مجموعه مقالات

ششمین کنفرانس ملی

حفاظت خاک و آبخیزداری

با محوریت تعادل‌بخشی و پایداری منابع آب در حوزه‌های آبخیز

برگزارکننده:

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

Proceedings Of:

The sixth National Conference on

Soil Conservation and Watershed Management

With Balancing and Sustainability of Water Resources in Watersheds

Organized by:

Soil Conservation and Watershed Management Institute

سازمان تحقیقات، آموزش‌وترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت تعادل‌بخشی و پایداری منابع آب در حوزه‌های آبخیز
تهیه و تدوین: میرمسعود خیرخواه زرکش و عباس صدیق
طراح جلد و صفحه آرا: عباس صدیق
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
شمارگان(تیتراژ): ۲۰ نسخه بعلاوه نسخه الکترونیکی
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲

ساختار سازمانی کنفرانس

- ریاست کنفرانس:
  - **دکتر داود نیک‌کامی**
- دبیر کنفرانس :
  - **دکتر محمود عرب خدری**
- دبیر علمی کنفرانس :
  - **دکتر میرمسعود خیرخواه زرکش**
- دبیر اجرایی کنفرانس:
  - **دکتر پرویز گرشاسبی**
- مدیر اجرایی و مدیریت سایت کنفرانس:
  - **عباس صدیق**

برگزار کننده:

- **پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری**

حامیان کنفرانس:

- **معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری**
- **سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی**
- **مرکز همکاری های تحول و پیشرفت ریاست جمهوری**
- **سازمان حفاظت محیط زیست ایران**
- **سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری**
- **انجمن علمی سازگاری با خشکی و خشکسالی**
- **انجمن علوم خاک ایران**
- **انجمن آبخیزداری ایران**
- **سازمان مدیریت بحران کشور**
- **دانشگاه تهران**
- **دانشگاه ایلام**
- **دانشگاه شهید چمران**
- **دانشگاه یزد**

اعضای کمیته علمی کنفرانس

- ... دکتر متکان
- ... مهندس کریم احمدی
- ... دکتر جمال قدوسی
- ... دکتر امینی پوری
- ... مهندس پیام عالمی
- ... دکتر زهرا عزیزی
- ... دکتر علی رضا قره گوزلو
- ... دکتر مریم رباطی
- ... دکتر باقر قرمزچشمه
- ... دکتر فرود شریفی
- ... دکتر داود نیک کامی
- ... دکتر جهانگیر پرهمت
- ... دکتر میرمسعود خیرخواه
- ... دکتر محمودرضا طباطبائی
- ... دکتر حمیدرضا پیروان
- ... دکتر مهران زند
- ... دکتر محمدرضا غریب رضا
- ... دکتر محمود عرب خدری
- ... دکتر علی اکبر نوروزی
- ... دکتر مسعود گودرزی
- ... دکتر مجتبی پاکپرور
- ... دکتر کورش کمالیچ
- ... محمد تاجبخش
- ... حمیدرضا صادقی
- ... کاکا شاهدی
- ... علی طالبی
- ... مصطفی رئوف زاده
- ... علیرضا مقدم نیا
- ... مجتبی نساجی زواره
- ... عبدالرضا بهرهمند
- ... فریبرز عباسی
- ... علیرضا شکوهی
- ... بهرام ثقفیان
- ... دکتر مهدی عرفانیان
- ... دکتر هوشنگ جزی
- ... دکتر فرامرزی
- ... دکتر وحید
- ... دکتر ناصر طالب بیدختی
- ... دکتر ساداتی نژاد
- ... دکتر علی سلاجقه
- ... دکتر کاویانپور
- ... دکتر امیر سعدالدین
- ... دکتر کریم سلیمانی
- ... دکتر محمد جعفری

- اعضای کمیته داوران کنفرانس (بر اساس حروف الفبا)

... دکتر رضا طلائی
... دکتر محمد طهمورث
... پیام عالمی صف اول
... دکتر عبدالنبی عبده کلاهچی
... دکتر محمود عرب‌خدری
... دکتر مهدی عرفانیان
... دکتر زهرا عزیزی
... دکتر سیدعباس عطاپورفرد
... دکتر محمدرضا غریب رضا
... مهندس اسدالله قاضی مرادی
... دکتر جمال قدوسی
... باقر قرمزچشمه
... دکتر محمد قیطوری
... دکتر هادی کارگر چیگانی
... دکتر رحیم کاظمی
... دکتر ابراهیم کریمی سنگچینی
... دکتر کورش کمالی
... دکتر زهرا گرامی
... دکتر پرویز گرشاسبی
... دکتر مسعود گودرزی
... دکتر علیرضا مجیدی
... دکتر سمیه محرمی
... دکتر مرتضی میری
... دکتر امیر مرادی نژاد
... اباذر مصطفائی
... مهندس سعید نبی‌پی لشکریان
... دکتر داود نیک کامی
... دکتر حمزه نور
... دکتر محمدعلی هادیان امری

... دکتر روح انگیز اختری
... دکتر علیرضا اسلامی
... دکتر نظام اصغری پور دشت بزرگ
... دکتر رضا بیات
... مهندس لطف الله پارسایی
... دکتر فرزاد پارسادوست
... دکتر جهانگیر پرهمت
... دکتر حمید رضا پیروان
... دکتر یحیی پرویزی
... دکتر بهنوش جعفری گرزین
... دکتر بهرام چوبین
... دکتر سیداحمد حسینی
... دکتر مسیب حشمتی
... دکتر بهزاد حصاری
... دکتر میرمسعود خیرخواه زرکش
... دکتر علی اکبر دماوندی
... دکتر صفت اله رحمانی
... دکتر محمد رستمی
... دکتر قباد رستمی زاد
... دکتر طیب رضیئی
... دکتر مهران زند
... دکتر فریدون سلیمانی
... دکتر سید مسعود سلیمان پور
... دکتر صمد شادفر
... دکتر کورش شیرانی
... دکتر رحمان شریفی
... دکتر ضیاءالدین شعاعی
... دکتر سیدحمیدرضا صادقی
... دکتر محمودرضا طباطبایی

سخن نخست

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با هدف تبیین وظایف مدیران مرتبط با مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کنفرانس‌های دوره‌ای را برگزار می‌کند. در این راستا تا کنون پنج همایش در موضوعات با محوریت فرسایش خاک، تخریب اراضی و عوامل تشدیدکننده آن، مدیریت و حفاظت آب و خاک و اراضی، خشکسالی و تغییر اقلیم، پایش و ارزیابی منابع و مدیریت آن‌ها در حوزه‌های آبخیز، سلامت حوضه‌ها، با گرایش گرد و غبار و در آخرین همایش مخاطرات، حفاظت، احیاء و بهره‌برداری پایدار حوزه‌های آبخیز با نگاه ویژه به منابع و اراضی رودخانه‌ای و ساحلی یافته‌ها و تجربیات اندیشمندان مختلف را جمع‌بندی و در قالب بیانیه به دستگاه‌های مرتبط ارائه نموده است.

امنیت آب بنا به تعریف، اطمینان از وجود آبی با کیفیت و کمیت مناسب برای سلامت، معیشت و تولید، ضمن قابل قبول بودن خطرات مرتبط با آب، می‌باشد. به نقل از نهاد مشارکت جهانی در توصیف امنیت آب آمده‌است: «در جهان فاقد امنیت آب، توسعه پایدار، حاصل نخواهد شد. در جهانِ دارای امنیت آب، اهمیت ارزش واقعی آب و اهمیت مصرف آب برای حیات و رفاه انسان، یکی می‌شوند. امنیت آب، نیازمند تعادل‌بخشی و پایداری منابع آب در واحد حوزه آبخیز است.

برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و بخصوص زیرزمینی با حفر چاه‌های بی‌شمار، وضعیت آبی کشور را در حالت بحرانی قرار داده است. این موضوع با توجه به شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت در سال‌های اخیر تشدید شده است. مطابق آخرین برآوردها، در حال حاضر بیش از ۸۵ درصد منابع تجدید پذیر کشور برداشت شده است. در حالی که بر اساس شاخص سازمان ملل برداشت مجاز حداکثر ۴۰ درصد است. از نظر تنش آبی طبق طبقه بندی فائو، ایران در سال ۲۰۱۵ در وضعیت تنش آبی قرار گرفته و در حال حاضر به وضعیت بحرانی شدید رسیده است. میزان کاهش حجم مخازن زیرزمینی به حدود ۱۶۰ میلیارد مترمکعب رسیده و روند برداشت با شتاب بیشتری ادامه دارد. افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر برای آب، وضعیت منابع آب را نیز بحرانی تر خواهد کرد. در چنین وضعیتی استفاده بهینه از منابع موجود و کاهش مصرف الزامی است.

روش‌های مختلفی برای کاهش مصرف و استفاده بهینه از نزولات جوی در سطح جهان و کشور ایران بر اساس یافته‌های پژوهشی ارائه شده است. در این راستا پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری یکی از موسسات پیشگام بوده و پژوهش‌های ارزنده ای را انجام داده و یا در حال انجام دارد که ترویج و اشاعه این تحقیقات می تواند در کاهش بحران آب و ایجاد امنیت آب در کشور راهگشا باشد. لذا برای ارائه و جمع‌بندی یافته‌های محققان سراسر کشور و بویژه سازمات تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در قالب محورهای ذیل اقدام به برگزاری همایش با محوریت **تعادل‌بخشی و پایداری منابع آب** شده است تا بر اساس آن بتوان گامی موثر در پایداری منابع آب برداشت.

امید است محققان مرتبط اعم از دانشگاهیان، مراکز تحقیقاتی، شرکت‌های دانش بنیان شرکت‌های مشاوره‌ای و سمن‌های مرتبط با موضوعات این کنفرانس که طیف وسیعی از گرایش‌های علمی را در بر می‌گیرد، یافته‌های خود را در این خصوص ارائه و زمینه مناسبی را برای تبادل اطلاعات و افزایش توانمندی بخش تحقیقات، مطالعات و اجرا را فراهم آورند.

داود نیک کامی
رئیس کنفرانس
و رئیس پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

سخن دبیر علمی کنفرانس

به نام خداوند جان و خرد

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور در راستای تحقق رویکردهای حفاظت، توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز، پیشگام انجام تحقیقات مسئله محور و کاربردی در کشور شناخته می‌شود. به علاوه، محققان دستگاه‌های دولتی، دانشگاهی و بخش خصوصی نیز گام‌های اثربخشی در اجرای این رویکردها انجام داده و می‌دهند. با این حال، حوزه‌های آبخیز کشور از مسائل و مشکلات ناشی از مخاطرات محیطی، همچون تند سیلاب، آبگرفتگی سیلاب‌دشت‌ها، خشکسالی‌های متوالی رنج می‌برد. علاوه بر آن برداشت بیرویه از منابع آب نبود یک سیستم الگوی کشت مناسب سبب کاهش شدید منابع آب سطحی و زیر زمینی شده است. لذا تعادل و چرخه آب در حوضه‌ها از حالت تعادل خارج شده در نتیجه سطح آب‌های زیرزمینی به شدت کاهش یافته و اغلب دشت‌های کشور در شرایط بحرانی قرار گرفته اند. برای برون رفت از شرایط فعلی منابع آب کشور و رسیدن به شرایط پایدار، رجوع به دانش و فناوری‌های نوین و یافته های دانشمندان را ناگزیر می کند.

در این خصوص، تحقیقات کاربردی، فناورانه و ترویجی و همچنین طرح‌های پایلوت متعددی در سطح کشور انجام شده و فناوری‌های نوینی ابداع و توسعه داده شده است .ششمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت تعادل‌بخشی و پایداری منابع آب در حوزه های آبخیز فرصتی مناسب برای تبادل آخرین دستاوردهای دانش‌بنیان محققین و دانشمندان بوده و ارائه یافته‌ها بصورت منسجم می‌تواند چراغ راهی برای مدیران و تصمیم‌گیران کشور باشد.

امید است محققان مرتبط اعم از دانشگاهیان، مراکز تحقیقاتی، دستگاه‌های دولتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مشاوره و سمن‌ها یافته‌های خود را ارائه و زمینه مناسبی را برای افزایش توانمندی بخش تحقیقات، مطالعات و اجرا را فراهم آورند.

. محورهای ششمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با هدف ارائه دستاوردها و یافته های علمی و تخصصی در ده حوزه زیر متمرکز شده است:

۱. بهره‌وری آب در آبخیز
۲. پخش سیلاب و آبخوانداری
۳. پایش، پیش‌بینی، ارزیابی، هشدار، بهره‌برداری و مهار سیل
۴. حفاظت آب در خاک و مدیریت آب سبز
۵. حکمرانی و مدیریت جامع حوضه، اصلاح رژیم جریان آبی و سلامت آبخیز و آبخیزداری مردمی

۶. تغییرات اقلیمی، کم آبی و خشکسالی و گردوغبار
۷. هوشمند سازی، مدلسازی و فناوریهای نوین در حفاظت خاک و آبخیزداری
۸. فرسایش و رسوب در رخدادهای کرانه‌ای و جریان‌های واریزه‌ای
۹. مهندسی و بهینه‌سازی سازه‌های آبخیزداری
۱۰.روش‌های استحصال آب (باران، رطوبت هوا، نامتعارف، سیلاب، سدهای زیرزمینی و ...)

در خاتمه از کلیه پژوهشگران ارجمند و اندیشمند که دعوت ما را پاسخ داده و این جمع علمی را پربار نمودند قدردانی می شود. امیدوارم که در همایش های بعدی نیز شاهد حضور آن عزیزان باشیم. از اعضای هیات مدیره انجمن علوم خاک ایران و انجمن آبخیزداری ایران به خصوص روسای محترم آن، جناب آقای دکتر منوچهر گرجی و جناب آقای دکتر سید حمیدرضا صادقی که در برگزاری همایش ما را در اجرای وظایف کمک کردند، کمال تشکر را دارم. همچنین از حمایت های معنوی و فکری حامیان کنفرانس، معاونت علمی و فناوری ریاست محترم جمهور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور و انجمن سازگاری با خشکی و خشکسالی تشکر و قدردانی می گردد. از ریاست محترم پژوهشکده، ریاست گروه تحقیقات مهندسی حفاظت خاک و آب، کمیته علمی و اجرایی به ویژه مسئول امور دبیرخانه جناب آقای عباس صدیق و کلیه دست اندرکاران کنفرانس که زحمت زیادی در این برگزاری متقبل شده اند، تقدیر و تشکر می شود.

دکتر میرمسعود خیرخواه زرکش
دبیر علمی کنفرانس

فهرست مطالب

مقالات کلیدی	۱
چالش‌های کلان کشور در بخش آبخیزداری و برنامه مدیریت یکپارچه **داود نیک‌کامی**	۲
بررسی مشکلات وموانع تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و راهکارهای برون‌رفت از بن‌بست‌های فعلی **جهانگیر پرهمت**	۱۱
بایست‌های کنونی در آبخیزداری ایران **سیّدحمیدرضا صادقی**	۲۶
بهره‌وری آب در آبخیز	۲۷
استحصال آب باران ظرفیتی برای برنامه ریزی چند منظوره و مدیریت جامع حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز برکت استان البرز) **جهانگیر پرهمت، سیدمحمد تاج بخش، مجید الطافی دادگر، میرمسعود خیرخواه‌زرکش**	۲۸
مقایسه عملکرد تولید گونه دارویی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) در پروژه بیولوژیک آبخیزداری وردیج در البرز جنوبی با کشت زراعی آن در منطقه فریدن استان اصفهان **هادی کارگر چیگانی، فرود شریفی**	۳۹
اثربخشی عملیات آبخیزداری بر احیای پوشش گیاهی مراتع در استان کرمانشاه **محمد قیطوری، مسیب حشمتی**	۵۶
وضعیت حق‌آبه زیست محیطی در سراب و پایاب حوضه حله **باقر قرمزچشمه**	۷۱
ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان **سید مسعود سلیمان‌پور، سکینه لطفی‌نسب، امید رحمتی، محبوبه معتمدنیا، مریم نعیمی، سمیرا زندی‌فر**	۸۷
شناسایی مناطق نیازمند اقدامات احیایی در حوزه آبخیز برکت **رضابیات، جهانگیر پرهمت، باقر قرمزچشمه**	۱۰۴
اثر بخشی سامانه‌های سطوح آبگیر در افزایش رطوبت خاک (مطالعه موردی: روستای کبوده علیا، استان کرمانشاه) **محمد قیطوری، مسیب حشمتی**	۱۱۳

پخش سیلاب و آبخواندارى	۱۲۴
ساماندهی خشکه‌رود رهیافتی نوین از روش‌های آبخیزداری **محمدرضا غریب‌رضا، سیداحمد حسینی، علی اکبر داودی‌راد، روح انگیز اختری**	۱۲۵
تحول مخروطه افکنه‌های تغذیه کننده آبخوان بر اثر تکتونیک فعال در جنوب تاقدیس خائیز بهبهان **سید معصومه موسوی، نظام اصغری پور دشت بزرگ، مهدی مومی زاده**	۱۳۸
پارک آموزشی- ترویجی آبخوان؛ ایده‌ای برای ترویج آبخوان‌داری و فرهنگ استفاده بهینه از منابع آب **محمدعلی هادیان امری، بهنوش جعفری گرزین، پارسا عرب‌خزائلی**	۱۵۲
گزارش وضعیت اجرای طرح آبخوانداری و پخش سیلاب در عرصه آبخوان‌های کشور **حسن وحید، محمد فرامرز، فرناز براتی، مهدی شفقتی**	۱۷۶
بررسی ارتباط نفوذپذیری نسبی سازندها با جریان پایه در حوضه‌های مناطق خشک ایران **رحیم کاظمی، فرود شریفی، حمید رضا پیروان**	۱۸۹
مشارکت روستائیان، کلید موفقیت طرحهای آبخیزداری: مطالعه موردی حوزه حبله رود **رضا باقریان، مسعود گودرزی**	۲۰۱
بررسی منحنی تدوام جریان برای آمار سالانه ایستگاه منتخب استان مرکزی **امیرمرادی نژاد، شمس ا.. نیکچه فراهانی**	۲۱۲
پایش، پیش‌بینی، ارزیابی، هشدار، بهره‌برداری و مهار سیل	۲۲۵
شبیه‌سازی رخداد سیلاب ۶ مرداد۱۴۰۱ امامزاده داود **باقر قرمزچشمه، جهانگیر پرهمت، فرود شریفی**	۲۲۶
پیش‌بینی رخداد سیل با استفاده از مدل‌های احتمالاتی و یادگیری ماشین **کورش شیرانی، محمدعلی صدری، احمد مختاری، میرمسعود خیرخواه**	۲۴۰
آیا حوضه دریاچه ارومیه پتانسیل آبخیزی و سیل‌خیزی خود را ازدست‌داده است؟ **بهزاد حصاری، نهاله بهرامی، شهریبان سوره، هاله هاشمی، وحید پورقاسم**	۲۵۶
ارزیابی کیفیت داده‌های استحصال شده در واحدهای پایش اقلیمی، فرسایش، خاک، پوشش گیاهی در آبخیزهای معرف و زوجی کشور **یحیی پرویزی، محمود عرب‌خدری، سعید نبی‌پی لشکریان، عطا امینی، سیدمسعود سلیمان‌پور، هادی نظری‌پویا، فریدون سلیمانی، لطف‌الله پارسایی، محمدعلی هادیان‌امری، جلال برخورداری، حمزه نور، منصور جهان‌تیغ، جمشید یاراحمدی‌خراجو و محمد شرافتی**	۲۷۸

پهنه بندی حساسیت و اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع سیل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرج - شور) **سجاد زیوری عارف، سیاوش ذاکری و امید اسدی نلیوان**	۳۰۰
احصاء ظرفیت‌های قانونی مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری با تاکید بر برنامه‌های توسعه کشور **رحیم کاظمی، جهانگیر پرهمت**	۳۲۰
ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر دبی و حجم سیلاب (مطالعه موردی: حوزه قرغن شهرستان گلپایگان) **ابوطالب امینی، حسین یاری، روح‌الله سمیعی، محمّدرضا رهنما، سحر ذاکری**	۳۳۹
بررسی روش بهینهٔ مدیریت پیش از بحران سیلاب شهری در کلانشهر مشهد **احسان اسماعیل‌پور مطلق، بهروز بهنام، وحید اکلملی**	۳۴۹
کاربست رویکرد DPSIR در مدیریت خطر سیلاب **اردشیر مصباح، امین صالح‌پور جم، اسماعیل کرمی‌دهکردی، شادعلی توحیدلو، توفیق سعدی**	۳۶۹
تغییرات اقلیمی، کم‌آبی و خشکسالی و گردوغبار	۳۸۲
ارزیابی خشکسالی کشاورزی و منابع طبیعی در استان لرستان **مهران زند، مرتضی میری، محمدرضا کوثری، باقر قرمزچشمه و کریم قربانی**	۳۸۳
واکاوی شاخص‌های حدی اقلیمی شرق و شمال شرق ایران **مرتضی میری، مهران زند، طیب رضیئی**	۴۰۲
تحلیل همدیدی و ردیابی موج طوفان گردوغبار فراگیر ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶ **سید حسین آرامی، ابراهیم کریمی سنگچینی، بنفشه یثربی، مهری دیناروند**	۴۱۵
کاهش اثرات خشکسالی در منطقه شرق استان اصفهان از طریق مدیریت عرصه‌های مرتعی و بیابانی **شیلا حجه فروش نیا، مسعود برهانی**	۴۲۶
پایش خشکسالی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی (مطالعات موردی: محدوده مطالعاتی اردبیل) **عرفان فرجی عموقین، امین کانونی، مهسا حسنپور کاشانی**	۴۴۱
شناسایی و معرفی گونه های گیاهی مناسب حفاظت خاک و احیاء پوشش در منطقه کردان، غرب استان البرز، ایران **هادی کارگر چیگانی، جهانگیر پرهمت**	۴۵۱

تحلیل خشکسالی‌های زیرحوزه آبخیز زاینده‌رود تحت سناریوهای تغییراقلیم **مسعود گودرزی، معصومه بحری**	۴۶۷
حفاظت آب در خاک و مدیریت آب سبز	۴۸۸
مدیریت جامع خاک دیم‌زارهای کشور **محمود عرب‌خدری، یحیی پرویزی، رضا بیات، کورش کمالی، صمد شادفر، حمیدرضا پیروان، داود نیک‌کامی**	۴۸۹
توسعه نهال‌کاری و مدیریت آب سبز با احداث پشته‌های هلالی **کورش کمالی، شهریار صبح‌زاهدی**	۵۰۹
نقش شخم حفاظتی بر پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش پذیری خاک درشرایط دیم **مسیب حشمتی، محمد قیطوری، ایرج یاوری، حمیدرضا پیروان و یحیی پرویزی**	۵۲۲
خطوط کلی تحلیل اقتصادی فرسایش و اقدامات حفاظت خاک در ایران **یحیی پرویزی، زینب کریمی**	۵۳۳
کاربرد روش کلارک در برآورد دبی سیلاب بازفت کارون **مسعود گودرزی، معصومه بحری**	۵۴۵
حکمرانی و مدیریت جامع حوزه آبخیز، اصلاح رژیم جریان آبی و سلامت آبخیز و آبخیزداری مردمی	۵۵۹
ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند **مرجان بهلکه و سیدحمیدرضا صادقی**	۵۶۰
ارزیابی موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری در حوضه خوجین در جنوب استان اردبیل **رضا طلائی، امین صالح‌پورجم و بایرامعلی بیرامی**	۵۷۱
صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در نظام‌های تولید آفتابگردان **زین العابدین امیدمهر، فاطمه زهرا عرب عامری**	۵۹۲
پهنه‌بندی سلامت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر با شاخص خشک‌سالی ترکیبی SDI **سمیه زارع، سید حمیدرضا صادقی، رضا چمنی، سید وحید موسوی**	۶۰۸
پهنه‌بندی اجمالی سلامت حوزه آبخیز جازموریان با رویکرد پایایی- تاب‌آوری - آسیب‌پذیری **سید حمیدرضا صادقی، کاظم صادقیان، حامد بیگی، حمید خدامرادی و رضا چمنی**	۶۲۲

وضعیت منابع آب در آینده حوزه آبخیز زاینده‌رود- اسکندری **زینب کریمی و علی طالبی**	۶۳۳
ارزیابی نگرش دانش آموزان مدارس ابتدایی نسبت به خاک **نظام اصغری پور دشت بزرگ، زینب حزباوی، زهرا اسکندری، راضیه ابولی**	۶۴۲
روش‌های استحصال آب **(باران، رطوبت هوا، نامتعارف، سیلاب، سدهای زیرزمینی و ...)**	۶۵۴
بررسی معیارهای تعیین اولویت مکانی استحصال آب زیرقشری به روش سدزیرزمینی (مطالعه موردی: مناطق عشایری شهرستان بردسکن خراسان رضوی) **علیرضا اسلامی، علی باقریان کلات و زهره شیبانی زاده**	۶۵۵
تاثیر اقدامات آبخیزداری مختلف کنترل رواناب بر تراکم و غنای پوشش گیاهی **بنفشه یثربی، مهری دیناروند و سید حسین آرامی**	۶۶۹
بررسی استفاده بهینه از نزولات جوی برای تأمین نیاز آبی گیاه در باغات دیم **امیرمرادی نژاد، مهدیه کریمی**	۶۸۰
بررسی عوامل فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنوات آبخوان مشهد-چناران **علی دسترنج، حمزه نور، ابراهیم کریمی سنگچینی**	۶۹۲
ارزیابی روند تغییرات سطح ایستابی و آبدهی قنات‌های آبخوان مشهد – چناران **حمزه نور، محمد رستمی خلج، علی دسترنج، ربابه شمشیری نصر آباد**	۷۰۱
فرسایش و رسوب در رخدادهای کرانه‌ای و جریان‌های واریزه‌ای	۷۱۵
تحلیل کیفی داده‌های‌مرتبط با آب‌سنجی‌و رسوب‌سنجی درحوزه‌های آبخیز معرف و زوجی ایران **محمود عرب‌خدری، یحیی پرویزی، محمد شرافتی، حمزه نور، سیدمسعود سلیمان‌پور، هادی نظری‌پویا، فریدون سلیمانی، لطف‌الله پارسایی، محمدعلی هادیان‌امری، جلال برخورداری، عطا امینی، منصور جهان‌تیغ، جمشید یاراحمدی‌خراجو**	۷۱۶
بررسی آماری وضعیت فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران **داود نیک‌کامی، محمد طهمورث**	۷۲۹
ارزیابی هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه زوجی کاخک گناباد **حمزه نور، یحیی پرویزی، حسین چمنی**	۷۴۸
پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های احتمالاتی دو متغیره و یادگیری ماشین **کورش شیرانی، رضا نادری سامانی**	۷۶۱

معرفی و کاربست مفهوم برگشت‌پذیری فرسایش خاک در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند **مصطفی ذبیحی‌سیلابی، سیدحمیدرضا صادقی و مهدی وفاخواه**	۷۷۸
بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه، استان لرستان **ابراهیم کریمی سنگچینی، علی دسترنج، حسین آرامی، صمد شادفر**	۷۸۷
بررسی تاثیر شاخص های تکتونیک و فعالیت‌های لرزه‌ای بر رسوبدهی حوضه‌ها (حوضه‌های منتخب شمالی، جنوبی، جنوب غربی و شمال‌غرب ایران) **ضیاءالدین شعاعی، علیرضا ستوده، صمد شادفر، حمیدرضا پیروان، علی‌اکبر نوروزی، محمود عرب‌خدری، مهدی زارع، Poesen J., Vanmaerche, M.**	۷۹۶
بررسی اثر بارش‌های با شدت متفاوت بر رواناب و غلظت رسوب اراضی دیم سرارود کرمانشاه **سعید نبی‌پی لشکریان، زهرا گرامی، محمود عرب‌خدری**	۸۱۰
ارزیابی رواناب، فرسایش و پوشش گیاهی حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت طالقان **سعید نبی‌پی لشکریان، یحیی پرویزی**	۸۱۹
معرفی گونه‌های مرتعی سازگار در کنترل فرسایش سازندهای مارنی منطقه خور و بیابانک **زهرا جابرالانصار، فرزاد پارسادوست، حمیدرضا پیروان**	۸۳۲
ارزیابی توانایی گیاهان درختچه‌ای دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق در مهار فرسایش رضا طلائی	۸۴۳
تغییرپذیری مکانی شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری امینه حسین بر، علی شهریاری، ابراهیم شیرمحمدی، سیدروح اله موسوی، علیرضا ضیائی جاوید	۸۶۰
مهندسی و بهینه‌سازی سازه‌های آبخیزداری	۸۷۰
بررسی اثر شکاف در کاهش آبشستگی پایه پل مربعی دماغه تیز سمیرا فرهادی سرتنگی، مهدی اسدی، الهام قنبری، علی رئیسی	۸۷۱
هوشمندسازی؛ مدل‌سازی و فناوری‌های نوین در حفاظت خاک و آبخیزداری	۸۷۸
نقش متغیر بارش در بهبود کارایی مدل‌های شبیه‌ساز رسوب معلق محمودرضا طباطبایی، امین صالح‌پورجم، جمال مصفائی	۸۷۹
مقایسه مدل‌های بیلان انرژی در تعیین مقدار آب مصرفی گیاهان عرصه‌های تحت اثر پخش سیلاب گربایگان مجتبی پاک‌پرور، غلامعلی نکوییان، غلامرضا قهاری	۸۹۴

امکان سنجی کاربرد انرژی تابش خورشیدی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و روش SEBAL (مطالعه موردی: دشت چنداب) رحمان شریفی، سمیه محرمی، میرمسعودخیرخواه زرکش، مجتبی پاک پرور	۹۱۴
ارزیابی مدل بیلان انرژی سطحی SEBS در برآورد تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران رحمان شریفی، سمیه محرمی، قباد رستمی زاد، مجتبی پاک پرور	۹۲۴
شناسایی کانی‌های معدنی با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER در جنوب استان قم بهناز قادری، زهرا عزیزی	۹۳۴
برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنجش از دور قباد رستمی زاد	۹۵۱
ارزیابی نتایج حاصل از روش مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در برآورد بار معلق رودخانه (ایستگاه باقرآباد قمرود) امیر مرادی نژاد، سید محمود رضا طباطبایی ، سیداحمد حسینی	۹۶۳
بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه، استان لرستان ابراهیم کریمی سنگچینی، علی دسترنج، حسین آرامی، صمد شادفر	۹۷۹
کاربرد پهپاد برای مطالعه آستانه توپوگرافی در منطقه نظر آباد رضا بیات، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی، مجید صوفی، عباس ملکی و امید علی اکبرپور	۹۸۸
بررسی ویژگی‌های خاک‌شناسی و فرسایش‌پذیری نهشته‌های مارنی جنوب و شرق تهران حمیدرضا پیروان، کورش شیرانی	۹۹۸
ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی METRIC در تعیین تبخیر-تعرق دشت متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران رحمان شریفی، سمیه محرمی، مجتبی پاک پرور، سمانه عبدوسی	۱۰۰۷
بررسی خطر آتش‌سوزی در مراتع نیمه‌خشک و روش‌های مختلف مدل‌سازی آن حدیث درویش زاده، مرزبان فرامرزی، رضا امیدی‌پور	۱۰۱۹
ارزیابی هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه زوجی کاخک گناباد حمزه نور، یحیی پرویزی، حسین چمنی	۱۰۳۰
کاربرد فتوگرامتری در ارزیابی فرسایش خاک زهرا گرامی	۱۰۴۴

مقایسه شاخص‌های NDVI ، NDBSI و MNDWI در تشخیص خاک لخت هانیه باقری زهرا عزیزی، بهناز قادری	۱۰۵۱
توسعه راهکاری مکان‌مند در انتخاب محل بهینه احداث اسکله تفریحی در سواحل دریای خزر با استفاده از GIS سحر برازنده، زهرا عزیزی، اکبر رشیدی ابراهیم حصاری	۱۰۶۲
بررسی فرسایش خاک در سامان‌های عرفی منطقه حفاظت شده سالوک نادیا کمالی، احمد صادقی‌پور، روشنک دهقان	۱۰۷۱

❖ مقالات کلیدی

چالش‌های کلان کشور در بخش آبخیزداری و برنامه مدیریت یکپارچه

داود نیک‌کامی*[۱]

۱*- استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
پست الکترونیک (*nikkami@msn.com*)

چکیده

حوزه‌های آبخیز خدماتی را برای سایر موجودات زنده ارائه می‌کنند که به مجموعه آنها خدمات آبخیز اطلاق می‌شود. خدمات آبخیز بنا بر تعریف، عبارت است از تمامی منافع ملموس و ناملموس حاصل از سیستم آبخیز و فرایندهای آن که برای بقا و رفاه انسان مورد نیاز است. خدمات آبخیز دامنهٔ بسیار وسیعی داشته و از منظر نوع خدماتی که سیستم آبخیز به انسان ارائه می‌دهد، می‌توان منافع حاصل از آبخیز را به چهار دستهٔ کلی خدمات فراهم‌سازی، خدمات تنظیمی، خدمات فرهنگی، و خدمات حمایتی طبقه‌بندی نمود. طی چند دهه اخیر رشد سریع جمعیت کشور و نیاز به تأمین مواد غذایی باعث تشدید سطح خدمات آبخیزها شده به‌طوری‌که توسعه نامتوازن با شرایط طبیعی و شتاب دستگاه‌های اجرایی برای تأمین اهداف سازمانی و منافع اقتصادی کوتاه‌مدت و همچنین اجرای سیاست‌های بخشی‌نگر، فشار بر انواع منابع تجدید شونده آبخیز را تشدید کرده است. خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، افت سطوح سفره‌های آب زیرزمینی، شور شدن اراضی و تشدید فرایندهای بیابان‌زایی، ایجاد کانون‌های گرد و غبار، تغییرات کاربری اراضی، فرسایش شدید و وقوع سیلاب‌های متعدد از جمله مسائلی هستند که بیانگر عدم اعمال مدیریت صحیح بر آبخیزهای کشور و در نتیجه کاهش وضعیت سلامت آن‌هاست. به منظور دستیابی به توسعه پایدار، طرحریزی یک برنامه مدیریتی صحیح ضروری است. امروزه یک توافق جهانی قوی بر سر این مفهوم که حوزههای آبخیز نه تنها بهترین واحدها برای مدیریت منابع آب، بلکه برای تمامی اکوسیستم هستند، ایجاد شده است.

واژه‌های کلیدی: آبهای زیرزمینی، بهره‌وری، فرسایش و رسوب، کم‌آبی و خشکسالی، گرد و غبار، مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز.

مقدمه

در ماده ۲ چشم‌انداز توسعه فضایی سرزمین در افق ۱۴۲۴ سند ملی آمایش سرزمین (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹) آمده است: ما ایرانیان، سخاوتمندی سرزمینمان را با رفتار متوازن، متعادل و سازگار با توسعه پایدار،ارج نهاده‌ایم و اینک، حکم‌روایی کارایی ساخته‌ایم که هر یک از هم‌میهنان، در مسیر اهداف و ارزش های زندگی خود، انتخاب ها و گزینه های فراوان و مناسب حال خود را دارند و سیاست‌گذاران آینده‌نگر، ظرفیت‌ها و قابلیت‌های سرزمین را عمیق می شناسند و استعداد و پویایی

جامعه را در مسیر آن، ترسیم می‌کنند تا ضمن احترام به این سخاوت‌ها و مواهب سرزمینی، توسعه اجتماعی، سعادت و رفاه پایدار ساکنان امروز و آیندگان، به بهترین وجه، تضمین شود. سرزمین ما، فرزندان خود را از بحران‌ها رهایی داده و آب و منابع خدادادی در آن نه به قصد سیرابی حریصانه افراد منفعل، بلکه برای رفع عطش جویندگان تعالی پایدار و طراوت ماندگار در همه پهنه سرزمین، جاری است و زندگی در آن، رنگ خدا دارد. مالتوس، کشیش و جمعیت‌شناس معروف انگلیسی معتقد بود که رشد جمعیت به‌صورت تصاعد هندسی پیش می‌رود، در حالی‌که رشد تولید غذا به شکل تصاعد حسابی است (بابااوغلی، ۱۳۹۲). با وجود توجه به مسائل منابع طبیعی و محیط زیست در اسناد بالادستی و اذعان اندیشمندان و مسئولین کشور به لزوم پایدار بودن توسعه، حوزه‌های آبخیز شاهد تخریب روزافزون منابع و شکل‌گیری بحران‌های مختلف زیست‌محیطی می‌باشند (مصفایی و صالح‌پور جم، ۱۳۹۷). در اواخر قرن بیستم، رشد سریع جمعیت در بسیاری از مناطق منجر به محدودیت دسترسی به زمین، آب و سایر منابع طبیعی شد و با توسعه فناوری برای بخش‌های مختلف، زمینه بهره‌برداری مفرط و غیراصولی از اندوخته‌های منابع طبیعی به عنوان بستر طبیعی حیات و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی فراهم شد. طی چند دهه اخیر رشد سریع جمعیت کشور و نیاز به تأمین مواد غذایی باعث افزایش سطوح زیر کشت شده و توسعه نامتوازن با شرایط طبیعی و شتاب دستگاه‌های اجرایی برای تامین اهداف سازمانی و منافع اقتصادی کوتاه‌مدت و همچنین اجرای سیاست‌های بخشی‌نگر، فشار بر انواع منابع طبیعی تجدید شونده را به حدی زیاد نموده که از دامنه بردباری آن تجاوز کرده و زمینه‌های سیر قهقرایی آن را بوجود آورده است، تاجایی‌که در بعضی موارد احیا و بازسازی آنها بسیار دشوار و گاه جبران‌ناپذیر می‌کند (مصفایی و طالبی، ۱۳۹۳). عوارض این رخداد در اراضی شیب‌دار و اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک از جمله بیشتر مناطق ایران، به‌دلیل حساسیت و شکنندگی بالای بوم‌سازگان، به مراتب حساس‌تر و جبران‌ناپذیرتر می‌نماید. مقدار فرسایش ویژه سالانه کشور حدود ۱۶ تن در هکتار و مقدار کل فرسایش سالانه کشور در سطح ۱۲۵ میلیون هکتار حوزه‌های آبخیز بالغ بر دو میلیارد تن برآورد می‌شود (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۹) که ۲/۷ درصد از ۷۵ میلیارد تن (Eswaran و همکاران، ۲۰۰۱) فرسایش خاک جهان است. این در حالی است که متوسط فرسایش خاک اروپا، استرالیا، امریکای شمالی و آسیا به‌ترتیب ۰/۹۰، ۰/۹۲، ۲/۲۳ و ۳/۴۷ تن در هکتار است (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۹). در مقیاس جهانی فرسایش ۷۵ میلیارد تن در سال خاک، موجب بروز خسارت مالی بالغ بر ۴۰۰ میلیارد دلار (سرانه ۷۰ دلار) می‌شود. با در نظر گرفتن این اعداد، خسارات وارده به کشور از محل فرسایش خاک بالغ بر ۱۰/۷ میلیارد دلار خواهد بود (نیک‌کامی، ۱۳۸۸). تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به‌منظور کاهش میزان فرسایش و ارتقاء درآمد ساکنین حوزه‌های آبخیز (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۲; نیک کامی و همکاران، ۱۳۹۴; نیک کامی و همکاران، ۱۳۹۵; Nikkami et al, 2002; Sadeghi et al, 2008; Nikkami et al, 2009). با توجه به پیچیدگی و فرابخشی بودن موضوع

تخریب خاک و نیاز به کار چند موضوعی برای پیش‌گیری از تخریب، تعدیل اثرات تخریب خاک و احیاء خاک‌های تخریب شده و به منظور ایجاد هماهنگی بین د ستگاه‌های مختلف به‌گونه‌ای که شرکت کلیه ذی‌نفعان در این امر ت سهیل شود، تهیه و تدوین راهبردهای ملی ضرورت دارد (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۷). مدیریت حوزه آبخیز باید اثرات تغییرات آب و هوایی را با به کارگیری پیشرفت‌های تکنولوژیکی و رویکردهای جامع و بین رشـــته‌ای برای اطمینان از اینکه حوزه‌های آبخیز همچنان به عملکردهای اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی خود خدمت می‌کنند، در نظر بگیرد (Guangyu et al, 2016). تمامی برنامه‌ریزان و سیاســت‌گـزاران بخـش منـابع طبیعی کشور بر این نکته اتفاق نظر دارند که این منابع در حال زوال و تخریب بوده و با شیوه‌های کنونی بهـره‌بـرداری، ایـن روند همچنان ادامه خواهد داشت. از جمله وظایف اندیشـــمندان، محققین و مراکز تحقیقاتی یک جامعه فهم دقیق پدیده‌ها و ارائه راه‌کاری اجرایی منا سب به سیا ست‌گذاران ا ست. این م سائل در حالی و ضعیت منابع طبیعی کشور را در حالت بحران قرار داده‌اند که حوزه‌های آبخیز دارای خدمات و پتانسیل‌های متعدد و متنوع مغفولی هستند که با تغییر معیشت مردم از معیشت‌های وابسته به منابع آب، خاک و گیاه به معیشت‌های جایگزین مغفول در آبخیز، می‌توان فشـــار بر منابع طبیعی مختلف را تعدیل نمود (مصـــفایی و همکاران، ۱۳۹۸). برای د ستیابی به تو سعه پایدار، طرح‌ریزی یک برنامه مدیریتی صحیح ضروری ا ست، چرا که نخ ستین گام برای دســتیابی به توســعه پایدار، تهیه راهبردهای کلان برای این امر اســت. این مســاله ضــمن کاهش هزینه‌های اجرایی، ضــامن موفقیت و اجرای موثرتر پروژه‌هاســت. برای فائق آمدن بر چالش‌های اشــاره شـــده در برنامه کلان علم و فناوری منابع طبیعی، آب و خاک در حســـاب‌های ملی، پنج راهبرد و ۲۷ اقدام ارائه شده که در این طرح کلان اجرای آن‌ها برنامه‌ریزی شده است.

مرور منابع بیانگر آنست که تا کنون تلاش‌هایی برای بر طرف کردن مشکلات منابع طبیعی و محیط زیست برای مناطق موردی به انجام ر سیده که د ستاوردهای ارز شمندی نیز حا صل شده ا ست. اما در تمامی اقدامات گذشـــته، هدف‌گذاری‌ها برای موضـــوعات و مشـــکلاتی خاص نظیر گرد و غبار، حفاظت خاک، حفاظت آب و غیره بوده ا ست. لذا، فقط به بع ضی از جنبه‌های مدیریت یکپارچه توجه شده و یا اینکه هدف‌گذاری برای مناطقی خاص نظیر حو ضه دریاچه ارومیه صورت گرفته که م شکلات موجود، و ضعیت سلامت و پایداری حو ضه را در شرایط بحرانی قرار داده ا ست. البته بعضا تلاش‌هایی نیز انجام شده‌اند که جامعیت بی شتری دا شته‌اند ولی به دلایلی چون در نظر گرفتن صرفا م سائل تئوریک و یا پایین بودن بیش از اندازه ســرعت پروژه، دارای بازخوردهای منفی بوده و دســت دســتگاه‌های اجرایی کشــور را از داشــتن یک الگوی مناســب اجرایی خالی گذاشــته اســت. علی‌ایحال به زعم قریب به اتفاق متخصصین امر، این پروژه‌ها نتوانسته‌اند منجر به تدوین برنامه‌ها و د ستورالعمل‌های عملیاتی شوند که ضامن سلامت و پایداری حو ضه‌ها شوند و با وجود صرف تلاش و هزینه هنگفت، متا سفانه این منابع همچنان در حال زوال و تخریب بوده و با ادامه روند کنونی، تشکیل ستادهایی مشابه برای سایر مناطق

نظیر هامون، زایندهرود، مهارلو و غیره و مشکلات نوظهور در آنها دور از انتظار نیست. لذا، برای برونرفت از مشکلات و جلوگیری از تشکیل ستادهایی مشابه به موارد یادشده که سعی در ارائه راهکارهای درمانی پرهزینه و کوتاه‌مدت دارند، طرح‌ریزی یک برنامه مدیریتی صحیح، ضروری است.

مواد و روش‌ها

پیشنهاد اولیه طرح کلان مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز از طرف پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در سال ۱۳۹۱، به شورای عالی عطف صورت گرفت. این طرح کلان، مانند سایر طرح‌های کلان که از طرف شورا برای اجرا به دانشگاه‌ها واگذار شدند، به دانشگاه گرگان واگذار شد. طی سال‌های گذشته، مرحله صفر و بخشی از مرحله یک آن با مدیریت دانشگاه گرگان و همکاری این پژوهشکده و با اعتبارات ابلاغی از طرف شورا انجام شد که حدود پنج درصد از کل طرح بود. همچنین، طرح کلان مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز شامل ۵۷ پروژه بوده که به ترتیب دارای ۱۶ و ۴۱ پروژه خاتمه‌یافته و در جریان است. این طرح به‌دلیل عدم تخصیص بودجه‌های مصوب پژوهشی از زمان‌بندی اجرای پروژه‌های تعریف شده خویش تبعیت ننموده و نتوانسته است به اهداف خویش نائل شود. همچنین، تعدد پروژه‌های تعریف شده که لازمه موضوع جامعیت در عنوان تحقیقی مربوطه است و از ضرورت‌های اجرایی آن تلقی می‌شود، به‌عنوان پروژه‌ای زمان‌بر تلقی می‌شود.

با عنایت به مطالب فوق، در طرح کلان پیشنهادی مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز، ضمن استفاده از نتایج پروژه‌های انجام شده در طرح یادشده (و با تاکید بر رویکرد یکپارچه مدیریت آبخیز)، بیشترین توجه به بخش‌های آسیب‌شناسی تحقق مدیریت یکپارچه آبخیز، شناسایی و تحلیل ذی‌نفعان، شناخت وضع موجود و ارائه مدل سلامت حوضه، بررسی پایداری آبخیز، تحلیل علت و معلولی مسائل و مشکلات حوضه، و نیز تعیین پاسخ‌های مدیریتی و برنامه‌های اقدام سلامت حوضه در چارچوب رویکرد مدیریت یکپارچه آبخیز در بازه زمانی پنج‌ساله شده است. امید است با اجرای این طرح، دستورالعمل‌ها و الگوهای مدیریتی در اختیار سازمان متولی قرار گرفته تا در مسیر توسعه پایدار و سلامت حوضه گام‌های زیرساختی برداشته شود.

نتایج و بحث

ارائه اثرگذاری کمی: در این طرح کلان بیشترین توجه به بخش‌های آسیب شناسی تحقق مدیریت یکپارچه آبخیز، شناسایی و تحلیل ذی‌نفعان، شناخت وضع موجود و ارائه مدل سلامت حوضه، بررسی پایداری آبخیز، تحلیل علت و معلولی مسائل و مشکلات حوضه، و نیز تعیین پاسخ‌های مدیریتی و برنامه‌های اقدام سلامت حوضه در چارچوب رویکرد مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز در بازه زمانی ۵ ساله می شود. با اجرای این طرح دستورالعمل‌ها و الگوهای مدیریتی در اختیار سازمان متولی قرار گرفته تا

در مسیر توسعه پایدار و سلامت حوزه‌های آبخیز گام‌های زیر ساختی برداشته شود. در صورت اجرای طرح‌های توسعه در بخش‌های آب، خاک و منابع طبیعی در قالب الگوی حاصل از این طرح کلان، دستاوردهای زیر حاصل می‌شود.

- کاهش میزان فرسایش خاک از ۱۶ تن در هکتار در سال به متوسط فرسایش خاک در آسیا یعنی ۳,۴۷ تن در هکتار در سال
- حذف بیلان منفی منابع آب زیرزمینی ۵ میلیارد مترمکعب در سال
- کاهش تواتر سیل از ۲۰۰۰ سیل در دهه اخیر به ۲۰۰ سیل در دهه ۴۰
- اختصاص حق‌آبه‌های محیط زیست، افزایش کیفیت منابع آب و خاک، حذف پدیده شوم فرونشست دشت‌ها و طوفان‌های گرد و غبار، مدیریت تغییر کاربری‌ها

دستورالعمل گام به گام اجرایی: با توجه به مرور تجارب گذشته خصوصا طرح کلان ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و تدوین برنامه کلان علم و فناوری منابع طبیعی، آب و خاک، در مرحله اول، پروژه‌های طرح کلان مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز در قالب هشت پروژه ملی و ۳۹ پروژه تحت پوشش آن‌ها به انجام می‌رسد که در جدول زیر ملاحظه می‌شوند.

۱- ایجاد ساختار سازمانی با رویکرد تحلیل ذی‌نفعان
۱-۱- شناسائی و تحلیل ذی‌نفعان حوضه
۱-۲- ایجاد سازمان کار مدیریت یکپارچه حوضه
۱-۳- شناسائی و اولویت‌بندی راهکارهای ارتقاء سطوح مشارکت ذیربطان

۲- بهبود و توسعه روش‌های ارتقای دانش و مهارت ذیربطان
۲-۱- بهینه‌سازی روش‌های ارائه خدمات فنی و مشاوره‌ای و انتقال فناوری به بهره‌برداران حوزه‌های آبخیز
۲-۲- اجرای پروژه‌های پیشاهنگ و طرح‌های تحقیقی-ترویجی و مشارکتی مدیریت و بهره‌برداری از منابع حوضه‌ها
۲-۳- بهبود الگوهای آموزشی-ترویجی و تربیت مروجین تخصصی حفاظت خاک و مدیریت اراضی
۲-۴- بهبود روش های ارتقاء دانش و مهارت ذی‌ربطان در زمینه حفاظت، احیا و بهره‌برداری و مدیریت منابع آب، خاک و پوشش گیاهی در سطح حوزه‌های آبخیز
۳- شناسائی و تحلیل مشکلات حوضه و تدوین استراتژی‌های بهبود وضعیت حوضه
۳-۱- بررسی نقاط قوت، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدات حوضه
۳-۲- شناسائی و تحلیل مشکلات حوضه با رویکرد علت و معلولی

۳-۳- اولویت‌بندی راهبردها و راهکارهای بهبود وضعیت حوضه با رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه

۴- تحلیل وضعیت سلامت و پایداری حوضه

۴-۱- شناسائی و اولویت‌بندی شاخص‌های موثر و تدوین مدل تعیین وضعیت سلامت حوضه

۴-۲- تحلیل و بررسی وضعیت سلامت حوضه

۴-۳- تحلیل و بررسی وضعیت پایداری حوضه

۴-۴- بهبود و ارتقاء مدیریت مخاطرات محیطی

۵- توسعه فناوری سامانه‌های هوشمند و بانک اطلاعات و اطلس‌های موضوعی در مدیریت آبخیز

۵-۱- پژوهش و توسعه سامانه‌های هوشمند ذخیره‌سازی، شبیه‌سازی، پیش‌بینی، پایش و مدیریت یکپارچه منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و جوامع انسانی حوزه‌های آبخیز

۵-۲- ساماندهی نقشه‌های مرجع و ایجاد پایگاه‌ها و بانک‌های اطلاعاتی مؤلفه‌های مدیریت آبخیز مانند سرمایه‌های انسانی، طبیعی، فیزیکی، اجتماعی، مالی

۵-۳- بهبود و توسعه فناوری‌ها و روش‌های پایش و ارزیابی کمی و کیفی سرمایه‌های انسانی، طبیعی، فیزیکی، اجتماعی، مالی

۶- ارائه و بهینه‌سازی الگوهای مدیریت یکپارچه و تدوین برنامه‌های عملیاتی بهبود سلامت و پایداری حوزه‌های آبخیز

۶-۱- شناسایی و تعیین مولفه‌های اقتصادی، اجتماعی و طبیعی مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز

۶-۲- توسعه و بهبود مدل‌های مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز

۶-۳- بهبود و توسعه الگوها و نظام‌های بهره‌برداری از منابع حوزه‌های آبخیز

۶-۴- تهیه و تدوین دستورالعمل‌های حفاظت، احیاء و بهره‌برداری تلفیقی و پایدار از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی در مدیریت یکپارچه حوضه

۶-۵- شناسائی و الویت‌بندی برنامه‌های عملیاتی بهبود وضعیت حوضه با رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه

۶-۶- تدوین برنامه‌های عملیاتی بهبود سلامت حوضه

۷- بهینه‌سازی برنامه‌های عملیاتی کاهش مخاطرات محیط زیستی حوضه با رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه

۷-۱- بهبود روش‌ها و فناوری‌های پایش و پیش‌آگاهی مخاطرات محیطی

۷-۲- تهیه نقشه و پهنه‌بندی ریسک مخاطرات محیطی در حوزه‌های آبخیز

۷-۳- بهبود روش‌ها و فناوری‌های مقابله با مخاطرات محیطی

۷-۴- بهبود روش‌ها و فناوری‌های سازگاری با مخاطرات محیطی

۷-۵- ارتقاء فناوری‌های ارزیابی و برآورد خسارات مخاطرات محیطی
۷-۶- تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای پایش و پیش‌آگاهی، سازگاری و مقابله با مخاطرات محیطی
۷-۷- پژوهش و پیشـــنهاد قوانین و مقررات حفاظت، احیاء و بهره‌برداری پایدار منابع آب، خاک و پوشش گیاهی در سطح حوزه‌های آبخیز
۸- بهینه‌سازی الگوی کاربری اراضی بر اساس ظرفیت‌های طبیعی حوضه
۸-۱- توسعه روش‌ها و فناوری‌ها در پهنه‌بندی اقلیمی کشاورزی و منابع طبیعی و تهیه نقشه‌های مربوطه در سطح ملی
۸-۲- توسعه روش‌ها و فناوری‌های ارزیابی و تناسب اراضی و تهیه نقشه‌های مربوطه در سطح ملی
۸-۳- توسعه روش‌ها و فناوری‌های تعیین ظرفیت‌های کمی و کیفی آبی حوضه
۸-۴- توسعه روش‌ها و فناوری‌های تعیین نیاز آبی محصولات کشاورزی و منابع طبیعی
۸-۵- توسعه روش‌ها و فناوری‌های بیشینه‌سازی بهره‌وری آب کشاورزی
۸-۶- بهبود روش‌های شناخت و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی
۸-۷- توسعه روش‌ها و فناوری‌های تعیین ظرفیت‌های فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی حوضه
۸-۸- بهبود روش‌های فنون تصمیم‌گیری و تلفیق اطلاعات در تعیین الگوی کشت

مرحله دوم: برای انتقال نتایج برای ایجاد الگوی مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز در عرصـــه‌ها، کارگروه‌های اجرای الگوی مدیریت یکپارچه متشکل از کلیه ذی‌نفعان حوضه در سطوح مختلف ملی و منطقه‌ای ایجاد و یافته‌های مرحله اول برای حوضه‌های منتخب کشور به عرصه‌ها منتقل می‌شود.
مرحله سوم: عملیات پایش و ارزشیابی دستاوردها انجام شده و بازخورد آن مجددا برای بهینه‌سازی مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منابع

- باباوغلی، محمود. ۱۳۹۲. بررســـی اجمالی بحران محیط‌زیســـت در ایران حول محور آلودگی هوا و تخریب منابع آب. مجله اقتصادی، ۱۳(۵ و ۶): ۵۹-۷۲.
- پرهمت، جهانگیر ۱۳۹۶. تدوین برنامه کلان علم و فناوری منابع طبیعی، آب و خاک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۷۳ صفحه.
- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴۰۰. طرح کلان ملی مدیریت جامع حوزه آبخیز. آدرس آنلاین: watershedmg.com، مشاهده شده در ۱۸ دی ۱۴۰۰.
- سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۴۰۰. خلاصه مدیریتی طرح: تهیه برنامه جامع مقابله با گرد و غبار و برنامه عمل دستگاه‌های اجرایی مرتبط. معاونت محیط زیست انسانی، ستاد ملی مقابله با پدیده

گرد و غبار، سازمان حفاظت محیط زیست، آدرس آنلاین: https://dust.doe.ir/portal/file/?1317950/

- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹. سند ملی آمایش سرزمین، ویرایش نهایی. دبیرخانه شورای عالی آمایش سرزمین، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۴۳ صفحه.
- ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۴۰۰. نگاهی به ستاد احیای دریاچه ارومیه. آدرس آنلاین: https://www.ulrp.ir/fa/
- طرح مدیریت پایدار منابع آب و خاک حبله‌رود. ۱۴۰۰. معرفی طرح مدیریت پایدار منابع آب و خاک حبله رود. آدرس آنلاین: http://www.hablehroud.ir/fa/News/Item/About
- مصفایی، جمال و علی طالبی. ۱۳۹۳. نگاهی آماری به وضعیت فرسایش آبی در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲(۵): ۹-۱۷.
- مصفایی، جمال و امین صالح‌پور جم. ۱۳۹۷. لزوم برنامه‌ریزی و حکمرانی آبخیزداری در مقیاس حوضه رودخانه در ایران. سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۱۹۵-۱۲۰۱.
- مصفایی، جمال، داود نیک‌کامی و امین صالح‌پور جم (۱۳۹۸). آبخیزداری در ایران: تاریخچه، تکامل و نیازهای آتی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۲): ۲۸۳-۳۰۰.
- منارید، ۱۴۰۰. معرفی منارید. آدرس آنلاین: http://www.menarid.ir/fa/News/Detail/About
- نیک کامی، داود. ۱۳۸۸. تدوین برنامه راهبردی حفاظت خاک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ۲۷۷ صفحه.
- نیک‌کامی، داود، رضا بیات، علیرضا شادمانی، رحیم کاظمی و مسعود یوسفی. ۱۳۹۲. بررسی الگوی استفاده از اراضی در استان‌های مرکزی ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۲۸ صفحه.
- نیک‌کامی، د.، رضا بیات و علیرضا شادمانی. ۱۳۹۴. بررسی الگوی استفاده از اراضی در استان‌های غربی ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۹ صفحه.
- نیک‌کامی، د.، رضا بیات، علیرضا شادمانی و فرود شریفی. ۱۳۹۵. بررسی الگوی استفاده از اراضی در استان‌های شمال غربی ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۳۴ صفحه.
- نیک‌کامی، داود، محمود عرب‌خدری، حمیدرضا پیروان، جهانگیر پرهمت، نادر حیدری، مجتبی صانعی، محمد فیاض، محمدرضا بلالی، حسین بشارتی کلایه، رحیم کاظمی، علی‌اکبر نوروزی، محمدرضا غریب‌رضا، صمد شادفر، ضیاءالدین شعاعی، محمد خسروشاهی، حامد رضائی، سعید

سعادت. ۱۳۹۷. زیربرنامه کلان علم و فناوری شناخت و پایش عوامل موثر بر تخریب و حفاظت خاک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۵۱ صفحه.

- نیک‌کامی، داود، صمد شادفر و علی جعفری اردکانی. ۱۳۹۹. تهیه و یکپارچه‌سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حو ضه‌ها و تو سعه پایگاه داده‌های مکانی، زمانی و مو ضوعی مرتبط با فر سایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های رده هفت کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۸۴ صفحه.
- Chen Meiqiu, Xiaohua Wei, Hongsheng Huang and Tiangui Lu. 2011. Poyang Lake basin: a successful, large-scale integrated basin management model for developing countries. Water Science and Technology, 63.9: 1899-1905 .
- Dieperink, C. 2000. Successful international cooperation in the Rhine catchment area. Water Int. 25(3): 347–355.
- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F. 2001. Land degradation: an overview. In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.). Responses to Land Degradation. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand, January 25-29, 1999. Oxford Press, New Delhi, India.
- Guangyu, W., Mang, Sh., Cai, H., Liu, Sh., Zhang, Zh., Wang, L. and Innes, J. 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. J. For. Res. 27(5): 967–994. DOI 10.1007/s11676-016-0293-3.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M.and Hassanzadeh, Y. 2012. Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling, Water Resour. Manage. 26:129–145. DOI 10.1007/s11269-011-9909-8.
- Nikkami, D., Elektorowicz, M., Mehuys, G.R. 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water Quality Research Journal of Canada, Vol. 37 No. 3.
- Nikkami1, D., Shabani, M., Ahmadi, H. 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. Journal of Applied Sciences, 9 (2): 287-295.
- Sadeghi, S.H.R., Jalili, Kh., Nikkami, D. 2008. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy, Vol. 26, No. 2, 186-193.
- Smit, A.J.M. 2005. Evolution of river basin management in the Rhine River Basin and lessons for China in its quest to develop a sustainable land use and water management strategy. In: CCICED task force task on integrated river management (ed) Lessons learned from integrated River Basin management: proceedings of international symposium on integrated River Basin management. China Environmental Science Press, Beijing, pp 75–87.

بررسی مشکلات و موانع تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و راهکارهای برون‌رفت از بن‌بست‌های فعلی

جهانگیر پرهمت*

*-استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، (*Porhemmat@scwmri.ac.ir*)

چکیده

در دهه‌های اخیر یکی از مهمترین چالش‌های مدیریت منابع آب زیرزمینی، برداشت بیش از ظرفیت طبیعی و ذخیره دینامیک آبخوان‌ها می‌باشد. این مشکل در مناطق خشکی و نیمه خشکی مثل کشور ایران که بیش از پنجاه درصد منابع آب آن از منابع آب زیرزمینی تأمین می شود دو چندان بوده و بروز خشکسالی‌ها نیز مزید بر آن شده است. پیامد این بهره‌برداری بیش از حد و بروز همزمان خشکسالی کاهش سطح آب آبخوان‌ها و مصرف ذخیره استاتیک آن‌ها شده است. برای برون رفت از این بحران چاره‌ای جز ایجاد شرایط لازم برای تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و توقف روند رو به رشد افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان‌ها نیست. بررسی نتایج اقدامات مدیریتی و حفاظتی از منابع آب زیرزمینی حاکی از این است که با وجود تصویب قوانین و مقررات متعدد، افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های کشور متوقف نشده و همچنان تداوم دارد. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که برنامه‌های تعادل‌بخشی متمرکز بر یک سری اقدامات برای مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز و یا کاهش بهره‌برداری از چاه‌های مجاز بوده است و لذا بدون توجه به مسائل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی پی‌ریزی شده‌اند. از طرفی در برنامه‌های فعلی که عمدتاً دستوری هستند علاوه بر نادیده‌انگاشتن مسائل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی بهره‌برداران، رفتار هیدروژئولوژیکی و تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان را مد نظر قرار نداده‌اند. بنابراین برنامه تعادل‌بخشی بایستی مبتنی بر ویژگی های هیدروژئولوژیکی و تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان و نیز پیوستگی و ارتباط هیدرولیکی بین آبخوانهای مختلف در یک دشت، در مقیاس حوزه آبخیز و با مشارکت بهره‌برداران و لحاظ مسائل اجتماعی و اقتصادی برنامه‌ریزی شود. در تعادل‌بخشی بایستی طرح جامعی که علاوه بر مدیریت بهره‌برداری و کنترل برداشت آب از منابع زیرزمینی را در بر داشته باشد، مبتنی بر ظرفیت های طبیعی حوضه و نیز با لحاظ تغییرات زمانی و مکانی ویژگیهای هیدرودینامیکی آبخوان برای هر آبخوان مستقلاً تهیه تا قابلیت تحقق پیدا کند.

واژه‌های کلیدی:

تعادل‌بخشی آبخوان، آب زیرزمینی، تغذیه و تخلیه آبخوان، ذخیره دینامیک آبخوان، چاه‌های غیرمجاز، بهره‌برداری بی رویه،

مقدمه

امروزه کمبود آب به یکی از مهمترین چالشهای جهان تبدیل شده است. بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که شدت بحران مضاعف شده است. در چنین شرایطی آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین مولفه‌های منابع آب به دلیل برداشت بیش از ظرفیت تجدیدپذیری در معرض افت شدید بوده (پرهمت و همکاران، ۱۳۹۷) و لذا نیاز ضروری به مطالعه جامع منابع آب زیرزمینی را بیش از پیش آشکار می‌سازد (Mahmoudi و همکاران، 2017). منابع آب زیرزمینی با توجه به طولانی بودن دوره تجدیدپذیری آن در معرض آسیب جدی می‌باشد. نتایج پژوهش‌های متعددی بر چنین شرایط حساس و آسیب‌پذیر تأکید و هشدار داده‌اند (Praveena و Aris، 2010؛ پرهمت و همکاران، ۱۳۹۷). امروزه افت تراز سطح آب زیرزمینی فقط به کاهش منابع آب قابل دسترس محدود نشده، بلکه عوارض متعدد دیگری از جمله فرونشست زمین، از دست رفتن مشاغل مرتبط با کشاورزی و متعاقب آن خالی شدن روستاها از سکنه و مهاجرت، تهدید امنیت غذایی و ... را در پی خواهد داشت. حتی در شرایطی تمدن‌های چند صد ساله و یا چند هزار ساله را متأثر ساخته است. از طرفی افزایش تقاضای آب، تغییرات اقلیمی، توسعه بیابان‌ها و شوره‌زارها و گسترش آلاینده‌های صنعتی و شهری و پساب‌ها کمیت و کیفیت منابع آب را بخصوص منابع آب آبخوان‌ها را متأثر نموده‌اند. بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها تأثیرات نامطلوبی بر ذخیره آنها گذاشته (Praveena و Aris، 2010) به‌طوری‌که خشکسالی‌های پیاپی و تغییرات احتمالی اقلیمی می‌تواند موضوع را بحرانی‌تر نماید. با وجود این منابع آب زیرزمینی سهم قابل توجهی حتی تا بیش از ۵۰ درصد در تأمین نیاز آبی بخش‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی را در سطح جهانی دارا می‌باشد و لذا این نیاز آبی، موجب بهره‌برداری بی رویه از منابع آب زیرزمینی شده است (Siebert و همکاران، ۲۰۱۰: Boisson و همکاران، ۲۰۱۴: پرهمت و همکاران، ۱۳۹۷: Hashemi و همکاران، ۲۰۲۳: بیات و همکاران، ۱۳۹۹). شایان ذکر است که بر اساس گزارش مرکز پژوهشهای مجلس (۱۳۹۸) سهم منابع آب زیرزمینی در مصرف آب در سطح ملی ۵۷ درصد آب شرب شهری و ۸۳ درصد شرب روستایی و ۵۲ درصد از آب کشاورزی بوده و به‌طور کلی ۵۵ درصد از کل نیاز بخشهای مختلف کشور از آب زیرزمینی تأمین می‌شود (مرکز پژوهشهای مجلس، ۱۳۹۸). ذخیره سازی و بازیافت منابع آب به وسیله آبخوان‌ها، پتانسیل قابل توجهی برای افزایش دسترسی به منابع آب با ذخیره رواناب و سیلاب‌ها و حتی فاضلاب تصفیه شده، برای استفاده آتی می‌باشد. تقاضا برای ذخیره طولانی مدت آب به دلیل تغییرات آب و هوایی جهانی همچون وقوع خشکسالی های مکرر و بارندگی‌های حدی، و نیز رشد جمعیت به سرعت در حال افزایش است (Vörösmarty و همکاران، ۲۰۰۰: Bouwer، ۲۰۰۲). بنا براین آبخوانها در معرض تهدید جدی ناشی از افت تراز سطح آب بوده و لذا بایستی به نحوی چاره‌اندیشی شده و تعادل‌بخشی این آبخوان‌ها را هم از نظر کمی و هم از نظر

کیفی فراهم نمود. در مقابل افت سطح آب در آبخوان‌ها، سالانه سیل موجب تلفات انسانی و خسارات زیادی به زیرساخت‌ها و محیط زیست می‌شود (Yaseen و همکاران، ۲۰۲۳). سیل از فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد که ابعاد آن تحت تأثیر شرایط مختلف طبیعی و مصنوعی سطحی زمین و نیز شرایط مختلف اقلیمی تغییر می‌نماید. این پدیده در صورت عدم شناخت، کنترل و مهار، از بلایای طبیعی به شمار آمده و خسارات و تلفات جانی همواره در پی خواهد داشت (پرهمت، ۱۳۹۵). با این وصف با مهار سیل و استفاده در تعادل‌بخشی آبخوان‌ها هم از خسارات و تلفات سیل جلوگیری شده و هم اینکه شرایط تغذیه و احیای آبخوان‌ها فراهم می شود. بعلاوه این‌که از هدر رفت منابع آب سیل نیز جلوگیری می‌شود.

مواد و روش‌ها

ایجاد شرایط لازم برای تعادل بین ورودی و خروجی در یک آبخوان تعادل بخشی است، پس کوچک‌ترین واحد برنامه‌ریزی در تعادل‌بخشی یک آبخوان است. آبخوان بخشی از یک حوزه آبخیز است که مخزنی زیرزمینی برای ذخیره و انتقال آب به صورت طبیعی می‌باشد. با وجود این ممکن است در یک حوزه آبخیز چندین آبخوان در یک دشت و یک یا چندین دشت با آبخوان‌های متعدد در یک حوزه آبخیز واقع شده باشد. بنا بر این آبخوان بعنوان کوچکترین واحد معرف تعادل‌بخشی، دشت که ممکن است در برگیرنده چند آبخوان باشد و حوزه آبخیز که ممکن است در برگیرنده چند دشت باشد. انواع آبخوان‌ها از نظر ساختار زمین شناسی به سه دسته قابل تقسیم می‌باشد که شامل آبخوانهای آبرفتی، آبخوانهای کارستی و آبخوانهای ترکیبی می‌باشد. با وجود اهمیت آبخوان‌های کارستی ولی امروزه در تعادل بخشی توجه عمدتاً به آبخوانهای آبرفتی است و به دلیل عدم شناخت و نداشتن اطلاعات کافی از آبخوانهای کارستی این ظرفیت عظیم مورد توجه نیست! اگرچه در بسیاری از موارد آبخوان‌های آبرفتی و کارستی در مجاورت هم بوده و ارتباط انتقال آب به همدیگر را دارند. در یک بررسی اجمالی مسائل و چالش‌های اصلی روز در مدیریت آبخوان‌ها به شرح زیر است:

۱- تداوم افت سطح آب زیرزمینی در آبخوانها به عنوان یک بحران ملی

۲- وقوع پدیده فرونشست در دشتهای در برگیرنده آبخوانهایی که در معرض افت قرار گرفته‌اند

۳- افزایش روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب و محدودیت منابع (تناقض و پارادکسهای توسعه و ظرفیت منابع)

۴- وابستگی بخش‌های مولد اشتغال و محدودیت منابع آب به عنوان پیشران این بخش‌ها

۵- توزیع جغرافیایی نامتوازن و متفاوت منابع آب و نیاز آبی

۶- افزایش پدیده‌های نوسانات آب و هوایی و خشکسالی‌ها و کاهش منابع آب بخصوص منابع آب سطحی و ضرورت جبران از منابع زیرزمینی

۷- رخداد تغییرات اقلیمی (متوسط بارش از ۲۵۰ میلیمتر به ۲۳۸)، کاهش سهم رواناب و تغذیه طبیعی آبخوانها در سال‌های اخیر

۸- وجود تعارض منافع در دستگاه‌های حاکمیتی متولی آب کشور (هم داور حقابه و هم اخذ و تعیین قیمت) و با وجود قوانین متعدد ۴۰ درصد چاه‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی غیر مجاز هستند.

۹- نا دیده گرفتن حقوق عرفی بهره‌برداران سنتی از منابع آب

۱۰- جهت‌گیری اعتبارات دولتی به طرحهای آب که درآمد مستقیم دارند و ناترازی سرمایه‌گذاری دولت در زیربخش‌های مختلف منابع آب و بخصوص عدم توجه کافی به حفاظت منابع آب زیرزمینی

با وجود مشکلات یاد شده اطلاعات اصلی در دسترس از آبخوان‌های آبرفتی بوده و آمار و اطلاعات قابل اعتمادی از آبدهی، تغییرات تراز سطح آب، دامنه و گسترش آبخوان‌های کارستی در دست نیست. لازم به ذکر است که منبع اصلی دبی پایه رودخانه‌ها در سطح کشور عمدتاً آبخوان‌های کارستی می‌باشد. بنابراین، نتیجه‌گیری این است که وضعیت آبخوانهای آبرفتی کشور بحرانی است و از آبخوانهای کارستی هم بی خبر هستیم! و نمی‌توان فرض نمود که وضعیتی بهر از آبخوان‌های آبرفتی دارند! بر این اساس سوال اصلی این است که:

۱- آیا برنامه‌های تعادل بخشی جبران وضعیت فوق را در بر دارد؟

۲- پارادکسهای توسعه و ظرفیت منابع در طرحهای تعادل بخشی چگونه حل می‌شود؟

۳- آیا ماتریسهای چند بعدی و پیچیده مسائل اصلی و چالش‌های اصلی روز در مدیریت آبخوانها در برنامه های در دست اجرا برای تعادل‌بخشی، قابل حل هستند؟ اگر پاسخ مثبت است راه حل چیست؟

با این وصف در این مقاله در بررسی مشکلات و موانع تعادل‌بخشی آبخوان‌ها و راهکارهای برون‌رفت از بن‌بست‌های فعلی در سه بخش شامل معرفی انواع آبخوان‌ها و امکان‌پذیری احیا و تعادل‌بخشی هر کدام، هیدرولیک جریان زیرزمینی و تعادل‌بخشی و سپس مروری بر قوانین و مقررات کشور و موانع تعادل‌بخشی پرداخته می شود. بعلاوه از آن‌جایی که تعادل‌بخشی در مقیاس زمانی و مکانی مفهوم پیدا می‌کند لذا در ارائه نمونه واقعی از شرایط در بررسی‌های یاد شده مثال‌هایی از آبخوان دشت رواندسر-سنجابی استان کرمانشاه استفاده شده است.

بحث و نتایج

انواع آبخوان‌ها و امکان‌پذیری احیا و تعادل‌بخشی

آبخوان سازندی است که حاوی مقدار کافی از مواد نفوذپذیر اشباع برای آبدهی قابل ملاحظه به یک چاه یا چشمه باشد، این بدین معنی است که آبخوان دارای توانایی ذخیره و انتقال آب است. ماسه‌ها و شن‌های تحکیم نیافته نمونه‌های بارزی از آبخوان هستند. علاوه بر این، یک آبخوان می‌تواند

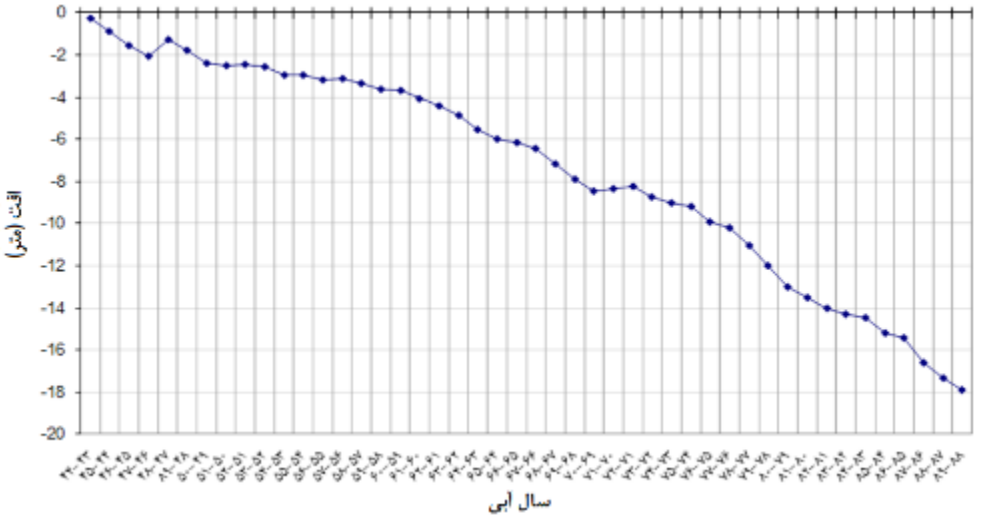
از یک لایه غیراشباع واحدهای نفوذپذیر نیز تشکیل شود. آبخوان‌ها معمولاً گسترش زیادی دارند و ممکن است توسط یک لایه محدود کننده نسبتاً نفوذ ناپذیر از نظر چینه‌شناسی، پوشانده شده و یا بر روی آن قرار گیرد، این لایه‌های نسبتاً نفوذ ناپذیر معمولا به سه دسته بر حسب میزان نفوذپذیری و توانایی انتقال آب تقسیم می شوند. ان سه شامل آکی‌کلود (Aquiclude)، آکی‌فیوژ (Aquifuge) , آکی‌تارد (Aquitard) می‌باشد. آکی‌کلود یک لایه اشباع شده اما نسبتاً غیر قابل نفوذ است که مقدار قابل توجهی آب به چاه نمی دهد و رس‌ها یک مثال از آن است. آکی‌فیوژ سازند نسبتاً نفوذناپذیری است که نه حاوی آب و نه قدرت انتقال دهندگی آب را دارد مثل لایه‌های گرانیتی که متراکم می‌باشند. آکی‌تارد یک لایه اشباع شده است که دارای نفوذپذیری ضعیفی بوده ولی مانع حرکت آب‌های زیرزمینی می‌شود و آب را آزادانه به چاه نمی‌دهد، ولی ممکن است آب قابل توجهی را به آبخوان‌های مجاور منتقل کند.رس‌های ماسه‌ای نمونه‌ای از یک آکی‌تارد هستند (Todd و Mays، ۲۰۰۵). با این وصف یک آبخوان ممکن است آزاد باشد و سطح آب در آن دارای فشار جوی باشد و یا ممکن است محبوس باشد یعنی به‌وسیله یک لایه نفوذناپذیر پوشیده شده و دارای سطح پیزومتری باشد که بار هیدرولیکی آن بالاتر از سطح آبخوان می‌باشد. سازند تشکیل دهنده آبخوان نوع اخیر در خارج از این محدوده در معرض تغذیه طبیعی قرار گرفته و یا به وسیله یک اکی‌تارد تغذیه می‌شود. با این وصف شیوه تعادل‌بخشی نیز بر حسب نوع آبخوان متفاوت است. تعادل‌بخشی برای رسیدن به شرایط طبیعی اولیه با دست‌کاری‌های انجام شده به سادگی امکان پذیر نیست. همچنین مقیاس زمانی برای تعادل‌بخشی معمولاً کوتاه مدت نیست، زیرا حرکت آب زیرزمینی بخصوص در لایه‌های آبرفتی کند می‌باشد. شرایط متفاوت آبخوان‌ها از ویژگی‌های مسیر گذر آب از سطح به عمق تا رسیدن به سطح ایستابی، کیفیت آب مورد استفاده در تغذیه بخصوص در تغذیه مصنوعی که بخشی از آبهای مورد استفاده استفاده از سیل گل‌الود می‌باشد)، شیب سطحی زمین و لایه‌های زیر سطحی و بافت خاک و نوع تخلل و ویژگی‌های هیدرودینامیکی مسیر عبور آب همه روند تغذیه یک آبخوان را متأثر می‌سازند.

وضعیت آبخوان‌های کشور ایران در یک نگاه

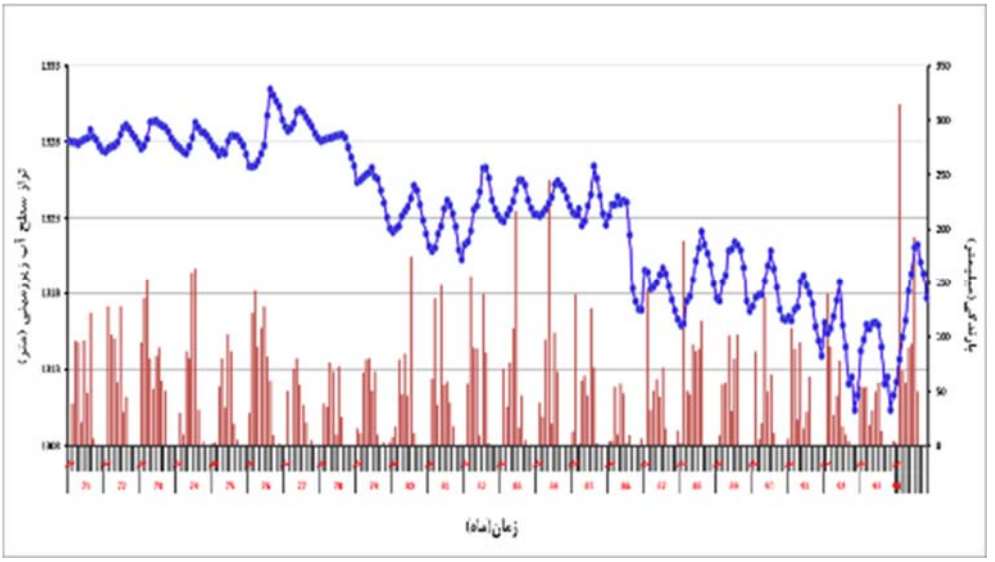
بر اساس بررسی‌های انجام شده سالانه قریب به ۴/۷ میلیارد مترمکعب از ذخائر استاتیک آبخوان‌های کشور با اضافه برداشت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (موسسه تحقیقات آب کشور، گزارش به شورای عالی آب، ۱۴۱). شکل(۱) روند کسری تجمعی حجمی آبخوان‌های کشور را نشان می‌دهد (موسسه تحقیقات آب، ۱۴۰۰). همچنین شکل (۲) متوسط افت تجمعی تراز سطح آبخوان‌های کشور در یک دوره ۴۵ ساله (موسسه تحقیقات آب، ۱۴۰۰). این اضافه برداشت سالانه به طور متوسط ۵۵ سانتی‌متر افت طی ۵۰ سال گذشته درکشور ایجاد نموده است که بالغ بر ۲۵ متر شده است. این بدین معنی است که در برخی آبخوان‌ها ممکن است افتهای شدیدی قریب به یکصد متر روی داده باشد. این

روند برای آبخوان‌های کشور طی ۵۰ سال گذشته و بخصوص طی ۲۵ سال گذشته روی داده است. شکل (۳) هیدروگراف واحد آبخوان روانسر-سنجابی را بهمراه بارندگی سالانه این منطقه نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ کاهش بارندگی بوده و همزمان تراز سطح آب زیرزمینی شروع به افت نموده است. طی مدت ۱۵ سال از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۹۶-۱۳۹۵ متوسط افت تراز سطح آبخوان ۱۵ متر بوده که سالانه ۷۱ سانتی‌متر می‌باشد. براساس شکل (۳) طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ بارندگی کاهش و لذا خشکسالی روی داده است، ولی از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۸۵ که بارندگی به وضعیت نرمال برگشته تراز سطح آب زیرزمینی به حالت اولیه سال‌های ماقبل ۱۳۷۷ برنگشته است، به طوری که تنها حالت پایداری پیدا کرده است و روند افت متوقف شده است. همچنین، از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۳ مجدداً تراز سطح آب آبخوان روند کاهشی یافته است. با این وصف آبخوان در شرایطی که در معرض افت شدید قرار گرفته است با وجود ترسالی‌های بعدی به حالت اولیه بر نمی‌گردد. بررسی‌های انجام شده توسط پرهمت و همکاران (۱۳۹۹) نشان می‌دهد که طی این مدت چهار دوره شامل ترسالی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۸-۱۳۷۷، خشکسالی ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۳-۱۳۸۲، ترسالی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۶-۱۳۸۵ و خشک سالی ۸۷-۱۳۸۶ الی ۹۵-۱۳۹۴ می‌باشد. هم‌چنین در این تحقیق نتیجه‌گیری نمودند که با وقوع خشکسالی، کاهش بارندگی باعث بهره‌برداری بیشتر از منابع آب شده است. بنابراین، در شرایط خشکسالی علاوه بر تأثیر مستقیم کاهش بارش بر تغذیه طبیعی و کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، بهره‌برداری بیشتر از این منابع در آبیاری برای جبران کمبود بارش، نسبت به سال‌های نرمال سبب شده که به‌طور غیرمستقیم سبب تشدید کاهش منابع آب شود. با این وصف می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روند کاهشی تراز سطح آب در دهه‌های اخیر ناشی از خشکسالی به‌طور مستقیم و برداشت مضاعف صورت گرفته است. برای بررسی روند کاهشی سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های کشور هیدروگراف واحد آبخوان دشت کرج در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ در شکل (۴) نشان داده شده است. شکل (۴) نیز همانند شکل (۳) با شیبی تند طی ۱۰ سال افتی معادل ۷ متر و سالانه ۷۰ سانتی‌متر افت را نشان می‌دهد. بنا بر این شکل‌های (۲) تا (۴) یک روند عمومی کاهشی تراز سطح آب آبخوان‌های کشور را هم در مقیاس ملی و هم در نقاط مختلف کشور در سطح دشت‌های مستقل از هم نشان می‌دهند و حاکی از بحران مدیریت آبخوان‌ها می‌باشد. بر این اساس نه تنها ذخیره دینامیک آبخوان سالانه بهره‌برداری شده است، بلکه ذخیره استاتیک نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

شکل ۱- روند کسری تجمعی حجمی آبخوان‌های کشور (موسسه تحقیقات آب، ۱۴۰۰)



شکل ۲- متوسط افت تجمعی تراز سطح آبخوان‌های کشور در یک دوره ۴۵ ساله
(موسسه تحقیقات آب، ۱۴۰۰)

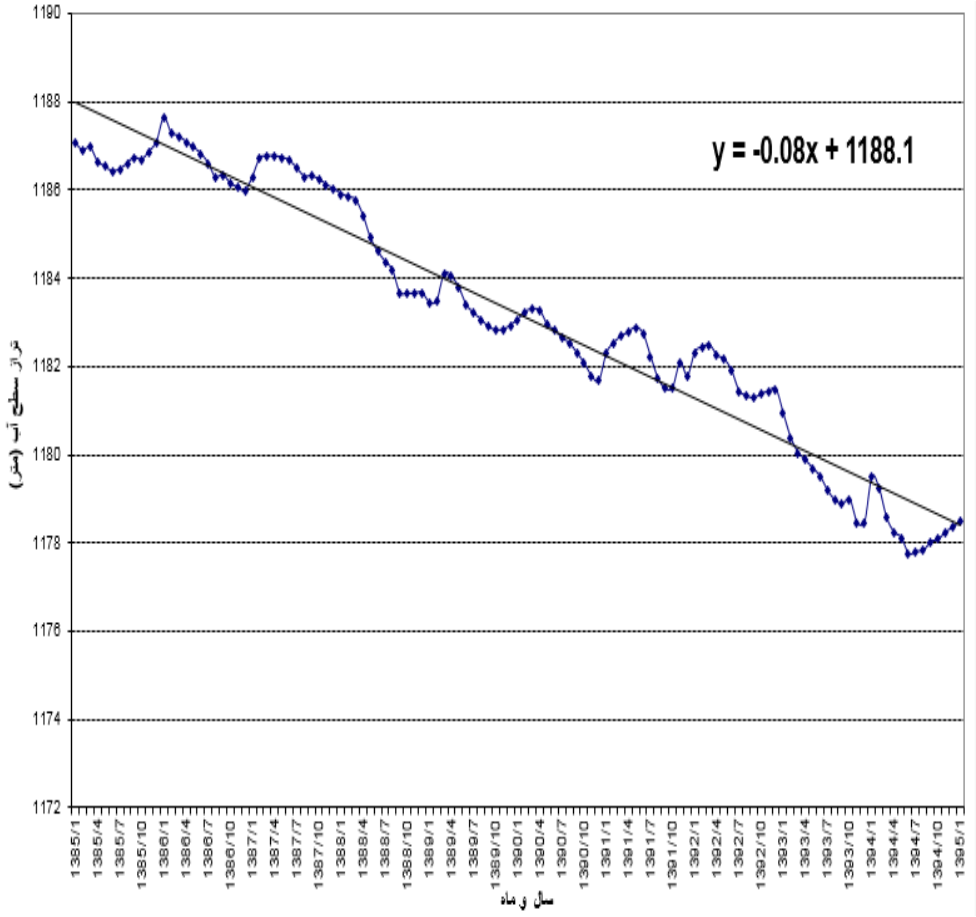


شکل ۳- بارندگی و هیدروگراف واحد آبخوان روانسر- سنجابی (پرهمت و همکاران، ۱۳۷۹)

فرآیند تغذیه و تخلیه آبخوان‌ها

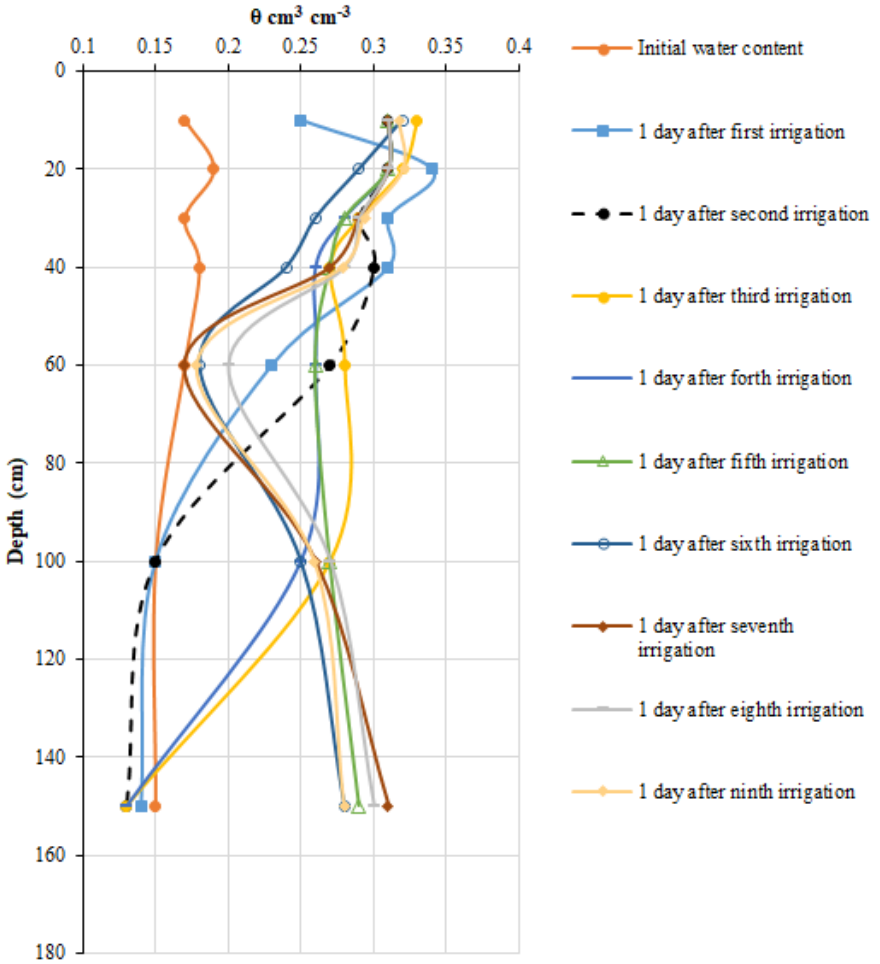
حرکت آب در آبخوان‌های آبرفتی حرکتی کند و بطئی است. این فرآیند در محیط غیر اشباع نسبت به محیط اشباع این نوع آبخوان‌ها خیلی کندتر بوده، به طوری‌که ممکن است انتقال یک جبهه رطوبتی کمتر از یک متر در روز جابجایی داشته باشد. تنها استثنای این فرآیند برای شرایطی است که یک جریان دائمی سطحی تأمین کننده منبع تغذیه آبخوان با شد، به‌طوری که از سطح زمین یا محل منبع تغذیه تا تراز سطح ایستابی آبخوان محیط اشباع باشد که در این صورت جریان از قوانین ظروف مرتبطه پیروی می‌نماید. بنابراین فرآیندهای هیدرولوژیکی تغذیه آبخوانهای آبرفتی فرآیندهایی کند و بطئی ا ست. شکل (۵) حرکت جبهه رطوبتی خاک را بعد از هر وقایع آبیاری در سامانه آبیاری غرقابی ن شان می‌دهد. این شکل ن شان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه خشک که بارندگی‌های متوالی کمتر رخ نمی‌دهد، جبهه رطوبتی حاصل از هر مرحله تغذیه طبیعی ناشی از بارش و یا آبیاری با تأخیر زمانی زیادی متناسب با عمق تراز سطح آب زیرزمینی به محیط اشباع رسیده و بر ذخیره دینامیک یا استاتیک آبخوان می‌افزاید. بر اساس نتایج پژوهشAltafi Dadgar و همکاران (۲۰۱۸) همبستگی نسبتاً بالایی بین تغییرات تراز سطح آب ناشی از تغذیه با بارش از سطح زمین با تأخیر ۲ ماهه مشاهده شد. همچنین در پژوهش دیگری از Altafi Dadgar و همکاران (۲۰۱۸) بر اساس نتایج مشاهدات صحرایی و نیز مدل سازی جریان غیرا شباع اعلام نموده‌اند که آب آبیاری و یا بارندگی بعد از ۴۰ روز به تراز سطح آب آبخوان ر سیده ا ست. با این و صف بین جریان تغذیه که فرآیندی کند و بطئی ا ست با

پمپاژ از آبخوان‌ها که فرآیندی سریع برای آب‌گیری از آبخوان می‌باشد تعادلی وجود ندارد و به همین دلیل آب برداشت شده از آبخوان به زودی از تغذیه جبران نمی‌شود.



شکل ۴- هیدروگراف واحد آبخوان کرج (مستخرج از داده‌های تراز سطح آبخوان دشت کرج)

بر ا ساس شکل (۵) تنا سبی بین سرعت تخلیه و تغذیه آبخوان وجود ندارد، زیرا تخلیه با پمپاژ در مدت بسیار کوتاهی حجم زیادی از ذخیره آبخوان را برداشت می‌نماید. این مهمترین موضوعی است که بایستی در تعادل‌بخشی مورد توجه قرار گرفته و رابطه تغذیه و تخلیه آبخوان برای شرایط مختلف ترسالی، خشکسالی و نرمال تعریف شود.



شکل ۵- هیدروگراف واحد آبخوان کرج (اقتباس از Altafi Dadgar و همکاران، ۲۰۱۸)

قوانین و مقررات مرتبط با تعادل‌بخشی آبخوان‌ها

تعادل بخشی آبخوان‌ها در برخی قوانین مصوب مجلس و نیز مصوبات شورای عالی آب کشور مورد توجه قرار گرفته و یا اینکه متأثر شده است. از سال ۱۳۴۷ تا کنون حداقل ۶ مورد مصوبه قانونی مجلس و یک مورد مصوبه شورای عالی آب کشور تعادل‌بخشی و ضوابط بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را در بر دارد. مهمترین مواردی از قوانین و مقررات که به طور مستقیم و یا غیر مستقیم با تعادل بخشی مرتبط می‌باشد شامل هفت مورد می‌باشد. جدول (۱) فهرست قوانین و مقررات، مراجع و تاریخ تصویب این موارد را نشان می‌دهد. تبصره ۲ ذیل ماده ۲۳ قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب سال ۱۳۴۷

مجلس وقت، اولین مصوبه قانونی در رابطه با چاه‌های غیرمجاز می‌باشد. بر اساس این قانون دولت موظف شده با حضور نماینده دادستان، همه چاه‌های غیرمجاز را بدون پرداخت خسارت مسدود نماید. در سال ۱۳۶۱ قانون توزیع عادلانه آب به تصویب مجلس شورای اسلامی رسیده است. به استناد ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب، استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی از طریق حفر هر نوع چاه و قنات و توسعه چشمه در هر منطقه از کشور، منوط به مجوز و موافقت وزارت نیرو شده و مقرر شده که صدور پروانه حفر و بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی با توجه به خصوصیات هیدرولوژی منطقه (شناسایی طبقات زمین و آبهای زیرزمینی) توسط وزارت نیرو انجام شود. همچنین به استناد تبصره ذیل قانون الحاق یک ماده به قانون وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین نسخ شده است.

بر اساس ماده ۳ قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشکسالی و یا سرمازدگی در سال ۱۳۸۳ مقرر شد که از ابتدای سال ۱۳۸۴ دریافت هرگونه وجه به عنوان حق‌النظاره آب از فعالیتهای بخش کشاورزی و دامداری ممنوع شود. همچنین بر اساس قانون الحاق یک ماده به قانون وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین در سال ۱۳۸۴ وزارت نیرو موظف شده است چاههایی را که در مناطق ممنوعه قبل از تصویب قانون توزیع عادلانه آب موضوع تبصره ذیل ماده۳ قانون فوق‌الذکر بدون پروانه حفر شده‌اند را تا پایان سال ۱۳۸۴ تعیین تکلیف نماید. همچنین با انقضاء این مهلت، تبصره ذیل ماده (۳) قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۸۱/۱۲/۱۶ لغو شده و نیز از متقاضیان چاههای موضوع این قانون وجوهی برای صدور پروانه بر اساس تعرفه‌ای که به تصویب هیأت دولت خواهد رسید دریافت و به درآمد عمومی کشور واریز و در قالب قوانین بودجه سالانه کشور صرف مطالعه و اجرای طرحهای جایگزینی آب زیرزمینی (تأمین و انتقال آب، تغذیه مصنوعی، تغییر سیستمهای آبیاری) جهت جبران معادل آب تخصیص یافته همان دشت خواهد شد.

در سال ۱۳۸۹ ماده واحده‌ای برای تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری، به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. بر اساس این ماده واحده وزارت نیرو موظف شده است ضمن اطلاع‌رسانی فراگیر و مؤثر به ذی‌نفعان، طی دو سال تمام پس از ابلاغ این قانون، برای کلیه چاه های آب کشاورزی فعّال فاقد پروانه واقع در کلیه دشت‌های کشور که قبل از پایان سال ۱۳۸۵ هجری شمسی حفر و توسط وزارت نیرو و دستگاه های تابعه استانی شناسایی شده باشند و براساس ظرفیت آبی دشت مرتبط، و با رعایت حریم چاه‌های مجاز و عدم اضرار به دیگران و عموم مشروط به اجراء آبیاری تحت فشار توسط متقاضی پروانه بهره‌برداری صادر نماید. بعلاوه در همین سال مواد ۲۶، ۲۷ و ۳۴ قانون افزایش بهره وری مصوب سال ۱۳۸۹ به ترتیب بر تحویل حجمی آب، استحصال آب برای کسری آبخوانها با ذخیره ۱۵٪ از نزولات و تهیه سند ملی توسعه منابع آب را مصوب نموده است.

آخرین مصوبه‌ای که مواد آن قابل توجه بود مصوبه شورای عالی آب کشور در سال ۱۳۹۳ است. شورای عالی آب در پانزدهمین جلسه خود در سال ۱۳۹۳ محورهای متعددی را برای تعادل‌بخشی

مصـــوب نمود. از جمله این مصـــوبات ۱۵ پروژه تحت عنوان احیا و تعادل‌بخشـــی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بعلاوه برای اجرایی نمودن ۱۵ پروژه، طی ۱۴ بند تقسیم کاری اداری بین دستگاه‌های اجرایی ذیربط نیز در این جلسه به تصویب رسیده است.

اگر چه قوانین و مصوبات قانونی متعددی برای حفاظت منابع آب زیرزمینی و موضوع تعادل‌بخشی آبخوان‌ها وضع شده است، ولی همانطور که در سطور پیشین ذکر شد روند افت در آبخوان‌های کشور ادامه دارد. بنابراین اثربخشـــی قوانین و مصـــوبات شـــورای عالی اداری برای تعادل‌بخشـــی قابل ملاحظه نیست و نه تنها تا کنون تأثیری برای جبران افت نداشته است بلکه حتی روند کاهشی تراز سطح اب آبخوان‌ها و نیز کاهش حجم ذخیره اســتاتیک این آبخوان‌ها را متوقف نکرده اســت. بنابراین یا قوانین به دلایل مختلف فنی، اجتماعی و ســیاســی قابلیت اجرایی نداشــته‌اند، و یا اینکه بســتر اجرایی قوانین و مقررات فراهم نشده است. لذا جا دارد که طی یک پژوهش به آسیب شناسی عدم اجرای این قوانین پرداخته شود.

جدول ۱– فهرست اهم قوانین و مصوبات مرتبط با تعادل‌بخشی آبخوان‌ها

ردیف	مصوبه	مرجع تصویب	سال تصویب
۱	تبصره ۲ ذیل ماده ۲۳ قانون آب و نحوه ملی شدن آب	مجلس وقت	۱۳۴۷
۲	تبصره ذیل ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب	مجلس شـــورای اسلامی	۱۳۶۱
۳	ماده ۳قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشکسالی و یا سرمازدگی	مجلس شـــورای اسلامی	۱۳۸۳
۴	الحاق یک ماده به قانون وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین	مجلس شـــورای اسلامی	۱۳۸۴
۵	قانون تعیین تکلیف چاههای آب فاقد پروانه بهره‌برداری	مجلس شـــورای اسلامی	۱۳۸۹
۶	موارد ۲۶، ۲۷ و ۳۴ قانون افزایش بهره وری	مجلس شـــورای اسلامی	۱۳۸۹
۷	مصوبه شورای عالی آب برای تعادل بخشی	شورای عالی آب	۱۳۹۳

ظرفیتهای طبیعی تعادل بخشی آبخوانها

با وجود محدودیت‌های زیادی که برای تعادل‌بخشـــی آبخوان‌ها وجود دارد ولی ظرفیت‌های طبیعی متعددی وجود دارد که برای جبران برداشـــت آب از آبخوانها و نیز تنش‌های وارده به آبخوان ناشـــی از خشـــکســـالی‌ها را می‌توان جبران نمود. از جمله این ظرفیت‌ها تکرار سیل‌های متعدد و روند افزایشی شدت و فراوانی آن‌ها، وجود آبرفت‌های درشـــت دانه در دامنه دشـــت‌ها و ســـراب آبخوان‌های در معرض افت، دانش فنی موجود در کشـــور هم

برای مهار سیل و هم برای تغذیه سیلاب و نیز آبخوانداری به طوری که حتی در این کشور ایران دارای الگوهای جهانی است و بالاخره ضرورت کنترل سیل در بالادست به دلیل خسارات و تلفات زیاد در پایین دست که با استفاده در آبخوانداری چند منظوره می شود. گفتنی است که برای آبخوان‌های کارستی که به طور کلی از این مباحث حذف شده‌اند نیز ظرفیت‌های یاد شده قابل استفاده هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی تاریخچه مدیریت و حفاظت منابع آب زیرزمینی حاکی از این است که با وجود تصویب قوانین و مقررات متعدد، افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های کشور متوقف نشده و همچنان تداوم دارد. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با بخشنامه و ابلاغیه تعادل‌بخشی تحقق نمی‌یابد و دولت تا کنون برای تعادل‌بخشی ناتوان بوده است. بعلاوه لازمه تعادل‌بخشی شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی و تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان است که صرف نظر از قوانین و مقررات بایستی با آمار و اطلاعات دقیق حاصل شود. نتایج دیگر این بررسی نشان می‌دهد که به دلیل پیوستگی و ارتباط هیدرولیکی بین آبخوانهای مختلف در یک دشت، مدیریت آبخوان و تعادل‌بخشی آن بایستی در مقیاس حوزه آبخیز برنامه‌ریزی شود. بعلاوه اینکه ظرفیت‌های طبیعی تعادل‌بخشی مثل وجود سیل، در مقیاس حوزه آبخیز مصداق پیدا نموده و در تحقق تعادل‌بخشی و احیای آبخوان، توزیع زمانی و مکانی ویژگیهای هیدرودینامیکی آبخوان مبنای هر تصمیم‌گیری است. در حکمرانی آب نمی توان مسائل اجتماعی و اقتصادی و نظام‌های بهره‌برداری از منابع را به راحتی به هم ریخت، لذا برای هر آبخوان متناسب با شرایط محلی آن و با مطالعه بایستی طرح تعادل‌بخشی به صورت مجزا و بر مبنای ویژگی‌های هیدرودینامیکی و مسائل اجتماعی و اقتصادی حوضه تهیه شود. یکی دیگر از عدم موفقیت اقدامات دولت در اعدل‌بخشی آبخوان‌ها نداشتن اطلاعات دقیق از بهره‌برداری از هر چاه می‌باشد لذا نصب کنتور هوشمند برای تعیین دقیق‌تر برداشت پایدار از منابع آب ضروری است. موضوع دیگر مشارکت آب بران در احیای آبخوان‌های دارای شرایط بحرانی، با استفاده از روشهای توزیعی تغذیه مصنوعی آبخوان مثل پخش سیلاب و یا سطوح آبگیر باران غیرمتمرکز در تغذیه آبخوان مهمترین راه حل احیای آبخوان می‌باشد. ضرورتاً برای درک صحیح توزیع زمانی و مکانی تغییرات سطح آب آبخوان در مقابل برداشت به عنوان جزء لاینفک تعادل بخشی، تهیه مدل توزیعی پیش بینی تراز سطح آب آبخوان در مقابل پیشرانهای مثبت و یا منفی ضروری می باشد.

منابع

بیات، م.ج.، س. جوادی، م. هاشمی شاهدانی، ی. حسنی، و م.ا. بنی‌حبیب. ۱۳۹۸. تعادل‌بخشی آبخوان با روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی مثبت ریاضی در دشت قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۴): ۱۳۳۶-۱۳۴۷.

پرهمت، ج، ۱۳۹۵. مدلی برای بررسی خطر سیل در سطح حوزه‌های آبخیز کشور، مهندسی آبخیزداری، ۱۰ (۳۴) : ۱-۱۴.

پرهمت، ج.، م. الطافی دادگر، و ر. پرهمت. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی تعادل بخشی آبخوان در معرض افت شدید با اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی- مطالعه موردی: حوضه روانسر- سنجابی کرمانشاه. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۵): ۱۴۹-۱۶۳.

پرهمت م.ص.، ج. پرهمت، و م. میرزایی. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر خشکسالی بر کاهش دبی چشمه‌های غرب ایران، مطالعه موردی: سراب نیلوفر. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲ (۴): 1054-1040.

Altafi Dadgar, M, M. Nakhaei, J. Porhemmat, B. Elyasid, and A. Biswas. 2018. Potential groundwater recharge from deep drainage of irrigation water. Science of the Total Environment, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137105

Boisson, A., Baisset, M., Alazard, M., Perrin, J., Villesseche, D., Dewandel, B., Kloppmann, W., Chandra, S., Picot-Colbeaux, G., Sarah, S., Ahmed, S., Maréchal, J.C., 2014, Comparison of surface and groundwater balance approaches in the evaluation of managed aquifer recharge structures: Case of a percolation tank in a crystalline aquifer in India, Journal of Hydrology, 519(Part B):1620-1633.

Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal 10: 121–142. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4

Hashemi, M., H. Mazandarani Zadeh, M. Zarghami, B.W. Demeke, and R. Taraghi Delgarm. 2023. An analysis of why rehabilitation and balancing programs for aquifers do not meet water organizations' targets (a case study of the Qazvin aquifer in Iran), Agricultural Water Management, 281:108258.

Mahmoudi N, M. Nakhaei, and J. Porhemmat. 2017. Assessment of hydrogeochemistry and contamination of Varamin deep aquifer, Tehran Province, Iran. Environmental Earth Sciences. 76:370

Praveena, S.M., and A.Z. Aris. 2010. Groundwater resources assessment using numerical model: A case study in low-lying coastal area. International Journal of Environmental Science and Technology, 7:135-146.

Siebert, S., J. Burke, J. M. Faures, K. Frenken, J. Hoogeveen, P. Doll, and F. T. Portman. 2010. Groundwater use for irrigation—a global inventory. Hydrology and earth system sciences, 14(10): 1863-1880.

Sophocleous, M. 2010. Review: Groundwater management practices, challenges, and innovations in the High Plains aquifer, USA—Lessons and recommended actions, Hydrogeology Journal, 18:559-575.

Todd, D.K. and L.W. Mays. 2005. Groundwater Hydrology, 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 652 p.

Vörösmarty, C.J., P. Green, J. Salisbury, and R.B. Lammers. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. Science 289(5477):284–288. doi:10.1126/science.289.5477.284

Yaseen, M., F., S. Ullah, S.A. Visetnoi, and S.E. Saqib. 2023. Does the Nature of Floods Matter in the Risk Perception of Households? A Comparative Assessment among the Rural Households Prone to Flash and Riverine Floods in Pakistan, Water, 15(3), 504. https://doi.org/10.3390/w15030504

بایسته‌های کنونی در آبخیزداری ایران

سیّدحمیدرضا صادقی

استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و نائب‌رئیس اتحادیه جهانی حفاظت خاک‌وآب، رایانامه: sadeghi@modares.ac.ir، تلفن (نمابر): ۰۱۱۴۴۹۹۸۱۲۳

چکیده

بررسی شرایط و برون‌دادهای بوم‌سازگان‌های مختلف آبخیزهای کشور در قالب سیل، خشکسالی، فرسایش شدید، فرونشست‌ها، لغزش و توفان‌های گردوغبار بر سیر قهقرایی عملکرد آبخیزها و تشدیدشوندگی عوامل مختلف تخریب حکایت دارد. در این راستا عدم وجود رویکردهای منسجم، نظام‌مند و جامع‌گرایانه در برنامه‌های توسعه و موضع‌های ناهمگون با شرایط تخریبی حاکم توسط جوامع مختلف آموزشی، پژوهشی، اجرایی و سیاست‌گذاری بر تشدید وخامت تخریب منابع طبیعی افزوده است. بر همین اساس متناسب با چالش‌های اصلی موجود در آبخیزهای کشور و خارج از هر گونه تعلل و هدررفت زمانی ناشی از فرورفت در گرداب‌های تغییر ساختار و تصویب لایحه‌ها و برنامه‌ها، رویکردهای علمی و پژوهشی مبتنی بر دستاوردهای جهانی و در ادامه تذکرهای گذشته، موارد زیر برای توقف و سپس برون‌رفت از شرایط کنونی و صرفاً متکی بر توانمندی‌های ارزشمند موجود در پیکره‌های دولتی و مردمی تأکید می‌شود.

(۱) تبیین و مفهوم‌سازی حکمرانی آبخیزداری در راستای استقرار نظام مدیریت یکپارچه منابع مختلف آبخیز،

(۲) ارزش‌گذاری و بهره‌وری منابع زیستی و غیرزیستی در بوم‌سازگان‌های مختلف کشور،

(۳) بهینه‌سازی پیوند آب-خاک-غذا-انرژی در مدیریت آبخیز،

(۴) جانمایی مدیریت پایدار و پویای منابع آبخیز در محیط‌زیست در حال‌تغییر،

(۵) پایش و به‌روزرسانی اطلس سیمای آبخیزهای کشور و ارائه تحلیل‌های بهنگام،

(۶) بازیابی، کاربست و توسعه دانش بومی و فناوری‌های نوین دانش‌بنیان و سازگار در حفاظت منابع آبخیز،

(۷) تنسیق غیرمتعصبانه و صرفاً علمی آسیب‌پذیری منابع آبخیز از عوامل انسانی و طبیعی،

(۸) تبیین و تعامل سیاست‌های مدیریتی درون و برون‌منطقه‌ای آبخیز،

(۹) اجرا و بازنگری قوانین، منشورها و اسناد بالادستی حاکم بر مدیریت منابع آبخیز و

(۱۰) تهیه اطلس سلامت و امنیت بوم‌شناختی آبخیزهای کشور برای شناسایی نقاط داغ تخریب.

واژگان کلیدی:

آبخیزداری مؤثر، سلامت و پایداری آبخیز، مدیریت جامع منابع آبخیز، مدیریت منابع آبخیز

❖ بهره‌وری آب در آبخیز

استحصال آب باران ظرفیتی برای برنامه ریزی چند منظوره و مدیریت جامع حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز برکت استان البرز)

جهانگیر پرهمت*[۱]، سید محمد تاج بخش[۲]، مجید الطافی دادگر [۳]، میرمسعود خیرخواه‌زرکش[۴]

۱*- استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران،ایران (jahanpor@yahoo.com)

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند (Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir)

۳- مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی و ژئوترمال، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (Dadgarmajid77@yahoo.com)

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران،ایران (kheirkhahzarkesh96@gmai.com)

چکیده

مدیریت جامع حوزه آبخیز از موضوع‌های با اهمیتی است که از نگاه کارشناسان و دست اندرکاران، جایگاه ویژه‌ای در رسیدن به توسعه پایدار منابع طبیعی دارا می‌باشد. استحصال آب باران به عنوان ابزاری در مدیریت جامع و استفاده از آن در بخش کشاورزی، یکی از روش‌هایی است که از دیرباز مورداستفاده قرارگرفته است. هدف این مقاله، ارائه یک الگوی مدیریت سیل و حفاظت خاک برای احیای حوزه آبخیز تخریب یافته بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت در منطقه کردان استان البرز می‌با شد. به منظور افزایش زمان ماندگاری رطوبت خاک سامانه‌های سطوح آبگیر باران جهت استقرار گونه‌های مثمر گیاهی نظیر بادام، سنجد، عناب، زرشک، بنه، گل‌محمدی و پسته بکار گرفته شده است. در این راستا جهت تامین منابع آبی طرح، تعداد ۱۲ مخزن، شامل حوضچه‌های ذخیره آب (به حجم ۳۶۰۰۰ مترمکعب) در نظر گرفته شد، تا رواناب ایجاد شده در فصول بارش جمع‌آوری و ذخیره شده و در فصول خشک و گرم برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. حجم کل رواناب در محدوده‌های مساحت بالادست مخازن در مجموع حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب می باشد که قریب به ۴۰ درصد آن در داخل مخازن قابل جمع آوری می باشد. از مجموع ۱۷۶ هکتار اراضی حوضه بالادست شهرک برکت ۷۷ هکتار باغ و گیاهان مثمر، ۴ هکتار گیاهان دارویی، ۶۴/۵ هکتار کپه‌کاری و ۱۹ هکتار پوشش مرتعی به همراه تقویت گونه‌های آویشن و درمنه و ۱۲ هکتار به سایر کاربری‌ها اختصاص می‌یابد. در نهایت در دهمین سال اجرای پروژه، هزینه‌های اجرای طرح مستهلک شده و از سال یازدهم به بعد طرح سوددهی خواهد داشت .این الگو رهیافتی برای بکارگیری پتانسیل‌های مختلف در جامعه برای احیای حوزه‌های آبخیز می باشد.

واژه‌های کلیدی:

استحصال آب، بهره‌وری رواناب، حفاظت خاک، حوزه آبخیز برکت، مدیریت جامع

مقدمه

بهره‌برداری بی رویه و مدیریت ناهنجار از ظرفیت و منابع زیستی، آبخیزها را دچار بحران نموده است (پرهمت و الطافی دادگر، ۱۴۰۱). بعلاوه، بروز رخدادهای طبیعی از جمله تغییرات اقلیمی، خشکسالی، سیل و فرونشست زمین سبب تغییر در عملکرد آبخیزها شده است (Hazbavi و همکاران، 2019). همچنین، چالش‌های محیطزیستی در نتیجه افزایش جمعیت انسانی و افزایش تقاضا برای بهره برداری از منابع طبیعی، روزبه روز افزایش یافته و سوء مدیریت منابع طبیعی، ظهور ناپایداری را در شاخص‌های محیطی در پی داشته است ((بیات و همکاران، ۱۳۹۶). ماحصل این امر فشار بیش از حد بر منابع طبیعی، استفاده غیراصولی از منابع و برهم خوردن تعادل بوم‌شناختی در آبخیزهای مختلف است (سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۶). این درهم ریختگی سبب شده است تا آبخیزها نتوانند نقش مؤثر خود در راستای حفظ منابع آب، حفاظت از زیستگاه، مهار فرسایش و رسوب، مهار سیل، تنظیم آب و هوا، مسکن، رفع نیازهای فرهنگی و عملکردهای مناسب را به درستی انجام دهند(Alilu و همکاران، 2019). در چنین شرایطی در صورت عدم شناخت، کنترل و مهار سیل، تبدیل به بلایای طبیعی شده و خسارات و تلفات جانی در پی خواهد داشت (پرهمت، ۱۳۹۵). برای کاهش فرسایش نیز بایستی سیل را در منشأ مهار نموده تا از قدرت تخریبی آن کاسته شده و تخریب خاک ایجاد نشود. روش‌های مختلفی برای مهار سیل در منشأ وجود دارد که همگی در گرو مدیریت جامع حوزه آبخیز می‌باشد.

در پژوهشی (Wang و همکاران، 2022) از روش های نوین و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه برای مدیریت حوزه‌های آبخیز بهره جستند. نتایج پژوهش آنها نشان داد استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی با استفاده از توابع تکاملی چندهدفه می‌تواند راهکارهایی ارائه نماید هرچند فاقد تنوع در ارائه راهکارها می‌باشد. (Hardy، 2022) نقش مشارکت جوامع محلی از جمله تقابل بین فرهنگ محلی و راهبردهای برنامه‌ریزی و قوانین سازمانی تأثیرگذار در مدیریت حوزه آبخیز Cuyahoga را مورد ارزیابی قرار داد و بیان داشت منابع مالی، فنی و حمایت‌های سیاسی نقش غیرقابل انکاری در مدیریت آبخیز دارد. همچنین سازمان‌های مرتبط با دولت و یا ارائه دهنده منابع، تأثیر بسزایی در این زمینه بر عهده دارند.

مدیریت جامع حوزه آبخیز از موضوع‌های با اهمیتی است که از نگاه کارشناسان و دست اندرکاران دارای جایگاه ویژه‌ای در رسیدن به توسعه پایدار منابع طبیعی است و مؤثرترین و اساسی‌ترین راه حل و رویکرد برای مواجهه با پدیده‌های طبیعی و بحران‌های محیطزیستی به شمار می آید. بدیهی است که اجرای درست و کامل این موضوع نتایج برجسته‌ای نظیر حفظ منابع پایه آب و خاک، کاهش خطر وقوع رویدادهای بحران ساز نظیر سیل و تأمین معیشت پایدار را به دنبال دارد. نظر به اهمیت این موضوع، مقاله حاضر به واکاوی یک الگوی عملی و اجرایی از مدیریت جامع حوزه آبخیز پرداخته و تحلیلی از آن ارائه می دهد. این روش بر پایه منابع زیستی حوضه بخصوص استحصال آب باران استوار است.

استحصال آب باران به عنوان ابزاری در مدیریت جامع و استفاده از آن در بخش کشاورزی، یکی از روش‌هایی است که از دیرباز مورد استفاده قرارگرفته است. در واقع استحصال آب باران یکی از شاخص‌ترین روش‌های مدیریت و بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم آبی است. با توجه به تنوع روش‌های ا ستح صال آب باران، باید در انتخاب روش منا سب به ویژگی‌هایی از جمله توپوگرافی زمین، اقلیم، نوع خاک و عوامل اقتصادی اجتماعی و میزان مصرف آب در هر منطقه توجه جدی نمود. از دیرباز ا ستفاده از راهکارهای افزایش بهره‌وری در کشاورزی مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته ا ست. هر فرآیندی که منجر به ا ستفاده بهینه از آب باران شود و کاربرد بهتری برای آن را فراهم نماید، به عنوان استحصال آب باران شناخته می‌شود (Meter، ۲۰۱۴). با توجه به بحران فراگیر آب و کاهش منابع آب در دسترس بخش کشاورزی، مسئله مدیریت بارش‌ها برای مصارف این بخش با بهره‌گیری از سامانه‌های سطوح آبگیر باران، به عنوان راهکاری منا سب برای افزایش بهره‌برداری مؤثر از منابع آبی بخصوص در مناطق اقلیمی خ شک و نیمه خ شک موردتوجه پژوه شگران قرارگرفته ا ست (مرادی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱). ا ستفاده از سطوح عایق با فناوری جدید با تعبیه سامانه ذخیره رواناب حا صل از بارندگی در ماه‌های پر باران سال و ا ستفاده از آب ذخیره شده در ف صول آبیاری جهت آبیاری تکمیلی باغات در ارا ضی شیب‌دار تو صیه می شود. نوع روش مورد ا ستفاده در طراحی سطوح آبگیر باران برای باغات دیم در مناطق مختلف متفاوت بوده و مشخصات فنی و هندسی خاصی دارند (رحیم پور و همکاران، ۱۳۹۵). (بنی ا سدی و پناهی، ۱۳۹۶) نیز بر این باورند که جمع‌آوری نزولات آ سمانی در سامانه‌های سطوح آبگیر باران سبب رفع بخشی از نیاز آبی بهره برداران می‌شود. زیرا چنین رویکردی افزایش توان اقتصادی آنان را به همراه دارد.

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک الگوی مدیریت سیل و حفاظت خاک با استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر باران برای احیای حوضه تخریب یافته می‌باشد. بدین منظور استحصال و جمع‌آوری رواناب‌های سطحی زیر حوضه‌های بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت از یک طرف به‌منظور کنترل سیل، کاهش فر سایش و ر سوب و از طرف دیگر احیای پو شش گیاهی و نیز تو سعه کا شت بخ شی از ارا ضی با گونه های مثمر و گیاهان دارویی می‌با شد. در این برر سی ارائه رهیافت تأمین ا صولی و علمی منابع آب، طراحی و ا ستفاده از این منابع برای گونه‌های گیاهی مثمر و اقت صادی و نیز تو سعه پو شش گیاهی یک ساله در سایر بخ‌های حوضه، هدف عمده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوزه آبخیز بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت حدفاصل شهرک بهارستان در شرق، شهر کردان در غرب و در جنوب به شهرک صنعتی دارویی برکت با م ساحت حدود ۳۲۵ هکتار در شمال به ارتفاعات

شرق کردان منتهی می شود. حا شیه مختصات جغرافیایی آنها از ´۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا (۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شکل (۱) نق شه موقعیت حوزه آبخیز بالاد ست شهرک صنعتی دارویی برکت در ک شور و ا ستان را نمایش می‌دهد. محدوده پژوهش دارای اقلیم معتدل، بارندگی متو سط سالانه ۳۵۰ میلی‌متر و دمای متو سط ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌با شد (پرهمت و الطافی دادگر، ۱۴۰۱). می‌با شد. شایان ذکر ا ست که یکی از عوامل ا ساسی محدود بودن کشاورزی در حو ضه مورد مطالعه اندک بودن منابع آب ا ست. بدین ترتیب انجام هرگونه عملیات مدیریت منابع آب در را ستای ذخیره‌سازی آب در حوزه، کمک شایانی به افزایش اراضی زراعی، افزایش بازدهی محصولات و مبارزه با خشکسالی خواهد نمود.

روش تحقیق

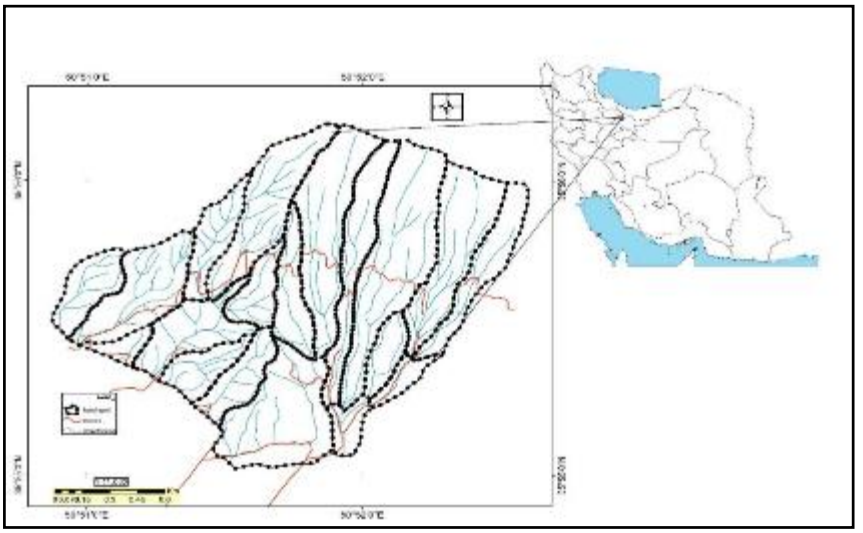
در محدوده پژوهش، کاربری فعلی ارا ضی عمدتاً مرتعی می‌با شد. از مجموع ۳۲۵ هکتار سطح حو ضه حدود ۷۰ در صد آن مراتع است که عمدتاً فقیر و خیلی فقیر و در طول سال در معرض چرای دام ه ستند. بعلاوه از ۳۰ در صد باقی‌مانده ۲۱ در صد برونزد سنگی و ۸/۵ در صد را ارا ضی تحت ت صرف پادگان نظامی، اراضی تحت پوشش درختان پراکنده مثمر، باغ، آغل گوسفند و ساختمان تشکیل می‌دهد (پرهمت و الطافی دادگر، ۱۴۰۱). جدول (۱) کاربری فعلی اراضی را در سطح حوضه ۳۲۵ هکتاری نشان می‌دهد. بخشی از این مراتع به میزان ۱۰۲,۵ هکتار آن تحت پوشش طرح مرتعداری بوده و لذا با توجه به ممنوعیت قانونی تغییر کاربری برای آن در طرح میسر نشد و لذادر محدوده ۲۲۲,۵ هکتاری باقیمانده طرح جامع احیای حوزه آبخیز بر مبنای ا ستحصال آب از سامانه‌های سطوح آبگیر باران طرح آمایش حو ضه تهیه شد. در طرح آمایش حو ضه شیب ارا ضی، قابلیت ارا ضی، ظرفیت ذخیره فصلی رواناب‌های سطحی، رخنمون‌های زمین‌شناسی و بافت خاک از جمله عوامل مهم در تغییر و تعیین نوع کاربری می‌باشد. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز برای این بررسی از طرح احیای حوزه آبخیز منطقه بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت استفاده شده است.

در طرح یاد شده، ظرفیتهای محیطی بخصوص حفاظت منابع طبیعی، تأمین آب و ایجاد فضای سبز با اولویت گیاهان دارویی در محدوده ۳۲۵ هکتاری حو ضه‌های بالا د ست شرکت صنعتی دارویی برکت مورد بررسی قرار گرفته است. بعلاوه، استحصال آب برای احیای پوشش گیاهی و کاشت درختان مثمر در خروجی زیرحوضه‌های بالا دست طراحی شده است، به‌طوری‌که بتواند به عنوان منابع آب برای آبیاری تکمیلی (در فصل خشک) مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور برای استحصال آب، مخازنی در عرض‌های میانی حوضه و در خروجی زیرحوضه‌های بالا دست طراحی شد تا رواناب ارتفاعات در عرض‌های میانی ذخیره و برای آبیاری تکمیلی در عرض‌های پایینی استفاده شود. این مخازن چند منظوره بوده و علاوه بر تأمین آب برای مهار سیل و نیز کنترل ر سوب ا ستفاده می شوند. در سرتا سر

حوضــه برای مهار رســوب، کنترل ســیل در منشــأ، افزایش رطوبت خاک و نفوذ و نیز آبیاری ســیلابی گونه‌های مختلف گیاهی بانکت‌هایی در خط تراز و به فواصل ۵ تا ۱۰ متر طراحی شد. با این وصف کل حوضه به سه بخش تقسیم و در هر بخش متناسب با ظرفیت منابع زیستی کاربری آن تعریف و طرح آمایش حوضه تهیه شد.

جدول ۱ – کاربری فعلی اراضی و مساحت آنها در منطقه مورد مطالعه (نقل از پرهمت و الطافی دادگر، ۱۴۰۱).

ردیف	نوع کاربری	مساحت (هکتار)	درصد از حوضه
۱	مرتع خوب	۴۵	۱۴
۲	مرتع فقیر	۳۴	۱۰,۵
۳	مرتع خیلی فقیر	۱۵۰	۴۶
۴	برون‌زدهای سنگی	۶۸,۳	۲۱
۵	کاربری کشاورزی، آغل گوسفند و پادگان نظامی	۲۷,۷	۸,۵
مجموع		۳۲۵	۱۰۰



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت

نتایج و بحث

رواناب حاصل از بارندگی‌های با شدت نسبتاً بالا باعث وقوع سیل در شبکه آبراهه و زهکشی منطقه می‌شود که در صورت عدم کنترل آن می‌تواند باعث خسارت‌های مالی و جانی زیادی گردد. به عنوان نمونه وقوع سیل در دوم اردیبهشت ۱۳۹۷، باعث خسارت زیادی به شهرک دارویی صنعتی برکت و پادگان نیروی انتظامی در مجاورت آن شد. همچنین مطابق با گزارش فنی بازدید از منطقه، فرسایش شدیدی در بخش های پایین دست منطقه رخ داد که باعث انتقال رسوبات و پر شدن کانال های انتقال

سیلاب گردید (شکل ۲). بعلاوه، گزارش‌های موجود از تخلیه رسوب مخزن ۲۵۰۰۰ متر مکعبی در داخل شهرک صنعتی-دارویی برکت حاکی از آن است که در اثر سیل یاد شده بالغ بر ۸۰۰ مترمکعب رسوب از حجم این مخزن از رسوب پرشده بوده است. با توجه به اینکه این مقدار رسوب عمدتاً به صورت بار معلق و گل و لای بوده است، می توان اذعان نمود که فرسایش بسیار زیادی در بالادست منطقه رخ داده است.

استحصال ریزش‌های جوی و رواناب‌های سطحی در اولین مراحل تشکیل (قبل از تمرکز و پیوستن آنها به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها) ذخیره رطوبت در پروفیل خاک را موجب می‌شود. بدیهی است لازمه انجام چنین امری به ویژگی‌های خاک و توپوگرافی منطقه نیز بستگی دارد. زیرا تنها زمانی استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر برای استحصال آب می‌تواند مؤثر واقع شود که ظرفیت نگهداشت رطوبت در پروفیل خاک به حد کافی زیاد باشد.

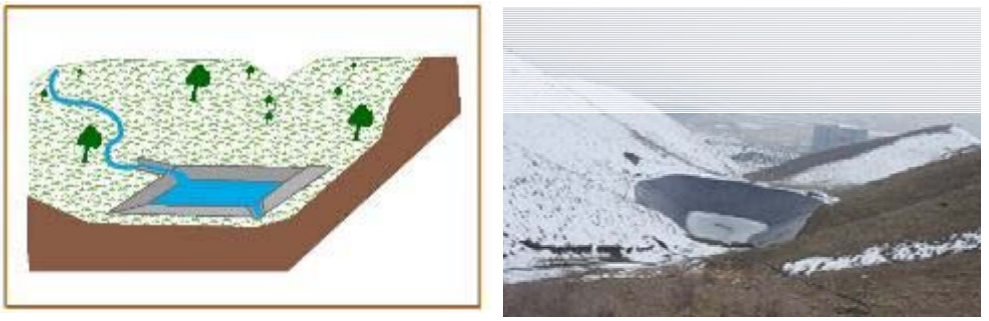
شکل ۲- تصاویر فرسایش و انتقال رسوب پس از وقوع سیل در حوزه آبخیز برکت

استحصال آب از طریق سامانه‌های سطوح آبگیر به مفهوم استفاده از ریزش‌های جوی از طریق مدیریت بارندگی‌به ویژه باران و فراهم نمودن امکان مهار رواناب‌های سطحی در اولین مراحل تشکیل است. به نحوی که با این اقدام می‌توان از یک‌سو با بهینه‌سازی استفاده از ریزش‌های جوی، آب مورد نیاز را برای مصارف مختلف، استحصال و ذخیره‌سازی نمود و از سوی دیگر در صورت ذخیره‌سازی آبهای استحصال شده در پروفیل خاک، از فرسایش خاک، تمرکز رواناب‌های سطحی و جاری شدن سیلاب‌ها و در موارد خاص از کاهش کیفیت آب جلوگیری نمود. بر این اساس توسعه پایدار محیط زیست منابع طبیعی تجدید شونده و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاب می‌کند که در این مناطق اقدام اساسی برای مدیریت ریزش‌های جوی به عمل آید. بی تردید راهکار مدیریت ریزش‌های جوی نیازمند استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر است که از یک طرف قابلیت اجرا در

گ ستره‌های و سیع را دارند و از طرف دیگر به دلیل ساده بودن سامانه‌های سطوح آبگیر با م شارکت مستقیم بهره برداران و یا هزینه‌های کم قابل اجرا می‌باشند.

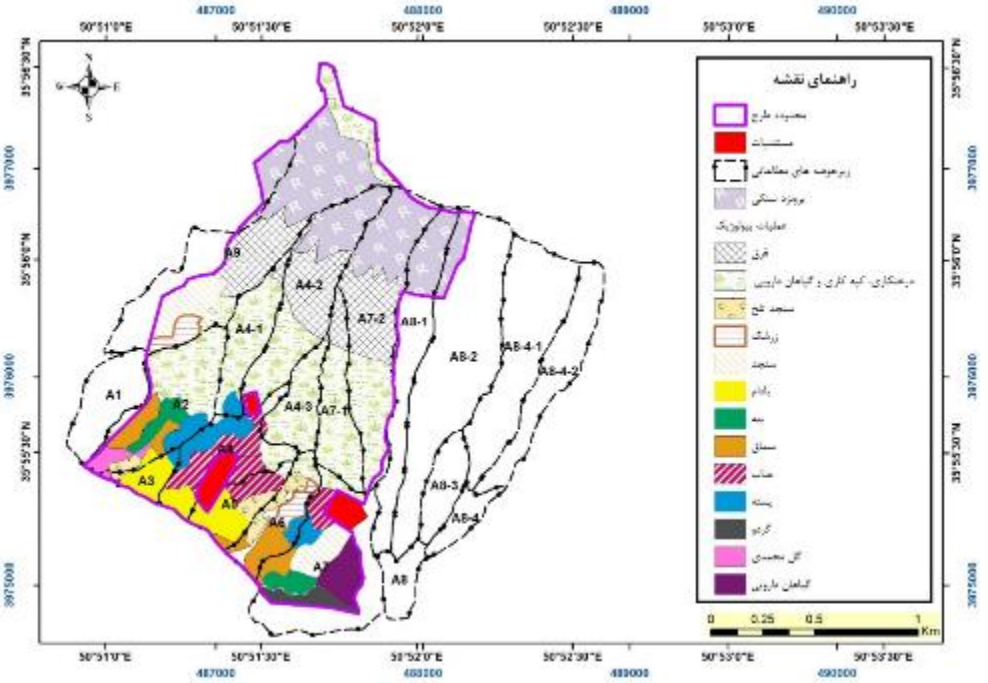
بکارگیری روشـــهای ذخیره رطوبتی خاک زیر ســـطحی، به منظور افزایش زمان ماندگاری رطوبت خاک سامانه های سطوح آبگیر جهت ا ستقرار گونه‌های مثمر گیاهی نظیر بادام، سنجد، عناب، بنه، سماق، زرشـک که از یک طرف دارای نیاز آبی کم و از طرف دیگر در حفاظت خاک مؤثر هســتند طراحی و در بانکت‌ها به فوا صل معین کا شته شدند. برا ساس روش تحقیق، جهت تامین منابع آبی طرح، تعداد ۱۲ مخزن، شامل حو ضچه‌های ذخیره آب (به حجم ۳۶۰۰۰ مترمکعب) جانمایی و طراحی شد تا رواناب ایجاد شده در ف صول بارش را جمع آوری و ذخیره نموده و در ف صول خ شک و گرم برای آبیاری مورد ا ستفاده قرار گیرند. حجم کل رواناب در محدوده‌های م ساحت بالاد ست مخازن در مجموع حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب می باشـد که برای میزان تقریبی ۴۰ درصـد آن با این مخازن قابل جمع آوری و ذخیره شد (شکل ۳).

بنابراین از مجموع ۲۲۲/۵ هکتار اراضی حوزه آبخیز بالا دست شهرک برکت ۷۱ هکتار ارا ضی با تغییر کاربری ا ســا ســی به باغات مثمر از گونه‌های بادام، بنه، پســته، زر شـک، ســماق، ســنجد، عناب، گل محمدی، گیاهان دارویی تبدیل شده است. همچنین، ۳۲/۵ هکتار قرق، ۷۱/۸ هکتار کپه‌کاری با ترکیب ا صلی گیاهان دارویی بومی و ۴۷/۳ هکتار برون‌زدهای سنگی ا ست که عملیات خا صی برای آن تعیین نشده است. شکل (۴) نقشه کاربری جدید اراضی حوضه را به عنوان سیمای طرح توسعه و احیای حوزه آبخیز ن شان می‌دهد. همچنین شکل (۵) مقایسه بین و ضعیت پو شش گیاهی یک سال قبل از اجرای طرح و یک سال بعد از اجرای طرح را ن شان می‌دهد. بر ا ساس کاربری‌های تعریف شده در شکل (۴) نیاز آبی گونه‌های گیاهی تعیین شـــد. نیاز آبی گونه های مثمر در این طرح (گل محمدی، بنه، عناب، پسته، سنجد، زالزالک، سماق) ۵۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شده ا ست. در مجموع کل نیاز آبی طرح در این گزینه حدود ۳۶ هزار مترمکعب پیش‌بینی شده است. شکل (۶) نمونه‌های سطوح آبگیر باران منفرد برای هر گونه گیاهی را به همراه بانکت‌های طرح نشـــان‌می‌دهد. بعلاوه این شـــکل نشـــان می‌دهد که گونه‌های گیاهی یک ساله که با جذب رطوبت حداکثری از بارش آبیاری شده‌اند بیش از یک متر و نیم طی یک ســال رشـد داشـته‌اند. بعلاوه این شـکل نیز همان‌طور که ملاحظه می‌شـود نشـان می‌دهد که بانکت‌ها در جهت عمود بر شیب احداث شده ا ست. لذا کلیه رواناب و ر سوب حدفا صل هر هر دو نوار از بانکت‌ها به‌وســیله بانکت پایینی و نیز ســطوح آبگیر هر درخت مهار و رواناب آن عمدتاً در اینجا نفوذ نموده و رسوبات با توقف در بانکت‌ها موجب غنی شدن خاک می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۳- نمونه‌ای از مخازن احداثی در حوضه

(سمت چپ نقشه شماتیک و سمت راست مخزن ۱۵۰۰ مترمکعبی یکی از زیرحوضه‌های میانی)



شکل ۴-: نقشه کاربری اراضی در طرح (اقتباس از گزارش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۴۰۱)

شکل ۵- مقایسه بین وضعیت پوشش گیاهی یک سال قبل از اجرای طرح (سمت راست) و یک سال بعد از اجرای طرح (سمت چپ)

شکل ۶- نمایی از نمونه‌های سطوح آبگیر باران منفرد برای هر گونه گیاهی (سمت چپ) و بانکت‌های طرح (سمت راست)

شکل ۷- نمایی مزرعه گل‌محمدی (سمت راست) و دورنمایی از بانکت‌های طرح (سمت چپ)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با استفاده از ظرفیت‌های منابع زیستی یک حوضه بحرانی در یک سامانه مدیریت جامع، حوضه سیمای از حالت بحرانی نه تنها در مدت زمان اندکی بیرون آمد بلکه به حوضه اقتصادی تبدیل شد. همچنین با مهار سیل در منشأ از رواناب‌های سیل‌خیز به عنوان منابع آب استفاده شد. نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که با احداث سطوح آبگیر و نیز احداث بانکت در جهت عمود بر شیب از یک طرف رواناب و رسوب کنترل شده و از طرف دیگر توسعه و رشد پوشش گیاهی چند برابر

می‌شود. بعلاوه کاهش تبخیر و افزایش میزان نفوذ از بارندگی با تغییر سیمای حوزه آبخیز حاصل شده است. با اصلاح کاربری اراضی در سطح حوضه سیمای آمایش حوضه کاملاً تغییر یافته و از مراتع فقیر و خیلی فقیر به مجموعه‌ای از باغ اقتصادی، تولید گیاهان داوریی و منظره طبیعی در سطح ۲۲۲,۵ هکتار حاصل شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود این طرح، که الگویی از مدیریت جامع حوزه های آبخیز با رویکردی برای احیای حوضه و بخصوص با مشارکت سازمان‌ها و بخش‌های خصوصی است، برای سایر حوضه‌های آبخیز و با مشارکت آبخیزنشینان توسعه یابد.

منابع

- بیات،ر.،گرامی،ز.،عرب خدری،م.،پیروان،ح.،کاظمی،ر.،۱۴۰۰،بررسی وضعیت برخی شاخص های ارزیابی حوزه آبخیز و اولویت بندی زیرحوضه ها از منظر کاهش فرسایش (مطالعه موردی:حوزه آبخیز کرخه)،پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز،۱۲(۲۳)، ۱۰۸-۱۱۸.
- بنی اسدی،م.،پناهی،ب.،۱۳۹۷،بررسی تأثیر به کارگیری سامانه‌های سطوح آبگیر مدیریت شده در افزایش تولیدات گیاهی،نشریه علمی پژوهشی ومهندسی آبیاری و آب ایران،۹(۲)،۲۰۸-۲۲۴ .
- پرهمت، ج. ۱۳۹۵، مدلی برای بررسی خطر سیل در سطح حوزه‌های آبخیز کشور، مهندسی آبخیزداری، دوره ۱۰، شماره ۳۴: ۱-۱۴.
- پرهمت، ج.، و م. الطافی‌دادگر. ۱۴۰۱. مدل جامع احیای حوزه آبخیز برکت الگویی برای احیای حوزه های آبخیز کشور، پنجمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۷ و ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۱، تهران، ایران: ۶۰۵-۶۱۵.
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۴۰۱.گزارش اصلاحیه طرح جامع آبخیزداری احیای حوضه‌های بالادست شهرک صنعتی-دارویی برکت، (گزارش منتشر نشده).
- رحیم پور،م.،تاج بخش،م.،معماریان،ه.، ۱۳۹۵، استفاده از رواناب‌های سطوح سنگی در آبیاری تکمیلی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زشک- ابرده شهرستان طرقبه-شاندیز، نشریه سامانه های سطوح آبگیر باران،۴(۳)،۷۳-۸۳
- سعدالدین،ع.،نجفی نژاد،ع.،اسدی،ن.، ۱۳۹۸، مقایسه طرح جامع منابع آب ایران با اصول بین المللی مدیریت جامع منابع آب،چهادهمین کنفرانس ملی علوم و مهندسی ابخیزداری،ارومیه.
- مرادی نژاد،ا.،کریمی،م.،پورمتین،ر.،صابری،ع.،(۱۴۰۱)، استفاده از آب باران در اراضی شیبدار جهت کشت گل محمدی، مدیریت جامع حوزه های آبخیز، سال دوم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ۳۱-۴۳
- Alilou, H., Rahmati, O., Singh, V. P., Choubin, B., Pradhan, B., Keesstra, S. & Sadeghi, S.H.R., 2019. Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo-environmental and topohydrological criteria. Journal of Environmental Management, 232, 22-36

- Hardy, S. D. 2022. Power to the people: Collaborative watershed management in the Cuyahoga River Area of Concern (AOC). Environmental Science & Policy, 129, 79- 86
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R. & Gholamalifard, M. 2019. Dynamic analysis of soil erosion-based watershed health. Geography, Environment, Sustainability, 12(3): 43-59.
- Meter, K., Basu, N., Tate, E., & Wyckoff, J. 2014. Monsoon harvests: the living legacies of rainwater harvesting systems in South India. Environmental Science & Technology, 48, 4217–4225.
- Wang, J., Zhou, W. & Guan, Y. 2022a. Optimization of management by analyzing ecosystem service value variations in different watersheds in the Three-River Headwaters Basin. Journal of Environmental Management, 321, 115956.
- Wang, S., Wang, Y., Wang, Y. & Wang, Z. 2022b. Comparison of multi-objective evolutionary algorithms applied to watershed management problem. Journal of Environmental Management, 324, 116255.

مقایسه عملکرد تولید گونه دارویی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) در پروژه بیولوژیک آبخیزداری وردیج در البرز جنوبی با کشت زراعی آن در منطقه فریدن استان اصفهان

هادی کارگر چیگانی*[1]، فرود شریفی[2]،

۱*-کارشناس محقق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پست الکترونیک (*hadi_k1360@yahoo.com*)

۲-استاد پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

در طب سنتی از زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) بمنظور کاهش تب، درد مفا صل، روماتیسم و به عنوان ضد التهاب و التیام دهنده زخم، تقویت حافظه و درمان سرطان و بیماری ام اس ا ستفاده می شود. این گونه بخاطر بهره‌برداری‌های شدید در معرض خطر انقراض قرار گرفته ا ست. از طرفی ارزش اقتصادی آن به نوعیست که امکان جایگزینی با کشت غالب هر منطقه را دارد. هدف اصلی از این تحقیق بررسی عملکرد تولید این گیاه هم در رویشگاه طبیعی در زاگرس به صورت کشت زراعی و هم کشت در پروژه‌های آبخیزداری البرز جنوبی است. منطقه انتخابی در ناحیه زاگرس روستای چیگان از توابع شهرستان فریدن استان اصفهان بود. همچنین این گیاه در غالب پروژه بیومکانیکی کنتور فارو در منطقه وردیج استان تهران که رویشگاه طبیعی این گونه نیست کشت شد. عملیات کشت نشاء همزمان در اواخر اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ آغاز شد. با ظهور گل و نیز بذردهی گیاه اقدام به برداشت شاخه و گل و بذر گیاه از ارتفاع ۵ سانتی متری گردید. جهت برآورد میزان ماده‌خشک تولیدی اقدام به نمونه برداری از تعدادی از پایه‌های کشت شده به صورت تصادفی شد. برای هر نمونه حجم اندام هوایی گیاه با اندازه‌گیری تاج پوشش و ارتفاع متوسط گیاه محاسبه شد و جهت اندازه‌گیری تولید اندام هوایی از ارتفاع بالای ۵ سانتیمتر قطع و پس از سایه خ شک کردن توزین شد. با ا ستفاده از رگر سیون تک متغییره رابطه بین حجم گیاه با میزان ماده‌خشک تولیدی بررسی و در نهایت میزان کل ماده‌خشک تولیدی در هر منطقه برآورد شد. همچنین جهت مقایسه اختلاف بین میانگین تولید در دو منطقه مورد مطالعه از آزمون t ا ستفاده شد. نتایج نشان داد که با وجود اختلاف معنی‌دار (سطح ۰/۰۵ در صد) بین تولید ماده‌خشک در منطقه وردیج در مقایسه با منطقه فریدن ولی درصد زنده‌مانی گونه‌های کشت شده در دو منطقه اختلاف معنی‌داری نداشت. کم بودن میزان تولید در وردیج به‌دلیل شرایط اقلیمی و روش کشت مختلف و نیز کم بودن دفعات آبیاری در مقایسه با منطقه فریدن بود. لذا در صورت مراقبت و نگهداری بهتر امکان کشت این گونه در پروژه‌های آبخیزداری و مناطقی غیر رویشگاهی وجود دارد. در مجموع کشت زرین‌گیاه در قالب پروژه‌های بیولوژیک آبخیزداری به عنوان روشی مناسب جهت

اهلی سازی این گونه دارویی ارز شمند ا ست. علاوه بر این تو سعه ک شت این گونه باعث بهبود و ضعیت معیشتی آبخیزنشینان و متعاقبا کاهش فشار به منابع طبیعی خواهد شد. همچنین نتایج نشان داد ک شت زراعی زرین گیاه در ارا ضی ک شاورزی مجاورت رویشگاه طبیعی آن در زاگرس میانی امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی:
آبخیزنشینان، اهلی‌سازی، رابطه تولید و اندام فوقانی گیاه، رگرسیون، گیاهان داروئی،

مقدمه

اعتقاد بر این ا ست که گیاهان داروئی از منابع مهم مواد شیمیایی با اثرات درمانی موثر ه ستند. امروزه میل به سمت ا ستفاده از داروهای گیاهی در جهت درمان بیماریهای مختلف بر کسی پو شیده نیست و در حال تبدیل به یک فرهنگ عمومی‌در ک شور ما می‌با شد. شنا سایی و ا ستفاده موثر از پتان سیل‌های موجود می‌تواند در کاهش عوارض استفاده از داروهای شیمیایی، کاهش هزینه‌های درمان موثر واقع گردد. جهت بررسی امکان کشت و تولید گیاهان دارویی بومی کشور و یا گیاهانی که با شرایط اقلیمی ایران سازگار شده اند نیاز به شناخت گونه‌های مختلف دارویی در سطوح وسیع و بررسی وضعیت شان از لحاظ عوامل محیطی و غیرمحیطی مختلف موثر در استقرار انها است. تولید انبوه و اقتصادی گیاهان دارویی و صنعتی ارزشمند، گام مهمی‌در بهره برداری هر چه صحیح تر از عرصه‌های طبیعی و این خواص درمانی این قبیل گونه‌های گیاهی می‌باشد (اسعدی و خشنود، ۱۳۹۰).

تیره نعناعیان (Labiateae) یکی از بزرگترین تیره‌های گیاهی است که تنوع زیادی دارد (زرگری، ۱۳۶۹) و از نظر کاربرد در صنایع آرایشی، بهداشتی، غذایی و دارویی اهمیت دارد. جنس *Dracocephalum* از مهمترین جنس‌های این تیره بوده و گونه *Dracocephalum kotschyi* Boiss یکی از مهمترین گونه های این جنس است. این گونه که در ایران به اسامی‌محلی مختلفی همچون زرین گیاه، آغ باش، گل باغچق، بادرنجبویه و غیره نامیده می‌شود. رویشگاه طبیعی زرین‌گیاه بیشتر در مناطق ا ستپی و نیمه ا ستپی، مناطق کوهستانی و مکان‌های سرد سیر و سنگلاخی با ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر و بارندگی حداقل ۳۰۰ میلیمتر است. در مجموع این گونه از گیاهان اندمیک و منحصر به فرد در منطقه ایران و تورانی بویژه ناحیه رویشی زاگرس است (Jalali & Jamzad, 1999) و در استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان بویژه در ارتفاعات خوانسار، سمیرم، فریدن، فریدونشهر مشاهده می شود و پراکنش آن در ا ستان‌های گلستان، مازندران و سمنان و حتی خرا سان شمالی نیز گزارش شده است (Rechinger,1972).

در علوم طبیعی مطالعات بوم شناختی و اکولوژی گیاهان به عنوان تحقیقات کاربردی و بنیادی به حساب می‌آیند. در مورد ویژگیهای اکولوژیکی زرین گیاه مطالعاتی صورت پذیرفته است. اسعدی و

خشنود (۱۳۹۰) در بررسی خصوصیات بوم شناختی زرین گیاه در مراتع شهرستان بجنورد بدین نتیجه رسیدند که این گونه در مناطقی با بارند گی متوسط سالانه ۳۲۰ میلیمتر، دمای متوسط سالانه ۱۰/۲۲ درجه سانتی گراد و اقلیم نیمه خشک سرد رویش مناسبی دارد و بیشتر در دامنه‌های شمالی و شمال غربی در ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا در مناطق سنگلاخی پراکنش یافته است. فتاحی و همکاران (۱۳۹۲) آت اکولوژی گیاه بادرنجبویه را در ۱۲ رویشگاه بررسی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌داده که این گیاه نیازمند رشد در مناطق صخره ای مرتفع، هوای خنک در تابستان و رطوبت نسبی بالا می باشد. همچنین شایستگی گیاهان و ضعیت رشد گیاهان در مناطق مختلف متفاوت بود که به علت تغییرات اقلیمی یا ژنتیکی است. ایشان بیان داشتند با توجه به تعداد کم گیاهان و در معرض انقراض بودن این گونه در زیستگاه‌های طبیعی آن، ضروریست نسبت به حفاظت و بعد اصلاح و اهلی کردن آن اقدام صورت گیرد. در مجموع اهلی سازی گونه‌های گیاهی دارویی یکی از بهترین شیوه‌ها جهت حفاظت و توسعه کشت این گونه‌ها می‌باشد. زارع زاده و همکاران (۱۳۸۱) اقدام به جمع آوری واهلی کردن گونه‌های دارویی استان یزد نمودند. ایشان در فاز اول اقدام به جمع آوری و شناسایی گونه‌ای دارویی و در فاز دوم اهلی کردن آنها نمودند. نتایج آنها نشان داد از ۱۵۴ گونه دارویی کشت شده ۱۳۶ گونه مراحل فنولوژیکی خود را کامل ننموده و فقط ۷۲ گونه سازگار بودند. حسینی و حمزه ئی (۱۳۹۹) اقدام به بررسی اثر لوبیا معمولی و بقایای آن بر صفات اگرومورفولوژیک، عملکرد و صفات کیفی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) در شرایط کشت مخلوط و در نهایت بررسی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص زرین گیاه نمودند. نتایج آنها نشان داد عملکرد نسبی در زرین گیاه بالاتر از لوبیا است که نشان دهنده سودبری زرین گیاه از کشت مخلوط با لوبیا می‌باشد. در این تحقیق کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد لوبیا با زرین گیاه به عنوان تیمار برتر شناسایی شد که می‌تواند برای تولید ارگانیک زرین گیاه توسط کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع یکی از جنبه‌های اولیه به منظور اهلی کردن و کشت گیاهان دارویی بررسی شرایط طبیعی موجود در مراتع و خصوصیات اکولوژی آن گیاه است. در این میان، با الگو گرفتن از طبیعت و بررسی ویژگی‌های رویشگاهی گونه گیاهی و مقایسه آن با شرایط اکولوژیکی دیگر مناطق می‌توان اقدام به اهلی کردن گیاهان و توسعه کشت آن در دیگر مناطق مشابه نمود. این کار یکی از راهکارهای جدید برای توسعه کشت گیاهان دارویی می باشد. زرین گیاه یکی از گونه‌های دارویی با ارزش کشور ما می باشد که و به علت بهره‌برداری بی‌رویه و گاها تغییرات اقلیمی‌در حال انقراض می باشد. تا کنون گزارشی در خصوص خوشخوراکی این گونه منتشر نشده ولی مشاهدات عینی نشان داده که که بخاطر اسانس موجود در گیاه برای دام خوشخوراک نمی‌باشد. از طرفی پیش‌بینی می شود با توجه به ارزش اقتصادی این گونه دارویی، توسعه کشت آن بویژه در پروژه‌های بیومکانیکی و بیولوژیک آبخیزداری باعث بهبود وضعیت معیشتی آبخیزنشینان و متعاقبا کاهش فشار به منابع طبیعی شود.

هدف از اجرای این تحقیق علاوه بر معرفی این گونه ارزشمند، بررسی عملکرد تولید این گونه در دو منطقه زاگرس میانی و البرز جنوبی با دو شیوه کشت متفاوت می‌باشد. در این تحقیق با فرض اینکه با شناخت کافی از نیازهای یک گیاه می توان تا حدود زیادی به امکان پذیر بودن اهلی کردن آن گیاه پی برد به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

- عملکرد تولید این گونه در نزدیکی رویشگاه طبیعی آن در ناحیه زاگرس چه میزان است؟
- آیا امکان کشت این گونه در ناحیه البرز جنوبی به صورت گونه وارداتی میسر است؟
- در این صورت عملکرد کشت این گونه در نزدیکی رویشگاه زاگرس میانی با ناحیه البرز جنوبی چه اختلافی دارد؟

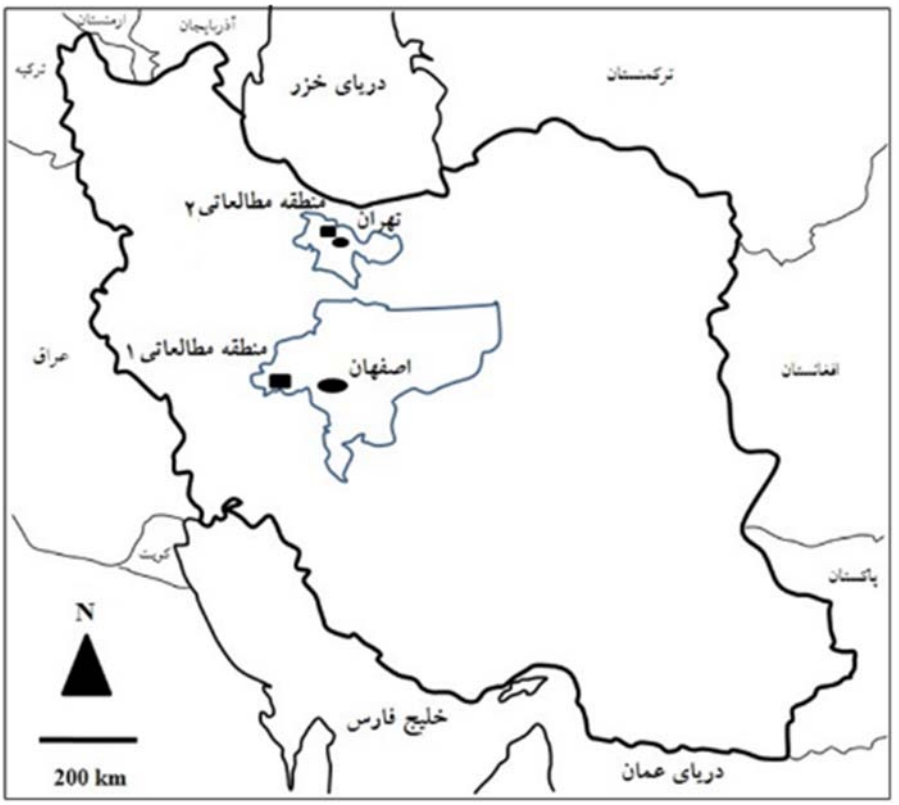
مواد و روش‌ها

معرفی مناطق مطالعاتی

الف: ناحیه زاگرس میانی (منطقه فریدن):

منطقه انتخابی اول جهت کشت گیاه زرین گیاه نزدیکی رویشگاه طبیعی آن، روستای چیگان در شهرستان فریدن می‌باشد (تصویر ۱).

زمین موقعیت جغرافیایی مرکز زمین مورد اجاره در سیستم متریک (UTM) برابر با: X= 438458 و Y= 3640095 است. با توجه به حضور این گونه گیاهی در فلور منطقه لذا این ناحیه به عنوان منطقه رویشگاه طبیعی گونه مورد نظر انتخاب شد. هدف از کشت این گونه در این منطقه بررسی میزان تولید و سازگاری این گونه بمنظور توسعه و جایگزینی کشت زرین گیاه با دیگر محصولات زراعی می‌باشد. آب و هوای شهرستان فریدن در بهار و تابستان معتدل و در زمستان بسیار سرد می‌باشد. بر طبق بررسی‌های آماری (۲۰۰۰- ۱۹۸۱) متوسط باران سالیانه شهرستان فریدن ۳۲۷/۵ میلی متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۰/۴ درجه سانتی گراد است. متوسط ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۲۳۰۰ متر می‌باشد. رودخانه‌ای نیز از کوهستان‌های منطقه سرچشمه گرفته که جهت حرکتش شرقی غربی می‌باشد و به زاینده رود می‌ریزد. پوشش گیاهی مراتع فریدن به لحاظ تعلیف دام, تامین فرآورده‌های پروتئینی, حفاظت خاک , نفوذ آب حاصل از نزولات آسمانی در خاک و وجود گیاهان با ارزش دارویی و غیره از اهمیت بسزایی برخوردار است. در کتب تاریخی این ناحیه را منطقه علف خیز با آبی فراوان و مراتعی بی پایان ذکر کرده اند. مهمترین بخش فعالیتهای اقتصادی ساکنین منطقه کشاورزی و دامداری می‌باشد و مهمترین محصولات کشاورزی عبارتند از: سیب زمینی، گندم، جو، حبوبات، علوفه.



شکل ۱- موقعیت مناطق مطالعاتی

۱: روستای چیگان در ناحیه زاگرس میانی و ۲: منطقه وردیج در دامنه جنوبی البرز

ب: ناحیه البرز جنوبی (منطقه وردیج):

منطقه انتخابی دوم که زرین گیاه به صورت وارداتی در آن کشت شد، منطقه وردیج بود که در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهر تهران، در غربی ترین بخش محدوده طرح حفاظت و احیاء منابع طبیعی دامنه‌های جنوبی البرز میانی، واقع گردیده است (تصویر شماره ۱). این حوزه از شمال و غرب به حوزه آبخیز کرج، از شرق به حوزه آبخیز واریش و از جنوب حوزه آبخیز وش ختم می‌گردد. این حوزه در سیستم مختصات متریک(UTM) در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱۰۰۰۰ متر تا ۵۱۲۴۰۰ متر و عرض جغرافیایی ۳۹۶۲۴۰۰ متر تا ۳۹۶۵۶۰۰ متر واقع است. متوسط ارتفاع از سطح دریا در حوزهٔ آبخیز وردیج ۲۱۰۰ متر می‌باشد. نوع بارش‌های منطقه طرح از نوع بارندگیهای اروگرافیک یا کوهستانی، بارندگیهای جبهه‌ای و بارندگی های همرفتی می باشد. اما در میان این نوع از بارش ها، بارش های

جبهه‌ای بی شترین فراوانی را دارند. بر ا ساس آماراي ستگاه هوا شنا سی و اقلیم، میانگین بارندگی حوزه آبخیز و رگباد در سال ۹۴ تا ۹۷ معادل ۳۶۹/۲ میلی متر می‌باشد.

مطالعات کتابخانه ای:

در بخش مطالعات کتابخانه‌ای ضـــمن بررســـی منابع موجود و تحقیقات انجام گرفته بر روی این گونه گیاهی ویژگی‌های اکولوژیکی و نیز خواص دارویی و ترکیبات این گونه دارویی مشخص شد.

اقدامات میدانی:

پس از تهیه نشـاء اقدام به کشـت این گونه دارویی در هر دو منطقه مطالعاتی شـد. عملیات کاشـت در اوایل اردیبهـ شت سال ۱۳۹۶ و به دو شیوه انجام شد. روش کار در منطقه **فریدن** به صورت کـ شت زراعی در ارا ضی کـ شاورزی منطقه بود ولی در منطقه **وردیج** نـ شاء زرین گیاه در فاروهای احداث شده در اراضی شیبدار کشت شد.

در طول دوره طرح بویژه دوم سـال اول، تغییرات فنولوژیکی زرین گیاه شـامل مراحل رشـد رویشـی، گلدهی، بذردهی، رکود گیاه و آغاز مجدد مرحله رویش به دقت با ا ستفاده از مـ شاهده عینی به صورت مستقیم در عرصه مورد بررسی قرار گرفت. پس از تایید این مراحل در سال سوم (۱۳۹۸)، با استفاده از اطلاعات بد ست آمده مراحل فنولوژیکی گیاه در طول دوره رویش مـ شخص شد. در سال سوم مجددا مراحل رویشی گیاه بررسی و صحت اطلاعات بدست آمده مورد تایید قرار گرفت.

مراقبت و نگهداری از گیاه کشت شده شامل آبیاری تکمیلی بویژه در سال اول و حذف علف‌های هرز به صـورت دسـتی بود. در طول حدودا ۵ ماه رسـد رویشـی گیاه در فریدن ۸ مرحله آبیاری و در منطقه وردیج ۵ مرحله آبیاری انجام شد.

نمونه برداری:

پس از پایان دوره گلدهی و ظاهر شـدن بذر و به منظور برآورد میزان تولید ماده‌خشـک، اقدام به نمونه برداری از برخی از پایه‌های گیاه به صورت تـ صادفی شد. جهت معنی دار بودن آنالیزهای آماری، تعداد نمونه‌هایی بیشـتر از ۳۰ نمونه در نظر گرفته شـد. برای هر نمونه اقدام به اندازه‌گیری قطر بزرگ و قطر کوچک تاج پو شش، و نیز ارتفاع آن شد. با ا ستفاده از فرمول مـ ساحت بی ضی سطح تاج پو شش گیاه اندازه‌گیری و سـپس با ضـرب آن در ارتفاع حجم گیاه برداشـت شـده اندازه‌گیری شـد. مقدار تولید ماده‌خشـک گیاه با روش قطع و توزین کل اندام هوایی گیاه شـامل برگ و سـاقه و گل از ارتفاع حدودا بالای ۵ سانتی متری زمین اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در سایه خشک شد و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت بالا میزان تولید ماده‌خشک اندام فوقانی هر نمونه مشخص گردید.

جهت برآورد میزان تولید کل در هر منطقه نیز اقدام به اندازه‌گیری حجم هر یک از پایه های مستقر شده در زمان برداشت شد. سپس با استفاده از رابطه‌های بدست آمده تولید کل در هر منطقه برآورد گردید.

آنالیز آماری

پس از پایان مرحله کاشت و داشت و در زمان برداشت محصول ابتدا تعداد پایه‌های مستقر شده شمارش شد و درصد موفقیت کشت در هر منطقه محاسبه شد. در ابتدای فصل رویش گیاه در سال دوم نیز میزان جوانه زنی پایه ها و آغاز مراحل رشد هر پایه مجددا بررسی شد و بر این اساس صحت درصد موفقیت استقرار پایه ها در هر دو منطقه مورد تایید قرار گرفت.

جهت بررسی رابطه بین حجم گیاه با میزان تولید ماده‌خشک اندام هوایی، از رگرسیون تک متغییره در قالب نرم افزار اکسل استفاده شد. پس از بررسی سطح اعتماد و میزان دقت روابط بدست آمده، با استفاده از این روابط و حجم بوته های مستقر شده، تولید کل در هر منطقه برآورد شد. در پایان جهت ارزیابی و مقایسه اختلاف بین میانگین تولید در دو منطقه از آزمون t مستقل استفاده شد.

نتایج و بحث:

ویژگی‌ها و مواد تشکیل دهنده و خواص دارویی زرین گیاه:

زرین گیاه گیاهیست نیمه چوبی به ارتفاع ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر؛ ساقه‌ها چوبی متعدد و ایستاده، محکم، ساده یا کمی منشعب و برگهای دمبرگ دار، تخم مرغی شکل، دارای دندانه‌های نوک کُند یا کنگره ای و گلهای بزرگ، سفید یا سفید متمایل به زرد، مجتمع در چرخه‌های واقع در بندهای ساقه به صورت خوشه‌های انتهایی است. از بذر این گیاه جهت تکثیر استفاده می شود. بذور گیاه با رنگ قهوه‌ای تیره و طول ۴ میلی متر، عرض بذر ۱,۲۵ میلی متر و قطر بذر ۱,۰۷ میلیمتر است. شکل بذر بصورت تخم مرغی یا واژ تخم مرغی، سطح شکمی‌برآمده و دارای یک خط شیب دار هشت مانند در نوک می‌باشد که در سطح شکمی‌قابل مشاهده تر است. سطح پشتی دارای سه تا پنج خط قهوه‌ای بسیار تیره نوک بذر لوبدار است. نوع میوه بذری زرین گیاه نیز فندقه است (مظفریان، ۱۳۷۵).

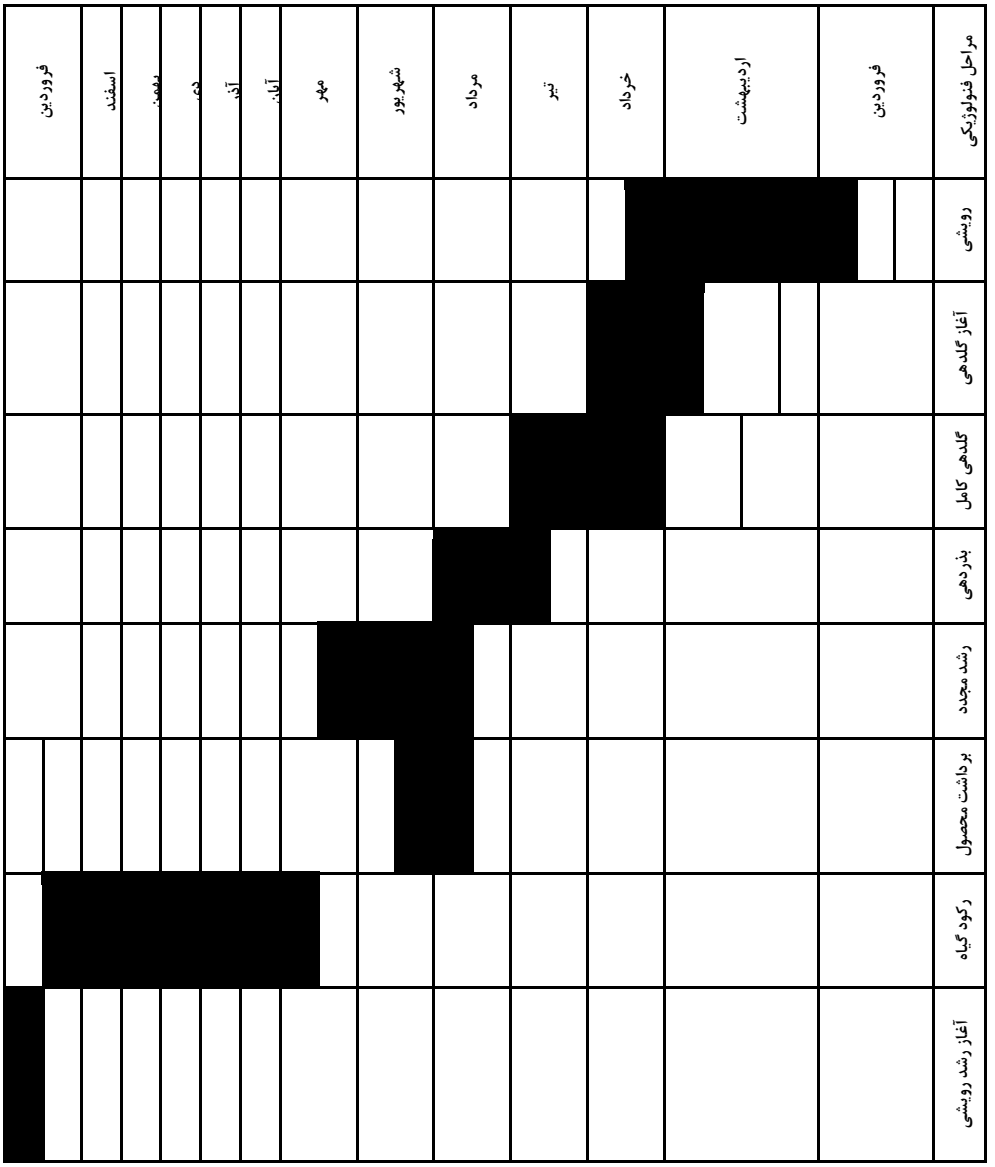
اجزاء اصلی اسانس این گیاه شامل لیمونین، Verbenone, alpha-terpineol, الکلپریلیل و کاریوفیلین می‌باشد. براساس تحقیق صورت گرفته، اثرات درمانی اسانس زرین گیاه قابل مقایسه با هیوسین و ایندومتاسین می‌باشد. لیمونن به عنوان یک مهار کننده آنزیم مبدل آنژیوتانسین، ضد تومور، ضد ویروس، باکتری کش، عامل پیشگیری کننده از سرطان، ضد کاندیدیا، خلط آور، مهار کننده رشد قارچها، ضد اسپاسم و مسکن موثر می‌باشد. ژرانیول نیز یکی دیگر از ترکیباتی است که در اسانس زرین گیاه وجود دارد و سبب ممانعت از رشد و سنتز پلی آمین‌ها در سلول‌های سرطانی انسان شده است.

تحقیقات اخیر نشـــان داده که این گیاه از لحاظ دارویی ارزشـــمند بوده (Golshani et al., 2004) و حاوی اســـانس (Sajjadi et al, 1998) فلاونوئید، رزماریک اســـید (Amirghofran et al, 2000) و گلیکوزیدهای مونوترپن (Saeidnia et al, 2004) می‌باشـــد. اثر ضـــد دردی زرین گیاه مربوط به جزء لیمونن اســـانس می‌باشـــد که باعث شـــده این گیاه در زمره داروهای مســـکن و ضـــد درد قرار گیرد. در برگهای این گیاه ترکیبی به نام Spinal-z وجود دارد که از ســـال‌ها ی پیش در درمان ســـرطان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jahanian et al., 2005). از اندام‌هوایی این گیاه دومنوترپن گلیکوزید جدید به همراه ۷ ترپنویید و فیتواسترول جدا شده او به عنوان ضد درد در موش مورد آزمایش قرار گرفته است (Golshani et al., 2004). وجود ترکیب فلاونی به نام زانتومیکرول Xanthomicrol در برگهای زرین گیاه گزارش شده که این ترکیب مسئول اصلی خاصیت ضد سرطانی در این گیاه می‌باشد. لازم به ذکر است که این ترکیب موجود در اسانس زرین گیاه نسبت به داروی ضد سرطان Doxorubincin اثر قوی تری را بر علیه سلول‌های سرطانی از خود نشان داده و در مقابل عوارض جانبی بسیار کمتری را از خود بر روی موش آزمایشـــگاهی نشـــان داده اســـت. این گیاه به عنوان یک گیاه دارویی مهم جهت رفع دردهای روماتیســـمی، و دردهای مفصـــلی بکار می‌رود. وجود ترکیبی به نام "زانتومیکرول" در برگ‌های زرین گیاه م سئول ا صلی خا صیت ضد سرطانی این گیاه ا ست. از اثرات درمانی این گیاه به کاهش تب، درد مفاصـــل و روماتیســـم، تقویت حافظه، درمان بیماری ام اس، ســـریع کردن جریان خون، درمان سرگیجه، وزوزگوش و سردرد اشاره شده است.

مراحل فنولوژیکی زرین گیاه

پس از گذشـــت دو ســـال از کشـــت این گونه دارویی و با ثبت تاریخ‌های مربوط زمان رشـــد رویشـــی، گلدهی، بذر دهی و رکود گیاه، مراحل فنولوژی زرین گیاه در سال اول پس از کشت تا استقرار کامل در قالب جدول شماره ۱ و همچنین مراحل فنولوژی گیاه پس از استقرار و یک دوره رکود در زمستان و از سال دوم به بعد در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۱ - مراحل فنولوژیکی گیاه دارویی زرین گیاه در سال اول کشت



جدول ۲ - مراحل فنولوژیکی گیاه دارویی زرین گیاه در سال دوم به بعد

مراحل فنولوژیکی	رویشی	آغاز گلدهی	گلدهی کامل	بذردهی	رشد مجدد	برداشت محصول	رکود گیاه	آغاز رشد رویشی
فروردین	■							
اردیبهشت	■	■	■					
خرداد		■	■	■				
تیر				■	■	■		
مرداد				■	■	■		
شهریور					■			
مهر						■	■	
آبان							■	
آذر							■	
دی							■	
بهمن							■	
اسفند							■	
فروردین								■

مراحل فنولوژی این گونه به شکلی ا ست که در هر دو منطقه گل‌های این گیاه از اواخر اردیبهشت ماه ظاهر شده و تا اوایل تیرماه ادامه می یابد. امکان بردا شت محصول در سال اول یک بار می‌با شد. دلیل

این موضوع این است که رشد مجدد گیاه کمی‌دیرتر اتفاق می‌افتد (اواسط مرداد ماه) و با توجه به اینکه ریشه گیاه هنوز به طور کامل مستقر نشده است امکان آسیب به گیاه بالا می‌رود. در مقابل در سال دوم کشت امکان برداشت محصول دو با در طول سال مهیا است. زیرا در سال دوم رشد مجدد گیاه حدودا یک ماه زودتر اتفاق می‌افتد (اوا سط تیر ماه) که منجر به این می شود تا اواخر شهریور سر شاخه‌های جدید به رشد حداکثری خود برسند. نکته دیگر اینکه با توجه به استقرار کامل ریشه گیاه در سال اول احتمال آسیب دیدن گیاه به دلیل برداشت رشد مجدد کمتر می شود. لازم به توضیح است با بررسی مراحل رشد در سال سوم صحت جدول شماره ۲ مورد تایید قرار گرفت. لذا مراحل فنولوژیکی این گیاه بجز سال اول، از سال دوم به بعد به صورت ارائه شده در جدول شماره ۲ می باشد.

بررسی و تعیین مراحل رویشی زرین گیاه و مطالعه روابط بین یک گونه با محیط غیر زنده اطراف خود اطلاعات ارزشمندی را از نظر اهلی‌سازی آن ارائه می‌دهد. مهمترین اقدام در این خصوص تعیین مراحل فنولوژی گیاه می‌باشد (Mir Hosseini et al., 2015). نتایج میرحسینی و همکاران (۲۰۱۵) نیز بررسی مراحل فنولوژی گونه در خطر انقراض مریم گلی (*Salvia tebesana*) را گام مهمی جهت اهلی‌سازی و پرورش آن جهت حفاظت و توسعه آن دانشتند.

در شکل شماره ۲ تصاویر مربوط به زمان کشت و مرحله گلدهی این گونه در دو منطقه مطالعاتی ارائه شده است. همانطور که در تصاویر مشخص است در سال اول بدلیل اینکه اقدام به کشت نشا می شود هر اصله نشاء مدت زمان بیشتری را صرف تکمیل مرحل رشد رویشی خود می‌کند. از سال دوم به بعد با توجه به استقرار کامل گیاه و ریشه دوانی آن، مرحله رشد رویشی هم زودتر اتفاق می‌افتد.

زمان برداشت محصول و پایان دوره رویشی گیاه

در سال اول پس از بذر دهی گیاه از اوا سط مرداد تا اوا سط شهریور زمان برداشت گیاه در دو منطقه مطالعاتی فرا رسید. پس از برداشت محصول، تمامی بوته‌ها از محل طوقه گیاه مجددا رشد نموده و جوانه‌های جدید در آنها ظاهر شد. در سال اول جهت اینکه ذخیره کافی برای طی کردن مرحله رکود گیاه و رشد رویشی آن در سال بعد فراهم با شد، رشد مجدد مورد بهره برداری قرار نگرفت. در تصویر شماره ۳ نحوه برداشت محصول تولیدی در دو منطقه وردیج و فریدن ارائه شده است.

شکل ۲- زرین گیاه کشت شده در سال اول و در اواخر اردیبهشت در منطقه فریدن ۲- زرین گیاه کشت شده در منطقه فریدن در تاریخ ۵ تیر ۳- زرین گیاه کشت در فاروها موجود در منطقه وردیج در ابتدای خرداد ماه ۴- گلدهی زرین گیاه در اواخر تیر در منطقه وردیج

شکل ۳- برداشت زرین گیاه در وردیج در ۱۷ شهریور ۲- برداشت زرین گیاه در فریدن در ۸ شهریور

در سال دوم به بعد از اوایل تیر تا اواسط مرداد امکان برداشت محصول فراهم می‌باشد. رشد مجدد گیاه بلافاصله بعد از برداشت نوبت اول آغاز شد و تا پایان شهریور اندام هوایی گیاه مجددا رشد نمود. مقدار رشد مجدد حدودا برابر با رشد رویشی ابتدای فصل بود. لازم به توضیح است با توجه به استقرار کامل گیاه امکان برداشت محصول حاصل از رشد مجدد از سال دوم به بعد مهیا می باشد. در تصویر شماره ۴ نمایی از عرصه در زمان رکود در زمستان و نیز رشد رویشی جدید در سال دوم اجرای طرح ارائه شده است.

شکل ۴- زرین گیاه در زمستان سال اول در تاریخ ۱۶ دی ماه ۲- زرین گیاه در سال دوم پس از کشت در تاریخ ۶ اردیبهشت ماه

زندمانی پایه‌های کشت شده و مقدار ماده‌خشک

پس از استقرار کامل گیاه در سال دوم و بر اساس آمار گیری از پایه‌های مستقر شده در دو منطقه مشخص شد درصد موفقیت کشت در منطقه فریدن ۶۴ درصد و در منطقه البرز که رویشگاه طبیعی این گونه نمی‌باشد ۵۳ درصد می‌باشد. در جدول شماره ۳ آمار مربوط به تعداد کشت و میزان موفقیت کشت زرین گیاه در دو منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۳ -درصد موفقیت گونه‌های کشت شده در دو منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی	کل بوته‌ها	تعداد بوته سبز	درصد موفقیت
وردیج	۶۲۰	۳۳۵	۵۴
فریدن	۳۸۰	۲۴۲	۶۳/۷
کل	۱۰۰۰	۵۷۷	-

درصد موفقیت و زنده مانی زرین گیاه در منطقه وردیج کمی‌پایین تر از منطقه فریدن می‌باشد که به دلیل اختلاف شرایط اقلیمی‌دو منطقه و نیز روش کشت مختلف در دو عرصه می‌باشد. در منطقه وردیج به دلیل شرایط کوهستانی زرین گیاه در فاروهای احداثی در دامنه کوه کشت گردید. این در حالیست که روش کشت در منطقه فریدن به صورت زراعی و در زمینی با خاک کشاورزی و دوره های آبیاری منظم انجام شد. در مجموع منطقه وردیج دارای خاک ضعیفتر و تکامل نیافته تر از فریدن می‌باشد و شرایط اقلیمی نیز تا حدودی متفاوت‌تر از رویشگاه طبیعی این گونه است. با این وجود بالغ بر نیمی‌از نشاهای کشت شده مستقر و تولید محصول نمودند.

رابطه تولید با حجم تاج پوشش گیاه

در جدول شماره ۴ ضرایب مربوط به رابطه رگرسیون بین مقدار ماده‌خشک تولیدی با حجم تاج پوشش زرین گیاه در دو منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده هر دو رابطه با ضریب تبیین بالا معنی دار بوده اند. این نتیجه نشان از این دارد که با داشتن ابعاد و حجم گیاه می‌توان برآورد دقیقی از میزان محصول تولیدی در هر کدام از مناطق داشت. غلامی و همکاران (۱۳۹۱) نیز دریافتند مدل‌های حاصل از متغییرهای پوشش گیاهی بویژه سطح تاج پوشش و وزن گیاه به خوبی می‌توانند تولید گیاهی را برآورد نمایند.

جدول ۴ - رابطه بیوماس ماده‌خشک زرین گیاه با حجم تاج پوشش در دو منطقه مورد مطالعه

ردیف	منطقه	تعداد نمونه	ضریب الفا	ضریب بتا	ضریب تعیین (R^2)	معنی داری (sin)
۱	فریدن	۳۶	۲/۰۰۲۵۴۳	۰/۰۰۰۷۹۷	۰/۹۷۲	۰/۰۰۱**
۲	وردیج	۴۸	۱/۰۰۲۵۴۲۶۵	۰/۰۰۵۰۶۹	۰/۹۰۲	۰/۰۱*

ضرایبی که با دو ستاره نشان دار شده اند در سطح ۹۹٪ و ضرایبی که با یک ستاره نشان دار شده اند در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشند.

در جدول شماره ۵ میزان تولید برآورد شده از دو منطقه وردیج و فریدن ارائه شده ا ست. میزان تولید محصول در منطقه فریدن در حدود ۱۷ گرم برای هر بوته و در وردیج ۱۲ گرم برای هر بوته است.

جدول ۵ - برآورد میزان محصول تولید شده در دو منطقه مورد مطالعه

ردیف	منطقه	تعداد بوته مستقر	میزان تولید در سال اول	میانگین تولید هر پایه زرین
۱	فریدن	۳۸۰	۶۴۲۵	۱۶/۹
۲	وردیج	۳۳۵	۳۹۵۳	۱۱/۸

جهت بررسی اختلاف میزان تولید در دو منطقه از آزمون t استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

جدول ۶ - نتایج آزمون t مستقل

	منطقه وردیج	منطقه فریدن
میانگین تولید نمونه‌ها	۳۰/۰۹	۱۰/۷۴
واریانس نمونه‌ها	۱۳۶۲/۶۱	۵۵/۴۹
تعداد نمونه‌ها	۴۸	۳۶
درجه آزادی (df)	۸۲	
t Stat	۴/۰۳۶۸۳۹۸۶۲	
P(T<=t) one-tail	۰/۰۰۰۰۶۱	
t Critical one-tail	۱/۶۶۳۶۵	
P(T<=t) two-tail	۰/۰۰۰۱۲۱۱۴۸	
t Critical two-tail	۱/۹۸۹۳۱۸	

با توجه به اینکه مقدار قدر مطلق t تجربی (۴/۰۳۶۸۴) بیشـــتر از مقدار t بحرانی (۱/۹۸۹۳۱۸) ا ست لذا در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی دار بین تولید ماده‌خ شک هر بوته در منطقه وردیج وجود دارد. میانگین ماده‌خشـــک تولیدی هر پایه در وردیج ۳۴ درصـــد کمتر از مقدار آن در فریدن می‌باشـــد. این موضـــوع می تواند به دلیل روش کشـــت زراعی زرین گیاه در فریدن و تعداد نوبت آبیاری بیشـــتر در این منطقه باشـــد. همچنین منطقه فریدن از نظر اقلیمی و اکولوژیکی به عنوان رویشـــگاه طبیعی این گونه شـــناســـایی می‌شـــود ولی زرین گیاه در فلور وردیج حضـــور ندارد و به عنوان گونه وارداتی در این پروژه استفاده شد.

نتیجه گیری

تنها راه جلوگیری از انقراض گونه دارویی ارزشمند زرین گیاه، اهلی کردن و کشت اقتصادی آن هم در عرصه‌های طبیعی و هم در عرصه‌های زراعی می‌باشد. با عنایت به اینکه در گیاهان دارویی وجود مواد مؤثره به لحاظ دارویی و بومی بودن می تواند به تولید محصولات دارویی جدید و بی رقیب برای بومیان آن منطقه منتج شود، لذا زرین گیاه می تواند از این جهت گیاه با ارزشی برای آبخیزنشینان باشد. در این راستا تداوم و پایداری تولید منوط به کشت گسترده آن در مناطق رویشگاهی و غیر رویشگاهی می‌باشد. جهت تحقق این موضوع، در این تحقیق گونه‌ای با ارزش دارویی و اقتصادی در دو منطقه با دو شیوه مختلف کشت شد تا امکان توسعه کشت و همچنین اهلی سازی آن هم به صورت زراعی و هم در غالب پروژه های آبخیزداری بررسی شود. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که امکان کشت زرین گیاه هم در اراضی کشاورزی و هم در پروژه های آبخیزداری وجود دارد.

درصد زنده مانی و تولید ماده‌خشک در منطقه وردیج کمتر از فریدن بود که دلیل آن بیشتر محدودیت‌های اقلیمی و عدم مراقبت و نگهداری مناسب در مراحل کاشت و داشت بود. با این وجود هزینه های مربوط به تولید در منطقه وردیج بسیار کمتر از فریدن بود. زیرا هزینه اجاره زمین در پروژه های آبخیزداری وجود ندارد و از طرفی هزینه های مربوط به آبیاری بسیار کمتر از فریدن می‌باشد.

نتیجه کلی از این تحقیق این است که کشت زرین گیاه در دامنه جنوبی البرز امکانپذیر است. موفقیت استقرار و توسعه کشت این گونه می تواند درآمدی مناسب برای آبخیزنشینان و بهره‌برداران طبیعت محیا نماید. این خود باعث بهبود معیشت آنها و متعاقبا کاهش بارگذاری بر حوضه های آبخیز از طریق کاهش فشار چرای دام و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع طبیعی شود.

پیشنهاد می‌شود کشت زراعی این گونه در وردیج انجام شود و با نتایج بدست آمده از کشت در پروژه‌های آبخیزداری مقایسه گردد. همچنین تحقیقات در خصوص اهلی سازی این گونه در مناطق دیگری نیز صورت پذیرد و با نتایج حاصل از این تحقیق مقایسه شود. علاوه بر این با توجه به اینکه تکثیر این گونه گیاهی بوسیله بذر با موفقیت کمتری همراه است لذا ضروریست تحقیقاتی بر روی کشت بذر در عرصه‌های طبیعی با کمک تیمارهای مختلف جوانه زنی انجام تا هزینه‌هایی که صرف تهیه نشاء می‌شود کاهش یابد.

منابع

- اسعدی، ع.م.، م. خشنود یزدی. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات بوم شناختی گونه *Dracocephalum kotschyi Boiss.* در مراتع شهرستان بجنورد. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۶ (۳): ۴۰۶-۴۱۴.
- زرگری، ع. ۱۳۶۹. گیاهان دارویی جلد چهارم. انتشارات دانشگاه تهران. ۹۶۹ صفحه.

- فتاحی، م.، و. ناظری، ف. سفیدکن، و ذ. زمانی. ۱۳۹۲. بررسی آت اکولوژی بادرنجبویه دنایی (*Dracocephalum* kotschyi Boiss.) در ایران. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران.
- مظفریان، و. ۱۳۷۵. فرهنگ نام‌های ایران. انتشارات فرهنگ معاصر تهران، تهران، ۷۴۰ صفحه.
- زارع زاده، ع.، پ. باباخانلو، ن. باغستانی، و م. شمس زاده. ۱۳۸۱. جمع‌آوری، شناسایی و اهلی کردن گیاهان دارویی استان یزد. ۱۴ (۱): صفحه ۷۳-۱۳۵.
- حسینی، س.ف.، و ج. حمزه ئی. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد کمی‌و کیفی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) در شرایط کشت مخلوط با لوبیا معمولی در منطقه همدان. نشریه علمی‌تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۶۳ (۳): ۹۲۳-۹۴۶.
- غلامی، پ.، ح. جلیلوند، و ش. قادری. ۱۳۹۱. برآورد تولید علوفه سه گونه مرتعی از طریق اندازه‌گیری ارتفاع، سطح تاج پوشش و حجم گیاه در مناطق خشک (مطالعه موردی بوته زارهای منطقه سرخ ده دامغان، استان سمنان. فصلنامه علمی‌پژوهشی زیست بوم، ۸ (۱): ۴۰-۵۱.

- Jalali, A. and Z. Jamzad, 1999. Red Data Book of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands Iran, Tehran, 748p.
- Saeidnia, S., A.R. Gohari, N. Uchiyama, M. Ito, G. Honda, and F. Kiuchi. 2004. Two New Monoterpene Glycosides and Trypanocidal Terpenoids from Dracocephalum kotschyi. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 52(10): 1249-1250.
- Golshani, S., F. Karamkhani, H.R. Monsef-Esfehani, and M. Abdollahi. 2004. Antinociceptive effects of the essential oil of Dracocephalum kotschyi in the mouse writhing test. Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science, 7(1): 76-79.
- Sajjadi, S.E., A. Movahedian Atar, and A. Yektaian, 1998. Anti hyperlipidemic effect of hydroalcoholic extract, and polyphenolic fraction from Dracocephalum kotschyi Boiss. Pharmaceutica Acta Helvetiae, 73(3): 167-170.
- Amirghofran, Z., M. Azadbakht,, and M.H. Karimi. 2000. Evaluation of the immunomodulatory effects of five herbal plants. Journal of Ethnopharmacology, 72: 167-172.
- Rechinger, K.H. 1972. Flora Iranica. Akademische Druck.u. Verlagsanstalt, Graz. Vol, 150.
- Golshani S., F. Karamkhani, H.R. Mosef-Esfahani, and M. Abdollahi. 2004. Antinociceptive effects of the essential Dracocephalum Kotschi in the mouse writing test. Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 7(1):76-79.
- Mir Hosseini, A., M.H. Hakimi Meibodi, M.H. Mirjalili, and A. Sonboli. 2015. Evaluation of some ecological factors, physiological and morphological traits of Salvia tebesana Bunge. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES), 9 (1): 297-303.

اثربخشی عملیات آبخیزداری بر احیای پوشش گیاهی مراتع در استان کرمانشاه

محمد قیطوری*[۱]-مسیب حشمتی[۲]
۱*-دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تات،
gheitury42@gmail.com
۲- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تات،
heshmati46@gmail.com

چکیده

مراتع نقش کلیدی در پایداری محیط زیست، حیات وحش، تولید علوفه و گیاهان دارویی، حفاظت آب و خاک، کاهش گازهای گلخانه‌ای و صنعت گردشگری دارند. با این وجود، شیوه‌های غلط بهره‌برداری، به‌ویژه تغییر کاربری مرتع، چرای مفرط و آتش سوزی منجر به تخریب شدید مراتع گشته که در مناطق گرمسیری به‌دلیل فشار مضاعف عوامل تخریب شدیدتر است. هدف از این تحقیق که در منطقه قصرشیرین انجام شده است، ارزیابی و اثر بخشی عملیات مختلف اصلاح مراتع بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی بود. این اقدامات در قالب تیمارهای فارو- بوته کاری- قرق (تیمار اول)، پیتینگ-بوته کاری- قرق (تیمار دوم)، مدیریت سیستم چرا (تیمار سوم) و شرایط بهره‌برداری متداول (تیمار چهارم یا شاهد) مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات پوشش گیاهی مرتع شامل وضعیت، گرایش، زی‌توده و ظرفیت مرتع در چهار تیمار با استفاده از روش ترانسکت و پلات اندازه گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که مقدار علوفه تولیدی در تیمارهای مختلف با هم تفاوت معنی‌داری داشتند، بطوریکه بیشترین تولید علوفه ۵۵۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عملیات پیتینگ است و کمترین مقدار ۱۹۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار شاهد است. همچنین وضعیت و گرایش مرتع تحت عملیات پیتینگ خوب و مثبت ارزیابی شد در حالی که در مرتع شاهد ضعیف و گرایش منفی تعیین شد. نتایج این اقدامات اصلاح و توسعه مراتع به ترتیب اهمیت برای افزایش پوشش گیاهی، بهبود ظرفیت مرتع و ذخیره کربن آلی خاک عبارتند از فارو، پیتینگ، سیستم چرایی و شاهد هستند. این روند در شرایط تخریب روزافزون مراتع گرمسیری منطقه مورد مطالعه اهمیت دارد؛ و قرار گیری آن بر روی سازند مارنی آغاجاری با مقدار زیاد سیلت خاک زمینه حساسیت خاک به فرسایش آسیب پذیر بوده و با تخریب پوشش گیاهی و بهره‌برداری نامناسب در این مناطق شرایط برای بروز و ظهور اشکال فرسایش آبی و بادی و بیابانزایی را فراهم آورده که نهایتا به ایجاد کانون های داخلی گرد و غبار (ریزگرد) تبدیل خواهد شد.

واژه‌های کلیدی:
آغاجاری، پیتینگ، سیستم چرایی، فارو، قصرشیرین،

مقدمه

مراتع بیشترین سطح خشکی‌های کره زمین را به خود اختصاص می دهد (Derner & Schuman, 2007) .در ایران سطح اراضی مرتعی ۵۴ درصد اراضی کل کشور است (آذرنیوند، ۱۳۸۲). همچنین در استان کرمانشاه مساحت مراتع حدود ۱/۲ میلیون هکتار است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۸۳). این سطح وسیع نیازمند مدیریت صحیح و بهره برداری پایدار است. در مناطق زاگرس عواملی مانند چرای مفرط دام، چرای خارج از فصل چرا، آتش سوزی، تغییر کاربری اراضی مرتعی و جنگلی به زراعت و عملیات غیر اصولی کشت (شخم در جهت شیب، آتش زدن بقایای گیاهی، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و استفاده از خیش خاک برگردان)، منجر به تخریب پوشش گیاهی و ایجاد بستر فرسایش تشدیدی در منطقه شده است. این شیوه مدیریت و بهره برداری، شرایط را برای نابودی محیط زیست، تغییر اقلیم و هدر رفت میلیون‌ها تن خاک حاصلخیز از مناطق بالادست رودخانه‌ها به مناطق پایین دست و رسوبگذاری در دریاچه سدها را فراهم می‌نماید.

اگر چه تلاش‌ها متناسب با روند تخریب منبع زیستی نبوده لیکن کوشش محققین یافتن راهکارهای مناسب برای کنترل تخریب اراضی جنگلی، مرتعی و کشاورزی است. یکی از راهکارهای مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار از منابع حوزه آبخیز، تدوین و اجرای طرح های منابع طبیعی است. بر اساس اطلاعات موجود، از سطح مراتع کل کشور که حدود ۸۶ میلیون هکتار برآورد شده است تا سال ۲۰۰۷ حدودیازده هزار مورد طرح مرتعداری در سطح ۲۵ میلیون هکتار تهیه شده ا ست که از این مقدار ۱۴ میلیون هکتار در شکل ۵۳۵۰ طرح مرتعداری به بهره برداران واگذار شده است و ۴۹۰۰ طرح در دست اجرا است که در مجموع سطوح مرتعی تا کنون به ۱۴۱۳۵۴ خانوار در سطح کشور واگذار شده است (آریاپور و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج تحقیقات منعدد در سطح کشور نشان می دهد که مراتعی که داری طرح مرتعداری همراه با اجرای عملیات بیولوژیکی و بیومکانیکی در مناطق قشلاق و ییلاق هستند، نسبت به مراتع فاقد طرح، دارای وضعیت و تولید علوفه بهتر، همراه با کاهش فرسایش خاک و روان‌آب بوده است. اجرای سیستم های سطوح آبگیر باران (مانند فارو، بانکت و پیتینگ) همراه با عملیات بیولوژیک (مانند کپه‌کاری، بذرپا شی و بوته‌کاری) در مراتع تخریب یافته موجب تقویت و بهبود کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و خاک می شود که پیآمد آن کنترل فرسایش خاک، کنترل هرزآب، افزایش ماده آلی خاک همراه با ترسیب کربن، افزایش توان اقتصادی بهره برداران و ایجاد زمینه مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های توسعه‌ای است. پژوهش‌های جنیدی جعفری و همکاران (۱۳۹۲)، منطقه ایوانکی استان سمنان نشان داد که احداث سطوح آبگیر باران (فارو) منجر به بهبود پوشش گیاهی و افزایش ذخیره ۳۲ و ۳۷ درصدی ذخایر کربن و ازت کل شد. با توجه به اینکه مراتع بیشترین سطح اراضی را به خود اختصاص داده‌اند و ظرفیت چرای دام نیز بیش از ۳ برابر حد مجاز است، با

اعمال مدیریت مناسب و اقدامات اصلاحی از قبیل ایجاد سطوح آبگیر باران[1] می‌توان این ظرفیت را تا چند برابر افزایش داد (درنر و اسچومن[2]، ۲۰۰۷). در پژوهش حاضر اثرات عملیات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و حفاظت خاک بر مراتع گرمسیری جلگه نفت خانه (سامانه های مرتع چقاحمام، گزلان و کنه کبود) شهر ستان قصر شیرین بررسی شد. هدف از این بررسی پایش و ارزیابی اثرات عملیات ذخیره نزولات بر تغییرات پوشش گیاهی و حفاظت خاک مراتع گرمسیری است. در نهایت کارایی شیوه‌های مختلف مدیریت مراتع گرمسیری بر عملکرد مرتع در مقایسه با منطقه شاهد (بدون مدیریت بیولوژیک و بهره برداری متداول از مرتع) تعیین می شود.

موقعیت منطقه تحقیق

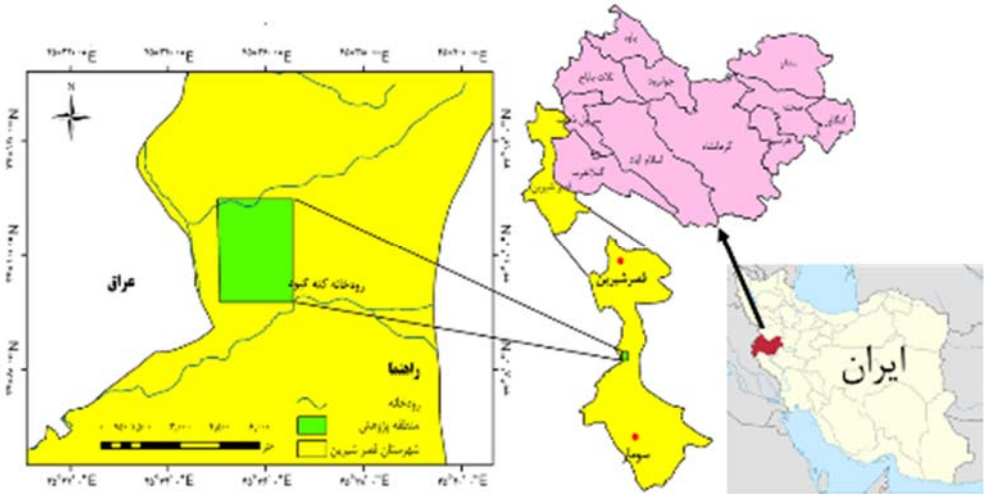
پژوهش حاضر در مراتع گرمسیری (قشلاقی) استان کرمانشاه در مجاورت نوار مرزی غرب کشور انجام یافت. محدوده مورد مطالعه با مساحت ۴۴۸۲ هکتار موصوف به چغاحمام (جلگه نفت‌خانه) با پلاک ثبتی ۲۲۹ می‌باشد که در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر قصرشیرین و ۱۳۵ کیلومتری غرب شهر کرمانشاه قرار دارد. طول و عرض جغرافیای این محدوده به‌ترتیب ′۳۵ °۴۵ تا ′۴۵ °۴۵ درجه شرقی و ′۳۰ °۳۴ تا ′۴۵ °۳۴ درجه شمالی است (شکل ۱). منطقه پژوهش ارتفاع متوسط از سطح دریا نیز ۳۰۰ متر با شیبی حدود ۵ درصد است. اقیم این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن، خشک بیابانی معتدل با متوسط بارندگی سالانه بلندمدت ۳۰۰ میلی‌متر است. همچنین مراتع مورد بررسی روی سازندهای مارنی از نوع گچی و نمکی (آغاجاری) قرار دارد که شاخص فرسایش شدید انحلالی و خندقی است و مشاهدات نشان می‌دهد پوشش گیاهی مرتع فقیر با گونه‌های غالب علف شور[3] و گیاهان یکساله است که تحت چرای شدید دام در طی دوره چرایی پانزدهم آبان تا اواسط اردیبهشت قرار دارد.

روش بررسی میدانی

دراین تحقیق روابط میان پارامترهای مهم گیاهی (تولید، وضعیت مرتع و گرایش) در عملیات مختلف اجرا شده در مراتع قشلاقی جلگه نفت خانه قصرشیرین مورد ارزیابی قرار گرفت. این عملیات در سال ۱۳۸۸ توسط اداره منابع طبیعی شهرستان قصرشیرین در قالب طرح مرتعداری با هدف احیاء مراتع فقیر و تخریب شده سامان عرفی جلگه نفت‌خانه انجام شد. عملیات بیومکانیکی و مدیریتی انجام شده شامل سه تیمار است و یک تیمار شاهد با بهره‌برداری متداول منطقه در مجاورت منطقه عملیات انتخاب گردید (جدول ۱). تیمارهای انتخاب شده شامل، الف) تیمار فارو همراه با بوته‌کاری، با مشخصات فاروهایی

1. Micro catchment
2. Dmer and Scshuman
3. Salsola regedula

به‌عمق ۲۰ سانتی‌متر و طول ۵۰ تا ۱۰۰ متر و به فاصله سه متر از هم بود و بوته گونه‌های اسفناج وحشی[۴] و علف‌شور در داخل فاروها به فاصله ۳ متر از هم قرار داشتند. ب) تیمار پیتینگ همراه با بوته‌کاری، با چاله‌های مستطیلی به‌ابعاد ۳۰ ×۱۲۰ سانتی‌متر و عمق ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ۲ متر از یکدیگر ایجاد شده و در داخل چاله‌ها دو گونه فوق (گیاه اسفناج وحشی و علف‌شور) بوته‌کاری شده بود. ج) تیمار مدیریت سیستم چرایی؛ شامل سیستم چرای تناوبی- استراحتی بود که با ایجاد دوره چرای استراحتی برای بخشی از مرتع در دوره چرا انجام یافت. تیمار شاهد؛ نیز همان شرایط بهره‌برداری متداول توسط دامداران منطقه بود.



شکل ۱- موقعیت مرتع گرمسیری چغاحمام نسبت به استان و کشور

جدول ۱- عملیات مدیریتی و بیومکانیکی اجراء شده در مراتع گرمسیری جلگه نفت خانه قصرشیرین

ردیف	شرح پروژه	مرتع عرفی	وضعیت پروژه	سال اجرا	سال ارزیابی
۱	احداث فارو همراه با بوته‌کاری	چغاحمام	اجرا شده	۱۳۸۸	۹۵-۹۴
۲	احداث پیتینگ همراه با بوته‌کاری	چغاحمام	اجرا شده	۱۳۸۸	۹۵-۹۴
۳	سیستم چرایی تناوبی- استراحتی	چغاحمام	اجرا شده	۱۳۹۲	۹۵-۹۴
۴	شاهد	چغاحمام	بهره‌برداری متداول	۱۳۹۴	۹۵-۹۴

4. Atriplex cansens

- اندازه‌گیری مشخصه‌های پوشش گیاهی

در هر تیمار منطقه معرف که شاخص پوشش گیاهی تیمار بود انتخاب شد. سپس پارامترهای درصد پوشش تاجی، تولید زی‌توده گیاهی، فراوانی، خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرگ در طول ۳ ترانسکت ۲۰۰ متری همراه با ۲۰ پلات (۱×۱ متر) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تراکم و میزان تولید گیاهان موجود درتیمارهای مختلف با استفاده از سطح پلات (بر اساس فرم رویشی گیاهان غالب منطقه نمونه برداری) با شکل مربع (برای سادگی اندازه‌گیری) و تعداد پلات مناسب (روش آماری برآورد حجم نمونه) انجام شد. همچنین تیپ‌بندی گیاهی به روش آمیخته از نمود ظاهری (PHYSIOGNOMY) و ترکیب گونه‌ای انجام گرفت و موارد خاص موجود در هر تیپ گیاهی نیز طی بازدیدهای صحرایی یاداشت شد. وضعیت مرتع با روش چهار فاکتوری و گرایش مراتع تیمارها با روش استفاده از دادن امتیاز مثبت و منفی به جدول علائم قهقرا در گیاهان و خاک مرتع تعیین شد.

-نمونه برداری پوشش گیاهی

اندازه‌گیری درصد تاج پوشش، تراکم و میزان تولید گیاهان موجود درمدیریت‌های مختلف با استفاده از ترانسکت خطی (بطول ۵۰ متر با سه تکرار) و سطح پلات (بر اساس فرم رویشی گیاهان غالب منطقه نمونه برداری) با شکل مربع (برای سادگی اندازه گیری) و تعداد پلات مناسب (روش آماری برآورد حجم نمونه) در کنار چاله‌های حفر شده خاک، انجام شد. مقدار تولید زی‌توده هوایی گونه‌های مختلف گیاهی با روش قطع و توزین (روش نمونه گیری مضاعف) انجام شد. همچنین به‌منظور تعیین زی‌توده ریشه، گیاه به طور کامل از خاک خارج شد. بر اساس ده پایه از هر گونه گیاهی رابطه بین وزن زی توده اندام‌های هوایی و زیر زمینی گیاه به‌دست آمد. با در نظر گرفتن این نسبت بر مبنای زی‌توده هوایی مقدار زی‌توده زیر زمینی گونه‌های مورد بررسی در هر منطقه برآورد گردید. مراتع تغییر کاربری یافته به باغات با توجه به فواصل منظم پایه‌های درختی (شش متر فاصله بین پایه‌ها) دو پایه درخت که معرف میانگین زی‌توده درختان بود، به‌طور کامل همراه با ریشه از خاک خارج گردید و مقدار زی‌توده اندام هوایی و ریشه بر مبنای هکتار محاسبه شد.

- نتایج و بحث

نتایج بررسی میدانی پروژه‌های منابع طبیعی نشان داد که برای بهبود و استقرار گونه‌های خوب مرتعی، از سیستم‌های سطوح آبگیر باران همراه با بوته‌کاری گیاهان اسفناج وحشی (*Atriplex cansens*) و علف شور (*Salsola regidola*) و بذر باشی انجام شده است. عملیات بیومکانیکی و بیولوژیکی اجرا شده در مراتع منطقه در جدول (۱) آمده است.

- نتایج ارزیابی پوشش گیاهی

نتایج نشان می‌دهد که وضعیت سلامت پوشش‌گیاهی تحت مدیریت احیاء مراتع گرمسیری نسبت به منطقه شاهد (مرتع مجاور با شرایط متداول بهربردای) دارای شرایط مناسب تری است، به‌طوری که سلامتی مرتع تحت مدیریت بیومکانیکی چغاحمام، گزلان و کنه‌کبود متوسط تا خوب ارزیابی شد در حالی که مراتع شاهد که در مجاورت مراتع مورد اشاره با شرایط اکولوژیک مشابه، دارای وضعیت فقیر بود. عملیات بیومکانیکی همراه با حفاظت و قرق در مراتع پلاک جلگه نفت خانه قصرشیرین گیاهان کلاس یک و ارزشمند مرتعی (مانند شبدر، یونجه، علف‌شور و آتریپلکس) دارای فراوانی بیشتر و به‌لحاظ بنیه، شادابی و قدرت تولید بذر شرایط مناسبی دارند. همچنین آثار فرسایش خاک و تجمع خاک در پشت بوته‌ها ناشی از هرزآب مشاهده نشد. نتایج بررسی از مناطق تحت مدیریت عملیات بیومکانیکی حاکی از بهبود شرایط کمی و کیفی پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک نسبت به مناطق شاهد

۱- تیپ پوشش گیاهی تیمارهای

بررسی‌های میدانی نشان داد که تیپ پوشش گیاهی، تیمارهای تحت عملیات بیومکانیکی و سیستم چرایی شامل آتریپلکس- سالسولا (*Atripplex canescens - Salsola rigida*) است و مهمترین گونه-های همراه این تیپ شامل درمنه، یونجه یکساله، شبدر، پنیرک، بومادران و آویشن است. همچنین با پژوهش میدانی فلور گیاهی منطقه شناسایی شد. همچنین بررسی مراتع شاهد که تحت چرای شدید دام (متداول در منطقه) است نشان داد که تیپ پوشش گیاهی این مراتع Sa ri- An gr-*Annual* *(Salsola rigida grasses)* است.

۲-وضعیت مرتع در تیمارها

وضعیت یا سلامتی مراتع گرمسیری قصرشیرین در چهار تیمار با استفاده از روش شش فاکتوری انجام شد. داده‌های جدول نشان می‌دهد که مراتع تحت مدیریت بیومکانیکی همراه با قرق نسبت به مرتع شاهد از وضعیت، ضعیف به خوب ارتقاء یافته است. جدول (2) نشان می‌دهد که گرایش مرتع در تیمار بیومکانیکی دارای شرایط مثبتی است در حالی که این گرایش در تیمار سیستم چرایی منفی است که علت اصلی آن چرای شدید دام (به‌دلیل عدم نظارت دستگاه اجرایی بر ظرفیت چرایی) و عدم نظارت دستگاه اجرایی بر رعایت ظرفیت چرایی است.

جدول شماره ۲- امتیاز دهی به پارامترهای خاک و پوشش گیاهی مرتع برای تعیین وضعیت و گرایش مرتع

تیمار	پوشش تاجی		ترکیب گیاهی				تجدید حیات		حفاظت خاک		تولید		تکرار لاشبرگ		مجموع امتیاز	وضعیت مرتع	گرایش مرتع
	درصد	امتیاز	I	II	III	امتیاز	کلاس غالب	امتیاز	درصد	امتیاز	درصد	امتیاز	درصد حضور	امتیاز			
بیومکانیکی (فارو+قرق)	۶۰	۱۲	۶۴	۲۰	۱۶	۱۴/۸	I۷۰ II ۳۰	۱۲/۷	۱۸	۱۶/۴	۵۵	۸/۳	۸۰	۹	۷/۷ ۳	خوب	مثبت
	۵۹	۱۱/۸	۶۰	۲۲	۱۸	۱۴/۲	I۶۵ II ۳۵	۱۲/۴	۱۸	۱۶/۴	۵۲	۸/۱	۷۰	۸	۷۰/۹	خوب	مثبت
	۶۱	۱۲/۲	۶۲	۲۲	۱۶	۱۴/۶	I۷۰ II ۳۰	۱۲/۷	۱۹	۱۶/۲	۵۶	۸/۳	۸۰	۹	۷۳	خوب	مثبت
بیومکانیکی (چاله+قرق)	۶۳	۱۲/۶	۶۹	۲۳	۸	۱۶/۱	I۷۰ II ۳۰	۱۲/۷	۱۷	۱۶/۶	۵۷	۸/۴	۸۰	۹	۷۵/۴	خوب	مثبت
	۶۲	۱۲/۴	۶۷	۲۲	۱۱	۱۵/۶	I۷۰ II ۳۰	۱۲/۷	۱۸	۱۶/۴	۵۸	۸/۵	۸۰	۹	۷۴/۶	خوب	مثبت
	۶۴	۱۲/۴	۶۹	۲۱	۱۰	۱۵/۹	I۷۰ II ۳۰	۱۲/۷	۱۸	۱۶/۴	۵۸	۸/۵	۸۰	۹	۷۴/۹	خوب	مثبت
سیستم چرایی	۵۷	۱۱/۴	۵۲	۲۴	۲۴	۱۲/۷	I۶۰ II۴۰	۱۲	۲۳	۱۵/۴	۴۵	۷/۳	۸۰	۹	۶۷/۸	متوسط	منفی
	۵۵	۱۱	۴۸	۲۷	۲۵	۱۲/۳	I۶۰ II۴۰	۱۲	۲۴	۱۵/۲	۴۳	۷/۲	۷۰	۸	۶۵/۷	متوسط	منفی
	۵۴	۱۰/۸	۴۷	۲۶	۲۷	۱۲	I۶۰ II۴۰	۱۲	۲۲	۱۵/۶	۴۳	۷/۲	۷۰	۸	۶۵/۶	متوسط	منفی
شاهد	۳۷	۷/۶	۱۶	۳ ۶	۴۸	۶/۸	III۸ ۰ II۲۰	۱/۵	۴۱	۱۱/۸	۲۰	۲/۶	۴۰	۵	۳/۳ ۵	ضعیف	منفی
	۴۲	۸/۲	۱۵	۳۹	۴۶	۶/۹	III۷ ۵ II۲ ۵	۱/۸	۳۶	۱۲/۸	۱۸	۲/۵	۴۰	۵	۳۷/۲	ضعیف	منفی
	۳۸	۷/۶	۱۵	۳ ۵	۵۰	۶/۵	III۷ ۵ II۲ ۵	۱/۸	۳ ۴	۱۳/۲	۱۸	۲/۵	۵۰	۶	۳۷/۶	ضعیف	منفی

۳- ظرفیت مرتع در تیمارها

زمان آمادگی مرتع جهت ورود دام تابع آمادگی خاک و پوشش گیاهی است که در مراتع قشلاقی منطقه مورد پژوهش زمان ورود دام به مرتع پانزدهم آذر ماه هر سال (۰۰/۰۹/۱۵ هر سال) و خروج دام از مرتع پانزدهم فروردین هرسال (۰۰ /۰۱/۱۵) به مدت ۱۲۰ روز است. همچنین با توجه به حساس بودن سازند زمین شناسی (آغاجاری) به فرسایش، ضریب بهره برداری مجاز برای مناطق تحت مدیریت اصلاحی ۴۰ درصد و تیمارشاهد که دارای وضعیت ضعیف است، ۳۰ درصد تعیین گردید (جدول ۳). متوسط تولید کل علوفه خشک در تیمارهای مختلف در جدول (۳) نشان می‌دهد که تیمار تحت مدیریت بیومکانیکی پیتینگ همراه با نهالکاری آتریپلکس و سالسولا بیشترین تولید (۵۵۱ کیلوگرم در هکتار) است و کمترین مقدار تولید علوفه مربوط به تیمار شاهد است.

جدول ۳- تعیین ظرفیت چرای دام در تیمارهای مرتعی جلگه نفت خانه قصرشیرین

تیمار	تولید علوفه خشک (Kg/ha)	ضریب بهره‌برداری مجاز %	علوفه قابل برداشت(Kg/ha)	دوره چرا (روز)	نیاز روزانه دام Kg	ظرفیت مرتع در دوره چرایی (واحد دامی در هکتار)
بیومکانیک (فارو+قرق)	۵۱۵	۴۰	۲۰۶	۱۲۰	۲	۰/۸۶
	۴۵۷	۴۰	۱۸۳	۱۲۰	۲	۰/۷۳
	۴۸۶	۴۰	۱۹۴	۱۲۰	۲	۰/۸۱
متوسط	۴۸۶	۴۰	۱۹۴	۱۲۰	۲	۰/۸۰
بیومکانیک (چاله+قرق)	۵۶۴	۴۰	۲۲۶	۱۲۰	۲	۰/۹۴
	۵۸۵	۴۰	۲۳۴	۱۲۰	۲	۰/۹۸
	۵۰۵	۴۰	۲۰۲	۱۲۰	۲	۰/۸۴
متوسط	۵۵۱	۴۰	۲۲۰	۱۲۰	۲	۰/۹۲
سیستم چرایی	۴۰۶	۴۰	۱۶۲	۱۲۰	۲	۰/۶۸
	۳۹۶	۴۰	۱۵۸	۱۲۰	۲	۰/۶۶
	۳۷۵	۴۰	۱۵۰	۱۲۰	۲	۰/۶۳
متوسط	۳۹۲	۴۰	۱۵۷	۱۲۰	۲	۰/۶۶
شاهد	۲۰۰	۳۰	۶۰	۱۲۰	۲	۰/۲۵
	۱۸۵	۳۰	۵۶	۱۲۰	۲	۰/۲۳
	۲۰۴	۳۰	۶۱	۱۲۰	۲	۰/۲۶
متوسط	۱۹۶	۳۰	۵۹	۱۲۰	۲	۰/۲۵

برداشت‌های میدانی نشان داد که پی‌آمد چرای شدید در این مراتع کاهش گیاهان ارزشمند مرتع به لحاظ کمی و کیفی و افزایش گیاهان مهاجم و خاردار است. آثار فضولات دام‌های کوچک (بز و گوسفند) در سطح مرتع به‌وفور مشاهده شد. کوبیدگی خاک و ایجاد میکروتراس‌های ناشی از تردد زیاد دام در سطح گسترده‌ای دیده شد. روی دامنه مراتع تحت چرای شدید فرسایش سطحی و شیاری و آبراهه‌ای مشاهده شد. گیاهان کلاس دو و سه که در سطح این مراتع، جایگزین گونه‌های مرغوب شده است شامل، *Eryngium thyrsoideum*، *Euphorbia aellenii*، *Centaurea* spp،*Salvia spp*، *Poa bulbosum*، *Lactuca orientalis* و *Daphena mucronata* و *Bromus teterum* است.

۴- تعیین پوشش سطح زمین در تیمارها

پوشش سطح زمین تیمارها با استفاده از ترانسکت خطی (به طول ۵۰ متر) به‌دست آمد. طول پارامترهای پوشش گیاهی، لاشبرگ،خاک لخت و سنگ و سنگریزه در طول ترانسکت اندازه گیری شد. سپس طول پارامترهای به دست آمده مطابق جدول (4) به درصد تبدیل می‌شود. داده‌های این نشان می‌دهد درصد پوشش گیاهی و خاک لخت تحت تاثیر مدیریت بیومکانیکی نسبت به مراتع شاهد تغییر مثبتی داشته است به طوری که درصد پوشش گیاهی در تیمار شاهد نسبت به تیمار پیتینگ همراه با بوته کاری به ترتیب ۳۹ و ۶۲/۱ به دست آمد و درصد خاک لخت در تیمار شاهد نسبت به تیمار پیتینگ همراه با بوته کاری به ترتیب ۳۷ و ۱۷/۱ به‌دست آمد.

جدول ۴- پوشش سطح زمین در تیمارهای مختلف مراتع جلگه نفت خانه قصرشیرین

تیمار	٪ پوشش گیاهی	٪ لاشبرگ	٪ خاک لخت	٪سنگ و سنگریزه
بیومکانیک (فارو+قرق)	۶۴	۶	۱۵	۱۵
	۶۰	۵	۱۷	۱۸
	۵۹	۴	۲۰	۱۶
	۶۴	۶	۱۴	۱۶
	۵۸	۵	۲۰	۱۷
	۶۷	۶	۱۴	۱۳
	۵۸	۴	۲۱	۱۷
	۵۷	۴	۱۶	۲۳
	۶۱	۴	۱۷	۱۸
متوسط	۶۰/۹	۴/۹	۱۷/۱	۱۷/۰
بیومکانیک (چاله+قرق)	۶۲	۶	۱۷	۱۵
	۵۸	۵	۲۱	۱۶
	۷۰	۵	۱۲	۱۳
	۶۴	۶	۱۶	۱۴

	۶۲	۵	۱۸	۱۵
	۶۷	۶	۱۳	۱۴
	۶۰	۴	۱۵	۲۱
	۶۰	۵	۱۹	۱۶
	۵۶	۴	۲۳	۱۷
متوسط	۶۲/۱	۵/۱	۱۷/۱	۱۵/۷
سیستم چرایی	۵۷	۵	۲۴	۱۴
	۵۹	۵	۱۹	۱۷
	۵۴	۵	۲۶	۱۵
	۵۲	۵	۲۵	۱۸
	۵۶	۴	۲۳	۱۷
	۵۸	۵	۲۳	۱۴
	۵۷	۵	۲۲	۱۶
	۵۱	۵	۲۵	۱۹
	۵۵	۴	۲۰	۲۱
متوسط	۵۵/۴	۴/۸	۲۳/۰	۱۶/۸
شاهد	۳۷	۴	۴۴	۱۵
	۳۵	۴	۴۳	۱۸
	۳۹	۴	۳۷	۲۰
	۴۸	۴	۳۰	۱۸
	۳۸	۴	۳۸	۲۰
	۴۰	۴	۴۰	۱۶
	۳۸	۴	۳۴	۲۴
	۳۶	۴	۳۵	۲۵
	۴۰	۴	۳۲	۲۴
متوسط	۳۹	۴	۳۷	۲۰

نتایج مقایسه میانگین پوشش سطح زمین (گیاه، خاک لخت و لاشبرگ) و تولید علوفه (جدول۵) را نشان می‌دهد که در آن درصد پوشش گیاهی سطح زمین در مراتع تحت عملیات مختلف (فارو، پیتینگ، سیستم چرایی و شاهد) متفاوت بوده است. یعنی میان سطح تاج گیاهان در تیمارهای فارو، پیتینگ اختلاف معنی داری وجود ندارد ولی میان تیمار فارو و پیتینگ با سیستم چرایی و شاهد اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. تفسیر متغییرهای خاک لخت و لاشبرگ نیز مشابه متغییر پوشش گیاهی است. همچنین جدول (۵) نشان می دهد که میان سه تیمار فارو، پیتینگ و سیستم چرایی

اختلاف معنی داری وجود ندارد ولی میان این سه تیمار با تیمار شاهد اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. مقایسه میانگین مقدار علوفه تولیدی در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که بیشترین تولید علوفه ۵۵۱/۳۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عملیات پیتینگ است و کمترین مقدار ۱۹۶/۳۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار شاهد است که تحقیقات صیادی، ۱۳۶۳ به منظور بررسی تاثیر روش Pitting (چاله چاله) بر بهبود تولید علوفه مرتع و ترکیب پوشش گیاهی نتیجه مشابهی گرفت که گیاهان مرتعی کشت شده تحت سیستم Pitting دارای قدرت تولید، شادابی و تولید بیشتری بودند. همچنین نتایج تجزیه آماری (جدول ۵) نشان می دهد که میان مقدار تولید علوفه در تیمارهای فارو، پیتینگ، سیستم چرایی و شاهد اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. در تایید نتایج این تحقیق، جعفری و همکاران، (۲۰۰۹) در سیرجان تحقیقات مشابهی مشابهی انجام داده‌اند که نتایج آن نشان می دهد که احداث آبگیر هلالی در مراتع این منطقه منجر به‌تولید دو برابر علوفه و افزایش ۱۳۷ درصد پوشش تاجی نسبت به مرتع شاهد شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین متغییرهای پوشش زمین در تیمارهای مراتع گرمسیری قصرشیرین

شاخص ها	تیمارها				Sig.
سطحی خاک	فارو	پیتینگ	سیستم چرایی	شاهد	
پوشش گیاهی	۶۰/۸۹$^{(a)*}$	۶۲/۱۱$^{(a)}$	۵۵/۴۵$^{(b)}$	۳۹/۰۰$^{(c)}$	<۰/۰۰۰۱
خاک لخت	۱۷/۱۱$^{(c)}$	۱۶/۸۰$^{(c)}$	۲۳/۰۰$^{(b)}$	۳۷/۰۰$^{(a)}$	<۰/۰۰۰۱
لاشبرگ	۴/۸۸$^{(a)}$	۵/۱۱$^{(a)}$	۴/۷۸$^{(a)}$	۴/۰۰$^{(b)}$	<۰/۰۰۰۸
سنگ و سنگریزه	۱۷/۰۰$^{(b)}$	۱۵/۷۰$^{(b)}$	۱۶/۸۰$^{(b)}$	۲۰/۰۰$^{(a)}$	<۰/۰۰۰۴
تولید علوفه	۴۸۶/۰۰$^{(b)}$	۵۵۱/۳۳$^{(a)}$	۳۹۲/۳۳$^{(c)}$	۱۹۶/۳۰$^{(d)}$	<۰/۰۰۰۱

*اعداد با حروف غیرهمسان دارای اختلاف معنی دار با هم هستند در سطح ۵٪

بحث

مشاهدات میدانی مراتع گرمسیری جلگه نفت‌خانه قصرشیرین نشان می‌دهد که تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها، در اثر چرای شدید دام، پو شش گیاهی ضعیفی دارد که منجر به گ سترش فر سایش انحلالی به شکل تونلی و خندقی در سطح و سیعی از مرتع شده ا ست. ایجاد شکل فر سایش انحلالی (خندقی و دولین) در این مراتع ناشی از درصد زیاد سیلت در بافت خاک و کمبود ماده آلی در خاک است (Feiznia *et al*., 2007). به‌طوری که بررسی‌های خاک‌شناسی و کانی‌شناسی سازندهای مارنی زاگرس توسط Karimi Mossadegh و *همکاران* (۲۰۰۹)، نشان داد که بافت سیلتی لوم در این مناطق مارنی غالب بوده و مقدار سیلت نسبت به عمق افزایش می‌یابد. خسارات ناشی از تخریب چنین سازند حساس به فرسایش می‌تواند زمینه‌ساز کانون ریزگرد در این منطقه باشد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اجرای عملیات بیومکانیکی و مدیریت سیستم چرایی در مقایسه با تیمار شاهد، بستر بهبود پوشش گیاهی و افزایش ترسیب کربن را فراهم کرده است که نتایج تحقیقات Chamani و همکاران (۲۰۱۱)، Abdollahi و همکاران (۲۰۱۵) و Habibzadeh و همکاران (۲۰۰۷) گواه این موضوع می‌باشد. همچنین در صد و ترکیب پوشش گیاهی، وضعیت و گرایش مراتع گرمسیری جلگه نفت‌خانه تحت تاثیر عملیات بیومکانیکی و مدیریت چرا نسبت به مراتع شاهد روند مثبتی داشته است به‌طوری مراتع شاهد با وضعیت فقیر، گرایش منفی و پوشش غالب گیاهان کم ارزش، تحت عملیات بیومکانیکی تبدیل به وضعیت متوسط، گرایش مثبت و گسترش گیاهان کلاس یک بود. نتیجه مشابه تحقیقات Souri و همکاران، (۲۰۱۷) در سیلوانا، آذربایجان غربی و Bahmadi و Shariari (۲۰۱۶) نشان دادند کمیت و کیفیت پارامترهای پوشش گیاهی تحت تاثیر عملیات مکانیکی و بیومکانیکی شرایط مناسب‌تری نسبت به شاهد دارند. اگر چه در تیمار سیستم چرایی، وضعیت مرتع نسبت به شاهد مناسب‌تر است ولی نسبت به تیمار بیومکانیکی شرایط مطلوبی ندارد که علت آن عدم نظارت دستگاه اجرایی در کنترل دامداران کوچک و کم‌درآمد مراتع گرمسیری منطقه است. همچنین دوره طولانی چرا (حدود ۱۶۵ روز)، فقر، بیکاری و مشکلات خاص منطقه به روند تخریب پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک در این تیمار دامن می‌زند. لذا افزایش تاج پوشش گیاهی به‌ویژه با گیاهانی مانند اسفناج وحشی و علف شور که مقام و سازگار با شرایط اکولوژیکی و چرای دام، همراه با ریشه‌های قوی و گسترده، مناسبترین شیوه حفظ مرتع و کنترل فرسایش انحلالی در مراتع گرمسیری قصرشیرین بود.

مقایسه میانگین تولید زی‌توده و کربن ترسیب شده آن همراه با علوفه تولید شده در تیمارهای مختلف، نشان می‌دهد که بیشترین تولید زی‌توده و کربن ترسیب شده مربوط به تیمار عملیات پیتینگ است و کمترین مقدار در تیمار شاهد بود. در تایید نتایج این تحقیق، پژوهش‌های Joneidi Jafari و همکاران (۲۰۱۳) در ایوانکی، Jafari و همکاران (۲۰۱۲) در تنگستان، Yari و همکاران (۲۰۱۲)، Heidarian Aghakhani و همکاران (۲۰۱۰) در بیرجند و Habibzadeh و همکاران (۲۰۰۷)، تحقیقات مشابهی انجام داده‌اند که نتایج آن نشان می‌دهد که احداث سطوح آبگیر باران در مراتع منجر به تقویت پوشش گیاهی، افزایش تولید دو برابری علوفه و افزایش ترسیب کربن همراه با حفاظت خاک شده است. همچنین تحقیقات Abu-Zanata و همکاران (۲۰۰۴)، نشان داد که اجرای عملیات بیومکانیکی ذخیره نزولات در مراتع با بارش ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در سال، نقش مفیدی در افزایش تولید علوفه و زی‌توده گیاهی دارد. همانطور که در بندهای قبلی بیان شد، رخنمون‌های مارنی (سازند آغاجاری و گچساران)، شوری آب زیرزمینی و پایین بودن ماده آلی خاک در منطقه قصرشیرین (مراتع پلاک جلگه نفت خانه) در صورت تخریب پوشش گیاهی، شرایط مستعد تشکیل کانون ریزگرد و فرسایش بادی است. بر این اساس تنها شیوه حفظ پایدار منابع سرزمین و جلوگیری از ایجاد کانون‌های

ریزگرد در این مراتع، استقرار پوشش گیاهی با روش‌های مناسب همراه با اعمال سیستم مدیریت چرایی مناسب شرایط خاص منطقه است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مناسب‌ترین شیوه بهبود پوشش گیاهی و ترسیب کربن در مراتع گرمسیری جلگه نفت خانه قصرشیرین عملیات بیومکانیکی پیتینگ همراه با بوته‌کاری است و در این تیمار رابطه مستقیمی میان افزایش سطح تاج پوشش و زی‌توده‌گیاهی با کاهش فرسایش انحلالی (تونلی و خندقی) مشاهده شد. لذا به‌دلیل اهمیت پوشش گیاهی در حفاظت خاک، ظرفیت ترسیب کربن و کنترل ریزگردها به‌ویژه در مناطق حساس به فرسایش قصرشیرین، اهمیت انجام روش‌های بیومکانیکی و مدیریت چرای دام بسیار ضروری است. به‌عبارت دیگر رویکردی مناسب و سازگار با شرایط اکولوژیکی و سازند حساس به فرسایش برای بهبود کمیت و کیفیت پوشش گیاهی مرتع و ترسیب کربن اجرای پروژه بیومکانیکی پیتینگ با بوته‌کاری است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مناسب‌ترین شیوه بهبود پوشش گیاهی و ترسیب کربن در مراتع گرمسیری جلگه نفت خانه قصر شیرین عملیات بیومکانیکی پیتینگ همراه با بوته‌کاری است و در این تیمار رابطه مستقیمی میان افزایش سطح تاج پوشش و زی‌توده‌گیاهی با کاهش فرسایش انحلالی (تونلی و خندقی) مشاهده شد. لذا به‌دلیل اهمیت پوشش گیاهی در حفاظت خاک، ظرفیت ترسیب کربن و کنترل ریزگردها به‌ویژه در مناطق حساس به فرسایش قصرشیرین، اهمیت انجام روش‌های بیومکانیکی و مدیریت چرای دام بسیار ضروری است. به‌عبارت دیگر رویکردی مناسب و سازگار با شرایط اکولوژیکی و سازند حساس به فرسایش برای بهبود کمیت و کیفیت پوشش گیاهی مرتع و ترسیب کربن اجرای پروژه بیومکانیکی پیتینگ با بوته‌کاری است.

منابع

- Abdollahi, V., Zolfaghari, F., Jabbary, M. and Dehghan, M.R., 2016. Effect of crescent pond on soil and vegetation properties in Saravan Rangelands (Sistan and Baluchestan Province). Iranian Journal of Range and Desert Research, 22(4): 658- 672.
- Abu-Zanata, M., W, Ruyleb, G.B. and Abdel-Hamid, N. F., 2004. Increasing range production from fodder shrubs in low rainfall areas. Journal of Arid Environments, 59: 205–216.
- Ariapour, A., Mehrabi, H.R., Dehpahlavan, A., 2016. Effects of range reclamation projects on forage production, condition and trend in Khezel rangeladns, Nahvand region. Journal of Rangeland, 10(1): 1- 10.
- Azarnivand, H. and Zare Chahouki, M.A., 2010. Range Improvement. Tehran University press. 354p.

- Bahmadi, M.H. and Shariari, A., 2016. Effects of different rainfall storage methods on vegetation restoration (Case study: Romeh and Dehno watershed, Nehbandan city). Iranian journal of Range and Desert Reseach, 23(1): 51-57.
- Batjes, N.H., 1999. Management options for reducing co2 concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410- 200- 031. Dutch National research Programmed on global Air Pollution and Climate Change and Technical Paper 30. International soil Reference and information Center. Wageningen.
- Chamani, A., M. Tavan. and Hoseini, S.A., 2011. Effect of three operation systems of contour furrow, pitting and enclosure on rangeland improvement (Case study: Golestan province, Iran). Journal of Rangeland Science, 2(1): 379-387.
- Derner, J.D. and Schuman, G.E., 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation, 62: 2, 77-85.
- FAO., 2003. Food energy- methods of analysis and conversion factors. Rome.
- Feiznia, S., Heshmati, M., Ahmadi, H. and Ghodos, J. 2007. Investigation of gully erosion inMarly Agha-Jari formation in Zagross (Case study: Ghasre-Shirin, Kermanshah). Pajouhesh& Sazandegi No 74 pp: 32-40.
- Habibzadeh, A., Godarzy M., Mehrvarz, K. and Javanshir., 2007. The Effect of Pitting, Ripping and Contour Furrow on the Moisture Storage and Increase in Plant Cover. Journal of the Iranian Natural Research, 60(2): 397- 410.
- Heidarian Aghakhani, M., Naghipour Borj, A.A. and Tavakoli, H., 2010. The Effects of grazing intensity on vegetation and soil in Sisab rangelands, Bojnord, Iran. Iranian journal of Range and Desert Reseach, 17(2): 243-255.
- Jafari, A., Khosravanian, H. and Fakhri, F., 2012. Evaluation of flood spreading and closed treatment effecton vegetation changes in Tanghestan station of Bushehr province. Journal of WatershedEngineeringandManagement. 4(2): 103-110.
- Javadi, A., Mosavian, J., Jafari, M., Arzani, H. and Mosavian, M., 2011. The Effect of Pasture Improvement Methods on Soil Properties in Passionate and Rigorous Rangelands (Case Study: Hoor Hendijan). Renewable Natural Resources Research, 3(2):1-8.
- Joneidi Jafari, H., Azarnivand, H. and Zare Chahouki, M.A., Jafari, M. and Kargari, A., 2013. Effects of contour furrow on carbon sequestration and nitrogen fixation in Artemisia sieberi Rangelands of Semnans Province. Journal of Range and Desert Research, 22(2): 658- 672.
- Karimi Mossadegh, Z., Haig, D.W., Allan, T., Adabi M.H. and Sadeghi, A., 2009, Salinity changes during Late Oligocene to Early Miocene Asmari Formation deposition, Zagros Mountains, Iran: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 272: 17-36.
- Moghiminejad, F., Jafari, M., Zare Chahooki, M. A., Ghasemi Arian, Y. and Kohandel, A. 2015. Comparison of soil physical and chemical properties between the sites of exclosure and grazing (Casestudy: Nazarabad-Karaj). Iranain Journal of Rangeland and Desert Research, 21(4): 643-650.

- Souri1, M., Mahdavi, K. and Tarverdizadeh Sancari, S., 2017. Effects of mechanical improvement treatments on vegetation performance Case study: Silvana rangelands in West Azerbaijan province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 24(2): 360-369.
- Yari, R., Tavili, A. and Zare, S., 2012. Investigation on soil surface indicators and rangeland functional attributes by Landscape Function Analysis (LFA) (Case study: Sarchah Amari Birjand). Iranian journal of Range and Desert Research, 18(4): 624-636.

وضعیت حق‌آبه زیست محیطی در سراب و پایاب حوضه حله

باقر قرمزچشمه*[۱]

۱*-استادیار (نویسنده مسئول)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
baghergh@gmail.com

چکیده

به دلیل ارتباط و تاثیر بخش‌های مختلف رودخانه، در برنامه‌ریزی‌ها و اجرای هرنوع سازه روی رودخانه می‌بایست حق‌آبه و میزان جریان زیست محیطی برای ادامه حیات جوامع و اکوسیستم‌های پایین دست نیز در نظر گرفته شود، به عبارتی در مطالعات آن، این موضوع لحاظ شود. جریان زیست محیطی یا نیاز آبی زیست محیطی در رودخانه‌ها در واقع بیان کننده میزان جریان مورد نیاز برای حفظ اکوسیستم آبی می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع هدف از انجام این پژوهش، بررسی جریان زیست محیطی با استفاده از شاخص‌های مهم و متداول در رودخانه‌های واقع در حوضه‌های کشور می‌باشد، دو ایستگاه در سراب و پایاب حوضه حله به‌منظور بررسی جریان زیست محیطی از دو روش تنانت، تسمن، استفاده شد. در روش تنانت در صدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه را به عنوان زیست محیطی پیشنهاد می‌کند. سطح مورد نظر در این روش با توجه به شرایط مدیریتی حالت قابل قبول، معادل ۳۰ درصد جریان برای نیمه فروردین تا شهریور و ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه برای برای مهرماه تا نیمه فروردین و بعبارت دیگر دو دوره کم آبی و پر آبی می‌باشد. در روش تسمن با اقتباس از پیشنهادات فصلیِ روش تنانت و بر مبنای متوسط جریان ماهانه و متوسط جریان سالانه و ترکیبی از آن‌ها، حداقل جریان زیست محیطی تعیین می‌شود. نتایج نشان داد که در دوره پایه (۷۴-۱۳۴۵) حق‌آبه زیست محیطی رودخانه رعایت شده است و در سراب حوضه حدود ۱۰درصد مواقع در شرایط کمتر از حد قابل قبول بوده و در پایاب کاملا پایداری رودخانه به لحاظ حق‌آبه مشاهده می‌شود. در دوره فعلی (۹۶-۱۳۷۵) حق‌آبه رودخانه به شدت کاهش‌یافته و بیش از ۵۰ در صد مواقع حق‌آبه اکوسیستم رودخانه از بین رفته است. این وضعیت بیانگر شرایط بحرانی اکوسیستم رودخانه بوده و با ادامه این وضعیت گونه‌های گیاهی و جانوری رودخانه دستخوش تغییر قرارگرفته و باعث به هم خوردن تعادل اکوسیستم رودخانه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی:

روش تسمن، روش تنانت، حوضه حله، اکوسیستم رودخانه، حق‌آبه

مقدمه

اکوسیستم رودخانه‌ها معمولا تحت تاثیر عوامل طبیعی رودخانه و عوامل تاثیر گذار انسانی ازجمله ساخت سدها، برداشت از رودخانه و مصارف بیش از حد، تخلیه فاضلاب، برداشت بیش ازحد از منابع آب زیرزمینی

و... است. به‌منظور پیشگیری از اثرات منفی دراز مدت طرح‌ها بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، لازم است نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی رودخانه در قالب نیاز زیست‌محیطی تعریف و در تعاملات تخصیص آب مدنظر قرار گیرد. این جریان در واقع یک توزیع تجویزی در مکان و زمان مشخص بوده که در یک رودخانه رها می‌شود تا سلامت رودخانه و اکوسیستم آن پایدار بماند. هرچند گسترش طرح‌های توسعه منابع آب با توجه به روند فزاینده جمعیت، امری اجتناب ناپذیر است. اما از سوی دیگر ذخیره، تنظیم و برداشت بالای منابع آب رودخانه‌ها سبب بر هم ریختن رژیم طبیعی جریان آب در بخش اعظمی از سیستم‌های حوضه رودخانه‌ها شده است که موجب تغییر ساختار و فرآیندهای لازم جهت حفظ اکوسیستم‌های طبیعی وابسته به رودخانه، ایجاد موانع جهت حرکت مواد و همچنین تبادلات طولی و عرضی در طول رودخانه و کاهش ارتباطات بین اکوسیستم‌ها، فعالیت‌های حیاتی گیاهان و موجودات، تغییر در ساختار شبکه اکوسیستمی، تغییر در کیفیت آب و ... می‌شود. بنابراین مساله اساسی در راستای حفظ اکوسیستم‌های آبی تامین حداقل جریان زیست‌محیطی و یا حق‌آبه زیست‌محیطی برای حفظ حیات اکوسیستم آن می‌باشد و اینکه این میزان چگونه تعیین می‌شود؟ حداقل آن چقدر است و در طول رودخانه چه‌بخش‌هایی شرایط بحرانی دارد و آیا می‌توان به مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های آتی روی رودخانه‌ها دست یافت.

سعیدی و همکاران (۱۳۹۰) جریان زیست محیطی رودخانه کارون را به سه روش منحنی تداوم جریان، تنانت[5]و ا سماختین با ا ستفاده از داده‌های ۴۱ ساله ای ستگاه ملاثانی بد ست آوردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش اسماخین به دلیل دقت، قابلیت و حساست زیست محیطی بیشتر خود نسبت به دو روش دیگر از نتایج بهتری برخوردار است.

تقوی کلجاهی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی با اســـتفاده از روش‌های منحنی تداوم جریان و روش جامع نیاز آب زیســـت محیطی تالاب میانکاله را درمحل ورودی رودخانه‌های تغذیه کننده آن برآورد کردند. نتایج نشـــان داد با تأمین حداقل دبی ورودی به ترتیب به میزان ۰/۳۲۵ و ۰/۰۱۵ مترمکعب برثانیه، تالاب در شرایط نسبتا مناسب (Q95) حفظ می‌شود.

م صطفوی و یا سی(۱۳۹۴) درتحقیقی با ارزیابی حداقل جریان زی ست محیطی رودخانه باراندوزچای با روش‌های اکوهیدرولوژیکی به این نتیجه ر سیدند که دو روش انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی به دلیل درنظرگرفتن کلاس های مختلف اکولوژیکی، توجه به تغییر پذیری طبیعی جر یان، و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان‌های زیست محیطی پیشنهادی خود نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت دارد. نتایج این تحقیق نشـان می‌دهد که برای حفظ رودخانه باراندوزچای در حداقل وضـعیت

5 Tennant

اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست محیطیC) شدت جریان ۱/۹ مترمکعب بر ثانیه (معادل۲۶ درصد متوسط جریان سالانه) به طور متوسط در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه، باید برقرار گردد.

حبیبی آلاگوز و ستاری (۱۳۹۷)، در تحقیقی حق‌آبه زیست محیطی رودخانه قطورچای را با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی برآورد کردند. روش تغییرمنحنی تداوم جریان درکلاس اکولوژیکی C عمدتا به علت سازگاری بیش‌تر با شرایط هیدرولوژیکی واکولوژیکی نسبت به سایر روش‌ها به عنوان روش مناسب انتخاب شد. نتایج نشان داد برای حفظ حیات رودخانه قطورچای در کمترین وضعیت اکولوژیکی قابل قبول باید دبی متوسط سالیانه ۶/۹۴ مترمکعب بر ثانیه (معادل با ۴۸ درصد جریان طبیعی رودخانه) در داخل رودخانه جریان داشته باشد.

رزاقی رضائیه و همکاران (۱۳۹۷) با توجه به اهمیت رودخانه مهابادچای در حوضه دریاچه ارومیه به برر سی جریان زیستمحیطی آن پرداختند و در این رابطه از چهار روش هیدرولوژیکی تنانت، تسمن[6]، تغییر منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی استفاده نمودند. بر اساس مقایسه نتایج روش‌های مورد استفاده، روش اکوهیدرولوژیکی تغییر منحنی تداوم جریان در کلاس زیستی C انتخاب شد و نیاز زیست محیطی رودخانه مهابادچای در ایستگاه بیطاس و کوتر به ترتیب ۰/۳۵ و ۱/۱۷ مترمکعب برثانیه برآورد گردید.

پیروزیان و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از هفت روش هیدرو اکولوژیکی تنانت، تسمن، شاخص‌های تداوم جریان، اسماختین، انتقال منحنی تداوم جریان، مدل ذخیره رومیزی (DRM :Desktop Reserve Model) و شاخص کیفیت آب، به ارزیابی توزیع ماهانه جریان زیست محیطی رودخانه دائمی الندچای در شمال استان آذربایجان غربی پرداختند. ایشان دریافتند در بین هفت روش مورد استفاده منحنی انتقال منحنی تداوم جریان با مقدار ۱/۵۶ مترمکعب برثانیه بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و کم‌ترین مقدار هم مربوط به روش تنانت می‌باشد (با مقدار ۰/۳۹ مترمکعب بر ثانیه) و بقیه روش‌ها بین این دو قرار می‌گیرد.

شاکری زارع و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی نیاز زیست محیطی رودخانه هریرود (حدفاصل تایباد تا سرخس) در قسمت پایین دست سد سلما افغانستان با روش‌های مختلف اکوهیدرولوژی با چهار روش تنانت،تسمن، مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان (FDC Shifting) برآورد نمودند. بر اساس نتایج حاصل، نیاز زیست محیطی رودخانه هریرود ایران در طبقه مدیریت زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به طور متوسط ۳۰ در صد دبی متوسط سالانه برآورد شده است. بطوریکه مرداد ماه تا مهر ماه دوره بحرانی رودخانه مرزی هریرود ایران می‌باشد و این دوره با کم آب

6 Tessman

شدن رودخانه مذکور بعد از احداث و آبگیری سد سلما در افغانستان (سال۱۳۹۲ شمسی) در حال افزایش می‌باشد.

اورث و موقان (۱۹۸۱) در مطالعه‌ای بر روی ۲۴ مورد از رودخانه‌های اوکلاهما دریافتند که روش تنانت برای استفاده در رودخانه‌های این منطقه باید اصلاح شود. آنها میزان جریان زیست محیطی مورد نیاز در شرایط قابل قبول را ۱۰ درصد MAR برای جولای تا دسامبر (به‌جای اکتبر تا مارس) و ۳۰ درصد MAR را برای ژانویه تا ژوئن (به‌جای اوریل تا سپتامبر) پیشنهاد کردند.

مان (۲۰۰۶) به بررسی کاربرد روش تنانت در آبراهه‌هایی با شیب زیاد پرداخت. وی با مطالعه بر روی ۱۵۱ مقطع عرضی از ۷۰ رودخانه در غرب ایالات متحده نتیجه گرفت که روش تنانت در رودخانه‌های با شیب کم (کمتر از ۱٪) کاربردی‌تر می‌باشد. وی بیان داشت در رودخانه‌هایی با شیب بیشتر، روش تنانت باید با احتیاط بیشتری مورد استفاده قرار گیرد و محدود به مراحل برنامه‌ریزی پیشنهادات جریان زیست محیطی باشد. همچنین از روش تنانت باید در سناریوهای حفاظت جریان درون رودخانه ای استفاده کرد، نه در سناریوهای احیا و بازگردانی.

وات (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه‌ها در آنتاریو کانادا از سه روش تنانت، تسمن و ترکیبی از Q50 و Q90 ماهیانه، برای تعیین حداقل جریان زیست محیطی استفاده کرد. وی نتیجه‌گیری کرد که دو روش تنانت و تسمن با وضعیت رودخانه‌های آنتاریو سازگار نمی‌باشد و کاربرد این روش‌ها را درصورت استفاده از مطالعات بیشتر و اصلاح آنها برای رودخانه‌های آنتاریو مناسب می‌داند .

هو و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیرات سدها بر روی وضعیت‌های اکولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه Huaih در چین از روش RVA استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که سدها اثرات منفی شدیدی بر وضعیت‌های اکولوژیکی حوضه آبریز Huaih مخصوصاً در فصول خشک دارند. آنها با استفاده از ضوابط روش تنانت و با توجه به بار آلودگی زیاد در فصول خشک از ۲۰ ٪ متوسط چند ساله جریان به‌عنوان نیاز زیست محیطی و اکولوژیکی استفاده کردند که این جریان ۲۰ درصدی پیشنهادی در محدوده RVA متوسط جریان‌های ماهیانه در ماه‌های خشک قرار داشت.

بررسی سوابق مطالعات بررسی و تعیین جریان زیست‌محیطی در داخل و خارج کشور نشان‌دهد روشهای تنانت و تسمن در شرایطی که فقط اطلاعات ماهانه دبی در دسترس باشد، روش مقبولی برای تعیین حق‌آبه زیست محیطی رودخانه ها هستند. در منابع مورد بررسی بیشتر روشها باهم مقایسه شده ولی برای ارزیابی دوره‌های مختلف آزآنها استفاده نشده است. در این پژوهش از دو روش ذکر شده برای ارزیابی وضعیت فعلی رودخانه ها نسبت به دوره پایه (دوره ای که عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه تاثیر معنی داری نداشته باشند، تعریف شده است). بعلاوه مقایسه حق‌آبه زیست محیطی بین سراب و پایاب رودخانه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

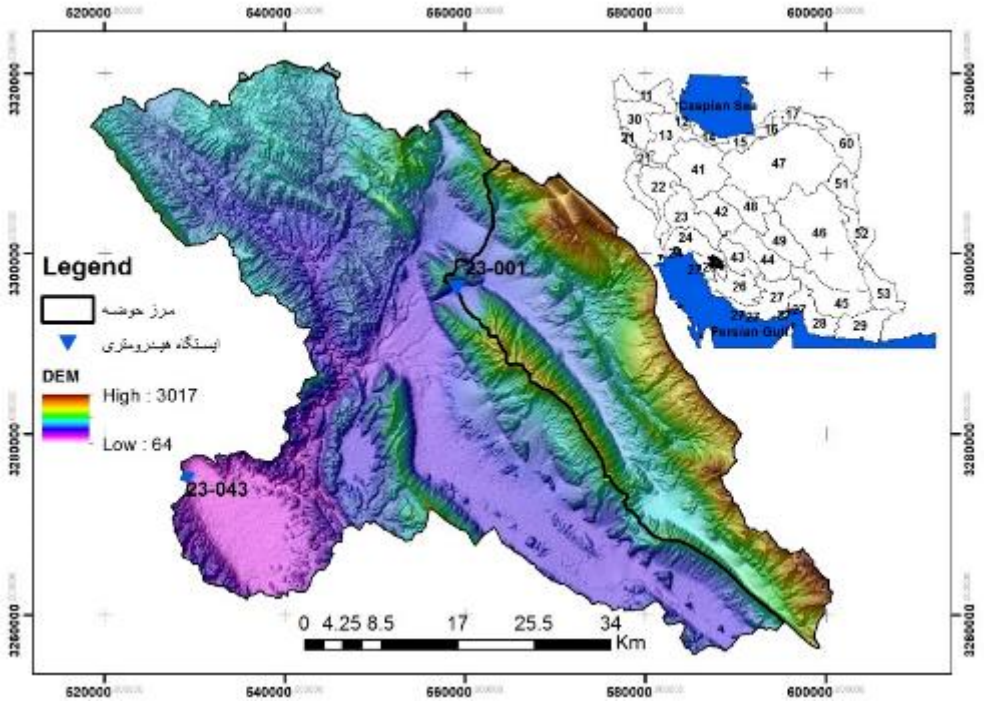
مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

حوضه حله در جنوب غرب کشور و یکی از رودخانه‌های مهم محسوب می‌شود در این حوضه دو ایستگاه تنگ چگان واقع در رودخانه رنجان به عنوان سراب حوضه . ایستگاه چتب-بورکی بر روی رودخانه شاپور به عنوان پایاب حوضه حله انتخاب شدند که مشخصات انها در جدول (۱) و موقعیت ایستگاه و حوضه بالادست آن در شکل (۱) آورده شده است. حوضه بالادست ایستگاه تنگ چگان با مساحت ۷۷۰کیلومتر مربع و ارتفاع خروجی آن ۸۷۰متر در ارتفاعات حوضه حله واقع شده است. حوضه بالادست ایستگاه چیتی-بورکی با مساحت ۲۴۲۸ کیلومتر مربع و ارتفاع خروجی آن ۴۸۳ متر در پایین دست حوضه حله قرار گرفته است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

استان	کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام رودخانه	ارتفاع- متر	مساحت- کیلومتر مربع	نام حوضه رتبه ۲	موقعیت حوضه
فارس	23-001	تنگ چگان-رنجان	رنجان	870	770	حله	سراب
فارس	23-043	چیتی-بورکی	شاپور	483	2428	حله	پایاب



شکل ۱- موقعیت حوضه در کشور

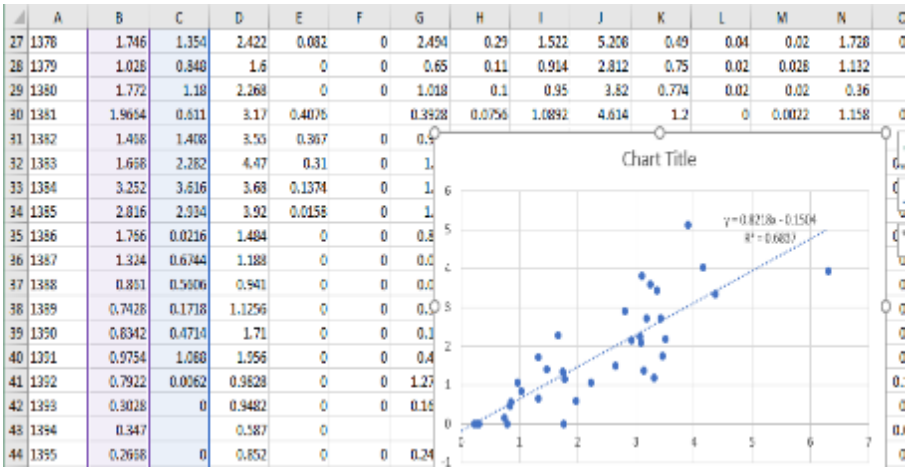
روش هیدرولوژیکی تنانت (تنانت، ۱۹۷۶): این روش درصدی از متوسط جریان سالیانه است. در این روش ۱۰ درصد متوسط جریان سالیانه (MAF: Flow Annual Mean) حداقل جریان برای بقای کوتاه مدت ماهی‌ها می‌باشد، ۳۰ درصد MAF قادر به حفظ وضعیت‌های خوب و ۶۰ درصد آن برای زیستگاه مطلوب مناسب می‌باشد. سطح قابل قبول این روش با توجه به دستورالعمل وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد دبی متوسط سالیانه برای فروردین تا شهریور (بعنوان دوره پر آبی) و ۱۰ درصد دبی متوسط سالانه برای مهر تا اسفند (بعنوان دوره کم آبی) می‌باشد (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۷؛ کایسی و الجابی، ۱۹۹۵؛ الجابی و کایسی، ۲۰۱۹).

روش هیدرولوژیکی تسمن (تسمن، ۱۹۸۰): این روش بر مبنای پیشنهادات فصلی روش تنانت و از ترکیبی از متوسط جریان ماهیانه (MMF: Flow Monthly Mean) و متوسط جریان سالیانه (MAF) برای تعیین حداقل جریان ماهیانه بنا نهاد شده است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ وات، ۲۰۰۷):

- اگر MMF کوچکتر از ۴۰ درصد MAF باشد، MMF بعنوان حداقل جریان ماهیانه درنظر گرفته می‌شود.
- اگر MMF بزرگتر از ۴۰ درصد MAF باشد، MAF40% بعنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.
- اگر MMF بزرگتر از MAF باشد، MMF 40% بعنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه حق‌آبه زیست محیطی داده‌های روزانه ایستگاههای هیدرومتری تنگ چگان بعنوان سراب حوضه و چیتی-بورکی پایاب حوضه انتخاب شد. داده‌های ماهانه بعنوان ورودی دو روش فوق با روش رگرسیونی بازسازی و در دوره آماری ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۶ سری زمانی ماهانه آنها محاسبه شد. در شکل (۲) شمایی از نحوه بازسازی و تکمیل داده‌ها آورده شده است.

با بررسی وضعیت دبی جریان رودخانه‌های کشور مبتنی بر خروجی گزارشات وزارت نیرو، روند دبی سالانه ایستگاههای کشور از سال ۱۳۷۴ نزولی بوده و بیانگر اثرات اقلیمی و انسانی بر جریان رودخانه می‌باشد. لذا دوره ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۴ به‌عنوان دوره پایه و دوره ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۶ به‌عنوان دوره ای که تحت تاثیر فعالیتهای بشری می‌باشد، انتخاب شد. دور روش ذکر شده ابتدا برای دوره پایه محاسبه و سپس، برای هر یک از ماه- سال دوره ۹۶-۱۳۷۵ روش ذکر شده محاسبه و طبقه بندی لازم صورت گرفت. بر اساس طبقه بندی‌های صورت گرفته در روش ذکر شده و معیار متوسط در طول دوره پایه کلیه ماه-سالهای کل دوره نسبت به آن مورد مقایسه و در دو کلاس غیر بحرانی (به‌لحاظ مدل حق‌آبه زیست محیطی رعایت شده) و بحرانی (به‌لحاظ مدل حق‌آبه زیست محیطی رعایت نشده) قرار داده شد و تعداد سال-ماه برای هر دوره مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲-نمونه ای از تکمیل سال‌های فاقد داده بروش رگرسیون خطی

در سراب حوضه معمولا تغییرات سالانه جریان زیاد بوده و همچنین در طول ماههای مختلف نیز تغییرات قابل ملاحظه می‌باشد. با نزدیک شدن به پایاب حوضه، تغییرات سالانه و ماهانه کمتر شده و پایداری جریان قاعدتا بیشتر میشود. از طرفی با برداشت بی رویه در سالهای اخیر و تاثیر منفی آن بر جریان دبی روند کاهشی داشته و انتظار می‌رود در سالهای اخیر حق‌آبه رودخانه دستخوش تغییر قرار گرفته باشد. لذا دو ایستگاه سراب و پایاب در سه دوره شامل دوره پایه، دوره تحت تاثیر فعالیتهای بشری و کل دوره با دو روش ذکر شده مورد مقایسه قرار گفتند.

نتایج و بحث

در ایستگاه ۲۳-۰۴۵ تغییرات دوره فعلی نسبت به دوره پایه بین کمترین تغییر، حدود ۱۷ درصد در دیماه تا بیشترین تغییر در اردیبهشت، حدود۵۳ در صد کاهش جریان در ماههای مختلف بدست آمد. کاهش شدید جریان رودخانه در اردیبهشت با توجه به اقلیم منطقه، می‌تواند ناشی از برداشت مستقیم از رودخانه و یا برداشت آب زیر زمینی که بصورت غیر مستقیم تاثیر گذار است، باشد. در ایستگاه ۲۳-۰۰۱ میزان تغییرات بیشتر بوده و در بازه ۲۴ تا ۶۴ درصد کاهش قرار گرفته شده است. در این ایستگاه، کمتری کاهش در دیماه و بیشترین کاهش در تیرماه رخ داده است. با توجه به کوهستانی بودن حوضه بالادست این ایستگاه میزان نیاز آبی و به تبعه آن برداشت از رودخانه در تیرماه می‌باشد که بیانگر اثرات فعالیتهای انسانی بر کاهش جریان در دوره خشک می‌باشد. در جدول (۲) میانگین دبی ماهانه در سه دوره ذکر شده آورده شده است. بطور کلی کاهش جریان در حوضه سراب حدود ۱۰ درصد نسبت به حوضه پایاب بیشتر بوده که علت آن می‌تواند، ناشی از اثرات مورفومتری و فعالیتهای انسانی باشد.

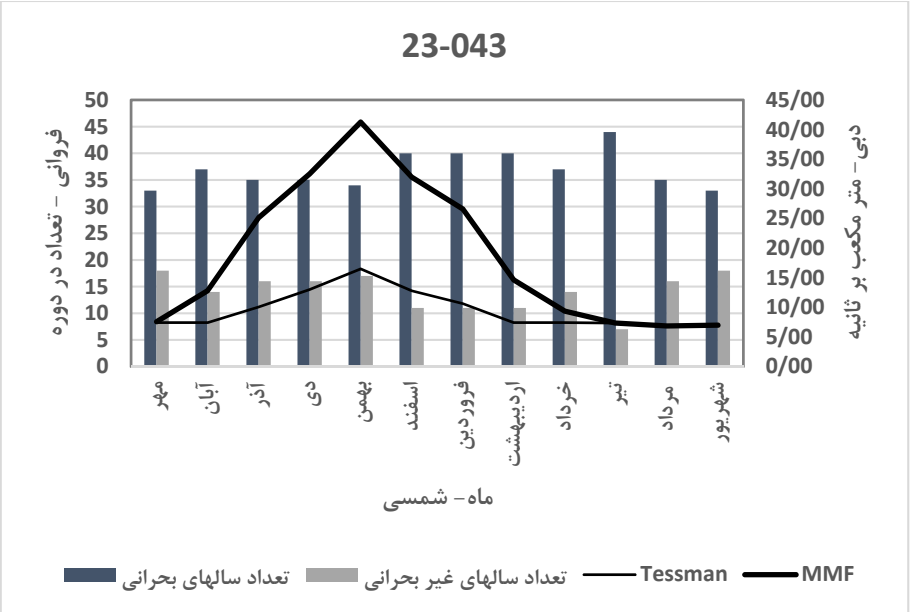
جدول ۲- دبی متوسط ماهانه و سالانه و تغییرات آن در دو ایستگاه تنگ چگان و چیتی-بورکی(واحد: متر مکعب بر ثانیه)

ماه	چیتی-بورکی				تنگ چگان			
	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۶)	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۴)	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۶)	تفاوت دوره آتی نسبت به دوره پایه- درصد	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۶)	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۴)	میانگین ماهانه (بازه ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۶)	تفاوت دوره آتی نسبت به دوره پایه- درصد
مهر	6.29	7.58	4.59	-39.5	0.69	0.84	0.49	-41.7
آبان	10.95	12.83	8.48	-33.9	0.82	0.98	0.61	-37.2
آذر	21.01	25.16	15.55	-38.2	1.48	1.97	0.83	-58.0
دی	30.06	32.54	26.80	-17.6	2.38	2.65	2.02	-23.9
بهمن	32.48	41.28	20.87	-49.4	2.76	3.48	1.81	-48.1
اسفند	25.17	31.98	16.20	-49.4	2.87	3.76	1.71	-54.6
فروردین	20.89	26.01	14.13	-45.7	2.74	3.59	1.62	-54.8
اردیبهشت	11.47	14.85	7.02	-52.7	1.68	2.23	0.95	-57.5
خرداد	7.89	9.42	5.87	-37.7	1.36	1.81	0.75	-58.4
تیر	6.17	7.37	4.60	-37.5	0.95	1.31	0.47	-63.8
مرداد	5.73	6.89	4.20	-39.0	0.86	1.16	0.48	-59.0
شهریور	5.82	7.07	4.16	-41.1	0.85	1.11	0.51	-53.9
سال	15.33	18.58	11.04	-40.6	1.62	2.07	1.02	-50.8

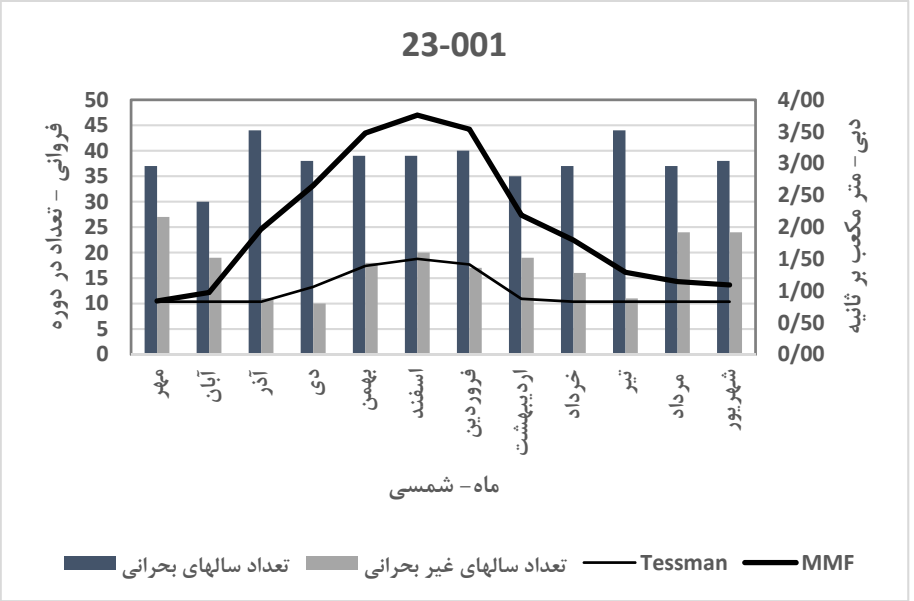
در روش تسمن متوسط دبی ماهانه و مقدار بحرانی آن مشخص می شود. برای ارزیابی حق‌آبه زیست محیطی میانگین منطقه بحرانی برای هر ماه در دوره پایه ملاک ارزیابی قرار گرفت (شـــکل ۳ و۴). در

ایستگاه معرف حوضه سراب در ماههای سرد سال فاصله دبی ماهانه با خط بحرانی فاصله داشته و در سالهای خ شک فا صله به شدت کاهش یافته ا ست که بیانگر شکننده بودن اکو سی ستم رودخانه در ماههای خشک سال می‌باشد. برای ارزیابی با این روش، تعداد سالهایی با دبی ماهانه کمتر از دبی حق‌آبه زیست محیطی، بحرانی و بیشتر از آن غیر بحرانی لحاظ شد که در شکلهای (۳ و۴) آورده شده است. در هر دو ایستگاه تعداد سالهای بحرانی در هرماه تقریبا دو برابر بوده و در ایستگاه پایاب، ماههای ا سفند تا مرداد بی شترین سالهای بحرانی م شاهده می شود. در ای ستگاه سراب تعداد سالهای بحرانی نسبت به غیر بحرانی در ماههای آذر، دی، خرداد و تیر بیشترین بدست آمد.

در روش تنانت طبقه بندی برحسب درصدی از دبی متوسط سالانه بعنوان معیار دسته بندی جریان قرار گرفته و شامل طبقات ذیل می‌شود (جدول ۳). بر این اساس مقادیر مرز طبقات برای دوره پایه محا سبه شد که در شکلهای (۵ و۶) برای دو ایستگاه سراب و پایاب آورده شده ا ست. در دوره پایه در کلیه ماههای سال تا طبقه عالی، متو سط دوره حق‌آبه زی ست محیطی رعایت شده ا ست؛ ولی ممکن ا ست در برخی از سالها حق‌آبه به دلایل خشکسالی جریان از دیدگاه حق‌آبه زیست محیطی در شرایط منا سبی نبا شد. معمولا ملاک عمل برای در نظر گرفتن حق‌آبه زی ست محیطی د سته قابل قبول با شد که در دوره پایه بطور متوسط در هر دو ایستگاه رعایت شده است. در شرایط سخت گیرانه دسته محدوده بهینه که حداقل ۶۰ درصد جریان برای حق‌آبه رودخانه در نظر گرفته می‌شود، نیز در دوره پایه بطور متو سط لحاظ شده ا ست. مقای سه دو ای ستگاه سراب و پایاب در دوره پایه تفاوتی با یکدیگر ندارند. بیانگر آنست که در دوره ای که فعالیتهای انسانی و تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه تاثیر قابل ملاحظه ای ندا شته ا ست. به‌عبارت دیگر رودخانه در شرایط طبیعی در حالت تعادل اکو سی ستمی قرار داشته و از نظر زیست محیطی در شرایط پایداری قرار دارد.



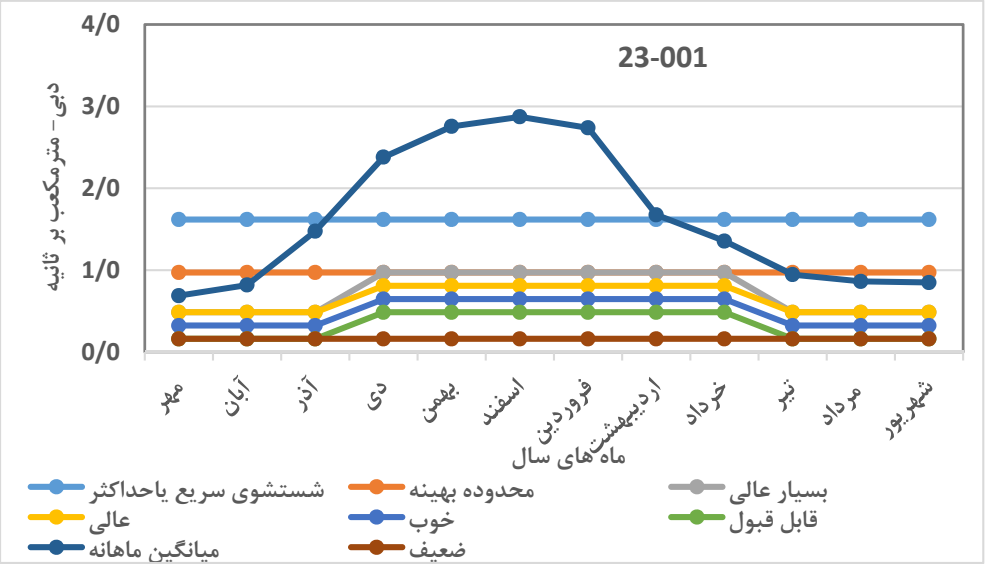
شکل ۳- تعداد سالهای بحرانی و غیر بحرانی و خط دبی حق‌آبه زیست محیط ماهانه در ایستگاه پایاب



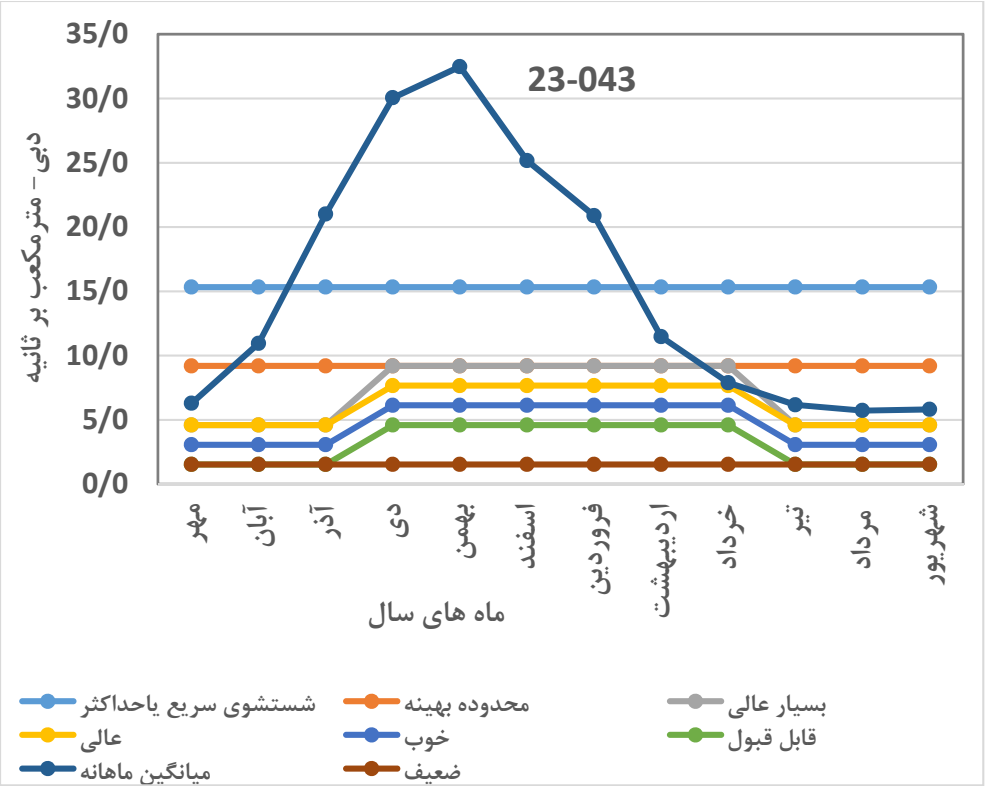
شکل ۴- تعداد سالهای بحرانی و غیر بحرانی و خط دبی حق‌آبه زیست محیط ماهانه در ایستگاه پایاب

جدول ۳- دسته بندی جریان به روش تنانت

دسته بندی جریان	جریان زیست محیطی پیشنهادی تنانت (درصدی از MAR)	
	مهر-اسفند	فروردین-شهریور
شستشوی سریع یاحداکثر	۲۰۰	۲۰۰
محدوده بهینه	۶۰-۱۰۰	۶۰-۱۰۰
بسیار عالی	۴۰	۶۰
عالی	۳۰	۵۰
خوب	۲۰	۴۰
قابل قبول	۱۰	۳۰
ضعیف	۱۰	۱۰
بسیار ضعیف	<۱۰	<۱۰



شکل ۵- دبی متوسط ماهانه دوره پایه و دسته بندی جریان حق‌آبه زیست محیطی در ایستگاه سراب

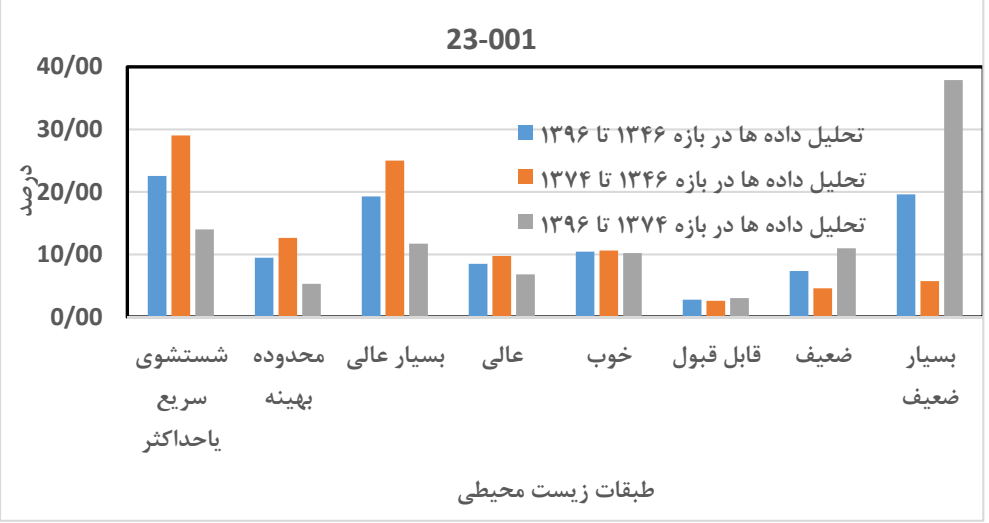


شکل ۶- دبی متوسط ماهانه دوره پایه و دسته بندی جریان حق‌آبه زیست محیطی در ایستگاه پایاب

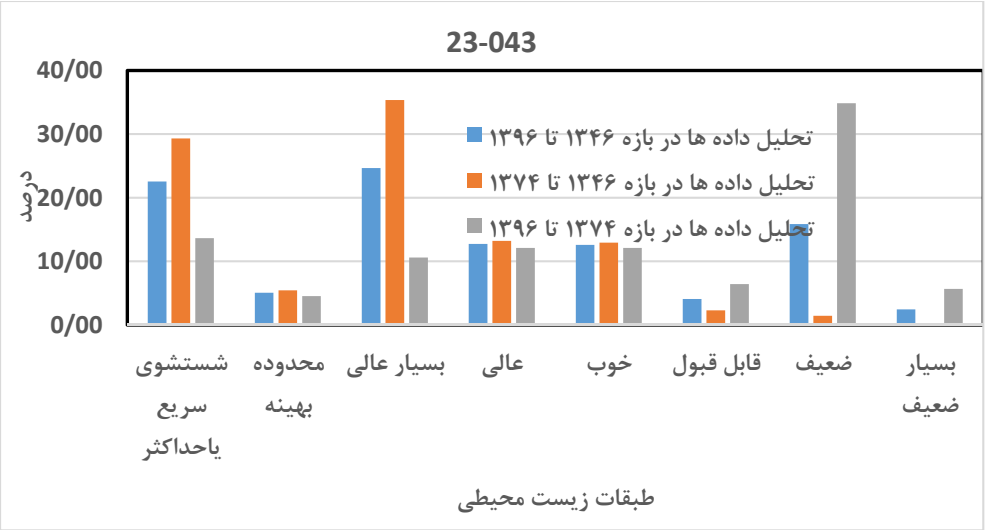
برای مقایسه دوره‌های مختلف بر مبنای مقادیر کلاسهای ذکر شده در ماههای مختلف، مقادیر دبی ماهانه هر سال با هریک از طبقات ذکر شده مقایسه شده که در هر دوره آماری چند ماه-سال از جریان رودخانه در کدام دسته یا طبقه قرار گرفته است. هرچه فراوانی طبقات شستشوی سریع، محدوده بهینه و بسیار عالی بیشتر باشد، بیانگر وضعیت مناسب رودخانه از نظر زیست محیطی می‌باشد. نتایج فروانی ماه- سالهای قرار گرفته در هر د سته جریان در شکلهای (۷ و ۸) آورده شده ا ست. در دوره پایه (۷۴-۱۳۴۵) در ایستگاه سراب فقط ۱۰ درصد فروانی جریان در دسته‌های کمتر از قابل قبول واقع شده اند و ۹۰ در صد مواقع حق‌آبه زیست محیطی جریان رعایت شده ا ست. در ایستگاه پایاب و ضعیت جریان بسیار منا سب بوده و تنها کمتر از دو در صد مواقع جریان زیست محیطی پایین تر از د سته قابل قبول قرار گفته ا ست. این مو ضوع بیان گر آن ا ست که در پایین د ست پایداری جریان بی شتر بوده و کمتر تحت تاثیر نوسانات اقلیمی قرار می‌گیرد. در دوره فعلی(۹۶-۱۳۷۵) که اثرات فعالیتهای انسانی بر رودخانه ها افزایش یافت و باعث کاهش جریان و تغییر در رفتار رودخانه شده است، فراوانی ماه-سالهای عدم رعایت حق‌آبه زیست محیطی به شدت افزایش یافته است. بطوریکه ۵۴ درصد مواقع جریان زیست

محیطی رودخانه در کمتر از حد قابل قبول بوده و در مقایسه با دوره پایه (۱۰درصد) نشان دهنده وضعیت بحرانی در بخش سراب رودخانه می‌باشد.

در پایاب نیز وضعیت تا حدودی مشابه سراب حوضه بوده و حدود ۴۰ درصد مواقع دبی کمتر از دسته قابل قبول بوده و بیانگر کاهش شدید جریان در رودخانه می‌باشد. تفاوت ۱۵ درصدی شرایط بحرانی از دیدگاه محیط زیستی به شرایط مورفومتری رودخانه مرتبط می‌باشد. چراکه در پایین دست به دلیل ورود جریانهای زیر قشری به داخل رودخانه تاحدودی برداشت از رودخانه جبران می‌شود. مقایسه سراب و پایاب نشان داد که بطور کلی در سراب شرایط زیست محیطی رودخانه شکننده تر بوده و بیشتر تحت تاثیر نوسانات اقلیمی قرار می‌گیرد. در پایاب جریان رودخانه بخصوص در دوره خشک سال پایدار تر بوده و شرایط اکوسیستمی رودخانه رعایت می شود. بردا شتهای بیرویه در این منطقه باعث ازبین روفتن حدود ۵۰درصد حقآبه زیست محیطی شده و با ادامه روند ذکر شده اکوسیستم رودخانه کاملا تغییر خواهد یافت.



شکل ۷- درصد قرار گیری دبی در دسته‌های مختلف جریان حق‌آبه زیست محیطی در ایستگاه سراب



شکل ۷- درصد قرار گیری دبی در دسته‌های مختلف جریان حق‌آبه زیست محیطی در ایستگاه سراب

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش دو روش تنانت و تسمن برای ارزیابی وضعیت حق‌آبه رودخانه بکار برده شد. برای ارزیابی ابتدا دوره پایه که در آن اثرات فعالیتهای بشری تاثیر چندانی بر رفتار جریان رودخانه نداشته است، انتخاب شد. دو ایستگاه در سراب و پایاب حوضه مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که در دوره پایه حق‌آبه زیست محیطی رودخانه رعایت شده است و در سراب حوضه حدود ۱۰درصد مواقع در شرایط کمتر از حد قابل قبول بوده و در پایاب کاملا پایداری رودخانه به لحاظ حق‌آبه مشاهده می‌شود. با شروع برداشت منابع آب زیرزمینی با حفر چاههای زیاد و برداشت مستقیم از رودخانه بوسیله پمپاژ باعث شده است تا حقآبه رودخانه به شدت کاهش یابد و بیش از ۵۰ در صد مواقع حق‌آبه اکوسیستم رودخانه رعایت نشود. این وضعیت بیانگر شرایط بحرانی اکوسیستم رودخانه بوده و با ادامه این وضعیت گونه‌های گیاهی و جانوری رودخانه دستخوش تغییر قرار گرفته و باعث بهم خوردن تعادل اکوسیستم رودخانه خواهد شد.

برای کاهش فشار به رودخانه، باید کاهش برداشت بیرویه در برنامه کاری قرار گیرد و با کاهش برداشت شرایط حفاظت از اکوسیستم رودخانه برقرار شود.

در این پژوهش وضعیت کلی رودخانه و اثرات فعالیتهای بشری بر حق‌آبه زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی روند کاهش حق‌آبه زیست محیطی نیازمند ارائه شاخص وضعیت سالانه رودخانه و تحلیل روند آن و ارتباط آن با برداشت بیرویه منابع و تاثیر تاخیر زمانی آن نیازمند پژوهشهای جدید می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله خروجی بخشی از پروژه ملی " بررسی تغییرات زمانی-مکانی دبی های کم و آسیب پذیری آنها در حوضه های کشور با تاکید بر حق‌آبه زیست محیطی رودخانه - کد مصوب ۰۱-۲۹--۰۴۴-۲۹ ۰۰۰۳۷" زیر پروژه منطقه بوشهر می‌باشد.

منابع

- پیروزیان، ا.، سرائی تبریزی، م.، صدقی،ح. ۱۳۹۹. بررسی روش‌های مختلف تخمین نیازآب زیست‌محیطی(مطالعه موردی: رودخانه الندچای)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۹۸، ۲۵-۴۰.
- تقوی کلجاهی، س، ریاضی، ب، و تقوی، ل. (۱۳۹۳). تعیین حقابه زیست محیطی تالاب میانکاله. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۶(۲ (مسلسل ۶۱))، ۱۰۱-۱۰۹.
- حبیبی آلاگوز، س. و م. ت. ستاری، ۱۳۹۷. برآورد حقابه زیست محیطی رودخانه قطورچای با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و اکو هیدرولوژیکی. مجله اکوهیدرولوژیکی، ۵ (۲): ۵۱۱-۵۲۳.
- رزاقی‌رضائیه، آ، احمدی، ح،حقدوست، ن، و حصاری، ب.(۱۳۹۷). ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه با روش‌های اکو-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه مهابادچای). پژوهش‌های حفاظت آب وخاک (علوم‌کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۵(۶)، ۴۷-۶۵.
- سعیدی، پ.، اصلانی، ن.، نوری، ر. و نظریها، م. ۱۳۹۰ . ارزیابی جریان زیس تمحیطی رودخانه کارون توسط سه روش تنانت، منحنی تداوم جریان و اسماخین. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. تهران. ایران.
- شاکری زارع، ح.، کرم، ا.، صفاری، ا.، کیانی، ط. ۱۳۹۹. ارزیابی نیاز جریانی زیست محیطی بستر رودخانه مرزی هریرود بعد از احداث و آبگیری سد سلما افغانستان (با روش‌های هیدرولوژیکی، مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی، ۹(۲). GEO.V9I2.85447/۱۰,۲۲۰۶۷
- عبدی، ر.، یاسی، م. و صدقی، ح. ۱۳۹۳ . ارزیابی رو شهای اکولوژیکی- هیدرولیکی- هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه. فصلنامه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۶ (۲): ۷۱ – ۸۱
- مصطفوی، س، و یاسی، م. (۱۳۹۴). ارزیابی حداقل جریان زیست محیطی رودخانه ها با روش‌های اکو- هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای- حوضه دریاچه ارومیه). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۵)، ۱۲۱۹-۱۲۳۱.
- Caissie, D., and N. El-Jabi. 1995. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. Can. J. Civ. Eng. 22: 235-246.
- Hu, W.W., Wang, G.X., Deng, W. and Li, S.N. 2008. The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaih River basin, China. Ecological engineering. 33(3-4): 233-241.

- Mann, J.L. 2006. Instream Flow Methodologies: An Evaluation of the Tennant method for higher gradient streams in the national forest system lands in the Western U.S. M.Sc. Thesis, Colorado State University, Fort Collins, CO. 143 p.
- El-Jabi N. , Caissie D., 2019, Characterization of natural and environmental flows in New Brunswick, Canada, River Res. Appl., 35 (1) (2019), pp. 14-24, doi:10.1002/rra.3387
- Orth, D.J., Maughan, O.E. 1981. Evaluation of the "Montana method" for recommending instream flows in Oklahoma streams. Proc. Okla. Acad. Sci. 61: 62-66.
- Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. In Proceedings of Symposium and Specialty Conference on Instream Flow Needs. Vol. 11. Edited by J.F. Orsborn and C.H. Allman. American Fisheries Society, Bethesda, Md. pp. 359-373.
- Tessmann S. Environmental Assessment, Technical Appendix E in Environmental Use Sector Reconnaissance Elements of the western Dakotas Region of South Dakota study. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, SD. 1980.
- Watt, S.P. 2007. A methodology for environmental protection of Ontario watercourses with respect to the permit to take water program, Master Thesis, Queen's University, Canada.

ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان

سید مسعود سلیمان‌پور*[۱]، سکینه لطفی‌نسب[۲]، امید رحمتی[۳]، محبوبه معتمدنیا[۴]، مریم نعیمی[۵]، سمیرا زندی‌فر[۶]

۱*- دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (*m.soleimanpour@areeo.ac.ir*)

۲ و ۵ و ۶- استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (*s.lotfinasab@areeo.ac.ir*) (*naeimi@rifr-ac.ir*) (*zandifar@rifr-ac.ir*)

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران (*o.rahmati@areeo.ac.ir*)

۴- دکتری تخصصی، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان بافق، استان یزد، ایران (*mmotamednia@yahoo.com*)

چکیده

کیفیت آب، حاصل شرایط طبیعی شیمیایی و فیزیکی آب و همچنین تغییـراتی اسـت که ممکن است در اثر فعالیـــت‌های بشری در آن ایجاد شود. امروزه خصوصیات کیفی آب، یکی از پارامترهایی است که ضرورت لحاظ آن در برنامه‌ریزی مربوط به مدیریت منابع آب کاملاً احساس شده است. به این منظور، پژوهش حاضـــر اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصـــارف شـــرب و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان به مساحت ۱۲۵۱۳/۶۹ کیلومتر مربع، واقع در شمال‌غرب استان کرمان نموده است. با انتخاب ۷۲ نمونه (منبع)، اقدام به انتخاب یک دوره‌ی مشترک آماری ۱۰ ساله (از ســـال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا ســـال آبی ۹۸-۱۳۹۷) شـــد. به‌منظور مقایســـه‌ی وضـــعیت کیفیت منابع آب زیرزمینی، دوره‌ی مشـــترک آماری فوق، به دو دوره‌ی ۵ ســـاله (۱۳۸۸-۱۳۹۲ و ۱۳۹۳-۱۳۹۷) تقسیم شد و بررسی‌ها در این دو دوره‌ی مطالعاتی انجام گرفت. سپس به‌منظور بررسی کیفیت آب از دیدگاه‌های شرب و کشاورزی، به‌ترتیب از نمودارهای شولر- برکالف و ویلکاکس بهره گرفته شد و به تفکیک، نقشه‌ی پهنه‌بندی آن‌ها با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار در محیط Arc GIS، در دو دوره‌ی ۵ ســـاله‌ی مذکور، ترســـیم گردید. یافته‌های این پژوهش نشـــان داد در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۹۲/۷۸ درصـد از مسـاحت حوزه‌ی آبخیز رفسـنجان دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "خیلی‌شـور-نامناسب" بوده است و در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، این مقدار به ۹۳/۴۵ در صد رسیده است. همچنین کیفیت منابع آب‌های "شور قابل استفاده" نیز از مساحت ۷/۰۹ در صدی این آبخیز در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، به ۶/۴ درصد در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳ رسیده است. این موارد در حالی است که مقادیر منابع آب‌های "کمی شور- مناسب"، نیز از ۰/۱۳ در صد مساحت این آبخیز در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-

۱۳۸۸، به ۰/۱۱ درصد در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳ کاهش پیدا کرده است. بنابراین منابع آب زیرزمینی واقع در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان، دارای کیفیت "خیلی شور- نامناسب" (C4-S4)، برای کشاورزی طی دوره‌ی ۱۰ ساله‌ی مورد مطالعه می‌باشند. در خصوص کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب نیز یافته‌های این پژوهش نشان داد در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۳۸/۰۵ در صد از مساحت این آبخیز دارای منابع آبی با کیفیت "کاملاً نامطبوع" بوده است که این مقدار در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، به ۳۸/۷۵ در صد رسیده است. همچنین در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۳۷/۵۹ در صد از مساحت این آبخیز دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "نامناسب" بوده‌اند که این مقدار در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، به ۳۷/۹۵ درصد رسیده است. بنابراین منابع آب زیرزمینی واقع در این آبخیز دارای کیفیت "نامناسب" برای مصرف شرب می‌باشند و فقط ۴/۷۲ درصد از مساحت این آبخیز دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "خوب" و "قابل قبول" به منظور شرب است.

واژه‌های کلیدی:
آب، پهنه‌بندی، شرب، کشاورزی، کیفیت

مقدمه

آب، از نظر کمّی، فراوان‌ترین ماده‌ی کره‌ی زمین است؛ اما آب با کیفیت مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی بسیار محدود است. با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، پیشرفت فناوری و تخلیه‌ی بی‌رویه‌ی پساب و فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی به منابع و ذخایر آبی موجود، امکان استفاده از آن‌ها، روز به‌روز محدودتر و در مقابل، تقاضا برای استفاده بیش‌تر می‌شود (قبادی، ۱۳۸۹).

با توجه به نوع مصرف، دیدگاه‌ها و تعاریف متفاوتی برای کیفیت آب ارائه شده است به طوری‌که کیفیت آب طبق تعریف Fetter و همکاران (۲۰۱۷)، حاصل شرایط طبیعی شیمیایی و فیزیکی آب و همچنین تغییراتی است که ممکن است در اثر فعالیت‌های بشری در آن ایجاد شود و طبق تعریف Todd و Mays (۲۰۰۵)، نتیجه‌ی کلی فرایندها و واکنش‌هایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در جو، تا زمان ظاهر شدن در سطح زمین، بر روی آن عمل کرده است.

از آن‌جا که کیفیت آب، تابعی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است؛ به‌طور عمده توسط دو عامل طبیعی و انسانی کنترل می شود. فرایندهای طبیعی از قبیل سنگ شناسی منطقه، سرعت حرکت آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه شده، تعامل آب با سنگ و خاک، واکنش با آبخوان‌های دیگر و فعالیت‌های مربوط به دخالت انسان شامل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، توسعه‌ی شهری و افزایش بهره‌برداری از منابع آب هستند (Chan و همکاران، ۲۰۱۶).

در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی، فرایندهایی از قبیل رسوب‌گذاری کانی‌ها، انحلال، تعویض کاتیونی به وقوع می‌پیوندد که به شدت بر روی کیفیت آب مؤثرند. به همین سبب، امروزه خصوصیات کیفی

آب، یکی از پارامترهای اســت که ضــرورت لحاظ آن در برنامه‌ریزی مربوط به مدیریت منابع آب کاملاً احســاس شــده اما تا به حال، کمتر مورد توجه قرار گرفته شــده اســت (Elshorbagy و Ormsbee، ۲۰۰۶).

پژوهش‌های مختلفی در خصــوص بررســی و پهنه‌بندی کیفیت آب صــورت گرفته اســت. به‌عنوان مثال، تابنده و همکاران (۱۴۰۰) اقدام به برر سی کیفیت آب در آبخوان بابل- آمل نمودند. ای شان با برر سی و نمو نه‌برداری از ۵۰ چاه مشــا هداتی، در یافتند کیفیت پایین آب در بخش های شــمالی آبخوان، ن شان‌دهنده‌ی غلظت زیاد TDS ا ست که با توجه به ساختار زمین شنا سی منطقه و محل قرارگیری صنایع، بخش کشاورزی و باغ‌های موجود در اطراف قائم شهر و جنوب بابل اتفاق افتاده ا ست. علاوه بر این، کیفیت آب‌زیرزمینی با حرکت جریان آب به‌طرف پایین‌دســت کاهش یافته که عمدتاً به‌علت شسته‌شدن فاضلاب‌های شهری و کشاورزی می‌باشد.

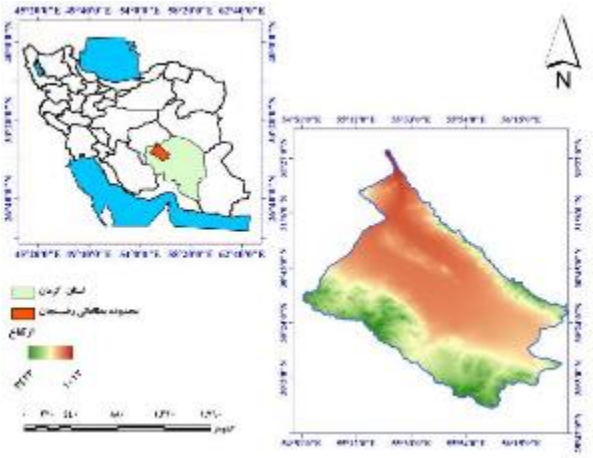
Rahman و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بنگلادش اقدام به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در زمینه‌ی وجود آهن و اثر آن بر کیفیت آب آبخوان پرداختند. ای شان از ۶۶۶ چاه خانوار (به‌عنوان ا ستفاده کننده از آب چاه) نمونه‌برداری انجام دادند. نتایج این پژوهش نشــان داد در نمونه‌هایی که مقادیر آهن بالاتر بود، کاهش کیفیت آب بیشتر مشاهده شد.

با نگاهی به پژوهش‌های انجام شده ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت ا ست. لذا با توجه به اهمیت منطقه‌ی مورد مطالعه و اطلاع از روند تغییرات و نوســانات کیفی آب زیرزمینی، این پژوهش اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصــارف شــرب و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز رف سنجان واقع در شمال‌غرب ا ستان کرمان و در بین طول جغرافیایی '۵۷ ۰۰۸ و عرض جغرافیایی '۳۰ ۰۴۸ قرار دارد (شــکل ۱). این منطقه جزئی از فلات مرکزی ایران می‌باشــد و با کد مطالعاتی ۴۹۰۲ در مطالعات وزارت نیرو شــناخته می‌شــود. مســاحت منطقه ۱۲۵۱۳/۶۹ کیلومتر مربع می‌با شد که از این مقدار، ۵۳/۸۸ در صد را ارتفاعات و ۴۶/۱۱ در صد از آن را د شت به خود اخت صاص داده اســت. ارتفاع از ســطح دریا ۲۲۲۰ متر و متوســط بارندگی ســالانه ۱۱۸/۳۷ میلی‌متر می‌باشــد (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

روش تحقیق

داده‌های مورد نیاز که شامل آمار چاه‌های عمیق، نیمه‌عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها بود از سازمان‌های ذی‌ربط اعم از سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان، جمع‌آوری شد. سپس اقدام به انتخاب یک دوره‌ی مشترک آماری با حداقل حذف داده و حداکثر طول دوره‌ی آماری شد (علیزاده، ۱۴۰۰). بر این اساس، دوره‌ی مشترک آماری ۱۰ ساله (از سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا سال آبی ۹۸-۱۳۹۷)، به‌عنوان دوره‌ی مشترک آماری در نظر گرفته شد که بر اساس رعایت حداکثر همپوشانی داده‌ها، تعداد ۷۲ نمونه (منبع آبی) برای انجام تحلیل‌های مربوطه انتخاب گردید. شایان ذکر است به‌منظور مقایسه‌ی وضعیت کیفیت منابع آب زیرزمینی، دوره‌ی مشترک آماری فوق، به دو دوره‌ی ۵ ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۲ و ۱۳۹۷-۱۳۹۳) تقسیم شد و بررسی‌ها در این دو دوره‌ی مطالعاتی انجام گرفت. سپس اقدام به بازسازی داده‌های ناقص با استفاده از ضریب همبستگی[7] در نرم‌افزار SPSS 21 شد. به این منظور، دارا بودن حداکثر ضریب همبستگی و همچنین معنی‌داری آن در یکی از سطوح ۱ یا ۵ درصد مدنظر قرار گرفت. سپس، از طریق رابطه‌ی رگرسیونی مناسب، مبادرت به باز سازی نواقص آماری شد. سپس به‌منظور بررسی کیفیت آب از دیدگاه‌های شرب و کشاورزی، به‌ترتیب از نمودارهای شولر- برکالف و ویلکاکس بهره گرفته شد و به تفکیک، نقشه‌ی پهنه‌بندی آن‌ها با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار در محیط Arc GIS، در دو دوره‌ی ۵ ساله‌ی مذکور، ترسیم گردید.

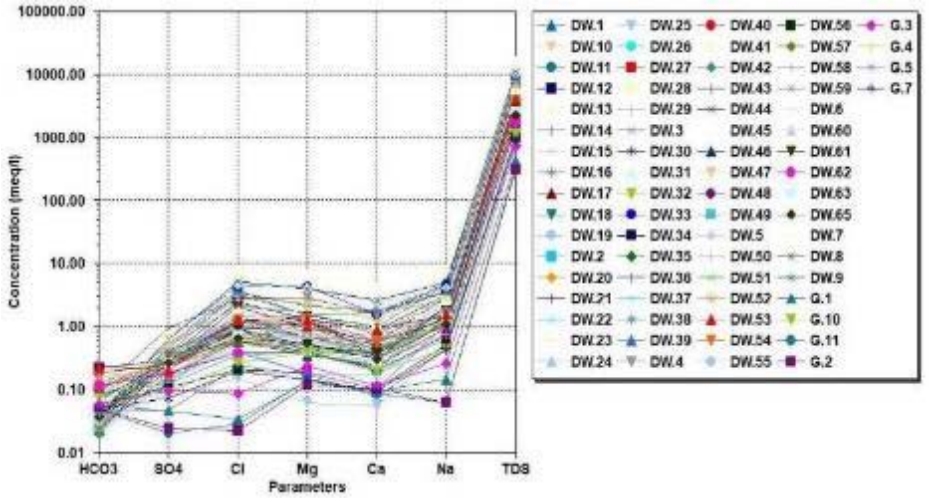
7 Correlation Coefficient

نتایج

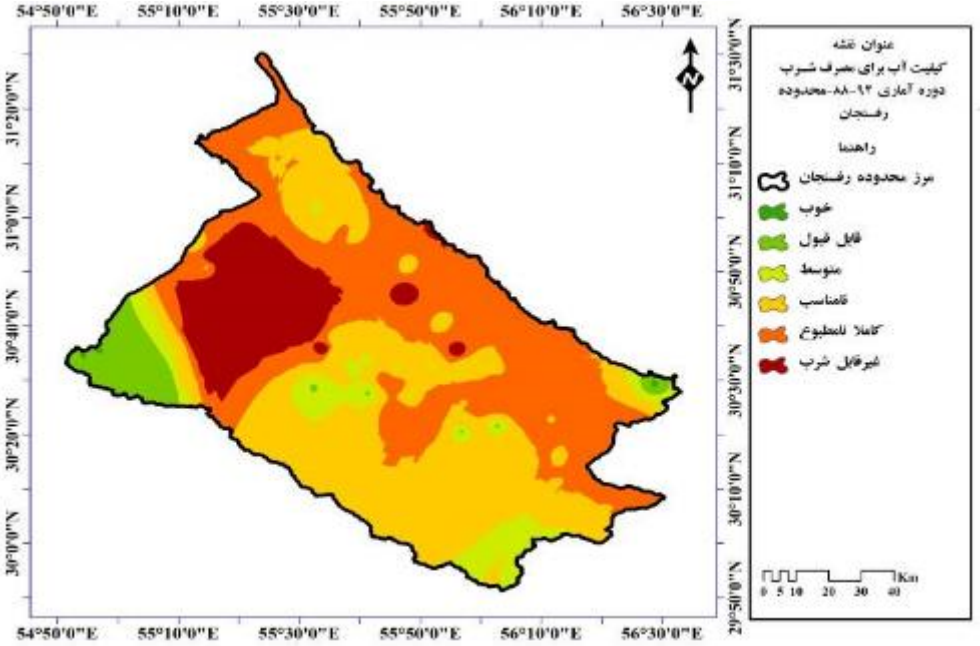
درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر- برکالف برای مصرف شرب در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دو دوره‌ی آماری مورد بررسی (۱۳۸۸-۱۳۹۲ و ۱۳۹۷-۱۳۹۳) در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. شکل‌های ۲ تا ۵ نیز دیاگرام و نقشه‌های پهنه‌بندی دو دوره‌ی مطالعاتی مذکور را نشان می‌دهند. با توجه به این نتایج، کیفیت آب برای مصرف شرب در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان، نامناسب می‌باشد (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۱- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر- برکالف برای مصرف شرب در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

طبقه‌بندی آب	TDS	TH	pH	Na	Cl	So4
خوب	۴/۱۷	۱۱/۱۱	۵۹/۷۲	۴/۱۷	۵/۵۶	۵/۵۶
قابل قبول	۵/۵۶	۱۲/۵	۱۶/۶۷	۴/۱۷	۶/۹۴	۸/۳۳
متوسط	۱۱/۱۱	۳۳/۳۳	۱۹/۴۴	۹/۷۲	۶/۹۴	۲۷/۷۸
نامناسب	۴۸/۶۱	۲۶/۳۹	۲/۷۸	۴۵/۸۳	۳۶/۱۱	۴۳/۰۶
کاملاً نامطبوع	۱۸/۰۶	۹/۷۲	۱/۳۹	۲۰/۸۳	۲۵	۱۵/۲۸
غیر قابل شرب	۱۲/۵	۶/۹۴	۰	۰	۱۹/۴۴	۰



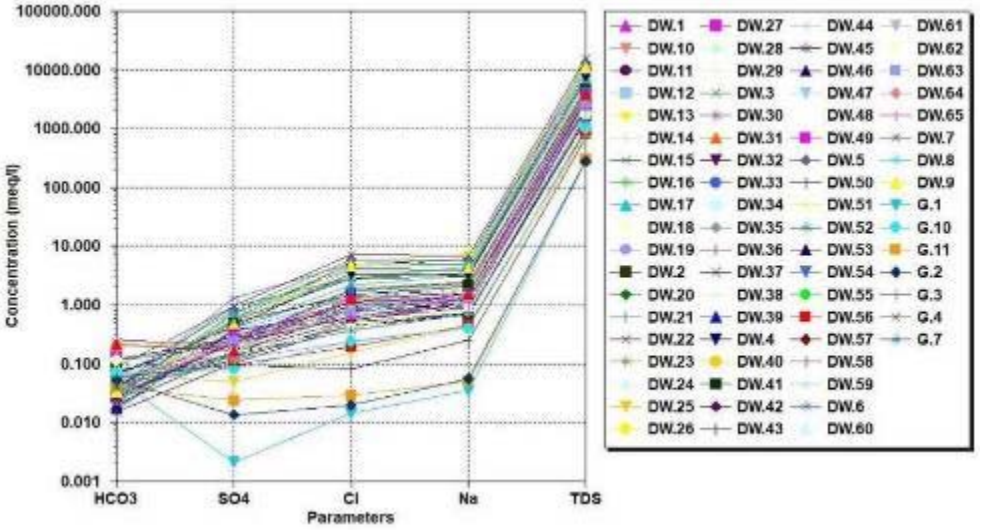
شکل ۲- دیاگرام کیفیت آب شرب شولر- برکالف در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸



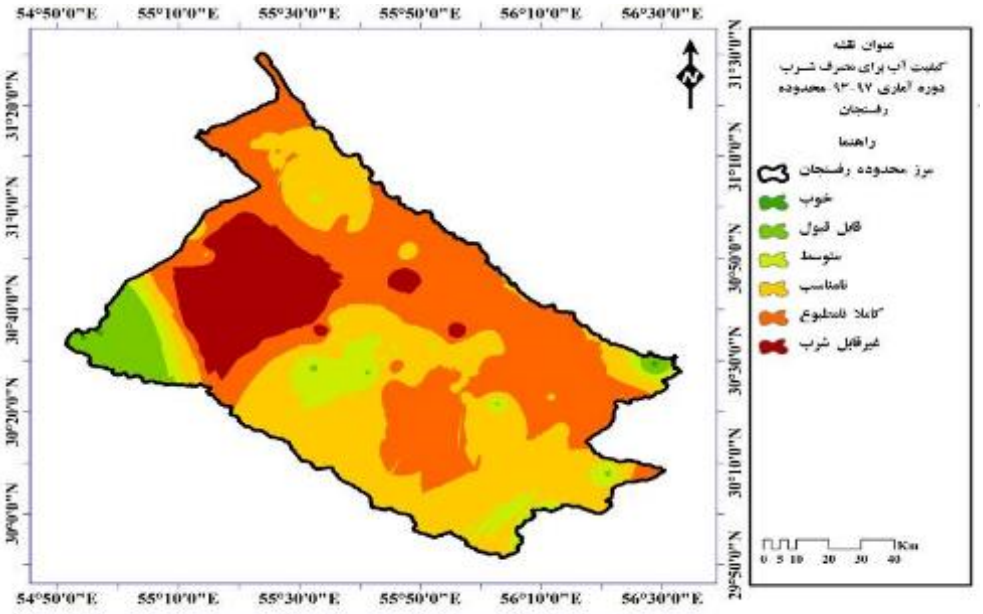
شکل ۳- نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصرف شرب طبق طبقه‌بندی شولر- برکالف در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

جدول ۲- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر- برکالف برای مصرف شرب در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

طبقه‌بندی آب	TDS	TH	pH	Na	Cl	So4
خوب	۴/۱۷	۸/۳۳	۵۰	۴/۱۷	۵/۵۶	۵/۵۶
قابل قبول	۵/۵۶	۱۵/۲۸	۲۳/۶۱	۵/۵۶	۵/۵۶	۸/۳۳
متوسط	۱۲/۵	۲۹/۱۷	۱۸/۰۶	۸/۳۳	۱۱/۱۱	۴۳/۰۶
نامناسب	۴۵/۸۳	۳۰/۵۶	۵/۵۶	۴۵/۸۳	۳۴/۷۲	۲۵
کاملاً نامطبوع	۱۸/۰۶	۸/۳۳	۱/۳۹	۱۸/۰۶	۲۲/۲۲	۱۶/۶۷
غیر قابل شرب	۱۳/۸۹	۸/۳۳	۱/۳۸	۰	۲۰/۸۳	۱/۳۹



شکل ۴- دیاگرام کیفیت آب شرب شولر- برکالف در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳



شکل ۵- نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصرف شرب طبق طبقه‌بندی شولر- برکالف در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

جدول‌های ۳ تا ۶، و شکل‌های ۶ تا ۹، کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان، در دو دوره‌ی مورد مطالعه، بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس، درصد سدیم محلول (Na٪) و کربنات

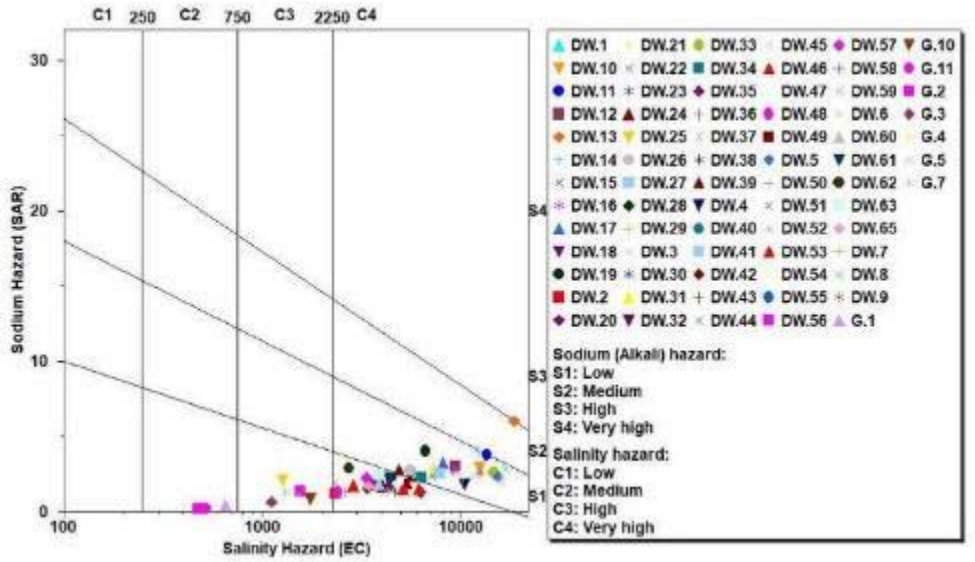
کلسیم باقی‌مانده (RSC) را نشان می‌دهند. همان‌گونه که آمار مندرج در این جدول‌ها نشان می‌دهند به‌طور کلی در دوره‌های مورد بررسی، کیفیت آب در کلاس C4-S4 از نظر طبقه‌بندی ویلکوکس قرار داشته؛ به‌عبارتی، آب دارای کیفیت خیلی شور- نامناسب بوده و برای کشاورزی قابل استفاده نیست. البته قابل ذکر است که در این محدوده نیز قنات‌های G11، G10، G9، G8، G7، G5، G3، G2، G1، و چاه‌های شماره‌ی DW.25، DW.56 و DW.64 علی‌رغم آب شوری که دارند برای کشاورزی قابل استفاده هستند (سلیمان‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

منبع آب	pH	EC	کلاس آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
DW.1	۶/۷۰	۶۱۳۶/۶۷	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۱/۸۲	قابل قبول	-۱۹/۵۸	مناسب
DW.10	۷/۰۶	۱۲۴۵۴/۲۹	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۹۴	مشکوک	-۵۲/۴۷	مناسب
DW.11	۷/۲۹	۱۳۵۶۸/۵۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۷/۶۹	مشکوک	-۴۹/۹۷	مناسب
DW.12	۷/۴۷	۹۳۸۲/۸۶	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۸/۶۰	مشکوک	-۳۱/۲۷	مناسب
DW.13	۷/۲۷	۱۸۵۷۸/۳۳	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۶/۴۶	مشکوک	-۵۳/۲۷	مناسب
DW.14	۷/۵۰	۱۲۱۳۶/۶۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۶۷	مشکوک	-۳۷/۵۲	مناسب
DW.15	۷/۱۶	۷۱۴۸/۵۷	C4-S4	خیلی شور-نامناسب	۶۵/۹۰	مشکوک	-۲۲/۷۱	مناسب
DW.16	۷/۵۵	۹۱۹۶/۶۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۵/۸۳	مشکوک	-۳۲/۹۸	مناسب
DW.17	۷/۵۳	۸۱۴۶/۶۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۳/۵۶	مشکوک	-۲۱/۹۵	مناسب
DW.18	۷/۲۰	۵۶۱۵/۷۱	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۳۶	مشکوک	-۱۷/۸	مناسب
DW.19	۷/۶۶	۶۶۳۵/۷۱	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۸۱/۹۴	بد	-۱۰/۴	مناسب
DW.2	۷/۵۷	۲۳۴۳/۳۳	C4-S2	خیلی شور-نامناسب	۶۲/۴۸	مشکوک	-۳/۵۸	مناسب
DW.20	۷/۱۳	۴۳۴۵/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۶۴	مشکوک	-۹/۵۲	مناسب
DW.21	۷/۶۶	۵۶۹۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۳/۴۹	مشکوک	-۱۳/۸۴	مناسب
DW.22	۷/۴۰	۵۶۵۸/۳۳	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۳/۷۹	مشکوک	-۱۳/۰۷	مناسب
DW.23	۷/۱۹	۵۵۷۷/۱۴	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۸/۶۸	مشکوک	-۱۳/۹۷	مناسب
DW.24	۷/۸۰	۴۰۰۴/۲۹	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۵۶	مشکوک	-۹/۷۱	مناسب
DW.25	۸/۱۹	۱۲۶۶/۷۱	C3-S3	شور-قابل استفاده	۸۶/۰۰	بد	۲/۱۶	قابل قبول
DW.26	۷/۵۸	۵۵۷۱/۶۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۴۹	مشکوک	-۱۲/۲۵	مناسب
DW.27	۷/۷۴	۳۴۲۵/۷۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۸۱	مشکوک	-۶/۰۶	مناسب
DW.28	۷/۵۴	۴۴۴۸/۵۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۱/۳۶	مشکوک	-۱۰/۲۴	مناسب
DW.29	۷/۲۷	۴۰۵۴/۲۹	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۸/۴۶	قابل قبول	-۹/۳۳	مناسب
DW.3	۶/۹۳	۱۱۷۲۵/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۴/۳۰	قابل قبول	-۶۱/۵۳	مناسب
DW.30	۷/۶۴	۴۲۳۸/۵۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۹۳	مشکوک	-۹/۰۱	مناسب
DW.31	۷/۴۰	۷۳۰۲/۵۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۱/۱۲	مشکوک	-۲۰/۴۳	مناسب
DW.32	۷/۵۵	۳۶۶۳/۳۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۶۱	مشکوک	-۹/۶۵	مناسب

منبع آب	pH	EC	کلاس آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
DW.33	۷/۴۰	۱۴۶۷۱/۶۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۴/۹۰	قابل قبول	-۸۲/۰۷	مناسب
DW.34	۷/۱۶	۶۳۰۴/۲۹	C4-S4	خیلی شور-نامناسب	۶۶/۷۱	مشکوک	-۱۰/۰۴	مناسب
DW.35	۷/۴۱	۶۲۶۷/۱۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۴۶/۰۰	قابل قبول	-۳۵/۷۴	مناسب
DW.36	۷/۱۷	۴۸۳۵/۷۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۶۵	مشکوک	-۱۳/۸۳	مناسب
DW.37	۷/۵۲	۲۳۳۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۷۶/۵۳	مشکوک	-۴/۲۸	مناسب
DW.38	۷/۸۰	۳۸۲۷/۱۴	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۵/۴۹	مشکوک	-۶/۸۴	مناسب
DW.39	۷/۶۰	۴۸۷۶/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۵/۷۶	مشکوک	-۱۱/۶۲	مناسب
DW.4	۷/۲۴	۱۰۴۴۸/۵۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۴۸/۶۹	قابل قبول	-۶۲/۱۴	مناسب
DW.40	۷/۰۴	۴۸۵۴/۲۹	C4-S3	خیلی شور-نامناسب	۵۶/۱۸	قابل قبول	-۱۲/۶۹	مناسب
DW.41	۷/۴۴	۷۸۱۸/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۲۵	مشکوک	-۳۰/۳۴	مناسب
DW.42	۷/۸۹	۳۳۸۷/۱۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۸۹	مشکوک	-۱۲/۴۹	مناسب
DW.43	۷/۵۳	۴۶۳۸/۵۷	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۵/۰۱	قابل قبول	-۱۸/۳۳	مناسب
DW.44	۷/۴۳	۵۲۹۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۶/۵۸	قابل قبول	-۲۲/۵	مناسب
DW.45	۶/۸۱	۴۲۷۲/۸۶	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۲/۴۴	قابل قبول	-۱۲/۸۳	مناسب
DW.46	۷/۶۹	۲۸۸۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۷۰/۲۱	مشکوک	-۷/۵۶	مناسب
DW.47	۷/۶۶	۴۷۸۷/۱۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۲۱	مشکوک	-۱۷/۳۱	مناسب
DW.48	۷/۸۱	۲۳۹۷/۱۴	C4-S2	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۲۳	مشکوک	-۶/۱۶	مناسب
DW.49	۷/۳۷	۵۵۶۵/۷۱	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۰/۰۵	مشکوک	-۲۳/۲۱	مناسب
DW.5	۷/۰۷	۱۵۳۵۲/۸۶	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۴۹/۴۸	قابل قبول	-۹۲/۷۷	مناسب
DW.50	۷/۷۶	۲۶۲۴/۲۹	C4-S2	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۳۵	مشکوک	-۸/۳۹	مناسب
DW.51	۷/۷۲	۳۶۳۸/۳۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۹/۶۶	مشکوک	-۱۰/۷۲	مناسب
DW.52	۷/۵۵	۳۷۸۳/۳۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۵۷	مشکوک	-۹/۶۷	مناسب
DW.53	۷/۳۶	۵۱۳۲/۸۶	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۵/۹۰	قابل قبول	-۲۱/۸	مناسب
DW.54	۷/۶۴	۵۸۷۱/۴۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۵/۸۹	قابل قبول	-۲۶/۶	مناسب
DW.55	۷/۶۱	۳۹۱۱/۴۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۸۲	مشکوک	-۱۱/۹۹	مناسب
DW.56	۷/۹۷	۱۵۵۵/۸۶	C3-S2	شور-قابل استفاده	۷۲/۷۹	مشکوک	-۰/۷۳	مناسب
DW.57	۷/۷۶	۳۳۴۷/۱۴	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۵/۳۸	مشکوک	-۷/۰۹	مناسب
DW.58	۷/۷۲	۴۰۶۳/۳۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۵/۹۲	مشکوک	-۱۲/۴۸	مناسب
DW.59	۷/۷۰	۴۵۷۴/۲۹	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۰/۷۷	مشکوک	-۱۸/۰۷	مناسب
DW.6	۷/۱۴	۱۵۹۳۴/۲۹	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۴۳/۲۸	قابل قبول	-۱۱۱/۲۶	مناسب
DW.60	۷/۵۷	۳۸۶۸/۵۷	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۷/۳۶	مشکوک	-۱۰	مناسب
DW.61	۷,۶۳	۴۳۹۲/۸۶	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۱/۱۲	مشکوک	-۹/۱۷	مناسب
DW.62	۷/۹۷	۲۷۴۱/۴۳	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۸۵/۱۵	بد	۲/۷۷	نامناسب
DW.63	۷/۷۹	۳۸۷۸/۵۷	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۶/۳۷	مشکوک	-۶/۰۹	مناسب
DW.65	۷,۶۹	۳۴۴۷/۱۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۳۹	مشکوک	-۱۰/۳۰	مناسب

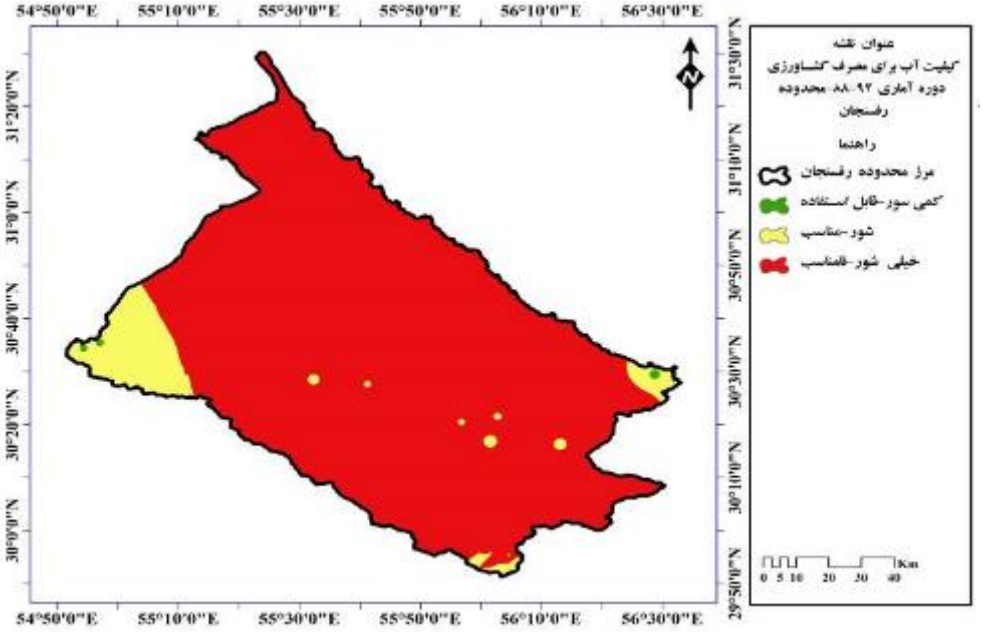
منبع آب	pH	EC	کلاس آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
DW.7	۷/۱۶	۲۵۴۲۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۴۹/۵۶	قابل قبول	-۱۶۵/۱۲	مناسب
DW.8	۷/۱۱	۱۶۸۴۴/۲۹	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۳/۷۷	قابل قبول	-۹۷/۴۶	مناسب
DW.9	۷/۲۴	۱۲۴۶۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۷/۵۳	قابل قبول	-۵۹/۲۱	مناسب
G.1	۷/۷۵	۶۵۲/۲۵	C2-S1	کمی‌شور- مناسب	۴۸/۳۵	قابل قبول	۰/۰۲	مناسب
G.10	۷/۶۷	۱۷۴۹/۱۷	C3-S2	شور- قابل استفاده	۵۴/۲۲	قابل قبول	-۳/۹۳	مناسب
G.11	۸/۰۷	۵۲۳/۰۰	C2-S1	کمی‌شور- مناسب	۲۸/۶۲	خوب	-۰/۵۹	مناسب
G.2	۷/۸۰	۴۵۷/۲۹	C2-S1	کمی‌شور- مناسب	۲۹/۸۲	خوب	-۰/۵۱	مناسب
G.3	۸/۰۳	۱۱۱۲/۲۹	C3-S1	شور- قابل استفاده	۵۳/۱۷	قابل قبول	-۱/۶۹	مناسب
G.4	۷/۴۶	۱۰۲۶۸/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور- نامناسب	۵۶/۰۸	قابل قبول	-۵۱/۳۸	مناسب
G.5	۷/۷۰	۱۵۳۲/۵۰	C3-S2	شور- قابل استفاده	۷۲/۶۹	مشکوک	-۰/۸	مناسب
G.7	۸/۲۰	۱۳۱۱/۰۰	C3-S2	شور- قابل استفاده	۷۲/۷۱	مشکوک	-۰/۶	مناسب



شکل ۶- نمودار ویلکوکس- طبقه‌بندی آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

جدول ۴- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۴۸/۶۱	۳۳/۳۳	۴/۱۷	۰	۰	۱/۳۹	۵/۵۶	۱/۳۹	۰	۰	۰	۴/۱۷	۰	۰	۰	۰



شکل ۷- نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۲-۱۳۸۸

جدول ۵- طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصرف کشاورزی
در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

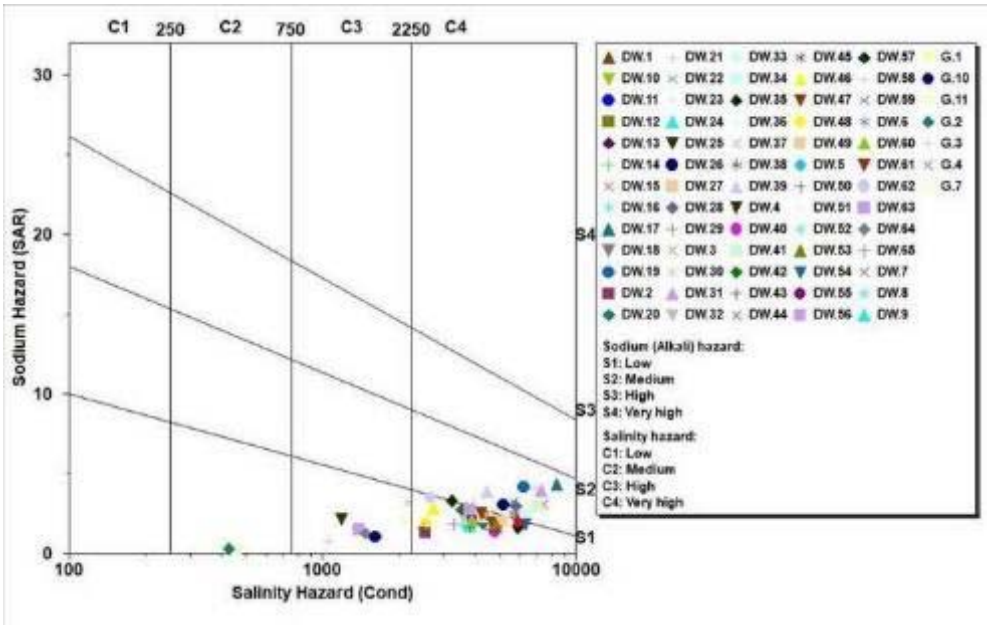
منبع آب	pH	EC	کلاس‌آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
DW.1	۶/۴۳	۵۸۹۵/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۳/۷۵	قابل قبول	-۱۷/۸۸	مناسب
DW.10	۷/۲۱	۱۴۰۲۶/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۴/۲۸	قابل قبول	-۷۳	مناسب
DW.11	۷/۲۲	۱۶۴۱۲/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۳/۴۰	مشکوک	-۷۳/۱۸	مناسب
DW.12	۷/۲۰	۱۰۸۸۳/۶۴	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۶۹	مشکوک	-۳۵/۸۶	مناسب
DW.13	۷/۱۷	۱۷۷۰۴/۵۵	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۵/۶۸	مشکوک	-۵۲/۷۵	مناسب
DW.14	۷/۴۴	۱۴۶۸۳/۳۳	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۹/۶۱	بد	-۳۴/۹۷	مناسب
DW.15	۷/۲۸	۷۴۶۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۰۱	مشکوک	-۲۴/۳۷	مناسب
DW.16	۷/۵۱	۱۰۸۰۷/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۲۷	مشکوک	-۳۳/۳۱	مناسب
DW.17	۷/۶۴	۸۳۹۴/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۳/۲۹	مشکوک	-۲۴/۵۱	مناسب
DW.18	۷/۲۳	۵۷۱۳/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۰/۲۸	مشکوک	-۱۹/۶۹	مناسب
DW.19	۷/۵۰	۶۲۱۶/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۸/۵۸	مشکوک	-۱۱/۳۶	مناسب
DW.2	۷/۵۳	۲۵۴۲/۷۳	C4-S2	خیلی‌شور-نامناسب	۵۸/۰۱	قابل قبول	-۶/۳۹	مناسب
DW.20	۷/۴۰	۴۲۸۵/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۱۹	مشکوک	-۱۰/۷۶	مناسب
DW.21	۷/۳۴	۶۹۷۴/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۴۹	مشکوک	-۱۹/۶۲	مناسب
DW.22	۷/۶۳	۵۶۴۹/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۳۰	مشکوک	-۱۴/۴۲	مناسب
DW.23	۷/۳۷	۵۵۳۹/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۴۵	مشکوک	-۱۳/۳۹	مناسب
DW.24	۷/۵۵	۳۷۹۷/۵۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۷۰	مشکوک	-۹/۹	مناسب
DW.25	۸/۱۵	۱۱۸۴/۹۰	C3-S2	شور-قابل استفاده	۸۲/۶۸	بد	۲	قابل قبول
DW.26	۷/۷۰	۵۱۷۷/۷۸	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۲/۳۴	مشکوک	-۱۳	مناسب
DW.27	۷/۴۹	۴۳۷۱/۱۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۶/۳۳	مشکوک	-۸/۷۳	مناسب
DW.28	۷/۴۸	۵۷۸۲/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۷/۲۶	مشکوک	-۱۷/۸۵	مناسب
DW.29	۷/۳۰	۳۸۱۵/۵۶	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۴۹	مشکوک	-۸/۲۷	مناسب
DW.3	۷/۰۲	۱۲۰۶۳/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۲/۶۶	قابل قبول	-۶۷/۳۳	مناسب
DW.30	۷/۶۵	۳۹۴۸/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۷۸	مشکوک	-۷/۴۱	مناسب
DW.31	۷/۴۲	۷۲۹۶/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۰/۵۷	مشکوک	-۲۱/۵۴	مناسب
DW.32	۷/۵۰	۳۶۰۵/۴۵	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۷/۶۰	مشکوک	-۹/۳۵	مناسب
DW.33	۷/۱۵	۱۴۵۱۸/۱۸	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۰/۳۷	قابل قبول	-۸۸/۲۴	مناسب
DW.34	۷/۰۲	۶۲۶۲/۲۲	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۵/۳۵	مشکوک	-۱۱/۰۴	مناسب
DW.35	۷/۲۷	۵۹۰۷/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۴۵/۷۱	قابل قبول	-۳۴/۴۸	مناسب
DW.36	۶/۸۷	۴۸۹۰/۹۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۸/۷۹	قابل قبول	-۱۵/۰۷	مناسب
DW.37	۷/۶۲	۲۱۸۱/۸۲	C3-S3	شور-قابل استفاده	۷۵/۱۸	مشکوک	-۴/۴۸	مناسب
DW.38	۷/۵۷	۳۷۰۱/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۸۶	مشکوک	-۷/۳۱	مناسب
DW.39	۷/۷۴	۴۴۳۸/۱۸	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۵/۶۱	مشکوک	-۱۰/۳۹	مناسب

منبع آب	pH	EC	کلاس آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
DW.4	۷/۱۰	۱۱۸۷۹/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۱/۶۱	قابل قبول	-۶۵/۵۷	مناسب
DW.40	۶/۹۳	۴۷۹۳/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۴۹/۴۶	قابل قبول	-۱۵/۷۵	مناسب
DW.41	۷/۳۴	۷۰۳۸/۷۵	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۰/۶۹	مشکوک	-۲۷/۷۴	مناسب
DW.42	۷/۷۷	۳۵۴۰/۹۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۳/۷۵	مشکوک	-۱۲/۹۷	مناسب
DW.43	۷/۴۱	۴۶۰۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۳/۵۴	قابل قبول	-۱۹/۶۲	مناسب
DW.44	۷/۵۳	۴۶۷۶/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۳/۹۰	قابل قبول	-۲۱/۵۴	مناسب
DW.45	۶/۵۷	۴۸۵۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۴۹/۶۹	قابل قبول	-۱۳/۴۴	مناسب
DW.46	۷/۵۹	۲۷۴۱/۸۲	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۳۲	مشکوک	-۵/۹۵	مناسب
DW.47	۷/۵۶	۴۶۹۱/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۰/۹۴	مشکوک	-۱۷/۸۸	مناسب
DW.48	۷/۵۴	۲۵۶۳/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۷/۹۸	مشکوک	-۶	مناسب
DW.49	۷/۵۷	۵۱۲۰/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۷/۱۴	قابل قبول	-۲۲/۴۹	مناسب
DW.5	۶/۹۱	۱۹۶۵۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۲/۵۹	قابل قبول	-۱۱۵/۲۸	مناسب
DW.50	۷/۷۰	۲۵۱۱/۸۲	C4-S2	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۴۵	مشکوک	-۷/۰۶	مناسب
DW.51	۷/۷۲	۲۹۴۲/۷۳	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۸۷	مشکوک	-۹/۱۹	مناسب
DW.52	۷/۴۰	۳۵۸۷/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۲/۰۶	مشکوک	-۷/۹۳	مناسب
DW.53	۷/۴۵	۴۸۱۰/۹۱	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۶/۷۵	قابل قبول	-۲۰/۹۷	مناسب
DW.54	۷/۵۵	۶۳۰۳/۶۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۵۰/۹۵	قابل قبول	-۳۲/۷۵	مناسب
DW.55	۷/۵۰	۳۸۹۹/۰۹	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۵۶	مشکوک	-۱۲/۳۹	مناسب
DW.56	۷/۸۱	۱۳۹۳/۹۰	C3-S2	شور-قابل استفاده	۶۹/۵۵	مشکوک	-۰/۹۹	مناسب
DW.57	۷/۷۹	۳۲۳۸/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۷/۸۸	مشکوک	-۵/۹۹	مناسب
DW.58	۷/۷۰	۳۸۴۸/۵۷	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۵/۲۰	مشکوک	-۱۲/۰۴	مناسب
DW.59	۷/۴۶	۴۳۲۳/۶۴	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۱/۵۳	مشکوک	-۱۷/۰۵	مناسب
DW.6	۷/۱۱	۱۶۸۴۵/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۴۶/۶۳	قابل قبول	-۱۲۴/۱۸	مناسب
DW.60	۷/۴۵	۳۸۷۲/۰۰	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۵/۴۵	مشکوک	-۹/۶۶	مناسب
DW.61	۷/۴۸	۴۲۲۴/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۶۹/۳۱	مشکوک	-۹/۷۶	مناسب
DW.62	۷/۷۹	۲۶۶۸/۱۸	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۸۴/۹۸	بد	۲/۶۷	نامناسب
DW.63	۷/۵۲	۳۸۰۳/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۷۴/۶۷	مشکوک	-۶/۶۹	مناسب
DW.65	۷/۵۷	۱۴۷۱/۶۷	C3-S1	شور-قابل استفاده	۵۷/۰۱	قابل قبول	-۴/۹۳	مناسب
DW.7	۷/۷۳	۳۲۹۱/۸۲	C4-S3	خیلی‌شور-نامناسب	۶۴/۸۰	مشکوک	-۱۰/۱۴	مناسب
DW.8	۶/۹۰	۲۳۹۵۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۲/۵۳	قابل قبول	-۱۳۹/۵۷	مناسب
DW.9	۷/۱۵	۱۶۸۳۹/۰۹	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۳/۱۳	قابل قبول	-۹۵/۸۵	مناسب
G.1	۷/۲۳	۱۶۵۸۷/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۲/۱۵	قابل قبول	-۸۹/۵۵	مناسب
G.10	۷/۱۰	۴۲۰/۰۰	C2-S1	کمی‌شور-مناسب	۲۰/۰۰	عالی	۰/۲	مناسب
G.11	۷/۷۵	۱۶۱۵/۱۸	C3-S2	شور-قابل استفاده	۵۶/۲۲	قابل قبول	-۳/۱	مناسب
G.2	۸/۱۲	۴۵۵/۸۰	C2-S1	کمی‌شور-مناسب	۲۵/۲۰	خوب	-۰/۹۸	مناسب

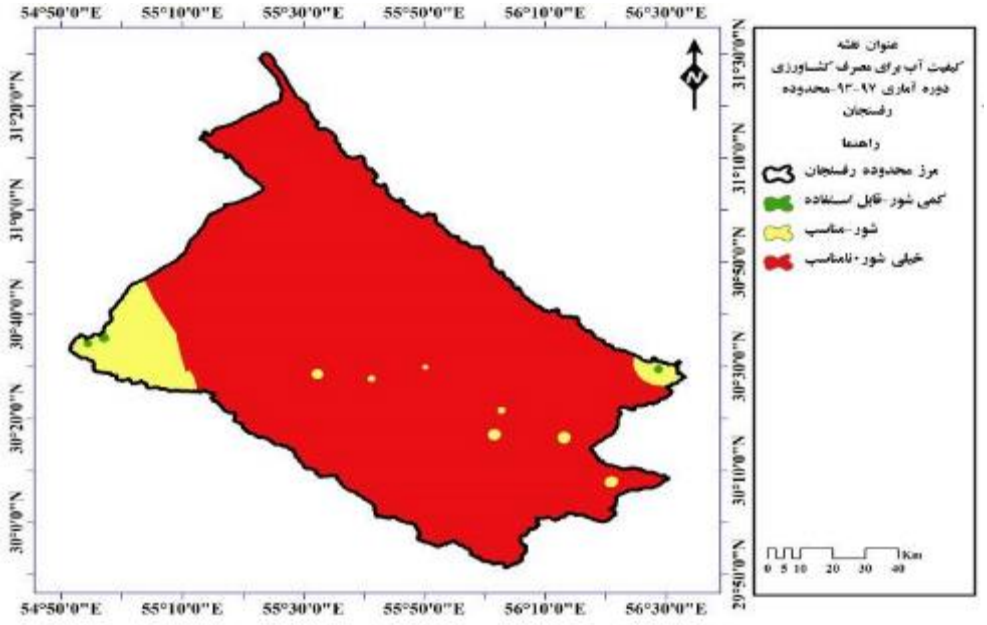
منبع آب	pH	EC	کلاس آب	کیفیت آب	Na%	کیفیت بر اساس Na%	RSC	کیفیت بر اساس RSC
G.3	۸/۰۸	۴۲۶/۲۵	C2-S1	کمی‌شور-مناسب	۲۷/۸۷	خوب	-۰/۰۸	مناسب
G.4	۷/۸۷	۱۰۵۰/۸۰	C3-S1	شور-قابل استفاده	۵۰/۹۸	قابل قبول	-۱/۸۵	مناسب
G.5	۷/۸۵	۱۰۳۵۰/۰۰	C4-S4	خیلی‌شور-نامناسب	۵۴/۸۷	قابل قبول	-۵۵/۵۵	مناسب
G.7	۷/۸۱	۲۰۶۲/۷۳	C3-S3	شور-قابل استفاده	۷۲/۸۸	مشکوک	-۳/۳۳	مناسب

جدول ۶- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۴۷/۲۲	۳۴/۷۲	۲/۷۸	۰	۰	۲/۷۸	۴/۱۷	۲/۷۸	۰	۰	۰	۴/۱۷	۰	۰	۰	۰



شکل ۸- نمودار ویلکوکس- طبقه‌بندی آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۹۷-۱۳۹۳



شکل ۹- نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان در دوره‌ی آماری ۱۳۹۳-۹۷

جدول ۷ درصد مساحت کیفیت آب زیرزمینی به‌منظور مصارف شرب و کشاورزی را به‌تفکیک کلاس‌های مختلف در دو دوره‌ی آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۷- درصد مساحت کیفیت آب زیرزمینی به‌منظور مصارف شرب و کشاورزی در حوزه‌ی آبخیز رفسنجان

نوع مصرف	کلاس	دوره‌ی آماری	
		۱۳۸۸-۱۳۹۲	۱۳۹۳-۱۳۹۷
شرب	خوب	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
	قابل قبول	۴/۷۹	۴/۵۳
	متوسط	۶/۷۹۴	۵/۸۵۴
	نامناسب	۳۷/۵۹	۳۷/۹۵
	کاملاً نامطبوع	۳۸/۰۵	۳۸/۷۵
	غیرقابل شرب	۱۲/۷۷	۱۲/۹۱
کشاورزی	کمی‌شور- مناسب	۰/۱۳	۰/۱۱
	شور- قابل استفاده	۷/۰۹	۶/۴
	خیلی‌شور- نامناسب	۹۲/۷۸	۹۳/۴۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصـــرف در بخش کشـــاورزی مندرج در جدول ۷ و خروجی نقشـه‌های پهنه‌بندی (شـکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹)، حاکی از آن اسـت که در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۹۲/۷۸ درصـد از مسـاحت حوزه‌ی آبخیز رفسـنجان دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "خیلی‌شـور-نامناسب" بوده است و در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، این مقدار به ۹۳/۴۵ درصد رسیده است (افزایش ۰/۶۷ درصدی مساحت). به‌عبارتی، در دوره‌ی ۱۰ ساله‌ی مورد مطالعه، شاهد افزایش شوری و کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی در این حوزه‌ی آبخیز بوده‌ایم. همچنین کیفیت منابع آب‌های "شور قابل ا ستفاده" نیز از م ساحت ۷/۰۹ در صدی این آبخیز در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، به ۶/۴ در صد در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳ رسـیده اسـت (کاهش ۰/۶۹ درصـدی مسـاحت)؛ که نشـان دهنده‌ی کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی اســت. این موارد در حالی اســت که مقادیر منابع آب‌های "کمی‌شـــور-مناسـب"، نیز از ۰/۱۳ درصـد مسـاحت این آبخیز در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، به ۰/۱۱ درصـد در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳ کاهش پیدا کرده اســت (کاهش ۰/۰۲ درصـــدی مســـاحت). بنابراین منابع آب زیرزمینی واقع در حوزه‌ی آبخیز رفســنجان، دارای کیفیت "خیلی‌شــور- نامناســب" (C4-S4)، برای کشاورزی طی دوره‌ی ۱۰ ساله‌ی مورد مطالعه می‌باشند. در خصوص کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب نیز یافته‌های این پژوهش ن شان داد در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۳۸/۰۵ در صد از م ساحت این آبخیز دارای منابع آبی با کیفیت "کاملاً نامطبوع" بوده اســت که این مقدار در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، به ۳۸/۷۵ درصـد رسـیده اسـت (افزایش ۰/۷ درصـدی مسـاحت). همچنین در دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۸، ۳۷/۵۹ درصـد از مسـاحت این آبخیز دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "نامناسـب" بوده‌اند که این مقدار در دوره‌ی ۱۳۹۷-۱۳۹۳، به ۳۷/۹۵ در صد ر سیده ا ست (افزایش ۰/۳۶ در صدی م ساحت). بنابراین منابع آب زیرزمینی واقع در این آبخیز دارای کیفیت "نامنا سب" برای م صرف شرب می‌باشـــند و فقط ۴/۷۲ درصـــد از مســـاحت این آبخیز دارای منابع آب زیرزمینی با کیفیت "خوب" و "قابل قبول" به‌منظور شرب است.

تشکر و قدردانی

این اثر بر گرفته از بخشـی از نتایج پروژه‌ی تحقیقاتی با عنوان "مطالعه‌ی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر م صارف شرب، آبیاری و صنعت (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبریز کویر درانجیر)"، م صوب در مؤ س سه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ک شور می‌با شد. نوی سندگان این مقاله بر خود فرض می‌دانند از همکاری و پشتیبانی آن مؤسسه سپاسگزاری و قدردانی نمایند.

منابع

- تابنده، س.م.، م. خلقی، و س.ع. حسینی. ۱۴۰۰. مقایسه‌ی عملکرد روش‌های درون‌یابی برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی بر مبنای خصوصیات آبخوان‌های کم‌عمق (مطالعه‌ی موردی: آبخوان بابل- آمل). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۱): ۲۳۷-۲۴۹.
- سلیمان‌پور، س.م.، س. لطفی‌نسب، ا. رحمتی، م. معتمدنیا، س. زندی‌فر، و م. نعیمی. ۱۴۰۲. مطالعه‌ی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، آبیاری و صنعت (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبریز درانجیر). گزارش نهایی پروژه‌ی تحقیقاتی، مؤسسه‌ی جنگلها و مراتع کشور، ۵۳۱ صفحه.
- علی‌زاده، ا. ۱۴۰۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهل و پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۹۶۳ صفحه.
- قبادی، م.ح. ۱۳۸۹. آب‌های زیرزمینی. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۳۰۴ صفحه.
- Chan, N.W., R. Roy, and B.C. Chaffin. 2016. Water Governance in Bangladesh: An Evaluation of Institutional and Political Context. Water, 8(403): 1-12.
- Elshorbagy, A. and L. Ormsbee. 2006. Object-oriented modeling approach to surface water quality management. Environmental Modelling & Software, 21(5): 689-698.
- Fetter, C.W., T. Boving, and D. Kreamer. 2017. Contaminant Hydrogeology. 3rd Edition, Waveland Press.
- Rahman, S., M. Rahman Khan, P. Lee, and F. Ahmed. 2020. Development and standardization of taste-rating of the water sample as a semi-quantitative assessment of iron content in groundwater. Groundwater for Sustainable Development,11(100455):1-9.
- Todd, D. and L. Mays. 2005. Groundwater Hydrology. 3rd Edition, John Wiley and Sons,Inc., Hoboken, 652p.

شناسایی مناطق نیازمند اقدامات احیایی در حوزه آبخیز برکت

رضابیات*[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]، باقر قرمزچشمه[۳]

۱* و ۳ - استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران،
پست الکترونیک (bayat52@gmail.com)

۲- استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

چکیده

خاک، زیستگاه گیاهان و جانوران و بستر اصلی تولید غذا برای انسان است و نقش مهمی در ارائه خدمات زیستی در چرخه‌های مختلف طبیعت دارد. پدیده فرسایش خاک سبب هدررفت عناصر غذایی خاک، تولید رسوب، کاهش توان تولید خاک، پرشدن مخازن سدها و بندها و آلودگی آب رودخانه‌های مناطق پایین دست می‌شود. برای کاهش اثرات مذکور، به شناخت منانطق دچار فرسایش و اجرای اقدامات حفاظت خاک نیاز است. حوزه‌های آبخیز بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت با مساحت حدود ۳۲۵ هکتار در شمال استان البرز واقع و در این محدوده ۸ حوضه و ۱۱ زیرحوضه تعریف شده است و در منطقه هیچ نوع ایستگاه رسوب‌سنجی وجود ندارد. بررسی منطقه از نظر فعالیت انواع مختلف فرسایش با استفاده از تصاویر Google Earth و بازدید صحرایی مشخص نمود که در این حوضه فرسایش بادی به طور جدی فعال نیست ولی تیپ‌های مختلف فرسایش آبی (تخریب مکانیکی (واریزه)، فرسایش سطحی، شیاری و آبکندی و فرسایش کانالی در منطقه فعال هستد. بر اساس نتایج به دست آمده از بکارگیری مدل MPSIAC، میانگین رسوب‌دهی حوضه ۱/۹۶ تن در هکتار در سال (۶۵۰ تن رسوب در سطح کل حوضه) بود که بیشترین و کمترین میزان رسوب‌دهی در این حوضه به ترتیب در واحدهای A6 و A8-4 با ۲/۳۶ و ۱/۲۵ تن در هکتار در سال برآورد شده است. منطقه از نظر کلاس شدت فرسایش عموماً در طبقه فرسایش متوسط ۳ تا ۷ تن در هکتار در سال) با ۶۴ درصد و بقیه منطقه با ۳۶ درصد سهم در طبقه فرسایش کم (۱/۵ تا ۳ تن در هکتار در سال) قرار گرفته است که نشان می‌دهد بیش از نیمی از منطقه به بررسی و تمرکز روی اقدامات احیایی لازم برای کاهش فرسایش و حفظ منابع آب و خاک نیاز دارد.

واژه‌های کلیدی:

هدررفت خاک، فرسایش، رسوب، اولویت و *MPSIAC*

مقدمه

خاک، زیستگاه گیاهان و جانوران و بستر تولید غذا برای انسان است و نقش مهمی در ارائه خدمات زیستی در چرخه‌های مختلف گردش مواد در طبیعت دارد. اهمیت فرسایش خاک و تولید رسوب در

حوزه‌های آبخیز از دیدگاه‌های مختلف و در منابع علمی متعددی بحث شده است و آمار و ارقام بسیار متفاوتی از میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه‌های آبخیز کشور ایران ارائه گردیده است که اغلب بر فرسایش بسیار بالا و رسوب‌دهی قابل ملاحظه حوضه‌ها دلالت دارد. خسارات اقتصادی و اجتماعی ناشی از فرسایش خاک و سیلاب‌های ویرانگر نیز علی رغم فقدان آمار و اطلاعات دقیق، بسیار زیاد بوده و لزوم مطالعه برآورد مقدار هدر رفت خاک را در حوزه‌های آبخیز اجتناب ناپذیر می‌نماید (رفاهی ۱۳۸۵ و بیات ۱۳۹۹).

ارزیابی کارایی روش MPSIAC در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی و هیدروگرافی برای محاسبه حجم آورد رسوب سد مسجد سلیمان و شناسایی مناطق اولویت‌دار از لحاظ تولید رسوب استفاده شد و نتایج نشان داد که این مدل از قابلیت مناسبی برای برآورد رسوب برخوردار است (ذاکری حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). نورانی و محسن زاده (۱۳۹۶) برای برآورد بار رسوب ماهانه ایستگاه‌های حوضه آجی چای از مدل MPSIAC استفاده نموده و در نتایج بیان کردند که میزان رسوبدهی سالانه در کل حوضه ۱/۹۲ تن در هکتار است که زیرحوضه ۲۲ با توجه به شیب تند و پوشش گیاهی کاملا ضعیف با ۳/۸۸ تن در هکتار در سال بیشترین و زیرحوضه ۱۴-۱ با یک تن در هکتار در سال کمترین مقدار تولید رسوب را در حوضه به خود اختصاص دادند.

برای بررسی نقش پارامترهای محیط طبیعی در تعیین وضعیت فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز سد برنجستانک از دو روش MPSIAC و EPM استفاده شد و مقایسه مقادیر به دست آمده بین این دو روش نشان داد که میزان رسوب دهی سالانه در حوضه با روش MPSIAC برابر با ۲۲۶ متر مکعب بر کیلومتر مربع بر سال بوده و میزان فرسایش ویژه۹۲۱ متر مکعب بر سال است. با روش EPM میزان فرسایش ویژه ۹۱۹ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال و میزان دبی رسوب کل حوضه نیز۱۹۳۳ متر مکعب بر سال برآورد شده است و از نظر شدت فرسایش، حوضه مورد مطالعه با توجه به هر دو روش در کلاس فرسایش کم قرار دارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۶).

شناسایی مناطق بحرانی و نحوه پراکنش طبقات مختلف فرسایش به کمک مدل‌های EPM و MPSIAC در مقایسه با واقعیت زمینی در حوزه آبخیز شهریاری (نتیجه مدل BLM) نشان داد که میزان تطابق طبقات فرسایش مدل MPSIAC با خروجی BLM (به‌عنوان نقشه واقعیت زمینی) بیشتر از مدل EPM است (بیات و همکاران ۱۳۹۹).

از آنجایی که در حوضه برکت، مطالعات لازم برای برآورد فرسایش و رسوب انجام نشده بود و برحسب بررسی منابع انجام شده، مدل MPSIAC می‌تواند برآورد خوبی از فرسایش و رسوب ارایه نماید، مدل مذکور در این تحقیق بکار گرفته شد. هدف این تحقیق، شناسایی مناطق نیازمند اقدامات احیایی و اولویت‌بندی حوزه آبخیز برکت از نظر شدت فرسایش و رسوب است. شناخت دقیق‌تر وضعیت فرسایش

و تولید رسوب به منظور شناسایی مناطق نیازمند اقدامات احیایی و انجام برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات آبخیزداری در این حوضه است.

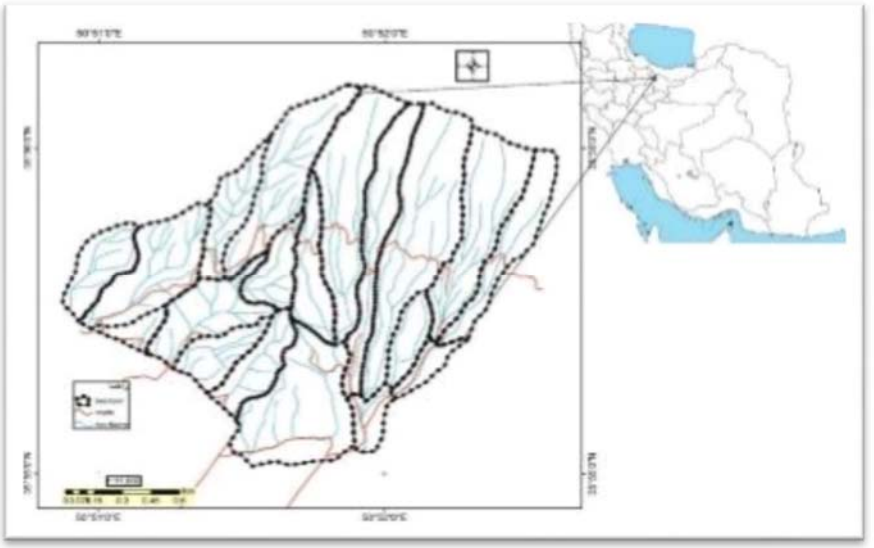
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل حوزه‌های آبخیز بالادست شهرک صنعتی دارویی برکت در حدفاصل شهرک بهارستان در شرق، شهر کردان در غرب و در جنوب به شهرک صنعتی دارویی برکت با مساحت حدود ۳۲۵ هکتار در شمال به ارتفاعات البرز منتهی می‌شود. مختصات جغرافیایی چهار گوشه متطقه بین (َ۵۰ و ْ۵۰) تا (َ۵۲ و ْ۵۰) طول جغرافیایی و(َ۵۵ و ْ۳۵) تا (َ۵۶ و ْ۳۵) عرض شمالی قرار دارد. بر اساس داده های پایه فیزیوگرافی، در این منطقه ۸ حوضه و ۱۱ زیرحوضه تعریف شد که شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور و استان را نمایش می‌دهد. منطقه مورد مطالعه دارای ۴ تیپ اصلی اراضی و ۱۳ جزء واحد اراضی است.

بدلیل کاربرد گسترده مدل MPSIAC در ایران، از این مدل برای برآورد رسوب استفاده شد (Johnson and Gebhardt, 1982، رفاهی ۱۳۸۵ و بیات و همکاران ۱۳۹۹). به همین دلیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، کاربری فعلی اراضی، اجزاء واحد اراضی خاک و پوشش گیاهی، بررسی و اطلاعات لازم موضوعی در واحدهای همگن از لایه‌های مذکور استخراج و در یک بانک اطلاعاتی جمع آوری شد.

سپس طی بازدیدهای میدانی و تکمیل فرم‌های مربوطه، شدت و اشکال فرسایش موجود در منطقه ارزیابی شد. بررسی حوضه از دیدگاه فعالیت فرسایش‌های آبی و بادی از طریق تصاویر Google Earth و بازدید صحرایی در واحدهای اراضی و تکمیل فرم مدل BLM انجام شد (رفاهی ۱۳۸۵ و بیات و همکاران ۱۳۹۹).

عوامل نه گانه مدل MPSIAC در قالب لایه‌های جداگانه در محیط نرم افزار ARC/GIS امتیازدهی شد. به منظور برآورد میزان رسوب‌دهی در روش MPSIAC، جمع جبری نمرات عوامل نه گانه محاسبه و به عنوان درجه رسوب‌دهی (R) درمعادله مربوط (رابطه ۱) به این روش وارد می‌شود به این ترتیب، بر اساس مقدار درجه رسوب‌دهی هر واحد کاری، میزان رسوب‌دهی آن برآورد می شود که در این تحقیق بر اساس تیپ فرسایشی تعیین شده و نقشه رسوب‌دهی حوضه نیز تهیه شده است.



شکل ۱ - نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

$$Q_s \ @\ 0.253e^{0.036R}$$

رابطه ۱:

در این رابطه Qs مقدارتولید رسوب بر حسب تن در هکتار در سال است و وزن مخصوص ظاهری رسوبات برابر ۱/۳۶۰ گرم بر سانتی متر مکعب در نظرگرفته شده است.

علاوه بر تعیین درجه رسوب دهی و به تبع آن میزان رسوب دهی هر یک از تیپ‌های فرسایشی، درجه رسوب‌دهی برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیک و زیرحوضه‌ها نیز تعیین شد و سپس میزان رسوب‌دهی آنها براساس رابطه (۱) برآورد شد.

رسوب، بخشی از خاک و ذرات فرسایش یافته از دامنه‌ها است که به خروجی حوضه منتقل می شود. میزان ذرات انتقال یافته، به عواملی همچون مساحت حوضه، شیب وسایر عوامل بستگی دارد که سبب می‌شوند بخشی از مواد فرسایش یافته در سطح حوزه آبخیز در محل خود ویا نزدیک به منطقه برداشت باقی بمانند و به خروجی حوضه حمل نشوند. از آنجایی که مقدار رسوب‌دهی در حوزه آبخیز برکت از طریق کاربرد مدل MPSIAC برآورد شد. بنابراین برای برآورد میزان فرسایش زیرحوضه‌ها، بایستی ضریب تحویل رسوب را در میزان رسوب-دهی دخالت داده و به مقدار فرسایش دست یافت.

در حوزه آبخیز برکت به منظور برآورد نسبت تحویل رسوب، از رابطه‌ای که Vanoni (۱۹۷۵) با استفاده از داده‌های ۳۰۰ حوضه در سطح جهان مدلی را به صورت تابع توانی مطرح کرده بود (به نقل از بیات و مرادی، ۱۳۹۳)، استفاده شد که خروجی منطقی‌تری (متوسط ۵۳/۱ درصد) ارایه می‌داد و در برخی منابع از آن استفاده شده است (بیات و مرادی، ۱۳۹۳). این مدل بین نسبت تحویل رسوب و مساحت

رابطه‌ای SDR=0.42 A-0.125 را برقرار کرده که به نظر می‌رسد مدل بهتری برای برآورد نسبت تحویل رسوب باشد.

که درآن SDR= نسبت تحویل رسوب و A= مساحت حوضه آبخیز براساس کیلومترمربع است.

بدین ترتیب نسبت تحویل رسوب برای هر زیرحوضه مستقل محاسبه شد و با دخالت آن در مقدار رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها، مقدار فرسایش آنها برآورد شد. نقشه طبقات فرسایش بر اساس جدول ۱ (رفاهی ۱۳۸۵ و بیات و همکاران ۱۳۹۹) تهیه و با توجه به توزیع مکانی طبقات فرسایش، شناسایی مناطق نیازمند عملیات احیایی انجام شد.

جدول ۱: طبقه بندی شدت فرسایش و تعیین کلاس فرسایش خاک به روشMPSIAC

کلاس فرسایش	شدت	درجه رسوبدهی (R)	شدت فرسایش (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال)
۱	خیلی کم	۲۵-۰	<۹۵
۲	کم	۵۰-۲۵	۹۵-۲۳۸
۳	متوسط	۷۵-۵۰	۲۳۸-۴۷۶
۴	زیاد	۱۰۰-۷۵	۴۷۶-۱۴۲۹
۵	خیلی زیاد	>۱۰۰	۱۴۲۹<

نتایج و بحث

علاوه بر فرسایش سطحی که در همه منطقه بجز رخنمون‌های سنگی و مناطق مسکونی دیده می‌شود، فرسایش واریزه‌ای نیز در ارتفاعات با شدت متوسط تا کم به وضوح دیده می‌شود. همچنین تمرکز هرزآب‌ها در سطح زمین و تشکیل شیارهایی در خاک، نوعی از فرسایش است که به عنوان فرسایش شیاری در حوزه آبخیز برکت رخنمون پیدا کرده و توسعه این شکل فرسایشی منجر به بروز فرسایش خندقی جزئی شده است که در حوضه مورد بررسی در سطوح محدود، قابل مشاهده است. فرسایش رودخانه‌ای و به خصوص نوع کناری آن، دیگر شکل فرسایشی است که در حوزه آبخیز برکت شناسایی شد.

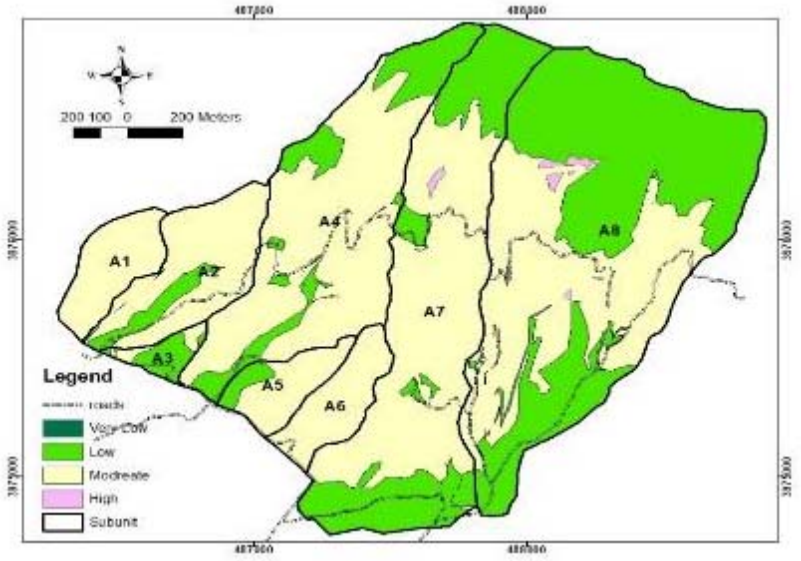
فرسایش‌های ناشی از فعالیت‌های مستقیم انسانی (جاده سازی) و دام نیز در حوضه شناسایی شدند که عمده ترین شکل فعالیت‌های انسانی در حوزه آبخیز برکت، میکروتراس‌های ناشی از حرکت دام‌ها در مراتع هستند که از دیگر اشکال فرسایشی حوزه آبخیز برکت بوده و سطوح مختلف حوضه را تحت تأثیر قرار داده است. در جدول ۲، مساحت و درصد مساحت هر یک از تیپ‌های فرسایشی در حوزه آبخیز برکت ارائه شده است.

نقشه طبقه‌بندی شده شدت فرسایش منطقه (شکل ۲) نشان می‌دهد شدت فرسایش عموماً در طبقه فرسایش متوسط (۳ تا ۷ تن در هکتار در سال) که تقریبا ۶۴ درصد منطقه را در بر می‌گیرد. بقیه

منطقه با حدود ۳۶ درصد سهم در طبقه فرسایش کم (۱/۵ تا ۳ تن در هکتار در سال) قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بیش از نیمی از منطقه به بررسی و تمرکز روی اقدامات احیایی آبخیزداری برای منابع آب و خاک و کاهش فرســـایش نیاز دارد که بیات و همکاران ۱۳۹۹در منطقه شـــهریاری کار مشابهی انجام دادند و مناطق را بر اساس شدت فرسایش پهنه‌بندی نمودند.

جدول ۲- پراکنش تیپ‌های فرسایش در حوزه آبخیز برکت

ردیف	علامت تیپ فرسایشی	نام تیپ	مساحت هکتار	مساحت درصد
۱	M2	تخریب مکانیکی (واریزه‌ای) با شدت متوسط	۹۵/۹۳	۲۹/۵۱
۲	M2C1S1	مکانیکی (واریزه‌ای) با شدت متوسط همراه با کانالی و سطحی کم	۴۵/۹۸	۱۴/۱۴
۳	S2C1	سطحی متوسط و کانالی کم	۲۶/۳۱	۸/۰۹
۴	S2M1C1	سطحی متوسط همراه با مکانیکی و کانالی کم	۱۵۶/۹۱	۴۸/۲۶
۵	کل	-	۳۲۵/۱۳	۱۰۰/۰۰



شکل ۲- نقشه شدت فرسایش منطقه برکت

نتایج برآورد میزان رسوبدهی حوضه مورد مطالعه بر می‌آید میزان رسوبدهی کل حوزه آبخیز برکت با استفاده از مدل MPSIAC ۱/۹۶ تن در هکتار در سال برآورد شد که بیشترین آن در واحد A6 با ۲/۳۶

تن در هکتار در سال و کمترین آن در A8-4 با ۱/۲۵ تن در هکتار در سال برآورد شده است. وضعیت درجه رسوب دهی و میزان رسوب دهی در تیپ‌های فرسایشی در جدول ۳ ارایه شده است.

اسدی نلیوان و همکاران (۱۳۹۴) با کمک ده شاخص حفاظت خاک، فرسایش و رسوب، تنوع گونه‌ای، کلاس سنی، ترکیب گیاهی، گیاهان سمی، تولید علوفه، ظرفیت چرا، کمیت آب، تبخیر و تعرق اندازه گیری و سپس جهت اولویت بندی اقدامات آبخیزداری با توجه به شاخص‌ها از روش تاپسیس استفاده نمودند.

همچنین خان و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از GIS و سنجش از دور و شاخص رسوب زیرحوزه‌های آبخیز را در حوزه گوهیا در کشور هند اولویت‌بندی کردند. در این تحقیق ۶۸ زیرحوزه بر اساس مقدار شاخص فرسایش‌پذیری و رسوب‌دهی ارزیابی شدند. بر اساس شاخص رسوبدهی، زیرحوزه‌ها را تحت اولویت‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم دسته‌بندی کردند.

جدول ۳ : درجه رسوب دهی و میزان رسوب دهی در تیپ‌های فرسایشی حوزه آبخیز برکت

تیپ فرسایشی	S2M1C1	S2C1	M2C1S1	M2
R	۵۸/۵۸	۴۹/۱۰	۶۲/۸۹	۴۸/۸۵
رسوبدهی(ton/ha/yr)	۲/۱۲	۱/۵۱	۲/۴۹	۱/۵۴

نتایج برآورد فرسایش با استفاده از رابطه Vanoni نشان می‌دهد میانگین وزنی حدود ۳۲ درصد از خاک و ذرات فرسایش یافته در کل سطح حوزه آبخیز برکت به صورت رسوب از حوضه خارج می شود که با شواهد و ارزیابی‌های صحرایی صورت گرفته از حوضه تا حدودی همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به سطح محدود مناطق دارای خاک در حوضه و پتانسیل بالای حوضه برای تخریب خاک به واسطه وجود اقلیم خشک و شکننده و بارش‌های شدید در آن، بایستی به طور جدی برای حفظ و حمایت از منابع محدود خاک حوضه تلاش نمود که برای این منظور و با در نظر گرفتن خصوصیات حاکم بر منطقه پیشنهاد می‌شود در طراحی برنامه های آبخیزداری حوضه، حتماً از روش‌هایی که منجر به شکستن شیب و کاهش احتمال تولید روانآب شدید، استفاده شود تا بتوان سطوح محدود واجد خاک را در آن حفظ نمود.

بخشی از فرسایش حوضه میکروتراس‌ها هستند که جهت جلوگیری از پیشرفت آن باید از تردد دام جلوگیری به عمل آید و حالت حفاظت و قرق دائمی ایجاد شود. این اقدامات بهتر است در شیب‌های بالای ۴۵٪ انجام گیرد. تقویت پوشش گیاهی اعم از بذرپاشی، بوته کاری، نهال‌کاری در مسیر آبراهه‌های اصلی و کپه‌کاری در دامنه‌های خاک‌دار همراه با احداث بانکت به منظور جمع‌آوری روانآب‌ها و نفوذ آنها

در ارا ضی شیب‌دار که با م شاوره و پی شنهاد کار شناس پو شش گیاهی صورت گیرد. احداث بندهای خاکی در محل‌های مناسب جهت جمع‌آوری آب و نفوذ آن به داخل زمین در محل‌های با نفوذپذیری مناسب جهت تغذیه منابع آب زیرزمینی قابل توصیه است.

ایجاد سازه‌های خشکه‌چین در آبراهه‌های درجه ۱ و ۲ و سازه‌های گابیونی کوتاه در آبراهه‌های درجه ۳ و همچنین سازه‌های سنگی- ملاتی با ارتفاع کم تا متوسط جهت مهار رسوب و جمع‌آوری رسوبات خروجی از زیرحوضه‌ها پیشنهاد می‌شود.

شدت ر سوب‌دهی در حو ضه به دلیل وجود رگبارهای شدید در منطقه و بروز سیلاب‌های با دبی بالا منجر به حمل حجم قابل ملاحظه‌ای از رسوبات شده و شواهد آن به خوبی در مسیر آبراهه‌های اصلی و رودخانه حوضه در کنار درختچه‌ها دیده می‌شود. بنابراین لازم است در صورتی که به تشخیص کارشناسی نیاز به ایجاد سازه جمع‌آوری آب باشد، حتماً باید در مناطق بالا دست سازه‌های رسوب‌گیر احداث نمود، در غیر این صورت احداث سازه جمع‌آوری آب بدون مهار رسوبات بالا دست مقرون به صرفه و اقتصادی نخواهد بود. در برنامه ریزی و پیشنهاد پروژه‌ها و عملیات های مکانیکی حوضه، مرمت و نگهداری پروژه‌های حوضه مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بابت حمایت مالی بنیاد برکت و همکاری فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری قدردانی می‌شود.

منابع

0 اسدی نلیوان ا.، رستمی خلج م.، محسنی ساروی م.، سور ا. ۱۳۹۴. اولویت بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز با استفاده از روش TOPSIS (مطالعه موردی: زیدشت- طالقان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۶(۱۲):۹۸-۱۰۷. Available from: https://sid.ir/paper/230341/fa

0 بیات ر.، عرب خدری م.، بهنام ن.، گرامی ز.. بررسی کارایی مدل های EPM و MPSIAC در تعیین وضعیت فرسایش حوزه آبخیز شهریاری. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱۳۹۹; ۷(۳) :۱-۱۶

0 بیات ر. و مرادی ش. ۱۳۹۳. مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی ن سبت تحویل ر سوب. ن شریه توسعه و ترویج آبخیزداری .سال ۵ شماره ۲. ص ۲۸-۳۶.

0 ذاکری حسینی ف.، رضایی خ.، شفاعی بجستان م. ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی روش MPSIAC در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی و هیدروگرافی برای محاسبه حجم آورد رسوبی سد مسجدسلیمان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- رفاهی، ح. ۱۳۸۵. فرسایش آبی و مهار آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- رمضانی ب.، ابراهیمی ه. و حق پرست مژدهی ل. ۱۳۹۶. نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روشMPSIAC و EPM(مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد برنجستانک). مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره اول، شماره ۲ .
- نورانی و. و محسن زاده ص. ۱۳۹۶. برآورد بار رسوب ماهانه ایستگاه‌های حوضه آجی چای با استفاده از مدلMPSIAC و ریزمقیاس نمایی آبشاری. هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۱، ص، ص ۸۳-۱۰۳.
- Johnson, C.W., and K.A. Gebhardt, 1982. Predicting sediment yield from sagebrush rangelands. Proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson, Arizona, March 1981 US Department of Agriculture, Agricultural Reviews and Manuals, Western Series, No. 26, p.145-156.
- Khan, M.A., V.P. Gupta and P.C. Moharana. 2001. Watershed prioritization using RS and GIS: case study from Guhiya, India. Journal of Arid Environments, 49: 465-475.
- Vanoni, V.A., 1975. Sedimentation engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 5.

اثر بخشی سامانه‌های سطوح آبگیر در افزایش رطوبت خاک (مطالعه موردی: روستای کبوده علیا، استان کرمانشاه)

محمد قیطوری[1*]، مسیب حشمتی[2]

[1*] دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: gheitury42@gmail.com

[2] دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،

چکیده

کشور ما داری شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است. لذا کم آبی و کمبود رطوبت خاک یکی از عوامل ا صلی محدودیت رویش گیاهان مثمر دیم در دوره خ شکی ا ست. سامانه‌های سطوح آبگیر باران راهکار منا سبی برای مقابله با چالش خ شکی و خ شک سالی و نیل به اهداف تولید آب و بهبود شرایط معیشت آبخیزنشینان است. این تحقیق با هدف بررسی کارائی سامانه‌های مختلف سطوح آبگیر باران در افزایش رواناب و تولید آب در روستای کبوده علیا استان کرمانشاه انجام شد. این تحقیق روی دامنه جنوبی با شیب ۲۰ درصد، با احداث سه تیمار سامانه جمع‌آوری رواناب لوزی شکل به ابعاد ۱/۷ × ۱/۷ متر شامل، سطح خاک کوبیده شده همراه با کاه، سطح پلاستیک با پوشش سنگفرش و سطح شاهد در سه تکرار انجام شد. به‌منظور تعیین مقدار رواناب تولید شده از هر بارش ۹ مخزن ۱۰۰ لیتری در پایین دست راس لوزی هر سامانه مستقر شد که بعد از هر رگبار آب ذخیره شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد متوسط ضریب رواناب تولید شده در شدت‌های مختلف بارش، برای سامانه‌های خاک کوبیده شده با کاه، سطح پلا ستیک با روکش سنگفرش و سطح شاهد به ترتیب ۴۴، ۸۸ و ۱۶ درصد ا ست که رابطه معنی‌داری در سطح $P<0.01$ بین میزان بارش و حجم آب تولید شده در سامانه‌های ا ستح صال آب باران وجود دارد.

لذا سامانه ا ستح صال رواناب مالچ پلا ستیک با سنگفرش بهترین عملکرد در تولید آب و شامانه شاهد پایین کارایی را دا شت. همچنین آ ستانه تولید رواناب برای سامانه‌های خاک کوبیده شده با کاه، سطح پلاستیک با روکش سنگفرش و سطح شاهد به ترتیب ۱/۵، ۰/۸ و ۳/۴ میلی‌متر بارندگی است که نشان می‌دهد مزیت سامانه پلاستیک استفاده از حداقل بارش در تولید آب است.

واژه‌های کلیدی:

سطوح آبگیر باران، استحصال آب باران، سامانه جمع‌آوری رواناب، نزولات آسمانی، مخزن اندازه‌گیری

مقدمه

استحصال آب باران شیوه‌ای برای افزایش آب قابل دسترس به‌منظور کاهش اثرات تنش‌های خشکی و کمبود آب در فصل خشک است که مزایای آن استفاده بهینه از رواناب در مصارف کشاورزی می‌باشد (Brooks, 2003). کمبود آب جهت شرب و عملیات کشاورزی اساسی‌ترین مشکل بشر در مناطق خشک و بیابانی است. کشور ما نیز یکی از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است که نیاکان ما تدابیر ویژه‌ای را جهت مقابله با پدیده خشکی و خشکسالی به کار بسته‌اند. احداث قنات، آب انبارها، سکوچینی روی دامنه‌ها و احداث باغات دیم روی آنها، نمونه‌ای از این تدابیر است. در دهه‌های اخیر بررسی‌ها و تحقیقات گوناگونی براساس نیازهای محلی و ملی و در زمینه مقابله با خشکی و خشکسالی انجام گرفته است که دستاوردهای مختلفی جهت بهره‌وری بهینه از این منابع خدادادی داشته است. شواهد تاریخی حاکی از آن است که سکونت و کشاورزی در دنیای قدیم به طور عمده محدود به نواحی دارای اقلیم خشک و نیمه خشک به ویژه در خاورمیانه بوده است. شاید در چنین مناطقی به‌دلیل نبود امکان دستیابی ساکنین این مناطق به فن و دانش طراحی و احداث سدهای مخزنی، نبود و یا ناچیز بودن تعداد رودخانه‌ها و واقع شدن مناطق پهناور در خارج از شبکه رودخانه‌های بزرگ، کشاورزی از همان ابتدا به آبیاری و جمع‌آوری ریزش‌های جوی و رواناب‌های سطحی و سیلاب‌ها متکی بوده است (Evenari، ۱۹۷۵). تفکر حاکم بر لزوم بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزش‌های جوی برخاسته از این اندیشه است که بهره‌وری از ریزشهای جوی یکی از راهکارهای اجرایی مدیریت و بهره‌برداری از آب قابل دسترس به ویژه برای احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشد(Stroosnijder & Hoogmoes، ۱۹۸۴). نتایج تحقیقات یاد شده بر این نکته تأکید دارند که میزان آب موجود در پروفیل خاک به ویژه در لایه‌های سطحی خاک تابعی از رطوبت موجود در لایه‌های زیرین است و استحصال ریزشهای جوی درمحل نزول، عامل اساسی در افزایش رطوبت مورد نیاز گیاهان در محل استقرار آنها تلقی می‌شود. پژوهش‌های انجام شده در آمریکای شمالی حاکی از آن است که قبل از سکونت اروپایی‌ها در سرزمین مکزیک و جنوب غربی ایالات متحده آمریکا، بومیان منطقه در شرایط اقلیمی نیمه خشک، کشاورزی پررونقی را از طریق هدایت روانابهای سطحی به اراضی کشاورزی داشته اند (Critchley، ۱۹۸۷). یکی از مباحث مهم در این زمینه، پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیب دار مانند دامنه‌ها و کوهپایه‌ها می‌باشد که عمده فعالیت‌های آبخیزداری در احداث سامانه‌های سطوح آبگیر، اراضی مذکور را شامل می‌گردد. بررسی انجام شده در این زمینه نشان می دهد که در دامنه‌های شیب‌دار، مولفه افقی جریان که به صورت سطحی و یا زیرسطحی حادث می‌شود بر مولفه عمودی جریان غلبه دارد (مصطفی زاده به نقل از Hoover ۱۹۸۵). در تحقیق دیگری که در زمینی با شیب حدو ۵ درصد انجام گرفت، نتایج نشان می دهد که در شیب کمتر از ۵ درصد عمق جبهه خیس شده بیشتر میباشد. در اراضی با شیب بیش‌از ۵ درصد با افزایش شیب زمین، از عمق جبهه رطوبتی کاسته

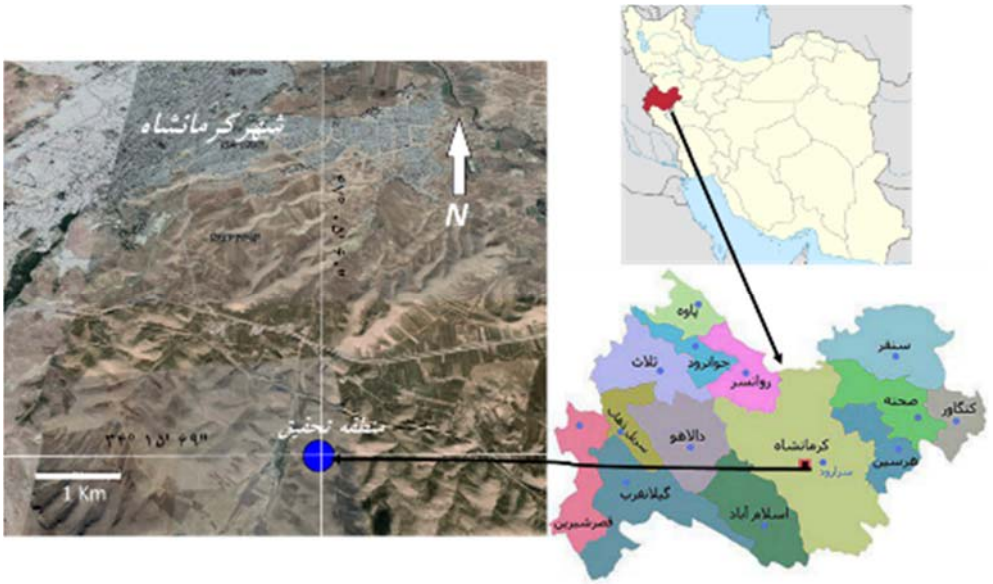
شده و انحراف این جبهه در جهت شیب افزایش نشان می دهد که این افزایش تحت تاثیر نفوذپذیری خاک و میزان آب ورودی به آن قرار دارد. بکارگیری فیلتری از بقایای گیاهی جهت ذخیره رطوبت در خاک و تامین نیاز رطوبتی گیاه نیز راهکار مناسبی برای بهینه‌سازی سامانه‌ها می‌تواند معرفی گردید (Garderi, 2003). سامانه‌های سطوح آبگیر باران به دو گروه سنتی و نوین تقسیم‌بندی می شوند (اوویس و همکاران ۱۹۹۹) دلیل این تقسیم‌بندی صرف نظر از اندازه سطوح‌آبگیر، موقعیت مکانی احداث، نوع و چگونگی ذخیره سازی آبهای جمع آوری شده، امکان پذیری، پذیرش و بکارگیری توسط کاربران می‌باشد که نکته مهمی در اشاعه فرهنگ مدیریت و استفاده بهینه از ریزشهای جوی محسوب می‌گردد. سامانه‌های سطوح آبگیر نوین، در واقع سامانه‌های اصلاح و تکمیل شده سنتی هستند که با اسامی علمی نوین و در تناسب با ویژگیها و کاربردهای هر یک ازسامانه ها به جوامع مختلف انسانی معرفی شده‌اند (کارتد و همکاران ۲۰۰۵). نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیق خود تحت عنوان بررسی عملکرد سامانه های مختلف سطوح آبگیر باران در تولید رواناب در منطقه نیمه خشک عون ابن‌علی (آذربایجان شرقی) نشان داد که بیشترین مقدار رواناب مربوط به تیمار پو شش نایلون با رویه لاشه چینی بود و این تیمار را بهترین گزینه برای استحصال آب باران معرفی کرده است. همچنین مهدی زاده یوشانلویی و روغنی (۱۳۹۴) در تحقیق خود تحت عنوان، بررسی عملکرد سطوح عایق، نیمه‌عایق و طبیعی در فرایند بارش -رواناب سامانه‌های سطوح آبگیر، مطالعه موردی ایستگاه پژوهشی خرم آباد ارومیه نشان دادند که به ترتیب برای سطوح آبگیر عایق، نیمه عایق و طبیعی برابر ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۴ میلی‌متر و درصد ضریب تولید رواناب این سطوح به ترتیب برابر ۴۱/۱۷، ۱۰/۵۸ و ۱/۷۴ برای دوره زمانی فروردین تا آبان ماه است. لذا، استفاده از تیمار عایق برای ایجاد سطح آبگیر همراه با تعبیه سامانه ذخیره رواناب حاصل از ماه‌های پرباران مثل فروردین و اردیبهشت و سامانه توزیع آب ذخیره شده در ماه‌های پرنیاز آبی گیاه شامل تیر، مرداد و شهریور توصیه می‌شود. علیرغم مشکلات موجود در بهره‌برداری اصولی از منابع، امروزه با تلاش متخصصین و محققین، این امکان فراهم آمده تا بتوان ضمن رعایت اصل همزیستی و یا سازگاری با طبیعت، روش‌ها و الگوهای طراحی شده‌ای را جهت استفاده بهینه و پایدار از منابع موجود بکار گرفت. روش‌های مزبور می‌بایست دارای جنبه‌های کاربردی بوده و اجرای آن، ضمن کاهش تلفات منابع آب و خاک و ایجاد بسترهای مناسب به‌منظور دسترسی به‌اهداف توسعه، نقش تعیین کننده‌ای در بهبود زندگی و اقتصاد معیشتی مردم داشته باشد. به‌همین منظور بکارگیری روش‌هائی که ضمن سادگی اجرا، دارای مقبولیت لازم در بین آبخیزنشینان باشد ضروری است. تحقیق حاضر در راستای ارائه راهکار مناسب برای مقابله با چالش خشکی و خشکسالی و نیل به‌اهداف افزایش بهره‌وری، تولید آب و بهبود شرایط معیشت آبخیزنشینان است. به‌منظور رسیدن به‌این اهداف، عملکرد سامانه‌های مختلف سطوح آبگیر باران شامل، خاک کوبیده شده با کاه، سطح پلاستیک

با پوشش سنگفرش و سطح شاهد در روستای کبوده علیا حومه شهر کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت و کارائی هریک از سامانه‌ها در استحصال آب باران تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

-منطقه تحقیق

منطقه اجرای طرح، روستای کبوده علیا در عرض شمالی ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه و ۶۹ ثانیه و طول شرقی ۴۷ درجه و ۵ دقیقه و ۶۰ ثانیه در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمانشاه انتخاب قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه اجرای طرح ۴۷۰ میلی‌متر (متوسط دوره آماری ۳۰ ساله) و دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. در صد متوسط شیب دامنه ۲۷٪ با جهت جنوب غربی با ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا و خاک نیمه عمیق با بافت خاک نسبتاً سنگین و سنگ مادری آهکی است.

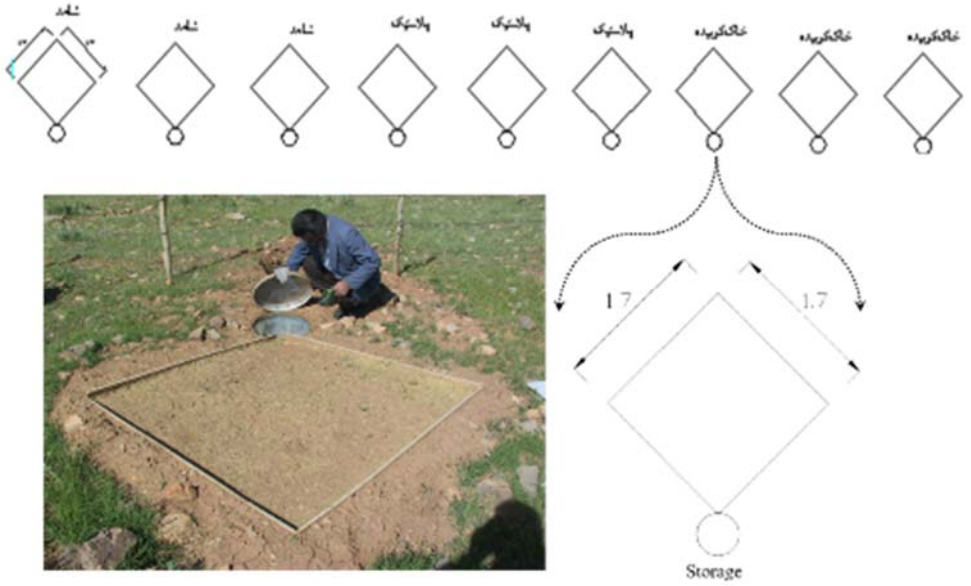


شکل ۱- موقعیت سایت تحقیق در استان کرمانشاه

روش تحقیق

ابتدا سطح سه تیمار جمع‌آوری رواناب لوزی شکل به ابعاد ۱۷۰ سانتی‌متر شامل، تیمارهای خاک کوبیده شده همراه با کاه، پلاستیک با سنگفرش و سامانه شاهد در سه تکرار طراحی و احداث گردید (شکل ۲)، به‌طوری که رواناب هر بارش، توسط سطح سامانه به داخل مخزن فلزی طراحی شده در پایین دامنه، هدایت و جمع‌آوری شده است. سپس براساس حجم رواناب داخل مخزن در تیمارهای مختلف، ارتفاع رواناب و ضریب هرزآب برای هر شدت بارش‌های بدست آمد. همچنین به‌منظور

اندازه‌گیری شدت‌های مختلف بارندگی، یک دستگاه باران‌سنج ثبات با دیتالاگر (Data logger) در محدوده طرح نصب گردید. به‌طوری که برای هر داده رگبار ثبت شده به‌وسیله باران سنج دیتالاگر مقدار رواناب تولید شده نیز اندازه‌گیری شد. داده‌های جمع‌آوری شده بارش و رواناب در مدل رگرسیون در محیط نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.



شکل (۲): پلان اجرایی طرح سیستم استحصال رواناب باران

نتایج

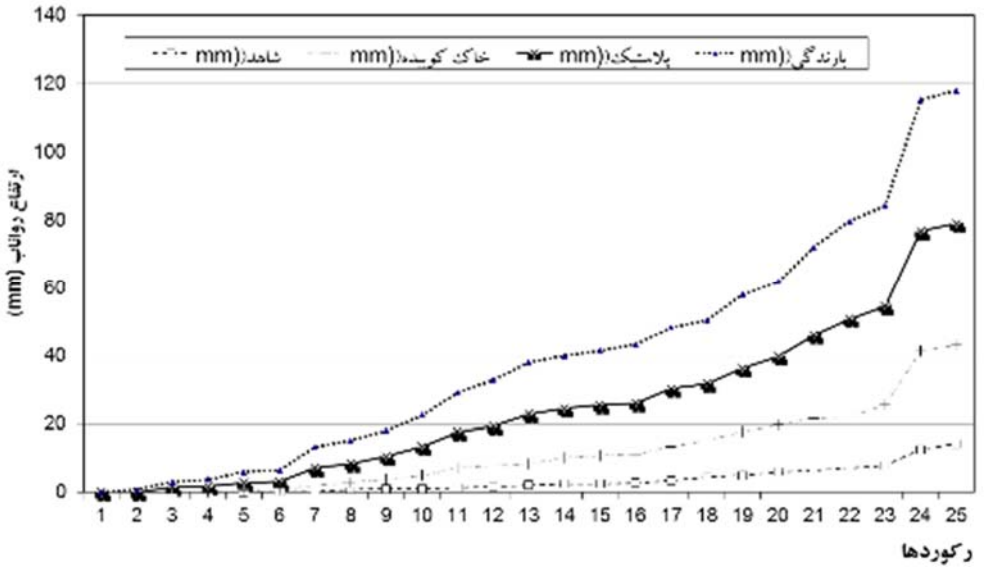
طی دو سال شدت‌های مختلف بارش به وسیله باران سنج دیتالاگر ثبت شده و همچنین مقدار رواناب تولید شده برای هر بارش در سه سطح مختلف استحصال آب باران اندازه‌گیری شد (جدول ۱). نتایج داده های جدول (۱) نشان می‌دهد با افزایش مقدار بارندگی ارتفاع رواناب و تولید آب در سامانه‌های سطوح پلاستیک همراه با سنگفرش، خاک کوبیده شده همراه با کاه و شاهد بیشتر می شود. آستانه بارش برای شروع رواناب در تیمارهای مختلف سطوح آبگیر باران متفاوت است به طوری که در تیمار شاهد، خاک کوبیده شده و پلاستیک همراه با سنگ‌فرش به ترتیب ۳/۲، ۰/۸ و ۰/۸میلی‌متر می‌باشد. نتایج تحلیل آماری ضریب همبستگی میان شدت بارندگی با رواناب استحصال شده از تیمارهای مختلف سطوح جمع‌آوری آب باران نشان می‌هد که رابطه معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری که، مالچ پلاستیکی همراه با پوشش سنگفرش بیشترین ضریب همبستگی (r= ۰/۹۹۵) میان رواناب با بارش‌ها و مقدار رواناب نشان می‌دهد. همچنین جدول تجزیه واریانس رگرسیون بین مقدار بارش و تیمارهای استحصال آب باران نشان می‌دهد که رابطه معنی‌دار (P<0.01) وجود دارد (جدول ۲). یعنی با افزایش مقدار بارش میزان استحصال آب در همه تیمارها افزایش دارد.

جدول (۱): متوسط ارتفاع و ضریب رواناب سه تکرار سطوح‌آبگیر باران در مخازن استحصال رواناب

متوسط ضریب رواناب سه تکرار ٪			متوسط ارتفاع رواناب سه تکرار (mm)			بارندگی(mm)
عایق پلاستیکی	خاک کوبیده	شاهد	عایق پلاستیکی	خاک کوبیده	شاهد	
۵۰	۰	۰	۰/۴	۰	۰	۰/۸
۴۳/۳۳	۱۵/۳۳	۰	۱/۲۵	۰/۲۳	۰	۱/۵
۵۵	۱۲/۵۰	۰	۱/۴۴	۰/۲۵	۰	۲
۷۴/۶۹	۱۲/۱۹	۰	۲/۳۹	۰/۳۹	۰	۳/۲
۷۳/۲۴	۱۶/۷۶	۳/۲۴	۲/۴۹	۰/۵۷	۰/۱۱	۳/۴
۸۳/۳۹	۲۷/۷۴	۹/۵۲	۵/۱۷	۱/۷۲	۰/۱۹	۶/۲
۸۱/۷۶	۲۸/۲۴	۱۴/۱۲	۵/۵۶	۱/۹۲	۰/۹۶	۶/۸
۸۹/۷۴	۳۵/۲۶	۱۳/۴۲	۶/۸۲	۲/۶۸	۱/۰۲	۷/۶
۹۲/۶۴	۴۳/۳۰	۱۱/۵۴	۸/۴۳	۳/۹۴	۱/۰۵	۹/۱
۹۱/۶۵	۴۹/۹۱	۱۱/۶۵	۱۰/۵۴	۵/۷۴	۱/۳۴	۱۱/۵
۸۴/۴۹	۴۵/۰۷	۱۲/۶۵	۱۱/۴۹	۶/۱۳	۱/۷۲	۱۳/۶
۹۳/۹۲	۴۱/۳۱	۱۳/۷۹	۱۴/۳۷	۶/۳۲	۲/۱۱	۱۵/۳
۹۳/۳۵	۴۹/۴۲	۱۵/۸۱	۱۴/۴۷	۷/۶۶	۲/۴۹	۱۵/۵
۹۲/۱۹	۵۱/۵۰	۱۵/۶۳	۱۴/۷۵	۸/۲۴	۲/۴۹	۱۶
۹۱/۶۰	۴۸/۴۵	۱۵/۴۰	۱۵/۹۴	۸/۴۳	۲/۶۸	۱۷/۴
۹۱/۵۶	۵۴/۲۸	۱۸/۹۴	۱۶/۴۸	۹/۷۷	۳/۴۱	۱۸
۷۴.۹۲	۵۷/۶۹	۲۳/۷۶	۱۷/۲۵	۱۰/۹	۴/۴۱	۱۸/۶
۹۱/۶۵	۵۰/۴۶	۲۳/۸۴	۱۹/۹۸	۱۲/۷۳	۴/۹۸	۲۱/۸
۹۱/۴۵	۶۲/۶۸	۲۷/۰۰	۲۰/۱۲	۱۳/۷۹	۵/۹۴	۲۲
۹۲/۸۶	۵۷/۰۲	۲۴/۸۵	۲۴/۳۳	۱۵/۱۳	۶/۵۱	۲۶/۲
۹۲/۲۰	۵۲/۱۷	۲۴/۴۵	۲۶/۲۴	۱۴/۹۴	۷/۰۹	۲۹
۹۰/۱۰	۶۰/۰۰	۲۶/۲۶	۲۶/۷۶	۱۷/۸۲	۷/۸۰	۲۹/۷
۹۲/۶۱	۷۵/۰۴	۳۳/۰۰	۳۵/۴۷	۲۸/۷۴	۱۲/۶۴	۳۸/۳
۹۲/۲۹	۷۴/۵۵	۳۶/۴۵	۳۵/۹۰	۲۹	۱۴/۱۸	۳۸/۹

جدول (۲): جدول تجزیه رگرسیون بین رواناب تولیدی تیمارهای مختلف استحصال آب باران با شدت‌های مختلف بارندگی

تیمار	مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P
عایق پلاستیک	رگرسیون	۱۲۸۷/۲۴	۱	۱۲۸۷/۲۴	۱۹۴۷/۴۴۳	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۱۲/۵۵	۲۱	۰/۶۶		
	جمع	۱۲۹۹/۸	۲۲			
خاک کوبیده	رگرسیون	۲۰۴۶/۲۹	۱	۲۰۴۶/۳۹	۱۸۸/۶۱۵	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۲۲۷/۸۳	۲۱	۱۰/۸۴		
	جمع	۲۲۷۴/۱۲	۲۲			
شاهد	رگرسیون	۲۰۴۶/۲۹	۱	۲۰۴۶/۳۹	۱۸۸/۶۱۵	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۲۲۷/۸۳	۲۱	۱۰/۸۴		
	جمع	۲۲۷۴/۱۲	۲۲			



شکل (۳): مقایسه ارتفاع بارش با ارتفاع رواناب تولید شده در تیمارهای مختلف

ضـرایب معادله رگرسـیون بین رواناب تولیدی تیمارهای مختلف با مقدار بارش برای هر تیمار محاسـبه گردید و بر مبنای ضرایب و معادله رگرسیونی به‌دست آمده، برای بارشهای مختلف در تیمارهای مختلف مقدار آب استحصال شده را محاسبه گردید. شکل (۳) رابطه خطی بین میزان بارندگی و ارتفاع رواناب

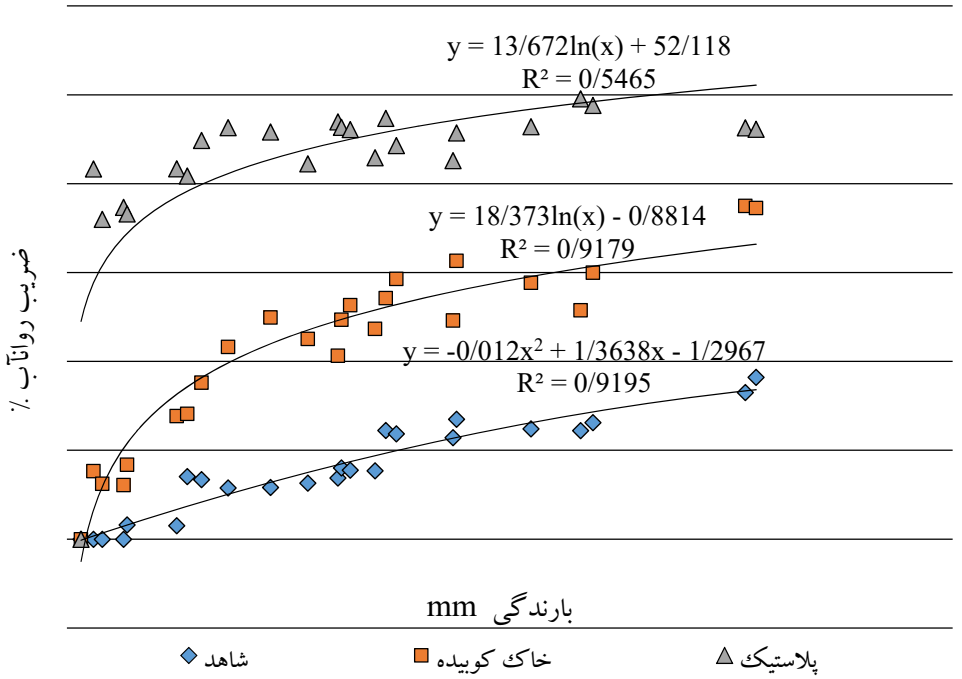
ایجاد شده در سه تیمار خاک کوبیده شده با کاه، پلا ستیک با پو شش سنگفرش و شاهد با یکدیگر مقایسه شده است.

رابطه بین بارندگی و ضریب رواناب در دو سامانه با پوشش خاک کوبیده و پلاستیک، لگاریتمی با نرخ افزایشی و ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۵۴ است. این رابطه، در سامانه شاهد به صورت تابع چند جمله‌ای درجه دو و ضریب تبیین ۰/۹۲ است. در مقادیر بارندگی تجمعی کمتر از یک میلیمتر، در کلیه سطوح آبگیر، حتی در سطوح سخت، رواناَبی تولید نشد. در سطوح شاهد آستانه رواناب حدود ۳/۵ میلی‌متر است. ضریب رواناب ۷۲ درصد برای سطح پلاستیک (در مقادیر کمتر بارندگی) نشان داد که در این مقادیر بارندگی حدود یک چهارم تا یک پنجم از رگبارش صرف تبخیر از سطح می‌شود. اما در مقادیر بالاتر باران این سهم از اتلاف رواناب ناچیزتر خواهد شد. تفاضل رواناب تولیدی بین تیمارها کاملا وابسته به‌مقدار رگبارش بود. به عنوان مثال شاخص نسبت رواناب تولیدی در سطوح نیمه سخت (خاک کوبیده) و سخت (پلاستیک) نسبت به شاهد وابسته به کمیت بارندگی بسیار متغیر است. عنوان مثال این نسبت در سطح سخت از حدود ۲۲ برابر شاهد در مقادیر کم بارندگی تا حدود ۲/۵ برابر در مقادیر بالای ارتفاع رگبارش متغیر بود. مقادیر این نسبت در سطح خاک کوبیده از حدود ۹ در مقادیر کم رگبارش تا ۲ در مقادیر حداکثری ارتفاع بارندگی متغیر بود. به عبارت دیگر، در مقادیر کم بارندگی این تفاوت بسیار بیشتر از وقایع بارندگی های بزرگتر است. مفهوم این تعابیر آن است که اهمیت سطوح جمع‌آوری آب باران در مناطق با بارندگی کمتر بسیار بیشتر از مناطق با رگبارشهای طولانی و پرحجم می‌تواند باشد. این نسبت بین دو سطح سخت و نیمه سخت نیز با شدت کمتری وجود دارد. نرخ افزایش ضریب رواناب برای تیمار پلاستیک بیشترین میزان و برابر ۱/۶۴ درصد به ازاء هر یک میلیمتر افزایش بارندگی است. در حالی که این نرخ برای پوشش خاک کوبیده و شاهد به ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۹۲ درصد به‌ازاء هر میلی‌متر افزایش بارندگی است. نکته جالب توجه دیگر آن است که هر چه سطح جمع‌آوری سخت‌تر می‌شود نرخ تغییرات ضریب رواناب با ارتفاع بارش فرم لگاریتمی به خود گرفته و نرخ افزایش با یک شیب تند آغاز و به یک مقدار حدی یا مرز مجانب می‌شد. به‌عبارت دیگر در مقادیر بالای بارندگی ضریب رواناب به کمیت‌های یاد شده تمایل یافته و در مقادیر بیشتر رگبارش هم در همین حد باقی می‌ماند. اگرچه یافتن این مرز بسیار وابسته به‌شدت بارندگی است. اما بر اساس داده‌های این طرح این مرز از نظر ریاضی، در سطوح سخت و نیمه‌سخت، به‌ترتیب ارقام حدود ۹۲ و ۷۵ درصد بود.

بحث و نتیجه گیری:

بیشترین رواناب ایجاد شده به‌ترتیب مربوط به سامانه پلاستیک با سنگفرش، خاک کوبیده شده با کاه و تیمار شاهد است. همچنین بالاترین ضریب رواناب ایجاد شده تیمار پلاستیک است و بیشینه طول عمر مفید تیمارها مربوط به پلاستیک با سنگفرش است. تحقیقات نیک‌نژاد و همکاران، (۱۳۹۴) تحت عنوان

بررسی عملکرد سامانه‌های مختلف سطوح آبگیر باران در تولید رواناب در منطقه نیمه خشک عون ابن علی(آذربایجان شرقی) نشان می‌دهد که بیشترین تولید رواناب مربوط به تیمار پوشش نایلون با رویه لاشه‌چین است و این روش را به‌عنوان گزینه مناسب برای استحصال آب معرفی می‌کند. همچنین از تحقیقات مهدی‌زاده یوشانلوئی و روغنی (۱۳۹۴) و شاهینی (۱۳۸۲)، نتایج مشابه این پژوهش به‌دست آمد . کمترین فرسایش خاک در تیمارها، مختص پلاستیک با سنگفرش بود و بیشترین فرسایش مربوط به سامانه‌های خاک کوبیده شده با کاه است. به‌طوری که آب خارج شده از تیمار پلاستیک کاملا شفاف و زلال است ولی در تیمار خاک کوبیده شده آب خروجی کاملا گل آلود بود.



شکل (۴): مقایسه مقدار بارش با ضریب رواناب سطوح مختلف جمع‌آوری آب باران

نتایج اصلی حاصل از این پژوهش، با دو نمونه از پژوهش های مشابه که در استان های زنجان (رضایی، ۱۳۹۱) و ارومیه (مهدی زاده و نمکی، ۱۳۹۳) صورت گرفته است، مورد مقایسه قرار می گیرد نتایج حاصل از این پژوهش ها نشان داد، در پژوهش حاضر، به‌جای سنگریزه از لاشه سنگ استفاده شده است که دلیل استفاده، وجود آن در محل اجرای طرح بود آستانه بارندگی برای شروع رواناب ۲/۶ میلی‌متر و درصد ضریب رواناب 57 است. که نتایج آن به نتایج پژوهش صورت گرفته در ارومیه برای تیمار پوشش نایلون با سنگریزه نزدیک تر است در پژوهش های انجام یافته در زنجان و ارومیه، رواناب

تولید شده از پوشش سنگریزه نسبت به سطح طبیعی دست نخورده بیشتر است در حالی که در این پژوهش، نتیجه برعکس می باشد و برای بارندگی آستانه شروع رواناب نیز نتایج حاصل برعکس است. مهمترین ویژگی سطوح عایق استفاده از بارش‌های کمینه در فصل خشک است که رواناب آن می‌تواند تنش خشکی در کشت های مختلف را کاهش دهد به طوری که نتایج تحقیق شاهینی (۲۰۰۳) در مقایسه تاثیر پوشش سطحی بستر طبیعی زمین و پوشش‌های عایق (پلاستیک)، بیانگر تاثیر به کارگیری سطح عایق خصوصا در بارش‌های اندک است و این موضوع در بهره برداری بهینه از نزولات اندک در فصل خشک وتنش آبی بسیار حائز اهمیت است. همچنین به لحاظ اقتصادی کمترین هزینه مربوط به تیمار شاهد و بیشترین هزینه مربوط به سامانه پلاستیک است که این هزینه در مقایسه با ارزش افزایش بهره‌وری آب بسیار ناچیز است. به لحاظ اقتصادی نیز کمترین هزینه مربوط به تیمار شاهد و بیشترین هزینه مربوط به سامانه پلاستیک است. نتیجه این پژوهش ما را به این نکته می رساند که بهره مندی از سیستم های استحصال آب باران شیوه مناسب و کاربردی برای مقابله با شرایط خشک است. همچنین با توجه به اهمیت روز افزون جمع‌آوری آب باران، به‌ویژه در مناطق خشک کشور، به‌منظور ایجاد زمینه و فرصت‌های شغلی جدید در مناطق عشایری و روستایی، گزینه سامانه مالچ پلاستیک با سنگفرش به‌منظور استفاده در اراضی تخریب شده و دیم‌زارهای کم بازده و رها شده برای کشت باغ دیم با گونه‌هایی مانند بادام، مو دیم و انجیر پیشنهاد می‌شود.

پیشنهادها

پیشنهاد می گردد که با توجه به اهمیت روز افزون جمع‌آوری آب باران،بویژه در مناطق خشک کشور، به‌منظور ایجاد زمینه و فرصت‌های شغلی جدید در مناطق عشایری و روستایی، گزینه سامانه مالچ پلاستیک با سنگفرش جهت ارائه در دامنه‌های شیب دار به منظور کشت باغ دیم در دیمزار های رها شده و کم‌بازده توصیه می‌گردد. همچنین به منظور اقتصادی بودن اجرای طرح از گونه هایی با نیاز آبی کم و مقاوم به خشکی مانند مانند بادام تلخ و مو دیم و انجیر استفاده شود

منابع:

- بی‌نام، شهریور ۱۳۶۶، سیمای کشاورزی استان کرمانشاه، سازمان کشاورزی کرمانشاه.
- دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، جمع‌آوری آب باران بمنظور درختکاری، مرداد ۱۳۶۱،نشریه فنی شماره ۳ .
- سازمان تحقیقات و آموزش وزارت جهاد کشاورزی،گزارش نهائی طرح‌های تحقیقاتی،۱۳۸۰ چکیده ۱۲۰۰ طرح تحقیقاتی خاتمه یافته وزارت جهاد سازندگی، جلد۴: آبخیزداری- اقتصادی اجتماعی- مهندسی- اطلاع‌رسانی(نشریه شماره ۸۰/۲۴۱)، ناشر سازمان تحقیقات و آموزش وزارت جهاد کشاورزی، ۳۴۹ صفحه.

- سپاسخواه، علیرضا – علی اکبر کامکار حقیقی و سید علی اکبر موسوی،۱۳۶۷، مطالعه سیستم جمع‌آوری هرز آب برای دیمکاری انگور، بخش آبیاری دانشکده کشاورزی شیراز.
- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، ۱۳۵۲، سازمان نقشه‌برداری ارتش جمهوری اسلامی ایران.
- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، ۱۳۷۰ سازمان نقشه‌برداری ارتش جمهوری اسلامی ایران.
- نقشه قابلیت اراضی استان کرمانشاه، ۱۳۶۶، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
- مصطفی زاده، ب، ف. موسوی، و م. ح، شریف. ۱۳۷۷. پیشروی جبهه های رطوبتی از منبع نقطه ای در سطوح شیبدار، مجله علوم کشاورزی منابع طبیعی.
- مهدی زاده یوشانلویی، م و روغنی م، ۱۳۹۴. بررسی عملکرد سطوح عایق، نیمه عایق و طبیعی در فرایند بارش-رواناب
- سامانه های سطوح آبگیر، مطالعه موردی: ایستگاه پژوهشی خرم آباد ارومیه، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز.
- Cartaud , Touze-Foltz N and Duval Y, 2005. Experimental investigation of the influence of a geotextile beneath the geomembrane in a composite liner on leakage through a hole in the geomembraneGeotext. Geomembr 23(2): 117– 143.
- Critchley,W. 1987.Water Harvesting.FAO.
- Evenari M. 1975. Fields and pastures in deserts, edited by the management of the experimental FARM Wadi Mashash' (M. Evenari, U. Nessler, A. Rogel, and O. Schenk). Darmstandt: Eduard Roether.
- Ghaderi, N. 2003. Rainwater harvesting system optimization based on durability increased moisture in the soil profile in Kurdistan, Final report of a research project, Natural Resource and animal Affairs Research center of Kurdistan, Kurdistan, Iran (In Persian).
- Niknezhad D., Roghani M., Nasseri A., Yarahmadi J., Mehrvarz5and K. and Sadegzadeh M. 2015. Study of operation of different rainwater catchments systems in runoff production in semi-arid area of Ovn Ebn Ali)East Azerbaijan). Journal of Watershed Engineering and Management, 7(2), 223-228.
- Oweis T, D.Prinz, A.Hachum.2001.Water Harvesting International Center for Agricultural Research in the Areas (ICARDA).
- Rezaei, A. 2012. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces in rainfall l-15
- runoff process of water harvesting system. Final research report, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan, 123 pages (in Persian).
- Shahini, Gh. 2003. Basin-level optimization systems by increasing moisture retention in soil profiles.
- in the Golestan provice. Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 68 pages (in Persian).
- Stroosnijder; L, and Hoogmoes, W.B. 1984. Crust formation on standy soils in the Sahel: II. Tillage and its effect on the water balance. In: Soil & Tillage research, 4: 321-337.

❖ پخش سیلاب و آبخواندار‌ی

ساماندهی خشکه‌رود رهیافتی نوین از روش‌های آبخیزداری

محمدرضا غریب‌رضا*[۱]، سیداحمد حسینی[۲]، علی اکبر داودی راد [۳]، روح انگیز اختری [۴]

۱*-دانشیار و رئیس گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
(*gharibreza4@yahoo.com*)

۲- استادیار و معاون گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
(*sahosseini@yahoo.com*)

۳- استادیار و معاون پژوهشی مرکزتحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی
(*davudi_rad@yahoo.com*)

۴- استادیار گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
(*r.akhtari@googlemail.com*)

چکیده

هم اکنون ساماندهی خ شکه‌رودها به عنوان رهیافتی کارآمد و سازگار با محیط زی ست و بهره برداران برای فائق آمدن بر مخاطرات محیطی و حل مسائل بخش کشاورزی مورد توجه محققین و سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری ک شور قرار گرفته ا ست. این مقاله حا صل یک پژوهش سفار شی برای اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی با هدف دستیابی به الگوی ساماندهی خشکه‌رودهای حوزه آبخیز جلایر شهرستان تفرش انجام شده است. خشکه‌رود آلا به‌عنوان خشکه‌رود منتخب به‌طول ۵۳۸۰ متر از محل اتصال به خشکه به آبراهه اصلی تا بند خاکی بالادست روستای آلا مطالعه شد. این خشکه‌رود با شیب متو سط ۸/۷ در صد در حو ضه‌ای کوهستانی متشکل از واحدهای سنگی ولکانیکی محصور شده است. خشکه‌رود آلا دارای رژیم سیلابی است و از مسائل و مشکلاتی چون فرسایش شدید کرانه‌ای، جریان خرده سنگی، زمین لغزش و سنگ لغزه، تخریب ابنیه و اراضی کشاورزی-باغی و سکونتگاهی روستائی رنج می‌برد. طرح الگویی ساماندهی خشکه رود آلا حاصل عملیات میدانی و اکتشافی (ژئوالکتریک و ژئوتکنیک) و به کارگیری معیارهای زمین شناسی، خاکشناسی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و رژیم سیلاب حاکم بر منطقه، شامل مکانیابی دو محل برای عملیات مکانیکی، شناسایی عمق آبرفت، جریان زیرقشری موجود، عمق سازند بستر، مکانیابی و ارائه راه حل برای کنترل فرسایش کرانه‌ای در چهار بازه مشخص و عملیات بیولوژیکی مثمر برای اجرا در ۱۸ هکتار از اراضی قابل توسعه و یک برنامه کسب و کار از طریق راه اندازی تعاونی روستایی است.

واژه‌های کلیدی:

ساماندهی خشکه‌رود، روش‌های آبخیزداری، کنترل سیل، تثبیت کرانه‌ها، درختان مثمر، روستای آلا.

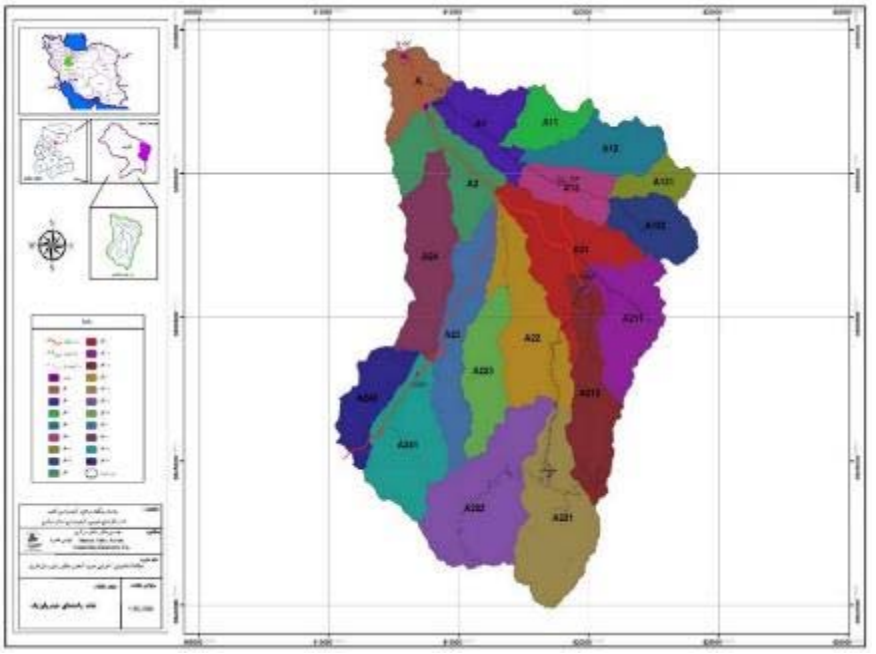
مقدمه

ساماندهی خشکه‌رودهای مناطق بالادست و میانه حوزه آبخیز در مناطق خشک و بهره‌گیری از بستر رودخانه‌های فصلی، سطوح مناسبی برای درخت‌کاری و ایجاد فضای سبز در اراضی شیب‌دار، ایجاد آبخوان‌های کوچک، مهار فرسایش و رسوب فراهم می شود. بدین ترتیب از یک سو حفاظت منابع آب و خاک را در پی داشته که علاوه بر اثرات اقتصادی و اجتماعی، اثرات اکولوژیک آن قابل توجه بوده و از سوی دیگر زمینه‌ها و سطوح مناسبی برای درختکاری ایجاد نموده که افزایش اشتغال در مناطق روستایی و بهبود فضای سبز و توسعه گردشگری و بوم‌گردی را به‌دنبال دارد. دراین رابطه بهره‌گیری از روش‌ها و فناوریهای بیومهندسی که مبتنی بر استقرار سازگارترین اقدامات مهندسی با شرایط طبیعی حائز اهمیت است. کاهش هزینه اجرایی، موثر بودن، سازگاری با طبیعت و داشتن اقبال مردمی از مهم‌ترین مزیت‌های روش‌های بیومهندسی می‌باشد و در مقایسه با روش‌های مکانیکی صرف ضمن سازگاری با طبیعت، منافع بیش‌تری دارد. در این پژوهش پس از مشخص شدن اهداف اصلی ساماندهی مسیل در هریک از مناطق منتخب در چارچوب مدیریت سازگار، با برگزاری جلسات و همفکری بهره‌برداران محلی، نهاد های دولتی و غیر دولتی مرتبط و محققین برنامه کاری منطقه با توجه به محدودیت‌ها و دورنمای آینده منطقه مشخص خواهد شد و خشکه‌رود به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی لحاظ می‌شود.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز A22

این حوضه در استان مرکزی و بین شهرستانهای ساوه و تفرش واقع شده و بخشی از حوزه آبخیز جلایر محسوب می‌شود. با توجه به وضعیت توپوگرافی و شبکه آبراهه‌های موجود در منطقه و نیز تأمین اهداف ساماندهی خشکه‌رودها، زیر حوضه آبخیز A22 که در آن خشکه‌رود آلا واقع شده است، معرفی می‌شود. زیر حوضه A22 به مساحت ۵۰۰۶ هکتار، از سه زیر حوضه A2211, A222, A223 تشکیل شده است که نظر هیدرولوژیکی غیر مستقل به‌شمار می‌روند. خشکه‌رود آلا به سمت شمال زهکش می شود و شیب متوسط آن ۸/۷ درصد و دامنه‌های پیرامون آن تا ۶۰ درصد شیب که ضریب رواناب آنها بین ۶۰ تا ۹۰ درصد است. طول این خشکه‌رود ۵۳۸۰ متر و اختلاف محل پیشنهادی بند اصلاحی بالادست روستا تا خروجی خشکه‌رود مورد بررسی ۱۶۰ متر است. روستای یا قلعه آلا با ۱۵/۷۴ هکتار اراضی کشاورزی از مهمترین بهره برداران و مطالبه‌گران ساماندهی خشکه‌رود هستند. زمان تمرکز جریان ۱/۴۵ ساعت و سرعت آن تا ۳/۲۵ متر برثانیه تخمین زده شده است (مهندسین مشاور آرین، ۱۳۹۹). میانگین بارش در این حوضه ۳۳۴ میلیمتر، میانگین دمای سالانه ۹/۸۳ سلسیوس است.



شکل ۱- واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز جلایر، حوضه A22، خشکه رود آلا

شکل۲-موقعیت جغرافیایی خشکه‌رود آلا به عنوان خشکه‌رود منتخب حوضه جلایر شهرستان تفرش

روش پژوهش

الگوی ساماندهی خشکه‌رودها، رویکردی نوین در کنترل و کاهش مخاطرات محیطی و بهره برداری بهینه از طرفیتها و رویدادهای محیطی همچون سیل در راستای ارتقاء زیست بوم، رونق کسب و کار و اشتغال پایدار در مناطق روستایی به‌شمار می‌رود. پر واضح است، این طرح الگویی در مناطق مختلف و متناسب با توان اکولوژیک دارای ابعاد و کارکردهای متفاوتی خواهد بود. برای تدقیق ویژگی‌های کلی خشکه‌رودهای یک حوزه آبخیز، ضروری است مراحلی چون شناخت مخاطرات به ویژه سیل، پهنه‌بندی عرصه ساماندهی، ارزیابی ضخامت آبرفت از طریق عملیات ژئوالکتریک، عملیات سازه‌ای، عملیات بیولوژیک و برنامه کسب و کار طی شود.

در این پژوهش گزار شهای فیزیوگرافی، زمین شنا سی، هیدرولوژی، اقلیم و خاک شنا سی (مهند سین مشاور آرین، ۱۳۹۹) گردآوری و استفاده شده است. در مشاهدات میدانی، کلیه اطلاعات گردآوری تدقیق و مستندات برای تبیین مسئله و مسائل و مشکلات محیطی و بهره برداران گردآوری شد. همچنین، مکانیابی عملیات آبخیزداری در بازه و خشکه رود مورد نظر انجام شد. در این خصوص، محل عملیات مکانیکی کنترل سیل برای عملیات ژئوالکتریک و ژئوتکنیک مشخص شد. پس از اجرای عملیات اکتشاف جریان زیرقشری و ابعاد آبرفت و ارتباط آنها با سازندهای پیرامون، سازه مکانیکی کنترل سیل و رسوب در بالادست روستای آلا طراحی شد.

مکانیابی بازه ساماندهی خشکه رود مورد مطالعه بر اساس معیارها و اجزاء زیر انجام شده است:

- مسیل‌هایی با جریان فصلی و با حداقل عرض ۱۰ متر، ضخامت ۳ متر آبرفت، بیش از ۵۰ سانتیمتر ضخامت خاک پادگانه رودخانه و شیب آبراهه کمتر از ۱۰ درصد.
- مسیل‌هایی فاقد هرگونه معارض حق آب‌های در پائین دست
- مسیل‌هایی فاقد هرگونه معارض ملکی
- مسیل‌هایی که با مشکلات سیل، رسوب‌زایی و یا ساکنین آن با مشکلات عدم وجود زمین مناسب کشاورزی و بیکاری رو در رو هستند
- وجود مطالعات پایه با تاکید بر مسائل اجتماعی و اقتصادی
- وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و ادوات اندازه‌گیری نیز در انتخاب مسیل‌ها موثر است.
- مناطق با اجرای سازه‌های آبخیزداری و مهندسی رودخانه و عرض مبتنی بر مطالعات انجام شده در اولویت هستند.
- وجود متقاضی انجام طرح

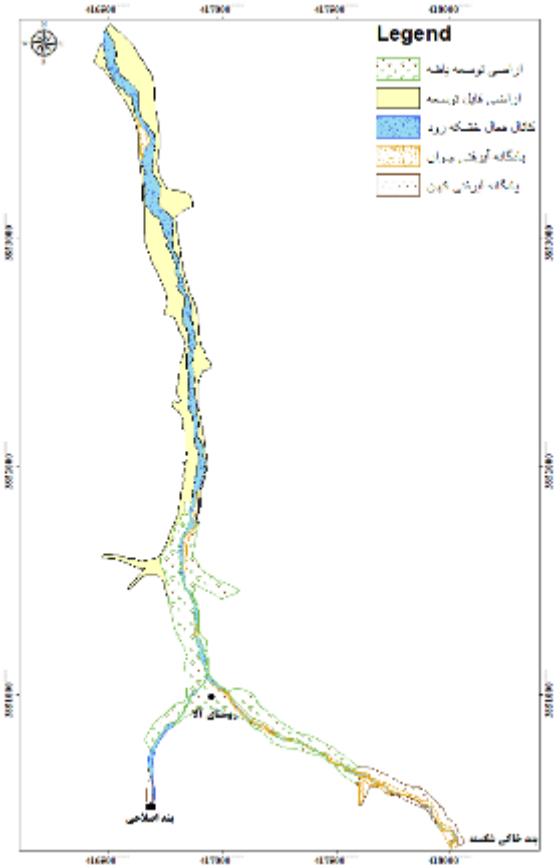
نتایج

حوزه آبخیز مورد بررسی علاوه بر روانابی خود، حجم قابل ملاحظه‌ای از روانآب حوزه های آبخیز بالادست را به سمت پائین دست هدایت می‌کند. بازدیدهای میدانی و نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان از ضریب بالای رواناب داشته و به دلیل برونزدهای سنگی سخت و وجود واریزه‌های خرده سنگی و طبقات پرشیب دامنه‌ها، سالانه سیلاب‌های مخربی رخ داده و خواهد داد. در بازدیدهای میدانی که پس از سیلاب‌های بهار سال ۱۳۹۸ انجام شد، ابعاد سیل رویداده در این حوضه مورد بررسی و تدقیق قرار گرفت. از طرفی بیشینه قطر قطعات سنگی حمل شده طی سیلاب مذکور، ۸۰ سانتیمتر برآورد شد. بر اساس نمودار هیلستروم (۱۹۳۵)، این قطعات سنگی با سرعت جریان ۳ متر بر ثانیه در طی دبی اوج سیلاب در مسیل جلایر حمل شده‌اند. بر این اساس، دبی اوج سیلاب سال ۱۳۹۸ در حوزه آبخیز A22 حدود ۱۹۸ مترمکعب بر ثانیه بوده که کمی بیش از دبی برآورد شده با دوره بازگشت ۱۰ ساله در مطالعات هیدرولوژی حوضه می‌باشد. در منطقه مورد بررسی، حدود ۱۶ هکتار اراضی توسعه یافته (شکل ۳) شامل کاربری‌های باغ، کشاورزی دیم و مسکونی وجود دارد که هم اکنون توسط اهالی روستا مورد بهره برداری قرار داشته و یا زیرساخت‌های بهره‌برداری در آنها احداث شده است. اگرچه، قسمت‌های زیادی از زیرساخت‌های مهم به ویژه شق‌نهرها تخریب شده و نیاز به بازسازی دارند.

جدول ۱ - نوع و مساحت واحدهای رسوبی عرصه ساماندهی

ردیف	واحدهای سنگی/رسوبی	مساحت (هکتار)
۱	کانال فعال رودخانه	۹/۹۵
۲	پادگانه آبرفتی جوان	۲/۸۴
۳	پادگانه آبرفتی کهن	۲/۵۶
۴	عرصه‌های توسعه یافته	۱۵/۷۴
۵	عرصه‌های قابل توسعه	۱۸/۰۳

در منطقه مورد بررسی، مساحتی بالغ بر ۱۸ هکتار اراضی قابل توسعه شامل پادگانه‌های آبرفتی درشت دانه در کرانه‌های چپ و راست خشکه‌رود وجود دارند. که هم اکنون قابلیت کشت دیم داشته و پس از استحصال آب که هدف این پروژه است، قابل کشت آبی در انواع درختان مثمر را دارند. پادگانه‌های آبرفتی جوان و کهن دارای بافت کاملاً مشابه با عرصه‌های قابل توسعه‌ای هستند که در پائین دست روستای آله پهنه‌بندی شده‌اند و هم اکنون در آنها پوشش گیاهی متراکم‌تری نیز استقرار دارد (شکل ۳).



شکل۳- عرصه پهنه‌بندی شده برای اجرای الگوی ساماندهی

مکانیابی عملیات مکانیکی

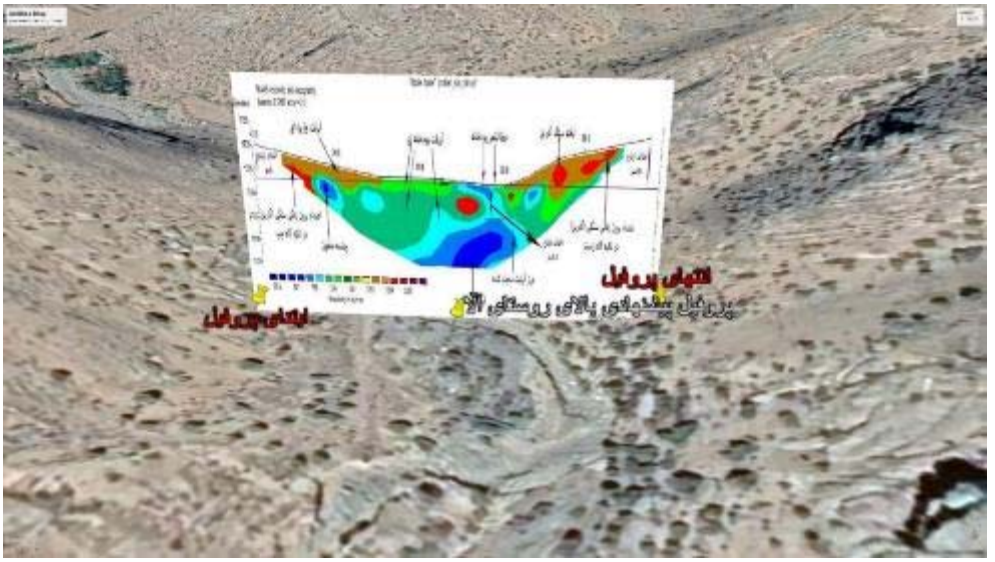
تحلیل و ضعیت زمین شنا سی شامل موقعیت برونزدهای سنگی و ساختار درزه و شکاف و و ضعیت سیل‌خیزی حوزه آبخیز A22 منجر به مکانیابی اولیه عملیات مکانیکی در طرح ساماندهی گردید. موقعیت مقاطع پیشنهادی در بالادست و پائین دست روستای آلا به ترتیب به مختصات ۳۴" ۴۷' ۳۴° شمالی و۱۳" ۶' ۵۰° شرقی و ۲۷" ۴۸' ۳۴° شمالی و ۲۸" ۵' ۵۰° شرقی قرار دارند (شکل ۴). در هر دو موقعیت پیشنهادی، معیارهایی همچون قابلیت احداث بند اصلاحی به منظور کنترل سیل و رسوب، ا شراف ارتفاعی بر عر صه‌های تو سعه یافته و قابل تو سعه، تنگ شدگی دره، ضخامت منا سب آبرفت، سلامت و برونزد مناسب واحدهای سنگی و عدم آسیب به زیرساخت‌های موجود از جمله قنات و ا ستخرها و باغات مد نظر بوده ا ست. موقعیت سازه مکانیکی بالاد ست رو ستا به‌منظور کنترل مخاطره

سیل و از لحاظ ارتفاعی مشرف بر قنات موجود و شق نهر قدیمی می‌باشد. موقعیت سازه پائین دست، به‌منظور کاهش مخاطره سیل، ایجاد مخزن آب برای ۱۸ هکتار توسعه اراضی پیشنهاد شده است.

شکل۴- موقعیت مقاطع پیشنهادی برای عملیات مکانیکی آبخیزداری نسبت به روستای آلا برای اجرای الگوی ساماندهی

عملیات ژئوالکتریک در مکان پیشنهادی بند اصلاحی بالا دست روستا آلا (با گام برداشت ۵ متر و عمق اکتشاف ۲۰ متر)، نشان از وجود یک لایه آبرفتی کواترنر سخت شده دارد که سنگ بستر قنات احداث شده در منطقه می‌باشد. این لایه عملاً یک آبخوان محصوری زیر آن شکل داده است. این لایه در عمق ۸ متری زیر آبرفت شناسایی شد. همانگونه که در شکل ۵ مشهود است، این عملیات موفق شد جریان زیر قشری و به تعبیری پتانسیل جریان زیر قشری را آشکار کند. حاصل این عملیات، عمق

سنگ تکیه‌گاه‌های طرفین موقعیت پیشنهادی برای انواع سازه های مکانیکی است. از طرفی، این عملیات به‌خوبی ضخامت قابل ملاحظه آبرفت (<۲۰متر) را برای اتخاذ شیوه ساماندهی آشکار ساخته است.



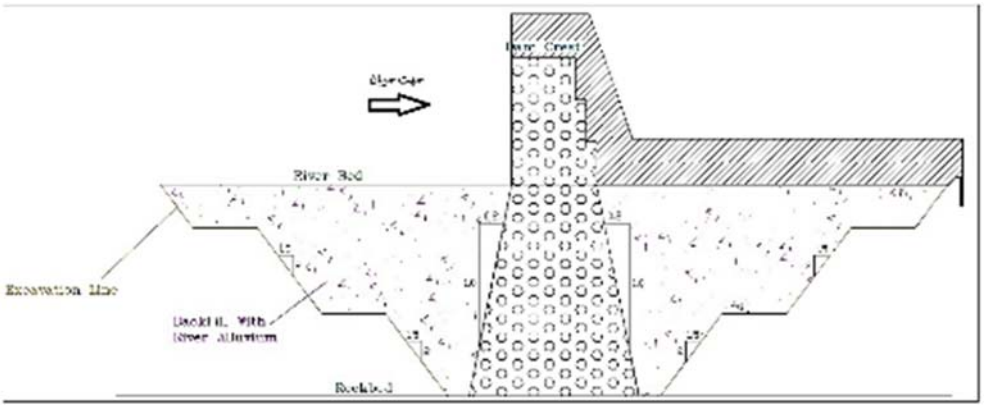
شکل۵- وضعیت پروفیل اکتشافی محل احداث سازه های کنترل سیل و رسوب و تأمین آب روستای آلا

تعیین گزینه های برتر تأمین آب

از بین گزینه‌های مناسب منابع آب سطحی ذخیره آب در محل آبراهه‌ها، احداث بندهای کوچک مناسب تشخیص داده شد. علاوه بر منابع آب سطحی منابع آب زیرزمینی و پتانسیل‌های ذخیره آب در زیر زمین (احداث بندهای زیرزمینی)، نیز در روشهای تامین آب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی جریان‌های زیر قشری منطقه، به‌کارگیری دو سازه سطحی و زیر سطحی به صورت یکپارچه مدنظر قرار گرفت. با توجه به روابط فوق، نتایج طراحی هیدرولیکی بند اصلاحی خشکه‌رود حوزه آبخیز A22 و رقوم سطح آب در پروفیل طولی آن با افزایش مقدارX به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات فوق و توجه به رقوم ارتفاعی بستر رودخانه در پائین‌دست بند، مشخص شد که عمق سطح آب در این محل که معادل با عمق قبل از پرش است، در فاصله‌ای معادل با ۵/۵۱ متر از محل محور تاج بند ایجاد خواهد شد. بر این اساس عمق اولیه پرش برابر ۰/۱۴ متر به‌دست‌آمده است.

طراحی حوضچه آرامش بند اصلاحی پیشنهاد شده بر اساس دستورالعمل USBR (Peterka, 1984) انجام شد. در گزینه بند اصلاحی خشکه‌رود آلا، چون مشکل رسوب نیز وجود دارد، حوضچه

آرامش تیپ I انتخاب گردید. با درنظرگرفتن ۰/۵ متر به‌عنوان Freeboard، به ارتفاع ســـطح آب در حوضچه، ارتفاع دیواره‌های حوضچه آرامش، تعیین گردید، و در ترسیم نقشه‌های اجرایی اعمال شد.
ضمناً لازم ا ست در پایین‌د ست حو ضچه آرامش، معادل با ن صف طول حو ضچه آرامش، از ریپ ریپ استفاده شود. بنا به توصیه‌های دستورالعمل USBR، ارتفاع یا دیوار سپری[8]در حوضچه آرامش، معادل نصف عمق پایاب در نظر گرفته شد.



شکل۶- پروفیل طولی بند و حوضچه آرامش بند اصلاحی بالادست روستای آلا

پایداری کرانه‌های خشکه‌رود

عملیات مکانیکی طرح الگویی ساماندهی خ شکه‌رود آله حوزه A22 شامل حفاظت از کرانه آبراهه هم می‌با شد. بازه‌هایی فر سایش کرانه‌ای ضمن تولید ر سوب باعث ناپایداری سیستم آبراهه و تخریب جاده د سترسی شده ا ست. سه بازه فر سایش شنا سایی در طول پروژه پیشنهادی شنا سایی شد. فر سایش کرانه‌ای عمدتاً متوجه کرانه غربی ا ست و جاده د سترسی را تهدید می‌کند. در بخشی از بازه فرسایشی، هردو سوی آبراهه به دلیل تغییر مکرر ب ستر فعال دچار تخریب شده و جاده د ستر سی کرانه شرقی تهدید می‌شود. بالاخره در بخش از بازه فرسایشی، هردو سوی بستر فعال دچار فرسایش شدید و ریزش پادگانه آبرفتی جوان و کهن شده است.

8 Cut-off wall

شکل۶- فرسایش پادگانه آبرفتی کهن در کرانه شرقی، بازه فرسایشی پائین دست خشکه‌رود آله

شکل۷- فرسایش پادگانه آبرفتی جوان در بازه فرسایشی بالادست خشکه‌رود آله

حفاظت از کرانه‌های خشکه‌رود آلا

بررسی‌های میدانی و وضعیت رژیم آبگذری و سیلاب در خشکه‌رودآلا زیر حوضه A22 از یک سو و وفور مصالح قلوه سنگی در بستر این آبراهه نشان داد که بهترین روش حفاظت از کرانه‌ها افزایش زبری جریان در پای دیواره‌ها و یا ایجاد دیوار توری سنگی و به تعبیری گابیونی همراه با پوشش گیاهی درختان مثمر خواهد بود.

عملیات بیولوژیک

وجود اقلیم های متعدد در کشور امکان تولید تنوعی بالایی از محصولات مختلف باغبانی را فراهم نموده است. به دلیل ارزش افزوده بالایی که تولید محصولات باغبانی در بخش کشاورزی دارند، امکان توسعه باغداری در اراضی خرد با افزایش بهره وری مصرف آب و تغییر الگوی کشت در مقایسه با محصولات زراعی وجود دارد. خاک منطقه دارای بافتی شنی و سبک است. این بافت از قدرت نگه داری رطوبت کمی برخودار است. از طرفی عمق خاک در اغلب نواحی کوهستانی کم و در حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر است. درختان عمق خاک بالای ۲ متر رشد و نمو خوبی دارند. بنابراین حفر کانال ها و شکست سخت لایه ها جهت نفوذ ریشه درختان قابل کشت در انجا بسیار ضروری است.

خاک‌های منطقه در حدود کمتر از ۰/۵درصد مواد آلی دارند، این در حالی است که مواد آلی مناسب برای احداث باغ در خاک بهتر است ۲ در صد باشد، که باید قبل از کشت در صد مواد آلی خاک را با کاربرد کود های حیوانی و بقایای گیاهی افزایش داد. محدودیت عمق خاک، بافت شنی خاک و مواد آلی بسیار کم خاک سبب می شود که رشد و نمو درخت در اینگونه مناطق بسیار با اثرات تنش خشکی در فصل گرم تابستان دچار گردد، لذا وقتی به اقلیم منطقه نگاه می شود غالبا پوشش گیاهی از گیاهان با فصل رشد کوتاه پوشیده شده است. البته این محدودیت ها با عملیات زراعی و باغی مثل حفر کانال، افزایش مواد آلی خاک و کاربرد تمهیداتی که سبب افزایش ذخیره آب در خاک شود، اثر تنش متعادل می گردد. باید درختانی که دارای ریشه عمق هستند و از فصل رشد کوتاهی نیز برخودار باشد در منطقه کشت نمود. از گون های قابل کشت می توان به بادام با پایه بذری و سپس پیوند ارقام تجاری روی آنها، کشت انواع ارقام انگور، زردآلو، زرشک، عناب، گل محمدی و برخی از گونه های گیاهان دارویی اشاره نمود.

یکی از مراحل مهم اجرای طرح ساماندهی خشکه‌رود، برآورد هزینه به فایده پروژه می‌باشد. بر اساس برآوردهای انجام شده در بهار سال ۱۴۰۱، هزینه کل احداث، کاشت، داشت و برداشت یک هکتار بادام آبی برابر ۱۸۵ میلیون تومان و آورده سالانه آن ۲۵۰ میلیون تومان با احتساب حداقل قیمت موجود بازار می‌باشد. با احتساب آورده برخی ارقام مرغوب بادام، آورده سالانه تا چند برابر خواهد رسید.

مشارکت مردمی

مشارکت مردمی از جمله اهداف پروژه ساماندهی خشکه‌رود به‌شمار می‌رود که برای آن دو کارکرد متصور می‌باشد. همکاری در اجرای پروژه و بهره‌برداری بلند مدت و ترویج پروژه به سایر بخش‌های حوزه آبخیز جلایر کارکردهای مشارکت مردمی هستند. پروژه ساماندهی خشکه‌رود جلایر علاوه بر اجرای وظائف حاکمیتی آبخیزداری، دارای منافع اقتصادی خواهد بود که ناظر بر فضای کالبدی تعریف شده در پروژه می‌با شد. عموماً بدون توجه به شرایط و تعارض منافع ایجاد شده پس از محقق شدن منافع اقت صادی، کارکرد بلندمدت پروژه دچار م شکل شده و محلی برای اختلافات محلی پیش خواهد آمد. لذا، مهمترین مرحله اجرایی پروژه پس از تصویب اعتبارات اجرایی، راه اندازی تعاونی روستایی و تعریف سطح مشارکت مردمی در قالب پروژه مذکور می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پروژه ساماندهی خشکه‌رودها به عنوان فصلی نوین در عملیات آبخیزداری در پی کنترل و کاهش مخاطرات محیطی به ویژه سیل و خسارات آن به بخش کشاورزی و سایر کاربری‌ها به ویژه سکونتگاه‌های روستایی و نیز بهره‌برداری بهینه از اراضی کشاورزی موجود و برنامه توسعه و کسب و کار آتی می‌باشد. بدین ترتیب، الگوی ساماندهی در خشکه‌رودهای مختلف کشور به دلیل مسائل و مشکلات، فرصتها و تهدیدها و شرایط محیطی متنوع، متفاوت خواهند بود. تفاوت اساسی این پروژه با برنامه اقدام ناشی از تلفیق مطالعات رایج آبخیزداری، بهره‌برداری از ظرفیت ایجاد شده در بالادست و پائین د ست سازه‌های مکانیکی و بیومکانیکی احداث شده در آبراهه‌ها و کرانه آنها و نیز هدایت برنامه ساخت و ساز سازه‌های مکانیکی مصوب سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری به سوی بهره‌برداری چندمنظوره در راستای تأمین آب روستاهای هدف و امنیت غذایی و اشتغال‌زایی است.

پروژه ساماندهی خ شکه‌رود زیر حوزه A22، با رویکرد حفاظتی، تو سعه‌ای و م شارکت مردمی با هدف کنترل خسارات سیل به روستای آلا، کنترل فرسایش کرانه‌ای، آبیاری سیلابی اراضی کشاورزی موجود و قابل توسعه و ایجاد پایگاه تحقیقاتی-ترویجی انجام شده است. این پروژه مانند سایر طرح‌های الگویی، حاوی مراحل شناخت، طراحی، اجرا و بهره‌برداری می‌باشد.

گزارش حاضر ارائه دهنده بخش‌های شناخت و طراحی پروژه ساماندهی خشکه‌رود زیر حوزه A22 بوده و در آن برآورد اولیه‌ای از هزینه‌ها و آورده اقتصادی ارائه شده است. پرواضح است که سرمایه‌گذار بخش حاکمیتی عملیات آبخیزداری کنترل سیل و رسوب و زیرساخت اصلی تأمین آب اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی خواهد بود. با این وجود، جزئیات اجرایی طرح مذکور می تواند دارای پیوستهای اقتصادی-اجتماعی خاص این منطقه باشد تا از مشارکت اهالی منطقه در اجرای پروژه و منافع آن بهره برد.

این پروژه دربردارنده دو عملیات مکانیکی به ترتیب در بالادست روستای آلا برای کنترل سیل و رسوب و تأمین آب ارا ضی ک شاورزی بالاد ست رو ستا و پائین د ست آن برای بهره‌برداری از سیلاب و جریان زیرق شری در را ستای تو سعه ارا ضی ک شاورزی و عملیات بیولوژیک با ا ستفاده از روش‌های فناورانه به اثبات رسیده در پائین دست روستا تا محل خروجی زیر حوزه A22 می‌باشد. نتایج متصور از اجرای این پروژه د ستاوردهای کوتاه تا بلند مدت به ویژه تو سعه رو ستایی و امنیت غذایی، کاهش مخاطرات سیل حوزه آبخیز جلایر و بهره‌برداری از ســـیلاب و اشـــتغال‌زایی خواهد بود که در این مجال از ذکر مجدد جزئیات آنها پرهیز شده ا ست. اجرای این پروژه می‌تواند، الگوی تو سعه پایدار رو ستایی برای منطقه و شهرستان تفرش باشد.

منابع

- غریب‌رضا، م.، حسینی، ا.، اختری،ر. ۱۴۰۱. ساماندهی خشکه رود جلایر استان مرکزی در: ساماندهی خشکه رودهای منتخب استان مرکزی، داودی راد، ع. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ۱۴۹ صفحه.
- Engineers, U.A.C.O. 1995. Gravity Dam Design. Engineering and Design. National Technical Information Service, Washington, DC, p. 88.
- Hjulstrom, F., 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris, Bulletin. Geological Institute Upsalsa 25, 221-527.
- مهندسین مشاور آرین. ۱۳۹۹ .گزارش مطالعات آبخیزداری حوزه آبخیز جلایر استان مرکزی، مطالعات تفصیلی-اجرایی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی، شهرستان تفرش، ۱۱۵ صفحه.

تحول مخروطه افکنه‌های تغذیه کننده آبخوان بر اثر تکتونیک فعال در جنوب تاقدیس خائیز بهبهان

نام و نام خانوادگی سید معصومه موسوی[۱]، نظام اصغری پور دشت بزرگ [۲*] مهدی مومی زاده، [۳]

۱. کارشناس ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲*- دکترای ژئومورفولوژی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، رایانامه (nasgharipour@gmail.com)

۳. استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

چکیده

مخروط‌افکنه‌ها از اشکال ژئومورفولوژیکی و یک سیستم رسوبگذاری متخلل بوده که غالباً در مناطق خشک و تلاقی کوهستان با دشت در سیستم‌های رودخانه‌ای تشکیل می‌شوند و بعنوان تغذیه کننده و محیط آبخوان در تامین منابع آب زیرزمینی دارای جایگاه مهمی در زندگی بشر هستند. عواملی مانند: شکل حوضه، شرایط مجاور مخروط‌افکنه، سنگ‌شناسی، فعالیت‌های تکتونیکی و اقلیم بر شکل‌گیری و تحول آن‌ها اثرگذار می‌باشد. در این پژوهش در منطقه بهبهان و جنوب تاقدیس خائیز تعداد ۷ عدد مخروط‌افکنه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، نرم افزارگوگل ارث و بازدید میدانی شناسایی و در مرحله ی بعد با کاربرد مدل رقومی ارتفاع و نقشه شبکه‌ی آبراهه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی هفت شاخص ارزیابی ژئومورفیک شامل شاخص سینوسی جبهه کوهستان(Smf)، عرض دره به ارتفاع(Vf)، عدم تقارن حوضه زهکشی(Af)، گرادیان طولی رودخانه(SI)، سینوسی شدن رودخانه(SR)، منحنی هیپسومتریک(HC)، انتگرال هیپسومتریک(Hi) و شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی(Iat) برای هر کدام از مخروط‌افکنه‌ها و حوضه های بالادست آن‌ها محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که مقادیر عددی شاخص‌ها و شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه برای حوضه‌های شماره ۳و ۴ وضعیت فعالیت تکتونیکی شدید، در حوضه‌های شماره ۱، ۵ و۶ فعالیت تکتونیکی زیاد و در حوضه‌های شماره ۲و ۷ وضعیت فعالیت تکتونیکی متوسط را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

تکتونیک فعال، مخروط‌افکنه، شاخص‌های ژئومورفیک، تاقدیس خائیز بهبهان

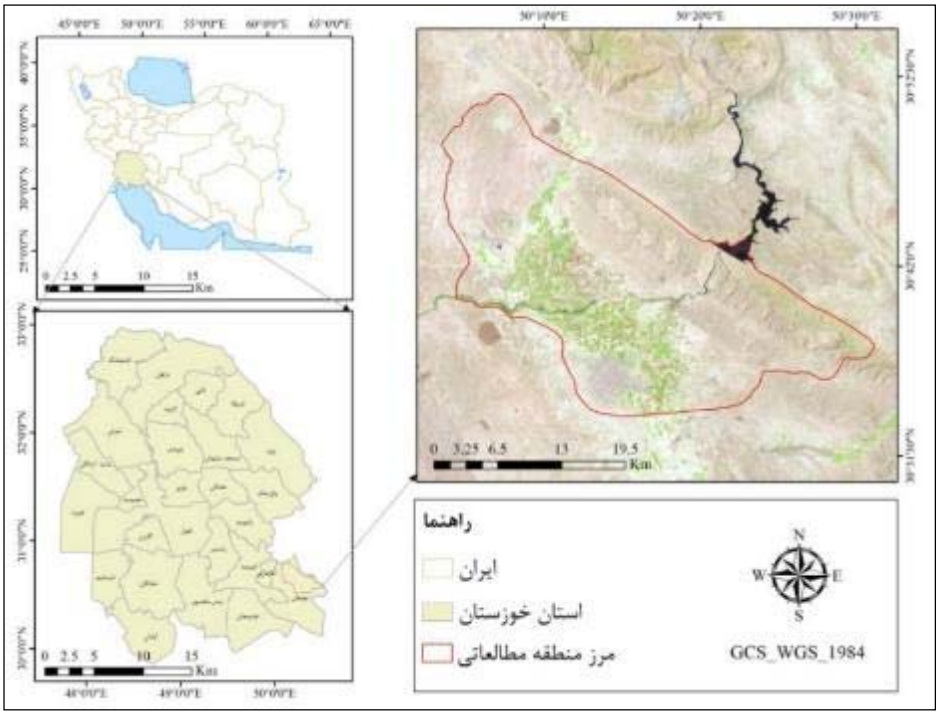
مقدمه

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌ها هستند که عموما بستر فعالیت‌های بشری‌اند، اشکالی که در محل ورود روخانه‌ها به داخل سطوح هموار دشت تشکیل می‌شوند(مقصودی، ۱۳۹۰). مخروط‌افکنه‌ها نتیجه‌ی یک سیستم فرسایشی رسوب‌گذاری هستند، که شرایط و ظرفیت‌های فراوانی از جهت منابع آب زیرزمینی، سطحی و خاک حاصلخیزدارند. مخروط‌افکنه ها معمولا از

لندفرم‌های جبهه کوهستانی هستند که در اثر کاهش قدرت رودخانه به صورت ناگهانی در نتیجه تغییر شیب توپوگرافیک تشکیل می‌شوند(Rachocki، ۱۹۹۰). هنگامی که جریان رودخانه از حوضه پرشیب کوهستانی خارج و به دشت کم شیب وارد شود، نیروی حمل کاسته شده و رسوب گذاری اتفاق می‌افتد، بدین ترتیب مخروط‌افکنه شکل می‌گیرد عوامل اصلی موثر در فرایندهای مخروط‌افکنه‌ها عبارتند از: شکل حوضه، شرایط مجاور مخروط‌افکنه‌ها، سنگ شناسی حوضه آبریز، فعالیت‌های تکتونیکی و اقلیم. در این بین تکتونیک و اقلیم رابطه‌ی بین انرژی ورودی و خروجی را برقرار می‌کنند.حرکات تکتونیکی، سطح ا سا سی فر سای شی را تغییر می‌دهند و در فرایندهای فعال در سطح مخروط‌افکنه‌های و تکامل آن‌ها موثر ا ست (Yang، ۱۹۸۵).). می‌توان گفت که نیروهای زمین ساختی نقش ا صلی و اولیه را در تشکیل مخروط‌افکنه‌ها داشته و در سیر تحول و تکامل آن‌هانیز سهم به سزایی را بر عهده دارند. تکتونیک با تغییر سطح اساس موجب تغییر فرایندهای فعال در سطح مخروط‌افکنه‌ها شده و روند تکاملی مخروط‌افکنه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد(Ioannis، ۲۰۰۶). نوزمین ساخت یک فاکتور مهم در کنترل و توسعه لندفرم ها در نواحی فعال تکتونیکی است. جهت برآورد فعالیت های نوزمین ساختی یک منطقه روش های مختلفی وجود دارد که در این میان شاخص های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی به دلیل سادگی نسبی روش محاسبه، سرعت عمل بالا در بکارگیری آنها، استخراج داده های مورد نیاز از نقشه های توپوگرافی و عکس های هوایی و ماهواره ای و نتایج مطلوب از اهمیت زیادی برخوردار هستند. زاگرس از نظر فعالیت های نوزمین ساختی فعال بوده و بیش از ۵۰٪ زلزله های ثبت شده در ایران در زون زاگرس رخداده و زاگرس لرزه خیزترین زون ساختمانی ایران است. بررسی فعالیت های نوزمین ساختی در زاگرس با توجه به لرزه خیز و فعال بودن آن یک امر حیاتی جهت شناخت وضعیت نوزمین ساختی در هر منطقه در این زون می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می تواند در زمینه برنامه ریزی های عمرانی و کاهش خطرات ناشی از فعال بودن نوزمین ساخت منطقه و شناخت و ضعیت مخروط افکنه ها از جهت تغذیه سفرهای آب زیرزمینی و شکل دادن محیط های آبخوان مفید باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی و شناخت فعالیت های نوزمین ساختی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک در تاقدیس خائیز بهبهان و تاثیر آن بر تحول مخروط‌افکنه‌های منطقه می با شد. پژوهش های زیادی در زمینه ی ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی با ا ستفاده از شاخص های ژئومورفیک در سطح جهان، ایران و زاگرس انجام گرفته که می توان به موارد زیر اشاره کرد:
(Malik و همکاران، ۲۰۰۶)، (Chen و همکاران، ۲۰۰۳)، در نقاط مختلف دنیا و (مختاری،۱۳۸۹)، (گورابی و نو حه‌گر،۱۳۸۶)، (مقصودی و کامرانی،۱۳۸۷) در مناطق مختلف ایران شاخص های ژئومورفیک را برای ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی بکار برده و نتایج حاکی از کارایی مطلوب این شاخص ها می باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از شهرستان بهبهان بوده که منطقه شهری بهبهان تا منطقه قالند درآن واقع می‌با شد(شکل ۱). این منطقه دارای مختصات جغرافیائی"۱۶ ′۳۱ °۵۰ تا"۳۵ ′۰۳ °۵۰ طول شرقی و"۳۵ ′۳۳ °۳۰ تا "۲۲ ′۵۱ °۳۰ عرض شمالی می‌با شد. حو ضه آبخیز آن از زیر حو ضه‌های رود مارون می‌باشد و دارای مساحتی معادل ۳۳۴ کیلومتر مربع می‌باشد. بالاترین نقطه ارتفاعی آن ۱۶۲۸ متر بالاتر از سطح دریا، پایین‌ترین نقطه ارتفاعی ۲۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. حداکثر مطلق دما برای ایستگاه بهبهان ۴۹ درجه در تیرماه، میانگین سالانه ۲۴/۹ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق دما ۲- درجه سانتیگراد در دی ماه می‌باشد. میانگین حداقل و حداکثر دما در این ایستگاه به ترتیب ۳۶/۴ و ۱۳ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه طی دوره آماری در ایستگاه بهبهان ۳۷۸ میلیمتر می‌باشد.

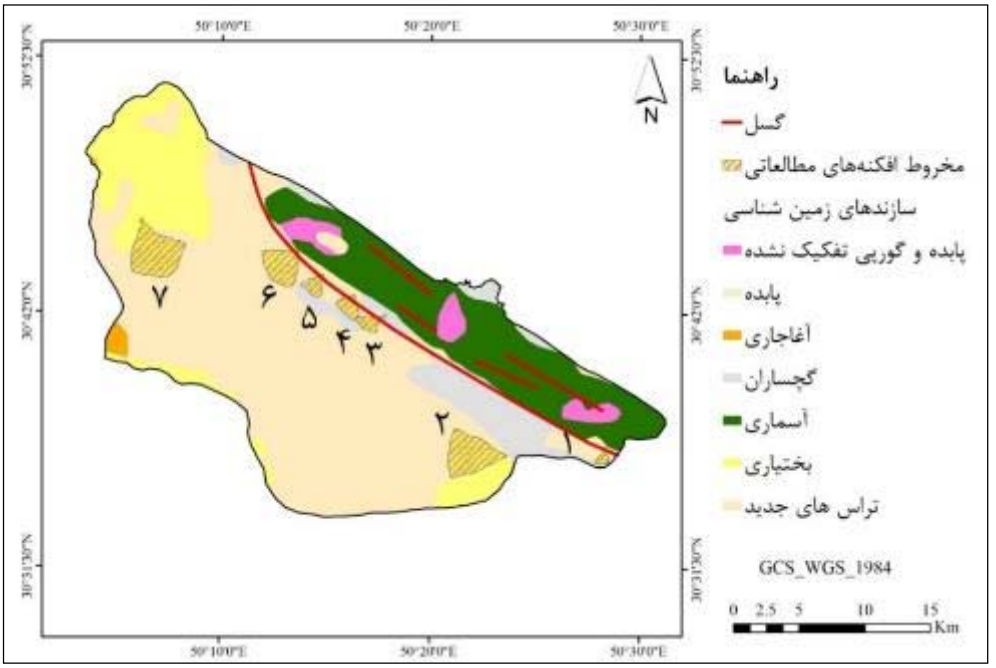


شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

۱- زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان از وجود سازندهای دوران سوم زمین‌شناسی دارد. این سازندهای زمین‌شناسی شامل سازند آسماری که تاقدیس خائیز را در رخنمون اصلی تشکیل داده است و در لایه‌های زیرین و با فرسایش ایجاد شده در این سازند آهکی رخنمون‌های سازندهای پابده و

گورپی نمایان شده است، در بخش جنوبی و شمالی تاقدیس خائیز سازند گچ ساران با بالاآمدگی در محدوده‌های جنوبی رخنمون دارد و سازند کنگلومرای بختیاری با ترکیبی از قلوه سنگ‌های آهکی، سیمانی و سلیسی بخش عمده‌ای از مناطق غربی را تشکیل داده است.رسوبات دوران کواترنری اصلی‌ترین و وسیع‌ترین رخنمون در منطقه را تشکیل داده و این رسوبات با دانه بندی مناسب موجب شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های منطقه و دشت در شت دانه و نفوذپذیر بهبهان- قالند را همراه با تشکیل محیط آبخوان آزاد و سفره آب زیرزمینی با کیفیت و آبدهی مناسب ایجاد نموده‌اند. شکل ۲ نقشه پراکنش رخنمون سازندهای زمین شناسی، گسل‌ها و مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی فعالیت نوزمین ساخت منطقه با استفاده از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، موقعیت تاقدیس مورد نظر مشخص گردید. در این پژوهش از مقادیر کمی بدست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک (SL،Hc, Smf , Vf , Hi, Af) و بررسی های میدانی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی متاثر از نوزمین ساخت استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰و تصاویر گوگل ارث منطقه به عنوان ابزار اصلی تحقیق در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم افزارهای Arc GIS به منظور اندازه گیری، محاسبه و استخراج اطلاعات پدیده های ژئومورفولوژیکی منطقه استفاده گردید. سپس به منظور بالا رفتن دقت

محاسبات، منطقه به ۷ زیر حوضه تقسیم شد و شاخص های مورد بررسی برای هر کدام از زیر حوضه ها به طور جداگانه محاسبه شد. پس از انتقال لایه های اطلاعاتی حاصل از رقومی سازی نقشه های توپوگرافی منطقه، به سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) ویژگی‌های مورفومتری لندفرم های توپوگرافی، جبهه کوهستان و شبکه زهکشی منطقه بطور دقیق محاسبه شد. جهت ترسیم منحنی هیپسومتریک(Hi)، پس از استخراج داده های مورد نیاز از لایه ارتفاعی Dem، منحنی های هیپسومتریک زیرحوضه ها ترسیم گردید. سپس با استفاده از شاخص IAT و داده های کمی بدست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک میزان فعالیت نوزمین ساختی منطقه تعیین و در آخر نتایج حاصل از داده های ژئومورفیک با شواهد ژئومورفولوژیکی مخروط افکنه های منطقه مقایسه گردید، همچنین با استفاده از یک مدل ساده فیزیکی روند فرسایش تاقدیس و شکل‌گیری مخروط افکنه به تصویر کشیده شد.

نتایج و بحث

۱- شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)

این شاخص به صورت زیر تعریف می شود (Bull،۱۹۹۱) .

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

Smf: سینو سیته ی جبهه کوهستان؛ Lmf: طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه؛ Ls: طول مستقیم جبهه کوهستان.

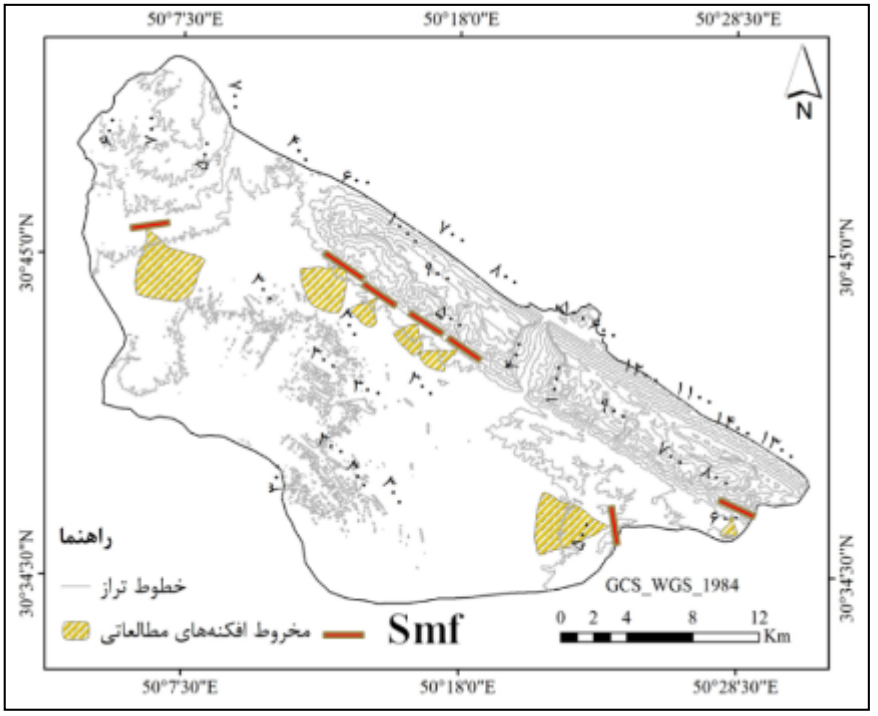
شاخص سینوسیته جبهه کوهستان تعادل میان فرایندهای فرساینده که از طریق جریانات سطحی به بریدن و نامنظم کردن جبهه کوهستان گرایش دارند و نوزمین ساخت فعال و قائم، اغلب مطابق با گسل ها و چین خوردگی ها، که گرایش به ایجاد جبهه کوهستانی مستقیم دارند را نشان می دهد (Keller و Pinter،۲۰۰۲). جبهه های کوهستانی که با فرایش فعال همراهند تقریبا شکلی مستقیم را بر روی نقشه های توپوگرافی و عکس های هوایی به نمایش می گذارند و در صورتی که حرکات تکتونیکی کم باشند، فرایندهای فرسایشی باعث ایجاد جبهه کوهستانی نامنظم و سینوسی شکل می شوند. عدد این شاخص در جبهه های کوهستانی با فعالیت تکتونیکی بالا به ۱بسیار نزدیک بوده و کمتر از ۱.۴ نشاندهنده یک جبهه کوهستانی فعال می باشد (Rockwell و همکاران، ۱۹۸۶). در این پروژه مقادیر Smf برای ۷ جبهه کوهستانی محاسبه شده (شکل۳) و به ۳ کلاس بر مبنای روش (Hamdouni و همکاران، ۲۰۰۸) تقسیم بندی شد.

کلاس ۱: جبهه کوهستانی بسیار فعال : ۱.۱ > Smf

کلاس ۲: جبهه کوهستانی فعال : ۱.۵ > Smf > ۱.۱

کلاس ۳: جبهه های کوهستانی با فعالیت کم تا آرام : ۱.۵ < Smf

مقادیر Smf به دست آمده برای جبهه های کوهستانی مورد مطالعه بین ۱/۱۰ تا ۱/۳۳ و نشانگر کلاس نوزمین ساختی فعال در منطقه است.



شکل ۳: نقشه مناطق اندازه‌گیری شاخص SMF در منطقه مورد مطالعه

۲- شاخص نسبت پهنای دره به عمق (Vf)

این شاخص به صورت زیر تعریف شده است (بول،۱۹۹۱) .

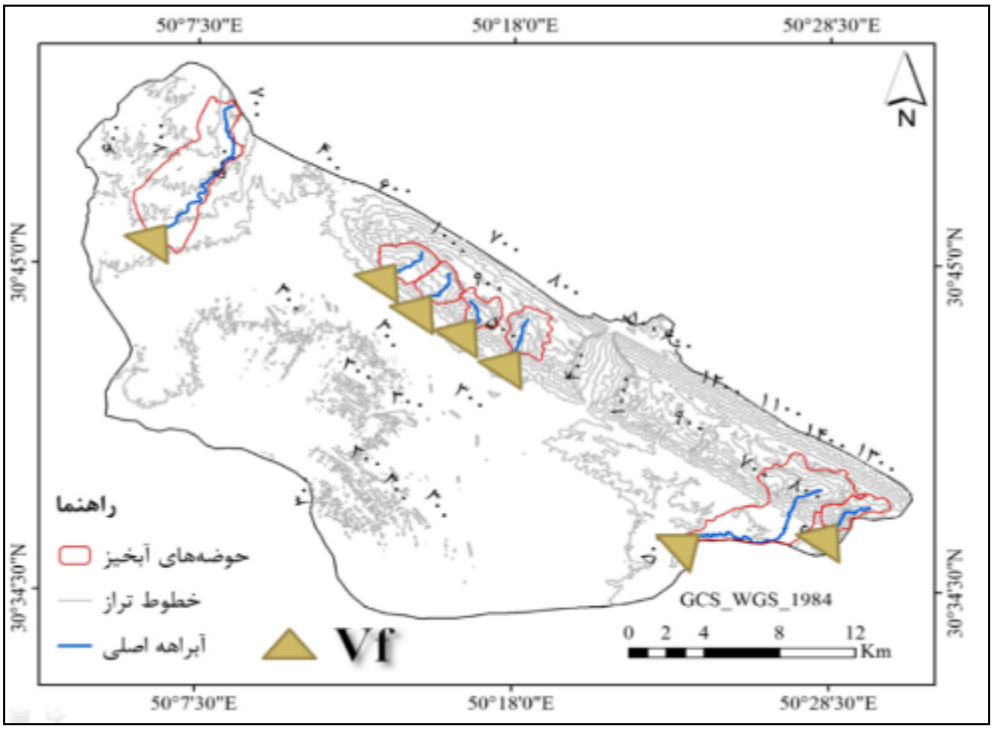
$$vf = 2 \times \frac{vfm}{[(EId-Esc)+(Erd-Esc)]}$$

Vfw: عرض بستر دره ؛ Eld : ارتفاع دیواره سمت چپ دره ؛Erd : ارتفاع دیواره سمت راست دره ؛Esc: ارتفاع بستر دره.

در یک سنگ یکسان، شکل دره ها در مناطق فعال و غیر فعال نوزمین ساختی دارای تفاوت زیادیست. در مناطق فعال به دلیل بالا رفتن شیب و پایین رفتن سریع، بستر دره ها عموما باریک بوده و نسبت عمق به پهنای دره ها بیشتر از مناطق با فعالیت کم و یا غیر فعال است . دره های U شکل دارای مقادیر بالا و دره های V شکل دارای مقادیر پایین شاخص Vf هستند . نوع سنگ بستر نیز در شکل دره دارای نقش اساسی است. بر این اساس مقادیر شاخص Vf با توجه به اندازه حوضه و نیز دبی رود یا دره و نوع سنگ متفاوت می با شد. شاخص Vf معمولا در یک فا صله معین از جبهه کوهستانی اندازه گیری می شود که معمولا بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و با لحاظ کردن اندازه و وسعت حوضه در نظر گرفته

می شـود (Hamdouni و همکاران، ۲۰۰۸). مقادیر شـاخص Vf به سـه کلاس تقسـیم می شـوند : کلاس ۱ : (Vf < ۰/۵)، کلاس ۲ : (۰/۵ < Vf < ۱)، کلاس ۳ : (Vf >۱)

میزان این شـاخص بین ۰,۱۵ تا ۰,۴۷ در منطقه نوسـان دارد که میزان این اختلاف را می توان به لیتولوژی و شـرایط فرسـایشـی متفاوت دره ها نسـبت داد. جبهه‌های کوهسـتانی در شـمال مخروط‌افکنه‌های شماره ۱، ۳، ۴، ۵ و ۶ دارای فعالیت زیاد و جبهه کوهستانی شمال مخروط‌افکنه‌های شماره ۲ و ۷ جزء مناطق غیر فعال شناسایی گردید (شکل۴).



شکل ۴: نقشه مناطق اندازه‌گیری شاخص SMF در منطقه مورد مطالعه

۳- شاخص عدم تقارن آبراهه (AF)

شـاخص عدم تقارن آبراهه می تواند کج شـدگی ناشـی از تکتونیک را در مقیاس یک حوضـه و یا یک ناحیه وسیع را نشان دهد (Keller و Pinter،۲۰۰۲). این شاخص به صورت زیر تعریف شده است:

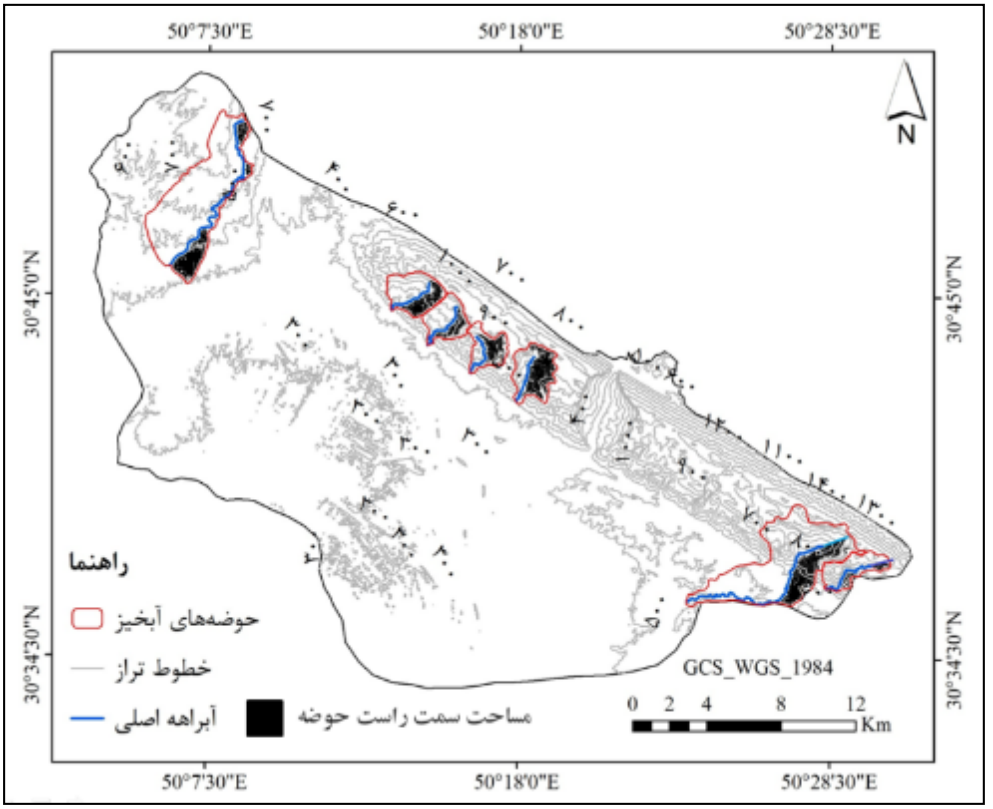
$$Af = 100 \times \frac{Ar}{At}$$

Af: شاخص عدم تقارن رودخانه ؛ Ar: م ساحت حو ضه در برگیرنده زهکش های فرعی در ساحل راست آبراهه اصلی (بر حسب کیلومتر مربع) ؛ At: مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع)

جدول۱: تقسیم بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص AF (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)

مناطق	کلاس ۱: بسیار فعال	کلاس ۲: با فعالیت متوسط	کلاس ۳: غیرفعال
شاخص Af	AF-50>15	7<AF-50<15	AF-50<7

بر طبق تقسیم بندی جدول شماره ۱ و مقادیر AF-50 این شاخص در حوضه آبخیز شماره ۳ و۴ با میزان کمی ۱۵ و۱۶/۵ نشان از فعالیت تکتونیکی فعال و فرایش در ساحل سمت راست می‌باشد، در حالی که در حوضه‌های آبخیز شماره ۱، ۲، ۵، ۶ و۷ با مقادیر کمتر از ۷ فرایش در ساحل سمت چپ در جریان است و بر اساس کلاس بندی همدونی و همکارانش، حوضه شماره ۴ در کلاس فعال، حوضه شماره ۳ نیمه فعال و بقیه حوضه‌ها در کلاس غیر فعال قرار دارند.



شکل ۵: موقعیت مناطق اندازه گیری شاخص AF در منطقه مورد مطالعه

۴- شاخص گرادیان رودخانه(SL)

این شاخص در مطالعه نقش مقاومت سنگ ها بر جریان آبها در کوه های آپالاش در جنوب شرقی آمریکا به صورت رابطه زیر تعریف شده است:

$Sl=(\Delta H/\Delta L)L$

شاخص گرادیان رودخانهSl:

رود محلی گرادیان$\Delta H/\Delta L$:

L : طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است .

مقادیر عددی شاخص گرادیان رودخانه زمانی که سنگهای بستر رودخانه مقاوم باشند و یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییر شکل قائم پوسته زمین موثر باشد، زیاد می باشد. بر این اساس مقادیر بالای SL در سنگهای دارای مقاومت کم و یا در سنگ های از لحاظ مقاومتی یکسان هستند، می تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال و جوان باشد. در تاقدیس مورد مطالعه با استفاده از طبقه بندی (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)، شاخص SL به سه کلاس طبقه بندی شد شکل۳. کلاس یک (SL>۵۰۰) داری حرکات نوزمین ساختی شدید، کلاس دو (۳۰۰<SL>۵۰۰) دارای حرکات نوزمین ساختی متوسط و کلاس سه (SL<۳۰۰) با حرکات نوزمین ساختی کم. در منطقه مورد مطالعه کمترین میزان شاخص SL برای همه حوضهه ای مورد مطالعه مقادیر محاسبه شده این شاخص در تمام حوضه‌های منطقه مورد مطالعه مقادیر کمتر از ۳۰۰ می‌باشد که نشان دهنده منطقه فعال و نیمه فعال از نظر تکتونیکی می‌باشد.

۵- شاخص سینوسی شدن رودخانه (SR)

از دیگر شاخص‌هایی که می‌توان برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و در نتیجه آن، بررسی حرکات تکتونیکی فعال از آن سود جست، شاخص سینوسی شدن رودخانه است و به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد(Keller و Pinter،۲۰۰۲).

$SR = RL/VL$

RL: طول رودخانه. VL: طول خط مستقیم رودخانه.

برای برآورد پارامترهای مورد نیاز شاخصSR در منطقه مورد مطالعه، مقادیر RL و VL برای هر هفت حوضه اندازه‌گیری شد.

طبق کلاس بندی همدونی و همکاران برای شاخص سینوسی شدن رودخانه مقادیر عددی کمتر از ۱/۱کلاس فعال، ۱/۱تا ۱/۵نیمه فعال و مقادیر عددی بزرگتر از ۱/۵ کلاس غیر فعال را نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص به میزان عددی ۱/۲۵ تا ۱/۴۵ در ۶ حوضه آبخیز منطقه نشان دهنده فعالیت‌های تکتونیکی در کلاس نیمه فعال و در حوضه شماره ۳ با میزان عددی ۱/۰۸ نشان دهنده فعالیت‌های تکتونیکی در کلاس فعال می‌باشد.

۶- منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک

منحنی هیپسومتریک توزیع ارتفاعات در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین مثلا حوضه زهکشی را توصیف می کند. این منحنی با پیاده نمودن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه (مساحت نسبی) ترسیم می گردد، منحنی های هیپسومتریک یک حوضه زهکشی به عنوان ابزاری جهت دست یافتن به مراحل توسعه ژئومورفیک ناشی از فرایندهای همزمان زمین ساخت و برهنه سازی مورد استفاده قرار می گیرند(Shtober و Zisu، ۲۰۰۷) انتگرال هیپسومتری نتایج حاصل از مورفولوژی یک حوضه زهکشی را به صورت خلاصه و با یک مقدار واحد و بر اساس شکل و میزان تحدب و تعقر منحنی هیپسومتریک به سه کلاس تقسیم می شود. مقادیر عددی بزرگتر (Hi > 0/5) بیانگر توپوگرافی جوان، مقادیر عددی متوسط (0/4< Hi <0/5) بیانگر توپوگرافی بالغ و مقادیر عددی کم (Hi< 0/4) بیانگر توپوگرافی پیر می باشد.این انتگرال را می توان به سادگی از رابطه زیر محاسبه کرد.

Hmean-Hmin/Hmax-Hmin

در این رابطه: Hmean: ارتفاع متوسط حوضه؛ Hmax: بیشترین ارتفاع حوضه؛ Hmin: کمترین ارتفاع حوضه است. با توجه به تحدب در منحنی‌های هیپسومتریک بی بعد ترسیم شده ومقادیر بدست آمده این شاخص در۷ حوضه آبخیز مورد مطالعه این منحنی نشان می‌دهد که این حوضه‌های در مرحله جوانی می‌باشند. همچنین تحدب در منحنی بی بعد نمایانگر غلبه فعالیت تکتونیکی نو زمین ساختی حوضه‌ها بر فعالیت‌های فرسایشی است و از نظر نو زمین ساختی وضعیتی فعال دارند. جدول۱ مقادیر این شاخص رو نشان می دهد.

جدول ۲: انتگرال هیپسومتریک حوضه‌ی زهکشی منطقه مورد مطالعه

شماره حوضه	شاخص Hi	حداکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	میانگین ارتفاع m	طبقه بندی
۱	۰/۵۶	۱۶۰۰	۷۲۰	۱۲۲۰	کلاس ۲
۲	۰/۴۶	۱۵۸۰	۴۷۰	۹۸۰	کلاس۲
۳	۰/۵۹	۱۰۵۵	۴۷۵	۸۲۰	کلاس ۱
۴	۰/۵۷	۱۰۶۰	۴۷۰	۸۱۰	کلاس ۲
۵	۰/۵۵	۱۰۷۰	۴۴۰	۷۹۰	کلاس ۲
۶	۰/۵۴	۱۰۶۵	۴۴۵	۷۸۰	کلاس ۲
۷	۰/۳۹	۷۵۰	۴۳۶	۵۶۰	کلاس۳

۷- شاخص IAT

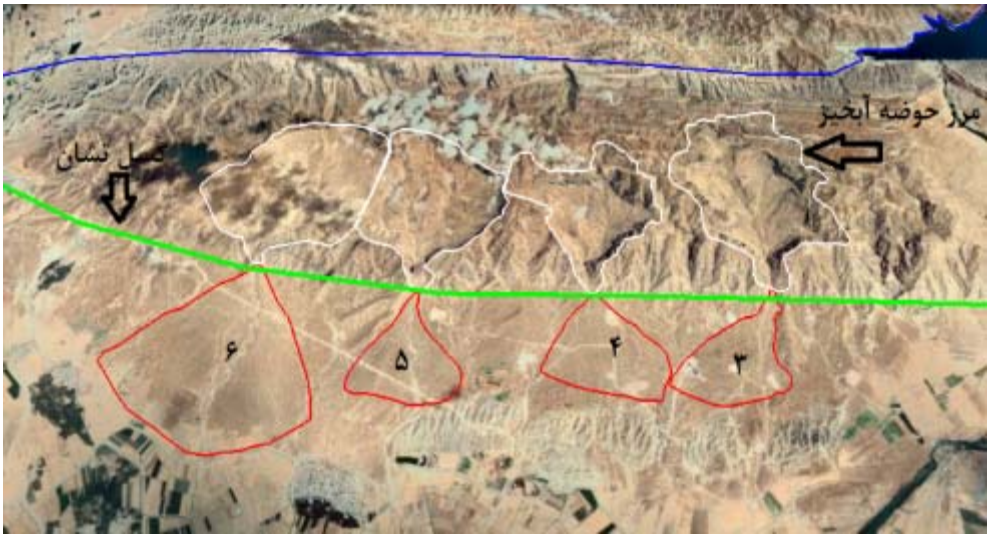
از ترکیب شاخص های مختلف یک شاخص واحد (Iat) به عنوان معیار برآورد فعالیت تکتونیکی را معرفی نموده و نتایج حاصل از آن در زمینه طبقه بندی فعالیت های تکتونیکی کارایی مناسبی دارد. مقادیر به دست آمده این شاخص به ۴ کلاس به شرح زیر تقسیم می شود.

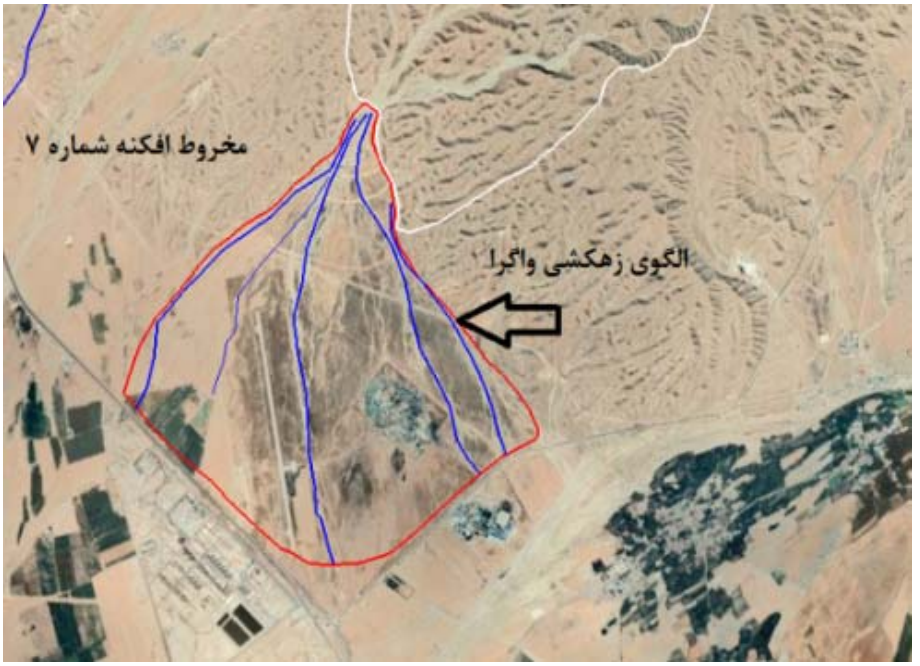
کلاس (۱) فعالیت نوزمین ساختی بسیار بالا: (۱< lat > ۱/۵)؛ کلاس (۲) فعالیت نوزمین ساختی بالا (۱/۵ < lat > ۲)؛ کلاس (۳) فعالیت نوزمین ساختی متوسط: (۲ < lat > ۲/۵)؛ کلاس (۴) فعالیت نوزمین ساختی پایین یا بدون فعالیت (۲/۵ < lat) .

طبق محاسبات انجام شده در جدول ۳، منطقه مورد مطالعه به لحاظ فعایت های نوزمین ساختی ترکیبی از سه کلاس ۳،۲و۴ است که نشان دهنده فعالیت زمین ساختی شدید، متوسط و کم است. در شکل ۶ مخروط افکنه های شماره ۳ تا ۷ منطقه بر روی تصویر گوگل ارث نسبت به تاقدیس خائیز نشان داده شده است و در شکل ۷ با استفاده از یک مدل فیزیکی ساده، شکل‌گیری و تحول یک مخروط افکنه نشان داده شده است.

جدول۳: مقادیر شاخص IAT در منطقه مورد مطالعه

شماره مخروط‌افکنه	Smf	Vf	Af	SL	SR	Hi	Iat
۱	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۱/۸۳
۲	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۲/۱۶
۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱/۳۳
۴	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱/۱۶
۵	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۱/۸۳
۶	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۱/۸۳
۷	۱	۳	۳	۱	۲	۳	۲/۱۶





شکل ۶: تصویر گوگل ارث از مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه

شکل ۷: مدل فیزیکی ساده از نحوه شکل گیری یک مخروط افکنه در پایین دست تاقدیس در اثر فرسایش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شاخص‌های ژئومورفیک یک طبقه بندی نسبی از فعالیت های نوزمین ساختی ارائه می دهند. برای ارائه یک طبقه‌بندی کلی و یک دید جامع از فعالیت‌های نوزمین ساختی منطقه تاقدیس خائیز بهبهان بر اساس نتایج تمام شاخص‌ها از شاخص طبقه بندی IAT و شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از نوزمین ساخت فعال استفاده گردید. مقادیر بدست آمده از شاخص های ژئومورفیک و طبقه بندی میزان آنها بر اساس شاخص IAT نشان داد که منطقه مورد مطالعه به لحاظ فعایت های نوزمین ساختی ترکیبی از سه کلاس ۳،۲و۴ است که نشان دهنده فعالیت زمین ساختی شدید، متوسط و کم است، تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر تحول مخروط افکنه از جهت تغییر در شیب زمین و افزایش وکاهش نیروهای فرسایشی موجب شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های متعدد با سطوح و ضخامت های مختلف آبرفتی در منطقه گردیده است که بعنوان تغذیه کننده و تشکیل دهنده محیط آبخوان در منطقه بهبهان منابع آب زیرزمینی مناسبی جهت توسعه کشاورزی و تامین شرب با کیفیت شکل داده است. از این رو پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی با کاربرد مدل های فیزیکی تاثیر نیروهای تکتونیکی بر تشکیل و تحول مخروط افکنه‌ها و سایر ویژگی‌های آنها مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

- مقصودی، مهران؛ محمد نژاد، وحید(۱۳۹۰)، ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها. انتشارات دانشگاه تهران
- گورابی، ابوالقاسم؛ نوحه‌گر، احمد.(۱۳۸۶)، شواهد مورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۷۷-۱۹۶.
- مختاری، داود(۱۳۸۹)، ژئومورفولوژی اقلیمی دامنه شمالی کیامکی داغ در شمال غرب ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا، شماره۲، صص، ۱۶۳-۱۹۴.
- مقصودی، مهران، کامرانی دلیر، حمید(۱۳۸۷)، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها مطالعه موردی رودخانه تجن، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۳۷-۵۵.

- Bull, W.B(1991), geomorphic response to climate change, Oxford University Press, NewYork. 326 pp
- Chen, Y.C.et al. (2003). Along – Strike variation of morphotectonic features in the Western Foothills of Taivan: tectonic implieation based on Stream-gradient and hypsometric analysis. Geomorphology, Vol56.
- Hamdouni, R.E. , Irigaray, C. , Fernandez, T. , Chacon, J. , Keller E.A,(2008) Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada(Southern Spain) , Geomorphology, Vol,96. pp, 150-173.
- Keller E.A and Pinter N,(2002) Active Tectonics Earth quakes, Up lift and Landscape, new jersey: prentice hall ,pub

- Ioannis, M.T., Ioannis, K.k. and Pavlides, S. 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf of Corinth(Beotia ,centeral Greece). tectonophysis, 453, pp.211-232
- Malik,J .Mahanty,c. (2006). Active tectectonic influence on the evolution of drainage and Landsca pe: Geomorphic signatares From Fronal and hinterl and areas along the Nortwesteren Himalaya, Indi.Journal fasin. Earth Sciencecs.V(29).
- Shtober-Zisu,N.,Greenbaum,N.,Inbar,M.,Flexer,A.,2007, Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity , Dead Sea Rift(Israel). Geomorphology 102,93-104.
- Rockwell,T.K.,Keller,E.A.,Johnson,D.L.,1985.Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountion fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M.(Ed)
- Rachocki, A.,(1990). Alluviall fans: a fild approach, Jan willy & sons.
- Yang, J.C., 1985. Geomorphology(in Chinese), High Education press. Beijing.

پارک آموزشی- ترویجی آبخوان؛ ایده‌ای برای ترویج آبخوان‌داری و فرهنگ استفاده بهینه از منابع آب

محمدعلی هادیان امری*[۱]، بهنوش جعفری گرزین[۱]، پارسا عرب‌خزائلی[۲]

۱- عضو هیأت علمی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری مازندران- ساری

*- نویسنده مسؤول (*m.hadian@areeo.ac.ir*)

چکیده

پارک آبخوان نوعی پارک یا بوستان است که با استفاده از ظرفیت حوزه‌های آبخیز مستعد عملیات آبخواندارى مانند سامانه‌های پخش سیلاب و سطوح آبگیر باران با ۵ هدف عمده ۱- کنترل سیل و حفاظت خاک، ۲- تغذیه سفره‌های زیرزمینی، ۳- ایجاد و تقویت پوشش گیاهی، ۴- آموزش و ترویج فرهنگ آبخوان‌داری به‌عنوان یکی از ارکان و رویکردهای مدیریت حوزه‌های آبخیز و ۵- توسعه تفرجگاه طبیعی می‌تواند ایجاد شود. این مقاله با هدف پیشنهاد طرح پژوهشی ملی امکان سنجی احداث پارک آموزشی- ترویجی آبخوان در عرصه پایگاه‌های تحقیقات آبخوان وابسته به پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در استان‌های کشور به عنوان یک بستر مناسب برای این منظور و در ادامه ارزیابی آن در صورت عملیاتی شدن ارائه شد. در این بررسی عرصه پایگاه تحقیقات آبخواندارى مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران به نام پایگاه تحقیقات پخش سیلاب پشتکوه چهاردانگه کیاسر از توابع شهرستان ساری مورد بررسی و معرفی قرار گرفته است. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که این محدوده با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در منطقه گردشگری می‌تواند از ظرفیت ایجاد تفرجگاه با هدف ترویج فرهنگ حفاظت خاک و آب و آبخواندارى برخوردار باشد؛ لذا پیشنهاد می شود امکان سنجی ایجاد پارک آبخوان در عرصه ایستگاه‌های تحقیقات آبخواندارى کشور در قالب طرح پژوهشی ملی در دستور کار قرار گیرد و پس از آن در صورت دستیابی به نتایج مثبت با همکاری دستگاه‌های اجرایی به طراحی و احداث این پارک‌ها و در نهایت ارزیابی اثرات و شرایط توسعه آن اقدام شود.

واژه‌های کلیدی:

پارک آبخوان، ترویج فرهنگ، آبخواندارى و آبخیزداری، پخش سیلاب، پشتکوه چهاردانگه

مقدمه

آبخوان یا سفره آب زمینی بخشی از حوزه آبخیز و مجموعه‌ای از سنگ‌ها و رسوبات اشباعی است که قابلیت انتقال مقادیر مفید آب به چاه و چشمه‌ها را دارد. آبخوانداری مجموعه‌ای از عملیات است که با کنترل و نفوذ سیلاب بر روی عرصه‌های آبخوان موجب ذخیره‌ی آب در آبخوان‌ها و افزایش کمیت و کیفیت منابع آب و خاک، کاهش و حتی حذف خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم سیل، جلوگیری از پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش هزینه‌های پمپاژ و پیشگیری از نفوذ آب‌های شور به سفره‌های آب زیرزمینی، احیا و افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه بهینه‌سازی محیط زیست می‌شود.

نوع بارندگی و وضعیت ساخت شهرها و تغییرات شدید کاربری در ایران شرایطی را به وجود آورده است که اغلب آن‌ها با مشکل سیل مواجه هستند؛ موضوعی که در سال های اخیر در مناطق مختلف کشور به تعداد و مقدار زیاد شاهد آن بودیم و خسارت هایی را نیز به دنبال داشت. همچنین مسأله استفاده بی رویه از منابع آب زیرزمینی کشور را با بحران های کمبود منابع آب زیرزمینی و پدیده خطرناک فرونشست زمین مواجه ساخته است.

مدیریت سیل‌های شهری از منشأ در سطح حوزه‌های آبخیز بالادست شهرها و روستاها و استفاده از ظرفیت سیلاب کنترل‌شده در مناطق مستعد مانند آبخوان‌ها در توسعه تفرجگاه هم‌جوار با سکونتگاه‌ها رویکرد مدیریت حوزه‌های آبخیز است. تغییر اقلیم، تشدید سیل‌های شهری، سبک شهرنشینی مدرن و دور بودن از طبیعت ازجمله مشکلات شهرها در شرایط کنونی است. در حال حاضر آبخیزداری در رویکرد نوین مدیریت آبخیزهای شهری، علاوه بر اهدافی ازجمله حفظ منابع پایه آب، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت سیل‌های ورودی به شهرها، هدف تقویت ارتباط انسان و طبیعت در قالب پارک را نیز دنبال می‌کند. در حقیقت ایجاد تفرجگاه با رویکرد آبخیزداری پاسخی به دو نیاز کنترل سیلاب و فرسایش و تأمین آب در سکونتگاه‌های شهری و روستایی و ایجاد تفرجگاه طبیعی در مجاورت مراکز جمعیتی است.

پارک آبخوان نوعی پارک طبیعی و پارک آبخیز محسوب می‌شود که در اراضی آبخیزهای مستعد پخش سیلاب و آبخوانداری با حفظ طبیعت بکر، چشم‌اندازها و مناظری در قالب طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری پیرامون سکونتگاه برای فراغت شهرنشینان با استفاده از ظرفیت بارش‌ها و سیلاب‌ها ایجاد می‌شود. سهولت دسترسی به طبیعت و محیط‌های طبیعی برای شهروندان از امتیازات ویژه این پارک است به‌طوری‌که در برخی موارد ساکنان محلات و شهرک‌های واقع در پایین‌دست و خروجی آبخیزهای شهری با صرف زمان کوتاهی به پارک آبخوان خواهند رسید. ازآنجاکه در پارک آبخیز المان‌هایی غیر از المان‌های آبخوان‌داری هم می‌تواند استقرار یابد و هم ممکن است شرایط اجرای فعالیت آبخوان‌داری نباشد؛ لذا هر پارک آبخیزی نمی‌تواند پارک آبخوان باشد.

با توجه به رویکرد آبخوان‌داری در مدیریت حوزه‌های آبخیز، احداث پارک آبخوان با ۵ هدف عمده خواهد بود: ۱- کنترل سیل و حفاظت خاک، ۲- تغذیه سفره‌های زیرزمینی، ۳- ایجاد و تقویت پوشش

گیاهی، ۴- توسعه تفرجگاه طبیعی و ۵- آموزش و ترویج فرهنگ آبخوان‌داری به‌عنوان یکی از ارکان و رویکردهای مدیریت حوزه‌های آبخیز.

این پارک‌ها به‌عنوان نوعی کاربری از سرزمین در چارچوب برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی- اجتماعی منطقه‌ای می‌توانند نقش اساسی در اقتصاد محلی و ملی داشته و نیز هدف مشارکت مردمی در پروژه‌های آبخیزداری برای ساکنان این گونه حوضه‌ها تلقی شوند. پارک آبخیز می‌تواند به‌عنوان یک منبع پایدار درآمدزا، کارآفرین و همیشگی در جوامع محلی باشد. منابع و ذخایر طبیعی ایران و ارزیابی هر یک از جاذبه‌های آبخیزهای قابل سرمایه‌گذاری در کشور، حاکی از آن است که طبیعت‌گردی در حوزه‌های آبخیز، یک منبع اقتصادی کم‌نظیر و بسیار مستعد، و البته رها شده به حال خود است. در هیچ یک از بخش‌های صنعتی، تجاری و کشاورزی کشور، امکان دست‌یابی به چنین سطحی از رشد و قابلیت بازگشت سرمایه وجود ندارد. حال باید دید کدام فعالیت است می‌تواند حفظ منابع طبیعی و تأمین اشتغال و درآمد را توأماً به دنبال داشته باشد این پارک نوعی بوستان محسوب می‌شود که با استفاده از ظرفیت عرصه آبخوان در حوزه‌های آبخیز ایجاد می‌گردد. بهره‌گیری از مناظر طبیعی و چشم‌انداز آبی از ویژگی‌های بارز این‌گونه تفرجگاه‌ها است که با استفاده از عملیات آبخیزداری به‌عنوان المان‌های ویژه پارک اعم از ایجاد سامانه‌های پخش سیلاب، سامانه‌های سطوح آبگیر باران، احداث چکدم‌های مختلف و متنوع متناسب با قابلیت و استعداد طبیعی حوضه، تراس‌بندی و کاشت گونه‌های درختی و درختچه‌ای بومی سازگار با اقلیم منطقه با هدف بهره‌گیری از ظرفیت حوزه‌های آبخیز در توسعه بوم‌گردی و طبیعت‌گردی طراحی و ایجاد می‌گردند. (دستورالعمل فنی مکان‌یابی، طراحی و احداث پارک آبخیز، ۱۴۰۰).

بنابراین پارک‌های آبخوان به‌عنوان تفرجگاه ظرفیت‌های مختلفی را ازجمله حفظ کاربری اراضی طبیعی پیرامون سکونتگاه‌ها و جلوگیری از تغییر غیرمجاز آن، حفظ و احیاء پوشش گیاهی، حفظ خاک، کنترل سیلاب و فرسایش، کنترل رسوبات ورودی به شهرها و تثبیت زمین‌لغزش و آموزش دانشجویان و علاقه‌مندان، اشتغال، درآمدزایی و کمک به اقتصاد ساکنان و آموزش و ارتقای سطح آگاهی‌های مردم درزمینه منابع طبیعی در حوزه‌های آبخیز دارند.

با توجه به پهنه وسیع، تنوع زیست‌بوم، تنوع اقلیم و جاذبه‌های طبیعی امکانات بالقوه فراوانی برای ایجاد پارک‌های آبخوان در عرصه‌های مختلف آبی و ساحلی، کوهستانی، جنگلی، بیابانی، مرتعی ایران ازجمله استان مازندران برای توسعه تفرجگاه‌های طبیعی وجود دارد.

مواد و روش‌ها

از آنجاکه در این مقاله به اهمیت و ظرفیت ایجاد پارک آبخوان در عرصه ایستگاه‌های تحقیقات آبخوانداری کشور پرداخته شده است، لذا این پژوهش مبتنی بر مرور منابع علمی با تأکید بر روش کار محققین و

جمع بندی آن بوده، در نهایت ایستگاه تحقیقات آبخوانداری پشتکوه کیاسر از بخش چهاردانگه شهرستان ساری معرفی و به عنوان اولین پایلوت معرفی می‌شود.

مروری بر منابع داخل ایران

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان (۱۳۹۰) مطالعات تفضیلی پارک آبخیز حوزه چاه ماری بهبهان را انجام داد؛ مکان‌یابی برای مجتمع تفرجی پارک آبخیز چاه ماری در دو مرحله مقدماتی انتخاب محل یا محل‌های پارک و انتخاب محل با توجه به اولویت‌دهی دیدگاه تفرجی و استفاده مردمی انجام پذیرفته است: الف- مرحله مقدماتی انتخاب محل یا محل‌های پارک و ب- انتخاب محل با توجه به اولویت‌دهی دیدگاه تفرجی و استفاده مردمی. اصغریان و همکاران (۱۳۹۱) برای شناسایی معیارها و شاخص‌های مدیریت طبیعت‌گردی در پارک‌های جنگلی شمال ایران، پرسشنامه‌ای را با محتوای اهمیت معیارها و شاخص‌ها تهیه و در پایان به این نتیجه رسیدند که ۷ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های زیست‌محیطی، ۱۱ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های اجتماعی، ۶ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های اقتصادی، ۴ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های فرهنگی و ۴ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های قانونی است. رفیعیان و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق فرایند برنامه‌ریزی کاربری در رود-دره فرحزاد را برای توسعه پایدار مطرح و رشد شهرنشینی نشان دادند که حدود ۷۷٪ این اراضی در محدوده‌هایی با درجه حفاظت بالا قرارگرفته‌اند و باید از اشغال مناطق مسکونی آزاد شوند و کاربری مناسب با ارزش‌های محیطی نظیر کاربری‌های تفریحی و گردشگری جایگزین آن‌ها شود. پوراحمد و همکاران (۱۳۹۴، الف) به ارزیابی قابلیت‌های گردشگری استان سمنان پرداختند و نشان دادند که به‌کارگیری روش‌های گوناگون چندمعیاره به رتبه‌بندی متفاوتی از گزینه‌های رقیب منجر می‌شود. پوراحمد و همکاران (۱۳۹۴، ب) به منظور مکان‌یابی فضای سبز شهری در شهرداری منطقه ۱۵ کلان‌شهر تهران، با ترکیب دو روش FAHP و TOPSIS روش جدیدی را برای انتخاب مکان بهینه با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به‌کار گرفتند. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان (۱۳۹۴) در مطالعه پارک آبخیز رومشکان عوامل و پارامترهای دخیل در مطالعات پارک آبخیز رومشکان شامل مطالعات منابع محیطی و عوامل اجتماعی- اقتصادی را مورد بررسی قرار دادند. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی پتانسیل توسعه پارک آبخیز در ساختار سیمای سرزمین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)توان اکولوژیک حوزه آبخیز دهنو در استان خوزستان را برای ایجاد پارک آبخیز پرداختند؛ نتایج نشان داد که آب‌وهوا به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل در منطقه تعیین گردید. پس از این عامل جذابیت طبیعی و پوشش گیاهی به‌ترتیب بیشترین اهمیت را به‌خود اختصاص دادند. درنهایت با تجزیه وتحلیل وجمع‌بندی داده‌ها، نقشه مناطق مناسب، برای کاربری پارک آبخیز تهیه گردید. حسینی و همکاران (۱۳۹۵) برای اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی و ارزیابی پارک‌های ملی از دو دیدگاه علمی (اعضای هیأت علمی دانشگاه‌ها) و عملی (متخصصان محیط‌زیستی در

سازمان‌ها)، از تکنیک انتروپی و طیف لیکرت با طراحی پرسشنامه دلفی استفاده نمودند. شفقتی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی پارک آبخیز شهری زنجان با روش توصیفی و تحلیلی در ابعاد مختلف پرداختند. جمع‌آوری و ذخیره رواناب حوزه آبخیز پارک، کنترل سیل و جلوگیری از ورود سیلاب به داخل شهر، ایجاد پارک جنگلی و تفرجگاه و پیشگیری از تغییر کاربری اراضی مجاور شهر، آشنایی شهرنشینان با اهداف و اقدامات آبخیزداری و اهمیت دادن به عناصر آب، خاک و گیاه، ارتقا سطح دانش عمومی و آموزش و ترویج در جهت حفاظت محیط زیست و منابع طبیعی را مهم‌ترین مزایا و منافع حاصل از اجرای این پروژه دانستند. حیدرزاده و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه به ارزیابی و پهنه‌بندی توان اکوتوریسم شهرستان شاهرود با منطق فازی، FAHP و TOPSIS بر اساس ۱۵ معیار شامل: درصد شیب، فاصله از مناطق روستایی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، جهت، جنگل ابر، زمین‌لغزش، مراکز جاذب گردشگری، فاصله از رودخانه، فاصله از مسیل‌های سیلابی، خدمات، پوشش جانوری و ارتفاع پرداختند. خضری و همکاران (۱۳۹۶) به‌منظور تعیین اهمیت معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار بر مکان‌یابی و انتخاب منطقهٔ مناسب برای توسعه پارک جنگلی در منطقهٔ دره شهدای ارومیه از فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که از میان هفت معیار انتخاب‌شده، معیار منابع آبی با وزن ۰/۴۲ دارای بالاترین اهمیت است. پس از آن معیارهای اقلیم، سیمای سرزمین و معیار گیاهی-جانوری به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار داشتند. پیش‌بهار و همکاران (۱۳۹۷) الگوی ترکیبی براساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، دیمیتل و ویکور برای اولویت‌بندی استراتژی بازاریابی پیشنهاد نمودند. جاودان و همکاران (۱۳۹۸) با هدف بررسی نحوه رابطه شاخص‌های مختلف توسعه پایدار روستایی و ارائه مدل مطلوب رده‌بندی پایداری در قلمرو حوزه‌ی روستایی بخش سربند از شهرستان شازند در استان مرکزی با استفاده از داده‌های پرسشنامه‌ای، نظرات خبرگان و تکنیک DEMATEL، ANP و ELECTERE3در محیط نرم‌افزاریARC GIS استفاده کردند. درآهکی و همکاران (۱۳۹۸) برای شناسایی پهنه‌های مستعد ایجاد اکوپارک در استان اصفهان هفت معیار و ۲۰ زیرمعیار را انتخاب و با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) کلیه لایه‌ها را تلفیق و نتایج حاصل از هم‌پوشانی نقشه تناسب اراضی برای ایجاد اکوپارک و نقشه پارک‌های موجود در منطقه نشان داد که پارک ساحلی سرارود در شهرستان مبارکه و پارک ساحلی زرین‌شهر از نظر معیارهای در نظر گرفته شده در این مطالعه، مکان‌های مناسبی برای این کاربری هستند. محمودی چناری و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با هدف سنجش ظرفیت محیط روستاهای شهرستان ماسال برای توسعه گردشگری کشاورزی با تحلیل داده‌ها از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) با روش‌های غیرجبرانی DEMATEL-ANP به‌صورت ترکیبی (DANP) با کمک نرم افزارMATLAB استفاده نمودند. نوروزی و همکاران (۱۳۹۸) مطالعه‌ای با هدف، شناسایی معیارها و پهنه‌بندی مخاطرات تنوع زیستی با استفاده از روش‌های تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره DEMATEL-ANP (DANP) در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی بخش

جنوبی به انجام رساندند و نقشه پهنه‌بندی مخاطرات تنوع زیستی تهیه کردند. طبق مطالعات اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌مرکزی (۱۳۹۹) مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در انتخاب پارک آبخیز گردو طول دره و فرصت نفوذ آب، وجود درز و شکاف‌های طولی، عرضی و سنگی منطقه، فضای سبز موجود، امکان کنترل روان آب‌های سطحی، افزایش طول مدت آبدهی و ایجاد دبی پایه، سابقه تفرجگاهی منطقه و کاشت درختان غیرمثمر و مثمر برای جنگلکاری، ضخامت زیاد آبرفت در خروجی حوزه و امکان تغذیه سیلاب‌های احتمالی، وجود مناطق مناسب جهت ایجاد تله‌کابین، پیست اسکی، کایت‌سواری و غیره، نزدیک بودن منطقه به شهر اراک، امکان تأمین برق، آب، تلفن و سایر امکانات مورد نیاز، ذهنیت مردم در خصوص پذیرفتن منطقه به‌عنوان تفرجگاه، امکان دسترسی آسان به حوزه، وجود سایت‌های مناسب جهت کنترل رواناب، وجود جاذبه‌های طبیعی فراوان است. مطالعات احداث پارک آبخیز کانی ماماتکه توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری کردستان (۱۳۹۹) با هدف انجام اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای آبخیزداری جهت کنترل سیلاب و کاهش رسوب ورودی به شهر و جانمایی فضای سبز و گردشگری پارک انجام شده است. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به مکان‌یابی تطبیقی اکوپارک در سطح شهرستان‌های اردبیل، مشکین‌شهر، سرعین، نیر و نمین با استفاده از مدل‌های تحلیل چندمعیاره پرداختند. نتـایج حاصـل از وزن‌دهی معیارها نشان داد که معیار فاصله از رودخانه‌ها بیشترین مقدار ضریب وزنی را به خود اختصاص داده است. برای انتخـاب مکـان مناسب اکوپارک، محدوده موردمطالعه به چهار گروه از توان بالا تا فاقد توان طبقه‌بندی شد و بخش‌های جنوبی مشکین‌شهر و شمال کوه سبلان به‌علت وجود جاذبه‌های متنوع طبیعی و انسانی و داشتن محیط بکر به‌عنوان مناسب‌ترین مکان جهت ایجاد اکوپارک انتخاب شد. چراغعلی خانی و همکاران (۱۳۹۹) به رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب مکان هدف گردشگری با استفاده از مدلDEMATEL در ایران پرداختند. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که عامل عملکرد سیستم حمل و نقل بیشترین تأثیرگذاری و عامل فاصله و مسافت بیشترین تأثیرپذیری و عامل موقعیت جغرافیایی بیشترین تعامل را با سایر عوامل دارا می‌باشند. حیدری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با در نظر گرفتن توان اکولوژیک شهرستان ملایر جهت کاربری توریسم، به پیاده‌سازی مدل آمایشی این کاربری و پهنه‌بندی مناطق مستعد گردشگری اقدام و نقشه پراکندگی مناطق مستعد استخراج کردند. کمانرودی کجوری و همکاران (۱۳۹۹) به معرفی رود- دره‌های شهر تهران پرداخته، دریافتند نقش اکولوژیکی این رود– دره‌ها در چند دهه اخیر به‌دلیل رویکرد و مداخله‌های عمرانی غیراکولوژیک محور، مدیریت شهری و شهروندان به شدت کاهش یافته است. این مداخله‌ها رود- دره‌ها را به یکی از مهم‌ترین عرصه‌های خطر بروز سیل و حرکات دامنه‌ای تبدیل کرده است. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی وضعیت پارک‌های جنگلی شهر تبریز (پارک‌های ائل‌گلی، شمس، باغمیشه و ارم) بر اساس اصول بنیادی و معیارها و شاخص‌های برنامه‌ریزی و طراحی اکولوژیکی پرداختند. بررسی و تجزیه‌وتحلیل شاخص‌ها نشان می‌دهد، پارک ائل‌گلی از نظر اکولوژیکی در بهترین وضعیت قرار دارد و

پارک‌های شمس، باغمیشه و ارم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان در پی مطالعه پارک آبخیز بستک (۱۴۰۰) به احداث پارک آبخیز شهر بستک اقدام کرد. قرارگیری در ارتفاع و اشراف و چشم‌انداز مناسب به شهر و توپوگرافی و طبیعت خاص این محدوده و زیبایی‌های بصری فراوان و دسترسی مناسب با توجه به مجاورت پارک آبخیز به جاده و مجاورت این محدوده با شهر بستک و وجود سازه‌ها و عملیات متنوع آبخیزداری از مهم‌ترین معیارهای انتخاب مکان مناسب جهت احداث طرح پارک آبخیز بستک بود. هدایتی‌پور و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای جهت تعیین پتانسیل مناطق مستعد ژئوتوریسم، در شعاع ۲۰ کیلومتری قله دماوند از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند و مناطق با پتانسیل بسیار مناسب، مناسب و دارای پتانسیل متوسط را مشخص کردند. میرزاده طباطبایی و همکاران (۱۴۰۱) به تعیین الگوی مکانی پراکنش فضای سبز شهری با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای و ویکور در منطقه پنج شهر تهران با استفاده از روش‌های کمی و کیفی برای گردآوری و تحلیل داده‌ها پرداختند.

مروری بر منابع خارجی

Gul و همکاران (a .۲۰۰۶) به تعیین منا سب‌ترین منطقه برای ایجاد جنگل شهری جدید در ا یسپارتا[9] ترکیه با ا ستفاده ازتجزیه‌وتحلیل چندمعیاره (MCA) و روش مورداستفاده Van Elegem و همکاران (۲۰۰۲) پرداختند. MCA مورداستفاده این مطالعه در سه مرحله شامل مرحله انتخاب اولیه، مرحله تناسب و مرحله امکان‌سنجی بود. Gul و همکاران (b .۲۰۰۶) مطالعه‌ای با هدف تعیین منابع واقعی طبیعی، فرهنگی و بصری، تعیین مناسب‌ترین مکان‌های تفریحی، ارزیابی خواسته‌ها و تمایلات بازدیدکنندگان و پیشنهاد فعالیت ها و امکانات تفریحی برای مناسب‌ترین مکان ها در پارک ملی Golcuk ترکیه انجام دادند. این نتایج نشان داد که از نظر کارشناسان محلی مهم‌ترین عوامل تفریحی دسترسی (۳۰٪)، ارزش‌های فرهنگی (۲۳٪)، نزدیکی به منابع آبی (۲۳٪)، پوشش گیاهی (۱۶,۷٪) و شیب (۶,۷٪) معرفی شده است. درنهایت ۱۰ درصد از این پارک به‌عنوان مناسب‌ترین مکان برای ا ستفاده تفریحی انتخاب گردید. Zhang و همکاران (۲۰۱۳) با ا ستفاده از یک فرآیند مشارکتی و با GIS و استفاده از تکنیک تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) به پهنه‌بندی پارک ملی Meili Snow Mountain درکشور چین اقدام کردند. ۳ هدف مدیریت پارک شامل حفاظت از طبیعت، گرد شگری و تفریح و تو سعه، سه نق شه تنا سب حفاظت، اکوتوریسم و تو سعه جامعه تولید گردید. یک نق شه تنا سب ترکیبی نهایی هم تهیه و پنج منطقه مدیریتی (منطقه حفاظت شده محض، منطقه حفاظت شده اکوسیستم، منطقه حائل بوم‌گردی، منطقه خدمات پارک و منطقه کاربری سنتی)

9 Isparta

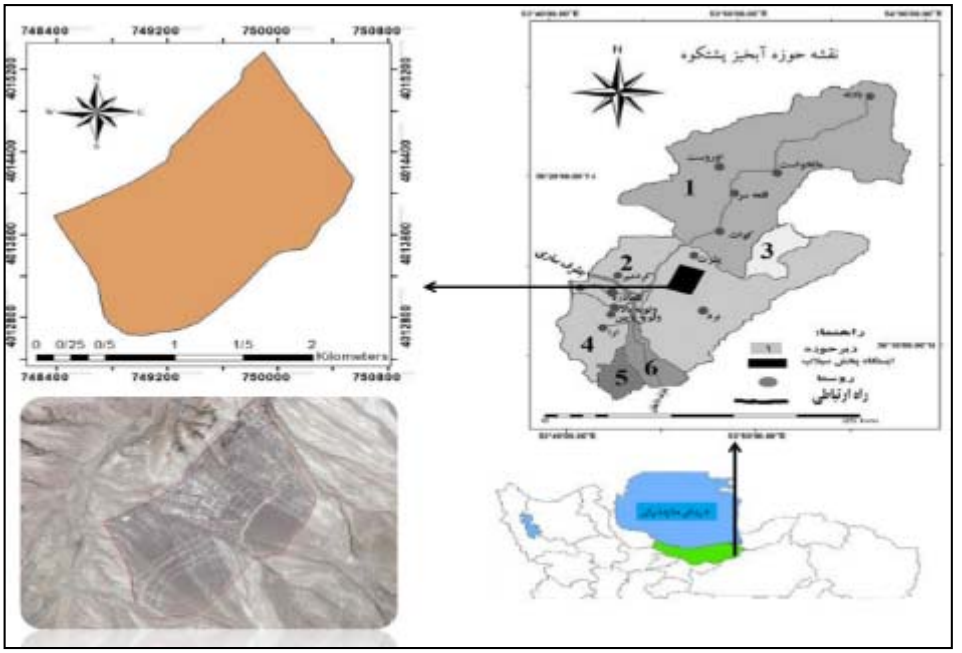
شناسایی و نقشه‌برداری شدند. Penberthy و همکاران (۲۰۱۴) به معرفی پارک آبخیز کرکلند (Kirkland) با مساحت ۳۰ هکتار در ایالت واشنگتن پرداختند. این پارک یک پارک توسعه نیافته و دارای جنگل‌های مرتفع، دره‌ای عمیق و نهر و سرزمین بوته‌ای باز و معدن متروکه است که برای استفاده‌های تفریحی غیر فعال مانند راه رفتن، دویدن و تماشای پرندگان تعیین شده است و استفاده‌کنندگان از پارک بیشتر ساکنان محله‌های اطراف هستند. این پارک بیشتر توسط مناطق مسکونی با تراکم کم در غرب، جنوب و شمال احاطه شده است. طرح احیای پارک آبخیز کرکلند از سال ۲۰۰۷ شروع گردید که طی برنامه ۲۰ ساله احیای جنگل ادامه دارد. مهم‌ترین اهداف این طرح، مدیریت گونه‌های گیاهی مهاجم، استقرار پوشش گیاهی بومی ازجمله درختان به‌ویژه مخروطیان و گونه‌های زیراشکوب، پایش و نگه‌داری مداوم از مناطق ترمیم شده و بهبود خدمات اکوسیستم ازجمله نگه‌داشت رواناب و کاهش سیل، حذف آلاینده‌های هوا و ترسیب کربن هست. Zheng و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای با استفاده از (GIS) همراه با رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای کمی کردن و ادغام عینی حساسیت بصری و حساسیت اکولوژیکی پارک جنگلی ملی کوه تیانژو، استان فوجیان چین جنوبی را موردبررسی قرار دادند. باهم‌پوشانی نقشه‌های حساسیت بصری و حساسیت اکولوژیکی برای سایت موردمطالعه، سه منطقه عملکردی شامل منطقه احیا و حفاظت طبیعت (با حساسیت اکولوژیکی بالا و حساسیت بصری کم یا غیرقابل مشاهده)، منطقه توسعه سطح ۱ (با حساسیت بصری بالا و حساسیت اکولوژیکی کم/خیلی کم) و همچنین منطقه توسعه سطح ۲ (با حساسیت بصری و اکولوژیکی متوسط) به‌دست آمد. این مطالعه امکان را برای شناسایی مناطق برای ایجاد تعادل در استفاده‌های چندمنظوره از پارک‌های جنگلی شهری و حومه‌شهری ارائه می‌دهد و می‌توان آن را به راحتی در سیستم‌های برنامه‌ریزی و مدیریت پارک‌های جنگلی ادغام کرد. Zhao و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش امتیازدهی خبره (دلفی) برای ساخت مدل ارزیابی تناسب تفریحی پارک جنگلی حومه‌ای استفاده کردند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که ارزیابی کلی تناسب تفریحی پارک جنگلی بایون به سطح "خوب" می‌رسد و ماهیت تفریحی قوی دارد. «منابع جنگلی»، «کیفیت محیط زیست» و «وضعیت موقعیت مکانی» عالی رتبه‌بندی شده‌اند، درحالی که «منابع انسانی» و «امکانات پشتیبانی» به‌طور متوسط رتبه‌بندی شده‌اند. بر اساس نتایج ارزیابی، پیشنهادهایی در زمینه توسعه منابع طبیعی جنگلی، حفاظت از محیط زیست، کسب مفاهیم مثبت فرهنگی، بهبود زیرساخت‌ها و تعریف بازار منبع توریستی برای افزایش مناسبت تفریح در پارک‌ها ارائه شده است. Lin و همکاران (۲۰۲۰) با ارائه یک چارچوب ارزیابی برای توسعه زیر ساخت سبز با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری ترکیبی جدید برای ارتقای پایداری زیست‌محیطی پرداختند. Ahmadimanesh و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی و اولویت‌بندی مکان‌های بالقوه برای سرمایه‌گذاری در گردشگری در ایران پرداختند. در نهایت رتبه‌بندی نهایی مکان‌های بالقوه برای سرمایه‌گذاری در

گردشگری مشخص گردید. Liu و Liu (۲۰۲۱) با معرفی مدل DANP-mV یک سیستم ارزیابی برای بررسی معیار آموزشی مرتبط مدیریت بحران گردشگری ایجاد کردند. این مدل ابتکاری با ترکیبDEMATEL، ANP مبتنی بر DEMATEL و VIKOR اصلاح شده، به یک تکنیک جامع به‌ویژه در حل مشکلات استراتژی بهبود تبدیل شده است. کارایی این مدل در هنگام تصمیم‌گیری برای حل چالش‌هایی با معیارهای متناقض، پیچیده و پویا در موضوعات و مقالات مختلفی تأیید شده است.

مشخصات عرصه ایستگاه تحقیقات آبخوانداری پشتکوه مازندران

عرصه پایگاه تحقیقات آبخوانداری مازندران با مساحت ۲۹۸ هکتار در بخش چهاردانگه و جنوب شهرستان ساری و در محدوده جغرافیایی ً۴۸/۸۰ ´۴۵ ˚۵۳تا ً۱۷ ´۴۷ ˚۵۳ طول‌شرقی و ً۵۱/۷۲ ´۲۹ ˚۳۶ تا ً۳/۶۴ ´۱۵ ˚۳۶ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). نزدیکترین شهر به عرصه کیاسر با فاصله ۴۰ کیلومتر و فاصله از مرکز استان (شهر ساری) ۱۱۰ کیلومتر است. حداقل و حداکثر ارتفاع ایستگاه ۱۵۳۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا است. میزان بارندگی سالیانه آن طبق تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی محل طرح ۲۷۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتی‌گراد هست. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه خشک سرد و بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. بافت خاک آن شنی لومی، لومی و میانگین شیب ۱۰ درصد است.

پروژه طراحی و احداث ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش سیلاب بر آبخوان چهاردانگه (پشتکوه) مازندران به عنوان بخشی از یک پروژه ملی در سال ۱۳۷۵ باهدف ایجاد یک طرح پایلوت جهت کنترل سیلاب و ذخیره نزولات آسمانی، حفاظت خاک و کنترل فرسایش، افزایش پوشش گیاهی و حفظ و احیاء عرصه‌های طبیعی و محرومیت‌زدایی آغاز شد. این پروژه یکی از پروژه‌های زیربنایی تحقیقاتی اثربخش آبخوانداری در سطح کشور و تنها پروژه اجراشده و فعال پخش سیلاب در استان مازندران (شکل ۲) بوده و مهم‌ترین عملیات آبخوانداری در عرصه شامل احداث ۲ کانال انتقال رواناب و ۹ کانال پخش سیلاب است.



شکل ۱- نقشه موقعیت و فتومپ عرصه پایگاه تحقیقات آبخوانداری پشتکوه مازندران

شکل ۲- نماهایی از عرصه پایگاه تحقیقات آبخوانداری پشتکوه مازندران

این عرصه با کاربری منابع طبیعی است و حفظ و صیانت از آن تحت نظارت و مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور صورت می‌گیرد. به واسطه انجام پروژه پخش سیلاب در عرصه و محصور بودن از پوشش گیاهی غنی برخوردار است به‌طوری‌که تفاوت پوشش اراضی خارج از محدوده نسبت عرصه آبخوانداری به دلیل عدم مدیریت و وجود دام مازاد بر ظرفیت مراتع منطقه و چرای بی‌رویه معنی‌دار و چشمگیر است (فتومپ شکل ۱).

موارد سیل‌گیری سال‌های اخیر ایستگاه تحقیقات آبخوانداری مرکز مازندران عبارت است از ۱۲۰۰۰۰ مترمکعب در سیل اسفند ۱۳۹۸، ۱۷۰۰۰۰۰ مترمکعب سالانه در ۱۳۹۸، ۳۰۰۰۰ مترمکعب در اولین واقعه سیل اردیبهشت ۱۳۹۹، ۴۸۰۰۰ مترمکعب در دومین واقعه سیل اردیبهشت ۱۳۹۹ و ۲۱۰۰۰ مترمکعب در سیل مرداد ۱۴۰۰.

اولین گام در مکان‌یابی پارک آبخوان (آبخیز مستعد آبخوانداری)، انتخاب عرصه‌های منتخب اولیه است (دستورالعمل فنی مکان‌یابی، طراحی و احداث پارک آبخیز، ۱۴۰۰). در همین رابطه ایده احداث پارک آبخوان در عرصه ایستگاه تحقیقات آبخوانداری پشتکوه مازندران با توجه به ظرفیت‌های ویژه زیر ارائه شده است تا اولین پارک آموزشی- ترویجی آبخوان کشور به‌عنوان پایلوت احداث شود:

۱- عرصه آبخوانی که مشخص و برای امکان‌سنجی در دسترس است.

۲- نزدیکی به سکونتگاه‌های شهری و روستایی و هم‌جواری با استان سمنان (۱۱۰ کیلومتری ساری، ۸۶ کیلومتری دامغان و ۱۲۰ کیلومتری سمنان).

۳- استقرار در منطقه گردشگری و دسترسی به چشمه‌های بی‌نظیر باداب سورت (شکل ۳؛ www.badabsoort.ir) و چشمه علی دامغان (به ترتیب ۱۸ و ۵۶ کیلومتر).

شکل ۳- چشمه‌های باداب سورت به فاصله ۱۸ کیلومتری از پایگاه تحقیقات آبخوانداری

نتایج و بحث

با توجه به مرور مطالعات داخلی و خارجی انجام گرفته برخی معیارها و شاخص‌های مربوط به مطالعات منابع تفرج‌گاهی از دیدگاه سایر پژوهشگران در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که همه پژوهش‌های صورت گرفته تاکنون پیرامون احداث پارک آبخیز و برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای این منظور بوده است. در حالیکه در این مقاله امکان‌سنجی احداث پارک آموزشی- ترویجی در مکان‌هایی مشخص به نام ایستگاه‌های تحقیقات آبخوانداری مد نظر است.

جدول ۱- برخی معیارها و شاخص‌های مربوط به مطالعات منابع تفرج‌گاهی

منبع	معیارها و شاخص‌ها (عوامل)
دستورالعمل فنی مکان‌یابی، طراحی و احداث پارک آبخیز (۱۴۰۰)	عملیات آبخیزداری وآبخوانداری، کنترل سیل، فرسایش خاک، ویژگی تفرجگاهی، ترویج فرهنگ منابع طبیعی، مدیریت آب، حفاظت خاک، اقتصاد منطقه، تولید آب، مدیریت و بهره‌وری منابع طبیعی، توسعه صنعت طبیعت‌گردی، منابع آب، پوشش گیاهی، جذابیت‌های طبیعی، نبود آفات و امراض گیاهی، وضعیت خاک، آب‌وهوا، نزدیک بودن پارک به یک فرودگاه یا یک کانون عمده توریستی، دسترسی به منطقه، حیات وحش متمایز و برجسته، امکان دیدن موارد دیدنی از طریق پیاده‌روی یا قایق یا پناه گرفتن، جلوه و سیمای متمایز و جالب، سطح مطلوبیت امکانات، جذابیت-های فرهنگی، جذابیت منحصر به فرد، امکانات تفریحی، رودخانه و آبشار، استخرهای شنا، مناظر زیبا با جاذبه ذاتی محیط پیرامونی.
اصغریان و همکاران (۱۳۹۱)	۷ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های زیست‌محیطی، ۱۱ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های اجتماعی، ۶ زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های اقتصادی، ۴

منبع	معیارها و شاخص‌ها (عوامل)
	زیرمعیار مرتبط با جنبه‌های فرهنگی و ۴ زیرمعیار مرتبط با جنبه های قانونی.
محمودی چناری و همکاران (۱۳۹۸)	مناظر و چشم‌انداز طبیعی، مناظر و چشم‌انداز انسان‌ساخت، ظرفیت گردشگرپذیری، امکانات اقامتی و تفریحی، جاذبه‌ها و آثارتاریخی- فرهنگی و امکانات و خدمات زیرساخت.
شفقتی و همکاران (۱۳۹۶)	جمع‌آوری و ذخیره رواناب حوضه، کنترل سیل و جلوگیری از ورود سیلاب به داخل شهر، ایجاد پارک جنگلی و تفرجگاه برای استفاده مردم، پیشگیری از تغییر کاربری اراضی مجاور شهر، آشنایی شهرنشینان با اهداف و اقدامات آبخیزداری، اهمیت دادن به عناصر آب، خاک و گیاه، ارتقا سطح دانش عمومی و آموزش و ترویج در جهت حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی.
خضری و همکاران (۱۳۹۶)	متوسط بارندگی، فاصله منابع آبی، درصد شیب، وجود آبشار، تنوع پوشش جنگلی، امنیت و فاصله تا شبکه حمل ونقل جاده‌ای.
چراغعلی خانی و همکاران (۱۳۹۹)	جاذبه‌های طبیعی، اماکن تاریخی، اماکن تفریحی، امنیت، سطح هزینه‌ها، موقعیت جغرافیایی، تنوع جاذبه‌ها، منحصربه‌فردبودن جاذبه، فرهنگ و آداب و ر سوم منطقه، سبک زندگی افراد منطقه، فرهنگ مهمان‌نوازی، محصولات و سوغاتی‌ها، اماکن اقامتی و رفاهی، مراکز تجاری، وضعیت بهداشتی منطقه، مراکز خدماتی، عملکرد حمل و نقل، زیبایی و کیفیت معماری شهری، وضعیت سیاسی- مذهبی شهر مقصد، زبان و گویش مردم منطقه، معروفیت و شناخته شده بودن منطقه، فاصله و مسافت تا مقصد.
حیدرزاده و همکاران (۱۳۹۶)	در صد شیب، فا صله از مناطق رو ستایی، فا صله از جاده، فا صله از گسل، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، جهت، جنگل ابر، زمین‌لغزش، مراکز جاذب گرد شگری، فا صله از رودخانه، فا صله از مسیل‌های سیلابی، خدمات، پوشش جانوری.
ناجی دومیرانی و همکاران (۱۳۹۷)	لایه پو شش گیاهی، خطوط هم‌دما، بارش، راه‌های ارتباطی، شهر، روستا، شبکه آبراهه‌ها، چشمه‌ها، آبشار، ارتفاع و شیب.
درآهکی و همکاران (۱۳۹۸)	شیب، جهت و ارتفاع، سیمای سرزمین شامل کاربری‌اراضی و پوشش گیاهی، اقلیم شامل دما، بارندگی، ساعت آفتابی و سرعت باد غالب، سنگ و خاک شامل بافت خاک، عمق خاک و سنگ‌شناسی، منابع آب شامل فاصله از رودخانه و چشمه و

منبع	معیارها و شاخص‌ها (عوامل)
	چاه و قنات، حساسیت زیست‌محیطی شامل فاصله از معادن، فاصله از گسل، فاصله از پارک ملی و پناهگاه حیات وحش، دسترسی شامل فاصله از مناطق شهری، فاصله از جاذبه‌ها و فاصله از جاده.
اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)	معیار انسانی (فاصله از جاده، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، گردشگری، معدن و مناطق شهری)، هیدرو-اقلیمی (زیرمعیارهای بارش، رودخانه و دما)، فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) و زمین‌شناسی (خاک، سنگ‌شناسی و گسل).
Gul و همکاران (۲۰۰۶)	درجه شیب، مجاورت با منابع آب، دسترسی، ارتفاع، پوشش گیاهی، خاک، اقلیم، جهت، امکانات فرهنگی فعلی، ارزش های بصری و برخی عوامل محدودکننده (منفی) مطابق با ویژگی‌های پارک طبیعی شامل: آلودگی محیطزیست، خطوط تلفن و برق، آتش‌سوزی جنگل‌ها، فرسایش وآغل گوسفندان.
Zhang و همکاران (۲۰۱۳)	حفاظت از طبیعت، گردشگری و تفریح و توسعه جامعه، اهداف حفاظتی (گونه‌های درحال انقراض، اکوسیستم‌های کوهستانی و اکوسیستم‌های جنگلی).
Penberthy و همکاران (۲۰۱۴)	گونه‌های گیاهی مهاجم، استقرار پوشش گیاهی بومی ازجمله درختان به‌ویژه مخروطیان و گونه‌های زیراشکوب، پایش و نگه‌داری مداوم از مناطق ترمیم شده کاهش سیل، حذف آلاینده‌های هوا و ترسیب کربن می. جنگل‌های مرتفع، دره‌ای عمیق و نهر و سرزمین بوته‌ای باز و دارای معدن متروکه.
Zheng و همکاران (۲۰۱۹)	حساسیت بصری بر اساس سه بعد شیب، فاصله و دید. حساسیت اکولوژیکی با توجه به ارتفاع، شیب، جهت، نوع جنگل و فاصله تا رودخانه.

در جداول ۲ و ۳ خلاصه پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته به ترتیب در داخل و خارج کشور شامل عنوان و مکان مطالعه و روش‌های مورد استفاده در زمینه کاربری تفرج‌گاهی آورده شده است.

جدول ۲- خلاصه پیشینه پژوهش‌های داخلی

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان (۱۳۹۰)	مطالعات تفضیلی پارک آبخیز حوزه چاه ماری بهبهان	حوزه چاه ماری، شهرستان بهبهان، استان خوزستان	با تکیه بر دیدگاه احداث پارک‌های جنگلی و دیدگاه تفرجی
اصغریان و همکاران (۱۳۹۱)	شناسایی معیارها و شاخص های مدیریت طبیعت‌گردی در پارک‌های جنگلی شمال ایران با استفاده از روش دلفی	پارک‌های جنگلی شمال ایران	دلفی
رفیعیان و همکاران (۱۳۹۲)	برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق حساس شهری	رود-دره فرحزاد تهران	AHP
پوراحمد و همکاران (۱۳۹۴، الف)	بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی قابلیت‌های گردشگری نمونه موردی استان سمنان	استان سمنان	VIKOR,TOPSIS,ELECTR, Copeland
پوراحمد و همکاران (۱۳۹۴، ب)	مکان‌یابی فضای سبز شهری در شهرداری منطقه ۱۵ کلان‌شهر تهران در محیط GIS	منطقه ۱۵ تهران	TOPSIS, FAHP
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان (۱۳۹۴)	گزارش مطالعات پارک آبخیز رومشکان	شهرستان کوهدشت، استان لرستان	مطالعات منابع محیطی و عوامل اجتماعی – اقتصادی
محمدزاده و همکاران (۱۳۹۵)	ارزیابی پتانسیل توسعه پارک آبخیز در ساختار سیمای سرزمین	حوزه آبخیز دهنو، استان خوزستان	AHP
حسینی و همکاران (۱۳۹۵)	اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های ارزیابی پارک-های ملی با استفاده از طیف لیکرت و تکنیک انتروپی	پارک‌های ملی ایران	تکنیک انتروپی و طیف لیکرت با طراحی پرسشنامه دلفی

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
شفقتی و همکاران (۱۳۹۶)	پارک شهری اقدامی مناسب جهت بهسازی و توسعه اکوسیستم شهری، پارک آبخیزهای شهری شهرستان زنجان	پارک آبخیزهای شهری شهرستان زنجان	روش توصیفی و تحلیلی
حیدرزاده و همکاران (۱۳۹۶)	مدل‌سازی ارزیابی و پهنه بندی توان اکوتوریسم با منطق فازی، FAHP و TOPSIS شهرستان شاهرود	شهرستان شاهرود	دلفی FAHP و TOPSIS
خضری و همکاران (۱۳۹۶)	مکان‌یابی احداث پارک جنگلی با رویکرد تصمیم-گیری چندمعیاره در منطقهٔ دره شهدای ارومیه	دره شهدای ارومیه	ANP
پیش‌بهار و همکاران (۱۳۹۷)	اولویت‌بندی استراتژی‌های بازاریابی شرکت صنایع لبنی پگاه آذربایجان‌شرقی: کاربرد رهیافت‌های دیماتل و ویکور	شرکت صنایع لبنی پگاه آذربایجان‌شرقی	تحلیل سلسله مراتبی، دیمیتل و ویکور
جاودان و همکاران (۱۳۹۸)	ارائه مدل تحلیل رتبه پایداری در نواحی روستایی	بخش سربند استان مرکزی	نظرات خبرگان و تکنیک DEMATEL، ANP و ELECTERE3
درآهکی و همکاران (۱۳۹۸)	مکان‌یابی اکوپارک در منطقه مرکزی استان اصفهان	بخش مرکزی شهرستان اصفهان و شهرستانهای خمینی شهر، نجف آباد، فلاورجـان، لنجـان، مبارکه	تحلیل سلسله مراتبی(AHP) روش ترکیـب خطـی وزنـی (WLC)
محمودی چناری و همکاران (۱۳۹۸)	سنجش ظرفیت محیط روستاهای شهرستان ماسال برای توسعه گردشگری کشاورزی	شهرستان ماسال	(DANP) با کمک نرم افزار MATLAB

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
مدیری و همکاران (۱۳۹۸)	شناسایی و اولویت‌بندی عوامل اثرگذار در عملکرد ایمنی با رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه ی فازی(DANP)	نیروگاه سیکل ترکیبی	دلفی فازی دیمتل فازی تحلیل شبکه ی فازی
نوروزی و همکاران (۱۳۹۸)	پهنه‌بندی مخاطرات تنوع زیستی در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی بخش جنوبی (تحت مدیریت استان البرز) با استفاده از تکنیک (DANP)	در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی بخش جنوبی	آنتروپی شانون DANP
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی (۱۳۹۹)	معرفی اجمالی پارک آبخیز گردو	حوزه آبخیز گردو شهرستان اراک	توصیفی و تحلیلی
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری کردستان (۱۳۹۹)	مطالعات احداث پارک آبخیز کانی ماماتکه شهرستان سنندج	پارک آبخیز کانی ماماتکه شهرستان سنندج	توصیفی و تحلیلی
اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)	مکانیابی اکوپارک در شهرستان‌های مرکزی استان اردبیل با استفاده از مدل-های تحلیل چندمعیاره	سطح شهرستان‌های اردبیل، مشکین‌شهر، سرعین، نیر و نمین	فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش میانگین گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)
باقری‌راد و بهنامیان (۱۳۹۹)	انتخاب تأمین کننده با استفاده از رویکرد ترکیبی ANP-DEMATEL-VIKOR فازی	انتخاب تأمین کننده	DEMATEL ANP VIKOR
چراغعلی خانی و همکاران (۱۳۹۹)	رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب مکان هدف گردشگری در صنعت گردشگری ایران با استفاده از مدل دیمتل	کشور ایران	DEMATEL
حیدری و همکاران (۱۳۹۹)	پیاده‌سازی مدل آمایشی کاربری توریسم با استفاده از	شهرستان ملایر	ANP وDEMATEL و منطق فازی

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
	تلفیقی تصمیم‌گیری ANP و DEMATEL و منطق فازی		ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)
کمانرودی کجوری و غیره (۱۳۹۹)	عوامل و معیارهای مدیریت اکولوژیک‌محور رود-دره‌های کلانشهر تهران	رود-دره کن	دلفی فرآیند تحلیل شبکه‌ای
کوشکی و همکاران (۱۳۹۹)	مدل‌سازی توان اکولوژیک کاربری توسعه‌ی (مطالعه‌ی موردی: حاشیه‌ی شهر بروجرد)	حاشیه‌ی شهر بروجرد	DEMATEL و ANP ترکیب خطی وزنی WLC
محمودزاده و همکاران (۱۳۹۹)	تحلیل وضعیت بوم شناختی پارک‌های شهری مطالعه‌ی موردی: تبریز	پارک‌های ائل‌گلی، شمس، باغمیشه و ارم شهر تبریز	تحلیل شبکه‌ای، مدل تاپسیس و مدل الکترا
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان (۱۴۰۰)	گزارش پارک آبخیز بستک	شهر بستک	روش توصیفی و تحلیلی
هدایتی‌پور و همکاران (۱۴۰۰)	شناسایی و ارزیابی مناطق مستعد ژئوتوریسم با رویکرد توسعه پایدار (مطالعه موردی: محدوده قله دماوند درحوزه آبخیز هراز)	محدوده قله دماوند درحوزه آبخیز هراز	AHP دلفی
میرزاده طباطبایی و همکاران (۱۴۰۱)	تعیین الگوی مکانی پراکنش فضای سبز شهری (مطالعه موردی: منطقه پنج شهر شهرداری شهر تهران)	منطقه پنج شهرداری شهر تهران	پرسشنامه ویکور فرآیند تحلیل شبکه‌ای

جدول ۳- خلاصه پیشینه پژوهش‌های خارجی

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
Gul و همکاران (a ۲۰۰۶).	تحلیل چندمعیاره (MCA) برای مکان‌یابی جنگل‌های شهری جدید – نمونه ای از ایسپارتا ترکیه	شهردر ایسپارتا ترکیه	با استفاده ازتجزیه و تحلیل چندمعیاره (MCA) و روش مورد استفاده Van Elegem et al., 2002
Gul و همکاران (b ۲۰۰۶).	رویکردی برای تجزیه و تحلیل مناسبت تفریحی به برنامه ریزی تفریحی در پارک ملیGolcuk	پارک ملی Golcuk ترکیه	تحلیل چندعاملی
Zhang و همکاران (۲۰۱۳)	تلفیق یک فرآیند مشارکتی با یک تصمیم چند معیاره مبتنی بر GIS تجزیه و تحلیل برای پهنه بندی مناطق حفاظت شده در چین	پارک ملی Meili Snow Mountain چین	تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) تابع فازی مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و جلسات مشارکتی
Penberthy و همکاران (۲۰۱۴)	طرح سرپرستی پارک آبخیز، مشارکت کرکلند سبز	شهر کرکلند. ایالت واشنگتن	روش توصیفی و تحلیلی
Zheng و همکاران (۲۰۱۹)	حساسیت بصری در مقابل حساسیت اکولوژیکی: کاربرد GIS در برنامه ریزی پارک جنگلی شهری	پارک جنگلی ملی کوه تیانژو، استان فوجیان، چین جنوبی	AHP
Zhao و همکاران (۲۰۱۹)	ساخت مدل ارزیابی تناسب تفریحی پارک جنگلی حومه‌ای پارک جنگلی بایون، شهر لیشوی چین	پارک جنگلی بایون	تحلیل سلسله مراتبی و روش امتیازدهی خبره (دلفی)
Lin و همکاران (۲۰۲۰)	یک چارچوب ارزیابی برای توسعه زیرساخت سبز با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری ترکیبی جدید	-	DEMATEL DANP اصلاح شده VIKOR

منبع	عنوان	مطالعه موردی	روش‌های مورد استفاده
	برای ارتقای پایداری زیست‌محیطی.		
Ahmadimanesh و همکاران (۲۰۲۱)	ارزیابی و اولویت‌بندی مکان‌های بالقوه برای سرمایه‌گذاری در گردشگری	ایران	مصاحبه DEMATEL DANP VIKOR
Liu و Liu (۲۰۲۱)	استفاده از مدل DANP-mV برای بهبود اقدامات آموزشی پولی برای آژانس‌های مسافرتی در میان شیوع کووید ۱۹	آژانس‌های مسافرتی کشور تایوان	DEMATEL DANP VIKOR اصلاح شده

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در حوزه مدیریت منابع، انتخاب مکان بهینه برای هر فعالیت یا کاربری، یکی از تصمیم‌ها و اقدامات و مراحل کلیدی و اساسی در موفقیت و بقای پروژه‌ها است. در همین رابطه به جهت جدید بودن موضوع، مطالعه و پژوهش اندکی در خصوص مکان‌یابی پارک آبخیز انجام‌گرفته و به تهیه معیارهای اولیه مکان‌یابی پارک آبخیز اقدام شده است.

ازآنجاکه پیش‌بینی می‌شود احداث پارک آبخوان در کشور دارای ارزش بالای تحولی و توسعه‌ای منطقه‌ای خواهد بود، این مقاله درصدد پیشنهاد و معرفی طرح پژوهشی ملی با موضوع امکان‌سنجی ایجاد پارک بر اساس معیارهای کمی و کیفی از بین ایستگاه‌های تحقیقات آبخوانداری کشور و در واقع عرصه‌های مشخص عملیات آبخوانداری بوده است. برای مکان‌یابی مناسب، تعیین معیارها و شاخص‌های ارجح و تعیین اوزان و اهمیت شاخص‌ها و سپس پتانسیل‌یابی بر اساس این معیارها و شاخص‌ها و در نهایت ارزیابی و اولویت‌بندی عرصه‌های آبخوان برای ایجاد پارک بسیار مهم است. در این رابطه جمع‌بندی حاصل از مطالعات انجام‌شده درزمینه‌ی انتخاب مکان و احداث پارک‌های آبخیز نشان می‌دهد همانطورکه در منابعی ازجمله دستورالعمل فنی مکان‌یابی، طراحی و احداث پارک آبخیز (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، ۱۴۰۰) و تحقیقات مشابه از قبیل پارک‌های جنگلی و منابع تفرجگاهی و یا ژئوپارک‌ها برخی از معیارها و شاخص‌ها پیشنهاد شده است؛ لذا می‌توان معیارها و شاخص‌های مناسبی را برای ایجاد پارک آبخوان تعیین و تعریف و بر اساس آن به ارزیابی و اولویت‌بندی عرصه‌های ایستگاه‌های تحقیقات آبخوانداری کشور برای ایجاد پارک اقدام کرد.

در راستای فعال‌سازی ظرفیت‌های موجود و ایجاد و توسعه اصولی پارک آبخوان در کشور امکان‌سنجی احداث این پارک‌ها در عرصه ایستگاه‌های تحقیقات آبخوانداری کشور در قالب طرح پژوهشی ملی لازم است مورد بررسی و پس از آن با تدوین ضوابط و استانداردها احداث این پارک در دستور کار قرار گرفته، درصورت دستیابی به نتایج مثبت با همکاری دستگاه‌های اجرایی به طراحی و احداث این پارک‌ها و در نهایت ارزیابی اثرات و شرایط توسعه آن اقدام شود.

منابع

- اصغری سراسکانرود، ص.، م. فعال نذیری و ا. پیروزی. ۱۳۹۹. مکان‌یابی اکوپارک در شهرستان‌های مرکزی استان اردبیل با استفاده از مدل‌های تحلیل چندمعیاره، نشریه بوم شناسی کاربردی، سال نهم، شماره اول. ص ۷۹-۶۱.
- پوراحمد، ا.، ا. شهبازپور و م. خلیجی. ۱۳۹۴. الف. بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی قابلیت‌های گردشگری نمونه‌ی موردی استان سمنان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ششم، شماره بیستم و یکم. ص۶۶-۵۰.
- پوراحمد، ا.، م. شادمان رودپشتی، س. حسن‌پور، ا. شهرابی فراهانی و خ. فرجی‌راد. ۱۳۹۴. ب. مکان‌یابی فضایی سبز شهری در شهرداری منطقه ۱۵ کلان‌شهر تهران در محیط GIS، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی. دوره ۴۷، شماره ۱. ص۴۶-۳۳.
- جاودان، م.، ح. فرجی سبکبار، ط. صادقلو و ح. سجاسی قیداری. ۱۳۹۸. ارائه مدل تحلیل رتبه پایداری در نواحی روستایی، مطالعه موردی: بخش سربند استان مرکزی، فصلنامه توسعه پایدر محیط جغرافیایی، سال اول، شماره ۳، ص ۶۹-۵۱.
- چراغعلی خانی، ع.، ع. رضاعلی و س. ع. خوش لهجه. ۱۳۹۹. رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب مکان هدف گردشگری در صنعت گردشگری ایران (با استفاده از مدل‌دیمتل)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۵۲، شماره ۳، ص ۱۰۸۱-۱۰۷۱.
- حیدرزاده، ح.، ج. بالیست و ب. ملک‌محمدی. ۱۳۹۶. مدل‌سازی ارزیابی و پهنه‌بندی توان اکوتوریسم باTOPSIS وFAHP، منطق فازی مطالعه موردی: شهرستان شاهرود، پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۸، شماره ۱۵. ص۳۰-۱۷.
- دراهکی، آ.، م. ملکیان و س. پورمنافی. ۱۳۹۸. مکان‌یابی اکوپارک در منطقه مرکزی استان اصفهان، نشریه بوم‌شناسی کاربردی، سال هشتم، شماره دوم. ص ۵۹-۴۷.
- دستورالعمل فنی مکان‌یابی، طراحی و احداث پارک آبخیز. ۱۴۰۰. ضوابط و معیارهای آبخیزداری و آبخوان‌داری، معاونت آبخیزداری، دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.

- رفیعیان، م.، م. محمودی و س. شـــایان. ۱۳۹۲. برنامه‌ریزی کاربردی اراضـــی در مناطق حســـاس شهری، مطالعه موردی: رود دره فرحزاد-تهران. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال ۴، شماره ۱۶، ص ۶۴-۴۷.
- شفقتی، م.، م. ع. فتاحی اردکانی، و. س.ج.، موسوی. ۱۳۹۶. پارک آبخیزهای شهری اقدامی مناسب جهت بهسازی و توسعه اکوسیستم شهری؛ مطالعه موردی پارک آبخیزهای شهری شهرستان زنجان، سومین کنفرانس جامع مدیریت شهری ایران با رویکرد زیرساخت‌ها، خدمات و توسعه پایدار شهری. ص ۱۵-۱. تهران. ایران.
- کمانرودی کجوری، م.، ا، صفاری، م. سلیمانی مهرنجانی. و م، نعمتی ثانی. ۱۳۹۹. عوامل و معیارهای مدیریت اکولوژیک محور رود-دره های کلان‌شهر تهران. مطالعه موردی: رود-دره کن. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، سال ۷، شماره ۲، ص ۳۲-۲۱.
- کوشـکی، پ.، ح. پورخباز، ش. یوسـفی خانقاه و س. جوانمردی. ۱۳۹۹. مدل‌سـازی توان اکولوژیک کاربری توسعه‌ی، مطالعه موردی: حاشیه‌ی شهر بروجرد، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، سال بیست و چهارم، شماره ۲، ص۱۴۰-۱۱۱.
- گزارش پارک آبخیز بسـتک. ۱۴۰۰. معاونت آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری اسـتان هرمزگان.
- گزارش مطالعات پارک آبخیز رومشکان. ۱۳۹۴. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی. ۳۰۵ ص.
- محمدزاده، م.، ع. معظم زاده و م. اسکندری. ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل توسعه پارک آبخیز در ساختار سیمای سرزمین، دومین کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین، ص ۱۲-۱. اصفهان، ایران.
- محمودزاده، ح.، م. واعظی، م. باکویی و ر. رسـتمی. ۱۳۹۹. تحلیل وضـعیت بوم‌شـناختی پارک‌های شهری، مطالعه موردی: تبریز، فصـلنامه مطالعات شهری، شماره ۳۵. ص۷۴-۶۱.
- محمودی چناری، ح.، س. ح. مطیعی لنگرودی، ح. فرجی سبکبار، م. قدیری معصوم و م. یا سوری. ۱۳۹۸. سنجش ظرفیت محیط روستاهای شهرستان ما سال برای توسعه گردشگری کشاورزی، فصلنامه پژوهشهای روستایی، دوره ۱۰، شماره ۴، ص ۶۱۳-۵۹۹.
- مطالعات احداث پارک آبخیز کانی ماماتکه شـــهرســـتان ســـنندج. ۱۳۹۹. تلفیق مطالعات پایه و برنامه‌ریزی. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان. شرکت مهندسین مشاور مهاب گستر زاگرس.
- مطالعات تفضیلی پارک آبخیز حوزه چاه ماری بهبهان. ۱۳۹۰. برآورد پتانسیل و استعداد برنامه‌ریزی تفریحی. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان. شرکت مهندسی مشاور سازآب پردازان.

- میرزاده طباطبایی، م.، م. رباطی و ز. عزیزی. ۱۴۰۱. تعیین الگوی مکانی پراکنش فضای سبز شهری، مطالعه موردی: منطقه ۵ شهرداری شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۷، ص ۱۸۸-۱۷۱.
- ناجی دومیرانی، ص.، ف. فخرآبادی‌پور و ف. ساسان‌پور. ۱۳۹۷. تحلیل پهنه‌های مناسب توسعه اکوتوریسم با استفاده از تلفیق مدل FUZZY–AHP مطالعه موردی: بخش ماهان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، سال هشتم، شماره مسلسل بیست و نهم. ص ۱۰۷-۹۱.
- نوروزی، ا.، ش. پورابراهیم، ح. گشتاسب و ع. جهانی. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی مخاطرات تنوع زیستی در منطقه حفاظت شده البرزمرکزی بخش جنوبی (تحت مدیریت استان البرز) با استفاده از تکنیک DANP، فصلنامه علمی پژوهشی محیط زیست جانوری، سال یازدهم، شماره ۱، ص ۱۰۴-۹۷.
- Ahmadimanesh, F., M, Pourmehdi and M.M. Paydar. 2021. Evaluation and prioritisation of potential locations for investment in dental tourism, Soft Computing 25:15313–15333., https://doi.org/10.1007/s00500-021-06124-2
- Bordbar, N., P, Shojaei., R, Ravangard., P, Bastani., H, Joulaei and Z. Kavosi. 2021. Evaluation of the World Countries Health Referral System Performance Based on World Health Organization Indicators Using Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model, Value in Health Regional Issues, Volume 28, Pages 19-28, https://doi.org/10.1016/j.vhri.2021.06.006
- Gul, A., A. Gezer and B. Kane .2006. a. Multi-criteria analysis for locating new urban forests: An example from Isparta, Turkey. Urban Forestry & Urban Greening, 5: 57-71.
- Gul, A., M K. Orucu and O. Karaca. 2006. b. An Approach for Recreation Suitability Analysis to Recreation Planning in Golcuk Nature Park. Urban Forestry & Urban Greening, Environmental Management Vol. 37, No. 5, pp. 606–625.
- Lin, Sh-H., X, Zhao., J, Wu., F, Liang., J, Hsuan Li., R, Ji Lai., J, Chzi Hsieh and G. Hshiung Tzeng. 2020. An evaluation framework for developing green infrastructure by using a new hybrid multiple attribute decision-making model for promoting environmental sustainability, Socio-Economic Planning Sciences, pp. 1–16. https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100909.
- Liu, C.-H.; Liu, B. 2021. Using DANP-mV Model to Improve the Paid Training Measures for Travel Agents amid the COVID-19 Pandemic. Mathematics, pp. 1–19. https://doi.org/10.3390/math9161924.
- Penberthy, I., N. Salisbury, E. Sargent and L. Ciecko. 2014 .Watershed park stewardship plan, Green Kirkland Partnership.

- Zhang, Z., R, Sherman., Z, Yang., R, Wu., W, Wang., M, Yin., G. Yang and O. Xiaokun. 2013. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. Journal for Nature Conservation, 21: 225–240.
- Zhao, M., J, Zhang., J. Xie and M. Zhang. 2019. Empirical study on recreation suitability evaluation of suburban forest park–a case study of Baiyun Forest Park in Lishui City, China. Applied Ecology and Environmental Research 17(2):3499-3512.
- Zheng, Y., S, Lan., WY, Chen., X, Chen., X, Xu., Y, Chen and J. Dong. 2019. Visual sensitivity versus ecological sensitivity: An application of GIS in urban forest park planning, Urban Forestry and Urban Greening, https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.010.

گزارش وضعیت اجرای طرح آبخوانداری و پخش سیلاب در عرصه آبخوان‌های کشور

حسن وحید [۱]، محمد فرامرز [۲]، فرناز براتی* [۳]، مهدی شفقتی [۴]

۱-معاون آبخیزداری، امور مراتع و بیابان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

۲-مدیر کل دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

۳- * دکترای مهندسی منابع آب و کارشناس آبخیزداری دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

۴- دکترای جغرافیای طبیعی و معاون دفتر دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

Fbarati1365@yahoo.com

چکیده

از دیرباز استفاده از منابع آب زیرزمینی به دلایل متعدد از جمله اینکه همواره در دسترس بوده و کمتر در معرض خشکسالی و آلودگی قرار می گیرند، همچنین بواسطه توزیع مکانی و زمانی مناسب در سطح خشکیها، همواره مورد توجه خاص قرار داشته است. حفر قنوات بسیار از گذشته های دور تاکنون و توسعه روزافزون بهره برداری توسط چاهها، دلیلی بر این مدعاست. اما این منابع خدادادی زوال ناپذیر نبوده و بهره برداری بی رویه سبب گردیده در اکثر محدوده های مطالعاتی کشور، هر روزه شاهد افت سطح آب زیرزمینی، افزایش ارتفاع پمپاژ، کاهش آبدهی و در نهایت خشک شدن چاهها و قنوات باشیم و از سوی دیگر بواسطه نفوذ جبهه های آب شور از مناطق کویری، تخریب کیفیت آب استحصالی را مشاهده نماییم. لذا لزوم اتخاذ راهکارها و سیاست های جدید جهت حفظ و تقویت این منابع کاملاً احساس می شود.

یکی از بهترین راهکارها و سیاستهای اجرایی جهت حفظ و ذخیره سازی منابع آبی در هر منطقه واجد شرایط مناسب، اجرای پروژه های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب می باشد. اجرای طرحهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، بواسطه دارا بودن ظرفیت ذخیره سازی بالا، کم بودن تبخیر و تلفات آب، عدم نیاز به اختصاص زمین وسیع و غیره، نسبت به راه حلهای دیگر دارای برتری می باشد.

در تحقیق مورد نظر به بررسی پتانسیل ها و نیز وضعیت موجود اجرای پروژه مذکور، اثر بخشی ها و ارائه پیشنهادات در سطح کشور پرداخته خواهد شد .

واژه‌های کلیدی :

آبخوانداری، پخش سیلاب، مناطق مستعد، استحصال آب

مقدمه :

با توجه به مقدار متوسط ۲۵۰ میلی متر بارندگی سالانه در سطح کشور هر سال حدود ۴۱۳ میلیارد متر مکعب آب در اثر نزولات جوی در ایران وجود دارد که ۳۲۰ میلیارد متر مکعب آن (۷۸ درصد) مربوط به بارش ها در مناطق کوهستانی بوده و بارش روی دشت ها تنها ۹۳ میلیارد مترمکعب را شامل می گردد. در مجموع حدود ۷۲ درصد از بارندگی ها بلافاصله از طریق تبخیر- تعرق مجددا وارد جو می شود و لذا حجم آب قابل استحصال که عمده ی آن نیز در مناطق کوهستانی است بسیار اندک می باشد(۲۸درصد نزولات جوی). از مجموع نزولات جوی سالانه ۹۲ میلیارد متر مکعب بصورت آب های سطحی جاری شده و ۲۵ میلیار مترمکعب نیز به طور مستقیم به داخل زمین نفوذ می کند. بنابراین در مجموع مقدار آب قابل تجدید کشور که از بارندگی ها حاصل می شود حدود ۱۱۷ میلیارد متر مکعب در سال تخمین زده می شود. از مجموع ۱۰۵ میلیارد متر مکعب آب های سطحی (با احتساب آب ورودی از مرزهای کشور) حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب آن در مسیر جریان به داخل خاک نفوذ کرده و وارد آب های زیرزمینی می گردد حدود ۴۱ میلیارد متر مکعب مصرف می شود و بقیه وارد دریا و دریاچه ها و کویرها شده و یا توسط رودخانه های مرزی از کشور خارج می گردد.اگر درنظر بگیریم که از ۴۱ میلیارد متر مکعب آب سطحی مصرف شده نیز ۱۸ میلیارد مترمکعب آن به سفره های زیرزمینی نفوذ می‌کند. جمع تغذیه ی آب های زیرزمینی ۵۶ میلیارد مترمکعب(۲۵+۱۳+۱۸=۵۶) است در حالی که برداشت از این منابع سالانه ۶۳ میلیارد مترمکعب و یا بیشتر می باشد. به عبارت دیگر لایه های آب دار زیرزمینی کشور هر سال با بیش از ۷ میلیارد مترمکعب کسری مخازن مواجه می باشند .این امر از یک سو حساسیت بیشتر آب های زیرزمینی را نسبت به استفاده های بی رویه روشن می سازد و از سوی دیگر برنامه ریزی دقیق تری را براساس اصول هیدرولوژی برای آب های سطحی کشور که منابع عمده ی آب هستند طلب می نماید.

از طرفی با وجود برنامه های ارزشمندی که از چندین دهه ی قبل با هدف " مدیریت منابع آب" طراحی شده و در فاز اجرایی به انجام رسیده یا می رسند در گستره ی وسیعی از کشور جریان های آبی موقتی در سیلاب مشاهده می شود که برای احداث تاسیسات بزرگ نظیر سد فاقد توجیه فنی و یا اقتصادی می باشند از این رو و با هدف دستیابی به اهداف و نتایج جامع " مدیریت منابع آب" پخش سیلاب به عنوان راهکاری آزموده و موفق در حوزه های آبخیز به منظور حفاظت و یا توسعه ی منابع موجود سطحی وزیرسطحی حایز اهمیت می باشد .پخش سیلاب نیز از روش های مهم در تغذیه ی سفره های آب زیرزمینی آبخوان محسوب می گردد.

نتایج انجام عملیات آبخیزداری بر کسی پوشیده نیست. اگر میان خسارات حاصل از عدم اجرای طرح های آبخیزداری از لحاظ اقتصادی با اجرای طرح های آبخیزداری مقایسه ای صورت گیرد، ملاحظه خواهد شد که خسارات وارده و هزینه های ناشی از عدم اجرای طرح های آبخیزداری بسیار زیادتر خواهد بود.

لیکن توجیه موفقیت عملیات آبخیزداری تنها در گرو ارزیابی دقیق و علمی پروژه‌است. جهت ملموس تر بودن این نتایج نیاز به سیستم نظارت دقیق بر انجام پروژه هاست تا بتوان رابطه ای منطقی بین مطالعات و اجرا برقرار کرد.

یکی از بهترین راهکارها و سیاستهای اجرایی جهت حفظ و ذخیره سازی منابع آبی در هر منطقه واجد شرایط مناسب، اجرای پروژه های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب می باشد. اجرای طرحهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، بواسطه دارا بودن ظرفیت ذخیره سازی بالا، کم بودن تبخیر و تلفات آب، عدم نیاز به اختصاص زمین وسیع و غیره، نسبت به راه حلهای دیگر دارای برتری می باشد.

همچنین با عنایت به ماده ۲۷ قانون افزایش بهره وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی؛ دولت مکلف است به گونه‌ای برنامه‌ریزی نماید که تا سال ۱۴۰۴ هجری شمسی و با استفاده بهینه از منابع مندرج در فصل تأمین آب بودجه‌های سنواتی، حداقل پانزده درصد (۱۵٪) متوسط بلند مدت نزولات آسمانی سالانهٔ کشور (هفت و نیم درصد (۷/۵٪) از محل کنترل آبهای سطحی و هفت و نیم درصد (۷/۵٪) از طریق آبخیزداری و آبخوانداری) به حجم آب استحصالی کشور اضافه گردد و صد در صد (۱۰۰٪) ترازنامه (بیلان) منفی آبهای زیرزمینی دشتهای کشور (با اولویت دشتهای ممنوعه آبی) جبران گردد.

حال با توجه به مطالعات انجام شده، از مجموع حدود ۶۳ میلیون هکتار مناطق نفوذپذیر در کشور، بیش از ۱۴ میلیون هکتار اراضی مستعد اجرای طرح‌های آبخوانداری و پخش سیلاب در سطح کشور شناسایی گردیده است. که با اجرای عملیات پخش سیلاب بر عرصه آبخوان های کشور می‌توان خسارات سیل را به نعمت تبدیل کرد. با تغذیه سیلاب‌ها به درون سفره‌های آب زیرزمینی، نه تنها موجب رونق و شکوفایی عرصه‌های بایر شده بلکه از ایجاد خسارت توسط سیل‌های ویرانگر نیز جلوگیری می‌نماید. البته در ادامه ارزیابی‌های صورت گرفته برروی ۸۶ دشت فوق بحرانی کشور، نتایج فوق نشاندهنده این است که در حدود ۱۱ میلیون هکتار از اراضی فوق، از درجه اهمیت بالاتری از نقطه نظر افت سفره‌های آب زیرزمینی و ایجاد سیل‌های مخرب در الویت می‌باشند.

بنابراین برای جبران کسری ۵ میلیارد مترمکعبی آبخوان های زیرزمینی در هر سال و تحقق اهداف ۷,۵ درصدی تغذیه آبخوان ها از طریق آبخیزداری، آبخوانداری و پخش سیلاب برعرصه آبخوان دشت‌های فوق بحرانی، و اجرایی عملیات آبخوانداری در ۱۱ میلیون هکتار از عرصه های مستعد به اعتباری مناسب نیاز است که از روند تخریب سیلابها، افت سطح آب زیرزمینی، فرسایش خاک و فرونشست دشتها، جلوگیری نماید. این درحالیست که ارزیابی های مراکز تحقیقاتی نشان می دهد؛ هر هکتار فعالیت آبخوانداری و پخش سیلاب به طور متوسط سالانه ۱۰۰۰ مترمکعب آب را نفوذ می دهد.

شکل۱- نمایی از سیستم پخش سیلاب

مروری بر برنامه‌های پخش سیلاب در کشور

بررسی‌های گسترش سیلاب در ایران از سال ۱۳۴۸ در قالب برنامه‌های اجرایی و پژوهشی آبخیزداری به اجرا در آمده است. اولین طرح اجرایی پخش سیلاب در منطقه سرچم واقع در حوزۀ آبخیز زنجانرود در قالب طرح آبخیزداری سفیدرود در سال ۱۳۵۱ اجرا شده و متعاقب آن در نودهک قزوین اولین طرح تحقیقاتی پخش سیلاب به‌وسیله مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع اجرا شده است .

با توجه به پیشرفت‌های علمی و عملی، الگوبرداری از بهره‌برداری سیلاب‌ها به روش‌های سنتی در ایران و سایر ملل جهان و استفاده از ابتکارات و خلاقیت‌های نیاکان ما پخش سیلاب به شیوه علمی برای اولین بار در ایران، در ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب کوثر (گربایگان فسا) در عرصه‌های بیابانی و در قالب یکی از طرح‌های تحقیقاتی وزارت جهاد سازندگی سابق توسط کوثر به اجرا درآمده است. در این عرصه در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، اراضی با مشکل کم آبی روبرو بوده و به‌دلیل افت شدید سطح سفره‌های آب و شور شدن تدریجی آب‌ها باعث تشدید بیابانی شدن منطقه شده بود. میزان

بهره‌برداری از آب زیرزمینی قبل از اجرای طرح پخش سیلاب در این ایستگاه تحقیقاتی در حدود چهار میلیون متر مکعب در سال برآورد شده که همراه با بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی و شور شدن آب بوده است.

با اجرای طرح پخش سیلاب در پهنه ۱۳۶۵ هکتار از مخروط افکنه گربایگان – فسا، برداشت آب از آبخوان این عرصه بالغ بر ۱۲ میلیون متر مکعب با افت ناچیز سطح سفره آب زیرزمینی ثبت گردیده است. متعاقب آن سطح زیر کشت اراضی از ۳۰۰ هکتار به ۱۲۰۰ هکتار، تعداد چاه‌های حفر شده به حدود هفت برابر قبل از اجرای این طرح افزایش یافته است (کوثر، ۱۳۷۴). علاوه بر این، احیای قنات‌های موجود و تبدیل عرصه منطقه بیابانی به مراتع مشجر و ایجاد تعادل اکولوژیکی از جمله دستاوردهای این پروژه می‌باشد. تحول چشمگیر حاصل از نتایج طرح موجب ایجاد عرصه‌ای با تعادل زیست محیطی در دل بیابان شده است. حاصل این تجربه، ایجاد مخزن زیرزمینی با ظرفیت ۱۲۵ میلیون مترمکعب است که خود معادل حجم برخی ازسدهای مخزنی احداث شده در کشور می‌باشد.(پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، آبان۱۳۹۵)

شکل۲- نمایی از اراضی احیا شده توسط عملیات آبخوانداری

آبخوان‌داری در اسناد بالادستی

بررسی اسناد و قوانین بالادستی، نشان از وجود ردپای قوی در مقابله با بحران کم‌آبی و سیل با اجرای روش‌های مناسب پخش سیلاب، آبخیزداری و آبخوانداری را می‌دهد. نظریه معاونت حقوقی و مجلس

ریاست جمهوری در خصوص دستگاه مسئول طرح‌های پخش سیلاب و آبخوانداری (به شماره ۶۴۸۹/۴۰۶ به تاریخ ۱۳۷۵/۸/۱)، ابلاغ سیاست‌های کلی "محیط زیست" توسط رهبر معظم انقلاب اسلامی در اجرای بند یک اصل ۱۱۰ قانون اساسی مبنی بر تعادل‌بخشی و حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی از طریق اجرای عملیات آبخیزداری، آبخوان‌داری، مدیریت عوامل کاهش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تبخیر و کنترل ورود آلاینده‌ه، ماده ۱۳ قانون افزایش بهره وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی، ماده ۱۴۰ قانون برنامه پنجساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، بند ج ماده ۱۳ لایحه برنامه ششم توسعه و ... همگی به مقابله با بحران کم‌آبی و اقدام برای احیاء و تقویت منابع آبهای زیرزمینی با اجرای روش‌های مناسب تعادل‌بخشی، تغذیه مصنوعی، پخش سیلاب، آبخیزداری و آبخوانداری اشاره دارند؛ که در ادمه به هریک از آن‌ها اشاره می‌شود.

❖ ابلاغ سیاست‌های کلی محیط زیست توسط رهبر معظم انقلاب

در اجرای بند یک اصل ۱۱۰ قانون اساسی، مقام معظم رهبری سیاست‌های کلی محیط زیست را ابلاغ فرمودند. "تعادل‌بخشی و حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی از طریق اجرای عملیات آبخیزداری، آبخوان‌داری، مدیریت عوامل، کاهش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تبخیر و کنترل ورود آلاینده‌ها" یکی از بندهای مهم ابلاغیه مذکور است که تاکید فراوانی به اجرای عملیات آبخیزداری و آبخوان‌داری به منظور تعادل‌بخشی و حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی دارد.

❖ قانون برنامه ششم توسعه

در بند ج ماده ۱۳ قانون برنامه ششم توسعه و احکام مورد نیاز آن، به پخش سیلاب، آبخیزداری و آبخوان‌داری به منظور احیاء و تقویت منابع آب‌های زیرزمینی به شرح زیر اشاره شده است. " به‌منظور مقابله با بحران کم‌آبی و رهاسازی حق‌آبه‌های زیست محیطی برای پایداری سرزمین و تولید پایدار در بخش کشاورزی، تعادل‌بخشی به سفره‌های زیرزمینی و همچنین کاهش مصرف سالانه آب به میزان یازده میلیارد مترمکعب تا پایان برنامه اقدامات زیر انجام می‌گیرد:

ج) اقدام برای احیاء و تقویت منابع آب‌های زیرزمینی با اجرای روش‌های مناسب تعادل‌بخشی، تغذیه مصنوعی، پخش سیلاب، آبخیزداری و آبخوان‌داری، مسلوب‌المنفعه نمودن چاه‌های فاقد پروانه بهره‌برداری و نصب کنتور هوشمند حجمی آب و برق بر روی‌چاه‌های دارای پروانه بهره‌برداری."

فعالیت‌های اجرائی پخش سیلاب در سطح کشور

طی دهه‌های گذشته و از شروع فعالیت آبخیزداری در سال ۱۳۷۱ تاکنون، نه تنها معاونت آبخیزداری در بخش‌هایی نظیر کنترل سیلاب، کنترل فر سایش، حفاظت خاک و غیره فعالیت‌های بسزائی انجام داده، بلکه برای تغذیه آبخوان های زیرزمینی نیز اقدامات موثری نظیر اجرای پروژه‌های پخش سیلاب به شرح ذیل داشته است.

شکل ۳- پخش سیلاب حوزه میهم شهرستان قروه

الف- فعالیت‌های اجرایی پروژه‌های پخش سیلاب تا پایان سال ۱۳۹۹

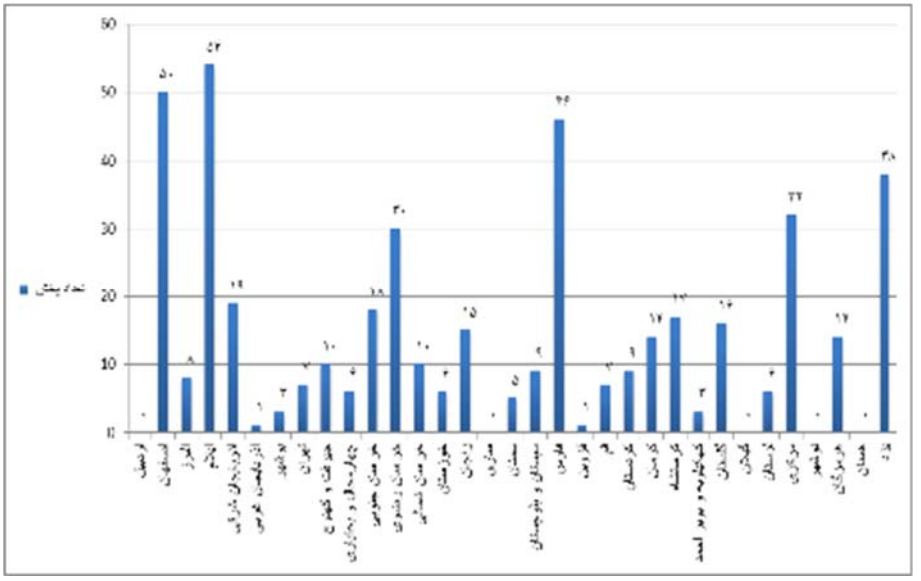
در این بخش تعداد پروژه‌های اجرایی پخش سیلاب از بدو فعالیت‌های آبخیزداری در وزارت جهاد سازندگی (سال ۱۳۷۰) تا پایان سال ۱۳۹۹ به صورت خلاصه در جدول شماره (۱) و به صورت کامل در قسمت پیوست می‌باشد. که در مجموع تعداد ۴۵۴ پخش سیلاب در این جدول ثبت گردیده است. (به تفکیک استان در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است) که مجموع حجم آبگیری آن در یک نوبت آبگیری نزدیک به ۲۸۰ میلیون مترمکعب در وسعتی حدود ۹۵۰۰۰ هکتار می‌باشد. حال با در نظر گرفتن ارزیابی‌های صورت گرفته تو سط پژوه شکده حفاظت خاک و آبخیزداری در مورد نفوذ و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی توسط پروژه‌های پخش سیلاب به میزان ۱۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار، برآورد می‌گردد سالانه در حدود ۹۵ میلیون متر مکعب از سیلاب‌های کشور توسط پروژه‌های پخش سیلاب به درون سفره‌های آب زیرزمینی تزریق می‌گردد.

جدول۱- خلاصه مشخصات پروژه های پخش سیلاب کشور

ردیف	استان	تعداد پخش	متوسط دفعات آبگیری در سال	مساحت کل عرصه پخش سیلاب (hec)	حجم آبگیری (m^3)	حجم مخزن (m^3)
۱	اردبیل	۰	۰	۰	۰	۰
۲	اصفهان	۵۰	۳.۵	۱۲۲۷۹	۳۶۴۴۵۰۰۰	۱۰۴۱۲۸۵۷
۳	البرز	۸	۵	۱۸۳	۱۲۸۲۸۹۰	۲۵۶۵۷۸
۴	ایلام	۵۴	۲.۹	۶۸۹۴	۶۷۱۵۹۰۰	۲۳۱۵۸۲۸
۵	آذربایجان شرقی	۱۹	۲.۲	۳۶۳	۸۱۷۹۹۷۳	۳۷۱۸۱۷۰
۶	آذربایجان غربی	۱	۳	۶۰۰	۲۰۰۰۰۰	۶۶۶۶۷
۷	بوشهر	۳	۴	۱۲۶۹	۶۰۳۳۰۰۰	۱۵۰۸۲۵۰
۸	تهران	۷	۴.۳	۲۷۴۶	۱۲۵۷۹۵۶۳	۲۹۲۵۴۸۰
۹	جیرفت و کهنوج	۱۰	۳	۱۲۷۸	۱۱۲۴۰۵۰۰	۳۷۴۶۸۳۳
۱۰	چهارمحال و بختیاری	۶	۳.۲	۵۹	۳۶۱۵۲۵	۱۱۴۰۴۶
۱۱	خراسان جنوبی	۱۸	۱.۸	۴۹۹۸	۶۵۱۹۵۰۰	۳۶۲۱۹۴۴
۱۲	خراسان رضوی	۳۰	۲	۴۳۸۳	۳۴۱۶۸۴۱۲	۱۷۰۸۴۲۰۶
۱۳	خراسان شمالی	۱۰	۲.۵	۶۷۸	۷۱۱۷۰۰۰	۲۸۴۶۸۰۰
۱۴	خوزستان	۶	۲.۱	۱۲۸۶۳	۱۳۲۱۵۰۲۶	۶۲۹۲۸۶۹
۱۵	زنجان	۱۵	۲.۹	۹۳	۲۷۱۰۰۰۰	۹۳۴۴۸۳
۱۶	ساری	۰	۰	۰	۰	
۱۷	سمنان	۵	۳.۲	۲۶۶۲	۷۰۵۲۰۰	۲۲۰۳۷۵
۱۸	سیستان و بلوچستان	۹	۱.۶	۱۸۱۲۲	۶۰۳۲۰۰۰۰	۳۷۷۰۰۰۰۰
۱۹	فارس	۴۶	۲.۸	۲۲۹۲	۵۶۵۱۷۰۶	۲۰۱۸۴۶۶
۲۰	قزوین	۱	۳	۸۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰
۲۱	قم	۷	۱.۷	۷۳۲	۸۷۵۳۰۰	۵۱۴۸۸۲
۲۲	کردستان	۹	۶	۱۸۷	۱۸۰۹۶۰۰	۳۰۱۶۰۰
۲۳	کرمان	۱۴	۳.۴	۷۸۹۰	۱۵۵۱۰۰۰۰	۴۵۶۱۷۶۵
۲۴	کرمانشاه	۱۷	۴.۱	۵۳۲	۱۵۷۶۰۰۰	۳۸۴۳۹۰
۲۵	کهکیلویه و بویر احمد	۳	۶	۱۰۹	۲۸۲۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰
۲۶	گلستان	۱۶	۲.۴	۱۹۶	۴۶۴۷۳۰۰	۱۹۳۶۳۷۵
۲۷	گیلان	۰	۰	۰	۰	
۲۸	لرستان	۶	۲	۱۰۵۱	۲۷۱۴۶۰	۱۳۵۷۳۰
۲۹	مرکزی	۳۲	۱.۹	۳۹۰۵	۷۵۸۰۸۲۰	۵۲۶۲۰۹۰
۳۰	نوشهر	۰	۰	۰	۰	
۳۱	هرمزگان	۱۴	۲.۹	۴۵۰۷	۱۹۱۷۲۴۹۷	۶۶۱۱۲۰۶
۳۲	همدان	۰	۰	۰	۰	۰
۳۳	یزد	۳۸	۲.۱	۲۸۷۶	۱۱۵۸۲۰۰۰	۵۵۱۵۲۳۸
	جمع	۴۵۴	۲.۶	۹۴۵۴۷	۲۸۰۴۹۰۱۷۲	۱۳۱۸۷۷۱۲۸

ب- ایستگاه‌های آبخوان‌داری کشور

پژوه شکده تعداد ۳۷ ای ستگاه پخش سیلاب (آبخوان داری) را در مناطق مختلف ک شور احداث نموده است. طرح ملی احداث ایستگاه های پخش سیلاب بر آبخوان ها (ایستگاه های آبخوان داری)، به عنوان انقلابی سبز در عر صه های منابع طبیعی طی سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ تو سط وزارت جهاد سازندگی سابق اجرایی شد. این بر نامه به عنوان یکی از راهکار های مهم آبخیزداری برای بهبود منابع آب زیرزمینی، جلوگیری از خسارات و تلفات سیلاب ها، با اهداف اجرایی و تحقیقاتی در ۳۷ نقطه از کشور اجرا گردید. نتایج اجرایی آن در بخش آب، جلوگیری از خسارات سیل در پایین دست، مهار ۱.۲ میلیارد مترمکعب سیلاب، تغذیه ۱,۲ میلیارد مترمکعب آب در سفره های زیرزمینی و بهبود کیفیت آب آبخوان می باشد. افزون بر این حفاظت خاک، کنترل شن های روان، جذب کربن و انتقال آن به خاک، تولید علوفه، بهبود پوشش گیاهی، جنگل‌کاری(درختکاری حدود یک میلیون اصله نهال)، ایجاد اشتغال، جلوگیری از مهاجرت، بهبود شرایط محیط زیست و بهبود شرایط امنیت غذایی، بخش کوچکی از نتایج اجرایی این طرح است.



نمودار۱- فراوانی پخش سیلاب به تفکیک استان از ابتدا تا انتهای سال ۱۳۹۹

نقشه۱- موقعیت ایستگاه های آبخوان داری

ج- فعالیت‌های اجرایی پروژه‌های پخش سیلاب صندوق توسعه ملی

در این بخش تعداد پروژه‌های اجرایی پخش سیلاب در سال های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ به شرح جدول شماره ۲ ارائه شده است. که در مجموع تعداد ۱۴۶ پخش سیلاب در این جدول ثبت گردیده است. که مجموع حجم آبگیری آن در یک نوبت آبگیری نزدیک به ۱۲۰ میلیون مترمکعب در وسعتی حدود ۳۶۰۰۰ هکتار می‌باشد.

جدول۲- مشخصات پخش سیلاب طی سه سال صندوق توسعه ملی

ردیف	استان	۱۳۹۷	مساحت کل عرصه پخش سیلاب (hec)	حجم آبگیری (m^3)	۱۳۹۸	مساحت کل عرصه پخش سیلاب (hec)	حجم آبگیری (m^3)	۱۳۹۹	مساحت کل عرصه پخش سیلاب (hec)	حجم آبگیری (m^3)	کل تعداد پخش سیلاب در صندوق توسعه ملی
۱	اردبیل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	اصفهان	۶	۸۹۲	۱۱۳۰۰۰۰	۷	۹۲۲	۲۷۱۵۰۰۰	۴	۹۶۵	۲۱۵۰۰۰۰	۱۷
۳	البرز	۲	۵۸	۴۰۷۳۲۸۸	۲	۴۵	۳۱۶۲۶۰	۳	۳۳	۲۳۴۱۵۰	۷
۴	ایلام	۲		۵۵۰۰۰	۵	۲۰۰	۳۲۰۰۰۰	۶	۱۷۶۵	۴۸۵۰۰۰	۱۳
۵	آذربایجان شرقی	۱	۰.۵	۱۷۴۷۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۶	آذربایجان غربی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۷	بوشهر	۰	۰	۰	۱	۳	۳۳۰۰۰	۱	۱۲۶۰	۶۰۰۰۰۰۰	۲
۸	تهران	۳	۱۸۵۲	۲۰۸۰۰۰۰	۰	۰	۰	۱	۶۰	۸۹۴۴۷۳۰	۵
۹	جنوب کرمان	۱	۳۰۵	۵۳۸۰۰۰	۱	۲۰۰	۶۸۰۰۰۰	۳	۶۰۳	۱۷۲۲۵۰۰	۵
۱۰	چهار محال و بختیاری	۱	۷	۷۰۰۰۰	۰	۰	۰	۱	۷	۳۱۹۵۰	۴
۱۱	خراسان جنوبی	۰	۰	۰	۱	۲۰	۱۰۰۰۰۰	۲			۳
۱۲	خراسان رضوی	۸	۴۹۵	۳۱۸۸۰۰۰	۹	۱۲۱۸	۳۱۶۶۸۴۸	۱	۱۰۰	۱۸۰۱۴	۱۹
۱۳	خراسان شمالی	۲	۱۳۷	۱۴۰۰۰۰۰	۲	۱۳۷	۱۴۰۰۰۰۰	۲	۹۶	۹۰۸۰۰۰	۶
۱۴	خوزستان	۱	۴۵	۳۰۰۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۱۵	زنجان	۳	۱۷	۴۸۵۰۰۰	۲	۵.۵	۱۲۵۰۰۰۰	۰	۰	۰	۷
۱۶	ساری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷	سمنان	۰	۰	۰	۳	۱۴۱۲	۴۳۸۰۰۰	۰	۰	۰	۳
۱۸	سیستان بلوچستان	۰	۰	۰	۳	۱۵۰۰۰	۲۰۲۵۰۰۰۰	۳	۲۷۷۰	۳۸۱۰۰۰۰۰	۶
۱۹	فارس	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	قزوین	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱	قم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲۰۰		۱
۲۲	کردستان	۳	۷۴	۶۱۲۰۰۰	۲	۴۳	۷۹۹۰۰۰	۱	۵	۷۵۰۰۰	۷
۲۳	کرمان	۱	۵۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۲	۱۰۰۰	۲۳۰۰۰۰۰	۲	۱۰۰۰	۲۳۰۰۰۰۰	۵
۲۴	کرمانشاه	۳	۲۷	۲۰۰۰۰۰	۴	۱۶۰	۵۳۰۰۰۰	۲	۸۵	۳۵۰۰۰۰	۹
۲۵	کهکیلویه بویراحمد	۱	۲۲	۶۴۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۲۶	گلستان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۱۷	۴۱۱۳۰۰	۵
۲۷	گیلان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۸	لرستان	۰	۰	۰	۱	۴۰۰	۱۱۷۰۰۰	۲	۲۱۰	۱۲۲۰۰۰	۳
۲۹	مرکزی	۱	۱۰	۹۰۰۰۰	۱	۳	۱۹۵۰۰	۴	۴۵۰	۹۰۰۰۰۰	۶
۳۰	نوشهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۱	هرمزگان	۱	۲۰۰		۰	۰	۰	۲	۱۸۲	۲۷۲۲۴۹۷	۳
۳۲	همدان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۳	یزد	۴	۳۸۴	۱۰۰۵۰۰۰	۱	۷۳	۸۰۰۰۰	۱	۸	۱۳۰۰۰۰	۶
	جمع کل	**۴۴**	**۵۰۲۶**	**۱۹۷۸۳۷۶۱**	**۴۷**	**۲۰۸۴۲**	**۳۴۵۱۴۶۰۸**	**۴۶**	**۹۸۱۷**	**۶۵۶۰۵۱۴۱**	**۱۴۶**

پروژه های پخش سیلاب سال ۱۴۰۰

در سال ۱۴۰۰ تعداد ۳۸ پروژه جهت اجرا ثبت گردیده ا ست که با توجه به آمار بخش های قبلی یعنی از ابتدا تا سال ۱۴۰۰ در مجموع حدود ۴۹۲ پروژه پخش سیلاب اجرا گردیده است.

پروژه های پیشنهادی در سال‌های آتی

در این زمینه معاونت آبخیزداری سازمان به کمک پژوهشکده آبخیزداری و دفتر مهندسی سازمان متبوع همکاری‌هایی در خصوص شناسائی مناطق مستعد جهت اجرای پروژه‌های پخش سیلاب به وسعت تقریبی ۱۴ میلیون هکتار که در اصلاح نهایی میزان حدود ۱۱ میلیون هکتار در جدول ذیل اقدام نموده ا ست. بنابراین امید ا ست در سال‌های آتی با تخ صیص اعتبارات منا سب و مکفی بتوان با اجرای پروژه‌های جدید پخش سیلاب از افت روز افزون سطوح سفره‌های آب زیرزمینی جلوگیری به عمل آورد.

بنابراین با اجرای طرح‌های مختلف آبخوانداری و پخش سیلاب در سطح کل ک شور در و سعتی بالغ بر ۱۱ میلیون هکتار می‌توان نتایج و پیامدهای بسیار مفیدی را از جمله کنترل بخشی از سیلاب‌ها، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، کاهش تبخیر، کاهش دبی پیک سیلاب‌ها، تله اندازی و جمع‌آوری رسوبات ریز دانه با خاکدانه‌های بسیار غنی، تسطیح زمین در نتیجه انباشته شدن این رسوبات، احداث جنگل‌های مثمر و غیرمثمر، افزایش رطوبت خاک و کاهش ریزگردها و شن‌های روان، حفظ خاک و بالاخره افزایش تولید علوفه انتظار داشت.

مرمت و بازسازی پروژه های پخش سیلاب

درخصوص بازسازی، ترمیم و احیای پروژه‌های پخش سیلاب آسیب دیده و خارج از مدار آبگیری، با عنایت به اهمیت موضوع و مسکوت ماندن سرمایه ای عظیم در شرایط فعلی کم آبی و بحران آبی کشور بر ضرورت این مهم افزوده می شود و نیاز به دقت نظر م سئولین و کار شنا سان محترم و ا ستفاده از تمامی ظرفیت‌های موجود به عنوان اولویت، ضرورت و نیاز امروز و فردا همسو با اهداف سازمان، راه‌اندازی مجدد پروژه‌های این چنینی است. بر همین اساس، کارشناسان دفتر و گروه برآن شدند که در این زمینه فعالیت جدید را شروع کرده و پیگیر اینچنین مواردی باشند تا قدمی هر چند کوچک ولی استوار و تأثیرگذار بردارند.

شکل۴- نمایی از پخش سیلاب چناران (بند انحرافی، دریچه‌های آبگیر و سرریز پخش سیلاب)

نتیجه گیری

با عنایت به اینکه پروژه‌های پخش سیلاب با راندمان بیشتری نسبت به سایر عملیات مکانیکی مشابه عمل می‌نمایند و نقش مهمی در ذخیره و نفوذ آب دارند پس چه بهتر که با توجه به این موضوع بیشتر تمرکز و برنامه‌ریزی‌های دفتر روی این پروژه لحاظ گردد. که این امر نیز در راستای وظیفه مندی این معاونت نسبت به تغذیه آبخوان‌ها و حفظ تعادل اکولوژیک حوزه‌های آبخیز می‌باشد.

پیشنهادات

با توجه به اینکه تعداد پروژه‌های اجرایی پخش سیلاب از بدو فعالیت‌های آبخیزداری در وزارت جهاد سازندگی (سال ۱۳۷۰) تا پایان سال ۱۴۰۰ در مجموع تعداد ۴۹۲ مورد پخش سیلاب که حجم آبگیری آن در یک نوبت آبگیری نزدیک به ۳۱۴ میلیون مترمکعب در وسعتی حدود ۱۰۸۰۰۰ هکتار (عرصه اجرای پخش سیلاب) می‌باشد. حال با در نظر گرفتن ارزیابی‌های صورت گرفته توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در مورد نفوذ و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی توسط پروژه‌های پخش سیلاب به میزان ۱۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار در سال، برآورد می‌گردد سالانه در حدود ۱۰۸ میلیون مترمکعب از سیلاب‌های کشور توسط پروژه‌های پخش سیلاب به درون سفره‌های آب زیرزمینی تزریق می‌گردد. این تعداد مجزا از تعداد ۳۷ ایستگاه تحقیقاتی آبخوانداری (پخش سیلاب) کشور تحت مدیریت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد.در سال ۱۴۰۱ اعتبار تعداد ۱۱ مورد پخش سیلاب

تخصیص و عملیات آن در حال اجرا می‌باشد، برای جبران کسری ۵ میلیارد مترمکعبی آبخوان های زیرزمینی در هر سال و تحقق اهداف ۷,۵ درصدی تغذیه آبخوان ها از طریق آبخیزداری، آبخوانداری و پخش سیلاب برعرصه آبخوان دشت‌های فوق بحرانی، و اجرایی اقدام به شناسائی مناطق مستعد پخش سیلاب که با در نظر گرفتن نیاز اعتباری جهت اجرای هر هکتار آبخوانداری و پخش سیلاب بطور میانگین ۳۰ میلیون ریال (بر اساس نرم سال ۱۴۰۲)، برای اجرای طرح آبخوانداری و پخش سیلاب بر عرصه ۱۱/۲ میلیون هکتاری در سطح کشور نیازمند ۳۳۶ هزار میلیارد ریال اعتبار می باشد. بنابراین در صورت تامین اعتبار مذکور در یک برنامه اجرایی ده ساله، کلیه اهداف مورد نظر تحقق خواهد یافت و نه تنها از بسیاری آسیب‌ها و خسارات جلوگیری می‌نماید بلکه باعث توسعه منابع طبیعی می‌گردد.

منابع

- سازمان منابع و آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری، مراتع و امور بیابان، دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری، گزارش اجرایی آبخوان داری و پخش سیلاب بر عرصه آبخوان های کشور، آذر ماه ۱۴۰۰
- وزارت جهاد کشاورزی،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، طرح ملی آبخوان‌داری، آبان ۱۳۹۵
- وزارت جهاد کشاورزی،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، شناسایی و اولویت بندی عرصه های مناسب پخش سیلاب در سطح کشور، ۱۴۰۰

بررسی ارتباط نفوذپذیری نسبی سازندها با جریان پایه در حوضه‌های مناطق خشک ایران

رحیم کاظمی[۱]، فرود شریفی، حمید رضا پیروان

۱ -استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران(*ra_hkazemi@yahoo.com*)

۲ -دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۳ -استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

چکیده

رابطه جریان پایه با سطوح سازندهای زمین شناسی با نفوذ پذیری های متفاوت در حوضه‌ها و اقلیم‌های مختلف، متفاوت است و شناخت برهم‌کنش بین سطوح با نفوذ پذیری های مختلف با جریان پایه می تواند منجر به بهبود و توسعه پیش‌بینی جریان پایه در حوضه‌های فاقد آمار شود. در این تحقیق ابتدا حوضه‌های واقع در منطقه اقلیمی خشک با استفاده از تقاطع نقشه اقلیم و لایه مرز حوضه‌های رتبه هفت کشور، تفکیک شد. شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان به روش فیلتر رقومی بی فلو-لینه و هالیک استخراج شد. سپس با بررسی نقشه های زمین شناسی، سازند های زمین شناسی حوزه های آبخیز از نظر میزان نفوذ پذیری نسبی و بر اساس مشخصه های هیدروژئولوژیکی سازندها و نظرات کارشناسی در هشت طبقه تقسیم شد. روابط بین شاخص جریان پایه و سطوح با نفوذ پذیری مختلف به صورت تطبیقی بررسی و نتایج تحلیل و تفسیر شد. نتایج کلی نشان از ارتباط مشخص بین سطوح نفوذپذیری سازند ها و جریان پایه دارد. به طوری که از تعداد۲۹ حوضه منتخب که سطح پوشش سازند های نفوذپذیر آن ها بیش از ۵۰ درصد بوده، فقط تعداد ۳ حوضه دارای شاخص جریان پایه کم تر از ۰/۵ بودند و (۸۹) درصد حوضه ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰,۵ تا ۰/۷۵ بودند در خصوص حوضه هایی که درصد پوشش سازند های نفوذپذیر آن ها بیش از ۶۰ و ۷۰ درصد بود، بیش از۹۲ درصد از حوضه ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰,۵ تا ۰/۷۸ بودند. که نشان دهنده تاثیر و رابطه بین سطوح نفوذ پذیر با شاخص جریان پایه است.

واژه‌های کلیدی:

نفوذپذیری نسبی، زمین‌شناسی سطحی، حوزه آبخیز، شاخص جریان پایه، مناطق اقلیمی.

مقدمه

شناخت مولفه‌های نفوذ و رواناب در چرخه هیدرولوژیک از موارد مورد علاقه مهندسین منابع آب است. همچنین آگاهی از چگونگی روابط بین سطوح طبیعی و غیر طبیعی(مناطق شهری) با نفوذپذیری‌های متفاوت با جریان پایه می‌تواند به درک و تفسیر شرایط هیدرولوژیک حوضه ها کمک کند و قابل استفاده

در پژوهش‌های مرتبط با پیش‌بینی و برآورد جریان پایه در حوضه‌های فاقد آمار است. پاسخ هیدرولوژیک یک حوضه، متاثر از مشخصه‌های خاک (نفوذپذیری، تخلخل، رطوبت، عمق خاک و...) مشخصه‌های ژئومورفولوژیک (مساحت، شیب، جهت، طول حوضه، چگالی زهکشی و...) زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و ساختمانی) و عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی (توزیع زمانی- مکانی بارش، دما، تبخیر و ...) و پوشش زمین و کاربری اراضی است (Mohamoud،۲۰۰۴). بر اساس استنباط(Kauffman, et al2009) از معادله بیلان آبی، هرچه سطوح غیر قابل نفوذ حوضه‌ها افزایش پیدا کند، رواناب افزایش و نفوذ کاهش خواهد یافت. با توجه به اینکه زمین شناسی حوضه، مولفه اصلی و پایه‌ای است که سایر مولفه‌های دیگر حوضه به نحوی متاثر از آن هستند، لذا شناخت رفتار زمین شناسی حوضه با جریان پایه دارای اهمیت اساسی است. در دو دهه گذشته مطالعات مختلفی در خصوص بررسی روابط زمین‌شناسی و مولفه‌های جریان در سطح کشور و جهان به انجام رسیده است. که مهمترین موارد آن عبارتند از: یک روش مطالعاتی برای بررسی نقش زمین شناسی بر جریان پایه و جریان کم، توسط(Tague & Grant ,2004.) ارائه شد که در آن برای تفسیر رژیم جریان کم و جریان پایه رودخانه در حوضه رودخانه(Willamentte) در آمریکا بر اساس سن و جنس سنگ‌ها تقسیم‌بندی انجام و نتایج نشان داد که بین درصد سطوح زمین شناسی و زمان پاسخ به تغذیه زمستانه، حجم جریان تابستانه ومشخصه‌های افت جریان یک رابطه خطی وجود دارد. ایشان همچنین نشان داد که زمین‌شناسی یک نقش کنترلی و غالب بر روی رژیم جریان در منطقه مورد مطالعه دارد. نقش کنترل کنندگی عامل زمین‌شناسی بر روی شاخص جریان پایه با استفاده از روش آنالیز رگرسیون توسط(Bloomfield, et al,2009) در ۴۴ زیر حوضه رودخانه(Thames) انگلستان مورد پژوهش قرار گرفت، ایشان سازندهای زمین‌شناسی را به چهار گروه مختلف و بر اساس مشخصه‌های لیتواستراتیگرافی و هیدروژئولوژیکی تقسیم کرد و رابطه سطوح تحت پوشش هر کدام را با شاخص جریان پایه به دست آورد و همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و برآوردی شاخص جریان پایه را نشان داد. نقش زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک بر روی جریان پایه توسط Delinom و همکاران (۲۰۰۹) بررسی و مورد تاکید قرار گرفته است. همچنین اهمیت مرز بین واحدهای زمین‌شناسی به‌عنوان زون‌های مهم برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی بر روی جریان پایه به‌وسیله پژوهش انجام شده به‌وسیله Arnott و همکاران (۲۰۰۹) به اثبات رسیده است. تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم توپوگرافی متاثر از کارست بر روی جریان پایه به‌وسیله Tetzlaff و همکاران (۲۰۰۹) بررسی و گزارش شده است و نقش موارد استثناء مانند وجود پدیده کارست که تاثیرات و روابط مشخص توپوگرافی را مختل می‌کند نیز به‌وسیله Price و همکاران (۲۰۱۱) به اثبات رسیده است. سازندهای سخت کربناته به‌عنوان یک پارامتر پیش‌بینی کننده موثر جریان پایه در حوضه‌های جنگلی شمال کشور ایران به‌وسیله کاظمی و اسلامی و (۱۳۹۲) معرفی شد. کاظمی و شریفی(۱۳۹۷) عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف

ایران را بررسی و نشان دادند که عوامل ذاتی مرتبط با نفوذ و نگهداشت آب در خاک، با وزن بیش از ۴۵ درصد در تمام اقلیم‌ها در مرتبه اول تأثیرگذاری قرار دارد.

اطلاعات مربوط به جریان پایه از دیدگاه کاربرد در مدیریت منابع‌آب، حفاظت اکوسیستم‌های آبی، تولید انرژی، حمل و نقل و پیش‌بینی جریان‌های کمینه اهمیت دارد (Gustard و همکاران،۲۰۰۴ و Tallaksen و همکاران،۲۰۰۴). یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدروژئولوژیکی که در پژوهش‌های مختلف بر آن تأکید شده، شاخص جریان‌پایه[1]است. بر اساس تعریف ناتان و مک ماهون،(۱۹۹۰) شاخص جریان‌پایه، یک نسبت بدون بعد است که از نسبت دبی‌پایه به کل رواناب برای هر مقطع زمانی یا کل دوره آماری به‌دست می‌آید (Nathan و McMahon،۱۹۹۰). جریان پایه به‌طور معمول از سری زمانی داده‌های جریان روزانه رودخانه‌ها و با استفاده از تکنیک‌های تفکیک جریان استخراج می‌شود. این تکنیک‌ها به‌طور کلی عبارتند از روش‌های ترسیمی یا گرافیکی[2](Namara, et al,1997)، روش‌های منحنی افت[3](Rorabaugh,1964)، روش‌های تجزیه‌ای[4](Lin, et al,2007)، جرم مضاعف[5](Hoeg, et al,2000) و روش‌های فیلتر رقومی جریان پایه[6] (Nathan and Mcmahon,1990). بسیاری از این تکنیک‌ها قابلیت برنامه‌نویسی کامپیوتری و اتوماتیک شدن دارند که موجب تسهیل و افزایش سرعت و دقت تفکیک جریان می‌شود. به‌دلیل پیچیدگی و نامشخص بودن میزان واقعی مشارکت دبی‌پایه در رواناب و همچنین هزینه بر بودن روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها، محققین بسیاری نسبت به ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تفکیک هیدروگراف جریان اقدام نموده‌اند و الگوریتم‌های رقومی مختلفی را پیشنهاد داده‌اند. در این پژوهش از روش فیلتر رقومی بی فلو- لینه و هالیک برای استخراج شاخص جریان پایه استفاده شده است. این روش به‌وسیله محققین مختلفی از جمله Tamaskani و همکاران(۲۰۱۳)؛ و(Novita وWahyuningsih، ۲۰۱۶؛ Zhang و همکاران،۲۰۱۷) استفاده و توصیه شده است. با بررسی‌های به‌عمل آمده تا کنون مطالعات جامعی در خصوص بررسی و تحلیل روابط جریان پایه با سطوح سازندهای زمین شناسی با نفوذ پذیری‌های مختلف در سطح ملی و منطقه ای در کشور ایران مشاهده نشد. شاخص جریان پایه به‌علت تغییرات نفوذپذیری سازندهای زمین شناسی، از نظر زمانی و مکانی متغیر است. لذا شناخت و تحلیل زمانی و مکانی میزان تاثیر نفوذپذیری سازندها بر جریان پایه در اقالیم مختلف و در سطح ملی و منطقه ای، موجب دست‌یابی

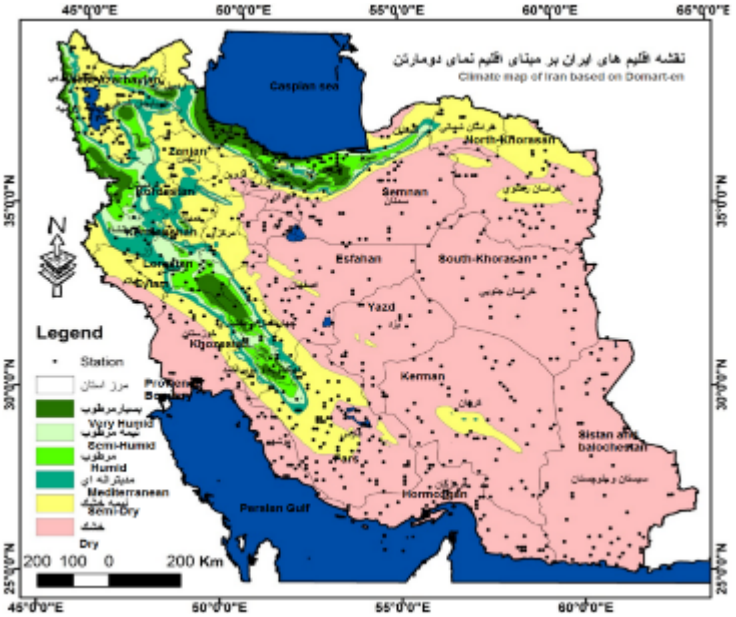
1. Base Flow Index
2. Graphical methods
3. Recession-curve methods
4. Analytical methods
5. Mass-balance methods
6. Digital baseflow filter methods

به اطلاعاتی برای تفسیر و تحلیل دقیق‌تر شرایط هیدرولوژیکی حوضه و استفاده در طرح‌های مرتبط با پیش بینی و برآورد جریان پایه در حوضه‌های فاقد آمار خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

تعداد ۷۴ حوضه منتخب از کل حوضه‌های رتبه هفت کشور که دارای آمار مناسب جریان روزانه بودند انتخاب شدند. توزیع مکانی این حوضه ها در منطقه اقلیمی خشک و در مناطق مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق کشور واقع شده است. حداقل ارتفاع ۵۴۳ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد۴۵۵ و حداکثر ۳۱۰۴ متر مربوط به حوضه با کد۴۹۱۲۵۳ و محدوده مساحت حوضه های مورد بررسی در این اقلیم از ۲۸۷ تا۲۶۱۱۳ کیلومتر مربع است و محدوده شیب متوسط حوضه ها از ۲۱ تا۳۰/۹۸ درصد است (کاظمی و همکاران،۱۳۹۷).



شکل۱- نقشه اقلیم منطقه مورد پژوهش بر اساس روش دومارتن(کاظمی و همکاران،۱۳۹۷)

روش پژوهش

ابتدا نقشه مناطق اقلیمی کشور به روش دومارتن (تهیه شده توسط کاظمی و همکاران،۱۳۹۷) را با لایه مرز حوضه‌های رتبه هفت کشور تقاطع داده و حوضه‌های واقع در منطقه اقلیمی خشک تفکیک شد. با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۷۴ ایستگاه با دوره مشترک آماری سال-های۱۳۵۵-۱۳۹۶انتخاب شد. شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های روزانه جریان به روش فیلتر

رقومی بی فلو-لینه و هالیک استخراج شد. سپس با بررسی نقشه‌های زمین شناسی، حوضه‌های واقع در هر منطقه از نظر سطوح نفوذپذیری نسبی در هشت طبقه تقسیم و پوشش سطحی هر سازند محاسبه شد. روابط بین شاخص جریان پایه و سطوح سازندهای زمین شناسی با نفوذ پذیری های مختلف به صورت تطبیقی بررسی و نتایج با روش کارشناسی تحلیل و تفسیر شد.

فیلتر رقومی برگشتی بی فلو-لینه و هالیک[1]: الگوریتم معرفی شده به‌وسیله لینه و هالیک (۱۹۷۹) با رابطه (۱) معرفی شده و قابلیت عبور سه باره از داده‌های جریان را دارد و چند بار عبور از داده‌های جریان باعث پایین آوردن جریان پایه می‌شود و به استفاده کننده، قابلیت انعطاف پذیری در جدایش دقیق تر دبی پایه را می‌دهد.

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_i - q_{(i-1)})\frac{1+\alpha}{2} \qquad q_{f(i)} \geq 0 \qquad (1)$$

که در آن: $q_{f(i)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی i)؛ $q_{f(i\,01)}$ (رواناب مستقیم فیلتر شده در مرحله زمانی i-1)؛ α= پارامتر فیلتر مرتبط با حوضه؛ $q_{(i)}$ = جریان کل در مرحله زمانی i؛ $q_{(i\,01)}$= جریان کل در مرحله زمانی i-1 ؛ q_b @q 0q_f (جریان پایه).

طبقه بندی سازند های زمین شناسی از نظر نفوذ پذیری نسبی:

سهولت عبور جریان مایعات از داخل حفره‌های رسوب‌ها یا سنگ‌ها را نفوذ پذیری می‌نامند. مقدار نفوذپذیری به اندازه حفره ها، غلظت مایع و نیروی کششی که با کاهش اندازه دانه‌ها کم می‌شود، بستگی دارد. در واقع عواملی که بر تخلخل اولیه موثرند، در میزان نفوذپذیری نیز موثر می‌باشند. عواملی از جمله بافت، ساخت و فابریک سنگ ها و میزان درزه داری آن ها در طبقه بندی سازندهای زمین شناسی مورد مطالعه، جهت طبقه بندی حاضر استفاده شده است. سازندهای زمین شناسی عموماً از تناوب لایه های سنگی متفاوت تشکیل شده اند که این موضوع نیز در طبقه بندی تراوایی این نوع سازندها مد نظر قرار گرفته شده است. با در دست داشتن فایل رقومی زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ابتدا توصیفات لیتولوژی‌های مختلف سازندهای زمین‌شناسی کشور در فایل نرم‌افزار اکسل مشتمل بر ۵۸۵ واحد تعریف شده لیتولوژی تهیه شد و سپس نسبت به دسته‌بندی آن‌ها در گروه‌های سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی و نهشته‌های منفصل کواترنر اقدام شد. به‌منظور طبقه‌بندی سازندها بر اساس نفوذ-پذیری نسبی، از میان حوزه‌های آبخیز منطقه اقلیمی خشک، موجود در کشور ۷۴ حوضه مناسب انتخاب شد. برای تعیین مرز واحدهای زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی پوشش

1 B-Flow-Lynie & Holick

کشور استفاده شد. سپس، در محیط GIS انواع سنگ‌های مختلف حوزه‌های آبخیز بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی و نفوذپذیری نسبی و نظر کارشناسی دسته‌بندی شد. تقسیم‌بندی گروه‌های زمین‌شناسی نشان‌دهنده سنگ‌های اصلی است و انحصاراً جزئیات لیتولوژی را نشان نمی‌دهد. ارزش‌گذاری براساس نفوذپذیری لیتولوژی برای این واحدها انجام و میزان ارزش برای عامل‌ها بین صفر تا یک تعیین شد (جدول۱).

جدول۱- انواع واحدهای سنگ‌های مهم برای عامل‌های زمین‌شناسی

نماد	نفوذپذیری نسبی	نمونه هایی از واحدهای زمین شناسی
G8	خیلی زیاد	نهشته‌های رسوبی درشت دانه گراولی – ماسه ای تحکیم نایافته – آهک های کارستی و درزه دار
G7	زیاد	نهشته‌های رسوبی ریز دانه سیلتی تحکیم نایافته و رسی- سنگ آهک ها
G6	زیاد – متوسط	سنگ آهک های نازک لایه با میان لایه های نفوذ پذیر کم
G5	متوسط	پادگانه های آبرفتی قدیمی- ماسه سنگ- کنگلومرای با سیمان سست- خاکستر آتشفشانی
G4	متوسط تا کم	سیلت سنگ، مادستون- سنگ های آتشفشانی ریولیتی، آندزیتی و بازالتی
G3	کم	مادستون های قدیمی درزه دار- سنگ های نفوذی دیوریتی و گابرو و گرانیت- شیست و گنیس
G2	کم – خیلی کم	رس- مادستون های جوان بدون درزه
G1	خیلی کم	شیل- مارن – فیلیت و اسلیت و میکاشیست

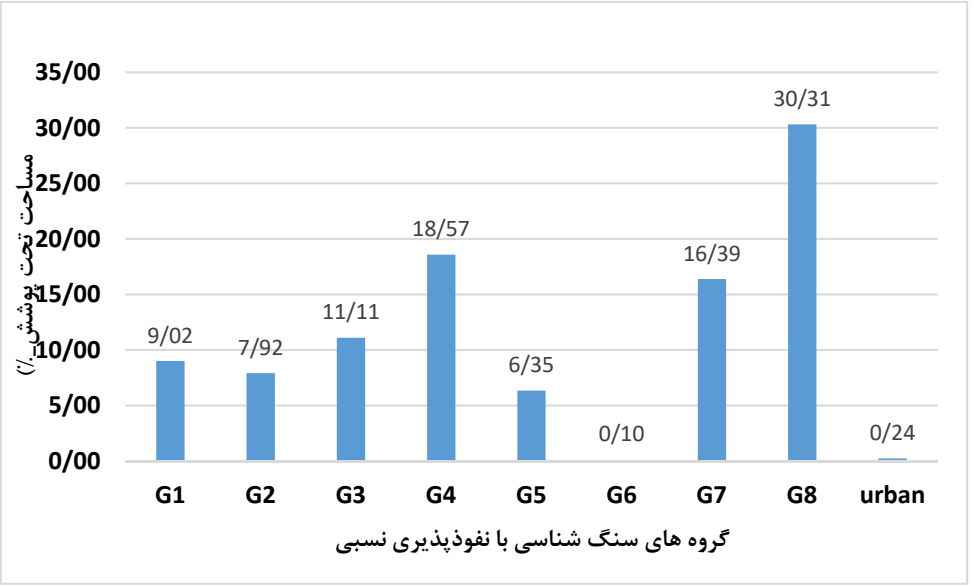
نتایج و بحث

نتایج تفکیک جریان و بررسی توزیع آن حاکی از این است که دامنه شاخص جریان پایه در محدوده (۰/۳تا ۰/۹) می‌باشد و پاسخ جریان پایه به مولفه سطوح سازند های زمین شناسی، شایان توجه و قابل استفاده در مطالعات برآورد و پیش‌بینی درحوزه‌های فاقد آمار است. همچنین نتایج، به‌عنوان نقشه راه و پیش‌نیاز تحقیقات مرتبط با تحلیل شرایط هیدرولوژیکی حوضه‌ها، قابل استفاده می‌باشد. در ادامه بررسی و تحلیل، روابط بین شاخص جریان پایه و سطوح تحت پوشش سازند های با نفوذ پذیری مختلف حوضه ها به تفکیک ارائه شده است.

حداکثر بارش متوسط سالانه به میزان ۳۷۳ میلی‌متر، مربوط به حوضه با کد۴۵۱۲۲ و حداقل به میزان ۷۰ میلی‌متر، مربوط به حوضه با کد۴۶۹ میلی‌متر می‌باشد. متوسط بارش سالانه نیز به میزان۱۸۴ میلی‌متر است. نتایج تفکیک جریان نشان داد که حداکثر شاخص جریان پایه در این منطقه برابر با ۰/۸۴ و متعلق به ایستگاه۲۸۲۴۵ و حداقل آن نیز به میزان ۰/۳۳ به ایستگاه ۴۵۱۳۲ مربوط است. میانگین شاخص جریان پایه در این منطقه به میزان ۰/۶۱ است و نشان‌دهنده این است که به طور میانگین بیشتر از ۶۰

درصد آب‌های سطحی در این منطقه از آب‌های زیرزمینی و زیرسطحی منشاء می‌گیرد. در مجموع حدود ۷۸٪ از حوضه‌ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰/۵۰ می‌باشند. بالا بودن میانگین این شاخص بیانگر این است که در حوضه‌های واقع در اقلیم خشک، آب‌های زیرسطحی نقش بیشتری در تامین جریان‌های سطحی دارند.

نتایج طبقه بندی مساحت تحت پوشش گروه های مختلف سازند ها با نفوذ پذیری های نسبی مختلف، به صورت درصد در شکل(۲) ارائه شده است. بیشترین سهم مربوط به گروهG8 با نفوذپذیری خیلی زیاد و کمترین نیز مربوط به منطقه مسکونی است. البته منطقه مسکونی در سرجمع گروه G1 که دارای نفوذپذیری خیلی کم است، قابل جمع وتحلیل است.

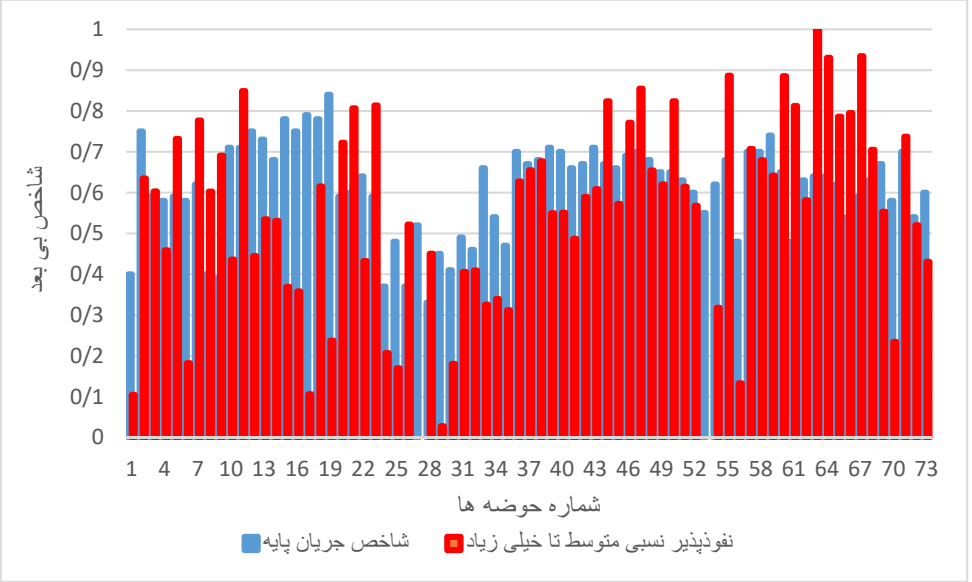


شکل۲-توزیع فروانی شاخص نفوذپذیری در حوضه‌های اقلیم خشک

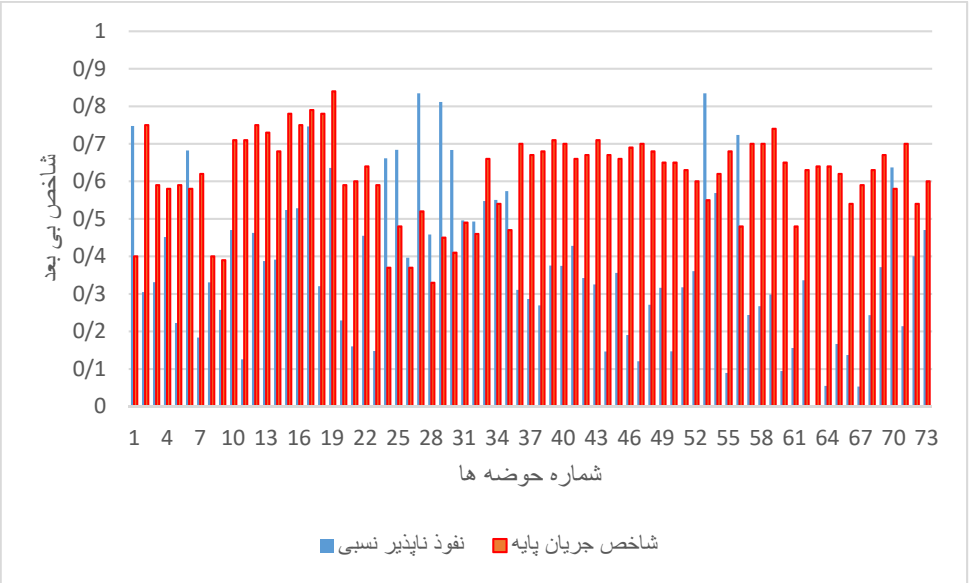
برای بررسی روند تغییرات گروه های با نفوذ پذیری نسبی مختلف، ابتدا گروه های با نفوذ پذیری خیلی کم تا متوسط را در یک دسته و گروه های متوسط تا خیلی زیاد را در یک دسته دیگر جمع کرده و پس از استاندارد سازی اعداد، هر گروه را با روند تغییرات شاخص جریان پایه، در یک شکل نشان داده ایم. (شکل۳ و۴). همانطور که قابل مشاهده است، روند تغییرات تا حدودی از یکدیگر تبعیت می کند و هرچه درصد سازند های نفوذپذیر بیشتر است، در مقابل شاخص جریان پایه نیز بالاتر است و بر عکس.

برای تحلیل جزئی‌تر، حوضه هایی که درصد سازند های نفوذ پذیر آن ها بیش از ۵۰؛۶۰ و ۷۰ درصد است را تفکیک کرده و با شاخص جریان پایه آنها مقایسه و نتایج در اشکال۵ تا ۷ ارائه شده است، قابل

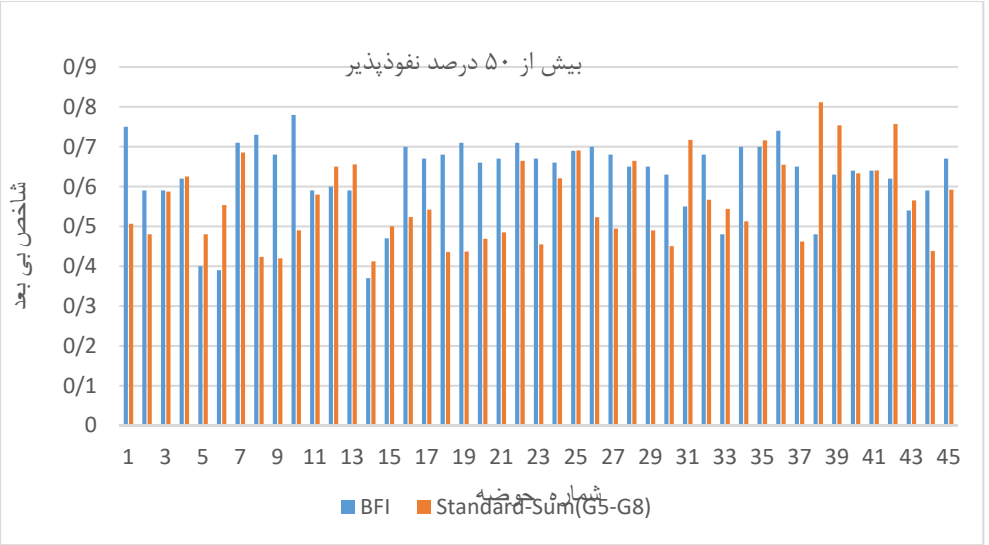
توجه اینکه هرچه درصد سازند های نفوذپذیر حوضه بیشتر است، شاخص جریان نیز تطابق بیشتری را نشان می دهد.



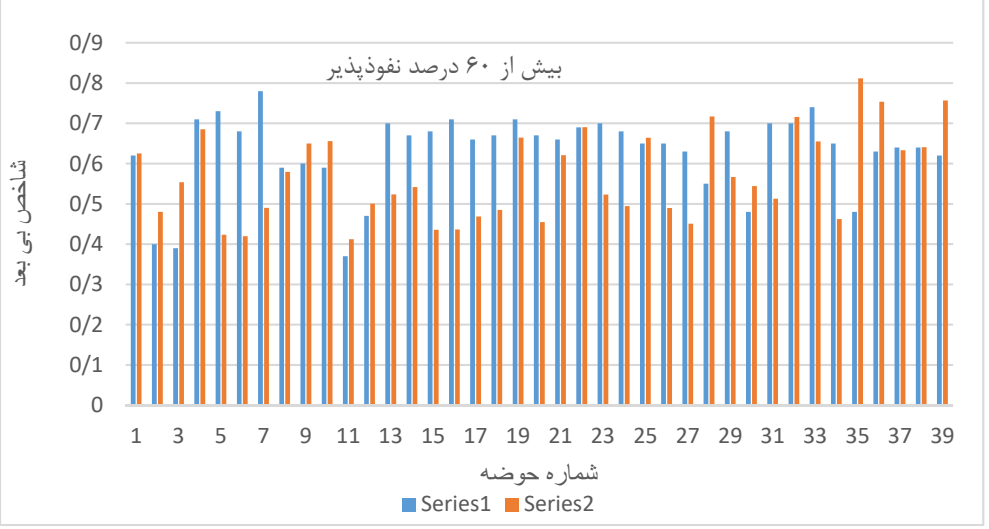
شکل۳-روندتغییرات شاخص جریان پایه وجمع مساحت سازند های نفوذ پذیر



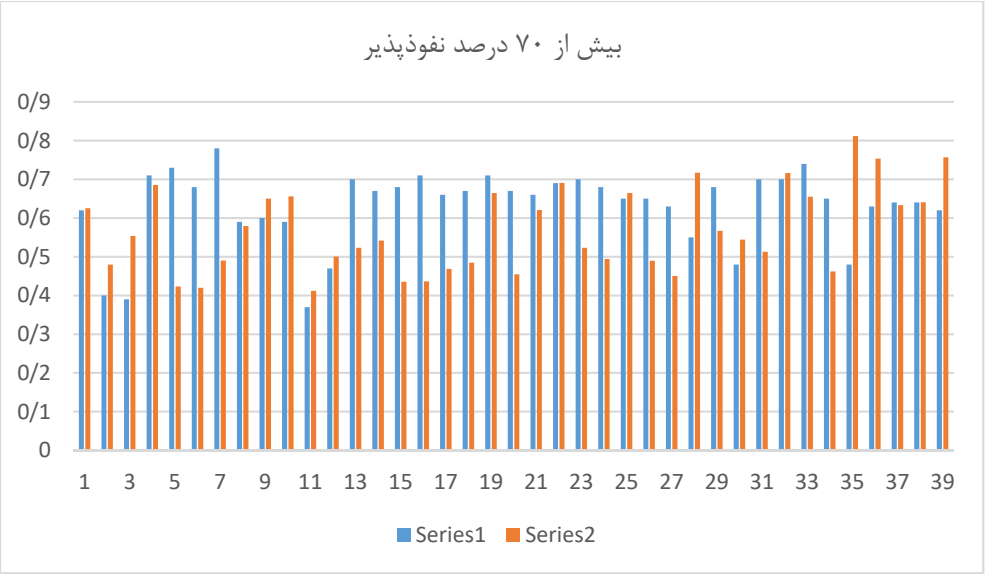
شکل۴-روندتغییرات شاخص جریان پایه وجمع مساحت سازند های نفوذ ناپذیر



شکل۵-روندتغییرات شاخص جریان پایه و سازندهای نفوذپذیر در حوضه‌هایی با بیش از ۵۰ درصد سازند نفوذپذیر



شکل۶- روندتغییرات شاخص جریان پایه و سازندهای نفوذپذیر در حوضه‌هایی با بیش از ۶۰ درصد سازند نفوذپذیر



شکل۷- روندتغییرات شاخص جریان پایه و سازندهای نفوذپذیر در حوضه‌هایی با بیش از ۷۰ درصد سازند نفوذپذیر

از تعداد۲۹ حوضه منتخب که سطح پوشش سازند های نفوذپذیر آن ها بیش از ۵۰ درصد بوده، فقط تعداد ۳ حوضه دارای شاخص جریان پایه(۰,۳۹ تا ۰/۴۷) بودند و مابقی یعنی(۸۹) درصد دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰,۵ تا ۰/۷۵ بودند که نشان دهنده تاثیر و رابطه بین سطوح نفوذ پذیر با شاخص جریان پایه است. در خصوص حوضه هایی که درصد پوشش سازند های نفوذپذیر آن ها بیش از ۶۰ و ۷۰ درصد بود(شکل ۶و۷) بیش از۹۲ درصد از حوضه ها دارای شاخص جریان پایه بیش از ۰,۵ تا ۰/۷۸ بودند.

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی کلی نتایج نشان داد که میانگین سهم مشارکت جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی در جریان‌های رودخانه‌ای در منطقه مورد پژوهش بیش از ۵۰ درصد است. و بیشترین فراوانی حوضه‌ها با شاخص جریان پایه محدوده(۰/۶-۰/۷ و۰/۷-۰/۸) مربوط به حوضه‌های منطقه خشک می‌باشد. بالا بودن فراوانی حوضه‌هایی که دارای شاخص جریان پایه بالاتر از ۵۰٪ می‌باشند، و ارتباط بین سطوح سازند های نفوذ پذیر با شاخص جریان پایه نشان‌دهنده پتانسیل بالای این روابط در پیش بینی جریان پایدار و قابل برنامه‌ریزی در حوزه‌های آبخیز کشور است . شناخت نقش و روابط متفاوت بین سازند ها با نفوذپذیری های متفاوت با جریان پایه، می‌تواند به‌عنوان یک پارامتر پیش‌بینی کننده جریان پایه در تحلیل‌های منطقه‌ای شاخص جریان پایه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نتایج این تحقیق در حوزه شناخت عوامل

موثر بر جریان پایه می‌تواند، به‌عنوان پیش‌نیاز تفسیر و تحلیل شرایط هیدروژئولوژیکی حوضه ها مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- کاظمی, ر. و ا، اسلامی. (۱۳۹۲). بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی بر شاخص جریان پایه، مطالعه موردی: ناحیه خزری .*مهندسی و مدیریت آبخیز، ۵(۲):۸۵-۹۳.*
- کاظمی، ر. و ف. شریفی.۱۳۹۷.بررسی و تحلیل عوامل موثر بر جریان پایه در اقالیم مختلف ایران،مهندسی و مدیریت آبخیز،۱۰(۴):۶۴۵-۶۵۸.
- Arnot, S., J. Hilton and B.W. Webb. 2009. The impact of geological control on flow accretion in lowland permeable catchments. Hydrology Research, 40(6): 533–543.
- Bloomfield, J. P., Allen, D. J., and Griffiths, K. J. 2009. Examining geological controls on base flow index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. Journal of Hydrology, 373(1-2), 164-176.
- Delinom, R.M. 2009. Structural geology controls on groundwater flow: Lembang Fault case study, West Java, Indonesia. Hydrogeology Journal, 17(4): 1011–1023.
- Gustard, A., Young, A. R., Rees, G. and Holmes, M. G. R. 2004.Operational hydrology. In: Hydrological drought: Processes and Estimation Methods for Stream flow and Groundwater (ed. by L. M. Tallaksen & H. A. J. van Lanen), 455–484. Developments in Water Science 48, Elsevier, Netherlands.
- Hoeg, S., Uhlenbrook, S., and Leibundgut, C. (2000). Hydrograph separation in a mountainous catchment—combining hydrochemical and isotopic tracers. Hydrological Processes, 14(7): 1199-1216.
- Kauffman, G. J., Belden, A. C., Vonck, K. J., and Homsey, A. R. 2009. Link between impervious cover and base flow in the White Clay Creek Wild and Scenic watershed in Delaware. Journal of Hydrologic Engineering, 14(4): 324-334.
- Line, D. E., and White, N. M. 2007. Effects of development on runoff and pollutant export. Water Environment Research, 79(2), 185-190.
- Lyne, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In Institute of Engineers Australia National Conference, 1979: 89-93.
- Mohamoud, Y. 2004. Comparison of hydrologic responses at different watershed scales (pp. 1-81). Office of Research and Development United States Environmental Protection Agency.
- Namara, Mc. J.P. Kane, D.L. and Hinzman, L.D. 1997. Hydrograph separations in an Arctic watershed using mixing model and graphical techniques. Water Resour. Res. 1997, 33, 1707–1719.
- Nathan, R. J., and McMahon, T. A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. Water Resources Research, 26(7): 1465-1473.

- Nathan, R.J., and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. J. Water Resour. Res. 26: 1465-1473.
- Novita, E., and Wahyuningsih, S. 2016. Preliminary study on baseflow separation at watersheds in East Java regions. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 9: 538-550
- Price, K., C.R. Jackson, A.J. Parker, T. Reitan, J. Dowd and M. Cyterski .2011. Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge ountains, A and NC, USA, Journal of Water Resources Research 47: W02516.
- Rorabaugh, M.I. 1964 . Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow. Int. Assoc. Sci. Hydrol. 1964, 63: 432–441.
- Tague, C., and Grant, G. E. 2004. A geological framework for interpreting the low-flow regimes of Cascade streams, Willamette River Basin, Oregon. Water Resources Research, 40(4).
- Tallaksen, L.M. and Lanen, H.A.J. van. 2004. Introduction. In: Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater (ed. by L.M. Tallaksen & H.A.J. van Lanen), Developments in Water Sciences 48, Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands, 3-17.
- Tamaskani, A. Zakerinia, Hezarjeribi, M, A and Dehghani, A.A. 2013Comparison of Base Flow separation methods from daily flow hydrograph (Case study: Upstream of Boostan dam catchment In Golestan province), Journal of Water and Soil Conservation, 20(6): 1-273
- Tetzlaff, D., J. Seibert, K.J. McGuire, H. Laudon, D.A. Burn, S.M. Dunn and C. Soulsby. 2009. How does landscape structure influence catchment transit time across different geomorphic provinces? Journal of Hydrological Processes, 23(6): 945–953.
- Zhang, J. Y. Zhang, J. Song, L. Cheng, R. Gan, X. Shi, Z. Luo, P. Zhao. 2017. Comparing hydrological modelling, linear and multilevel regression approaches for predicting baseflow index for 596 catchments across Australia Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss,1-40.

مشارکت روستائیان، کلید موفقیت طرحهای آبخیزداری: مطالعه موردی حوزه حبله رود

رضا باقریان[۱]، مسعود گودرزی*[۲]
اعضای هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی *m.goodarzi@areeo.ac.ir*

چکیده

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، پژوهشی کاربردی و از لحاظ کنترل و نظارت از نوع میدانی و از نظر روش پژوهش، روش همبستگی می باشد. این پژوهش مشتمل بر ۱۲ متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است. جامعه آماری این تحقیق روستائیان ساکن در حوزه آبخیزحبله رود می باشند که در آنها طرح آبخیزداری بصورت مشارکتی اجرا شده است. جامعه نمونه این تحقیق از بین ساکنین روستاهایی که در طرح مشارکت داشتند بصورت تصادفی انتخاب و برای جمع آوری داده های پژوهش مورد سوال قرار گرفتند. ابزار جمع آوری داده ها در این تحقیق پرسشنامه بوده است. بمنظور سنجش روایی پرسشنامه از نظرات کارشناسان و صاحب نظران امور مشارکت و آبخیزداری استفاده شد و برای سنجش پایایی پرسشنامه از آلفای کرونباخ استفاده گردید که مقدار آن برای متغیرهای مختلف بین ۸۱ تا ۹۴ درصد بدست آمد. یافته های تحقیق نشان داد که مشارکت مردم در طرحهای آبخیزداری متوسط بوده است و آنها بیشتر تمایل به مشارکت در فعالیتهای اجتماعی مرتبط با طرح داشتند تا فعالیتهای اقتصادی و یا میدانی. هجنین یافته های طرح نشان داد که بین متغیرهای مستقل: میزان رضایت مردم از طرحهای عمرانی که قبلا در روستا انجام شده است، میزان دانش و آگاهی از طرح، میزان گرایش به طرح، جنسیت، وضعیت تاهل، میزان درآمد ماهیانه از شغل دوم، میزان برآورد انتظارات مردم از طرح، با میزان مشارکت مردم در طرح بعنوان متغیر وابسته همبستگی معنی داری وجود دارد. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون مشخص کرد که این عوامل ۵۲/۵ درصد از تغییرات سطح مشارکت را تبیین می کنند.

واژه‌های کلیدی:
آبخیزداری - حوزه آبخیز - حبله رود - روستا - مشارکت.

مقدمه

به اصطلاح مشارکت طی دهه های اخیر عمومیت زیادی پیدا کرده است بالاخص در رابطه با طرحهای توسعه پایدار کشاورزی و توسعه روستایی. نهادهای امر توسعه، مفهوم مشارکت را در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ بعد از اینکه تشخیص دادند عامل عدم موفقیت طرحهای توسعه پایین بودن سهم منافع بهره برداران در اینگونه طرحها می باشد، مورد توجه قرار دادند. مفهوم مشارکت در ابتدا صرفا در

طرحهای توسعه روستایی وکشاورزی مطرح بود و لیکن طی سالهای اخیر شعاع عمل مشارکت بسیار گسترده شده و شامل همه زمینه ها و همه ذینفعان گردیده است (Karl, 2000). مشارکت مردمی امروزه نقش بسیار مهمی در تصمیم گیری و مدیریت منابع طبیعی دارد . این موضوع از کنفرانس جهانی سال ۱۹۸۷بیشتر مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفت که طی آن دولتها دریافتند که توسعه اقتصادی شتابان باعث از بین رفتن منابع طبیعی شده است. این موضوع در کنفرانس سازمان ملل در مورد محیط و توسعه در ریو دو ژانیرو برزیل در سال ۱۹۹۲ مورد تاکید قرار گرفت و به این موضوع اشاره شد که یکی از پیش نیازهای اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار مشارکت مردم در فرآیند تصمیم گیری میباشد (FAO, 1992) . از مشارکت تاکنون تعاریف و تفسیرهای بسیاری بعمل آمده است. مشارکت از نظر لغوی بر وزن مفاعله به معنای شرکت دو جانبه و متقابل افراد برای انجام امری می باشد. فرهنگ انگلیسی آکسفورد مشارکت را کنش یا واقعیت شرکت داشتن و سهم داشتن معنی نموده است (غفاری و نیازی، ۱۳۸۶). سازمان ملل مشارکت مردمی را یکی از عناصر اساسی جریان توسعه بحساب می آورد. شومان مشارکت را اولین پیش نیاز برای توسعه می داند(Shuman, 1994). بانک جهانی معتقد است مشارکت باعث توانمند شدن و بالارفتن مهارت سازمانی و توان مدیریتی مردم در یک جامعه می شود (World Bank, 1995). انور معتقد است که مشارکت مردم در قالب گروههای محلی در اجرای طرحها باعث غلبه بر انزوای اجتماعی و عدم اعتماد بنفس می شود (Enwere, 2001). بنا به عقیده پلات مشارکت اندک مردم یک جامعه نشاندهنده فقر آن جامعه است (Platt, 2006) . عده ای معتقدند مشارکت مردمی باعث می شود تصمیمات بهتر وقابل قبولتری در مورد موضوعات مورد بحث گرفته شود(Irvin & Stansbury, 2004). عده ای از کارشناسان معتقدند مشارکت ارتباط نزدیک با فقر و انزوای اجتماعی دارد، زیرا مشارکت اجتماعی از فعالیتهای فرد درحمایت از خودش پشتیبانی می کند تا فرد خودش را از فقر نجات دهد (Ayee, 2001). بنظر او این موضوع باعث توسعه نهادهای دموکراتیک در جامعه شده و فضای سیاسی را برای گروههایی که در جامعه جایگاه مناسبی در تصمیم گیریها ندارند و در جامعه منزوی هستند باز می کند. وان رایت و وایمرمعتقدند با مشارکت شهروندان در تصمیم گیریها ایده های مهم و استراتژیکی برای برنامه ریزان و نیز سازمان دهندگان و ماموران دولت ایجاد می شود (Wainwright & Wehrmeyer, 1998). بطور کلی دانشمندان علوم اجتماعی معتقدند که با مشارکت مردم در طرحها فرصتهایی ایجاد می شود که این خود باعث نوعی رضایت اجتماعی در جامعه می شود ولذا سطح مشارکت مردم در یک طرح میتواند تعیین کننده میزان موفقیت یا شکست آن طرح باشد. ولیکن متاسفانه بدلیل سابقه ناخوشایند طرحهای مشارکتی، مردم استقبال چندانی از اینگونه طرحها نمی کنند و عواملی که باعث افزایش مشارکت مردم در این طرحها می شود هنوز بدرستی شناخته شده نیست. تحقیقات زیادی در سطح دنیا در مورد عوامل موثر بر مشارکت صورت گرفته است که هریک

بنوبه خود به عوامل مختلفی اشاره کرده اند. بعضی از محققین بر تاثیر ویژگیهای فردی افراد مانند سن، جنس، وضعیت تاهل، تحصیلات، اندازه خانوار و درآمد اشاره کرده اند (شارع پور و حسینی، ۱۳۸۷، Atmis, et al, 2007، Dolisca, et al, 2006، Lise, 2000، امامی و حسینی، ۱۳۸۳، Salam, et al, 2000, Wilson, Thacher, 1997,). بعضی از محققین نیز از دانش و آگاهی افراد از طرح و نقش آن در میزان مشارکت سخن گفته اند (Hamid, 1996، Heinen, 1993، Napier &, Napier, Fiallo and Jacobson, 1995 ،Mkanda and Munthali,1994 ;1991). عده ای از محققین بر نقش گرایش و تاثیر آن بر مشارکت اشاره کرده اند (Kraft and Gillman, 1996، Rishi, 2003، Masiah, 2006، Shahroudi & Chizari ، ۲۰۰۸، قاسمی، ۱۳۸۰، حسینی و همکاران، ۱۳۸۷ Vicente and Reis, 2008). عده ای از محققین نیز به تبع از تئوری مبادله اجتماعی (Blau, 1964 ; Homan,1958) معتقدند رابطه فرد مشارکت کننده با یک طرح مانند رابطه تبادل کالا بین دو نفر است. بدین مفهوم که فرد مشارکت کننده در ازای مشارکت در یک طرح انتظار دریافت پاداش یا مزدی را دارد که اگر این انتظار برآورد نشود بالطبع در طرح مشارکت نخواهد کرد. لازم به ذکر است که برا اساس این تئوری پاداش و یا سود مورد انتظار فرد مشارکت کننده در یک طرح حداقل بایستی مساوی یا بالاتر از میزان هزینه ای باشد که او صرف طرح کرده است (این هزینه ممکن است مالی باشد و یا وقت و زمانی که او برای طرح صرف کرده است). از طرفی بر اساس فرضیات دیگر این تئوری عواید حاصل از طرح بایستی بصورت عادلانه و منصفانه بین مشارکت کندگان توزیع شود. همچنین بر اساس این تئوری نقش سابقه ذهنی فرد از اجرای طرحهای مشابه در گذشته با میزان مشارکت را نیز نباید از نظر دور داشت. نظریه پردازان این تئوری معتقدند افرادی که سابقه ذهنی مثبتی از اجرای طرحهای مشابه در قبل داشته باشند، به احتمال زیاد در طرحهای آینده نیز بیشتر مشارکت خواهند کرد (Turnley and Feldman, 2000). با توجه به عوامل اشاره شده در فوق در این مقاله محقق سعی کرده است، رابطه بین متغیرهای فوق الذکر را با میزان مشارکت مردم در طرح آبخیزداری حبله رود به آزمون بگذارد و نقش هریک از عوامل را در تبیین تغییرات میزان مشارکت مردم در طرح آبخیزداری حبله رود که بنا به تحقیقات انجام شده نتایج مثبت زیادی داشته است مشخص نماید (میرکیایی، ۱۳۸۷و مافی، ۱۳۸۷).

مواد و روش‌ها

نتایج حاصل از توصیف ویژگیهای نمونه مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که میانگین سنی شرکت کنندگان در این طرح ۴۶ سال بوده و میانگین تعداد اعضای خانوار ۵,۲ نفر در هر خانواده می باشد. همچنین داده های این پژوهش نشان داد که بیشترین شرکت کنندگان درتحقیق افراد متاهل ومردان بودند. از نظر درآمد میانگین درآمد ماهیانه افراد ۳۵۲ هزار تومان بوده است و شغل اصلی ۵۵ درصد

مردم کشاورزی ومابقی کارمند بوده و یا شغل آزاد داشتند. با توجه به اینکه کشاورزان دارای سطح زیر کشت کمتر از ۲ هکتار، کشاورز خرده پا محسوب می شوند (ازکیا، ۱۳۸۴). این تحقیق نشان داد که ۵۵ درصد شرکت کنندگان زیر ۲ هکتار زمین داشتند و بدلیل عدم تکافوی درآمد حاصل از کشاورزی لذا حدود ۵۰ درصد افراد مورد مطالعه شغل دوم داشتند. بیش از ۵۲ درصد پاسخگویان بیسواد و یا تحصیلات ابتدایی و در حد خواندن ونوشتن داشتند. این تحقیق نشان داد که ۴۲درصد مردم در هیچیک از گروههای محلی نظیر شورا و بسیج و انجمن اولیا عضویت نداشتند. نتایج داده ها همچنین نشان داد که میزان مشارکت مردم در این طرح متوسط بوده ومردم بیشتر به مشارکت در فعالیتهای اجتماعی مرتبط به طرح مایل بودند تا فعالیتهای اقتصادی و یا محیطی طرح. نتایج همچنین نشان داد که قریب به ۵۰ درصد افراد مشارکت کننده در طرح توسط شورا به مشارکت در طرح ترغیب شده اند. همچنین میزان دانش وآگاهی افراد از طرح نسبتا پایین ومیزان گرایش به طرح متوسط به بالا بود. میزان برآورد انتظارات مردم از طرح متوسط به بالا و میزان رضایت از طرحهای قبل متوسط به پایین بود. خلاصه اطلاعات توصیفی مربوط به متغیرها در جدول شماره ۱ آ مده است.

جدول شماره ۱ – خلاصه اطلاعات توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در پژوهش

نام متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
سن پاسخگو (سال)	۲۵	۸۰	۴۶	۱۴
تعداد اعضای خانوار (نفر)	۲	۱۰	۵/۲	۲
در آمد ماهیانه از شغل اصلی (میلیون ریال)	۰/۵	۷	۳/۲۵	۱/۸۱
در آمد ماهیانه از شغل دوم (میلیون ریال)	۰	۷	۰/۷۹	۱/۱
جمع کل در آمد ماهیانه فرد(میلیون ریال)	۰/۵	۱۵	۳/۵۰	۱/۸۱
میزان اراضی کشاورزی ملکی (هکتار)	۰/۵	۱۲	۳/۱۲	۲/۹۲
میزان مشارکت مردم در طرح	۲۹	۱۰۵	۵۸/۲	۱۲/۸۹
میزان آگاهی مردم از طرح	۰	۱۳	۵/۸	۲/۸۸
میزان گرایش مردم به طرح	۳۵	۸۸	۶۳/۳	۹/۶۷
میزان برآورد انتظارات از طرح	۱۹	۵۱	۳۷/۳	۶/۸۸
میزان رضایت مردم از طرحهای قبل	۳	۹	۵/۵	۱/۹۹

الف – تحلیل تفاوت های میزان مشارکت

در این پژوهش برای بررسی تفاوتهای میزان مشارکت بین اقشار و گروههای مختلف از آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد. همانطور که در جدول شماره ۲ ملاحظه می شود میزان مشارکت مردم در طرح

در بین گروههای مختلف تحصیلی تفاوت معنی داری با هم ندارد (p=0/138) لیکن در بین گروههای شغلی این تفاوت معنی دار است (p=0/027). بطوریکه در جدول ملاحظه می شود کارمندان دولت بمراتب مشارکت بیشتری نسبت به کشاورزان و شغلهای ازاد در طرح مشارکت داشته اند. تعداد گروههای محلی که فرد در آن عضویت دارد از جمله موارد دیگری است که تفاوت معنی داری در میزان مشارکت را باعث شده است (p=0/000). بطوریکه افراد هر چقدر در گروههای محلی بیشتر عضویت داشته اند میزان مشارکت آنها در طرح نیز بیشتر بوده است. عامل دیگری که در میزان تفاوت مشارکت مردم در طرح موثر بوده است، نقش افراد تشویق کننده جهت مشارکت در طرح بوده است. ب بر این اساس افرادی که با علاقه شخصی به طرح پیوسته اند مشارکت بیشتری در طرح داشته اند تا انهایی که بواسطه تشویق و ترغیب دیگران به طرح روی اورده اند. جزئیات و میانگین مشارکت گروههای مختلف در جدول ۲ امده است.

ب: نتایج تحلیل همبستگی

در این پژوهش برای بررسی رابطه بین متغیر وابسته مشارکت و متغیر های مستقل از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. همانطور که در جدول شماره ۳ ملاحظه می شود رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته حاکی از آن است که از مجموع متغیر های مستقل گنجانده شده در این تحقیق، متغیر های: جنسیت، وضعیت تاهل، میزان درآمد از شغل دوم، مجموع درآمد ماهیانه، میزان آگاهی از طرح، میزان گرایش به طرح، میزان برآورد انتظارات از طرح و میزان رضایت از طرحهای اجرا شده قبلی دارای ارتباط معنی دار با میزان مشارکت می باشند و متغیرهای سن، تعداد اعضای خانوار، مالکیت اراضی و میزان در آمد از شغل اصلی فاقد همبستگی با میزان مشارکت می باشند(جدول شماره ۳).

جدول شماره ۲- مقایسه میزان مشارکت براساس خصوصیات اقتصادی اجتماعی مردم

متغیرهای گروه‌بندی شده	n	Mean	F	P
سطح تحصیلات			1.762	.138
تحصیلات غیر رسمی	48	54.9		
تحصیلات ابتدایی	57	58.8		
راهنمایی	35	60.5		
دبیرستان	24	62.1		
دیپلم و بالاتر	36	56.9		
شغل اصلی	110	57.90	3.13	.027
کشاورز	33	62.60		
کارمند دولت	39	58.60		
کارمند بخش خصوصی	18	51.28		
خود کارفرما				
شغل دوم	101	55.50	2.759	.029
ندارد	64	60.47		
کشاورز	4	66.25		
کارمند دولت	14	63.71		
کارمند بخش خصوصی	17	59.53		
خود کارفرما				
تعداد گروههای محلی که فرد در آنهاعضویت دارد	84	27.57	0.842	.000
هیچ گروه	76	28.98		
یک گروه	37	30.97		
دو گروه	3	46.33		
سه گروه و بیشتر				
افرادی که در تشویق فرد	52	57.0	3.494	.017
به مشارک موثر بوده اند*	95	60.4		
مدیران پروژه	45	53.3		
شورای اسلامی ده	95	65.9		
دوستان و آشنایان				
علاقه شخصی				

*- اختلاف درصد مازاد مربوط به پاسخهای دوگزینه ای است.

جدول شماره ۳ – همبستگی متغیرهای مستقل با متغیر وابسته مشارکت مردم در طرح آبخیزداری

متغیر های مستقل	ضریب همبستگی	سطح معنی داری
سن پاسخگو	-۰/۰۶	/۳۵۸
جنسیت پاسخگو	-۰/۲۴**	۰/۰۰۰
وضعیت تاهل پاسخگو	-۰/۱۶*	۰/۰۰۲۴
تعداد اعضای خانوار	۰/۰۵	۰/۴۸۰
میزان در آمد ماهیانه از شغل اصلی	۰/۰۱۳	۰/۸۵۹
میزان در آمد ماهیانه از شغل دوم	۰/۱۵۸*	۰/۰۲۵
جمع کل در آمد ماهیانه فرد	۰/۱۷۷*	۰/۰۱۲
میزان مالکیت اراضی کشاورزی	۰/۱۱۲	۰/۱۱۴
میزان دانش و آگاهی از طرح	۰/۴۳۵**	۰/۰۰۰
میزان گرایش مردم به طرح	۰/۴۸۹**	۰/۰۰۰
میزان برآورد انتظارات از طرح	۰/۴۱۱**	۰/۰۰۰
میزان رضایت از طرحهای قبل	۰/۵۱۸**	۰/۰۰۰

**- معنی دار در سطح ۱ درصد *- معنی دار در سطح ۵ درصد

ج: نتایج تحلیل رگرسیون

برای یافتن پاسخ این سئوال که در بین متغیرهای مرتبط مورد مطالعه در این پژوهش، کدامیک بر میزان مشارکت مردم تاثیر گذارترند؟ از تکنیک آماری تحلیل رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. بدین منظور جهت بررسی تاثیر همزمان متغیرهای مستقل بر میزان مشارکت، متغیرهای مستقل معنی دار در جدول همبستگی با متغیر وابسته (میزان مشارکت در طرح) در معادله رگرسیون چند متغیره وارد شدند. جدول شماره۴ مدل رگرسیون، ضرایب رگرسیونی و سایر اطلاعات بر آمده ازمحاسبه رگرسیون چند متغیره را نشان می دهد. نتایج بدست آمده از تحلیل رگرسیون چند گانه نشان داد که مدل ارائه شده معنی دار می باشد ($F= 26.356, sig=.000$). بطوریکه در جدول شماره ۴ ملاحظه می شود، از مجموع هشت متغیر مستقل وارد شده در معادله رگرسیون، بجز دو متغیر درآمد ماهیانه از شغل دوم و کل درآمد ماهیانه فرد، سایر متغیرها رابطه معنی داری با میزان مشارکت دارند. ضریب همبستگی چندگانه ($R= .724$) نشان می دهد که متغیرهای مستقل فوق همبستگی بالا و معنی داری با متغیر وابسته دارند. همچنین ضریب تعیین ($R۲$) نشان می دهد که ۵۲,۵ درصد از تغییرات مشارکت توسط این متغیرها تبیین می شود. با توجه به جدول ۴ مقدار شاخص تولرانس هر شش متغیر مستقل بیشتر از ۰/۱ بوده و میزان شاخص VIF انها کمتر از ۱۰ بوده است. بنابراین هم خطی

چندگانه وجود ندارد و می توان اظهار دا شت که ضرایب ا ستاندارد شده هریک از متغیرهای م ستقل مدل رگرسیون نشان دهنده نقش واقعی آنها بوده است.

جدول شماره ۴- ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون میزان مشارکت در طرح آبخیزداری حبله رود

متغیر ها	B	β	t	Sig.	Tolerance	VIF
عدد ثابت	۳۲/۶۵	-	۵/۱۵	۰/۰۰۰	-	-
جنسیت پاسخگو	-۸/۹۷	-۰/۱۸	-۳/۳۰	۰/۰۰۱	۰/۸۵۷	۱/۱۶۷
وضعیت تاهل	-۸/۴۷	-۰/۱۶	-۳/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۸۶۲	۱/۱۶۰
در آمد ماهیانه از شغل دوم	۱/۷۲	۰/۱۵	۱/۶۵	۰/۱۰۱	۰/۳۰۲	۳/۳۱۱
جمع کل در آمد ماهیانه فرد	۰/۳۷	۰/۰۰۷	۰/۸۲	۰/۹۳۵	۰/۳۰۱	۳/۳۲۰
میزان آگاهی از طرح	۱/۲	۰/۲۲۸	۴/۱۶	۰/۰۰۰	۰/۸۲۷	۱/۲۰۹
میزان گرایش به طرح	/۲۱	۰/۱۶	۲/۴۱	۰/۰۱۷	۰/۵۶۳	۱/۷۷۷
میزان برآورد انتظارات	۰/۲۶	۰/۱۴	۲/۲۲	۰/۰۲۸	۰/۶۳۱	۱/۵۸۶
رضایت از طرحهای قبل	۲/۴۴	۰/۳۷	۶/۵۵	۰/۰۰۰	۰/۷۵۴	۱/۳۲۷

F=۲۶/۳۵۶ R = ۰/۷۲۴ R2 = ۰/۵۲۵ R2 Ad = ۰/۵۰۵

جمع بندی ونتیجه گیری و پیشنهادها

بطورکلی مشارکت اجتماعی طی دهه های اخیر بعنوان یک ضرورت عقلانی، اخلاقی و انسانی مهمترین متغیر توسعه بوده و امروزه در سطوح مختلف توسعه و برنامه ریزی کمتر طرح و پروژه ای را می بینیم که در برنامه های خود مشارکت مردمی را در تمام مراحل مورد توجه قرار ندهند. به عقیده دانشمندان علوم اجتماعی، هدف توسعه بوجود آوردن تغییرات اساسی در ساخت اجتماعی، گرایشها و نهادها برای تحقق کامل هدفهای جامعه است و تا همه مردم با آگاهی همگانی از تغییرات و نیاز به آن در امر توسعه، مشارکت اصیل نداشته باشند، توسعه ممکن نخواهد بود. مشارکت بعنوان زیر بنای پیشرفت جامعه و از شرایط لازم برای توسعه اجتماعی قلمداد می شود. مشارکت اجتماعی همچنین عامل تقویت همبستگی اجتماعی است. حضور افراد در فعالیت ها و تصمیم گیریهای اجتماعی در بلند مدت موجب تعمیق روابط بین اعضای جامعه، افزایش احساس یگانگی، سعه صدر و تسامح و تساهل گردیده و در نتیجه به توسعه نهادهای مدنی و دموکراتیک خواهد انجامید. تعصبات قومی و قبیله ای کاهش یافته و سنت های ریشه دار محلی بسوی عام نگری هدایت و در صورت لزوم به نفع هنجارهای دموکراتیک اصلاح خواهند شد. وانگهی میتوان انتظار داشت که بسیاری از اموری که اکنون دولت متصدی انجام آن است در قالب فعالیتهای اجتماعی توسط خود مردم اداره شده و در عمل هم حجم دولت کاهش یافته و افراد هم از طریق سامان دادن به این امور دین خود را به کلیت اجتماع ادا نمایند.

با بررسی نتایج و مطالعات مختلف انجام شده در سطح جهان می توان گفت که مدیریت حوزه های آبخیز کشور و توسعه منابع آب وخاک بدون توجه به نقش بهره برداران محلی، تصمیم گیریها و سیاست ها را با ناکامی مواجه خواهد نمود و در دراز مدت آثار و تبعات منفی زیادی بر جای خواهد گذاشت. در واقع میتوان چنین برداشت نمود که یکی از عوامل شکست سیاستهای جاری در زمینه مدیریت حوزه های آبخیز اتکای بیش از اندازه به دولت ها و سیستم حکومتی برای حفظ و توسعه منابع آب وخاک می باشد که در نتیجه اداره حوزه های آبخیز بیش از حد در دست دولت ها متمرکز شده است و مشارکت مردم در اینمورد بسیاراندک و ناچیز است. در این راستا با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق و سایر تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف جهان در جهت مشارکت مردم در طرحهای آبخیز می توان پیشنهادهای زیر را بیان نمود.

با توجه به اینکه یکی از عوامل تاثیر گذار در زمینه مشارکت مردم در طرح آبخیزداری آگاهی از اهداف و کم و کیف طرح می باشد لذا پیشنهاد می شود مجریان طرح قبل از اجرای طرح از طریق برگزاری کلاسهای آموزشی و ترویجی مردم را نسبت به اهداف و کم و کیف طرح آگاه نمایند.

میزان گرایش مردم به طرح یکی دیگر از متغییرهایی است که در میزان مشارکت مردم در طرح تاثیر بسزایی دارد. لذا پیشنهاد می شود مجریان طرح قبل از اجرای طرح نسبت به برگزاری کلاسهای آموزشی ترویجی وبیان فواید و مزیتهای دراز مدت طرح دید و گرایش مردم را نسبت به طرح مثبت نمایند. با عنایت به اینکه میزان براورد انتظارات مردم از طرح یکی دیگر ازعوامل موثر بر مشارکت مردم در طرح آبخیزداری بوده است لذا توصیه می شود مجریان طرح قبل از اجرای طرح از طریق برگزاری نشست ها و جلسات از انتظارات مردم از طرح اگاهی یابند و ضمن توجیه اهداف طرح سعی نمایند انتظارات معقول و قابل اجرا ی مردم را در حین اجرای طرح مد نظر قرار دهند.

منابع

- ازکیا، مصطفی (۱۳۸۴) مقدمه ای بر جامعه شناسی توسعه روستایی . تهران. انتشارات اطلاعات.
- امامی و حسینی (۱۳۸۳) ارزیابی عوامل موثر بر مشارکت درتعاونی ماهیگیران در شهر ساری ۱۳۸۳
- حسینی، م. الهام، ف. داریوش.ک (۱۳۸۷) عوامل موثر بر مشارکت روستائیان در طرح مدیریت پایدار منابع آب و خاک – مطالعه موردی: روستای ارو. سمینار توسعه مدیریت مشارکتی- سمنان ۱۳۸۷.
- شارع پور، م و احمد حسینی (۱۳۸۷) بررسی رابطه بین سرمایه اجتماعی و مشارکت ورزشکاران. مطالعه موردی: شهرستان بابل. مجله حرکت. شماره ۳۷.
- غفاری، غلامرضا و محسن نیازی (۱۳۸۶) جامعه شناسی مشارکت. نشر نزدیک. چاپ نخست. تهران ۱۳۸۶-

- قاسمی، محمدعلی (۱۳۸۰)، بررسی عوامل اجتماعی ـ اقتصادی مؤثر بر میزان مشارکت روستاییان در طرح های عمرانی در بخش مرکزی شهرستان کاشان، پایان نامه کارشناسی ارشد، توسعه روستایی، دانشگاه تهران.
- میر کیایی، میرهادی (۱۳۸۷) طرح مشارکتی مدیریت پایدار منابع آب و خاک حبله رود. مجموعه مقالات سمینار توسعه مدیریت مشارکتی- سمنان ۱۳۸۷
- مافی، فاطمه (۱۳۸۷) بررسی وضعیت و دستاوردهای زنان در فاز اول پروژه مدیریت آب و خاک حبله رود.(نمونه عملی از پروژه ملی حبله‌رود). مجموعه مقالات سمینار توسعه مدیریت مشارکتی- سمنان ۱۳۸۷

- Atmis, E. D. I. Lise, W. & Yildiran, O. (2007) Factors affecting women's participation in forestry in Turkey. Ecological Economics, 60 (4) 787-796.
- Ayee, Joseph R. A. (2001) Deepening Democracy in Ghana: Politics of the 2000 Elections. Accra: Freedom Publications; Oxford: African Books Collective, 2001, two volumes, 202 pp., ISBN 9988 7716 3 0, and 480 pp., ISBN 9988 7716 4 9, 29.95.
- Blau, Peter, (1964) Exchange and Power in Social Life, New York: Wiley and sons.
- Dolisca, F., Carter, D. R., McDaniel, J. M., Shannon, D. A., & Jolly, C. M. (2006) Factors influencing farmers' participation in forestry management programs: A case study from Haiti. Forest Ecology and Management, 236 (2-3), 324-331.
- Enwere, N. (2001) Extension implications of the Social and Economic Characteristics of Human Resources in the Baking Industry in South-Eastern Nigeria, Agro science, Vol. No.1
- FAO, (1992) Participation in practice, lesson from the, FAO. People's participation program, FAO, Roma.
- Fiallo, E.A. and Jacobson S.K. (1995) Local communities and protected areas: Attitudes of rural residents towards conservation and Machalilla National Park, Ecuador. Environmental Conservation, 22(3) 241-249.
- George, Darren & Mallery, Paul (2001) SPSS for windows step by step: A simple Guide and Reference, 10.0 update. Third edition; Allyn & Bacon USA (Chapter 18/reliability analysis, P: 217
- Heinen J.T. (1993). Park-people relations in Kosi Tappu Wildlife Reserve, Nepal: a socioeconomic analysis. Environmental Conservation 20(1) 25-34.
- Homan, G. (1958) Social Behavior as Exchange. American Journal of Sociology, 63 (6) 597-606.
- Irvin, R.A. & J. Stansbury (2004) Citizen Participation in Decision Making: Is it Worth the Effort? Journal of Public Administrative Review, January -February 2004, vol. 64, No.1
- Karl, M. (2000) Monitoring and evaluating stakeholder participation in agriculture and rural development projects: a literature review, Sustainable Development Department (SD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Kraft, S. E., and Gillman, K. R. J (1996) an assessment of its chances for acceptance by farmers, Journal of soil and water conservation, 51(6)494 – 498.
- Lise, Wietze. (2000) Factors influencing peoples' participation in forest management in India, Ecological economic, 34 (3)379–392.
- Masiah, A, (2006) Theories of reasoned action and planned behavior for predicting the intention to participate in continuing professional education among government auditors, Unpublished doctoral dissertation, University Putra Malaysia.
- Mkanda F.X. and S.M Munthali (1994). Public attitudes and needs around Kasungu, National Park, Malawi. Biodiversity and Conservation 3(1)29-44.
- Napier, T.L., Napier, A.S., (1991) Perceptions of conservation compliance among farmers in a highly erodible area of Ohio. Journal of Soil Water Conservation.48 (3), 220–224.
- Platt, L. (2006) 'Poverty', in G. Payne (ed.) Social Divisions. 2nd edition, London: Palgrave.
- Rishi, P., (2003) Joint forest management in India: An attitudinal analysis of stakeholders**,** Resources, Conservation and Recycling ,Volume 51, Issue 2, August 2007, Pages 345-354
- Salam, M.A., Noguchi, T., Koike, M., (2000) Understanding why farmers plant trees in the homestead agro forestry in Bangladesh? Agro - forest system, 50 (1) 77–93.
- Shahroudi, A. A. & M. Chizari, (2008) Factors influencing farmers attitude toward participation in water users association (A case study in Khorasan - e - Razavi Province, Iran). Journal of Science, Technologic agriculture and natural resources, 11, No: 42.
- Shuman, M. (1994) toward a global village: international community development initiatives. London; Pluto press.
- Thacher, T., Lee, D.R., Schelhas, J.W., (1997). Farmer participation in reforestation incentive programs in Costa Rica. Agro -forest system, 35 (3), 269–289
- Turnley, W.H., Feldman, D.C. (2000), "Re-examining the effects of psychological contract violations: unmet expectations and job dissatisfaction as mediators", *Journal of Organizational Behavior*, (21)25-42
- Vicente, P. and E. Reis (2008) "Factors influencing households' participation in recycling." Waste Management and Research, 26(2): 140-146.
- Wainwright C. & Walter Wehrmeyer., (1998) Success in Integrating Conservation and Development? A case study from Zambia, World Development, 26 (6)933-944
- Wilson, A. G, (1997) Factors influencing farmers participation in the environmentally sensitive area scheme, journal of environmental management, (50) 67-93. London, U.K.
- World Bank, (1995) Social Indicators of Development; the Socio-economic data division of the World Bank's

بررسی منحنی تدوام جریان برای آمار سالانه ایستگاه منتخب استان مرکزی

امیرمرادی نژاد[1]*، شمس ا.. نیکچه فراهانی[2]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی *Amir_24619@yahoo.com*

چکیده

منحنی تداوم جریان نشان‌دهنده رابطه بین فراوانی و مقدار دبی روزانه، هفتگی و ماهانه است. داده‌های دبی جریان آب به شکل منحنی تداوم جریان به عنوان پیش‌نیاز برای طرح‌های مدیریت منابع آب از قبیل طراحی سدها، نیروگاه‌های برق آبی، اجرای عملیات آبخیزداری، ارزیابی خطر خشک‌سالی و بررسی سلامت زیست‌بوم رودخانه مورد نیاز است. با افزایش جمعیت و پیشرفت فناوری و نیاز روزافزون به آب، مشکل کمبود آب جدی بوده، برای مقابله با این مشکل باید منابع آب به شیوه مناسبی مدیریت شوند . این تحقیق به منظور تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در ۶ حوزه آبخیز منتخب با طول دوره آماری مشترک روزانه ۲۰ ساله در حوزهای آبخیز استان مرکزی انجام شد. پس از تهیه منحنی تداوم جریان برای ۶ ایستگاه آب‌سنجی منتخب، تفکیک جریان پایه از جریان سطحی انجام شد. نتایج نشان داد که درصد جریان سطحی از کل جریان در هریک از مقاطع ایستگاههای هیدرومتری در صد جریان پایه در مقیاس سالانه به طور متوسط در حدود ۶۰ درصد ارزیابی میشود ولی در ایستگاه نیشهراین نسبت به حدود ۷۵ درصد میرسد.

واژه‌های کلیدی:

استان مرکزی، منحنی تداوم جریان، جریان پایه، دبی رودخانه.

مقدمه

کمبود داده‌های مناسب در حوضه مربوط به مطالعات منابع آب، مانع مهمی برای مدیریت بهینه منابع می‌باشد. توجه به این مشکل، منجر به نامگذاری دهۀ ۲۰۰۳-۲۰۱۲ به پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، به‌وسیله انجمن بین‌المللی هیدرولوژی شد. این ابتکار با هدف قانونمند کردن و اجرای برنامه‌های علمی مناسب، برای درگیر کردن جوامع علمی در روندی جهت‌دار برای دستیابی به پیشرفت‌های عمده برای پیش‌بینی در حوضه‌های فاقد آمار صورت گرفت (*Zare Chahouki* و همکاران، ۲۰۱۳) منحنی تداوم جریان، عمومی‌ترین ابزار برآورد جریان در دسترس و یکی از مناسب‌ترین روش‌های نمایش پاسخ هیدرولوژیک حوضه است و کاربردهای مختلفی در مدیریت منابع آب حوضه دارد. منحنی تداوم جریان، درصد جریان روزانه، ماهانه یا دیگر گامهای زمانی مربوط به یک دوره تاریخی رودخانه معینی را بیان

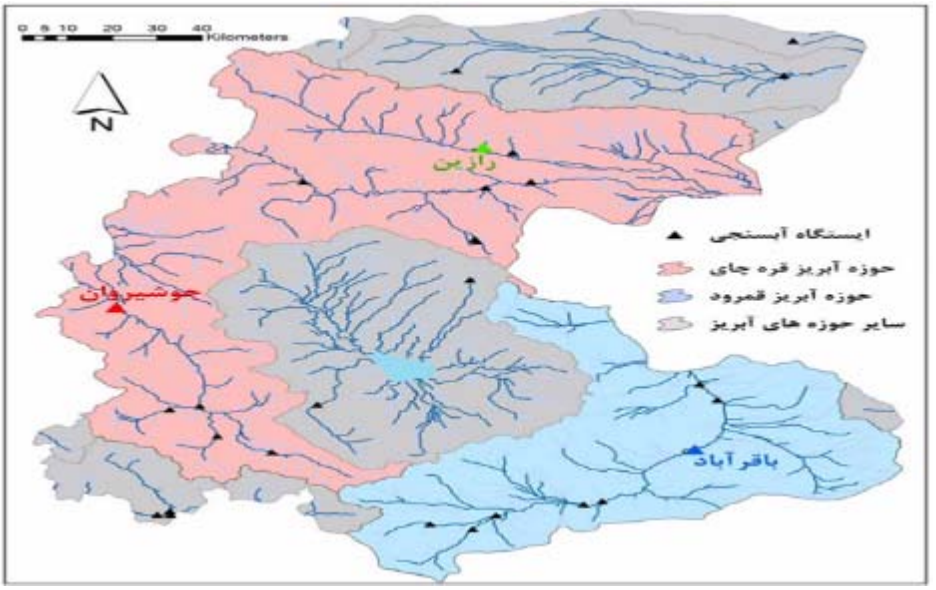
می‌کند. این منحنی از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان و یا بر حسب احتمال وقوع به‌دست می‌آید و به‌طور مکرر برای مقایسه رژیم جریان حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (*Alizadeh, 2007*). تاریخچه مطالعه جامع بر روی منحنی تداوم جریان به مطالعات سارسی در سال ۱۹۵۹ میلادی برمیگردد (*Smakhtin, 2001*). امروزه استفاده از این منحنی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته فراگیر شده است که از جمله می‌توان به پژوهش‌های (*Bailey*و*Bass*، ۲۰۰۹ و *Liucci* و همکاران، ۲۰۱۴ *Rojanamon و همکاران*، ۲۰۰۹؛ و *Swain* و *Patra*، ۲۰۱۷ *Reichl* و همکاران، ۲۰۱۷ در ارتباط با تولید انرژی برق آبی، طراحی و مکانیابی سامانه‌های آبی و برآورد جریان روزانه رودخانه اشاره کرد. از دیگر موارد کاربرد این منحنی، استفاده آن در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی، پرورش ماهی و پژوهش- های مرتبط با حفاظت از اکوسیستم است (*Hisdal* و همکاران، ۲۰۰۴; *Blumenfeld* و همکاران، ۲۰۰۹، *Lee* و همکاران، ۲۰۱۳؛ *Dario* و همکاران، ۲۰۱۳). یکی دیگر از موارد کاربرد منحنی تداوم جریان، استفاده در واسنجی مدلهای هیدرولوژیکی است که به وسیله *Westerberg* و همکاران، ۲۰۱۱، *Costa* و همکاران ۲۰۱۴ مورد آزمون قرار گرفته، نتایج مناسبی در خصوص مرتفع کردن مشکلات ناشی از عدم قطعیت داده‌ها و تفاوت حساسیت به اندازه داده‌های مورد استفاده، ارائه شده است. در دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص پیش‌بینی منحنی تداوم جریان از طریق منطقه‌ای کردن شاخص‌های منحنی تداوم جریان به انجام رسیده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. متداول‌ترین روش برای منطقه‌ای کردن در هیدرولوژی رگرسیون دو یا چند متغیره است. تحلیل رگرسیون چند متغیره روشی مفید برای توسعه عوامل مورد نظر در منطقه‌ای کردن حوضه‌های فاقد آمار است. *Merz و Blöschl (۲۰۰۴)* و محققانی مانند *Sauquet* (۲۰۱۱) و *Mohamoud* (۲۰۰۸) رگرسیون چند متغیره برای تحلیل منطقه‌ای و برآورد شاخص‌های هیدرولوژیکی و منحنی تداوم جریان، در حوضه‌های فاقد آمار استفاده کرده‌اند. رویکرد احتمالی برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان به‌وسیله *Singh* و همکاران (۲۰۰۱) در هیمالیا استفاده شد. ایشان دریافتند که بین خصوصیات حوزه آبخیز (توپوگرافی و زمین‌شناسی) و منحنی تداوم جریان و جریان کمینه رابطه قوی وجود دارد. روش‌های احتمالی، پارامتری و گرافیکی به‌وسیله *Castellarin* و همکاران (۲۰۱۳) برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان استفاده شده است. این تحقیق در ۵۱حوزه آبخیز در شرق ایتالیا انجام شده، متغیرهای مساحت، طول کانال، درصد نفوذپذیری، بیشینه و کمینه ارتفاع، متوسط دمای سالانه، متوسط بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق مهمترین عوامل در تعیین منحنی تداوم جریان تشخیص داده شدند. ترکیب پارامترهای نفوذپذیری، شیب، مساحت، ارتفاع و بارش متوسط سالانه، در ۷۲حوضه با طول داده ۵۰ ساله در آمریکا، به وسیله *Yaşar*و *Baykan* (۲۰۱۳) برای مدل‌سازی و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان مورد استفاده قرار گرفت و مدلهای برآورد با متوسط ۲۷ تا ۳۷درصد خطای نسبی را ارائه دادند.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده‌های مورد مطالعه

دو رودخانه قمرود و قره چای سیستم اصلی زهکشی استان‌مرکزی را تشکیل می‌دهند. البته در این میان، کویر میقان در مرکز استان دارای سیستم زهکشی مستقلی بوده و تعدادی از مسیل‌ها نظیر شهراب و دولت اباد به آن می‌ریزند. حوضه آبریز رودخانه قره‌چای در استانهای مرکزی، همدان و قم گسترش دارد (شکل۱). این رودخانه در استان مرکزی از کوه‌های شهرستان آستانه، شازند سرچشمه گرفته و از اراضی شهرهای کمیجان و تفرش می‌گذرد که به رودخانه شرا معروف است و مهمترین رودخانهٔ این حوضه به شمار می‌رود. شاخه دیگر رودخانه قره‌چای از استان همدان به نام سیمینه‌رود می‌باشد. سیمینه‌رود از دامنهٔ شمالی کوه الوند و نیز کوهپایه‌های شمال دشت‌های همدان و رزن سرچشمه گرفته و در جهت شرق امتداد می‌یابد. رودخانه قره‌چای از اتصال این دو شاخه پدید آمده و در جهت غرب به شرق تا دریاچهٔ نمک امتداد دارد. قبل از اتصال به دریاچه نمک در دشت مسیله به رودخانه قم می‌پیوندد و با نام مسیله در ۷۶ کیلومتری شرق قم به دریاچه نمک می‌ریزد. سد مخزنی الغدیر ساوه در مسیر این رودخانه احداث شده و از سال۱۳۷۱مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. طول رودخانه قره‌چای۵۴۰ کیلومتر و ارتفاع سرچشمهٔ اصلی آن ۲۳۰۰ متر است. شیب عمومی آن ۰/۳ درصد و مسیر کلی آن نخست جنوبی– شمالی و سپس غربی– شرقی است. این رودخانه در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی ساوه، رودخانه مزلقان-چای را دریافت می‌کند. آب رودخانه قره‌چای به‌مصرف اراضی کشاورزی شهرستان‌ها و روستاهای واقع در اطراف دره رودخانه رسیده و مازاد آن وجریانهای سیلابی آن وارد دریاچه نمک می‌گردد.

حوضه آبریز رودخانه قمرود که یکی از مهم‌ترین شاخه‌های قره‌چای بوده و در بخش جنوبی حوضه آبریز دریاچه نمک قرار دارد، آب‌های منطقه وسیعی از نواحی مرکزی کشور و استان‌های مرکزی و اصفهان را جمع‌آوری و به رودخانه قره‌چای و سپس به دریاچه نمک می‌رساند. رودخانه لعل‌بار یکی از زیرشاخه‌های اصلی قم‌رود می باشد. شاخه اصلی این رودخانه که از مناطق جنوبی گلپایگان و غربی خوانسار سرچشمه می‌گیرد، بعد از پیوستن با رودهای خرقاب و رود خمین، لعل‌بار نام می‌گیرد. این رودخانه که به نام‌های اناربار و لعل‌رود نیز معروف است، در شمال نیم‌ور به قم‌رود می‌ریزد (شکل ۲). بازه‌های مطالعاتی در این طرح شامل ۱۵ بازه از ۱۳ رودخانه و مسیل مختلف به طول مجموع ۲۹۰ کیلومتر بوده که درکل استان مرکزی پراکنده می باشند. از بازه‌های مذکور پنج بازه به نامهای لعل بار۱، لعل بار ۲، شور دلیجان، ورمحلات و ریحان از سرشاخه‌های رودخانه قمرود می‌باشند. شش بازه شامل بازنه شهباز ۱، بازنه شهباز ۲، بصری، شراء، آبکمرد و سولقان نیز از سرشاخه‌های رودخانه قره‌چای به شمار می‌روند. دو بازه شهراب و دولت‌آباد نیز دارای سیستم زهکشی مستقلی بوده و به کویر میقان می‌ریزند. در جدول (۱) مختصات ابتدا و انتهای بازه‌های مطالعاتی ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت رودخانه‌ها و ایستگاه‌های مطالعاتی.

شکل ۲- بازه مسیل ورمحلات نسبت به رودخانه قمرود و روستای خورهه.

جدول ۱- مختصات بازه های مورد مطالعه

ردیف	نام رودخانه	طول رودخانه (کیلومتر)	مختصات UTM ابتدا و انتهای بازه				شماره زون جغرافیایی	طول بازه (کیلومتر)
			Utm ابتدا		Utm انتها			
			x	y	x	y		
۱	لعل بار- قمرود (بازه ۱)	۸۰	456960	3749772	437969	3728699	۳۹	۳۸
	لعل بار- قمرود (بازه ۲)		463705	3756008	463705	3760710	۳۹	۶
۲	آبکمرد	۳۶	407386	3842366	398518	3859118	۳۹	۲۵
۳	بصری	۲۵	327665	3784964	342934	3769121	۳۹	۲۵
۴	ریحان۱ و ۲	۳۸	410517	3719938	390018	3715149	۳۹	۳۱
۵	شرا	۶۰	342603	3795015	338841	3800912	۳۹	۱۰
۶	شور(دلیجان)	۴۱	476102	3752682	482672	3744362	۳۹	۱۱
۷	بازنه- شهباز (بازه اول)	۴۵	357457	3761160	362163	3750775	۳۹	۱۴
	بازنه- شهباز (بازه دوم)		365673	3748865	383191	3740330	۳۹	۲۲
۸	جاورسیان	۴۵	355127	3793364	344707	3791508	۳۹	۱۲
۹	دولت آباد	۴۵	362360	3823859	384970	3791756	۳۹	۴۲
۱۰	شهرآب		399543	3829322	383786	3796885	۳۹	۴۰
۱۱	ور محلات	۱۵	448603	3767894	440082	3766134	۳۹	۱۰
۱۲	سولقان		443800	3844654	445237	3849038	۳۹	۵
۱۳	آوه ساوه		445631	3851015	443840	3847420	۳۹	۵
	مجموع- کیلومتر							۲۹۰

در تحقیق حاضر به منظور برآورد جریان پایه، آمار ۲۰ ساله جریان روزانه رودخانه ها انتخاب گردید. مقدار جریان پایه روزانه طی ۲۰ سال با استفاده از روش اکهارت و حداقل محلی محاسبه گردید. برای تعیین و تفکیک جریان پایه از جریان سطحی و تعیین سهم آن، از هیدروگراف دبی روزانه سال متوسط بهره گرفته شد. بر این اساس ابتدا با مراجعه به دبی سالانه ایستگاه‌ها طی سنوات آماری و مقایسه با متوسط درازمدت، سال متوسط در آنها مشخص گردید. با ترسیم هیدروگراف دبی روزانه (که در مباحث قبلی به آن پرداخته شد)، طی سال‌های دارای دبی نزدیک به دبی متوسط دراز مدت و جداسازی هیدروگراف سیلاب‌ها در آن، حجم جریان پایه از جریان سطحی جدا شد.

نتایج و بحث

تهیه منحنی تداوم جریان برای آمار سالانه

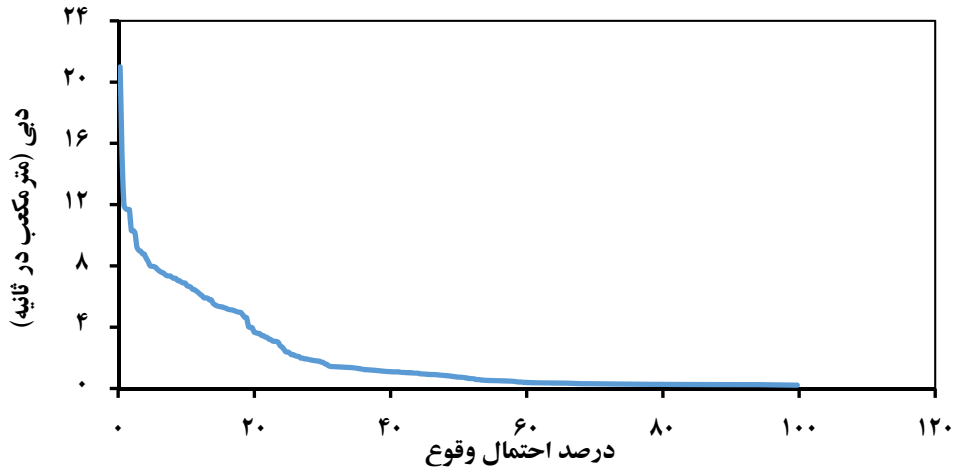
برای تهیه منحنی تداوم جریان از کل آمار دبی های روزانه ثبت شده در ایستگاههای هیدرومتری استفاده شد. بر این اساس دبی های روزانه سنوات آماری ایستگاه‌های هیدرومتری معرف هر رودخانه به‌صورت نزولی مرتب شده و سپس درصد متناظر هریک از این دبی ها محاسبه و درج گردید و در نهایت منحنی درصد وقوع دبی و دبی متناظر آن به‌عنوان منحنی تداوم جریان یا دبی کلاسه ترسیم شد شکل (۳) تا

(۸). این منحنی‌ها نشان می‌دهند که چند درصد اوقات از سال، جریان رودخانه از مقدار معینی تجاوز کرده و یا برابر آن می‌باشد. این منحنی در واقع انتگرال نمودار فراوانی را نشان می‌دهد و به گونه‌ای توزیع زمانی دبی رودخانه را مشخص می‌کند و محور افقی آن درصد احتمال وقوع دبی بوده و محور عمودی آن نیز دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه را شامل می‌گردد. هر یک از منحنی‌های تداوم جریان، اطلاعات کمی را به‌عنوان ویژگی رودخانه ارائه می‌دهد، این ویژگی‌ها عبارت است از دبی نرمال در حالت پرآبی، دبی نرمال در حالت کم آبی، دبی میانگین، دبی میانه، دبی عادی و دبی میانگین می‌باشد. دبی نرمال در حالت پرآبی عبارت است از مقدار جریانی که در طی یک چهارم روز از سال (۹۱ روز از سال) دبی مساوی یا بالاتر از آن باشد. دبی نرمال در حالت کم آبی عبارت است از مقدار جریانی که در طی سه چهارم روز از سال (۲۷۴ روز از سال) دبی مساوی یا بالاتر از آن باشد. دبی میانه نیز جریانی است با احتمال وقوع ۵۰ درصد که در واقع متوسط دبی روزهای ۱۸۲ و ۱۸۳ به صورت نزولی شده می‌باشد. با توجه به اینکه سنوات آماری دبی روزانه طی سنوات آماری موجود با دبی متوسط دراز مدت سالانه در دوره شاخص، متفاوت است، لذا هر دو پارامتر یاد شده ارائه می‌شود.

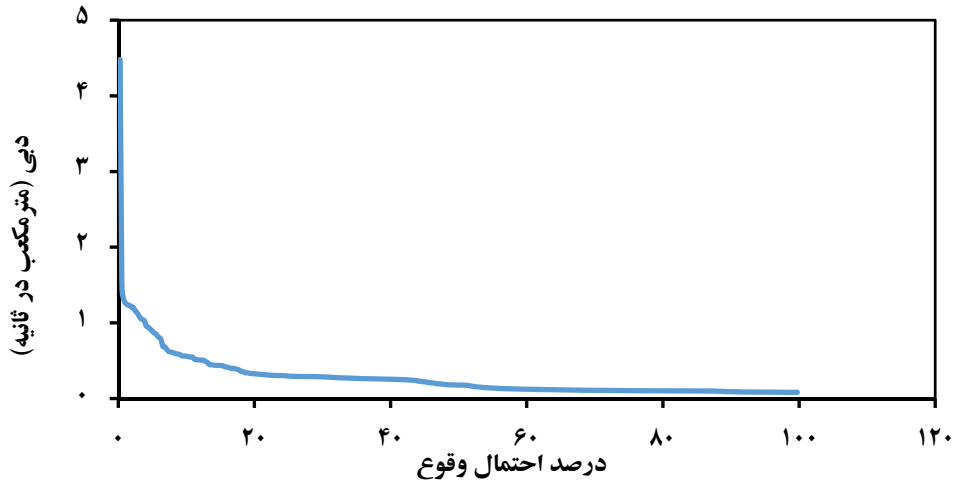
بر این اساس پارامتر مذکور در محل ایستگاه هیدرومتری باقرآباد بر روی رودخانه لعل بار (قمرود) برای بازه‌های لعل بار ۱ و ۲، ایستگاه هیدرومتری نیشهر بر روی رودخانه ریحان برای بازه ریحان، ایستگاه هیدرومتری بازنه بر روی رودخانه بازنه برای بازه‌های بازنه شهباز ۱ و ۲، ایستگاه هیدرومتری تفرش بر روی رودخانه آبکمرد برای بازه آبکمرد و ایستگاه‌های پل دوآب و جوشیروان بر روی رودخانه شراء برای بازه شراء قابلیت تعمیم دارند. البته ایستگاه‌های هیدرومتری سولقان بر روی رودخانه سولقان و آغلک بر روی رودخانه وزواء (آوه) در قسمت استان قم و در بالادست بازه‌های سولقان و آوه ساوه وجود دارند که تازه تاسیس می‌باشند، به‌طوریکه ایستگاه سولقان در سال ۱۳۸۱ و آغلک در سال ۱۳۷۹ تاسیس شده‌اند. ایستگاه‌های مذکور از قابلیت تعمیم نتایج به بازه‌های مرتبط را دارند. متاسفانه کلیه داده‌های ایستگاه سولقان از سال تاسیس صفر بوده و قابلیت بهره‌برداری در این مطالعات را ندارد. اما ایستگاه آغلک دارای داده بوده و قابلیت بهره‌برداری در این قسمت را دارد. در سایر مسیل‌ها نظیر شهراب، دولت آباد، جاورسیان، بصری، ور محلات و شور دلیجان به‌دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری امکان محاسبه منحنی تداوم جریان وجود ندارد. پارامترهای ذکر شده فوق برای هریک از ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول واحدها بر حسب مترمکعب در ثانیه می باشد. همچنین مقادیر منحنی های تداوم ترسیم شده برای ایستگاه‌های مذکور در شکل‌های (۳) تا (۸) ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های منحنی تداوم جریان در ایستگاه‌های معرف محدوده‌ها (مترمکعب در ثانیه)

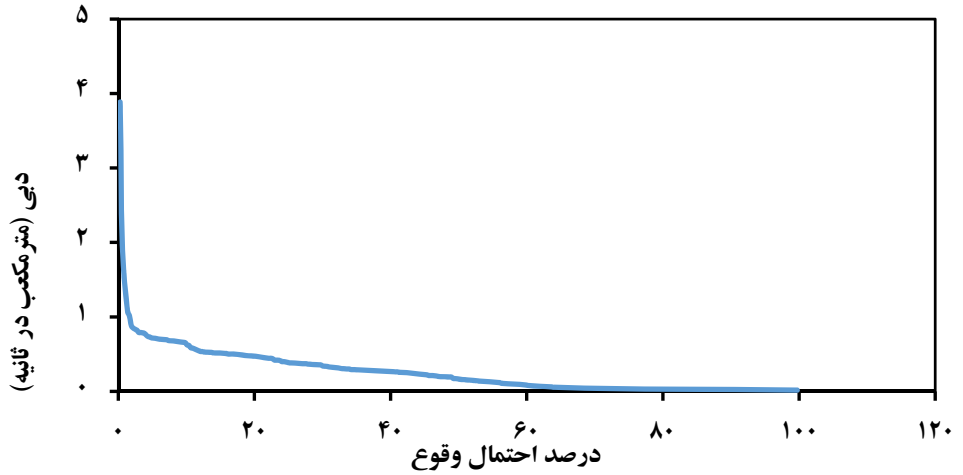
ردیف	نام ایستگاه	حوضه رودخانه	دبی نرمال در حالت پرآبی	دبی نرمال در حالت کم آبی	دبی میانه	دبی میانگین آمار روزانه موجود	دبی میانگین دراز مدت
۱	نیشهر	ریحان	۰/۳	۰/۱	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۴۲
۲	باقرآباد	لعل بار	۲/۳۸	۰/۲۸	۰/۷۴	۲/۰۹	۲/۵۵
۳	بازنه	بازنه	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۳۳
۴	پل دو آب	شراء	۳/۶	۰/۳	۱/۶۲	۳/۲	۳/۳۲
۵	تفرش	آبکمرد	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۷
۶	آغلک	وزوا	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۲۴



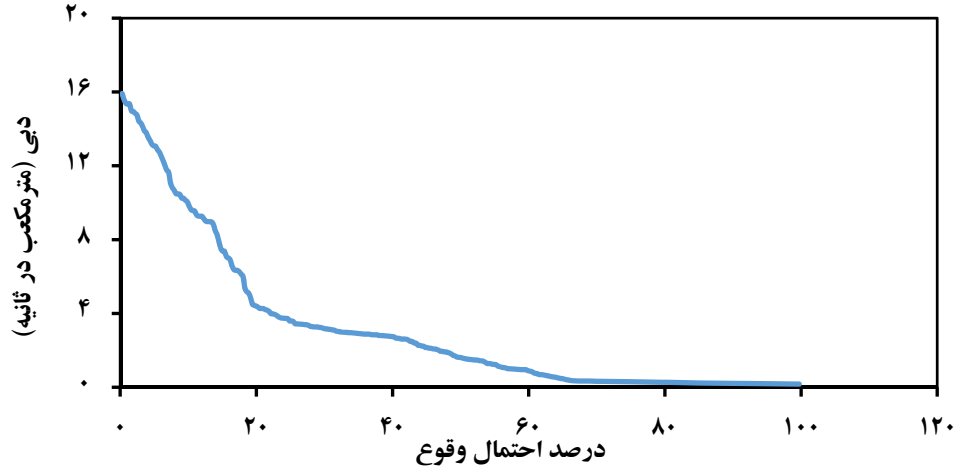
شکل ۳- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری باقرآباد.



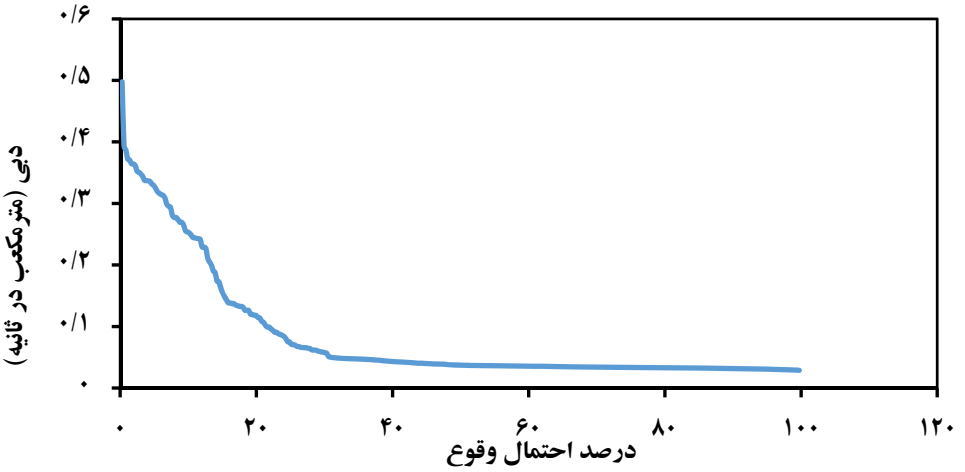
شکل ۴- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری نیشهر.



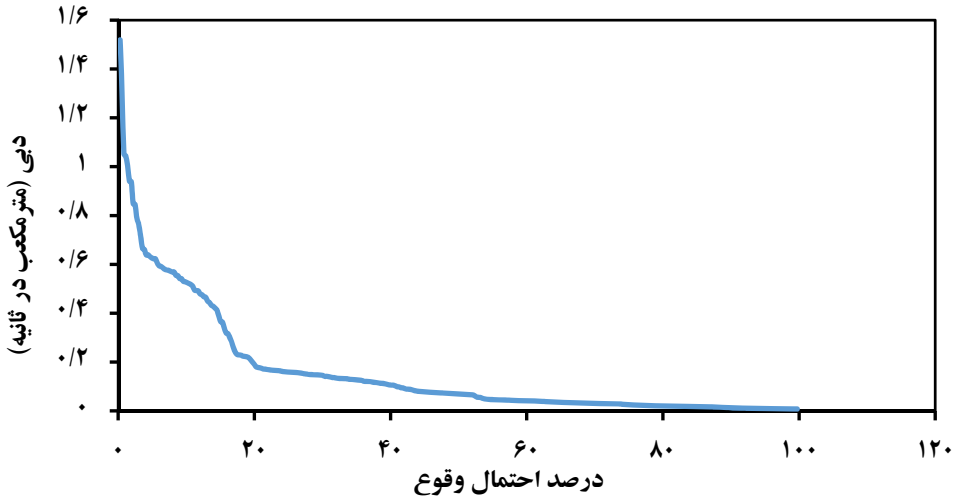
شکل ۵- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری بازنه



شکل ۶- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری پل دوآب.



شکل ۷- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری تفرش.



شکل ۸- منحنی‌های تداوم جریان ایستگاه هیدرومتری آغلک.

تفکیک جریان پایه از جریان سطحی و تعیین سهم هر یک در کل جریان سالانه رودخانه یا مسیل‌های تحت مطالعه دبی پایه رودخانه‌ها عموماً ناشی از تخلیه چشمه‌ها و جریانهای زیرسطحی می‌باشد، که پس از نفوذ بارندگی در ارتفاعات، مقداری از آن به‌صورت رواناب درآمده و قسمتی دیگر نفوذ می‌کند. حجم بارندگی نفوذ یافته به نفوذ عمقی (نفوذ به آبخوان آبرفتی)، تخلیه منابع آب در ارتفاعات (چاه، چشمه و قنات) و همچنین جریان زیر سطحی تفکیک می‌گردد. برای تعیین و تفکیک جریان پایه از جریان سطحی و تعیین سهم آن، از هیدروگراف دبی روزانه سال متوسط بهره گرفته شد. بر این اساس ابتدا با مراجعه به دبی سالانه ایستگاه‌ها طی سنوات آماری و مقایسه با متوسط درازمدت، سال متوسط در آنها مشخص گردید. با ترسیم هیدروگراف دبی روزانه (که در مباحث قبلی به آن پرداخته شد)، طی سال‌های دارای دبی نزدیک به دبی متوسط دراز مدت و جداسازی هیدروگراف سیلاب‌ها در آن، حجم جریان پایه از جریان سطحی جدا شد. جدول (۳) دبی پایه و دبی متوسط دراز مدت ایستگاه‌های یاد شده را در مقیاس‌های ماهانه نشان می‌دهد. بر اساس جدول مذکور که درصد جریان سطحی از کل جریان در هر یک از مقاطع ایستگاه‌های هیدرومتری نیز نشان داده شده است، درصد جریان پایه در مقیاس سالانه در ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه به‌طور متوسط در حدود ۶۰ درصد ارزیابی می‌شود. تنها در ایستگاه نیشهر نسبت این دبی در حدود ۷۵ درصد می باشد.

جدول ۳- تفکیک دبی پایه از سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب (متر مکعب در ثانیه)

ایستگاه	پارامتر دبی	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	سالانه
باقرآباد	دبی ماهانه	۰,۲۲	۰,۲۴	۰,۲۶	۰,۲۳	۲۳,۹۲	۴,۰۰	۰,۲۰	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۱۷	۰,۱۹	۰,۱۶	۲,۵۰
	دبی پایه	۰,۲۱	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۲۰	۰,۲۷	۰,۲۵	۰,۰۸	۰,۱۷	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۱۶	۰,۱۶	۰,۱۸
	دبی سطحی	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۳	۲۳,۶۵	۳,۷۵	۰,۱۲	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۰۲	۰,۰۰	۲,۳۲
	درصد جریان پایه	۹۸,۲	۹۲,۲	۹۸,۷	۸۸,۳	۱,۱	۶,۳	۳۸,۳	۹۱,۳	۵۷,۴	۱۵,۶	۸۷,۲	۹۸,۱	۶۴,۳۹
نیشهر	دبی ماهانه	۰,۰۹۳	۰,۱۱۲	۰,۱۶۰	۰,۴۴۶	۱,۶۶۹	۱,۸۴۱	۰,۴۱۴	۰,۲۳۱	۰,۱۸۰	۰,۱۶۵	۰,۱۲۴	۰,۱۱۰	۰,۴۶۲
	دبی پایه	۰,۰۹۰	۰,۱۰۰	۰,۱۴۰	۰,۲۶۰	۰,۶۳۰	۰,۵۴۰	۰,۲۶۰	۰,۱۷۰	۰,۱۸۰	۰,۱۳۰	۰,۱۲۰	۰,۱۱۰	۰,۲۲۸
	دبی سطحی	۰,۰۰۳	۰,۰۱۲	۰,۰۲۰	۰,۱۸۶	۱,۰۳۹	۱,۳۰۱	۰,۱۵۴	۰,۰۶۱	۰,۰۰۰	۰,۰۳۵	۰,۰۰۴	۰,۰۰۰	۰,۲۳۵
	درصد جریان پایه	۹۶,۵	۸۹,۶	۸۷,۳	۵۸,۳	۳۷,۷	۲۹,۳	۶۲,۷	۷۳,۶	۱۰۰,۰	۷۸,۶	۹۶,۸	۱۰۰,۰	۷۵,۸۸
بازنه	دبی ماهانه	۰,۰۲۰	۰,۰۲۶	۰,۰۳۰	۰,۰۳۰	۰,۴۰۳	۱,۶۲۵	۰,۳۷۰	۰,۲۴۰	۰,۳۲۲	۰,۲۵۶	۰,۰۹۵	۰,۰۴۱	۰,۲۸۸
	دبی پایه	۰,۰۲۰	۰,۰۲۰	۰,۰۳۰	۰,۰۳۰	۰,۰۳۰	۰,۳۷۰	۰,۱۴۰	۰,۱۲۰	۰,۲۶۰	۰,۱۳۰	۰,۰۳۰	۰,۰۳۰	۰,۱۰۱
	دبی سطحی	۰,۰۰۰	۰,۰۰۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۳۷۳	۱,۲۵۵	۰,۲۳۰	۰,۱۲۰	۰,۰۶۲	۰,۱۲۶	۰,۰۶۵	۰,۰۱۱	۰,۱۸۷
	درصد جریان پایه	۱۰۰,۰	۷۷,۵	۱۰۰,۰	۱۰۰,۰	۷,۴	۲۲,۸	۳۷,۸	۴۹,۹	۸۰,۷	۵۰,۸	۳۱,۶	۷۳,۸	۶۱,۰۳
دو آب	دبی ماهانه	۰,۰۹۲	۰,۱۶۴	۰,۲۳۲	۰,۵۱۴	۳,۱۸۹	۳۱,۷۴۱	۴,۲۸۴	۱,۰۸۹	۰,۳۵۱	۰,۵۱۵	۰,۳۳۱	۰,۲۰۵	۳,۵۵۹
	دبی پایه	۰,۰۶۰	۰,۱۳۰	۰,۲۰۰	۰,۲۶۰	۱,۰۷۰	۷,۴۳۰	۱,۹۱۰	۰,۴۱۰	۰,۲۴۰	۰,۴۳۰	۰,۲۲۰	۰,۲۰۰	۱,۰۴۷
	دبی سطحی	۰,۰۳۲	۰,۰۳۴	۰,۰۳۲	۰,۲۵۴	۲,۱۱۹	۲۴,۳۱۱	۲,۳۷۴	۰,۶۷۹	۰,۱۱۱	۰,۰۸۵	۰,۱۱۱	۰,۰۰۵	۲,۵۱۲
	درصد جریان پایه	۶۵,۵	۷۹,۳	۸۶,۴	۵۰,۶	۳۳,۵	۲۳,۴	۴۴,۶	۳۷,۶	۶۸,۴	۸۳,۴	۶۶,۵	۹۷,۶	۶۱,۴۰
تفرش	دبی ماهانه	۰,۰۹۲	۰,۱۶۴	۰,۲۳۲	۰,۵۱۴	۳,۱۸۹	۳۱,۷۴۱	۴,۲۸۴	۱,۰۸۹	۰,۳۵۱	۰,۵۱۵	۰,۳۳۱	۰,۲۰۵	۳,۵۵۹
	دبی پایه	۰,۰۶۰	۰,۱۳۰	۰,۲۰۰	۰,۲۶۰	۱,۰۷۰	۷,۴۳۰	۱,۹۱۰	۰,۴۱۰	۰,۲۴۰	۰,۴۳۰	۰,۲۲۰	۰,۲۰۰	۱,۰۴۷
	دبی سطحی	۰,۰۳۲	۰,۰۳۴	۰,۰۳۲	۰,۲۵۴	۲,۱۱۹	۲۴,۳۱۱	۲,۳۷۴	۰,۶۷۹	۰,۱۱۱	۰,۰۸۵	۰,۱۱۱	۰,۰۰۵	۲,۵۱۲
	درصد جریان پایه	۶۵,۵	۷۹,۳	۸۶,۴	۵۰,۶	۳۳,۵	۲۳,۴	۴۴,۶	۳۷,۶	۶۸,۴	۸۳,۴	۶۶,۵	۹۷,۶	۶۱,۴۰
آغلک	دبی ماهانه	۰,۰۳۵	۰,۰۳۸	۰,۰۴۲	۰,۰۵۲	۰,۰۸۳	۱,۰۷۲	۲,۰۱۰	۰,۰۳۹	۰,۰۳۳	۰,۰۳۹	۰,۰۳۱	۰,۰۰۶	۰,۲۹۰
	دبی پایه	۰,۰۲۹	۰,۰۳۱	۰,۰۳۶	۰,۰۳۶	۰,۰۴۲	۰,۱۸۲	۰,۰۵۶	۰,۰۳۱	۰,۰۳۱	۰,۰۳۶	۰,۰۱۸	۰,۰۰۰	۰,۰۴۴
	دبی سطحی	۰,۰۰۶	۰,۰۰۷	۰,۰۰۶	۰,۰۱۶	۰,۰۴۱	۰,۸۹۰	۱,۹۵۴	۰,۰۰۸	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۱۳	۰,۰۰۶	۰,۲۴۶
	درصد جریان پایه	۸۲,۹	۸۱,۸	۸۵,۶	۶۹,۷	۵۰,۷	۱۷,۰	۲,۸	۷۹,۳	۹۳,۴	۹۲,۳	۵۷,۶	۰,۰	۵۹,۴۲

۴- نتیجه گیری

در مطالعات و طراحی پروژه‌های آبی، داشتن آمار و اطلاعات جامع در رابطه با تحلیل وقوع پدیده‌ها با احتمالات مختلف ضروری می‌باشد. پروژه‌های آبی همگی برای پدیده‌های خاص هیدرولوژیک که در آینده رخ می‌دهد و زمان دقیقی برای وقوع آنها قابل پیش‌بینی نمی‌باشد، برنامه‌ریزی و طراحی می‌گردد. از آنجائیکه تمام معیارهای کمی هیدرولوژیکی از قبیل حداکثر سیلاب به‌عنوان مؤلفه‌های تصادفی می‌باشند از این رو می‌بایست به‌نحوی احتمال اینکه میزان جریان‌های رودخانه (و سیلاب‌ها) که در آینده مساوی و یا بزرگتر از یک مقدار خاص باشد را تعیین و برآورد نمود. این احتمالات در ارزیابی اقتصادی و اجتماعی پروژه های آبی از اهمیت زیادی برخوردار است. درصد جریان پایه در مقیاس سالانه در ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه به‌طور متوسط در حدود ۶۰ درصد ارزیابی می‌شود. تنها در ایستگاه نیشهر نسبت این دبی در حدود ۷۵ درصد می باشد.

منابع

- Alizadeh, A. 2007. Principal of applied hydrology. 14th Edition, Emamreza University, Mashhad, Iran, 807 pages (in Persian).
- Bailey, T.P. and R.B. Bass. 2009. Hydroelectric feasibility study: an assessment of the feasibility of generating electric power using urban storm water in Oregon City. Oregon Institute of Technology.
- Blumenfeld, S., C. Lu, T. Christopehersen and D. Coates. 2009. Water, wetlands and forests: a review of ecological, economic and policy linkages. Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Montreal and Gland. CBD Technical Series No. 47, 38 pages.
- Castellarin, A., G. Botter, D.A. Hughes, S. Liu, T.B.M. Ouarda, J. Parajka and R.M. Vogel. 2013. Prediction of flow duration curves in ungauged basins. Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis Across Processes, Places and Scales. University Press, Cambridge, 135-162.
- Costa, V., W. Fernandez and M. Naghettini. 2014. Regional models of flow-duration curves of perennial and intermittent streams and their use for calibrating the parameters of a rainfall–runoff model. Hydrological Sciences Journal, 59(2): 262-277.
- Hisdal, H., L.M. Tallaksen, M.B. Clausen, E. Peters and A. Gus-tard. 2004. Hydrological drought characteristics, in: Hydrological drougth, processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Edited by: Tallaksen, L.M. and Van Lanen, H.A.J., Developments in Water Science, Elsevier Science, 48: 139–198.
- Lee, S., J. Kim and J.W. Hur. 2013. Assessment of ecological flow rate by flow duration and environmental management class in the Geum River, Korea. Environmental Earth Sciences, 68(4): 1107-1118. Merz, B. and G. Blöschl. 2004. Regionalization of catchment model parameters. Journal of Hydrology, 287: 95-123.

- Mohamoud, Y.M. 2008. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. Hydrological Sciences Journal, 53(4): 706-724. Nash, J.E. and J.V. Sutcliff. 1970. River flow forecasting through conceptual models. 1. A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
- Reichl, F. and J. Hack. 2017. Derivation of flow duration curves to estimate hydropower generation potential in data- carce regions. Water, 9(8): 572-593.
- Rojanamon, P., T. Chaisomphob and T. Bureekul. 2009. Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 2336–2348.
- Sauquet, E. and C. Catalogne. 2011. Comparison of catchment grouping methods for flow duration curve estimation at ungauged sites in France. Hydrology and Earth System Sciences, 15(8): 2421- 2443.
- Singh, R.D., S.K. Mishra and H. Chowdhary. 2001. Regional flow-duration models for large number of ungauged Himalayan catchments for planning microhydro projects. Journal of Hydrologic Engineering, 6(4): 310-316.
- Smakhtin, V.U. 2001. Low-flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, Elsevier, 240: 147-186.
- Swain, J.B. and K.C. Patra. 2017. Stream flow estimation in ungauged catchments using regionalization techniques. Journal of Hydrology, 554: 420-433.
- Westerberg, I.K., J.L. Guerrero, P.M. Younger, K.J. Beven, J. Seibert, S. Halldin, J.E. Freer and C.Y. Xu. 2011. Calibration of hydrological models using flow-duration curves. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2205-2227.
- Yaşar, M. and N.O. Baykan. 2013. Prediction of flow duration curves for ungauged basins with Quasi-Newton method. Journal of Water Resource and Protection, 5(01): 97-110.
- Zare Chahouki, A., A. Salajegheh, M. Mahdavi, S. Khalighi and S. Asadi. 2013. Regional flow duration curve in arid regions for ungauged basins, case study: central Iran. Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources), 66(2): 251-265 (in Persian).

- **پایش، پیش‌بینی، ارزیابی، هشدار، بهره‌برداری و مهار سیل**

شبیه‌سازی رخداد سیلاب ۶ مرداد۱۴۰۱ امامزاده داود

باقر قرمزچشمه*[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]، فرود شریفی[۲]

۱*-استادیار (نویسنده مسئول)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
baghergh@gmail.com

۲و ۳-استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده

در طی سال های اخیر بارش‌های های تابستانه در کشور سیلابهای شدید زیادی را ایجادکرده است. که نمونه‌های مختلف آنها از سیل سجان در غرب ا ستان البرز تا سیلاب امازاده داود را می توان بر شمرد. تغییرات اقلیمی و کاربری ارا ضی فراوانی و شدت بار شهای تاب ستانی را افزایش داده ا ست. به تبع آن سیلابهای با تواتر کم و شدت زیاد را در برخی از نقاط کشور سبب شده است. یکی از این سیلابها در شش مرداد ماه ۱۴۰۱ در منطقه امامزاده داوود رخ داد. بارش محلی پایان شب و در مدت حدود ۴۰ دقیقه ۳۲ میلیمتر بارندگی در ایستگاه امامزاده داود ثبت شد. بارش با شدت بسیار بالا در مدت کم رواناب زیادی را ایجاد و باعث سیلاب در رودخانه و ایجاد خسارت در محدوده مسکونی امامزاده داود را سبب شد. به منظور بررسی و تحلیل رواناب حاصل از بارش با استفاده از روش مادکلارک شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از وقوع سیلاب از منطقه بازدید و در چندین بخش رودخانه مقطع عر ضی براساس آثار داغاب برداشت شد. پارامترهای بارش، کاربری اراضی و خاک حوضه بالادست از داده‌های موجود و تدقیق آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه و پارامترهای مرفومتری با استفاده از مدل رقوم ارتفاعی محاسبه و وارد مدل شد. توزع زمانی بارش با فواصل زمانی ۵ دقیقه بر اساس داده‌های ثبت شده ایستگاه امامزاده داود نیز وارد مدل و هیدروگراف در سه نقطه رودخانه محاسبه شد. همچنین در نقاطی که مقطع عرضی رودخانه برداشت شده بود، با روش مانینگ دبی بیشینه لحظه‌ای محاسبه شد. نتایج نشان داد که در شاخه اصلی دبی حداکثر در بالادست تونل در حدود ۲۳ مترمکعب شاخه فرعی حدود ۶ تونل به بیش از ۲۸ مترمکعب رسید محاسبات اندازه گیری شده بر اساس داغ آب، همین مقدار را در تونل اصلی نشان داد.

واژه‌های کلیدی:

بارش، سیلاب، رواناب، مادکلارک، امامزاده داود

مقدمه

سیل از فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد که ابعاد آن تحت تأثیر شرایط مختلف طبیعی و مصنوعی سطحی زمین و نیز شرایط مختلف اقلیمی تغییر می‌نماید. این پدیده طبیعی در صورت مهار و کنترل از منابع آب مورد ا ستفاده در تو سعه اقت صادی بوده و منافع زیادی را در بخش ک شاورزی و منابع طبیعی

سبب می‌شود. در صورت عدم شناخت و عدم کنترل و مهار آن، از بلایای طبیعی به شمار آمده و خسارات و تلفات جانی همواره در پی خواهد داشت. یکی از ویژگی‌های بسیار مهم حوزه آبخیز، شدت سیل‌خیزی آن می باشد. ایران در میان چند کشوری قرار دارد که تحت تاثیر مشکلات ناشی از وقوع سیلاب‌های حوضه‌های شهری می‌باشد.

مرور منابع نشان داد که طیف وسیعی از تحقیقات موضعی پیرامون سیل و روش‌های بررسی و برآورد مخاطرات و سوابق سیل در کنفرانسها و مجلات علمی- پژوهشی داخلی منتشر شده است. از جمله تحقیقاتی که به موضوعات بنیادی سیل پرداخته‌اند، میتوان به عزیزی و صمدی(۱۳۸۶)، محمودی آهنگرکلایی ((۱۳۸۸، نوروزی و همکاران (۱۳۸۸)، محمدی و همکاران (۱۳۹۴) و معروفی نیا و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد.

در مقابل تحقیقاتی نظیر قاسمی و شمشکی (۱۳۸۷)، سلیمانی (۱۳۸۹)، فولادیان (۱۳۹۳)، مرادی و همکاران (۱۳۹۵)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷)، و رحمانی و همکاران (۱۳۹۷) مستقیماً به وقایع سیل استان مازندران پرداخته‌اند. به طور مثال رحمانی و همکاران (۱۳۹۷) رودخانه‌های تالار، نور، تجن و چالوس را دارای مخاطرات بالای سیل رده بندی کرده‌اند که با رویدادهای سیل استان کاملاً تطابق دارند. رویدادهای سیل سال ۱۳۸۴ رودخانه نکاء و رویدادهای سیل رودخانه‌هراز به ترتیب در تحقیقات فولادیان (۱۳۹۳) و سلیمانی (۱۳۸۹) مورد تدقیق قرار گرفته‌اند. تعداد معدودی از کارهای انجام شده همچون نوری و همکاران (۱۳۹۲)، فولادیان (۱۳۹۳)، مختاری (۱۳۸۸) و صادقلو و سجادی (۱۳۹۳) به روشهای مدیریت و کنترل سیلاب تمرکز داشته‌اند. از دیدگاه مدیریت کلان کشور، طرحی مقدماتی در مدیریت سیل کشور به وسیله وزارت نیرو تعریف شده‌است (MOE، ۱۳۹۸). اگرچه اداره کل کنترل سیل و آبخواندارى در معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری مسئولیت اجرای روشهای کنترل سیل را بر عهده دارد، لیکن طرح مدون و کلانی برای مبحث سیل ندارد.

قرمزچشمه و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل و ارزیابی سیل دی ماه ۱۳۹۸ در جنوب بلوچستان و شرق هرمزگان پرداختند. ارزیابی آنها نشان داد که در بخش بلوچستان و به ویژه در منطقه دشتیاری عامل اصلی تخریب مدیریت نامناسب سد در بالادست و رها شدن جریان با دبی بالا و ورود سیلاب با حجم زیاد به دگارها و عدم نگهداری مناسب دگار ها بود. در بخش شرقی استان هرمزگان عامل اصلی خسارات تجاوز به حریم رودخانه و طراحی نامناسب پلها و عدم انجام لایروبی رودخانه‌ها به خصوص در اطراف پل ها باعث ایجاد سیلاب شده بود.

غریب رضا و همکاران (۱۳۹۹) سیلاب‌های اسفند ۹۷ و فروردین ۹۸ شمال شرق کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیل در رودخانه‌های تجن، تالار و سیاهرود، نکارود، خلیج میانکاله و بابلرود از نوع تند سیلاب ۱ بوده‌است. همچنین مناطق ساحلی کیاکلا، گلوگاه، ساری، نکاء، میاندرود، عربخیل و لاریم دچار آبگرفتگی ۲ شده‌اند. در طی رویداد سیل اسفند ۹۷، حجم بارش دریافتی در

حوضـــه های رود خا نه های تجن، تالار و ســـیاهرود، نکارود، خلیج ۱۳۴و ۱۲۷ میلیون مترمکعب بوده،۱۴۰،۲۷۸، میانکاله و بابلرود در شرق ا ستان به ترتیب ۱۳۹۳ ا ست. تخریب سیل در رودخانه تجن به‌وســیله بارشــی برابر ۱۶۲ میلیمتر، دبی پیک ســیلاب ۸۸۰ مترمکعب بر ثانیه با دوره بازگشــت ۳۳۰ ساله رقم خورده‌است.

قرمزچ شمه و همکاران (۱۴۰۰) به واکاوی سیل دی ماه ۱۴۰۰ جنوب و جنوب شرق ایران پرداختند. این رخداد بارشــی در برخی از ایســتگاهها مانند کنارک به ۳۳۸ میلیمتر ثبت و در اســتان هرمگان نیز بطور متو سط ۱۰۹ میلیمتر بد ست آمد. در مجموع در بخش جنوبی ک شور ۱۷ ملیار مترمکعب رواناب برآورد شد که بیانگر ضریب بلای رواناب در منطقه بوده است. بررسیهای آنها نشان داد که ضعف پوشش گیاهی علت اصلی شدت سیلاب بوده است. خسارات وارده نیز به علت ورود به حریم رودخانه‌ها تشدید یافته بود.

در بخش البرز جنوبی به ویژه مناطق کوهشتانی و پر سیب البرزمرکزی مانند امامزاده داود نیز از مناطق سیل خیز ک شور ب شمار می‌روند. از سیل‌های معروف منطقه امامزاده داود، می‌توان به سیل سرا سری شمال تهران در خرداد سال ۱۳۴۸ ا شاره کرد در این برهه کوتاه زمانی یکی از پرریزش ترین ایام تاریخ را ثبت کرده اســت. در ارتفاعات بلند البرز کثرت ریزش‌ها از ســایر بخش‌های کشــور بیشــتر بوده و به همین دلیل اثرات منفی و مخرب ســیل حاصــل از ریزش‌ها شــدیدتر بود. این ســیل‌ها در مقایســه با رویدادهای قبلی و بعدی بطور محســوس و چشــمگیر از تداوم بیشــتری نیز برخوردار بودند. از دیگر سیل‌های معروف منطقه می توان به سیل اردیبهشت ۷۴ با دبی حداکثر ۳۴۵ متر مکعب بر ثانیه اشاره کرد. خسارات عظیم ناشی از جریان‌های واریزه‌ای تقریبا تمامی راههای ارتباطی و راه اصلی کن-سولقان را مسدود نمود. متا سفانه جریان سیل یاد شده منجر به کشته شدن شش نفر از اهالی منطقه گردید. این سیل به سیل کشار کن معروف است. در تحقیقاتی که از ساکنین محلی به عمل آمد معلوم گردید که هر یک از بومیان خاطرات زیاد و تاســف باری را از ســیلاب‌های گذشــته در ذهن خود دارند که این موضوع در رابطه با سرشاخه امامزاده داوود و کشار با توجه به سوابق سیل بسیار مشهود است(گزارشات تفصیلی-اجرایی حوزه آبخیز کن، ۱۳۷۵).

وقایع یاد شده سبب گردیدند تا برنامه‌های مهار و کاهش خطر سیل در منطقه به مورد اجرا گذا شته شــود. که بدنبال آن تعداد زیادی بندهای کنترلی در آبراهه‌ها برای کنترل ســیل ســاخته شــد. لذا برای پاســخ به این موضــوع که اقدامات صــورت گرفته در منطقه مورد مطالعه به چه میزان توانســته اند در کنترل سیل موثر باشند تحقیق حاضر صورت پذیرفت. این حوضه در شمال تهران دارای دومین اولویت برای مطالعه سیل می باشد (شرکت خدمات مهندسی جهاد ۱۳۷۳).

در تاریخ ۱۳۳۳/۵/۶ در تهران طی یک طوفان تابســتانه در حدود ۲۲ میلیمتر باران رگباری بارید در همین زمان در دره امامزاده داوود یکی از ســر شــاخه‌های معروف کن و ســولقان در شــمال غرب تهران

سیلی بسیار عظیم و مخرب و سنگین جاری شد، تلفات جانی سنگین و بی شماری را تحمیل کرد . این سیل بخش زیتدی از روستا از جمله خود بقعه امامزاده داوود و روستا و تاسیسات موقوفی مجاور آن را بطور کامل تخریب و نابود کرد که این موضوع کاملا شبیه سیل معاصر ماسوله بود. هدف از این تحقیق برر سی بارش- رواناب ۶ مرداد ۱۰۴۱ و تحلیل آن می با شد. این سیلاب خ سارات زیاد و حدود ۳۰نفر نیز تلفات به‌همراه داشت.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز کن واقع در شمال غرب تهران یکی از حوضه‌های کوهستانی و پر شیب می‌باشد. زیر حوضه کیگاه یکی از سر شاخه‌های آن بوده و در بالاد ست آن امامزاده داوود واقع شده ا ست. حو ضه بالاد ست امامزاده داوود از دو شاخه تشکیل شده که شاخه شمال شرقی با مساحتی حدود ۱۵۰ هکتار و شاخه اصلی آن نیز ۴۸۵ هکتار می‌باشد. این حوضه بین عرض‌های ″۷ ′۲۰ °۳۵ تا ″۵۸ ′۵۳ °۳۵ و طول‌های ″۱۵ ′۵۲ °۵۱ تا ″۵۱ ′۲۲ °۵۱ واقع شده است (شکل ۱). توپوگرافی حوضه نشان می‌دهد که منطقه بسیار پر شیب بوده و جزء ارتفاعات محسوب می‌گردد به طوری که ارتفاع در بالادست امامزاده و منطقه م سکونی ۲۶۰۰ متر و بالاترین نقطه آن به ۳۸۴۳ متر می‌ر سد. این حو ضه، در یک منطقه کوه ستانی قرارگرفته که کوه‌های با شـیب تند بیش از ۷۵٪ منطقه را می پوشـاند. اختلاف ارتفاع، شـیب‌های تند دامنه‌ها و رودخانه باعث ایجاد جریان‌های خیلی سریع شده است. ۶,۵ درصد مساحت حوضه در کمتر از ۲۷۰۰ متر و ۱,۵ درصد آن بالای ۳۷۰۰ متر واقع شده است. بیشترین مساحت حوضه با ۲۷,۴ درصد در فاصله طبقاتی ۲۹۰۰ تا ۳۱۰۰ متر قرار گرفته و حدود ۴۲ درصد حوضه بالاتر از ۳۱۰۰ قرار دارد.

ت شکیلات زمین شنا سی حو ضه در ارتفاعات شیل‌های آلتر شده همراه توف و سیلت ستون را شامل می‌شود. در بخش میانی و ارتفاعات پایین دست آن توف و بعضی و میان لایه‌های شیلی رخنمون داشته و بخش عمده حوضه را شیل‌های سیاه با توپ‌های سبز تشکیل می دهند. در بخش پایینی نیز توپ‌های سبز با به‌همراه شیل مشاهده می‌شود. در شکل ۶ نقشه سازندها و تشکیلات زمین شناسی آورده شده اسـت. کاربری اراضـی حوضـه مرتع بوده و در بخش حاشـیه آبراهه، نزدیک خروجی بصـورت لکه‌های کوچک کاربری باغی نیز مشاهده می‌شود.

شکل۱- موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه

هیتوگراف بارش

بارش رخ داده آخر شب پنجم و اوایل بامداد ششم مرداد ۱۴۰۱در امامزاده داوود بر اساس اطلاعات ایستگاه بارانگار منطقه، به مدت ۳۸ دقیقه ۳۱,۵ میلیمتر بوده ا ست. با توجه به الگوی زمانی بارش‌های نقطه‌ای و همرفتی که معمولاً بارش‌های شدیدی را سبب می‌شود، شدت بارش در چارک اول نسبت به چارکهای دیگر بیشتر است. مقدار بارندگی در جدول (۱) در زمان‌های ۵ تا ۳۰ دقیقه‌ای که از گزارشات آب منطقه‌ای دریافت شده است، آمده است.

جدول۱- هیتوگراف بارش ۸-۶ مرداد۱۴۰۱

نام ایستگاه	ساعت			زمان (ساعت) بارش-میلیمتر					مقدار بارش-میلیمتر
	شروع بارش	خاتمه بارش	اوج بارش	۰:۵۵	۰:۵۸	۱:۰۰	۱:۰۵	۱:۳۰	
امامزاده داود	۰:۴۹	۱:۳۰	۱:۰۵	۶,۵	۵,۵	۶	۱۰	۳,۵۸	۳۱,۵

پارامترهای فیزیکی حوضه

زمان تمرکز حوضه عبارت است از مدت زمانی که لازم است تا جریان سطحی از دورترین نقطه یک حوضه به خروجی آن برسد را زمان تمرکز گویند. این زمان از یکسو به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه نظیر سطح، شکل، طول و شیب آبراهه، ناهمواریهای سطحی، نوع وتراکم پوشش گیاهی وغیره بستگی دارد و از سوی دیگر شدت بارندگی وتوزیع زمانی ومکانی آن نیز می‌تواند طول زمان تمرکز را افزایش یا کاهش دهد. با توجه به مشخصات حوضه از روش کرپیچ زمان تمرکز حوضه محاسبه شد. این روش برای حوضه‌های کوچک کارآیی زیادی دارد که درآن زمان تمرکز از فرمول (رابطه ۱) محاسبه می‌شود:

$$T_c \ @\ 0.0195\ L^{0.77}\ S^{00.385} \quad (۱)$$

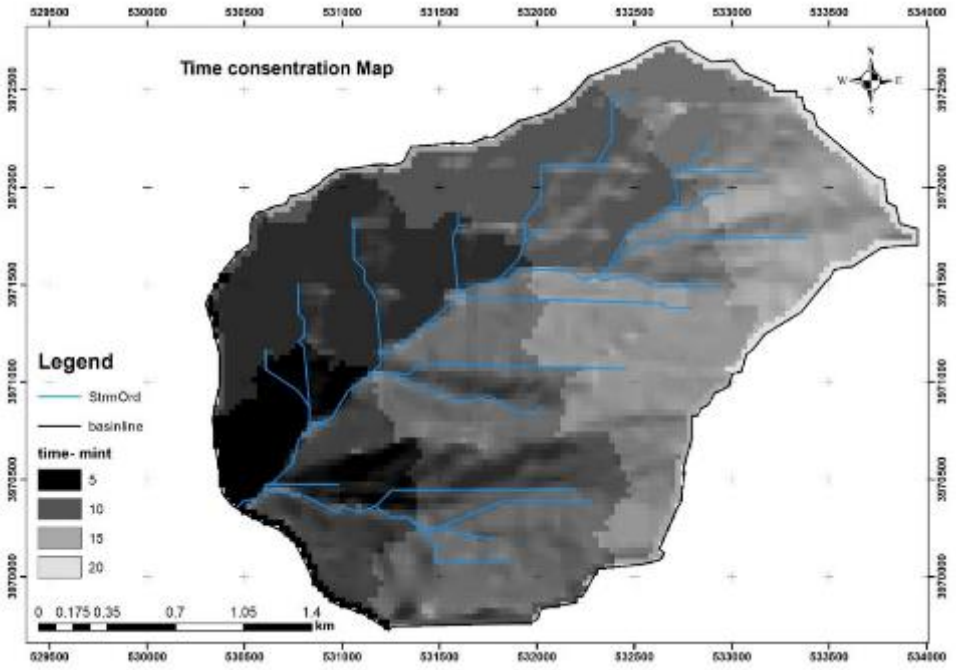
Tc: زمان تمرکز برحسب دقیقه

S: شیب متوسط آبراهه اصلی برحسب متر برمتر

L: طول آبراهه اصلی برحسب متر

برای استخراج نقشه هم‌زمان جریان نیازمند محاسبه نقشه طول جریان و زمان تمرکز می باشد که در ادامه به آن پرداخته می شود. طول جریان عبارتست از فاصله هر نقطه از حوضه تا خروجی ئر مسیر جریان، بر این اساس می‌توان بیشترین فاصله که جریان طی می‌کند تا به خروجی برسد و همچنین بیشترین مسافتی که می‌تواند در خروجی جریان در یک زمان خاص مشارکت نماید را محاسبه کرد. بر اساس نقشه جریان، ۱۱ درصد حوضه حدود یک کیلومتر تا خروجی فاصله داشته و بیشترین مساحت حوضه در فاصله دو و سه کیلومتری به ترتیب ۳۳ و ۳۲ درصد حوضه را به خود اختصاص داده اند.

زمان هم‌جریان عبارتست از فاصله زمانی هر نقطه از حوضه که طول می‌کشد تا جریان به خروجی برسد و بیشترین مقدار آن زمان تمرکز خوانده می‌شود. در این حوضه بیشرین زمان ۲۰ دقیقه براساس روابط زمان تمرکز محاسبه و براساس نقشه طول جریان نقشه همزمان جریان بدست آمد. بر این اساس روناب حدود ۱۴ در صد از حوضه در ۵ دقیقه اول به خروجی حوضه می‌رسد و حدود ۸۳ در صد آن در طول ۱۵ دقیقه به خروجی خواهند رسید. در شکل (۲) نقشه همزمان جریان آورده شده است.



شکل ۲- نقشه همزمان تمرکز جریان

کاربری اراضی

کاربری اراضی حوضه مرتع بوده و در بخش حاشیه آبراهه، نزدیک خروجی بصورت لکه‌های کوچک کاربری باغی نیز مشاهده می‌شود. در داخل آبراهه نیز پوشش درختچه‌ای در بخشی از رودخانه مستقر شده بود که در حال حاضر در اثر سیل ازبین رفته است. حدود ۷۰ درصد حوضه مراتع فقیر تا متوسط، ۳۰ درصد مراتع فقیر و تنها کمتر از ۰,۵ درصد آن را اراضی باغی تشکیل می‌دهند (جدول ۲).

جدول ۲- مساحت کاربریهای مختلف

نوع کاربری	مساحت- هکتار	مساحت- ٪
مراتع فقیر تا متوسط	464.4	69.4
اراضی باغی	3.6	0.5
مراتع فقیر	201.1	30.1
جمع	669.17	100.0

ارتفاع رواناب

بررسی سیلاب رودخانه‌ها به لحاظ مقدار، بزرگی و فراوانی وقوع آن از بخش‌های مهم مطالعات هیدرولوژی به شمار می‌آید. سیلاب را می‌توان چنین تعریف نمود: افزایش ناگهانی دبی رودخانه که این

افزایش به‌طور بیش از ظرفیت بستر جریان بوده و موجب سرریز شدن آب از کناره‌ها گردیده و با غرق‌آب نمودن ارا ضی و سایر سازه و بناهای موجود در حوا شی رودخانه موجب تلفات مالی و یا جانی می‌شود. وقوع بارش‌های شدید، طوفان‌ها، تغییرات موسمی جو به‌همراه تغییرات ناشی از عملکرد و بهره‌برداری انسان از بستر سیلابی رودخانه‌ها و نیز تغییر کاربری ارا ضی حو ضه بالاد ست از مهم‌ترین عوامل به‌وجود آورنده و در عین حال تشدیدکننده جریان‌های سیلابی به شمار می‌آیند. شدت بارندگی رابطه‌ای معکوس با تداوم بارندگی دارد و در واقع هرچه تداوم بارندگی کم‌تر شود، شدت آن بیش‌تر می شود. از آن‌جایی که بیشینه آب‌دهی سیلاب هر حوزه آبخیز به‌طور اساسی تابعی از زمان تمرکز آن است، بنابراین کوتاه‌تر شدن زمان تمرکز حوضه بر اثر تغییر کاربری اراضی را می‌توان مترادف با افزایش شدت بیشینه جریان سیلاب‌ها نیز تلقی نمود. چرا که بارندگی‌های با تداوم کم‌تر و شدیدتر باعث جاری شدن سیلاب و رسیدن آن به بیشینه میزان خود می‌گردند. در ادامه به روش‌های مختلف محاسبه مقدار سیلاب حوضه پرداخته می‌شود.

روش SCS یکی از روش‌های رایج تجربی برای محاسبه ارتفاع رواناب و همچنین هیدروگراف و دبی بیشینه سیلاب می‌باشد. برای محاسبه ارتفاع رواناب کاربری اراضی و گروههای هیدرولوژیکی خاک تهیه و براساس رابطه SCS (رابطه ۲) ابتدا نقشه تلفات و سپس ارتفاع رواناب محاسبه شد.

$$Q = \begin{cases} 0 & \text{for } P \le I_a \\ \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} & \text{for } P > I_a \end{cases}$$

(۲)

Q: مقدار رواناب، میلیمتر

P: مقدار بارش، میلیمتر

S: حداکثر پتانسیل حفظ رطوبت خاک به میلیمتر است که از رابطه (۳) بدست می آید

I: مقدار انتزاع اولیه است که بین ۰ . یک بوده و پیش فرض آن ۰/۲ است.

CN: شماره منحنی

$$S = \frac{25400}{CN} - 25.4 \qquad (۳)$$

روش استدلالی به علت کاربرد ساده آن به طور وسیعی در دنیا به خصوص در امور مربوط به هیدرولوژی شهری و امور اجرایی آبخیزها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از شدت بارندگی در زمان تمرکز حوضه استفاده می‌شود. رابطه (۴) استدلالی به صورت زیر و ورودی‌ها و خروجی می‌باشد:

$$Qp = 0.278CIA \qquad (۴)$$

که در آن :

Qp: دبی اوج سیل با دوره بازگشتی معادل دوره برگشت رگبار به مترمکعب بر ثانیه

C: ضریب رواناب یا ضریب جریان سیلابی
I: شدت بارندگی در زمان تمرکز به میلی‌متر در ساعت
A: سطح حوضه به کیلومترمربع

نتایج و بحث

رخداد بارش بامداد ششم مرداد ۱۴۰۱ از نظر شدت تاریخی بوده و شدت تا ۱۸۰ میلیمتر در ساعت را نیز به ثبت رسانده است. علاوه بر شدت بالای بارش، شیب تند دامنه‌های حوضه بالادست، خاک کم عمق دامنه‌ها و وجو دامنه‌های با رخنمون سنگی زیاد و توده سنگی و پوشش گیاهی ضعیف منطقه، سبب ایجاد رواناب زیاد شده بود. سازند غالب منطقه شیل بوده و مواد فرسایش یافته حاصل از شیل در دامنه‌ها به شدت قابلیت حرکت به سمت پایین دست را دارند که در این واقعه به‌همراه رواناب دامنه‌ها به سمت پایین دامنه حرکت و حالت جریان واریزه‌ای را تشکیل دادند. با توجه به شیب تند آبراهه‌ها جریان واریزه‌ای دامنه‌های وارده شده به آبراهه‌ها با سرعت زیاد در آبراهه‌ها جاری سیلاب با شدت بالا را ایجاد کردند. در شکلهای ۳ و ۴ داغاب دو آبرهه شمال شرقی و شمال غربی آورده شده است که به ترتیب با برآورد صحرایی(با بکارگیری مقطع عرض و روش مانینگ) ۷ و ۲۲ مترمکعب بر ثانیه دبی برآورد شد.

شکل ۳- آبراهه شمال شرقی و آثار داغاب سیل

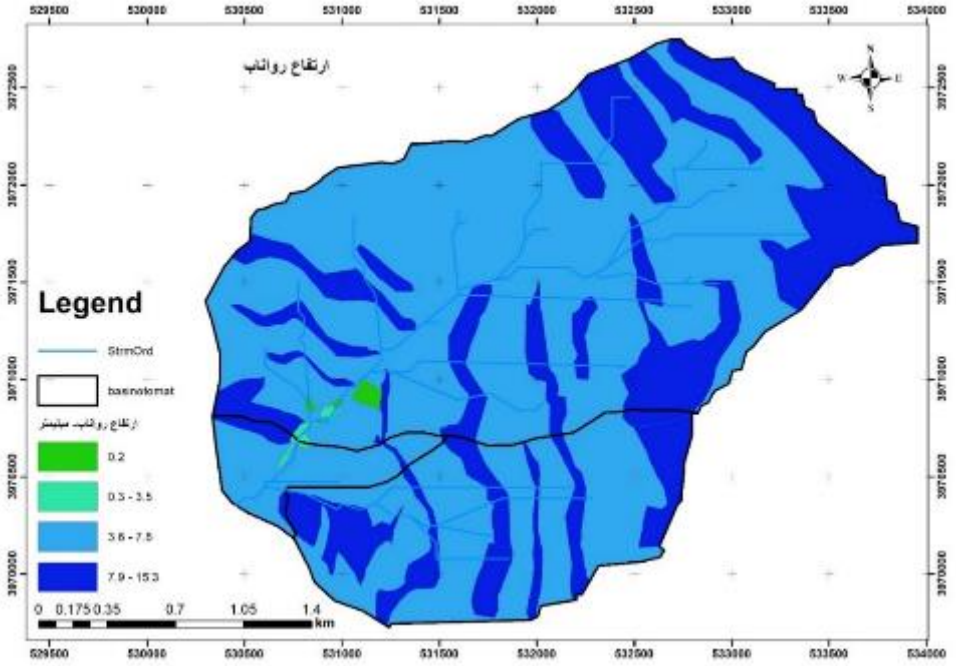
شکل ۴- آبراهه شمال غربی و آثار داغاب سیل

روش استدلالی

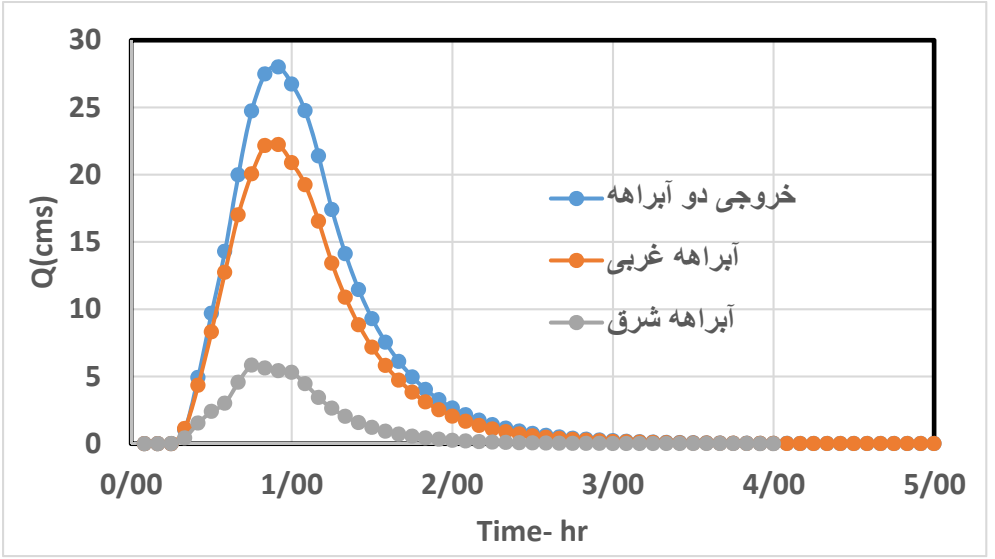
بارش در بازه ۱۶ دقیقه ۲۸ میلی متر و در ۱۶ دقیقه بعد ۳/۵ میلیمتر بوده و با توجه به پرسشهای میدانی یک وقفه کوتاه بعد از بارش شدید رخ داده و سپس بارش باشدت بسیار کم ادامه داشته است، بارش ۱۶ دقیقه‌ای برای مدت ۲۰ دقیقه درنظر گرفته شد و شدت بارش برای ۸۴ میلیمتر بر ساعت بدست آمد. مقادیر دبی بدست آمده بسیار بالا بوده و در سرشاخه اصلی ۷۶ متر مکعب بر ثانیه را نشان داد. با توجه به بازدیدهای میدانی و داغاب مشاهداتی، دبی محاسباتی بیش برآورد می باشد

روش SCS

هیدرو گراف سیلاب بر اساس روش SCS و مدل مادکلارک برای زیر حوضه شرقی، غربی و کل حوضه بالادست امامزاده داوود شبیه سازی شد که در شکل (۵) آورده شده است. برای این منظور بارش از نظر مکانی برای حوضه یکنواخت و از نظر زمانی از ایستگاه امامزاده استفاده شد. زمان تمرکز به روش چاو ۲۰ دقیقه و با گام زمانی ۵ دقیقه‌ای شبیه سازی رواناب انجام شد. دبی بیشینه در زیر حوضه غربی که عامل اصلی سیلاب بود، ۲۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. در شکل (۶) هیدروگراف سیلاب شبیه سازی شده آورده شده است.



شکل ۵- نقشه ارتفاع رواناب



شکل ۶ – هیدروگراف سیلاب شبیه سازی شده خروجی آبراهه شرق، غربی و کل حوضه (خروجی دو آبراهه)

نتیجه‌گیری

با روشهای مختلف مقدار رواناب و دبی جریان محاسبه شد که مقادیر متفاوتی از دبی را بدست آوردند. بر اساس بازدید میدانی و آثار سیلاب، دو روش برداشت میدانی و روش SCS که با مدل نیمه توزیعی مادکلارک شبیه سازی شد، مقادیر مشابه‌ای را نشان دادند. مقادیر دو روش فوق با مشاهدات میدانی همخوانی بهتری را نشان داد و لذا هیدروگراف بدست امده از روش SCS می تواند ملاک عمل قرار گیرد .

بازدید میدانی نشان داد که علت اصلی طغیان سیل و ورود آن به خیابان و مجموعه صحن امامزاده انسداد کانال سرپوشیده بوده است. شواهد نشان می دهد که بخش اندکی از جریان وارد کانال شده و موانع و غلظت بالای سیلاب همانند سدی عمل کرده و غالب سیل وارد کوچه یا خیابان شده است. شواهد میزان فرسایش در دامنه‌ها حاکی از شدت بالای بارش در منطقه بود. در زیر حوضه‌های بالادست عملیات آبخیزداری انجام شده بود ولی با توجه به قدمت بالای آن سازه‌ها قبلا از رسوب پر شده بود. عملیات آبخیزداری معمولاً برای سیلاب‌های تا دوره بازگشت ۲۵ تا ۵۰ سال طراحی می‌شوند و بعد از گذشت چند سال از رسوب پر شده و نقش آنها بیشتر کاهش سرعت جریان می شود. با این وجود به نظر می‌رسند که عملیات آبخیزداری تا حدودی وضعیت سیلاب را کنترل کرده‌اند چرا که بسیاری از دامنه‌ها در ارتفاعات، شیارهای زیاد ایجاد شده و بیانگر رواناب بالا در دامنه بوده است که در داخل آبراهه‌ها تا حدودی به دلیل کاهش شیب آبراهه، مقداری از سرعت جریان کاسته شده و در نتیجه از شدت سیلاب کاسته شده بود.

به طور کلی می توان عامل اصلی ورود سیلاب به منازل و صحن را انسداد کانال سر پوشیده و عدم مدیریت آن دانست. همچنین ایراد در طراحی و اجرای کانال سرپوشیده نیز وجود دارد که شرایط جریان واریزه و گلی را به احتمال زیاد در طراحی لحاظ نکرده‌اند. به دلیل اینکه در آن امکان انسداد کانال سرپوشیده توسط جریان واریزه‌ای یا گلی، وجود دارد . برای جلوگیری از رخداد های احتمالی آینده، پیشنهاد می‌شود در بالادست، سازه‌های رسوب‌گیر ایجاد شود و لایروبی و مدیریت کانال بصورت مداوم انجام شود.

منابع

- اســـماعیلی، ر.، م. رفیعی، ق. لرســـتانی و ک. بزرگمهر. ۱۳۹۷ . طبقه بندی مخاطرات رودخانه‌های شهری (مطالعه موردی: ا ستان مازندران، شهر نو شهر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۶، صفحه ۵۱-۳۷.

- رحمانی، ش.، ا. عزیزیان و ا. صمدی. ۱۳۹۷ . تعیین درجه خطر سیلخیزی حوضه‌های آبریز استان مازندران با استفاده از یک روش توزیعی مبتنی بر GIS، نشریه هیدرولیک، شماره ۱۴، صفحه ۱۲۳ - ۱۳۹ .
- سلیمانی، ک. ۱۳۸۹ . پهنه بندی خطر سیل در حوضه هراز. نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
- صادقلو، ط. و ح. سجادی. ۱۳۹۳ . راهبردهای مدیریت مخاطره سیل در مناطق رو ستایی با مدل SWOC-TOPSIS، مطالعه موردی حوضه آبریز قره چای رامیان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۲، صفحه ۱۰۵ - ۱۲۸ .
- عزیزی، ق. و ز. صمدی. ۱۳۸۶ . تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان های گیلان و مازندران. پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۳۹، صفحه ۶۱ - ۷۳ .
- غریب‌رضا، م.ق. گرشاسبی، پ. مصفایی، ج. ۱۳۹۹ سیلاب زمستان ۹۷ و بهار ۹۸ استان مازندران، دلائل و تحلیل سیل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۵۸ صفحه
- فولادیان، ع. ۱۳۹۳ . ارزیابی مقایسه‌ای وقوع سیل در شمال کشورمطالعه موردی سیل سال ۱۳۷۸ شهر نکا در استان مازندران و سیل سال ۱۳۸۴ شهرکلاله در استان گلستان. ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران. دبیرخانه دائمی کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران.
- قاسمی، ا. و امیر، شمشکی، ۱۳۸۷ . گزارش سیل و طوفان مازندران. مخاطرات زمین شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تهران.
- قرمزچشمه، ب.، حسینی، ا.، گرشاسبی، پ. ۱۴۰۱، تحلیل و ارزیابی سیل دی ماه ۱۳۹۸ در جنوب بلوچستان و شرق هرمزگان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۹ص
- قرمزچشمه، ب.، میری، م.، کلاه چی، ع. ۱۴۰۱، واکاوی آماری سیل د یماه ۱۴۰۰ جنوب و جنوب شرق ایران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۸ص
- محمدی، ع.، م. سلیقه. ا. حمیدی میرکلایی و ع. حسامی. ۲۰۱۵ . تحلیل همدیدی بارش های سیل‌زای حوضه آبریز دریای مازندران مطالعه موردی : سیل نوشهر در زمستان سال ۱۳۹۱ . پژوهش های علوم و فنون دریایی، شماره ۱۰، صفحه ۴۴ - ۵۸.
- محمودی آهنگرکلایی، ا.، ک. صابرچناری، س. شمشیری و ن. جندقی. ۱۳۸۸ . ارائه مدل منطقه‌ای سیلاب در حوزه‌های آبخیز شرق استان مازندران. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. انجمن آبخیزداری ایران.
- مرادی، م.، م. عامل صادقی و ع. تلوری. ۱۳۹۵ . ارزیابی عملکرد فنی طرح های کنترل سیل در رودخانه‌های شهری و ارائه راهکارهای اصلاحی-مطالعه موردی رودخانه تالار در استان مازندران. پانزدهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران. انجمن هیدرولیک ایران.

- معروفی نیا، ا.، ا. نوحانی، خ. خه بات و ک. چپی. ۱۳۹۵ . ارزیابی روش شاخص آماری در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل. دانش آب و خاک، شماره ۲۶، صفحه ۲۰۱ - ۲۱۴ .
- نوروزی، ا.، م. پورحسن زارع و م. عامل صادقی. ۱۳۸۸ . امکان سنجی برپایی سیستم هشدار سیل در رودخانه‌های ا ستان مازندران با رویکرد تحلیل خ سارت. ه شتمین سمینار بین المللی مهند سی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- نوری، ج.، ن.ا. منصـــوری، ع. کیالاشـــکی و ع. صـــادقی پویا. ۱۳۹۲ . اولویت بندی اقدامات مدیریت زی ست محیطی سیلاب با رویکرد ری سک در شهرهای ساحلی غرب مازندران. سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. دانشگاه تهران.

پیش‌بینی رخداد سیل با استفاده از مدل‌های احتمالاتی و یادگیری ماشین

کورش شیرانی*[۱]، محمدعلی صدری[۲] احمد مختاری[۳]، میرمسعود خیرخواه[۴]

*۱ و ۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

سیل یکی از مخرب ترین بلایای طبیعی با پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است که امروزه روش‌های یادگیری ماشین و احتمالاتی به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی آن توسعه داده شده‌اند. اهداف این پژوهش اولویت‌بندی عوامل مؤثر، پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد سیل با استفاده از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و وزن شاهد بیزین (WOE) و معرفی مناسب‌ترین آن‌ها در حوزه‌ی قره‌سو و گرگان‌رود استان گلستان می‌باشد. نقشه پراکنش رخداد سیل بر ا ساس ۳۶۸ مکان با تعداد تکرار ۷۸۲ رخداد سیل بر ا ساس اطلاعات موجود، بازدید میدانی و برر سی تصاویر گوگل ارث در بازه زمانی قبل و بعد از سیلاب تهیه شد. از این تعداد ۷۰ درصد (۲۵۸ نقطه) به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد (۱۱۰ نقطه) به عنوان داده‌های آزمایشی به ترتیب برای اجرا و اعتبار سنجی مدل به طور ت صادفی انتخاب و تق سیم شدند. در مرحله بعد از ۱۵عامل زمین شنا سی، هیدرولوژیک، مورفومتریک و داده‌های اقلیمی به عنوان متغیر مستقل و برای پهنه‌بندی و مدل‌سازی استفاده شد. ارتباط بین عوامل موثر و رخدادهای سیل با استفاده از نسبت فراوانی، کمی و وزن‌دار شدند. به منظور برر سی همپو شانی اطلاعاتی عوامل موثر، با ا ستفاده از تحلیل رگر سیون چند متغیره خطی، استقلال داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت حاصل از اجرای دو مدل با استفاده از سطح زیر منحنی ویژگی عملکرد گیرنده (AUC-ROC) مورد ارزیابی، اعتبارسنجی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج بررسی عوامل موثر در هر دو مدل متفقاً نشان داد، عوامل کاربری اراضی، ارتفاع و پوشش گیاهی به ترتیب تاثیر به‌سزایی در رخداد سیلاب داشته‌اند و بخش زیادی(بیش از ۸۰٪) از سیل‌های رخداده در کلاس حساسیت خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرد. نتایج ارزیابی طبقه‌بندی و اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد AUC-ROC برای میزان موفقیت مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان و وزن شاهد به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۸ ا ست. بنابراین، نتایج مدل رگر سیون بردار پشتیبان نسبت به مدل وزن شاهد دقت بیشتری دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به سیل حاصل از این پژوهش می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران ناشی از رخداد سیل قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، سیل، رگرسیون بردار پشتیبان، قره‌سو و گرگان‌رود، وزن شاهد بیزین

مقدمه

سیلاب‌ها از جمله مخاطراتی هستند که همیشه احتمال رخداد آنها به عنوان یک مخاطره طبیعی برای انسان‌ها وجود داشته است. بنابراین در راهکارهای کاهش اثرات بلایای طبیعی هدف اصلی به سوی آگاه‌سازی عمومی و تاکید بر امر اطلاع رسانی به مردم در راستای اقدامات پیشگیرانه قبل از وقوع حوادث ناهنجار تغییرکرده که این روش تغییر، خود از اهداف اساسی برنامه کاهش اثرات بلایای طبیعی در دهه گذشته بوده است. متأسفانه موضوع سیل و مدیریت و کاهش خسارات آن در کشور مورد توجه جدی قرار نگرفته و فقط زمانی که سیلاب مخربی جاری می‌شود و فاجعه‌ای بوجود می‌آید، توجه مسئولین و متخصصین به آن جلب می‌گردد. اگرچه بررسی طرح‌های مهار سیلاب که به صورت محدود و پراکنده در سطح کشور مطالعه و اجرا شده‌اند نشان می‌دهد یک راه حل مشخص و مطمئن برای کلیهٔ مناطق سیل‌گیر وجود ندارد اما بدیهی است پدیدهٔ سیل علیرغم همهٔ پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه بوده و می‌توان در جهت مهار وکاهش خسارات آن و حتی بهره‌برداری اقتصادی از سیل راه‌حل‌های مناسبی جستجو کرد. بر این اساس برنامه‌ریزی و انجام اقدامات جامع جهت پیشگیری و کاهش خسارات سیل در قالب طرح‌های مطالعاتی و اجرایی از اهمیت بسزایی در راستای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار برخوردار می‌باشد. در استان گلستان و منطقه گرگان‌رود، طغیان رودخانه‌ها و بروز سیل، هر ساله خسارات و تلفات قابل ملاحظه‌ای را برجای می‌گذارد. بخش عمده‌ای از این خسارات، تلفات و معضلات در سطح جوامع روستایی ساکن در حاشیه رودخانه گرگان‌رود و در سطح زیرحوضه‌های مختلف آن به وقوع پیوسته است. آمارهای رسمی نشان می‌دهد که از سه دهه پیش تاکنون این استان شاهد وقوع سیلاب‌های متعددی بوده که خسارت‌های سنگینی بر بخش زیرساخت‌ها، ابنیه، تأسیسات زیربنایی و واحدهای مسکونی برجای گذاشته‌اند.

برمبنای گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، تعداد وقایع زمانی سیل در استان از تاریخ ۱۳۷۰/۱/۱ الی ۱۳۹۷/۱/۱ به میزان ۱۲۷ بارش بوده و از نظر مکانی در ۷۰۴ مورد از حوزه‌های آبخیز استان رخ داده است. به‌عبارت دیگر در طی این مدت ۲۷ ساله در نتیجه۱۲۷ مورد ریزش باران در ۷۰۴ مورد مکانی از حوزه‌های آبخیز استان سیل اتفاق افتاده است. که مجموع خسارات مالی استان ناشی از سیل ۸۳۵۷/۳۴ میلیارد ریال در طی دوره ۲۷ساله بوده است (اداره آبخیزداری و حفاظت خاک استان گلستان، ۱۳۹۷). لذا پهنه‌بندی مناطق سیل خیز امکان اقدامات پیش‌گیرانه و مهار سیلاب را فراهم کرده و ضمن کاهش ریسک خطر سیل، هزینه های ناشی از احداث سازه‌های مربوطه در مناطق غیر لازم را کمتر می‌کند. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به سیل را می‌توان به‌عنوان ارزیابی کمی یا کیفی طبقه‌بندی، مساحت و توزیع فضایی سیل، که وجود دارد یا ممکن است در یک منطقه رخ دهد، تعریف کرد. کاربرد روش های یادگیری ماشین در مطالعات پهنه‌بندی خطر سیل توسط بسیاری از محققان انجام شده است (Maier et al., 2010). به طور مثال Saha و همکاران از روش SVR به منظور مدل‌سازی استفاده کرده‌اند و نتایج خوبی به همراه داشته است (Saha et al., 2021). در

مطالعه‌ای دیگر که هدف شناسایی مناطق مستعد سیل با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) در حوضه نکارود واقع در استان گلستان بود، نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM از دقت خوبی در شناسایی مناطق مستعد سیل در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق حساس به سیل در مناطق شمالی و شمال غربی حوضه و در بخش‌هایی که غلظت سکونت‌گاه‌های انسانی بیشتر است، بیشتر است، در حالی که مناطق مرکزی حوضه با پوشش گیاهی متراکم از حساسیت کمی برخوردار هستند (چراغی و همکاران، ۱۳۹۹). در سوی دیگر مدل‌های احتمالاتی با دخالت دادن تمامی عوامل مؤثر بر رخداد یک پدیده وزنی مشخص برای هرکدام درنظر میگیرد و نشان می‌دهد کدام عاملکارایی بیشتری داشته و می‌تواند نقش هر عامل در وقوع سیل را به تفکیک نشان دهد. رحمتی و همکاران(۲۰۱۶) با بکارگیری مدل‌های نسبت فراوانی (FR) و وزن‌های شواهد (WoE) اقدام به تهیه نقشه حساسیت سیل در استان گلستان کرد. نتایج نهایی نشان داد که مدل‌های FR و WoE نتایج تقریباً مشابه و معقولی دارند. بنابراین، این نقشه های حساسیت به سیل توانستند برای محققین و برنامه‌ریزان در استراتژی‌های کاهش سیل مفید باشد. فرامرزی و همکاران(۱۳۹۸) به منظور شناسایی متغیرهای مهم در ایجاد مناطق سیل‌گیر و ارائه‌ی پتانسیل مخاطره‌ی سیل پارک ملی گلستان، از تکنیک‌های یادگیری ماشین شامل آنتروپی بیشینه، مدل جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت شده استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از ۳۰ درصد از داده‌های وقوع سیل که در مدلسازی وارد نشده بود نیز دقت زیاد مدل درخت رگرسیون تقویت شده و جنگل تصادفی را با مقدارROC ،۰/۹۹ و دقت مناسب آنتروپی بیشینه را با مقدارROC ،۰/۸۹ نشان داد، به‌طوری که نقشه‌های به‌دست‌آمده از این مدل‌ها به طور مشترک ۴۵۰۰ هکتار از مساحت پارک را دارای احتمال زیاد خطر سیل برآورد کردند.

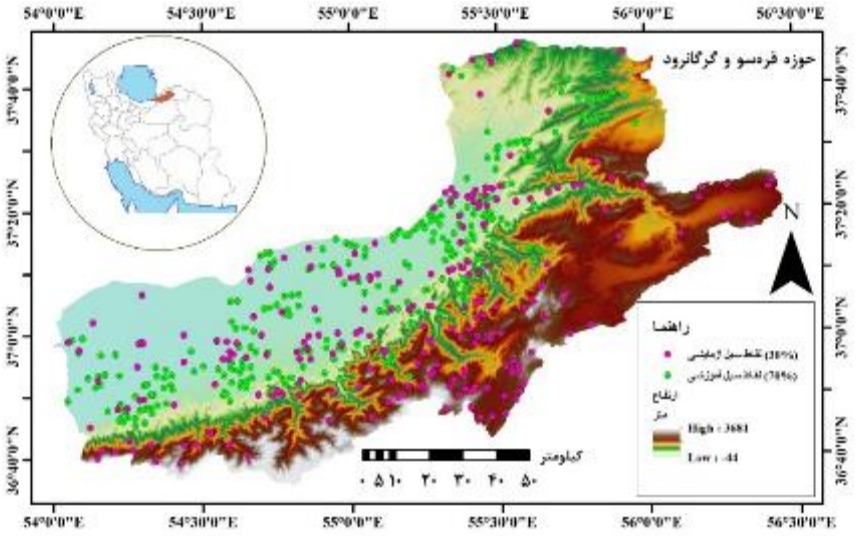
با توجه به اهمیت منطقه استان گلستان در مهار سیل و بکارگیری روش‌های جدید در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطرسیل، هدف این پژوهش ارزیابی حساسیت به رخداد سیل با استفاده از مدل‌های احتمالاتی و یادگیری ماشین با تأکید بر دو روش وزن شاهد(WoE) و رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) در حوزه آبخیز قره‌سو و گرگانرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (حوضه آبخیز گرگان‌رود و قره‌سو) در سه استان گلستان، خراسان شمالی و سمنان واقع شده است. به طوری که ۴۳ درصد سطح استان گلستان را شامل می‌شود. به عبارتی ۱۳ درصد آب سطحی استان یعنی ۳۲۳ میلیون متر مکعب در این حوضه جریان دارد (شرکت آب‌منطقه‌ای استان گلستان). مساحت این حوضه تقریبا معادل ۱۳۰۵۰ کیلومتر مربع است که در بخش جنوب شرقی

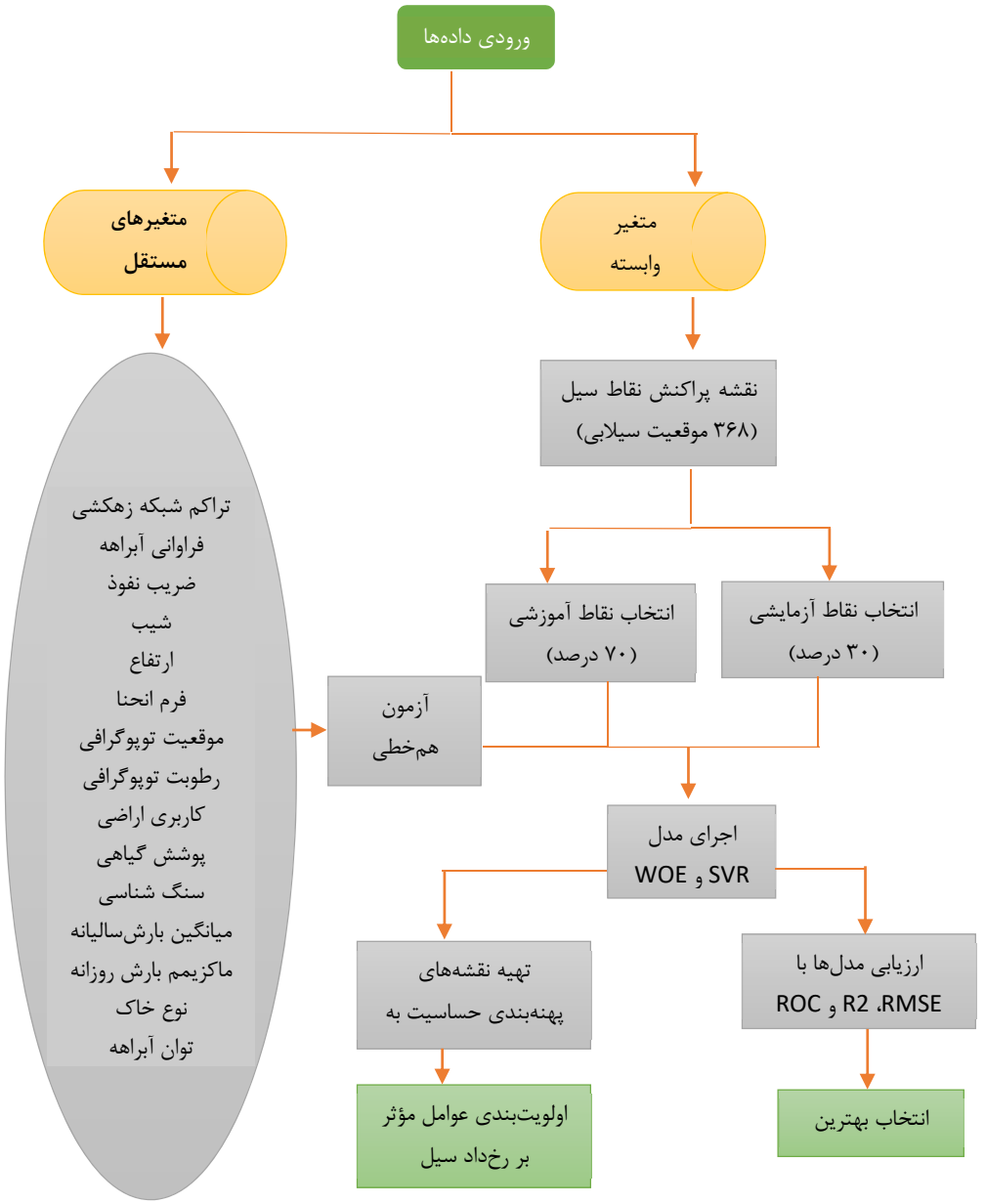
دریای خزر قرار دارد و در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، جزئی از آبریز دریای خزر به شمار می‌رود. این حوضه در محدوده طول جغرافیایی ۵۳ درجه تا ۵۶ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه‌ی شمالی واقع شده است. این منطقه بین حدود ارتفاعی حداکثر ۳۶۸۱ و حداقل۱۴- متر پایین‌تر از سطح دریا قرار دارد. رود اترک، گرگان‌رود و رود قره‌سو، سه رود مهم استان گلستان هستند و گرگان‌رود و قره‌سو رودخانه‌های اصلی حوضه‌ی آبریز گرگان‌رود- قره‌سو به شمار می‌روند (Bardi Sheikh et al., 2009). شکل ۱- ۲نشان‌دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد:



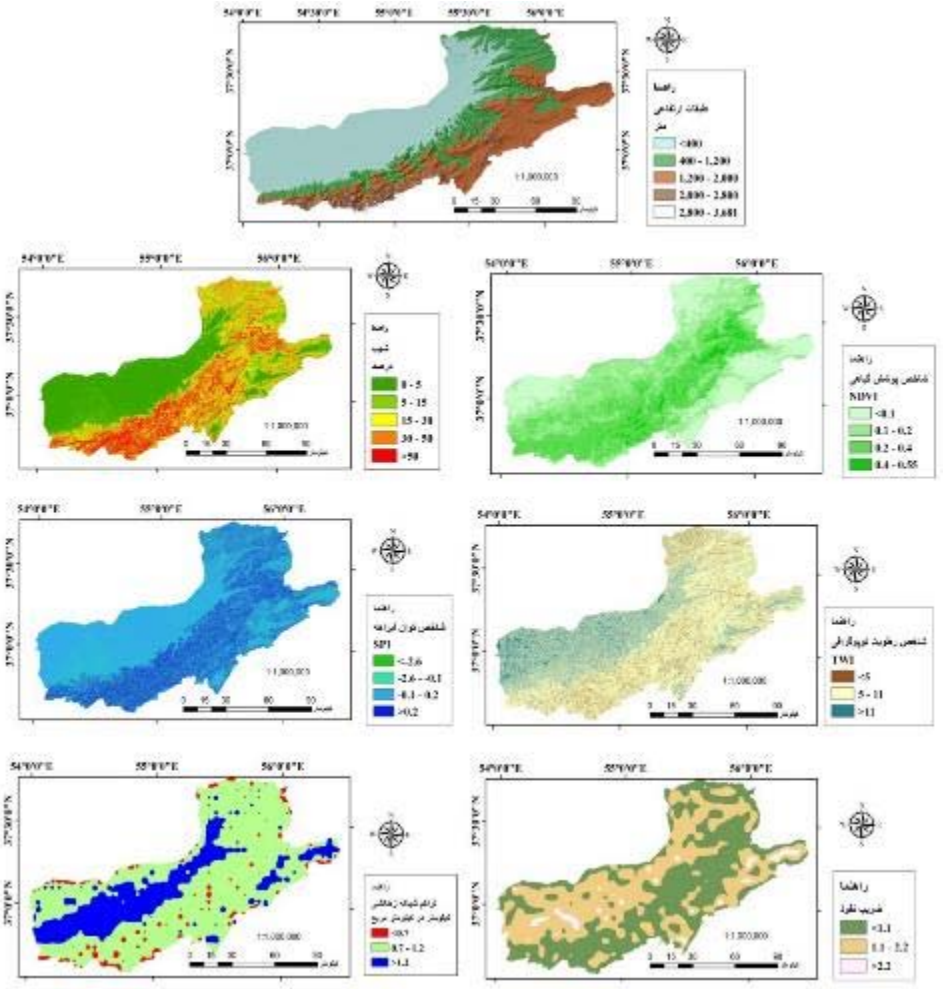
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

جمع‌آوری اطلاعات و تهیه عوامل مؤثر بر سیل

براساس سابقه تحقیق (Rahmati et al., 2016a,b; Haghizadeh et al., 2017; Arabameri et al., 2020)، منابع موجود و تجارب متخصصان ۱۵ عامل تأثیرگذار شامل تراکم شبکه زهکشی، فراوانی آبراهه، ضریب نفوذ، شیب، ارتفاع، فرم انحنا، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، سنگ شناسی، میانگین بارش سالیانه، ماکزیمم بارش روزانه، خاک و شاخص توان آبراهه برای تهیه نقشه حساسیت به رخداد سیل درنظر گرفته شد.



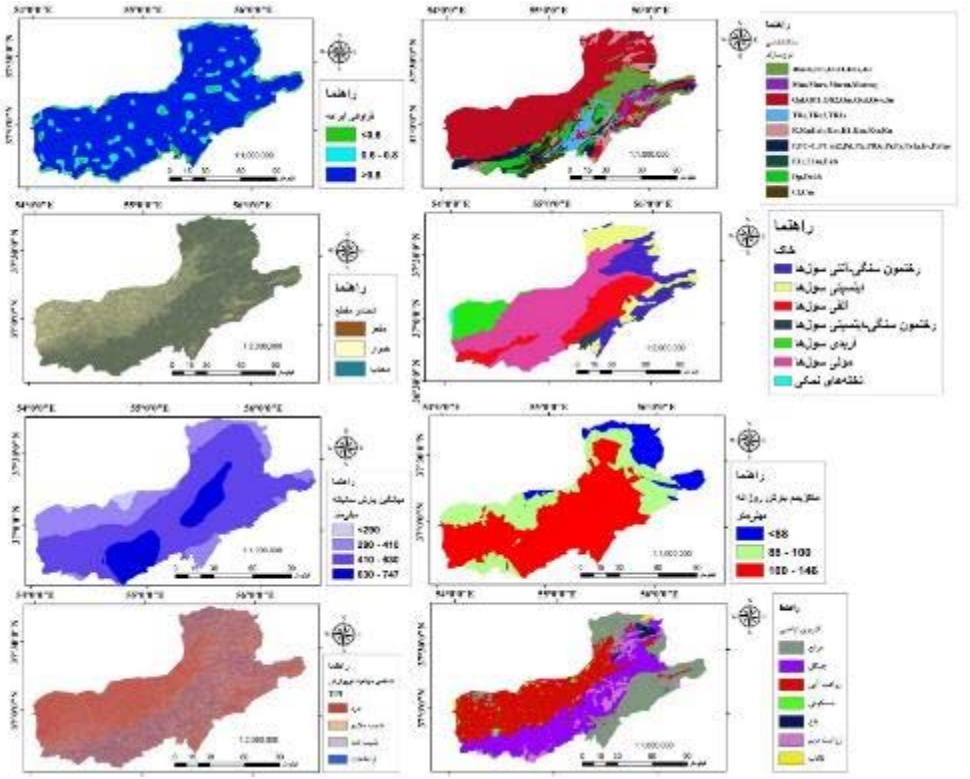
شکل ۲- نمودار روش تحقیق



شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر بر سیل

نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری زمین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (به تاریخ یازدهم و نوزدهم ماه آگست سال ۲۰۲۱) و نقشه خطوط هم‌باران (بدست آمده از آمار ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کل کشور) می‌باشند. شایان ذکر است مقیاس تمامی نقشه‌ها در محیط GIS براساس کوچک مقیاس‌ترین نقشه عامل مورد استفاده یکسان‌سازی و نرمال گردید و دقت نقشه‌های خروجی براساس مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ مورد تحلیل قرار گرفتند. معیارها بر اساس مقیاس، موقعیت منطقه مورد نظر و روش پهنه‌بندی مورد استفاده به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت نسبت به سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفتند. مختصات ۵۹ نقطه سیلابی

حوضه با دستگاه GPS توسط اطلاعات دریافتی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ثبت و وارد ArcGIS®10.5 گردید و نقشه پراکنش سیلاب از این طریق تهیه شد.



شکل ۴- نقشه عوامل مؤثر بر سیل (ادامه)

مدل وزن شاهد

تئوری وزن شاهد (WoE) روشی داده محور است که به‌عنوان یکی از مدل‌های نظریه بیزین در قالب لگاریتم خطی شناخته شده است (Regmi et al., 2010) و از احتمال قبلی (غیر شرطی) و خلفی (شرطی) بهره می‌گیرد (Regmi et al., 2010). از این روش زمانی که داده‌های کافی به‌منظور برآورد اهمیت نسبی موضوعات مستدل از طریق میانگین‌های آماری مد نظر باشد، استفاده می‌گردد(Lee & Choi, 2004). احتمال قبلی یا اولیه در واقع احتمال یک واقعه یا رخداد (رخداد سیلاب) است که توسط انواع وقایع مشابه که در گذشته در یک دوره زمانی معین رخ می‌دهند مشخص و تعیین می‌گردد. برای مثال احتمال آتی سیل یک سطح واحد (یا پیکسل) از زمین براساس فراوانی یا تناوب وقوع سیل سطح واحد (یا پیکسل) در گذشته می‌تواند تخمین

زده شود. به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) وزن‌های محتمل هر عامل و طبقه‌های مربوط به آن محاسبه می‌گردد.

$$W_i^+ = \log_e[P(B_i|S)/P(B_i|\bar{S})] \quad (۱)$$

$$W_i^- = \log_e[P(\bar{B_i}|S)/P(\bar{B_i}|\bar{S})] \quad (۲)$$

که در آن: W_i^+ وزن شاهد عامل در وقوع سیل در صورت حضور رده عامل مؤثر(شرطی)، W_i^- وزن شاهد عامل در وقوع سیل در صورت عدم حضور رده عامل مؤثر(شرطی)، $\log e$ لگاریتم طبیعی، P احتمال، B_i وجود(سطح) رده عامل مؤثر(شرطی) در وقوع سیل بالقوه، S وجود (سطح) سیل، $\bar{B_i}$ عدم وجود (سطح) رده عامل مؤثر(شرطی) در وقوع سیل بالقوه و $\bar{S}$ عدم وجود (سطح) سیل می‌باشند. به‌منظور درک بهتر روابط فوق و سهولت کار، به‌ویژه در محیط GIS مدل براساس جدول (۱) و به‌صورت رابطه‌های(۳) و(۴) ارائه می گردد(Van Western, 2002؛ Yesilnacar, 2005). و نهایتاً وزن‌نهایی براساس روابط (۵) و (۶) برای هر عامل به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸؛ Roering et al., 2005).

$$W_i^+ = \log_e\left[\left(N_{pix1}/(N_{pix1}+N_{pix2})\right)/\left(N_{pix3}/(N_{pix3}+N_{pix4})\right)\right] \quad (۳)$$

$$W_i^- = \log_e\left[\left(N_{pix2}/(N_{pix1}+N_{pix2})\right)/\left(N_{pix4}/(N_{pix3}+N_{pix4})\right)\right] \quad (۴)$$

جدول ۱: چهار حالت پتانسیل ایجاد سیل(Van Western, 2002).

	عوامل ایجاد سیل	
سیل	حضور	عدم حضور
حضور	N_{pix1}	N_{pix2}
عدم حضور	N_{pix3}	N_{pix4}

که در آن: N_{pix1} برابر با تعداد پیکسل های سیلابی در یک کلاس، N_{pix2} برابر با تعداد کل پیکسل‌های سیلابی در یک نقشه منهای تعداد پیکسل‌های سیلابی در یک کلاس، N_{pix3} برابر با تعداد پیکسل‌های یک کلاس منهای تعداد پیکسل‌های سیلابی در یک کلاس و N_{pix4} برابر با تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه منهای تعداد کل پیکسل‌های سیلابی یک نقشه منهای تعداد پیکسل‌های یک کلاس می‌باشد.

$$C = [(W^+) + (W^-)] \quad (۵)$$

$$W_{final} = C/S_C \quad (۶)$$

که در آن: C برآیند وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استاندارد شده و S_C انحراف معیار برآیند وزن‌های شاهد مثبت و منفی است که برابر با جذر واریانس هریک از وزن‌های مثبت و منفی می‌باشد.

مدل رگرسیون بردار پشتیبان

روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) مستقیماً از نظریه یادگیری آماری وپنیک به نام ماشین‌های بردار پشتیبان استخراج شده است. ماشین‌های بردار پشتیبان برای مسائل طبقه‌بندی به کار می‌روند. بعدها الگوریتم آن‌ها برای کار با مسائل رگرسیون یا تخمین داده‌ها توسعه یافت. این الگوریتم جدید رگرسیون بردار پشتیبان نامیده شد (اسمولا و شالکوف[2]،۱۹۹۸). رگرسیون بردار پشتیبان روشی است که با اتکا بر مبنای ماشین بردار پشتیبان می‌تواند به عنوان رگرسیون در مسائل مهندسی عمل کند. این روش که جزء روش‌های آموزش نظارت شده است، بین داده‌های ورودی و مقدار پارامتر وابسته، بر اساس کمینه سازی ریسک ساختاری ارتباط برقرار می‌کند. SVR روشی برای تخمین یک تابع است که بر اساس داده های آموزشی از یک شیء ورودی به یک عدد واقعی نگاشت می‌شود. در مسائل رگرسیون، بردارهای ورودی به یک فضای چندبعدی، نگاشت می‌شوند، سپس یک ابر صفحه ساخته می‌شود که بردارهای ورودی را با بیش‌ترین فاصله ممکن، از یکدیگر جدا می‌کند. برای رفع مشکل انجام عملیات در فضای با ابعاد زیاد، از یک تابع کرنل استفاده می‌شود. در این صورت عملیات می‌تواند با همان سرعت فضای داده های ورودی انجام شود. درواقع با استفاده از تابع کرنل، مشکل چندبعدی و غیرخطی بودن نگاشت، مرتفع می‌شود. فرآیند بهینه‌سازی باید با یک تابع تلفات اصلاح‌شده همراه شود، تا سنجش فاصله را در برگیرد. در حقیقت هدف SVR ، تخمین پارامترهای وزن و بایاس تابعی است که بهترین انطباق را بر داده‌ها داشته باشد (بالوبین[3] و همکاران،۲۰۱۱).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از همپوشانی نقشه پراکنش تعداد وقوع نقاط سیل و هریک از ۱۵ نقشه طبقه‌بندی شده عوامل موثر بر رخداد سیلاب، نشان داد که با افزایش تراکم زهکشی، میزان رخداد سیل نیز افزایش می‌یابد که از این نظر با مطالعات Arabameri et al. (2020) مطابقت دارد. شدت بارندگی که در این پژوهش بصورت بیشترین بارش روزانه بوده است، با افزایش مقدار آن میزان رخداد سیل نیز افزایش می‌یابد و سیلاب‌هایی با حجم بیشتری باعث می‌گردد. میانگین بارش سالیانه با توجه به وزن رده‌های

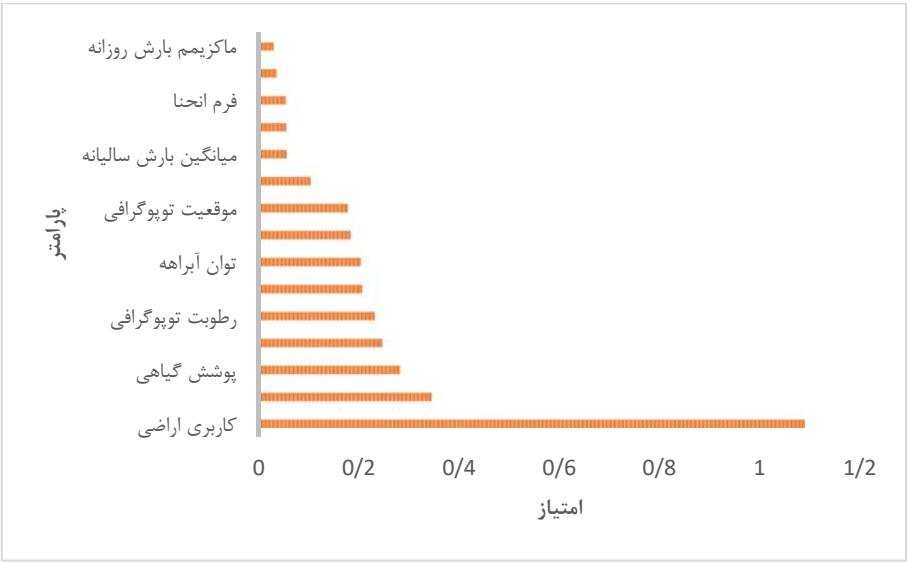
2. Smola and Schölkopf
3. Balabin and Lomakina

آن، در ابتدا روند افزایشی و سپس کاهشی داشته است و این بخاطر نوع پوشش گیاهی منطقه و کاربری زمین در مناطق مورد نظر می‌باشد. ولی به‌طور کلی بیشترین میزان رخداد سیل با میزان بارش سالیانه خیلی کم مواجه بوده اســت که حاکی از فقدان پوشــش گیاهی و یا بارش‌های رگباری در آن منطقه می‌باشــد و با نتایج مطالعه Rahmati et al. (2016a) مطابقت دارد. شــاخص رطوبت توپوگرافی یک خصوصیت توپوگرافی ثانویه است که توزیع مکانی از شرایط رطوبت را نشان می‌دهد که زیاد بودن این عامل باعث حجم زیاد سـیلاب می‌شـود که نتایج با مطالعات Rahmati و همکاران (2016a) و Islam et al. (2021) مطابقت دارد. طبق نتایج این پژوهش و مطالعه Eslaminezhad et al. (2020)، بین شـاخص پوشـش گیاهی و وقوع سـیل‌گیری در منطقه رابطه منفی وجود دارد. به گونه‌ای که با افزایش تراکم پو شش گیاهی، ح سا سیت مناطق ن سبت به وقوع سیل‌گیری کاهش پیدا می‌کند و برعکس. با توجه به معیارهای شاخص موقعیت توپوگرافی و کاربری اراضی بیشترین میزان سیل مربوط قسمت‌های سـکونت‌گاهی و زراعی می‌باشـد که این به دلیل شـیب ملایم زمین و در صـدد آن هدایت رواناب ایجاد شــده در ارتفاعات به این مناطق می‌باشــد و همچنین نداشــتن پوشــش گیاهی مناســب نیز به چشــم می‌خورد. عامل سنگ شنا سی در واقع و ضعیت زمین شنا سی منطقه با تأکید بر ویژگی‌های ساختار زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. هرچه خاک سطحی‌تر و نفوذپذیری سنگ ضعیفتر باشد، رواناب سطحی و به تبع آن خطر وقوع سـیل نیز افزایش می‌یابد (Rahmati et al., 2016a). با افزایش فراوانی آبراهه پتانسیل سیل‌خیزی نیز افزایش پیدا می‌کند. طبق نتایج مطالعه Rahmati et al. (2016a)، بیشترین میزان سـیل مربوط به طبقات دارای ارتفاع کم و هموار بودن زمین می‌باشـد که دلیل آن جاری شـدن سیل در مناطق با ارتفاع کمتر می‌باشد. اگرچه با افزایش شاخص توان آبراهه سرعت سطحی جریان نیز افزایش می‌یابد ولی در این پژوهش میزان وقوع سـیل روند کاهشـی دارد و این به دلیل وجود پوشـش گیاهی قوی در مناطق پایین‌دســت حوضــه می‌باشــد. رده‌های عامل خاک تأثیرات مختلفی در ایجاد سیلاب دارد به طوری که تخته‌های نمکی به دلیل نفوذپذیری بالا میزان وقوع سیل را به شدت کاهش می‌دهد و برعکس گروه مولی‌سول‌ها بیشترین میزان سیل را به خود اختصاص داده‌اند که این با مطالعه Rahmati et al. (2016a,b) مطابقت دارد. در نواحی پرشـیب میزان وقوع سـیل کاهش یافته اسـت چون در نواحی با شیب کم، رواناب زمان بیشتری برای نفوذ در اختیار دارد و موجب بروز سیل می‌شود (Arabameri et al., 2020; Rahmati et al., 2016). همچنین با توجه به نتایج حاصـل از اجرای آزمون چندخطی در این پژوهش نشـان داد که تمامی عوامل به دلیل عدم همپوشـانی اطلاعاتی (میزان تحمل بیشتراز ۰/۱ و شاخص تورم کمتراز ۱۰) درنظرگرفته شدند. بنابراین اجرای دو مدل وزن شاهد و رگرسیون بردار پشتیبان با ۱۵ عامل صورت پذیرفت.

با اعمال روابط (۱) تا (۶) مدل وزن شاهد با ۱۵ عامل اجرا شد و در مجموع براساس اوزان محاسبه شده، به ترتیب عوامل کاربری اراضی، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی، خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی،

تراکم شبکه زهکشی، شاخص توان آبراهه، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، سنگ شناسی، میانگین بارش سالیانه، ضریب نفوذ، فرم انحنا، فراوانی آبراهه و حداکثر بارش روزانه در وقوع سیل مؤثر می‌باشند(شکل ۵). نقشه نهایی حساسیت به سیل Y_{woe} با استفاده از مدل وزن شاهد از مجموع حاصل ضرب وزن استاندارد شده هر رده پارامتر C/Sc در وزن خود رده پارامتر C طبق رابطه زیر براساس نتایج موجود در جدول(۱) محاسبه شده است. i تا n همان پارامترها یا عوامل مؤثر در سیل می‌باشند.

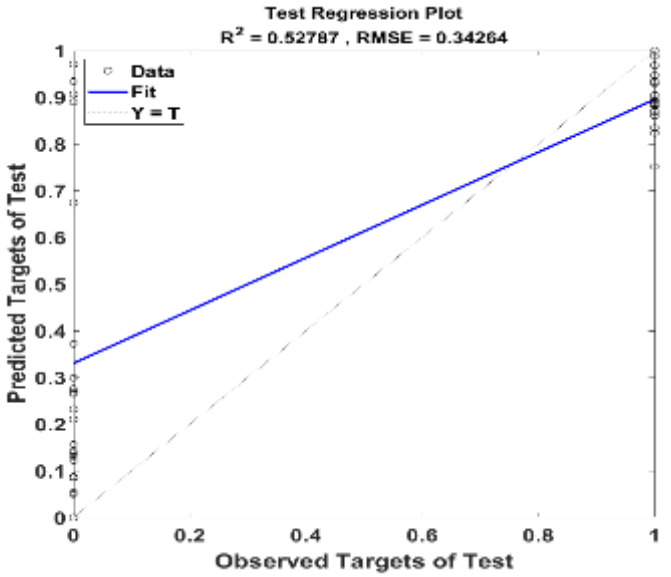
$$Y_{woe} = \sum_{i=1}^{n} C/Sc \times C \qquad (۷)$$



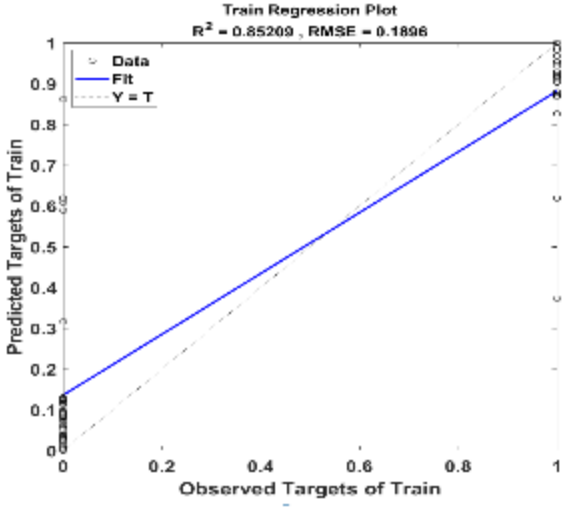
شکل ۵- اهمیت نسبی معیارهای تاثیرگذار بر رخداد سیل در مدل وزن شاهد

مدل رگرسیون بردار پشتیبان نیز در دو فاز آموزش و آزمایش به ترتیب برای ۷۰ و ۳۰ درصد نقاط سیلابی انجام شد(شکل ۶و۷). در شکل ۶ نمودار پراکنش مربوط به پیش‌بینی متغیر هدف در مدل رگرسیون بردار پشتیبان SVR در فاز آموزش و آزمایش نشان داده شده است. همانطور که از دو این نمودار مشخص است، خط تیره مشکی، نیمساز ربع اول در محور عمودی و افقی است. مقادیر هدف اندازه‌گیری شده بر روی محور X و مقادیر هدف پیش‌بینی شده بر روی محور Y جانمایی شده‌اند. هر چقدر این مقادیر به نیمساز ربع اول (خط تیره مشکی) نزدیک‌تر باشند، بیانگر برازش عالی و برآورد دقیق خروجی‌ها (پیش‌بینی دقیق‌تر متغیر هدف) خواهد بود. به خوبی از این شکل مشخص است که در مرحله‌ی آموزش مقادیر متغیر هدف نزدیک خط نیمساز ربع اول می‌باشند و خطای کمتری دارند. شکل ۷ نشان‌دهنده میزان تطبیق و سازگاری مربوط به مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده متغیر هدف در مرحله آموزش و آزمایش توسط مدل SVR است. به خوبی از این دو نمودار مشخص است که این مدل

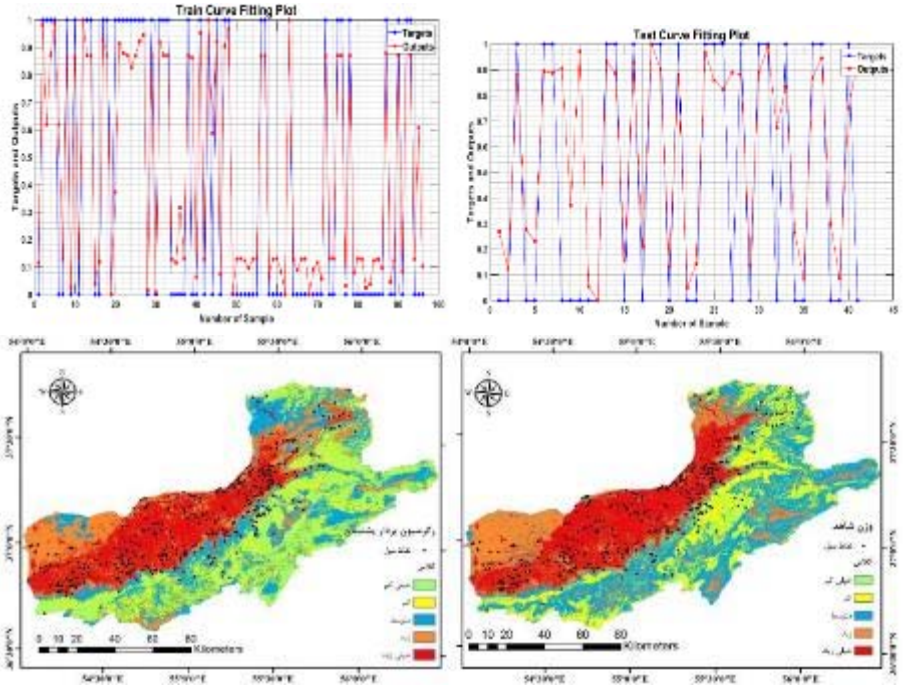
در مرحله آموزش در تخمین مقادیر متغیر هدف با دقت بالا عمل کرده ا ست، به طوری که این مقادیر بسیار نزدیک به مقدار واقعی آنها تخمین زده شده است.



شکل ۶- نمودار پراکنش میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده متغیر هدف توسط مدل رگرسیون بردار پشتیبان SVR (فرآیند آموزش و آزمایش)



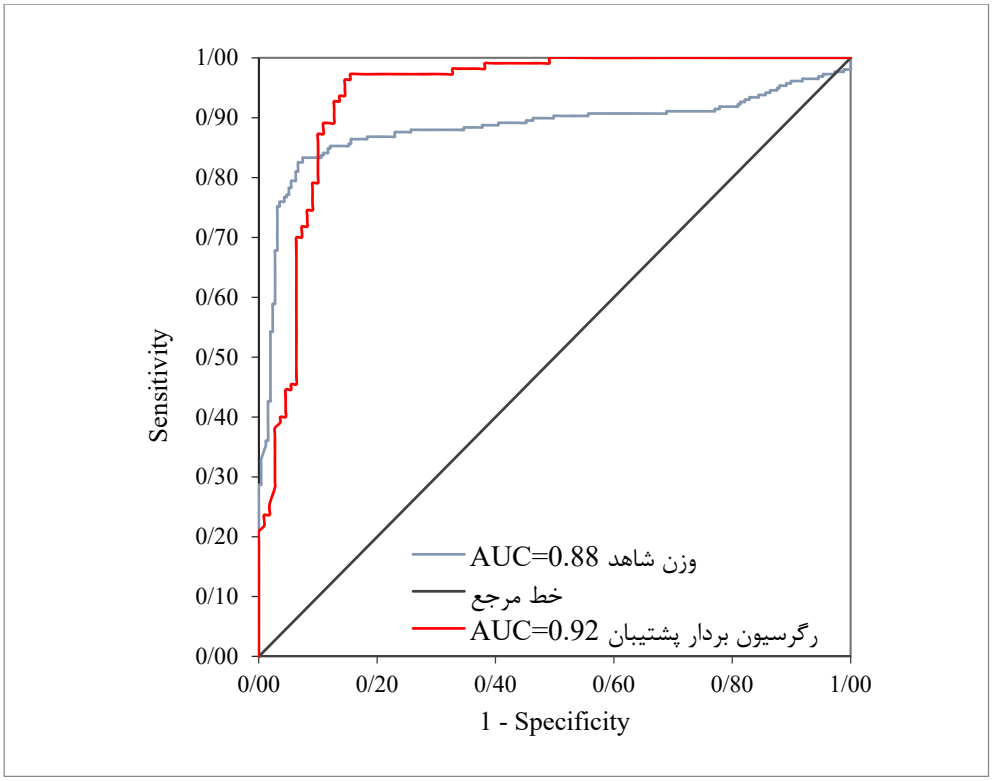
شکل ۷- مقادیر متغیر هدف اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده توسط مدل مدل رگرسیون بردار پشتیبان SVR (فرآیند آموزش و آزمایش)



شکل ۸ - نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به رخداد سیل حاصل از اجرای دو مدل

از هم‌پوشانی نقشه پراکنش سیلاب با نقشه طبقه‌بندی پهنه‌بندی حساسیت نسبت به سیل مشخص گردید میزان سطح رخداد سیل با افزایش رده حساسیت از رده خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد روند افزایشی داشته و در رده حساسیت خیلی‌زیاد بطور قابل توجهی افزایش یافته است(شکل۸).

بر مبنای سطوح طبقه‌بندی دقت براساس منحنیROC، هر دو مدل در طبقه خیلی خوب(۰/۹-۰/۸) قرار دارند و قابل توصیه جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت به سیل در امور زیربنایی و توسعه‌ای می‌باشند. ولی در مقام مقایسه نسبت به همدیگر، نتایج حاصل از مقادیر مساحت زیر منحنی (AUC) مدل رگرسیون بردار پشتیبان نشان‌دهنده‌ی دقت امتیاز بالاتر (۰/۹۲) نسبت به مدل وزن شاهد (۰/۸۸) می‌باشد که بیانگر همبستگی بالا بین نقشه حساسیت نسبت به سیل تهیه شده و نقشه پراکنش تعداد وقوع سیل می‌باشد (شکل۹).



شکل ۹ – منحنی ROC

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

سیل یکی از پدیده‌های مهم مصیبت‌بار و فاجعه‌انگیز در نواحی شمالی ایران محسوب می‌شود. از طریق آنالیز داده‌ها به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان عوامل مؤثر بر سیلاب و مناطق حساس به سیل را شناسایی کرد و بنابراین از این طریق خسارت ناشی از آن را کاهش داد. در این پژوهش به منظور تهیه نقشه پتانسیل خطرپذیری سیل، از ۱۵ عامل مؤثر بر رخداد سیل استفاده شد که تمامی آنها دارای استقلال اطلاعاتی بودند. از ۳۶۸ نقطه سیل ۷۰٪ آن برای مرحله آموزش و ۳۰٪ آن برای مرحله آزمایش درنظر گرفته شد. در مرحله اجرای مدل‌ها هردو مدل، در هردو مرحله‌ی آموزش و آزمایش با خطاهای استاندارد خیلی کم برازش خوبی در مدل‌سازی کسب کردند. نتایج حاصل از هم‌پوشانی نقشه پراکنش سیلاب با نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد سیل نشان داد رده‌های حساسیت خیلی‌کم تا کم در صد کمی از نقاط سیل را به خود اختصاص می‌دهند و برعکس رده‌های حساسیت زیاد تا خیلی‌زیاد بیشترین نقاط سیل را شامل شده است. همچنین در هر دو مدل، میزان سطح رخداد سیل با افزایش رده حساسیت از رده خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد روند افزایشی داشته و در رده حساسیت خیلی‌زیاد بطور قابل توجهی افزایش یافته است. با استفاده از سطح زیر منحنی ROC

(AUC) مقادیر ۰/۹۲ و ۰/۸۸ به ترتیب برای مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان و وزن شاهد بدست آمد که مدل رگر سیون بردار پ شتیبان با ک سب درجه‌ی عالی (۱-۰/۹) مطلوبیت مدل سازی بالایی دارد. بر اســاس برازش مدل‌ها و اولویت‌بندی عوامل با اســتفاده از آنها مشــخص شــد به ترتیب عوامل کاربری اراضی، ارتفاع و پوشش گیاهی دارای اهمیت و اولویت در رخداد سیل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هر دو مدل در پهنه‌بندی و پیش‌بنی رخداد ســیل در حوضــه آبخیز قره‌ســو و گرگانرود واقع در اســتان گلستان از کارآمدی مناسبی برخوردار می‌باشند. در مدل رگرسیون رده حساسیت خیلی زیاد با وسعت حدود ۲۲ درصد منطقه، حدود ۶۵ درصد رخداد سیل و در مدل وزن شاهد با وسعت حدود ۲۵ درصد منطقه، حدود ۶۳ درصــد رخداد ســیل را پوشــش می‌دهد. در پایان با توجه به اینکه اجرای همزمان روش‌های یادگیری ماشــین و احتمالاتی در این پژوهش دقت خوبی داشــته اســت و همچنین ترکیب با روش‌های دیگر در مطالعات اخیر نتایج خوبی بهمراه داشــته اســت، بنابراین به پژوهشــگران علاقه‌مند تو صیه می شود روش‌های ترکیبی نوین در دیگر زیرحو ضه‌های ا ستان گلستان مورد برر سی و ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- اسداللهی شهیر، مهدی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، معاونت فنی و آبخیزداری. بهار ۱۳۹۷.
- فرامرزی، ح.، و حسینی، س.، و پورقاسمی، ح.، و فرنقی، م. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه بندی وقوع مخاطره ی سیلاب در پارک ملی گلستان. اکوهیدرولوژی, ۶(۴), ۱۰۵۵-۱۰۶۸.
- چراغی قلعه سری، ع.، ر. حبیب نژاد و م. روشان. (۱۳۹۹). تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مخاطرات محیط طبیعی. ۹(۲۵): ۸۰-۶۱.*

- Maier, H.R.; Jain, A.; Dandy, G.C.; Sudheer, K.P. Methods used for the development of neural networks for the prediction of water resource variables in river systems: Current status and future directions. Environ. Model. Softw. 2010, 25, 891–909.
- Saha, A., Pal, S. C., Arabameri, A., Blaschke, T., Panahi, S., Chowdhuri, I., ... & Arora, A. (2021). Flood susceptibility assessment using novel ensemble of hyperpipes and support vector regression algorithms. Water, 13(2), 241.
- Rahmati, O., A. Haghizadeh and S.Stefanidis. (2016a). Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran; Water Resour. Manag. 30(3) 1131–1150.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016b). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. Geocarto International, 31(1), 42-70.

- Bardi sheikh, V., Babaee, A. and Mosheikhian, Y. (2009). Assessment of the changes in precipitation regimes Gorganroud Basin. Iran-Watershed Management Science and Engineering 3(8), 29- 38.
- Arabameri, A., S.Saha, K. Mukherjee, T. Blaschke, W. Chen, W., Ngo, P. T. T., & S.S. Band. (2020). Modeling spatial flood using novel ensemble artificial intelligence approaches in northern Iran. Remote Sensing, 12(20), 3423.
- Haghizadeh, A., S. Siahkamari, A. H. Haghiabi, & O. Rahmati. 2017. Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model. Journal of Earth System Science, 126(3), 39.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. and Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, Geomorphology, 115, 172-187.
- Van Western, C. J. (2002). Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping 1-21 .
- Lee, S. and Choi, J. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. Intl. J. Geograph. Inform. Sci, 18(8), 789-814.
- Yesilnacar, E. K. (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne, 1-423.
- Roering, J. J., Kirchner, J. W. and Dietrich, W. E. (2005). Characterizing Structural and Lithologi Controls on Deepseated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range, Geological Society of AmericaBulletin, 17, 654-668.
- Smola, Alex J., and Bernhard Schölkopf. 1998. "On a Kernel-Based Method for Pattern Recognition, Regression, Approximation, and Operator Inversion." Algorithmica 22(1–2):211–31.
- Balabin, Roman M., and Ekaterina I. Lomakina. 2011. "Support Vector Machine Regression (SVR/LS-SVM)—an Alternative to Neural Networks (ANN) for Analytical Chemistry? Comparison of Nonlinear Methods on near Infrared (NIR) Spectroscopy Data." Analyst 136(8):1703–12.
- Eslaminezhad, S. A., Eftekhari, M., & Akbari, M. (2020). GIS-Based Flood Risk Zoning Based On Data-Driven Models. Journal of Hydraulic Structures, 6(4), 75-98.
- Islam, A. R. M. T., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., & Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. Geoscience Frontiers, 12(3), 101075.

آیا حوضه دریاچه ارومیه پتانسیل آبخیزی و سیل‌خیزی خود را ازدست‌داده است ؟

بهزاد حصاری*[۱]، نهاله بهرامی[۲] شهریبان سوره[۲]، هاله هاشمی[۲]، وحید پورقاسم[۲]
۱.دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، b.hesari@urmia.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه،

چکیده

در این مقاله پتانسیل‌های حدی و دوره بازگشت ورودی‌های طبیعی آب دریاچه ارومیه در دوره قبل از بحرانی شدن و بعد تنزل آب دریاچه و همچنین اثر سدها بر ورودی کلی دریاچه موردبررسی قرارگرفته است. درنهایت دوره برگشت آوردهای سالانه و سیلاب‌ها در این دو دوره، بررسی شده است. در این مقاله آبدهی آخرین ایستگاه‌های هیدرومتری منتهی به دریاچه ارومیه در ۱۴ رودخانه بررسی گردید. نتایج حاکی از این است که پتانسیل آبخیزی سالانه در حوضه دریاچه ارومیه کاهش‌یافته و ضریب تغییرات ایستگاه‌ها عمدتاً افزایشی است که نشانگر تغییرات نامنظم بارش و به‌تبع آن رواناب است. بر اساس نتایج تحلیل سیلاب، سیلاب رودخانه‌هایی با توسعه کشاورزی زیاد و ساخت سدهای بزرگ مخزنی، کاهشی است ولی در رودخانه‌های بدون سد، پتانسیل سیلاب خیزی به‌رغم تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی و کاهش ضریب جریان،به‌صورت معنی‌داری کاهش نیافته است. طبق پیشنهاد ستاد احیای دریاچه ارومیه، برای احیای دریاچه ارومیه هر سال باید بیش از ۳/۱ میلیارد مترمکعب آب وارد دریاچه ارومیه شود . نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با روند کنونی برداشت‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی و بر اساس بررسی تعداد سدهای ساخته‌شده بر روی رودخانه‌های حوضه این دریاچه، این عدد دارای یک بیش برآورد است و امکان تولید این دبی در حوضه در شرایط فعلی وجود ندارد.ارائه برنامه واقع‌بینانه و مدون احیا دریاچه و پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه حوضه، پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:
آبدهی ورودی به دریاچه ارومیه، سیل‌خیزی، توسعه اراضی، سدهای بزرگ مخزنی، دوره برگشت ورودی‌های طبیعی آب.

مقدمه

دریاچه ارومیه به‌عنوان کلان بحران زیست‌محیطی بین‌المللی، موردتوجه سیاست مداران، مراکز تخصصی و محققین زیادی قرارگرفته است و از ابعاد مختلف موردتوجه بوده است . تلاش‌های چندساله برای اقدام در زمینه احیای دریاچه ارومیه منجر به این شد که در سال ۹۳ ستاد نجات دریاچه ارومیه در سطح ملی تشکیل و با مصوبات ۲۷ گانه و یک نقشه راه، اقدام به تخصیص حقآبه و تثبیت و احیا دریاچه کند . در این تحقیق سعی شده است احیای هیدرولوژیک دریاچه ارومیه را ازنظر آب ورودی از

آخرین ایستگاه‌های هیدرمتری به‌عنوان پتانسیل آبخیزی و تولید رواناب،موردبرر سی قرار گیرد. بر این ا ساس چند مورد از دیدگاه‌های محققین در رابطه با مو ضوع احیای دریاچه موردبرر سی قرارگرفته اما تأثیر برخی اقدامات انجام شده از سال ۲۰۱۳ بر کاربری ارا ضی و پو شش زمین (LULC)در حو ضه بررسی نشده است (Esmaeilnezhad و همکاران، ۲۰۲۱). فرآیندهای طبیعی و انسانی در حال حاضر تهدیدهای عمده‌ای برای اکو سیستم‌های آبی و بدنه‌های آبی در سرا سر جهان هستند. دریاچه ارومیه دومین دریاچه بزرگ شور جهان است که عمدتاً به دلیل مدیریت نادرست مصرف آب در حوضه آن و کاهش ورودی آب به دریاچه، در حال خشک شدن است (Soudi و همکاران، ۲۰۱۷). احمدیان و اصغری(۱۳۹۲)، درتحقیقی با عنوان عواقب زیست‌محیطی دریاچه ارومیه و راه‌کارهای نجات آن‌که از نوع تحقیقات توصیفی تحلیلی بوده و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و اسناد و مدارک معتبر و به‌کارگیری روش فرا تحلیلی تجزیه‌وتحلیل‌های لازم صورت گرفته است به این نتیجه رسیده‌اند که سطح ایستابی دریاچه ارومیه در طی ۱۳ سال گذشته کاهش چشمگیری داشته است. لازم به ذکر است که از سال ۱۳۷۴، افت سطح آب دریاچه بیش از ۸ متر بوده است (حصاری و زینال زاده، ۱۳۹۹) . در زمینه بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است . ناظری و همکاران روند تغییرات بارش حوضه دریاچه ارومیه را در دو مقیاس سالانه و ماهانه با استفاده از آزمون نا پارامتری من - کندال اصلاح شده با حذف کامل ساختار خودهمبستگی موردبررسی قرار داده‌اند. به‌طوری‌که ۴۲ ایستگاه باران‌سنجی (۲۴ ایستگاه در استان آذربایجان غربی و ۱۸ ایستگاه در استان آذربایجان شرقی) در حوضه دریاچه ارومیه انتخاب و پس از تکمیل دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۳ موردبررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی بارش در حوضه دریاچه ارومیه نشان‌دهنده‌ی این بوده که حوضه دریاچه ارومیه طی سال‌های موردبررسی ترکیبی از روند کاهشی و افزایشی را تجربه کرده است. افزون بر این، زمان تغییر روند در سری بارش حوضه دریاچه ارومیه نشان‌دهنده‌ی شکست در سری بارش بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ در اکثر ایستگاه‌هایی که کاهش روند بارش را تجربه کرده‌اند، بوده است. بر اساس مطالعه‌ی انجام‌شده توسط ناظری تهرودی و همکاران(۱۳۹۶)،با استناد به نتایج پهنه‌بندی آماره Z آزمون من – کندال اصلاح شده مشخص شده است که روند کاهشی بارش سالانه طی دوره آماری موردبررسی در حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس مناطق تحت تأثیر توده‌هوای قطبی – قاره‌ای ورودی به ایران بوده است. زینالی و صفریان زنگیری(۱۳۹۶)، با استفاده از قابلیت‌های سامانه نرم‌افزار MATLAB و شاخص تلفیقی SEPI3 در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، اقدام به بررسی وضعیت خشک سالی در حوضه دریاچه ارومیه نموده و به این نتیجه دست‌یافته‌اند که بر اساس روند خشک‌سالی در حوضه دریاچه ارومیه افزایشی است و دمای هوا نیز با شدت بیشتر روند افزایشی دارد.. با توجه به خشک‌سالی اخیر در دریاچه ارومیه، پیش‌بینی جریان رودخانه برای احیای آن ضروری بوده و در این راستا نیز انتخاب بهترین مدل بهینه برای تحقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.Jahangir و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای با استفاده از آمار دبی ورودی ۱۰ ایستگاه از سال

۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹، دبی ورودی دریاچه ارومیه را از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۹ مدل‌سازی و پیش‌بینی کرده و نتیجه‌گیری نموده‌اند که روش شبکه عصبی با پیش‌بینی آینده با خطای کمتر MSE از نرم‌افزار R دارای عملکرد بهتری است. نتایج حاصل از مطالعه انجام‌شده توسط اخوان و حمزه‌آباد(۱۳۹۳) در زمینه قابلیت مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان حوضه دریاچه ارومیه، در بازه زمانی ۱۹۸۰-۱۹۹۱ و اعتبار سنجی نتیجه با استفاده از داده‌های باز زمانی ۱۹۹۸-۱۹۹۲، نتیجه گرفته‌اند که احداث سدهای متعدد، تغییر اقلیم و کاربری اراضی در حوضه سبب کاهش حجم رواناب ورودی به دریاچه به میزان حدود ۸۰در صد شده است.بر این اساس نتیجه‌گیری شده است که اگر شرایط مدیریتی طبیعی در حوضه دریاچه ارومیه برقرار بود وضعیت دریاچه می‌توانست بهتر از وضعیت کنونی باشد. تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی هست. طبق یافته‌ها، عوامل انسانی بر دریاچه ارومیه تأثیر بسیار بیشتری نسبت به تغییرات اقلیمی و طولانی‌مدت داشتند خشک‌سالی؛ سوء مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و سطحی و برداشت آب زیرزمینی در حوضه منجر به کاهش شدید سطح دریاچه شده است. این‌ها چالش‌ها پیامدهای جدی برای مدیریت منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه دارد (Shams، Ghahfarokhi و Moradian، ۲۰۲۳). جهت پاسخ به این سؤال که آیا روند مثبت ۹۴ تا ۹۸ دریاچه ارومیه ناشی از فعالیت‌های LURP[4]بوده است یا سهم طبیعی عوامل اقلیمی است نتیجه بررسی‌هایی انجام‌شده در سه دریاچه وان (ترکیه)، موصل و ثرثار (هر دو در عراق) که در مجاورت حوضه دریاچه ارومیه هستند دارای با تنوع بارندگی مشابه هستند، نشانگر این است که رابطه معنی‌داری بین WL-P استاندارد شده و A-P در طول دوره طولانی‌مدت، به‌ویژه طی سه سال اخیر وجود دارد.، به‌طوری‌که بارش تجمعی در ماه‌های پیشین نقش عمده‌ای در بهبود وضعیت این دریاچه‌ها داشته اما با تأخیر زمانی متفاوت (Nikraftar و همکاران، ۲۰۲۱). ناظری تهرودی و رمضانی(۱۳۹۷)، در پژوهشی با استفاده از دبی روزانه رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه و همچنین، روش سال میانگین، داده‌های حجم خشکی رودخانه‌های مذکور را استخراج کرده و چند توزیع مطرح از هرکدام از توزیع‌های پیوسته نظیر توزیع پیوسته پیشرفته مقادیر حدی تعمیم‌یافته و ویک بای، توزیع پیوسته غیر صفر ارالنگ، توزیع پیوسته کراندار جانسون اسبی و توزیع پیوسته بیکران نرمال برای برازش داده‌های حجم خشکی رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه در دوره آماری ۳۳ ساله استفاده نمودند. در این تحقیق نتایج تمام مدل‌های توزیع که با استفاده از آزمون‌های نکویی برازش اندرسون دارلینگ و کولوموگروف-اسمیرنف مقایسه گردیده و به ترتیب اولویت‌بندی شده‌اند. همچنین، اقدام به بررسی همبستگی داده‌های آمار توصیفی تاریخی و داده‌های آمار توصیفی مدل‌های منتخب، با استفاده از آزمون ارزیابی، گردیده است. نتایج حاصل از توزیع فراوانی داده‌های خشکی سه رودخانه موردمطالعه نشانگر این است که از میان توزیع‌های گروه پیوسته، توزیع‌های آماری پیشرفته ویکبای و جانسون

4 Lake Urmia Resotoration Programm

اسبی بهترین توزیع را داشته و نسبت به روش‌های توزیع آماری رایج نیز عملکرد بهتری داشتند. Hamidi-Razi و همکاران(۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای اقدام به ارزیابی اثربخشی سناریوهای چندگانه احیای هیدرولوژیکی دریاچه ارومیه و همچنین تغییر رژیم شوری آن بدون مداخله، با استفاده از یک مدل آب کم‌عمق دوبعدی کرده‌اند.نتایج این مطالعه که در زمینه ارزیابی سناریوهای آزمایش‌شده پیشنهادی کمیته برنامه احیای دریاچه ارومیه شامل: حفظ وضعیت فعلی دریاچه (بدون مداخله)، بسته شدن کامل معبر شهید کلانتری، احداث دایک در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه، انتقال آب از رودخانه زرینه‌رود به رودخانه سیمینه‌رود و کاهش مصرف آب کشاورزی با استفاده از بهترین شیوه‌های کشاورزی بوده نشان داده است که نه بسته شدن گذرگاه و نه ساخت دایک جنوبی به‌طور فراوانی شرایط دریاچه را در مقایسه با حفظ وضعیت فعلی دریاچه بهبود نمی‌بخشد. همچنین مشخص شده است که جایگزین انتقال آب نیز بر شرایط فعلی دریاچه نیز تأثیری نمی‌تواند داشته باشد. بااین‌حال، کاهش انحراف آب با بهبود شیوه‌های کشاورزی در حوضه دریاچه منجر به احیای جزئی دریاچه ازنظر سطح آب، سطح و حجم دریاچه می‌شود.افزون بر این نتیجه‌گیری گردیده که در صورت تداوم شرایط فعلی، شوری در قسمت شمالی دریاچه ارومیه به سطح فوق اشباع (۳۴۰ گرم در لیتر) می‌رسد و رسوبات نمک بیشتری ایجاد می‌کند. از آنجائی که نگرانی عمومی در مورد مسائل زیست‌محیطی مانند تخریب اکوسیستم‌های طبیعی زیاد است، بااین‌حال بازیابی سامانه‌های انسانی-طبیعی جفت شده نیازمند یکپارچگی در بسیاری از موضوعات علوم، فناوری، مهندسی، مدیریت و حکمرانی است . دراین‌باره Parsinejad و همکاران (۲۰۲۲)، با بررسی ۵۴۴ مقاله که تا سپتامبر ۲۰۲۰ در مورد خشک شدن و احیای نوپای دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران منتشر شده است به ۹ سؤال علمی و عمومی در مورد علل، تأثیرات، تثبیت، بازیابی و مراحل بعدی پاسخ داده‌اند. Tahroudi و همکاران (۲۰۱۹)، با مطالعات علمی و فنی که برای تأمین و انتقال ۲۰ تا ۴۰ ٪ از ظرفیت آب سالانه هر یک از ده رودخانه اصلی حوضه پیرامون به دریاچه ارومیه گزارش کرده‌اند که کاهش سهم آب کشاورزی از ۹۰ به ۷۰ ٪ از طریق آیش زمین‌های زراعی، کم آبیاری باغ‌ها، خرید تضمینی حقابه آب‌های سطحی در شبکه آبیاری پیرامون دریاچه، جلوگیری از برداشت غیرمجاز ۲۰ درصدی از رودخانه‌ها، بازنگری در منحنی فرمان ۱۳ سد بزرگ حوضه برای رهاسازی ۳۰ تا ۴۰ ٪ آورد سالانه رودخانه‌ها و عملیات هدایت فیزیکی جریان رودخانه‌ها به سمت دریاچه با کمترین آثار نامساعد هیدرو اکولوژیکی، ازجمله راهکارهای سریع الاثر در نجات دریاچه ارومیه از خشک شدن، است. یاسی(۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای با عنوان مدیریت رودخانه‌ها و سدها در تأمین و هدایت آب به دریاچه ارومیه تجدیدنظر در تخصیص آب برای مصارف مختلف و افزایش سهم جریان زیست‌محیطی از ۱۰ ٪ کنونی به ۲۰ تا ۴۰ ٪ آورد سالانه رودخانه‌ها را راه‌کار پایدار برای احیای دریاچه ارومیه معرفی نموده و بر این نکته اشاره دارد که تغییر در تنظیم حجم آب در ۱۳ سد موجود و کاهش ارتفاع ۱۱ سد در حال ساخت یا در دست مطالعه، برای تضمین روند

احیای دریاچه ارومیه در آینده امری ضروری ا ست. در این مطالعه نتیجه‌گیری شده ا ست که LUB[5] یک مقدار قابل‌توجه را شناسایی کرده است. روند نزولی در مقیاس‌های زمانی سالانه، بهار و زمستان در ۳۰ سال گذ شته. مقادیرPCI[6] بی‌نظمی بالا در تابستان با مقدار PCI 20.1 بیشترین نظم در زمستان با مقدار PCI 10.4. است .همچنین مشخص‌شده است که ارزیابی اثرات PCI بر سرعت جریان رودخانه همراه با مقادیر حجم کوتاهی جریان با اســتفاده از ایســتگاه‌های هیدرومتری و باران‌ســنج در داخل LUBنتایج حا صل از تغییرات دبی رودخانه و حجم کوتاهی جریان ن شان داده که دبی رودخانه دارای عمدتاً یک‌روند نزولی ا ست. ضمنا" نتیجه این مطالعه ن شان داده ا ست که تغییرات در داده‌های بارش کاهش ورودی از ۹۰۰ میلیون مترمکعب به ۱۴ میلیارد مترمکعب با دبی بالا حجم کوتاهی ممکن ا ست در بدترین شرایط اتفاق بیفتد. این نتایج اهمیت استفاده از منابع آب را برجسته کرده است.

بابایی و همکاران(۱۳۹۶)، در پژوهشی با جمع‌آوری اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای- ا ستنادی- پیمای شی و با ا ستفاده از تکنیک دلفی[7] و شنا سایی و انتخاب ۱۲ نفر از متخ صصین خبره در زمینه محیط‌زیست به این نتیجه رسیده‌اند که حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل بسته بودن، اثرات مخرب و منفی انسان در تخریب منابع آب، خاک و گیاهان را به‌خوبی و به‌طور بارز نشان می‌دهد، اما با توجه به ادامه تخریب محیط‌زیست در این حوضه می‌توان نتیجه گرفت که ساکنین و بهره‌برداران از منابع طبیعی درک و آگاهی لازم از رابطه میان کنش‌ها و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر زیرسیستم‌های کالبدی و اکولوژیکی -بیولوژیکی دریاچه ارومیه ندارند. کهنه پوش و همکاران (۱۳۹۲)، اهمیت و وضــعیت دریاچه ارومیه اقدام به بررســی جنبه‌های مختلف اقتصــادی و زیســت‌محیطی و ریشــه‌یابی علل و پیامدهای مشکلات مختلف کرده و راه‌کارهایی عملی جهت احیای دریاچه ارومیه را ارائه نموده‌اند. کهنه پوش و همکاران(۱۳۹۲)، با ا ستناد به نتیجه تحلیل و برر سی و ضعیت، علل و پیامدهای تخریب محیط زیســتی دریاچه ارومیه، گســترش ســدســازی بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه توأم با پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی، کاهش بارش، وقوع خشک‌سالی پیاپی، استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و عدم استفاده از روش‌ها و الگوهای کشت نوین را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در پس‌روی و خشــک‌شــده تدریجی دریاچه (از ســال ۱۳۷۶) تشــخیص و معرفی نموده‌اند.گلزاری پرتو(۱۳۹۴)،با استفاده از مدل شبیه‌سازی RegCM 4.3 و داده‌های شرایط مرزی ثانویه از داده‌های دوباره تحمیل‌شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی / مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه برای یک دوره ۳ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳) و مدل باقدرت تفکیک ۱۰ کیلومتر در شرایط کنترل (وجود دریاچه ارومیه) و شــرایط حذف دریاچه ارومیه،اقدام به اجرای طرح‌واره بارش همرفتی گرل نموده ا ست. نتایج ن شان داده که در صورت خ شک شدن دریاچه ارومیه بارش در نیم‌کره شرقی

5 Urmia Lake Basin
6 Precipitation Concentration Index (PCI)
7 Delphi method logy

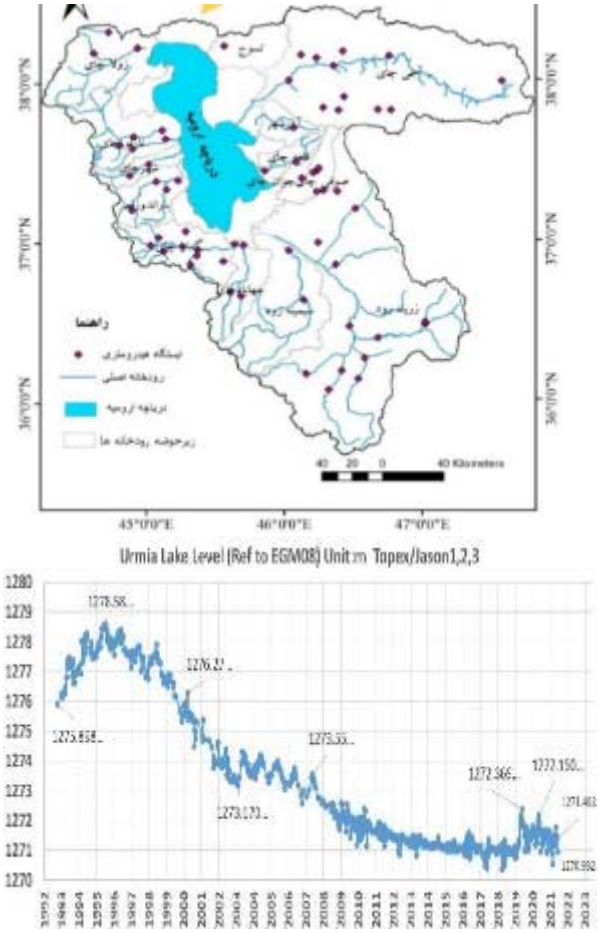
دریاچه و بخ صوص در ا ستان آذربایجان شرقی کاهش می‌یابد.Esmaeilnezhad همکاران (۲۰۲۱)، تحقیقی با عنوان ارزیابی سیاست‌های پیشگیرانه توسعه کشاورزی برای احیای دریاچه ارومیه در حوضه باراندوز انجام داده‌اند که در آن اثربخشی سیاست‌های محدودکننده بر کشاورزی ارزیابی شده و توسعه حوضه باراندوز و تغییرات کاربری اراضی پوشش گیاهی (LULC) حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال۱۹۹۲ تا۲۰۱۸بررسی گردیده است، نتایج این بررسی نشان داده که زمین‌های دیم، باغ و مناطق ساخت‌وساز شده در محدوده‌ی موردمطالعه به ترتیب حدود ۲۶۸درصد (۱۷۲۴۸هکتار)، ۱۶۰درصد (۸۹۳۴ هکتار) و ۱۷۴٪ (۱۴۴۴هکتار) افزایش داشته‌اند. از سوی دیگر وسعت مراتع، زمین‌های بایر در دشت‌ها و آب به ترتیب حدود ۲۲ در صد (۱۹۲۹۸هکتار)، ۱۲ در صد (۱۹۷۲هکتار)، ۳۰ درصد کاهش‌یافته‌اند. در این مطالعه بر ضرورت مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه بر اساس درک دقیق تغییرات LULC تأکید شده است. افزون بر این،ارزیابی اثرات گسترش کشاورزی آبی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و استفاده ازتکنیک مهاجرت نمونه با به‌کارگیری نرم‌افزار Google Earth تأثیر گسترش کشاورزی آبی در کاهش وسعت دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی معرفی‌شده است. شریعت مداری و همکاران (۱۳۹۹)، با استناد به نتایج تحقیق خود مدیریت درست منابع و توقف ساخت سدهای جدید بر روی سایر رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، تغییر الگوی کشت، افزایش بهره‌وری آب را ازجمله اقداماتی معرفی نموده‌اند که می‌بایست برای تعادل بخشیدن به نوسانات این دریاچه در دستور کار قرار گیرد. در راستای ارزیابی فعالیت‌های انسانی بر روند تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت ارومیه پژوهشی صورت گرفته است. برای تحلیل روند، است.حصاری و زینال زاده(۱۳۹۹)، برای ارزیابی فعالیت‌های انسانی بر روند تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت ارومیه از آزمون ناپارامتری من-کندال با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی نتیجه‌گیری نموده‌اند که روند دبی ورودی از سمت زیر حوضه‌های نازلوچای، روضه‌چای و باراندوزچای به دشت ارومیه کاهشی است و روند منفی دبی خروجی از زیر حوضه‌های رو ضه چای، شهرچای و باراندوزچای در سطح اطمینان ۱۴ در صد معنی‌دار بوده و رواناب‌های سطحی که به دریاچه ارومیه طی بازه زمانی موردمطالعه تخلیه شده است. در تمامی فصول دارای روند کاهشی بوده است. این محققین در سال ۱۳۹۸ نیز با استناد به نتایج تحقیق در زمینه بررسی روند تغییرات دبی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه و همچنین نقش تغییرات دبی ورودی به دریاچه بر کاهش سطح آب دریاچه،آمار و اطلاعات مربوط به ۶۵ ایستگاه هیدرومتری سال‌های (۱۳۵۷ تا۱۳۹۰) تجزیه‌وتحلیل کرده و گزارش نموده‌اند که آب‌های سطحی در سرا سر حو ضه و ورودی به دریاچه‌ی ارومیه کاهش‌یافته و در سال‌های بعد از ۱۳۷۴ نقش این کاهش درافت سطح آب دریاچه ارومیه ملموس و آ شکار شده است.بر این اساس بر ضرورت مدیریت صحیح منابع آب و استفاده از آب برای مصرف در بخش‌های مختلف ازجمله کشاورزی با توجه به شرایط اقلیمی حاکم در حوضه دریاچه ارومیه تأکید شده است. Hessari و Zeinalzadeh(۲۰۲۲)، با بررسی

تغییرات در معیارهای مختلف هیدرولوژیکی و اســـتفاده از آزمون نمودار کنترل تجمعی (CUSUM) برای مطالعه تغییرات به این نتیجه د ست‌یافته‌اند که دبی در ۵۵ ای ستگاه (۸۶ در صد) روند نزولی و در ۳۸ ایستگاه‌ها (~۵۹٪)، روند کاهشی بوده و بر اساس نتایج این مطالعه میزان پیک و حجم دبی ورودی به دریاچه ارومیه طی ســال‌های ۱۹۹۸تا۲۰۱۱ در مقایســه با دوره زمانی ۱۹۷۸تا۱۹۹۷ نیز کاهش داشته است.

با شرح نتایج مطالعاتی و برر سی‌های بیان شده می‌توان به این نتیجه ر سید که حو ضه دریاچه ارومیه شاهد تغییرات بسیار زیادی بوده که پتانسیل‌های طبیعی آن شدیداً تحت تأثیر تغییرات به وجود آمده بوده است. به‌طور مثال سطح زیر کشت در این حوضه از ۱۲۰۰۰۰ هکتار به ۶۵۰-۶۸۰ هزار هکتار(در سال ۱۴۰۲) ر سیده، تعداد سدها از چند مورد به چندین ده مورد افزایش‌یافته و تعداد چاه‌ها، معادل حدود ۲۵٪ کل چاه‌های کشــور(۱۲۰۰۰ حلقه) اســت که حدود ۶۰٪ آن‌ها نیز غیرمجاز هســتند.وجود چنین شرایط و وضعیتی بیانگر تخریب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و کاهش پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضـــه‌های آبخیز از یکســـو و کاهش رواناب‌های ورودی به دریاچه ارومیه (کاهش آبخیزی و تولید رواناب) از ســوی دیگر اســت. با توجه به این موضــوع در این مقاله ســعی گردیده این مهم تا حد امکان بررسی شود.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دریاچه ارومیه شکل(۱)، با مساحت حدود ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران واقع‌شده که یکی از شش حوضه آبریز اصلی در کشور است. گستره این حوضه در سه استان آذربایجان غربی آذربایجان شرقی و کردستان به ترتیب برابر با ۴۶،۴۳ و۱۱ درصد مساحت کل حوضه قرارگرفته است. دریاچه ارومیه با وسعت حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع (حدود ۱۰ ٪سطح کل حوضه)، با طول و عرض بیشینه ۱۲۰ و ۴۰ کیلومتر، بزرگ‌ترین دریاچه شور داخلی ایران هست (یاسی،۱۳۹۶). دریاچه ارومیه (UL)، از سال ۱۹۹۵ با معضل کاهش شدید سطح آب ایستابی و به دلیل خشک شدن روبرو است. در این دریاچه سعی در احیای دریاچه باهدف ثابت نگه‌داشتن سطح آب در ارتفاع ۱۲۷۴،۱ متری از سطح دریا و کاهش شوری زیر ۲۶۳ گرم در لیتر و بازیابی آرتمیا به تراکم کافی برای حمایت از فلامینگوها است(Sima و همکاران، ۲۰۲۱). منابع آماری تحقیق مشتمل بر داده‌های روزانه دبی در ایستگاه‌های منتهی به دریاچه اندازه‌گیری و ثبت‌شده توسط آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، ستاد احیای و شرکت مدیریت منابع آب ایران از سال ۱۳۲۸ تا ۱۴۰۱ هست.لازم به ذکر است که نواقص آماری مشاهده شده در ایستگاه‌ها با استفاده تحلیل همبستگی و مدل رگرسیون خطی در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام و برای دوره مشترک موردنظر تکمیل‌شده است(جدول ۲ و شکل ۲). لازم به ذکر است دو ایستگاه ونیار و بند ارومیه که دارای آمار کاملی بودند ولی جزو ایستگاههای انتهایی نبودند نیز در تکمیل آماری مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- منطقه موردمطالعه و موقعیت مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه و روند نزولی سطح آب دریاچه(منبع fa.ncc.gov.ir)

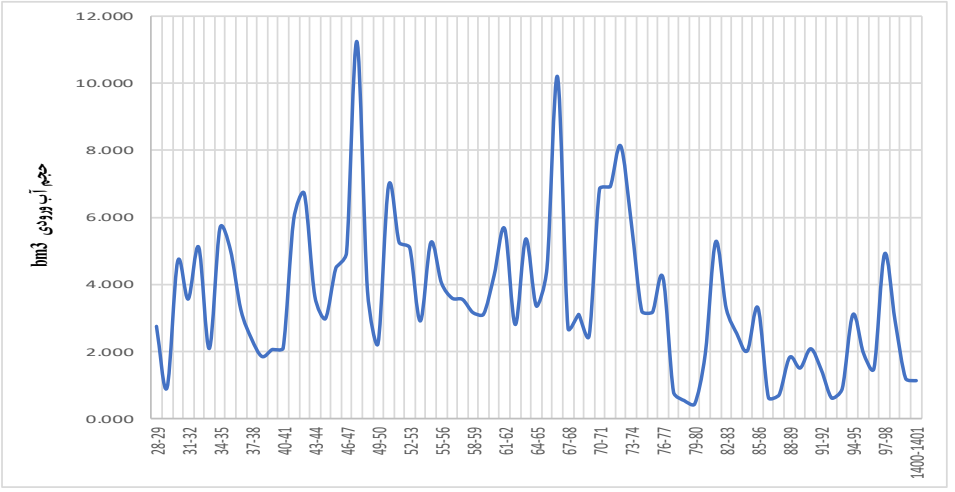
در جدول ۲ داده‌های تکمیل‌شـــده به روش رگرســـیونی بارنگ زرد مشـــخص‌شـــده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ و شکل ۲ آمده ا ست، ملاحظه می شود که در سال ۱۳۴۷ حجم آب حدود ۱۱/۳۰ میلیارد، در سال ۱۳۶۶، ۱۰ میلیارد، و در سال ۱۳۷۲ حدود ۸/۲ میلیارد مترمکعب آب وارد دریاچه شده است که این اعداد با لحاظ حجم پر دریاچه که ۳۱ میلیارد مترمکعب است، تقریباً معادل یک‌سوم آب دریاچه محسوب می‌شود. این اعداد به‌خوبی پتانسیل احیای طبیعی دریاچه را نشان می‌دهد. اگرچه در سال‌های اخیر مجدداً با م صرف بی‌رویه و ا ستح صال آب در سطح حو ضه، رفتار هیدرولوژیک حو ضه از حالت نرمال خارج و ضرایب جریان رواناب‌ها نیز شدیداً کاهش‌یافته است.

جدول ۱- ماتریس همبستگی برای تکمیل داده‌های آماری دبی‌های سالانه

Correlations

		babarod	polmiandoab	nezamabad	gerdyagob	polbahramlo	kashtiban	abajalo	polozbak	yalgozaghaj	polsinikh	akhola	khormazard	shishvan	geshlagamir	shirinkand	vaniar	band
babarod	Pearson	1																
	N	73																
polmiandoab	Pearson	.822**	1															
	N	57	57															
nezamabad	Pearson	.878**	.865**	1														
	N	56	55	56														
gerdyagob	Pearson	.813**	.881**	.825**	1													
	N	33	33	33	33													
polbahramlo	Pearson	.949**	.872**	.888**	.830**	1												
	N	65	57	56	33	65												
kashtiban	Pearson	.884**	.794**	.808**	.704**	.826**	1											
	N	42	42	42	29	42	42											
abajalo	Pearson	.861**	.674**	.686**	.765**	.759**	.784**	1										
	N	58	57	56	33	58	42	58										
polozbak	Pearson	.910**	.700**	.764**	.756**	.854**	.879**	.902**	1									
	N	44	43	42	33	44	29	44	44									
yalgozaghaj	Pearson	.831**	.616**	.741**	.736**	.771**	.812**	.830**	.907**	1								
	N	48	47	46	33	48	32	48	44	48								
polsinikh	Pearson	.730**	.681**	.786**	.734**	.734**	.731**	.559**	.760**	.605**	1							
	N	44	43	42	24	44	31	44	32	35	44							
akhola	Pearson	.907**	.756**	.856**	.789**	.869**	.806**	.881**	.878**	.812**	.809**	1						
	N	35	34	33	24	35	20	35	35	35	32	35						
khormazard	Pearson	.721**	.568**	.666**	.606**	.761**	.565**	.591**	.583**	.515**	.616**	.639**	1					
	N	37	36	35	24	37	21	37	35	37	34	35	37					
shishvan	Pearson	.766**	.617**	.837**	.629**	.730**	.717**	.761**	.712**	.665**	.701**	.819**	.637**	1				
	N	35	34	33	24	35	20	35	35	35	32	35	35	35				
geshlagamir	Pearson	.813**	.752**	.773**	.864**	.795**	.874**	.722**	.730**	.678**	.600**	.709**	.628**	.650**	1			
	N	39	38	37	24	39	23	39	35	39	35	35	37	35	39			
shirinkand	Pearson	.776**	.694**	.774**	.877**	.790**	.779**	.686**	.781**	.690**	.652**	.682**	.602**	.630**	.833**	1		
	N	40	39	38	24	40	24	40	35	39	36	35	37	35	39	40		
vaniar	Pearson	.804**	.762**	.879**	.823**	.820**	.751**	.541**	.729**	.586**	.796**	.818**	.588**	.735**	.774**	.797**	1	
	N	61	45	44	21	53	30	46	32	36	41	32	34	32	36	37	61	
band	Pearson	.870**	.768**	.820**	.845**	.845**	.920**	.883**	.855**	.788**	.687**	.837**	.603**	.757**	.813**	.754**	.699**	1
	N	61	45	44	21	53	30	46	32	36	41	32	34	32	36	37	61	61

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۲- نمودار متوسط حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه (اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری)

جدول ۲- داده‌های آماری دبی‌های سالانه ایستگاه‌های منتهی به دریاچه (مترمکعب بر ثانیه)

سال آبی	بازفدز چای	سمیمه رود	زرینه رود	مهابادچای	گلیرچای	شهر چای	نازلو چای	روضه چای	زولا چای	سنبخ چای	آجی چای	ماه یزن	قلعه چای	مردق چای	لیلان چای	ورودی به دریاچه	ورودی به دریاچه
	بازفدز	پل میاندوآب	نظام آباد	گرد یعقوب	پل بهراطو	کشتیبان	آبجاوسفلی	پل ارنگ	یالقوزاغاج	پل سنبخ	آخولار	خروزارد	شیشوان	قشلاق امیر	شورین کند	متوسط دبی ورودی	حجم آب ورودی bm3
28-29	5.04	12.26	40.92	2.80	7.12	1.55	3.27	0.67	0.79	0.82	6.18	0.25	1.24	2.31	1.77	86.99	2.743
29-30	2.96	5.86	7.96	1.90	3.10	0.23	1.86	0.36	0.28	0.39	2.07	0.11	0.00	1.27	0.75	29.10	0.918
30-31	8.91	19.29	65.28	6.30	12.54	3.64	8.75	1.33	2.11	1.02	11.13	0.36	2.32	2.96	2.29	148.23	4.675
31-32	6.65	15.48	45.87	5.60	8.95	3.48	8.61	1.14	1.86	0.82	8.18	0.23	1.82	2.39	1.83	112.91	3.561
32-33	10.94	20.69	70.78	7.00	15.18	3.15	8.59	1.44	2.26	1.01	12.76	0.46	2.19	3.07	2.25	161.77	5.102
33-34	5.62	9.98	24.61	3.50	6.93	0.87	3.76	0.68	0.87	0.53	5.24	0.22	0.43	1.73	1.08	66.05	2.083
34-35	9.15	22.84	83.52	6.70	13.66	4.97	10.25	1.50	2.45	1.31	12.95	0.39	3.31	3.57	2.98	179.55	5.662
35-36	9.28	20.45	74.78	5.70	13.51	3.40	7.49	1.29	1.95	1.16	11.97	0.43	2.55	3.28	2.60	159.84	5.041
36-37	6.31	14.61	41.15	5.40	8.74	2.86	7.35	1.02	1.61	0.75	7.34	0.23	1.47	2.22	1.65	102.70	3.239
37-38	3.94	11.16	36.94	2.10	5.90	1.26	2.15	0.52	0.50	0.80	5.00	0.23	1.10	2.20	1.73	75.53	2.382
38-39	3.69	9.46	24.31	2.60	5.04	1.12	2.90	0.52	0.58	0.60	3.88	0.17	0.64	1.77	1.28	58.56	1.847
39-40	4.33	10.17	25.84	3.20	5.71	1.43	3.97	0.64	0.82	0.60	4.54	0.18	0.73	1.80	1.28	65.25	2.058
40-41	4.12	12.26	23.77	4.90	7.46	1.24	3.69	0.61	0.81	0.49	3.63	0.22	0.44	1.57	1.11	66.32	2.091
41-42	10.09	23.62	83.37	7.90	14.28	5.74	12.81	1.73	2.95	1.28	13.90	0.37	3.47	3.55	2.91	187.97	5.928
42-43	12.57	24.10	104.91	5.40	16.47	4.48	9.40	1.68	2.55	1.58	17.25	0.55	3.80	4.36	3.50	212.60	6.705
43-44	6.73	19.91	48.15	6.70	11.80	1.31	4.93	0.99	1.06		8.16	0.30	1.35	2.28	1.93	115.61	3.646
44-45	7.15	7.09	45.95	2.00	9.07	1.56	5.64	0.71	0.82	1.66	6.82	0.52	1.41	1.89	1.99	94.28	2.973
45-46	8.46	15.01	62.96	3.90	10.66	3.10	9.82	1.68	2.32	0.95	13.82	0.26	3.36	3.32	2.78	142.38	4.490
46-47	11.49	17.28	53.41	5.70	16.60	3.98	14.29	2.38	3.66	0.70	17.27	0.35	3.17	3.54	2.65	156.46	4.934
47-48	19.27	44.09	185.25	12.10	31.28	8.60	8.08	1.82	3.71	2.33	21.74	1.22	4.87	6.75	5.09	356.20	11.233
48-49	8.83	10.15	49.19	5.90	11.54	1.79	7.86	1.70	2.25	0.59	12.09	0.35	2.91	2.97	2.47	120.59	3.803
49-50	6.02	10.66	24.40	4.50	7.93	1.47	4.38	0.75	0.82	0.91	4.86	0.31	0.47	1.86	1.52	70.86	2.234
50-51	11.60	28.61	106.33	9.50	17.09	5.14	14.02	1.32	2.40	2.01	13.55	0.55	3.13	2.49	2.44	220.17	6.943
51-52	10.45	20.74	74.26	7.90	13.82	2.66	10.51	1.51	2.17	1.09	13.32	0.37	2.74	2.58	2.19	166.31	5.245
52-53	10.39	11.80	85.70	3.90	14.95	2.88	6.88	1.11	1.97	1.64	10.88	0.74	2.71	3.01	2.81	161.36	5.089
53-54	4.98	13.59	40.18	5.30	8.55	1.09	2.26	1.00	1.65	0.30	7.20	0.21	1.47	2.44	1.87	92.08	2.904
54-55	10.97	23.51	68.28	3.80	12.13	4.94	13.83	1.67	2.86	1.13	15.25	0.19	2.25	3.24	2.24	166.28	5.244
55-56	9.38	18.58	50.01	2.70	11.48	5.69	9.26	1.08	2.87	1.31	10.11	0.43	0.70	2.95	1.64	128.17	4.042
56-57	9.49	15.22	38.29	6.10	13.50	2.88	8.29	1.43	2.21	0.69	9.51	0.34	1.00	2.94	1.89	113.77	3.588
57-58	9.18	11.86	50.11	5.70	10.94	2.69	3.96	1.05	2.25	0.73	8.15	0.40	1.00	2.63	1.77	112.42	3.545
58-59	7.12	12.38	39.10	1.10	9.84	2.58	7.90	0.97	1.60	0.52	10.64	0.24	1.22	3.19	1.65	100.06	3.156
59-60	6.09	11.49	48.27	0.60	7.36	3.60	4.35	0.84	1.30	0.68	6.56	0.36	1.10	3.75	2.15	98.49	3.106
60-61	7.72	24.53	57.25	8.70	12.60	2.27	5.26	1.17	1.27	0.66	7.15	0.32	1.40	2.79	2.00	135.10	4.260
61-62	9.86	35.44	73.00	13.70	17.51	1.50	6.86	1.61	1.40	0.73	10.38	0.25	2.21	2.57	2.22	179.24	5.653
62-63	6.39	11.63	37.68	6.20	10.40	0.74	2.49	0.81	1.14	0.45	6.16	0.23	0.97	2.07	1.41	88.77	2.799
63-64	9.22	25.67	79.12	6.70	15.99	2.50	9.04	1.15	0.88	1.30	9.12	0.43	2.18	3.13	3.27	169.69	5.351
64-65	6.68	15.80	41.54	4.80	10.01	1.10	3.85	1.34	1.43	0.63	13.59	0.26	1.09	2.31	1.75	106.17	3.348
65-66	7.36	25.81	61.69	5.70	11.85	4.47	9.20	0.48	1.34	1.14	7.31	0.25	1.24	2.54	1.34	141.70	4.469
66-67	18.91	45.29	138.68	15.60	27.98	8.37	19.58	2.55	4.61	1.53	27.68	0.71	5.05	4.11	2.37	323.01	10.187
67-68	6.69	11.26	30.96	6.20	9.04	1.24	6.31	1.05	1.89	0.83	6.34	0.12	0.72	1.37	1.23	85.23	2.688
68-69	6.78	13.23	34.36	3.63	10.80	2.90	9.13	1.35	2.16	0.74	9.67	0.20	0.72	1.64	1.08	98.37	3.102
69-70	5.27	12.31	28.88	3.47	6.86	1.35	3.83	0.75	1.35	0.45	9.85	0.25	0.61	1.74	1.48	78.43	2.473
70-71	13.54	29.72	94.59	10.62	19.78	6.66	12.15	1.79	3.85	0.74	13.50	0.38	2.29	4.74	2.81	217.15	6.848
71-72	16.91	27.30	66.42	12.98	22.71	6.45	21.76	3.69	6.22	1.26	22.83	0.39	2.90	3.92	3.28	219.00	6.906
72-73	14.11	21.62	126.98	9.23	18.06	4.89	16.67	2.26	4.00	1.12	23.47	0.61	8.36	3.41	2.68	257.47	8.120
73-74	12.60	21.20	78.84	10.01	16.66	4.26	13.41	1.59	2.60	1.06	14.43	0.46	2.35	2.70	2.71	184.88	5.830
74-75	9.25	9.38	34.94	5.27	9.57	2.12	8.41	1.59	2.67	0.60	11.16	0.26	1.30	2.86	1.88	101.25	3.193
75-76	8.48	7.96	36.96	5.93	11.81	3.53	7.22	1.46	2.21	0.51	6.04	0.40	2.47	3.24	2.10	100.32	3.164
76-77	5.80	16.35	72.64	9.85	8.97	1.55	3.75	1.04	1.72	0.61	5.64	0.34	0.98	2.31	1.51	133.05	4.196
77-78	1.91	2.41	7.88	2.48	1.72	0.72	0.89	0.40	2.49	0.19	1.36	0.07	0.26	1.21	0.83	24.82	0.783
78-79	1.18	4.47	3.94	0.34	0.76	0.66	1.06	0.31	0.10	0.31	1.90	0.04	0.06	1.20	0.63	16.95	0.535
79-80	1.15	4.56	2.77	0.11	0.80	0.70	0.63	0.18	0.80	0.17	0.49	0.00	0.02	0.79	0.46	13.65	0.430
80-81	4.28	6.58	24.58	2.19	4.13	3.21	4.79	0.60	0.50	0.67	4.67	0.23	1.61	1.97	0.87	60.89	1.920
81-82	9.83	21.53	77.06	6.96	11.97	3.73	11.39	1.79	3.16	0.88	10.35	0.28	1.80	2.66	3.49	166.89	5.263
82-83	8.28	15.51	38.94	6.78	8.20	4.04	7.57	0.94	0.96	0.60	5.16	0.34	1.12	3.18	2.34	103.98	3.279
83-84	5.82	19.18	26.42	5.63	7.19	0.41	1.80	0.45	0.92	0.62	7.49	0.15	0.89	1.86	1.37	80.20	2.529
84-85	4.82	9.30	24.76	2.99	6.62	0.00	4.47	0.56	0.42	0.69	5.25	0.24	0.87	1.99	1.07	64.04	2.019
85-86	8.43	14.83	37.40	4.89	16.00	1.61	5.07	0.97	1.41	0.63	7.99	0.88	0.98	1.92	1.55	104.55	3.297
86-87	2.67	3.14	2.35	0.90	1.71	0.45	1.80	0.38	1.09	0.61	2.59	0.06	0.24	0.81	0.68	19.48	0.614
87-88	4.98	2.34	0.32	1.09	2.60	0.58	4.63	0.65	0.52	0.43	2.50	0.30	0.01	0.85	0.30	22.09	0.697
88-89	6.65	5.48	22.56	1.07	4.87	0.91	5.60	0.62	0.27	0.72	5.89	0.17	0.33	1.72	0.84	57.68	1.819
89-90	4.53	8.16	16.53	0.81	3.47	0.37	5.15	0.43	0.12	0.59	4.62	0.14	0.41	1.62	0.65	47.61	1.501
90-91	4.01	8.25	36.71	1.03	3.90	1.02	2.17	0.31	0.16	0.46	5.96	0.07	0.07	1.28	0.43	65.82	2.076
91-92	5.21	12.94	6.98	1.69	6.00	1.11	5.03	0.58	0.09	0.57	3.84	0.13	0.12	1.15	0.40	45.83	1.445
92-93	2.76	5.06	3.28	0.56	1.73	0.46	1.37	0.33	0.32	0.25	1.83	0.02	0.05	0.91	0.29	19.22	0.606
93-94	3.73	7.03	5.21	0.42	3.74	0.27	1.78	0.58	0.00	0.34	3.61	0.08	0.12	0.98	0.37	28.26	0.891
94-95	4.68	16.21	48.00	7.91	7.29	0.17	4.56	0.59	0.14	0.38	5.66	0.08	0.56	1.32	0.50	98.06	3.092
95-96	6.38	9.09	24.07	3.35	5.84	0.94	5.18	0.54	0.37	0.53	3.32	0.05	0.38	1.45	0.37	61.86	1.951
96-97	5.06	9.35	17.68	2.38	2.15	1.54	3.56	0.56	0.01	0.44	2.88	0.08	0.37	0.96	0.28	47.32	1.492
97-98	9.66	23.30	64.74	11.57	11.90	2.44	10.57	1.35	2.16	0.84	10.74	0.18	2.26	1.99	1.64	155.34	4.899
98-99	7.74	12.70	34.05	7.83	8.53	2.48	6.75	0.78	1.50	0.68	5.12	0.25	0.87	1.88	1.08	92.23	2.908
99-1400	5.33	4.94	5.52	2.96	10.37	0.21	2.49	0.39	0.00	0.63	1.93	0.50	0.00	1.51	0.94	37.71	1.189
1400-1401	2.71	9.76	9.03	5.53	3.84	0.50	2.28	0.18	0.00	0.37	0.00	0.08	0.00	0.97	0.48	35.73	1.127

جدول ۳– دبی پیک لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری منتهی به دریاچه ارومیه برحسب m^3/s

سال آبی	بارانلوز چای	سمیمه رود	زرینه رورد	میاندجای	گلدره‌ای	شهر چای	نازلو چای	روضه چای	زولا چای	سنیخ چای	آجی چای	ماه یری	قلعه چای	مرزق چای	لیلان چای
	پل میاندوآب	پل میاندوآب	نظام آباد	گرد یعقوب	پل بهرامو	کشتیبان	آبجالوسفلی	پل ازبک	یالقوزآغاج	پل سنیخ	آخولا	خرمادره	شیشوان	قشلاق امیر	شیرین کند
45	91	150	126.59	40.27	62.4	18.3	46.6	37.32	32.11	61.07	101.57	4.82	7.8	26.6	5.44
46	77	90	677.48	74.93	85.75	38.5	66	14.17	52.84	6.48	78.19	20.99	17.45	48.82	4.94
47	82	116	105.87	139.38	114	34.2	102	27.43	29.84	8.28	126.67	20.89	73.76	27.97	116.79
48	165	337	528.35	144.69	141	88.8	90	42.67	15.36	49.2	140.6	17.32	63.34	72.37	105.98
49	65.3	107.6	681.73	83.64	106	41.7	79	4.67	4.91	2.4	93.78	9.31	97.79	63.44	48.05
50	36.8	202.3	436.07	28.99	45.2	16.1	30	22.79	7.31	58.8	15.29	26.51	36.1	19.64	9.25
51	103.8	375	642.87	96.25	131.5	100.8	90.1	33.08	11	189	163.98	1.4	86.86	35.05	66.34
52	49.9	133	353.42	76.08	87.9	25.55	93.68	21.59	25	31.4	181.57	18.66	87.38	50.64	45.91
53	62.2	195.6	736.9	131.25	139.5	26.3	62.2	14	36.38	85.3	102.28	30	63.85	39.76	94.5
54	32.36	106.3	714.76	95.14	62.88	71	25.65	75.69	47.5	6.432	69.42	19.07	34.66	40.8	27.12
55	313.5	476	313.47	111.93	138	132.6	174	52.27	26.6	35.83	140.67	26.22	100.9	66.7	43.23
56	108.1	93.57	125.86	71.32	94	132.5	72.4	23.95	27.07	49.9	81.49	14.72	39.16	71.1	123
57	48	110.78	41.39	21.08	70.32	99.85	51.16	31.49	15.43	138	72.33	1.62	22.48	31.5	79.6
58	47.2	80.1	198.13	57.59	113.28	82.99	79.3	7.39	19.3	16.6	92.55	13.6	68.65	59.7	58.9
59	65.92	199.6	449.77	34.57	86.65	99.39	90.1	13.07	21.03	8	86.1	19.8	60.6	52.6	36.3
60	37.1	182.15	610.87	40.88	70.91	61.29	56.4	24.43	23.74	58	71.04	12.4	39.72	49.4	80
61	46.29	275	338.05	51.5	85.85	8.63	55.8	8.47	14	48.84	26.95	14.78	54.1	41.2	35.08
62	63.5	171.86	502.54	128.12	152.55	124.55	63.12	16.9	12.36	72.31	60.32	11.58	54.9	27.7	148
63	52.69	92.28	246.08	66.59	71.35	10.97	80	5.95	44.7	9	71.04	10.4	68.4	36	12.6
64	62.41	401	74.05	40.48	85.76	55.57	90.7	21.96	6.14	16.66	43.01	9.5	59.5	33.08	110
65	59.71	200.2	486.18	67.02	92.58	34.62	53.84	33.8	20.9	5.5	114	8.24	28.7	28.9	33.3
66	75.06	170	493	71.76	118.4	45.93	65.82	10	12.12	84.67	71.46	5.9	95.2	32.4	31.5
67	144.68	364.93	886.25	126.88	137.34	19.84	112.54	25.75	33.24	58	170.4	79	119	37.2	5
68	53.83	167.4	114.6	36.55	76.4	30.37	36.32	23.26	15.7	52.5	33.6	2.15	8.7	12.1	27.6
69	61.8	144	210	94.5	94.47	5.12	86.98	13.36	49.51	40	180	2.5	58.9	25	23.4
70	48.62	249.43	339	93.6	67.65	98.08	60.14	24.58	26.1	5.66	46.22	9.1	67.5	23.2	56.5
71	265.8	400	893.53	173.81	142.38	46.88	128.8	20.5	49.93	41.2	183.83	15.6	118	35.3	79
72	336.24	250	410	198.2	213.8	13.64	161.8	46	67.6	25.5	190	15.91	88	141	105
73	213.91	247.5	550.5	92.87	147.3	35.45	210.15	33.98	43.2	34.3	210	9.8	113	40.3	33.5
74	160.93	295	510	141.6	141.88	9.16	102.72	18.6	29.08	16	72.6	12.5	67.52	35	81.72
75	155.81	260	690	143.88	96.4	101.49	128.54	16.02	49.04	134.7	216	4.56	64.5	78.4	70.8
76	117.4	114.45	360.33	75.32	113.4	41.32	87.88	13.84	33.72	49.3	122	13.6	76.1	31.7	13
77	54.4	310	598	176	120	33	32.6	6	35.5	75	56.8	3.43	73	31.7	27.56
78	20.7	44.75	59.42	16.7	44.8	18.91	86.3	5.92	57.1	25.5	169	42.62	116.18	50	13.51
79	17.16	84.6	68.52	11.9	25.8	23.76	29	1.24	33.28	47.1	107.3	1.67	10.25	14.2	10.73
80	21.78	73.93	20.24	6	25.6	41.48	19.9	4.88	17.2	8.5	7.75	10	3.92	10	2.59
81	48.97	251	273	36	85.2	77.87	82.5	11	17.46	32	113	19.64	48.35	25.32	29.68
82	119.76	246.6	1193.76	91.2	174	12.94	111.96	14.88	38.28	9.348	157.2	8.772	33.96	29.796	72
83	114.72	322.8	496.8	97.56	151.2	28.68	78	12.12	25.68	9.66	67.56	39.17	63.06	73.88	26.64
84	73.44	385.2	225.6	79.08	72.36	34.32	44.64	13.2	14.76	7.308	300	20.51	54.41	81.1	41.53
85	76.05	286	167	53.566	94.044	14	78.34	20.23	74	26.6	45.9	11.3	53.8	84.5	10
86	89.24	213.23	610	84.92	107.6	61.8	45	15	13.51	55	70.3	50.14	90.76	25.6	14.65
87	17.01	108.47	10.46	3.1	14	26.93	42.25	58.3	19.54	37.6	39.6	8	16.4	4.86	13.01
88	308.4	180	36.62	3.3	20.5	59.82	57.77	72.11	21.1	84.76	48.124	14.2	4.26	15.1	12.39
89	58	111.61	430.22	5.8	58	66.305	57.57	8.4	8.2	23.3	110	4.4	21.1	40.7	12.64
90	51.9	252	380	9	46	25.5	138	18	7.18	18.5	38.7	13.54	22.8	109.5	20
91	36	96.96	661.42	9.6	53.7	34.65	36.5	10.7	3.6	41.6	79.41	3.1	19.3	22.3	5.7
92	6.89	253.5	100.73	10.3	57.6	84.656	76.332	7.1	4.8	3.681	19.583	6	13.1	11.45	17.3
93	23.8	128	21.5	12	45.9	11	19.3	9.03	2.45	2.24	19.82	10	0.77	5	39.33
94	33.7	13.6	48.9	1.2	33	33.7	39.4	4	34.44	34.439	23.94	4.34	33.87	20.53	14.78
95	39.5	196	807	94.5	71.1	11.74	59.2	5.14	18.33	18.33	75.8	22.5	8.55	14.33	22.5
96	252	258	286	39.8	150	11.8	194	34.2	10.3	67.2	70.46	17.7	124.1	116	46.2
97	47.23	311	128.2	20.2	50	14.88	41.45	16.71	9.3	12.879	22.663	1.26	7.7	72.8	12.6

* مقادیر ارائه‌شده به رنگ قرمز در سلول‌های زرد از روش همبستگی بر اساس مقادیر دبی حداکثر سالانه سیلاب برآورد شده است.

به‌منظور بررسی تواتر آماری دبی‌ها و محاسبه دوره‌های برگشت، تجزیه‌وتحلیل جامع فراوانی برای دبی‌های کلیه ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی، برازش توزیع‌های آماری به سری‌های مذکور صورت گرفت .در این تحلیل از توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون و گامبل برای تعیین مقادیر دبی در دوره برگشت‌های مختلف استفاده شده است. احتمال تجربی بکار رفته در این تحلیل‌ها رابطه ویبول به‌صورت $T = (n+1)/m$ بوده است. در این طرح بهترین توزیع بر اساس روش مجموع مربعات باقی‌مانده (R.S.S) به شرح رابطه ۱ مشخص و انتخاب گردیده است :

$$R.S.S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - E_i)^2}{n-m}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

که در آن: Oi = مقدار مشاهده‌شده متغیر X Ei = مقدار محاسبه‌شده متغیر X n = تعداد نمونه m = تعداد پارامتر توزیع که در توزیع های نرمال، لوگ نرمال و گامبل برابر ۲ بوده و برای توزیع های پیرسون و لوگ پیرسون برابر ۳ است (Hessari و Zeinalzadeh، ۲۰۲۲). برای تعیین دوره برگشت حجم ورودی رواناب‌های سطحی به دریاچه در دوره قبل و بعد افت سطح آب (خشک شدن) دریاچه از نرم‌افزار خانگی Distribution_Hessari جهت بررسی توزیع برتر استفاده گردیده و تحلیل فراوانی در هر مورد نیز بررسی‌شده است.

بررسی دبی‌های لحظه‌ای و تولید سیلاب حوضه : در جدول ۳، دبی پیک سیلاب لحظه‌ای ایستگاه‌های منتهی به دریاچه برحسب مترمکعب بر ثانیه در طی سالهای مختلف آورده شده است . در تکمیل آماری نواقص دبی‌های سیلابی، از روش همبستگی بین سیلاب‌های متناظر مابین ایستگاه‌ها و همچنین دبی حداکثر ثبت‌شده همان ایستگاه، استفاده‌شد. نتایج ماتریس همبستگی در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- ماتریس همبستگی تکمیل داده‌های آماری دبی‌های پیک سیلاب(برگرفته از نرم‌افزارSPSS)

		babarud	polmiandoab	nezamabad	gerdyagob	polbahramlo	kashtiban	abajalo	polozbak	yalgozaghaj	polsinikh	akhola	khormazard	shishvan	geshlagamir	shirinkand
babarud	Pearson Correlation	1.000														
	Sig. (2-tailed)															
polmiandoa	Pearson Correlation	.479**	1.000													
	Sig. (2-tailed)	0.000														
nezamaba	Pearson Correlation	0.223	.309*	1.000												
	Sig. (2-tailed)	0.109	0.025													
gerdyagob	Pearson Correlation	.487**	.450**	.597**	1.000											
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.001	0.000												
polbahraml	Pearson Correlation	.601**	.511**	.465**	.808**	1.000										
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000											
kashtiban	Pearson Correlation	-0.121	-0.143	0.009	-0.077	-0.019	1.000									
	Sig. (2-tailed)	0.387	0.307	0.951	0.581	0.895										
abajalo	Pearson Correlation	.684**	.488**	0.185	.378**	.624**	-0.115	1.000								
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.184	0.005	0.000	0.412									
polozbak	Pearson Correlation	.443**	0.170	-0.024	0.108	0.059	-0.019	0.232	1.000							
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.225	0.865	0.443	0.674	0.892	0.094								
yalgozagha	Pearson Correlation	0.248	0.021	0.148	.419**	0.213	-0.235	0.232	0.131	1.000						
	Sig. (2-tailed)	0.073	0.880	0.289	0.002	0.125	0.091	0.094	0.349							
polsinikh	Pearson Correlation	0.175	0.122	0.257	0.213	0.179	0.268	-0.014	0.240	-0.004	1.000					
	Sig. (2-tailed)	0.210	0.384	0.063	0.126	0.200	0.052	0.918	0.083	0.976						
akhola	Pearson Correlation	.401**	0.102	.279*	.506**	.461**	-0.050	.588**	0.123	.433**	0.192	1.000				
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.468	0.043	0.000	0.001	0.721	0.000	0.379	0.001	0.167					
khormazar	Pearson Correlation	0.190	0.225	0.232	0.242	0.252	-0.052	.309*	0.156	0.224	-0.025	0.215	1.000			
	Sig. (2-tailed)	0.173	0.105	0.095	0.080	0.069	0.712	0.024	0.264	0.107	0.857	0.123				
shishvan	Pearson Correlation	.462**	.382**	.367**	.578**	.711**	-0.090	.644**	0.055	0.187	0.112	.551**	.499**	1.000		
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.005	0.007	0.000	0.000	0.523	0.000	0.697	0.181	0.425	0.000	0.000			
geshlagami	Pearson Correlation	.477**	.283*	0.139	.281*	.496**	0.002	.583**	0.048	0.145	-0.019	0.212	0.180	.375**	1.000	
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.040	0.320	0.041	0.000	0.989	0.000	0.732	0.302	0.890	0.127	0.198	0.006		
shirinkand	Pearson Correlation	0.258	0.193	0.142	.512**	.531**	.384**	0.248	0.090	-0.093	0.205	0.232	-0.087	0.249	0.209	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.062	0.167	0.310	0.000	0.000	0.005	0.073	0.522	0.509	0.142	0.094	0.536	0.072	0.134	

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

نتایج و بحث

نتایج خلاصه‌سازی داده‌های اندازه‌گیری و ثبت‌شده دبی‌های قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه در جدول ۵ ارائه‌شده است که مشتمل بر متوسط دبی ایستگاه‌های منتخب و پارامترهای آماری شامل آستانه ترسالی(میانگین + انحراف معیار) و خشک‌سالی(میانگین – انحراف معیار)، حدود بالا و پائین ۹۵ ٪ انحراف معیار و ضریب تغییرات هست(روابط ۲ و۳). حدود ۹۵٪ ± بدین مفهوم است که اگر یک نمونه دیگر با همان حجم از این ایستگاه‌ها، انتخاب و بررسی گردد از هر ۱۰۰ نمونه، ۹۵ نمونه در داخل این محدوده قرار خواهد گرفت. نسبت مقدار انحراف معیار به جذر حجم نمونه، به‌عنوان خطای معیار میانگین[8]شناخته می‌شود:

$$X_{\pm\alpha/2} = \bar{x} \pm t_{\alpha/2}\frac{Sd}{\sqrt{n}} \quad (۲)$$

$$X_{\pm 95} = \bar{x} \pm 1.96\frac{Sd}{\sqrt{n}} \quad (۳)$$

که در آن α سطح اطمینان دو دنباله توزیع t، sd: انحراف معیار، n : حجم نمونه، x̄ میانگین سری آماری و ۹۵± حد اطمینان بالا و پائین در سطح ۹۵٪ است. ضریب تغییرات نشانگر نظم در رخداد واقعه بوده و از جهت مقایسه، قابل‌ذکر است که این ضریب در مناطق جنوبی دریاچه خزر که منظم‌ترین بارندگی را در ایران دارا ست، حدود ۰/۱۸ و در مناطق کویری بیش از ۰/۸ هست(Hessari وZeinalzadeh ، ۲۰۲۲). همچنین برای محاسبه دبی‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف با توزیع لوگ نرمال به‌عنوان توزیع برتر و منتخب در سه دوره، کل داده‌ها، قبل و بعد افت سطح آب (خشک شدن) دریاچه ارومیه، از نرم‌افزار Distribution_Hessari در دوره‌های برگشت خشک سالی (دبی‌های حداقل)، دوره نرمال و دوره‌های ترسالی محاسبه‌شده‌اند که نتیجه در جدول ۶ ارائه‌شده است . با در نظر گرفتن مندرجات جداول ۵ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل توسعه اراضی زراعی، سد سازی و کاهش بارش (تغییر اقلیم) و اثر تجمعی آن‌ها که موجب کاهش پتانسیل آبخیزی در حوضه‌های رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه در سال‌های موردبررسی گردیده است که روند بده(آبدهی)آن‌ها کاهشی بوده است. کاهش بده رودخانه‌ها می‌تواند مربوط عوامل زیادی باشد. ضریب تغییرات ایستگاه‌ها عمدتاً افزایشی است که نشانگر تغییرات نامنظم بارش و به تابع آن رواناب است.

8- Standard error of mean

جدول ۵ – متوسط دبی ایستگاه‌های هیدرومتری منتهی به دریاچه ارومیه برحسب m^3/s

	سال آبی	بابارود	پل میاندوآب	نظام آباد	گرد یعقوب	پل بهراملو	کشتیبان	آبجارلوسفلی	پل ازبک	یالغوزآقاج	پل سنبخ	آخولا	خرمازد	شیشوان	قشلاق امیر	شیرین کند	متوسط دبی ورودی	حجم آب ورودی bm3
کل دوره	max	19.27	45.29	185.25	15.60	31.28	8.60	21.76	3.69	6.22	2.33	27.68	1.22	8.36	6.75	5.09	356.20	**11.23**
	Wet threshhold	11.21	24.01	81.52	8.60	16.02	4.41	11.09	1.68	2.82	1.21	14.13	0.50	2.95	3.43	2.66	181.10	**5.71**
	up95%	8.36	17.28	55.22	5.97	11.48	2.91	7.72	1.20	1.88	0.89	9.84	0.35	1.84	2.62	1.93	128.29	**4.05**
	mean	7.51	15.27	47.39	5.18	10.12	2.46	6.72	1.06	1.60	0.80	8.57	0.30	1.52	2.38	1.71	112.57	**3.55**
	sd	3.70	8.74	34.13	3.42	5.90	1.95	4.37	0.62	1.22	0.42	5.57	0.20	1.43	1.06	0.95	68.53	**2.16**
	low95%	6.67	13.25	39.50	4.40	8.76	2.01	5.71	0.91	1.31	0.70	7.28	0.25	1.18	2.13	1.49	96.74	**3.05**
	Drougth threshhold	3.81	6.53	13.25	1.77	4.23	0.52	2.35	0.43	0.38	0.38	3.00	0.10	0.09	1.32	0.76	44.05	**1.39**
	min	1.15	2.34	0.32	0.11	0.76	0.00	0.63	0.18	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.79	0.28	13.65	**0.43**
	cv	0.49	0.57	0.72	0.66	0.58	0.79	0.65	0.59	0.76	0.52	0.65	0.68	0.94	0.45	0.55	0.61	**0.61**
1328-1374	max	19.27	45.29	185.25	15.60	31.28	8.60	21.76	3.69	6.22	2.33	27.68	1.22	8.36	6.75	5.09	356.20	**11.23**
	Wet threshhold	12.44	27.29	93.00	9.29	18.07	5.15	12.47	1.89	3.18	1.40	16.09	0.55	3.21	3.82	2.93	204.92	**6.46**
	up95%	9.83	20.95	69.75	6.95	14.09	3.72	9.33	1.45	2.35	1.08	12.34	0.41	2.36	3.10	2.36	158.35	**4.99**
	mean	8.77	18.37	60.30	6.00	12.46	3.13	8.06	1.28	2.01	0.96	10.81	0.36	2.01	2.80	2.12	139.41	**4.40**
	sd	3.67	8.92	32.70	3.30	5.61	2.02	4.41	0.62	1.17	0.45	5.27	0.19	1.20	1.02	0.80	65.51	**2.07**
	low95%	7.70	16.31	52.75	5.24	11.17	2.67	7.04	1.13	1.74	0.85	9.59	0.31	1.73	2.57	1.94	124.28	**3.92**
	Drougth threshhold	5.09	9.45	27.60	2.70	6.86	1.11	3.65	0.66	0.84	0.51	5.54	0.16	0.81	1.79	1.32	73.91	**2.33**
	min	2.96	5.86	7.96	0.60	3.10	0.23	1.86	0.36	0.28	0.30	2.07	0.11	0.00	1.27	0.75	29.10	**0.92**
	cv	0.42	0.49	0.54	0.55	0.45	0.65	0.55	0.48	0.58	0.47	0.49	0.54	0.60	0.36	0.38	0.47	**0.47**
بعد 74 تا 1401	max	9.83	23.30	77.06	11.57	16.00	4.04	11.39	1.79	3.16	0.88	11.16	0.88	2.47	3.24	3.49	166.89	**5.26**
	Wet threshhold	7.91	15.78	47.05	6.98	10.16	2.51	7.30	1.11	1.84	0.71	7.70	0.39	1.38	2.37	1.78	109.53	**3.45**
	up95%	6.33	12.17	33.55	5.00	7.65	1.77	5.52	0.85	1.25	0.60	5.85	0.27	0.94	1.92	1.30	82.95	**2.62**
	mean	5.38	9.99	25.38	3.80	6.14	1.32	4.44	0.69	0.89	0.53	4.74	0.20	0.67	1.65	1.01	66.85	**2.11**
	sd	2.52	5.78	21.66	3.18	4.02	1.19	2.85	0.43	0.94	0.18	2.96	0.19	0.71	0.71	0.77	42.69	**1.35**
	low95%	4.43	7.81	17.21	2.60	4.62	0.88	3.37	0.53	0.54	0.46	3.62	0.13	0.40	1.38	0.72	50.74	**1.60**
	Drougth threshhold	2.86	4.21	3.72	0.62	2.12	0.14	1.59	0.26	-0.05	0.35	1.78	0.02	-0.04	0.94	0.24	24.16	**0.76**
	min	1.15	2.34	0.32	0.11	0.76	0.00	0.63	0.18	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.79	0.28	13.65	**0.43**
	cv	0.47	0.58	0.85	0.84	0.66	0.90	0.64	0.62	1.06	0.34	0.62	0.92	1.06	0.43	0.76	0.64	**0.64**

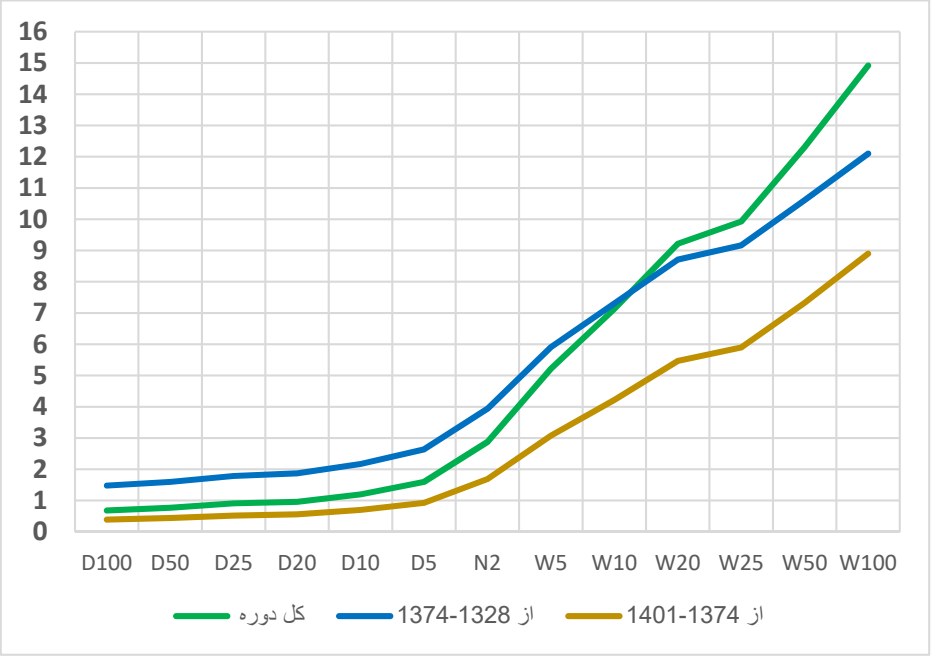
نمودار ارائه شده در شکل ۴ به‌و ضوح ن شان می‌دهد که دبی‌های زیاد با دوره بازگ شت ۱۰۰ سال طی سال‌های موردبررسی به توان آبخیزی با دوره بازگشت حدود ۱۵ تا ۲۰ سال، در قبل دوره خشک شدن دریاچه رسیده است . این موضوع به معنی توسعه ناپایدار، سدسازی‌های بی‌رویه و مصرف بی‌رویه آب برای آبیاری ا ست که باعث کاهش اثربخ شی در محیط‌زیست و آب ورودی به دریاچه ارومیه شده است . همچنین اختلاف دو نمودار قبل از سال ۱۳۷۴، نشان‌دهنده‌ی این است که کاهش دبی‌های پایه رودخانه‌ها که قبلاً بیشتر بوده توأم با بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی(به‌ویژه در مناطق واقع در پیرامون دریاچه) تغذیه‌ی طبیعی آبخوان‌ها نیز کاهش‌یافته است. افزون بر این اگرچه دبی‌های مشاهداتی رودخانه‌ها در پایان دوره یا مقطع زمانی موردبررسی نیز در محدوده‌ی دبی‌های با دوره برگشت ۱۰۰ طی سال‌های خشک سالی بوده‌اند اما، برداشت آب در مناطق بالا ست حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه نشانگر اثر تجمعی برداشت بی‌رویه از رواناب‌های‌سطحی و زیرزمینی و مشکلات مدیریتی منابع آب نیز هست.

جدول ۶- حجم ورودی آب به دریاچه (برحسب میلیارد مترمکعب) و متوسط دبی ایستگاه‌های هیدرومتری منتهی به دریاچه ارومیه برحسب m^3/s در دوره‌های برگشت مختلف ترسالی و خشک‌سالی

			Wet					Normal	Dry				
			100	50	20	10	5	2	5	10	20	25	50	100
کل دوره	بابارود	بارانذوز چای	23.71	20.41	16.3	13.34	10.47	6.59	4.18	3.33	2.81	2.68	2.36	2.15
	پل میاندوآب	سممینه رود	54.26	45.86	35.62	28.46	21.69	12.9	7.73	5.99	4.94	4.69	4.06	3.66
	نظام آباد	زرینه رود	407.21	303.09	194.61	131.26	81.47	32.74	13.34	8.53	6.09	5.55	4.31	3.6
	گرد یعقوب	مهابادچای	34.38	26.56	18.03	12.78	8.42	3.8	1.73	1.17	0.87	0.8	0.65	0.55
	پل بهراملو	گدارچای	46.15	37.69	27.81	21.23	15.3	8.19	4.42	3.26	2.58	2.42	2.04	1.8
	کشتیبان	شهر چای	16.43	12.59	8.44	5.92	3.85	1.69	0.75	0.5	0.37	0.34	0.27	0.23
	آباجالوسفلی	نازلو چای	29.56	24.19	17.9	13.7	9.91	5.33	2.9	2.14	1.7	1.6	1.35	1.19
	پل ازنک	روضه چای	3.75	3.17	2.46	1.96	1.5	0.89	0.53	0.41	0.34	0.32	0.28	0.25
	یالقوزآغاج	زولا چای	16.11	11.67	7.19	4.68	2.78	1.03	0.39	0.24	0.16	0.15	0.11	0.09
	پل سنیخ	سنیخ چای	2.32	2.02	1.64	1.36	1.09	0.71	0.46	0.37	0.32	0.31	0.27	0.25
	آخولا	آجی چای	50.49	39.77	30.5	20.22	13.75	6.58	3.19	2.22	1.69	1.57	1.28	1.1
	خرمازرد	ماه بری	1.34	1.1	0.81	0.62	0.45	0.24	0.13	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
	شیشوان	قلعه چای	18.81	13.11	7.62	4.71	2.63	0.86	0.29	0.17	0.11	0.1	0.07	0.06
	قشلاق امیر	مردق چای	6.25	5.52	4.8	3.87	3.17	2.15	1.47	1.22	1.06	1.02	0.91	0.85
	شیرین کند	لیلان چای	6.91	5.74	4.67	3.39	2.51	1.42	0.81	0.61	0.49	0.46	0.4	0.35
	متوسط دبی ورودی	ورودی به دریاچه	473.1	390.2	314.96	292.25	226.04	165.6	91.37	38	30.48	28.7	24.35	21.62
	حجم آب ورودی bm3	ورودی به دریاچه	**14.92**	**12.31**	**9.93**	**9.22**	**7.13**	**5.22**	**2.88**	**1.6**	**1.2**	**0.91**	**0.77**	**0.68**
از 1374-1328	بابارود	بارانذوز چای	21.51	19.17	16.87	16.13	13.83	11.48	8.05	5.67	4.76	4.17	3.65	3.4
	پل میاندوآب	سممینه رود	47.4	41.92	36.57	34.87	29.6	24.27	16.61	11.44	9.49	8.25	7.94	6.63
	نظام آباد	زرینه رود	193.72	166.12	140.02	131.91	107.47	83.84	52.17	32.69	25.91	21.73	20.71	16.52
	گرد یعقوب	مهابادچای	22.48	18.88	15.55	14.53	11.51	8.68	5.06	2.98	2.29	1.87	1.77	1.37
	پل بهراملو	گدارچای	32	28.34	24.76	23.62	20.09	16.51	11.35	7.84	6.53	5.68	5.47	4.57
	کشتیبان	شهر چای	13.66	11.2	8.98	8.31	6.38	4.62	2.5	1.37	1.01	0.81	0.76	0.57
	آباجالوسفلی	نازلو چای	27.78	23.57	19.63	18.42	14.79	11.34	6.83	4.14	3.23	2.68	2.54	2
	پل ازنک	روضه چای	3.49	3.06	2.65	2.52	2.11	1.71	1.14	0.77	0.63	0.54	0.52	0.43
	یالقوزآغاج	زولا چای	7.24	6.1	5.05	4.73	3.77	2.86	1.69	1.01	0.78	0.64	0.61	0.47
	پل سنیخ	سنیخ چای	2.44	2.16	1.89	1.8	1.54	1.26	0.87	0.6	0.5	0.44	0.42	0.35
	آخولا	آجی چای	32.61	28.22	24.04	22.73	18.75	14.85	9.51	6.13	4.93	4.18	3.99	3.53
	خرمازرد	ماه بری	0.94	0.83	0.72	0.69	0.58	0.47	0.32	0.22	0.18	0.15	0.15	0.12
	شیشوان	قلعه چای	9.99	8.02	6.28	5.77	4.3	3.02	1.53	0.79	0.56	0.44	0.41	0.3
	قشلاق امیر	مردق چای	5.81	5.3	4.79	4.62	4.08	3.52	2	1.74	1.57	1.52	1.41	1.33
	شیرین کند	لیلان چای	4.71	4.26	3.8	3.66	3.2	2.72	1.99	1.46	1.26	1.12	1	0.94
	متوسط دبی ورودی	ورودی به دریاچه	383.68	336.45	290.73	276.27	231.88	187.56	125.04	83.87	68.74	59.15	50.76	46.81
	حجم آب ورودی bm3	ورودی به دریاچه	**12.1**	**10.61**	**9.17**	**8.71**	**7.31**	**5.91**	**3.94**	**2.64**	**2.17**	**1.87**	**1.6**	**1.48**
1374-1401	بابارود	بارانذوز چای	18.2	15.53	13.02	12.24	9.91	7.66	4.7	2.9	2.28	1.9	1.81	1.58	1.43
	پل میاندوآب	سممینه رود	36.39	30.64	25.31	23.67	18.82	14.26	8.38	4.97	3.83	3.15	2.98	2.57	2.32
	نظام آباد	زرینه رود	297.28	209.19	141.53	123.47	77.28	43.81	14.81	5.09	2.99	2	1.79	1.33	1.07
	گرد یعقوب	مهابادچای	35.66	25.9	18.15	16.03	10.46	6.24	2.33	0.88	0.54	0.38	0.34	0.26	0.21
	پل بهراملو	گدارچای	31.83	25.44	19.83	18.17	13.48	9.38	4.7	2.38	1.69	1.31	1.22	1.01	0.88
	کشتیبان	شهر چای	8.81	6.72	4.97	4.47	3.12	2.01	0.87	0.38	0.25	0.19	0.17	0.14	0.11
	آباجالوسفلی	نازلو چای	20.54	16.69	13.26	12.23	9.28	6.64	3.5	1.86	1.36	1.08	1.01	0.84	0.74
	پل ازنک	روضه چای	2.33	1.98	1.65	1.55	1.25	0.96	0.58	0.35	0.28	0.23	0.22	0.19	0.17
	یالقوزآغاج	زولا چای	11.97	8.13	5.28	4.55	2.71	1.45	0.44	0.14	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
	پل سنیخ	سنیخ چای	1.3	1.16	1.02	0.98	0.84	0.7	0.49	0.35	0.29	0.26	0.23	0.25	0.21
	آخولا	آجی چای	35.7	27.22	20.13	18.12	12.61	8.14	3.52	1.54	1.02	0.75	0.69	0.55	0.46
	خرمازرد	ماه بری	1.09	0.86	0.66	0.61	0.44	0.3	0.15	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
	شیشوان	قلعه چای	9.89	6.63	4.24	3.63	2.13	1.12	0.32	0.1	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
	قشلاق امیر	مردق چای	4.05	3.61	3.18	3.04	2.6	2.16	1.51	1.07	0.9	0.79	0.76	0.69	0.64
	شیرین کند	لیلان چای	4.09	3.37	2.73	2.53	1.96	1.44	0.79	0.44	0.33	0.27	0.25	0.21	0.19
	متوسط دبی ورودی	ورودی به دریاچه	282.27	232.32	187.08	173.45	133.78	97.67	53.54	29.62	22.05	17.65	16.61	14.06	12.47
	حجم آب ورودی bm3	ورودی به دریاچه	**8.9**	**7.33**	**5.9**	**5.47**	**4.22**	**3.08**	**1.69**	**0.93**	**0.7**	**0.56**	**0.52**	**0.44**	**0.39**

نتایج بررسی و تجزیه‌وتحلیل دبی‌های پیک لحظه‌ای سیلاب‌های و برازش دبی‌های پیک سیلاب لحظه‌ای در ایستگاه منتهی به دریاچه ارومیه مبتنی بر توزیع گامبل به‌عنوان توزیع غالب در جدول ۷ ارائه شده است. سیلاب رودخانه‌هایی با توسعه کشاورزی زیاد و سدهای بزرگ، کاهشی است ولی در رودخانه‌های بدون سد، ظرفیت سیلاب خیزی به‌طور چشمگیر و معنی‌داری کاهش نیافته است و این امید وجود دارد که با وقوع سیلاب‌های بزرگ و با دوره بازگشت بالا و باانرژی زیاد، بتوانند خودشان را به پیکره آبی دریاچه بر سانند. درنهایت یک بررسی درروی سدهای ساخته شده بر روی رودخانه‌های حوضه انجام گردید. سال ساخت و نام سدها در جدول ۸ نشان داده شده است. علاوه براین افزایش گستره اراضی کشاورزی به صورت زیاد در حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های و احداث سدهای بزرگ بر روی آن‌ها هرچند کاهش فراوانی وقوع و حجم سیلاب‌ها را در پی داشته ولی کاهش پتانسیل سیلاب

خیزی به‌طور چشمگیر و معنی‌داری در سایر رودخانه منتهی به دریاچه ارومیه مشاهده نشده است. در شکل ۵ حجم تجمعی سدها مبتنی برداده های جدول ۸ ترسیم شده و نشان داده شده است که روند سدسازی با تأمین آب مطمئن‌تر، منجر به توسعه اراضی و کاهش رواناب ورودی به دریاچه شده و همچنین با تبدیل دبی‌های سیلابی به آب تنظیمی قابل‌برداشت، اثر سویی به سیلاب ورودی به دریاچه گذاشته است . درهرحال نباید از اثرات مثبت سدسازی برای تأمین آب شرب و کنترل خشک‌سالی‌ها و کاهش ریسک خشک‌سالی‌های گسترده با شدت زیاد و مزمن بر منطقه چشم‌پوشی کرد. ایستگاه‌های بالادست سدها هم دچار کاهش رواناب بوده‌اند و قدرت تنظیمی سدها حداکثر تا ۲ میلیارد مترمکعب است و نباید سدها را تنها مشکل حوضه قلمداد بکنیم ولی مدیریت رهاسازی‌ها در فصول پر آب می‌تواند برای احیا کمک‌کننده باشد.



شکل ۴ – نمودار حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه برحسب میلیارد مترمکعب(کل دوره، تا ۱۳۷۴ و از ۱۳۷۴ به بعد) با دوره برگشت‌های مختلف (D100 :آبدهی با دوره بازگشت خشک‌سالی ۱۰۰ ساله و W100 : آبدهی با دوره بازگشت ترسالی ۱۰۰ ساله)

جدول (۷): سیل‌خیزی رودخانه‌های منتهی به دریاچه در دوره قبل و بعد از خشک شدن دریاچه ارومیه

بارورد	پل میاندوآب	نظام آباد	گرد یعقوب	پل بهراملو	کشتیبان	آبجالو سفلی	پل ازک	یالفورآغاج	پل سنیخ	آخولا	خرمادزد	شیشوان	قشلاق امیر	شیرین کند
کل دوره	Mean=	90.8	205.4	386.2	70.0	92.2	46.8	77.4	21.3	25.8	40.4	95.7	15.0	54.0	42.9	43.0
	SD=	79.1	105.1	275.1	50.7	43.1	34.9	42.1	16.4	16.8	37.3	61.6	13.7	34.8	28.4	36.2
	T(year)	دبی لحظه ای - متر مکعب بر ثانیه														
	2.33	90.9	205.5	386.6	70.1	92.3	46.8	77.5	21.3	25.8	40.4	95.8	15.0	54.0	42.9	43.0
	5	147.8	281.1	584.3	106.6	123.2	71.9	107.7	33.1	38.0	67.2	140.1	24.8	79.1	63.3	69.0
	10	194.1	342.6	745.4	136.2	148.5	92.3	132.4	42.7	47.8	89.0	176.1	32.8	99.4	80.0	90.2
	25	252.6	420.4	948.8	173.7	180.3	118.1	163.5	54.9	60.3	116.6	221.7	42.9	125.2	101.0	117.0
	50	296.0	478.1	1099.8	201.6	204.0	137.3	186.6	63.9	69.5	137.0	255.5	50.4	144.3	116.6	136.8
	100	339.0	535.3	1249.6	229.2	227.4	156.3	209.5	72.9	78.7	157.3	289.1	57.9	163.2	132.1	156.6
	200	382.0	592.4	1398.9	256.7	250.8	175.2	232.4	81.8	87.8	177.5	322.5	65.3	182.1	147.5	176.2
	500	438.6	667.7	1595.8	293.0	281.7	200.2	262.5	93.6	99.9	204.2	366.6	75.1	207.0	167.8	202.1
	1000	481.4	724.6	1744.7	320.4	305.0	219.1	285.3	102.4	109.0	224.3	399.9	82.5	225.9	183.2	221.7
از ۴۵ تا ۷۴	Mean=	99.0	210.0	423.7	85.9	104.7	55.2	83.3	25.2	27.3	44.8	104.1	15.6	63.3	43.8	56.8
	SD=	82.3	109.9	244.7	44.4	36.8	39.4	42.0	15.5	16.1	41.6	54.4	14.4	31.6	24.2	40.1
	T(year)	دبی لحظه ای - متر مکعب بر ثانیه														
	2.33	99.1	210.1	424.0	85.9	104.7	55.2	83.3	25.2	27.3	44.8	104.2	15.6	63.3	43.8	56.8
	5	158.2	289.1	599.9	117.8	131.2	83.5	113.5	36.3	38.8	74.8	143.3	25.9	86.0	61.2	85.6
	10	206.4	353.4	743.1	143.8	152.7	106.6	138.0	45.4	48.2	99.1	175.1	34.3	104.6	75.4	109.1
	25	267.3	434.6	924.0	176.7	179.9	135.8	169.1	56.8	60.1	129.9	215.4	45.0	128.0	93.3	138.7
	50	312.4	494.9	1058.3	201.1	200.1	157.4	192.1	65.3	68.9	152.8	245.3	52.9	145.3	106.6	160.7
	100	357.3	554.8	1191.5	225.3	220.2	178.9	215.0	73.8	77.7	175.5	274.9	60.7	162.6	119.8	182.6
	200	401.9	614.4	1324.3	249.4	240.1	200.3	237.7	82.2	86.4	198.0	304.5	68.5	179.7	133.0	204.3
	500	460.9	693.1	1499.4	281.2	266.5	228.5	267.8	93.2	97.9	227.9	343.5	78.8	202.4	150.3	233.0
	1000	505.4	752.5	1631.8	305.2	286.4	249.8	290.5	101.6	106.6	250.4	372.9	86.5	219.5	163.4	254.7
از ۷۴ تا ۹۷	Mean=	86.3	201.8	349.4	52.6	80.0	36.6	76.0	17.2	24.8	35.0	90.5	14.1	45.6	41.8	26.6
	SD=	78.6	99.5	303.6	51.7	47.2	25.2	49.8	16.7	18.0	30.5	72.1	12.8	37.8	32.6	21.4
	T(year)	دبی لحظه ای - متر مکعب بر ثانیه														
	2.33	86.5	201.9	349.8	52.7	80.0	36.6	76.0	17.2	24.9	35.0	90.6	14.1	45.7	41.8	26.6
	5	142.9	273.4	567.9	89.8	113.9	54.8	111.8	29.2	37.8	57.0	142.5	23.3	72.8	65.2	42.0
	10	189.0	331.7	745.6	120.1	141.6	69.6	140.9	39.0	48.3	74.9	184.7	30.8	94.9	84.3	54.5
	25	247.1	405.3	970.2	158.3	176.4	88.2	177.7	51.3	61.6	97.4	238.0	40.3	122.8	108.4	70.3
	50	290.2	459.9	1136.7	186.7	202.3	102.1	205.0	60.4	71.5	114.2	277.6	47.3	143.5	126.3	82.1
	100	333.0	514.0	1302.1	214.8	228.0	115.8	232.1	69.5	81.3	130.8	316.8	54.2	164.1	144.0	93.7
	200	375.7	568.0	1466.8	242.9	253.6	129.5	259.1	78.5	91.0	147.4	355.9	61.2	184.6	161.7	105.3
	500	432.0	639.3	1684.1	279.9	287.4	147.6	294.7	90.4	103.9	169.3	407.6	70.3	211.6	185.1	120.6
	1000	474.5	693.1	1848.4	307.9	312.9	161.3	321.7	99.5	113.6	185.8	446.6	77.3	232.1	202.7	132.2

نظر به این‌که در محا سبات مربوط به سیلاب و آبخیزی حو ضه‌های آبخیز رودخانه‌ها منتهی به دریاچه ارومیه، مناطق واقع‌بین آخرین ایستگاه‌های هیدرومتری تا دریاچه لحاظ نشده و این مناطق(بافر زون) دارای ضریب جریان حدود ۱۰٪ با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر در سال هستند (Hessari and Zeinalzadeh, 2022)،باید به اعداد جدول ۲و ۳ آبخیزی و سیلاب خیزی بافر زون اضافه گردد اگرچه در طی سال‌های اخیر متوسط سالانه بارش این مناطق به حدود ۲۰۰ میلی‌متر و ضریب جریان آن به حدود ۵ ٪ کاهش پیداکرده است.

بررسی انجام‌شده در زمینه تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه ارومیه توسط شمشکی و کرمی (۱۳۹۶)، مبین این ا ست در دوره پلیو ستو سن پایانی تراز آب دریاچه از ۱۲۹۷ متر از سطح دریا بی‌شتر بوده و آب دریاچه شـیرین بوده اسـت. در تراز بیش از ۱۲۸۶ متر از سـطح دریا، آب دریاچه ارومیه در رده آب‌های لب‌شـور تا شـیرین قرار داشـته اسـت. اما در تراز پایین‌تر از ۱۲۷۳ متر از سـطح دریا، دریاچه ارومیه به پلایا تبدیل شده است. در این بررسی مشخص شده که برای احیای دریاچه ارومیه لازم است

بیش از ۵/۹ میلیارد مترمکعب آب به آن وارد شـــود. این در حالی اســـت که این رقم یک بیش برآورد اســـت و امکان تولید این حجم از آب در حوضـــه دریاچه ارومیه وجود ندارد. اگرچه ســـتاد احیای این دریاچه، رقم ۳/۱میلیارد را پیشنهاد داده (JICA[9], 2020)ولی نتایج این تحقیق در جدول ۲ و ۳ نشان داد باز این رقم نیز یک بیش برآورد برای احیای دریاچه ارومیه بوده و امکان تحقق آن در شرایط کنونی مقدور نیســت . پناهی و همکاران(۱۳۹۵)، بر اســاس نتایج به‌دســت‌آمده در زمینه بررســی تغییر روش آبیاری کشاورزان در قالب ابزار سیاستی پرداخت بهای خدمات اکوسیستمی (PES[1]) به‌منظور احیای دریاچهٔ ارومیه با تبیین نقش این‌گونه ابزار سیاستی در تشویق کشاورزان به اصلاح سیستم آبیاری جهت کاهش فشار به منابع آب در حوضه آبخیز سیمینه‌رود، گزارش نموده‌اند که این طرح از مقبولیت بالایی برخوردار بوده و۹۱/۴۵ درصد از بهره‌برداران مایل به استفاده از روش آبیاری تحت‌فشار هستند. بر این اساس نتیجه‌گیری شده است که تعمیم برنامهٔ تغییر در سیستم آبیاری به تمام حوضه‌های آبخیز حوضه آبریز دریاچهٔ ارومیه کارایی بسیار زیادی دارد و می‌تواند میزان عرضهٔ آب موردنیاز برای اقدامات احیائی دریاچه را به مقدار شـایان توجهی افزایش دهد.اما باید توجه شـود که این کار به‌طور نقطه‌ای و پراکنده مؤثر نخواهد بود ولی در حد حوضه‌ای می‌تواند اثربخش باشد. احیای دریاچه ارومیه مستلزم درک عمیق جنبه‌های اقتصـــادی، فرهنگی و اجتماعی مؤثر بر تعامل مردم و منابع آبی اســـت. لازم اســـت داده‌های اجتماعی و هیدرولوژی، موانع اجتماعی و هیدرولوژیکی بالقوه گروه‌بندی و راهبردها برای بهبود حکمرانی آب منطقه شناسایی و عملیاتی گردد. درهر صورت، مفاهیم هیدرولوژی اجتماعی و مشارکت مردم می‌تواند در احیای دریاچه ارومیه بسیار کمک‌کننده باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

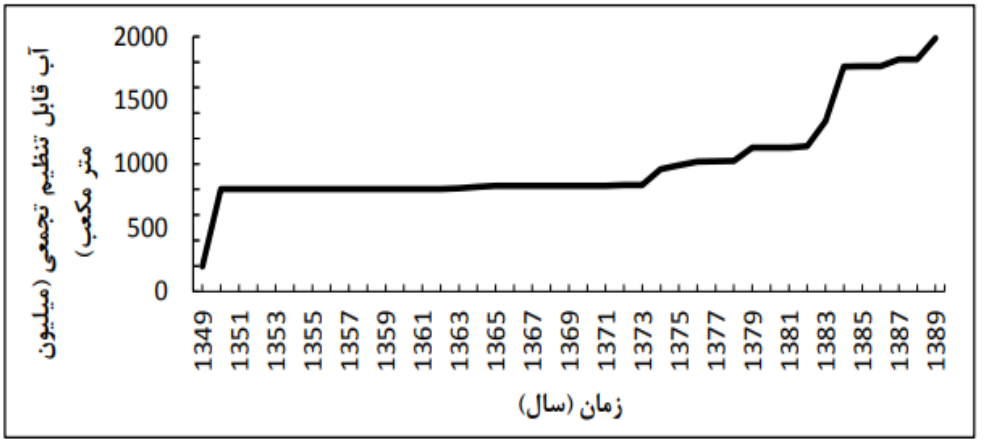
نتایج این تحقیق نشان داد که تولید آب در حوضه دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر بشدت کاهش‌یافته که حاصل بهره‌برداری بی‌رویه از توسعه اراضی، سد سازی‌ها(جدول ۸) و برداشت بی‌رویه از چاه‌های مجاز و غیرمجاز بوده و نیاز به تحقیقات دامنه‌دار برای احیا، حکمرانی آب و فرایندهای هیدرولوژیک و حفظ آب واقعی در دریاچه ارومیه است. متأسفانه آمارهیدروکلیمایی حوضه پراکنده و گاها دارای اشتباه بسیار فاحش هست که توسط گروه مشاوران همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) نیز مستند شده است(JICA , 2020) .مضافاً ضرورت دارد دستگاه‌های متولی نیز نسبت به کنترل دبی‌ها اهتمام ویژه‌ای داشته باشند. توسعه اراضی کشاورزی در انتهای دشت‌ها نیز باعث کاهش ضریب جریان و عدد منحنی CN شده است. بهرحال منطقه دچار خشک‌سالی مزمن شده و تصمیمات کلان با تدبیر، درایت و خرد

9 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
1 Payment for Ecosystem Services (PES)

جمعی با لحاظ شرایط بهینه به نفع معیشت مردم و پایداری محیط‌زیست منطقه باید اتخاذ گردد. این گروه برای این حوضه، پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه حوضه را پیشنهاد می‌کند. برای احیا دریاچه ارومیه ارائه برنامه احیا، نقشه راه جدید و مدون و برنامه واقع‌بینانه مبتنی بر پتانسیل آبی منطقه بسیار الزامی است .

جدول (۸): مشخصات سدهای موجود در کل حوضه

ردیف	نام سد	سال خاتمه	آب قابل تنظیم (میلیون مترمکعب)	حجم نرمال (میلیون مترمکعب)	استان	ردیف	نام سد	سال خاتمه	آب قابل تنظیم (میلیون مترمکعب)	حجم نرمال (میلیون مترمکعب)	استان
1	مهاباد	1349	197.8	197.8	آذر غربی	25	سفیدان عتیق	1376	0.45	0.45	آذر شرقی
2	شهید کاظمی بوکان	1350	605	650	آذر غربی	26	اردلان	1377	4.5	4.5	آذر شرقی
3	خرمالو	1358	0.32	0.33	آذربشرقی	27	گادوش آباد	1378	2.5	2.5	آذر شرقی
4	باروق هریس	1361	0.15	0.15	آذر شرقی	28	حسنلو	1379	94	94.4	آذر غربی
5	آمند۱	1362	0.25	0.25	آذر شرقی	29	ملک کیان	1379	10	9.9	آذر شرقی
6	قاضی کندی	1363	1.5	1.2	آذر شرقی	30	تاجیار سراب	1382	4.5	4	آذر شرقی
7	ملایعقوب	1363	4	3.5	آذر شرقی	31	قوشخانه	1382	0.14	0.14	آذر غربی
8	هفت چشمه آذرشهر	1363	0.3	0.25	آذر شرقی	32	کردکندی	1382	6.03	5.37	آذر شرقی
9	ینگجه۱ هریس	1363	1	1	آذر شرقی	33	شهرچای	1383	199	220.3	آذر غربی
10	آمند۲	1364	0.25	0.25	آذر شرقی	34	قوریچای میاندوآب	1383	0.8	0.4	آذر غربی
11	بافتان	1364	6.7	6	آذر شرقی	35	افزایش ارتفاع شهیدکاظمی	1384	425	232	آذر غربی
12	تیل	1364	0.7	0.72	آذر شرقی	36	قیصرق	1385	2.8	2.8	آذر شرقی
13	فاضلی گلی	1364	2.5	2	آذر شرقی	37	مردوق چای	1385	71.67	110.6	آذر شرقی
14	مقصودلو	1364	1.8	1.5	آذر شرقی	38	سیمینه رود	1387	266	364	آذر غربی
15	سوین	1365	0.9	0.8	آذر شرقی	39	قلعه چای	1387	55	40.3	آذر شرقی
16	واتق علیا	1365	2	1	آذر شرقی	40	ساروق	1388	51.8	40	آذر غربی
17	هاچه سو	1365	3.1	0.35	آذر غربی	41	کانسبی	1388	1.79	0.52	آذر غربی
18	ده گرجی	1367	0.45	0.14	آذر غربی	42	زولا	1389	132.5	85	آذر غربی
19	آمند تبریز	1372	4	2.4	آذر شرقی	43	سلماس(دریک)	1389	34.14	22.2	آذر غربی
20	ینگجه آذرشهر	1372	3	2.5	آذر شرقی	44	سنجاق	1389	1	0.6	آذر غربی
21	علویان	1374	123.4	60	آذر شرقی	45	چوغان	1390	3.2	3	آذر شرقی
22	نهند	1375	32	24	آذر شرقی	46	احمدآباد سفلی	1391	5.9	1.8	آذر غربی
23	اربطان	1376	22	27	آذر شرقی	47	ورگیل	1391	2.3	0.5	آذر غربی
24	پارام	1376	4	3.6	آذر شرقی	48	خراسانه بوکان	1392	2.5	1.6	آذر غربی



شکل ۵ : حجم تجمعی سدهای حوضه در طی زمان

تشکر و قدردانی

از ستاد احیاء دریاچه ارومیه، آقای مهندس ن صیری و خانم ایرانی که در تأمین ق سمتی از داده‌ها این بررسی همکاری نموده اند، قدردانی می‌شود.

منابع

- احمدیان، م. ع. و اصغری، س. ۱۳۹۲. عواقب زیست محیطی کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و راهکارهای نجات آن. جغرافیایی سرزمین، ۱۰ (۴۰): ۸۱-۹۶.
- اخوان، س. جودی حمزه‌آباد، آ. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی جریان ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از مدل SWAT. علوم آب و خاک، ۱۹ (۷۲): ۳۴-۲۳.
- بابایی، م. قادری، ر. بدراق نژاد، ا. آزادفلاح، ز. ۱۳۹۶. شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر خشک شدن آب دریاچه ارومیه براساس مدل دلفی. جغرافیای طبیعی، ۱۰(۳۵): ۱۱۴-۱۰۱
- پناهی، م. دانشی، ع. وفاخواه، م. ۱۳۹۵. تغییر روش آبیاری کشاورزان در قالب ابزار سیاستی پرداخت بهای خدمات اکوسیستمی (PES) به‌منظور احیای دریاچهٔ ارومیه. اکوهیدرولوژی،۳ (۲): ۲۶۶-۲۵۵.
- حصاری، ب. و زینالزاده، ک. ۱۳۹۸. نقش تغییرات آبدهی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه در افت سطح آب دریاچه، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره۵۰ شماره ۲ خرداد و تیر. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۰ (۲): ۴۳۷-۴۴۷.
- حصاری، ب. و زینالزاده، ک. ۱۳۹۹. بررسی اثرات فعالیت های انسانی بر روند منابع آب دشت ارومیه. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۲): ۴۲۷-۴۱۵.

- رضایی،ح. خوشبخت تیزخراب و م. ۱۳۹۸. پیش‌بینی بارندگی توسط مدل تلفیقی ARMA-ARCH برای غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۴۹,۲(۹۵): ۹۴-۸۵.
- زینالی، ب. صفریان زنگیر، و. ۱۳۹۶. پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی. مخاطرات محیط طبیعی، ۶ (۱۲): ۶۲-۳۷ .
- شریعت مداری، آ. عباسپور, مجید, عابدی, زهرا, وفائی نژاد, علیرضا. ۱۳۹۹. بررسی راهکار های مدیریتی دریاچه ارومیه بر مبنای ارزش گذاری اقتصادی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۹): ۲۱۵-۲۰۷.
- شمشکی، ا. کرمی، غ. ح. ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی جریان آب زیرزمینی در ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه. هیدروژئولوژی، ۴ (۱): ۴۱-۲۶
- شمشکی، ا، کرمی، غ. ح. ۱۳۹۶. مقایسه روند تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه ارومیه با تأکید بر اطلاعات کرانه جنوب شرقی آن: فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۶(۱۰۳):۱۰۶-۱۰۲.
- عرفانیان، م. بابایی حصار، س. ۱۳۹۵. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع و بارندگی در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش آب ایران، ۱(۱۰): ۱۴۳-۱۵.
- کهنه پوشی، س. ه. و شایان، ح. و برادران، س. ۱۳۹۲. تحلیل و بررسی وضعیت، علل و پیامدهای تخریب زیست محیطی دریاچه ارومیه. دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی،تهران.
- گلزاری پرتو، ل. ۱۳۹۴. شبیه سازی اثر خشک شدن دریاچه ارومیه بر بارش منطقه شمال غرب ایران، *غرافیا و مخاطرات محیطی،۴ (۲): ۱۳۷-۱۴.*
- گلزاری پرتو، ل. ۱۳۹۴. شبیه سازی اثر خشک شدن دریاچه ارومیه بر بارش منطقه شمال غرب ایران جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴(۲): ۱۴۷-۱۳۷
- ناظری تهرودی, م, احمدی, ف, خلیلی, کیوان. ۱۳۹۶. بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه. آب و خاک، ۳۱ (۲): ۶۴۴-۶۵۹.
- ناظری تهرودی، م. رمضانی، ی. ۱۳۹۷. تحلیل فراوانی خشکی رودخانه با استفاده از توزیع‌های آماری رایج و پیشرفته، مطالعه موردی: رودخانه‌های غرب دریاچه ارومی، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰ (۳): ۳۰۴-۳۱۷.
- یاسی، م. ۱۳۹۶. مدیریت رودخانه ها و سدها در تامین و هدایت آب به دریاچه ارومیه. پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۱): ۵۹-۷۶.
- Esmaeilnezhad, R., Zeinalzadeh, K., Nazarnejad, H. and Mohammadpour, M. 2021. Assessment of agricultural development preventive policies for restoration of Urmia Lake in Barandoz Basin, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 24(3): 1103-1110.

- Hamidi-Razi, H., Mazaheri, M., Carvajalino-Fernández, M., & Vali-Samani, J. 2019. Investigating the restoration of Lake Urmia using a numerical modelling approach. Journal of Great Lakes Research, 45(1): 87-97.
- Hessari, B., & Zeinalzadeh, K. 2022. Variations in temporal occurrence of discharge in Urmia Lake Basin. Environmental Resources Research, 10(1): 23-40.
- Jahangir,M. Asghari kaleshani,F. Ebrahimpour,R. 2023. Assessment of flooding in future periods using the flow of the watershed (case study: West and south of the Urmia watershed).
- JICA, 2020 , Data Collection Survey on Hydrological Cycle of Urmia Lake Basin in the Islamic republic of IRAN, ULRP. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12361952_01.pdf
- Naboureh, A., Li, A., Ebrahimy, H., Bian, J., Azadbakht, M., Amani, M., ... & Nan, X. 2021. Assessing the effects of irrigated agricultural expansions on Lake Urmia using multi-decadal Landsat imagery and a sample migration technique within Google Earth Engine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 105, 102607.
- Nazeri Tahroudi, M., Pourreza-Bilondi, M., & Ramezani, Y. 2019. Toward coupling hydrological and meteorological drought characteristics in Lake Urmia Basin, Iran. Theoretical and Applied Climatology, 138, 1511-1523.
- Nikraftar, Z., Parizi, E., Hosseini, S. M., & Ataie-Ashtiani, B. 2021. Lake Urmia restoration success story: A natural trend or a planned remedy?. Journal of Great Lakes Research, 47(4): 955-969.
- Parsinejad, M., Rosenberg, D. E., Ghale, Y. A. G., Khazaei, B., Null, S. E., Raja, O., ... & Wurtsbaugh, W. A. 2022. 40-years of Lake Urmia restoration research: Review, synthesis and next steps. Science of The Total Environment, 155055.
- Shams Ghahfarokhi, M. and Moradian, S. 2023. Investigating the causes of Lake Urmia shrinkage: climate change or anthropogenic factors?. Journal of Arid Land, 15(4): 424-438.
- Sima, S., Rosenberg, D.E., Wurtsbaugh, W.A., Null, S.E. and Kettenring, K.M. 2021. Managing Lake Urmia, Iran for diverse restoration objectives: Moving beyond a uniform target lake level. Journal of Hydrology: Regional Studies, 35, p.100812.
- Soudi, M., Ahmadi, H., Yasi, M. and Hamidi, S.A. 2017. Sustainable restoration of the Urmia Lake: History, threats, opportunities and challenges. European Water, 60(1): 341-347.

ارزیابی کیفیت داده‌های استحصال شده در واحدهای پایش اقلیمی، فرسایش، خاک، پوشش گیاهی در آبخیزهای معرف و زوجی کشور

یحیی پرویزی*[۱]، محمود عرب‌خدری[۱]، سعید نبی‌پی لشکریان[۲]، عطا امینی [۳]، سیدمسعود سلیمان‌پور[۴]، هادی نظری‌پویا[۵]، فریدون سلیمانی[۶]، لطف‌الله پارسایی[۷]، محمدعلی هادیان‌امری[۸]، جلال برخورداری[۹]، حمزه نور[۱۰]، منصور جهان‌تیغ[۱۱]، جمشید یاراحمدی‌خراجو[۱۲] و محمد شرافتی[۱۳]

۱-عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲- پژوهشگر پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳ تا ۱۲- به ترتیب اعضا هیئت علمی مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های خراسان رضوی، فارس، همدان، خوزستان، گلستان، مازندران، یزد، کردستان، سیستان و آذربایجان شرقی،
۱۳- کارشناس ارشد سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

چکیده

حوضه‌های دوازده‌گانه معرف و زوجی کشور از مهم‌ترین آبخیزهای آزمایشی در سطح کشور هستند که در کار پایش داده‌های مختلف هیدرولوژیکی در کشور فعال هستند. . این حوضه‌های آزمایشی دارای بانک اطلاعات و داده ارزشمندی است که تا کنون بررسی جامعی برای بررسی کیفیت استحصال داده در واحدهای پایش آن‌ها، انجام نشده است. این مطالعه با هدف بررسی و ارزیابی میدانی حوضه و واحدهای پایش اقلیمی، فرسایش، پارامترهای پوشش گیاهی، نفوذپذیری، رطوبت خاک و کیفیت خاک مستقر در آن و تحلیل کیفیت آماری داده‌های پایش شده انجام شد. نتایج نشان داد که داده‌های بارش کامل‌ترین بانک اطلاعات داده را در میان شاخص‌های مورد پایش داشتند. با این وجود خلأ آماری شاخص‌های اقلیمی در بیشتر حوضه‌ها وجود دارد. کیفیت و کمیت داده‌های استحصال شده اقلیمی در آبخیزهای دهگین، خامسان و گنبد نسبت به دیگر آبخیزها از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. آبخیزهای زیدشت، کچیک، کاخک، کسیلیان، تنگ شول و تا حدودی شوش نیز در رتبه بعدی از نظر کیفیت داده‌های اقلیمی قرار دارند. اما شرایط کمی و کیفی داده‌های استحصال شده هریس و گوربند مطلوب نیست. تقریبا داده برف‌سنجی در آبخیزهای برف‌خیز نظیر خامسان، تنگ‌شول، هریس، گنبد، کسیلیان و کاخک ثبت نشده است. در بیشتر آبخیزهای معرف و زوجی تحلیل فرسایش بر مبنای داده‌های رویدادی مقدور نیست. چراکه برداشت داده‌ها بطور متناوب و فارغ از رویدادهای بارش انجام شده است. با این وجود در کرت‌های فرسایش داده‌های قابل اعتمادتری نسبت به پین‌ها ثبت شده است. بررسی نتایج نشان داد که داده‌های پین‌های فرسایشی در مقیاس کوتاه مدت ماهانه وحتی فصلی قابلیت اتکا و اعتنا را ندارند.

واژه‌های کلیدی:
کرت فرسایش، پایش، نفوذپذیری خاک، حوضه آبخیز نمونه، پوشش گیاهی

مقدمه

در اوایل قرن بیستم در ممالک توسعه یافته احداث حوضه‌های معرف و آزمایشی و ایجاد سامانه پایش متغیرهای مختلف اگرواکوکلیمایی و فرسایش خاک و تولید رسوب و متغیرهای هیدرولوژیکی آغاز شد. در بین سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۰ گسترش قابل توجهی در احداث آبخیزهای آزمایشی و بویژه آبخیزهای زوجی صورت گرفت. درحال حاضر اکثر ممالک دنیا از اینگونه حوضه‌ها برای اهداف مختلفی استفاده می‌نمایند. دستاوردهای علمی و فناورانه این آبخیزهای آزمایشی بسیار گسترده است. محققین با استفاده از این زیرساخت‌های آزمایشی دستاوردهایی همچون کالیبراسیون و اعتبارسنجی داده‌های سنجش از راه دور برای پایش رطوبت خاک، تجزیه و تحلیل خشکسالی و پیش‌بینی سیل و توسعه یک سیستم کمی برای این اهداف ارائه کرده اند. همچنین، کیت-ابزارهای ترسیم سیمای تبخیر و تعرق با ابزارهای رقومی که اطلاعات به موقع در مورد کارائی مصرف آب محصولات زراعی در مقیاس‌های مختلف از سطح مزرعه تا مقیاس قاره‌ای را ارائه می‌دهد و گزارش و تحلیل‌های پایش و پیش‌آگاهی خشکسالی ایالات متحده و پایش بین‌المللی محصولات کشاورزی را به ارائه می‌دهد. برآوردها نشان‌گر آن است که با کاربرد مدل‌های فرسایش آبی توسعه یافته از این آبخیزهای آزمایشی در مقیاس عملیاتی، و اهتمام به برنامه‌ریزی حفاظتی بر مبنای اطلاعات و خروجی‌های مدل‌های مزبور، میلیاردها دلار برای مالیات دهندگان آمریکایی صرفه‌جویی ایجاد شده است (Cook، ۲۰۲۱).

از بیش از ۶۰۰ حوزه آبخیز آزمایشی که سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا (ARS)[1] مدیریت کرده است، ۱۲۰ حوضه امروزه به عنوان سایت‌های مهم تحقیقاتی و آموزشی فعالیت گسترده دارند. ۱۰ آزمایشگاه بزرگ در حوزه‌های آبخیز آزمایشی ARS، هسته اصلی پروژه ارزیابی اثرات حفاظتی (CEAP)[2] و همچنین شبکه تحقیقاتی بلندمدت آگرو اکوسیستم وزارت کشاورزی آمریکا موسوم به شبکهLTAR[3] را تشکیل دادند که در آتیه یکی از مهم‌ترین منابع داده را برای توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های حوزه آبخیز و روش‌های مدیریت اراضی تامین خواهند کرد (Steiner و همکاران، ۲۰۱۵).

در راستای پرکردن خلاء حوضه‌های آزمایشی، تحقیق و نمایشی در کشور و داشتن اطلاعات پایه برای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور، شبکه حوضه‌های معرف و زوجی با اهداف پایش و ثبت آمار داده مکانی دقیق شاخص‌ها ی اقلیمی، فرسایش و رسوب، رواناب، گیاه‌شناسی، خاک و آب‌های زیرزمینی به‌وسیله سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری احداث شده‌اند. ایستگاه‌های مذکور، بستر مناسبی برای برنامه‌ریزی علمی و دانش‌بنیان برای مدیریت حوزه‌های آبخیز کشور و انجام پژوهش‌های کاربردی مورد نیاز کشور را فراهم کرده است.

---

1 . Agricultural research service
2 . Conservation Effects Assessment Project
3 . Long-Term Agroecosystem Research network

در آبخیز معرف و زوجی دهگین در استان هرمزگان بررسی‌های غفاری گوشه و جمالی (۱۳۹۲) با بررسی داده‌های هیدرومتری استحصالی نشان داد که اقدامات بیولوژیکی شامل درختکاری، بذرپاشی، کپه‌کاری، کنتورفارو و بانکت در آبخیز نمونه موجب کاهش دبی اوج سیل از ۱/۲ مترمکعب به ۱/۶ مترمکعب بر ثانیه شده و اقدامات مکانیکی بندهای ملاتی و خشکه‌چین اثر نسبتاً خوبی در افزایش زمان تمرکز و در نتیجه کاهش دبی اوج سیل داشته‌اند. در حوضه معرف و زوجی تنگ شول استان فارس برای اولین بار سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی داده‌های استحصالی دبی در این حوضه پرداختند و نشان دادند که مقدار دبی رسوب طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ در آبخیز نمونه کم‌تر از شاهد ثبت شده است. در بستر داده‌های استحصالی از آبخیز معرف و زوجی خامسان پژوهش‌هایی انجام شده است که از جمله می‌توان به گزارش همبستگی کم ولی معنادار داده‌های غلظت رسوب معلّق و دبی جریان توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۹)، اثرات قرق بر درصد تاج پوشش گیاهی (مهران و همکاران، ۱۳۹۰)، متغیرهای رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک (اوسطی،۱۳۹۵؛ هادی قورقی و همکاران، ۱۳۹۶) و ویژگی‌های فیزیکی خاک (میرزایی و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد.

پرویزی و همکاران (۱۴۰۰الف و ب) به تحلیل کامل داده‌های ثبت شده در آبخیز زیدشت طالقان پرداخته و نشان دادند که در اکثر سال‌ها داده‌های از دست رفته بارندگی بین ۱ تا ۵ ماه وجود داشته است. لذا نمی‌توان میانگین‌ها را به‌عنوان معرف واقعی شرایط حوضه در نظر گرفت. در حوضه معرف و زوجی شوش خوزستان نیسی و همکاران (۱۴۰۰) نیز کارایی استفاده از مدل WaTEM/SEDEMرا در شبیه‌سازی فرسایش‌های مختلف در آبخیز زوجی شوش به کمک داده‌ها و اطلاعات مربوط به واحدهای پایش فرسایش کرت‌ها و نیز پین‌های پایش فرسایش‌های صفحه‌ای، شیاری، خندقی و کنار رودخانه‌ای مستقر در آبخیز شوش ارزیابی کردند. آنها نتایج نشان‌دهنده نسبت تحویل رسوب برابر با ۰/۴ است و بیان‌گر وضعیت نامناسب آبخیز است. گزارش یعقوبی و همکاران (۲۰۱۸) نیز مبین کارآمدی داده‌های استحصال شده در حوضه شوش جهت استفاده در تحلیل و مدل سازی فرآیندهای فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز است. آقابیگی امین و فتاحی (۱۳۹۶) در حوزه آبخیز زوجی گنبد همدان نشان دادند که در زیرحوضه نمونه به دلیل وجود پوشش گیاهی بیشتر همچنین میزان مواد آلی بالا و وجود بقایای گیاهی و ریشه گیاهان در سطح خاک میزان و شدت نفوذپذیری بیشتر و در نتیجه تولید رواناب کمتر از زیرحوضه شاهد بوده است. اثر متقابل مدیریت کاربری (قرق) و هندسه زمین بر تغییرات شاخص‌های انباشته کربن آلی و پوشش گیاهی توسط بهرامی (۱۳۹۱) در آبخیز زوجی گنبد مطالعه شده است.

به نقل از پارسازاده و همکاران (۱۴۰۱) بیشتر مطالعات صورت گرفته در در حوضه معرف و زوجی کچیک استان گلستان به مدل‌سازی سیلاب و رواناب، نفوذ، فرسایندگی و فرسایش و رسوب مربوط بوده و کمتر داده‌های استحصال شده از واحدهای پایش فرسایش توجه شده است. در آبخیز معرف و زوجی کسیلیان در استان مازندران نیز شرایط مشابهی حاکم است. اما حسینعلی زاده و همکاران (۱۳۹۱) در

حوضه معرف و زوجی کچیک متوسّط فرسایش سالانه در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه را به ترتیب ۷۶/۷ و ۷۷/۴ تن در هکتار تعیین شد.

بررسی سوابق پژوهشی در مقیاس آبخیزهای آزمایشی و زوجی در دنیا نشان‌گر روند بسیار موثر این آبخیزها در توسعه بنیادی فن‌اوری مدل‌سازی حوزه‌های آبخیز و نیز توسعه دانش کاربردی برای مدیریت جامع حوزه آبخیز است. اما بررسی و تحلیل اولیه مطالعات انجام شده که با استناد به داده‌های به دست آمده از حوضه‌های معرف و زوجی در ایران انجام شده باشد، حاکی از عدم استفاده کامل از ظرفیت موجود در این حوضه‌های آزمایشی است. همچنین، تا کنون تحلیل مقدماتی بر روی داده‌های حاصل و تولید اطلاعات و داده‌ها ثانویه مبتنی بر داده‌های جمع‌آوری شده موجود انجام نشده است. اگرچه، برخی پژوهش‌ها به صورت موردی، آن هم در چهارچوب پایان‌نامه‌های دانشجویی، به کندوکاو و مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی در این حوضه‌ها پرداخته‌اند. ولیکن تا کنون مطالعه جامعی بر روی کیفیت داده‌های استحصال شده صورت نپذیرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی حوضه‌های معرف و زوجی

براساس در مجموع ۱۲ پروژه حوضه معرف وزوجی در ۱۲ استان کشور وجود داد که این آبخیزها، شش اقلیم اصلی کشور و هفت تیپ رویشگاهی و کاربری اراضی کشور را نمایندگی می‌کنند. در جدول ۱-۲ برخی مشخصات محدوده‌های انتخابی به عنوان آبخیزهای معرف و زوجی و مناطق معرف آنها نشان داده شده است. در جدول ۱ مشخصات این آبخیزها در سطح کشور ارائه شده است.

جدول ۱- مناطق همگن کشور مورد استفاده برای انتخاب حوضه‌های معرف و زوجی کشور (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوضه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹)

واحد همگن	اقلیم	پوشش	مساحت (km^2)	مساحت به تفکیک استان بر حسب درصد					استان و حوضه انتخابی
				1	2	3	4	5	
1	خیلی مرطوب	جنگل خزری	13514	مازندران	گلستان	گیلان	تهران	-	مازندران-کسیلیان
				56.18	21.22	21.00	0.29	-	
2	نیمه خشک	مراتع استپی	156444	خراسان	کرمان	فارس	اصفهان	همدان	همدان-گنبد
				16.45	14.38	10.92	9.59	2.50	
3	نیمه مرطوب	جنگل بلوط	21047	کهگیلویه	فارس	خوزستان	کرمانشاه	ایلام	فارس-تنگ شول
				33.08	18.80	13.70	8.27	5.03	
4	مدیترانه ای	اراضی دیم	51398	البرز	کردستان	زنجان	همدان	خراسان	البرز-زیدشت
				-	17.00	13.77	8.41	5.60	
5	فراخشک	پوشش زارشوره	361080	خراسان	سیستان	کرمان	هرمزگان	اصفهان	سیستان و بلوچستان-گوربند
				26.90	18.63	13.89	6.84	4.29	

واحد همگن	اقلیم	پوشش	مساحت (km^2)	مساحت به تفکیک استان بر حسب درصد					استان و حوضه انتخابی
				1	2	3	4	5	
6	خشک	مراتع فقیر	152935	سیستان	هرمزگان	فارس	کرمان	خراسان	هرمزگان-دهگین
				43.50	14.80	14.15	11.62	8.31	
7	نیمه خشک	مراتع متوسط	146652	خراسان	فارس	کرمان	آ-شرقی	آ- غربی	خراسان رضوی-کاخک
				33.56	14.91	8.30	5.90	3.80	
8	نیمه مرطوب	مراتع استپی	68749	لرستان	کردستان	آذر غربی	چهارمحال	آذر شرقی	کردستان-خامسان
				12.40	11.40	10.30	8.70	7.60	
9	نیمه مرطوب	اراضی دیم	10127	کردستان	آذرشرقی	آذر غربی	لرستان	همدان	آذربایجان شرقی-هریس
				27.70	26.10	14.80	9.50	3.20	
10	نیمه خشک	مراتع فقیر	24056	فارس	خوزستان	بوشهر	کهکیلویه	زنجان	خوزستان-شوش
				41.30	20.37	14.03	8.10	4.11	
11	نیمه خشک	اراضی دیم	1250	گلستان	-	-	-	-	گلستان-کچیک
12	سرد و خشک	مرتع	--	یزد	-	-	-	-	یزد-طاحونه

امکانات وتجهیزات نصب شده در حوضه‌ها

در حوضه معرف و زوجی یک سری امکانات و زیرساخت‌هایی ایستگاه‌های ثبت داده‌های اقلیمی، هیدرومتری، فرسایش، رسوب نصب و راه اندازی شده و برخی تجهیزات جهت ثبت داده در این ایستگاه‌ها وجود دارد. بعلاوه ادوات و ابزارهایی برای ثبت برخی داده‌های مورد نیاز که باید بصورت سیار ثبت شوند نظیر ادوات نمونه‌برداری رواناب و رسوب، نمونه‌برداری پوشش، تعیین نفوذپذیری خاک است. ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ها مجهز به دو گروه ادوات اندازه‌گیری شامل اندازه‌گیری دستی تحت استاندارد کلیماتولوژی و ادوات دیجیتال است. داده‌های اقلیمی در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای اندازه‌گیری و در دیتالاگر ثبت می‌شود. سپس از طریق کابل رابط به رایانه موجود در ساختمان اداری ایستگاه مخابره شده و از آنجا داده‌های اولیه آن برداشت و آماده‌ی بهره‌برداری می‌شود. نرم‌افزار weather station جهت تخلیه و پردازش اطلاعات دیتالاگر ایستگاه هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمایی از برخی ادوات در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایی از برخی ادوات نصب شده در سایت هواشناسی حوضه‌های معرف و زوجی

برای اندازه‌گیری فرسایش در مقیاس دامنه میادین پین و کرت راه اندازی شده است. کرت‌های رسوب در ابعاد ۲۴*۱/۸ متر طراحی و با استفاده از ورق گالوانیزه ۱/۵ میلی‌متر ی اجرا شده است. تعداد این کرت‌ها ۱۸ عدد (۶ میدان در هر میدان ۳ عددکرت) است که ورق مصرفی جهت احداث حدود ۷۱۰۰ کیلوگرم است. مخازن تخلیه بارش سطح کرت و جمع آوری رسوبات از ورق ۴ میلی در ابعاد ۲*۱*۰/۵ ساخته و در انتهای هر کرت نصب شده است (شکل ۳). در برخی حوضه‌ها کرت‌های با ابعاد متفاوت‌تر (نظیر آبخیز کچیک) یا با مصالح متفاوت‌تر (نظیر آبخیز کسیلیان) نیز احداث شده است که در بخش مربوطه توضیح داده شده است. در مجموع در هر حوضه معرف و زوجی ۶ میدان پین (سه میدان پین در حوضه نمونه و ۳ میدان پین در حوضه شاهد) که در هر یک ۱۲۱ پین مدرج شده نصب شده نصب شده است. پین‌های فرسایش در کنار کرت‌های رسوب در داخل زمین کارگذاشته شده است. میدان‌های فرسایش و رسوب در زیرحوضه نمونه توسط تور فنس محصور شده‌اند (شکل ۲).

شکل ۲- نمایی از یکی‌از میادین پین و کرت‌های فرسایش در حوضه نمونه گنبد همدان

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک ازدبل رینگ استفاده شده است که تصویر مربوطه و نحوه اندازه‌گیری در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳- نمایی از دبل رینگ و نحوه اندازه‌گیری نفوذپذیری

برای پایش پوشش گیاهی در بیشتر آبخیزهای معرف و زوجی به صورت دوره‌ای و متصل یا منفصل مطالعه و برداشت امار از پوشش گیاهی حوضه نمونه و شاهد و بعضا معرف انجام شده است و داده‌های آن در بانک داده کمیته راهبری پروژه‌های معرف و زوجی موجود است. داده‌های جمع‌آوری شده عمدتاً شامل:

۱-گونه‌های گیاهی هر دو حوضه نمونه و شاهد جمع آوری شده و بیشتر گونه‌ها شناسای شده و شناسایی گونه‌های جمع آوری شده انجام شده است.
۲- تولید علوفه به تفکیک در داخل حوضه نمونه و شاهد که در آن یک‌ساله‌ها در کرت‌های نیم مترمربعی و چندساله‌ها در کرت‌های ۲ مترمربعی اندازه‌گیری شده است.
۳- مستندسازی از گونه‌های مختلف گیاهی منطقه و کاربری‌های آن‌ها انجام شده است.
در یک جمع بندی کلی در تمامی حوضه‌های ۱۲ گانه شاخص‌ها ی ثابت اقلیمی مشمتمل بر ۱۹ شاخص، شاخص‌ها ی فرسایش، رواناب و رسوب در مقیاس دامنه، پوشش گیاهی، خاک و نفوذپذیری در هر سه آبخیز معرف، نمونه و شاهد در حال ثبت و پایش است. داده‌های اقلیمی از طریق دیتالاگر ثبت و بعضا فرایند آنلاین سازی جهت انتقال و ثبت آنلاین داده‌ها با نصب دستگاه GPRS بر روی دیتالاگر انجام شده است. در جدول ۲ اهم داده‌های در حال ثبت و ضبط در کلیه آبخیزهای معرف و زوجی نشان داده شده است.

جمع‌آوری و ساماندهی داده‌ها

داده‌های استحصال شده از واحدهای پایش حوضه‌های معرف و زوجی از اداره کل منابع طبیعی استان مربوطه و نیز کمیته راهبری حوضه‌های معرف و زوجی کشور در دفتر آبخیزداری و حفاظت خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تهیه شد. اهم داده‌های جمع‌آوری شده شامل داده‌های لحظه‌ای اقلیم ایستگاه‌های کلیماتولوژیک آبخیزهای معرف و زوجی، داده‌های فرسایش، رسوب و رواناب میادین پین و کرت‌های فرسایش این حوضه‌های معرف و نمونه، داده‌های پایش شده خصوصیات خاک، نفوذپذیری، پوشش گیاهی بود. در این‌مرحله پس از بررسی اجمالی داده‌ها و آمار موجود در محیط نرم‌افزاری EXCEL فرمی طراحی شد و داده‌های لحظه‌ای متغیرهای اقلیمی (۱۹ متغییر) رواناب و فرسایش کرت‌ها و فرسایش پین‌های فرسایش، خاک، نفوذپذیری خاک و پوشش گیاهی ثبت شده تا زمان تحقیق حاضر (حدود ۲۰۲۰) به‌ترتیب تاریخ ثبت و با فرمت یکسان و یکپارچه در داخل فایل‌های اکسل ذخیره شد. نمونه‌ای از این جداول در صفحه گسترده مربوط به نوع و کیفیت تجهیزات و داده‌های کرت‌های فرسایش در شکل ۴ نشان داده شده است.داده‌های اقلیمی با پایه زمانی ده دقیقه‌ای و داده‌های فرسایش به صورت دوره‌ای یا رویداد محور و دیگر داده‌ها به صورت دوره‌ای ثبت شده بودند. در نهایت به کمک فایل‌های اکسل تکمیل شده، کیفیت داده‌های استحصالی از نظر پوشش زمانی و دقت و صحت برداشت داده در جداولی تنظیم ومورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- متغیرهای مورد پایش در حوضه‌های معرف و زوجی کشور

مولفه پایش	متغیرهای پایش
هواشناسی	بارندگی، دمای هوا، دمای ۵ سانتی سطح خاک، دمای ۲۰ سانتی عمق خاک، دمای ۵۰ سانتی عمق خاک، رطوبت سطح خاک، رطوبت ۵۰ سانتی عمق خاک، رطوبت نسبی، جهت و سرعت باد، فشار هوا، شاخص‌های تشعشع‌سنج، ساعات آفتابی، نقطه شبنم، تبخیرسنج (تشت کلاس A)، لایسیمتر وزنی، و برف‌سنجی (ارتفاع برف، چگالی برف، اب معادل برف)
هیدرومتری	ارتفاع آب، سرعت آب، دبی، بار معلق، بارکف
فرسایش	سطحی (پین)، گالی، کناره‌ای. اخیرا اسکن لیزر کلیه حوضه‌ها در دست انجام است.
رسوب	تلفات خاک با کرت‌های استاندارد ویشمایر و اسمیت
پوشش گیاهی	تیپ پوشش، فهرست فلورستیک، وضعیت و گرایش مرتع، تولید مرتع
خاکشناسی	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
نفوذپذیری	نفوذپذیری (استوانه مضاعف)
پیزومتری	چاه پیزومتری (عمق سطح ایستابی)

شکل ۴-بخشی از صفحه گسترده وضعیت و کیفیت تجهیزات کرت‌های فرسایش و داده‌های مربوطه

ارزیابی کیفیت داده‌ها

داده‌های اقلیمی با پایه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و داده‌های فرسایش، پوشش گیاهی، نفوذپذیری و خاک به صورت دوره‌ای یا رویداد محور بودند. در ادامه، پس از بررسی اجمالی و آنالیز کیفی داده‌ها و آمار موجود، برای ارزیابی کیفیت داده‌های استحصالی از نظر پوشش زمانی و دقت و صحت برداشت داده جداولی تنظیم ومورد ارزیابی قرار گرفت. حوضه‌ها از نظر وضعیت کیفیت ثبت داده‌ها و خلأ آماری طبقه‌بندی شد. معیار طبقه‌بندی کیفیت داده‌ها به صورت قراردادی و بر مبنای بازه زمانی مورد پوشش، میزان خلاء داده در داده مورد نظر و میزان انطباق با اهداف طراحی اولیه واحد پایش مربوطه بود. معیار استفاده شده به صورت کیفی و در قالب جدول ۳ نشان داده شده است. سپس یافته‌های آماری کلیه حوضه‌های معرف و از نظر وضعیت کیفیت داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت چالش‌ها و مشکلات مشترک بین تعداد زیادی حوضه معرف و زوجی تبیین و پیشنهادهای اصلاحی در مقیاس ملی تبیین شد.

جدول ۳-معیار طبقه‌بندی کیفیت داده‌های ثبت شده

کیفیت	توصیف داده‌ها
عالی	داده‌برداری در تمام مراحل منطبق با طراحی اولیه بوده و داده‌ها از زمان شروع داده‌برداری به‌طور کامل ثبت شده است.
خوب	حداقل ۷۵ درصد داده‌ها از زمان آغاز داده‌برداری به‌طور منظم برداشت شده و خلأ آماری کمتر از ۲۵ درصد از حجم زمان دادبرداری را در برمی‌گیرد.
متوسط	نیمی از اهداف طراحی اولیه ایستگاه محقق شده و داده‌ها حدوداً نیمی از زمان داده‌برداری را پوشش می‌دهند.
ضعیف	حدود ۷۵ درصد از بازه زمانی ازآغاز داده‌برداری داده ثبت نشده است و داده‌های موجود کفایت لازم را برای تحلیل ندارد.

نتایج و بحث

جمع‌بندی کیفیت داده‌های پایش

بسته به شرایط اکوکلیمایی، هندسی، فیزیکی و مدیریتی حوضه، شاخص‌های مختلف هیدرولوژیکی در حوضه‌های معرف و زوجی در حال ثبت و پایش هستند. وضعیت کیفی داده‌های استحصالی برای پارامترهای مورد پایش در هر یک از آبخیزهای معرف و زوجی بر اساس الگو و دستورالعمل جدول ۳ ارزیابی شد. نمونه ارزیابی کیفی داده‌های واحدهای پایش حوضه شوش در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین وضعیت خلا آماری بارش در حوضه کاخک خراسان رضوی در بازه سال‌های پایش به عنوان نمونه در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴- وضعیت خلأ آماری در واحدهای مختلف پایش اقلیمی، خاک، پوشش و نفوذپذیری در حوضه شوش

خصوصیات مورد پایش	سال آماری ثبت شده												مقیاس زمانی داده‌ها
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
اقلیم (۱۳ فاکتور)	✓	✓	✓	✓	+	+	✓	✓	+	+	✓	+	–	لحظه ای
تلفات خاک (پلات)	–	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	فصلی و نامنظم
روانآب (پلات)	–	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	فصلی و نامنظم
فرسایش (پین)	–	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	فصلی و نامنظم
نفوذپذیری	–	–	–	–	✓	✓	–	–	–	–	–	–	–	نامنظم
پوشش گیاهی	–	–	–	–	–	–	–	–	✓	✓	✓	✓	–	موردی
خاکشناسی	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
رطوبت خاک	–	✓	✓	✓	+	+	✓	+	–	+	✓	+	–	لحظه‌ای
دارای خلا آماری، - فاقد داده+- آمار نسبتا کامل، ✓														

جدول ۵- وضعیت خلأ آماری داده بارش در حوضه کاخک

سال	تعداد روزهای بارانی	وضعیت ثبت داده
2007	35	ناقص
2008	43	کامل
2009	75	کامل
2010	43	تقریباً کامل- حدود ۱۵ روز ناقص
2011	57	کامل
2012	69	۷ ماه داده ماهانه ثبت شده
2013	49	۲ ماه بصورت روزانه ثبت شده است-ناقص
2014	-	داده ثبت نشده است
2015	-	داده ثبت نشده است
2016	53	کامل
2017	38	کامل
2018	-	کامل
2019	-	کامل

در نهایت در یک جمع‌بندی کلی و در مقیاس ملی وضعیت کیفی داده‌های استحصالی حوضه‌های معرف و زوجی و نقاط ضعف و قوت آنها در جدول ۶ ارائه شده است. در این جدول نقاط قوت و محدودیت‌های آبخیزهای معرف و زوجی کشور از نظر کیفیت داده‌ها ارائه شده است. اگرچه ممکن است برخی شاخص‌ها بصورت ویژه در یک حوضه برداشت شوند، ولی به‌طورکلی در تمامی حوضه‌های ۱۲گانه شاخص‌ها ی ثابت اقلیمی (۱۹ شاخص) و شاخص‌های فرسایش و رواناب سطحی در هر دو آبخیز نمونه و شاهد در حال ثبت و پایش هستند. در بیشتر حوضه‌ها نفوذپذیری خاک نیز اندازه‌گیری می‌شود. در برخی از حوضه‌ها در حال حاضر در هر دو آبخیز نمونه و شاهد داده داده‌های پوشش گیاهی به صورت ناپیوسته ثبت شده است. فقر داده کیفیت خاک و پایش خاک تقریبا در تمام حوضه‌های زوجی وجود دارد (جدول ۴). بدون تردید از میان داده‌های استحصال شده تا کنون وضعیت داده‌های اقلیمی استحصالی بهتر و بانک داده موجود از این متغیرها بسیار مناسب‌تر از دیگر شاخص‌ها ی پایش شده است. حتی در حوضه‌هایی نظیر گوربند و هریس که به دلیل تنگناهای اجتماعی و شرایط مدیریتی خاص خود از فقر داده مفرطی رنج‌می‌برند، تا کنون در طی سنوات مختلف به صورت منقطع داده‌برداری اقلیمی انجام شده است. شاید مطلوب‌ترین بانک داده اقلیمی بدون ترتیب اولویت مربوط به حوضه‌های دهگین، خامسان، کچیک، گنبد و تا حد قابل قبولی زیدشت، کاخک، کسیلیان و شوش است. حوضه طاحونه (ردیف آخر) در مرحله نصب ادوات پایش است و طبعا نمی‌تواند از نظر کیفیت داده‌ها قابل ارزیابی باشد. داده‌های اقلیمی از طریق دیتالاگر ثبت و بعضا فرایند آنلاین‌سازی جهت انتقال و ثبت آنلاین داده‌ها با نصب دستگاه GPRS بر روی دیتالاگر انجام شده است. ولی ثبت دیگر داده‌ها دستی انجام می‌شود و از ابزار به‌روز دیگری نظیر ابزار سنجش از دور یا پردازش رقومی تصاویر و غیره استفاده نمی‌شود.

باید به این نکته توجه شود، طول دوره آماربرداری در این حوزه ها براساس تخصیص منابع اعتباری در طول سنوات گذشته و روند ساخت ایستگاه‌ها وتامین و نصب و راه اندازی ادوات و تجهیزات و شروع پایش بوده است. از این نظر نمی‌شود از لحاظ کیفی اظهار نظر کرد. ضمن اینکه بخش اعظم کشور شاهد خشک‌سالی بوده و فقر آمار فرسایش، رسوب، هیدرومتری به دلیل عدم وجود بارندگی بوده است. بنابراین این نکات باید در دسته‌بندی کیفیت داده‌ها در نظر گرفته شود. ضمن اینکه ممکن است بارندگی وجود داشته باشد ولی مقدار، شدت و مدت آن ، منجر به فرسایش،رسوب و رواناب نشده باشد. بنابراین وجود داده و پایش در بخش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز معرف وزوجی کشور محدود به تخصیص منابع مالی برای ساخت و تجهیز و همچنین رخداد بارندگی است.

جدول ۶- نقاط قوت و محدودیت‌های آبخیزهای معرف و زوجی کشور از نظر کیفیت داده‌ها

حوضه معرف و زوجی	سال شروع داده‌برداری	نقاط قوت داده	محدودیت داده
دهگین	۲۰۰۷	✓ کیفیت داده خوب اقلیمی ✓ کیفیت داده خوب فرسایش و رواناب سطحی ✓ کیفیت داده نفوذپذیری متوسط ✓ گزینه معرف مناسب با بانک داده مطلوب برای تحلیل رویدادهای حدی	✓ داده پوشش گیاهی ضعیف ✓ عدم امکان روندیابی داده‌های نفوذپذیری و پوشش به دلیل مکان ویژه نبودن ✓ ضعف داده کیفیت خاک
گنبد	۲۰۰۳	✓ بانک داده خوب تا متوسط اقلیمی ✓ بانک داده فرسایش متوسط ✓ بانک داده پوشش گیاهی خوب	✓ ضرورت صحت سنجی داده‌های برداشت شده اقلیمی ✓ ضعف داده فرسایش ۶ سال اخیر ✓ عدم امکان روندیابی زمانی داده نفوذپذیری و پوشش به دلیل مکان ویژه نبودن ✓ ضعف داده مطالعه خاک ✓ عدم کارائی داده پین
کاخک	۲۰۰۷	✓ کیفیت داده اقلیمی خوب تا متوسط ✓ کیفیت داده فرسایش متوسط ✓ کیفیت داده خوب پوشش گیاهی	✓ فاقد داده فرسایش و رواناب سطحی در ۵ سال اخیر ✓ فقر داده پوشش گیاهی در ۵ سال اخیر ✓ ضعف داده نفوذپذیری و کیفیت خاک
خامسان	۲۰۰۸	✓ بانک داده اقلیمی خوب تا متوسط ✓ بانک داده فرسایش متوسط	✓ داده نفوذپذیری و پوشش گیاهی پراکنده با کیفیت ضعیف ✓ عدم کارائی داده پین ✓ عدم امکان روندیابی زمانی داده نفوذپذیری و پوشش به دلیل مکان ویژه نبودن
شوش	۲۰۰۸	✓ کیفیت داده متوسط اقلیمی و فرسایش خاک	✓ داده نفوذپذیری، پوشش گیاهی و کیفیت خاک ضعیف ✓ داده‌های اقلیمی نامنظم

حوضه معرف و زوجی	سال شروع داده‌برداری	نقاط قوت داده	محدودیت داده
		✓ گزینه مناسب و معرف برای بررسی پاسخ هیدرولوژیک و مدیریت مراتع گرمسیری ✓ گزینه مناسب برای پایش فرسایش خندقی	
تنگ شول	۲۰۱۱	✓ کیفیت داده متوسط اقلیمی ✓ گزینه مناسب برای بررسی پاسخ مدیریتی و رفتار هیدرولوژیک جنگلهای زاگرس	✓ فاقد داده فرسایش قابل اتکا رویداد محور به دلیل پوشش انباشته گیاهی در سطح میادین پین و کرت ✓ کیفیت داده نفوذپذیری و خاک ضعیف ✓
کسیلیان	۲۰۱۱	✓ بانک داده خوب تا عالی اقلیمی	✓ کیفیت داده فرسایش ضعیف ✓ فاقد داده قابل اتکا فرسایش ✓ کیفیت داده‌های نفوذپذیری بسیار ضعیف
زیدشت (میان بیشه)	۲۰۱۱	✓ بانک داده اقلیمی متوسط با تحلیل مناسب ✓ بررسی متناوب پوشش گیاهی ✓ گزینه مناسب و معرف برای مطالعات زمین لغزش و پایش آن با ابزار مناسب	✓ فاقد داده نفوذپذیری و خاک ✓ دارای داده نامنظم پوشش گیاهی
هریس	۲۰۱۱	✓ کیفیت داده اقلیمی متوسط تا ضعیف ✓ گزینه مناسب برای مطالعه پاسخ هیدرولوژیک مراتع کوهستانی با فرسایش شدید به مدیریت	✓ فقط داده اقلیم ۶ سال اخیر ✓ فاقد داده فرسایش، نفوذپذیری و کیفیت خاک ✓ کیفیتداده پوشش گیاهی ضعیف
گوربند	-		✓ کیفیت داده اقلیمی ضعیف ✓ فاقد داده کیفیت خاک ✓ کیفیت داده پوشش گیاهی متوسط تا ضعیف

حوضه معرف و زوجی	سال شروع داده‌برداری	نقاط قوت داده	محدودیت داده
			✓ فاقد داده نفوذپذیری
کچیک	۲۰۱۱	✓ کیفیت داده اقلیمی خوب ✓ کیفیت داده پوشش گیاهی خوب ✓ کیفیت داده نفوذپذیری متوسط (احتمال وجود خطا در اندازه‌گیری)	✓ کیفیت داده فرسایش ضعیف ✓ داده کیفیت خاک ضعیف
طاحونه	در مرحله راه اندازی	✓ فاقد داده	✓ فاقد داده

در مجموع تلاش بیش از پیش در برداشت داده فرسایش از واحدهای پایش فرسایش به‌ویژه در کرت‌های فرسایش در آبخیزهای زوجی لازم است. البته خلا کامل داده در آبخیزهای گوربند و هریس و تا حدودی شوش وجود دارد. شاید از این منظر بانک داده حوضه دهگین از همه حوضه‌ها مناسب‌تر باشد. همچنین در کلیه آبخیزها زوجی بازنگری در استفاده از پین‌ها ضروری است.

تقریبا در تمامی حوضه‌های معرف و زوجی به طور عام و حوضه‌های هریس، کاخک، دهگین و کچیک باید برنامه‌ریزی متمرکزتر و جدی‌تری برای استحصال و ثبت و پایش داده فرسایش در واحدهای پایش مربوطه انجام داد. چراکه وضعیت این آبخیزها از نظر فرسایش و نیز وقوع رویدادهای حدی فرسایش وتولید رسوب بیش از دیگر حوضه‌هاست.

به نظر می‌رسد از نظر داده اقلیمی با وجود ضعف‌های مختلف در ساختار داده‌های استحصال شده، بخش قابل قبولی از هدف‌گذاری اولیه در تاسیس آبخیزهای معرف و زوجی محقق شده است. خوشبختانه در سنوات منتهی به انجام تحقیق حاضر و بر اساس تجارب کسب شده در سنوات قبل در کلیه آبخیزها مدیریت مطلوب وسازماندهی شده‌ای برای رفع تنگناها و کمبودهای فنی در زمینه تجهیز و روزآمد نمودن ایستگاه‌های کلیماتولوژی آبخیزهای معرف زوجی اعمال می‌شود که ماحصل آن ارزیابی سالم بودن بیشتر ادوات پایش اقلیمی (به استثناء برف‌سنجی) در کلیه حوضه‌ها، ثبت داده منظم‌تر و با کمینه خلأ آماری در چند سال اخیر است. مورد استثنا آبخیز هریس و گوربند بوده است که بر اساس ارزیابی میدانی این دو ایستگاه نیز در حال حاضر از وضعیت مطلوب برخوردار و در حال ثبت و پایش داده هستند. اگرچه تلاش مطلوبی در تجهیز و نوسازی کرت‌های فرسایش در آبخیزهای زیدشت، خامسان، گنبد و دهگین انجام شده است. ولی به نظر می‌رسد در بیشتر آبخیزهای معرف و زوجی نیمی از اهداف ترسیم شده اولیه در پایش داده فرسایش تامین نشده است. در برخی آبخیزها تقریبا بیشتر وقایع فرسایش حدی

ثبت نشده است. اگرچه در برخی آبخیزها حدودا به بیش از ۹۰ درصد اهداف ترسیمی اولیه دست یافته‌اند. موارد موفق در این زمینه آبخیزهای دهگین، خامسان و تا حدی گنبد هستند. برخی نقاط ضعف فنی در احداث یا مدیریت واحدهای پایش فرسایش در آبخیزهای هریس، کچیک، شوش و کاخک وجود دارد که تا حدی موجب کاهش ظرفیت استحصال داده شده و مانعی جهت نیل به اهداف از پیش تعیین شده بوده است. مرمت و بازسازی این واحدها و روفع ایرادات فنی وارده از ضرورت‌های ادامه برنامه پایش و دستیابی به اهداف احداث این واحدهای پایش است.

نکته مهم در خصوص داده‌های نفوذپذیری خاک هدفمند بودن برنامه پایش این متغیر است. چرا که ثبت داده نفوذپذیری بدون جانمایی دقیق نقاط اندازهگیری و نیز برنامه زمانی دقیق و علمی ثبت و پایش نفوذپذیری چندان ارزشی ندارد. اگر پایش دوره‌ای نفوذپذیری خاک انجام می‌شود باید در محل هدف مشخصی و در فصول خاصی انجام شود تا ردپای مدیریت خاصی که بر عرصه اعمال می‌شود پدیدار شود. نکته دوم استفاده از ادوات مناسب برای اندازه‌گیری نفوذپذیری است. استفاده از دبل رینگ اگرچه ابزار استانداردی است اما برای برخی عرصه‌ها نظیر نقاط پرشیب، نقاط سنگلاخی، خاک‌های با شرایط و خواص ورتیک و نیز برخی شرایط دیگر داده‌های نادرست و ناصحیحی را ارائه می‌دهد. برای این کار استفاده از ادوات دیگری نظیر دستگاه گلف‌پرامامتر و نیز نفوذسنج‌های دیسکی پیشنهاد می‌شود. با در نظر گرفتن داده‌های محدود استحصالی نفوذپذیری خاک در حوضه‌های زوجی می‌توان گفت با اهداف ترسیمی فاصله فراوان وجود دارد. این فاصله هم کمی است و هم فنی و علمی.

در تکمیل جمع‌بندی فوق باید گفت علاوه‌بر نقاط ضعف و قوتی که در کیفیت استحصال داده در سطوی قبل بیان شد، ذکر این نکته ضروری است که خلأ داده‌های استحصالی از حوضه‌های معرف و زوجی در طول بازه نمونه‌برداری به‌حدی است که از نظر منطقی امکان محاسبه برخی از میانگین‌ها نظیر میانگین متغیرهای اقلیمی در بیشتر موارد وجود ندارد و مقادیر میانگین محاسبه شده فاقد اعتبار کافی است. به‌عبارت دیگر، اگرچه در این گزارش تلاش شده خلاصه آمار توصیفی داده‌های استحصالی و همچنین برخی تحلیل‌ها در خصوص وقایع حدی ثبت شده در حوضه ارائه شود، ولیکن باید توجه نمود این تحلیل‌ها مربوط به داده‌های ثبت شده می‌باشد و با توجه به وجود خلأهای ممتد آماری در طی بازه زمانی پایش، ممکن است شاخص‌های آماری محاسبه شده در این گزارش، به‌طورکامل بیانگر وضعیت واقعی حوضه‌های معرف و زوجی نباشد و بیشتر انعکاسی از وقایع ثبت شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی باتوجه به امکانات، ادوات و تجهیزات نصب شده شامل ایستگاه هواشناسی مدرن، ایستگاه‌های هیدرومتری، میادین پین فرسایشی، ایستگاه‌های کرت‌های فرسایشی و

مخازن رواناب و رسوب در دو حوضه شاهد و نمونه، یک بستر بسیار مناسب برای انجام کارهای پژوهشی، آموزشی و ترویجی است که می‌توان با بهره‌گیری از نتایج و برونداد پروژه‌های تحقیقاتی قابل انجام در این حوضه ها به یک الگوی مناسب برای مدیریت اصولی حوزه‌های آبخیز در واحدهای همگن دست یافت.

به نظر می‌رسد با وجود چالش‌های موجود در مسیر پایش در این حوضه‌ها و به تبع آن خلأهای آماری که در بیشتر آبخیزهای معرف و زوجی در استحصال داده وجود دارد، ولیکن بررسی بر روی داده‌های موجود در تحقیق حاضر نشان داد که داده‌های موجود، با انجام پالایش و سازماندهی، قابلیت آن را دارند که مورد کنکاش قرار گرفته و در فرآیندهای تصمیم‌سازی برای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در سطوح خرد و کلان، در فرآیند شناخت شرایط اکوفیزیکی حوضه‌ها و تعمیم به آبخیزهای معرف و مدل‌سازی حوزه‌های آبخیز در سطوح مختلف و برای پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند. وجود خلأهای آماری موجود و عدم صحت‌سنجی دوره‌ای داده‌ها کار را برای کاربران داده‌های یاد شده بسیار دشوار می‌کند. لذا مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد محققین عطای داده‌های یاد شده را به لقاء آنها بخشده و از استعمال آنها در مطالعات مختلف و تحقیقات موردی صرف‌نظر می‌کنند. در ادامه به اهم چالش‌های موجود در این حوضه ها بر اساس ارزیابی‌های انجام شده در مطالعه حاضر می‌پردازیم و در انتها پیشنهادات عملیاتی برای مواجهه با این چالش‌ها ارائه می‌شود.

A. مهمترین چالش مدیریت و نگهداری حوضه به دلیل کمبود اعتبارات و نداشتن ردیف اعتباری مستقل است. چرا که پس از گذشت نزدیک به سه دهه از راه‌اندازی این واحدهای مهم پایش در سطح کشور هنوز در مقیاس ملی توسط سازمان برنامه و بودجه در دولت به رسمیت شناخته نشده و برای حفاظت، نگهداری و توسعه این ایستگاه‌ها بودجه مستقل و سنواتی اختصاص داده نشده است. این موضوع تداوم روند پایش و توسعه و بهبود وضعیت این سامانه‌های مهم پایش را با تردید جدی مواجه خواهد کرد.

B. پیوستگی در ثبت داده و بانک منظم داده چالش اصلی در ساختار داده‌های موجود است. داده‌های ثبت شده بصورت پیوسته نبوده و نامنظم بوده است. یعنی مشخصا بین دو زمان ثبت داده رویدادهای واقع شده بصورت منفک و قابل تمییز از هم نیستند. در برخی حوضه ها عملا داده‌ای ثبت نشده است. چراکه به دلیل مشکلات اجتماعی و وجود معارض در محل امکان ثبت داده فرسایش وجود نداشته است. نمونه آن حوضه هریس آذربایجان شرقی است. در برخی حوضه ها به دلیل مدیریت ناکارآمد حاکم بر حوضه داده‌ای ثبت نشده است، نظیر حوضه گوربند سیستان.

C. صحت سنجی برخی داده‌ها از طریق انطباق وقایع و رویدادهای بارش و فرسایش و همچنین تطبیق داده‌های اقلیمی با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی هواشناسی منطقه ضروری است چرا که در برخی مقاطع وقایعی از فرسایش ثبت شده که در چند روز منتهی به تاریخ مزبور واقعه بارشی ثبت

نشده است. مواردی از این قبیل در بیشتر حوضه‌ها مشاهده شد که احتمال خطا در ثبت و پایش داده را تقویت می‌کند.

E. قطعی و عدم تامین مداومت ولتاژ برق و همچنین، مصرف زیاد باطری دستگاهها به علت سرما در برخی حوضـــه ها منجر به خطا در اندازه‌گیری و حذف برخی وقایع مهم بارش و رواناب در فرآیند پایش شده ا ست. البته در سنوات اخیر در ای ستگاه‌ها به صورت موردی از پنل‌های خور شیدی برای برخی واحدهای پایش استفاده شده است.

F. در استفاده از کرت‌های آزمایشی در مطالعات فرسایش، ایجاد بوم‌سازگان محصور و متفاوت با شرایط اطراف به سبب استفاده بلندمدت از این کرت‌هاست. از این رو رعایت محدودیت زمانی خاص در استفاده از این کرت‌ها و نیز اعتماد و اتکا به داده‌های حاصل از آن‌ها برای مقطع کوتاه وجود دارد.

G. استفاده از شیوه نامه‌های استاندارد و به روز شده به منظور اندازه‌گیری‌های دقیق و علمی در برخی آیتم‌های پایش وجود دارد. به عنوان مثال شاخص نفوذپذیری ثبت شده در برخی حو ضه ها در اصل سرعت نهائی نفوذ بوده، در برخی دیگر معادلات نفوذ تعیین شده، در برخی دیگر از حوضه ها نرخ نفوذ اولیه ثبت شـــده و در برخی دیگر در واقع هدایت هیدرولیکی غیر اشـــباع خاک اندازه‌گیری شـــده اســت. لذا وحدت رویه در ثبت این داده باید در کلیه حوضـــه ها و با رویکرد بررســـی و پایش اثربخشـــی عملیات آبخیزداری باید عملیاتی و هماهنگ شود

H. ثبت منظم داده نفوذپذیری بصـورت ســالانه و بر اســاس برنامه زمانی هدفمند انجام نشـده و همچنین اندازه‌گیری‌ها نیز در طی سنوات متوالی در نقاط پراکنده انجام شده و قابلیت روندیابی زمانی را ندارد.

I. دشواری آنلاین سازی دستگاه ها و ادوات به دلیل کوهستانی بودن و دشواری انتقال سیگنال

J. خرابی ادوات وارداتی از دیگر چالشـــهای فنی اســت که در شـــرایط تحریم بوجود آمده بعضـــا منجر به وقفه‌های طولانی مدت در ثبت و پایش داده شـــده اســـت. لذا لزوم اســـتفاده از ادوات ایرانی می‌تواند پیشنهاد شود.

K. از نظر کیفیت داده‌های داده‌های اقلیمی و ضعیت منا سب‌تری نسبت به دیگر واحدهای پایش و پس از آن فرسـایش در کرت‌های فرسـایش قرار دارد. کیفیت پایش پوشـش گیاهی بسـته به حوضـه متغیر و با توجه به ماهیت این متغیر در برخی حوضـه‌ها مطلوب و قابل قبول و در برخی حوضـه‌ها خلا آماری وجود دارد. کیفیت پایش واحدهای فرسایش پین فرسایشی، نفوذپذیری و کیفیت خاک در بیشتر ضـعیف اسـت و در مواردی نظیر نفوذپذیری به روش اشـتباهی صـورت گرفته و داده‌های خام و بدون پیش‌پردازش تولید شده است. به طور کلی سه مشکل اصلی پایش عبارتند از الف) انجام نشدن پایش یا خلأ آماری، ب) خام بودن و عدم پالایش اولیه داده‌های پایش و ج) نامناســـب بودن روش پایش و کم‌اعتبار بودن اندازه‌گیری‌های موجود.

L. تقریبا هیچ‌یک از ایستگاه‌ها به دلیل خراب بودن تشک برف‌سنجی، داده برف‌سنجی قابل اتکایی ندارند. لازم است مشکلات فنی این واحدها برطرف و یا در این خصوص ابزار مناسب جایگزین شود. در برخی حوضه‌ها نظیر هریس و گوربند و کسیلیان (به دلیل انباشت لاشبرگ و بقایا) علیرغم استقرار و سالم بودن واحدهای فرسایش کرت و حتی پین‌های فرسایش هیچ داده‌ای استحصال نشده است. ولیکن خوشبختانه در بیشتر حوضه‌ها کرت‌های فرسایش سالم هستند و قابلیت استحصال داده دارند. در کلیه حوضه‌های معرف و زوجی واحدهای پایش پین از حیز انتفاع خارج هستند و یا در صورت سالم بودن داده‌برداری قابل اتکا و اعتنایی ندارند.

M. روش پایش فرسایش با استفاده از پین‌های فرسایش با کیفیت و روشی که هم‌اکنون در آبخیزهای زوجی انجام می‌شود نامناسب است و داده‌های استحصالی تقریبا در کلیه حوضه‌ها فاقد ارزش فنی است. بدیهی است که این رویه باید اصلاح شود. با توجه به مقیاس کمی کنونی فرسایش در آبخیزهای زوجی و ضریب خطای بالا در این روش، پیشنهاد مشخص استفاده از این واحدها صرفا برای وقایع شدید قابل پیش‌بینی است. به گونه‌ای که بلافاصله قبل و بعد از یک واقعه شدید که پیش‌بینی آن با زیرساخت‌های اطلاع‌رسانی موجود، مقدور است، اندازه‌گیری ارتفاع پین‌ها با کولیس انجام شود تا بتوان اثرات تک‌رگبارهای شدید را در فرسایش ردیابی کرد.

N. در خصوص پایش نفوذپذیری، تقریبا در تمام حوضه‌ها داده‌های پراکنده و عمدتا خام وجود دارد که اطلاعات عمومی از حوضه‌ها را در اختیار قرار می‌دهند. تقریبا در کلیه حوضه‌ها خلأ آماری از نظر پایش کیفیت خاک وجود دارد. مشخصا حتی برخی حوضه‌ها آزمایشات خاک به‌صورت تصادفی در سطح حوضه‌ها انجام نشده است.

O. تقریبا در همه حوضه‌ها، به استثناء طاحونه که جدیداً احداث شده، داده پوشش گیاهی حداقل در دو مقطع از بازه زمانی پایش استحصال شده است. برخی حوضه‌ها واجد داده‌ها منظم و ارزنده‌ای از نظر پوشش گیاهی هستند. از سوی دیگر داده‌برداری در برخی حوضه‌ها در مقاطعی به‌ویژه در سالیان اخیر به دلیل عدم تامین اعتبار مالی لازم متوقف شده‌اند. توصیه می‌شود داده‌برداری با پروتوکل یکسانی برای همه آبخیزهای زوجی در کشور به صورت پیوسته و حداقل یک سال یکبار در زمان اوج رشد رویشی انجام شود. همچنین جهت برخی آنالیزها نظیر انباشته کربن، توصیه می‌شود در آبخیزهای جنگلی نظیر کسیلیان و تنگ‌شول در اواخر پائیز نیز بررسی پوشش گیاهی یک‌بار دیگر توام با نمونه‌گیری از بیوماس و لاشبرگ انجام شود.

علاوه بر نکات مطروحه بالا، برخی از نکات زیر نیز برای بهبود و ارتقا روش‌های پایش قابل توصیه است:

- در تعدادی از حوضه‌ها نظیر کاخک و دهگین، تعداد مناسبی باران‌سنج در چند ارتفاع مختلف نصب شده است. در سایر حوضه‌های کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد، نصب باران‌سنج تجمعی در

ارتفاعات مختلف برای بررسی دقیق‌تر فرایندهای هیدرولوژی حوضه‌های زوجی به تفکیک دو حوضه به‌ویژه در مقیاس رگبارهای شدید ضرورت دارد.

- در کلیه حوضه‌ها واحدهای پایش فرسایش منطبق با شرایط حوضه (تنوع کاربری، هندسه و توپوگرافی حوضه و نیز تیپ پوشش گیاهی و فرسایشی بودن حوضه) از واحدهای پایش بزرگ مقیاس‌تر نظیر دامنه واحد با هندسه طبیعی و آبخیزهای تک منبعی و در مواردی کرت‌های باز فرسایشی استفاده شود و به مرور این واحدها جایگزین کرت‌های استاندارد فرسایش شوند.
- از آنجایی‌که حوضه زوجی به‌عنوان یک آزمایشگاه صحرایی مطرح است، ضروری است هرساله مقدار رسوب پشت مخازن سازه‌های گابیون و خشکه‌چین اندازه‌گیری شود. در این حالت با قراردادن یک ا شل در دیواره سازه امکان اندازه‌گیری سریع میزان تر سیب مواد پشت سازه فراهم می شود. این اطلاعات برای ارزیابی نحوه عملکرد سازه‌ها در کنترل رسوب و هم‌چنین نحوه اثرگذاری سازه (با مقادیر مختلف رسوب) بر خصوصیات آبنمود حوضه بسیار مهم است.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت مالی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور انجام شد که بدینوسیله از م ساعی سازمان مذکور ت شکر و قدردانی می شود. همچنین از همکاری موثر همکاران ادارات کل منابع طبیعی ا ستان‌ها و م سوولین پایش در آبخیزهای دوازده‌گانه معرف و زوجی در ا ستان‌ها کمال ت شکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

- آقابیگی امین، س.، فتاحی، ب. ۱۳۹۶ . برر سی پو شش گیاهی و برخی خ صو صیات خاک بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زوجی گنبد همدان). نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۱(۱): ۱۳ -۲۲.
- اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی. ۱۳۷۹. اصول و مبانی طرح استقرار و راه‌اندازی حوزه‌های معرف و نمایشی در سطح کشور. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی. ۳۲۶ ص.
- اوسطی، خ. ۱۳۹۵. بررسی میزان تشابه فیزیوگرافی حوضه‌های زوجی خامسان با استفاده از سیستم اطلا عات جغرافیایی (GIS)، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، سنندج. https://civilica.com/doc/559194

- بهرامی، ا.، شکل آبادی، م.، اخوان، س. ۱۳۹۱. مدلسازی پویایی کربن آلی خاک با استفاده از مدل Apex در حوضه زوجی گنبد، پایان نامه، وزارت علوم تحقیقات و فناوری، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم کشاورزی، ۱۵ صفحه اول.
- پرویزی، ی.، عرب‌خدری، م.، جزی، ه.، شرافتی، م.، بیات، ر.، رجب‌پور، ع. ۱۴۰۰. کاوش آماری داده‌های اقلیمی و هیدرومتری ا ستح صال شده از حو ضه معرف و زوجی زید شت طالقان، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل. https://civilica.com/doc/1248874
- پرویزی، ی.، عرب‌خدری، م.، جزی، ه.، شرافتی، م.، نبی پی لشکریان، س. ۱۴۰۰. تحلیل همروندی داده‌های حدی هیدرومتری و بارش در حوضه معرف و زوجی زیدشت طالقان. https://civilica.com/doc/1248875
- حسینعلی‌زاده، م.، علی‌نژاد، م. ۱۳۹۹. بررسی کارایی مدل WaTEM/SEDEM جهت برآورد فرسایش آبی و خاک‌ورزی (مطالعه موردی: زیرحوضه نمونه کچیک؛ مراوه‌تپه-استان گلستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷ (۲): ۱۷۸-۱۶۳.
- حسینعلی‌زاده، م.، احمدی، ح.، فیض‌نیا، س.، ریواز، ف.، ناصری، م.ص. ۱۳۹۱ . تعیین فرسایش و رسوب با Cs137 توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل)مطالعه موردی: زیرحوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان(، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۲): ۱-۱۴.
- سلیمان‌پور، س.م.، پرویزی، ی. و تیزمغز، م.ح. ۱۴۰۰ الف. بررسی سیمای کلی فرسایش، رواناب، خاک و پوشش گیاهی در حوضه‌های معرف و زوجی تنگ‌شول استان فارس. مجموعه دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، ۱۹ و ۲۰ خرداد ۱۴۰۰، اردبیل، ایران.
- سلیمان‌پور، س.م.، عرب‌خدری، م.، پرویزی، ی. و تیزمغز، م.ح. ۱۴۰۰ ب. ارزیابی حوزه‌ی آبخیز معرف و زوجی تنگ- شول ا ستان فارس. انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره فروست ۶۰۶۴۳، ۵۱ صفحه.
- صادقی، ح.ر.، فضلی، س.، خالدی درویشان، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی منحنی سنجه رسوب در حوزه آبخیز معرّف خامسان، چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، نور. https://civilica.com/doc/89103
- غفاری گوشه، فهیمه، جمالی، علی اکبر، ۱۳۹۲. بررسی تاثیر اقدامات مکانیکی آبخیزداری برکاهش سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز دهگین استان هرمزگان، نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یزد. https://civilica.com/doc/246737

- میرزایی، ه.، جنیدی جعفری، ح.، کرمی، پ. ۱۴۰۰. کاربست عوامل مدیریتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در مراتع منطقه خامســـان، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صـــیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل. https://civilica.com/doc/1248744
- مهران، ز.، جعفری، م.، جوادی، س.ا.، چپی، ک. ۱۳۹۰. برر سی تغییرات در صد تاج پو شش گیاهی کل در شـرایط قرق و غیرقرق منطقه مورد مطالعه مراتع خامسـان شـهرسـتان کامیاران، نخسـتین همـا یش م لی جهـاد ا قتصـــادی در عرصـــه کشـــاورزی و منـا بع ط ب یـ عی، قم، https://civilica.com/doc/176016
- نی سی، ح.، خادم الر سول، ع.، عامری خواه، ه. ۱۴۰۰. تهیه‌ی نق شه‌ی توزیع مکانی فر سایش آبی و ر سوب متاثر از الگوریتم‌های مختلف شیب، تو سط مدل WaTEM/SEDEM در حو ضه‌ی زوجی شوش. آب و خاک. doi: 10.22067/jsw.2020.14940.0
- Cook, T. (2021), Big benefits from experimental watersheds, Eos, 102, https://doi.org/10.1029/2021EO154161. Published on 18 February 2021.
- Steiner, J.L.; Strickland, T.; Kleinman, P.J.A.; [and others]. 2015. The Long-Term Agro-ecosystem Research (LTAR) network: Shared research strategy. Proceedings of the 5th Interagency Conference on Research in the Watersheds, North Charleston, SC: xx-xx.

پهنه بندی حساسیت و اولویت‌بندی عوامل موثر بر وقوع سیل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرج - شور)

سجاد زیوری عارف[*۱]، سیاوش ذاکری[۲] و امید اسدی نلیوان[۳]
۱* کارشناس آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز
sajad.zivari.aref@gmail.com
۲ رئیس اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان کرج siavashzakeri2014@gmail.com
۳ دانش آموخته دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
omid.asadi@ut.ac.ir

چکیده
حوزه آبخیز کرج - شور در استان البرز به‌دلیل دارا بودن شرایط خاص توپوگرافیکی، زمین‌شناختی و اقلیمی مستعد وقوع سیل‌های ویرانگر می‌باشد. هدف از این تحقیق تعیین مناطق دارای پتانسیل حساسیت سیل و اولویت‌بندی عوامل موثر بر آن با استفاده از روش حداکثر آنتروپی می‌باشد. ۱۴ عامل موثر بر پتانسیل سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، سنگ‌شناسی، بارندگی، کاربری اراضی، SPI، TPI، TWI، انحناء توپوگرافی، طول شیب و RSP انتخاب و تست هم-خطی عوامل با آزمون فاکتور تورم واریانس در نرم‌افزار SPSS بررسی شد. از مجموع ۱۲۵ نقطه سیل، به صورت تصادفی ۷۰ درصد به عنوان داده‌های آزمون و ۳۰ درصد به عنوان داده‌های اعتبارسنجی طبقه‌بندی شدند. همچنین جهت تعیین مهمترین پارامترها از نمودار جکنایف استفاده شد. از منحنی تشخیص عملکرد نسبی جهت قدرت پیش‌بینی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد که، هم‌خطی بین عوامل مورد استفاده وجود ندارد و لذا کلیه عوامل در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بر اساس نمودار جکنایف لایه‌های فاصله از آبراهه، RSP، TWI و انحنای توپوگرافی به‌ترتیب مهمترین عوامل موثر بر حساسیت و احتمال وقوع سیل بودند. بر اساس سطح زیر منحنی و نمودار ROC میزان دقت پیش‌بینی مدل در بخش آموزش عالی (۰/۹۲۹) و در بخش اعتبارسنجی عالی (۰/۹۲۷) بوده است. بر اساس نقشه نهایی حساسیت سیل ۳۱/۱۹ درصد از پهنه حوزه مورد مطالعه دارای پتانسیل حساسیت سیل زیاد و خیلی زیاد می‌باشد.

واژگان کلیدی:
حداکثر آنتروپی، کرج - شور، حساسیت سیل، پهنه‌بندی

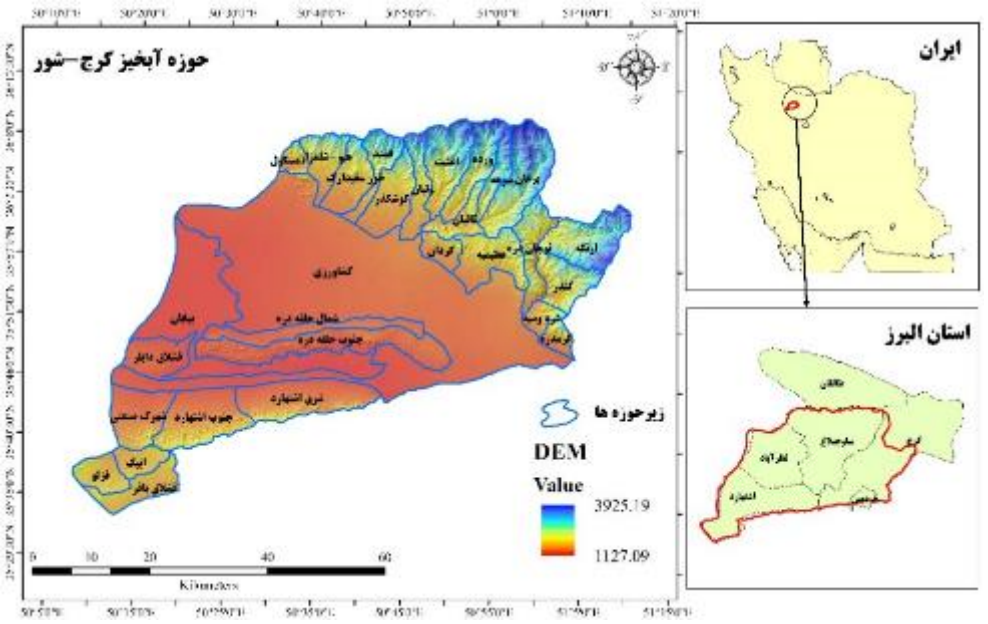
مقدمه

سیلاب یکی از مخاطراتی است که هرساله انسان‌های زیادی را در سراسر جهان با استفاده از خطرات و پیامدهای خود تهدید می‌کند. بر ا ساس تحقیقات کوهور ست و همکاران مبتنی بر آنالیز داده‌های ۱۰۰ ساله خطرات طبیعی، سیل شایع‌ترین رخداد طبیعی در جهان محسوب می‌شود (Koehorst و همکاران، ۲۰۰۵). بردا شت شن و ما سه از رودخانه‌ها و در نتیجه به هم ریختگی اکو سیستم رودخانه و همچنین عدم توجه به مدیریت مناطق بالاد ست و منابع طبیعی م شکلات بسیار زیادی به‌همراه دا شته ا ست که یکی از پیامدهای مهم این امر سیلاب‌های ویرانگر سال‌های اخیر بوده است. به‌دلیل محدودیت‌های مالی و بودجه‌های عمرانی، کنترل سیلاب با استفاده از روش‌های سازه‌ای همیشه امکان‌پذیر نیست و استفاده از روش‌های غیر سازه‌ای می‌تواند گره‌گشای م شکلات امروز در زمینه سیلاب شود. یکی از این روش‌ها، تکنیک‌های یادگیری ماشینی است که در سال‌های اخیر به‌صورت کاملا کاربردی در بحث‌ای پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های حساسیت سیل مورد ا ستفاده قرار گرفته ا ست (Mohammadi و همکاران؛ ۲۰۲۰؛ Costache، ۲۰۱۹؛ Tehrany و همکاران، ۲۰۱۹؛ Toda و همکاران، ۲۰۱۷؛ Mosavi و همکاران، ۲۰۱۸؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۹، Razavi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Tien Bui و همکاران، ۲۰۱۹). اخیراً در کشور ایران، پدیده سیل بیش از آن که یک پدیده طبیعی تلقی شود، از عوارض به هم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی منطقه می‌باشد به طوری که بارش‌های معمولی نیز موجب جاری شدن سیلاب می‌گردد. با توجه به اینکه فرآیندهای ایجاد سیل متعدد بوده و متاثر از عوامل مختلفی ا ست و پدیده سیل ماهیت چندبعدی و پویا دارد، قطعاً تمامی عوامل طبیعی، انسانی و سازمانی-مدیریتی در کنار یکدیگر بر بزرگی، شدت، گ ستره و تداوم سیل تاثیر خواهند دا شت. م سلم ا ست ذکر یک عامل به‌عنوان علت اصلی وقوع سیل، ساده انگارانه بوده و بلکه موجب فاصله گرفتن از ریشه‌یابی جامع خواهد شد که به نوبه خود مانع توفیق در آ سیب شنا سی و در نتیجه ناکارا شدن برنامه‌ریزی‌های آینده برای مدیریت سیل خواهد شد. در سال‌های اخیر تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و یادگیری ماشینی در مقایسه با روش‌های سنتی در زمینه تعیین مناطق حساس به سیل که زمان‌بر هستند، دارای کارایی بالایی بوده‌اند و باعث افزایش دقت و سرعت در زمینه ارزیابی و پتانسیل سیل شده‌اند. (رحمان و همکاران، ۲۰۱۹) در تحقیقی با اس تفاده از روش های یادگیری ماشینی (ANN, LR, FR) و ت صمیم‌گیری چندمعیاره (AHP) به ارزیابی ح سا سیت سیل در بنگلادش پرداختند. آنها جهت انجام این مطالعه از ۱۰ شاخص موثر بر سیل استفاده کردند و در نهایت بر اساس مقدار AUC روش LR نسبت به دیگر روش‌ها کارایی بهتری داشت. همچنین آنها روش‌های مذکور را یک فرصت مناسب برای ارزیابی سیل در سایر مناطق معرفی کردند. (آزادی و همکاران، ۱۳۹۹) به پهنه‌بندی ح سا سیت خطر سیل با ا ستفاده از دو مدل WoE و EBF در حوزه آبخیز رودخانه ک شکان پرداختند. آنها از ۱۴ عامل موثر بر سیل ا ستفاده کردند و در نهایت با توجه به مقدار AUC بیان کردند که مدل EBF برتری دارد

و نتایج مدل را در شناسایی مناطق دارای حساسیت سیل مثبت ارزیابی کردند. جمع‌بندی مرور منابع نشان‌دهنده اهمیت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل جهت مدیریت آن با توجه به خسارات گسترده سیل و همچنین توانایی بالای روش‌های یادگیری ما شینی در این امر مهم و حیاتی می‌با شد. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی حساسیت سیل در حوزه آبخیز کرج-شور به‌عنوان یک حوزه سیل‌خیز در استان البرز و همچنین تعیین و اولویت‌بندی عوامل موثر بر سیل است.

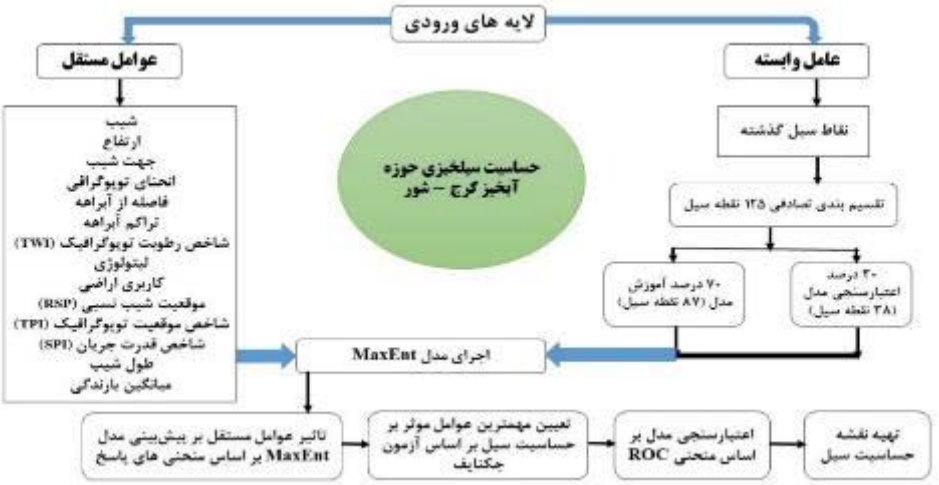
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز کرج - شور در استان البرز و بین مختصات جغرافیایی (بین¥۱۰ ۵۰˚ الی¥۲۰ ۵۱˚ طول شرقی و¥۳۰ ۳۵˚ الی¥۱۰ ۳۶˚ عرض شمالی) با وسعتی معادل ۳۲۵۵۳۴/۳ هکتار به‌عنوان یکی از زیرآبخیزهای بزرگ فلات مرکزی با دامنه ارتفاعی بین ۱۱۲۷ و ۳۹۲۵ متر انجام شد (شکل ۱). این محدوده در داخل شهرستان‌های کرج، ساوجبلاغ، فردیس، نظرآباد و اشتهارد قرار دارد. بیشترین و کمترین مقدار بارندگی متوسط سالانه به‌ترتیب ۹۴۵ و ۱۹۲ میلی‌متر محاسبه شده است. در شکل ۱ نقاط سیل و تقسیم‌بندی آنها به دو بخش آموزشی و اعتبارسنجی جهت مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت سیل‌خیزی نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه کرج-شور در ایران و استان البرز

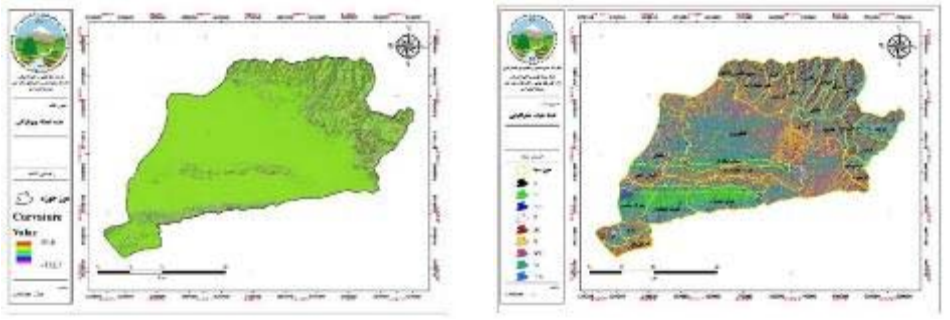
در تحقیق حاضر جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل از ۱۴ شاخص (جدول ۱) موثر بر وقوع سیلاب شامل ارتفاع (متر)، شیب (درصد)، جهت شیب، طول شیب (متر)، انحنای توپوگرافی، فاصله از آبراهه (متر)، تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومترمربع)، لیتولوژی، بارندگی (میلی‌متر)، کاربری اراضی، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، شاخص موقعیت توپوگرافیک (TPI)، موقعیت شیب نسبی (RSP) و شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) استفاده شده است (Choubin و همکاران، ۲۰۱۹؛ Darabi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Mohammadi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Chen و همکاران، ۲۰۱۹؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۹؛ Nachappa و همکاران، ۲۰۲۰؛ Razavi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Tien Bui و همکاران، ۲۰۱۹). در این تحقیق از مجموع ۱۲۵ نقطه سیل رخ داده در گذشته (دوره بازگشت ۵ الی ۲۵ سال)، به‌صورت تصادفی ۳۸ نقطه سیل (۳۰ درصد) به عنوان داده‌های اعتبارسنجی و ۸۷ نقطه سیل (۷۰ درصد) به‌عنوان داده‌های آزمون (آموزش) طبقه‌بندی شدند (شکل ۱). لازم به ذکر است که نقاط سیل حوزه مورد مطالعه از بانک اطلاعاتی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و همچنین به کمک معاون محترم آبخیزداری اداره کل و کارشناسان مجرب آن مجموعه تهیه شده است. شکل ۲ نمودار جریانی مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

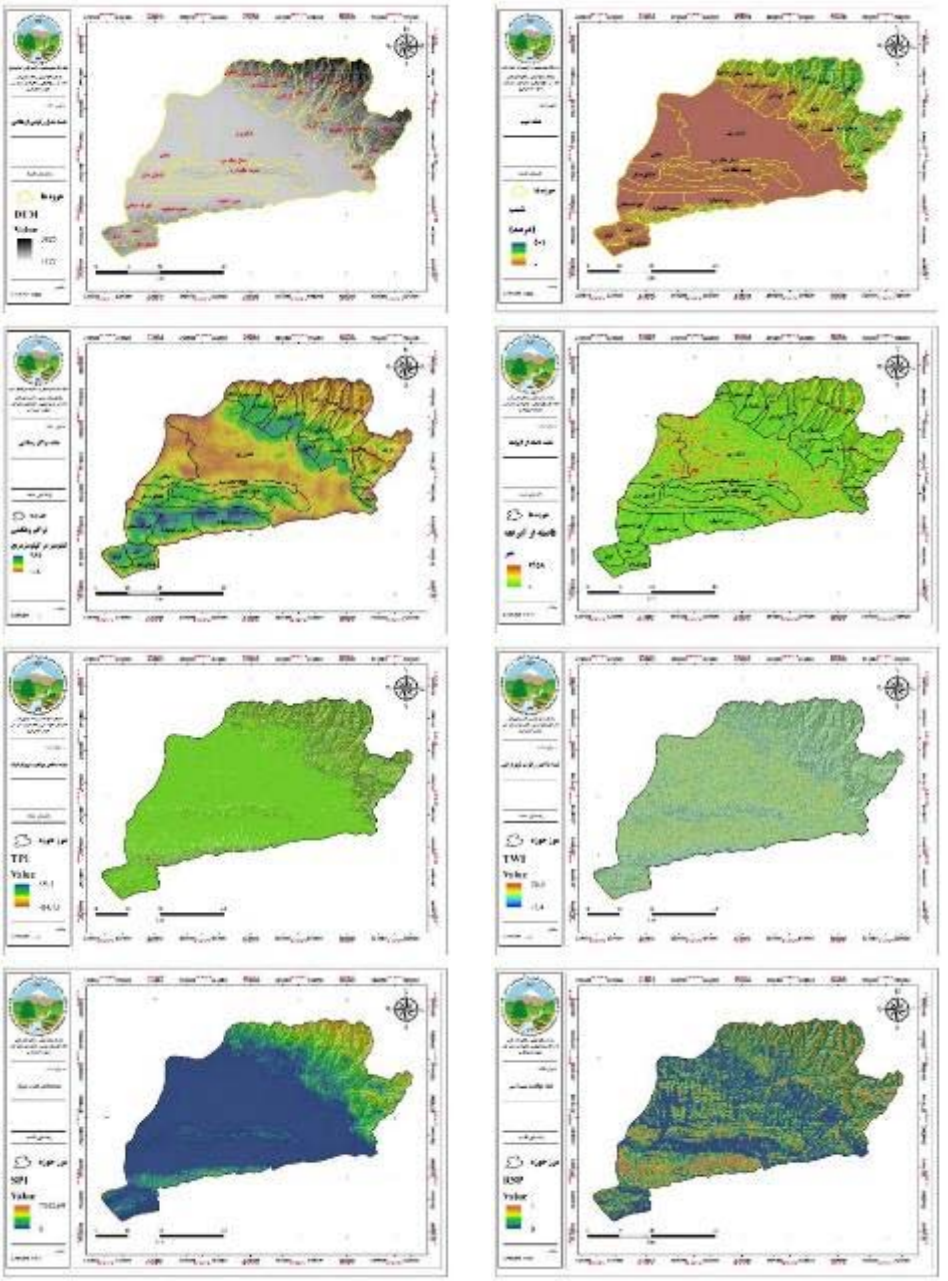


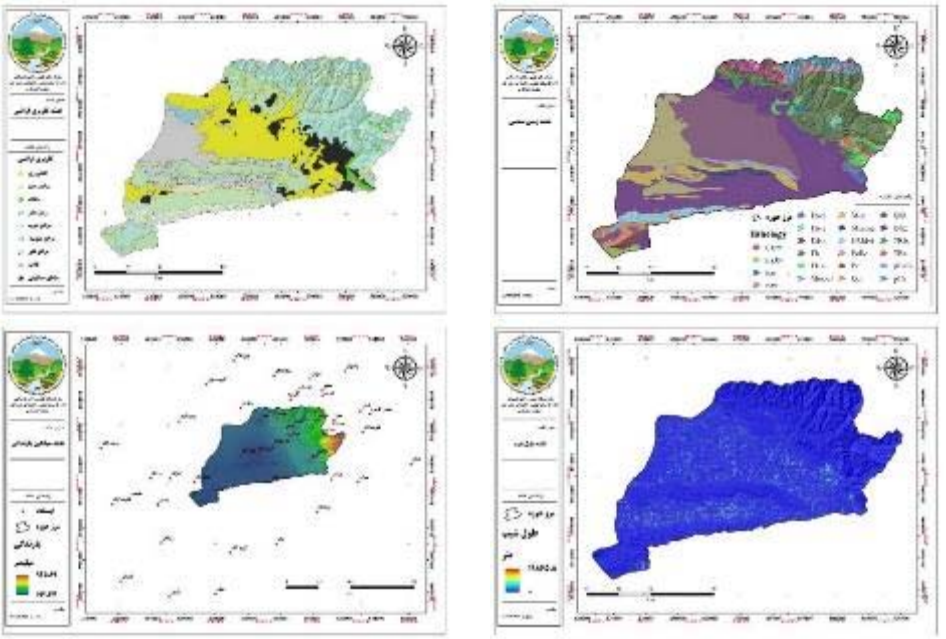
شکل ۲- نمودار جریانی مراحل تحقیق

ابتدا لایه مدل رقومی ارتفاعی با ا ستفاده از نقاط ارتفاعی و خطوط تراز در ابعاد ۱۰*۱۰ متر تهیه شد. ارتفاع بر روی تغییرات بارندگی، تغییرات دمایی، میزان هوازدگی و پوشش گیاهی تاثیرگذار است (Chen و همکاران، ۲۰۱۸) و از این طریق به‌صورت غیرمستقیم بر وقوع سیلاب تاثیرگذار است. لایه‌های شیب، جهت شیب و انحنای توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و به‌ترتیب از توابع

Slope، Aspect و Curvature تهیه شـــدند. افزایش شـــیب زمین باعث کاهش میزان آب نفوذی به زمین و افزایش رواناب می‌شود (Deng و همکاران، ۲۰۱۶). جهت شیب بر روی میزان دریافت بارندگی، هوازدگی و توسعه پوشش گیاهی، اثرات باد و تبخیر و تعرق، میزان رطوبت و میزان دریافت نور خورشید اثرگذار ا ست و بر همین ا ساس نوع پو شش گیاهی و توزیع آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Muniraj و همکاران، ۲۰۱۹؛ Tehrany و همکاران، ۲۰۱۷). انحنای توپوگرافی بر روی تجمع و پراکندگی جریان در شـــیب‌های مقعر و محدب (هم‌گرایی و واگرایی جریان) و ســـرعت جریان ســـطحی تاثیرگذار اســـت (Naghibi و همکاران، ۲۰۱۷). شیب‌های محدب باعث تشدید سیلاب می‌شوند. لایه فاصله از آبراهه بر ا ساس نقشه آبراهه‌ها (ا ستخراج از نرم‌افزار SAGA GIS) و با ا ستفاده از تابع Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شـد. لایه تراکم آبراهه بر اسـاس نقشـه آبراهه‌ها و با اسـتفاده از تابع Line Density در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. تراکم زهکشی بالا باعث کاهش نفوذ و افزایش رواناب سطحی می‌گردد و لذا مناطق دارای تراکم زهکشی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای ایجاد سیل برخوردار هستند. تراکم آبراهه بیشـــتر باعث افزایش رواناب و به تبع آن افزایش فرســـایش از طریق افزایش قدرت جریان آبراهه در پایین دست می‌شود (Conoscenti و همکاران، ۲۰۱۸). نقشه بارندگی با استفاده از اطلاعات ۱۳۸ ایستگاه باران سنجی تهیه شده ا ست. ابتدا میانگین بارندگی ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) برای هر ایستگاه محاسبه شد و سپس با استفاده از روش کریجینگ جهانی (به‌دلیل کمترین میزان RMSE) در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی بارندگی انجام گرفت. لازم به ذکر است که بارندگی‌های با شدت زیاد و در مدت زمان کم یکی از ا صلی‌ترین دلایل سیل در بیشتر مناطق ایران ا ست که حوزه آبخیز کرج - شور نیز از این قاعده مستثنی نیست. لایه طول شیب با ا ستفاده از نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد (شکل ۳).




DEM
TPI
TWI
SPI
RSP



شکل ۳- عوامل مورد استفاده جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل

به‌طور کلی، زمین شنا سی نقش مهمی در مطالعات ح سا سیت سیل به‌دلیل ح سا سیت‌های مختلف واحدهای سنگ شنا سی به فرآیندهای هیدرولوژیکی دارد. سنگ شنا سی به‌عنوان یک عامل مهم در تغییرات مکانی و زمانی زهکشی، هیدرلوژی و تولید رسوب حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود (Miller و همکاران، ۱۹۹۰). واحدهای زمین‌شناسی از طریق افزایش و کاهش نفوذپذیری باعث کاهش و افزایش ح سا سیت سیل می شوند. وجود ۲۲ نوع واحد سنگ شنا سی در سطح حوزه ن شان‌دهنده تنوع بالای واحدهای زمین شنا سی و سازندهای متفاوت می‌با شد. لایه کاربری ارا ضی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز دریافت شده است و به کمک کارشناسان مربوطه در برخی مناطق اصلاحاتی بر روی آن انجام شده ا ست. کاربری ارا ضی جز شاخص‌های اکولوژیک د سته‌بندی می شود و به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی فرآیندهای هیدرولوژیک مثل نفوذپذیری، تبخیر و تعرق و تولید رواناب و سیل تأثیرگذار است (Nachappa و همکاران، ۲۰۲۰). لایه‌های موقعیت شیب نسبی[1]، شاخص موقعیت توپوگرافیک[2]، شاخص قدرت آبراهه[3]، شاخص رطوبت توپوگرافیک[4] و طول شیب با استفاده

1 .Relative Slope Position
2 .Topographic Position Index
3 .Stream Power Index
4 .Topographic Wetness Index

از نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شدند. شاخص RSP نشان‌دهنده موقعیت شیب هر سلول و موقعیت نسبی آن بین کف دره تا خط‌الراس است (رابطه ۱).

رابطه (۱)
$$RSP = \left(\frac{z(s)-z(s)_v}{z(s)_r-z(s)_v}\right) \times 100 + 0.5$$

که در آن $Z(s)$: ارتفاع؛ $z(s)_v$: ارتفاع دره؛ $z(s)_r$: ارتفاع خط‌الراس. شاخص TPI تفاوت بین پیکسل مرکزی و میانگین سلول‌های اطراف را نشان می‌دهد (Yeh و همکاران، ۲۰۱۶). (رابطه ۲).

رابطه (۲)
$$TPI = Z_0 - \frac{\sum_{1-n} Z_n}{n}$$

که در آن Z_0: ارتفاع نقطه تحت ارزیابی؛ Z_n: ارتفاع شبکه اطراف نقطه تحت ارزیابی؛ n: تعداد کل نقاط مورد استفاده در ارزیابی. مقادیر مثبت نشان‌دهنده خط‌الرس‌ها و مقادیر منفی نشان‌دهنده دره‌ها و چاله‌های محلی و مقادیر صفر نشان‌دهنده مناطق مسطح و جایی که شیب صفر است می‌باشد. شاخص SPI نشان‌دهنده قدرت جریان آبراهه (رابطه ۳) است و افزایش آن باعث کاهش نفوذ و افزایش گل‌آلودگی می‌شود.

رابطه (۳)
$$SPI = A_s * \operatorname{Tan} \beta$$

A_s: مساحت حوزه آبخیز و β: گرادیان شیب بر حسب درجه است.

شاخص رطوبت توپوگرافی به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (رابطه ۴):

رابطه (۴)
$$TWI = IN\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right)$$

که در آن As مساحت شیب‌های بالایی که به وسیله یک سلول زهکشی می‌گردد و β شیب به درجه می‌باشد. شاخص TWI تأثیر توپوگرافی بر تولید روان‌آب را به‌صورت کمی نشان می‌دهد و مکان مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را برآورد می‌کند (Arulbalaji و همکاران، ۲۰۱۹). اگر مقدار آن بالا باشد بدین معناست که مساحت بالادست پیکسل زیاد و شیب کم است که باعث افزایش نفوذ آب می‌شود (Mokarram و. همکاران، ۲۰۱۵) و در نتیجه آن مناطق دارای رطوبت زیاد در هنگام بارندگی می‌توانند باعث تشدید سیلاب شوند. شاخص طول شیب بر تشدید مقدار و قدرت سیل تاثیرگذار است و طول شیب‌های بیشتر در صورت فراهمی شرایط (نوع خاک نفوذناپذیر و شیب زیاد و عدم پوشش گیاهی) باعث گسترش سیلاب می‌شوند.

مدل حداکثر آنتروپی (Maximum Entropy) و ارزیابی کارایی مدل

در این تحقیق با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و به کمک نرم‌افزار MaxEnt نواحی دارای پتانسیل سیل مدل‌سازی شد. مدل حداکثر آنتروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشینی است که به‌صورت گسترده در سال‌های اخیر برای پتانسیل سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گرفته است و مبتنی بر نقاط حضور می‌باشد. مزیت این روش آن است که برای پیش‌بینی رفتار یک گونه یا پدیده نیاز به نقاط عدم حضور آن گونه یا پدیده ندارد بلکه از یک سری عوامل تاثیرگذار و هم‌چنین نقاط حضور آن پدیده (نقاط سیل برای مدل سازی) استفاده می‌کند. استفاده از مدل‌هایی که تنها نیازمند داده‌های حضور (نقاط سیل) هستند، می‌تواند از خطاهای حاصل از بکارگیری داده‌های عدم حضور اشتباه، جلوگیری کند. در این روش همبستگی عوامل موثر در وقوع سیل با شواهد سیل محاسبه شده و با همبستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی از منطقه به عنوان نقاط زمینه (مناطق شبه عدم حضور سیل) مقایسه می‌گردد (Philips و همکاران، ۲۰۰۶). در نهایت مدلی بدست می‌آید که دارای بیشترین قدرت تشخیص مناطق مستعد وقوع سیل می‌باشد. نقشه نهایی بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج کلاس (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) کلاسه‌بندی گردید. یکی از مهمترین مزایای مدل MaxEnt قابلیت این مدل در شناسایی مهمترین متغیرهای تاثیرگذار و تحلیل حساسیت متغیرها به روش Jackknife می‌باشد (Philips و همکاران، ۲۰۰۶). که در این تحقیق این مهم انجام شده است. ارزیابی این مدل با استفاده از منحنی ROC امکان‌پذیر است که سطح زیر نمودار AUC به‌دست آمده به‌عنوان معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقاط حضور و عدم حضور مورد توجه قرار می‌گیرد (Philips و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به مرور منابع انجام شده مقدار AUC به صورت زیر قابل طبقه‌بندی می‌باشد: ضعیف (۰/۵ – ۰/۶)؛ متوسط (۰/۶-۰/۷)؛ خوب (۰/۷– ۰/۸)؛ خیلی خوب (۰/۸– ۰/۹) و عالی (۰/۹ -۱).

نتایج

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد ابتدا تست هم‌خطی بین پارامترها انجام گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که بین پارامترها هم خطی وجود ندارد و لذا کلیه پارامترها در روند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- نتایج آنالیز تست هم‌خطی بین پارامترهای مورد استفاده در تحقیق

پارامترها	Tolerance	VIF
شیب	۰/۹۷۵	۱/۱۹۲
لیتولوژی	۰/۹۲۹	۱/۲۶۵
انحنای سطح	۰/۸۳۸	۱/۲۸۱
ارتفاع	۰/۷۱۲	۱/۳۱۳
کاربری اراضی	۰/۶۸۸	۱/۵۳۴
بارندگی	۰/۵۹۶	۱/۶۵۹
فاصله از جاده	۰/۵۹۱	۱/۹۹۳
فاصله از گسل	۰/۴۸۷	۲/۲۶۵
جهت شیب	۰/۴۵۲	۲/۴۵۴
فاصله از آبراهه	۰/۳۶۹	۲/۶۸۷
شاخص رطوبت توپوگرافیک	۰/۳۲۴	۲/۸۹۱

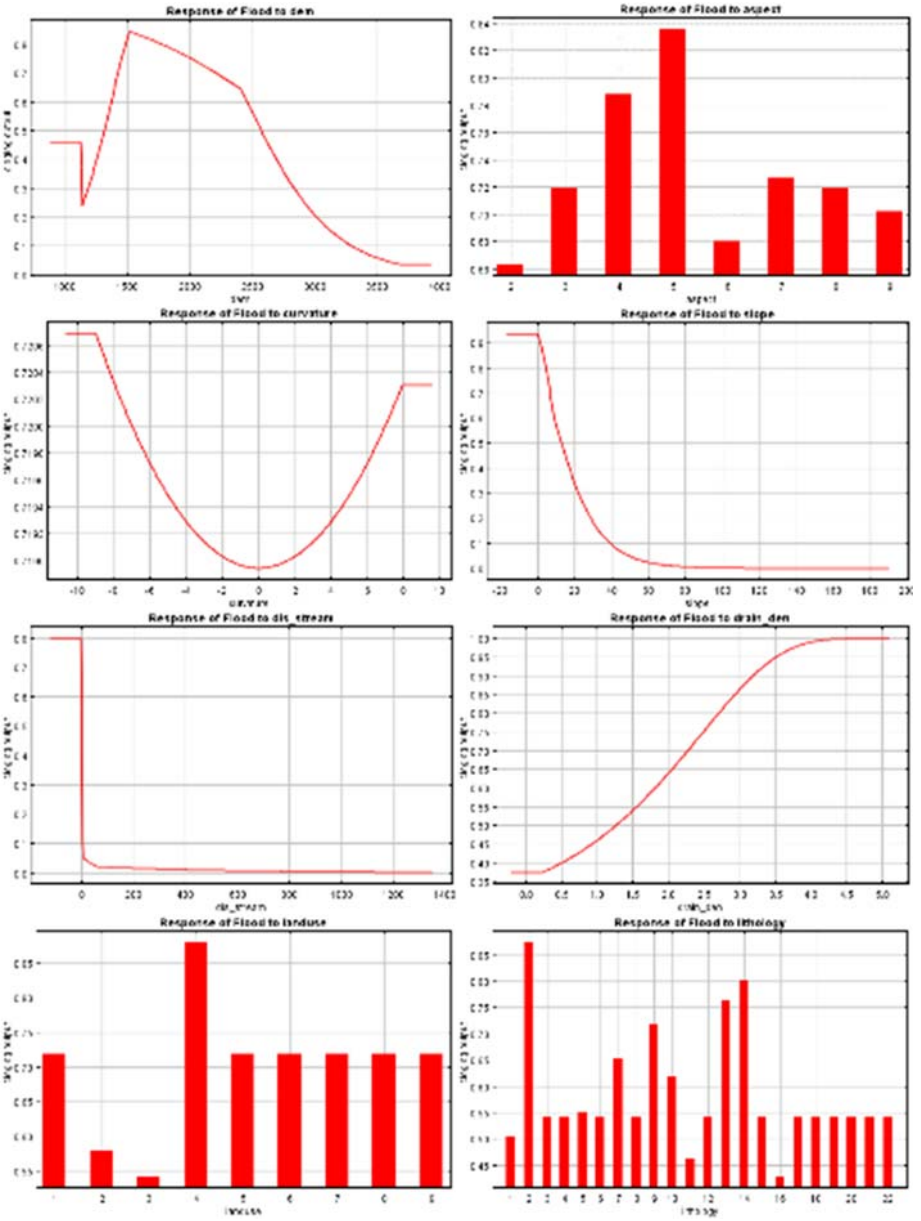
شکل ۴ منحنی پاسخ تغییرات پارامترهای مورد استفاده جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ تغییرات ارتفاع نشان داد که با افزایش ارتفاع از ۱۱۰۰ الی ۱۵۰۰ متری میزان حساسیت و احتمال وقوع سیل بیشتر شده و از ارتفاع ۱۵۰۰ متری به بالا کاهش حساسیت سیل اتفاق افتاده است. با توجه به اینکه بارندگی‌های سطح حوزه در پایین‌ترین نقطه ارتفاعی حوزه با همدیگر تجمیع می‌شـــوند انتظار می‌رود که در ارتفاعات پایین‌تر حساسیت سیل افزایش پیدا کند (Kanani-Sadat و همکاران، ۲۰۱۹). منحنی پاسخ پارامتر جهات شیب جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ جهت شیب نشان داد که در دامنه‌های رو به شمال، شمال شرق و شرق حساسیت سیل افزایش پیدا کرده است که از دلایل آن افزایش بارندگی و نگهداشت رطوبت (افزایش شـاخص TWI) در این جهات می‌باشـد. منحنی پاسـخ تغییرات شـیب نشـان داد که با افزایش شـیب حساسیت سیل کاهش پیدا کرده است. یکی از دلایل این امر صرفا در حوزه مورد مطالعه می‌تواند وجود سازندهای نفوذپذیر در شیب‌های بالا باشد. منحنی پاسخ تغییرات انحنای توپوگرافی نشان داد که با افزایش انحنا تا سطح صفر میزان حساسیت سیل کاهش پیدا کرده است (مناطق تجمیع آب در مناطق دارای چاله و مناطق مقعر). افزایش انحنا به معنای افزایش مناطق محدب در سطح حوزه است که باعث افزایش و تسریع در تمرکز جریان می‌شوند که تشدید سیل را به همراه دارد. منحنی پاسخ پارامتر فاصله از آبراهه جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ فاصله از آبراهه نشان داد که با افزایش فاصله از آبراهه میزان حساسیت

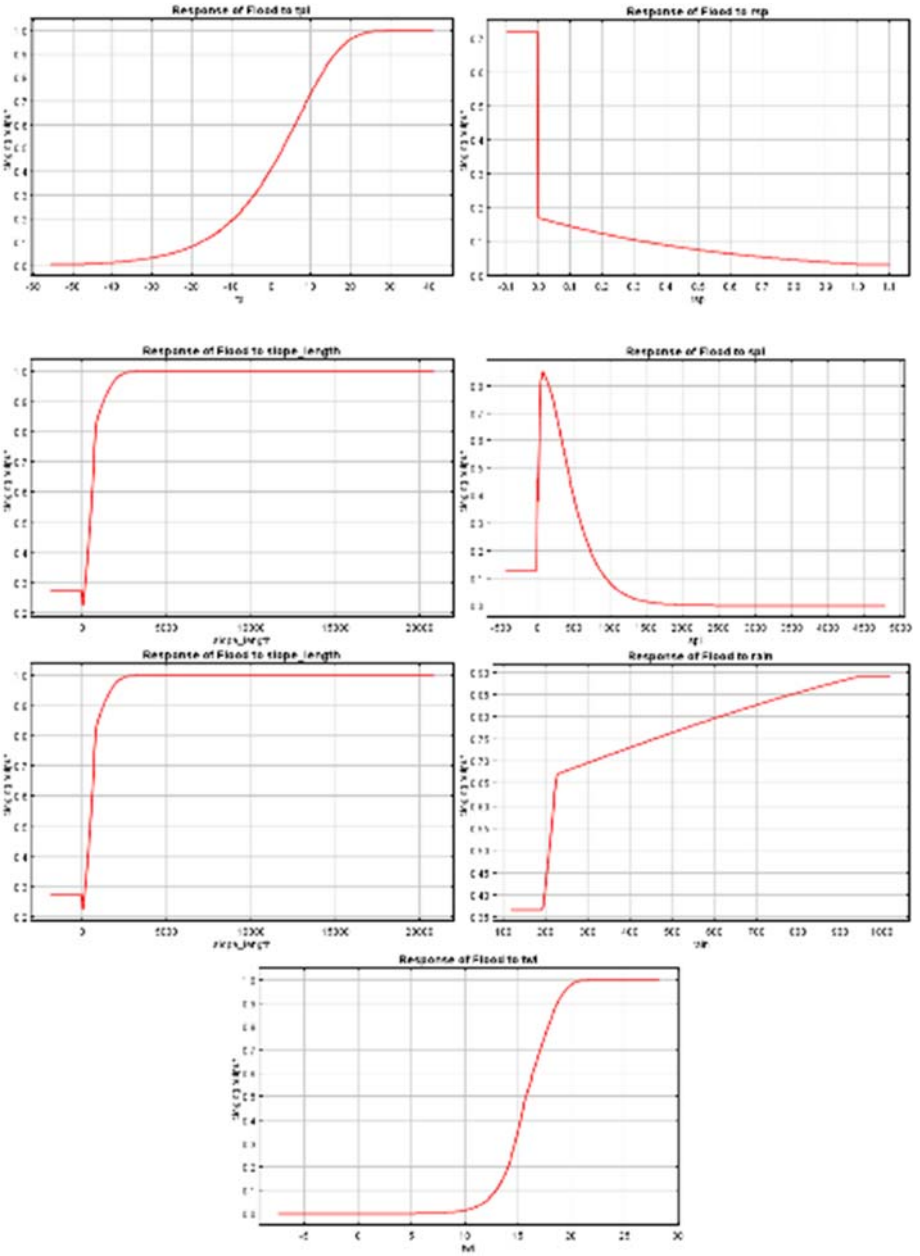
سیل کاهش پیدا می‌کند. به دلیل اینکه بیشتران میزان تجمع جریان در آبراهه اتفاق می‌افتد و به همین خاطر افزایش فاصله از آبراهه کاهش حساسیت سیل را به دنبال دارد. منحنی پاسخ تراکم آبراهه نشان داد که با افزایش میزان تراکم آبراهه‌ها میزان حساسیت سیل افزایش پیدا می‌کند. از دلایل این امر می‌توان به کاهش زمان تمرکز در سطح حوزه اشاره کرد که هر چقدر تراکم آبراهه افزایش پیدا کند جریان‌های سطحی زودتر تجمع پیدا می‌کنند و باعث افزایش میزان حساسیت سیل می شوند. منحنی پاسخ لیتولوژی نشان داد که واحدهای شیل توفی و توف سبز (سازند کرج)، توف آندزیتی، توف آتشفشانی بازالت، سنگ آهک خاکستری تیره با بستر متوسط تا ضخیم (آهک روته)، واحد دولومیت و سنگ آهک ضخیم، چرت با مخلوط شیل ضخیم (سازند سلطانیه) بیشترین اثر را بر میزان حساسیت سیل داشته‌اند. از دلایل افزایش میزان حساسیت سیل در این واحدها کاهش نفوذپذیری آب و همچنین وجود رخنمون سنگی در این مناطق است. منحنی پاسخ کاربری اراضی نشان داد که بیشترین میزان حساسیت سیل در کاربری‌های کشاورزی و مراتع متوسط اتفاق افتاده است. از دلایل افزایش میزان حساسیت سیل در مراتع متوسط می‌توان به کاهش میزان پوشش گیاهی و افزایش میزان روان‌آب به دلیل افزایش رخنمون سنگی در این مناطق اشاره کرد. منحنی پاسخ موقعیت شیب نسبی نشان داد که با افزایش موقعیت شیب نسبی میزان حساسیت سیل کاهش پیدا می‌کند. یکی از دلایل این امر این است که با افزایش RSP به مناطق خط‌الراس نزدیک می شویم که در این مناطق بیشتر حالت صخره سنگ دارند و همچنین در این مناطق به دلیل عدم نفوذپذیری و تجمع و هدایت جریان به سمت مناطق خط‌القعر به مرور میزان حساسیت سیل افزایش پیدا می‌کند. منحنی پاسخ شاخص قدرت آبراهه نشان داد که با افزایش میزان شاخص قدرت آبراهه میزان حساسیت سیل کاهش پیدا کرده است که از دلایل آن افزایش عرض آبراهه‌ها و در نتیجه کاهش عمق جریان می‌تواند باشد. منحنی پاسخ پارامتر شاخص موقعیت توپوگرافیک جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ شاخص موقعیت توپوگرافیک نشان داد که با افزایش شاخص موقعیت توپوگرافیک افزایش میزان حساسیت سیل اتفاق افتاده است. منحنی پاسخ پارامتر طول شیب جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ طول شیب نشان داد که با افزایش میزان طول شیب میزان حساسیت سیل افزایش پیدا می‌کند. از دلایل این امر می‌توان به تجمع بیشتر جریان در طول شیب‌های بیشتر و همچنین افزایش قدرت و سرعت جریان اشاره کرد. منحنی پاسخ پارامتر طول شیب جهت تعیین مناطق دارای حساسیت سیل و نحوه اثر آن بر روی پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ طول شیب نشان داد که با افزایش میزان طول شیب میزان حساسیت سیل افزایش پیدا می‌کند. از دلایل این امر می‌توان به تجمع بیشتر جریان در طول شیب‌های بیشتر و همچنین افزایش قدرت و سرعت جریان اشاره کرد. منحنی پاسخ میزان بارندگی نشان داد که با افزایش میزان بارندگی

میزان حساسیت سیل افزایش پیدا کرده است. افزایش بارندگی به‌صورت رگباری و در مدت زمان کوتاه (بارندگی غالب منطقه مورد مطالعه) یکی از دلایل اصلی افزایش حساسیت سیل در حوزه مورد مطالعه است. منحنی پاسخ شاخص رطوبت توپوگرافی نشان داد که با افزایش میزان شاخص رطوبت توپوگرافی افزایش میزان حساسیت سیل اتفاق افتاده است. از دلایل افزایش میزان حساسیت سیل در اثر افزایش شاخص رطوبت توپوگرافی می‌توان به کاهش میزان نفوذ پذیری (افزایش رطوبت خاک) و افزایش روان‌آب و در نتیجه تشدید میزان حساسیت سیل اشاره کرد. شکل ۵ نتایج حاصل از نمودار جکنایف جهت تعیین مهمترین پارامترهای تاثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها را در پیش‌بینی مدل MaxEnt نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به‌ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، موقعیت شیب نسبی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، انحنای توپوگرافیک، شاخص موقعیت توپوگرافیک، شیب، شاخص قدرت آبراهه، لیتولوژی، طول شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، بارندگی و جهت شیب مهمترین عوامل تاثیرگذار بر میزان حساسیت سیل‌خیزی هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای حساسیت سیل تاثیرگذار بوده‌اند. این نتایج بیانگر این است که تمامی عوامل بر حساسیت سیل تاثیرگذار هستند و در هر منطقه‌ای با توجه به شرایط محیطی یکی یا چندتا از عوامل نقش مهمتری ایفا می‌کنند که نشان‌دهنده پیچیدگی حساسیت وقوع سیل و تاثیرپذیری از عوامل مختلف است. در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های توپوگرافی و عوامل هیدرولوژی بیشترین تاثیر را در افزایش حساسیت سیل داشته‌اند. شکل ۶ نتایج حاصل از قدرت پیش‌بینی مدل بر اساس مقادیر ROC را در دو بخش آموزش و اعتبار سنجی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۲۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۲۷) عالی بوده است. لذا با توجه به نتایج می‌توان به پیش‌بینی مدل اعتماد کرد. در نهایت زیرحوزه‌های حوزه آبخیز کرج- شور جهت اقدامات عملیات آبخیزداری (بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی) بر اساس میزان حساسیت سیل اولویت‌بندی شدند (جدول ۳). بر اساس این جدول و میزان حساسیت سیل به‌ترتیب زیرحوزه‌های کندر، ارنگه، عظیمیه و نوجان‌دره سر در اولویت میزان حساسیت سیل هستند و زیرحوزه‌های گرمدره، قشلاق دایلر و قشلاق باقر دارای کمترین میزان حساسیت سیل هستند.

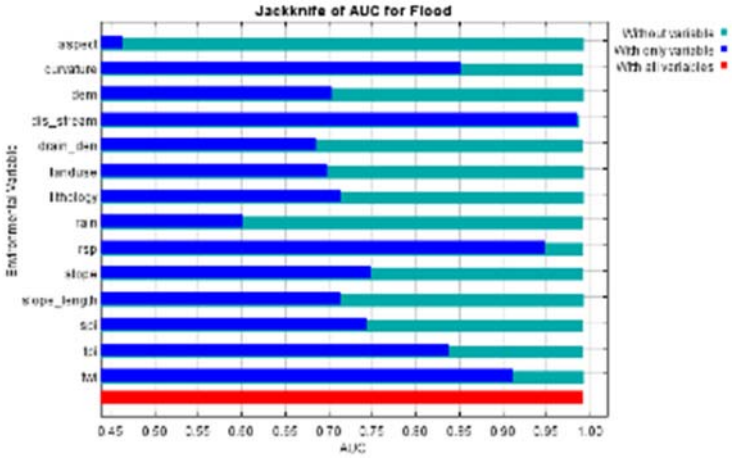
شکل ۵ نتایج حاصل از نمودار جکنایف جهت تعیین مهمترین پارامترهای تاثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها را در پیش‌بینی مدل MaxEnt نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به‌ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، موقعیت شیب نسبی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، انحنای توپوگرافیک، شاخص موقعیت توپوگرافیک، شیب، شاخص قدرت آبراهه، لیتولوژی، طول شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، بارندگی و جهت شیب مهمترین عوامل تاثیرگذار بر میزان حساسیت سیلخیزی هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای حساسیت سیل تاثیرگذار بوده‌اند. این نتایج بیانگر این است که تمامی عوامل بر حساسیت سیل تاثیرگذار هستند و در هر منطقه‌ای با توجه به شرایط محیطی یکی یا چندتا از عوامل نقش

مهمتری ایفا می‌نند که نشان‌دهنده پیچیدگی حساسیت وقوع سیل و تاثیرپذیری از عوامل مختلف است. در منطقه مورد مطالعه شاخص‌ای توپوگرافی و عوامل هیدرولوژی بیشترین تاثیر را در افزایش حساسیت سیل داشته‌اند.



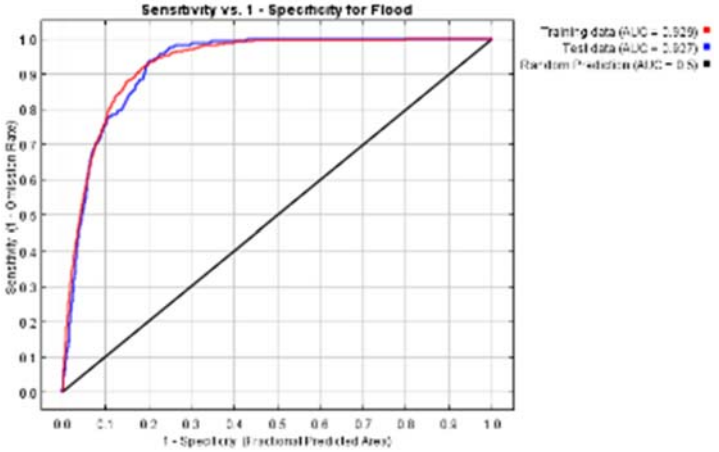


شکل ۴- منحنی‌های پاسخ به حساسیت سیل عوامل مورد استفاده



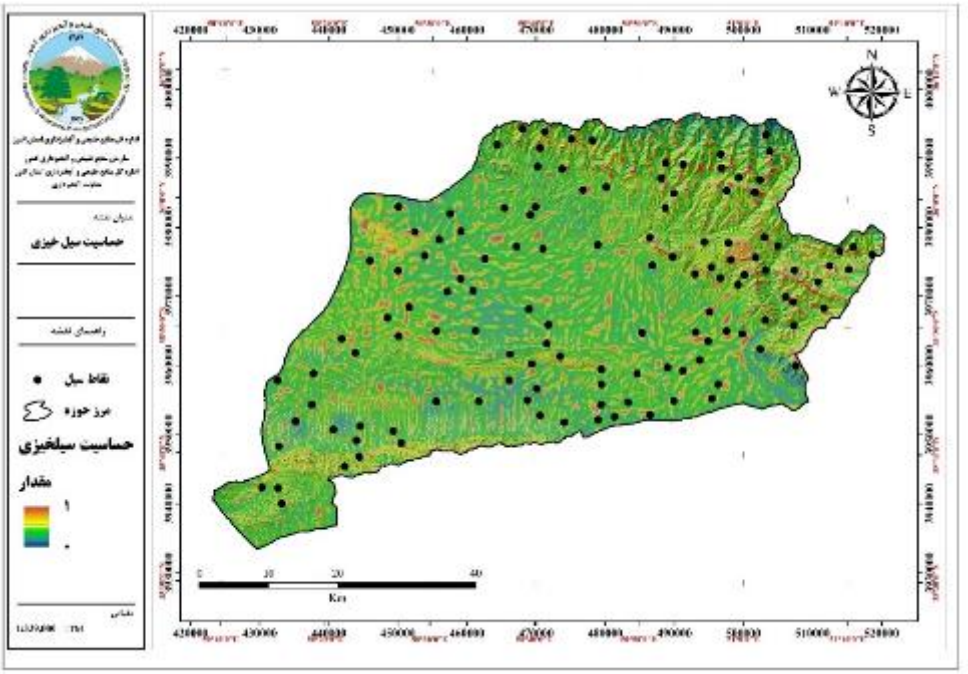
شکل ۵- نتایج حاصل از آزمون جکنایف جهت تعیین مهم‌ترین پارامترها

نتایج حا صل از قدرت پیش بینی مدل بر ا ساس مقادیر ROC را در دو بخش آموزش و اعتبار سنجی نشـــان می‌دهد. بر اســـاس این شـــکل میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۲۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۲۷) عالی بوده است. لذا با توجه به نتایج می‌توان به پیش‌بینی مدل اعتماد کرد.



شکل ۶- نتایج مقادیر ROC در بخش آموزش و اعتبارسنجی مدل

همچنین جدول۲ مساحت و درصد مساحت هر یک از طبقات حساسیت سیل را نشان می‌دهد. طبقه حساسیت سیل کم بیشترین مساحت معادل ۳۸/۸۹ درصد سطح حوزه و طبقه خیلی زیاد کمترین میزان مساحت معادل ۴/۲۸ درصد سطح حوزه را شامل می‌شوند.



شکل ۷- نقشه حساسیت سیل در حوزه آبخیز کرج-شور

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت طبقات حساسیت سیل در حوزه آبخیز کرج-شور

طبقه حساسیت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
خیلی کم	۸۱۹۴۶/۳	۲۵/۶۴
کم	۱۲۴۳۰۱/۳	۳۸/۸۹
متوسط	۶۸۵۴۲/۵	۲۱/۴۴
زیاد	۳۱۱۶۷/۱	۹/۷۵
خیلی زیاد	۱۳۶۹۳/۴	۴/۲۸

در نهایت زیرحوزه های حوزه آبخیز کرج - شور جهت اقدامات عملیات آبخیزداری (بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی) بر اساس میزان حساسیت سیل اولویت‌بندی شدند (جدول ۳). بر اساس این جدول و میزان مساحت حساسیت سیل طبقه زیاد و خیلی زیاد به‌ترتیب زیرحوزه‌های کندر، ارنگه و عظیمیه در اولویت هستند.

جدول ۳- اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها نسبت به حساسیت سیل

زیرحوزه	میانگین حساسیت سیل	اولویتبندی
کندر	0.55	1
ارنگه	0.547	2
عظیمیه	0.527	3
نوجان دره	0.526	4
تالیان	0.521	5
سرهه	0.518	6
برغان	0.512	7
اغشت	0.505	8
ورده	0.497	9
هیو-شلمزار	0.496	10
فشند	0.494	11
کردان	0.494	12
ایپک	0.492	13
جنوب اشتهارد	0.491	14
شمال حلقه دره	0.485	15
کوشکذر	0.482	16
قزلو	0.481	17
بیابان	0.480	18
جنوب حلقه دره	0.478	19
خور سفیدارک	0.477	20
دره وسیه	0.477	21
شهرک صنعتی	0.474	22
ولیان	0.473	23
مسکول	0.472	24
شرق اشتهارد	0.471	25
قشلاق دایلر	0.462	26
قشلاق باقر	0.456	27
کشاورزی	0.456	28
گرمدره	0.434	29

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر روش‌های سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و یادگیری ماشینی در مقایسه با روش‌های زمانبر و پرهزینه سنتی در تشخیص مناطق دارای حساسیت سیل، کارآیی زیادی داشته‌اند و باعث افزایش‌یافتن دقت و سرعت در ارزیابی حساسیت و احتمال وقوع سیل با کمک گرفتن از داده‌های محیطی، توپوگرافی و اقلیمی شده‌اند. عوامل مختلفی از طیف وسیعی از سنجه‌های محیطی از قبیل عوامل آب‌شناختی (شاخص قدرت جریان، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی)، عوامل اقلیمی (بارندگی)، توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنای توپوگرافی)، بوم‌شناختی (کاربری زمین، بافت خاک و نوع خاک) و عوامل زمین‌شناختی (سنگ‌شناسی) بر حساسیت سیل تأثیرگزار هستند. تعیین مهم‌ترین و موثرترین فاکتورهای تاثیرگذار بر سیلاب جهت انجام مدل سازی بسیار ضروری است. نتایج پژوهش نشان داد که فاصله از آبراهه، RSP، TWI و انحنای توپوگرافی به‌ترتیب مهمترین عوامل موثر بر حساسیت و احتمال وقوع سیل در حوزه آبخیز کرج- شور بودند. از آن‌جا که تشخیص مناطق دارای حساسیت سیل با روش‌های سنتی هزینه‌بر و زمانبر است، تهیه‌کردن نقشه حساسیت سیل با روش‌های نوین یادگیری ماشینی مثل حداکثر آنتروپی ضروری است. در این پژوهش نقشه حساسیت سیل حوزه آبخیز کرج-شور با درنظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگزار و با روش حداکثر آنتروپی تهیه شد. منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآوردکردن مناطق دارای حساسیت سیل در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی عالی است، که بر اساس نظر فیلیپس و همکاران (۲۰۰۶) به معنای عملکرد عالی مدل است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در تعیین مناطق دارای حساسیت سیل دارد. به‌دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می شود که در پژوهش‌های مشابه به صوص در کشورهای درحال‌توسعه که با کمبود امکانات و منابع مالی مواجه هستند استفاده شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که حوزه آبخیز کرج-شور دارای پتانسیل حساسیت سیل بالایی نمی‌باشد که بیشتر مناطق دارای حساسیت در نزدیکی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها واقع شده‌اند. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با روش حداکثر آنتروپی به‌منظور تعیین مناطق دارای حساسیت سیل مخصوصا در کشورهای در حال توسعه مثل ایران که دسترسی به اطلاعات و داده‌های سیل با محدودیت زمان و هزینه مواجه هستند پیشنهاد می‌گردد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به سیاستگذاران و مدیران جهت مدیریت مناطق دارای حساسیت و احتمال وقوع سیل کمک کند.

منابع

- Arulbalaji, P., Padmalal, D., Sreelash, K. 2019. GIS and AHP techniques Based Delineation of Groundwater potential Zones: a case study from southern Western Ghats, India. Scientific Reports, 9: 2082.
- Azadi, F., Sadough, S., Ghahrudi, M., Shahabi, H. 2019. Zoning of Flood Risk in Kashkan River basin using Two Models WOE and EBF. Journal of Geography and environmental hazards, 9(1), 45-60**.**
- Rahman, M., Ningsheng, C., Islam, M., Dewan, A., Iqbal, J., Washakh, R., Shufeng, T. 2019. Flood Susceptibility Assessment in Bangladesh Using Machine Learning and Multi-criteria Decision Analysis. Earth Systems and Environment https://doi.org/10.1007/s41748-019-00123-y.
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Cama, M., Caraballo-Arias, N.A. Rotigliano, E. 2018. Assessment of gully erosion susceptibility using multivariate adaptive regression splines and accounting for terrain connectivity. Land Degradation and Development, 29, 724–736.
- Costache, R. 2019. Flash-Flood Potential assessment in the upper and middle sector of Prahova river catchment Romania. A comparative approach between four hybrid models," Science of the Total Environment. 659, pp. 1115–1134.
- Deng, F., Deng, Z., Lv, D., Wang, D., Duan, H., Xing, Z. 2016. Application of Remote Sensing and GIS analysis in groundwater potential estimation in west Liaoning Province, China. Journal of Engineering Research. 43: 1–17.
- Chen, W., Li, H., Hou, E., Wang, S., Wang, G., Panahi, M. 2018. GIS-based groundwater potential analysis using novel ensemble weights-of-evidence with logistic regression and functional tree models. Science of the Total Environment. 634: 853–867.
- Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., A. Mosavi, A. 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. Science of the Total Environment. 651, pp. 2087–2096.
- Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Haghighi, A.T., Pradhan, B., Kløve, B. 2019. Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. Journal of hydrology. 569:142-54.
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasseri, M. 2019. A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. Journal of Hydrology. 572, 17-31.
- Koehorst, B. A. N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J. G., Akkerman, G. J. 2005. Workpackage 6 Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters. Assessing socioeconomic Impact in Europe, 173p..
- Miller. J.R., Ritter, D.F., Kochel, R.C. 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. Am J Sci. 290: 569 599.
- Mohammadi, A., Valizaeh, Kh., Karimzadeh, S., Shahabi, H., Al. Ansari, N. 2020. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Time Series, Alternating Decision Trees, and Bag-ADTree Models. Hindawi, Complexity, V. 4271376, https://doi.org/10.1155/2020/4271376.
- Mosavi, A., Ozturk, P., Chau, K.W. 2018. Flood prediction using machine learning models: Literature review. Water. 1011:1536.

- Mokarram, M., Roshan, G., Negahban, S. 2015. Landform classification using topography position index case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran. Modeling Earth Systems and Environment. 1: 40.
- Muniraj, K., Jesudhas, C.J., Chinnasamy, A. 2019. Delineating the Groundwater Potential Zone in Tirunelveli Taluk, South Tamil Nadu, India, Using Remote Sensing, Geographical Information System GIS and Analytic Hierarchy Process AHP Techniques. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences. Doi.org/10.1007/s40010-019-00608-
- Nachappa, T.G., Tavakkoli, S., Gholamnia, Kh. Ghorbanzadeh, O., Rahmati, O., Blaschke, T. 2020. Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. Journal of Hydrology, 590, 125275.
- Naghibi, S.A., Moghaddam, D., Kalantari, B., Pradhan, B., Kisi, O. 2017. A comparative assessment of GIS-based data mining models and a novel ensemble model in groundwater well potential mapping. Journal of Hydrology, 548: 471–483.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 190: 231–259.
- Razavi, V., Shirani, K. 2019. Landslide hazard zoning using frequency ratio, entropy methods and TOPSIS decision making methods (Case study: Fahliyan basin, Fars). RS&GIS for Natural Resources. 9(4), 119-138. (In Persian)
- Tehrany, M., Shabani, F., Neamah Jebur, M., Hong, H., Chen, W., Xie, X. 2017. GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques. Geomatics, Natural Hazards and Risk. 82, 1538-1561.
- Tehrany, M.S., Jones, S., Shabani, F. 2019. Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. Catena. 1175:174-92.
- Tien Bui, D., Hoang, N.-D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P.-T.T., Hoa, P.V., Pham, T.D., Samui, P., Costache, R. 2019. A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. Sci. Total Environ. doi:10.1016/j. scitotenv. 134413.
- Toda, L.L., Yokingco, J.C.E., Paringit, E.C., Lasco, R.D. 2017. A LiDAR-based flood modelling approach for mapping rice cultivation areas in Apalit, Pampanga. Applied Geography. 80: 34-47.
- Yeh, H.F., Cheng, Y.S., Lin, H., Lee, C. 2016. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. Sustainable Environment Research. 26: 33–43.
- Zhao, G., Pang, B., Xu, Z., Peng, D., Xu, L. 2019. Assessment of urban flood susceptibility using semi-supervised machine learning model. Science of the Total Environment.

احصاء ظرفیت‌های قانونی مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری با تاکید بر برنامه‌های توسعه کشور

رحیم کاظمی*[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]

[۱] استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

[۲]استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

(*Kazemi@alumni.itc.nl*)

چکیده

نیازها و ضرورتهای کشور و نیز پیچیدگی‌های روزافزون موضوع مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری، اقتضاء می‌کند، قانونگذاری و تدوین دستورالعمل فنی مدیریت این پدیده، با مطالعه کافی و شناخت عوامل زیربنایی و تعیین کننده آن صورت پذیرد. در این میان شناخت و احصاء بسترهای قانونی پیرامون این موضوع، از اهمیت به سزایی برخوردار است. در تحقیق ضمن تبیین جایگاه طبیعی کشور در برابر این پدیده، ۳۸ سند که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم به موضوع مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری مرتبط می‌باشند. شامل اصولی از قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران به عنوان عالی‌ترین سند حقوقی کشور، برنامه های توسعه پنج ساله و اسناد راهبردی و قوانین و بخشنامه ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که قوانین مذکور، برخی از منظر ارتباط موضوعی و مستقیم پدیده سیل، و برخی نیز به طور غیر مستقیم، به موضوع مدیریت این پدیده پرداخته‌اند و برخی نیز به مدیریت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از سیل، پیش و پس از وقوع اشاره دارند. بررسی‌ها حاکی از آن است که در حال حاضر، علی‌رغم وجود قوانین و اسناد متعدد که وجوه مختلف این پدیده را پوشش می‌دهد، یک قانون جامع و مستحکم مصوب مجلس شورای اسلامی، خاص سیلاب شهری و مسائل مربوط به آنها وجود ندارد. مهمترین خلاء های قانونی احصاء شده عبارتند از: عدم جامعیت و استحکام قوانین موجود، در حوزه مرتبط با سیلاب های شهری، عدم تصریح قانون در خصوص متولی خاص و مشخص تعیین شده، عدم وجود قانون متناسب با شرایط انواع سیل های شهری، عملیاتی نشدن موضوع بیمه سیل و ضعف قوانین برنامه توسعه پنجساله در پیش بینی سازو کار مدیریت سیلاب های شهری.

واژه‌های کلیدی:

برنامه توسعه، آبخیز شهری، سیل، بستر قانونی

۱-مقدمه

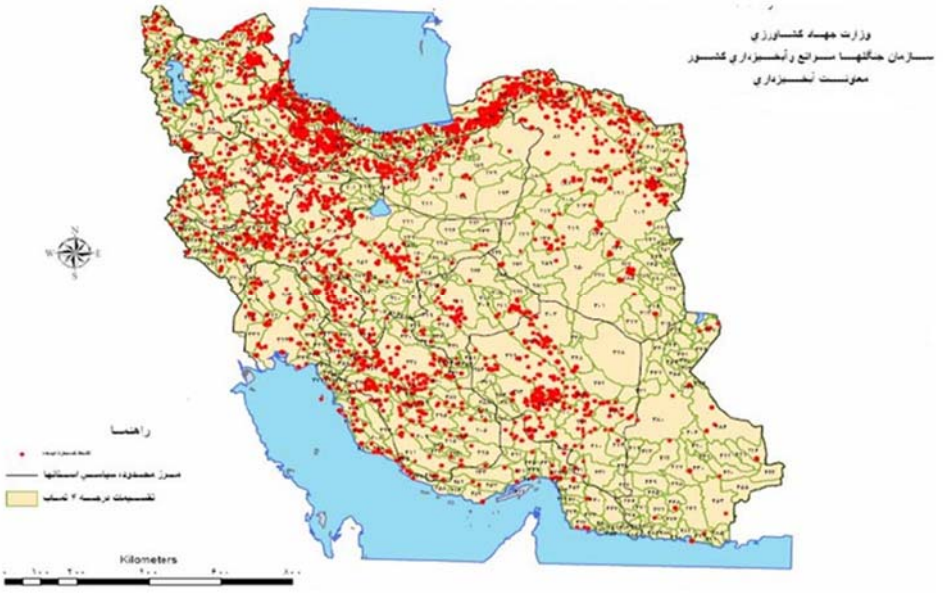
به منظور مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری و توسعه اقدامات مربوط به آن، در گام نخست، نیازمند شناخت واحصاء بسترهای قانونی در خصوص این پدیده و سازمان‌های متولی امر و تبیین شیوه

همکاری آنها می‌باشد. چنین امری با وضع قوانین و مقررات مربوطه و اجرای قوانین وضع شده امکان پذیر می‌باشد. گستردگی دامنه تاثیر این پدیده، و طیف گسترده طرف‌های تاثیرپذیر از آن، لزوم و اهمیت اجرا و رعایت قوانین و مقررات مربوطه را دو چندان می‌نماید. جامعیت قوانین، لزوم اجتناب از تداخل اقدامات انجام شده، توسط سازمان‌های متولی و حفظ مرزبندی‌های موجود در بین سازمان‌های مختلف دخیل در این پدیده، شیوه هماهنگی بین نهادها و سازمان‌ها، ترکیب و آرایش نیروها، تخصیص منابع و امکانات و تامین مطالبات قانونی ذینفعان، مواردی است که در ظرفیت‌های قانونی این موضوع مورد انتظار است. تأمین مدیریت مخاطرات طبیعی، از جمله استقرار سیستم مدیریت سیلاب در کشور از سالهای دور مورد توجه دستگاه‌های اجرایی و قانون‌گذار کشورمان بوده و در برهه‌های زمانی مختلف، قوانین و مقرراتی به صورت کلی و یا موضوعی وضع شده است. با بررسی پیشینه مرتبط با مدیریت سیل، قوانین و مقررات مختلفی مشاهده می‌شود که مواردی مانند: قانون پیش‌گیری و مبارزه با خطرات سیل، قانون تشکیل کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی، سیاست‌های کلی پیش‌گیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه، مستقیم به موضوع پرداخته است و مواردی از جمله، قانون مدیریت بحران کشور، قانون شهرداری، طرح جامع امداد و نجات کشور، سیاست‌های کلی نظام در امور پدافند غیرعامل، قانون تعیین حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، قانون حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی، قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغات، به صورت کلی و ضمنی این پدیده را مد نظر داشته است. برای تامین شرایط نگاه جامع و دقیق به موضوع، ضمن مروری بر سوابق خسارات سیلاب شهری و شناخت اهمیت موضوع، ابتدا روند تکاملی قوانین مربوطه مرور می شود و سپس، قوانین و مقررات کلی مرتبط با این پدیده که موضوع سیل را به عنوان یک پدیده مخاطره آمیز، در بر می‌گیرد، مرور شده و سپس به موضوع قوانین و مقرراتی که مستقیماً به مدیریت سیلاب، مرتبط می‌باشد، پرداخته شده است.

۲-مروری بر سوابق خسارات سیل شهری

سیل شایع‌ترین و یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی جهان است. به طور متوسط حدود ۲۸۰۰ مورد بلایای طبیعی مرگبار در هر دهه اتفاق می‌افتد که از هر ده واقعه مرگبار، پنج مورد مربوط به سیل است. قابل توجه اینکه هر ده واقعه در قاره آسیا اتفاق می‌افتد، و کشور ما از نظر تعداد وقایع سیل در زمره کشورهای متوسط جهان قرار دارد (به نقل از برنامه راهبردی وزارت نیرو،۱۴۰۴). با توجه به اهمیت جوامع انسانی متاثر از بلایا، مقایسه تعداد نه بلای طبیعی شامل: زلزله، سیل، طوفان، رانش زمین، خشکسالی، اپیدمی،گرمای زیاد و آتش سوزی در صد سال گذشته، که توسط پایگاه اطلاعات بین المللی بلایای برای ایران و دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۰۳ ارائه شده است، نشان می‌دهد که تعـدد و تواتر وقایع سیل، موجب شده تا این پدیده بـه عنـوان بـزرگتـرین بلای طبیعی کشور از لحاظ میزان جمعیت متاثر شناخته شود. به استناد بانک اطلاعاتی خسارات سیل، شرکت جاماب، (۱۳۸۱) و بانـک اطلاعـات سـیل کشـور

مربوط به سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر مهندسی و ارزیابی آبخیزها، تعداد حوادث مهم سیل از سال ۱۳۱۶ هجری شمسی لغایت ۱۳۳۰ هجری شمسی ۱۰۵ مورد بوده و گزارش‌های سیل‌های خسارت آفرین ۵۳ سال گذشته (۱۳۸۳-۱۳۳۰) وقوع ۴۱۸۵ مورد حادثه سیل را نشان می-دهد. بر اساس اطاعات بانک سیل کشور، ابعاد سیل از منظر مختلف از جمله فروانی، خسارات، شدت وقوع و تلفات، دارای روند افزایشی است، به طوری که در کشور تعداد ۴۵۰ شهر و ۸۶۵۰ روستا و آبادی در معرض تهدید سیل قرار گرفته‌اند (پرهمت و همکاران،۱۳۹۵). پراکندگی استان‌های محل وقوع سیل-های خسارت‌بار، در شکل (۱) ارائه شده است. پرهمت و همکاران (۱۳۹۳) در طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، سیل‌خیزی حوزه‌های کشور را ترسیم کردند. شکل نشان می‌دهد که اغلب حوضه‌های مهم آبی کشور که محل استقرار شهرهای عمده کشور می‌باشد و شامل حوضه‌ای زاگرس غرب و البرز شمالی می‌شوند، از پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار هستند. و حاکی از این است که اکثر مناطق کشور، دارای پتانسیل سیل‌خیزی است و در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند.



شکل ۱-پراکندگی مکانی وقوع سیل در کشور (سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری،۱۳۹۵)

بررسی و مقایسه فراوانی حوضه‌های با پتانسیل سیل‌خیزی در اقالیم مختلف ایران توسط کاظمی و پرهمت، (۱۳۹۷) انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد فراوانی حوضه‌های با پتانسیل سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد، با درصد فراوانی ۸۴٪ مربوط به منطقه اقلیمی نیمه‌خشک و کمترین نیز به حوضه

های واقع در منطقه اقلیمی خشک با ۲۴٪ فراوانی تعلق دارد. نتایج کلی حاکی از گستره زیاد حوضه‌های در معرض سیل‌خیزی است.

۳-بررسی وضعیت و ظرفیت‌های قانونی کشور، مرتبط با پدیده سیل

۳-۱-روند قوانین وضع شده برای مدیریت مخاطرات طبیعی و پدیده سیل

۳-۱-۱-قانون"بلدیه" و قانون"تشکیل ایالات و ولایات و دستورالعمل حکام": هر دو مصوب۱۲۸۶جزء نخستین قوانینی هستند که به تصویب مجلس شورای ملّی رسیده و در آنها به وظیفه و مسئولیت "بلدیه" و"حاکم"برای انجام اقدامات لازم در رابطه با سوانح و حوادث طبیعی تصریح شده است. قابل توجه اینکه، تأسیس اولین نهادهای قانونی در کشور با مسئولیت آنها درباره سوانح و حوادث طبیعی همراه بود.

۳-۱-۲- قانون تشکیل سازمان دفاع غیرنظامی: سازمان دفاع غیرنظامی کشور اولین سازمان حاکمیتی، پس از سازمان غیردولتی شیر و خورشید بود که بر اساس قانون تأسیس شد، تا اختصاصاً مسئولیت حفظ جان و مال مردم از حوادث طبیعی و سوانح غیرمترقبه و تقلیل آثار آن را برعهده گیرد. قانون تشکیل سازمان دفاع غیرنظامی کشور، مصوب ۱۳۳۷ مبتنی بر یک سیستم سازمانی متمرکز در مدیریت بحران است. سازمان مذکور به منظور حفظ جان و مال افراد کشور از تعرضات هوایی و حوادث طبیعی و سوانح غیرمترقبه و تقلیل اثرات آن و همچنین تقویت روحیه و ایجاد علایق و همکاری متقابل بین افراد در مواقع غیرعادی و اضطراری تأسیس گردید که در هر محل تحت نظر مستقیم استاندار و یا فرماندار انجام وظیفه نماید. در ضمن، مقرر شد، مقررات و آیین نامه‌های اجرایی و سازمانی مربوط، توسط دولت تهیه و به تصویب کمیسیون مجلس برسد. قانون اجازه قبول عضویت سازمان دفاع غیرنظامی ایران در سازمان بین المللی دفاع غیرنظامی جهانی مصوب سال ۱۳۴۵ به این موضوع نگاه بین المللی داد. با تصویب اصلاح قانون سازمان دفاع غیرنظامی کشور در سال۱۳۳۷، سازمان با کلیه دارایی، بودجه و کارکنان به نخست وزیری واگذار شد. و در سال ۱۳۵۶ با تصویب "قانون اصلاح مواد (۲) و(۴) قانون سازمان دفاع غیرنظامی کشور " مجدداً سازمان مذکور با کلیه دارایی، بودجه و کارکنان به وزارت کشور وابسته شد.

۳-۱-۳- قانون تشکیل سازمان بسیج ملی: به موجب "لایحه قانونی راجع به ادغام سازمانهای آمادگی ملی و بسیج غیرنظامی و دفاع غیرنظامی در سازمان بسیج ملی " مصوب سال ۱۳۵۹، سازمان دفاع غیرنظامی عملاً منحل و تمام بودجه و دارایی و تعهدات آن و سازمانهای یاد شده دیگر به" سازمان بسیج ملی" منتقل شد. بر اساس مصوبه فوق، این سازمان به منظور مقابله با هرگونه تهدید و

تجاوز داخلی و خارجی و پاسداری از دستاوردهای انقلاب اسلامی و نیز آمادگیهای لازم در مردم برای مقابله با آثار ناشی از وقوع سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه زیر نظر رهبر و وابسته به ریاست جمهوری تشکیل شد. در لایحه قانونی نیز، ترتیب تهیه و تنظیم مقررات و آیین نامه های اجرایی این قانون و تشکیلات سازمان بسیج ملی، تعیین گردید که در نهایت پس از تصویب هیئت وزیران به اجرا درمی آمد. ضمناً این لایحه مقرر نمود که خط مشی کلی بسیج توسط شورایعالی دفاع ملی، تعیین می-گردد و هرگونه تغییر یا جرح و تعدیل در خط مشی تعیین شده توسط همان شورا انجام خواهد شد. با این تفاسیر، ادغام سازمانهای یاد شده، سبب شد، امور دفاع نظامی و غیرنظامی تحت مدیریت یک سازمان قرار گیرد. با تصویب اساسنامه سپاه پاسداران انقلاب اسلامی در سال ۱۳۶۱ سازمان بسیج ملی در عمل منحل و به صورت واحد بسیج مستضعفین، تحت فرماندهی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی درآمد و از سطح سازمان مستقل به صورت یک واحد وابسته به سپاه درآمد. به علاوه وظایف آن نیز از ساماندهی امور مربوط به پیشگیری و کاهش اثرات سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه به" کمک به مردم هنگام بروز بلایا و حوادث غیرمترقبه با هماهنگی مراجع ذیربط" تغییر یافت.

۳-۱-۴-قانون تشکیل کمیته ملی کاهش آثار بلایای طبیعی: از سال ۱۳۶۱ تا سال ۱۳۷۰ عملاً دستگاهی که متولی مستقیم امور یاد شده باشد، وجود نداشت تا اینکه بر اساس ماده واحده مصوب۱۳۷۰/۵/۹" **کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی"** به ریاست وزیر کشور و عضویت برخی وزرا و نیز تعدادی از مسئولین کشوری و لشکری تشکیل شد و هدف از ایجاد آن، مبادله اطلاعات، مطالعه، تحقیقات علمی و پیدا کردن راهکارهای منطقی جهت **پیشگیری و کاهش اثرات طبیعی** مقرر گردیده بود. در قانون برنامه پنج ساله دوم توسعه کشور، ستادی با عنوان**" ستاد حوادث غیرمترقبه کشور"** پیش‌بینی شد که تا قبل از آن وجود نداشت. در این تبصره مقرر گردیده بود که به منظور پیشگیری، امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده از حوادث غیرمترقبه، اعتبارات لازم در طول برنامه دوم در اختیار ستاد مزبور قرار گیرد. ضمناً ۲۰درصد از اعتبارات فوق جهت مطالعات آسیب‌پذیری به منظور کاهش اثرات بلایای طبیعی و اجرای طرحهای پیشگیری از حوادث غیرمترقبه از قبیل **سیل**، زلزله، خشکسالی، آتش سوزی، طوفان و یا **پیشروی آب دریا** تخصیص داده شد. درباره **"ستاد حوادث غیرمترقبه کشور"** همانطور که بیان شد، قبل از تصویب برنامه دوم توسعه سابقه‌ای وجود ندارد، اما به استناد همین قانون در وزارت کشور ایجاد و ساختار و تشکیلات لازم و شرح وظایف آن بر اساس مقررات عمومی تعیین شد. نکته مهم اینکه در مقایسه وظایف قانونی" کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی" و وظایف" ستاد حوادث غیرمترقبه" مذکور در تبصره (۱۵) قانون برنامه دوم و نیز ماده ۱۸۱ قانون برنامه سوم، ملاحظه می شود که هر دو ارگان دارای وظیفه مشابه" پیش گیری" و" مطالعات آسیب پذیری" بودند و برای آنها اعتبار هم

دریافت می کردند، لیکن امور امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده جزء وظایف خاص ستاد حوادث غیرمترقبه تعریف شد. با تصویب قانون برنامه سوم توسعه، در ماده ۴۴ این قانون نیز مقرر گردید **" طرح جامع امداد نجات"** توسط هلال احمر با همکاری وزارت کشور و بسیج تا پایان سال اول برنامه تهیه شود که طرح مذکور پس از دو سال تأخیر در تاریخ۱۳۸۲/۱/۱۷ در هیئت وزیران تصویب شد. در تداوم جریان قانون‌گذاری در حوزه مخاطرات محیطی، به ویژه موارد مرتبط با سیل، قوانین و اسناد بالادستی و میان دستی مختلفی از جمله: سیاست‌های کلی نظام در دوره چشم انداز، سیاست‌های کلی منابع آب، سند فناوری‌های راهبردی آب، نقشه جامع علمی بخش کشاورزی مصوب شورای راهبری بخش کشاورزی (۱۳۹۱)، راهبردهای بلندمدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین، سند راهبردی توسعه فناوری‌های "آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست"، قانون مدیریت بحران کشور، قانون تعیین حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، قانون حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی، قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغات، را شاهد هستیم که بخشی از قوانین موجود، دارای ظرفیت‌هایی برای استفاده در موضوع سیل شهری، به طور مستقیم و یا غیر مستقیم می‌باشند که در ادامه به تفصیل، ارائه شده‌اند. فهرست قوانین اشاره شده در این بخش از گزارش به شرح جدول(۱) است.

جدول ۱- اسناد بررسی شده در گزارش

ردیف	نام سند
۱	قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران
۲	چشم انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی
۳	سیاست‌های کلی نظام در دوره چشم انداز
۴	سیاست‌های کلی منابع آب
۵	سند فناوری‌های راهبردی آب
۶	نقشه جامع علمی بخش کشاورزی مصوب شورای راهبری بخش کشاورزی (۱۳۹۱)
۷	سند راهبردی توسعه فناوری‌های "آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست"
۸	برنامه کلان علم و فناوری منابع طبیعی، آب و خاک (تدوین شده در سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی)
۹	راهبردهای بلندمدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین- مصوب ۱۳۹۱/۷/۱۷
۱۰	ظرفیت های قانونی موجود در برنامه های اول تا ششم توسعه
۱۱	سیاستهای کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه
۱۲	سیاستهای کلی نظام در امور پدافند غیرعامل
۱۳	قانون پیش‌گیری و مبارزه با خطرات سیل
۱۴	قانون آب و نحوه ملی شدن آن(مصوب۱۳۴۷)

ردیف	نام سند
۱۵	قانون توزیع عادلانه آب (مصوب۱۳۶۱)
۱۶	قانون تشکیل کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی
۱۷	تصویب آیین نامه اجرایی قانون تشکیل کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی توسط هیات وزیران
۱۸	قانون مدیریت بحران کشور
۱۹	طرح جامع امداد و نجات کشور
۲۰	قانون شهرداری
۲۱	قوانین مدیریت بحران شهر تهران
۲۲	قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغات مصوب ۱۳۷۴/۳/۳۱ با اصلاحات و الحاقات بعدی مصوب۱۳۸۵/۸/۱
۲۳	قانون تعاریف محدوده و حریم شهر، روستا و شهرک و نحوه تعیین آنها مصوب۱۳۸۴/۱۰/۱۴ ومصوبه شورای عالی شهرسازی و معماری ایران،
۲۴	قانون حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی مصوب۱۳۷۱/۷/۵
۲۵	قانون تعیین حریم رودخانه ها و مسیل ها
۲۶	آیین نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه ها، انهار، مسیلها، مردابها، برکه های طبیعی و شبکه های آبرسانی، آبیاری و زهکشی (مصوب ۱۳۷۹)
۲۷	اصلاحیه بند (خ) آیین نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه ها مصوب(۱۳۸۲)
۲۸	الحاقیه تبصره به ماده(۲) آیین نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه ها(مصوب۱۳۸۲)
۲۹	قانون معادن (مصوب۱۳۷۷)
۳۰	اصلاح قانون ایمنی راهها و راه آهن (مصوب۱۳۷۹)
۳۱	ضوابط نظارت فنی بر بهره برداری از معادن شن و ماسه و خاک رس(مصوب۱۳۸۲)
۳۲	بخشنامه های اداره ثبت مرتبط با مسیل ها و رودخانه ها
۳۳	قانون ستاد حوادث غیر مترقبه
۳۴	قوانین و بخشنامه های حمایتی آسیب دیدگان از سیل
۳۵	قانون مدیریت بحران کشور مصوب۷-۵-۹۸ مجلس شورای اسلامی
۳۶	بخشنامه ها و تصویب نامه های حمایتی

۴-ظرفیت های قانونی موجود در برنامه های توسعه کشور

با توجه به جایگاه برنامه‌های توسعه در کشور در جهت گیری های اساسی در ابعاد مختلف مورد نیاز کشور، شش برنامه توسعه بعد از انقلاب، به منظور بررسی ظرفیت های قانونی مرتبط با سیلاب، مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه برنامه‌های توسعه خطوط اصلی را مشخص می کنند، لذا به استثناء

برنامه پنجم، پدیده سیل را به طور مستقیم مورد اشاره قرار نداده اند، بلکه این پدیده، عموماً در ذیل مدیریت مخاطرات و حوادث طبیعی، آبخیزداری و حفاظت منابع آب و خاک و با نگاه به جایگاه مدیریت بحران، مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه ضمن بررسی محتوایی و شکلی برنامه های توسعه، با نگاه جامع به موضوعاتی که به طور مستقیم و یا غیر مستقیم با پدیده سیل ارتباط دارند، کلیه مواردی که به نحوی مرتبط هستند، احصاء شده است.

۴-۱-برنامه اول توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۷۲-۱۳۶۸

برنامه اول توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران با هدف کلی رفع موانع و مشکلات مشتمل بر ماده واحده،۵۲ تبصره، ۱۰۴ حکم، ۱۱ جدول کلان و یک پیوست (اهداف کمی برنامه‌های بخشی) در بهمن‌ماه ۱۳۶۸ به‌تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. این برنامه به‌لحاظ شکلی، جامع‌ترین برنامه توسعه ایران از بدو پیروزی انقلاب اسلامی تا آن زمان به‌شمار می‌آمد. لایحه برنامه به‌صورت سند اصلی و دو پیوست مربوط به‌اهداف و برنامه‌های بخشی و پیوست طرح‌های عمرانی به مجلس ارائه شده بود که سند اصلی و اهداف کمی برنامه‌های بخشی به‌تصویب رسیدند. بنابراین برنامه اول توسعه تنها برنامه بعد از انقلاب اسلامی به‌شمار می‌آمد که دارای پیوست برنامه‌های بخشی مصوب بود. بررسی مفاد این قانون نشان می دهد که با توجه به زمان تصویب آن و اهداف ترسیم شده برای توسعه در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در کشور در زمینه حوادث غیر مترقبه و برنامه ریزی برای مقابله با حوادث احتمالی تبصره یا بند مشخصی در قانون وجود ندارد.

۴-۲-برنامه دوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۷۸-۱۳۷۴

لایحه برنامه دوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران در آذرماه سال ۱۳۷۲ به مجلس شورای اسلامی تقدیم شد، اما باتوجه به اینکه مجلس به‌فرصت بیشتری برای بررسی لایحه احتیاج داشت، در عمل بررسی لایحه برنامه دوم به سال ۱۳۷۳ موکول شد و لایحه مزبور در تاریخ ۱۳۷۳/۹/۲۰ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. برنامه دوم دوره ۱۳۷۸-۱۳۷۴ را در بر می‌گرفت و مشتمل بر دو فصل بود.

فصل اول: هدف‌های کلان کیفی، خط مشی‌های اساسی و سیاست‌های کلی،
فصل دوم: ماده واحده و تبصره‌ها (شامل ۱۰۱ تبصره و در مجموع ۲۷۸ حکم)

بررسی برنامه در زمینه موضوع این نوشتار نشان می دهد که در این برنامه در قالب بند الف تبصره ۱۵ دولت موظف شده است به منظور پیش‌گیری، امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب‌دیده از حوادث غیرمترقبه، در طول برنامه دوم، اعتبارات لازم را در اختیار ستاد حوادث غیرمترقبه کشور قرار

دهد. این اعتبارات به پیشنهاد وزارت کشور و تأیید سازمان برنامه و بودجه و تصویب هیأت وزیران بین استان‌های آسیب دیده توزیع می‌گردد تا توسط ستادهای حوادث استانی به پروژه‌های ذیربط اختصاص داده شود. بیست درصد (۲۰٪) از اعتبارات فوق جهت مطالعات آسیب‌پذیری به منظور کاهش اثرات بلایای طبیعی و اجرای پروژه‌های پیش‌گیری از حوادث غیرمترقبه از قبیل: سیل، زلزله، خشکسالی، آتش‌سوزی، طوفان و یا پیشروی آب دریا هزینه خواهد شد. همچنین وزارت کشور در قالب بند (ب) تبصره (۱۵) می‌تواند از محل منابع قرض‌الحسنه سیستم بانکی وام و در صورت عدم تکافو، از محل سایر منابع بانکی تسهیلات مورد نیاز به مالکان واحدهای مسکونی، تجاری صنعتی، معدنی و کشاورزی خسارت دیده در مناطق فوق‌الذکر اعطاء نماید.

بند ۳ تبصره ۷۴ دولت را موظف به اتخاذ تدابیر لازم جهت بیمه نمودن محصولات کشاورزی و دامی و پیش بینی اعتبار مورد نیاز برای پرداخت خسارات حوادث غیرمترقبه از طریق صندوق کمک به خسارت دیدگان در بودجه‌های سالانه نموده است. آنچه از مفاد این قانون بر می آید، نشان دهنده رویکرد جبران خسارات و پرداختن به حوادث پس از وقوع است. اگر چه رگه ای کمرنگ از انجام فعالیت‌های پیشگیرانه را در حوزه مدیریت موضوع و برنامه جبرانی به شیوه بیمه اثرات ناشی از این پدیده، مشاهده می شود.

۴-۳-برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۸۳-۱۳۷۹

قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران در تاریخ ۱۳۷۹/۱/۱۷ مشتمل بر ۱۹۹ ماده و ۵۷ تبصره به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. این قانون مشتمل بر ۳ بخش بود:

بخش اول، حوزه‌های فرابخشی (شامل فصول اول تا دوازدهم)
بخش دوم، امور بخشی (شامل فصول سیزدهم تا بیست و پنجم)
بخش سوم، اجرا و نظارت (فصل بیست و ششم)

در فصل پنجم از حوزه های فرابخشی برنامه در چارچوب نظام تامین اجتماعی و یارانه ها در ماده ۴۴ جمعیت هلال احمر موظف شده است با هماهنگی وزارت کشور و نیروی مقاومت بسیج به منظور پیش-گیری و کاهش اثرات بلایای طبیعی و ایجاد آمادگی لازم در مردم و تعیین دقیق نقش و وظایف دستگاه های اجرایی برای مقابله با حوادث و سوانح طبیعی طرح جامع امداد و نجات را تهیه نماید و به تصویب هیات وزیران برساند. در اجرای برنامه سوم توسعه کشور این طرح در سال ۱۳۷۹ توسط هلال احمر پیشنهاد و در سال ۱۳۸۲ در قالب ۵ فصل به تصویب هیات وزیران رسید.

همچنین در بخش دوم قانون در فصل ۲۳ که به امور عمومی (سیاست داخلی و روابط خارجی) می پردازد، بند الف ماده ۱۸۱ دولت را موظف به پیش‌بینی اعتبارات لازم در قالب لوایح بودجه سنواتی به منظور پیش‌گیری، امدادرسانی و بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده از حوادث غیر مترقبه طی برنامه

سوم نموده است. در بند (ب) همین ماده بیان می شود که وزارت کشور می تواند از محل منابع صندوق قرض الحسنه سامانه بانکی و در صورت عدم تکافو از محل سایر منابع بانکی تسهیلات مورد نیاز را به مالکان واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی خسارت دیده اعطا کند. بند (ج) ماده ۱۸۱ نیز به افزایش سهم صنعت بیمه در جبران خسارات ناشی از حوادث غیر مترقبه تا سقف حداقل ۵۰ درصد تا پایان برنامه سوم اشاره دارد. در یک یا دو ماده دیگر نیز به موضوعاتی مانند آلودگی هوا و جبران خسارات در راه ها اشاره دارد که نکات حائز اهمیتی در زمینه مدیریت سوانح را مطرح می نماید. تحلیل برنامه سوم نشان می‌دهد که مانند برنامه دوم، بیشتر بر جبران خسارات ناشی از حوادث تاکید شده است. اگرچه تاکیداتی نیز بر افزایش سهم بیمه و اجرای پروژه های پیش‌گیری شده است.

۴-۴-برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۸۸-۱۳۸۴

مهمترین ویژگی برنامه چهارم توسعه، تهیه و تصویب آن در چارچوب چشم‌انداز بیست ساله و پس از ابلاغ سیاست‌های کلی برنامه توسط مقام معظم رهبری است. پنج سطح در نظام برنامه‌ریزی برنامه چهارم توسعه شامل: تهیه چشم‌انداز درازمدت جمهوری اسلامی ایران، تهیه سیاست‌های کلی نظام، لایحه برنامه چهارم توسعه، تهیه اسناد ویژه (فرابخشی)، اسناد توسعه بخشی و اسناد توسعه استانی است. این قانون مشتمل بر پانزده فصل در قالب ۱۶۱ ماده تهیه شده است. مهمترین مواد مرتبط با حوادث غیر مترقبه مرتبط با موضوع آب و سیل را می توان به شرح زیر برشمرد:

بند "ی" ماده ۱۷ دولت را مکلف نموده در چارچوب نگرشی جامع به منابع آب کشور، برنامه اجرایی مدیریت خشکسالی را تهیه و تدوین نماید .

در ماده ۶۹ اجرای عملیات آبخیزداری و حفظ تعادل دام و مرتع و عملیات پخش سیلاب در حوزه های شهری و روستایی به عنوان یک برنامه تعریف شده است.

در فصل دوازدهم در بند الف ماده ۱۳۵ و طبقه بندی امور در کشور، مقابله و کاهش اثرات حوادث طبیعی به عنوان امور حاکمیتی تلقی شده است. در ماده ۱۰ نیز دولت اجازه یافته اعتبار مورد نیاز برای پیش-گیری، امدادرسانی و نوسازی مناطق آسیب دیده از حوادث را در بودجه سنواتی منظور نماید. همچنین افزایش سهم بیمه نیز در جبران خسارات و کمک های بلاعوض اشاره شده است.

به استناد (بند الف ماده ۱۸۱) برنامه سوم که در ماده ۸۳ برنامه چهارم تنفیذ شده اس، دولت موظف است به منظور پیشگیری، امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده در حوادث غیرمترقبه در طی برنامه سوم، اعتبارات لازم را در لوایح بودجه سنواتی پیش بینی کند و در اختیار ستاد حوادث غیرمترقبه کشور قرار دهد. درصدی از اعتبارات فوق جهت مطالعات آسیب پذیری به منظور کاهش

اثرات بلایای طبیعی و اجرای پروژه های پیشگیری از حوادث غیرمترقبه از قبیل سیل و زلزله، خشکسالی، آتش سوزی، طوفان و یا پیشروی آب دریا هزینه خواهد شد.

۴-۴-۱-قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت (پیوست قانون برنامه چهارم – ماده۱۰)

به دولت اجازه داده می شود برای پیش آگاهی ها، پیشگیری، امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده از حوادث غیرمترقبه از جمله سیل، زلزله، سرمازدگی، تگرگ، طوفان، پیشروی آب دریا، آفتهای فراگیر محصولات کشاورزی و اپیدمیهای دامی، اعتبار مورد نیاز را در لوایح بودجه سالانه منظور نماید. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و وزارت کشور با هماهنگی دستگاه های ذیربط کمک های بلاعوض را برای پرداخت به خسارت دیدگان به طریقی تعیین می کنند که سهم اعتبار اقدامات بیمه در جبران خسارت ناشی از حوادث غیرمترقبه یاد شده نسبت به کمکهای بلاعوض، سالانه افزایش یابد و با پوشش بیمهای کامل به تدریج کمکهای بلاعوض حذف شوند.

به دولت اجازه داده میشود در صورت وقوع حوادث غیرمترقبه از جمله خشکسالی، سیل و مانند آنها تا معادل یک درصد از بودجه عمومی هر سال را از محل افزایش تنخواه گردان خزانه موضوع ماده (۱) این قانون تامین و هزینه نماید .تنخواه مذکور حداکثر تا پایان همان سال از محل صرفه‌جویی در اعتبارات عمومی و یا اصلاح بودجه سالانه تسویه خواهد شد.

آیین نامه اجرایی این ماده بنا به پیشنهاد مشترک سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و وزارت کشور به تصویب هیئت وزیران خواهد رسید.

تحلیل مفاد و محتوای قانون برنامه چهارم نشان می دهد که رویکرد استراتژیک در تدوین برنامه و وجود اسناد بالا دستی به ویژه سند چشم انداز و سیاست‌های کلی تدوین برنامه باعث شده است تا به موضوع حوادث غیر مترقبه توجه خاصی شود. رویکرد حاکم بر تعریف مواد قانونی این برنامه برای مقابله با حوادث بر پایه سیستم جامع مدیریت بحران و رویکرد مدیریت ریسک پایه ریزی شده، اگرچه به امور بازسازی و جبران خسارات نیز توجه شده است. این مفاد قانونی با آنچه در دیدگاه های نظری حاکم بر مقابله با حوادث به عنوان دیدگاه مدیریت ریسک شناخته شده، بیشتر تطبیق دارد.

ظرفیت قانونی الزام به رعایت آمایش سرزمین، به طور غیر مستقیم، از این منظر که آمایش، موضوع جانمایی مناطق شهری، مسکونی و تاسیسات را با لحاظ مولفه های مرتبط با مخاطرات طبیعی از جمله سیل، در نظر دارد، و همچنین توجه به موضوع پخش سیلاب، که یکی از روش های مدیریت سیل در بالا دست حوزه ها است، می تواند به موضوع جایگاه قانونی مخاطرات ناشی از سیل در مناطق شهری، وزن مناسب بدهد.

قانون گذار در این برنامه، توجه کافی به نقش پژوهش و تحقیق، سیستم هشدار، پیش آگاهی و آموزش در پیشگیری از خسارات حوادث داشته و حتی در زمینه بیمه، به دولت ابلاغ گردیده است که پوشش های بیمه ای بایستی به تدریج جایگزین کمکهای بلاعوض جهت جبران خسارات بشود.

۴-۵-برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۴- ۱۳۹۰(برنامه پیشرفت و عدالت)

این برنامه، به عنوان دومین گام، برای تحقق سند چشم انداز بیست ساله کشور مشتمل بر ۲۳۵ ماده و ۱۹۲ تبصره تنظیم و به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. در سطح اول این سند، چشم انداز مبنا و ترسیم کننده خطوط اساسی تدوین برنامه بود و در سطح دوم سیاست‌های کلی برنامه، ابلاغی مقام معظم رهبری به عنوان پایه حرکت در تدوین برنامه مد نظر قرار گرفت. یکی از ویژگی های برنامه پنجم تدوین آن بر مبنای دیدگاه مساله محوری است. در واقع مسائل اساسی کشور در قالب محورهایی تعیین و متناسب با مواد قانونی در برنامه پنجم، راهکارهایی برای حل آنها پیشنهاد و به تصویب رسید. در زمینه مدیریت پدیده های طبیعی و امور مربوط به مخاطرات طبیعی و انسان ساخت، مواد و بندهای قانونی زیر تصریحاً و یا تلویحاً در برنامه ارائه شده است.

در بند "و" ماده ۱۴۸ دولت مکلف به اجرای عملیات آبخیزداری تا سطح هشت میلیون هکتار تا پایان برنامه شده است.

در بند "ج" ماده ۲۱۶ به دولت اجازه داده شده، برای پیش‌آگاهی، پیش‌گیری، امدادرسانی، بازسازی و نوسازی مناطق آسیب‌دیده از حوادث غیرمترقبه از جمله سیل، زلزله، سرمازدگی، تگرگ، طوفان، پیشروی آب دریا، آفت‌های فراگیر محصولات کشاورزی و بیماری‌های همه‌گیر انسانی و دامی، تا معادل دو درصد (۲٪) از بودجه عمومی هر سال را از محل افزایش تنخواه‌گردان خزانه تأمین و هزینه نماید .

در بند "ش" ماده ۲۲۴ به دولت اجازه داده می‌شود به منظور پیش‌گیری، مقابله و جبران خسارات ناشی از حوادث غیرمترقبه و مدیریت خشکسالی، تنخواه‌گردان موضوع ماده (۱۰) قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت مصوب ۱۳۸۰ را به سه درصد (۳٪) و اعتبارات موضوع ماده (۱۲) قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران را به دو درصد (۲٪) افزایش دهد. اعتبارات مذکور با پیشنهاد معاونت و تصویب هیأت‌وزیران قابل هزینه است. بخشی از اعتبارات مذکور به ترتیب و میزانی که در قانون بودجه سنواتی تعیین می‌شود، به صورت هزینه‌ای و تملک دارائی سرمایه‌ای به جمعیت هلال‌احمر اختصاص می‌یابد تا در جهت آمادگی و مقابله با حوادث و سوانح هزینه گردد.

تحلیل مفاد و محتوای قانون برنامه پنجم نشان می‌دهد که در تداوم نگاه و رویکرد برنامه پنجم در توجه به موضوع پیش‌گیری، پیش آگاهی و مدیریت آثار پدیده، به موضوع مدیریت مخاطره سیل از دیدگاه آبخیزداری توجه شده که یک دیدگاه مبنایی در کنترل این پدیده در بالا دست حوزه های آبخیز شهری است. نکته قابل توجه، رویکرد استراتژیک و مشکل محور در تدوین برنامه و وجود اسناد فرادست، به ویژه

سند چشم انداز و سیاست‌های کلی تدوین برنامه، می باشد. که ادامه یافتن چنین رویکردی در برنامه پنجم، نوید بخش یک نگاه برنامه ای برای حل مسائل ناشی از مخاطرات در کشور قلمداد می شود.

۴-۶-برنامه پنجساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی وفرهنگی۱۳۹۶-۱۴۰۰

این برنامه مشتمل بر ۱۲۴ ماده و ۱۲۸ تبصره در مورخ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسیده است. در این برنامه، ذیل ماده ۲-بند الف: "موضوعات خاص راهبردی در مورد آب و محیط زیست" را به عنوان مسائل محوری برنامه تعیین کرده است. و عنوان کرده است که" دولت موظف است، طرح های (پروژه‌های) مرتبط با آنها و همچنین مصوبات ستاد فرماندهی اقتصاد مقاومتی در این دو حوزه آب و محیط زیست را در بودجه سالانه اعمال نماید.

در بخش ۵ مربوط به توازن منطقه‌ای، توسعه روستایی و توانمند سازی اقشار آسیب پذیر، در بند الف-(۱) دولت را موظف کرده است که در سال اول برنامه، سند آمایش سرزمین را در سطح ملی و استانی تهیه کند و در سال دوم به اجرا درآورد. همچنین در ماده ۲۷ قسمت (۸) بند (الف)، شناسایی روستا های در معرض خطر سوانح طبیعی را تکلیف کرده است.

در بخش (۹) ماده ۳۸ در بند (خ) ذیل عنوان محیط زیست و منابع طبیعی، اجرای عملیات آبخیزداری و حفاظت از خاک و آبخوان را، تکلیف کرده است.

ظرفیت های قانونی این برنامه، در محور قرار دادن موضوع آب و تکالیف قانونی در حوزه آمایش، و موضوع آبخیزداری، به عنوان یک امر مبنایی در کنترل و مدیریت سیل در بالادست حوزه های شهری، و همچنین نگاه حفاظتی به منابع، قابل توجه است.

۴-۷-جمع بندی ظرفیت های قانونی برنامه های پنجساله

جمع بندی بررسی محتوایی و شکلی رویکردهای برنامه‌های شش گانه توسعه کشور، در خصوص پدیده مخاطره آمیز سیل، نشان می دهد که در تدوین برنامه اول توسعه کشور، به دلیل شرایط خاص حاکم بر کشور، این مقوله مورد توجه برنامه ریزان و تدوین کنندگان برنامه نبوده است. در برنامه دوم با تشکیل ستاد حوادث غیر مترقبه در وزارت کشور مواد قانونی برای این موضوع در برنامه لحاظ می‌شود، اما رویکرد حاکم بر برنامه، بر جبران خسارات ناشی از حوادث تمرکز داشته است. این رویکرد و نگاه در برنامه سوم توسعه کشور نیز تکرار می شود. در برنامه چهارم با تدوین سند چشم انداز و تاکیدات مندرج در آن و سیاست‌های کلی، رویکرد حاکم بر تدوین برنامه در حوزه مخاطرات طبیعی و به تبع آن موضوع سیل، رویکرد پیشگیرانه به خود می گیرد. این رویکرد مقابله با سوانح طبیعی، در برنامه پنجم نیز مورد توجه جدی قرار می گیرد. در برنامه ششم موضوع آب به عنوان موضوع راهبردی تلقی می شود و توجه به آمایش سرزمین در سطح ملی و استانی، و همچنین شناسایی روستاهای در معرض خطر سوانح طبیعی،

تکلیف می‌شود. علاوه بر این توجه به اجرای عملیات آبخیزداری، به عنوان یک راهبرد مهم در کنترل سیل در بالا دست حوضه‌ها که به تبع حوضه‌های شهری را هم شامل می‌شود، تاکید می‌شود.

۵-خلأهای قانونی

با توجه به مطالب ارائه شده در بخشهای قبل، عمده خلأهای قانونی مرتبط با موضوع به شرح زیر می باشد:

- ... عدم جامعیت و استحکام قوانین موجود، در حوزه مرتبط با سیل شهری
- ... عدم وجود برنامه بلندمدت مدون،
- ... عدم تصریح قانون در خصوص متولی خاص و مشخص تعیین شده
- ... عدم وجود قانون متناسب با شرایط انواع سیل‌های شهری
- ... عدم وجود قوانین مشخص در بهره برداری از سیلاب شهری برای انواع مصارف
- ... نادیده گرفتن آلاینده‌های شهری
- ... عملیاتی نشدن موضوع بیمه سیل
- ... خلاء آیین نامه‌ای مشابه آیین نامه ۲۸۰۰ برای موضوع سیل شهری
- ... ضعف قوانین برنامه توسعه پنجساله، در پیش بینی ساز و کار مدیریت سیل در سطح شهر

۶- نتیجه گیری

با بررسی قوانین وضع شده برای مدیریت مخاطرات طبیعی، به ویژه سیل، مشاهده می شود که سابقه سیستم قانون‌گذاری کشور در این خصوص به سال ۱۲۸۶ یعنی ۱۱۰ سال قبل بر می‌گردد. دو "قانون بلدیه" و "قانون تشکیل ایالات و ولایات و دستورالعمل حکام" وظیفه مدیریت سوانح و حوادث طبیعی" را عهده دار بوده‌اند. در گذر زمان قانون تشکیل سازمان دفاع غیر نظامی، مصوب ۱۳۳۷، مبتنی بر یک سیستم سازمانی متمرکز با ساز و کار قانونی پیشرفته‌تر عهده‌دار مسئولیت مدیریت حوادث و سوانح طبیعی می‌شود. در ادامه مسیر توسعه و ارتقاء قانون مرتبط با موضوع، لایحه قانونی تشکیل سازمان بسیج ملی، با ارتقاء سازمانی، از ادغام سازمان دفاع غیر نظامی تشکیل می شود. و حسب قانون، علاوه بر مسئولیت های دفاع نظامی، مسولیت مقابله با آثار ناشی از وقوع سوانح طبیع و حوادث غیر مترقبه را نیز عهده دار می شوند. در ادامه توسعه قانون گذاری در خصوص سیل، شاهد تصویب قانون "پیش‌گیری و مبارزه با خطرات سیل مصوب سال (۱۳۴۸)" می باشیم که به منظور حفظ جان و مال مردم از خطرات سیل و تأمین بهداشت عمومی، اختیارات اقدامات لازم را برای حفظ و اصلاح و احداث مسیل و سیل برگردان و کشیدن کانال فاضلاب، به وزارت کشور و در مواردی به شهرداری‌ها داده شده است. با تدوین قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، اصول مختلفی از قانون اساسی که به عنوان عالی‌ترین سند حقوقی

کشور و راهنمایی برای تنظیم قوانین دیگر می باشد، به وجوه مختلف پدیده های مخاطره آمیز، پرداخته است که از جمله می توان به اصول (۳-۲۹-۴۵-۵۰- ۱۳۸) اشاره کرد که ظرفیت های بسیار مناسبی برای این پدیده محسوب می شود. متعاقب این سند، اسناد دیگر مانند سیاست‌های کلی نظام در دوره چشم‌انداز، سیاست‌های کلی منابع آب، نقشه جامع علمی بخش کشاورزی مصوب شورای راهبری بخش کشاورزی، راهبردهای بلندمدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین، برای مدیریت جنبه های مختلف پدیده های مخاطره آمیز از جمله سیل، تدوین شد. سپس در ادامه روند تدوین قوانین مرتبط، با توجه بیشتر قانون‌گذار به موضوع مخاطرات و پدیده سیل، ارتقاء سطح تصمیم گیری در این خصوص مورد نظر قرار گرفته است. در این راستا " قانون تشکیل کمیته ملی کاهش آثار و بلایا" در سال ۱۳۷۰ به ریاست وزیر کشور، عهده دار مسولیت می شود. که وزیر کشور این مسولیت را در ستادی تحت عنوان" ستاد حوادث غیر مترقبه کشور" پیگیری و مدیریت می کند. این قانون، وظیفه انجام مطالعات و تحقیقات دامنه دار بر روی بلایای طبیعی کشور، تاریخچه آنها، پیش آگاهی و همچنین، اعلام وضعیت اضطراری و نحوه مقابله یا جبران خسارتها را به عهده وزارت کشور گذاشته است که یکی از اعضاء اصلی آن وزیر جهاد کشاورزی و سازمان جنگلها و مراتع است. ظرفیت موجود در این قانون، مبنی بر وظیفه مندی در تحقیقات بر روی بلایای طبیعی و پیش آگاهی آن ها، و موضوع پیش‌گیری از سیل که وظیفه مندی کمیته های فرعی این قانون است و وزارت جهاد کشاورزی نیز در آن عضویت دارد، قابلیت تعمیم به سیل شهری را نیز دارا می باشد.

طرح جامع امداد و نجات به استناد ماده ۴۴ قانون برنامه سوم توسعه، در سال ۱۳۸۲ نیز به موضوع مربوط می شود. با توجه به هدف اصلی "طرح جامع امداد و نجات کشور" که پیشگیری و کاهش آثار بلایای طبیعی، ذکر شده است. و تاکید فصل اول این طرح، مبنی بر انجام مطالعات و تحقیقات به منظور بهره برداری لازم در مدیریت بحران با اولویت پیش‌گیری، مدیریت مخاطرات و کاهش آثار بلایای طبیعی و ظرفیت‌های قانونی مربوط به کارگروه تخصصی بلایای جوی با مسئولیت سازمان هواشناسی کشور، این قانون دارای ظرفیت های مناسبی در موضوع سیل است، ولی متاسفانه در این خصوص جایگاه قانونی برای وزارت جهاد کشا ورزی دیده نشده است. با توجه به مسولیت بالادست حوضه های شهری و مسولیت تامین ساز و کار مدیریت آبخیزداری در بالا دست شهر ها که به عهده وزارت جهاد کشاورزی می باشد، و اهمیت کنترل سیل شهری از بالا دست حوضه‌ها و همچنین جایگاه مدیریت کاربری اراضی و حفظ و حراست از منابع طبیعی در کاهش مخاطرات سیل و اثرات زیانبار آن، لازم است، جایگاه قانونی مناسبی برای آن در نظر گرفته شود.

با بررسی ظرفیت قانونی موجود در سیاست‌های کلی نظام در حوزه پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه، که در نه بند تنظیم شده است. مشخص است که این سیاست ها، عمدتاً متمرکز بر پدیده زلزله است، ولی ضمن تاکید بر ایجاد مدیریت واحد در این حوزه، دو بند مجزا

نیز به موضوع سیل به طور مستقیم اشاره دارد. بند (۸) در خصوص شناسایی پدیده‌های جوی و اقلیمی و نحوه پدیدار شدن خطرات و ارزیابی تأثیر و میزان آسیب آنها از طریق تهیه اطلس ملی پدیده های طبیعی، اقدام شود. ایجاد نظام به هم پیوسته ملی پایش و بهبود نظام های هشدار سریع و پیش آگاهی بلند مدت با استفاده از فناوریهای پیشرفته و همچنین زیر بند سوم از بند(۹) که مرتبط با پدیده تغییر اقلیم است، مبنی بر "تهیه، تدوین و ساماندهی نظام های جامع مدیریت بلایای جوی و اقلیمی" می تواند غیر مستقیم، مشمول پدیده سیل به عنوان یکی از بلایای طبیعی، باشد. بند(۱ و۲) این سیاست‌ها مبنی بر" افزایش و گسترش آموزش، آگاهی و فرهنگ ایمنی و آماده سازی مسئولان و مردم برای رویارویی با عوارض ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه به ویژه خطر زلزله و پدیده های جوی و اقلیمی" و گسترش و تقویت مطالعات علمی و پژوهشی و حمایت از مراکز موجود، به منظور شناسایی و کاستن از خطرات اینگونه حوادث " می توانند به عنوان ظرفیت های قانونی مرتبط با سیل نیز محسوب شوند. همچنین، زیر بند۳-۱بند مربوط به "ایجاد نظام مدیریت جامع اطلاعات به کمک شبکه های اطلاعاتی مراکز علمی پژوهشی و سازمانهای اجرایی مسئول، به منظور هشدار به موقع و اطلاع رسانی دقیق و به هنگام در زمان وقوع حادثه و همچنین بند (۵) مبنی بر " گسترش نظامات مؤثر جبران خسارت، نظیر انواع بیمه ها، حمایتهای مالی و تشویقی، تسهیلات ویژه و صندوقهای حمایتی" ظرفیت مناسب قانونی به منظور استفاده در موضوع سیل شهری نیز می باشند.

سیاستهای کلی نظام در حوزه پدافند غیرعامل، که توسط مجمع تشخیص مصلحت نظام تهیه و در سال (۱۳۸۹) تصویب و به سران سه قوه ابلاغ گردید. به عنوان راهنمای دستگاههای اجرایی، قانونگذار و نظارتی، خط مشی و جهت گیری نظام را در بخش مذکور تعیین می کند، با توجه به اینکه تأکید پدافند غیرعامل بر مجموعه اقدامات غیرمسلحانه که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب پذیری، تداوم فعالیتهای ضروری، ارتقاء پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن می گردد. و از آنجایی که از اصول مهم پدافند غیرعامل، انتخاب عرصه ایمن، پراکنده سازی یا تجمیع مراکز جمعیتی و حائز اهمیت، به ویژه در طرحهای آمایش سرزمینی و طرحهای توسعه آینده کشور می باشد. لذا ظرفیت قانونی تدوین شده در حوزه پدافند غیرعامل، مبنی بر" پیش بینی سازوکار لازم برای تهیه طرحهای مشترک ایمن سازی و ایجاد هماهنگی در سایر طرحها و برنامه ها و مدیریت نهادهای مسئول، در دو حوزه پدافند غیرعامل و حوادث غیرمترقبه در جهت هم افزایی و کاهش هزینه ها" قابلیت استفاده در طرح های مدیریت سیل در حوضه های شهری را دارد.

بررسی ظرفیت های قانونی در حوزه شهرداری ها، نشان داد که یکی از وظایف شهرداری ها بنا به تصریح بند چهاردهم ماده (۵۵) قانون شهرداری، اجرای اقدامات پیشگیرانه و ارتقاء ایمنی شهر و شهروندان می باشد. منظور از این بند، اتخاذ تدابیر مؤثر و اقدام لازم برای حفظ شهر از خطر سیل و حریق، از موارد تصریح شده در این قانون است. هماهنگی بین متولی مدیریت سیل شهری در بالادست حوضه‌ها و

مدیریت پیش و پس از وقوع سیل در پایین دست حوضه‌ها (شهر ها)، به دلیل امکان تداخل اختیارات و حوزه عملکرد دستگاه‌ها، پیش نیاز مدیریت جامع این پدیده می باشد.

ظرفیت قانون "حفظ کاربری اراضی زراعی و باغات"، قانون "تعاریف محدوده و حریم شهر، روستا و شهرک و نحوه تعیین آنها" و قانون "حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی " که متولی اصلی آن وزارت جهاد کشاورزی است، از منظر اینکه یکی از عوامل عمده افزایش آسیب پذیری ناشی از وقوع سیل ها، تغییر کاربری اراضی بالادست می باشد، و با توجه به اینکه در بالا دست اغلب شهرهای واقع در بخش کوهستانی، اراضی منابع طبیعی، زراعی، باغی و جنگلی است، لذا این قانون ها ظرفیت استفاده در مدیریت سیل شهری را دارا می باشد. و لذا اجرای دقیق و نظارت بر اجرای آن می‌تواند به پیش‌گیری و یا کاهش خسارات ناشی وقوع سیل در مراکز شهری کمک کند. قابل توجه اینکه پهنه‌های مذکور در قانون تعاریف محدوده و حریم شهر، از منظر امکان مشارکت در طرح‌های مدیریت سیل شهری و توجه به مرزبندی‌های قانونی برای اعمال مدیریت بر پدیده سیل‌های شهری قابل توجه می‌باشد.

ظرفیت های قانونی مستتر در اسناد بالا دستی مانند: قانون اساسی، سیاست‌های کلی نظام؛ سیاست‌های کلی منابع آب؛ برنامه های پنج ساله توسعه کشور؛ راهبرد های بلند مدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین، و اسناد میان دستی مانند: سند راهبردی توسعه فناوری های آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست، برنامه کلان علم و فناوری، منابع طبیعی آب و خاک، و قوانین و بخشنامه های حمایتی آسیب دیدگان از سیل، متمرکز بر جنبه های گوناگون مرتبط با این پدیده است. از جمله وجوه پوشش داده شده توسط این قوانین می توان به نگاه ویژه به موضوع آب از منظر، آمایش، مکان گزینی بهینه، استحصال آب، آبخیزداری و آبخوان داری و مهار آب‌ها، تقویت نقش مردم در مهار آب‌ها، استقرار و توسعه سامانه های پایش و مدیریت یکپارچه داده ها به منظور مدیریت مدبرانه آب، ارتقاء روش‌های علمی در مدیریت حوزه‌های متاثر از بلایای طبیعی و جنبه های حقوقی و بیمه حمایت از آسیب دیدگان اشاره کرد.

جمع بندی کلی قوانینی که به طور مستقیم و غیر مستقیم مرتبط با پدیده سیل شهری است، و می‌تواند به عنوان یک ظرفیت قانونی در این حوزه، مورد استفاده قرار گیرد، حاکی از آن است که ظرفیت‌های مختلف و خوبی در جایگاه های سازمانی و قانونی مختلف و مجزا از هم وجود دارد. ولی در حال حاضر یک قانون جامع و مستحکم مصوب مجلس شورای اسلامی، خاص سیل شهری و مسائل مربوط به آنها وجود ندارد. قانون جامع مذکور باید تمام جوانب مربوط به این پدیده را پوشش دهد. لذا در شرایط عدم وجود برنامه بلندمدت هدفدار و از پیش تعیین شده، قوانین و مقررات مختلف، بدون ارتباط با یکدیگر بوده و در راستای یکدیگر نیز عمل نمی‌کنند. اگرچه در برخی از قوانین و مقررات موجود، دستگاه‌های مختلفی مانند، وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، شهرداری‌ها، سازمان مدیریت بحران،

پدافند غیر عامل، و... تکالیفی را به عهده دارند، ولی عدم تعیین تکلیف دقیق متولی امر و تکالیف قانونی آن، عدم تمرکز اقدامات و فعالیتها را به دنبال خواهد داشت.

۷-پیشنهادات:

به منظور پیش بینی اقدامات تقنینی و نظارتی توسط مراجع قانون گذاری، ابتدا نیازمند تدوین سیاستگذاری مقابله با سیل شهری و تدوین اقدامات مربوطه می‌باشد، تا قوانین مربوطه برای تامین و تضمین اجرای آن سیاست ها تدوین شود. به این منظور تدوین چارچوب سیاست‌های کلی و اقدامات مربوطه، تدوین نظام نامه ملی مدیریت سیل شهری و استفاده از ظرفیت های قانونی برای بیمه خسارات ناشی از سیل و تدوین سطوح برنامه ریزی در مدیریت سیل شهری با رویکرد آینده پژوهی، به منظور آینده نگاری در باره احتمالات آینده و اقدامات قابل اجرا پیشنهاد می شود.

۸-منابع:

- آیین نامه اجرایی قانون اصلاح قانون سازمان دفاع غیر نظامی کشور مربوط به وظایف و تشکیلات مصوب ۱۳۵۱/۱۲/۲۷
- آیین نامه اجرایی قانون تشکیل کمیته ملی کاهش آثار بلایای طبیعی مصوب ۱۳۷۲/۲/۱۲
- بانک اطلاعات سیل کشور مربوط به سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر مهندسی و ارزیابی آبخیزها
- بانک اطلاعاتی خسارات سیل، شرکت جاماب، (۱۳۸۱).
- بررسی وضعیت سیل در کشور،۱۳۹۶.اقدامات انجام شده و تجربیات سایر کشور ها، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی، معاونت پژوهش های زیر بنایی، و امور تولیدی، دفتر مطالعات زیر بنایی، کد ۲۵۰ شماره مسلسل۱۵۵۵۵۴.
- برنامه راهبردی مدیریت بهره برداری از سیلاب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ۱۳۸۹
- برنامه راهبردی وزارت نیرو ۱۴۰۴ – راهبرد شماره ۲۶ بخش آب، نظام نامه مدیریت سیلاب در وزارت نیرو، ۱۳۹۵. معاونت آب و آبفا، دفتر نظامهای بهره برداری و حفاظت آب و آبفا
- برنامه های توسعه اول تا ششم، مصوب مجلس شورای اسلامی
- پرهمت، جهانگیر و همکاران. ۱۳۹۳.اطلس فرسایش و سیمای حوزه‌های آبخیزکشور، سنتز تلفیق و یکپارچه سازی داده‌ها، سازمان تات.
- پرهمت، جهانگیر و همکاران. ۱۳۹۵. تهیه و توسعه اطلس و آماده سازی داده های زمانی و مکانی سیل در حوضه های رده هفت کشور،پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۹،
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۹، برنامه راهبردی مدیریت بهره برداری از سیلاب.

- چشم انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی
- راهبردهای بلندمدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین- مصوب ۱۳۹۱/۷/۱۷
- سند راهبردی توسعه فناوری‌های "آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست" معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری،بهمن۱۳۹۷.
- سیاست‌های کلی برنامه چهارم توسعه اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی ـ امور فرهنگی، علمی و فناوری
- سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه
- سیاست‌های کلی نظام در امور پدافند غیرعامل
- سیاست‌های کلی نظام در دوره چشم انداز (سیاست‌های کلی منابع آب)
- طرح جامع سیلاب، وزارت نیرو، (۱۳۹۵)
- کاظمی، ر، پرهمت،ج،۱۳۹۷. بررسی و مقایسه فراوانی حوضه‌های با پتانسیل سیل‌خیزی در اقالیم مختلف ایران، هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران – تهران – اول و دوم اسفندماه ۱۳۹۷،پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری – انجمن سیستم‌های سطوح آبگیر باران
- موسیوند، علی اکبر و علی میرزایی شمیم، بانک اطلاعات سیل کشور از سال ۱۳۳۰ لغایت ۱۳۸۳ .سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر مهندسی و ارزیابی آبخیزها، گروه مطالعه و ارزیابی سیل، (۱۳۸۵)
- نقشه جامع علمی بخش کشاورزی مصوب شورای راهبری بخش کشاورزی (۱۳۹۱)
- وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، دفتر کنترل سیلاب، گزارش جامع سیل، اردیبهشت ماه ۱۳۱۶.

ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر دبی و حجم سیلاب (مطالعه موردی: حوزه قرغن شهرستان گلپایگان)

ابوطالب امینی[۱]، حسین یاری[۲]، روح‌الله سمیعی[۳]، محمّدرضا رهنما[۴]، سحر ذاکری[۵*]

۱-مدیرکل اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان، amini.abootaleb@gmail.com

۲-معاون آبخیزداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان، h.yari@gmail.com

۳-رئیس اداره کنترل سیلاب و آبخوانداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان، masoodsami110@gmail.com

۴-دکترای زمین‌شناسی، اداره کنترل سیلاب و آبخوانداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان، mrezarah@yahoo.com

۵-دکترای مهندسی منابع طبیعی، اداره کنترل سیلاب و آبخوانداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان، szakeri100@yahoo.com

چکیده

آبخیزداری مدیریت جامع منابع آب، خاک و پوشش گیاهی با درنظرگرفتن مسائل اجتماعی و اقتصادی موجود در یک حوزه آبخیز برای کسب بیشترین سود و کمترین تخریب منابع طبیعی است. امروزه نیاز به ارزیابی، یکی از ارکان ا سا سی پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری بوده که در جوامع پی شرفته به عنوان ابزاری در جهت ســـنجش و میزان اثرگذاری طرح‌ها و برنامه‌های آبخیزداری، با توجه به اهداف منظور شده در طرح آن عملیات به‌شمار می‌رود. در مطالعه حاضر به ارزیابی اقدامات آبخیزداری و تأثیر آن بر دبی و حجم سیلاب در دوره برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از مدل HEC-1 در حوزه قرغن شــهرســتان گلپایگان، با مســاحت ۴۰۰۲ هکتار پرداخته شــده اســت. عملیات اجرایی بیولوژیک در حوزه قرغن با م شارکت آبخیزن شینان، به صورت فعالیت‌های خدماتی و همکاری در اجرای پروژه‌های کپه‌کاری، بذرپاشــی، نهال‌کاری به همراه فارو و قرق مدیریتی و حفاظتی بوده اســت. مجموع سطح عملیات بیولوژیک ۵۲۰ هکتار است. عملیات آبخیزداری اجرا شده در منطقه مطالعاتی، شامل ۳۶ مورد بند سنگ و سیمانی کوچک، ۷۷ مورد بند گابیونی و ۲۸ مورد بند خشکه‌چین جمعاً ۱۴۱ مورد با حجم ۶۰۱۳ متر مکعب بوده ا ست؛ همچنین تعداد پنج بند خاکی و یک بند سنگ و سیمانی با حجم ۸۲۰۰۰ متر مکعب در منطقه مطالعاتی اجرا شده ا ست. پس از بررسی دبی اوج و حجم سیلاب قبل از اجرای پروژه های آبخیزداری و بعد از اجرای پروژه ها، نتایج ارزیابی، حاکی از نقش مثبت اقدامات بیولوژیکی و بندهای آبخیزداری در کنترل دبی و حجم ســـیلاب در منطقه مورد مطالعه بود و دبی و حجم ســـیلاب بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در منطقه مطالعاتی کاهش یافت؛ همچنین نتایج پژوهش نشــان داد که اقدامات کنترلی و مدیریتی در جهت کاهش ســیلاب، با اجرای عملیات ســازه‌ای آبخیزداری و اقدامات بیولوژیکی به‌صورت توام، تأثیر بیشتری بر کاهش دبی و حجم سیلاب دارد.

واژه‌های کلیدی:
آبخیزداری، مدل HEC-1، حوزه قرغن، اقدامات بیولوژیکی، مشارکت آبخیزنشینان.

مقدمه

آبخیزداری به مجموعـــهٔ اقدامات مکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی کـــه در یک حوزهٔ آبخیز به منظور ارتقاء وضعیت اقتصادی و اجتماعی ســـاکنین حوزه و با توجه به بهره‌برداری پایدار از منابع آن صورت می‌گیرد، اطلاق می‌شود و بدون شـــک آبخیزداری یکی از فعالیت‌های عمده و زیربنایی می‌باشـــد که بـــه مدیریت جامع منابع آب و خاک و پوشـــش گیاهی، بهره‌بـــرداری بهینه از این منابع و حفظ سرمایهٔ اصلی می‌پردازد (Radwan، ۱۹۹۹).

افزایش رو به رشد تلفات منابع آب و خاک حوزه‌های آبخیز در چند دههٔ اخیر، در اثر بهره‌برداری غیر اصولی از منابع، شدّت فزاینده‌ای یافته است. این موضوع موجب تشدید وقوع سیلاب‌ها، افزایش نرخ تولید رسوب و کاهش عمر مفید مخازن سدها گردیده است (حصادی و همکاران،۱۳۹۳)

انجام اقدامات آبخیزداری با تأثیرگذاری بر اجزای حوزه آبخیز با تغییر در رفتار هیدرولوژیکی آن سعی در آرام کردن پاسخ حوزه آبخیز در قبال بارش ورودی دارد و در پایین‌دست با مدیریت وضعیت هیدرولیکی رودخانه و سیلاب دشت جهت تسهیل عبور سیلاب تلاش می‌نماید (حاجی بیگلو و همکاران، ۱۳۹۶). به طور کلّی عوامل متعدّدی در بروز سیلاب حوزه‌های آبخیز نقش دارند که از جمله می‌توان به خصوصیات حوضه و بهره‌برداری غیر اصولی انسان از طبیعت اشاره نمود. در این میان، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه، به لحاظ تأثیرگذاری بر مؤلّفه‌هایی نظیر روند تولید، حرکت و نحوهٔ تجمیع رواناب از اهمّیّت ویژه‌ای برخوردار است. بر این اساس اجرای هرگونه عملیات اجرایی در سطح حوضه، با ایجاد تغییر در نفوذپذیری خاک و روند جریان، موجب بروز رفتارهای متفاوتی در تولید رواناب و دبی اوج هیدروگراف سیل حوزه‌های آبخیز می‌گردد (حصادی و همکاران،۱۳۹۳).

امروزه ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری از بنیادی‌ترین مسائلی است که در کشورها به منظور برنامه‌ریزی‌های آینده در زمینه طرح‌های اجرایی و مدیریت منابع طبیعی انجام می‌گیرد. نتایج ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری با ارائه راهبرد و راهکار باید از بروز مشکل در آینده و هزینه‌ها بکاهد (اختصاصی و همکاران، ۱۴۰۰).

هدف این پژوهش، ارزیابی کمی خصوصیات سیل، تأثیر مستقیم عملیات آبخیزداری در دو دوره قبل، بدون انجام عملیات آبخیزداری و بعد با انجام عملیات آبخیزداری می‌باشد.

چمن‌پیرا و روغنی در سال ۱۳۹۷به ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیلاب در حوزه دادآباد خرم آباد پرداختند. و با استفاده از مدل ریاضی HMS-HEC نسبت به برآورد سیلاب اقدام کردند. با محاسبه حجم مخازن، قابلیت آنها در ذخیره‌سازی رواناب و سیلاب و کاهش خطر سیلاب برای اراضی

پایین دست کاملاً مشهود بود. نتایج نشان داد که در دوره بازگشت پایین، سازه‌های آبخیزداری، از توانایی لازم برای ذخیره‌سازی رواناب و کاهش دبی اوج سیلاب برخوردارند، اما با افزایش دوره بازگشت، نقش این اقدامات در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج کاهش می‌یابد (چمن‌پیرا و روغنی، ۱۳۹۷).

جعفری و دهقان در سال ۱۳۹۹، پژوهشی با هدف تأثیر عملیات آبخیزداری بر حجم و دبی سیل‌ها درحوزه آبخیز بشاگرد واقع در استان هرمزگان انجام دادند. بدین منظور از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری استفاده کردند. شاخص‌های دبی اوج و حجم سیلاب برای ارزیابی تعیین شد و مقادیر آنها برای دو وضعیت قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری محاسبه گردید. میزان تأثیرگذاری عملیات آبخیزداری با فرض مخزن خالی، برکاهش دبی اوج و حجم سیلاب در دوره بازگشت ۲۵ ساله مثبت ارزیابی گردید (جعفری و دهقان، ۱۳۹۹).

حاجی بیگلو و همکاران در سال ۱۳۹۶، به ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیلاب در حوزه آبخیز بالادست سد وشمگیر در استان گلستان با استفاده از مدل هیدر ولوژیکی HMS HEC پرداختند. در بررسی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه در مقابل رگبارهای طرح مشخص شد که با افزایش دوره بازگشت، تأثیر اقدامات بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابد. بیشترین تأثیر اقدامات بر دو پارامتر یاد شده در دوره بازگشت‌های پایین (۲ تا ۱۰ سال) بوده است که برای پارامترهای دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۶ حالت قبل از اقدامات تعیین گردید. همچنین بررسی حجم مخازن سازه‌های اصلاحی قبل از انباشت رسوب نشان می‌دهد که این مخازن توانایی کنترل سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله را دارا هستند (حاجی بیگلو و همکاران، ۱۳۹۶).

سلطانی و همکاران در سال ۱۳۹۰، با بررسی تأثیر سازه‌های اصلاحی در حوزۀ آبخیز منشاد یزد از مدل HMS-HEC برای مقایسۀ تغییرات دبی قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری استفاده کردند و جهت تعیین تأثیر سازه‌های اصلاحی، زمان تمرکز در شرایط بعد از اجرای اقدامات محاسبه و با اعمال تغییرات ایجاد شده در ورودی‌های مدل اقدام به شبیه‌سازی رفتار سیلاب کردند. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش زمان تمرکز حاصل از به‌کارگیری ۵۶۳ سازۀ کوتاه، دبی اوج سیلاب به میزان ٪۳۱ کاهش می‌یابد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰).

Yoshikawa و همکاران ۲۰۰۹، با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی و روندیابی سیل به ارزیابی عملکرد کاهش خسارات سیل توسط اقدامات کنترلی آبخیزداری پرداختند. نتیجه پژوهش کاهش دبی و حجم سیلاب تحت تأثیر اقدامات کنترلی آبخیزداری بود (Yoshikawa و همکاران، ۲۰۰۹).

Santhi و همکاران در سال ۲۰۰۶، با ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر حفاظت خاک و میزان تولید رسوب و کیفیت آن در کشور آمریکا نتیجه گرفتند که اجرای این طرح‌ها نقش بارزی در کاهش رسوبدهی و افزایش کیفیت آن در سطح مزرعه و حوضه دارد (Santhi و همکاران، ۲۰۰۶).

Nyssen و همکاران در سال ۲۰۱۰ در پژوهشی به ارزیابی فنی اقدامات آبخیزداری در شمال اتیوپی پرداختند. نتایج نشان داد که پس از انجام عملیات آبخیزداری، منابع آب زیرزمینی منطقه افزایش یافته و حدود ۸۱ درصد از حجم رواناب و سیلاب‌ها کاسته شده است (Nyssen و همکاران، ۲۰۱۰).

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز قرغن با مساحت ۴۰۰۲ هکتار در مختصات جغرافیایی'۱ °۵۰ تا '۵ °۵۰ طول شرقی و '۲۰ °۳۳ تا '۳۰ °۳۳ عرض شمالی در ۴۵ کیلومتری غرب شهرستان گلپایگان واقع شده است. منطقه مطالعاتی بخشی از حوزه آبخیز گلپایگان می‌باشد. شیب متوسط حوضه مطالعاتی ۱۰/۵ درصد، تراکم آبراهه‌ها ۲ کیلومتر در کیلومتر مربع، کمترین ارتفاع ۱۹۸۰ متر، بیشترین ارتفاع ۳۱۰۰ متر و ارتفاع متوسط منطقه مطالعاتی ۲۳۳۳ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی ۳۴۸ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه با استفاده از روش آمبرژه از نوع نیمه‌خشک سرد با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های خشک و خنک ارزیابی می‌شود.

اطلاعات اولیه منطقه مورد مطالعه، از گزارشات توجیهی اجرایی حفاظت خاک و آب حوزه قرغن که با هدف کنترل سیلاب و کاهش فرسایش خاک منطقه صورت گرفته بود جمع‌آوری شد.

عملیات اجرایی بیولوژیک در حوزه قرغن با مشارکت آبخیزنشینان، به‌صورت فعالیت‌های خدماتی و همکاری در اجرای پروژه‌های کپه‌کاری، بذرپاشی، نهال‌کاری به همراه فارو و قرق مدیریتی و حفاظتی بوده است. مجموع سطح عملیات بیولوژیک ۵۲۰ هکتار است.

عملیات آبخیزداری اجرا شده حد فاصل سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ شامل ۳۶ مورد بند سنگ و سیمانی کوچک، ۷۷ مورد بند گابیونی و ۲۸ مورد بند خشکه‌چین، جمعاً ۱۴۱ مورد با حجم ۶۰۱۲/۷۸ متر مکعب بوده است. جدول ۱ ارائه دهنده مشخصات مربوط به عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوزه قرغن می‌باشد.

اطلاعات مربوط به بندهای سنگ و سیمانی

تعداد کل سازه‌های سنگ و سیمانی در حوزه قرغن ۳۶ مورد، ارتفاع متوسط ۲/۶ متر و جمع کل عملیات سنگ و سیمان انجام شده ۳۷۷۵ متر مکعب می‌باشد. انجام این عملیات با مشارکت مردم صورت گرفته است. محل تأمین سنگ عمدتاً از داخل حوضه و در مواردی از سنگ‌های منطقه با فاصله ۱۰ کیلومتر استفاده شده است. جمع استحصال رسوب هر سازه ۲/۲ متر مکعب رسوب به ازای هر متر مکعب سنگ و سیمان بوده و در صورتی که تمامی بندها از رسوب پر شوند میزان استحصال رسوب ۵/۳ متر مکعب به ازای هر متر مکعب بند سنگ و سیمان است.

اطلاعات مربوط به بندهای گابیونی

تعداد کل بندهای گابیونی در منطقه مطالعاتی ۷۷ مورد، ارتفاع متوسط ۲/۵ متر و جمع کل عملیات گابیونی انجام شده ۱۸۹۴/۵ متر مکعب می‌باشد.

جمع استحصال رسوب هر سازه ۲ متر مکعب رسوب به ازای هر متر مکعب گابیون بوده و در صورتی که تمامی بندها از رسوب پر شوند میزان استحصال رسوب ۴/۲ متر مکعب به ازای هر متر مکعب بند گابیون است.

اطلاعات مربوط به عملیات خشکه‌چین

تعداد کل عملیات خشکه‌چین در حوزه قرغن ۲۸ مورد، ارتفاع متوسط ۰/۹۶ متر و جمع کل عملیات خشکه‌چین انجام شده ۳۴۳ متر مکعب می‌باشد. انجام این عملیات با مشارکت آبخیزنشینان صورت گرفته است. محل تأمین سنگ عمدتاً از داخل حوضه و در مواردی از سنگ‌های منطقه با فاصله ۱۰کیلومتر استفاده شده است. جمع استحصال رسوب هر سازه ۰/۳ متر مکعب رسوب به ازای هر متر مکعب خشکه‌چین بوده و در صورتی که تمامی بندها از رسوب پر شوند میزان استحصال رسوب ۵/۳ متر مکعب به ازای هر متر مکعب بند خشکه‌چین است.

اطلاعات مربوط به عملیات بندهای خاکی و سنگی ملاتی بزرگ

تعداد ۵ مورد بند خاکی و یک مورد بند سنگی ملاتی بزرگ به ارتفاع متوسط ۳ تا ۱۵ متر، جمع کل حجم مخزن ۸۲۰۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. جهت انجام این عملیات از آبخیزنشینان استفاده شده است. محل تأمین سنگ عمدتاً از داخل حوضه و در مواردی از سنگ‌های منطقه با فاصله ۱۰کیلومتر استفاده شده است.

براساس اطلاعات پایه در مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی، دبی و حجم سیلاب‌ها، قبل و بعد از اجرای پروژه‌های آبخیزداری مشخص گردید تا از این طریق تأثیر عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه آبخیز بر کنترل سیلاب‌های سالانه ارزیابی گردد.

هرچند روی رودخانه‌های اصلی کشور ایستگاه‌های اندازه‌گیری و ثبت داده‌های سیل وجود دارد ولی بیشتر رودخانه‌های کوچک و آبراهه‌ها فاقد آمار اندازه‌گیری بوده و همین امر کالیبراسیون مدل‌های برآورد سیل را محدود می‌سازد. در روش موسوم به سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) که از جامعیت بیشتری برخوردار است به جای استفاده از آمار ثبت شدهٔ سیل از آمار بارندگی استفاده می‌شود؛ زیرا در بیشتر موارد، شبکهٔ ایستگاه‌های هواشناسی متراکم‌تر از شبکهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری مجهّز به تجهیزات ثبت سیلاب بوده و اگر آمار سیل در اختیار نبا شد حداقل آمار بارندگی در منطقه مورد نظر وجود خواهد داشت. برآورد سیلاب در منطقه مورد مطالعه بر پایه روش هیدروگراف مصنوعی بدون بعد

(SCS) انجام گرفته ا ست. برآورد سیلاب در مقایسه با گزارش محا سبه سیلاب‌های حوزه قرغن با در نظر گرفتن شرایط حوزه و بهینه‌سازی اطلاعات از تغییراتی برخوردار شده که عمده آن در مقایسه شماره منحنی (CN) زیرحوضه‌ها قبل از عملیات آبخیزداری و نیز به‌کارگیری نرم‌افزار HEC-1 برای شبیه‌سازی بارش- رواناب و قابلیت روندیابی و تخمین هیدروگراف در برنامه فوق‌الذکر بوده است. به این منظور زمان تمرکز به روش (SCS) محاسبه شد.

- زمان تمرکز به روش (SCS) محاسبه گردید.

- مدت پایه بارش براساس SCS برابر D=0.133tc درنظرگرفته شد و الگوی توزیع ۶ ساعته (SCS) جهت توزیع بارش در طول زمان استفاده شد.

- با بررسی وضعیت سطحی حوضه از نظر خاک، پوشش گیاهی، چگونگی استفاده از رطوبت زمین و خاک شماره منحنی (CN) برآورد گردید.

- محاسبه ارتفاع بارش مازاد طبق روابط

$$Q = \frac{(P - 0.2S)2}{(P + 0.8S)} \qquad S = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN= شماره منحنی

S= کمبود اولیه ذخیره رطوبت خاک

Q= مقدار بارش اضافی

P= مقدار بارش

- محاسبه هیدروگراف واحد و محاسبه هیدروگراف سیل با استفاده از رابطه:

$$Qp = \frac{484A}{tp} \qquad tp = \frac{\Delta t}{2} + t1$$

tp = زمان اوج هیدروگراف

Δt = تداوم بارش اضافی

Qp = دبی پیک هیدروگراف (فوت مکعب بر ثانیه)

از ضرب کل بارش مازاد در هیدروگراف واحد ساخته شده و به تأخیر انداختن آن، هیدروگراف سیل حاصل شد. سپس با استفاده از برنامه HEC-1 و بر پایه اطلاعات موجود به عنوان داده‌های ورودی به برنامه، دبی پیک سیلاب و مقادیر حجم سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در خروجی‌های قرغن قبل و بعد از انجام عملیات آبخیزداری برآورد گردید.

نتایج و بحث

مشخصات عملیات بیولوژیک اجرا شده در حوزه قرغن در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ – مشخصات مربوط به عملیات بیولوژیک اجرا شده در حوزه قرغن

ردیف	نوع	مساحت(هکتار)	طول جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	کشت بادام دیم (اسکوپاریا)	۲۰	۳۶۹۶۹۴۱-۳۶۹۷۴۹۸	۴۱۴۳۲۶-۴۱۴۷۳۸
۲	تراس‌بندی	۳۰	۳۷۰۲۳۳۳-۳۷۰۲۹۱۲	۴۱۰۶۷۱-۴۱۱۵۱۸
۳	کشت گیاهان مرتعی	۴۰۰	۳۷۰۰۰۴۹-۳۷۰۱۴۷۵	۴۰۹۶۴۲-۴۱۱۷۹۷
۴	کشت بادام دیم همراه با فارو	۲۰	۳۷۰۱۱۷۴-۳۷۰۲۲۷۷	۴۱۳۵۱۳-۴۱۴۰۲۵
۵	کشت بادام دیم (بادام شیرین)	۵۰	۳۷۰۱۵۵۴-۳۷۰۲۲۷۴	۴۱۰۳۵۲-۴۱۱۱۱۵

جدول شماره ۲ نشان‌دهنده مشخصات مربوط به عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوزه قرغن می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات مربوط به عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوزه قرغن

نوع	تعداد	حجم عملیات (متر مکعب)	حجم مخزن (مترمکعب)	حجم رسوب (متر مکعب)
سنگ و سیمان	۳۶	۳۷۷۵/۲۶	۲۰۱۲۰	۸۲۶۱
گابیون	۷۷	۱۸۹۴/۵۳	۷۹۵۵	۳۷۰۰
خشکه‌چین	۲۸	۳۴۲/۹۹	۱۰۹۰	۵۳۱
جمع	۱۴۱	۶۰۱۲/۷۸	۲۹۱۶۵	۱۲۴۹۲

مشخصات مربوط به ۵ مورد بند خاکی و یک مورد بند سنگی ملاتی بزرگ اجرا شده در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات بندهای خاکی و سنگی ملاتی بزرگ اجرا شده در حوزه قرغن

ردیف	نوع	ارتفاع (متر)	طول تاج (متر)	عرض پائین (متر)	عرض تاج (متر)	حجم مخزن (متر مکعب)	محل تأمین اعتبار
۱	سنگ و سیمان قرغن	۱۵	۲۰	۱۲	۱	۲۰۰۰۰۰	اعتبارات ملی
۲	سد خاکی دره سیب ۲	۱۰	۱۲۰	۵۰	۵	۳۰۰۰۰۰	اعتبارات ملی
۳	سد خاکی عربعلی نوبخت	۳	۱۰	۲	۵	۵۰۰۰۰	تسهیلات بانکی توسط مردم
۴	سد خاکی محمد نوبخت	۶	۸۰	۳۰	۵	۱۰۰۰۰۰	تسهیلات بانکی توسط مردم
۵	سد خاکی سیفعلی نوبخت	۵	۶۰	۲۰	۵	۷۰۰۰۰	تسهیلات بانکی توسط مردم
۶	سد خاکی قربانعلی نوبخت	۶	۸۰	۳۰	۵	۱۰۰۰۰۰	تسهیلات بانکی توسط مردم
	جمع					۸۲۰۰۰۰	

نتایج حاصـــل از ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه مطالعاتی، قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول شماره ۴ - ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه مطالعاتی قرغن قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

	مساحت (کیلومتر مربع)	شماره منحنی CN	زمان تأخیر (ساعت)	زمان تمرکز (ساعت)	تداوم بارش (دقیقه)
قبل از اجرای عملیات آبخیزداری	۴۰/۰۲	۷۵	۲/۱۴	۳/۶	۲۴۰
بعد از اجرای عملیات آبخیزداری	۴۰/۰۲	۷۸	۱/۸۵	۳/۱	۱۸۰

جدول شماره ۴ و ۵، نشان‌دهنده نتایج حاصل از برآورد دبی و حجم سیلاب قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

جدول شماره ۴ - دبی و حجم سیلاب در خروجی حوزه قرغن قبل از انجام عملیات آبخیزداری

	احتمال وقوع (درصد)					
	۵۰	۲۰	۱۰	۴	۲	۱
	دوره بازگشت(سال)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی	۱/۶	۱۰	۲۰/۵	۳۳	۴۷	۶۰
حجم	۱۹	۱۲۰	۲۵۲	۴۰۸	۵۹۱	۷۴۲

جدول شماره ۵ - دبی و حجم سیلاب در خروجی حوزه قرغن بعد از انجام عملیات آبخیزداری

	احتمال وقوع (درصد)					
	۵۰	۲۰	۱۰	۴	۲	۱
	دوره بازگشت(سال)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی	۱	۷/۸	۱۷	۲۷/۷	۴۰/۹	۵۱/۸
حجم	۱۳/۲	۱۰۹/۷	۲۴۲	۴۰۰	۵۸۸	۷۳۸

بررسی ها نشان داد که اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه قرغن در ویژگی های فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوزه از قبیل زمان تمرکز، CN، زمان تأخیر و تداوم بارش موثر بوده و تأثیر مثبتی در کاهش دبی و حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله دارا می‌باشند.

نتایج مطالعه حاضر که حاکی از تأثیر مثبت عملیات آبخیزداری در کاهش دبی و حجم سیلاب می‌باشد با نتایج پژوهش چمن‌پیرا و روغنی در حوزه دادآباد خرم آباد، ۱۳۹۷ همچنین نتایج بررسی‌های جعفری و دهقان، ۱۳۹۹ منطبق می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست آمده نشان داد که اقدامات آبخیزداری به خوبی توانسته‌اند در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب و همچنین افزایش زمان تمرکز حوزه آبخیز قرغن تأثیرگذار باشند.

با توجه به اینکه برای کاهش سیل و کنترل فرسایش، نمی‌توان در عوامل و عناصر زمین‌شناسی، مورفولوژی و اقلیمی تغییری ایجاد کرد عملیات آبخیزداری با تأثیر مثبت در مهار سیل و فر سایش، در اغلب حوضه‌ها می‌تواند روشی مناسب باشد و عملیات آبخیزداری چنانچه به‌صورت صحیح و اصولی اجرا شوند می‌توانند نقش مفید و ارزنده‌ای را در حوزه‌های آبخیز ایفا نمایند.

اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه قرغن در ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوزه از قبیل زمان تمرکز، CN، زمان تأخیر و تداوم بارش موثر بود و بر کاهش دبی و حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تأثیر مثبتی داشت.

نتایج این تحقیق نشان داد، در صورتی که عملیات بیولوژیکی و مکانیکی به صورت توام به منظور کنترل سیلاب و فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز اجراء شوند؛ تأثیر عملکرد اقدامات آبخیزداری بیشتر نمایان خواهد بود.

با توجه به اینکه مشارکت مردمی، یکی از عوامل مهم در مدیریت بهینه و پایدار حوزهای آبخیز به شمار می‌رود؛ پیشنهاد می شود با برگزاری کلاس‌های آموزشی و توجیه آبخیزنشینان، نقش مشارکت مردمی در اجرای اقدامات آبخیزداری افزایش یابد؛ زیرا چنانچه اجرا و نگهداری پروژه های آبخیزداری فقط متکی به اعتبارات و اقدامات دولتی بوده و سیاست‌های اتخاذ شد به گونه‌ای با شد که عملاً به کاهش میزان مشارکت‌های مردمی در اجرای طرح‌های آبخیزداری منجر شود، با ایجاد وقفه و یا ناهماهنگی‌های مدیریتی، ازکارایی و راندمان طرح‌های آبخیزداری به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. لذا اجرای موفقیت آمیز پروژه‌های آبخیزداری مستلزم توجه کافی به مسائل اجتماعی و اقتصادی نا شی از اجرای پروژه‌ها بوده و ضروری است آبخیزنشینان در کلیه مراحل اجراء و نگهداری پروژه‌ها مشارکت فعال داشته باشند.

با توجه به اینکه دوره آماری کوتاه چند ساله مربوط به قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری نمی‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی عمکرد اقدامات آبخیزداری باشد؛ پیشنهاد می‌گردد تداوم پایش به منظور دستیابی به آمار طولانی مدت و بررسی عملکرد درازمدت اقدامات آبخیزداری انجام گیرد.

با توجه به نقش عملیات بیولوژی و تأثیر مثبت آن بر روی مدیریت کاربری اراضی و شماره منحنی حوزه، پیشنهاد می‌گردد؛ اقدامات کنترلی و مدیریتی در جهت کاهش سیلاب، با اولویت انجام اقدامات بیولوژی و یا اجرای عملیات سازه‌ای آبخیزداری و اقدامات بیولوژیکی به‌صورت توام صورت پذیرد.

منابع

- اختصاصی، م. چزگی، ج. خواجویی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری و ارائه راهبرد و راهکار مناسب جهت توسعه آنها با استفاده از مدل SWOT و AHP در مناطق خشک و نیمه‌خشک. مهندسی و مدیریت آبخیز، (۱) ۱۳ ۶۴-۵۵.
- جعفری تختی، ا. آتش دهقان، م،۱۳۹۹. بررسی تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیلاب حوزه آبخیز بشاگرد استان هرمزگان، پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،ساری.
- چمن پیرا، ر، روغنی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش سیلاب حوزه دادآباد. مهندسی و مدیریت آبخیز.۱۰(۳): ۳۶۰-۳۵۰.
- حاجی بیگلو، م. رشیدی، م .محبتی، آ. ۱۳۹۶. ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیلاب در حوزه آبخیز بالادست سد وشمگیر در استان گلستان. اکوسیستم های طبیعی ایران. ۸ (۲): ۸۲-۶۷.
- حصادی، ه. امیدی، ن. مسعودی تبار، ر ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر کاهش سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی‌آباد). جغرافیا و پایداری محیط. ۴ (۱): ۵۵-۴۳.
- سلطانی، م. اختصاصی، م ر. طالبی، ع. پوراغنیایی، م. سرسنگی، ع ر. ۱۳۹۰. اثر احداث سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب. مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز منشاد یزد. نشریه پژوهش‌های آبخیزداری، ۲۴ (۴): ۵۴-۴۶.
- Nyssen, J., Clymans W., Descheemaeker K., Poesen J., Vandecasteele I., Vanmaercke M., Zenebe A., Camp M. V, Haile M., Haregeweyn N., Moeyersons J., Martens K., Gebreyohannes T., Deckers J., Walraevens K., 2010. Impact of soil and water conservation measures on catchment hydrological response—a case in north Ethiopia, Hydrological Processes, Vol. 24 (13), pp. 880-1895.
- Radwan, A., 1999., Flood analysis and mitigation for an area in Jordan, Journal of Water Resources and Management, 125(3):170-177.
- . Santhi, C., Srinivasan R., Arnold J.G., Williams J.R., 2006. A modeling approach to evaluate the impacts of World Development, Vol. 66, pp. 443–456.
- Yoshikawa, N., Nagao, N., & S. Misawa, 2009. Evaluation of the flood mitigation effect of a paddy field dam project. Agric. Water Manage Journal. 97(2): 186-197.

بررسی روش بهینهٔ مدیریت پیش از بحران سیلاب شهری در کلانشهر مشهد

احسان اسماعیل‌پور مطلق*[۱]، بهروز بهنام [۲]، وحید اکلملی [۳]

۱* کارشناس ارشد مهندسی عمران آب و مهندسی *HSE*، پست الکترونیک (*ehsanemotlagh@aut.ac.ir*)

۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست گروه آموزشی مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*b.behnam@aut.ac.ir*)

۳ کارشناس ارشد مدیریت بحران، رئیس گروه پدافند غیر عامل و پیشگیری از بحران- مرکز راستی (شهرک غرب) شهرداری مشهد

چکیده

استان خراسان به خصوص شهر مشهد به عنوان دومین کلان شهر مذهبی جهان شناخته شده که با داشتن اقلیم خشک و نیمه خشک با محدودیت‌های محیطی فراوانی روبرو است. به دلیل داشتن محدودیت محیط طبیعی و گسترش ناگهانی شهر طی دهه‌های اخیر منجر به بروز بحران‌های محیطی گشته که از جمله این بحران‌ها می‌توان به کم آبی، آلودگی هوا، آسیب‌پذیری در برابر زمین لرزه، فرونشست دشتهای اطراف این کلانشهر بدلیل وجود چاههای آب غیرمجاز فراوان و اضافه برداشت از آبهای زیرزمینی و مشکل سیل و دفع آبهای سطحی اشاره نمود. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در محیط‌های شهری، در سال‌های اخیر ریسک سیلاب در حوضه‌های شهری نسبت به حوضه‌های غیرشهری افزایش یافته است. سیل گرفتگی در مناطق شهری موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساختهای شهری و کندشدن و یا توقف کامل سیستم‌های ترافیکی شده است لذا اهمیت آبخیزداری شهری بیش از پیش نمود پیدا می‌کند. ارزیابی پدیدهٔ سیلاب و آب‌گرفتگی معابر در حوضه‌هایی که دارای شبکه انتقال رواناب است گویای آنست که در برخی موارد مجاری انتقال آب باران بعد از مدتی به دلیل تغییر مشخصات فیزیوگرافی حوضه بخصوص افزایش سطوح نفوذناپذیر پاسخگوی انتقال جریانهای موجود بویژه دبی اوج جریان نیستند. یکی از فازهای مهم مدیریت بحران، کنترل و مهار مخاطرات پیش از وقوع بحران می‌باشد که جهت کاهش شدت حادثه و پتانسیل خطرات پس از مطالعات دقیق کارشناسی جهت درنظر گرفتن اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای باید طراحی و اجرا گردد. شهر مشهد به علت عبور مسیل‌های زیاد از میان آن هر ساله پذیرای خسارات زیادی می‌باشد. از این رو بررسی شرایط آسیب‌پذیری منطقه، اعمال مدیریت صحیح سیلاب و تعیین راهکارهای مؤثر درجهت کاهش خسارت امری ضروری محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

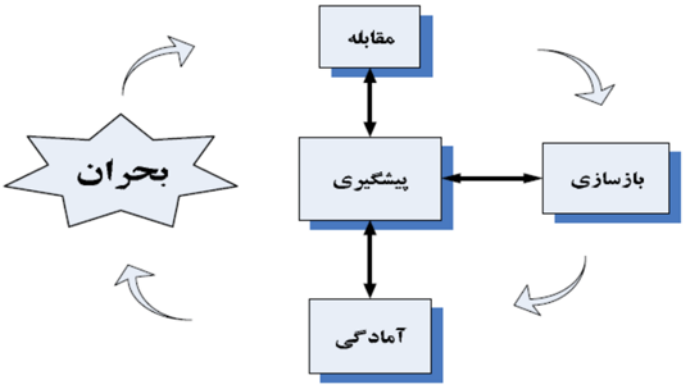
مدیریت بحران، آبخیزداری شهری، اقدامات سازه‌ای، کنترل مخاطرات، ریسک سیلاب

۱- مقدمه

بررسی آمار سیلاب‌های هفتاد ساله گذشته نشان می‌دهد که کشور ما در ردیف کشورهای سیل‌خیز جهان است و اکثر استانها در اثر سیلاب‌های حادثه‌ساز همه ساله متحمل تلفات جانی و خسارات مالی سنگین گردیده‌اند. برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب، با تکیه بر اصول کارشناسی مربوطه یکی از ضروریات اساسی در مدیریت بحران سیلاب محسوب می‌شود. با بررسی سیلابهای کشور از جمله مقایسه رفتارشناسی سیلاب‌های استان های آذربایجان شرقی و اردبیل با سیلاب‌های سایر استانها مانند خوزستان، سیستان بلوچستان، گلستان و مازندران نشان داده که یکی از عوامل بسیار مؤثر در مدیریت سیلاب و انتخاب روش‌های مناسب کنترل سیلاب و شناخت سیلاب‌های منطقه‌ای است. چرا که رفتار مسیل و رودخانه‌ها بیشتر به موقعیت جغرافیایی و شرایط هیدرومورفولوژیکی مناطق سیلابی بستگی دارد. در این مقاله هدف ما شناخت، تحلیل و بررسی نقاط ضعف در مدیریت سیلاب‌های شهری در کلانشهر مشهد به عنوان یکی از مهمترین شهرهای کشور متأثر از سیلاب می‌باشد که می‌تواند زمینه ساز کاهش خطر و آسیب‌پذیری ناشی از پدیدهٔ سیلاب باشد. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که در صورت توجیه بودن مردم و پذیرش طرحهای مقابله با سیلاب در منطقه و اعتماد آنها به هشدارها و یا اطلاع رسانی‌های انجام شده از طریق آموزش‌های لازم می‌توان نسبت به اجرای موفق طرحهای مدیریت سیلاب اطمینان حاصل نمود.

سیل یکی از پدیده‌های موجود در طبیعت بوده که از دیرباز، بشر شاهد وقوع آن می‌باشد. در ایران نیز بدلیل وسعت زیاد، تنوع اقلیمی و تراکم زمانی و مکانی بارشها در اکثر حوضه‌های آبخیز، همه ساله شاهد سیلاب‌های عظیمی در اکثر مناطق کشور می‌باشیم که بسیاری از آنها، خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند. در بروز و یا تشدید سیلاب عوامل متعددی دخالت دارند. این عوامل را می‌توان بطور کلی در سه گروه اصلی طبقه بندی نمود: عوامل اقلیمی، خصوصیات منطقه‌ای و حوضه‌ای و عوامل انسانی. در کشورهای مختلف جهان بسته به موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی حوضه‌های آبریز آن و همچنین با توجه به فرهنگ، سنتها و آداب و رسوم زندگی مردم و نحوه رشد جمعیت، تأثیر هر کدام از این عوامل متفاوت است. با توجه به آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده در کشور ما، از مهمترین دلایل تشدید خسارات ناشی از سیل در سالهای اخیر، تخریب پوشش گیاهی، احداث سازه‌های تقاطعی نامناسب، دخل و تصرف غیر مجاز در حریم رودخانه و عدم توجه کافی به بحث پیش آگاهی و سیستم پیش‌بینی و هشدار سیل بوده است. توجه به آموزش و فرهنگ‌سازی یکی از عوامل بسیار مهم در آمادگی مقابله با بحران و کاهش خسارات محسوب می‌شود. اصولاً می‌توان گفت که توفیق دیگر فعالیت‌های مربوط به مدیریت بحران به میزان پیش آگاهی و مقبولیت عمومی بستگی دارد. تدوین آیین‌نامه‌ها و تصویب قوانین بایستی همراه با برنامه‌های ایجاد فرهنگ و آموزشهای همگانی باشد. تجربیات فجایع گذشته ثابت کرده است که برنامه‌ریزی و آمادگی در برابر بحران، تأثیر بسیاری در

کاهش خسارات، به ویژه خسارات جانی دارد. از طرفی بازسازی مناطق آسیب دیده با معیارهای صحیح مهندسی جهت جلوگیری از وقوع فجایع مشابه بایستی مد نظر قرار گیرد[۱].



شکل ۱- چرخه ی جامع مدیریت بحران[۱]

با تغییر کاربر اراضی اراضی از مزارع و جنگل به خیابان و ساختمان، قدرت جذب باران توسط زمین کم می‌شود. اراضی شهری ۲ تا ۶ برابر رواناب بیشتر نسبت به اراضی بکر و طبیعی تولید می‌کنند. در زمان سیلاب شهری خیابانها و کوچه‌های شهر به رودخانه‌ها و مسیل‌های پر سرعتی تبدیل می‌شوند که می‌توانند زندگی شهری را مختل کرده و موجب خسارات فراوانی گردند.

کمیت سیلاب در حوضه‌های آبریز شهری از جمله عواملی است که موجب بروز شرایط بحرانی به خصوص در هنگام وقوع بارندگی‌های شدید در معابر شهری شده است. سیل گرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری موجب واردشدن خسارات زیادی به ساختمان ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی شده است. گذشته از این، سیل گرفتگی خیابان‌ها می‌تواند موجب کند شدن و یا توقف کامل سیستم‌های ترافیکی شود و همچنین پیامدهای غیرمستقیم از جمله قطع ارتباطات و فرصت‌های تجاری را نیز به همراه خواهد داشت. از طرفی پیچیدگی‌های موجود در محیط‌های شهری و زیرساخت‌های شبکهٔ زهکشی حوضه‌های شهری تأثیری بالقوه بر رواناب طبیعی دارد و با توجه به گزارش‌های متعدد در سالهای اخیر ریسک سیلاب در حوضه‌های شهری نسبت به حوضه‌های غیرشهری افزایش یافته است. به منظور رفع مشکلات ناشی از جاری شدن سیلاب در مناطقی از شهر که ریسک سیل بالا است، باید با دقت کافی، مقدار حجم یا دبی سیلاب‌ها، عمق سیلاب و پهنه سیلاب، با استفاده از روش‌ها و مدل‌های متعارف تعیین شود.

در چنین شرایطی مدل‌های کامپیوتری از جمله ابزارهای مناسبی برای بررسی اثرات ناشی از کمیت سیلاب شهری و شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در سیستم‌های پیچیده جمع‌آوری آبهای سطحی هستند. همچنین از آنجایی که رواناب سطحی حاصله در محیط‌های توسعه یافته

نمی‌تواند به جریان‌های زیرسطحی بپیوندد در نتیجه حجم جریان پایه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین اقدامات کنترلی برای کاهش حجم رواناب و تغذیه آبهای زیرزمینی امری ضروری است. روش‌های توسعهٔ کم اثر که هدف آن حفظ شرایط هیدرولوژیکی می‌باشد می‌توان رواناب‌های شهری را بهتر مدیریت کرد. روش توسعه کم اثر شهرها امروزه در طراحی شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت آبهای سطحی به طور فزاینده‌ای برای کاهش عوارض هیدرولوژیکی و جانبی ساخت و ساز و توسعه در حوضه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. توسعه کم اثر LID در واقع یکی از روش‌های مدیریت رواناب شهری برای حفظ یا بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی یک حوضه آبریز به حالت پیش از توسعه یافتگی می‌باشد. در روش LID با استفاده از خصوصیات مورفولوژی طبیعی و ایجاد ابنیه پیشنهادی در سطح حوضه، اقداماتی در جهت کاهش حجم و دبی اوج رواناب، تصفیه آلودگی رواناب و همچنین افزایش نفوذ و تغذیه سفره‌های آب‌زیرزمینی صورت می‌گیرد.

تشدید خطر سیل و آب گرفتگی معابر که منجر به افزایش هزینه های نگهداری شهر و خسارات احتمالی جانی و مالی بیشتر خواهد شد، تا حد زیادی ناشی از اثرات توسعه شهری و تغییرات شدید ببار آمده در الگوی زهکشی طبیعی است. در این تحقیق که از دیدگاههای مختلف آبخیزداری، هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژی تاریخی و تلفیق آن با روش‌های تجربی، موضوع سیلاب و آب گرفتگی شهر مشهد جهت مدیریت بحران قبل از سیلاب جهت کاهش اثرات آن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته مشخص می‌نماید که اثرات غیر مستقیم گسترش شهر در داخل حوضه‌های آبریز منتهی به شهر و اثرات مستقیم آن بر الگوی زهکشی طبیعی در محدودهٔ گسترش بافت فیزیکی باعث تشدید شرایط سیل‌خیزی در این شهر و آسیب‌پذیری بخش‌های وسیعی از بافت آن شده است.

شهر مشهد به علت عبور مسیلهای زیاد از میان آن هر ساله پذیرای خسارات زیادی می‌باشد. بطوریکه تنها در سال ۱۳۸۴ ما شاهد وقوع ۵ سیل در روزهای پانزده و هفده فروردین ماه و ماه های اردیبهشت، تیر و شهریور بودیم که موجب ایجاد خسارت به ۱۲۰۰ واحد مسکونی، ۵۳۷۵ هکتار اراضی کشاورزی و ۱۱۷۲۸ میلیون ریال در بخش زیربنائی، ۴۰۰۰ میلیون ریال به ماشین آلات و ۲ کشته شد که مبلغ خسارت آن جمعا به ۱۴۶۰۰۰ میلیون ریال رسید. همچنین وقوع سیل در سال های۱۳۸۵، ۸۶ و ۸۷ نیز منجر به ایجاد خسارات زیادی به بخش های مختلف، شد. از این رو بررسی شرایط آسیب‌پذیری منطقه، اعمال مدیریت صحیح سیلاب و تعیین راهکارهای موثر درجهت کاهش خسارت امری ضروری محسوب می‌شود[۲]

در مناطق خشک و نیمه‌خشک از آبراهه‌ها بیشتر به عنوان مسیل یاد می‌شود زیرا در تمام مواقع سال در آنها جریان آب دائمی وجود نداشته است و تنها در مواقع بارندگی کافی و بروز رواناب، جریاناتی عموماً به شکل سیلابی و بسته به شرایط فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و ... حوضه موقتی تا کوتاه‌مدت ایجاد می‌شود.

امروزه کمتر شهری در نواحی خشک و نیمه خشک یافت می‌شود که در نتیجهٔ توسعه و گسترش بافت شهری خود با مشکل مسیل‌ها و نحوهٔ ساماندهی و مسیریابی آنها مواجه نباشد. در مناطقی که آبراهه‌های دائمی و حتی دارای نوسانات زیاد مقدار آب وجود دارد بدلیل اینکه در غالب ایام سال در این آبراهه‌ها جریان آبی هر چند ناچیز برقرار است پذیرش این موضوع آسان است که در محل جریان آب حریمی منطقی جهت عبور دبی های با مقدار بیشتر آب در نظر گرفته شود، ولی در شهرهای واقع در مناطق خشک به دلیل عدم استمرار جریان در غالب ایام سال (بویژه در زمانهایی که خشکسالی رخ می‌دهد) کم کم این مسئله به فراموشی سپرده می‌شود و تنها زمانی که وقایع سیلابی با شدتهای گوناگون رخ می‌دهد و ساختارهای مختلف شهری را دچار خسارت می‌سازد مجدداً موارد فوق در اذهان مردم و مسئولین زنده شده و به فکر چاره‌جویی می‌افتند. پاره ای از روانابهای ناشی از دبی های سیلابی با وجود تمهیدات در نظر گرفته شده در اطراف شهرها نظیر احداث خاکریزهای حلقوی و کمانی و یا خندقهای مصنوعی باز هم وارد بافت شهری می‌شوند و بویژه در نقاط پست و گود افتادهٔ شهر مشکلاتی نظیر آبگرفتگی معابر، ایجاد خسارت در منازل و مراکز تجاری و خدماتی و مواردی مشابه را ایجاد می‌نمایند.

ایده‌های نوین در زمینه کنترل رواناب در مناطق شهری در قرون ۱۹و۲۰ متداول شد که مبتنی بر تخلیه و دفع سریع سیلاب و به فاصله‌های هر چه زودتر می‌باشد. سیستم‌های زهکشی و شبکه‌های آب سطحی با پوشش سخت با این هدف احداث می‌شوند تا سرعت جریان را زیادتر نموده و توان تخلیه سیلاب را افزایش دهند اما عدم طراحی صحیح، اشباع شدن سریع شبکه به علت توسعهٔ شهری، عدم بهره‌برداری و نگهداری مناسب باعث می‌شود که شبکه در اکثر موارد قادر به ایفای صحیح وظایف خود نباشد و با کوچکترین بارندگی، خیابانها و کوچه‌ها دچار آب‌گرفتگی شوند.

در نیمهٔ دوم قرن بیستم به دلیل افزایش تراکم جمعیت در مکانهای کوچک، توسعهٔ شهری شتاب بیشتری یافت و تأثیر بسزایی در اکوسیستم‌های زمینی و آبی و همچنین بر روی جمعیت شهرها، از طریق سیل، بیماری و کاهش کیفیت زندگی داشته است. رخداد این فرایند به دلیل کنترل ضعیف مناطق شهری است که منجر به اثرات مستقیم بر روی زیرساختهای منابع آب می شود. مؤلفه‌های اصلی زیرساخت سیلاب شهری به نوعی در بردارندهٔ منابع آب، فاضلاب، مواد زائد و جامد درون سیل‌ها و جنبه‌های بهداشتی می‌شود[۳].

رشد شهر در کشورهای در حال توسعه، به شیوه‌ای ناپایدار در حال انجام است که سبب کاهش کیفیت زندگی و تخریب محیط‌زیست می‌شود. با این‌حال این فرآیند در آمریکای لاتین چشمگیرتر است چرا که ۷۷ درصد جمعیت (۴۷/۲ درصد مردم جهان) در شهرها زندگی می‌کنند. ۴۴ شهر در آمریکای لاتین وجود دارد که بیش از یک میلیون نفر جمعیت دارند. بر اساس گزارش اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۳ میلادی، ۳۸۸ شهر چنین وضعیتی دارند.

روند توسعهٔ شهر و نگرش جامع‌نگر در برنامه‌ریزی مدیریت شهری از جمله مسائل شهرسازی، خدمات رسانی، توریستی و...این مهم را طلب می‌کند که اقداماتی با مطالعه و برنامه صورت گیرد. چرا که روند توسعهٔ شهری در گذشته و حال بیانگر آن است که اقدامات صورت گرفته کاملاً بر اساس مطالعه و برنامه نبوده بطوری که در بررسی وضعیت مسیل‌های موجود در اطراف و نیز ادامهٔ برخی از آنها در بافت شهری و نیز موارد مربوط به سیستم هدایت و دفع آبهای سطحی، کانالهای احداثی بعضاً دارای مقاطع هندسی با ابعاد نامناسب بوده بطوری که در اجرا نیز ملاحظات اجرایی از جمله وضعیت توپوگرافی، هیدرولیک جریان و ...مورد توجه قرار نگرفته است. مسئله دفع آبهای سطحی از مسائل عمدهٔ ایمن‌سازی مناطق مسکونی از خطر وقوع سیلاب و نهایتاً رفع خسارات احتمالی از مناطق شهری می‌باشد[۴] و رشد جمعیت و توسعهٔ شهری و تبدیل بی رویه اراضی مجاور تأثیر نامطلوبی در هیدرولوژی مناطق شهری می‌گذارد و موجب تشدید سیلابها، افزایش آلودگی رواناب‌های ایجاد شده، افزایش ضریب رواناب و کاهش تغذیه آبهای زیرزمینی می‌گردد. به بیان دیگر تحولات هیدرولوژیکی ناشی از شهرسازی و نحوهٔ کاربری اراضی حوضهٔ شهری را می‌توان تأثیر در تغییر کل حجم رواناب ایجاد شده، میزان تغذیهٔ ناشی از بارش، حداکثر آبدهی سیلابها و نهایتاً تغییرات کیفی آب نام برد که مهمترین عوامل مؤثر آن را می‌توان میزان سطوح و اراضی نفوذناپذیر شهری و خصوصیات مسیرهای حرکت جریان آب دانست که تحت تأثیر ساخت و سازهای بی‌رویه قرار گرفته‌اند و یا خواهند گرفت[۵].

بنابراین ایجاد شهر و انجام عملیات ساختمانی و نهایتاً افزایش شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آبهای سطحی، منجر به افزایش شدت آبدهی سیلابها می‌شود و این امر ممکن است خطرات و خساراتی را متوجه مناطق پست و گود افتادهٔ شهر نماید و از این رو باید پیش‌بینی‌های لازم برای دفع یا تعدیل مشکلات مزبور به عمل آید که انجام بررسی‌های منطقه‌ای و تدارک تمهیدات لازم در قالب طرحهای جمع‌آوری، انتقال و دفع آبهای سطحی شهر از جمله اقداماتی مناسب برای ارزیابی و مقابله با پیامدهای زیانبار این پدیده تلقی می‌گردد. تشدید سیر صعودی خسارات سیل در دو دهه گذشته سبب شده است که آرزوی دیرینه دربارهٔ حل قطعی مسئله رواناب‌ها جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه و همواره نمی‌توان در مهار سیلابها موفق بود بلکه باید کوشید تا تبعات زیانبار و مخرب آن را کاهش داد[۶]

در بررسی سیلابهای شدید کادیر[1](1996) به این نتیجه رسید که غیر از حالتهای محدود، سیلابهای شدید که در حوضه‌های بزرگ حادث می‌گردد در نتیجه بارندگی بوده و تأثیر انسان در منطقه (پوشش گیاهی، خاک توپوگرافی و بستر رودخانه) از اهمیت کمتری برخوردار بوده است[۷]. اطلاعات مربوط به هیدرولوژی و عوامل مختلف مؤثر بر تولید هرزآب را در ۴۳ حوضه جمع‌آوری نمود. این حوضه‌ها در

1 Cadier E.

مناطق مختلف از نظر میزان بارندگی واقع بودند. با ارائه یک رابطه منطقی بین میزان بارندگی و هرز آب متوسط سالیانه حوضه‌های مورد بررسی را در دو گروه طبقه بندی نمود.

گسترش شهرها در حاشیه رودها، روی مخروط افکنه‌ها، سواحل کم ارتفاع و دلتاها و مناطق پایین‌دست سدهای ذخیره‌ای منجر به افزایش میزان آسیب پذیری جوامع شهری در برابر خطر سیلاب می‌گردد.

بر اساس مطالعات انجام شده، گسترش شهرها در حوضهٔ آبریز، به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، منجر به افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب می‌گردد. از آنجایی که اغلب شهرهای ایران بر روی مخروط افکنه‌های آبرفتی گسترش یافته‌اند، حوضه یا حوضه‌های آبریز کوچک و بزرگی از کوهستانهای حاشیه‌ای به آنها وارد می‌شوند. شهرنشینی با دخالت غیرمستقیم در داخل حوضه‌های مذکور موجب بر هم زدن تعادل دامنه‌ها، از بین بردن پوشش گیاهی، فشردگی خاک و تغییر در نیمرخ آبراهه‌ها، شدت سیلابهای ناگهانی را افزایش داده و حجم رسوب تولیدی را بالا می‌برد. در پای کوه نیز که قلمرو گسترش بافت فیزیکی شهر را شامل می‌شود، الگوی زهکشی طبیعی را بر هم زده و خطر سیلاب‌های شهری را بیشتر می‌نماید (حسین زاده، ۲۰۰۴)

شهر مشهد در نیمه جنوب غربی دشت کشف رود به علت گسترش بر سطح دشت تراکمی و مخروط افکنه‌های آبرفتی تحت تأثیر شرایط توپوگرافی، شیب و زهکشی ضعیف همیشه در اثنای بارش‌های شدید با سیلابهای ناگهانی یا آب‌گرفتگی بافت مواجه بوده است. گسترش شهر به سمت جنوب و غرب و تسخیر اراضی شیب‌دار پای کوه، ضمن آسیب‌پذیری بیشتر شهر در برابر سیلابهای دوره‌ای، بر حجم سیلاب حاصل از سطوح مذکور نیز افزوده است. به عبارت دیگر در حال حاضر شهر مشهد در شرایطی قرار گرفته که بخشی از آن مستقیماً در معرض سیلابهای شدید دوره‌ای و بخش وسیعی نیز با مشکل آب گرفتگی سطح معابر و آلودگی‌های ناشی از آن قرار دارد. چنین به نظر می‌رسد گسترش شهر و تبدیل کاربری، سیلابهای آیندهٔ شهری را فراوان‌تر و خطرناک‌تر نماید، لذا در این مقاله تلاش بر این بوده تا علاوه بر ترسیم چشم‌انداز فعلی، روند و چگونگی اثرات تخریبی گسترش شهر و مقایسهٔ شرایط قبل و بعد توسعه مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. همچنین محدوده‌های تحت تأثیر سیلابهای دوره‌ای و سیلابهای شهری به عنوان کانالها و مناطق ناپایدار در برابر سیل تعیین و درصورت امکان به برخی راهکارهای اجرائی اشاره می‌شود.

۲- تعریف مسئله

مدیریت سیلاب به تمامی تمهیدات و فرآیندهای فراگیر در کنترل و مهار سیل اطلاق می‌شود که گسترش سیلاب و خسارات ناشی از آن را تعدیل کند. کنترل و مهار سیلاب شامل فرآیندهای خاصی است که با فراهم آوردن و بهره‌برداری از سازه‌های طراحی شده و یا روش‌های غیرسازه‌ای اثرات تخریبی سیل را رفع یا کاهش می‌دهد. این امر با انحراف، محدودسازی و یا نگهداری جریان سیلاب تا حدی که

از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر باشد انجام می‌پذیرد. راهکارهای مدیریت سیلاب شهری با توجه به علل وقوع سیل و نیز تأثیراتی که به روی مناطق مسکونی و تأسیسات شهری بدنبال دارد متفاوت هستند که از جمله آنها می‌توان به لزوم انجام مطالعات طراحی شبکه جمع‌آوری و دفع آبهای سطحی و کنترل سیلاب، ارائه راهکارهای اجرایی جهت هدایت اصولی رواناب‌ها، لزوم رعایت اصول و ضوابط مهندسی رودخانه در احداث پلها، انجام مطالعات سیستم هشدارسیل، پاکسازی و دفع انباشته‌های طبیعی و مصنوعی در بستر رودخانه، ایجاد نظام هشدار، مدیریت سیل و اصلاح بستر رودخانه از طریق راهکارهای سازه‌ای در مهندسی رودخانه مانند ایجاد دیواره‌ها و سیل‌بندها، ایجاد سرعت شکن و ... اشاره نمود.

سیستم زهکشی، رواناب حاصل از بارندگی را جمع‌آوری کرده و از طریق سازه‌های مختلف به محل مناسب و یا مسیل اصلی مانند رودخانه منتقل می‌کند، طوری که رواناب محل مورد نظر به نحو مناسبی زهکشی شده و پتانسیل سیل‌گیری و فرسایش کاهش یابد. اجزاء این سیستم می‌تواند شامل جوی‌های آبگیر کنار خیابان، کانالها، گودالهای بزرگ و مجراهای عبور آب از زیر جاده‌ها باشد. جمع‌آوری فاضلاب شهری را می‌توان به صورت درهم و با کمک یک رشته فاضلاب را برای هدایت فاضلاب‌های خانگی و آبهای سطحی انجام داد و یا به صورت مجزا و با ایجاد دو رشته مجرای گوناگون یکی برای هدایت فاضلاب‌های خانگی و دیگری برای هدایت آبهای سطحی ناشی از بارندگی طراحی نمود. در روش درهم هزینه ایجاد شبکه جمع‌آوری کمتر ولی هزینه ساخت تصفیه‌خانه و احتمال آلودگی محیط زیست بیشتر می‌باشد، در صورتی که در روش مجزا هزینه ساخت شبکه بیشتر ولی آلودگی محیط زیست کمتر می‌گردد[۳].

در نحوه جانمایی و طراحی خصوصیات هیدرولیکی سازه‌های زهکشی و منتقل کننده رواناب باید خسارات احتمالی به زمین‌های مجاور، ایجاد ترافیک به علت سیل زدگی در راههای اصلی با توجه به حجم رفت و آمد و میزان ترافیک مورد قبول و همچنین مقدار سرمایه موجود در نظر گرفته شوند پایش جریان و ثبت آمار و اطلاعات حاصل از رویدادهای موجود، می‌تواند در زمینهٔ مدیریت آب گرفتگی‌های شهری در موارد مشابه منتج به تصمیمات واقع بینانه‌تری شود. لذا وجود یک نگاه سیستماتیک شامل شناخت علل ایجاد و اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی، شناسایی مناطق در معرض خطر و رعایت اصول پیشگیرانه، از الزامات اولیهٔ مدیریت بحران در آبگرفتگی‌های شهری محسوب می‌شود[۳]. همانطور که می‌دانیم در راهکارهای سازه‌ای اساس طراحی آنها عبور ایمن سیلاب طراحی و جلوگیری از آبگرفتگی محدودهٔ طرح می‌باشد. لیکن علاج قطعی و دائمی مشکل سیل نیست زیرا در صورت تخریب سازه و یا درصورت وقوع سیلابی بزرگتر از سیلاب طراحی، میزان افزایش خسارات به خصوص به علت عملکرد نامناسب این سازه ها چند برابر زمان قبل از احداث سازه‌ها می‌باشد. بدین ترتیب امروزه روشهای غیرسازه‌ای به تنهایی یا در کنار روش‌های سازه‌ای در مقابله با مشکلات وقوع سیل و آب گرفتگی در مجامع اجرایی توسعه یافته

مورد توجه قرارگرفته است. در حقیقت تجربیات نشان داده است که سیاست همزیستی با سیل بجای تقابل و تلاش برای کنترل آن نتایج بهتر و با هزینه کمتر را بهمراه داشته است. از این رو در این تحقیق به منظور کاهش خسارات ناشی از سیل و نیز کاهش هزینه‌های اجرای حفاظت‌های کلی، آسیب‌پذیری منطقه مورد تحلیل قرار گرفته و پس از تعیین شرایط خطرپذیری هر منطقه راهکاری مناسب مربوط به آن انتخاب شده است.

در زمان بارانهای سیل‌آسا مانند بارندگی‌های تاریخی اردیبهشت ماه ۹۱ و ۹۳ که باعث آبگرفتگی معابر عمومی گردیده و اخلال در تردد وسایل نقلیه را نیز بوجود آورده است. نمونه‌ای از این بارندگی تاریخی بامداد پنجشنبه مورخه۹۱/۰۲/۰۷ در شهر مشهد بود که طی این بارندگی میدان امام حسین(ع) دچار آب گرفتگی و در پی آن اختلال در عبور و مرور وسایل نقلیه گردید که با اقدامات گروه‌های عملیاتی از ساعت ۱۱:۳۰ شرایط عبور و مرور خودروها در محور صد متری (کمربندی شمالای مشهد) نسبتاً عادی‌تر گردید که البته تا ساعتها با کندی تردد همراه بود[۸]. پژوهش حاضر به مطالعه و بررسی آبگرفتگی معابر شهری، ناشی از جریان و پس‌زدگی آب با دید موردی به مسیل اقبال شرقی (از مسیل‌های اصلی کلانشهر مشهد) طی بارندگی‌های متناوب در روزهای خاص سال که روزهای آبی پر بارش کلانشهر مشهد است پرداخته شده است.

همچنین زباله‌هایی که مردم در کوچه و خیابان رها می‌کنند همراه با آب ناشی از بارندگی به داخل کانالهای آب وارد می‌شود که در نهایت مسدود شدن کانال و آب‌گرفتگی را به همراه دارد[۸]؛ در نتیجه در مناطق شهری با افزایش حجم رواناب و جریانی مواجه می‌شویم که می‌تواند منجر به سیلابی شدن مجاری آبرو و تخریب منازل مسکونی شود. مناطق غیرقابل نفوذ یا با نفوذپذیری کم مثل پشت بام، خیابان (آسفالت شده) و پارکینگ بخش قابل توجهی از مساحت حوضه‌های شهری را به خود اختصاص می‌دهند. پیشرفت فراوان در زمینه محاسبات کامپیوتری منجر به تهیه نرم‌افزارها و مدلهای متنوعی شده است. استفاده از این مدلها می‌تواند در بالا بردن دقت محاسبات و بدست آوردن طرحی اقتصادی بسیار مفید باشد. به همین دلیل کاربرد مدلهای کامپیوتری برای استفاده در طراحی سیستم‌های جمع‌آوری رواناب سطحی در شهرهای متوسط و بزرگ کاملاً رایج است. گاهی نیز مقرون به صرفه است که در مورد شهرهای بزرگ با شرایط ویژه اقدام به تهیه مدلهای خاص گردد. اما سؤال اینجاست که طرح بهینه شبکه زهکشی شهری چیست و در چه جاده‌هایی باید کانال‌های زیرزمینی، زهکشهای کمکی، روسازی نفوذپذیر، حوضچه‌های تأخیری و پالایش آب استفاده نمود. در مدل‌سازی سیلاب‌های شهری از دو جنبه حوضه‌های آبخیز باید مورد بررسی قرار گیرد[۹].

از نقطه نظر هیدرولوژی و تبدیل بارندگی به رواناب و جریان سطحی:

در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز پارامترهای متعددی می‌باید مدنظر باشند که چه مقدار از رگبار با توجه به تغییر نفوذپذیری خاک تبدیل به رواناب می‌گردد.

از نقطه نظر هیدرولیکی و حرکت جریان در مجاری روباز سطحی و یا شبکه‌های زهکشی زیرزمینی: در مدل‌سازی هیدرولیکی، جریان وارد شده به شبکه انتقال چگونه به نقطه خروجی انتقال می‌یابد، که در این قسمت شرایط فیزیکی شبکه انتقال نظیر سطح مقطع مجرا، شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری و شیب مجرا نقش اصلی را در انتقال جریان بر عهده دارند.

برای شبیه‌سازی سیلاب‌ها از دو تیپ مدل اساسی استفاده می‌شود[۱۰]:

۱- مدل‌های مبتنی بر معادلات سنت ونان

مدل‌های ساخته شده براساس معادلات سن ونانت یکی از روش‌های محاسباتی عددی نظیر روش منحنی‌های مشخصه، روش‌های صریح و یا روش‌های غیرصریح قابل حل هستند. این معادلات دیفرانسیل می‌باید با انتخاب گام‌های مکانی و زمانی به معادلات جبری تبدیل شوند. عمده‌ترین مزیت استفاده از معادلات سن ونان این است که دقت بالایی در تخمین حرکت جریان و بدست آوردن مشخصات جریان مانند دبی، سرعت و ارتفاع آب دارند، با این وجود مشکلی که در استفاده از این معادلات وجود دارد، پیچیدگی حل ریاضی آنان است که منجر به ایجاد ناپایداری و عدم ثبات در روند محاسبات در بعضی حالات خاص می‌شود. که این حالات خاص در مواردی مانند دبی‌های بسیار کم و یا انتخاب گام زمانی Δt و یا گام‌های مکانی Δx کوچک روی می‌دهد[۱۱].

۲- مدل‌های مبتنی بر روش ماسکینگهام

از طرف دیگر مدل‌های تجربی ریاضی براساس ماسکینگهام به دلیل سادگی استفاده از آنها، کمک زیادی به مهندسین و محققین برای شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان می‌کنند.

مزیت استفاده از مدل‌های مبتنی بر روش ماسکینگهام سادگی اجرای آنان در استفاده از معادلات این روش می‌باشد. با این وجود نقطه ضعف این مدل‌ها این است که جواب‌های خروجی به صورت کلی بوده و مدل‌ها قادر به نشان دادن پیچیدگی‌های جریان، مانند برگشت آب و یا حالت تحت فشارجریان و نیز پیچیدگی‌های ساختمانی شبکه نیستند. در حالی‌که مدل‌های مبتنی بر معادلات سن ونان قادر است پیچیدگی‌های جریان، مانند برگشت آب و یا تحت فشار قرار گرفتن شبکه و نیز پیچیدگی‌های ساختمانی شبکه را شبیه‌سازی کند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در اکثر مواردی که هدف طراحی شبکه‌های زهکشی شهری و فاضلاب می‌باشد استفاده از مدل‌های مبتنی بر روش ماسکینگهام راحت‌تر، ساده‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد. این ایده نیز در کشور فرانسه طی ۲۰ سال تحقیقات به اثبات رسیده است[۱۰]

گزینه‌های قابل اجرا در سیستم‌های مدیریت آبهای سطحی حوضه و کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها و بخصوص سیلاب‌های شهری عبارتند از:

۱- ساخت چاه‌های جذب آب و انتقال آب به این‌چاه‌ها

در جایی مانند پل‌های زیرگذر که آب بر روی زمین‌های اطراف سوار نمی‌شود تنها راه استفاده از نزولات جوی تغذیه آبهای زیرزمینی است. در حال حاضر با حفر چاه این امر بصورت سنتی در کشور انجام می‌شود. ولی این روش‌ها بصورت استاندارد نمی‌باشد و در بسیاری موارد ریزش چاه یا مسدود شدن ورودی آن باعث تجمع آب در این محل‌ها شده است و مشکلات عدیده‌ای را ایجاد می‌کند. برای حفر این چاه‌ها باید موارد زیر را درنظر گرفت:

الف) عمق چاه: عمق چاه باید از عمق لایه‌های خاکی و بافت سنگین سطحی بیشتر باشد و تا سازندهای درشت‌دانه ادامه پیدا کند. در نتیجه عمق چاه‌ها در محل‌های مختلف متفاوت است.

ب) جداره چاه: جداره چاه بهتر است از لوله‌های مشبک ساخته شده و مانند چاه‌های برداشت آب دارای فیلترهای مناسب شنی در اطراف لوله جداره باشد.

ج) ورودی چاه: در این قسمت باید به طور مناسب از ورود مواد معلق، سنگین و شناور جلوگیری کرد، هر ساله و یا بعد از هر بارندگی شدید از طریق دریچه‌های شبکه آشغالگیر و تنظیف باید حوضچه‌ها لایروبی و آشغال‌برداری شوند[۳].

۲-ساخت حوضچه‌های جذب آب و نگهداری رواناب در این حوضچه‌ها برای کاهش پیک رواناب:

این حوضچه‌ها می‌تواند در زمان معمولی بعنوان پارک و یا زمین بازی استفاده شوند و در هنگام سیلاب بعنوان منبعی برای به تأخیر انداختن رواناب شهری خواهند بود.

۳-ایجاد مسیر سبز و کاشت درخت و گیاهان متنوع متناسب با اقلیم منطقه در نواحی حاشیه‌ای و اطراف مسیل‌های شهری می‌تواند باعث کنترل حرکت سیل و روند رسوبگذاری و همچنین جلوگیری از شسته شدن خاک و خروج مواد مغذی و گونه‌های مختلف در مسیل گردد[۳].

مطالعه در خصوص سیستم‌های شهری نیازمند ترکیب روش‌های چند معیاری است که بتواند ترکیبی از داده‌های توصیفی و کمی را فراهم آورد مسائل مربوط به آسیب‌پذیری مناطق شهری در مقابل سیلاب نیز تحت تأثیر نقش حوضه‌های بالادست، تسطیح زمین، عدم زهکشی مناسب محدوده‌های شهری، وجود بافتهای فرسوده و سایر عوامل می‌باشد. در این پژوهش متغیرهای مؤثر و تشدیدکننده آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی مناطق شهری با توجه به مشاهدات میدانی انتخاب شدند که شامل پارامترهای رواناب، شیب، جهت شیب، کاربری، طبقات ارتفاعی، ضریب انحناء، بافت فرسوده، سطوح عمود بر شیب و سطوح موازی با شیب می‌باشند با توجه به تفاوت مقیاس در معیارهای فوق و انطباق و عدم انطباق آنها از روش مقایسه دوتایی برای وزن‌دهی آنها استفاده شد. (مالکزوسیکی ۲۰۰۸: ۷۲۶-۷۰۳) روش مقایسه دوتایی بر اساس قضاوتهای نظری انجام می‌شود و نسبت آن به صورت کیفی با مقادیر کمی بین۱ تا ۹ بیان می‌گردند.(صالحی و همکاران،۱۳۹۲:۱۸۸-۱۷۹) در این پژوهش به منظور اجتناب از خطاهای شخصی یا سلیقه ای در تصمیم‌گیری از نظرات گروهی از متخصصین استفاده شده است روش مقایسه دوتایی در زمینه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP ارائه شده است که بر پایه اصول بدیهی شروط

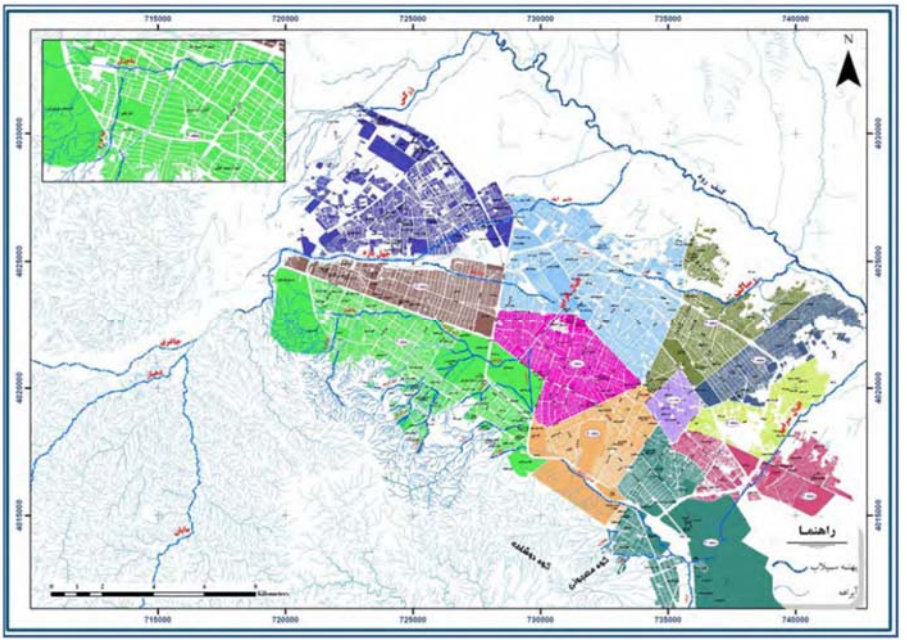
معکوسی، همگنی، وابستگی و انتظارات بنا شده است در AHP، عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط خود در سطوح بالاتر به صورت دوتایی مقایسه شده و وزن نسبتی آنها استخراج می‌شود سپس با تلفیق وزن‌های نسبی معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، وزن مطلق هر معیار تعیین می‌گردد.(جیا و همکاران: ۲۰۰۲: ۳۱۸۸-۳۱۸۶)

۳- ضرورت انجام تحقیق

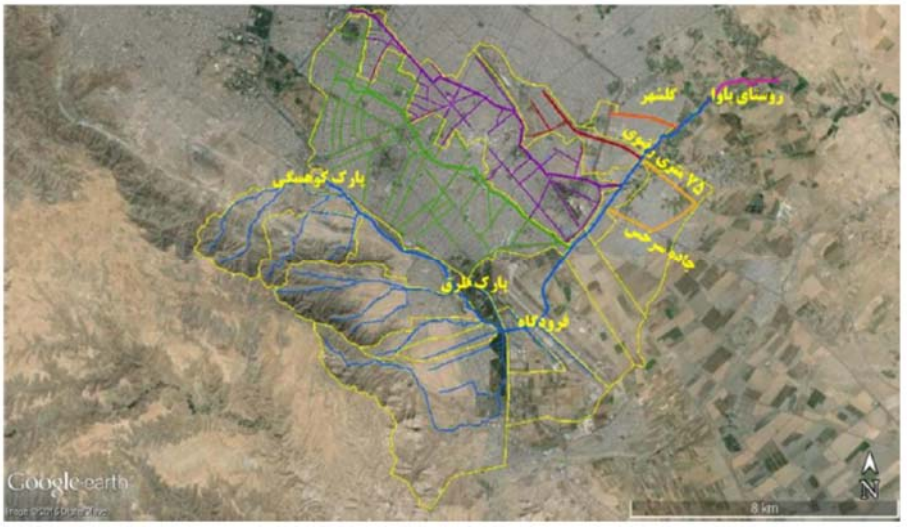
در تعریفی عمومی شهر و مناطق شهری به آن دست از مکان‌هایی اطلاق می‌گردد که جمعیتی بیش از ۲۵۰۰ نفر (۶۲۰ نفر در هر کیلومتر مربع) را دارا بوده و مردم در آن به زندگی و فعالیت و ساخت و ساز مشغولند. بنابر نظر سازمان ملل، آغاز سده بیست و یکم میلادی مقارن با تکوین انقلاب شهری نوین در جهان می‌باشد و برای نخستین بار در تاریخ بشر، بیش از نیمی از مردم دنیا در شهرها زندگی می‌کنند و تا ۳۰ سال آینده تعداد شهرنشینان جهان دو برابر خواهد شد. در گذشته چنین رشدی مایه ترس و نگرانی دست‌اندرکاران شهری و مملکتی می‌شد اما امروزه کارشناسان، شهرها را نقاط عطف توسعهٔ اقتصادی می‌شناسد و معتقدند که معضلات شهری را می‌توان با اداره و ساماندهی صحیح حل کرد. افزایش جمعیت و بخصوص رواج فرهنگ شهرنشینی و تبدیل روستاها به شهرها سبب می‌شود که اراضی کشاورزی و عرصه‌های طبیعی به اراضی شهر تبدیل شوند و با توسعهٔ شهر از یک طرف، با ایجاد بناها، غیرقابل نفوذ کردن بام‌ها به منظور حفظ سلامت آنها و نیز آسفالت کردن خیابانها و پوشش معابر و انهار، در سطح شهر یک آبخیز مصنوعی به وجود می‌آید که موجب ایجاد سیل در سطح شهر می‌شود. در توسعه شهرهای قدیم و ایجاد شهرهای جدید که در کشورمان بعد از سال ۱۳۳۵ از رشد وسیعی برخوردار گردید، مطالعات علمی و زیربنایی کمتری انجام پذیرفته است. طرحهای جامع شهری نیز اکثراً بعد از توسعهٔ سریع شهرها تهیه شده است. به عبارت دیگر مشاوران و تهیه کنندگان طرحهای مذکور در مقابل عملی انجام شده قرار گرفتند.

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با مساحت ۳۲۸ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه آبریز کشفرود، بین دو رشته کوه بینالود و هزار مسجد قرار دارد. این شهر از شمال به شهرستان کلات و از شمال غربی به چناران و نیشابور و از شرق به سرخس و تربت جام می رسد. مسیل اقبال شرقی از جمله بزرگترین و طولانی‌ترین مسیل‌های شهر مشهد که نقش و تاثیر به سزایی در جمع‌آوری و دفع رواناب بخش عمده‌ای از سطح شهر و حاشیه جنوبی آن را دارد. این مسیل بخش اعظم رواناب سطحی مسیل‌های فرعی و آبراهه‌ای کوچک واقع در دامنهٔ ارتفاعات بینالود که به سمت شمال و شرق جریان دارند را جمع‌آوری می‌کند. با توجه به اینکه در اکثر حوضه‌های آبریز کوهستانی مشرف به مسیل اقبال شرقی، جنس زمین سنگی و نفوذناپذیر است، غالباً هنگام

بارندگی‌های شدید، به علت وسعت حوضه امکان به وجود آمدن سیلاب در منطقه بسیار زیاد است. در شکل زیر حوضه‌بندی و مسیل‌های اقبال شرقی مشخص شده‌اند. در این تحقیق آسیب‌پذیری تأسیسات حساس شهر با توجه به موقعیت مکانی آنها نسبت به خطر مواجهه با سیلاب مورد ارزیابی ویژه قرار گرفته است.



شکل ۲- نقشه پهنه‌های سیلاب مسیل‌های محدوده شهر مشهد[۲]



شکل۳- حوضه‌بندی مسیل اقبال شرقی بر روی تصویر ماهواره‌ای

با توجه به آب و هوای خشک شهر مشهد و رگبارهای ناگهانی در فصول بارانی، مهار سیلاب‌های ناگهانی بخصوص در فصول پرباران امری ضروری به نظر می‌رسد. این موضوع برای مشخص کردن بزرگی سیل به منظور استفاده در طراحی سازه‌های مکانیکی و مبارزه با سیلاب و مدیریت سیلاب، مشخص کردن مناطقی که درمعرض سیل قرار دارند به منظور پیشگیری از خطرات احتمالی سیل و پیشگیری از خطرات سیلاب می‌باشد.

برای دستیابی به این مهم، بهترین روش نگاه به حوضه آبخیز از بالاترین نقطه آن تا محل خروجی زهکش به صورت متمرکز و یکپارچه می‌باشد. در این پژوهش تلاش شد تا با مدلسازی حوضه با دیدی متمرکز بتوان بهترین پیشنهادات را جهت مدیریت سیلاب در یکی از حوضه‌های بزرگ شهری با مساحتی معادل ۱۱۸۰۰ هکتار بهترین راهکارهای مدیریت سیلاب برای کاهش خطرات و افزایش قابلیت استحصال آب باران بررسی گردد.

۴- هدف تحقیق

هدف این تحقیق شامل طراحی و سایزبندی اجزای سیستم زهکشی برای کنترل سیل، سایزبندی تأسیسات نگهداری و اجزای آنها برای کنترل سیل و حفاظت کیفیت آب، تهیهٔ نقشهٔ سیلابدشت کانالهای طبیعی، طراحی راه‌حل‌های کنترل جهت به حداقل رساندن جریانهای ناخواسته سیلاب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کاربرد انجام این تحقیق نیز استفاده از شبکهٔ زهکشی بهینه با شیب پیشنهادی و حوضچه‌های تأخیری در مناطق آبگیر عمده شهر مشهد می‌باشد. به دست آوردن نقاط پس زدگی آب و طراحی حوضچه‌های ذخیره رواناب یکی از مهمترین ابزارهای کنترل سیلاب است که تأثیر زیادی بر کاهش پیک سیلاب در حوضه تحت بررسی خواهد داشت. پس مدیریت نزولات جوی و روانابهای سطحی ناشی از آنها در آبخیزهایی که خود عاملی در جمع‌آوری و حمل آلاینده‌های خطرناک حین عبور از کوچه‌ها، خیابانها و سایر سطوح شهری هستند، برای اعمال مدیریت ریسک در رابطه با سلامت عمومی و منابع زیست محیط‌های شهری اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین دست‌یابی به توسعه پایدار شهری نیازمند طراحی مدل‌های مدیریتی جامع برای حوزه‌های آبخیز شهری می‌باشد، که در سه بخش مدیریت سیلاب، استفاده بهینه از روناب و چالش‌های مدیریتی بررسی شده است.

۵- مراحل تحقیق

۱- جمع‌آوری داده‌ها شامل تهیه نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۰۰۰ و نقشهٔ شهری، برداشت اطلاعات هیدرولیکی مسیل‌ها و اطلاعات هیدرولوژیکی حوضه

۲- روش استخراج اطلاعات فیزیوگرافی

۳- تعیین خصوصیات فیزیوگرافی

۴- پردازش داده‌ها در محیط GIS و SWMM

۶- نتایج و بحث

بررسی هیدروگراف‌های شبکه در وضع موجود متذکر این واقعیت بود که هم نهشتی هیدروگراف‌های ورودی از اجزای مختلف در یک گره، می‌تواند ابعاد کانال را به شدت افزایش داده و ریسک سیل را بالا برد. لذا اصلاح شیب و استفاده از حوضچه‌های تأخیر بعنوان راهکاری برای کاهش دبی اوج هیدروگراف بررسی شد و مشاهده گردید که استفاده از حوضچه‌های تأخیر، می‌تواند تا حد زیادی در حوضه‌های شهری با مساحت محدود کارگشا بوده و موجب کاهش دبی اوج هیدروگراف، کاهش ابعاد کانال و در نتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیلاب گردد و بعنوان بهترین راهکارهای مدیریتی معرفی گردید.

۷- ارائه پیشنهادات

بررسی طرح‌های مهار سیلاب و خسارات وارده در سالهای اخیر نشان می‌دهد که یک راه حل مشخص کاملاً مناسب برای کلیه شرایط وجود ندارد، بلکه بایستی کلیه روش‌ها اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای در مکان‌ها و زمانهای مختلف در نظر گرفته شوند و چه بسا که در بسیاری شرایط ترکیبی از روش‌های مختلف به منظور کاهش خطرات سیلابها مناسب‌ترین طرح شناخته شود.

در انجام راهکارهای مدیریتی استفاده از روش تحلیل آسیب‌پذیری به منظور تعیین نقاط خطرپذیر که با انجام مطالعات میدانی و کم هزینه صورت می‌پذیرد می‌تواند با تعیین الزام و یا عدم نیاز به حفاظت سازه‌ها از صرف هزینه‌های هنگفت در پیشگیری و یا کاهش خسارات سیل مؤثر باشد بطوریکه گاهی با کاربرد روش حفاظتی مناسب‌تر می‌توان از خطرات برخی روش‌های سازه‌ای همچون خطر امکان شکست سد، بند و ... و به بارآمدن فجایع انسانی جلوگیری نمود. همچنین با انجام تحلیل خطر و شناسایی میزان آسیب‌پذیری و نیز اولویت‌بندی نقاط مختلف می‌توان حفاظت نقطه‌ای را به جای حفاظت کلی پیشنهاد نمود. البته قابل ذکر است که انجام دقیق سود به هزینه بین دو راه حل حفاظت نقطه‌ای و حفاظت کلی، معمولاً روش تحلیل آسیب‌پذیری و حفاظت نقطه‌ای را به عنوان گزینهٔ برتر معرفی خواهد کرد.

هدف توسعه و مدیریت پایدار منابع آب، تأمین صحیح نیازهای آبی نسلهای حال و آینده می‌باشد. این مهم با در نظر گرفتن دو عامل، یکی طراحی جامع و مناسب سیستم‌ها یعنی بهینه‌سازی راندمان استفاده از آب و دیگری ایجاد تلاشی پیوسته به منظور حفاظت و تجدید محیط زیست طبیعی تحقق می‌یابد. با توجه به مطالب ارائه شده در این پژوهش پیشنهادات ذیل به عنوان راهکارهای مدیریتی و میدانی مطرح می باشد:

بررسی میدانی و جانمایی دقیق حوضچه‌های تأخیر

احداث ایستگاه‌های هیدرومتری در مکان‌های مناسب جهت برداشت آماری دقیق و کالیبره نمودن اطلاعات مدل‌های هیدرولوژیکی بر اساس اطلاعات دقیق میدانی

انجام مطالعات دقیق و جامع در مورد کیفیت آب و راهکارهای بهره‌برداری مناسب از آب استحصال شده با توجه به آلودگی‌های موجود در آب باران

انجام مطالعات مشابه در حوضه‌های اقبال غربی و آب و برق (دوحوضه اصلی دیگر شهر مشهد)، همچنین مسیل‌های نودرّه، چهل بازه، ده نو، ویرانی به منظور بدست آوردن سناریوهای زمانی واقع شده در این حوضه‌ها

کنترل هیدروگراف‌های سه حوضهٔ اصلی شهر مشهد به جهت کنترل و استحصال آب در فصول بارانی به جای رهاسازی دبی در رودخانهٔ کشف‌رود

استفاده از مدلهای تلفیقی با نرم افزارهای مشابه و GIS و مقایسهٔ نتایج جدید و کالیبره با کارهای انجام شدهٔ قبلی

بررسی میزان مقاومت تاج بند گلستان طرقبه که مخزن اصلی کل روانابها و رودخانه‌های شهرستان طرقبه و شاندیز بوده و باتوجه به موقعیت آن در جنوب غرب مشهد و باتوجه به شیب طبیعی شهر که از جنوب غربی به شمال شرقی کلانشهر مشهد، در صورت وقوع بارندگی شدید در فصل بهار و ذوب شدن ناگهانی برفهای شرق کوههای بینالود (طرقبه و شاندیز)، بخش اعظمی از غرب مشهد (شهرک غرب-قاسم‌آباد، الهیه، مجیدیه، جاهدشهر، امیریه و...) بدلیل احتمال سرریز و شکستگی بندگلستان دچار سیلاب شدیدی خواهد شد که باید حتماً مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی صورت پذیرد و راهکارهای BMP مذکور در تحقیق حاضر برای آن صورت پذیرد.

مطالعات روندیابی سیلاب کال ده نو و ویرانی و راهکارهای پیشگیرانهٔ سیلاب برای صیانت از شهرکهای صنعتی متعدد بین جاده چناران و شاندیز که قلب صنعتی شهر می‌باشد مورد مطالعهٔ دقیق قرار بگیرد تا جلوی خسارات سنگین به این تأسیسات صنعتی و نیروگاه برق طوس که از منابع اصلی تأمین برق شهر مشهد می‌باشد با توجه به ارتفاع کم آن به دلیل شیب طبیعی توپوگرافی شهر که از جنوب به سمت شمال شهر است، لذا بسیار سیل‌خیز می‌باشد.

طراحی و نصب سیستم‌های هشداردهندهٔ سیل پیش از وقوع (Early Warning) در کشف‌رود که مهمترین رودخانهٔ حاشیهٔ شمالی و شرقی مشهد می‌باشد و باتوجه به سرشاخه‌های متعدد آن و همچنین تخلیهٔ دبی بارندگی و روانابهای کل شهر و سرریز بند گلستان درنهایت به همین رودخانه لذا با طراحی ماژول متصل به سیستم‌های هواشناسی و ایستگاههای هیدرومتری و باران‌سنجی حوضه‌های بالادست برای اعلان خطر به تلفن‌های همراه دهیاری‌ها و مسئولین مدیریت شهری شهرداری می‌تواند صورت پذیرد که توسط پژوهشگر تحقیق حاضر در حال تهیه پروپوزال و ارائه به مدیرکل آمار، پژوهش و مطالعات راهبردی شهرداری مشهد می‌باشد.

مطالعات دورهٔ بازگشت سیلاب برای مسیل‌های شهر باید بجای ۲۵ ساله، با دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز تهیه گردد.

با توجه به افزایش جمعیت جهانی و توزیع نامتعادل بارندگی در کره زمین، به طور قطع مشکلات فراوانی در زمینه آب پیش روی دولت‌هاست؛ با این وجودگاهی مشکلاتی به وجود می‌آید که گرفتگی معابر شهری در اثر بارندگی یکی از آن‌ها است. در این تحقیق سعی شده است، پس از مدلسازی این معابر در وضع موجود راهکارهایی برای رفع این مشکل پیشنهاد و بررسی شود. درخاتمه پیشنهادات مدیریتی زیر ارائه می‌گردد:

توسعهٔ تالاب‌ها و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی آبی برای جذب و کاهش آلودگی رواناب‌های حاصل از بارندگی

وضع قوانینی برای آلودگی رواناب‌های شهری به ویژه در مورد واحدهای صنعتی

یکپارچه‌سازی مدیریت رواناب با دیگر استراتژی‌های مدیریت منابع آب مثل برنامه‌های تغییر کاربری و حوضه‌ای، کارایی مصرف آب، بازیافت آب و غیره.

جایگزینی نگرش فرا سازمانی و مدرن که منطبق بر اصول مدیریت یکپارچه و توسعه پایدار باشد با رویکردهای سنتی و بعضاً موضعی و مقطعی

بهبود و ارتقاء سطح مدیریت کمی و کیفی آب

یکپارچه‌سازی و ادغام طرح جامع سیلابهای شهری در طرح توسعهٔ اراضی شهری و استراتژی و طرح‌های منطقه‌ای مدیریت کمی و کیفی منابع آب

استفاده از راهکارها و اقدامات غیر سازه‌ای مرتبط

نصب و راه‌اندازی ایستگاه‌های هیدرولوژی- هواشناسی به تعداد کافی در نقاط مختلف شهرهای مهم، زیرا هنوز دسترسی به داده‌های آماری که واجد توزیع مکانی و زمانی مناسب باشند یک مشکل جدی به شمار می‌رود.

در جهت کاهش خسارات سیل و آب گرفتگی باید یک طرح جامع کاهش خطر در دستور کار قرار گیرد. در این طرح که یک فعالیت میان رشته‌ای است باید اقدامات زیر مورد توجه قرار گرفته و به مرحله اجرا در آید:

- اجرای طرح‌های آبخیزداری و کنترل سیلاب در داخل حوضه‌های آبریز منتهی به شهر و ممانعت از برداشت منابع سنگ و شن و ماسه و دفع زایدات ساختمانی در مناطق مذکور.
- بازسازی مسیر کانال‌های اصلی طبیعی در داخل بافت شهری و تعیین حریم مشخص برای آنها.
- انطباق اجزاء فرعی شبکهٔ زهکشی شهری با الگوهای طبیعی اولیه.
- کاهش تراکم کاربری‌ها در بافت شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیر با کاربری فضای سبز و پارک در بافت موجود.
- تجدیدنظر در طراحی سمت توسعهٔ شهر و افزایش سرانه کاربری فضاهای سبز در محدوده‌های جدید.

* پیشنهاد روش های ایمن سازی

با انجام تحلیل خسارت و تعیین میزان خطرپذیری مناطق مختلف می‌توان به جای راهکارهای کلی و پرهزینه، بهترین راهکار مدیریتی بطوری‌که مقرون به صرفه‌ترین نیز باشد را انتخاب نمود. در محدودهٔ شهر مشهد نیز پس از بررسی و بازدیدهای منطقه‌ای، تعیین نقاط آسیب‌پذیر منطقه و بر اساس امکانات و توانمندی موجود راهکارهای زیر جهت کاهش خسارات پیشنهاد می‌گردد:

الف- مدیریت کاربری اراضی در سیلاب دشت و ارائه کاربری‌های با آسیب‌پذیری کمتر

ب- مدیریت حوضهٔ آبریز جهت کاهش آسیب‌پذیری سیل در محدودهٔ مورد مطالعه

ج- استفاده از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای خاص در بازه‌های مختلف جهت کاهش خطر سیل مانند:

انتقال برخی تأسیسات شهری در معرض خطر به مناطق امن

احداث پیلوت برای بعضی از ساختمان‌هایی که در بستر مسیل قرار گرفته‌اند

ضد سیل کردن ساختمان‌ها

استفاده از روش‌های سازه‌ای همچون احداث دیواره حائل در اطراف منازل جهت کاهش ورود آب به داخل و در نتیجه کاهش خسارات

اصلاح سازه‌های غیراصولی و احداث آبگذرهایی با ابعاد استاندارد در محل تقاطع با مسیل‌ها

استفاده از سیستم هشدار سیل

انجام بیمهٔ سیل

قابل ذکر است که گاهی چند راهکار مختلف برای ایمن‌سازی یک مسیل در نظر گرفته شده است که این امر به شرایط سیلابی، منطقه‌ای، خسارت‌پذیری و ارزش اراضی حاشیهٔ آن مسیل بستگی دارد.

با توجه به مطالب بیان شده و با توجه به اینکه روانابهای سطحی متمرکز، مانند روانابهای تولیدی از سطوح کوچه‌ها، خیابانها و تمرکز آنها در جوی‌ها و زهکشی های شهری به طور معمول در اثر وجود آلاینده‌ها، آلوده و بعضاً از نظر سلامت زیستی و استفاده از آنها حتی برای آبیاری فضاهای سبز و تغذیه آبخوان‌ها خطرناک هستند، بنابراین ضرورت دارد راهبردهای حفاظتی، احیایی و توسعه‌ای در این زمینه مشتمل بر راهبردهای استحصال، جمع‌آوری، ذخیره و استفاده از نزولات جوی و روانابهای سطحی و زیرسطحی در آبخیزهای شهری و در قالب مدیریت آبخیزداری شهری تبیین و تدوین و به اجرا گذاشته شود. در چنین راهبردهایی تنظیم رفتار هیدرولوژیکی به صورت کمی و کیفی بایستی مد نظر باشد، زیرا دراین‌صورت است که افزون بر امکان‌پذیری و استفاده از نزولات جوی و روانابهای سطحی و زیر سطحی ناشی از آنها، امکان پیشگیری از شکل‌گیری سیلابهای شهری، آبگرفتگی معابر، تخریب و پسرفت منابع زیستی در آبخیزهای شهری میسر می‌شود، به نحوی که دست‌یابی به هدف از طریق استحصال و بهره‌گیری از نزولات جوی و روانابهای سطحی و زیرسطحی جهت تأمین‌آب برای مصارف غیرشرب (مانند آبیاری فضاهای سبز و توسعهٔ آنها، ایجاد تفرجگاه‌ها و...) محقق می‌گردد.

۸- تشکر و قدردانی

در خاتمه از همکاری، پیشنهادات و رهنمودهای ارزنده و سازندۀ دوستان و متخصصان شرکتها و سازمانها و ادارات مرتبط با تحقیق حاضر نهایت سپاسگزاری و قدردانی را داریم. جناب آقای دکتر کامران وثوق رضوی (ریاست بخش مدیریت پروژۀ هماهنگی حریم شهر مشهد- شهرداری مشهد)، آقای دکتر رضا خواجه نائینی(معاون مالی و پشتیبانی شهرداری مشهد)، آقای مهندس عباس‌زاده (شرکت مهندسی مشاور اِوت-مشاور شهرداری مشهد)، آقای دکتر رضا براتی(ریاست ادارۀ پژوهش و فنّاوری آب منطقه‌ای خراسان رضوی)، آقای دکتر عباسعلی قزل سوفلو (هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد- گروه عمران و ریاست شرکت مهندسی مشاور پژوهاب شرق و مشاور ارشد شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد و از صاحب‌نظران سیلاب در عرصۀ جهانی)، آقایان مهندس صنعی، انتظاری، خواجه نصیری، هدایتی، جامی خراسانی، معتمد (مهندسی مشاور طوس آب)، خانم مهندس پوررمضان و آقای مهندس شیدایی(مدیریت بحران شهرداری مشهد) و همچنین مشاوره‌های ارزندۀ سایر متخصصان حوضۀ سیلاب در بحث تکنیک دلفی منجمله آقای دکتر نامقی(هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد- گروه عمران و کارشناس‌ارشد شرکت مهندسی مشاور طوس آب)، آقای علیرضا سلمانیان شفاء(رئیس گروه مدیریت بحران شرکت توزیع برق مشهد)، آقای مهندس عبدالله نژاد (کارشناس مدیریت بحران سیلاب شهری ستاد مرکزی ادارۀ اب و فاضلاب مشهد) نهایت قدردانی و تشکر را داریم.

منابع

- سردشتی، ماهرخ، سلطانی، شکور، نقش مدیریت سیلاب در توسعه پایدار شهرها، کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، تهران، مرداد ۱۳۸۹.
- دیمی نیت، اکرم، قزل سوفلو، عباسعلی، مدیریت سیلابهای شهری مشهد با اعمال مولفه های مدیریت ریسک سیل، کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، تهران، مرداد ۱۳۸۹
- حسین زاده، سیدرضا، مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی، مطالعات آبخیزداری و طرح کنترل سیلاب در حوضه شهر مشهد، ۱۳۸۰
- نصری، مسعود، (۱۳۷۷). بررسی عوامل مؤثر در بروز سیلاب به منظور ارائه روشهای مدیریتی در چند حوضه آبخیز استان گلستان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- غفاریان روح پرور، حسین، فغفور مغربی، محمود، دهقان، پوریا، زمانیان وحیدی، مجتبی، پایش آبگرفتگی های شهری با رویکرد هیدرولیک جریان(مطالعه موردی :آبگرفتگی میدان امام حسین مشهد)، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران، اردیبهشت۱۳۹۲.

- تحلیل‌فضایی‌مخاطرات‌محیطی‌وبحرانهای‌بومشناسی‌درایران.
فصلنامه‌مطالعات‌راهبردی،سال‌سیزدهم،شماره دوم، شماره مسلسل ۴۸، ۳۴-۵۷
- کیائی، علی، مرادی، طاهرشمسی، احمد، بهنام، بهروز اولویت بندی استراتژی های مدیریت سیلاب با رویکرد مدیریت پیش از بحران، پنجمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، تهران، آبان ۱۳۹۶.
- اسماعیل‌پور مطلق، احسان، بررسی روش بهینهٔ مدیریت پیش از بحران سیلاب شهری در کلانشهر مشهد با نگرش ویژه بر آسیب‌پذیری تأسیسات حساس در معرض خطر- مطالعه موردی، استاد راهنما: دکتر بهروز بهنام، استاد مشاور: مهندس وحید اکلملی، تحقیق درس مدیریت بحران، مقطع کارشناسی‌ارشد مهندسی HSE- دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، زمستان ۱۳۹۹.
- اسماعیل‌پور مطلق، احسان، بررسی روش بهینه جمع‌آوری روانابهای سطحی ناشی از بارندگی‌های لحظه‌ای شهر مشهد- مطالعه موردی مسیل اقبال شرقی، استاد راهنما: دکتر سید آرمان هاشمی‌منفرد، دکتر مهدی اژدری‌مقدم، استاد مشاور: مهندس حسین غفاریان روح‌پرور، پایان‌نامه مقطع کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان، تابستان ۱۳۹۳.
- Alca´ntara-Ayala,I. (2002), Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries, Geomorphology 47 (2002) 107–124
- Cadier. E. , Small Watershed Hydrology in Semi-Arid North Eastern Brazil Basin Topography and Transposition of Annual Runoff Data, Journal of Hydrology, 182:117-141, (1996).
- Kleeberg, H. b., Extreme Floods-Causes and Influences. Zeitschrift Tur Kulturtechnic und Ianxentqic, 87: 103-107, (1996).
- Chocat, B. (1978), A model for simulation of flood in urban drainage networks, these PH.D, INSA, Lyon, France.
- Motiee, Homayon (1996): A model for simulation of urban drainage networks, Water and Science Technology Journal, England.

کاربست رویکرد DPSIR در مدیریت خطر سیلاب

اردشیر مصباح[۱]، امین صالح‌پور جم[۲]، اسماعیل کرمی‌دهکردی[۳*]، شادعلی توحیدلو[۴]، توفیق سعدی[۵]

۱ - دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲ - دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳ - نویسنده مسئول: دانشیار ترویج کشاورزی و توسعه روستایی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(ایمیل: e.karamidehkordi@modares.ac.ir).

۴ - استادیار، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۵ - دکتری اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دبیر کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای استان البرز

چکیده

سیل یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی است که در سال‌های اخیر بنا به دلایل انسانی و طبیعی تشدید شده و هرساله خسارت‌های بیشتری وارد می‌سازد. سیلاب‌ها و چالش‌های آن در ابعاد ملی، منطقه‌ای و محلی، لزوم پرداختن به تأثیرات، راهکارهای مقابله و برنامه‌ها و راهکارهای مناسب جهت مدیریت بحران رخداده، سازگاری و تاب‌آوری جوامع در معرض مخاطرات را آشکار می‌سازد. رویکرد نیرومحرکه، وضعیت، فشار، اثر و پاسخ معروف به مدل DPSIR، ابزار ارزشمندی است که قادر به شناسایی و اولویت‌بندی مسائل و مشکلات حوزه‌های آبخیز در ارتباط با مدیریت خطر سیل می‌باشد. از این رو، هدف از این پژوهش بررسی کاربست رویکرد DPSIR در مدیریت خطر سیلاب می‌باشد. برای نیل به این هدف، با بررسی منابع کتابخانه‌ای و پژوهش‌های صورت گرفته در این حیطه، پس از بررسی چارچوب و رویکرد DPSIR، تاریخچه، مراحل تکامل رویکرد و همچنین نحوه بکارگیری آن در پژوهش‌های مختلف توسط پژوهشگران، نتیجه بدست آمده حاکی از آن است که به طور کلی، رویکرد DPSIR با ایجاد کردن پاسخ‌های اصلاحی برای هر یک از مؤلفه‌های ساختاری نیروی محرک، فشار، وضعیت، اثر از یک‌سو فراهم آورنده‌ی زیر ساخت فکری مناسب برای مدیریت جامع آبخیز و از سوی دیگر کلید ورود به تدوین کارهای اجرایی آبخیز مبتنی بر سرفصلهای راهبردی به دست آمده از روی کرد پاسخ ساز خود است. بنابراین تدوین برنامه‌ی کاری آبخیز که با مشارکت و تأیید همه‌ی سودمندان به انجام برسد از گامهای اصولی در مدیریت جامع آبخیز است.

واژه‌های کلیدی:

سیلاب، مخاطرات، مدیریت جامع، DPSIR، راهکار

مقدمه

پیشینه‌ی تاریخی حوادث طبیعی رخداده، بیانگر این واقعیت است که کشور ایران همواره به خاطر داشتن ساختارهای مکانی - فضایی ویژه، بحرانهای طبیعی زیادی را متحمل شده و یکی از آسیبپذیرترین نقاط جهان در برابر مخاطرات محیطی بوده است (پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۰). در بین بحران‌های طبیعی، سیلاب‌ها تهدیدآمیزتر از سایر مخاطرات در جهان هستند (شکیبافر و زارع، ۱۳۹۱ و *Penttila et al., 2013*).

بدون تردید سیل به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی شناخته شده است. هم‌چنین در عمل، سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی مهیب‌ترین بلایای جوی در جهان محسوب می‌شود. در یک دوره ۱۰ ساله در دنیا (۱۹۸۸-۱۹۹۷) حدود ۳۹۰۰۰۰ نفر در اثر بلایای طبیعی در جهان کشته شدند که ۵۸ درصد این آمار مربوط به تلفات سیل بوده است. خسارات مالی در این دوره کوتاه درحدود ۷۰۰ میلیارد دلار بوده است که ۳۰ درصد از آن مربوط به سیل بوده است. در طول تاریخ، انسان‌ها به سوی زمین‌های حاصلخیزی که در مسیر سیل‌های پیشین قرار دارند، جذب شده و با نزدیک‌شدن به منابع غنی آب و غذای این زمین‌ها، زندگی‌شان را آسان‌تر کرده‌اند. همان رودخانه یا جریان آبی که معاش انسان‌ها را فراهم می‌آورد، آن‌ها را در برابر سیل آسیب‌پذیرتر می‌کند (حسینی و مطلبی‌فر، ۱۳۸۶).

در ایران طی ۵۰ سال گذشته، ۲۴۰۰ مورد سیل سهمگین رخ داده و منجر به آب گرفتگی بیش از ۸۰۴ هزار دستگاه واحد مسکونی و بیخانمانی تعداد زیادی از مردم و خسارتهای جدی مالی و جانی شده است (سازمان مدیریت بحران کشور، ۱۴۰۱) که در سال ۱۳۶۶سیل دربند یا تجریش، با بیش از ۳۰۰ کشته و مفقود و ۵۷۷ میلیارد ریال خسارت، سیلاب‌های دهه ۷۰ با بیش از ۱۱۷ کشته و مفقود و ۱۲۰۰ میلیارد ریال خسارت، سیلاب‌های دهه ۸۰ با بیش از ۵۷۱ کشته و مفقود و ۲۷۱۸ میلیارد خسارت و سیلاب‌های دهه ۹۰ با بیش از ۷۲ کشته و مفقود و ۱۶۶۲۴ میلیارد ریال خسارت، کشور ایران را در چهار دهه اخیر تحت تاثیر قرار دادهاند (سازمان مدیریت بحران کشور، ۱۴۰۱).

سیلاب‌ها و چالش‌های آن در ابعاد ملی، منطقهای و محلی، لزوم پرداختن به تأثیرات، راهکارهای مقابله و برنامه‌ها و راهکارهای مناسب جهت مدیریت بحران رخداده، سازگاری و تاب‌آوری جوامع در معرض مخاطرات را آشکار می‌سازد. در همین حال بررسی شرایط موجود در سطح ملی حاکی از وضعیت بحرانی است و برای شناسایی تمام جوانب و زوایای پیرامون آن بایستی راهبرد مدیریت یکپارچه‌ای از طریق مشارکت تمام ذینفعان درگیر با مسأله سیل در نظر گرفته شود که علاوه بر مسایل فنی؛ راه‌حلهایی نیز از لحاظ اقتصادی؛ اجتماعی و زیست‌محیطی ارایه نماید؛ که این استراتژی باید به تلاشهای جمعی به‌منظور ارتقای سطح توانمندی‌ها و افزایش هماهنگی در میان افراد متاثر با پدیده سیل کمک کند. اقدامات ساختاری برای مدیریت بلایای سیلاب برای کشورهای در حال توسعه پرهزینه است، بنابراین راه‌حلها باید از لحاظ اقتصادی، قابل دوام و سازگار با محیطزیست باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۰).

از آنجا که در دهه‌های اخیر، مشکلات محیط زیستی که بیشتر بر اساس جنبه‌های اقتصادی فعالیت‌های انسانی بوده است، محققان و تصمیم‌گیران با چالش مواجه شده‌اند. این مشکلات در مقیاس‌های متفاوتی از تغییر اقلیم جهانی تا تاثیرات فعالیت‌های انسانی بر سیستم‌های اکولوژیکی جای گرفته‌اند. در حال حاضر به دلیل اهمیت این مشکلات نیاز به استفاده از روش‌های انعطاف‌پذیر برای مقابله کارآمد با مشکلات محیط زیستی بیش از پیش احساس می‌شود؛ روش‌هایی که اقتصادی و اجتماعی و هم فاکتورهای محیط زیستی را در نظر بگیرند (خطیبی و همکاران، ۱۳۹۴).

رویکرد نیرومحرکه، وضعیت، فشار، اثر و پاسخ معروف به مدل DPSIR[2] ابزار ارزشمندی است که قادر به شناسایی و اولویت‌بندی مسائل و مشکلات حوزه‌های آبخیز در ارتباط با مدیریت خطر سیل می‌باشد. این رویکرد اولین بار توسط آژانس محیط‌زیست اروپا[3] استفاده و به‌طور گسترده‌ای کاربردی شده است (Smeets & Weterings, 1999). این رویکرد شکل توسعه‌یافته چارچوب PSR[4] است که توسط سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[5] ایجادشده است. این چارچوب مفهومی جهت سازمان‌دهی اطلاعات وضعیت محیط‌زیست و ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات احتمالی محیط‌زیست استفاده می‌شود. تعریف عناصر این مدل در ادامه بیان شده است:

۱ - نیروی محرکه

نیروی محرکه، یک نیاز است. مثال‌هایی از نیروی محرکه برای افراد، نیاز به پناهگاه، غذا و آب است. یک نیروی محرکه ثانویه نیز وجود دارد که مثال‌هایی از آن نیاز به جابه‌جایی، تفریح و فرهنگ می‌باشند. در مقیاس حوزه آبخیز، نیروی محرکه هر فاکتور طبیعی (بیوفیزیکی) یا انسانی (اقتصادی-اجتماعی) هستند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم منجربه تغییر در اکوسیستم یا فرآیندفرآیندهای اقتصادی-اجتماعی تأثیرگذار بر اکوسیستم می‌شوند (Kristensen, 2004).

۲ - فشار

نیروی محرکه منجربه فعالیت‌های انسانی از جمله حمل و نقل یا تولید غذا برای رفع نیاز است. این فعالیت‌های انسانی فشار ناشی از فرآیندهای تولید یا مصرف را بر حوزه آبخیز وارد می‌کنند، بنابراین فشارها نتایج بعدی نیروهای محرکه بر منابع‌طبیعی یا هرنوع توسعه‌های اقتصادی-اجتماعی مربوط به آن است. فشارها چگونگی آشکارسازی نیروهای محرک بر منابع‌طبیعی و اختلال بر وضعیت اکولوژیک آن‌ها است (خطیبی و همکاران، ۱۳۹۴).

2 Driving force, Pressures, State, Impact, Responses
3 European Environment Agency
4 Pressures, State, Responses
5 Organization for Economic Cooperation and Development

۳ - وضعیت

وضعیت آبخیز، در نتیجه فشارها تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. تغییر وضعیت در حوزه آبخیز می‌تواند براساس فرآیندهای بیوفیزیکی بیان شود. این تغییرات شامل تغییرات در کمیت و کیفیت عناصر متنوع محیطی (خاک، آب، گیاهان، حیوانات و ...) و توانایی بعدی‌شان برای حمایت از تقاضای شکل‌گرفته بر آن‌ها است (Kristensen, 2004).

۴ - تأثیر

تغییرات در وضعیت فیزیکی و شیمیایی حوزه آبخیز، کیفیت اکوسیستم‌ها و رفاه انسان‌ها را تعیین می‌کند، به‌عبارتی‌دیگر تغییرات در وضعیت احتمالاً تأثیرات فیزیکی و اقتصادی بر عملکرد و توانایی اکوسیستم‌ها در حمایت از زندگی و در نهایت بر سلامت ذینفعان آبخیز و کارایی اقتصادی و اجتماعی جامعه دارد (خطیبی و همکاران، ۱۳۹۴).

۵ - پاسخ

یک پاسخ توسط جامعه یا سیاست‌گذاران، نتیجه تأثیرات ناخواسته است و می‌تواند بر هریک از بخش‌های میان نیروی محرکه و تأثیر اثر بگذارد. پاسخ‌ها در حوزه آبخیز می‌توانند در سطوح متفاوت خانوار، جامعه، سازمان‌های مردم‌نهاد و دولت تشکیل شوند (Kristensen, 2004).

رویکرد، بر اساس رابطه علی- معلولی است که با فعالیت‌های انسانی (نیرومحرکه) و فشار بر محیط‌زیست شروع و سپس با تغییرات کمی و کیفی منابع‌طبیعی منجر به پاسخ‌های اجتماعی می‌شود. مهم‌ترین هدف آن، کمک به استفاده‌کنندگان مدل برای تعیین گزینه‌های سیاستی و ارزیابی کارایی راهکارها برای حذف مشکلات محیط‌زیستی و انتخاب گزینه‌های بهتر است (Costanza et al, 1997) و از این رو، هدف از این پژوهش بررسی کاربست رویکرد DPSIR در مدیریت خطر سیلاب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انتخاب روش پژوهش بستگی به هدف، ماهیت و امکانات پژوهش دارد (پزشکی‌راد و کرمی‌دهکردی، ۱۳۹۱). پژوهش حاضر از لحاظ نوع مخاطب و استفاده از نتایج آن نوعی پژوهش کاربردی است و از نظر راهبرد، توصیفی و از نظر مسیر اجرا کیفی است. در پژوهش‌های توصیفی از روش‌های مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی متون و محتوای مطالب و نیز گزارش‌های موجود، آمارهای ثانویه و مشاهده استفاده می‌شود. بنابراین با پیروی از مفروضات پژوهش‌های توصیفی، به بررسی، کاوش و توصیف متغیرها اقدام می‌گردد و به منظور پی‌بردن به ماهیت شرایط و وضعیت موجود انجام می‌گیرد. این پژوهش از نظر نحوه گردآوری اطلاعات مورد نیاز در دو بخش انجام گرفت؛ بخش اول شامل جمع‌آوری اطلاعات در زمینه‌ی مبانی نظری و پیشینه پژوهش تحقیقات انجام شده که با استفاده از اسناد کتابخانه‌ای انجام پذیرفت و بخش

دوم به صورت استفاده از گزارش‌های سازمانی، داده‌های ثانویه و مشاهدات محققین و مصاحبه با خبرگان صورت پذیرفت.

DPSIR یا چارچوب پیشران، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ ابزاری است که از طریق روابط علت و معلولی میان فعالیت‌های انسانی و محیطزیست به توصیف مشکلات محیطزیستی می‌پردازد. این چارچوب به عنوان جامع‌ترین مدل مورد تایید آژانس محیطزیست اروپا، زمینه را فراهم می‌کند تا انواع شاخص‌های متفاوت با یکدیگر ترکیب شوند و نه‌تنها تاثیرات محیطزیستی بلکه تاثیرات اقتصادی - اجتماعی ناشی از تغییرات در وضعیت اکوسیستم‌ها را نیز درنظر می‌گیرد. همان‌گونه که اظهار شد این مدل براساس مفهوم علیت به وجود آمده است. فعالیت‌های انسانی فشار به محیطزیست وارد کرده، موجب تغییرکیفیت و کمیت فعالیت‌های سازگار شونده، بازدارنده و تسکین‌دهنده شده و پایه و اساس مفهوم مدل DPSIR شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۵).

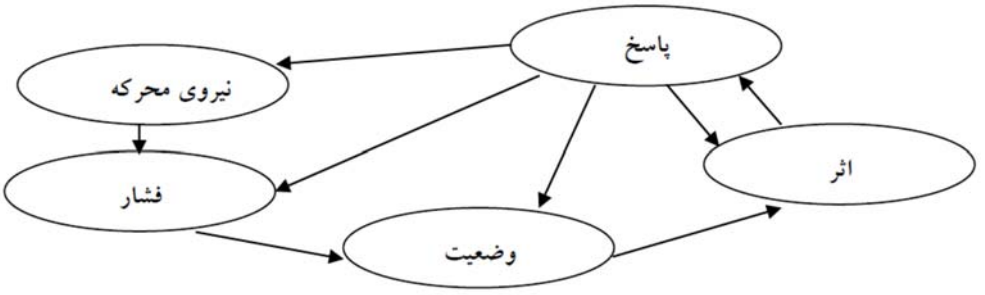
برای درک دینامیک روابط میان منشا و عواقب مشکلات محیطزیستی لازم است تا بر ارتباطات میان عناصر DPSIR تمرکز کرد. در زمینه مطالعات چندجانبه محیطزیستی شرح ارتباطات ابزار DPSIR به صورت زیر است:

۱) چه چیزی؟/ بر سر محیطزیست چه آمده است؟ (که در مدل DPSIR با شاخص های وضعیت (S) و تأثیر (I) بازنمایی می‌شود).

۲) چرا و چگونه این اتفاق افتاده است؟ (علت‌های انسانی و طبیعی این تغییرات یا پیشران‌ها (D) و فشارها (P) چه هستند؟).

۳) چه کاری انجام می‌شود و چقدر موثر است؟ (پاسخ‌های جامعه برای حفظ محیط چیست؟).

در مرحله بعد در پژوهش‌های صورت گرفته، جدولی تشکیل خواهد شد که در آن فهرستی از پیشران‌های موجود، فشارهای ناشی از آن‌ها، تغییرات وضعیت ناشی از بروز فشارها، اثرات پس از آن و راهبردهای مدیریتی ممکن در آن ارائه خواهد شد. سپس نقشه مفهومی DPSIR ایجاد خواهد شد که این ماتریس به صورت بصری به تصمیم‌گیران برای مشاهده فعل و انفعال‌ها و اثرات متقابل پیچیده بین تمام اجزای چارچوب DPSIR کمک خواهد کرد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۱- مدل نیرو محرکه - فشار- وضعیت – اثر – پاسخ (DPSIR)

نتایج و بحث

DPSIR نسخه توسعه‌یافته روش‌های قدیمی‌تری نظیر STRESS و PSR است که برای یافتن پاسخ‌های مدیریتی مناسب و اثرگذار، به دنبال یکپارچه‌سازی شاخص‌های تنش و وضعیت محیط زیستی بودند. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، بخش آمار مجمع عمومی سازمان ملل (UNSD)، توسعه این چارچوب‌ها را آغاز کرد و سیستم آماری استرس-پاسخ محیط زیست (STRESS) را عرضه نمود. در ادامه اصلاحات بیشتری بر مفاهیمی که اساس STRESS را تشکیل داده بودند صورت پذیرفت و چارچوب فشار-وضعیت-پاسخ (PSR) شکل گرفت. چارچوب PSR زمینه‌ای را برای ارزیابی فشارهای مختلف بر محیط زیست از جمله فعالیت‌های انسانی بر وضعیت محیط زیست، برای دستیابی به پاسخ‌های مدیریتی موثر جهت نیل به یک وضعیت مطلوب را فراهم می‌کند (مصفایی و صالح‌پورجم، ۱۳۹۷). ابزار PSR، بطور پیوسته توسط سازمان‌های بزرگی نظیر سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) و نیز برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNDP) در حال استفاده می‌باشد. موسسه ملی سلامت عمومی و محیط زیست هلند (RIVM)، در ادامه روند اصلاحات قبلی و در حمایت از آژانس محیط زیست اروپا (EEA)، اصلاح دیگری را برای بازشناختن نیروهای محرک، فشارها، وضعیت، اثرات و پاسخ‌ها ارایه و چارچوب PSR را به DPSIR توسعه داد. این چارچوب ساختاری را ارائه می‌دهد که از طریق آن می‌توان بازخورد و تاثیر سیاست‌های قبلی بکار رفته و یا سیاست‌ها و راهبردهای مدیریتی آینده را بر وضعیت و کیفیت محیط زیست، برای سیاست‌گذاران آشکار نمود. اگرچه DPSIR ابزار با ارزشی برای تحلیل مشکلات زیست‌محیطی است اما با این حال ترکیب آن با سایر روش‌ها می‌تواند سبب ارتقای آن گردد (Pacheco Maxim et al., 2009; Bell, 2012; et al., 2006). همچنین محققین مختلف تا کنون اصلاحات متفاوتی را برای آن از قبیل mDPSIR، DPSWR، DPCER و DPSER ارائه کرده‌اند (Gari et al. 2015).

فرآیندDPSIR، تحلیلی مبتنی بر رابطه "علت-معلولی" عوامل، برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدیریتی است. چارچوب DPSIR یک چارچوب تفکر سیستمی است که فرض می‌کند روابط علت و معلولی بین سیستم‌های محیطی و اقتصادی-اجتماعی وجود دارد. این مدل مفهومی، چرخه‌ای‌از دلایل و نتایج را برای تلفیق مناسب داده‌ها و اطلاعات پایه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی به‌کار می‌گیرد. این مدل ارتباط فرآیندهای محیط‌زیست را با عوامل انسانی مشخص ساخته و هم‌چنین منجربه درک ارتباط سطوح سیاست‌گذاری و مطالعات محیط‌زیست می‌شود. این چارچوب در بسیاری از رشته‌ها مانند کاربردهای منابع زیستی از قبیل سیستم‌های مدیریت کشاورزی، منابع آب وخاک، تنوع‌زیستی و غیره بکار گرفته شده است. این رویکرد اکثراً در ارتباط با مدیریت زیست‌محیطی استفاده می‌شود تا ارتباط بین پارامترهای اقتصادی- اجتماعی و اکولوژیکی را برقرار کند. مهم‌ترین هدف این مدل، سیاست‌گذاری برای حل مسائل محیط‌زیست می‌باشد. با استفاده‌از این مدل، می‌توان به ساختاردهی اطلاعات، تعیین

ارتباطات مهم، درک همه‌جانبه از مسائل و راهکارهای عملی مدیریت محیط زیست دست یافت (EEA، ۲۰۰۳). در مثال زیر به بررسی مشکلات زیست‌محیطی در غالب چارچوب DPSIR پرداخته شده است.

شکل ۲- مثالی از مسائل مطرح شده در عناصر چارچوب DPSIR (خطیبی و همکاران، ۱۳۹۴)

کاربرد این مدل در ایران و جهان به‌گونه‌ای بود که پژوهشگران به شیوه‌های گوناگونی از آن در مدیریت خطر سیلاب بهره جسته‌اند:

ولایتی و همکاران (۱۳۸۴)، مدیریت ریسک سیلاب‌های جریان‌یافته در حوضه آبریز کارده را با استفاده از سه نوع مدل آماری شامل توابع توزیع احتمال، مدل رگرسیونی و مدل سری زمانی ARIMA مدل سازی کردند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، با استفاده ترکیبی از سه مدل آماری توابع توزیع احتمال، مدل رگرسیونی و مدل سری زمانی ARIMA می‌توان یک مدل مناسب برای مدیریت ریسک سیلاب برای حوضه کارده به‌دست آورد که به‌صورت کاربردی و عملیاتی قابل‌استفاده باشد.

قبادی و همکاران (۱۳۹۵)، ارزیابی ریسک سیلاب را با استفاده از Fuzzy AHP در محیط GIS و مدل DPSIR در منطقه آبعلی انجام دادند. در تحلیل آسیب‌پذیری منطقه در برابر خطر سیلاب به روشDPSIR، عوامل اجتماعی، کالبدی و زیست‌محیطی به‌عنوان نیرو محرکه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس با نقشه‌سازی نیرو محرکه‌ها و پهنه‌بندی منطقه، سطح ریسک سیلاب منطقه تعیین می‌گردد. از روش Fuzzy AHP برای محاسبه وزن لایه‌ها بهره گرفته شد و در نهایت براساس وزن‌های مستخرج از

روش Fuzzy AHP، در محیط GIS پهنه‌بندی ریسک انجام گرفت. نتایج حاصل از تلفیق مدل‌های سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تایید مطالعات پیشین، حاکی از کارایی بالای آن‌ها در تعیین مناطق با ریسک بالای سیلاب بود.

تیم مطالعاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در در گام اول پروژه‌ای تحت عنوان "تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز حبله‌رود"، برای شناسایی مشکلات حوضه حبله‌رود و زیرحوضه گورسفید و نیز یافتن پاسخ‌های مدیریتی از چارچوب DPSIR استفاده نمودند. نتایج تحقیق این تیم نشان داد که از ۱۹ عامل فشار شناسایی شده در حوضه گورسفید، سه فشار به ترتیب، ۱- تصرف و تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی ۲- ضعف الگو و نظام منسجم بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی و دامداری و ۳- بهره‌برداری بیش از حد ظرفیت منابع آب (سطحی و زیرزمینی)، بیشترین تاثیر را در ایجاد مشکلات وضعیت موجود داشته‌اند. از راهکارهای شناسایی شده در حوضه گورسفید نیز راهکار بازنگری و بروز رسانی صدور پروانه چرای مرتع، دارای بیشترین کاربرد بوده و در ۵ مورد از ۶ مورد معیارهای اصلی تعیین وضعیت سلامت حوضه کاربرد دارد. همچنین راهکار مدیریت و اصلاح نظام بهره‌برداری آب دارای بیشترین مجموع امتیاز اثر بر فشارها می‌باشد (شیخ و همکاران، ۱۳۹۷).

Morris و همکاران (۲۰۰۸)، ابعاد اقتصادی از مدیریت جامع سیل را در منطقه سومرست، انگلستان بررسی کردند و اثرات اقتصادی ایجاد تالاب و آب انبار بر روی توسعه کشاورزی و ایجاد شالیزارها را بر مسیل سیلاب مورد ارزیابی قرار دادند. در این راستا، امکان‌سنجی این نوع از توسعه، پیامدهای زیست محیطی برای انواع زیستگاه‌ها و گونه‌ها و مکانیسم‌های مالی و نهادی موردنیاز برای دستیابی به اجرا مورد توجه قرار گرفت. درنهایت به این نتیجه رسیدند که پخش سیلاب به این شیوه و توسعه کشاورزی در منطقه مورد مطالعه اثرات اقتصادی مثبتی را بر جوامع محلی دارد.

Gari و همکاران (۲۰۱۸)، بیان می‌دارند که اگر چه تعادلی مناسب بین فعالیت‌های معیشتی جوامع و طبیعت برای قرن‌های متمادی وجود داشته است، ولی ظهور نسل جدیدی از تکنولوژی‌های مدرن برای استخراج و استفاده از منابع، اثرات نامطلوب فراوانی را بر محیط‌زیست و بویژه منابع آب اعمال نموده است. ایشان از چارچوب DPSIR مرکب که برای هریک از نیروهای محرک یک چرخه منفرد را در نظر می‌گیرد، برای تحلیل مسائل کیفیت آب در بخش‌هایی از رودخانه داگوآ و خلیج بوناونتورآ در کلمبیا استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان مشخص نمود که کشاورزی، معدن‌کاوی برای طلا، چوب‌بری و توسعه زیرساخت‌ها محرک‌های اصلی و توریسم و ماهی‌گیری نیز محرک‌های فرعی می‌باشند. فشارها شامل ورود مواد آلی، رسوبات، مواد مغذی و آلاینده‌های شیمیایی به رودخانه و خلیج می‌باشند که باعث تغییر وضعیت و کاهش کیفیت آب منطقه می‌شوند. اثرات چنین وضعیتی بر رفاه انسان شامل کاهش سلامت انسان، کاهش امنیت آب و غذا، هدررفت سرمایه، و جابجایی و مهاجرت بوده است. پاسخ‌های مدیریتی

نیز شامل اعتراضات و کمپین‌های عمومی، فعالیت‌های قانونی، و تغییرات سیاست‌گذاری برای بهبود حکمرانی می‌باشد.

Tscherning و همکاران (۲۰۱۲)، در مورد اینکه آیا و تحت چه شرایطی، ابزار DPSIR می‌تواند نقش موثری را در پشتیبانی تصمیم‌سازی داشته باشد تحقیقاتی را انجام داده‌اند. ایشان بر اساس تجربیات خود از کاربرد مدل DPSIR در یک مطالعه موردی و هم‌چنین مرور و مطالعه ۲۱ پژوهشی که از این ابزار استفاده کرده‌اند، دو معیار را برای تحقیقات مرتبط با سیاست‌گذاری ضروری و لازم دانسته‌اند: الف) ایجاد مدل مفهومی که دانش مربوط به رشته‌های مختلف، محققین مختلف، سیاست‌گذاران مختلف و هم‌چنین تاثیرپذیران از تصمیمات را یکپارچه نماید. ب) پتانسیل لازم برای ارائه و تشریح نتایج پژوهش برای رشته‌های مختلف، محققین مختلف، ذینفعان مختلف، و جامعه و همچنین پتانسیل لازم برای ارائه گزینه‌ها و آلترناتیوهای مختلف تصمیم.

Gari و همکاران (۲۰۱۵)، مروری بر کاربردهای چارچوب DPSIR در سیستم‌های اکولوژیکی-اجتماعی به‌ویژه در محیط‌های ساحلی انجام داده است. ایشان مراحل تکامل DPSIR را از چارچوب تنش-پاسخ تا شمایل فعلی آن ردیابی کرده و هم‌چنین اختلافات موجود در تعارف بخش‌های مختلف آن را ارائه کرده‌اند. کاربرد مدل به‌صورت مجزا یا به همراه ترکیب با سایر روش‌ها موردبررسی قرار داده و نقدی تحلیلی بر شایستگی‌ها و محدودیت‌های کلی آن داشته و پیشنهاداتی را برای رفع محدودیت‌های آن ارائه کرده‌اند. درنهایت نیز ابراز کرده‌اند که یک چارچوب DPSIR بروز، ابزاری مفید برای مدیریت سازگار، تحلیل و تعیین راه‌حل برای مسائل محیط زیستی است.

Zare و همکاران (۲۰۱۹)، مدل‌سازی یکپارچه منابع آب را با استفاده‌از ترکیب محرک-فشار-حالت-تأثیر-پاسخ (DPSIR) و مدل‌سازی مفهومی پویایی‌سیستم در حوزه آبخیز قره‌سو-گرگانرود انجام دادند. از چارچوب DPSIR برای تعریف مشکل و از نمودارهای علی-معلولی و الگوهای سیستمی برای مفهوم سازی مدل استفاده کردند. نتیجه‌گیری شد که ترکیبی از چندین مدل مفهومی، به‌عنوان مبنایی برای توسعه مدل پویایی‌سیستم، بینش متقابل را به مرزهای مشکل و ساختار مدل می‌دهد.

Rehman و همکاران (۲۰۱۹)، رویکردهای تفکر سیستمی شامل نمودار بازخوردی علی – معلولی و چهارچوب DPSIR را به‌منظور مدیریت خطر سیل در کشور پاکستان به‌کار بردند. هدف از این مطالعه، شناسایی ذینفعان کلیدی برای کاهش خسارت بحران سیل و هم‌چنین تجزیه و تحلیل عوامل مختلف اجتماعی، فنی، فرهنگی، نهادی، زیرساختی و محیطی مرتبط با سیل‌خیزی در پاکستان بود. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه‌های تخصصی با مقامات کلیدی دولت و تجزیه و تحلیل ادبیات و گزارش‌های موجود در مورد سیلاب و مدیریت حوادث، توصیه‌هایی برای استراتژی‌های طولانی‌مدت پاسخ به فاجعه سیل ارائه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مجموعه‌ای از توصیه‌های مربوط به مدیریت و کاهش سیل‌های مؤثر باعث افزایش مقاومت در برابر سیلاب می‌شود که این مهم به وسیله افزایش

آگاهی جامعه و افزایش ظرفیت‌های نهادی در سطح دولت فدرال و مقامات استانی و محلی در کشورهای در حال توسعه با شرایط فاجعه بار سیل مانند پاکستان اتفاق خواهد افتاد.

Rupal و Agnihotri (۲۰۱۹)، خطر وقوع سیل را در شهر سورات ارزیابی و استراتژی‌های تاب‌آوری برای مدیریت سیل را ارائه کردند. این مطالعه با هدف ارزیابی خطر سیلاب در سیستم‌های شهری و حاکمیتی از نظر برنامه مدیریت سیلاب برای شهر سورات انجام شد. نقشه‌های توپوگرافی سال ۱۹۶۸ و تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۶ برای تجزیه و تحلیل منطقه موردمطالعه استفاده شد. براساس این مطالعه، تغییر از شهرنشینی کم به یک الگوی شهرنشینی بالا محرک اصلی افزایش خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه بوده است. نتایج نشان از عدم‌مدیریت آب سیلاب در مناطق شهری دارد که به‌نوبه خود منجر به افزایش تلفات سیلاب در مناطق شهری شده است. نقشه‌های مدیریت سیلاب برای کاهش و انتقال خطر سیل مفید خواهند بود. و باعث افزایش مقاومت در برابر سیل در منطقه مستعد سیل می‌شوند.

صفاریپور و همکاران (۲۰۲۰) بااستفاده‌از مدل DPSIR به تعیین روابط علی معلولی سیل در حوضه آبخیزی در ایران پرداخته و کارایی مدل را در تعیین پاسخ های مدیریتی مناسب ارزیابی کردند.

مصطفایی و همکاران (۲۰۲۱) بااستفاده‌از این مدل به بررسی سلامت حوضه آبخیر گرگان‌رود در ایران پرداخته و دریافتند که شرایط حوضه در تمامی مولفه‌های مدل رو به وخامت گذاشته است. بر اساس نظر این محققان، مدل DPSIR چارچوب دقیقی برای مدیریت جامع حوضه آبخیر فراهم می آورد.

برونو و همکاران (۲۰۲۰) نیز با موفقیت از این مدل برای ارزیابی خطر سیل در مناطق ساحلی در منطقه از در جنوب ایتالیا استفاده کردند.

مرور منابع بیانگر آنست که استفاده از رویکرد DPSIR در جدیدترین تحقیقات و مقالات معتبر دنیا هم چنان ادامه داشته و به دلیل ویژگی‌های برجسته این چارچوب نظیر قدرت ارتباط، برقراری روابط علت و معلولی برای مسائل زیست‌محیطی، نگرش چندرشته‌ای، و فراهم کردن زمینه مشارکت ذینفعان، قریب به اتفاق پژوهشگرانی که از این چارچوب در تحقیقات خود استفاده کرده‌اند، آن را ابزاری مناسب و موثر برای تحلیل و ریشه‌یابی مسائل و مشکلات ناشی از سیلاب عنوان کرده‌اند. این رویکرد باعث افزایش سطح آگاهی جامعه و افزایش ظرفیت‌های نهادی و دولتی به‌منظور مدیریت مطلوب خطر سیل می‌شود. از طرفی آخرین مرحله از گام اول مدل مفهومی در طرح کلان مدیریت جامع حوزه آبخیز، تحلیل مسائل و مشکلات زیست‌محیطی با استفاده از چارچوب DPSIR می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این پژوهش، کاربست رویکرد DPSIR در مدیریت خطر سیلاب بود. پس از بررسی چارچوب و رویکرد DPSIR، تاریخچه، مراحل تکامل رویکرد و همچنین نحوه بکارگیری آن در پژوهش‌های مختلف توسط پژوهشگران، نتیجه بدست آمده حاکی از آن است که مدیریت سیل نیازمند سیاستگذاری صحیح

دولت‌ها در جهت مقابله با این پدیده است تا بتوان مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه، از امکانات محدود بهترین استفاده را داشت. با این حال بسیاری از این کشورها از نظر ساختاری امکانات لازم برای بررسی گزینه‌های مختلف مقابله با بحران، هشدار زودهنگام و یا امکانات تسکینی را در اختیار ندارند. مدل‌سازی با آنالیز پدیده‌ها و مدل‌های سیاست‌گذاری یکی از راهکارهای برنامه‌ریزی پیشدستانه است تا به مدیران کمک کند، پیش از درگیرشدن با عواقب بحران‌ها، راهکارهای مناسبی برای مقابله با آن‌ها مشخص کنند (هانسون و همکاران، ۲۰۰۸). به طور کلی، رویکرد DPSIR با ایجاد کردن پاسخ‌های اصلاحی برای هر یک از مؤلفه‌های ساختاری نیروی محرک، فشار، وضعیت، اثر از یک‌سو فراهم آورنده‌ی زیر ساخت فکری مناسب برای مدیریت جامع آبخیز و از سوی دیگر کلید ورود به تدوین کارهای اجرایی آبخیز مبتنی بر سرفصلهای راهبردی به دست آمده از روی کرد پاسخ ساز خود است. بنابراین تدوین برنامه‌ی کاری آبخیز که با مشارکت و تأیید همه ی سودمندان به انجام برسد از گامهای اصولی در مدیریت جامع آبخیز است.

از آن جایی که نگرش DPSIR به خودی خود یک مدل نیست. در مقابل برای درک دینامیک میان دلایل و تأثیرات لازم است که بر روابط میان عناصر DPSIR با کاربرد مدلهای اقتصادی- اجتماعی و علوم طبیعی تمرکز کرده روابط میان فشار و وضعیت می تواند با کمک مدلهای ورودی خروجی مدلهای فیزیکی رواناب‌ها و مدل‌های انتشار بررسی شود. روابط میان وضعیت و تأثیرات می‌تواند با کمک روابط عمل-پاسخ و ملاحظات ظرفیت برد، بررسی شود و روابط میان تأثیرات و پاسخ‌ها باید براساس مدل‌های اقتصادی-اجتماعی درک ریسک و ارزش‌یابی فعالیت و یا عدم فعالیت (مانند هزینه کارایی آنالیزها، هزینه منفعت آنالیزهای چند معیاره) مطالعه شوند و در نهایت تأثیرات پاسخ‌ها به مشکل به این بستگی دارد که کدام ارتباط در زنجیره علیت دارای اولویت برای تعریف اقدامات است.

آنچه از این مقاله می‌توان نتیجه گرفته این است که با همه انتقاداتی که اخیراً بر این مدل وارد شده است. ظرفیت مدل DPSIR در تعریف روابط میان فشارهای انسانی و مسایل محیط‌زیستی ثابت شده است. از طرف دیگر، مشارکت ذینفمان از بخش‌های مختلف که لازمه سیاست‌گذاری درست به ویژه در زمینه محیط‌زیست است، در تعریف عناصر مدل DPSIR از وابستگی به علیت یک طرفه جلوگیری می‌کند. مشارکت یکپارچه سیاست‌گذاران، مدیران محیط‌زیستی، کارشناسان بخش‌های دیگر و حتی روزنامه‌نگاران و جامعه عمومی، باعث می‌شود تا اطلاعات جهان واقعی با مدل DPSIR ترکیب شود و روابط علیت چندگانه در مطالعات محیط‌زیستی به ویژه با هدف سیاست‌گذاری در نظر گرفته شود.

منابع

- پزشکی‌راد، غ و کرمی‌دهکردی، اسماعیل .۱۳۹۱. آمار اجتماعی و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های توسعه، ترویج و آموزش کشاورزی. تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

- پورطاهری، م.، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و بدری، سیدعلی .۱۳۹۰. راهبردها و سیاست‌های توسعه‌ی کالبدی سکونتگاه‌های روستایی (با تاکید بر تجربیات جهانی و ایران). چاپ اول، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.
- خطیبی، ع.، دانه‌کار، افشین.، پورابراهیم، شراره و وحید، مجید .۱۳۹۴. معرفی مدل DPSIR و قابلیت کاربرد آن در تصمیم گیری های محیط زیستی. انسان و محیط زیست, ۱۳(۴), ۶۵-۷۹.
- شکیبافر، م ح و زارع، غلامرضا .۱۳۹۱. ساماندهی مورفولوژی بستر رود کتوئیه در محدوده شهر داراب. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۱ - ۱۸،۲.
- قبادی، م.، احمدی، پری و صالحی، احمد .۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک سیلاب سکونتگاه‌های انسانی در راستای توسعه‌پایدار با بهره گیری از Fuzzy AHP در محیط GIS و مدل DPSIR (مطالعه موردی: منطقه آبعلی). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۸، جلد ۲، صفحه ۳۶۳-۳۵۱.
- مصفایی، ج.، نیک‌کامی، داود و صالح‌پورجم، امین .۱۳۹۸. آبخیزداری در ایران: تاریخچه، تکامل و نیازهای آتی. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز .DOI: 10.22092/ijwmse.2018.121169.1459.
- مصفایی، ج و صالح‌پورجم، امین .۱۳۹۷. لزوم برنامه‌ریزی و حکمرانی برای آبخیزداری در مقیاس حوضه رودخانه در ایران. سومین همایش ملی حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- مصفایی، ج و طالبی، علی .۱۳۹۳. نگاهی آماری به وضعیت فرسایش آبی در ایران. مجله ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲ (۵): ۹-۱۸.
- رضایی، م و رفیعیان، محمد .۱۳۸۰. تقویت تاب‌آوری به‌منظور کاهش آثار سوانح طبیعی (زلزله) در مناطق روستایی، اولین کنفرانس بین‌المللی سکونتگاه‌های روستایی: مسکن و بافت، مدیریت بازسازی پس از سانحه و مقاوم‌سازی، تهران.
- ولایتی، س.، جهانی، محمد و رامش، آرش .۱۳۸۴. اهمیت مدیریت ریسک سیلاب در برنامه‌ریزی روستایی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارده). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۴، جلد ۵، صفحه ۸۷-۶۹.
- Costanza, R., Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limberg, K., Naeem, S., Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. and Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387 :253- 260.
- EEA. 2003. Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. European Environment Agency, 20p.
- Gari, S. R., Guerrero, C. E. O., A-Uribe, B., Icely, J. D. and Newton, A. 2018. A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. Water Science, 32: 318–337.

- Gari, S. R., Newton, A. and Icely, J. D. 2015. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. Ocean & Coastal Management, 103: 63-77.
- Kristensen, P. 2004. The DPSIR Framework. Paper presented at the 27-29 September 2004 workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa usingriver basin approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.
- Morris, A.P., Bailey, C.S., Lawson, P.B., Leeds-Harrison, D. and Alsop, R. V. 2008. The economic dimensions of integrating flood management and agri-environment through washland creation: A case from Somerset, England. Journal of Environmental Management, 88(2): 372-381.
- Penttila, P. A., Varnai, A., Fernandez, M ,.Kontro, I., Liljestrom, V., Lindner, P., . . . Serimaa, R. (2013). Small-angle scattering study of structural changes in the microfibril network of nanocellulose during enzymatic hydrolysis. Cellulose(20), 1031-1040. doi:https://doi.org/10.1007/s10570-01-9899-13.
- Rehman, J., Sohaib, O., Asif, M. and Pradhan, B. 2019. Applying systems thinking to flood disaster management for a sustainable development, International Journal of Disaster Risk Reduction, 36: 1-27.
- Rupal K. W. and Agnihotri, P.G. 2019. Flood risk assessment and resilience strategies for flood risk management: A case study of Surat City, International Journal of Disaster Risk Reduction, 40: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101155.
- Smeets, E. and Weterings, R. 1999. Environmental indicators: Typology and overview. European Environmental Agency, Technical Report, n 25.
- Tscherning, K., Helming, K., Krippner, B., Sieber, S. and Paloma, S. G. 2012. Does research applying the DPSIR framework support decision making? Land Use Policy, 29: 102– 110.
- Zare, F., Sondoss, E., Bagheri. A., Nabavi, E. and Jakemane, A. J. 2019. Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques. Journal of Environmental Management, 246: 27-41.
- Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q. and Yang, J. 2015. Ecosystem health assessment based on DPSIRM framework and health distance model in Nansi Lake, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 15p.

- **تغییرات اقلیمی، کم‌آبی و خشکسالی و گردوغبار**

ارزیابی خشکسالی کشاورزی و منابع طبیعی در استان لرستان

مهران زند [۱]، مرتضی میری [۲]، محمدرضا کوثری [۳]، باقر قرمز چشمه [۴] و کریم قربانی [۵]

۱ -دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
1-Mehran.lashanizand@gmail.com

۲،۳و۴ -استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
2-mmiri@ut.ac.ir
3-mohammad_kousari@yahoo.com
4-baghergh@gmail.com

۵ -استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان
karimghorbani45@gmail.com

چکیده

فعالیت‌های کشاورزی در استان لرستان از اهمیت فراوانی برخوردار است. از جمله مهم‌ترین مخاطرات طبیعی تأثیرگذار بر کشاورزی استان، رخداد خشکسالی و پیامدهای آن است. ازاین‌رو هدف اصلی این پژوهش بررسی و تعیین اثرات خشکسالی بر زراعت (آبی و دیم)، دام و آبزیان و مراتع استان لرستان است. برای رسیدن به این هدف ترکیبی از استفاده روش‌های میدانی و آماری شد. داده‌های مورداستفاده شامل: ویژگی های زراعت دیم و آبی، آمار مربوط به دام و تولیدات دامی، ویژگی های منابع آبی موردا ستفاده در زراعت آبی، نقشه کاربری اراضی و شاخص‌های خشکسالی (هواشناسی و ماهواره‌ای) استان لرستان می‌باشد. در رابطه با ارزیابی تأثیر خشکسالی کشاورزی بر زراعت دیم و آبی، نتایج حاکی از آن است که مقادیر شاخص همبستگی بین میزان عملکرد گیاهان دیم و آبی (به‌ویژه گندم و جو) با مقادیر شاخص‌های مختلف خشکسالی طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۰ ارتباط مثبت و مستقیم وجود داشته است. از نظر زمانی بیشترین مقدار شاخص همبستگی بین میزان عملکرد با مقادیر شاخص‌های خشکسالی در مقیاس زمانی یک تا شش ماهه مشاهده می‌شود و در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر مقدار همبستگی کاهش پیدا می‌کند. یکی از دلایل اصلی این شرایط، ویژگی‌های فیزیولوژیکی محصولات مختلف است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در مجموع می‌توان گفت که افزایش تنش‌های خشکی و حرارتی در سطح استان لرستان سبب کاهش عملکرد و افزایش نیاز آبی محصولات مختلف آبی شده است. در زمینه ارزیابی تأثیر خشکسالی بر مراتع استان لرستان برای ارزیابی بهتر، مراتع به سه طبقه مراتع قشلاقی، میان‌بند و ییلاقی بر اساس نظرات کارشناسان خبره تفکیک شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان ضریب همبستگی پیرسون در مراتع قشلاقی میان VCI،TCI و VHI با SPI و ماه‌های اردیبهشت و خرداد وجود دارد. در مراتع میانبند هر سه شاخص در هر سه دوره خشکسالی روابط معنی‌دار مناسبی را نشان نداد. در مراتع ییلاقی شاخص‌های VCI و VHI روابط خوبی را با SPI ماه‌های بهمن تا اردیبهشت نشان دادند. در خصوص ارزیابی تأثیر خشکسالی بر صنعت دام و آبزیان نتایج نشان داد که رخداد خشکسالی تأثیر معنی‌داری بر تغییرات مربوط جمعیت دامی دارد؛ به‌طوری‌که

جمعیت دام سبک ا ستان در حدود ۵۰/۰۲ در صد کاهش ن شان می‌دهد. نتایج حاکی از آن ا ست که اگرچه این بخش توانسته است شوک‌های جزئی خشکسالی را دفع کند، اما خشکسالی‌های عمده تأثیر نامطلوبی بر صنعت دام دارد. تو صیه می شود که ا ستراتژی‌های ذخیره علوفه، ایجاد بانک علوفه، علوفه چند ساله و غیره از طریق مناطق غربی ا ستان دنبال شود، در مناطق مختلف ا ستان باید تولید پایدار دام ترویج شود.

واژه‌های کلیدی:
استان لرستان، بارش، خشکسالی، دام و آبزیان، زراعت آبی، زراعت دیم.

مقدمه

خشکسالی پدیده پیچیده‌ای است که تعریف و درک آن برای افراد مختلف متناسب با تخصص‌های گوناگون گاهی متفاوت است (Tsakiris و همکاران، ۲۰۱۳). با وجود این که خشکسالی از طرق مختلف تقریباً تمام بخش‌های اقتصاد را تحت تأثیر می‌دهد، ولی هر بخش مفهوم و معیارهای منا سب خود را برای اندازه گیری شدت خشکسالی دارد. در واقع در هر بخش ممکن است بسیاری از معیارهای متناقض وجود دا شته با شد. به عنوان مثال در بخش ک شاورزی، یک دوره گرم وخ شک ممکن ا ست خشکسالی مخربی برای یک کشاورز غلات پدید آورد. در حالی که یک کشاورز میوه به این مورد برای رسیدن میوه خود نیاز دارد (Belayneh et al. 2016). وجود مخاطرات زیاد، رخداد خشکسالی و تأثیر آن بر کشاورزی، در ایران مطالعات کمی در مورد ارزیابی تأثیر خشکسالی بر روی محصولات کشاورزی صورت گرفته است. این در حالی است که رخداد این پدیده در هر قسمت از کشور ایران امکان رخداد با تداوم‌های چندین ساله را دارد و از طرف دیگر در برخی مناطق مانند جنوب غرب کشور کشاورزی منبع درآمد اصلی مردم است. بررسی خشکسالی‌های اقلیمی رخ داده در استان لرستان مؤید این مطلب است که احتمال وقوع خ شکسالی‌های که بیش از ۸۰ در صد از سطح ا ستان را در بر می‌گیرند در هر سال حدود ۳۷ درصد می‌باشد. به عبارتی طی هر سه سال ممکن است یک بار چنین خشکسالی در استان لرستان روی دهد. حال اگر احتمال وقوع خشکسالی‌های فراگیر (خشکسالی که تمامی استان لرستان را تحت تأثیر قرار دهد) را مورد توجه قرار دهیم، خواهیم دید که در کمتر از هشت سال ممکن است چنین اتفاقی رخ دهد. بنابراین علیرغم این‌که ا ستان لر ستان از جمله مناطق پر بارش ک شور مح سوب می‌شود، لیکن با عنایت به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که وقوع خشکسالی در این استان نه تنها نادر و تصادفی نیست بلکه پدیده‌ای معمول و بازگشت کننده است(زند، ۱۳۹۷). Howitt و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اقتصادی آثار خشکسالی بر کشاورزی منطقه کالیفرنیا بیان کردند که آثار خشکسالی بیشتر در مناطق دارای محدودیت آب‌های زیرزمینی نمود پیدا می‌کند به‌طوری‌که این رخداد بر قیمت محصولات کشاورزی نیز مؤثر است. Kang و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر تغییرات

آب و هوا بر بهره‌وری آب سیستم‌های برداشت در حوضه موری دارلینگ استرالیا بیان کردند که تغییرات اقلیم موجب افزایش مقدار تبخیر - تعرق و در پی آن افزایش عملکرد گیاه ذرت در جنوب شرق استرالیا می شود. Meroni و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی شاخص بارش استاندارد به‌منظور ارائه پیش‌بینی اولیه از وضعیت پوشش گیاهی فصلی منطقه ساحل، با بررسی رابطه بین شاخص بارش استاندارد و مقایر تجمعی استاندارد شده تابش فعال فتوسنتزی[6](ZCFAPAR) به این نتیجه رسیدند که در ۳۲ تا ۶۶ درصد منطقه مورد مطالعه رابطه خطی معنی‌داری بین این دو متغیر وجود دارد. Rimkus و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه ی شناسایی خشکسالی در منطقه شرقی بالتیک با استفاده از شاخص NDVI پرداختند. اثر کمبود بارش بر روی پوشش گیاهی در جنگل های آبی وجنگل های گسترده با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که برای مقیاس زمانی ۱ تا ۹ ماه محاسبه شد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت(Rimkus et al. 2017). Liu و همکاران (۲۰۲۰) به پایش خشکسالی با استفاده از شاخص ترکیبی بر اساس سنجش از دور جهت نظارت بر خشکی مناطق خشک در شمال چین، استان شاندونگ پرداختند. آنها با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره شاخص MCDI که ترکیبی از رطوبت خاک و LST و NDVI می‌باشد را بدست آوردند و سپس ضریب همبستگی میان شاخص SPEI و MCDI را محاسبه کردند که مقدار آن بیشتر از ضریب همبستگی میان SPEI با تک تک شاخص‌ها (حالت غیر ترکیبی) بدست آمد. آنها برای سری زمانی ۱ ماهه و ۹ ماهه ضرایب را بدست آوردند که در حالت ۹ ماهه ضرایب همبستگی بیشتر بدست آمد. بنابراین به این نتیجه رسیدند که رگرسیون خطی چند متغیره شاخص MCDI به عنوان یک روش موثر و شاخص برای پایش خشکسالی در استان شاندونگ می‌باشد(Liu et al. 2020). بر اساس برآوردهای انجام شده توسط ستاد حوادث استانداری لرستان در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، خشکسالی ۱۳۰۰ میلیارد ریال خسارت به باغات و اراضی استان وارد کرده است. خشکسالی بر میزان تقاضای نهاده‌های کشاورزی مانند کود، سم، ماشین‌آلات، اعتبارات و ... تأثیر داشته، علاوه بر این، خشکسالی بر منابع آب، جنگل‌ها، مراتع و سایر منابع طبیعی استان به شدت تأثیر منفی گذاشته است. کمبود دانش و فناوری عقلانیت انتخابی بر اساس منابع و منافع حیاتی(استراتژیک) یعنی حفظ معیشت روزمره مردمی‌که زندگی آنها وابسته به پرورش دام است، حکم می‌کند که جهت تداوم صنعت پرورش دام در استان برنامه‌ریزی بلندمدتی برای بهره‌برداری و حفظ تداوم تولید متکی بر این منابع تدوین و اجرا شود. مراتع و عرصه‌های طبیعی نقش بسیار مهمی در تداوم و پویایی صنعت پرورش دام و آبزیان دارند. به‌طوری تداوم فعالیت پرورش دام سبک (گو سفند و بز) کاملاً متکی به علوفه مراتع است. پرورش دام سبک با توجه به راندمان کم این دام‌ها بجز با استفاده از چریدن در مرتع توجیه اقتصادی ندارد. ازطرفی

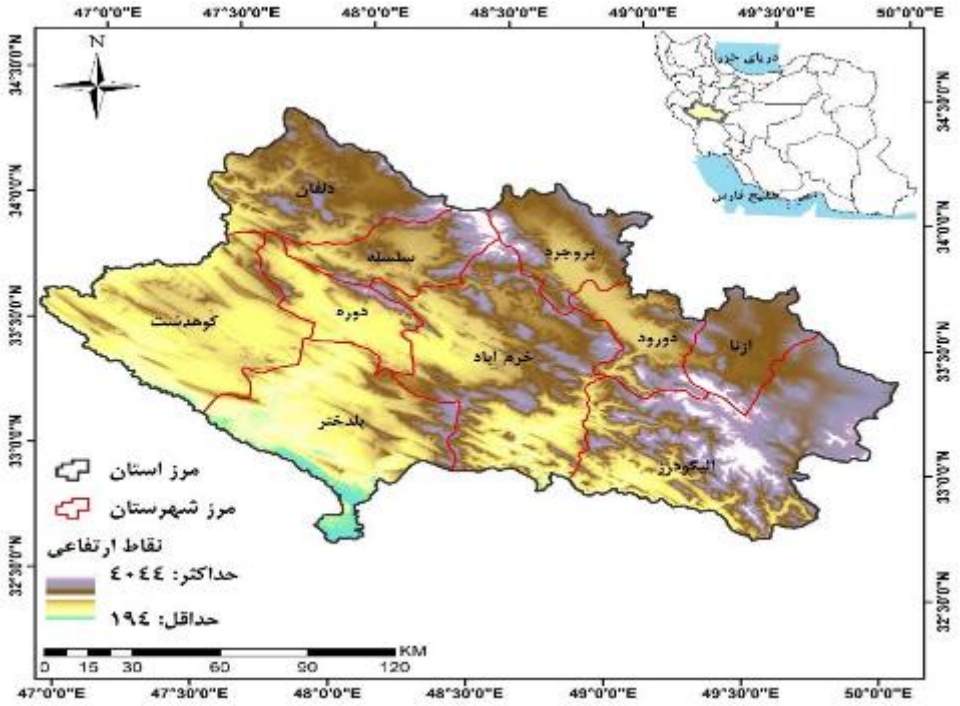
6- z-score of the cumulative value of the Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation

مراتع علاوه بر موضوع پرورش دام با توجه به کارکردهای زیست محیطی فراوان بسترحیات و خواستگاه تمدن‌های بشری بوده وحفظ و تداوم حیات بشر وابستگی کاملاً معنی‌داری به حفاظت و بقای مراتع و سایر منابع طبیعی و تجدیدپذیر دارد. برای تداوم بقای زندگی بشردر این کره خاکی لازم است که منابع طبیعی و تجدید پذیربه درستی مورد بهره‌برداری، حفاظت و حمایت قرار بگیرند. حفظ منابع در واقع ذخیره‌سازی برای آینده است. مهم‌ترین نمود منایع طبیعی‌که به طور مستقیم زندگی بخشی قابل توجهی از جمعیت فعال و تولیدکنندگان جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اساس پرورش دام سبک در استان تامین علوفه از مراتع است. مراتع مهم‌ترین بستر و زیر ساخت پرورش دام و تولیدات دامی بشمار می‌روند. در استان لرستان فعالیت کشاورزی هم به‌صورت دیم و هم آبی و در گروه غلات، حبوبات، نباتات صنعتی و علوفه‌ای، دام و آبزیان صورت می‌گیرد که بیشتر فعالیت‌های کشاورزی این استان در محیط باز انجام می‌شود و تحت تأثیر انواع مخاطرات اقلیمی قرار دارد. ازاین‌رو رخدادهای خشکسالی در این منطقه همواره تأثیرات نامطلوب زیادی بر بخش کشاورزی به دنبال داشته و طی سالهای اخیر این بخش از خشکسالی‌های رخداده به‌شدت متأثر گردیده است؛ بنابراین بارش و خصوصیات آن در تمامی ابعاد کشاورزی استان از اهمیت زیادی برخوردار است و میزان محصول شدیداً تحت تأثیر بارش بهاره و به‌ویژه اردیبهشت ماه می‌باشد که در این بین خشکسالی کشاورزی باعث بروز مشکلاتی از قبیل کاهش درآمد خانوارها، (که باعث شده میزان سرمایه‌گذاری در این بخش نیز تنزل یافته) افزایش بیکاری در بین جوامع روستایی – مهاجرت- کاهش تعداد دام‌ها و کاهش تولید محصولات زراعی، باغی، دام و آبزیان شده است. ازاین‌رو در این مقاله سعی شده است که تأثیر خشکسالی بر جنبه‌های مختلف بخش کشاورزی و منابع طبیعی استان (دیم، آبی، مراتع، دام و آبزیان) و آثار ناشی از آن با استفاده از ترکیبی از روش‌های میدانی، دورسنجی و مدل‌سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده استان لرستان در غرب ایران است. این استان با مساحت ۲۸۵۵۹ کیلومترمربع در غرب ایران، ۱/۷ درصد از کل مساحت کشور را دربر می‌گیرد. استان لرستان بین مدارهای ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرارگرفته است. استان لرستان، از شمال به استان‌های مرکزی و همدان، از جنوب به استان خوزستان، از شرق به استان اصفهان و از غرب به استان‌های کرمانشاه و ایلام محدود می شود. شکل ۱ موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران را نشان می‌دهد (اطلس اقلیمی استان لرستان، ۱۳۸۶).



شکل ۱- موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران

داده‌های مورد استفاده :

داده‌های مورداستفاده برای انجام این پژوهش شامل داده‌های میدانی، اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی شرکت آب منطقه‌ای می‌باشد.

۱- نقشه کاربری اراضی استان لرستان حاصل از تصاویر ماهواره‌ای

۲- اطلاعات میدانی حاصل از مصاحبه با خبرگان و کشاورزان استانی

۳- ویژگی‌های زراعت‌های آبی و دیم استان لرستان از واحد طرح و برنامه سازمان جهاد کشاورزی لرستان شامل: نوع محصول، فصل کشت، سطح زیر کشت اراضی آبی و دیم، تولید (تن).

۴- شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده در پروژه ارزیابی خشکسالی هواشناسی استان لرستان

۵- تصاویر سری زمانی MODIS-NDVI ماهانه (MODIS-13) مورداستفاده در پژوهش از ماهواره‌ی ترا و از وب‌سایت earth explorer از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ (۱۳۷۹-۱۳۹۶) اخذ گردیده است. این محصول مقایسه زمانی و مکانی از شرایط پوشش گیاهی جهانی را فراهم می‌کند و برای نظارت بر فعالیت گیاهان فتوسنتزی و تشخیص تغییرات و تفسیر بیوفیزیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد(Solano et al. 2010). داده‌های این شاخص به‌صورت ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر می‌باشد.

۶- محاسبه‌ی شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI, LST, VCI, TCI,VHI برای استان لرستان

۷- آمار مربوط به دام و تولیدات دامی در سطح استان (معاونت فنآوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی ازسال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ در فواصل پنج ساله).

روش کار

در این پژوهش ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای و مرور منابع به‌منظور تعیین چهارچوب کلی پژوهش انجام شد. در ادامه با استفاده از مطالعات میدانی و مصاحبه با بومیان محلی و همچنین بر اساس شرایط اقتصادی، اجتماعی، وضعیت منابع آب و دانش فنیِ کشاورزان در سطح استان مناطق همگن به‌منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های اقتصادی و زمانی تعیین شد. پس از تعیین واحدهای همگن، کارت مصاحبه برای آگاهی از شرایط آبیاری مزارع، مدت زمان آبیاری، نوع منبع آبی تغذیه‌کننده مزارع و .... تهیه و با همکاری همکاران استان لرستان اقدام به تکمیل آن‌ها در واحدهای همگن شد. پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی، شرایط خشکسالی استان بر اساس شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده در پروژه ارزیابی خشکسالی هواشناسی استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا شاخص‌های SMI، SPI، SPEI، RDI، بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک استان لرستان و استان‌های مجاور طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۷ بررسی و با استفاده از نتایج آن‌ها تغییرات مکانی و زمانی رخداد خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه در سطح استان مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر سری زمانی MODIS-NDVI ماهانه (MODIS-13) مورد استفاده در پژوهش از ماهواره ی ترا و از وب سایت Earth explorer از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ اخذ گردیده است. این محصول مقایسه زمانی و مکانی از شرایط پوشش گیاهی جهانی را فراهم می‌کند و برای نظارت بر فعالیت فتوسنتزی گیاهان و تشخیص تغییرات و تفسیر بیوفیزیکی محصولات اصلی کشاورزی استفاده شد. داده‌های این شاخص به‌صورت ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر می‌باشد. با استفاده از تصاویر اخذ شده، شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI, LST, VCI, TCI,VHI برای کل استان لرستان تهیه شد. انجام عملیات ترکیب شاخص‌ها در محیط نرم‌افزار متلب انجام شد. نتایج ترکیبی شاخص‌های خشکسالی با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزارهای آرک جی ای اس و متلب به‌صورت نقشه، نمودار و جدول‌های لازم تهیه شد.

به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر صنعت دام و آبزی پروری در استان لرستان اطلاعات مربوط به آمار دام، تولیدات وتنوع دام در سطح استان از طریق معاونت فنآوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی ازسال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ در فواصل پنج ساله جمع آوری شد. جامعه آماری تحقیق حاضر تعدادی از بهره برداران وکار شناسانی بودندکه بطورمستقیم با پدیده خشکسالی درگیربودند. با توجه به آمار و مستندات موجود در دستگاه‌های دولتی جامعه آماری مشتمل بر ۲۰۷ نفر

بودند که از همه آن‌ها در پیمایش پر سشنامه وجمع‌آوری داده ها ا ستفاده شد. تعداد پر سشنامه برای هرزیربخش به تفکیک نوع دام شامل دام سبک ۶۲، دام سنگین۴۰، زنبورعسل ۴۸ و آبزی پروری ۵۷ پر سشنامه و نمونه طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ از واحد های پرورش دام، طیور، زنبورعسل و مزارع آبزی پروری به روش نمونه گیری تصادفی طبقه‌ای (stratified sampling) تکمیل شد.

نتایج و بحث

در موضوع ارزیابی تأثیر خشکسالی بر زراعت دیم، نتایج شامل سه بخش است، که قسمت اول، حاصل از ارزیابی داده‌های بارندگی با مشاهدات زمینی و ایستگاهی می‌باشد. در این راستا مقادیر محاسبه شده ی شاخص خشکسالی هواشناسی SPI مورد بررسی قرار گرفته و خطر خشکسالی محاسبه شد. در قسمت دوم، نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص‌های پوشش گیاهیNDVI, LST, VCI, TCI,VHI مورد بررسی قرار گرفت. در انتها هم ارتباط میان شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص خشکسالی پوشش گیاهی بررسی شد.روابط رگرسیون چندگانه بین شاخص SPI و شاخص‌های TCI، VCI و VHI محاسبه گردید و ضریب همبستگی و p-value برای هریک با سطح معناداری ۵ درصد از روابط بدست آمد که نتایج بدست آمده در قالب جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: رابطه رگرسیونی چندگانه میان SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی TCI، VCI و VHI

شاخص پوشش گیاهی	رابطه رگرسیونی	R	p-value
خرداد TCI	-17.18SPI(فروردین)-18.5SPI(آبان)+82.47SPI(آذر)-230SPI(دی)+201SPI(بهمن)+23.21SPI(اسفند)+42.57	۰/۷۷	۱/۷۴e-۳۲
خردادVCI	1.4SPI(اردیبهشت)+0.46SPI(فروردین)-0.63SPI(خرداد)+0.09SPI(مهر)-0.27SPI(آبان)-1.15SPI(آذر)+0.87	۰/۷	۲/۱۳e-۲۷
VHI اردیبهشت	-53.9SPI(خرداد)+114SPI(اردیبهشت)-33.6SPI(فروردین)-2SPI(مهر)+ 4.95SPI(آبان)+0.42SPI(آذر)+51.87	۰/۸	۱/۴۳e-۴۲

همان طور که در جدول (۱) دیده می‌شود، در هر سه رابطه رگرسیونی به دلیل اینکه سطح معنی داری p-value کمتر از مقدار ۰/۰۵ می‌باشد، نشان دهنده‌ی آن است که مدل رگرسیونی مناسب بوده است و متغیر SPI توانسته به طور معنی داری تغییرات متغیرهای TCI، VCI و VHI را پیش بینی کنند و بر متغیرهای TCI، VCI و VHI تأثیرگذار باشند.

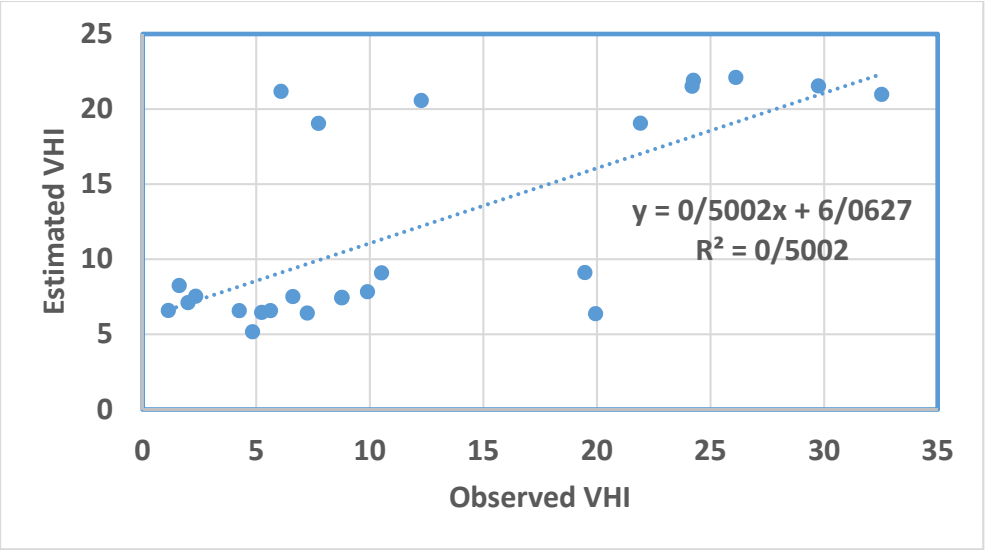
در مو ضوع ارزیابی تأثیر خ شک سالی بر مراتع در ا ستان لر ستان، رابطه بین شاخص‌های خ شک سالی پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی هواشناسی مورد توجه قرارگرفت. برای بررسی ارتباط میان خشکسالی هوا شنا سی و خشکسالی پو شش گیاهی از ضریب همبستگی پیر سون ا ستفاده شد. بدین منظور همبستگی میان شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی برای سه سال خشک ۱۳۸۷و نرمال ۱۳۹۲ و مرطوب ۱۳۹۵ محاسبه گردید.SPI های ماهانه (مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد) برای هر سه سال در برابر شاخص‌های خشکسالی پو شش گیاهی در خرداد ماه (به عنوان نماینده شرایط پو شش گیاهی که در و ضعیت کامل ر شد بوده و کمتر تحت تأثیر چرا قرار گرفته ا ست) بو سیله ضریب همب ستگی پیر سون برای ۴۵۰ نقطه انتخابی ارا ضی مرتعی مورد بررسی قرار گرفت. لازم به توضیح است که برای ارتباط درست بین خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی، مراتع به به سه بخش قشلاقی، میانبند و ییلاقی تقسیم شدند. چرا که مراتع قشلاقی زودتر و در مراتع ییلاقی دیرتر به مرحله تکامل ر شد ر سیده می شود. با توجه به اینکه شاخص VHI ترکیب دو شاخص VCI و TCI می‌باشد، فقط رابطه این شاخص با SPI مورد مقایسه قرار گرفت.

به‌طورکلی، در جدول (۲) همب ستگی میان SPI یک و سه ماهه نه ماه قبل با شاخص VHI خرداد ماه (به عنوان یک ماه کلیدی برای ارزیابی شاخص پوشش گیاهی) مورد مقایسه قرار گرفت. در دوره خشکسالی (۱۳۸۷) برای مراتع قشلاقی، رابطه SPI یک‌ماهه با VHI ماه‌های آبان تا اردیبهشت، منفی و بعضا غیر معنی‌دار حاصل شد و فقط مهر ماه و خرداد ماه مستقیم و معنی‌دار حاصل شد که با توجه به تأثیرپذیری پوشش گیاهی یک‌ساله تا حداکثر بارش دو ماه قبل می‌باشد، لذا رابطه SPI یک ماهه خرداد، رابطه معنی‌داری را نشان داد که بیانگر تأثیر پوشش گیاهی این بخش از مراتع از بارش همان ماه تأثیرپذیر است. در این بخش از مراتع، VHI با SPI سه‌ماهه در هیچ یک از ماه‌ها بجزء مهر ماه رابطه مثبت ن شان نداد و این مو ضوع بیانگر آن ست که در خ شک سالی‌ها به دلیل عدم کفایت بارش در فصل بهار و یا چرای مفرط، پو شش گیاهی قبل از ر سیدن به مراحل ر شد حداکثری از بین رفته با شد. لذا در شرایط خ شک سالی زیاد، تأثیر بارش بر پو شش گیاهی به راحتی قابل پایش نمی‌با شد. همانگونه که جدول (۲) نشان می‌دهد. رابطه VHI خردادماه با SPI یک ماهه همان ماه رابطه معنی داری را نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر آن است که در اثر بارش، گیاهان کم‌زی به سرعت رشد کرده و پوشش ن سبتاً منا سبی را ایجاد کرده‌اند. بر این ا ساس می‌توان نتیجه گرفت که در مناطق قشلاقی و کم ارتفاع در دوره‌های خشکسالی پوشش گیاهی به شدت متاثر از بارش همان ماه بوده ولی در دوره‌های نرمال و ترسالی از ماه‌های قبل نیز تأثیر پذیر می‌باشند. همانگونه که در جدول (۲) آورده شده است VHI خردادماه با SPI سه ماهه فروردین تا خرداد دارای رابطه مستقیم می‌باشد به‌طوری‌که در رگرسیون چند متغیره میزان ضریب همبستگی به ۰/۶۱ افزایش یافت. در شکل (۲) نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده VHI برای دوره خشکسالی مراتع قشلاقی آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر همبستگی میان VHI خرداد۱۳۸۷ با SPI یک و سه ماهه نه ماه قبل در شرایط ترسالی، نرمال و خشکسالی در مراتع

پایه زمانی خشکسالی		(2008)خشکسالی			(2013)نرمال			(2016)ترسالی		
		>2500	1000-2500	<1000	>2500	1000-2500	<1000	>2500	1000-2500	<1000
یک ماهه	مهر	0.02	0.24	0.27	0.35*	-0.29	0.66*	0.13	0.15	-0.56*
	آبان	0.07	0.04	-0.12	0.17	0.16	-0.63*	0.07	-0.01	-0.09
	آذر	-0.04	-0.15	0.03	0.20	-0.22	-0.20	0.08	0.07	-0.46*
	دی	-0.09	-0.08	-0.15	0.41*	-0.14	0.29	0.07	-0.07	0.03
	بهمن	-0.25	0.07	-0.21	0.35*	0.02	0.62*	0.10	0.13	0.54*
	اسفند	-0.01	0.19	-0.17	0.26	-0.28	0.07	0.10	0.13	0.54*
	فروردین	0.06	0.20	-0.38	0.45*	0.05	-0.64*	0.12	0.16	-0.50*
	اردیبهشت	-0.30	0.06	-0.31	-0.24	-0.19	0.67*	0.13	0.14	0.46*
	خرداد	-0.34	-0.18	0.39	0.34	-0.54*	0.59*	0.16	0.18	0.58*
سه ماهه	مهر	0.02	0.24	0.10	0.24	-0.35*	0.68*	0.11	0.14	-0.56*
	آبان	0.05	0.15	-0.06	0.17	0.10	-0.64*	0.07	0.01	-0.15
	آذر	-0.02	-0.01	-0.07	0.10	0.05	-0.66*	0.08	0.04	-0.26
	دی	-0.13	-0.21	-0.19	0.23	0.06	-0.52*	0.08	0.02	-0.24
	بهمن	-0.21	-0.17	-0.19	0.33	-0.02	0.46*	0.08	0.02	-0.23
	اسفند	-0.11	0.14	-0.37	0.36*	-0.14	0.58*	0.07	0.02	0.47*
	فروردین	-0.02	0.21	-0.38	0.49*	-0.16	-0.52*	0.12	0.09	0.22
	اردیبهشت	0.00	0.22	-0.43	0.31	-0.25	-0.22	0.13	0.17	-0.31
	خرداد	-0.02	0.19	-0.40	0.29	-0.33*	-0.06	0.12	0.19	-0.47*

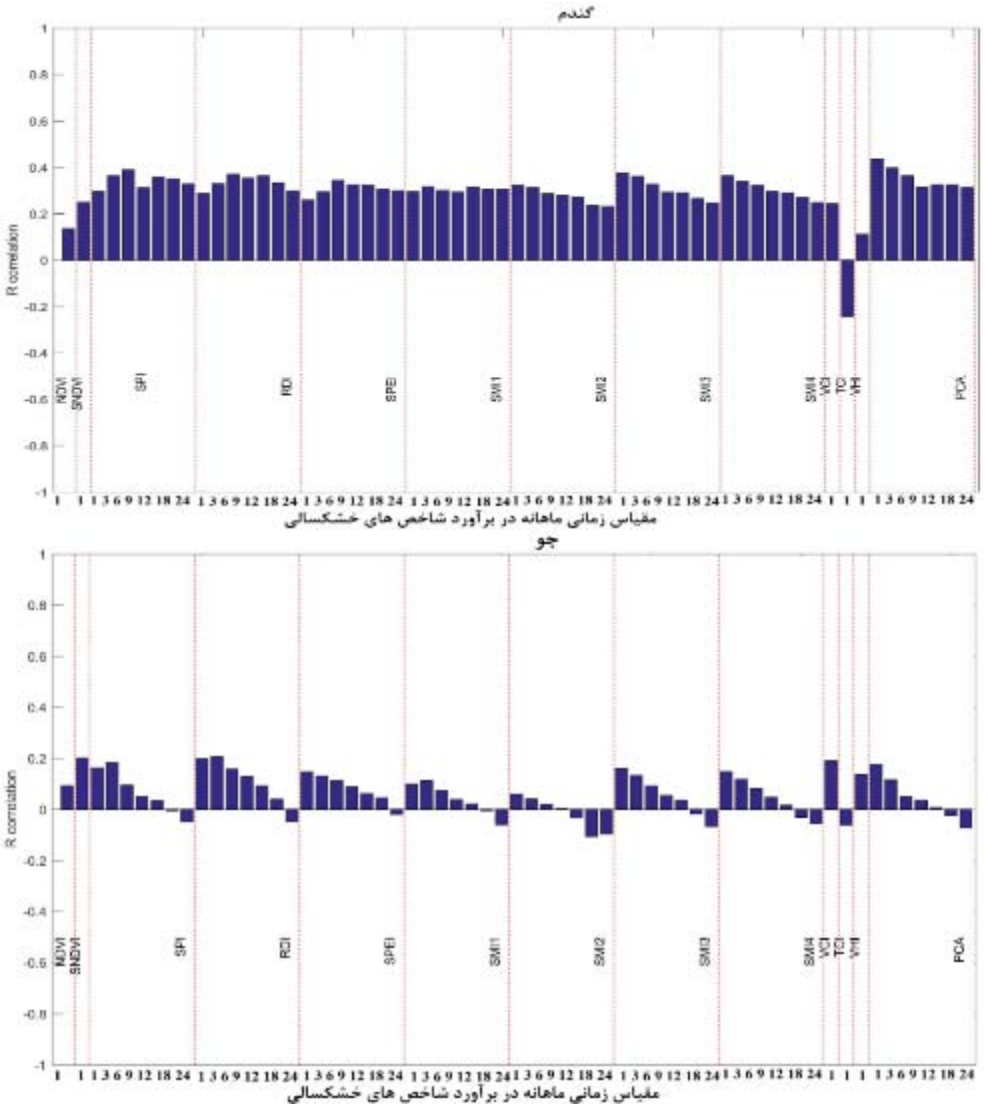
***در سطح ۵ درصد معنی داری**



شکل ۲: رابطه بین مقادیر VHI برآورد شده با روش چند متغیره با مقادیر مشاهده ای (استخراج شده از تصویر) در مراتع قشلاقی سال

ارتباط عملکرد محصولات زراعی آبی با خشکسالی در طولانی مدت: با توجه به اینکه بین میزان عملکرد محصولات زراعی آبی با شرایط خشکسالی و تر سالی حاکم بر منطقه براساس آمار منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان، ارتباط مشخصی وجود نداشت، در این قسمت ارتباط بین میزان عملکرد محصولات زراعی آبی با مقادیر شاخص‌های خشکسالی در شهرستان‌های مختلف استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۳) نشان‌دهنده همبستگی بین میزان عملکرد گندم و جو آبی در سطح استان لرستان با شاخص‌های خشکسالی متنوع مورد استفاده در این تحقیق است. شاخص‌هایی مانند NDVI، NDVI استاندارد شده یا SNDVI، SPI، RDI، SPEI، SMI1 (در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متری)، SMI2 (در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی متری)، SMI3 (در عمق ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی متری)، SMI4 (در عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی متری) که همه این شاخص‌ها در سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه می‌باشند، شاخص VCI، TCI و VHI و در نهایت شاخص ترکیبی خشکسالی بر اساس PCA که این سری نیز در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه می‌باشد. خطوط خط چین قرمز رنگ که به صورت افقی در نمودار ظاهر شده‌اند، محدوده هر شاخص را نشان می‌دهد. از آنجا که برخی شاخص‌ها دارای مقیاس‌های زمانی مختلفی می‌باشند (نظیر SPI)، محدوده بیشتری را نیز به خود اختصاص داده‌اند. در محدوده شاخص‌های دارای مقیاس زمانی، نمودارهای ستونی به ترتیب متعلق به سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه می‌باشند. در محدوده پلی‌گون هر شهرستان و در هر سال آبی، میانگین شاخص‌های خشکسالی اقتباس و سپس با عملکرد گندم دیم و جو در شهرستان‌ها همبستگی گرفته شده است. شکل (۳) به خوبی نشان‌دهنده ارتباط بین شاخص‌های متنوع خشکسالی

با عملکرد گندم و جو آبی ا ست. همانطور که روی شکل م شخص ا ست بین میزان عملکرد مح صولات گندم و جو آبی با شاخص های مختلف خ شک سالی ارتباط م ستقیم وجود دارد. یعنی با افزایش مقدار بارش و رطوبت خاک میزان عملکرد نیز افزایش و با کاهش مقدار بارش و رطوبت خاک میزان عملکرد گیاهان جو و گندم هم با کاهش همراه می‌شود. در بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص ترکیبی PCA همبستگی بیشتری با میزان عملکرد گندم دارد که با افزایش مقیاس زمانی، این همبستگی‌ها کاهش می‌یابد.



شکل ۳ : شاخص همبستگی (R) شاخص‌های خشکسالی با عملکرد گندم و جو آبی در سطح استان لرستان

به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر صنعت دام و آبزی پروری دراستان لرستان اطلاعات مربوط به آمار دام، تولیدات و تنوع دام در سطح استان از طریق معاونت فنآوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی ازسال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ در فواصل پنج ساله جمع آوری شد. داده‌های مربوطه به پایش خشکسالی از بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی اخذ شد. این پژوهش بر اساس پیمایش و از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری تخصصی با کارشناسان و بهره‌برداران خبره به عنوان ابزار گردآوری داده‌های مورد نیاز انجام شد. به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر صنعت دام و آبزی پروری و ارائه ساز و کارهای عملی مقابله با آن، به دلیل امکان بهره‌گیری از یافته‌های حاصل در نظام مدیریت بحران خشکسالی در جوامع تولیدی روستایی و عشایری اطلاعات مربوط به جمعیت دام از منابع رسمی به عنوان پایه بررسی تغییرات جمعیت دام استان در نظرگرفته شد. ازآنجا که بخشی از اثرات ناشی ازخشکسالی عملا قابل اندازه‌گیری نیست و یا حداقل در شرایط فعلی کشور پایش و ثبت نمی‌شود؛ لذا علاوه برآمار رسمی، تکمیل پرسشنامه، نظرات کارشناسان خبره، دامداران و بهره برداران پیشرو در صنعت دام وآبزی پروری جمع‌آوری شد. این گزارش روایی و مبتنی بر نظرات تخصصی کار شناسان و بهره بردران خبره بخش بود. جامعه آماری تحقیق حاضرتعدادی از بهره‌برداران و کار شناسانی بودندکه بطور مستقیم با پدیده خشکسالی درگیر بودند. با توجه به آمار و مستندات دستگاههای دولتی جامعه آماری مشتمل بر۲۰۷ خانوار بهره‌بردار بودند که از همه آنها برای جمع‌آوری داده استفاده شد. تعداد پرسشنامه برای هر زیر بخش به تفکیک نوع دام شامل ۶۲ خانوار پرورش دهنده دام سبک، ۴۰ خانوار پرورش دهنده دام سنگین، ۴۸ نفر زنبوردار و۵۷ مزرعه آبزی پروری بود.

خانوارها بر اساس جمعیت فعالان هر زیر حوزه به روش نمونه گیری تصادفی طبقه‌ای (stratified sampling) انتخاب و اطلاعات آنها جمع آوری شد. برای حصول اطمینان از پایایی پرسشنامه‌ها از آزمون آلفا کرون باخ استفاده شد. طی پالایش گویه‌ها، ضرایب برای صحت بخشی پرسشنامه ها برای علل، اثرات و ساز و کارها به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۷۳ و۰/۸۴ به دست آمد. که نشان دهنده اطمینان از روایی و اعتبار محتوایی پرسشنامه به قضاوت و ارزیابی صاحب نظران مورد رجوع می‌باشد. پس از گردآوری داده‌ها و تکمیل پرسشنامه، داده‌ها بازبینی و کد گذاری شد سپس با استفاده از بسته نرم افزاری SPSS16 تحت ویندوز با تجزیه و تحلیل برمبنای تکنیک عامل اکتشافی (نوع R) به عنوان روش تحلیل چند متغیره و تکنیک هم وابسته بهره‌گرفته شد. تا هم داده کاهش یابد و متغیرهای مربوطه پالایش شوند. مولفه‌های زیر بنایی معنی‌دار در سه بعد علل، اثرات، پیامدها و ساز وکارهای تاثیر خشکسالی بر صنعت دام و آبزی پروری به دست آمد. در اینجا خلاصه نتایج ارایه می‌شود.

۱- کاهش تولید محصولات دامی(شیر،گوشت و غیره) در نتیجه کاهش درآمد دامداران و ایجاد کمبود این محصولات در بازارهای مصرف.

۲-کاهش جمعیت دام به علت افزایش تلفات، سقط جنین ناشی از کمبود مواد مغذی و بیمارها همچنین افزایش کشتار دام‌های مولد و از بین رفتن و یا کاهش شدید دام‌های بومی و سازگار با منطقه.

۳- از بین رفتن دام‌های مولد و با ارزش وکاهش سرمایه‌های تولیدی دامداران.

۴- کمبود وگرانی علوفه و سایر نهادهای دامی و افزایش هزینه‌های نگهداری دام.

۵-کاهش کمی و کیفی علوفه مراتع که منجربه کاهش راندمان تولیدمثلی، کاهش وزن زنده دام‌ها، افزایش بیماریهای عفونی و واگیردار(شاربن، تب مالت، تب برفکی و....) به علت ضعف سیستم ایمنی بدن، افزایش ابتلا به انگل‌های داخلی وخارجی.

۶- مشکل تامین آب شرب سالم برای دام‌ها به علت خشک شدن چشمه‌ها و سرابها در سامانه‌های عشایری و روستاها.

۷- افزایش فشار چرای دام بر مراتع و تسریع در روند تخریب آنها در نتیجه از بین رفتن پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک درعرصه‌های مرتعی شیب دار.

۸- سوء تغذیه ناشی از کمبود مواد غذایی که موجب ایجاد اختلالات متابولیکی در دام می‌شوند. این اختلالات در سه دوره رشد، تولید مثل و شیردهی اهمیت بیشتری دارند.

۹- استرس ناشی از سوء افزایش دما و موجب افزایش احتمال ابتلاء به بیماری های عفونی مختلف شامل عفونتهای باکتریایی، انگل‌های داخلی و خارجی، قارچی و ویروسی می شود. اثر استرس ناشی از تغییرات ایجاد شده در سه سیستم عصبی، اندوکرینی و ایمنی بدن است. در صورت استمرار می تواند موجب صدماتی به بدن دام شود.

۱۰- افزایش ابتلا به انگلهای داخلی و خارج از بدن دام. در صورتی‌که دام مبتلا به انگل های داخلی مانند نماتودها، ترماتودها و سستودها و یا مبتلا به انگل‌های خارج بدن دام مانند کنه‌های که معمولاً عامل انتقال انتقال بیماری های تیلریوز، بابزیوز و آناپلاسموز هستند. باعث افزایش ابتلا به این نوع بیماری و افزایش تلفات و خسارت ناشی از افت تولید تلفات می‌شود.

۱۱- وضعیت نامناسب محل نگهداری دام. در صورت عدم دقت دامدار و تجمع بیش ازحد دام در محل‌های نگهداری به نوبه خود موجب افزایش بیشترگرما و سختی تنفس و افزایش تماس دام‌ها و احتمال انتقال عوامل بیماریزا می شود. در چنین شرایط احتمال بروز و شیوع بیماریهای عفونتهای ناشی از ویروسها و باکتریای‌ها بیشتر خواهد شد.

۱۲- راهپیمایی بیش از حد معمول برای دریافت غذا که سبب ازدست دادن انرژی و ایجاد تعادل منفی انرژی در بدن دام می‌شود. و زمینه را برای ایجاد و انتقال بیماری واگیر و شیوع بیماری های بصورت فراگیر فراهم می‌کند.

۱۳- تغییرات رژیم غذایی از نظرکیفی و کمی در مناطق دچار خشکسالی موجب بروز بیماری‌های متابولیکی و تغییرات در میکروفلور شکمبه دام و ایجاد اختلال در هضم و جذب مواد مغذی می شود.

تغذیه از علوفه‌های غیرخوشخوراک و سمی به علت کمبود علوفه مراتع که ممکن است دام را با مسمومیت ناشی از مواد ضد تغذیه‌ای مانند اگزالات، ساپونین و تانن موجود درگیاهان سمی کند. همچنین تغذیه دام از ریشه گیاهان خشک شده ولاش برگ گیاهان خشک شده علاوه برآسیب به دندانها منجربه ایجاد خراش و زخم هایی در اطراف دهان و بینی شده و زمینه ساز ورود عوامل بیماریهایی مانند اکتیمای واگیر را فراهم میکند.

۱۴-کمبودهای مواد معدنی کمبود عناصر معدنی در تغذیه دام در شرایط خشکسالی تشدید می‌شود. این کمبودها از جمله کمبود عناصر ضروری مانند کلسیم و فسفر می‌تواند فعالیت های فیزولوژیکی و متابولیکی بدن دام را مختل کند. کمبود عناصر معدنی علاوه بر ایجاد زمینه بیماریها باعث افزایش سقط جنین وکاهش باروری دام‌های داشتی می‌شود.

۱۵- اسپورباکتریهای کلستریدیایی مانند عوامل بیماریهای بوتولیسم، آنتروتوکسمی، شاربن علامتی و کزاز در خاک وجود دارند. لذا در دوره خشکسالی به علت آلوده شدن زخمها و خراشها با خاک و نیز چرای نزدیک به سطح خاک منجربه ورود عوامل این بیماریها از جمله عامل ایجاد بیماری کلستریدم به بدن دام شده و ایجاد بیماری های فوق را تشدید می‌کند.

۱۶- افزایش بیماری های ویروسی و باکتریایی مانند تب برفکی، طاعون نشخوارکنندگان کوچک، شاربن و لپتو سپیروزکه به دلیل تضعیف سیستم ایمنی بدن ناشی از عدم دریافت خوراک کافی بروز می‌کنند.

۱۷- عارضه پیکا (گنده خواری): بیماری ناشی از کمبود مواد مواد مغذی و عناصر معدنی بخصوص کمبود فسفراست. در این حالت دام همه هر چیریزی که بیابد می‌خورد. حتی اشیایی مانند پلاستک و چرم و پارچه را میخورد. خوردن این مواد باعث ایجاد عارضه انباشتگی شکمبه شده و برای دام مشکل ایجاد می‌کند.

کاهش بارندگی‌ها و تغییر الگوی بارش بر صنعت آبزی پروری اثرات متعددی برجای می‌گذارد. از جمله چالشهایی که صنعت آبزی پروری با روبرو است عبارتند از: کاهش دبی چشمه‌ها و سرابها، در نتیجه ایجاد چالش تامین آب کافی برای مزارع و ایجاد رقابت بر سر منابع آب بین واحدهای آبزی پروری دریک حوزه مشترک و در بسیاری از موارد موجب درگیری پرورش دهندگان ماهی با کشاورزان و باغداران می‌شود. همچنین کاهش کیفیت آب در دسترس مانند افزایش سختی آب و آلودگیهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب در نتیجه میزان تلفات ماهی‌ها بخصوص بچه ماهی در سنین کمتر از ۲ تا ۳ ماه افزایش می‌یابد. نتایج این بررسی نشان داد که در سال‌های کم آبی تا حدود ۳۰ درصد ظرفیت استخرهای پرورش ماهی خالی مانده و تولیدی در آنها انجام نمی‌گیرد. به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۸ مقدارکل تولید ماهی در استان از۲۳ هزار تن به حدود ۱۳ هزار تن کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در طی سال‌های ۹۵ تا ۹۸ در مجموع ۱۳ باب مزرعه پرورش ماهی سرد آبی با ظرفیت

۱۲۸ تن و دو باب مزرعه پرورش ماهی گرم آبی با ظرفیت ۴۳ تن در سطح استان به علت از بین رفتن منبع آب به کلی تعطیل شده اند. در سال‌های خشکسالی، میانگین دمای محیط نیز افزایش پیدا می‌کند. افزایش دمای محیط سبب افزایش دمای نسبی آب می‌شود. افزایش دمای آب باعث کاهش میزان اکسیژن محلول درآب می شود. چنانچه میزان ماهی ریزی در واحد سطح کمتر از حد استاندارد در نظر گرفته نشود، کمبود اکسیژن محلول در آب باعث افزایش تلفات می شود. معمولاً مدیران مزارع پرورش ماهی برای جلوگیری از زیان ناشی از تلفات معمولاً تا یک سوم ظرفیت در هر واحد سطح ماهی ریزی را کم می‌کنند. در نتیجه تقریباً ۳۰ در صد ظرفیت اسمی مزرعه خالی می‌ماند. در برخی از مزارع تامین اکسیژن با افزایش جریان آب ورودی و خروجی به مزرعه کنترل می شود. ولی در بسیار از مزارع کاهش منابع آبی استفاده از این شیوه را غیرممکن ساخته است. بنابراین طی سال‌های اخیر مزارع پرورش ماهی به اجبار به سیستم های بازچرخانی و هوا دهی آب رو آورده اند. دمای بالای آب و کاهش اکسیژن محلول بر مصرف مصرف خوراک ماهی تأثیر منفی دارد. با هر پنج درجه افزایش دمای آب مصرف خوراک ماهی تا ۱۵ تا ۲۰ در صد کاهش می‌یابد. کاهش مصرف خوراک منجر به طولانی شدن دوره پرورش و کاهش عملکرد در واحد سطح می‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کمبود آب و خشکسالی از بزرگترین چالش‌هایی می‌باشند که توسعه کشاورزی کشور در حال و آینده با آن مواجه خواهد بود. برآورد نیازهای غذایی نشان می‌دهند که اگر استراتژی مناسب برای مدیریت آب و آمادگی کاهش اثرات خشکسالی در بخش کشاورزی اتخاذ نشود، پتانسیل‌های آب و زمین کشور نیازهای غذایی کشور را تامین نمی‌کند. محاسبه و بررسی شاخص‌های خشکسالی به‌منظور پایش شرایط خشکسالی استان لرستان طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۰ نشان داد که، روند افزایشی خشکسالی و تکرار سیکل‌های بلندمدت خشکسالی و ترسالی در استان لرستان مشهود است. در واقع بر اساس نتایج مربوط به شاخص‌های خشکسالی SPEI و RDI که تبخیر و تعرق پتانسیل را نیز در محاسبات خود لحاظ می‌نمایند، در طول دوره مورد بررسی، سه سیکل خشکسالی و ترسالی مشاهده می شود. اولین سیکل قبل از سال ۱۳۸۰ است که در سال‌های حدود ۱۳۸۰، به یک خشکسالی قابل توجه ختم می‌شود. این سیکل در مرحله بعدی، دوباره اوج گرفته و در سال‌های حدود ۱۳۸۶ به یک ترسالی قابل توجه ختم می‌شود. هر چند که این دوره ترسالی، نسبت به شرایط ترسالی قبلی که در سال‌های حدود ۱۳۷۳ اتفاق افتاده است، شدت کمتری دارد. وقوع خشکسالی‌های طولانی مدت طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ مشهود است و دوباره شاهد ایجاد ترسالی در سال ۱۳۹۶ می‌باشیم. کاهش شدت ترسالی‌ها و افزایش طول دوره خشکسالی‌ها و شدت آن‌ها می‌تواند حاکی از تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر باشد.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین عملکرد گیاهان دیم و آبی با شاخص‌های مختلف خشکسالی در سطح استان لرستان طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۰ نشان داد که مقادیر شاخص همبستگی بین میزان عملکرد گیاهان دیم و مقادیر بیشتر شاخص‌های خشکسالی مثبت است که البته میزان شاخص همبستگی در مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت است. مقادیر همبستگی مثبت بین میزان عملکرد گیاهان دیم با شاخص‌های مختلف خشکسالی بیانگر ارتباط مستقیم و تأثیر پذیری عملکرد گیاهان دیم از مقادیر بارش و رطوبت موجود در خاک است که با افزایش بارش و رطوبت خاک مقدار عملکرد افزایش و با کاهش بارش و رطوبت موجود در خاک میزان عملکرد نیز کاهش پیدا می‌کند. ذکر این نکته نیز ضروری است که هر چند مقادیر شاخص همبستگی بین میزان عملکرد گیاهان دیم و مقادیر شاخص‌های خشکسالی در بسیاری از موارد کمتر از ۰,۵ است و چندان بالا نمی‌باشد، اما باید در نظر گرفت که عملکرد محصول فقط تابعی از خشکسالی نیست و شاخص‌های دیگری خصوصاً وضعیت آب و هوایی و به‌ویژه شرایط دمایی، مدیریت مزارع، وجود به موقع نهاده‌ها و ... نیز بر میزان عملکرد محصولات تأثیر گذار هستند. همچنین در یک سطح کشت ثابت در یک منطقه یا استان، وقوع خشکسالی یا ترسالی یا سایر عوامل می‌تواند کشاورزان را به سمت تولید یک محصول دیگر سوق دهد. لذا شرایط تحلیل اطلاعات موجود بسیار پیچیده است. در کنار موارد مذکور، از آنجا که هنوز سامانه مکان مبنای روزآمدی در رابطه با برداشت آمار کشاورزی کشور وجود ندارد، صحت آمار برداشت شده نیز می‌تواند بخشی دیگر از منابع عدم قطعیت محاسبات همبستگی بین عملکرد واقعی و برآوردی باشد. به هر حال میزان همبستگی‌های بالا در اینجا چندان مورد انتظار نیست و چنین به نظر می‌رسد که همبستگی‌ها در سطح فعلی منطقی‌تر می‌باشند.

بررسی ارتباط بین میزان عملکرد ثبت شده در اداره جهاد کشاورزی برای محصولات آبی با شرایط خشکسالی و ترسالی بر اساس مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین نتایج حاصل از پرسشنامه نشان داد که در رابطه با بخش قابل توجهی از محصولات کشاورزی، ارتباط معناداری بین این دو پارامتر وجود ندارد. برای بیشتر شهرستان‌های استان لرستان، گیاهان آبی میزان عملکرد بیشتری در سال‌های خشک داشته‌اند، در حالی که انتظار بر این است که در سال‌های مرطوب با توجه به وجود رطوبت بیشتر در دسترس برای گیاهان، مقدار عملکرد آن‌ها افزایش پیدا کند و نسبت به سال‌های خشک و نرمال بیشتر باشد. دلیل رخداد این شرایط به عوامل مختلفی بستگی دارد که بررسی آن‌ها نیازمند انجام پژوهشی مجزا می‌باشد. با وجود این نحوه ثبت میزان عملکرد و نقص در برداشت صحیح داده‌ها می‌تواند یکی از دلایل اصلی رخداد این شرایط باشد. همچنین مدیریت آبیاری و تعداد دفعات آبیاری در سال‌های خشک و یا مقدار کود استفاده شده و ... می‌تواند از دلایل افزایش عملکرد در سال‌های خشک باشد.

جمع‌بندی نتایج بررسی ارتباط میان شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های پوشش گیاهی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱- با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI، برای استان لرستان سال خشک و نرمال و مرطوب به ترتیب سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ بدست آمد.۲- در بررسی ارتباط شاخص خطر خشکسالی با متغیرهای توپوگرافی و هواشناسی (ارتفاع و میانگین بارش) مشخص شد که خطر خشکسالی با این متغیرها دارای رابطه معکوس می‌باشد و هرچه ارتفاع زمین افزایش می‌یابد خطر خشکسالی کاهش پیدا می‌کند.۳- نتایج حاصل از بررسی روابط میان شاخص خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی TCI نشان داد که در سال ۱۳۸۷ بیشترین ضریب همبستگی پیرسون برای SPI با سری زمانی ۹ و دوازده ماهه می‌باشد و مقدار این همبستگی برای SPIهای ماه مهر و آبان بسیار بیشتر از سایر ماه‌ها بود که بدین معنا می‌تواند باشد که اگر در ماه مهر و آبان میزان بارندگی مناسب باشد، رشد دیم در فصل بهار بسیار خوب خواهد بود و همچنین عدم بارندگی در ماه مهر و آبان سال قبل باعث کاهش و یا عدم رشد مناسب محصولات کشاورزی در فصل بهار خواهد شد.۴- نتایج حاصل از بررسی روابط میان شاخص SPI و VCI نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی شاخص VCI، برای SPI با سری زمانی ۹ ماهه و مربوط به ماه آبان می‌باشد. هم چنین نتایج رگرسیون چندگانه(شش گانه) میان این دو شاخص نشان داد که ضریب همبستگی میان SPI ۹ و دوازده ماهه بیشتر از سایر سری زمانی‌های SPI می‌باشد و مانند نتایج TCI، این نتایج گویای آن است که عدم بارندگی در آبان ماه سال قبل می‌تواند بر روی کاهش محصولات دیم تأثیر گذار باشد. ۵- نتایج حاصل از بررسی ارتباط شاخص VHI و SPI نشان داد که همانند دو شاخص VCI و TCI، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به SPI مهر و آبان ماه می‌باشد و رگرسیون چندگانه میان SPI ماه‌های (فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر، آبان و آذر) با VHI بیشترین ضرایب همبستگی را برای سری زمانی۹ و ۱۲ماه SPI نشان داد. این نتایج به آن معنا است که چنانچه در ماه مهر و آبان خشکسالی و کمبود بارش رخ دهد، به دنبال آن با کاهش محصولات بیشتری مواجه می‌شویم و پوشش گیاهی از بارندگی ۹ و ۱۲ماه قبل بیشتر متاثر می‌شود.۶- بر اساس نتایج بدست آمده، بررسی شاخص پوشش گیاهی TCI، VCI و VHI در دو ماه اردیبهشت و خرداد (در مناطق سردسیر استان خرداد ماه به علت رشد دیرتر پوشش گیاهی و سایر مناطق در اردیبهشت) انجام شد. به دلیل اینکه عمده رشد محصول در این دو ماه می باشد و اگر محصول با کاهش و کمبود رشد مواجه شود، در این دو ماه مشخص می‌شود و بررسی این دو ماه مهمتر از سایر ماهها است. روابط رگرسیونی بررسی گردید و هر سه رابطه حاصل از رگرسیون TCI، VCI و VHI با SPI سطح معناداری آنها کمتر از ۰/۰۵ بدست آمد که نشان دهنده‌ی مناسب بودن مدل رگرسیونی می‌باشد و متغیرهای SPI در ماه‌های مختلف به طور معناداری توانسته‌اند تغییرات متغیرهای TCI، VCI وVHI را پیش بینی کنند و بر روی آنها تأثیرگذار باشند.

۷-تغییرات شاخص‌های ماهواره‌ای خ شک سالی پو شش گیاهی در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ روند معنی‌دار کاهشی و یا افزایشی نشان نداد. ۸-بر پایه بررسی نتایج شاخص VCI در سال ۱۳۸۷ (سال خشک) بیش از ۵۶ درصد مساحت مراتع در طبقه خشکسالی و کمتر از ۱۰درصد در طبقه مرطوب یا ترسالی واقع شده و به خوبی مطابق با دوره خشکسالی هواشناسی بوده و وضعیت خشکسالی مراتع را نشان داد. در سال ۱۳۹۲ (سال نرمال) ۳۷ درصد مراتع در شرایط خشکسالی ملایم تا ترسالی ملایم و طبقات خشکسالی متوسط تا شدید و ترسالی متوسط تا ترسالی شدید به ترتیب ۱۳ و ۱۸ درصد را به خود اختصاص دادند که تاحدودی شرایط سال نرمال را به نمایش گذا شت. در سال ۱۳۹۵ (سال تر) بیش از ۶۵ درصد مساحت مراتع در وضعیت ترسالی و تنها حدود پنج درصد مراتع در وضعیت خ شک سالی متو سط به سمت شدید قرار گرفتند.۹-رابطه VCI با خ شک سالی هوا شنا سی در مراتع قشلاقی با ماه‌های اردیبهشت و خرداد و در مراتع ییلاقی با ماه‌های ماقبل حتی فصل زمستان نیز ارتباط مستقیم داشته و رابطه چند متغیر معناداری را نشان دادند. در مراتع میانبند به دلیل ترکیب گونه های چند ساله و یک ساله رابطه با SPI ماه‌های قبل حتی چند متغیره معنی‌دار حاصل نشد.۱۰-شاخص TCI در سال ۱۳۸۷ (دوره خشک) شدت خشکسالی را به خوبی نمایش داد؛ به‌طوری‌که بیش از ۳۲ درصد مراتع در این سال در طبقه شدت خ شک سالی شدید و حدود ۸۵ درصد م ساحت آن در طبقه خشکسالی قرار گرفت. در دوره نرمال (۱۳۹۲) شرایط را به سمت ترسالی نشان داد به‌طوری‌که بیش از ۷۵ درصد مراتع در وضعیت ترسالی واقع شدند. این موضوع نشان می‌دهد که دمای خرداد ماه ۱۳۹۲ ن سبت به کل دوره ۱۸ سال خنک تر بوده ا ست. در دوره تر سالی (۱۳۹۵) تا حدودی شرایط ترسالی را نمایش داده ولی بیشتر به سمت شرایط نرمال را دارا بود. بررسی کمی بین TCI و SPI یک و سه ماهه نه ماه قبل خرداد رابطه معنی داری را نشان نداد۱۱-شاخص VHI نیز تا حدود زیادی خشکسالی هواشناسی را نشان داد به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۷ به عنوان یک سال خشک بیش از ٪۸۰ مراتع در وضعیت خشکسالی و کمتر از پنج درصد در وضعیت ترسالی ملایم قرار گرفته بود. رابطه کمی بین VHI و SPI همانند شاخص VCI در مراتع قشلاقی با SPI یک‌ماهه ماه‌های خرداد و اردیبهشت و SPI سه ماهه فروردین تا خرداد رابطه بهتری را نشان دهد در واقع در مراتع ییلاقی ماه‌های سرد سال و به خصوص ماه‌های اسفند و فروردین نقش بسزایی را در این رابطه داشتند.در مراتع میانبند رابطه معناداری بین این شاخص و SPI مشاهده نشد.۱۲-روند شاخص‌های VHI, VCI و TCI برای ماه‌های تیر و خرداد ماه مورد برر سی قرار گرفت و در طی دوره سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ روند معنی‌دار کاهشی یا افزایشی دیده نشد.

تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی ستاد توسعه فناوری‌های آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری در قالب یک طرح پژوهشی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است.

منابع

- اداره کل هواشناسی استان لرستان.،۱۳۸۳، اطلس اقلیمی استان لرستان.
- زند، مهران.، ۱۳۹۷، اثرات اقتصادی خشکسالی بر درآمد کشاورزان دیم کار (گندم و جو) در شهرستان خرم آباد، هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری – انجمن سیستمهای سطوح آبگیر باران.
- Belayneh, A, Adamowski J, Khalil B .2016. Short-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet transforms and machine learning methods. Sustain Water Resour Manag 2:87–101
- Howitt, R., MacEwan, D., Medellín-Azuara, J., Lund, J., Sumner, D. 2015., Economic Analysis of the 2015 Drought for California Agriculture, University of California Davis, P. 31.
- Kang, Y., Khan, S. and Ma, X. 2015. Analyzing Climate Change Impacts on Water Productivity of Cropping Systems in the Murray Darling Basin, Australia. Irrigation and drainage, 64(4): 443-453.
- Meroni, M., Rembold, F., Fasbender, D. & Vrieling, A. 2017. Evaluation of the Standardized Precipitation Index as an early predictor of seasonal vegetation production anomalies in the Sahel. Remote Sensing Letters, ISSN: 2150-7058, Vol: 8, Issue: 4, Page: 301-310.
- Liu, Q, Zhang S, Zhang H, et al .2020. Monitoring drought using composite drought indices based on remote sensing. Sci Total Environ 711:134585. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134585
- Rimkus, E, Stonevicius E, Kilpys J .2017. Drought identification in the eastern Baltic region using NDVI. Earth Syst Dyn 8:627
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., Becker, P., and Batelaan, O. 2013. A System-based Paradigm of Drought Analysis for Operational Management. Water Resources Management. (27)15, 5281-5297.
- Meroni, M., Rembold, F., Fasbender, D. & Vrieling, A. 2017. Evaluation of the Standardized Precipitation Index as an early predictor of seasonal vegetation production anomalies in the Sahel. Remote Sensing Letters, ISSN: 2150-7058, Vol: 8, Issue: 4, Page: 301-310.

واکاوی شاخص‌های حدی اقلیمی شرق و شمال شرق ایران

مرتضی میری*[۱]، مهران زند، طیب رضیئی

۱*-استادیار اقلیم‌شناسی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (*Morteza.miri64@gmail.com*)

۲-دانشیار اقلیم‌شناسی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استادیار اقلیم‌شناسی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

چکیده

هدف این پژوهش بررسی شرایط رخدادهای فرین دما و بارش منطقه شرق و شمال شرق ایران است. داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل داده‌های بارش و دمای روزانه ۱۶ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کل کشور طی دوره آماری مشترک ۳۰ ساله می‌باشد. در این پژوهش پس از دریافت داده‌های ایستگاهی، داده‌ها از نظر کمی و کیفی (طول دوره آماری مناسب، داده‌های گپ و داده‌های پرت) کنترل شد. محاسبه شاخص‌های حدی (۲۰ شاخص حدی بارش و دما بر اساس توصیه گروه کارشناسی CCL/CLIVAR) با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار R و افزونه ClimPACT2 و روند تغییرات هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون من کندال بررسی شد. محاسبه و بررسی روند شاخص‌های حدی در سطح منطقه شرق و شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰ نشان داد که در حالت کلی برای تمامی ایستگاه‌ها، روند شاخص‌های گرم با افزایش و روند بیشتر شاخص‌های سرد با کاهش همراه شده است. در بین شاخص‌های حدی دمایی موردبررسی بیشترین افزایش برای شاخص شب‌های گرم و روزهای گرم و بیشترین کاهش برای شب‌ها و روزهای سرد رخ داده است. روند افزایش شاخص‌های گرم برای بیشتر شاخص‌ها در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد برای شرق و شمال شرق ایران معنادار است. این شرایط بیان‌کننده گرم شدن منطقه نسبت به گذشته و افزایش مقادیر دمایی آینده شرق و شمال شرق ایران است. مقادیر شاخص‌های حدی بارش نشان داد که منطقه شرق و شمال شرق ایران نیز همانند بیشتر مناطق کشور با تغییرات بارشی و در جهت کاهش بارش مواجه شده است. تغییرات روند شاخص‌های حدی بارش برای تعداد کمی از آن‌ها در سطوح مختلف معنادار است. روند کاهشی مجموع بارش سالیانه در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار برای برخی از ایستگاه‌های منطقه همچون تربت‌حیدریه است. افزایش شدت و بارش‌های شدید کوتاه‌مدت در برخی از ایستگاه‌ها نیز بیانگر تغییرات رخ داده در الگوهای بارشی منطقه است.

واژه‌های کلیدی:

ClimPACT، روزهای تابستانی، یخبندان، نمایه‌های حدی.

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی نا شی از انت شار گازهای گلخانه‌ای به‌دلیل فعالیت‌های ب شری اثر قابل‌توجهی محیط طبیعی و انسانی در دنیا داشته است. یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، تغییر در مقادیر میانگین متغیرهای هواشناسی است که تغییرات قابل‌توجهی در خصوصیات حدی متغیرهای هواشناسی را ایجاد کرده است. افزایش رخدادهای حدی آب و هوایی یک از پیامدهای مهم گرم شدن کره زمین است. گرم شدن و ادامه روند افزایشی درجه حرارت کره زمین، عمدتاً از طریق رخداد بیشتر فرین‌های اقلیمی تأثیرات عمیقی در سرا سر جهان بر جوامع انسانی، اکو سیستم‌ها و محیط‌زیست دارد (فیلد و همکاران ۲۰۱۲، ژو و همکاران ۲۰۱۴). رویدادهای حدی اقلیمی در مقایسه با متوسط‌های اقلیمی تغییرات معنادارتری در محیط طبیعی و انسانی ایجاد می‌کند و به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی-اجتماعی فاجعه‌بار موردتوجه عموم مردم یک جامعه، دولت و جوامع دانشگاهی است (An و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به پیامدهای زیاد فرین‌های اقلیمی، هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم یک گروه متخصص از مرکز هدلی را برای درک تغییرات شدید اقلیمی تحت عنوان گروه تحقیقاتی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها، به‌منظور بررسی مشکلات ناشی از رویدادهای حدی و محاسبه شاخص‌های حدی سازمان‌دهی کرد (Houghton و همکاران ۲۰۰۱، Peterson و همکاران ۲۰۰۲). این گروه تعداد ۲۷ شاخص را برای بررسی و محاسبه فرین‌های اقلیمی پیشنهاد کردند که در سطح جهان موردتوجه پژوهشگران علوم جوی قرارگرفته و مطالعات زیادی بر ا ساس این شاخص‌ها برای دوره تاریخی و آینده انجام شده ا ست. Peterson و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی تغییرات رویدادهای اخیر در منطقه کارائیب بیان کردند که درصد روزهای گرم و بسیار سرد این منطقه از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۲ افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده است. Matthes و همکاران (۲۰۰۴)، شاخص‌های حدی منطقه قطب شمال را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۵ در فصل بهار تعداد روزهای یخبندان با کاهش قابل‌توجهی در نواحی شرقی قطب شمال همراه شده ا ست اما دوره‌های گرم و سرد از روند معناداری برخوردار نمی‌باشند. Klein Tank و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تغییرات درجه حرارت و بارش‌های شدید مرکز و جنوب آسیا بیان کردند که درجه حرارت و بارش‌های فرین در جنوب و مرکز آسیا با افزایش همراه شده است. رحیم زاده و همکاران (۲۰۰۸) روند شاخص‌های فرین دمایی ایران را طی دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۳ بر اساس داده‌های ایستگاهی بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص‌های حدی همچون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه‌ی تغییرات شبانه‌روزی دما دارای روند کاه شی و شاخص‌های همچون روزهای تاب ستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم روند افزایشی دارند. رو ستیسیو سی و رینوم (۲۰۰۸) با ا ستفاده ۴ شاخص روزهای گرم، روزهای سرد، شب‌های گرم و شب‌های سرد دماهای فرین روزانه ۷ ایستگاه اروگوئه را برر سی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شب‌های سرد و روزهای سرد طی دوره موردمطالعه دارای روند کاهشی ا ست.

لوسیو و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات رخداد دماهای فرین مناطق قاره‌ای پرتغال را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که فراوانی رخداد دماهای فرین این منطقه به دلیل تغییرپذیری طبیعی سیستم‌های اقلیمی و فعالیت‌های انسان منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای قابل‌توجه است. دیو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از هفت شاخص حدی، رویدادهای فرین بارش و دمایی استان گانسو در چین را طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۶۱ بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که طی سال‌های اخیر تغییرات در بارش‌های شدید در مناطق جنوبی و شمالی گانسو متفاوت بوده و در مناطق شمالی رخداد بارش‌های شدید در شمال استان گانسو افزایش یافته است. علاوه بر تحقیقات ذکر شده می‌توان به مطالعات (Rahimzadeh و همکاران ۲۰۰۸؛ Zhou و همکاران ۲۰۱۴، Aerenson و همکاران ۲۰۱۸، Honga و Ying۲۰۱۸، Alexander و همکاران ۲۰۱۹، Miri و همکاران ۲۰۲۱، ...) نیز که بررسی رویدادهای فرین اقلیمی در دوره تاریخی و آینده با استفاده از داده‌های ایستگاهی و مجموعه مدل‌های CMIP5 پرداخته‌اند، اشاره کرد.

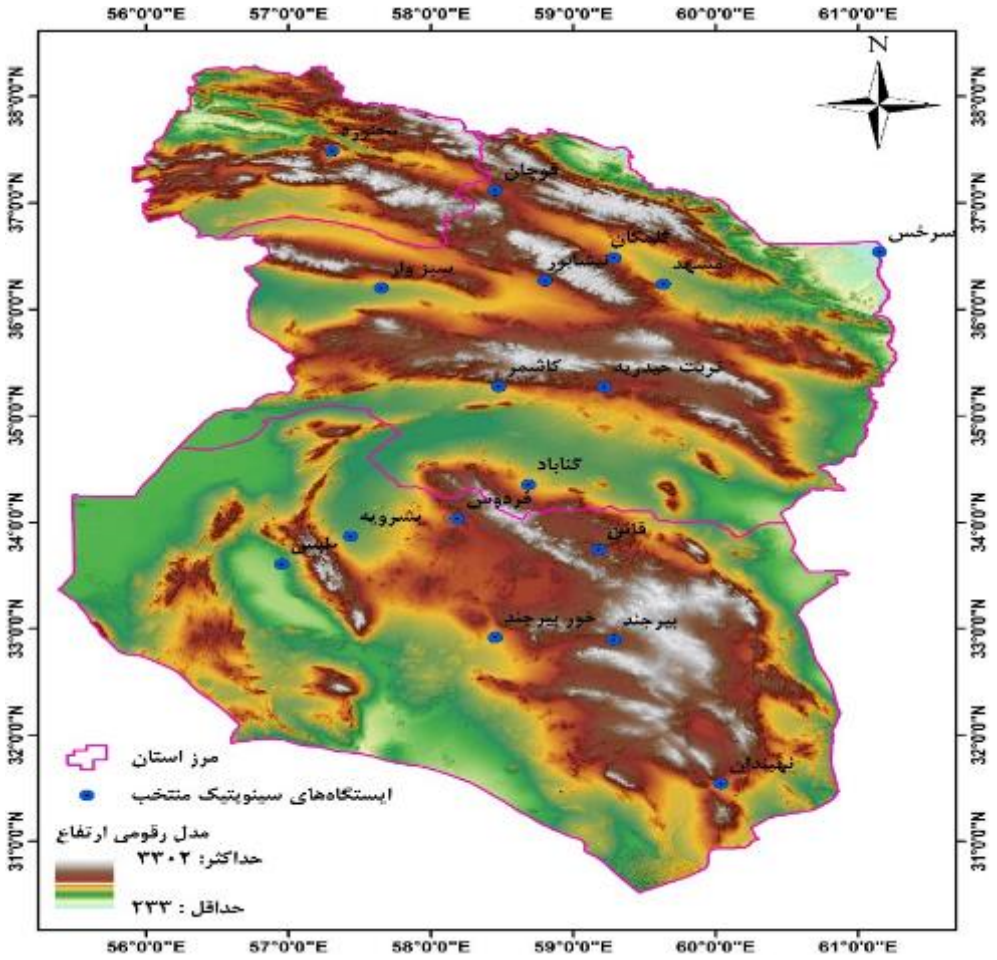
بر اساس مطالعات انجام‌شده، فرین‌های اقلیمی در مناطق مختلف جهان رخ می‌دهند. باوجوداین، مناطق خشک و نیمه‌خشک در برابر پیامدهای آن‌ها آسیب‌پذیرتر هستند. کشور ایران با توجه به تنوع محیطی زیاد و موقعیت جغرافیایی خود از گذشته همواره با مخاطرات طبیعی زیادی مواجه بوده است. مطالعه مخاطرات طبیعی همواره در سطح کشور موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. ورشاویان و همکاران (۱۳۹۰) طی یک دوره ۴۴ ساله (۲۰۰۴-۱۹۶۱) با بررسی مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه بیان کردند که دمای حداقل در تمامی صدک‌ها به‌جز صدک ۹۵، روند افزایشی دارد. شمس و موسوی بایگی (۱۳۹۳) روند تغییرات حدی دمای شهر مشهد را طی یک دوره ۶۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۵۱) در مقیاس‌های مختلف زمانی با استفاده از شاخص‌های حدی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند افزایشی دمای حداقل سالانه ۲ برابر دمای حداکثر می‌باشد. کوزه گران و موسوی بایگی (۱۳۹۴) با بررسی رویدادهای حدی اقلیمی استان‌های خراسان رضوی و جنوبی طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۲ بیان کردند که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی و شاخص‌های حدی سرد در دوره موردمطالعه روند کاهشی دارند. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر را با استفاده از مدل‌های SDSM و من کندال بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای هر سه ایستگاه موردمطالعه روند مثبت و معنی‌داری در حداقل و حداکثر دمای ماهانه و سالانه رخ داده است. نتایج آزمون من کندال نیز نشان داد که در سطح ۹۵ درصد اطمینان وقوع تغییرات از نوع روند افزایشی و نیز تغییرات از نوع ناگهانی در هر سه ایستگاه رخ داده است. همچنین می‌توان به تحقیقات (رحیم زاده ۱۳۸۴، علیجانی و فرج زاده ۱۳۹۴، میری و رحیمی ۱۳۹۴، مظفری و شفیعی ۱۳۹۵، محمدی و همکاران ۱۳۹۶) نیز در این زمینه اشاره کرد.

همان‌طور که مطالعات مختلف در سطح جهان نشان می‌دهد، فرین‌های اقلیمی در تمامی مناطق مختلف جهان با شدت ضعف و متفاوت رخداد دارند، باوجوداین مناطق خ شک و نیمه‌خ شک در برابر پیامدهای آن‌ها آسیب‌پذیرتر هستند. کشور ایران با توجه به تنوع محیطی زیاد و موقعیت جغرافیایی خود از گذشته همواره با مخاطرات طبیعی زیادی مواجه بوده است. رخدادهای فرین اقلیمی از جمله امواج گرما، امواج سرما، یخبندان، بارش‌های سیل‌آسا، خشکسالی‌های شدید و متوالی، پدیده گرد و غبار و ... از مهم‌ترین فرین‌های اقلیمی هستند که در قسمت‌های مختلف ایران با شدت و ضعیف متفاوت رخ می‌دهند. این رخدادهای حدی می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر محیط‌زیست طبیعی (گیاهان، جانوران) و انسانی (کشاورزی، زیرساخت‌های شهری، بهداشت و سلامت جامعه) ایران‌زمین داشته باشد؛ بنابراین شناسایی رخدادهای فرین اقلیمی با بیشترین تکرار از نظر زمانی و مکانی در مناطق مختلف ایران طی دوره طولانی‌مدت یکی از موارد مهم و موردتوجه پژوهشگران جامعه علمی کشور و عموم مردم است که می‌تواند نقش مهمی در مدیریت و کنترل پیامدهای ناشی از این رخدادها در سطح ایران‌زمین داشته باشد. ازاین‌رو در این تحقیق سعی بر این است که با استفاده از داده‌های بارش و دمای ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه شرق و شمال شرق ایران طی یک دوره طولانی‌مدت ۳۰ ساله شرایط رخدادهای فرین بارش و دما در سطح این منطقه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورداستفاده برای انجام این پژوهش دربرگیرنده داده‌های روزانه متوسط حداقل و حداکثر روزانه دما بارش روزانه و مشخصات هر ایستگاه سینوپتیک در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی می‌باشد. ازاین‌رو در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی کل کشور، داده‌های روزانه دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۹ دریافت شدند. پس از دریافت داده‌های ایستگاهی با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب ویژگی‌های کمی و کیفی داده‌ها در محیط R و با استفاده از افزونه Climpact2 کنترل شد. بررسی ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه نشان داد که در استان خراسان شمالی تنها ایستگاه بجنورد، در استان خراسان رضوی تعداد هشت ایستگاه و در استان خراسان شمالی تعداد شش ایستگاه طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰ دارای طول دوره آماری ۳۰ ساله مشترک هستند، ازاین‌رو در مجموع تعداد ۱۶ ایستگاه سینوپتیک برای بررسی شاخص‌های فرین انتخاب شدند (شکل ۱). پس از انتخاب ایستگاه‌های موردمطالعه، بررسی داده‌های پرت ایستگاه‌ها با استفاده نمودارهای باکس پلات انجام شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون داده پرت برای پارامترهایی دما و بارش ایستگاه‌های منتخب مشاهده نشد. پس از بررسی ویژگی‌های داده‌ها و برطرف کردن مشکلات احتمالی مربوط به داده‌ها و اطمینان از صحت آن‌ها، ماتریس داده‌های روزانه بارش، حداقل دما و حداکثر دما برای هر یک از ایستگاه‌ها طی دوره آمار

مشـــترک تهیه شـــد و با اســـتفاده از برنامه‌نویســـی در محیط نرم‌افزار R و اســـتفاده از قابلیت افزونه Climpact2 رخدادهای فرین رخداده در اقلیم منطقه شـــمال شـــرق و شـــرق ایران برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰ محا سبه شدند. قابل‌ذکر ا ست که در این تحقیق برای برر سی رخدادهای فرین از شاخص‌های حدی بارش و دمای توصیه‌شده از سوی گروه کارشناسی CCL/CLIVAR استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح منطقه شرق و شمال شرق ایران

نتایج و بحث

شاخص‌های حدی گرم

شاخص‌های حدی گرم شامل تعداد روزهای تابستانی با دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد (TR20)، روزهای گرم در صد روزهایی که دمای حداکثر بیش از صدک نودم با شد (TX90P)، شب‌های گرم در صد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (TN90P)، شاخص طول مدت گرما تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد (WSDI)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) هست. شکل (۲) روند رخداد شاخص‌های حدی گرم منطقه را طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ در سطح منطقه شرق و شمال شرق کشور با ا ستفاده از آزمون من کندال ن شان داد. همان‌طور که روی شکل م شخص ا ست و با توجه به شرایط اقلیمی ج هانی و به‌تبع کشور ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد انتظار بود، در حا لت کلی رو ند شاخص‌های گرم مانند شب‌های گرم، روزهای گرم، تعداد روزهای تابستانی، حداکثر دما و... از روند مثبت و افزایشی برخوردارند. در سطح منطقه شرق و شمال شرق کشور طی دوره ۳۰ ساله، بیشینه روند افزایشی برای شاخص شب‌های گرم رخ داده است به‌طوری‌که متوسط مقدار شاخص Z برای منطقه ۴ است که از نظر معناداری در سطح ۹۹ درصد معنادار است. از نظر مکانی نیز مقدار این شاخص برای تمامی ای ستگاه به جزء ای ستگاه قوچان، در سطح ۹۹ در صد و برای ای ستگاه سبزوار در سطح ۹۵ در صد معنادار ا ست. برر سی روند روزهای گرم ن شان داد که مقدار این شاخص برای تمامی ایستگاه دارای روند مثبت است که این روند مثبت در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است. روند شاخص شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بی شتر از ۲۰ درجه نیز قابل‌توجه ا ست به‌طوری‌که در روند مثبت این شاخص برای ۷۰ درصد ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد معنادار است. طی دوره موردبحث بیشینه مقدار روند افزایشی برای ایستگاه بجنورد و کمترین مقدار برای ایستگاه قوچان ثبت شده است.

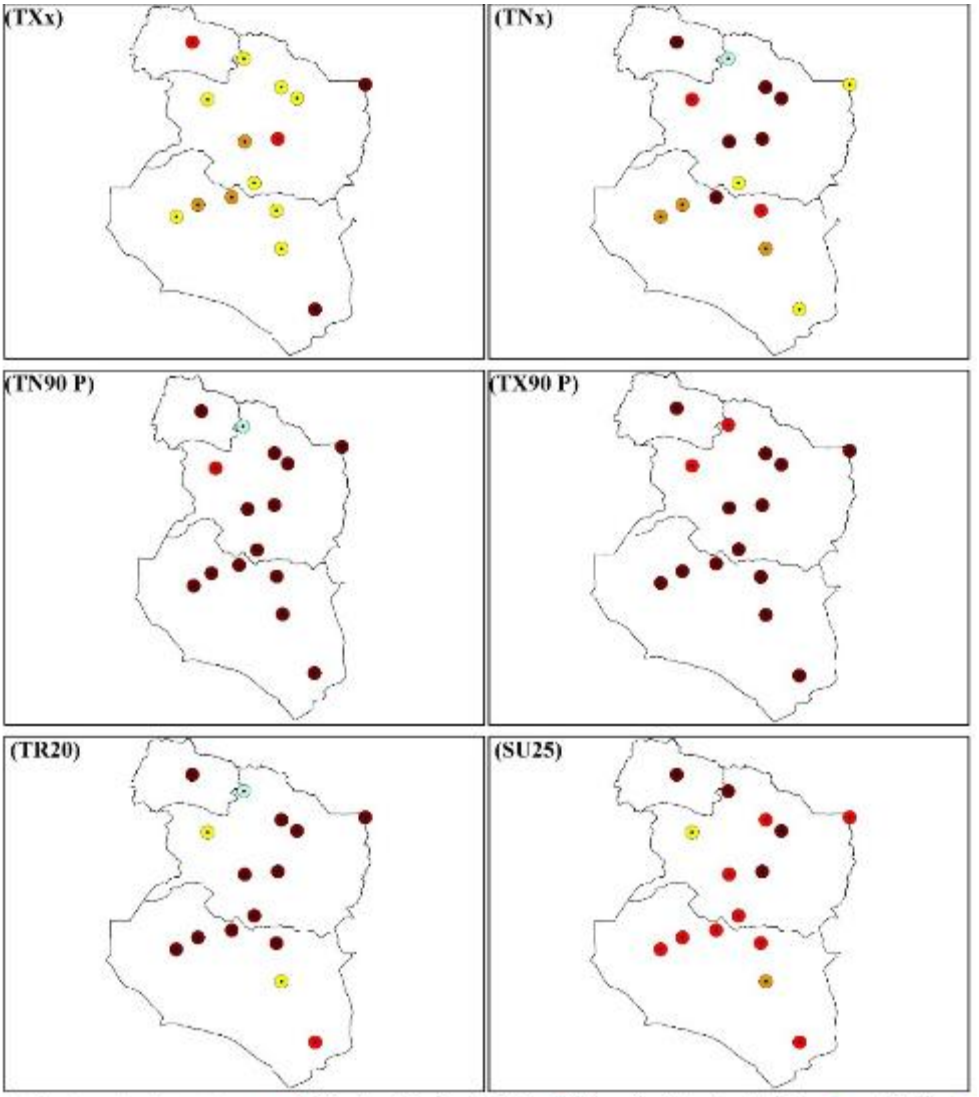
شاخص‌های حدی سرد

شاخص‌های حدی سرد شامل تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی با دمای حداکثر زیر صفر درجه سانتی‌گراد (ID)، روزهای سرد درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم با شد (TX10P)، شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (TN10P)، شاخص طول مدت سرما، تعداد روزهای که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل آن‌ها کمتر از صدک دهم باشد (CSDI)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) می‌با شد. شکل (۳) روند شاخص‌های حدی سرد را ن شان می‌دهد. همان‌طور که روی شکل م شخص ا ست برخلاف شاخص‌های حدی گرم، شاخص‌های حد سرد با روند کاه شی از نظر رخداد

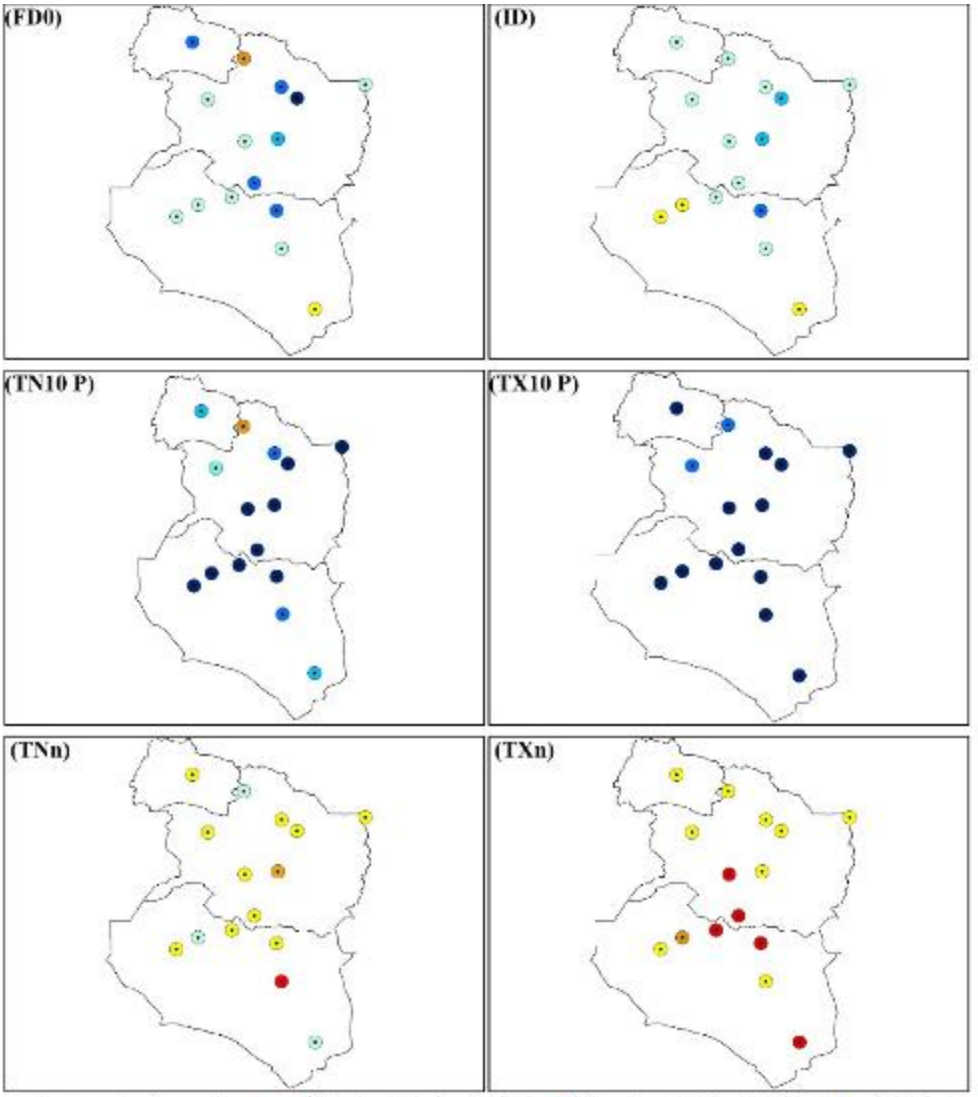
مواجه شده‌اند. روند کاهش شاخص‌های حدی سرد برای بیشتر ایستگاه‌های منطقه روی شکل (۳) قابل‌مشاهده است. همچنین مقادیر کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه و کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه منطقه نیز با روند افزایشی مواجه شده است که در واقع نشان‌دهنده افزایش مقادیر کمینه دما و گرم شدن منطقه است.

شاخص‌های حدی بارش

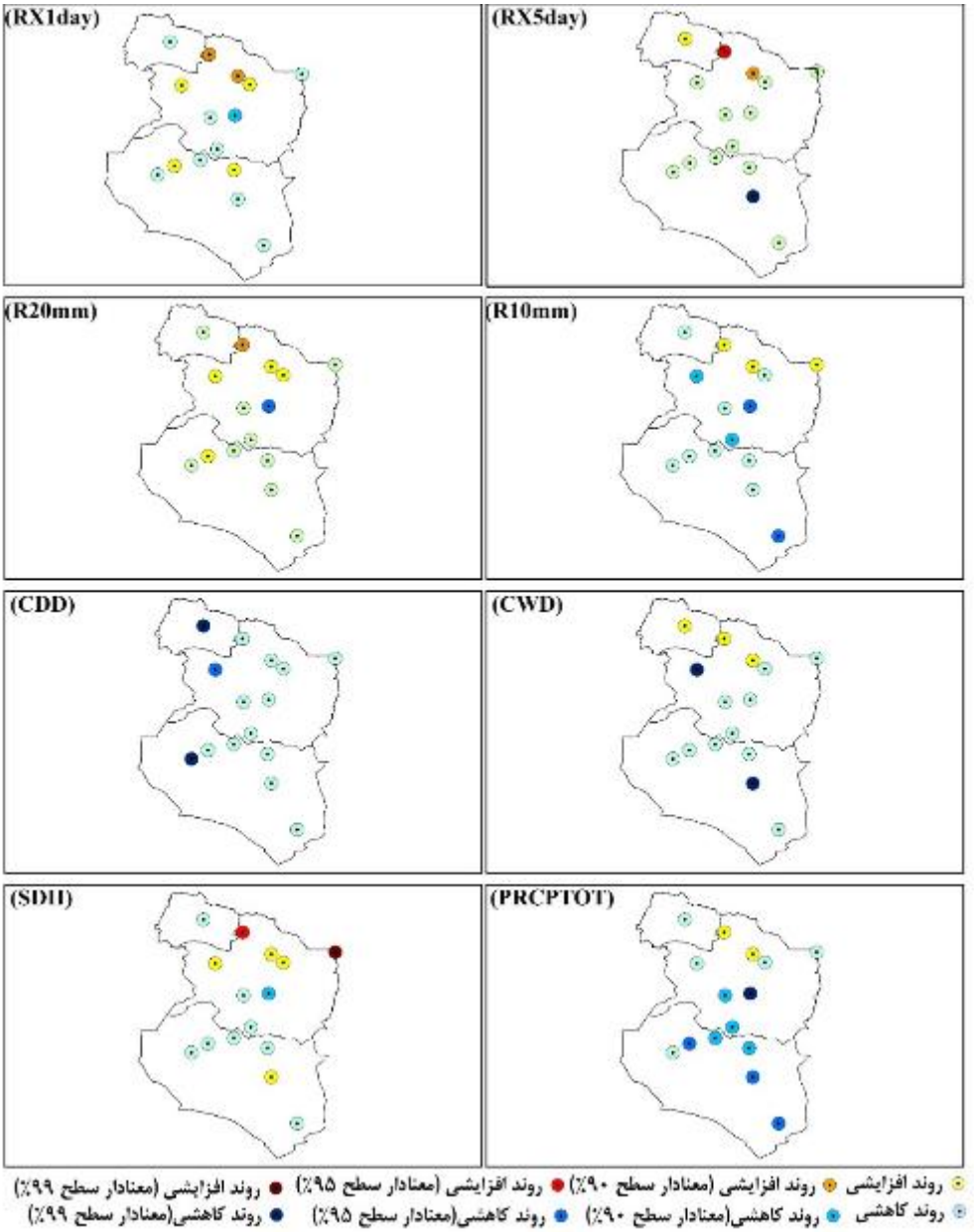
شکل (۴) روند شاخص‌های حدی بارش مورداستفاده شامل؛ حداکثر بارش یک‌روزه (Rx1day)، حداکثر بارش پنج‌روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی (Rx5day)، نمایه ساده شدت روزانه (SDII)، روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلی‌متر (R20mm)، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست‌وپنج میلی‌متر (R25mm)، روزهای خشک متوالی (CDD)، روزهای تر (CWD)، روزهای خیلی تر (R95p)، روزهای بیش‌ازاندازه تر (R99p) و مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) را نشان می‌دهد. همان‌طور که روی شکل (۴) مشخص است طی دوره موردبررسی مقادیر مجموع بارش برای بیشتر ایستگاه‌های (۸۸ درصد) با روند کاهشی همراه شده است که این روند کاهشی برای ایستگاه نیمه شمالی منطقه همانند بجنورد، سرخس، مشهد، نیشابور و سبزوار در سطح خاصی معنادار نمی‌باشد و برای ایستگاه‌های نیمه شمالی همانند بیرجند، نهبندان، بشرویه، فردوس و طبس در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار می‌باشد. روند کلی مجموع بارش ایستگاه‌های قوچان و گلمکان در استان خراسان رضوی هرچند مثبت است اما این روند مثبت در سطح خاصی معنادار نمی‌باشد. از نظر ایستگاهی بیشینه مقدار کاهش بارش برای ایستگاه تربت‌حیدریه ثبت شده است که روند کاهشی این ایستگاه در سطح ۹۹ درصد معنادار می‌باشد. برای این ایستگاه نه‌تنها مجموع کل بارش با روند کاهشی مواجه شده است بلکه سایر شاخص‌های حدی نیز با شدت و ضعف متفاوت دارای روند کاهشی می‌باشند. در مقابل کاهش مجموع بارش، بارش‌های کوتاه‌مدت و همچنین شدت بارش برای برخی از ایستگاه‌ها با روند افزایشی همراه شده است که این روند افزایشی برای ایستگاه‌های گلمکان و قوچان در سطح ۹۰ درصد معنادار است. در مجموع بر اساس بررسی روند شاخص‌های حدی بارش منطقه می‌توان گفت که در حالت کلی بارش منطقه با روند کاهشی همراه شده است که این روند کاهشی همانند بسیاری از ایستگاه‌های کشور در سطح خاصی معنادار نمی‌باشد. روند کاهشی در نیمه جنوبی منطقه نسبت به نیمه شمالی آن بیشتر است.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص‌های حدی گرم برای ایستگاه‌های منتخب منطقه شرق و شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰



شکل ۳- روند تغییرات شاخص‌های حدی سرد برای ایستگاه‌های منتخب منطقه شرق و شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰



شکل ۴- روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش برای ایستگاه‌های منتخب منطقه شرق و شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج محاسبه و بررسی شاخص‌های حدی دمایی منطقه شرق و شمال شرق کشور طی یک دوره طولانی‌مدت ۳۰ ساله نشان داد که در این منطقه مقادیر پارامترهای دمایی و شاخص‌های حدی گرم با افزایش و در مقابل مقادیر دماهای کمینه و شاخص‌های حدی سرد با کاهش همراه شده است. در سطح منطقه شرق و شمال شرق کشور، به جزء ایستگاه قوچان، برای سایر ایستگاه روند شاخص‌های حدی گرم با شدت و ضعف متفاوت از روند افزایشی برخوردارند که این روند افزایشی برای بیشتر ایستگاه‌ها و شاخص‌ها در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار می‌باشد. با توجه به روند معنادار شاخص‌های حدی گرم منطقه و همچنین نتایج مدل‌های عمومی پیش‌بینی جو برای ایران و منطقه موردمطالعه انتظار می‌رود که در ادامه این روند افزایشی در آینده نیز مقادیر دمایی و همچنین روند شاخص‌های حدی گرم منطقه با افزایش همراه شوند. در مقابل روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم، شاخص‌های حدی سرد منطقه از روند کاهشی برخوردارند. در این منطقه با توجه به شرایط توپوگرافی و همچنین توده‌های هوای مؤثر بر آن به‌طورمعمول مقادیر حداقل و شاخص‌های حدی سرد قابل‌توجهی را تجربه کرده است که طی دوره ۳۰ ساله اخیر با توجه به شرایط اقلیمی حاکم، دماهای کمینه روزانه با افزایش مقدار و تعداد رخداد شاخص‌های حدی با کاهش مواجه شده‌اند که این روند کاهشی در برخی از ایستگاه‌ها در سطوح ۹۹ و ۹۵ درصد نیز معنادار می‌باشد. نتایج این تحقیق در رابطه با رخدادهای حدی دمایی، با نتایج تحقیقات (Zhang و همکاران، ۲۰۰۵؛ Alexander و همکاران ۲۰۰۶؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۲؛ ورشاویان و همکاران، ۱۳۹۰؛ کوزه گران و موسوی بایگی ۱۳۹۴، کریمی و همکاران، ۱۳۹۷، زند و همکاران، ۱۴۰۲) که به بررسی شاخص‌های حدی دمایی پرداختند، مطابقت دارد. در تحقیقات ذکرشده نیز بر روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم و روند کاهشی شاخص‌های حدی سرد تأکید شده است. محاسبه و بررسی شاخص‌های حدی بارش منطقه شرق و شمال شرق ایران نشان داد که هرچند مقادیر برخی از شاخص‌های بارش برای برخی نقاط منطقه افزایشی است اما در حالت کلی مجموع بارش منطقه و شاخص‌های آن کاهشی است که در برخی نقاط روند کاهشی در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد نیز معنادار می‌باشد. نتایج این تحقیق در خصوص رخدادهای حدی بارش تا حد زیادی با تحقیقات مشابه (همچون Klein Tank و همکاران، ۲۰۰۶؛ Im و همکاران، ۲۰۱۰؛ Jones و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوزه گران و موسوی بایگی، ۱۳۹۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴، زند و همکاران، ۱۴۰۲) که بر افزایش بارش‌های حدی و کاهش مجموع بارش تأکید دارند، مطابقت دارد. بر اساس نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه می‌توان گفت که شاخص‌های حدی دمایی و بارشی در حال افزایش است که با توجه به پیامدهای فرین اقلیمی بر محیط‌زیست انسانی و طبیعی نیازمند بررسی تأثیرات این شاخص‌ها و همچنین برنامه‌ریزی صحیح برای مقابله و سازگاری با تغییرات و نوسان‌های اقلیمی در سطوح مختلف مدیریتی منطقه شرق و شمال شرق ایران و سایر مناطق کشور است.

منابع

- احمدی، م. ح. لشکری، م. آزادی، و ق. کیخسروی. ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. پژوهش های دانش زمین، (۶)۲۳، ۵۲-۳۴.
- رحیم زاده، ف. ۱۳۸۴، بررسی تغییرات مقادیر حدی بارش در ایران، مجله نیوار، ۳۰(۵۹)، ۲۰-۷.
- زند، م.، م. میری، و م.ر. کوثری. ۱۴۰۲. آشکارسازی تغییر اقلیم در استان لرستان با استفاده از شاخص‌های حدی. مهندسی و مدیریت آبخیز، (۱)۱۵، ۴۱-۲۷.
- شمس، ش.، م. موسوی بایگی. ۱۳۹۳، بررسی روند تغییرات حدی دمای شهر مشهد در مقیاس های مختلف، نشریه آب و خاک، ۲۸ (۱)، ۶۰-۴۶.
- کریمی، مصطفی.، ستوده، فاطمه.، رفعتی، سمیه.، ۱۳۹۷، تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۸)، ۹۳-۷۹.
- کوزه گران، س.، م. موسوی بایگی. ۱۳۹۴، بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک، ۲۹ (۳)، ۷۶۴-۷۵۰.
- میری، م.، م. رحیمی. ۱۳۹۴، گرمایش جهانی و روند تغییرات دمایی ایران، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر.
- ورشاویان، وحید.، خلیلی، علی.، قهرمان، نوذر.، حجام، سهراب.، (۱۳۹۰)، بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونهٔ اقلیمی ایران، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۱)، ۱۶۹-۱۷۹.

- Alexandera, L.V. and J.M. Arblaster. 2017. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. Weather and Climate Extremes, 15:34–56. doi.org/10.1016/j.wace.2017.02.001
- An, A., Y. Du, R. Berndtsson, Z. Niu, L. Zhang and F. Yuan. 2019. Evidence of climate shift for temperature and precipitation extremes across Gansu Province in China. Theoretical and Applied Climatology, 139: 1137-1149. doi.org/10.1007/s00704-019-03041-1.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, (Eds.), Climate Change 2001: The Scientific Basis, 881 pp., Cambridge Univ. Press, New York, 2001.
- Houghton., J.T., Ding, Y. H., Noguer, M., Griggs, D.J., 2001. Climate change 2001: the scientific basis(2001). Publisher: Cambridge University Press.
- Im, E.S., I.W. Jung and D.H. Bae. 2011. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. International Journal of Climatology, 31(1): 72–86.

- Jones, M.R., H.J. Fowler, C.G. Kilsby and S. Blenkinsop. 2012. An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009. International Journal of Climatology 33(5):1178-1194. doi:10.1002/joc.3503.
- Klein Tank, A.M.G. and et al. 2006. Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 19(111). doi:10.1029/2005JD006316.
- Matthes, H., Rinke, A. Dethloff, K. (2009), Variability of observed temperature- derived climate indices in the Arctic, Global and Planetary Change, Vol. 69,pp. 214-224.
- Miri, M., J. Masoompour Samakosh, T. Raziei, A. Jalilian and M. Mahmodi. 2021. Spatial and Temporal Variability of Temperature in Iran for the Twenty-First Century Foreseen by the CMIP5 GCM Models. Pure and Applied Geophysics, 178:169–184.
- Peterson, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. Semexant Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A. Joyette, W. Mills, L. Alexander and B. Gleason. 2002. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. Journal of Geophysical Research, 107 (D21): 1-19. doi.org/10.1029/2002JD002251.
- Zhang, X. 2005. Trend in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. Journal of Geophysical Research, 110: D22104. doi: 10.1029/2005JD006181.
- Zhao, C., W. Wang and W. Xing. 2012. Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. International Conference on Modern Hydraulic Engineering, 28: 604-607.
- Zhou, W., Q.H. Wen, Y. Xu, L. Song and X. Zhang. 2014. Projected Changes in Temperature and Precipitation Extremes in China by the CMIP5 Multimodel Ensembles. American Meteorological Society, 27(17): 6591-6611. doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00761.1.

تحلیل همدیدی و ردیابی موج طوفان گردوغبار فراگیر ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶

سید حسین آرامی*[۱]، ابراهیم کریمی سنگچینی[۲]، بنفشه یثربی[۱]، مهری دیناروند[۱]

۱*- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. پست الکترونیک (arami1854@gmail.com)

۲-استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد. ایران.

چکیده

هدف این تحقیق بررسی چگونگی شکل‌گیری موج طوفان گرد و غبار و شناخت مناطق منشاء و مسیر ورود آن به نواحی جنوب غرب ایران در سال ۲۰۱۶ است. محاسبه و نمایش پهنه‌ای داده‌های تراز بالایی در محیط نرم افزار GrADS و رهگیری با استفاده از مدل ردیاب زمانی-مکانی HYSPLIT انجام شده است. بررسی داده های پایگاه گردشی زمینی نشان داد که سال ۲۰۱۶ از نظر کاهش میدان دید و دوام روزهای همراه گرد و غبار، دارای شدیدترین طوفان‌های گرد و غبار بوده است. به طوری که ۱۷ ژوئیه۲۰۱۶ با میدان دید کمتر از ۲۰۰ متر شدیدترین روزگرد و غباری ایستگاه‌های مطالعاتی است. بررسی نقشه رهگیری باد حاصل از مدل برای نمونه انتخابی نشان داد که برای حرکت طوفان گردوغبار به منطقه مورد مطالعه مسیر شمال غربی-جنوب شرقی قابل تشخیص است. بررسی توزیع فشار سطحی همزمان با رخداد این گردوغبارها، نشان‌دهنده تقویت کم‌فشار شکل گرفته بر روی عراق و امتداد آن تا جنوب ترکیه و غرب ایران و در نهایت تقابل آن با پرفشار شکل گرفته بر روی مدیترانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:
رهگیری، گردوغبار، HYSPLIT

مقدمه

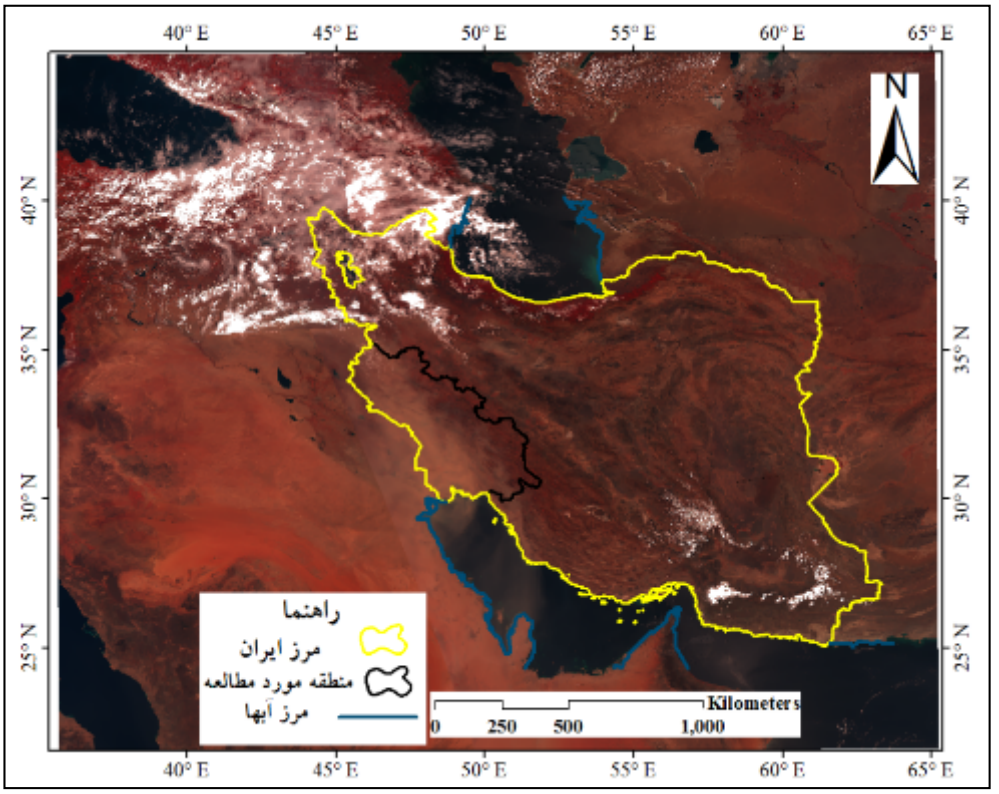
ارتباط تنگاتنگ اقلیم با سلامت انسان و فعالیت های او، بررسی و دیده‌بانی رخدادهای جوی را ضروری می‌کند. گرد و غبارها یکی از ویژگی‌های سامانه‌های همدید جوی هستند که در بسیاری از مناطق جهان رخداد دارند. گاهی وقوع شدید این پدیده باعث کاهش میدان دید تا کمتر از ۱۰۰۰ متر می شود (Sivakumar، ۲۰۰۵). فراوانی رخداد گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه خشک بمراتب بیشتر بوده و شرایط زندگی را در بسیاری از کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک آسیا به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار داده است (Xiao and Chang، ۲۰۰۹ و عباسی و همکاران ۱۳۷۸) این پدیده تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی شکل می گیرد. تغییرات انسان در محیط طبیعی عامل بسیار مهمی در افزایش نگرانی بعضی نواحی منبع گرد و غبار است (Sivakumar، ۲۰۰۵). این تأثیر

در ارتباط بـا پدیده خنک شدن دهۀ ۱۹۷۰، تقویت شد. در این دوره ادعا شد کـه انسان با فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی خود سرعت بالا رفتن گرد و غبار جو را شتاب داده است (عزیزی، ۱۳۸۳). برخی مطالعات با بیان اهمیت و چگونگی این پدیده متغیرهایی را که در شکل‌گیری آن مؤثر بوده‌اند، بررسی کرده‌اند. دسـته‌ای از مطالعات به تحلی مکانی- وقوع طوفان‌ها و بعضـی به تحلیل سـیسـتم همدیدی پرداخته‌اند. نتیجه این گزارش‌ها، بیانگر افزایش وقوع طوفان‌های گردوغبار ایران به ویژه در مناطق غرب کشور است. پرفشار آزور همراه سیستم‌های مهاجر بادهای غربی مهمترین عامل همدیدی تاثیرگذار در سیستم‌های گردوغبار منطقه بشمار می‌رود (لشکری و همکاران، ۱۳۸۷؛ مهرشاهی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رسـولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۰؛ فرجزاده اصـل و همکاران، ۱۳۹۰؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱). Takashi و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط بین موج طوفـان گـرد وغبار را با شرایط هواشناسی همدیدی در شرق آسیا در دوره زمـانی ۴ ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۰) مطالعه کردند و شش منطقه از شرق آسـیا را در دو گروه کلـی مـورد بررسـی قـرار دادنـد (Kim ،۲۰۰۸). در بررسی مسیرهای انتقال و نواحی منشاء گرد و غبار آسـیایی مـؤثر در کره جنوبی، با اسـتفاده از داده‌های اقلیمـی ایـستگاه‌های همدیـد، و تصاویر ماهواره ای MODIS،مشخص شد کـه ۸۷ ٪از رخـدادهای گرد و غبار در فصل بهار رخ داده انـد کـه بعـد از سـال ۱۹۸۰ رونـد افزایشی داشته‌اند و طی سالهای ۲۰۰۰ تـا ۲۰۰۲ ایـن رونـد شـدت بیشتری داشته است. دلیل این موضـوع تغییـر الگـوهـای انتقـال در سطوح بالایی جو بیان شده است. Wang و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی خصوصیات گرد و غبار و شناسایی منابع آن در نواحی خشک و نیمه خشک چین مشخص شد که بیابان‌هـای وسـیع عربسـتان و صحرای شمال افریقا متاثر از سامانه‌هـای همدیـد مقیـاس و امـواج غربی، گرد و غبار را به منـاطق مختلفـی همچـون ایـران گـسترش می‌دهند. Barkan و همکاران (۲۰۰۵) استقرار پر فشار جنب حـاره بر روی جنوب شرق مدیترانه و کم فـشار ناشـی از نـاوه ایـسلند در غرب افریقا را عامل اصلی رخداد گرد و غبار و انتقال آن به ایتالیـا و مرکز اروپا معرفی کردند. در این تحقیق که با هدف بررسی ویژگی‌های شـدیدترین موج طوفان گردوغبار طی سـال‌های (۲۰۱۶-۱۹۹۵)، ۹ ایسـتگاه از ۶ اسـتان جنوب غرب کشور انجام گرفته است، شرایط اقلیمی و سیستم‌های جوی منجر به پدیده گردوغبار همراه گل‌باد این پدیده بررسی و در نهایت منشأ اصلی موج طوفان گردوغبار با استفاده از مدل ردیاب زمانی – مکانی پایش گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه این تحقیق نواحی جنوب غرب ایران شامل استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی ″۲۰ ′۵۷ ۲۹۰ تا ″۳۹ ′۱۴ ۳۵۰ عرض شمالی و ″۲۱ ′۹ ۴۵۰ تا ″۱۸ ′۵۷ ۵۱۰ طول شرقی و مساحتی حدود

۱۶۸۴۸۰ کیلومتر مربع (معادل ۱۰ درصد کل کشور) را در برگرفته است. این منطقه از شمال با استان‌های کردستان، همدان و مرکزی، از جنوب با استان بوشهر و خلیج فارس، از شرق با استان‌های اصفهان و فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

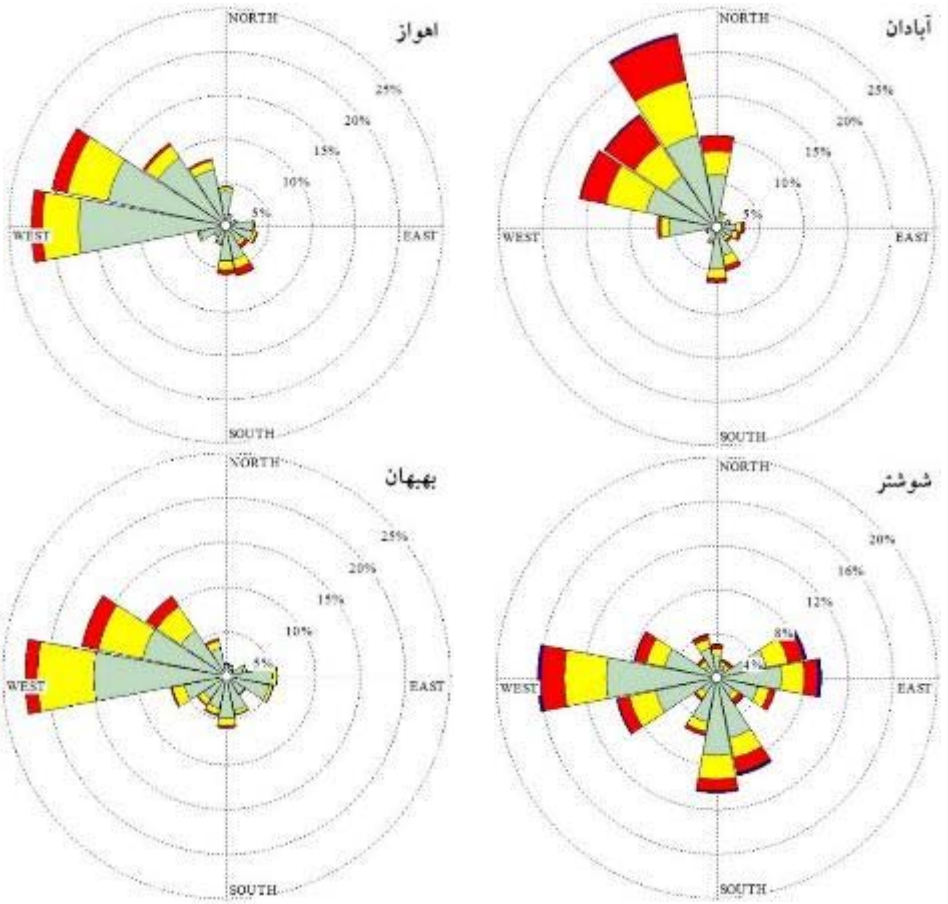
برای ترسیم گلباد، ابتدا داده‌های باد ۹ ایستگاه‌های سینوپتک که به صورت هر سه ساعت (ساعت‌های ۲۱، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، ۰ در هر روز) یک بار ثبت می‌شود، در دوره‌ای ۲۲ ساله از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری گردید. این داده‌های باد با استفاده از نرم‌افزار Saba wind به فرمت مورد نیاز تبدیل و سپس داده‌های تغییر فرمت داده شده وارد نرم‌افزار WRPLOT VIEW گردید.

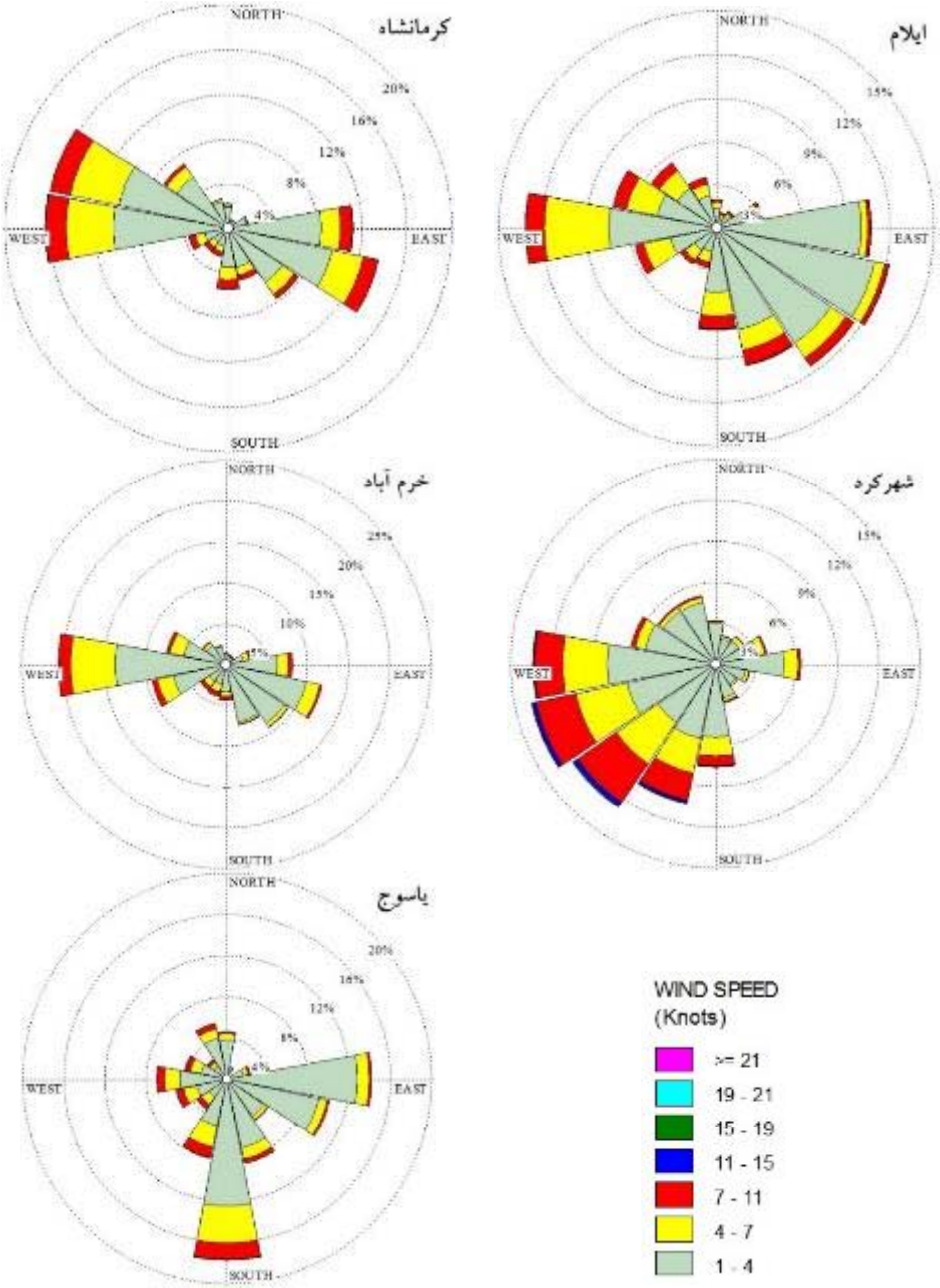
با استفاده از تحلیل همدید الگوهای فشار، سرعت و جهت باد و سرعت قائم هوا، به شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری طوفان گردوغبار در منطقه و تحلیل انتشار و گسترش در منطقه به غرب و جنوب غرب در دوره‌های مورد مطالعه پرداخته شده است. برای این منظور داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه باد مداری (U) و نصف النهاری (V) و فرارفت قائم هوا (امگا) در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال

با فرمت netcdf از سایت NCEP/NCAR، وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده، اخذ گردید. جهت تهیه نقشه‌های هوا نیز از نرم‌افزار GrADS استفاده شده است. برای مشخص کردن مسیر طوفان گردوغبار از مدل ردیاب زمانی-مکانی HYSPLIT بهره‌گیری شده است. در مدل ردیاب زمانی – مکانی، بسته‌های هوا (به منزله بسته‌های حامل ذرات گردوغبار) در منطقه درگیر با این پدیده از زمان بیشترین شدت گردوغبار در ایستگاه مطالعاتی با حرکت زمانی Backward ترسیم و بررسی گردید.

نتایج و بحث

گل‌باد سالیانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برای یک دوره آماری ۲۲ ساله در شکل (۲) نشان داده شده است.

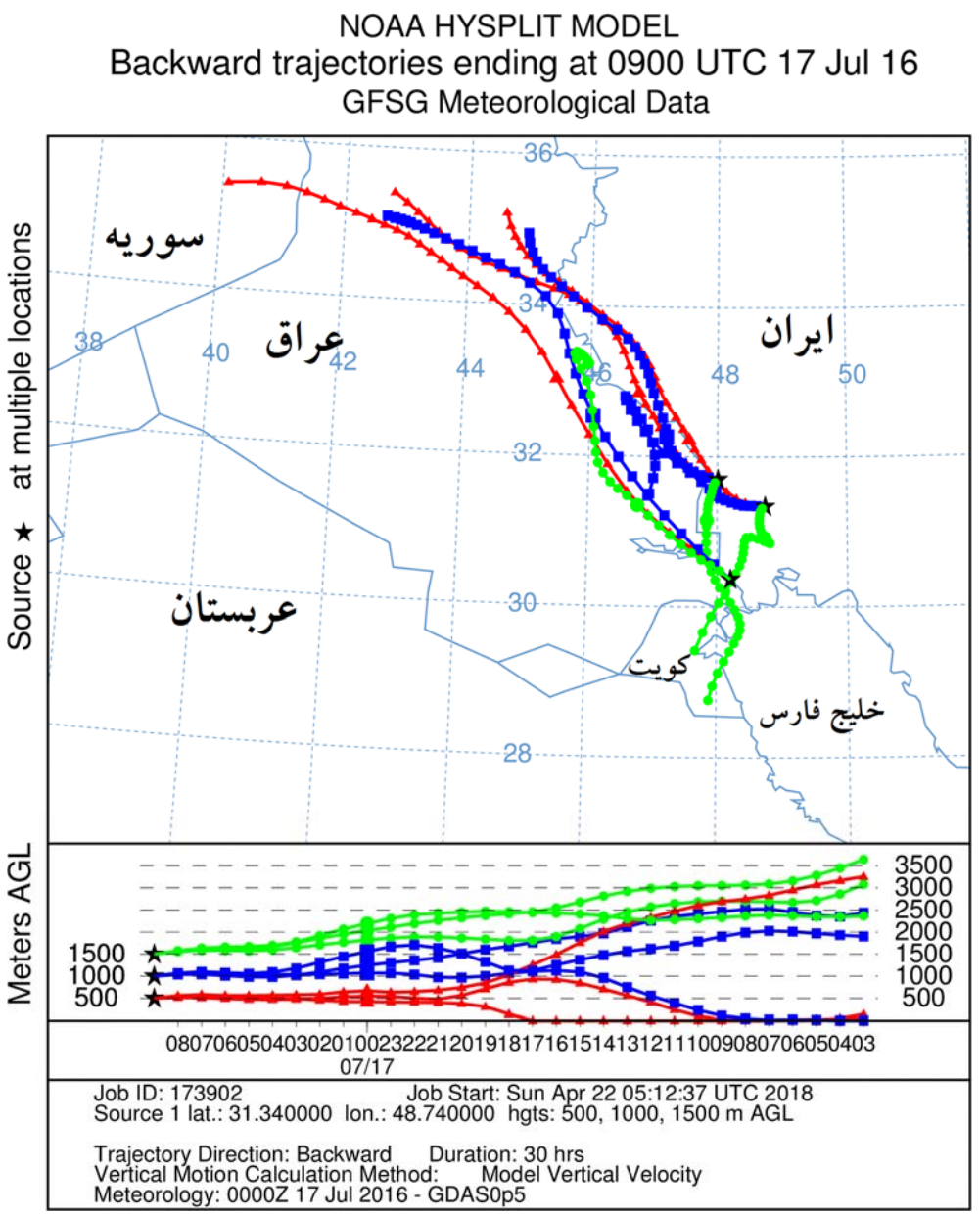




شکل ۲- گلباد سالیانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه (۲۰۱۶-۱۹۹۵)

بررسی مسیر موج طوفان گردوغبار با استفاده از مدل ردیاب زمانی-مکانی HYSPLIT

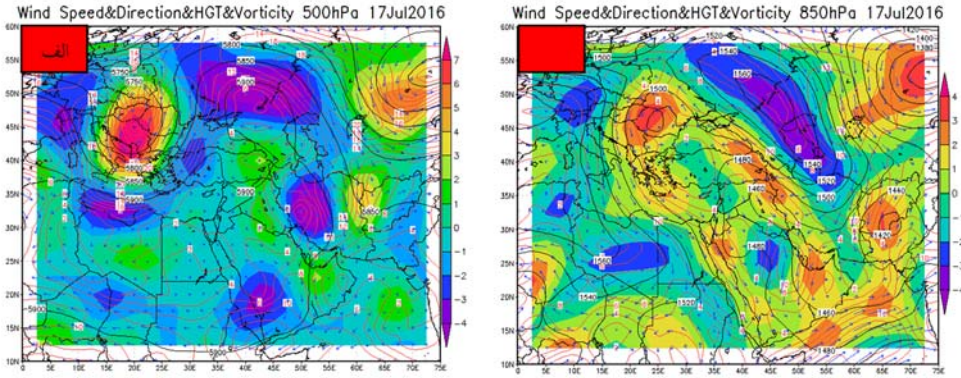
جهت تعیین منبع اصلی موج طوفان‌های گردوغبار ۲۰۱۶/۰۷/۱۷ از مدل HYSPLIT استفاده گردید. مدل لاگرانژی ذکر شده امکان ردیابی رو به عقب ذرات گردوغبار در ایستگاه‌های جنوب غرب کشور را تا ۴۸ ساعت قبل از زمان وقوع هر یک از موج طوفان‌ها فراهم نمود. برای این موج طوفان، ذرات در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حدفاصل زمانی یک و ۶ ساعت ردیابی شدند (شکل ۳). مدل امکان نمایش مسیر ردیابی شده را در دو نمای افقی (بخش بالا در هر شکل) و قائم (بخش پایین در هر شکل) فراهم می‌نماید. بررسی مسیرهای انتقال ذرات بیانگر آن است که در این موج طوفان گزارش شده، ذرات غبار مسیری از شمال غرب به جنوب شرق تا ایستگاه‌های مورد نظر پیموده است. به عبارتی دیگر با در نظر گرفتن بررسی‌های همدیدی انجام شده و خروجی مدل HYSPLIT، باد شمال سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار از محدوده‌ای در حدفاصل عراق، سوریه تا شرق مدیترانه به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نکته دیگری که از بررسی خروجی‌های مدل حاصل می‌گردد آن است که ذرات گردوغبار در لایه‌ای با عمق متوسط و در سطح متوسط لایه‌های جو به منطقه منتقل می‌گردند. یافته فوق توضیح مناسبی را برای این سوال فراهم می‌کند که چرا داده‌های برخی از سنجنده‌های ماهواره‌ای، پدیده گردوغبار و گستردگی و شدت آن را در منطقه عراق و خلیج فارس در قیاس با سایر مناطق خاورمیانه بخوبی آشکار نمی‌سازد. بر این اساس می‌توان گفت اگرچه سنجنده‌های ماهواره‌ای، غبار مسن و ارتفاع یافته را در طول موج‌های برگشتی از زمین بخوبی آشکار می‌سازد (مهووالد و دافرسنه، ۲۰۰۴؛ انگلستادتر و همکاران، ۲۰۰۶؛ والکر و همکاران، ۲۰۰۹)، اما در کشف تمرکز بالای گردوغبار در لایه مرزی، چنان که به واسطه تسلط باد شمال در طول تابستان در محدوده خلیج فارس و عراق اتفاق می‌افتد، کارایی لازم را نداشته‌اند (مهووالد و دافرسنه، ۲۰۰۴) همین امر تناقض آشکار بین بررسی‌های پایه مشاهداتی (میدلتون، a1986، b1986) و ماهواره‌ای (گادی و میدلتون، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶؛ پرسپرو و همکاران، ۲۰۰۲؛ واشنگتن و همکاران، ۲۰۰۳) را در تبیین فضایی فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغباری در خاورمیانه موجب گردیده است. خروجی مدل HYSPLIT نشان داد که بطور کلی منبع اصلی غبار برای موج طوفان گردوغبار ۲۰۱۶/۰۷/۱۷ جنوب غرب ایران، از محدوده‌ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق و شرق سوریه منشأ می‌یابد.



شکل ۳- الگوی مسیر برگشت (رو به عقب) موج طوفان گردوغبار ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶. خطوط با نشانگرهای مختلف نشان‌دهنده ارتفاع مختلف هستند. نشانگر مثلثی ارتفاع ۵۰۰، نشانگر مربعی ارتفاع ۱۰۰۰ و نشانگر دایره‌ای ارتفاع ۱۵۰۰ متر را نشان می‌دهد.

بررسی همدیدی موج طوفان گردوغبار ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶

بررسی داده‌های آماری در ایستگاه‌های برگزیده نواحی جنوب غرب ایران گویای آن است که در دهه دوم ماه ژوئیه آسمان ایران در نقاط مختلف استان‌های جنوب غرب و طی ساعات مختلف تحت تاثیر یک موج طوفان شدید گردوغبار طی دوره مورد مطالعه به لحاظ تداوم و گسترش مکانی است. مراجعه به تصاویر بارز شده گردوغبار نشان می‌دهد، اولین هسته گردوغبار در منطقه شرق و مرکز سوریه شکل گرفته و سپس در جهت جنوب غرب و خلیج فارس امتداد یافته است، تقویت این هسته گردوغبار سبب پخش آن در استان‌های جنوب غربی و نفوذ به ایستگاه‌های شرقی منطقه مورد مطالعه گشت. با بررسی تصویر ماهواره‌ای روز اوج می‌توان گستردگی این پدیده را بر جنوب غرب و نفوذ آن به درون کشور تشخیص داد، به طوری که در ادامه این جابجایی در روز بعد به استان‌های جنوبی و خلیج فارس نفوذ کرده است. از نکات قابل توجه در این رخداد برخورد گردوغبار به ارتفاعات زاگرس و پخش این پدیده در راستای شمالی-جنوبی به دلیل پیکربندی کوه‌های زاگرس است. در ادامه هر چند که سرچشمه تغذیه گردوغبار در منطقه منشأ ضعیف شده و بصورت محدود در جنوب عراق مشاهده می‌شود ولی در داخل با عبور از بلندی‌های زاگرس، بخش‌های مرکزی را تحت پوشش قرار داده است. در روزهای بعد با از میان رفتن سرچشمه تغذیه، گردوغبار در غرب ایران ناپدید و در بخش‌های جنوب غرب به صورت پراکنده دیده‌بانی گردید. تنها کانون اصلی تمرکز این پدیده در این دوره ناحیه جنوب غرب ایران بود. با توجه به گستره مکانی و تداوم زمانی این پدیده طی این دوره در جنوب غرب، رهگیری باد در زمان اوج طوفان گردوغبار برای ایستگاه‌های تاثیر پذیرفته از این پدیده مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه یافته‌های بدست آمده از رهگیری مسیر باد در سه سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ بالای ایستگاه در روز اوج منطقه مشخص شد، جریان‌ها از منطقه مرزی میان سوریه و عراق برخاسته و سپس با جهت جنوب شمال‌غرب-جنوب‌شرق به نواحی جنوب غرب ایران می‌رسند. بررسی شرایط همدیدی طی این مدت نشان می‌دهد، همزمان با شکل‌گیری اولین هسته گردوغبار بر روی عراق، در تراز میانی جو ناوه‌ای عمیق در شرق مدیترانه شکل گرفته است. این ناوه نسبت به روز قبل حرکت شرق سو دارد و محور آن در جهت شمالی-جنوبی بر روی شرق مدیترانه قرار دارد و دامنه گسترش مکانی آن تا شمال عربستان امتداد یافته است. قرار گیری یال شرقی این ناوه بر روی بیابان‌های همسایه منطقه مورد بررسی سبب ایجاد همگرایی و شکل‌گیری منطقه کم‌فشار از جنوب ترکیه تا عربستان گردید. همچنین گسترش مکانی این مرکز غرب ایران را نیز تحت تاثیر قرار داد. قرارگیری مرکز واگرایی بالایی بر روی مرکز همگرایی تراز پایین و برهمکنش بین این دو مرکز سبب ناپایداری و صعود هوا شده است. همزمان با گسترش گردوغبار در درون عراق و نفوذ آن به منطقه مورد بررسی به‌ویژه شمال غرب، در تراز میانی با فشار مرکز پر ارتفاع بر روی ناوه سبب دوپهلو شدن آن شده است (شکل ۴).



شکل ۴- نقشه‌های جهت باد (وکتوری) و سرعت باد (کنتوری)، تاوایی (پهنه‌ای) و ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتوری) الگوی جوی تراز (الف) ۵۰۰ و (ب) ۸۵۰ هکتوپاسکال برای موج طوفان گردوغبار ۲۰۱۶/۰۷/۱۷

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نقشه رهگیری باد حاصل از مدل برای نمونه انتخابی نشان داد که برای حرکت طوفان گردوغبار به منطقه مورد مطالعه م سیر شمال غربی-جنوب شرقی قابل ت شخیص ا ست که این م سیر با عبور از روی هسته‌های طوفان گردوغبار شکل گرفته در شمال غرب عراق و شرق سوریه عمل انتقال گردوغبار به نواحی جنوب غرب ایران مثل اســتان‌های ایلام، خوزســتان، کهگیلویه و بویراحمد را انجام می‌دهند. این جریانات توانســته‌اند گردوغبار تا ایســتگاه یاســوج و پایین‌تر از آن را نیز انتقال دهند. همچنین در برخی از رخدادها نتایج حا صل ن شان داد که م سیر جریان باد در ابتدا جهت غربی- شرقی دا شته و با رســیدن به منطقه عراق و مناطق مرزی ایران تغییر جهت داده و گردوغبار را به این مناطق انتقال داده اســت. همچنین در روی این نقشــه در برخی از ایســتگاه‌ها شــکل‌گیری جریان‌های منطقه‌ای نیز قابل م شاهده ه ستند. با توجه به تعیین من شأ ا صلی طوفان گردوغبار و م سیر حرکت این پدیده به منطقه مورد مطالعه، وضــعیت جوی و الگوی همدیدی همزمان با وقوع طوفان گردوغبار از این کانون‌ها مورد واکاوی قرارگرفت. دو الگوی کلی برای این کانون‌ها شناخته شد: الف) الگوی کم‌ف شار زاگرس در دوره گرم، ب) الگوی سیکلون عراق و در مواردی سیکلون عربستان در دوره سرد سال. شرایط جوی حاکم بر طوفان گردوغبارهای منشــأهای گرفته از عراق و شــرق ســوریه که اکثر گردوغبارهای برخاســته از این کانون در دوره گرم سال و همزمان با ساعات میانی روز رخ داده ا ست، ن شان‌دهنده نقش ب سیار مهم فرآیندهای ترمودینامیکی سطحی در وقوع آنها می‌باشد. به‌طوریکه بررسی توزیع فشار سطحی همزمان با رخداد این گردوغبارها، ن شان‌دهنده تقویت کم‌ف شار شکل گرفته بر روی عراق و امتداد آن تا جنوب ترکیه و غرب ایران و در نهایت تقابل آن با پرف شار شکل گرفته بر روی مدیترانه می‌با شد. یکی دیگر از مهمترین ویژگی‌های توزیع فشار سطحی همزمان با رخداد گردوغبار از این کانون، تقویت کم‌فشار شکل

گرفته در شرق و جنوب شرق ایران است. گسترش این کم‌فشار در دوره گرم و ماه‌های گذر به غرب و جنوب‌غرب ایران و ادغام آن با کم‌فشار شکل گرفته روی عراق سبب شکل‌گیری کم‌فشار واحدی می‌شود. شکل‌گیری مراکز و تقابل آنها با پرفشار شکل گرفته بر روی مدیترانه از یک طرف سبب شیو فشار بین پهنه آبی مدیترانه و خشکی غربی آن و ایجاد بادهای شدید بر روی سوریه و عراق می‌شود و از سوی دسگر موقعیت مکانی این مراکز کم‌فشار و مکش شدید هوا، سبب انتقال گردوغبار شکل گرفته بر روی این مناطق به غرب ایران و در مواردی به نواحی مرکزی ایران نفوذ می‌کند. بررسی نقشه‌های آنومالی و میانگین طولانی مدت برای طوفان‌های گردوغبار شدید که نواحی جنوب غرب ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند، نشانگر تقویت ناوه در ماه‌های گذر و ضعیف شدن پرفشار جنب حاره و عقب‌نشینی آن به عرض‌های پایین تر و تقویت قابل توجه کم‌فشار سطحی بر روی مناطق منشأ و مورد مطالعه در دوره گرم دارد.

منابع

- عباسی، ح.، رفیعی امام، ع.، روحی پور، ح. ۱۳۷۸ .تحلیل منشاء گرد و غبارهای بوشهر و خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای، فصلنامهٔ جنگل و مرتع، شمارهٔ ۷۸، صص ۴۸ تا ۵۱.
- عزیزی، ق. ۱۳۸۳ .تغییر اقلیم، تهران: انتشارات قومس.
- لشکری، ح.، کیخسروی، ق. ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۳۳-۱۷.
- مهرشاهی، د.، نکونام، ز. ۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده گردوغبار و تحلیل الگوی وزش بادهای غبارزا ر شهرستان سبزوار، مجله جغرافیا، اسل هفتم، شماره ۲۲، صص ۱۰۴-۸۳.
- رسولی، ع. ا.، ساری صراف، ب.، محمدی، غ. ج. ۱۳۸۹. تحلیل روند اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم. شماره ۹، صص ۲۵-۱۵.
- امیدوار، ک.، نکونام، ز. ۱۳۹۰. کاربرد گلباد و گلغبار در تحلیل پدیده گردوخاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۱۰۴-۸۵.
- فرجزاده اصل، م.، علیزاده، خ. ۱۳۹۰. تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گردو خاک در ایران، مجله مدرس علوم انسانی-برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۸۴-۶۵.
- نوحه‌گر، ا.، خورانی، ا.، تمسکی، ا. ۱۳۹۱. تحلیل آماری وقوع طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه هواشناسی سر پل ذهاب، مجموعه مقالات اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار).

- Sivakumar,V.K. 2005. Impacts of Sand Storms Dust Storms on Agriculture, Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture, vol.7, 160-177.
- Xiao,J., C.,Chang. 2009. Dust storm and its causes in northern China, Vol.1, Pp 555-558.
- Takashi,Y., Yoshion, M., and J.,Suzuki. 2007. The relationship between occurrence of dust events and synoptic climatological condition in East Asia, 1999-2003, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.85, Pages 81-99.
- Kim,J. 2008. Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004), Atmospheric Environment, Vol. 42, pp 4778–4789.
- Wang,X., et al. 2009. Characterization of the composition of dust fallout and identification of dust sources in arid and semiarid North China, Geomorphology, Vol 112, pp144–157.
- Barkan,J., et al. 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe,
- Journal of Geophysical Research, Vol. 110, Pp 1-14.

کاهش اثرات خشکسالی در منطقه شرق استان اصفهان از طریق مدیریت عرصه‌های مرتعی و بیابانی

شیلا حجه فروش نیا [*1]، مسعود برهانی [2]

۱*-هیات علمی و استادیار، ژئومورفولوژی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران *E-mail: sh.hajehforoshnia@areeo.ac.ir*

۲-هیات علمی و استادیار، مرتعداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران: *E-mail: massodborhani@gmail.com*

چکیده

شرق اصفهان باوجود قابلیت‌های طبیعی، اقتصادی و اجتماعی فراوان، به دلایلی از قبیل خشکسالی، مدیریت غلط منابع آبی و در نتیجه کاهش فعالیت‌های کشاورزی، در وضعیت عدم تعادل قرار دارد که این عدم تعادل می تواند در سال‌های آینده بحرانی‌تر نیز بشود. هر گونه برنامه ریزی در جهت کاهش اثرات خشکسالی در این منطقه، مستلزم شناسایی دقیق عوامل تأثیرگذار طبیعی و انسانی پیرامون و بکارگیری دانش نوین با رعایت ملاحظات اقتصادی و اجتماعی می باشد. اکوسیستم مرتعی در منطقه شرق اصفهان بسیار شکننده و آسیب‌پذیر است. ناپایداری خاک و پوشش گیاهی که ناشی از عوامل اقلیمی، محدودیت‌های شدید فیزیکی و شیمیایی خاک و دست‌اندازی‌های مکرر انسان در این عرصه‌ها است، موجب گردیده تا هر گونه برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از مراتع این منطقه مستلزم اعمال محدودیت‌های ویژه بهره‌برداری باشد. این عرصه ها که بخش اعظم منطقه شرق اصفهان را شامل می شوند، بیشترین تأثیر را از خشکسالی متحمل شده و تبعات ناشی از آن عرصه های مسکونی و زراعی را تحت تأثیر قرار داده است. لذا ارائه راهکارهای مدیریت صحیح این مناطق می تواند به بهبود شرایط کلی منطقه کمک کند. در این مقاله سعی شده است علاوه بر تشریح وضعیت طبیعی منطقه راهکارهای بهبود مدیریت عرصه های مرتعی این منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی، منطقه شرق اصفهان، بیابان، مرتع

مقدمه

حفظ محیط زیست و ظرفیت‌سازی برای ساکنین هر منطقه، مستلزم بررسی ظرفیت‌های بالقوه و رفع موانع و مشکلات به منظور بالفعل شدن آن‌ها است. شرق اصفهان علی‌رغم قابلیت‌های فراوان، به علت عدم مدیریت صحیح آب در حوزه زاینده رود، در وضعیت عدم تعادل قرار دارد. بنابراین به منظور بررسی

مشکلات پیش‌رو و رفع و یا تعدیل چالش‌های آن می‌بایست پتانسیل‌های منطقه را با مشارکت مردمی شناسایی کرد تا بتوان با برنامه‌ریزی درست، تنگناهای موجود را کاهش داد.

خشکسالی به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین مخاطرات طبیعی، منابع طبیعی، امنیت غذایی و اقتصاد بسیاری از جوامع را (خصوصاً در کشورهای درحال‌توسعه) مورد تهدید قرار داده و سبب نگرانی‌های مهم امنیتی برای آب و غذا و نیز چالش‌های مالی و اقتصادی، خصوصاً برای کشورهای درحال‌توسعه شده است (Aghakouchak et al,2015). طبق آمار، در بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۴، بیش از ۸۰۷ خشکسالی در سطح جهانی رخداده و تعداد ۱/۸ میلیارد نفر در این مدت‌زمان تحت تأثیر خشکسالی قرارگرفته‌اند، بطوریکه بیش از ۱۱ میلیون نفر زندگی خود را ازدست‌داده و میلیاردها دلار خسارت وارد گردیده است (Below et al., 2007). به‌منظور کاهش خسارات خشکسالی و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، تعیین خصوصیات خشکسالی ها مانند ماهیت، شدت و نوع خشکسالی ضروری است؛ بنابراین ارزیابی خشکسالی و کاهش اثرات ناشی از آن، یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌های سطوح مختلف محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی است (Zargar et al.,2011). از طریق تعیین خصوصیات خشکسالی می‌توان امکان اعمالی مانند هشدار سریع خشکسالی و ارزیابی خطر خشکسالی را فراهم آورده (Hayes et al., 1999) و اجازه به برنامه‌ریزی بهتر برای آمادگی احتمال وقوع آن را فراهم ساخت.

ملکی و ترکمانی (۱۳۹۳) به پیش‌بینی خشک‌سالی‌های استان خراسان شمالی به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه مورد نظر در مجموع ده سال مرطوب و ده سال خشک را پشت سر گذاشته است. همچنین شدیدترین خشکسالی مربوط به زمستان سال ۱۳۷۹ با میزان SPI تجمعی ۲/۸۵- خفیف‌ترین خشک‌سالی مربوط به پاییز سال ۱۳۸۶ با میزانSPI تجمعی ۰/۵۴- است.

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی شاخص خطر خشک سالی در استان سمنان پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در گام زمانی سه ماهه مناطق شمالی و مرکزی و در گام زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان از خطر خشک‌سالی بیشتری برخوردارند.

ادیب و گرجی‌زاده (۱۳۹۵) به بررسی و پایش خشک سالی با استفاده از شاخص‌های خشک سالی در حوزه آبخیز دز پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بر اساس شاخص‌های متعدد، فراگیرترین سال‌های خشک‌سالی مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ بوده است.

Westphal و همکاران (۲۰۰۷) در یک بررسی تحت عنوان مدیریت خشک سالی و فاکتورهای خطر به این نتیجه رسید که خشک‌سالی پیامدهای اقتصادی زیادی را از طریق افزایش هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی که موجب بروز اختلال در سیستم محاسبات مالی می‌شود به دنبال دارد

Deressa (۲۰۱۰) در مطالعه‌اش آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر تغییرات اقلیمی (خشک سالی) در سطوح خانوار و منطقه‌ای اشاره کرده و عوامل تعیین کننده معیارها و شاخص‌های انطباق که بر روی

درک تغییرات اقلیمی در حوزه نیل اتیوپی تأثیر می گذارد را مورد تحلیل قرار داده ا ست. نتیجه ن شان داد که شاخص‌های فقدان بیمه یا کمبود امنیت اجتماعی، وام ها، فروش محصولات، سطح پایین درآمد، اعتبارات، روش‌های آبیاری و نرم افزارهای ترویج خانوار (پارامترهای آسیب‌پذیری اجتماعی - اقتصادی) برآسیب‌پذیری کشاورزان اثر گذارده است.

Slejko و همکاران (۲۰۱۰) نق شه مربوط به آ سیب‌پذیری خ شک سالی در سی ستم‌های ک شاورزی کشور اسلوونی را تهیه نمودند. دراین پژوهش عوامل موثر در آسیب‌پذیری خشک‌سالی را به سه دسته اصلی تقسیم بندی نمودند که عبارتند از ۱- فاکتور های فیزیکی (تابش نور خورشید، ظرفیت نگهداری آب خاک و شیب)، ۲- فاکتور فنی (آبیاری)، ۳ - فاکتور اقت صادی اجتماعی (کاربری ارا ضی)، در این پژوهش تمامی عملیات در محیط نرم افزاری ARCGIS صورت گرفت، به گونه‌ای که ابتدا، هر یک از فاکتورهای یاد شده به صورت لایه GIS، تهیه شد و پس از اعمال وزن‌دهی به لایه‌های مختلف و تلفیق نمودن آنها با یکدیگر، در نهایت نقشه آسیب‌پذیری که نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری هر منطقه نسبت به خشک‌سالی می‌باشد تهیه شد. در این نقشه شدت آسیب‌پذیری از کم تا زیاد طبقه‌بندی شد.

منطقه مورد مطالعاتی

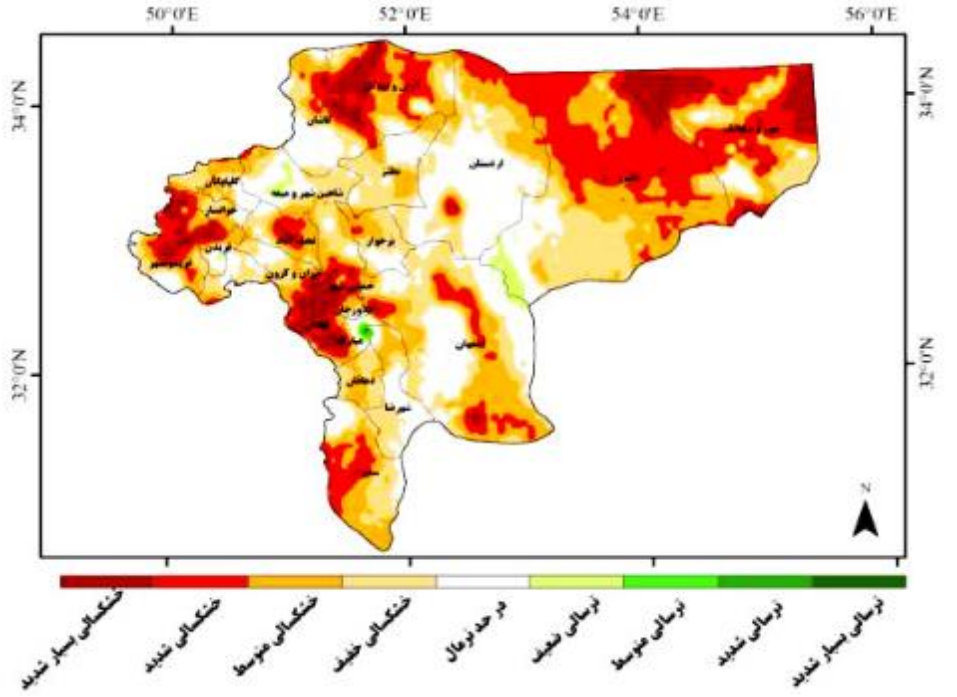
منطقه شرق ا صفهان محدوده‌ای ا ست با م ساحت ۱۰۱۹۷۷۳ هکتار که بخش عمده آن در شهر ستان اصفهان واقع شده است. این منطقه متشکل از شهرها و مناطقی از جمله زیار، جرقویه، ورزنه، اژیه، هرند، برآن و خوراسگان می‌باشد. ویژگی عمومی این منطقه، نوع معیشت اهالی آن است که از دیرباز به حرفه کشاورزی مشغول بوده‌اند. این منطقه از نظر منابع آب وابسته به رودخانه زاینده‌رود است و بیشترین سهم از طومار شیخ بهایی را به خود اختصاص داده است. وجود جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر و نزدیکی به شهر ا صفهان موجب می‌گردد که هرگونه اخلالی در معی شت مردم و یا هر مع ضل زی ست محیطی به‌طور مستقیم بر کلان شهر اصفهان اثر بگذارد. این امر باعث شده است تا منطقه از نظر شرایط اقتصادی، اجتماعی و امنیتی از اهمیت ویژه‌ای در استان اصفهان برخوردار شود. وجود خشک‌سالی و کاهش منابع آب ناشی از مدیریت نادرست منابع آب حوزه زاینده رود در سال‌های اخیر، موجب بروز مشکلات عدیده‌ای گشته است. رودخانه زاینده‌رود علاوه بر اثر مستقیم بر کشاورزی و اقتصاد منطقه، جریان اصلی حیات بخش تالاب گاوخونی است که یکی از تالاب‌های بسیار مهم بین‌المللی و از ذخایر بیولوژیک و دارای تنوع زیستی قابل توجهی می‌باشد.

کمبود منابع آب و خشکی زاینده‌رود در دو دهه اخیر که ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش مصارف در حوزه می‌باشد، باعث عدم توانایی تأمین آب بخش وسیعی از اراضی کشاورزی منطقه شده است و این عامل اثر مستقیمی بر افزایش فرسایش بادی و تولید گرد و غبار داشته است. این منطقه به‌دلیل شرایط خاص ناشی از نظر فعالیت‌ها و فرآیندهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، در طرح آمایش استان،

جزیی از فضای منطقه یک محسوب شده است و هرگونه بررسی طرح‌های اشتغال‌زا در شرق اصفهان باید با توجه به وضعیت طبیعی و با هدف ارتقای‌سطح بهره‌وری، تولید پایدار، کمک به ایجاد امنیت و جلوگیری از تنش های اجتماعی انجام شود و تدوین هیچ راهکاری بدون در نظر گرفتن انتظارات ذی‌نفعان، بررسی‌کلیه عوامل و متغیرهای محیطی و شرایط درونی منطقه امکان‌پذیر نیست. حفظ جمعیت موجود و ظرفیت سازی برای ایجاد اشتغال جدید در این منطقه، مستلزم بررسی ظرفیت‌های بالقوه و رفع موانع و مشکلات به منظور بالفعل شدن این ظرفیت ها است.

مواد و روش‌ها

منطقه شرق اصفهان به‌طور متناوب درگیر خشکسالی‌های پیاپی می‌باشد. بر اساس آخرین گزارش اداره کل هواشناسی استان اصفهان (خرداد ۱۴۰۰)، بخش‌های وسیعی از منطقه شرق اصفهان در طول ۱۲ سال گذشته درگیر خشک سالی خفیف تا بسیار شدید بوده است (شکل ۱). بر این اساس در ۳ زیر حوضه هیدرولوژیک واقع در منطقه شرق اصفهان، بین ۴۷/۹ تا ۸۳/۵ درصد از منطقه درگیر خشک‌سالی می‌باشد(جدول ۱).

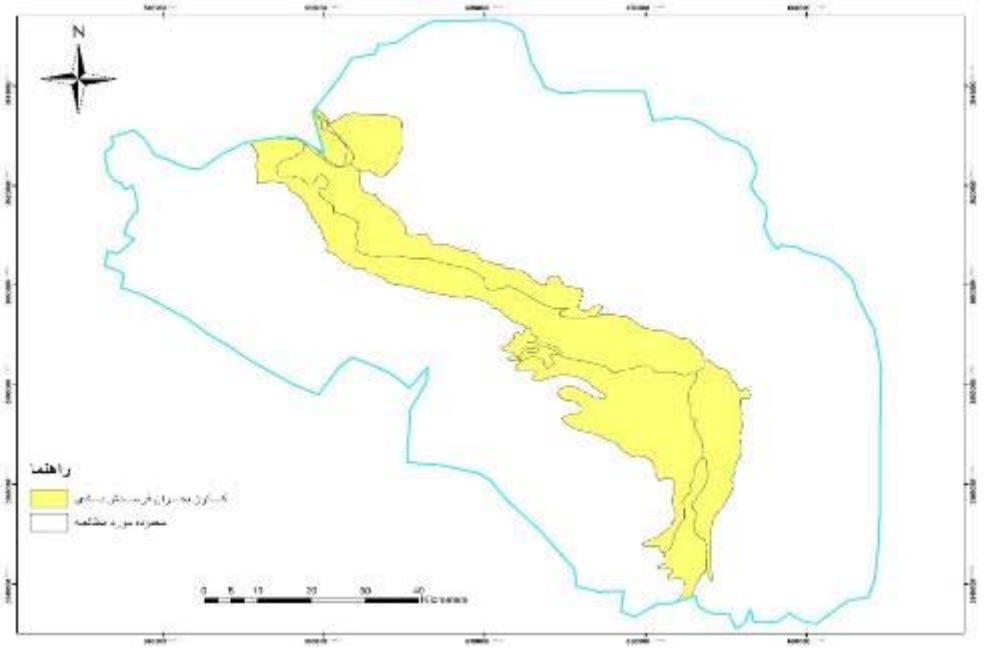


شکل ۱- پهنه‌بندی خشک‌سالی استان اصفهان در دوره ۱۲۰ ماهه منتهی به خرداد ۱۴۰۰ بر اساس شاخص SPEI (اداره کل هواشناسی استان اصفهان)

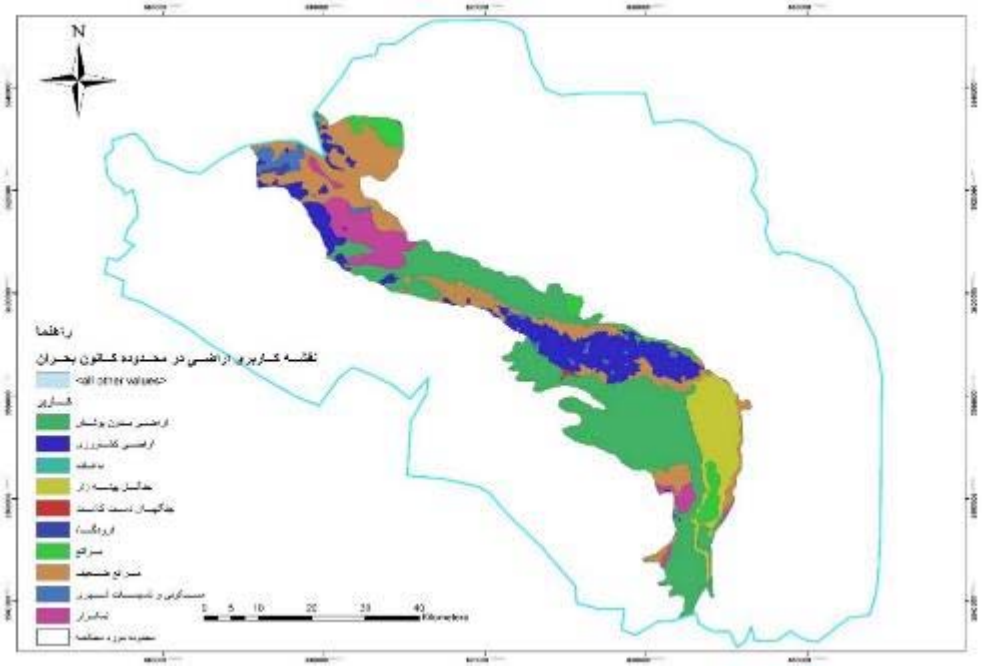
جدول ۱- مساحت (درصد) تحت تأثیر خشکسالی در دوره ده ساله تا پایان خرداد ۱۴۰۰ بر اساس شاخص SPEI (اداره کل هواشناسی استان اصفهان)

نام زیرحوضه	ترسالی بسیار شدید تا متوسط	ترسالی ضعیف	درحد نرمال	خشکسالی خفیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	مجموع درصدهای خشکسالی
اصفهان-برخوار	۰	۰	۱۶/۵	۴۱/۴	۲۷/۱	۱۱/۳	۳/۸	۸۳/۵
کوهپایه-سگزی	۰	۷/۳	۲۴/۱	۴۲/۵	۱۴/۲	۱۱/۱	۰/۸	۶۸/۶
گاوخونی	۰	۴/۳	۴۷/۹	۱۹/۳	۲۴/۳	۴/۳	۰	۴۷/۹

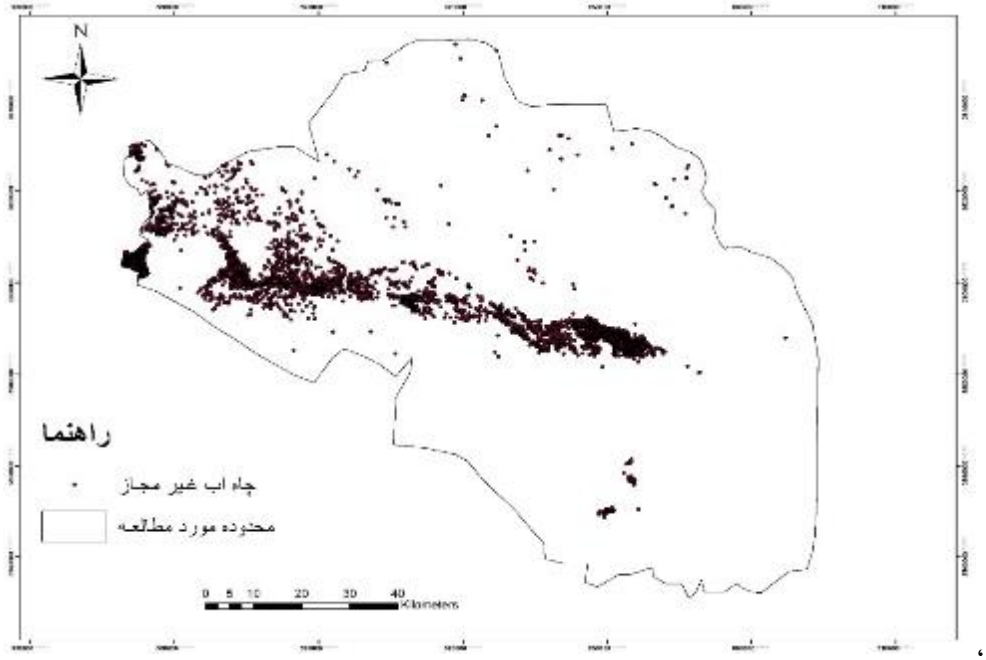
محدوده شرق حدوداً یک میلیون هکتار می‌باشد. از این مساحت ۲۰۰ هزار هکتار شامل کانون‌های فرسایش بادی استان است که حدوداً ۱۹ درصد را به خود اختصاص داده و شامل نقاط برداشت، حمل و ر سوب‌گذاری می‌با شد (شکل ۲). مناطق بدون پو شش، مراتع ضعیف و نمک‌زار بی‌شترین در صد را دارند (شکل۳). خشکسالی‌های متداوم و چرای دام مازاد، کمیت و کیفیت پوشش گیاهی را از بین می‌برند و زمینه‌ساز فرسایش بادی و ظهور و بروز پدیده گرد و غبار می‌گردد. ۶۰ روز در سال گرد و غبار فراوان، ۴۰ روز دید افقی کمتر از ۲ کیلومتر و وجود بیش از ۲۰۰۰ چاه آب غیر مجاز (شکل ۴) در این محدوده از دیگر عوامل ناسازگار در منطقه شرق می‌باشد.



شکل ۲- موقعیت کانون‌های فرسایش بادی در محدوده شرق(منبع: نگارنده)

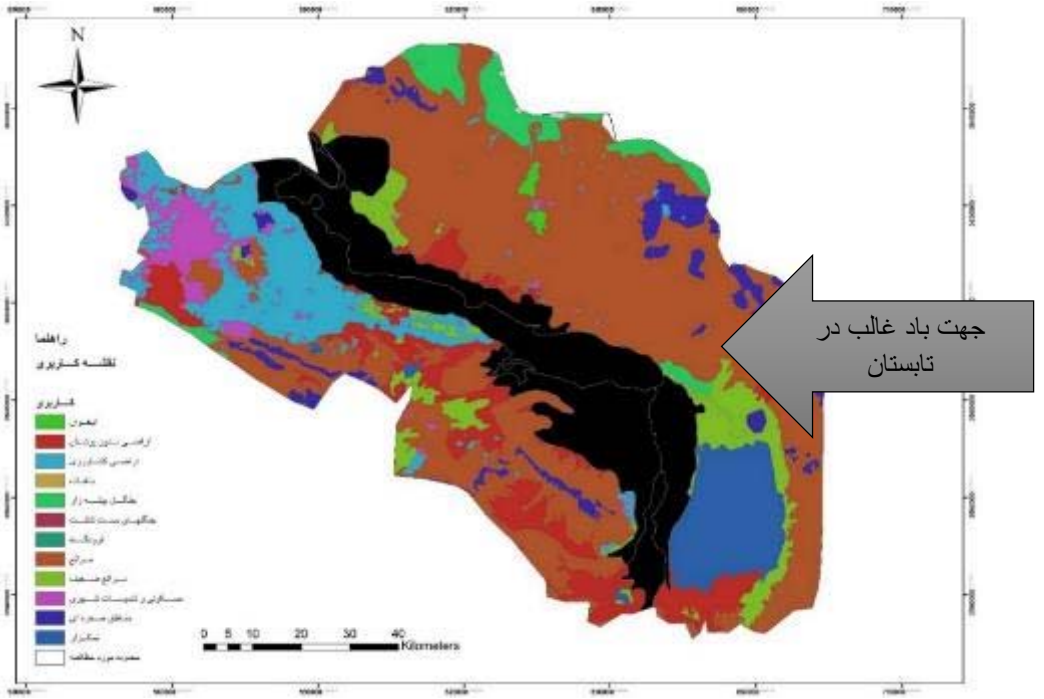


شکل ۳- وضعیت کاربری اراضی محدوده بحران فرسایش بادی در محدوده شرق(منبع: نگارنده)



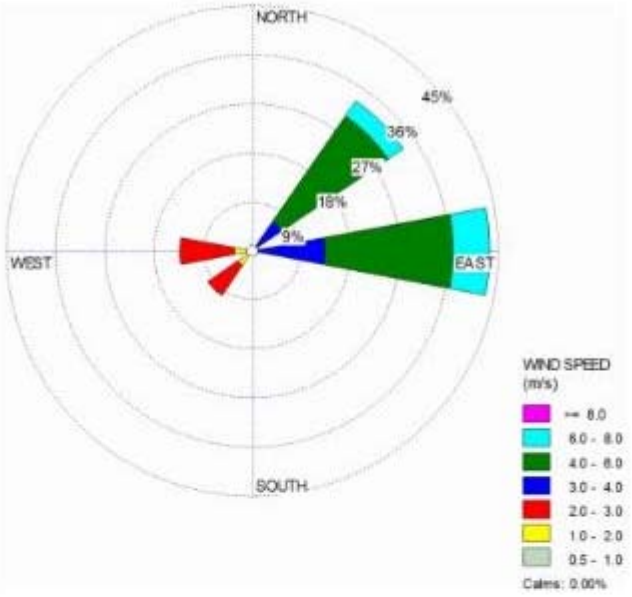
شکل ۴- وضعیت چاه‌های غیر مجاز در محدوده شرق(منبع: نگارنده)

باد غالب در این محدوده از سمت غرب می‌باشد، اما در سه ماهه تابستان از سمت شرق می‌باشد و در طول این سه ماه، بیشترین گرد و غبار در منطقه شرق مشاهده می شود. باتوجه به نقشه‌ها از سمت شـــرق مناطقی بدون پوشـــش گیاهی وجود دارد که باعث ایجاد فرســـایش بادی در کانون‌های بحران می‌گردد(شکل ۵و ۶).

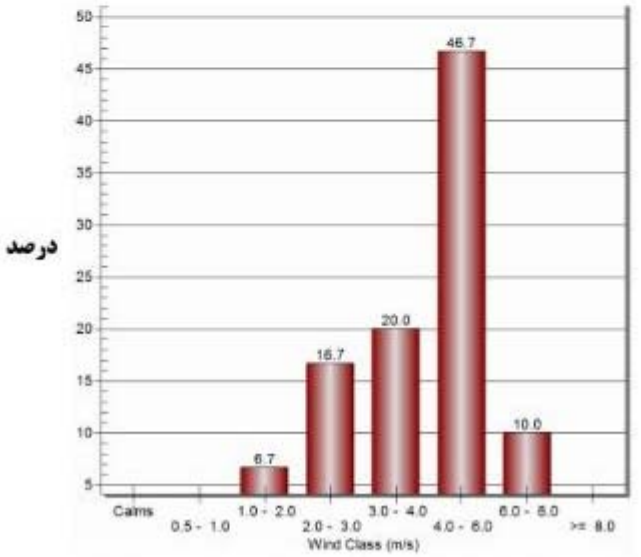


شکل ۵-۵- نقشه کاربری اراضی و جهت باد غالب(منبع: نگارنده)

بر اســاس مطالب بالا و شــکل ۷، نمک‌زارها، مراتع ضــعیف و مناطق بدون پوشــش با رنگ قرمز به عنوان نقاط بحرانی و شکننده مشخص می شود که عامل فرسایش بادی شناخته شده‌اند، لذا برای این قســمت دســتورالعملی تحت عنوان پایش دائمی عرصــه‌های شــکننده از طریق احداث پایگاه مدیریت مناطق بیابانی ارائه و در مورد لکه‌های سبز رنگ که شامل مراتع می‌باشد دستورالعمل چرای دام در مراتع ارائه می‌گردد.

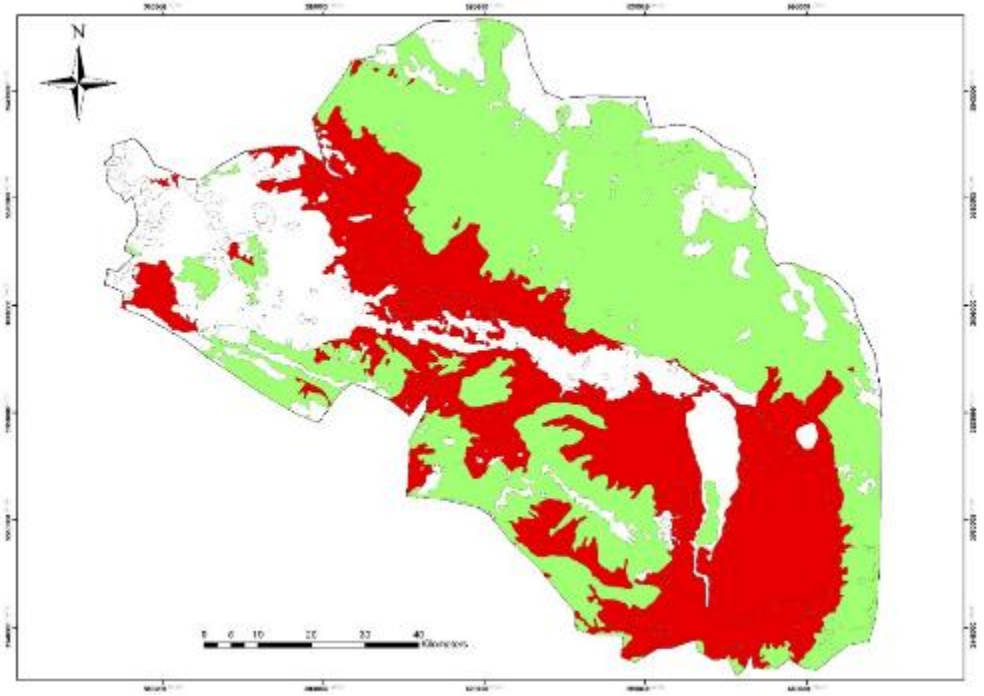


گلباد فصل تابستان باد غالب در شهر ورزنه برحسب متربرثانیه (۲۰۱۵-۲۰۰۶)



درصد فراوانی پراکندگی باد غالب در فصل تابستان در شهر ورزنه (۲۰۱۵-۲۰۰۶)

شکل ۶- گلباد و درصد فراوانی باد غالب در تابستان



شکل ۷- تفکیک مراتع، نقاط حساس مستعد فرسایش بادی(منبع: نگارنده)

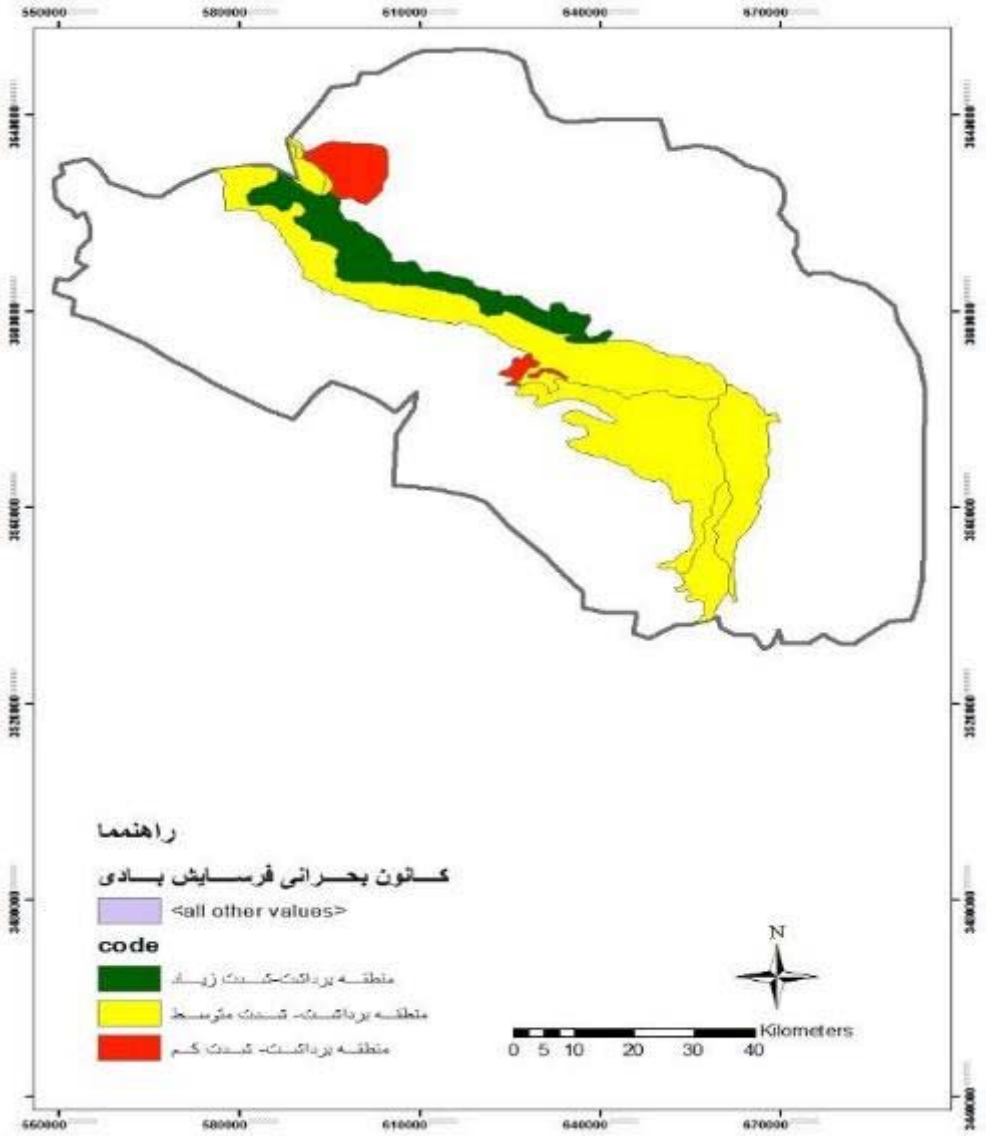
نتایج و بحث

در محدوده شرق اصفهان تهدیدهای بسیاری با توجه به شرایط خشکسالی وجود دارد از جمله موارد زیر که با مدیریت عرصه های مرتعی می توان به آن کمک کرد.

تهدید اراضی ناشی از خشک‌سالی شدید و توسعه کانون‌های برداشت ریزگردها

اگر شکل کانون‌های بحران فرسایش بادی و زیست محیطی را توجه کنیم (شکل ۸)، دلیل بحرانی شدن منطقه مرکزی اراضی شرق را بیشتر متوجه می شویم. اراضی شرق اصفهان با توجه پیشینه تشکیل و تکامل اراضی به سه واحد متفاوت تقسیم می‌شوند. ۱- قسمت شمالی و سفید رنگ شکل که عمدتاً از اراضی دامنه‌ای دانه درشت تشکیل شده‌اند (واحدهای اراضی ۱، ۲، ۳، ۸ و ۹) و مواد آن حاصل فرسایش کوه‌های شمالی است. ۲- قسمت رنگی در شکل که کانون‌های بحران فرسایشی محسوب شده و در شمال اراضی کشاورزی قرار می‌گیرند. این اراضی متشکل از واحدهای اراضی سیلابی و پست (۶ و ۷) بوده و به‌واسطه حمل و رسوب ذرات دانه ریز از طریق رودخانه فصلی و احتمالاً دایمی‌گذشته که از شمال غربی وارد محدوده شده، تشکیل شده‌اند.۳- اراضی دانه ریز تحت کشاورزی (واحدهای اراضی ۴ و ۵ یا اراضی سفید رنگ جنوبی شکل که عمدتاً تراس‌های رودخانه زاینده‌رود هستند. در هر کدام از

قسمت‌های فوق مشکلات، محدودیت‌ها و مسایل زیست محیطی و اقتصادی متفاوتی برای کشاورزان و جوامع هم‌جوار به‌وجود می‌آورند. مطابق با شکل ۸ منطقه برداشت با شدت زیاد در بخش مرکزی تا شمال غربی مشاهده می‌شود و منطقه برداشت با شدت متوسط از بخش جنوبی به سمت شمال غربی را پوشش می‌دهد و منطقه برداشت با شدت کم به صورت لکه‌ای در بخش شمال غربی و مرکزی وجود دارد.



شکل ۸ کانون‌های بحران فرسایش و نهشت در محدوده مورد مطالعه

تبدیل هرساله بخشی از اراضی با قابلیت کشاورزی به اراضی لم‌یزرع و کانون‌های برداشت

در شرایطی که اتکا تولید به کشت محصولات با آب رودخانه زاینده‌رود است، نوسانات تولید بسیار زیاد بوده و بی‌ثباتی به وضوح در انواع کشت‌ها دیده می‌شود. در چنین شرایطی اجرای تناوب‌های زراعی امکان‌پذیر نبوده و عملاً آیش‌های ناخواسته در منطقه اجرا می‌شود. به‌جز گندم و جو که در شرایط عدم اتکا به آب زاینده‌رود سطح نسبتاً باثباتی دارند، بقیه محصولات حتی در این شرایط نیز در طی سال‌های مختلف سطوح باثباتی ندارند. اگرچه عوامل متعددی می‌تواند در این امر موثر باشد، ولی محدودیت منابع آب (حتی آب زیرزمینی) نیز باعث تبدیل هر ساله بخشی از اراضی با قابلیت کشاورزی به اراضی لم‌یزرع و کانون‌های برداشت شده است.

خشک شدن سالانه بخشی از تالاب بین‌المللی گاوخونی با وسعت ۴۹۰۰۰ هکتار و تبدیل اراضی آن به کانون‌های برداشت

تالاب بین‌المللی گاوخونی در مواقع پرآبی وسعتی بالغ بر ۵۴ هزار هکتار را به خود اختصاص می‌دهد که در ده سال اخیر به‌دلیل خشک سالی اکثر بخش‌های آن خشک و بدون پوشش می‌باشد و بدین لحاظ این بخش جزِ اراضی بایر و لم‌یزرع محسوب می‌گردد و در نتیجه اراضی آن به کانون‌های برداشت شده است.

وقوع پدیده فرونشست زمین در اراضی منطقه شرق اصفهان به خصوص در اراضی کشاورزی و تبدیل آن‌ها به اراضی لم‌یزرع و کانون‌های برداشت

منطقه شرق اصفهان کانون بحران‌های زیست محیطی است که به‌دلیل عملکرد انسان در طول ۵۰ سال گذشته ایجاد شده است. این بحران‌ها شامل خشکی آب‌های سطحی و زیرزمینی، تخریب و فرسایش فزاینده خاک، نابودی پوشش گیاهی و در نتیجه ایجاد پدیده‌هایی جانبی نظیر فرونشست زمین می‌باشد.

افزایش میزان فرسایش بادی ناشی از توسعه کانون‌های برداشت

تناوب پدیده‌های گرد و غبار و اثرات مخرب آن بر حوضه سلامت، صنعت، کشاورزی و تأسیسات شهری در زمان حاضر می‌باشد. این واقعیت نشان می‌دهد که هر گونه اقدام عملی و موثر در رفع این معضل مستلزم بررسی دقیق شرایط موجود و علل و عوامل آن از ابعاد مختلف و ارائه راهکارهای عملی مبتنی بر اصول علمی برنامه‌ریزی می‌باشد.

تهدید شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از خشک‌سالی و توسعه کانون‌های ریز گرد

مهمترین تهدید منطقه شرق در آینده می‌تواند مهاجرت اهالی باشد. وابستگی بیش از ۲۵ هزار نفر بهره‌بردار در ۱۶۱ روستا به کشت حدود ۶۰ هزار هکتار گیاهان زراعی و باغی در منطقه شرق اصفهان و بروز بیکاری (۲۳ درصد) و مشکلات اجتماعی در صورت عدم تامین آب رودخانه زاینده‌رود و خشک‌سالی، باعث افزایش بیکاری (۳۵ درصد) و تشدید فقر ناشی از فرسایش و تخریب سایر واحدهای تولیدی، صنعتی، خدماتی و آموزشی می‌شود. افزایش مهاجرت در اثر تخریب شهرها، روستاها و سکونتگاه‌های محلی در معرض فر سایش بادی و ریزگردها از دیگر تهدیدهای منطقه به شمار می‌رود. هم‌چنین افزایش بیماری‌های جسمی، روحی و روانی جوامع محلی در اثر آلودگی ناشی از ریزگردها را می‌توان نام برد.

محافظت از عر صه‌های منابع طبیعی به‌خ صوص در شرایط بحرانی مانند خ شک سالی در کاهش اثرات زیانبار بهره‌برداری و تخریب مراتع موثر است. این محافظت از طریق رویکردهای مدیریت چرا انجام می‌گردد. اثرات چرای مستقیم و غیر مستقیم دام بر خاک منطقه شرق طبق جدول ۲ و۳ آورده شده است.

جدول ۲- اثرات مستقیم چرای دام بر خاک مراتع شرق اصفهان

نوع تأثیر		فرآیند	تبعات احتمالی
فشردگی خاک		۱- منافذ کمتر و کوچک‌تر می‌شوند ۲- نفوذپذیری کمتر می‌شود ۳- پتانسیل ذخیره آب خاک کم می‌شود ۴- رواناب افزایش می‌یابد	- نامساعد شدن محیط زیست جانداران خاک - شروع فرسایش آبی - عبور حیوانات از گالی‌ها - کاهش آب قابل دسترس برای رشد گیاهان
خردشدن خاکدانه‌های سطحی	خاک رسی و لومی-رسی در سطح الارض	۱- تولید ذرات بسیار ریز خاک فرسایش‌پذیر ۲- تشکیل سله در نتیجه بارندگی ۳-کاهش میکروتوپوگرافی	- رس به عنوان منبع مواد مغذی از بین برود - کاهش آب قابل دسترس خاک - افزایش رواناب - جوانه نهال‌ها از بین برود - کاهش ذخیره رطوبتی خاک سطحی - افزایش رواناب
	خاک لومی-شنی درسطح الارض	۱- تولید ذرات بسیار ریز خاک فرسایش‌پذیر ۲- آزادسازی ذرات شن از ترکیب خاک	- همانند بالا - تأمین شن برای رشد تپه‌های شنی - تأمین شن برای برخورد به اندام‌های گیاهی - تجمع رس در افق B

جدول ۳- اثرات غیرمستقیم چرای دام بر خاک مراتع شرق اصفهان

نوع تأثیر	فرآیند	تبعات احتمالی
کاهش تراکم و پوشش گیاهان (نظیر کاهش اندازه گیاهان چند ساله و از بین رفتن پوشش لاشبرگ بر اثر تردد دام)	۱- ایجاد فضای باز بیشتر برای برخورد قطرات باران و تشکیل سله ۲- افزایش لایه نفوذناپذیر در سطح خاک و افزایش درجه حرارت خاک ۳- افزایش سرعت باد در سطح زمین ۴- افزایش شرایط ایجاد رواناب بدون مانع ۵- ریشه‌های کمتر و در نتیجه ثبات کمتر گیاهان	- اکسید شدن مواد آلی خاک و کاهش پایداری خاک - کاهش آب قابل دسترس برای رشد گیاهان - کاهش جمعیت موجودات زنده خاک - ایجاد شرایط سخت برای رشد نهال‌ها - افزایش فرسایش بادی

شیوه صحیح مدیریت چرای دام در مراتع منطقه شرق اصفهان

اکوسیستم مرتعی در منطقه شرق اصفهان بسیار شکننده و آسیب‌پذیر است. ناپایداری خاک و پوشش گیاهی که نا شی از عوامل اقلیمی، محدودیت‌های شدید فیزیکی و شیمیایی خاک و د ستاندازی‌های مکرر انسان در این عرصه‌ها است، موجب گردیده تا هر گونه برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از مراتع این منطقه مستلزم اعمال محدودیت‌های ویژه بهره‌برداری باشد. واژه حد بهره‌برداری مجاز در این‌گونه مراتع اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

این مراتع می‌توانند از طریق تنظیم میزان دام‌گذاری، از تخریب محافظت شـــوند. بر پایه این مفهوم، حداکثر بهره‌برداری، محدود به درصد مشخصی از رشد گیاهان در زمان حداکثر رشد فصلی و در مناطق دارای رشـد غیرفصـلی، کمتر از حداقل پوشـش یا زیتوده علوفه اسـت. در واقع حد بهره‌برداری مجاز، درصدی از بهره‌برداری رشد سال جاری است که اهداف مدیریتی تأمین و تولید مرتع در بلندمدت حفظ گردد.

این در صد بر ا ساس میزان علوفه باقیمانده در انتهای ف صل ر شد و میزان م صرف علوفه یک گو سفند خ شک (غیر آب ستن) در طول یک سال تعیین می‌گردد. افزایش میزان دام‌گذاری برای یک تا دو سال امکان‌پذیر اســت، ولی برای دوره طولانی‌تر پایدار نیســت. ســازمان خوار و بار جهانی (فائو) معیارهای تقســیم‌بندی بهره‌برداری از مراتع را به دو دســته مســتقیم و غیرمســتقیم تفکیک می‌کند. معیارهای م ستقیم شامل ساختمان خاک، فر سایش خاک، بیوماس هوایی و زمینی، حا صل‌خیزی خاک، ترکیب بیولوژیک و تنوع زیستی می‌باشند. معیارهای غیرمستقیم شامل سیستم‌های کشاورزی، کاربری اراضی و قوانین مالکیتی، خوراک دام، تولید مثل دام و شـــاخص‌های اقتصـــادی می‌باشـــند. با توجه به تعدد عوامل، ماحصل تحقیقات در کشور منتج به ارائه مدلی برای تعیین حد بهره‌برداری مجاز گردیده که در آن سه عامل و ضعیت، گرایش و کلاس حساسیت به فر سایش به عنوان نماینده همه عوامل ذکر شده

دخالت دادند. در صد تعیین شده در این مدل، م شخص کننده میزان بهره‌برداری از مرتع ا ست که در منطقه شـرق اصـفهان با محدودیت‌های موجود و خشـکسـالی‌های مکرر، تحت دو سـناریو قابل ارائه می‌باشد:

الف- دام‌گذاری ثابت و سبک

چنان‌چه میزان دام‌گذاری در سـطح پایین در نظر گرفته شـود، بندرت نیاز به تنظیم تعداد دام در سال‌های مختلف است. به این شیوه، دام‌گذاری، محافظه‌کارانه یا حفاظتی نیز گفته می‌شود که هدف از آن محافظت از مرتع در شرایط خشکسالی و بقای درازمدت آن از طریق دام‌گذاری کم و تولید زیاد هر واحد دامی ا ست. اوریگان[7] و همکاران (۲۰۰۳) این میزان را در علفزارهای شمال ا ستراليا بين ۱۵ تا ۲۵ درصد میانگین تولید سالانه علوفه مرتع اعلام می‌کنند. البته در این روش، تولید در واحد سطح کاهش و درآمد مرتع‌دار در سال‌های دارای بارش متوسط یا بالای متوسط کمتر خواهد بود.

ب- دام‌گذاری انعطاف‌پذیر

این شکل از بهره‌برداری بر پایه تغییر میزان تولید علوفه بین سال‌های مختلف پایه‌گذاری شده است. در این روش میزان دام‌گذاری در سال‌های متو سط یا بی شتر از متو سط، بالا در نظر گرفته می شود و در مواقع خ شک سالی یک کاهش سریع در تعداد دام صورت می‌گیرد. این رویکرد، امکان ت صمیم‌گیری و تطابق تعداد دام با منابع علوفه را فراهم می‌سازد. البته مهارت در برآورد صحیح پتانسیل تولیدی مرتع و نیاز هر دام در زمان مناسب، امری حیاتی در این شیوه است، زیرا اگر این کاهش به سرعت انجام نشود وضـعیت مرتع به سـمت قهقرا سـوق پیدا می‌کند. به عقیده هرینگتون و همکاران (۱۹۸۴) این رویکرد نیازمند فروش ۵۰-۳۰ درصـد دام ها در خشـکسـالی های کو تاه مدت و ۷۵ درصـد دام ها در خشکسالی‌های طولانی‌تر است، دام‌ها در ۲۰ درصد سال‌ها بدون تغییر باقی می‌مانند. مشکل اصلی این شـیوه، نیاز به تنظیم دائمی اندازه گله اسـت که در کنار افزایش هزینه‌های تولید، به دلیل عدم رغبت دامداران به کاهش تعداد دام خود در مواقع خشـکسـالی این رویکرد را با شـکسـت مواجه می‌سـازد (هرینگتون و همکاران، ۱۹۸۴؛ فریدل و همکاران، ۱۹۹۰).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

لذا با توجه به جمیع عوامل ذکر شده، رویکرد اول یعنی دام‌گذاری ثابت و سبک در مراتع منطقه شرق ا صفهان تو صیه می‌گردد. در این شیوه لازم ا ست برای یک دوره چند ساله، تولید مرتع اندازه‌گیری و با

[7] -O'Reagain

انتخاب متوسط تولید درازمدت، ظرفیت چرا محاسبه گردد (ارزانی، ۱۹۹۴). طول دوره آماری محاسبه متوسط تولید درازمدت، برای یک منطقه مشخص، بایستی شامل یک سال ترسالی، یک سال خشک‌سالی و یک سال نرمال بر اساس داده‌های دراز مدت بارش منطقه باشد. در این بازه، میزان تولید مرتع محاسبه و حد بهره‌برداری مجاز مطابق با رویکرد ثابت و سبک، بین ۱۵ تا ۲۵ درصد میزان تولید در نظر گرفته خواهد شد. البته در شرایط تخریب شدید مرتع اعلام قرق یک ساله و دو ساله در بخش‌های آسیب‌پذیر ضرورت پیدا می‌کند که در این شرایط تسهیلات لازم جهت جبران خسارات دامداران منطقه از طریق بیمه مراتع بایستی در نظر گرفته شود. هم‌چنین اعمال روش‌های مرتع‌داری مصنوعی از طریق ذخیره نزولات آسمانی و کپه‌کاری با استفاده از گونه‌های گیاهی سازگار به شرایط اقلیمی و خاک منطقه در دستور کار قرار می‌گیرد.

منابع

- ادیب، ا.، گرجی زاده، ع. ۱۳۹۵ .بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص های خشکسالی،مطالعه موردی حوضه آبریز دز. نشریه آبیاری و آب ایران. دوره ۷ .شماره ۲ .صفحه ۱۸۵-۱۷۳
- ملکی، ع، ترکمانی، ج، ۱۳۹۳. مدیریت خشکسالی برای استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان شمالی، دومین همایش ملی برنامه ریزی، حمایت از محیط زیست و توسعه پایدار
- نصرالهی، م، خسروی، ح، مقدم نیا، ع، ملکیان، آ.۱۳۹۴. ارزیابی شاخص خطر خشکسالی استان سمنان با استفاده از نمایه SPI .مجله هواشناسی کشاورزی، دوره ۳ شماره ۱ شماره ۵
- Hayes, M.J. 2007. Intermountain west climate summary. Drought Indices, 2-6 pages.
- Deressa, T.T., R.M. Hassan, C. Ringler, T. Alemu, M. Yesuf. (2009). "Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia", Global Environmental Change 19(2): 248-255.
- Deressa T. (2010). Assessing of vulnerability in Ethiopian agriculture to the climate change and adaption strategies, PhD thesis, environmental economics, university of Pretoria.
- Slejko, M. Gregorič, G. Bergant, K.and Stanič, S. (2010). Assessing and Mapping Drought Vulnerability in Agricultural Systems – A case Study for Slovenia. 10thEMS/8thECACZürich, 13. September 2010.

پایش خشکسالی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی (مطالعات موردی: محدوده مطالعاتی اردبیل)

عرفان فرجی عموقین*[۱]، امین کانونی[۲]، مهسا حسنپور کاشانی[۳]

۱*-دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه محقق اردبیلی، پست الکترونیک (e.faraji@student.uma.ac.ir)

۲-دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، پست الکترونیک (amin.kanooni@uma.ac.ir)

۳-استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، پست الکترونیک (m.hkashani @uma.ac.ir)

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی و پر جمعیت‌ترین و تاثیر پذیرترین بخش استان اردبیل است. همچنین منطقه مورد مطالعه حوزه‌آبریز بالادست رودخانه قره سو است و حوضه مرتفع و کوهستانی است. خشکسالی منطقه با توجه به گسترش فعالیت انسانی در دهه‌های اخیر نیازمند بررسی دقیق‌تری است. از این رو با انتخاب دوره مطالعاتی بین سال‌های ۱۹۸۸ -۲۰۱۹ خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه به کمک شاخص‌های SPI و SSI در مقیاس‌های زمانس ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹ و ۱۲ مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش برای محاسبه شاخص SPI در ابتدا نقشه پهنه‌بندی بارش منطقه مورد مطالعه به کمک روش IDW استخراج شد و سپس میانگین بارش ماهانه منطقه مورد مطالعه استخراج شد. به کمک آزمون پیت سری به دو قسمت طبیعی و آشفته (پس از تاثیرات فعالیت‌های انسانی) تقسیم و به کمک تحلیل فراوانی تاثیر سد بررسی شد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به اینکه در دوره آشفته درصد خشکسالی هواشناسی کاهش یافته است ولی خشکسالی هیدرولوژیکی افزایش پیدا کرده است که در نتیجه فعالیت‌های انسانی است.

واژه‌های کلیدی:

SPI، سد یامچی، خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک

مقدمه

خشکسالی تاثیر بالقوه‌ای بر منابع طبیعی و مسائل اجتماعی و اقتصادی اعم از کشاورزی، حمل و نقل، تامین آب شرب و صنایع دارد، به همین دلیل همواره مورد بحث و مطالعه بوده است (Heim Jr, 2002). طبق گزارش سازمان جهانی هواشناسی در دوره ۲۰۱۹ - ۱۹۷۰، فروانی وقوع خشکسالی نسبت به سایر مخاطرات طبیعی کم‌تر ولی تعداد تلفات انسانی آن (۶۵۰۰۰۰ نفر) از سایر مخاطرات طبیعی بیشتر بوده است. برای مثال در سال ۱۹۸۳ در اتیوپی و موزامبیک حدوداً ۴۰۰۰۰۰ نفر بر اثر خشکسالی جان خود را از دست دادند و یا در خشکسالی ۱۹۹۸ چین، حدود ۴۲ میلیادر دلار برآورد خسارت‌های ناشی از این پدیده بود. در خشکسالی ۲۰۱۲ ایالات متحده نیز ۲۰ میلیاد دلار به این

دولت خ سارت وارد کرد (Zhongming et al., 2014) همچنین پیش‌بینی‌های انجام یافته ن شان می دهد که فراوانی وقوع خشکسالی در آینده رو به افزایش است (Yao et al., 2020).

در برخی از حوضـه تاثیرات تغییر اقلیمی و فعالیت‌های انسـانی از جمله احداث سـد، پارمترهای برآورد خ شکسالی را تحت تاثیر قرار داده‌اند. برای برر سی انت شار خ شکسالی هوا شنا سی و هیدرولوژیکی در حو ضه‌هایی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته ا ست. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد.

وو[8] و همکاران (۲۰۱۷) در یک حوضـــه تحت تاثیر فعالیت‌های انســـانی (ســـد) به کمک تئوری ران [9] مدل‌های غیرخطی را برای ارزیابی انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژیکی استفاده کردند. در این پژوهش سری زمانی خ شکسالی به دو ق سمت طبیعی و آ شفته تق سیم شد. و ب صورت جداگانه مورد بررسـی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی از آن اسـت که مدل لگاریتمی نتایج بهتری را دارد (Wu et al., 2017). زینگ[10] و همکاران (۲۰۲۱) انت شار خ شکسالی هوا شنا سی به هیدرولوژیکی را در یک حو ضه با احداث مخازن بزرگ برر سی کردند. در این پژوهش با یافتن نقطه تغییر دوره مطالعاتی به دو دوره طبیعی و آ شفته تق سیم کردند. در ادامه نیز به کمک تحلیل فراوانی و ضریب همب ستگی مقیاس زمانی ســـه ماه به عنوان مقیاس زمانی مناســـب معرفی شـــد. همچنین فروانی وقوع خشـــکســـالی هیدرولوژیکی در دو دوره و همچنین تغییر شـدت خشـکسـالی با توجه به تغییر میانگین سـری را نیز برر سی کردند (Xing et al., 2021). ژانگ[11] و همکاران (۲۰۲۲) در یک حو ضه در چین بدنبال برآورد کمیت مقدار تاثیر فعالیت انسانی بر خشکسالی بودند و همچنین تاثیر آن بر سرعت انتشار و همبستگی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را بررسی کردند. در این پژوهش اشاره شده است که فعالیت‌های انسانی باعث افزایش شدت و فراوانی خشکسالی هیدرولوژیکی شده است و همبستگی میان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را کاهش داده است. همچنین اشاره شد که در فصول زمستان و پاییز میزان تاثیر نسبت به سایر فصول کم‌تر است. در این پژوهش برای بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از توابع کاپولا استفاده شد (Zhang et al., 2022).

پایش خ شکسالی یکی از عوامل تعیین دقیق و ضعیت خ شکسالی ا ست که باید با توجه به ویژگی‌های هیدروکیلیمایی و هیدرولوژیک محدوده مورد مطالعه شاخص و مقیاس زمانی منا سب اننخاب شود. از این رو با بررسی شاخص‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی مختلف از کوتاه مدت به بلند مدت و مقایسه آن‌ها می‌توان تحلیل صـحیح از وضـعیت خشـکسـالی ارائه کرد. علاوه برآن در مناطقی که دبی جریان

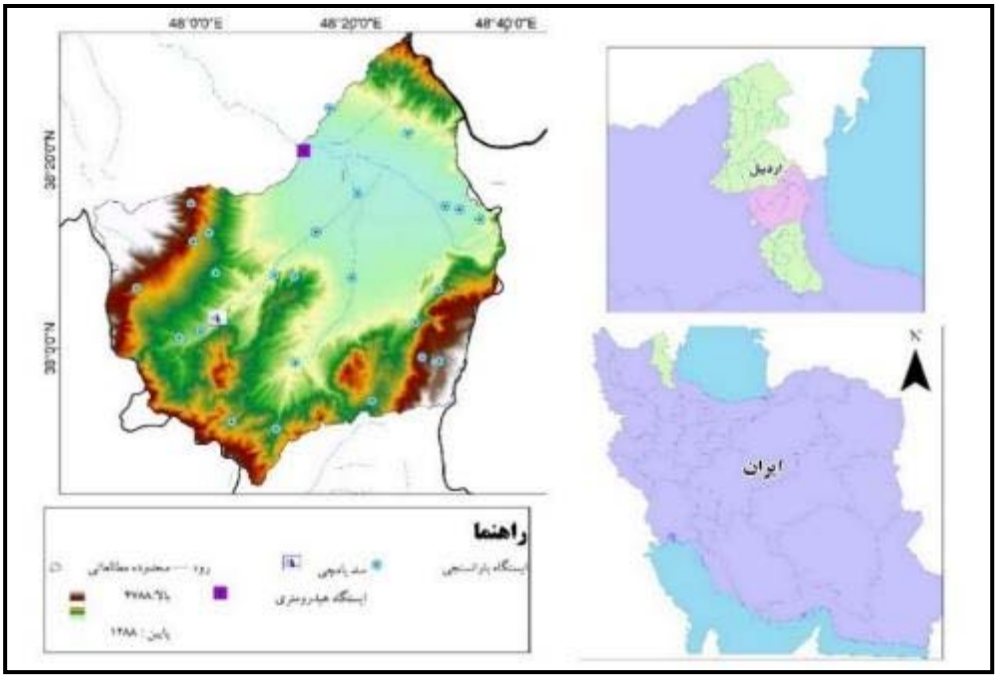
8 - Wu
9- Run theory
10 - Xing
11 - Zhang

تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است پایش خشکسالی به دلیل ناایستایی سری زمانی دبی جریان رودخانه مورد مطالعه یکی چالش برانگیزترین مواد برای تحلیل خشکسالی منطقه است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

حوضه مشرف به ایستگاه هیدرومتری سامیان واقع در استان اردبیل و قسمتی از حوزه آبریز قره سو محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بود که محدود به مختصات جغرافیایی "۰ ′۵۵ °۳۷ و "۰ ′۰۰ °۳۹ طول شرقی و "۰ ′۵۰ °۴۷ و "۰ ′۵۵ °۴۸ عرض شمالی است. این منطقه از شمال به شهرستان گرمی و دشت مغان، از سمت شرق به استان گیلان، از جنوب به رشته کوه‌های بزقوش و از غرب به رشته کوه‌های مرتفع سبلان محدود می‌شود. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه برابر با ۱۲۹۰ و ۴۷۹۰ متر از سطح دریا بوده و مساحت آن نیز حدود ۴۰ هزارکیلومتر مربع است (شکل ۱). در این مطالعه از داده‌های ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی محدوده (ایستگاه سامیان) در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از آرشیو شرکت آب منطقه‌ای اردبیل که توسط باران‌سنج‌ها و ایستگاه هیدرومتری این سازمان در نقاط مختلف محدوده مورد مطالعه دریافت شد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی

پهنه‌بندی:

برای بررسی مقدار بارش ماهانه در محدوده مورد مطالعه، متوسط بارش ماهانه به کمک تهیه نقشه پهنه‌بندی محاسبه شد. طبق بررسی‌های فرجی و کانونی (۱۴۰۰) بهترین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی روش IDW[۱۲] است. در این پژوهش نیز در نرم‌افزار ArcGIS به کمک روش IDW برای ۳۷۲ ماه نقشه پهنه‌بندی بارش استخراج شد (فرجی عموقین and کانونی, ۱۴۰۰). در ادامه به تشریح این روش پرداخته می‌شود.

IDW

اساس کارکرد این روش فاصله نقاط از یکدیگر است که توسط شپرد[۳] در ۱۹۶۸ ارائه شد. در این روش هر چه فاصله‌ی بین دو نقطه کم‌تر باشد، تاثیر بیشتری برای تخمین آن نقطه دارد. در این روش از فرمول زیر برای تخمین مقادیر ورد نظر استفاده می‌شود.

$$F(r)=\sum_{k=1}^{N} W(r_k)f(r_k)$$

که در آن $F(r)$ مقدار تخمین‌زده، N تعداد نقاط معلوم و تاثیرگذار(در اینجا تعداد ایستگاه‌ها)، $f(r_k)$ مقادیر واقعی و ثبت شده در نقاط، $r_k \equiv (x_k, y_k)$ مختصات نقاط تاثیرگذار و $W(r_k)$ وزنی که آن ایستگاه دارد که از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$W(r_k)=\frac{d_k(r)^{-p}}{\sum_{k=1}^{N} d_k(r)^{-p}}$$

که، $d_k(r)$ فاصله اقلیدسی بین دو نقطه و p نیز توان وزن‌دهی فاصله که بین ۰/۲۵ تا ۱۰۰ متغیر است. بدین معنی که هر چه این مقدار افزایش یابد تاثیر فاصله بیشتر می شود و فاصله نزدیک‌تر نقش بیشتری می‌گیرد. در این پژوهش مقادیر p مناسب توسط خود نرم افزار ArcGIS استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. مچنین برای محاسبه‌ی $d_k(r)$ می‌توان از رابطه ۳ استفاده نمود (Zimmerman et al., 1999):

$$d_k(r)\equiv\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2}$$

1 _ Inverse Distance Weighting
2 Shepherd 3

شاخص‌های خشکسالی

برای تعیین وضعیت خشکسالی توسط دانشمندان شاخص‌های مختلفی ارائه شده که در این پژوهش به دلیل ماهیت یکسانی بین این دو شاخص وجود دارد از شاخص SPI و SSI استفاده شد. در ادامه به تشریح این شاخص‌ها پرداخته شده است.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI):

شاخص بارش استاندارد شده یکی از شاخص‌های پیشنهاد شده برای استفاده در نقاط مختلف جهان است (هند بودک خشکسالی). این شاخص مزایای بسیاری دارد که می‌توان انعطاف‌پذیری در مقیاس زمانی و مکانی، استفاده از تابع توزیع احتمالاتی و تک پارامتری بودن را اشاره کرد. مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده‌ی ترسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده‌ی خشکسالی است. برای بدست آوردن شدت خشکسالی در این روش از روابط ۴-۱۳ استفاده می‌شود. رابطه ۴ تابع چگالی احتمال توزیع گاما است.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{(\alpha-1)} e^{\frac{-x}{\beta}}$$

α: پارامتر شکل و بزرگ‌تر از صفر است.

β: پارامترمقیاس و بزرگ‌تر از صفر است.

x : مقدار بارش

$\Gamma(\alpha)$: تابع گاما

برای محاسبه پارامترهای تعریف شده از روابط ۵-۲ استفاده می‌شود

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{y} dy$$

$$\alpha = \frac{1}{4A}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right]$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^{n} ln(x)}{n}$$

که در آن n تعداد مشاهدات بارندگی است. با توجه به عدم وجود بارندگی در تعدادی از ماه‌ها ($x=0$) تابع احتمال تجمعی به شکل زیر است:

$$H(x)=q+(1-q)G(x)$$

که در آن q احتمال صفر بودن بارش و m تعداد ماه‌هایی که در سری زمانی صفر باشند.

$$q=\frac{m}{n}$$

پس از محاسبه ($H(x)$) برای تغییر توزیع از تابع احتمال گاما به نرمال داریم:

$$t=\sqrt{ln\left[\frac{1}{H(x)}\right]}$$

$$t=\sqrt{ln\left[\frac{1}{1-H(x)}\right]}$$

و مقدار شاخص *SPI* به شرح زیر است.

$$\begin{cases} Z=SPI=\left[t-\frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_2t^3}\right] & 0<H(x)\leq 0.5 \\ Z=SPI=+\left[t-\frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3}\right] & 0.5<H(x)\leq 1 \end{cases}$$

همچنین مقادیر ثابت موجود در این روابط به شرح جدول ۱ است (McKee et al., 1993).

جدول ۱- ضرایب معادله SPI

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
C_0	۲/۵۳۵۵۳۵	d_1	۳/۴۳۲۷۸۸
C_1	۰/۸۰۲۸۵۳	d_2	۰/۱۹۲۶۹
C_2	۰/۰۳۰۳۲۸	d_3	۰/۰۰۳۳۰۸

شاخص جریان استاندارد شده (SSI):

شاخص جریان استاندارد شده بر پایه شاخص بارش استاندارد شده است که از مقدار جریان رودخانه استفاده می‌شود (Nalbantis and Tsakiris, 2009).

تشخیص نقطه تغییر

برای تعیین دقیق زمان شروع تغییرات در سری‌های زمانی برای مشخص شدن نقطه شروع تاثیرات انسانی و طبیعی از آزمون ناپارمتریک پتیت[۴]در این پژوهش استفاده شد. این آزمون در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت ارائه گردید. در ادامه به تشریح این روش پرداخته می‌شود.

در ابتدا برای بدست آوردن پارامتر K_t مراحل زیر صورت می‌گیرد.

$$sgn(x_i-x_j)=\begin{cases} +1 & if(x_i-x_j)>0 \\ 0 & if(x_i-x_j)=0 \\ -1 & if(x_i-x_j)<0 \end{cases}$$

1 - Rttitt 4

$$U_{t,T}=\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{T}\mathrm{sgn}(x_i-x_j)$$

$$K_t=\max\left|U_{t,T}\right| \quad , \quad 1\le t\le T$$

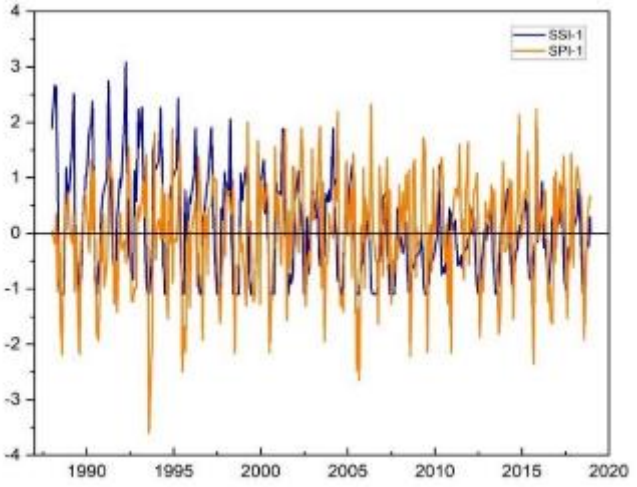
که در آن $sgn()$ تابع علامت، x_j مقدار سری زمانی در گام iام است و همواره $i>j$ است. $U_{t,T}$ نیز معادل آماره من-ویتنی برای آزمون و T تعداد کل مشاهدات است. برای تعیین نقطه تغییر در tامین مشاهده در سطح معنی داری از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$P\cong 2\ \exp\left(\frac{-6k_T^2}{T^3+T^2}\right)$$

اگر مقدار آماره P کم‌تر از ۰/۰۵ باشد، آن نقطه نقطه شروع تغییرات است (*Pettitt, 1979*).

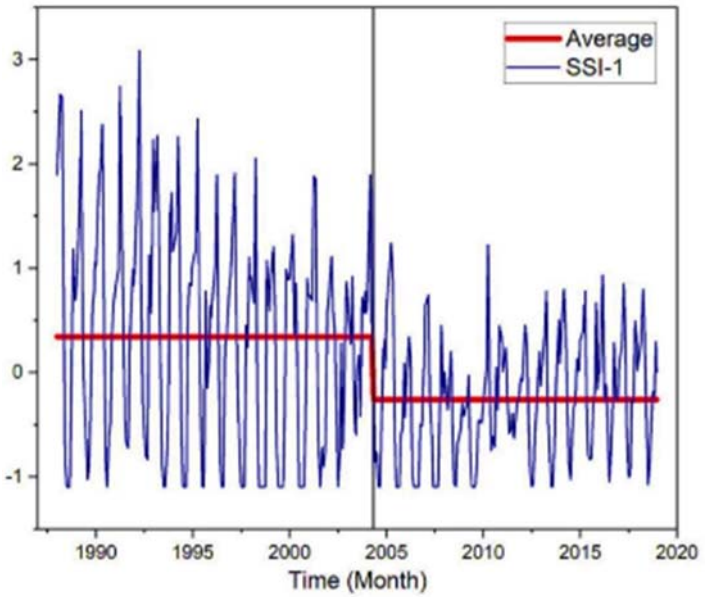
نتایج و بحث

در ابتدا به کمک ۲۵ ایستگاه بارانسنجی در نرم‌افزار Arc GIS برای محدوده مورد مطالعه با کمک روش IDW نقشه‌های پهنه‌بندی (۳۷۲ نقشه) بارش استخراج شده. در ادامه به کمک نقشه‌های پهنه‌بندی شده میانگین بارش ماهانه برای تمامی ماه‌های دوره مورد مطالعه بدست آمد. به کمک میانگین بارش ماهانه استخراج شده و ایستگاه هیدرومتری سامیان در خارج حوضه محاسبات مربوط به بررسی شدت خشکسالی به کمک شاخص‌های SPI و SSI در مقیاس ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹ و ۱۲ انجام شد. شکل ۲ سری زمانی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی است. مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت به خوبی شرایط خشک و تر را نمایش می‌دهند در صورتی که مقیاس های بلند مدت ناهنجاری‌های بلند مدت را به خوبی تشریح می‌کنند.



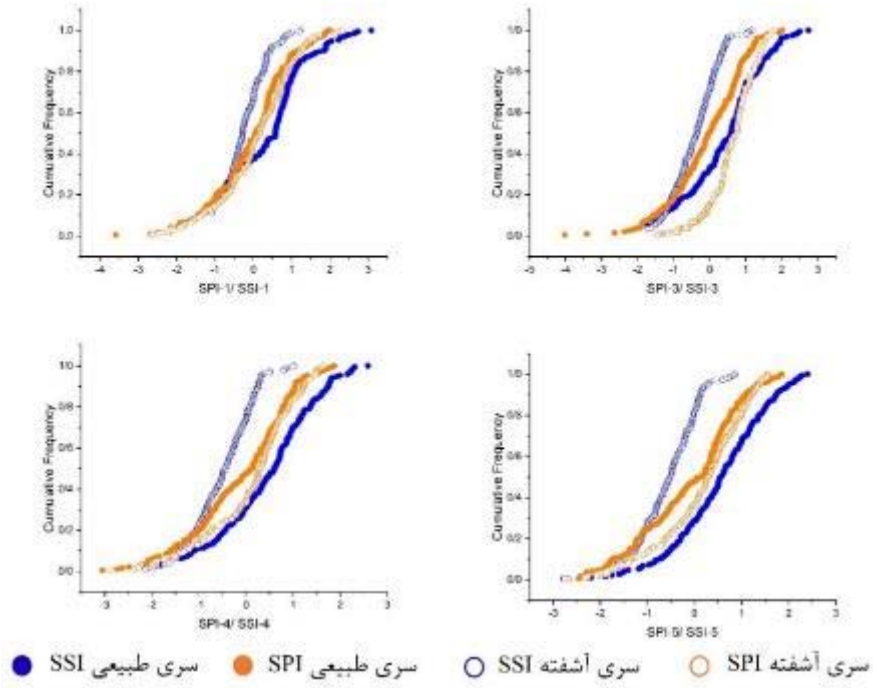
شکل ۲- سری زمانی SSI و SPI

با توجه احداث سد یامچی در دوره زمانی مورد مطالعه، بررسی و مشاهده نتایج شاخص‌های خشکسالی، تاثیر سد بر جریان ایستگاه سامیان آشکار است. از آزمون پیت برای تعیین نقطه شروع تغییرات استفاده شد. در خشکسالی هیدرولوژیکی مارس ۲۰۰۴ همزمان با شروع بهره‌برداری سد یامچی، تغییرات در روند و میانگین جریان اتفاق افتاده است. بطوریکه میانگین جریان ۷۵ درصد کاهش یافته است. ولی در خشکسالی هواشناسی هیچ نقطه شروع تغییر معنی‌داری وجود ندارد. بخاطر همین موضوع با توجه به نقطه تغییر خشکسالی هیدرولوژیکی سری در هر دو خشکسالی به دو قسمت طبیعی و آشفته تقسیم شد. شکل ۳ نقطه شروع تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی را نمایش می‌دهد. با افزایش مقیاس SSI تاثیر احداث مخزن به خوبی قابل درک است.



شکل ۳- مشخصات سری آشفته و طبیعی در خشکسالی هیدرولوژیکی

توزیع تجمعی احتمال وقوع خشکسالی در مقیاس ۱، ۳، ۴ و ۵ ماهه در محدوده مورد مطالعه در شکل ۴ آورده شده است. در این شکل با تقسیم سری‌های خشکسالی به دو قسمت آشفته و طبیعی، در دوره طبیعی SSI حدود ۳۰ در صد مواقع در خشکسالی است این در صورتی است که در SPI حدود ۵۰ درصد خشکسالی و ۵۰ درصد ترسالی است که توزیع نرمالی دارد.



شکل ۴- تحلیل فروانی SSI و SPI

در بر سی سری‌های آ شفته می‌توان دریافت که در SPI کم‌تر از ۳۰ در صد موارد در خ شکسالی قرار دارند. اما بر خلاف SPI در SSI کم‌تر از ۲۰ درصد از مواقع ترسالی اتفاق افتاده است. این موضوع تاثیرات احداث و بهره‌برداری از سد یامچی را به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به احداث سد یامچی در بالا دست ایستگاه هیدرومتری سامیان در محدوده مطالعاتی بر خلاف وقوع ترسالی هواشناسی در اکثر مواقع خشکسالی هیدرولوژیکی رخ داده است.

مقایسه فراوانی وقوع بین شاخص SPI و SSI در دو دوره طبیعی و آشفته به طور کامل تاثیر بالای فعالیت‌های انسانی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه شاخص SPI وابسته به بارش است و بارش پدیده طبیعی است در دوره آشفته نسبت به دوره طبیعی ترسالی‌های بیشتری اتفاق افتاده است که در SSI نیز چنین انتظاری وجود دارد ولی برخلاف شاخص SPI شاخص SSI در بیشتر مواقع نسبت به دوره طبیعی فروانی خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

احداث سد باعث ایجاد عدم یک نواختی و تغییرات مکانی یکسان در جریان رودخانه می شود. از این رو حالت‌های مختلف بهره‌برداری از سد بخصوص در شرایط خشکسالی می‌تواند تاثیرات مختلفی بر انتشار خشکسالی داشته باشد. احداث سد یامچی تاثیر بسزایی در انتشار خشکسالی در منطقه مورد مطالعه داردسدها عموما برای نگهداری آب در زمان ترسالی و رها سازی آب در زمان خشکسالی است. اما سد یامچی مقادیر دبی در تمام شـــرایط را کاهش داده اســـت. از طرفی نیز نســـبت به دوره طبیعی خشکسالی‌های طولانی‌تر و با شدت بیشتری نیز در دوره آ شفته اتفاق افتاده ا ست. در حالی که دوره آشفته از نظر هواشناسی ترسالی بیشتری اتفاق افتاده است.

منابع

- فرجی عموقین, ع., کانونی, ا. ۱۴۰۰. بررسی دقت روشهای مختلف تحلیل مکانی بارش ماهانه در دشت اردبیل. پنجمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 1993. Boston, MA, USA, 179-183.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. Water resources management, 23, 881-897.
- Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28, 126-135.
- Wu, J., Chen, X., Yao, H., Gao, L., Chen, Y., Liu, M. 2017. Non-linear relationship of hydrological drought responding to meteorological drought and impact of a large reservoir. Journal of Hydrology, 551, 495-507.
- Xing, Z., Ma, M., Zhang, X., Leng, G., Su, Z., Lv, J., Yu, Z., Yi, P .۲۰۲۱ .Altered drought propagation under the influence of reservoir regulation. Journal of Hydrology, 603, 127049.
- Zhang, T., Su, X., Zhang, G., Wu, H., Wang, G., Chu, J. 2022. Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China. Science of The Total Environment, 819, 153030.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., Wei, L. 2014. Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes.(۲۰۱۲–۱۹۷۰)
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A., Armstrong, M. P. 1999. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. Mathematical Geology, 31, 375-390.

شناسایی و معرفی گونه های گیاهی مناسب حفاظت خاک و احیاء پوشش در منطقه کردان، غرب استان البرز، ایران

هادی کارگر چیگانی*[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]،

۱*-کارشناس محقق پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پست الکترونیک (*hadi_k1360@yahoo.com*)

۲-استاد پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

پوشش گیاهی به عنوان یکی از بخش‌های مهم در اکوسیستم های طبیعی نقش مهمی در کنترل فرسایش و رسوب برخوردار است. منطقه کردان در دامنه جنوبی رشته کوه البرز واقع و از تنوع گونه‌ای بالایی برخوردار است. بهره برداری و چرای شدید باعث تخریب پوشش گیاهی و متعاقبا فرسایش خاک در منطقه شده است. لذا هدف اصلی از این تحقیق شناسایی و معرفی گونه های گیاهی مناسب حفاظت خاک و احیاء پوشش در منطقه می باشد. بدین منظور پس نمونه‌برداری از پوشش‌گیاهی فهرست گونه‌ها، تراکم (تعداد افراد یک گونه در واحد سطح) و درصد تاج پوشش‌گیاهی به همراه درصد پوشش لاشبرگ، سنگ و سنگریزه و سطح خاک لخت بررسی گردید. گونه های گیاهی بر اساس فلورهای موجود شناسایی و بر اساس طول عمر (یک و چند ساله)، فرم رویشی (علفی، بوته ای و درختی)، خوشخوراکی (شونده I، زیاد شونده II و مهاجم III)، و همچنین شکل زیستی به روش رانکایر، طبقه بندی شدند. همچنین وضعیت فرسایش به روش BLM بررسی شد و نقش پوشش گیاهی و پوشش سطح زمین در برابر فرسایش از طریق انجام آنالیز همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. جهت معرفی گونه های گیاهی مناسب برای حفاظت خاک و احیاء عرصه-های تخریب شده در منطقه ضمن بررسی وضعیت گونه‌ها بر اساس فراوانی و وفور، و دامنه اکولوژیکی، به ویژگی های فلورستیکی موثر و نقش آفرین در حفاظت خاک مانند: شکل زیستی، فرم رویشی، طول عمر، تاج پوشش گیاهی، مقاومت گیاه به چرای دام، و غیره توجه شد و گونه‌هایی که به لحاظ فنولوژیکی مقاوم به تنش‌های محیطی بودند انتخاب شدند. نتایج نشان داد در مجموع ۶۹ گونه از ۵۷ جنس و ۲۰ خانواده در منطقه حضور دارند که بیشتر علفی چند ساله هستند و اشکال زیستی همی کریپتوفیت و تروفیت مهم ترین اشکال زیستی در منطقه می‌باشند. همچنین نتایج آنالیز همبستگی نشان داد تاج پوشش گیاهی و لاشبرگ نقش زیادی در حفاظت خاک در منطقه دارند. مهمترین گونه های درختی مناسب حفاظت خاک شامل *Pteropyrum olivieri*، *Celtis caucasica*، *Amygdalus lycioides* و *Berberis integerima* و مهمترین گونه بوته ای منطقه گونه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) بودند. همچنین گونه آویشن (*Thymus kotschyanus*) به عنوان یکی از گونه دارویی مناسب حفاظت خاک معرفی شد. در مجموع نتایج نشان داد چرای مفرط و بهره برداری بیش از حد یکی از مهمترین عوامل تخریب در منطقه

مطالعاتی است که باعث تخریب پوشش و منعاقبا افزایش فرسایش خاک در منطقه شده است. لذا یکی از پروژه های مهم احیایی در منطقه، پروژه قرق و اجرای پروژه های بیولوژیک می باشد.

واژه‌های کلیدی:
شکل زیستی, روش بیولوژیک, فرسایش خاک, حفاظت خاک, قرق.

مقدمه

منابع طبیعی و خاک به عنوان یک از اجزای اصلی آن، بستر حیات و توسعه پایدار محسوب می شوند و نقش مهمی در تامین غذا و خدمات زیست محیطی به عهده دارند. فر سایش خاک نقش مهمی در هدر رفت خاک، تولید ر سوب، کاهش حا صلخیزی خاک، پر شدن مخازن سدها و بندها، گرفتگی و ا نسداد کانال‌های آبیاری، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، گل آلود کردن آب رودخانه ها و کاهش کیفیت آب و آلودگی آبهای مناطق پایین د ست دارد و از دیر باز مورد توجه متخصصین و کار شناسان علوم زمین بوده ا ست. از اصلی ترین موارد که باعث جلوگیری از فرسایش و هدر رفت خاک میشود پوشش گیاهی میباشد که به عنوان یکی از بخش های مهم در اکوسیستم های طبیعی محسوب می شود. هدف اصلی تمامی طرح های احیائی، حفاظتی و توسعه‌ای در بخش کشاورزی و منابع طبیعی، حفظ آب و خاک است. مهمترین پارامتر جهت تحقق این هدف افزایش پوشش گیاهی و کنترل فرسایش می‌باشد. متاسفانه به دلیل عدم شناخت کافی از پو شش گیاهی به عنوان بخش مهم اکو سی ستم و تو سعه ک شت گونه های غیر بومی نا سازگار با شرایط محیطی، اکثر این طرح ها دچار م شکل و یا حتی شک ست می شوند. ا ستفاده از گونه‌های با ارزش بومی و تأمین بذر آن از پایه های محلی، می‌تواند ضمن کاهش هزینه های اجرا و وابستگی به بذور خارجی، در صد موفقیت را نیز افزایش دهد، ولی این بدان معنی نیست که ا ستفاده از گونه‌های با ارزش غیر بومی کاملاً نادیده گرفته شود.

مطالعات نشان داده است که گیاهان بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی تأثیر می گذارند (Cerdà و همکاران، ۲۰۱۷). تخریب پوشش گیاهی باعث می شود فرآیند فرسایش پاشمانی افزایش یافته و نفوذپذیری خاک کاهش یابد، در نتیجه رواناب جاری شده باعث فرسایش و تولید رسوب و متعاقبا تخریب سرزمین می شود. سردا (۲۰۲۱) نقش گونه ها گیاهی بر رواناب و فرسایش خاک در بوته زارهای مدیترانه ای را مطالعه کرد. نتایج نشان داد که گونه های گیاهی *Quercus coccifera* و *Pistacia lentiscus* در کنترل تخلیه رواناب و تلفات خاک نسبت به *Ulex parviflorus* کارآمدتر می باشند. کارگر و همکاران (۲۰۱۷) جهت شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای احیاء عرصه‌های تخریب شده در شمال اصفهان اقدام به شناسایی کامل فلور منطقه و ویژگی‌های فلورستیکی آن از جمله شکل‌های زی ستی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان و ویژگی‌های رویشگاهی آنها نمود. در این تحقیق از روش‌های طبقه‌بندی و ر سته بندی جهت ارزیابی کمی پو شش‌گیاهی ا ستفاده شد. نتایج

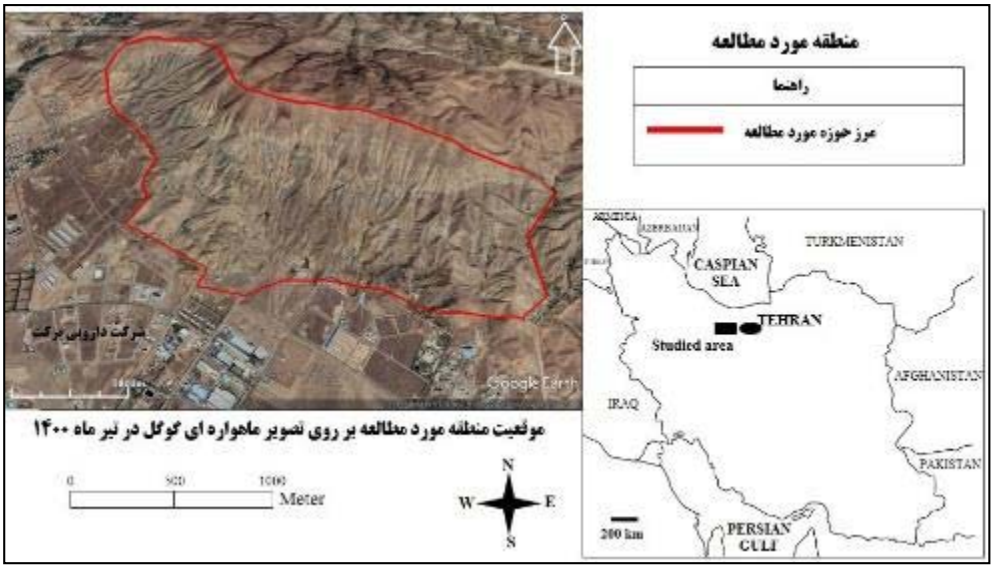
آنها نشان داد انتخاب گونه‌های گیاهی بومی از گروه‌های گیاهی که غنای گونه ای و شباهت فلورستیک بالایی برخورداند، درصد موفقیت پروژه های بیولوژیکی احیائی در منطقه را بالا می برد (Kargar و همکاران، ۲۰۱۷). یرخورداری و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی نقش گونه های مرتعی در حفاظت سازندهای مارنی از فرسایش دریافتند در بخشی از مناطق مارنی به ویژه داخل آبراهه ها بوته های مرتعی با تراکم کم، نقش مؤثر در کنترل فرسایش و تثبیت کف آبراهه دارند. گونه *Salsola tomentosa* به عنوان سازگارترین گونه از نظر حضور معرفی شد.

منطقه کردان واقع در دامنه جنوبی رشته کوه البرز، بخشی از شهرستان ساوجبلاغ استان البرز است. این منطقه به دلیل شرایط اقلیمی، توپوگرافی و ادافیکی، از تنوع بسیار بالا برخوردار است ولی بدلیل وجود عوامل متعدد تخریب بویژه چرای شدید و خارج از فصل به شدت تخریب شده است. تخریب پوشش گیاهی باعث تشدید فرسایش و متعاقبا تخریب خاک سطحی شده است. با فرض اینکه یکی از بهترین و مناسب ترین شیوه های مقابله با فرسایش خاک روش بیولوژیک است هدف اصلی از این تحقیق شناسایی و معرفی گونه‌های بومی مناسب جهت حفاظت خاک با استفاده از ویژگی های مهم آنها نظیر توان گیاه در تثبیت خاک، طیف‌های زیستی، فرم‌های رویشی، طول عمر، و ویژگی‌های دارویی و حتی مقاوم بودن در مقابل چرای دام و می باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه با مساحت حدود ۳۲۵ هکتار در مراتع دامنه جنوبی رشته کوه البرز در محدوده طول های شرقی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه و ۵ ثانیه و عرض های شمالی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه و ۸ ثانیه واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آمار ۴۰ ساله (۱۳۵۷-۱۳۹۷) ایستگاه تبخیر سنجی کردان، حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۴۵۰ تا ۱۶۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه در حدود ۳۵۷ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ۱۱/۹ درجه سانتیگراد و میانگین درجه حرارت حداقل و حداکثر بترتیب ۴/۳ و ۱۹/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. بر این اساس اقلیم منطقه مورد مطالعه بر طبق روش دومارتن نیمه خشک سرد تا فرا سرد (در ارتفاعات) است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

به منظور مطالعه و نمونه‌برداری از پوشش‌گیاهی و خاک منطقه از نمونه‌برداری طبقه‌بندی تصادفی[۱۵] استفاده شد. در این روش، کل منطقه به چندین زیر بخش[۱۶] یا واحد کاری که نسبتا همگن[۱۷] هستند تقسیم و در هر یک از زیر بخش‌ها به طور تصادفی با استفاده از کوادرات نمونه‌برداری صورت می‌پذیرد. در هر کوادرات اقدام به فهرست برداری از گونه‌ها، تراکم[۱۸] (تعداد افراد یک گونه در واحد سطح)، درصد تاج پوشش گیاهی[۱۹]، درصد پوشش لاشبرگ[۲۰]، سنگ[۲۱] و سنگریزه[۲۲] و سطح خاک لخت[۲۳] شد.

نمونه‌های گیاهی جمع آوری شده با بکارگیری از روش‌های رایج تشخیص و تاکسونومی و با استفاده از فلورها و تک نگاره‌هایی مختلف شناسایی شد. پس از مشخص شدن لیست گونه ها، جهت توصیف بهتر پوشش‌گیاهی معیارهایی همچون: فراوانی یا بسامد[۲۴] (احتمال حضور یک گونه در سطح معین) و وفور[۲۵] (تعداد افراد یک گونه گیاهی در گستره‌ای با ابعاد مشخص) نیز محاسبه می‌گردد

---

15 - Stratified Random Sampling
16 - Subsegment
17 - homogeneous
18 - Density
19 - Canopy Cover
20 - Litter
21 - Stone
22 - Pebbles
23 - Bare soil
24 - Frequency
25 - Abundance

شکل زیستی[1]گونه‌های گیاهی شناسایی شده که شامل شکل‌های زیستی همی‌کریپتوفیت‌ها[2] کریپتوفیت ها[3] فانروفیت ها[4] کامفیت ها[5] تروفیت ها[6]می باشند از روش رانکایر استفاده می گردد (Raunkiaar و همکاران، ۱۹۳۴؛ Archibald و همکاران، ۱۹۹۵). طول عمر بندی گونه‌های شناسایی شده به یکساله[7]و چند ساله[8]و فرم‌های رویشی[9]آنها به علفی:[10]بوته ای[11]و درختی[12]طبقه بندی شد. کلاس خوشخوراکی[13]گونه‌ها نیز با کمک منابع موجود، اطلاعات دفترچه کد گیاهان مرتعی (دفتر فنی مرتع، ۱۳۶۱) و همچنین آثار و شواهد موجود و نظرکارشناسی و دانش بومی منطقه مشخص و به سه کلاس کم شونده(I)، زیاد شونده(II) و مهاجم(III) طبقه‌بندی می‌شود(Holechek و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین با استفاده از منابع موجود وضعیت گونه‌ها از نظر خواص دارویی نیز مشخص شد.

بررسی وضعیت فرسایش

بررسی وضعیت سطح خاک و فرسایش در روش BLM با امتیاز دهی به هفت عامل: ۱- فرسایش سطحی، ۲- لاشبرگ، ۳- پوشش سنگ‌ریزه ای سطح خاک، ۴- آثار تخریب در سطح زمین، ۵- فرسایش شیاری، ۶- جریان سطحی و رسوبات آن و ۷- فرسایش خندقی انجام شد. سپس نقش پوشش گیاهی و پوشش سطح زمین در برابر فرسایش از طریق تفسیر نتایج ارزیابی فرسایش به روش BLM و انجام آنالیز همبستگی مورد بررسی قرار گرفت.

معرفی گونه های مناسب حفاظت خاک

جهت معرفی گونه های مناسب حفاظت خاک علاوه بر ویژگی‌های فلورستیک نظیر شکل زیستی، فرم رویشی، طول عمر، ارزش رجحانی، ارزش دارویی و صنعتی گیاه و تاج پوشش گیاهی به ویژگی‌های

1- Life Forms
2 - Hemicryptophytes
3 - Cryptophytes
4 - Phanerophytes
5 - Chamaephytes
6 - Therophytes
7- Annual
8- Perennial
9- Growth habits
1 - Herbs 0
1 - Shrubs 1
1 - Trees 2
1 - Palatability 3
1 - Decreaser 4
1 - Increaser 5
1 - Invader 6

فیزیکی خود گیاه و مقاومت فنولوژیکی گیاه به تنش‌های محیطی نیز برر سی شد. مهمترین پارامتر در این مورد، وسعت و تراکم تاج پوشش هر گونه گیاهی می‌باشد. این پارامتر به دو صورت ارزیابی شد: ۱- میانگین تاج پو شش هر فرد از یک گونه (شاخص میانگین تاج پو شش یک فرد) و ۲- متو سط کل تاج پو شش افراد هر گونه گیاهی در کل منطقه (شاخص تاج پو شش افراد یک گونه گیاهی) در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

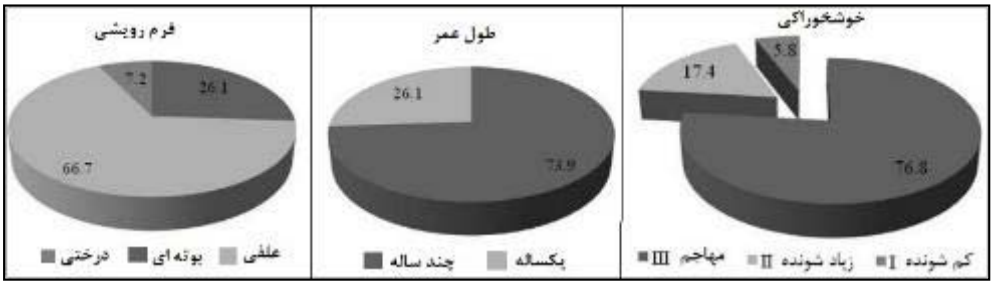
مجموعا ۶۹ گونه از ۵۷ جنس و ۲۰ خانواده در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. گونه‌های گیاهی موجود در عرصه متناسب با نیاز اکولوژیک خود و مدیریت اعمال شده در طی سالیان متمادی، اجتماعات متفاوتی را تشکیل داده اند. از مجموع ۲۰ خانواده گیاهی، به ترتیب خانواده Asteraceae با داشتن ۱۲ جنس و ۱۴ گونه، Lamiaceae با داشتن ۷ جنس و ۸ گونه و Poaceae با داشتن ۵ جنس و ۷ گونه جزء بزرگترین خانواده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند و از تنوع گونه‌ای بیشتری برخوردار می‌باشند. فراوانی زیاد خانواده Asteraceae به عنوان بزرگترین خانواده گیاهی در منطقه، می‌تواند به علت درصد تخریب بالای پوشش‌گیاهی در عرصه باشد (خواجه الدین و یگانه، ۱۳۹۱؛ کارگر و همکاران, ۲۰۱۷). گونه های غالب در منطقه بو ته های کو تاه *Artemisia sieberi* می‌باشد.

تعداد کم گونه‌های معرفی شده در این منطقه به علل وسعت منطقه و چرای مفرط دام و تخریب اراضی در قسمتهایی از منطقه باشد. همچنین در این مطالعه بیشترین تمرکز بر روی گونه‌های دائمی و مرتعی بوده لذا برخی از گونه‌های غیر مرتعی بررسی نگردید. البته با مقایسه فلور این منطقه با مناطق مشابه و همجوار (خواجه الدین و یگانه، ۱۳۹۱؛ عباسی و همکاران،۱۳۹۱؛ عصری، ۱۳۸۷؛ کارگر و همکاران، ۲۰۱۷)، شباهت‌ها و اشتراکات زیادی مخصوصا در مورد خانواده‌های و جنس‌های اصلی، گونه‌های غالب و دائمی، فرم‌های رویشی، شکل‌های زیستی و پراکنش جغرافیایی عنا صر گیاهی تشکیل دهنده وجود دارد. حضور زیاد گونه‌های دایمی نشان از سازگاری گونه‌های چندساله با شرایط آب و هوایی و ادافیکی منطقه دارد. نکته قابل ملاحظه در لیست فلور منطقه این بود که از کل گونه‌های شناسایی شده در حدود ۳۰ گونه گیاهی (۴۳/۵٪) دارای خ صو صیات دارویی می‌با شند که ن شان از پتان سیل بالای فلور منطقه دارد.

بیشترین تعداد گونه مربوط به جنس‌های *Astragalus* (با ۴ گونه)، *Bromus* و *Alyssum* (با ۳ گونه)، *Centaurea* و *Alyssum* و *Acantholimon* (با ۴ گونه) می‌با شد. همچنین ۴۶ جنس تنها دارای یک گونه گیاهی می‌باشند. فرم رویشی علفی با ۴۶ گونه گیاهی (۶۷٪) به عنوان فرم غالب در منطقه مطرح می‌باشد. همچنین ۱۷ گونه با فرم رویشی بوته‌ای و تنها ۵ گونه درختچه‌ای (۳ درصد) در منطقه

شناسایی شد. مطالعات نشان می‌دهد که در زمان‌های گذشته، برخی از گونه‌های چوبی جمعیت بیشتری داشته و به علت قطع برای هیزم فقط تعدادی پایه محدود باقی مانده است. کلیماکس این مناطق در گذ شته نه چندان دور درختچه زار بوده که به علت تخریب شدید از بین رفته و بقایای آن هم در حال تخریب است (Zohary و همکاران، ۱۹۷۳).

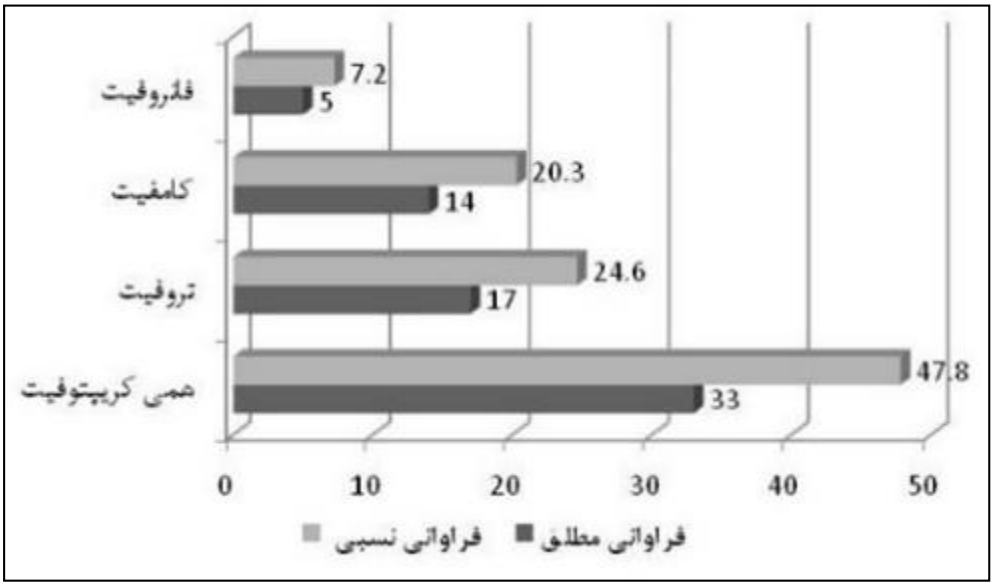
در این منطقه ۵۱ گونه دایمی وجود دارد و سهم گونه‌های یک ساله فقط ۱۸ گونه می‌باشد. حضور زیاد گونه‌های دایمی نشان از سازگاری گونه‌های چندساله با شرایط آب و هوایی و ادافیکی منطقه دارد (Kargar و هم کاران، ۲۰۱۷). از کل گو نه های موجود در منط قه م طال عاتی تن ها ۲۳٪ در کلاس گونه‌هایی با خوشخوراکی زیاد و متوسط قرار دارند و اکثرا جزء گونه‌های غیر خوشخوراک می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- فراوانی نسبی (درصد) گونه‌های بر اساس فرم رویشی، طول عمر و خوشخوراکی

اشکال زیستی همی کریپتوفیت و تروفیت به ترتیب با اختصاص ۴۷/۸٪ و ۲۴/۶٪ از گونه‌های گیاهی شناسایی شده، مهم ترین اشکال زیستی در منطقه می‌باشند. بیشتر عناصر گیاهی تشکیل دهنده فلور منطقه دارای شکل رویشی همی کریپتوفیت (۴۷/۸٪) می‌باشند که نشان دهنده اقلیم سرد و کوهستانی است. حضور زیاد همی کریپتوفیت‌ها بدین علت است که گیاهانی با این شکل زیستی، نسبت به شرایط سخت محیطی مانند کمبود آب و کاهش ر شد رویشی بهتر تطبیق می‌یابند.این نتیجه در سایر مناطق مشابه نیز حاصل شده است. عباسی و همکاران (۱۳۹۱) بیان کرد ۴۴/۷٪ از عناصر گیاهی مناطق استپی دارای شکل زیستی همی کریپتوفیت هستند. شکل زیستی کامئوفیت با فراوانی ۲۰٪ گونه‌های خاردار و بالشتکی از جنس‌هایی مانند *Astragalus* و *Acanthophyllum* را شامل می‌شود. وجود این جنس‌ها در تثبیت خاک و کنترل فرسایش نقش مهمی ایفا می‌نمایند. فراوانی شکل زیستی تروفیت به علت عواملی نظیر تخریب‌های منطقه، کمی بارندگی، خشکسالی‌های اخیر و کوتاه بودن فصل رویش می‌باشد (Kargar و همکاران، ۲۰۱۷).

گونه *Astragalus gossypinus* با حضور در ۱۲ ایستگاه و با فراوانی ۶۰٪ و گونه *Scariola orientalis* با حضور در ۱۰ ایستگاه و با فراوانی ۵۰٪ و همچنین گونه *Cousinia sp* با حضور در ۱۰ ایستگاه و با فراوانی ۵۰٪ بیشترین فراوانی را در بین کل گونه‌های بررسی شده دارا بودند که این موضوع نشان دهنده میدان اکولوژیکی وسیع این دو گونه می‌باشد. لذا این گونه‌ها به صورت همراه و یا اجتماعات مجزا در کل منطقه گسترش دارند. گونه *Hulthemia persica* و *Pteropyrum olivieri* هر کدام به ترتیب با اختصاص ۲۳/۳۹٪ و ۱۳/۲۴٪ از تاج پوشش‌گیاهی در کوادرات‌ها و حضور در ۹ و ۵ ایستگاه مطالعاتی به عنوان تاثیر گذارترین گونه‌ها در طبقه‌بندی پوشش‌گیاهی منطقه مطالعاتی مطرح می‌باشند.



شکل ۳- درصد فرم زیستی گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه

بررسی رابطه فرسایش خاک و پوشش گیاهی

در مجموع نتایج وضعیت فرسایش به روش BLM نشان داد ۶۵ درصد از سطح منطقه دارای فرسایش زیاد و متوسط می باشد که نشان از بالا بودن عوامل تخریب و فرسایش در منطقه دارد. ۳۵ درصد از عرصه‌های مرتعی نیز دارای فرسایش جزیی تا کم می باشند. در جدول شماره ۱ انالیز همبستگی صورت گرفته بر روی عوامل و شاخص‌های مختلف مربوط به پارامتر های پوشش سطح خاک و وضعیت فرسایش در منطقه ارائه شده است.

جدول ۱ - انالیز همبستگی بر روی عوامل و شاخص‌های مختلف وضعیت فرسایش و مرتع در منطقه

	وضعیت فرسایش	وضعیت مرتع	خاک لخت	سنگ و سنگریزه	لاشبرگ	تاج پوشش
وضعیت فرسایش	1					
وضعیت مرتع	-0.72*	1				
خاک لخت	0.87*	-0.38	1			
سنگ و سنگریزه	-0.39	-0.04	-0.73*	1		
لاشبرگ	-0.98**	0.74*	-0.79*	0.21	1	
تاج پوشش	-0.94**	0.53	-0.90**	0.38	0.93**	1

آنالیز همبستگی نشان داد وضعیت فرسایش با عواملی نظیر تاج پوشش و لاشبرگ گیاهی و خاک لخت و نیز عامل وضعیت مرتع همبستگی بالایی دارند. در منطقه مورد مطالعه رابطه معکوسی بین تاج پوشش گیاهی و فرسایش وجود دارد و با کاهش تاج‌پوشش میزان فرسایش افزایش می‌یابد که با نتایج شهبازی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد. مطالعات رستگار وهمکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد رابطه عکس و قوی بین افزایش تراکم پوشش گیاهی و حجم رواناب و رسوب وجود دارد. سکوتی اسکوئی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بر روی رابطه معکوس پوشش و خاک لخت تأکید داشتند. پوشش گیاهی با ایجاد ناهمواری در سطح زمین باعث جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح زمین شده که نتیجه آن کاهش تبخیر و حفاظت از رطوبت خاک و متعاقبا کاهش فرسایش می باشد (Suter-Burri و همکاران، ۲۰۱۳).

عوامل متعددی اقلیمی و محیطی بر فرسایش تأثیرگذارند که مهم‌ترین آن‌ها پوشش‌گیاهی می باشد (Baumgertel و همکاران، ۲۰۱۹). تخریب پوشش‌گیاهی در منطقه مطالعاتی اثر بالایی بر افزایش فرسایش بویژه در اراضی تخریب شده دارد. بر اساس نتیجه‌گیری والنتاین و همکاران (۲۰۰۵)، در بیشتر موارد عواملی نظیر کشت و سیستم‌های نامناسب آبیاری، چرای مفرط، و ساخت جاده باعث تشدید فرسایش می شود. در مجموع نتایج نشان داد تاج پوشش گیاهی و لاشبرگ نقش زیادی در حفاظت خاک دارند که با یافته های مانسون و همکاران (۲۰۱۱) دارد. آنها دریافتند که میزان حفاظت خاک به خصوصیات پوشش گیاهی همچون درصد پوشش، لاشبرگ و ارتفاع آن بستگی دارد (Munson و همکاران، ۲۰۱۱).

معرفی گونه‌های گیاهی بومی مناسب برای احیاء پوشش گیاهی

بر اساس بررسی فلور منطقه و مشاهدات عینی، و نیز در نظر گرفتن وضعیت فرسایش در منطقه و توجه به پارامتر های مهم گیاهی نظیر درصد تاج پوشش، فراوانی، وفور و قدرت گیاه در تثبت خاک و در نهایت توجه به جنبه دارویی و اقتصادی گیاه و غیره لیست گونه‌های بومی مناسب برای توسعه پوشش گیاهی منطقه به تفکیک بر ا ساس شکل زی ستی و فرم رویـ شی ارائه گردید. در جدول ۲ لی ست گونه های مناسب با شکل زیستی فانروفیت و فرم رویشی درختی که قابلیت بالایی جهت مبارزه با فرسایش دارند با اولویت اول تا چهارم ارائه شده است.

جدول ۲ - لیست گونه‌های بومی درختی مناسب جهت احیاء بیولوژیکی منطقه

ردیف	نام علمی گونه	نام فارسی	ویژگی‌های حفاظتی	قسمتهای مورد استفاده
۱	*Pteropyrum olivieri*	پرند	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های عمقی- فراوانی زیاد در فلور و فرم رویشی	-
۲	*Amygdalus lycioides*	بادام	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های عمقی- فراوانی زیاد در فلور و فرم رویشی درختی و خواص دارویی	دانه
۳	*Celtis caucasica*	تادار، درخت تا	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های عمقی- فرم رویشی درختی و خواص دارویی	پوست تنه، دانه
۴	*Berberis integerima Bunge*	زرشک	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های عمقی- فرم رویشی درختی و خواص دارویی	میوه، برگ، پوست

در بین فرم‌های رویشی مختلف موجود در منطقه، فرم رویشی درختی و درختچه‌ای موثرترین گونه‌های گیاهی برای کاهش فرسایش و حفاظت خاک می‌باشند. جهان‌تیغ (۱۳۹۹) نیز دریافت درختچه گز به طور متوسط سالانه ۳/۳ متر مرع از خاک را حفاظت می‌کند. یکی از گونه‌های درختچه‌ای که قابلیت مناسبی برای حفاظت خاک در منطقه دارد گونه بادام وحشی است. این گونه در خاک‌های کمتر تکامل یافته به خوبی م ستقر می شود تحقیقات دیگر نیز ن شان داده که معمولا بی شترین تراکم نهال بادام در اراضی سنگلاخی دامنه طبقه ارتفاعی بالاتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است (حسینی و همکاران

۱۳۹۶). پو شش گیاهی درختی، علاوه بر اینکه باعث حفاظت خاک می شود با تأثیر بر محیط فیزیکی منطقه، میکروکلیمایی در اطراف خود ایجاد میکند که زمینه منا سبی برای رویش گیاهان ح ساس به خشکی و باد فراهم می‌نماید (Vaezi and Sahandi, 2020).

حضـــور گونه درختچه ای پرند (*Pteropyrum olivieri*) در برخی از گروه‌های گیاهی منطقه بویژه در آبراهه‌ها و آبرفت‌های پایین‌د ست آن باعث کاهش معنی‌دار فر سایش بدلیل افزایش تاج پو شش گیاهی شده ا ست. تحقیقات دیگر ن شان داده که گونه پرند از گونه‌های منا سب برای احیاء مناطق خ شک به حساب می آید و بدلیل استقرار در اراضی و خاک‌های تکامل نیافته بویژه خاک‌های شنی قابلیت بالایی در احیاء مناطق تخریب شـــده دارد (رفیعی، ۱۳۸۹) در مجموع حفظ گونه‌های پایا و بومی در داخل آبراهه‌ها مهمترین راهکار جهت کنترل تخریب و فرســـایش در داخل آبراهه‌ها و متعاقبا اراضـــی پایین دست می‌باشد.

در جدول ۳ لیست گونه‌های بومی با شکل‌زیستی کامفیت و فرم رویشی بوته ای که قابلیت بالایی جهت مبارزه با فرسایش دارند با اولویت اول تا ششم ارائه شده است. لازم به توضیح است این شکل زیستی از مقاومت بالایی در برابر تنش‌های محیطی برخوردار است.

جدول ۳ - لیست گونه‌های بومی بوته ای مناسب با فرم رویشی کامفیت جهت احیاء بیولوژیکی منطقه

ردیف	نام علمی گونه	نام فارسی	ویژگی‌های حفاظتی	قسمتهای مورد استفاده دارویی
۱	*Artemisia sieberi Besser.*	درمنه دشتی	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های سطحی و عمقی-فراوانی و تراکم و وفور زیاد در فلور - خاصیت دارویی-مقاوم به تنش‌های محیطی	سرشاخه گلدار
۲	*Astragalus gossypinus Fisch*	گون پنبه	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های سطحی و عمقی- لاشبرگ زیاد و فراوانی در فلور- خواص دارویی- مقاوم به تنش‌های محیطی	صمغ ساقه
۳	*Capparis spinosa L.*	کول یا علف مار	تاج پوشش گسترده- ریشه‌های سطحی و عمقی- لاشبرگ زیاد و قابلیت استقرار در عرصه‌های تخریبی- خواص دارویی	پوست ریشه
۴	*Thymus kotschyanus Boiss. & Hohen.*	آویشن	تاج پوشش، فراوانی و وفور مناسب-خواص دارویی- مقاوم به تنش‌های محیطی	سرشاخه گلدار
۵	*Dendrostellera lessertii (Wikstr.) Van Tigeh*	سیاه گینه	تاج پوشش، فراوانی مناسب-شکل زیستی مقاوم به تنش محیطی	-
۶	*Scariola orientalis (Boiss.) Sojak*	جاز - جارو	فراوانی زیاد -شکل زیستی مقاوم به تنش- های محیطی	-

در این تحقیق خواص دارویی و صنعتی به عنوان یکی از معیارهای مهم جهت انتخاب گونه لحاظ شد. گیاه آویشن از جمله گیاهان دارویی و علوفه‌ای است که سیستم ریشه‌ای و اندام‌هوایی آن نقش مهمی در کنترل فرسایش دارد. این گونه با ارزش به دلیل بوته‌کنی و چرای‌زودرس درحال انقراض است. سرمای زمستانه از عوامل مهم رشد این گونه‌گیاهی است (اروین و همکاران، ۱۳۹۹). با این وجود ترکیبات شیمیایی آن در افزایش مقاومت به خشکی نقش مهمی دارند. بدلیل بهره‌برداری بی رویه از این گونه احتمال انقراض آن در آینده وجود دارد، لذا تحقیقات زیادی جهت بالا بردن مقاومت ان در برابر خشکی و نیز افزایش کشت و اهلی سازی ان صورت گرفته است. خاقانی و همکاران (۱۳۹۹) بیان داشتند اقداماتی نظیر استفاه از مواد شیمیایی مانند سالیسیلیک اسید به عنوان تنظیم کننده گیاهی باعث افزایش مقاومت به خشکی و مواد طبیعی مثل زئولیت باعث بهبود باروری و اصلاح فیزیکی و شیمیایی خاک و و افزایش نگهداری آب در خاک و در مجموع این قبیل اقدامات باعث بهبود صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن بوته و سطح برگ می‌شود. در جدول ۴ لیست گونه‌های بومی با شکل زیستی همی کریپتوفیت و فرم رویشی علفی که قابلیت بالایی جهت مبارزه با فرسایش دارند بترتیب اولویت اول تا ششم ارائه شده است.

جدول ۴ - لیست گونه‌های بومی علفی مناسب با فرم رویشی همی کریپتوفیت جهت احیاء بیولوژیکی منطقه

ردیف	نام علمی گونه	نام فارسی	ویژگی‌های حفاظتی	قسمتهای مورد استفاده دارویی
۱	*Alhagi camelorum Fisch.*	خارشتر	تاج پوشش، فراوانی و وفور مناسب-خواص دارویی	اندامهای هوایی
۲	*Onopordon acanthium*	خارزن بابا	تاج پوشش، فراوانی و وفور مناسب-خواص دارویی	ریشه، میوه، اندامهای هوایی
۳	*Peganum harmala L*	اسفند	فراوانی-خواص دارویی و اقتصادی	دانه
۴	*Eryngium billardieri F. Delaroche*	زول	فراوانی-خواص دارویی و اقتصادی	اندامهای هوایی
۵	*Ferula persica*	کما	خوشخوراکی-خواص دارویی و اقتصادی	لاتکس
۶	*Achillea sp.*	بومادران	خواص دارویی و اقتصادی	گل اذین

در نهایت به عنوان اولویت نهایی در جدول ۵ لیست گونه‌های بومی با شکل زیستی تروفیت و فرم رویشی علفی که قابلیت بالایی جهت مبارزه با فرسایش دارند بترتیب اولویت اول تا سوم ارائه شده

است. این شکل زیستی بدلیل تولید بذر به تنش‌های محیطی بسیار مقاوم هستند. البته دو اولویت آخر بدلیل یکساله بودن فقط در شرایط موقت قابل استفاده می باشند.

جدول ۵ - لیست گونه‌های بومی علفی مناسب با فرم رویشی همی کریپتوفیت جهت احیاء بیولوژیکی منطقه

ردیف	نام علمی گونه	نام فارسی	ویژگی‌های حفاظتی	پایایی
۱	*Carthamus oxyacantha M. Bieb.*	گلرنگ	تاج پوشش، فراوانی و وفور مناسب-خواص دارویی	چند ساله
۲	*Lactuca scarioides Boiss*	گاو چاق کن	تاج پوشش، فراوانی و وفور مناسب-خواص دارویی	یک ساله
۳	*Tribulus terrestris L.*	خار خسک	خواص دارویی و اقتصادی	یک ساله

در این تحقیق بمنظور احیاء پوشش‌گیاهی منطقه مطالعاتی گونه‌های بومی توصیه شد. تحقیقات نشان داده که گونه های بومی بهترین منابع جهت استفاده در پروژه های بیولوژیک احیایی می باشند زیرا احتمال موفقیت گونه‌های غیربومی در توسعه پوشش‌گیاهی بسیار کمتر است. همچنین گونه های بومی نسبت به گونه های غیربومی از سازگاری بالایی بویژه در شرایط نامناسب خاکی و اقلیمی برخوردار می‌با شند.گوکتورک[1]و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تحقیق خود تاکید بر تو سعه گیاهان بومی جهت مقابله با فرسایش داشته اند. اندرو[2]و همکاران (۱۹۹۴) نیز دریافتند بهترین عامل کنترل رواناب بوته های طبیعی مستقر در هر منطقه می‌باشند.

نوع پو شش گیاهی اثرات متفاوتی بر حفاظت از خاک دارد. به طوری که گیاهان علفی تأثیر زیادی بر حفاظت خاک دارند (Zhang و همکاران، ۲۰۲۰). در این تحقیق برخی از گونه‌های گیاهی یکساله علفی نیز جهت حفاظت خاک معرفی شدند. گیاهان یکساله گاها ارزش غذایی و میزان پروتئین بیشتری دارند و در بسیاری از مناطق ایران گونه‌های یک ساله نقش تعیین کننده‌تری در حفاظت اکولوژیکی ایفا می نمایند (زینلی، ۱۳۹۸). برخی گیاهان یکساله بدلیل شرایط رویشی و تکثیر سریع و آسان قابلیت بالایی جهت افزایش پوشش گیاهی و متعاقبا کاهش فرسایش دارند. البته در این تحقیق گونه های یکساله با خاصیت دارویی مورد تاکید بودند.

1- Gökturk
2- Andreu

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اصلی ترین اقدام در خصوص شناسایی گونه‌های مناسب برای حفاظت خاک و آب مطالعه کامل و دقیق ترکیب فلوریستیک و ویژگی‌های مختلف اکولوژیکی منطقه از نظر فرسایش خاک می‌باشد. با این اقدام موجبات معرفی گونه‌های بومی سازگار با شرایط محیطی منطقه و متعاقبا احیاء و توسعه پایدار پوشش گیاهی منطقه محیا میشود و ضریب موفقیت طرح‌های توسعه‌ای و حفاظتی بالا خواهد رفت.

بهترین و مناسب ترین گونه ها برای احیاء پوشش گیاهی هر منطقه گونه‌های ارزشمند منطقه کلیماکس یا همان گونه‌های کم‌شونده می‌باشند. ولی تخریب شدید پوشش گیاهی، عدم وجود مناطقی با قرق طولانی مدت و نبود اطلاعات از پوشش گیاهی کلیماکس منطقه باعث شده تعیین گونه‌های کلیماکس در منطقه امکانپذیر نباشد. لذا بهترین اقدام احیائی استفاده از پتانسیل‌های موجود در پوشش گیاهی مستقر در منطقه است.

چرای مفرط و بهره برداری بیش از حد انسان یکی از مهمترین عوامل تخریب سرزمین در منطقه مطالعاتی و دیگر مناطق دامنه های جنوبی البز ا ست. این پدیده متعاقبا باعث افزایش فرسایش خاک و تخریب منطقه شده است. لذا یکی ازپروژه‌های مهم احیایی در منطقه، پروژه قرق و سپس اجرای پروژه های بیولوژیک می باشد. دام مازاد بر ظرفیت باعث فشار چرا شدید در منطقه شده است. لذا ابتدایی‌ترین و تنها راه جهت احیاء منطقه حذف دام مازاد است. همچنین با توجه به اینکه در مراتع همجوار نیز فشار چرا شدید وجود دارد لذا امکان انتقال دام مازاد به مناطق همجوار وجود ندارد.

همچنین در تحقیقات بعدی و پس از قرق طولانی مدت منطقه تغییرات پوشش گیاهی مجددا مطالعه و در پروژه-های احیائی بعد بازنگری شود.

منابع

- آروین، ع.، م. خداقلی، و س. موذنی. ۱۳۹۹. بررسی زیست اقلیمی آویشن دنایی (*Thymus strobilaceum*) در استان اصفهان. مرتع و آبخیزداری؛ ۷۳ (۲): ۲۵۷-۲۷۲.
- برخورداری، ج.، ح.ر. پیروان، ص. شادفر، ع.ب. میرجلیلی، و م. هاتفی. ۱۴۰۰. بررسی نقش گونه های مرتعی در حفاظت سازندهای مارنی از فرسایش در شهرستان اردکان – استان یزد. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۹ (۳۳): ۳۹-۴۵.
- جهان تیغ، م.، و م. جهان تیغ. ۱۳۹۹. بررسی وضعیت فرسایش بادی و شناسایی گونه های مناسب حفاظت خاک (منطقه مورد مطالعه قرقری سیستان). تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۱ (۲): ۵۹-۶۸.
- حسینی، ا.، م. جعفری، ع. نجفی فر، و ج. رضایی. ۱۳۹۶.ارزیابی و شناخت وضعیت زادآوری دانه زاد زالزالک، آلبالو وحشی و ارزن در جنگل‌های زاگرس مرکزی (مطالعه موردی: جنگل‌های دالاب استان ایلام). بوم شناسی جنگل‌های ایران، ۵ (۱۰): ۴۲-۵۲.

- خاقانی، س.، ح. آذرنیوند، م. جعفری، ع. ملافیلابی، و ع. طویلی. ۱۳۹۹. ارزیابی سطوح مختلف سالیسیلیک و اسید زئولیت بر تعدادی از شاخص های رشد گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus*) تحت شرایط تنش خشکی. مرتع و آبخیزداری، ۷۳ (۱): ۴۹-۶۳.
- خواجه الدین، س.ج. و ح. یگانه. ۱۳۹۱. معرفی فهرست، شکل زیستی و گونه‌های در معرض خطر منطقه شکار ممنوع کرکس. مجله زیست شناسی ایران، جلد ۲۵، شماره ۱: ۷-۲۰.
- دفتر فنی مرتع. ۱۳۶۱. کد گیاهان مرتعی ایران. کمیته نشر و تبلیغات سازمان جنگلها و مراتع کشور.
- رستگار، ش.، ح. بارانی، ع. دریجانی, ج. واحد بردی شیخ، و م. قربانی. ۱۳۹۳. مقایسهٔ میزان هدر رفت خاک و رسوب برخی سازندهای زمین‌شناسی در گرادیان‌های پوشش گیاهی با استفاده از شبیه ساز باران، مطالعهٔ موردی: مراتع ییلاقی بلده نور استان مازندران نشریه مرتع و آبخیزداری مجله منابع طبیعی دوره ۶۷ شماره ۱ بهار ۱۳۹۳ ص ۳۱-۴۴
- رفیعی، ز. ۱۳۸۹. بررسی برخی از ویژگی‌های اکولوژیکی درختچه پرند (*Pteropyrum aucheri*) و قابلیت آن در احیای مناطق خشک در استان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی.
- زینلی، ح.، م. هادی پور, آ. آرتی, م. صادقی، و ح. بارانی. ۱۳۹۸. بررسی تنوع پروتئین و میزان بیان پپتیدهای متفاوت در اکوتیپ های گیاه ناخنک (*Astragalus hamosus* L) با استفاده از روش SDS-PAGE. تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، ۲۷ (۲): ۱۹۳-۲۰۳.
- سکوتی اسکویی، ر.، ح.ر. پیروان, ا. بروشکه, ش. ییلاقی, ا. احمدی, و ش. عابدی. ۱۳۹۷. بررسی نقش گونه‌های مرتعی مستقر بر روی سازندهای مارنی در کنترل فرسایش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهرستان خوی)، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. شماره ثبت ۵۴۷۸۹ مورخ ۱۳۹۷/۱۰/۱۶، ۱۱۲ صفحه.
- شهبازی، خ.، ع. سلاجقه، م. جعفری، و م. خسروشاهی. ۱۳۹۸. مقایسهٔ آستانهٔ توپوگرافی فرسایش خندقی در کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر در منطقهٔ قصرشیرین. مرتع و آبخیزداری، ۷۲ (۱): ۳۰-۳۹.
- عباسی، ش.، س. افشارزاده، و ع. مهاجری. ۱۳۹۱. بررسی فلور، شکل‌های رویشی و انتشار جغرافیایی عناصر گیاهی منطقه مرتعی یحیی آباد (نطنز). مجله زیست شناسی گیاهی، ۱۱ (۴): ۱-۱۲.
- عصری، ی. ۱۳۸۷. تنوع گیاهی در پناهگاه حیات وحش موته. مجله رُستنی‌ها، ۹ (۱): ۲۵-۴۸.
- Andreu, V., J.L. Rubio, and R.Cerni. 1994. Use of a shrub (Medicago arborea) to control water erosion on steep slopes. Soil Use and Management, 10 (3): 95-99.
- Baumgertel, A., S. Luki, Belanovi, S. Simi and R. Kadovi. 2019. Identifying Areas Sensitive toWind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia), journal of applied sciences, 9(51): 1-12.

- Cerdà, A. M.E. Lucas-Borja, I. Franch-Pardo, X. Úbeda, A. M. Novara, Z. López-Vicente, and M. Popović, Pulido, (2021). The role of plant species on runoff and soil erosion in a Mediterranean shrubland. Science of the Total Environment, 799: 149218.
- Gokturk, A., Z. Olmez, and F. Temel. 2006. Some Native Plants for Erosion Control Efforts in Coruh River Valley, Artvin, Turkey. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9 (4): 667-673.
- Holechek J.L., R.D, Pieper. and C.H. Herbel. 1998. Range Management: Principles and Practices (3rd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 189–210.
- Kargar Chigani, H., S. Javadi, G.Zahedi-Amiri, S. Khajeddin, and M. Jafari. 2017. THE FLORISTIC COMPOSITION AND BIOLOGICAL SPECTRUM OF VEGETATION IN THE MEYMEH REGION OF NORTHERN ISFAHAN PROVINCE, IRAN. Applied Ecology and Environmental Reserch, 15(1): 415-428.
- Munson, S.M., J. Belnap and G. Okin. 2011. Responses of wind erosion to climate induced vegetation changes on the Colorado Plateau. P Natl Acad Sci USA. 108: 3854-3859.
- Raunkiaar, C., 1934. Life forms of Plants. University Press, Oxford.
- Suter-Burri, K., Ch. Gromke, K.C. Leonard and F. Graf. 2013. Spatial patterns of Aeolian sediment deposition in vegetation canopies: Observations from wind tunnel experiments using colored sand. Aeolian Research, 8: 65-73.
- Vaezi, A.R. and K.H. Sahandi. 2020. Effect of Soil Structure Breakdown on Splash Erosion in Different Soil Textures, Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering, 14(48): 11-21.
- Valentin, C., J. Poesen, and G. Li. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. CATENA, 63; 132–153.
- Zhang, N., Q. LI. Zhang, Y. Zeng, C. Chang, Y. Xu and C. Huang. 2020. Effect of Groundcovers on Reducing Soil Erosion and Non-Point Source Pollution in Citrus Orchards on Red Soil Under Frequent Heavy Rainfall, Sustainability, 12: 2-16
- Zohary, M. 1973. Geobotanical Foundation of the Middle-East. Department of Botany, Gustav Fischer

تحلیل خشکسالی‌های زیرحوزه آبخیز زاینده‌رود تحت سناریوهای تغییراقلیم

مسعود گودرزی*[۱]، معصومه بحری[۲]
۱*-دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی *m.goodarzi@areeo.ac.ir*
۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه یزد

چکیده

مطالعه تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر شدت و تواتر خشکسالی‌های دهه‌های آتی می‌تواند به برنامه‌ریزی جهت استفاده صحیح منابع آب و سازگاری با آثار مخرب پدیده خشکسالی کمک شایانی نماید. در این تحقیق به ارزیابی تغییرات اقلیمی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و اثر آن بر خشکسالی حوزه آبخیز اسکندری (یکی از شاخه های اصلی زاینده رود) پرداخته شده‌است. بدین منظور پس از ارزیابی توانایی LARS-WG در شبیه‌سازی دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۵ بر اساس سناریوی پایه، اقدام به ریزمقیاس‌نمایی برون‌دادهای مدلHadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 و پیش‌بینی دمای حداقل، حداکثر و بارش و بررسی شاخص خشکسالی SPI شده است. بر اساس سناریوهای A2 و B1 دمای حداقل افزایش ۰/۳ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد را در ماههای مارس، ژوئن، ژوئیه و سپتامبر خواهد داشت. بیشترین و کم‌ترین افزایش دمای حداکثر به ترتیب مربوط به می و فوریه به میزان ۱/۶ و ۰/۰۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج نشان از افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی متوسط بارش سالانه دارد اما از آنجایی که تعداد روزهای تر افزایشی نخواهند داشت بنابرین بر شدت بارشهای حدی افزوده می‌گردد. بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماههای آوریل و می بوده و با توجه به اینکه این کمبود بارندگی با تأخیر چند ماهه نمود پیدا می‌کند، شدیدترین خشکسالی با توجه به SPI ۶ ماهه مربوط به آگوست و شدیدترین خشکسالی بر اساس SPI ۱۲ ماهه متعلق به دسامبر است.

واژه‌های کلیدی:
تغییراقلیم، خشکسالی، ریزمقیاس‌نمایی، HadCM3، LARS-WG، SPI.

مقدمه

به اقلیم از اجزای مهم اکوسیتم محسوب می‌گردد، بدین علت تغییرات هرچند ناچیز آن اجزای مختلف اکوسیستم را متاثر می‌سازد. تغییراقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی و صنعتی شدن کشورهاست که منجر به افزایش دمای کره زمین و افزایش بلایای طبیعی همانند سیل، خشکسالی، طوفان و گردو غبار می‌شود. محققین معتقدند معتربرترین ابزار جهت بررسی پدیده

تغییراقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوسی[3]می‌باشد (IPCC، ۱۹۹۵). این مدل‌ها که بر پایه قوانین فیزیکی و دینامیکی استوارند، پارامترهای جوی و اقیانوسی را با استفاده از سناریوهای تایید شده هیئت بین‌الدول تغییراقلیم[4]مدلسازی می‌نمایند (Massah Bavani و Morid، ۲۰۰۶).ضعف مدل‌های مذکور عدم توانایی آن‌ها در مدلسازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد (Babayian و kouhi، ۲۰۱۲). جهت رفع این کاستی، خروجی مدل‌ها ریزمقیاس می‌شوند. ریزمقیاس‌نمایی به دو روش دینامیکی و آماری صورت می‌گیرد. در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی، معادلات حرکت هوا در شبکه‌های نامنظم افقی و قائم از سطح زمین تا ارتفاع حدود استراتوسفر حل می‌شود. در روش ریزمقیاس نمایی آماری رفتار پارامترهای اقلیمی دوره مشاهداتی به آینده تعمیم داده شده، به گونه‌ای که با اعمال این رفتار به خروجی مدل گردش عمومی جو[5]در دوره آینده، اقلیم ایستگاه مطالعاتی در مقیاس زمان و مکان پیش‌بینی می‌شود. روش‌های آماری به پارامترهای کم‌تری نیاز داشته، به همین دلیل بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Alizadeh و همکاران، ۲۰۱۰). مولدهای وضع هوا[6]از مهم‌ترین روش‌های آماری جهت ریزمقیاس نمایی می‌باشند. این مدل‌ها سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی نظیر بارندگی، دما و تابش خورشیدی را تولید و شبیه‌سازی می کنند. تاکنون مدل‌های مولد وضع هوا متعددی نظیر ClimGen، LARS-WG، MET & ROLL و غیره جهت مدلسازی رفتار اقلیم در دوره‌های آتی توسعه یافته و توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. Won Jung و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات اقلیمی را در دو حوضه واقع در شمال شرقی آمریکا با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی هشت مدل اقلیمی بررسی نمودند. Silberstein و همکاران (۲۰۱۲)، پس از ریزمقیاس‌نمایی ۱۵ مدل GCM، اثرات تغییر دما و بارش بر رواناب ۱۳ حوضه اصلی رودخانه‌های جنوب شرق استرالیا را بررسی نمودند. Charlton و همکاران (۲۰۱۱)، مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی را جهت بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب انگلستان مورد استفاده قرار دادند.

خشکسالی نیز از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد. رخداد خشکسالی که در اثر کمبود بارندگی طی یک دوره زمانی بروز می‌کند، بر بخش‌های مختلف زندگی انسان‌ها تاثیر می‌گذارد. پیش‌بینی خشکسالی یکی از راهکارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح جهت استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی می‌نماید.Moafimadani و همکاران (۲۰۱۲)،

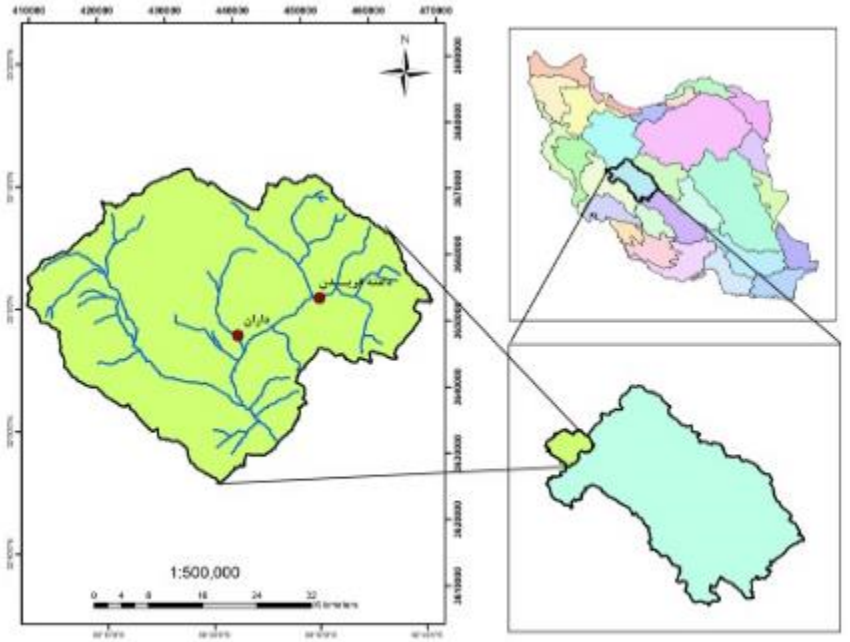
1. Atmospheric-Ocean General Circulation Model(AOGCM)
2. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)
3. Global Circulation Model(GCM)
4. Weather Generator(WG)

Golmohammadi و Massah Bavani (۲۰۱۱) و همچنین Khazanehdari و همکاران(۲۰۰۹) از محققینی بوده‌اند که خشکسالی‌های سال‌های آینده را در نقاط مختلف کشور بررسی نمودند.
هدف از مطالعه پیش‌رو بررسی تغییرات اقلیمی و به دنبال آن بررسی خشکسالی‌های دوره آتی ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ در حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد که از منابع تامین کننده آب رودخانه زاینده رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این پژوهش، حوزه آبخیز اسکندری واقع در بالادست سد زاینده رود و از منابع مهم تامین‌کننده آب این سد می‌باشد. وسعت آن ۱۶۴۹ کیلومترمربع و دارای ارتفاع متوسط وزنی آن ۲۶۲۶ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین طولانی مدت بارش منطقه مطالعاتی ۳۳۹ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه آن ۹/۸ درجه سانتی گراد می‌باشد. در این تحقیق از آمار ایستگاه کلیماتولوژی دامنه فریدن که دارای آمار طولانی‌مدت و ارتفاعی برابر با ارتفاع متوسط وزنی حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد و نیز اطلاعات ایستگاه سینوپتیک داران استفاده شده‌است. شکل ۱ منطقه مطالعاتی در سطح کشور و حوزه آبخیز زاینده‌رود را نشان می‌دهد.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز اسکندری

جدول ۱- میانگین ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر حوزه آبخیز اسکندری در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۶۵

پارامتر / ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میانگین بارش	۴۸/۱	44	61/4	54/2	21/1	1/9	2/5	0/6	0/6	16	42/.4	47/.1	۳۳/۸۹
میانگین دمای حداقل	-۱۰/۴	-8	-2/2	2/8	6/8	10/9	14/2	12/7	7/4	2/.6	-1/8	-6/5	۲/۸
میانگین دمای حداکثر	2/5	4/3	9/4	15/7	21/6	28/4	31/1	30/4	26/5	19/6	11/8	6	۱۷/۲

جدول ۲- میانگین فصلی بارش، دمای حداقل و حداکثر حوزه آبخیز اسکندری در دوره اماری ۲۰۱۸-۱۹۶۵

پارامتر / فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین بارش	78	5/5	104/.8	151/6
میانگین دمای حداقل	6/5	11/2	-1/8	-6/6
میانگین دمای حداکثر	21/7	29	12/5	5/8

۲-۲- مدل اقلیمی و سناریوها

در این مطالعه از یک مدل گردش عمومی جو مرسوم به HadCM3[1] استفاده شده‌است. مدل نامبرده از مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی است و توسط مرکز هادلی انگلستان طراحی شده‌است. قدرت تفکیک این مدل، شبکه ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۷). سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه سناریوی A2 به عنوان یک سناریوی متوسط که نشان دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن بوده و همچنین سناریوی B1 به عنوان سناریوی خوشبینانه میباشد. سناریوی اخیر همگرایی جمعیت در سطح جهان را در دوره های آتی مدنظر قرار داده و تغییر ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک را ارائه می دهد(IPCC، ۲۰۰۷). در مدلسازی، عدم قطعیت‌هایی به علت عدم شناخت کامل فرآیندها در سامانه اقلیمی وجود دارد. در این پژوهش سعی شده است تا عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو با در نظر گرفتن دو سناریو از سری سناریوهای مورد تاییدIPCC شامل سناریوهای A2 و B1 تعدیل گردد.

1. Hadley Center General Circulation Model

۳-۲- مدل ریزمقیاس‌نمایی

جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل HadCM3 از مدل آماری LARS-WG[۸] استفاده شد. این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای کمینه و بیشینه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود ابتدا توسط راسکو و همکاران ارائه و سپس توسط Semenov و همکاران در سال ۱۹۹۸ بازنگری شد. دلیل اصلی تولید این مدل برای غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکف بود که به کرات از آن برای مدلسازی رخداد بارش استفاده شده است.LARS-WG برای شبیه سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش خورشیدی از توزیع‌های نیمه تجربی به فرم کلی زیر استفاده می‌کند:

$$EPM \ @ \sim a_0, a_i; h_i, i \ @ 1,...,10 \¢ \quad (1)$$

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هریک از طبقات در فاصله $a_{i\,01}, a_i$, تعریف می‌شود به طوری که $a_{i\,01}$ و h_i فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام می‌باشد. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه‌تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده گانه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس، با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و به طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. دمای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدلسازی می‌شوند.

جهت بررسی کارایی این مدل در اقالیم مختلف کشور مطالعاتی به شرح زیر صورت گرفته است: Bazrafkan و همکاران (۲۰۰۹)، ۱۵ ایستگاه هواشناسی را در نقاط مختلف کشور بویژه اقلیم خشک و نیمه‌خشک انتخاب نموده و کارایی مدل LARS-WG را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعات مشکوتی و همکاران (۱۳۸۹) در استان گلستان و KhaliliAqdam و همکاران (۲۰۱۳) در ایستگاه سنندج و همچنین Ababayi و همکاران (۲۰۱۱) در ۱۲ ایستگاه ساحل شمال و جنوب ایران، نشان ازبر توانایی مدل مذکور جهت مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط آب و هوایی ایران بوده است.

۴-۲-پایش نوسانات اقلیمی

در مطالعه پیش‌رو ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۵ به عنوان دوره پایه، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز جهت اجرای مدل جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل برای دوره پایه اجرا شده و

2. Long Ashton Research Station-Weather Generator

بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن صورت گرفت. با توجه به این که نتایج حاصل از مدل های اقلیمی صرفا در مناطق آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، مرحله اعتبارسنجی مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت. به منظور اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره پایه تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش و همچنین انحراف‌معیار آن‌ها با داده‌های دیدبانی‌شده ایستگاه مورد مطالعه مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE[9]، MAE[10]، Bias، NSE[11] و همچنین از آزمون آماری K-S[12]جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T.test جهت مقایسه مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی و مدلسازی و مقایسه مقدار احتمالاتی P-value صورت گرفت.پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی برون‌دادهای مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر برای دوره آتی، پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده و تغییرات آن نسبت به دوره گذشته مورد بررسی قرار گرفت.

به علت اینکه در روزهای گرم، نیاز آبی محصولات کشاورزی افزایش یافته و در حالتی که این روزها با خشکسالی عجین شوند، تخصیص آب به بخش کشاورزی به میزان زیادی کاهش خواهد یافت، نیاز به بررسی تعداد روزهای داغ، یخبندان، تر و خشک دوره آتی ضروری است. در این مطالعه پس از محاسبه سری زمانی پارامترهای اقلیمی دهه آتی، تعداد روز داغ[13]که دمای حداکثر آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بوده و روزهای یخبندان[14]که در آن دمای حداقل صفر یا کمتر است (Semenov و همکاران، ۱۹۹۸)، همچنین روز خشک که مقدار بارش آن کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر و روز تر که مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر است (Silberstein و همکاران، ۲۰۱۲) محاسبه و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت.

۵-۲-پایش خشکسالی

در این مطالعه جهت تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI از طبقه بندی ادوارد و مک کی (۱۹۹۷) استفاده شد. بر اساس شاخص SPI دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که در آن

1. Root Mean Square Error
2. Mean Absolute Error
3. Nash- SutcliffeS
4. Chi-Squred
5. Hot day
6. Frost day

مقدار این شاخص به طور پیوسته منفی بوده و مقدار آن ۱- یا کم‌تر باشد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار آن مثبت گردد (McKee و همکاران، ۱۹۹۳). مقیاس‌های زمانی مختلف شاخص SPI به منظور نشان دادن تاثیرات کاهش بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده‌اند. برای مثال تغییر رطوبت خاک واکنشی است در برابر نوسان بارندگی در رابطه با مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، در حالی‌که کاهش آب‌های زیرزمینی، جریانات سطحی و مخازن آب واکنشی است در برابر نوسانات طولانی مدت بارندگی (Shakiba و همکاران، ۲۰۱۰). مک کی و همکاران(۱۹۹۳)، به منظور پایش خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه مدت ۳ و ۶ ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس زمانی بلندمدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای اهداف آبشناسی شاخص مذکور را پیشنهاد دادند. Dupigny-Giroux (۲۰۰۱) بیان داشتند که SPI در مقیاس یک ماهه، شروع شرایط خشکسالی را بهتر نشان می دهد.

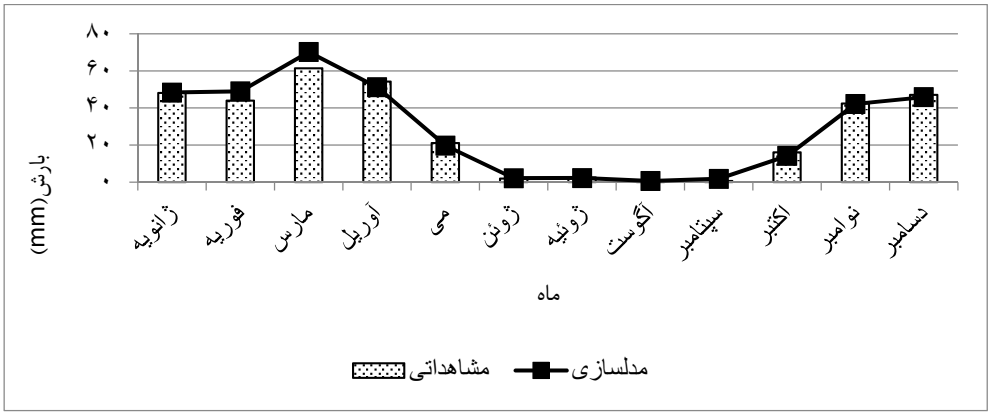
جهت بررسی شرایط دوره‌های خشکسالی و ترسالی و بررسی روند تغییرات آن در دهه آتی بعد از اجرای مدل اقلیمی و تولید پارامتر بارش برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰، با توجه به تاثیر کمبود بارندگی بر هریک از انواع منابع آبی و با هدف بررسی شرایط خشکسالی، شاخص SPI با مقیاس زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه انتخاب شده و به تحلیل خشکسالی های دوره مربوطه پرداخته شد. از آن جا که شاخص خشکسالی در صورتی ابزار مفید برای پایش این پدیده است که بتواند خصوصیات خشکسالی مانند شدت، مدت و گستره مکانی آن را مشخص کند (Hayes، ۱۹۹۹)، برای ارزیابی میزان آسیب پذیری بر اثر خشکسالی سه معیار طولانی ترین دوره(ماه)، تعداد ماه‌های مواجه با خشکی و فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های خشک محاسبه گردید.

نتایج و بحث

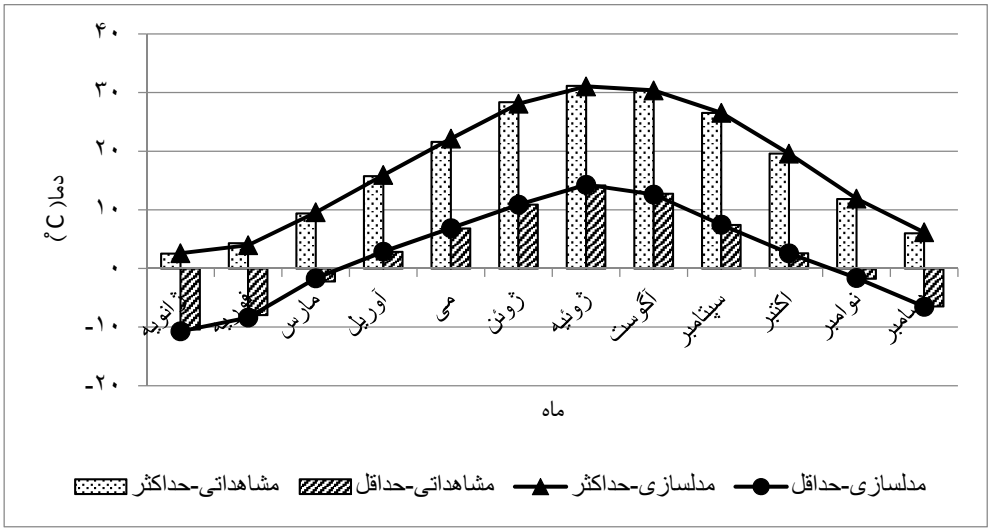
واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG

در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۸-۱۹۶۵) و داده های تولید شده توسط مدل در تمامی ماه‌ها، به جز ماه ژوئن وجود نداشته و مقادیر همبستگی در سطح۰/۰۱ درصد قابل قبول می‌باشد، بنابراین عدم اطمینان به فراوانی بارش فقط در ماه مذکور وجود دارد. همچنین در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T.test، تنها عدم اطمینان به مدلسازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه‌های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصل میتوان از این خطا چشم‌پوشی نمود. شکل ۲ مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و مدلسازی شده بارش را نشان می‌دهد و شکل ۳ این مقایسه را برای مقادیر دمای حداقل و دمای حداکثر به نمایش می‌گذارد. چنانچه ملاحظه می‌شود، بارش شبیه سازی شده در ماه‌های فوریه و مارس به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای به دست آمده است. این بدان معناست که مدل بیش برآورد دارد. بنابراین پیش‌بینی افزایش بارندگی در دوره‌های آتی در این ماه‌ها ناشی از عدم

دقت کافی یا همان بیش برآورد مدل LARS-WG خواهد بود. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای حداقل و حداکثر روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل را در همه ماه‌های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد را نشان می‌دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده‌های متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آزمون T.test وجود اطمینان بالا به مدلسازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد.



شکل۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدلسازی شده بارش در دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۵



شکل۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدلسازی شده دمای حداقل و حداکثر در دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۵

جدول ۳ مقدار آماره های خطاسنجی حاصل از پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و مدلسازی شده را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار آمارهNSE برای هر سه پارامتر اقلیمی مطالعه شده نزدیک به عدد یک می‌باشد و همچنین کم بودن مقدار آماره Bias، مدل لارس دارای دقت مدلسازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه کم‌تر از مقدار آن برای بارش است. این مسئله بیانگر قدرت بالای LARS-WG در مدل کردن داده‌های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت پارامتر دما می‌باشد که عنصری پیوسته است. نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر Babayian و Najafinik (۲۰۰۶) و Ababayi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. با بررسی شکل۲ و ۳ نمودارهای دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و مدلسازی شده مطابقت بیشتری با هم داشته که مؤید مطالب بیان شده می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که تغییرپذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدلسازی این پارامتر تاثیرگذار است. می‌توان بیان داشت که هرچه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدلسازی کاهش می‌یابد.

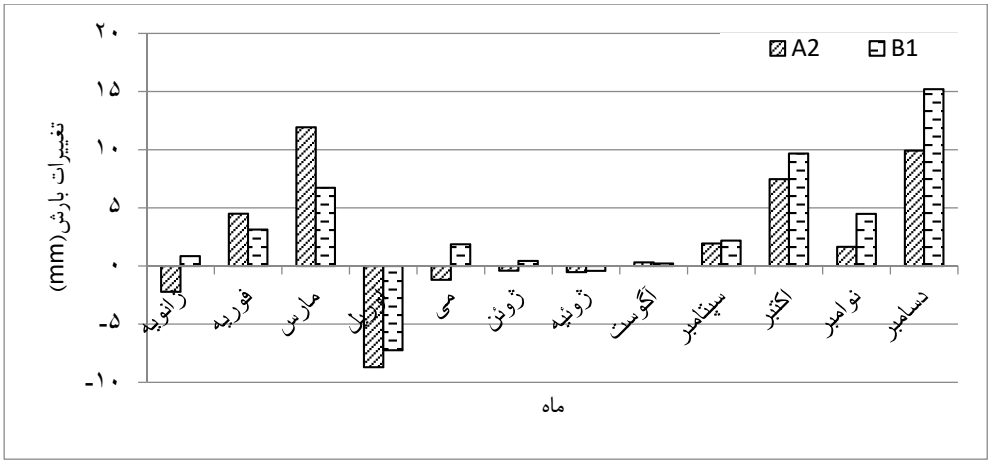
جدول ۳- آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدلسازی(۲۰۱۸-۱۹۶۵)

میانگین بارش ماهانه				میانگین دمای حداکثر ماهانه				میانگین دمای حداقل ماهانه			
RMSE	MAE	NSE	Bias	RMSE	MAE	NSE	Bias	RMSE	MAE	NSE	Bias
۳/۱۷۶	۰/۶۵	۰/۹۸۲	۰/۶۵۸	۰/۲۲۸	۰/۰۵۸	۰/۹۹۹	۰/۰۵۸	۰/۲۳	۰/۰۱۸	۰/۹۹۹	۰/۰۱۷

۳-۲-تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۵۰-۲۰۲۰

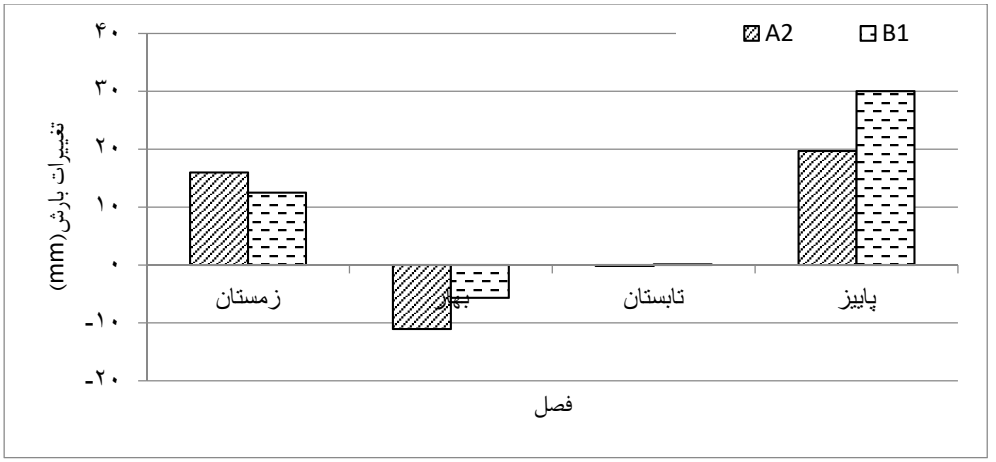
۳-۲-۱-بارش

شکل ۴ میزان اختلاف بارش ماهانه دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. هر دو سناریو برای ماه‌های فوریه، مارس، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی و برای ماه آوریل و ژوئیه کاهش بارندگی را پیش‌بینی می‌کنند که بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه آوریل است. بیشترین افزایش بر اساس سناریوی A2 و B1 به ترتیب مربوط به ماه مارس و دسامبر می‌باشد. متوسط مجموع بارش سالانه در این دوره روند افزایشی نشان می‌دهد، به طوری که پیش بینی هر دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۳۶۴/۵ و ۳۷۶/۹ میلی‌متر بوده است.



شکل۴- تغییرات میانگین بارش ماهانه ۲۰۰۸-۱۹۶۵ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای A2 و B1

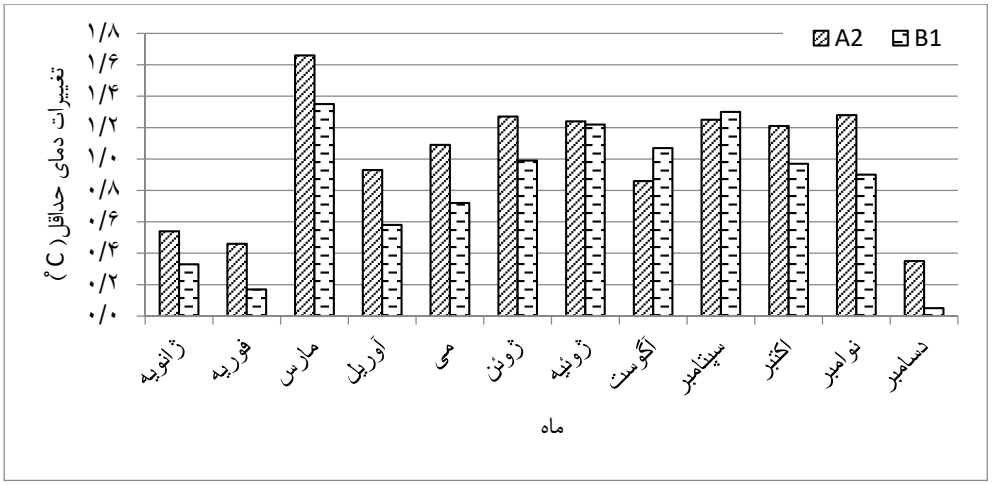
شکل ۵ میزان اختلاف میانگین بارش فصلی دو دوره را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود از نظر تغییرات فصلی، در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش بارندگی رخ خواهد داد.



شکل۵- تغییرات میانگین بارش فصلی ۲۰۱۸-۱۹۶۵ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1

دمای حداقل

بررسی میانگین دمای حداقل در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰، تحت دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب نشان از افزایش ۰/۳ تا ۱/۶۶ و ۰/۰۵ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد می باشد. به نحوی که بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های ژوئن، ژوئیه، سپتامبر و مارس است. شکل ۶ اختلاف بین میانگین دمای کمینه ماهانه دوره پایه و آینده را نشان می‌دهد.



شکل۶- تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه ۲۰۰۸-۱۹۶۵ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1

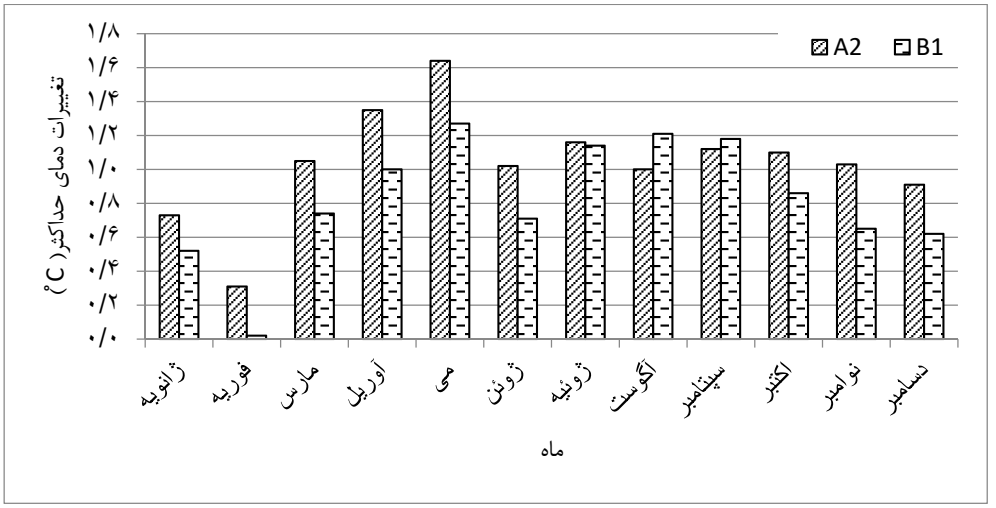
از نظر تغییرات فصلی همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، هر دو سناریو در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ افزایش دمای حداقل را برای تمام فصول پیش بینی می‌کنند. این افزایش در مقدار دمای حداقل در فصول بهار و تابستان بیشتر از فصول دیگر به مقدار ۱/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بررسی میانگین ماهانه دمای حداقل نیز بیان کننده این مطلب می‌باشد.

شکل۷-تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی ۲۰۱۸-۱۹۶۵ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1

دمای حداکثر

با توجه به شکل ۸، در هر دو سناریو، افزایش دمای حداکثر برای تمامی ماه‌ها در دوره آتی توسط مدل LARS-WG پیش‌بینی شده است. با مقایسه دمای حداکثر دوره مشاهداتی و دوره آتی با توجه به

سناریوهای A2 و B1، بیشترین افزایش دما در ماه می به میزان ۱/۶ تا ۱/۲۷درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. کم‌ترین افزایش دمای حداکثر تحت هردو سناریوی نامبرده در ماه فوریه و به میزان ۰/۳ تا ۰/۰۲ خواهد بود.



شکل۸- تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه ۲۰۱۸-۱۹۶۵ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1

از نظر تغییرات فصلی هردو سناریو افزایش دمای حداکثر را در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰پیش‌بینی نموده‌اند. نه تنها دمای حداقل بلکه دمای حداکثر نیز در فصول بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان افزایش بیشتری خواهند داشت. بیشترین و کم‌ترین افزایش دمای حداکثر مربوط به سناریوی A2 به ترتیب برای فصل بهار به میزان۱/۵ و فصل زمستان به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. بر اساس سناریوی B1 بیشترین افزایش دمای حداکثر در فصل تابستان به میزان ۱/۵ و کم‌ترین آن را در فصل زمستان به میزان ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد است. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که افزایش دمای حداکثر در فصول گرم سال بیشتر از فصول سرد سال خواهد بود. شکل ۹مطالب بیان شده را به نمایش گذاشته است.

به طور کلی با توجه به افزایش توأمان دمای حداقل و حداکثر می‌توان انتظار داشت میانگین دمای حوزه مطالعاتی در دهه‌های آتی نیز افزایش چشمگیری خواهد داشت. میزان متوسط دمای سالانه پیش‌بینی شده توسط دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد بوده و با توجه به این که متوسط دمای دوره پایه در منطقه مطالعاتی ۹/۸ بوده است، سناریوهای مذکور ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای متوسط سالانه را پیش‌بینی می‌نماید. با بررسی دمای متوسط ماهانه ملاحظه می‌شود که سناریوی A2 بیشترین افزایش دما را برای ماه می و به میزان ۱/۳۷ درجه و کم‌ترین افزایش دما را برای ماه فوریه بیان داشته است. سناریوی B1 بیشترین افزایش دما را به میزان ۱/۲۴ درجه و

برای ماه سپتامبر و کم‌ترین مقدار در افزایش دما را برای ماه فوریه به میزان ۰/۰۹درجه سانتی‌گراد به دست آورده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بررسی دمای متوسط ماهانه نیز نشان دهنده افزایش دمای بیشتر در فصل تابستان می‌باشد.

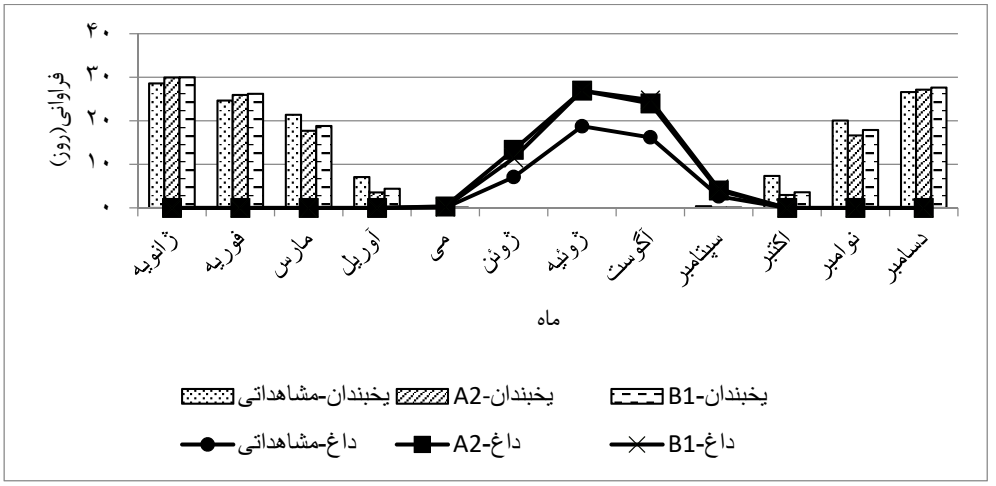
شکل۹- تغییرات میانگین دمای حداکثر فصلی ۲۰۱۸-۱۹۶۵ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B1

با توجه به کاهش بارندگی در بهار و تابستان و افزایش دما از یک سو و نیاز بیشتر به آبیاری اراضی کشاورزی و استفاده از آب شرب از سوی دیگر، ذخیره سازی آب در فصول پر باران و برنامه‌ریزی مدیریتی جهت استفاده صحیح از منابع آب توصیه می‌شود. با افزایش دما در منطقه مطالعاتی، بارش‌ها به سمت فصول گرم شیفت پیدا کرده و در نتیجه نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته و بدین ترتیب ذخایر آبی(برف) برای بهار و تابستان که با کاهش بارندگی نیز روبه‌رو خواهند بود، کاهش می‌یابد. Ghamdideh (۲۰۰۸)، با بررسی تغییرات اقلیمی در استان کردستان نیز به این نکته اشاره نموده است.

روزهای داغ و یخبندان

شکل ۱۰ میانگین تعداد روزهای داغ و یخبندان را به طور ماهانه در دوره پایه(۲۰۱۸-۱۹۶۵) و آتی(۲۰۵۰-۲۰۲۰) را نمایش می دهد. نتایج هردو سناریو نشان می‌دهند که میانگین تعداد روزهای داغ در ماه های می، ژوئن، ژوئیه، آگوست و سپتامبر در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش روزهای داغ با توجه به سناریوی A2 مربوط به ماه ژوئیه به مقدار ۸/۱۹ روز می‌باشد. سناریوی B1 بیشترین افزایش تعداد روزهای داغ را برای ماه آگوست و به تعداد ۸/۵ روز پیش‌بینی نموده است. در سایر ماه‌ها در منطقه مطالعاتی روز داغی وجود نداشته و مدل LARS-WG نیز برای دوره آتی روز

داغی را پیش‌بینی ننموده‌است. همانطور که قبلا بیان شد، بیشترین افزایش دمای حداکثر در فصول تابستان و بهار رخ خواهد داد، در نتیجه مشاهده می‌شود که افزایش تعداد روزهای داغ در این فصول خواهد بود. در طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۶۵ به طور متوسط، سالانه ۴۴ روز، دارای دمای حداکثر بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد یا به عبارتی روز داغ بوده است. سناریوی A2 تعداد روزهای مذکور را برای سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰، ۶۹ روز و سناریوی B1، ۶۷ روز پیش‌بینی کرده است. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت در دهه‌های آتی میانگین روزهای داغ سالانه افزایش خواهد یافت. چنانچه ملاحظه می‌شود سناریوی A2 افزایش روزهای داغ بیشتری را پیش‌بینی می‌نماید همانطور که در مباحث قبلی بیان شد این سناریو نسبت به سناریوی B1 دمای کمینه، بیشینه و متوسط بیشتری را نیز پیش‌بینی نموده است.



شکل۱۰-مقایسه تعداد روزهای یخبندان و داغ دوره مشاهداتی و آینده

در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر به طور متوسط یک روز به روزهای یخبندان افزوده خواهد شد. در ماه‌های مارس، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر انتظار می‌رود تعداد روزهای یخبندان کاهش یابد. بیشترین کاهش روزهای یخبندان را سناریوی A2 و B1 برای ماه اکتبر و به ترتیب ۴/۳ و ۳/۷ روز پیش‌بینی نمودند. کم‌ترین کاهش تعداد روزهای مذکور با توجه به هر دو سناریو در ماه می و سپتامبر و به میزان کم‌تر از یک روز رخ خواهد داد. در فصل تابستان روز یخبندانی پیش‌بینی نشده است چنانچه در دوره گذشته نیز در این فصل روز یخبندانی رخ نداده است. همانطور که قبلاً اشاره شد افزایش دما (کمینه، بیشینه و متوسط) در تمامی فصول دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است که این افزایش باعث کاهش روزهای یخبندان خواهد شد. در دوره پایه به طور متوسط ۱۳۶ روز در سال یخبندان رخ داده است که سناریوی A2 تعداد این روزها را در دهه‌های آتی، ۱۲۴ روز و سناریوی B1 ۱۲۸ روز

پیش‌بینی نموده است. بدین ترتیب به طور کلی تعداد کل روزهای یخبندان در طول سال در دهه آتی با توجه به سناریوی B1 و A2 نسبت به دوره پایه کاهش ۷ تا ۱۲ روزه خواهد داشت.

روزهای تر و خشک

جدول ۴ مقایسه تعداد روزهای تر و خشک در دوره پایه و آتی را نمایش می‌دهد. طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۶۵ به طور متوسط سالانه ۴۴/۴ روز دارای بارندگی بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر و جزء روزهای تر بوده است. سناریوی A2 و B1 تعداد این روزها را برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰، ۴۴/۳ روز پیش‌بینی نموده است. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود تعداد روزهای تر در دهه ۲۰۲۰ با کاهش کم‌تر از یک روز مواجه خواهد بود. بیشترین افزایش روزهای تر در ماه اکتبر رخ خواهد داد. در ۴۴ سال دوره مشاهداتی به طور متوسط ۳۲۰/۵ روز خشک به وقوع پیوسته است. با توجه به دو سناریو این روزها به میزان کم‌تر از یک روز(۰/۱۳) افزایش می‌یابد. در ماه می بیشترین افزایش روزهای خشک در حدود یک روز به وقوع خواهد پیوست و بیشترین کاهش تعداد روزهای تر متعلق به اکتبر است.

با در نظر گرفتن رابطه معکوس بین دمای حداقل و تعداد روزهای یخبندان، افزایش دمای حداقل می‌تواند منجر به کاهش در تعداد روزهای یخبندان گردد. در محدوده مطالعاتی نیز مشاهده شد که به دنبال افزایش دمای حداقل، کاهش ۷ تا ۱۲ روزه در تعداد روزهای یخبندان پیش‌رو خواهد بود. از طرفی با توجه به افزایش بارندگی سالانه از یک سو و عدم تغییر محسوس تعداد روزهای تر از سوی دیگر، این مسئله می‌تواند نشان از افزایش مقدار بارش‌های حدی باشد. به عبارتی می‌توان بیان داشت حجم بارندگی در طی روزهای بارانی زیاد شده ولی تعداد این روزها تغییر چندانی نمی‌کند. فراوانی بارش‌های حدی می‌تواند افزایش وقوع سیلاب و به دنبال آن هدررفت بیشتر منابع آبی را به دنبال داشته باشد که به تبع آن مدیریت جامع و همه جانبه حوزه آبخیز ضروری است.

جدول۴- مقایسه تعداد ورزهای تر و خشک دوره مشاهداتی و آینده

پارامتر / ماه		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تعداد روزهای تر	مشاهداتی	۵/۸۳	۵/۲۶	۶/۷۹	۶/۸۱	۴/۱۰	۰/۶۴	۰/۸۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۳	۴/۸۶	۵/۸۱
	A2	۵/۶۵	۵/۸۵	۷/۱	۶/۷	۳/۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳	۰/۴	۳/۶	۴/۱	۶/۳۵
	B1	۵/۶۵	۵/۸۵	۷/۱	۶/۷	۳/۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳	۰/۴	۳/۶	۴/۱	۶/۳۵
تعداد روزهای خشک	مشاهداتی	۲۵/۱۷	۲۲/۷۴	۲۴/۲۱	۲۳/۱۹	۲۶/۹	۲۹/۳۶	۳۰/۱۴	۳۰/۷۴	۲۹/۷۴	۲۸	۲۵/۱۴	۲۵/۱۹
	A2	۲۲/۳۵	۲۲/۱۵	۲۳/۹	۲۳/۳	۲۷/۸	۲۹/۴۵	۳۰/۴۵	۳۰/۷	۲۹/۶	۲۷/۴	۲۵/۹	۲۴/۶۵
	B1	۲۲/۳۵	۲۲/۱۵	۲۳/۹	۲۳/۳	۲۷/۸	۲۹/۴۵	۳۰/۴۵	۳۰/۷	۲۹/۶	۲۷/۴	۲۵/۹	۲۴/۶۵

خشکسالی‌های دهه ۲۰۵۰-۲۰۲۰

بررسی وضعیت بارش ماهیانه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ با استفاده از شاخص SPI با مقیاس زمانی یک ماهه نشان دهنده آن است که حدود ۷۷٪ ماه‌ها در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ وضعیت نرمال و ۱۵٪ وضعیت تر و ۸٪ ماه ها وضعیت خشکی خواهند داشت. در میان ماه‌های خشک بیشترین فراوانی مربوط با وضعیت خشکسالی با شدت متوسط می‌باشد. خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید به ترتیب ۴، ۲ و ۱ درصد از کل ماه‌های دوره آتی را شامل می شوند. سناریوی A2 بیشترین تداوم خشکسالی را دو ماه و

برای ماه های فوریه و مارس ۲۰۲۵ و بیشترین شدت خشکسالی را برای ماه ژانویه ۲۰۲۴ پیش بینی نموده است. سناریوی B1 نیز بیشترین تداوم خشکسالی را دو ماهه پیش‌بینی نموده است و شدیدترین آن مربوط به ماه نوامبر ۲۰۲۹ خواهد بود.

می‌توان بیان نمود SPI با تاخیر زمانی ۶ ماه، هشداری جهت بیان اتمام ذخایررطوبتی خاک می‌باشد. محاسبه SPI ۶ ماهه با استفاده از پارامتر بارش پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG، سناریوهای A2 و B1 درصد فراوانی ماه‌های نرمال، تر و خشک را نسبت به کل دوره مورد مطالعه به ترتیب ۶۸، ۱۶و ۱۷ درصد بیان نمودند. با استفاده از این شاخص خشکسالی متوسط از فراوانی بیشتری برخوردار بوده است. ماه‌هایی که با شرایط خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید رو به رو خواهند بود ۹/۸، ۴/۹ و ۱/۷می‌باشد. طولانی‌ترین دوره خشکسالی با توجه به شاخص SPI با تاخیر ۶ ماه پیش‌بینی شده است تداومی ۱۱ ماهه دارد. شدیدترین خشکسالی با توجه به سناریوی A2 در آگوست ۲۰۲۹ به وقوع خواهد پیوست. سناریوی B1 شدیدترین خشکسالی را برای ماه آگوست سال ۲۰۲۷ پیش‌بینی نموده است.

همانطور که بیان شد تاثیرات کاهش بارندگی بر روی رطوبت خاک، مخازن آب، جریانات سطحی رودخانه‌ها و سطح آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی نشان داده می‌شوند(Lloyd-Hughes و Saunders، ۲۰۰۲). شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه می‌تواند شروع خشکسالی‌های منابع سطحی آب را نشان دهد. شاخص مذکور حاصل از سناریوی A2 و B1 در پیش‌بینی ماه‌های دارای وضعیت نرمال به طور یکسان عمل نموده و ۶۸٪ ماه‌ها را با شرایط نرمال پیش‌بینی می‌نمایند. اما در پیش‌بینی شرایط ماه‌های خشک و تر عملکردی متفاوت دارند که حاصل از تفاوت در پیش‌بینی میزان بارندگی می‌باشد. سناریوی A2، ۱۴ درصد و B1، ۱۶ درصد ماه‌ها را دارای شرایط مرطوب پیش‌بینی نموده‌اند. سناریوهای مذکور به ترتیب بیان داشته‌اندکه ۱۸٪ و ۱۷٪ ماه‌ها، دارای وضعیت خشکسالی می‌باشند. سناریوی A2، خشکسالی متوسط و سناریوی B1 خشکسالی شدید را با فراوانی بیشتر برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰پیش-بینی نموده‌اند. بیشترین تداوم با توجه به این مقیاس زمانی، ۱۴ ماه می‌باشد و بیشترین شدت خشکسالی را هر دو سناریو در دسامبر ۲۰۱۹ پیش‌بینی نموده‌اند. جدول ۵ فراوانی شرایط خشکسالی، ترسالی و نرمال را با استفاده از شاخص SPI ۱، ۶ و ۱۲ ماهه با استفاده از خروجی سناریوهای A2 و B1 را نشان می‌دهد. در جدول ۶ انواع خشکسالی‌ها و درصد وقوع آن‌ها آورده شده است.

جدول۵- فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های تر، خشک و نرمال دوره آینده

مقیاس زمانی شاخص SPI	سناریو	ماه های نرمال		ماه های تر		ماه های خشک	
		فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی
۱ماهه	A2	۱۷۵	۷۷	۳۴	۱۵	۱۹	۸
	B1	۱۷۵	۷۷	۳۵	۱۵	۱۹	۸
۶ ماهه	A2	۱۵۱	۶۸	۳۵	۱۶	۳۷	۱۷
	B1	۱۵۱	۶۸	۳۵	۱۶	۳۷	۱۷
۱۲ ماهه	A2	۱۴۷	۶۸	۳۱	۱۴	۳۹	۱۸
	B1	۱۴۷	۶۸	۳۴	۱۶	۳۹	۱۷

جدول۶- فراوانی انواع خشکسالی، طولانی ترین دوره و تعداد دوره‌های خشکسالی دوره آینده

مقیاس زمانی شاخص SPI	سناریو	فراوانی خشکسالی(ماه)			درصد خشکسالی از کل دوره			طولانی ترین دوره خشکسالی (ماه)	تعداد دوره های مواجه با خشکسالی
		خشک سالی متوسط	خشک سالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشک سالی متوسط	خشک سالی شدید	خشکسالی بسیار شدید		
۱ماهه	A2	۱۰	۵	۴	۴/۳۹	۲/۱۹	۱/۷۵	2	۱۷
	B1	۹	۵	۴	۳/۹۵	۲/۱۹	۱/۷۵	2	۱۷
۶ ماهه	A2	۲۲	۱۱	۴	۹/۸۷	۴/۹۳	۱/۷۹	11	۱۲
	B1	۲۲	۱۱	۴	۹/۸۷	۴/۹۳	۱/۷۹	11	۱۱
۱۲ ماهه	A2	۱۷	۱۶	۴	۷/۸۳	۷/۳۷	۱/۸۴	14	۸
	B1	۱۴	۱۹	۳	۶/۴۵	۸/۷۶	۱/۳۸	14	۸

بررسی SPI سالانه در دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۰ سه دوره خشکسالی و دو دوره ترسالی را نشان می‌دهد. ٪۷۵ سال ها وضعیتی نرمال دارند. خشک‌ترین سال در دهه سال ۲۰۲۹ خواهد بود، سال ۲۰۲۶ نیز با کمبود بارندگی و وضعیت خشکی رو به‌رو خواهد بود. در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ میانگین بارندگی بیش از میانگین دوره مطالعاتی پیش‌بینی شده است. شاخص SPI سالانه نیز برای این دو سال وضعیت ترسالی را پیش‌بینی می‌نماید.

تحلیل خشکسالی‌ها با توجه به SPI سالانه نشان می‌دهد که حوزه آبخیز اسکندری با فراوانی وقوع خشکسالی رو به‌رو خواهد بود. دردوره ۲۰ ساله پیش‌بینی سه سال با خشکسالی مواجه خواهد شد در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ به ترتیب خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید پیش‌بینی شده است.

شاخص SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه حاصل از خروجی سناریوی A2، ۱۲ دوره خشکی و سناریوی B1، ۱۱ دوره خشکی پیش‌بینی نموده است. دو دوره خشکی با تداوم بیشتر در میان سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ قابل توجه می‌باشد. اولین دوره خشکی که مدل LARS-WG پیش‌بینی نموده است، شامل سال‌های کنونی می‌باشد و از ماه سپتامبر ۲۰۲۲ شروع شده و تا ماه ژوئیه سال ۲۰۲۳ ادامه خواهد داشت. این دوره که تداومی ۱۱ ماهه داشته در ابتدا شامل خشکسالی‌های بسیار شدید بوده و در انتها بعد از خاتمه خشکسالی‌های متوسط، سال‌هایی با وضعیت نرمال آغاز خواهد شد. برای ماه‌های دسامبر۲۰۲۸ تا آگوست ۲۰۲۹ نیز با خشکسالی متوسط و بسیار شدید با تداوم ۹ ماهه پیش‌بینی شده است. در بخش مقابله با خشکسالی چنانچه بپذیریم این موضوع یک پدیده ذاتی ناشی از اقلیم است، لازم است برای رویارویی با آن برنامه ریزی نموده و بر اساس آن به اقدامات مناسب و آگاهانه متوسل شد. در این دوره‌ها می‌توان با کاشت گیاهانی با مصرف آب کم‌تر و بازدهی بیشتر کمبود رطوبت را تا حدی کنترل نمود.

بر اساس شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه، در هر دو سناریو ۸ دوره خشکسالی پیش‌بینی شده است. با توجه به این شاخص نیز دو دوره خشکی با تداوم زیاد قابل توجه می‌باشد. ماه دسامبر ۲۰۲۲ تا ماه اکتبر ۲۰۲۳ و همچنین ماه فوریه ۲۰۲۹ تا ماه مارس ۲۰۳۰ دو دوره خشکسالی می‌باشند.

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از SPI با مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه می‌توان بیان داشت که هرچه سری زمانی شاخص SPI افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آن کم‌تر می‌شود، به همین دلیل همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است سری های ۶ و ۱۲ ماهه تعداد دوره خشکسالی را کم‌تر ولی دارای تداوم بیشتر نشان می‌دهند. همانگونه که Malekinejad و Soleimanimotlagh (۲۰۱۱)، نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره نموده‌اند.

این نکته شایان ذکر است که نتایج این مطالعه به ماهیت شاخص SPI که شاخصی مبتنی بر روش پارامتریکی است و نوع طبقه بندی آن وابسته است، لذا چنانچه شاخص دیگری به ویژه شاخص‌های مبتنی بر روش ناپامتریکی جهت پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد ممکن است نتایج متفاوتی به دست آید. بنابراین مد نظر قرار دادن عدم قطعیت و توجه به نقاط قوت و ضعف نتایج مربوط به شاخص-های خشکسالی علاوه بر عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد.

مطالب بیان شده به مدیریت منابع آب در حوزه مطالعاتی کمک مضاعف نموده تا به‌توان برای پیش‌بینی، مدیریت و کاهش اثرات خشکسالی راهکارهای مناسبی ارائه کرد. با توجه به این نکته که حوزه اسکندری از مناطق مهم تامین کننده آب زاینده رود و تامین‌کننده بخش مهمی از آب کشاورزی حوزه‌های پایین-دست و آب شرب شهر اصفهان می‌باشد، ذخیره آب در سال‌های قبل از وقوع خشکسالی از توصیه‌های

مدیریتی برای منطقه مطالعاتی می‌باشد. هرنوع توسعه کشاورزی با بازدهی بالا که آسیب کم‌تری به منابع حیاتی و محدود آب و خاک وارد سازد و از تخریب مراتع طبیعی در محدوده مطالعاتی جلوگیری کند توصیه می‌گردد.

منابع

- Ababayi, B., F. Mirzayi and T. Sohrabi. 2011. Evaluation of performance of LARS-WG in 12 coastal weather station of Iran. Journal of Iran water research, 5(9): 217-222(in Persian).
- Alizadeh. A., N. Sayari, M. Hesami, M. Banayan and A. Faridhoseini. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resource of Kashafrood basin. Journal of water and soil, 24(4): 815-835(in Persian).
- Babayian, I and Z. Najafinik. 2006. Presentation and evaluation of LARs-WG for modeling Khorasan province parameters, period:1965-2003. Nivar journal, 62: 49-65(in Persian).
- Babayian, I and M. kouhi. 2012. Agro climatic indices assessment over some selected weather stations of Khorasan Razavi province under climate change scenarios. Journal of water and soil, 26(4): 953-967(in Persian).
- Bazrafkan, J., A. Khalili, A. Hoorfar, S. Torabi and S. Hajjam. 2009. Comparison of the performance of climGen and LARS-WG models in simulating the weather factors for divers climate of Iran. Iran water resource research journal, 5(1): 44-57(in Persian).
- Charlton M.B., Arnell N.W., 2012: Adapting to climate change impacts on water resources in Englan- An assessment of draft Water Resources Management Plans, Global Environmental Change:238–248.
- Dupigny-Giroux, L., 2001:TowardsCharacterizing and Planning for Drought inVermont - Part I: A Climatologically Perspective,J. of the Am. Water Res. Asso., 37: 505-525.
- Edwards D.C., and McKee T.B. 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales, Climatology Report Number 97–2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Ghamdideh, A. 2008. The impact of climate change on temperature and rain, case study: Kordestan province. MSc. Thesis, 125 pages(in Persian).
- Golmohammadi. M and A. Massah Bavani. 2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. Journal of water and soil, 25(2): 315-326(in Persian).
- Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., Vanyarkho O.V, 1999.:Monitoring the 1996 drought using thestandardized precipitation index, Bulletin of the American Meteorological Society, 80:429–438.
- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of workinggroup I to the forth assessment report. Cambridge University Press, p 881.
- IPCC. 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses. CambridgeUniversity Press,p878.
- KhaliliAqdam, N., A. Mosaedi, A. Soltani and B. Kamkar. 2013. Water conservation, 19(4)(in Persian).
- Khazanehdari, L., F. Zabolabbasi, Sh. Ghanehari, M. Kouhi and Sh. Malboosi. 2009. Geography and regional development, 12: 84-98(in Persian).

- Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. 2002:A drought climatology for Europe, International Journal of Climatology, 22:1571–1592.
- Malekinejad. H and M. Soleimanimotlagh. 2011. Assessment the sensivity of climatic and hydrologic drought in Ghaghalvandi basin. Iran water research, 5(9): 61-72(in Persian).
- Massah Bavani A.R., and Morid S. 2006: Impact of climate change on the water resources of Zayandeh Rud sin,.Journal Science and Technology Agriculture and Nature. Resources, 9(4): 28.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, andJ.Kleist. 1993: The Relationship of DroughtFrequency and Duration to Time Scales. In:Proc. 8 Conference. on applied Climatology,17-22 January. American MeteorologicalSociety, Massachusetts:179-184.
- Meshkati. A., M. kordjozi and I. Babayian. 2009. Evaluation of LARS-WG in simulating Golestan province weather data, period: 1993-2007. Applied research in geographic science, 16(9)(in Persian).
- Moafimadani, F., M. Mosavibaygani and H. Ansari. 2012. Prediction of Khorasan razavi province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. Geography and natural hazards. 3: 21-37(in Persian).
- Shakiba. A.L., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on ground water in east Kermanshah province using SPI index. Iran geographic society, 8(25)(in Persian).
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998: Comparisonof the WGEN and LARSWG Stochastic Weather Generators in divers Climates,Climate Research, 10: 95-107
- Silberstein R.P., Aryal S.K., Durrant J., Pearcey M., Braccia M.,. Charles S.P, Boniecka L.,Hodgson G.A., Bari M.A., Viney N.R., McFarlane D.J, 2012: Climate change and runoff in south western Australia, Journal of Hydrology, 475 (2012):441–455.
- Won Jung, Moradkhani H., Chang H., 2012: Uncertainty assessment of climate change impacts for hydrologically distinct river basins, Journal of Hydrology, 466 (2012): 73–87.

❖ حفاظت آب در خاک و مدیریت آب سبز

مدیریت جامع خاک دیم‌زارهای کشور

محمود عرب‌خدری*[۱]، یحیی پرویزی[۱]، رضا بیات[۱]، کورش کمالی[۲]، صمد شادفر[۱]، حمیدرضا پیروان[۱]، داود نیک‌کامی[۱]

۱-اعضا هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲-عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

* نویسنده مسئول (*arabkhedri@scwmri.ac.ir*)

چکیده

با آن‌که مساحت دیم‌زارها در ایران بیش از اراضی آبی است، سهم آن‌ها در تولید کشاورزی بسیار کم‌تر ا ست. از سوی دیگر بخش قابل توجهی از این ارا ضی در معرض فر سایش شدید و کاهش باروری قرار دارند. به‌رغم بارندگی متوسط سالانه نسبتا کم، به‌دلیل احتمال وقوع رگبارهای شدید، مشکل فرسایش به‌ویژه در اراضی با شیب تند خیلی حاد است. لذا هر گونه برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت اراضی دیم بدون توجه به جنبه‌های حفاظت خاک موفق نخواهد بود. با توجه به این موضوع و متعاقب درخواست دفتر امور خاک معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، با نگاه به تجارب پژوهشی و اجرایی موفق، گزارش مدیریت جامع دیم‌زارهای ک شور در قالب دو برنامه شناخت و حفاظت ارائه شده ا ست. برنامه شناخت خاک اراضی دیم کشور مشتمل بر دو زیربرنامه اطلس‌ها و نقشه‌های مورد نیاز و توسعه ابزارهای مدیریتی و حاکمیتی ا ست که در قالب آن علاوه بر نق شه‌های مورد نیاز، بانک اطلاعات مکانی دیم‌زارها، مدل‌های برآورد فرسایش و ضوابط و استانداردهای حفاظت آب و خاک مورد نیاز در بازه زمانی از دو تا ۱۰ سال تهیه می شود. در برنامه حفاظت خاک سه زیربرنامه مجزا برای ارا ضی دیم با شیب‌های کمتر از ۵ درصد، ۱۲-۵ درصد و بیش از ۱۲ درصد پیش‌بینی برای هر یک از این سه دسته، مصادیق اقدامات قابل اجرا مشخص شده است. برای آن‌که این فنون، در اقصی نقاط کشور متداول شود ترویج و آموزش رو ستائیان ضرورت دارد. به‌این‌منظور در هر زیربرنامه، م ساحت ارا ضی مورد نظر برای ترویج فنون حفاظتی در مدت زمان ۱۰ سال مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی:

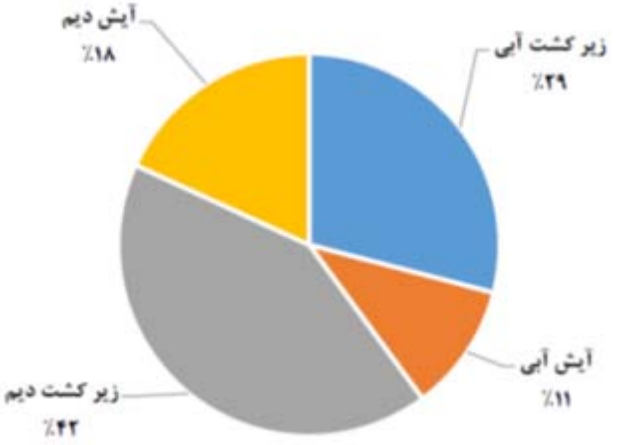
تولید، حفاظت آب، حفاظت خاک، دیم.

مقدمه

دیم‌کاری نوعی کشاورزی مخصوص مناطق نیمه خشک و حتی خشک است که در آن تنها بارش‌های آسمانی و یا سیلاب و رواناب مستقیم آن، آب مورد نیاز کشت‌زار را تأمین می‌کند. بر اساس تلفیق اطلاعات موجود (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۲؛ Siadat، ۱۹۹۸)، سطح اراضی

منابع طبیعی ۱۴۶/۵ میلیون هکتار (۸۸/۷٪)، سطح اراضی کشاورزی آبی، ۸/۵ میلیون هکتار (۵/۲٪) و سطح اراضی کشاورزی دیم، ۱۰ میلیون هکتار (۶/۳٪) است. در مقایسه با این گزارش، طبق آمارنامه کشاورزی در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (بی‌نام، ۱۴۰۱) سطح محصولات زراعی حدود ۱۱ میلیون هکتار، و در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹) این سطح معادل ۱۱/۸۶ میلیون هکتار گزارش شده است. مطابق گزارش احمدی و همکاران (۱۳۹۹) سطح باغ‌های کشور در سال ۱۳۹۷-۹۸ حدود ۲/۹۵ میلیون هکتار می‌باشد. تفاوت مجموع مساحت اراضی زیرکشت (زراعی و باغی) و کل اراضی کشاورزی (۱۸/۵ میلیون هکتار)، اراضی آیش یا نکاشت هستند که از سالی به سال دیگر تفاوت می‌کند و تابع بارندگی سالانه است. به‌طور قطع مساحت دیم‌زارهای آیش بیشتر از اراضی زراعی آبی آیش است. در یک نگاه کلی پراکنش جغرافیایی خاک‌های تحت کشت دیم کشور را می‌توان به دو ناحیه اصلی؛ نواحی حاشیه ارتفاعات زاگرس در شمال غرب و غرب کشور و نواحی مجاور ارتفاعات البرز و جلگه‌های نزدیک به آن در شمال و شمال شرق کشور تقسیم نمود (موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادکشاورزی، ۱۳۸۴).

شکل ۱ توزیع سهم اراضی زراعی آبی و دیم به تفکیک تحت کشت و آیش را بر حسب نتایج حاصل از آمارگیری سال زراعی ۹۷-۹۶ نشان می‌دهد. مطابق این آمارگیری، سطح اراضی زراعی بیش از ۱۵/۵ میلیون هکتار برآورد می‌شود. مساحت اراضی زراعی آبی سالانه در سال مذکور ۶/۲ میلیون هکتار (۴/۵ میلیون هکتار زیر کشت و بقیه آیش) بوده است. مساحت اراضی دیم نیز ۹/۳ میلیون هکتار برآورد شده (۶/۵ میلیون هکتار زیر کشت و بقیه آیش) بوده است. با در نظر گرفتن حدود ۴۰۰ هزار هکتار باغات دیم و کشت‌زارهای سیلابی سنتی نظیر بندسارها که معمولاً در آمارگیری‌ها به عنوان دیم ملحوظ نمی‌شوند، مساحت ۱۰ میلیون هکتاری دیم منطقی به نظر می‌رسد.



شکل ۱- سهم اراضی زراعی آبی و دیم به تفکیک زیرکشت و آیش در سال ۹۷-۹۶ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸)

مطابق جدول ۱ در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۸۲/۷ میلیون تن انواع محصولات زراعی برداشت شده است. به طوری که ۹۰/۶ درصد میزان تولید محصولات زراعی متعلق به کشت آبی و ۹/۴ درصد متعلق به کشت دیم است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). حسب گزارش بی‌نام (۱۴۰۱) در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ وزن کل انواع محصولات زراعی ۶۳/۲ میلیون تن و سهم تولید محصولات زراعی دیم در این سال کمتر و فقط ۷/۶ بوده است. مطابق جدول ۲ میزان تولید محصولات باغبانی کشور در سال ۱۳۹۸ حدود ۲۳/۵ میلیون تن بوده که ۹۳/۷ درصد آن آبی و بقیه به صورت دیم برداشت شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). میانگین تولید واحد سطح باغات دیم نسبت به باغات آبی کمتر از ۵۰ درصد است.

جدول۱ - سطح برداشت و تولید محصولات زراعی آبی و دیم کشور در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹)

نوع	سطح		تولید		میانگین تولید واحد سطح
	میلیون هکتار	درصد	میلیون تن	درصد	تن/هکتار
آبی	۶/۱۵	۵۱/۹	۷۴/۹۸	۹۰/۶	۱۲/۲
دیم	۵/۷۲	۴۸/۱	۷/۷۵	۹/۴	۱/۴
جمع	۱۱/۸۶	۱۰۰	۸۲/۷۳	۱۰۰	۷/۰

جدول۲ - سطح و میزان تولید محصولات باغبانی کشور در سال ۱۳۹۸ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹)

نوع	سطح		تولید		میانگین تولید واحد سطح
	هزار هکتار	درصد	هزار تن	درصد	تن/هکتار
آبی	۲۵۵۸	۸۶/۶	۲۱۹۸۵	۹۳/۷	۸/۶
دیم	۳۹۶	۱۳/۴	۱۴۷۵	۶/۳	۳/۷
جمع	۲۹۵۴	۱۰۰	۲۳۴۶۰	۱۰۰	۷/۹

ارزش تولیدات زراعت سالانه نظیر غلات در اراضی دیم به‌ویژه خاک‌های کم عمق، اراضی پرشیب و مناطق کم باران‌تر و خشکسالی، گاه آن‌قدر کم است که درآمد حاصل از هزینه تولید کم‌تر می‌شود. به این‌گونه اراضی، دیم‌زار کم‌بازده اطلاق می‌شود. با توجه به تولید کم اراضی کشاورزی دیم در مقایسه با اراضی کشاورزی آبی، پرداختن به افزایش تولید محصولات کشاورزی در اراضی دیم بایست بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

لازم به ذکر است که دیم‌زارها از حساسترین اراضی به فرسایش هستند و بخش مهمی از آن‌ها جزء کانون‌های بحرانی فرسایش قرار می‌گیرند. بطوری‌که در بسیاری از دیم‌زارها فرسایش سطحی شدید، فرسایش خندقی، حرکت‌های توده‌ای، بادبردگی شدید و شن‌های روان رخ داده یا ممکن است رخ دهد. دلایل متعددی برای این موضوع وجود دارد. اول آنکه، این اراضی عموماً شیبدار هستند. در ایران بر اساس آمار موجود، بیش از ۶۰ درصد از اراضی دیم در استان‌های منطبق بر رشته کوه زاگرس قرار گرفته‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). مطابق همین مرجع، استان کردستان با ۱۲/۸ درصد سهم در سطح برداشت محصولات زراعی دیم، بالاترین سطح برداشت‌شده را نسبت به استان‌های دیگر به خود اختصاص داده است و استان‌های کرمانشاه و آذربایجان شرقی به ترتیب با ۱۲/۷ و ۹/۴ درصد سهم در رتبه‌های بعدی قرارگرفته‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). دوم آنکه، در اثر شخم، سطح خاک حداقل برای مدتی از سال لخت و فاقد پوشش می‌ماند. مشکل لخت بودن سطح خاک، در اراضی آیش (معمولاً آیش سیاه یا نکاشت) که حدود نیمی از مساحت این کاربری در ایران را می‌پوشاند، بیشتر است. با توجه به اهمیت فرسایش در ادامه مروری بر تحقیقات مرتبط با فرسایش دیم‌زارهای کشور و روش‌های حفاظت از آن ارائه می‌شود.

نتایج برخی تحقیقات مرتبط با فرسایش دیم‌زارها و اثر اقدامات حفاظتی در کشور

مطابق جمع‌بندی تحقیقات انجام شده با کرت‌های فرسایش در مناطق مختلف کشور (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۵) تولید رسوب و هدررفت خاک در کاربری زراعت سالانه دیم (۹۱ پلات) به طور متوسط ۷ برابر بیشتر از فرسایش کاربری مرتع (۱۸۳ پلات) است. در همین زمینه Sedighi و همکاران (۲۰۲۱) نیز ضمن تهیه نقشه فرسایش و رسوب‌گذاری در حوزه آبخیز معرف و زوجی خامسان و تهیه نمودارهای بودجه رسوب بر مبنای طبقات شیب و کاربری اراضی، به این نتیجه رسیدند که متوسط فرسایش خاک در اراضی دیم نسبت به مراتع با شیب مشابه حدود هفت برابر است. در بررسی‌هایی که توسط اسدی و همکاران (۱۳۹۰) در هفت دامنه در سه استان اردبیل، قزوین و لرستان انجام شد، تغییر کاربری از مرتع به دیم و شخم و شیار در جهت شیب (فرسایش آبی و شخم) عموما باعث کاهش کیفیت و توان تولید خاک شده است.

همچنین Soufi و همکاران (۲۰۲۱) با جمع‌بندی داده‌های بدست آمده از طرح بررسی مورفوکلیماتیک آبکندهای کشور انجام گرفته در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری نشان دادند که از دو میلیون هکتار عرصه‌های فرسایش خندقی بیش از یک میلیون هکتار (حدود ۵۵٪) در کاربری دیم رخ داده است (شکل ۲). گاهی مقدار فرسایش در سطح اراضی دیم می‌تواند بسیار زیاد باشد. مثلا عرب‌خدری (۱۴۰۰) به نقل از عباسی، هدررفت خاک در مرتع شخم خورده در جهت شیب در خراسان شمالی (مسیر اسفراین به بجنورد) را بعد از یک رگبار بسیار شدید بالغ بر هزار تن در هکتار گزارش کرده است (شکل ۳). توضیح آنکه، شیب بخش‌هایی از این دامنه به ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد.

یکی از خطرهای شخم در جهت شیب در اراضی شیب‌دار، جابجایی سالانه خاک به سمت پایین در اثر شخم است که به آن فرسایش شخم نیز اطلاق می‌شود. نتیجه تحقیق با مکعب‌های آلومینیمی (شکل ۴) نشان داد که با هر شخم بیش از ۱۰ متر مکعب خروج خاک از انتهای مزرعه در هر یکصد متر عرضی رخ می‌دهد (لطف‌الله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)

شکل ۲- نمونه‌ای از فرسایش خندقی در اراضی دیم

شکل ۳-اندازه‌گیری شیارها و خندق‌های ایجاد شده در یک زمین شیب‌دار پس از یک رگبار شدید (عکس از علی‌اکبر عباسی)

شکل ۴- تحقیق در خصوص جابجایی خاک در اثر شخم با استفاده از مکعب‌های آلومینیمی (عکس از دادور لطف‌اله‌زاده)

بررسی‌های انجام شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با شبیه‌ساز باران نیز بیانگر این موضوع است که خاک‌های دیم مورد تحقیق از مناطق مختلف کشور دارای فرسایش‌پذیری بالا، ماده آلی کم و ساختمان تخریب یافته هستند (شکل ۵) و در باران‌های شدید، فرسایش زیادی در آن‌ها رخ می‌دهد (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۹).

شکل ۵- تخریب ساختمان خاک در اراضی دیم (عکس از یحیی پرویزی)

وقوع فر سایش شدید ن شانه‌ای از کاهش نفوذپذیری این ارا ضی و جریان یافتن حجم زیادی از رواناب است. از سوی دیگر، تحقیقات انجام شده در سطح کشور حکایت از آن دارد که با برخی از اقدامات ساده می‌توان رواناب خروجی را تقلیل داد و بر مشـــکل فرســـایش تشـــدیدی نیز غلبه کرد. به عنوان مثال، بررسی‌های انجام گرفته در سطح پلات صحرایی در سهرین زنجان نشان داده که با شخم عمود بر شیب می‌توان مقدار فرسایش را تا حد زیادی نسبت به شخم در جهت شیب تقلیل داد. همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد شخم عمود بر جهت شیب، کاهش ۱۱ برابری فرسایش و ۶ برابری رواناب در دامنه‌ای به شـــیب ۸ درصـــد را در پی داشـــته اســـت (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۴). ذخیره رطوبت در این خاک سنگریزه‌دار افزایش ۱۰ درصدی تولید گندم را سبب شد.

جدول۳ - اثر شخم بر میزان هدررفت آب و خاک (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۴)

نوع شخم در شیب ۸٪	تولید رواناب و رسوب (در هکتار در سال)	
	رواناب (مترمکعب)	رسوب (تن)
شخم در جهت شیب	۸۵/۹	۲/۲
شخم عمود بر شیب	۱۴/۴	۰/۲

اقدامات مدیریت خاک باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و بهبود نفوذپذیری خاک شده و شرایط را برای توسعه پوشش گیاهی فراهم می‌کند. بهبود این دو ویژگی خاک، فروسایی داخلی خاک (شیمیایی، فیزیکی و زیستی) را از طریق جلوگیری از تلفات ماده آلی و حاصلخیزی، ممانعت از تشکیل سله سطحی و انهدام جمعیت میکروبی (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۷) متوقف کرده و به خوبی فرسایش‌های آبی (از نوع شیاری و بین شیاری) و بادی را مهار می‌کند. تحقیقات زیادی در خصوص نقش مدیریت پو شش گیاهی و خاک در سطح ک شور انجام شده ا ست که از جمله می‌توان به خاکورزی حفاظتی یا کشت بدون خاکورزی (حشمتی و همکاران، ۱۴۰۱؛ رحمتی، ۱۳۹۸ و خرسندی، ۱۳۹۸)، اجتناب از آیش سیاه با ک شت گیاهان علوفه‌ای یک ساله نظیر ما شک (صالح و همکاران، ۱۴۰۱؛ ا صغری میدانی، ۱۳۹۸ الف و رحمتی، ۱۳۹۸)، مدیر یت و حفظ ب قا یای گ یاهی (حشمتی و هم کاران، ۱۴۰۱؛ Yazdanpanahو همکاران، ۲۰۱۶؛ عبدالهی، ۱۳۹۸)، تناوب صحیح به ویژه کا شت حبوبات نظیر نخود در تناوب با غلات (خرسندی، ۱۳۹۸ و اصغری میدانی، ۱۳۹۸ ب)، و اولویت کشت پاییزه نسبت به بهاره (اصغری میدانی، ۱۳۹۸ ب) اشاره کرد. حفاظت آب و ذخیره آن در خاک با افزایش تراکم بخش‌های هوایی و ریشه پوشش گیاهی به تدریج بر میزان ماده آلی تاثیر می‌گذارد. افزایش ماده آلی خاک، چرخه مثبتی از حفظ بیشتر آب، تقویت پوشش گیاهی و در نتیجه ارتقا ذخیره مواد آلی و بهبود و ضعیت ساختمان خاک را به حرکت در می‌آورد. علاوه بر این موارد، می‌توان به تجارب فراوان در قالب دانش بومی روستائیان نظیر روش‌های کشاورزی سیلابی سنتی نظیر قره، دگار، تیربند و بندسار (عرب‌خدری و کمالی، ۱۳۸۷)، تجارب موفق معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی در سکوبندی ارا ضی دیم رو ستای ویدر شهر ستان ساوه در ا ستان مرکزی، و رو ستای پیشکمر شهر ستان کلاله در استان گلستان) و تجارب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای طرح‌های پایلوت نظیر توسعه باغات به‌صورت نیمه‌دیم با آبیاری تکمیلی نظیر الشتر در استان لرستان و وردیج در استان تهران، تجارب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس در استفاده از روش پخش سیلاب و ا ستحصال سیلاب برای کشاورزی سیلابی در ایستگاه گربایگان کوثر ا شاره کرد که زمینه و بستر لازم برای مدیریت علمی اراضی دیم، افزایش ماده آلی، ذخیره رطوبت خاک، افزایش تولید و کاهش فرسایش را فراهم می‌کند. این اقدامات، با کاهش میزان رواناب مستقیم، سبب تقلیل فرسایش‌های آبکندی و رودخانه‌ای و در نتیجه نیاز کمتر به اقدامات سازه‌ای می‌شوند.

مدیریت اراضی دیم با تکیه بر حفاظت آب و خاک

در خ صوص فر سایش ارا ضی دیم، از میان عوامل طبیعی، ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و خ صو صیات خاک موثر هستند. برخی از این عوامل نظیر فرسایش‌پذیری و عمق خاک اهمیت بسیار زیادی دارند. لیکن چون در مقیاس ملی در د سترس نی ستند، در حال حا ضر ا ستفاده از آن‌ها در مدیریت دیم‌زارها

مقدور نیســـت. از میان این عوامل، دو عامل شـــیب زمین و بارش تاثیر زیادی در کشـــت دیم دارند و خوشبختانه در طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور نقشه‌های مربوطه تهیه شده‌اند (پژوهشکده حفاظت خاک وآبخیزداری، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت مقیاس نقشه کاربری در قالب طرح مذکور، در برخی از واحدها، اراضی دیم به صورت مخلوط با مرتع و جنگل هستند.

با روی هم‌گذاری دو لایه شیب و کاربری، توزیع ارا ضی دیم در طبقات مختلف شیب تهیه شد که در جدول ۴ ملاحظه می شود. مطابق این جدول، ۴۲ در صد ارا ضی دیم با شیبی کمتر از ۵ ٪ محدودیت کمی از نظر کشـاورزی دارد. ۳۵/۶ درصـد از سـطح دیم‌زارها در طبقه دوم شـیب (۱۲-۵٪) قرار گرفته ا ست که محدودیت متو سطی از نظر ک شت‌وکار سالانه دارند. بیش از ۲۲ در صد ارا ضی دیم پر شیب (۱۲ ٪<) محسـوب می‌شـوند و از نظر کشـاورزی در طبقه محدودیت زیاد تا خیلی زیاد قرار می‌گیرند. شیب‌های تندتر از این آ ستانه از لحاظ کاربرد سالانه ما شـــین آلات کشـــاورزی و عملیات زراعی با محدودیت مواجه ه ستند و ک شت‌وکار در این ارا ضی باید با تمهیدات خا صی صورت گیرد و از شخم سالانه آن‌ها جلوگیری شود.

جدول ۴- توزیع طبقات شیب در دیم‌زارهای کشور(پژوهشکده حفاظت خاک وآبخیزداری، ۱۳۸۸)

طبقه شیب	۰-۵٪	۵-۱۲٪	۱۲-۲۰٪	۲۰-۴۰٪	>۴۰٪	جمع
مساحت (درصد)	۴۰/۰	۳۵/۶	۱۳/۵	۸/۴	۰/۵	۱۰۰

بر اسـاس تحلیل نقشـه‌های سـیمای حوزه‌های آبخیز (پژوهشـکده حفاظت خاک وآبخیزداری، ۱۳۸۸)، بالغ بر ۵۳ در صد از ارا ضی دیم بار شی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در سال و مابقی از بار شی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر در سال برخوردار هستند (جدول ۵).

جدول ۵- توزیع طبقات بارش در دیم‌زارهای کشور (پژوهشکده حفاظت خاک وآبخیزداری، ۱۳۸۸)

طبقه بارش (mm)	۱۰۰-۲۰۰	۴۰۰-۶۰۰	۴۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۱۴۰۰	جمع
مساحت هکتار(٪)	۲/۹	۵۰/۲	۳۸/۴	۸/۴	۱۰۰

در گزارشـی دیگر غفاری (۱۳۸۷) وضـعیت بارشـی حدود ۶ میلیون هکتار اراضـی دیم، را متفاوت بیان کرده اســت. بنابراین گزارش، ۵ میلیون هکتار، در مناطقی با بارندگی ســالانه کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر (بعضــاً کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر) قرار دارند که در این مناطق متوســط عملکرد در واحد ســطح کمتر از متو سط تولید ک شور ا ست و به شدت تحت تاثیر تغییرات بارندگی سالانه می‌با شد. مطابق نظر غفاری

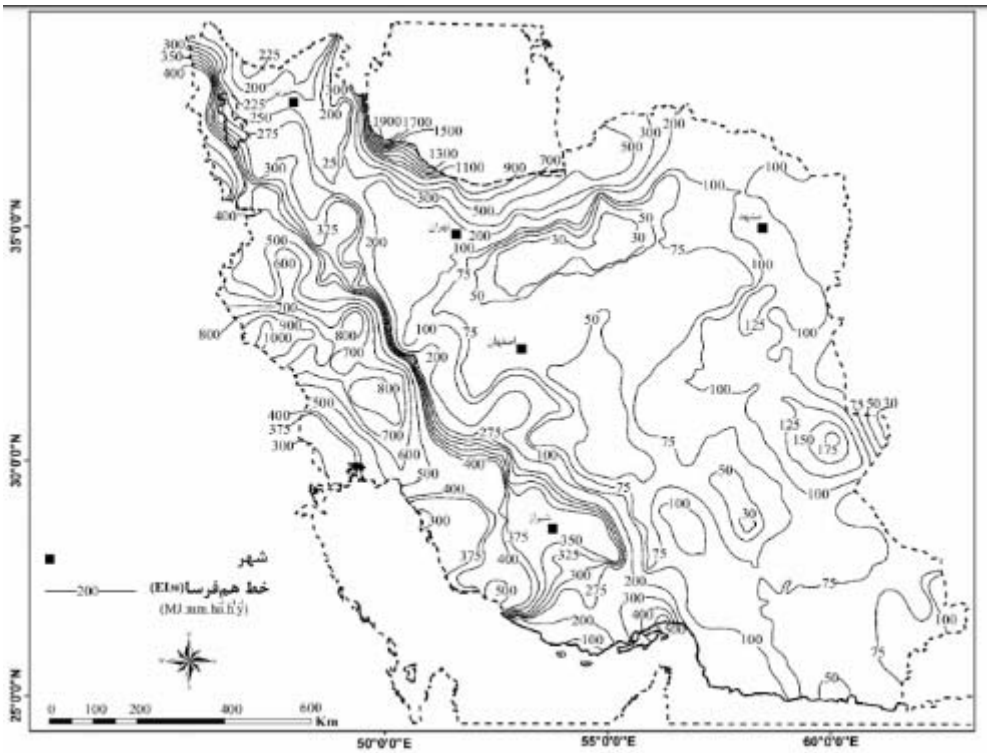
(۱۳۸۷) تنها کمتر از یک میلیون هکتار از دیم‌زارهای کشور در مناطق با بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر عملکرد قابل قبول دارد. دیم‌زارهای مناطق با بارندگی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در فصل بهار با تنش خشکی و گرم شدن ناگهانی تهدید می‌شوند.

علاوه بر کم بودن بارش در اغلب اراضی دیم کشور، توزیع زمانی بارش نیز متناسب با فصل رشد نیست. به نحوی که سهم بارش بلند مدت کشور در بهار ۲۸ درصد در تابستان ۴ درصد، در پاییز ۲۶ درصد و در فصل غیر زراعی زمستان ۴۲ درصد می‌باشد (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۵)). توزیع بارش از سالی به سال دیگر نیز متفاوت است. بر اساس همین گزارش، بررسی خشکسالی کشاورزی کشور در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ نشان داد که اراضی زراعی هفت استان بین ۱۵ تا ۴۵ درصد تحت استرس خشکسالی قرار گرفته بود. کمبود بارش، عدم تناسب توزیع بارش با نیاز محصولات دیم در طول دوره رشد و همچنین تغییرات بارش از سالی به سال دیگر، ضرورت ذخیره رطوبت در خاک را روشن می‌کند.

بررسی نقشه فرسایندگی باران (شکل ۶) تهیه شده بوسیله نیک‌کامی و همکاران (۱۳۹۲) نشان می دهد که به غیر از بخش‌هایی از زاگرس در سایر مناطق اصلی گسترش دیم‌زارها، فرسایندگی زیاد نیست. با توجه به اینکه سهم قابل توجهی از دیم‌زارها در ناحیه زاگرس هستند، مشکل فرسایش در این اراضی بیشتر است. البته لازم به ذکر است که در سایر مناطق کشور نیز احتمال وقوع رگبارهای کوتاه مدت فرساینده وجود دارد. مثلا مطابق گزارش ملکوتی و نوروزی (۱۳۶۲) نزول ۲۱ میلی‌متر باران در پنج دقیقه در مورخ ۲۸ اردیبهشت ۱۳۶۲ ثبت شده در ایستگاه سد امیرکبیر شدت تقریبی ۲۵۰ میلی‌متر بر ساعت به سیل مخربی در حوضه فرعی ۳۱۰۰ هکتاری مشرف به مخزن سد مذکور منجر شده که فرسایش و تخریب زیادی نیز در پی داشته است. دو بارش مشابه این رویداد یکی در ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در روستای سیجان واقع در جاده کرج به چالوس و دیگری در ۵ مرداد ۱۴۰۱ در امامزاده داود واقع در شمال تهران رخ داد که اولی سبب کشته شدن ۸ نفر و خسارت حدود ۱۰۰ خودرو شد (بی‌نام، ۱۳۹۷) و دومی نیز به سیل و فرسایش شدید و خسارت جانی و مالی منجر شد.

بر اساس بررسی‌های محدود انجام شده، بیشتر دیم‌زارها بر روی تشکیلات و سازندهایی هستند که به شدت به فرسایش حساس هستند. مثلا در اغلب استان‌های منطبق بر ارتفاعات زاگرس و همچنین استان‌هایی نظیر زنجان و قزوین دیم‌زارهای شیب‌دار بر روی سازندها و تشکیلات مارنی که متشکل از ماسه خیلی‌ریز و سیلت هستند (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۹) قرار دارند. همچنین، عرصه گسترده‌ای از دیم‌زارهای واقع در شمال شرق کشور در استان‌های گلستان، خراسان شمالی و خراسان رضوی بر روی تشکیلات بسیار حساس لسی قرار دارند که همگی عرصه‌های بحرانی و حساس از نظر فرسایش‌پذیری بوده و منابع اصلی تولید رسوب رودخانه‌ها و مخازن سدهای بزرگ هستند. شرایط حساسیت این عرصه‌ها با مدیریت ناصحیح تلفیق شده و منجر به ایجاد آبخیزهای سیل‌خیز در این

محدوده‌ها شده است. یکی از محدودیت‌های دیگر خاک دیم‌زارها، کم بودن ماده آلی است که در نتیجه باروری اراضی دیم کشور به شدت در معرض تخریب قرار گرفته است (میرزاشاهی و بازرگان، ۱۳۹۴).



شکل ۶- نقشه فرسایندگی باران (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۲)

از میان عوامل انسانی مرتبط با فرسایش اراضی دیم می‌توان به مباحث مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، قانونی و حتی شرعی اشاره کرد. متاسفانه در بسیاری از موارد استفاده از دیم‌زارها با فقدان آینده‌نگری و عدم رعایت اصول فنی توأم شده است که خود ارتباط مستقیمی با چالش‌های فرهنگی و آموزش ناکافی از دیدگاه‌های زیست محیطی و حفاظت خاک و آب و ضعف در قوانین بازدارنده دارد. نمونه‌ای از این مشکل، خرد شدن اراضی کشاورزی به‌واسطه قانون ارث اموال غیرمنقول است. این مسئله بویژه در دیم‌زارها سبب شده است که تقسیم اراضی در امتداد شیب اصلی زمین صورت گیرد که در عمل مانع از شخم عمود بر شیب می‌شود. به عنوان مثالی دیگر مهاجرت به عنوان یک چالش اجتماعی اهمیت دارد که از سیاست‌ها تاثیر می‌پذیرد.

تاکید بیش از حدی بر نقش اجرایی دستگاه‌های دولتی در امور مرتبط با حفاظت خاک و آبخیزداری وجود دارد. در حالی‌که باید این امور به مردم واگذار شده و دستگاه‌های دولتی نقش سیاستگذاری و نظارتی داشته باشند. از طرف دیگر به رغم پیشرفت‌های فنی زیاد در حفاظت خاک و آب، چالش‌های فرهنگی موجود در مواردی مانع از تعامل صحیح بین دستگاه‌های اجرایی، تحقیقاتی و آموزشی می‌شود. از نظر سیاست‌گذاری و تصویب قوانین و آیین نامه‌ها، تکیه زیاد بر خودکفائی محصولات اساسی از قبیل گندم مستقیماً بر افزایش دیم‌زارها و فرسایش خاک تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثالی دیگر، اگرچه زیان‌های شخم معمول دیم‌زارهای با شیب تند از دهه ۳۰ مورد تاکید بوده است؛ قوانین بازدارنده و یا سیاست‌های تشویقی مشخصی برای حل این معضل ارائه نشده است.

مجموعه قوانین موجود در کشور که به نحوی از انحاء به طور مستقیم یا غیرمستقیم با موضوع خاک دیم‌زارها مرتبط است در برخی از موارد ناهماهنگ و فاقد کارایی لازم جهت تضمین حفاظت و بهره‌برداری پایدار آن‌ها است. به همین دلیل یکی از اقدامات اساسی لازم، اصلاح قوانین موجود و یا وضع و تدوین مقررات جدید سازگار با نیازهای روز است که بتواند ضامن تحقق اهداف قوانین حفاظت خاک این اراضی باشد. لازمه سیاستگذاری صحیح، و تصویب و اصلاح قوانین وجود اطلاعات مکفی از سرزمین است. نظارت بر اجرای قوانین در توسعه این منابع و جلوگیری از سیر قهقرایی آنها نیز بدون پایش مداوم آنها مقدور نیست. متاسفانه اطلاعات در مقیاس‌های تفضیلی به مقدار کافی در کشور وجود ندارد.

از دیدگاه اقتصادی، فروش بقایای گیاهی و کاه‌بن غلات اراضی دیم به دامداران و عشایر به عنوان پس‌چر یکی از مسائل درگیر این اراضی است که با حذف پوشش گیاهی زمینه فرسایش خاک و هدررفت عناصر غذایی را در پی دارد. شخم اراضی پر شیب (بالاتر از شیب حد) یکی از مسائل مهم و تشدید کننده فرسایش آبی است. این موضوع، تاحدی به وضع قطعه‌بندی اراضی و سطح پایین آموزش روستائیان مربوط می‌باشد. با تندتر شدن شیب در مناطق دیم‌کاری، فرسایش شدت می‌یابد. اثر تغییر کاربری اراضی منابع طبیعی به دیم بر فرسایش به‌ویژه در شیب‌های تند نباید فراموش شود. گسترش دیم‌زارهای کم بازده با تغییر کاربری مراتع و جنگل‌ها در مناطق نیمه خشک از جمله شخم و شیار در زیر اشکوب جنگل و کشت‌وکار در دامنه‌های پر شیب با قطع درختان جنگلی انبوه در مناطق مرطوب شمال حتی بدون سکوبندی معمول است. عده‌ای برای حل مشکل شخم اراضی با شیب تند، داستان انحرافی ساخت تراکتور ویژه شخم روی خط تراز اراضی پر شیب را مطرح کرده‌اند. در حالی‌که اصولا شخم سالانه اراضی با شیب بیش از ۱۲ درصد توصیه نمی‌شود. زیرا با انباشت رواناب بالای پشته‌های شخم تراز، احتمال شکستن بخشی از پشته وجود دارد که با رها شدن حجم زیادی از رواناب، وقوع فرسایش خندقی (شکل ۷) دور از انتظار نیست (پرویزی و عرب‌خدری (۱۴۰۰).

شکل ۷- تاثیر شخم عمود بر جهت شیب در دامنه پرشیب بر وقوع فرسایش خندقی (پرویزی و عرب‌خدری (۱۴۰۰)

یکی از مشکلات دیگر، شخم در زمان نامناسب و لخت ماندن سطح خاک تا زمان کشت است. بخشی از این مشکل مربوط به کشاورزان با بنیه ضعیف می‌باشد که به‌دلیل عدم مالکیت تراکتور قادر به مدیریت زمان شخم نیستند. آیش گذاشتن اراضی نیز از مشکلات مهم می‌باشد که در قسمت‌های قبلی راجع به آن صحبت شد. ظرفیت تولید کم اراضی دیم به‌ویژه کم‌بازده و درآمد ناکافی کشاورزان به همراه خشکسالی‌های پیاپی از دیگر مسائل مرتبط با چالش‌های اقتصادی و اجتماعی است.

برنامه‌های پیشنهادی برای مدیریت اراضی دیم

دفتر خاک کشاورزی متولی خاک کشاورزی کشور است و بر اساس وظایف و ماموریت‌های حاکمیتی مسئولیت حفاظت از آن‌ها را به‌عهده دارد. بنابراین، ضروری است در قالب برنامه‌های منسجم و پیوسته نسبت به انجام وظایف حاکمیتی در قالب تولی‌گری (و نه تصدی‌گری) خود در عرصه خاک اراضی دیم کشور اقدام کند. با توجه به توضیحات بالا، فهرست زیربرنامه‌ها و پروژه‌ها، رئوس اقدامات لازم و پیش‌بینی اولیه از سطح، کیفیت و مدت عملیات مورد نیاز در قالب دو برنامه شناخت و حفاظت ارائه شده است. در انتهای این قسمت، سایر اقدامات و مسائل جانبی مرتبط برای اجرای بهینه برنامه‌های پیشنهادی و دستگاه‌های متولی و مشارکت کننده در این برنامه‌ها مطرح شده است.

برنامه شناخت خاک اراضی دیم کشور

جدول ۶ رئوس زیربرنامه‌ها و اقدامات پیش‌بینی شده در برنامه شناخت عرصه خاک اراضی دیم کشور را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این برنامه مشتمل بر دو زیربرنامه و چهار پروژه است و مدت اجرای اقدامات پیش‌بینی شده بین ۲ تا ۱۰ سال تفاوت دارد.

جدول ۶- جزئیات برنامه شناخت اراضی دیم و توسعه ابزار تولی گری معاونت آب و خاک

زیربرنامه	پروژه	اقدامات پیش‌بینی شده	سطح عملیات/ زمان
اطلس‌ها و نقشه‌های مورد نیاز	تهیه اطلس سیمای دیم-زارهای کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰	0 پهنه بندی رقومی، ممیزی وسعت و دسته بندی کیفی اراضی دیم کشور از منظر کاربری های اصلی (باغ، زراعت یکساله، زراعت چند ساله)، شیب، عناصر اقلیمی به ویژه دما و بارش، فرسایش پذیری ذاتی زمین، اشکال فرسایش، پتانسیل شدت فرسایش به تفکیک حوزه های آبخیز و تقسیمات کشوری 0 تعیین کانون های بحرانی فرسایش آبی و بادی در سطح دیم‌زارهای کشور 0 تعیین دیم‌زارهای کم بازده	در سطح ۱۰ میلیون هکتار در حد مطالعات اجمالی/ دو ساله
	تهیه نقشه مدیریت پذیر خاک دیم‌زارها با اولویت اراضی با شیب کمتر از ۱۲ ٪ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰	0 پهنه‌بندی رقومی و دسته بندی اراضی دیم کشور از منظر محدودیت‌های خاک سطحی و عمقی، فرسایش‌پذیری ذاتی خاک 0 طبقه‌بندی اراضی دیم از منظر محدودیت های بارش، شیب، سنگریزه، عمق خاک، شوری، قلیایی، فرسایش آبی، فرسایش بادی و ماده آلی 0 تعیین تناسب کلی اراضی برای دیم (باغ، زراعت یکساله، زراعت چند ساله) تعیین تناسب دقیق اراضی برای انواع محصولات منطقه	سطح ۷ میلیون هکتار- در مقیاس تفصیلی/ ۱۰ ساله

زیربرنامه	پروژه	اقدامات پیش‌بینی شده	سطح عملیات/ زمان
توسعه ابزارهای مدیریتی و حاکمیتی	مدل‌ها، استانداردها و ضوابط	0 توسعه مدل مناسب ارزیابی وضعیت تخریب خاک و برآورد فرسایش سطحی دیم‌زارهای کشور 0 تعیین حد قابل تحمل فرسایش خاک در دیم‌زارهای کشور 0 تکمیل و به روز رسانی ضوابط و استانداردهای حفاظت آب و خاک در دیم‌زارها	سطح اراضی پایلوت دیم کشور / ۵ ساله
	بانک اطلاعات مکانی دیم‌زارها	0 طراحی و تولید بانک اطلاعاتی از داده های اقلیم، شیب، خصوصیات خاک، تولید محصول و پتانسیل شدت فرسایش بر اساس نوع خاک و محصول در هر منطقه	در سطح ۱۰ میلیون هکتار/ ۱۰ ساله

برنامه حفاظت خاک اراضی دیم کشور

جدول ۷ رئوس زیربرنامه‌ها، پروژه‌ها و اقدامات پیش‌بینی شده در برنامه حفاظت خاک اراضی دیم کشور را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می شود این برنامه مشتمل بر سه زیربرنامه و شش پروژه است و مدت اجرای کلیه اقدامات پیش‌بینی شده ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. توضیح آنکه کلیه پروژه‌های پیشنهادی با دیدگاه ترویجی و به صورت پایلوت انجام می‌گیرد.

جدول ۷- جزئیات برنامه حفاظت خاک اراضی دیم

زیر برنامه	عنوان پروژه	مصادیق اقدامات قابل اجرا	سطح عملیات/ زمان	ملاحظات
حفاظت آب و خاک در برابر فرسایش آبی و بادی در اراضی دیم با شیب کمتر از ۵ درصد (با سطح ۴/۲ میلیون هکتار در کشور)	افزایش بهره‌وری از آب سبز دیم‌زارهای کم شیب	-توسعه و ترویج فنون ذخیره نزولات و کاهش تبخیر از قبیل شخم در جهت عمود بر شیب یا عمود بر باد، مدیریت بقایای گیاهی، اجتناب از آیش نکاشت، اصلاح الگوی کشت، خاک‌ورزی حداقل و صفر، تخفیف بیمه، ترویج تناوب غلات و بقولات، ترویج اولویت کشت پاییزه و ...	۴۰ هزار هکتار در ۱۰ سال	یک درصد از مساحت دیم‌زارها- قابل اجرا در حدود ۱۰ هزار روستا
	کشاورزی سیلابی	توسعه و ترویج روش‌های نوین و اصلاح روش های سنتی زراعت سیلابی	چهار هزار هکتار در ۱۰ سال	یک دهم درصد از مساحت دیم‌زارها- قابل اجرا در حدود هزار روستا
حفاظت آب و خاک در برابر فرسایش آبی در	افزایش بهره‌وری از آب سبز دیم‌زارهای	توسعه و ترویج پشته‌های حفاظتی تراز برای الزام تراکتور به شخم روی خط تراز، فنون ذخیره نزولات	۷۰ هزار هکتار در ۱۰ سال	دو درصد از مساحت دیم‌زارها-

زیر برنامه	عنوان پروژه	مصادیق اقدامات قابل اجرا	سطح عملیات/ زمان	ملاحظات
اراضی دیم با شیب ۵ تا ۱۲ درصد با سطح گسترش ۳/۵ میلیون هکتار	طبقه شیب متوسط	و کاهش تبخیر از قبیل شخم در جهت عمود بر شیب، مدیریت بقایای گیاهی، اجتناب از آیش نکاشت، خاک‌ورزی حداقل و صفر، تخفیف بیمه، ترویج تناوب غلات و بقولات، ترویج اولویت کشت پاییزه، توسعه باغات با جمع‌آوری آب باران، و ...		قابل اجرا در حدود ۲۰ هزار روستا
حفاظت خاک در اراضی دیم کم بازده و پرشیب بیشتر از ۱۲ درصد در سطح ۲/۲ میلیون هکتار در کشور	کشت گیاهان علوفه‌ای در دیم‌زارهای کم بازده	توسعه و ترویج اجتناب از شخم سالانه، کشت گیاهان علوفه‌ای چند ساله، تبدیل مزارع به چراگاه دست کاشت در دیم‌زارهای کم بازده	۶۰ هزار هکتار در ۱۰ سال	سه درصد از مساحت دیم‌زارها- قابل اجرا در حدود ۲۰ هزار روستا
	توسعه باغات و گیاهان دارویی در اراضی شیب‌دار	توسعه و ترویج ایجاد باغ و مزرعه گیاهان دارویی دائمی با فنون ذخیره نزولات	۱۰ هزار هکتار در ۱۰ سال	نیم درصد از مساحت دیم‌زارهای شیب‌دار با عمق مناسب خاک در ۱۰ هزار روستا
	سکوبندی اراضی دیم پرشیب با خاک عمیق	توسعه و ترویج سکوبندی برای کاهش شیب در خاک‌های عمیق، الزام تراکتور به شخم روی خط تراز	دو هزار هکتار در ۱۰ سال	یک دهم درصد از مساحت دیم‌زارهای شیب‌دار با خاک عمیق نظیر دامنه های لسی و سازندهای مشابه در ۲۰۰ روستا

سایر اقدامات

علاوه بر برنامه‌های فوق، برخی مسائل جانبی نیز به شرح زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

- تربیت مروج و تسهیلگر حفاظت آب و خاک
- مباحث حقوقی، فقهی و قانونی از جمله جلوگیری از تقسیم اراضی دیم و مسائل مرتبط با ارث و تجمیع اراضی
- تامین تجهیزات لازم (برای کشاورزان دیمکار با بنیه ضعیف)
- هماهنگی برای تصویب و تامین تسهیلات بانکی برای کشاورزان دیمکار که مطابق توصیه‌های ترویجی عمل می‌کنند.

- هماهنگی برای ا صلاح نرخ بیمه مح صولات دیم متنا سب با میزان رعایت ا صول حفاظتی تو سط بهره‌بردار
- جهت‌دار کردن پرداخت خسارت‌های ستاد بحران نظیر خشکسالی و سیل به کشاورزان دیم‌کاری که مطابق توصیه‌های ترویجی عمل می‌کنند.
- هماهنگی برای ارائه ت سهیلات و خدمات نظیر تامین کود و سم به ارا ضی دیم پر شیب که مطابق اصول حفاظت خاک عمل نمی‌کنند.

دستگاه‌های متولی و مشارکت کننده

علاوه بر کشاورزان، دستگاه‌های متولی و مشارکت کننده اصلی در اجرای این برنامه به شرح زیر هستند.

- دفتر خاک معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی
- دفاتر ذیربط در معاونت زراعت و باغبانی وزارت جهاد کشاورزی
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- موسسه تحقیقات دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- موسسه آموزش و ترویج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- شرکت‌های مهندسی مشاور در مطالعات آبخیزداری، خاک و دورسنجی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، خلا صه‌ای از گزارش مدیریت جامع دیم‌زارهای ک شور تهیه شده به درخوا ست دفتر امور خاک معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ارائه شده است. نکته مهم در این گزارش، توجه به حفاظت خاک به عنوان پیش‌نیاز مدیریت و افزایش تولید این ارا ضی ا ست. دو برنامه شناخت و حفاظت ا صلی‌ترین بخش مقاله ه ستند که بر ا ساس مجموعه‌ای از مدارک و مستندات و سوابق تحقیقات موجود ارائه شده‌اند. با اجرای برنامه‌های پیشنهادی، استفاده پایدار از این ارا ضی در طولانی‌مدت و با کمترین پیامدهای مخرب محیط زیستی مقدور می شود. اولین گام برای پیاده کردن زیربرنامه‌های حفاظت، انجام طرح‌های پی شاهنگ در رو ستاهای منتخب ا ست که نیازمند تامین اعتبار می‌باشد.

منابع

- احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، فرشاد حاتمی، ف.، عبدشاه، ه.، و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی، سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، جلد اول محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران.
- احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، فرشاد حاتمی، ف.، عبدشاه، ه.، و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی، سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، جلد سوم محصولات باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران.
- احمدی ک.، عبادزاده ح.، حاتمی ف.، عبدشاه ه.، کاظمیان آ. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی ایران: جلد اول، محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران.
- اصغری میدانی، ج. ۱۳۹۸ الف. تاثیر روش مناسب خاک‌ورزی و مصرف کود نیتروژن برای تولید ماشک علوفه ای پاییزه در مناطق سردسیر شمال‌غرب کشور. کتاب یافته‌های ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۱۳۹۸.
- اصغری میدانی، ج. ۱۳۹۸ ب. اثرگذاری خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد نخود پاییزه و بهاره در تناوب با غلات در شرایط دیم مناطق سردسیر شمالغرب کشور. کتاب یافته‌های ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۱۳۹۸.
- بی‌نام. ۱۴۰۱. گزارش سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران.
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۶. گزارش نهایی سیمای حوزه‌های آبخیز کشور. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.
- پرویزی، ی.، عرب‌خدری، م.، حشمتی م.، قیطوری م. ۱۳۹۷. فروسایی خاک: (تهدید پنهان باروری اراضی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی. ۲۲ ص.
- پرویزی، ی.، بیات ر.، حشمتی م.، قیطوری م. ۱۳۹۸. بررسی اثرات شیب و شدت بارندگی بر فرسایش بین شیاری اراضی دیم در استان کرمانشاه با استفاده از شبیه‌ساز باران صحرایی. گزارش پژوهشی طرح تحقیقاتی. شماره فروست ۵۵۰۲۲
- پرویزی، ی.، بیات ر.، عرب‌خدری م.، فاتحی ش. ۱۳۹۹. تعیین عوامل موثر بر سیمای فرسایش خاک در دیم‌زارهای استان کرمانشاه با شبیه ساز باران صحرایی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری. ۱۴(۳): ۷۰-۸۲.
- حشمتی، م.، پورداد، س س.، و نیک عبدالمجید. ن م، ۱۴۰۱. مقایسه اثرات چند روش کشاورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد محصول درشرایط دیم ایستگاه سرارود استان کرمانشاه. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

- بی‌نام.۱۳۹۷. گزارش خسارت سیل روستای سیجان. وبگاه سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور کشور.
- خرسندی، ه. ۱۳۹۸. کاهش مصرف نیتروژن و هزینه تولید گندم رقم باران از طریق کشاورزی حفاظتی و تناوب نخود در اراضی دیم. کتاب یافته‌های ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۱۳۹۸.
- خلیلی، ک.، ناظری تهرودی م.، احمدی ا. ۱۳۹۵. تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۳(۲): ۶۴۳-۶۵۴.
- رحمتی، م. ۱۳۹۸. تعیین مناسب‌ترین روش خاکورزی (بی‌خاکورزی، کم خاکورزی و خاکورزی مرسوم) برای برخی محصولات زراعی. کتاب یافته‌های ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۱۳۹۸.
- مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران. ۱۳۹۵. سالنامه مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، سازمان هواشناسی کشور.
- عبدالهی، ع. ۱۳۹۸. خاک‌ورزی حفاظتی در نخود پاییزه دیم. کتاب یافته‌های ترویج سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۱۳۹۸.
- عرب‌خدری، م.، کمالی، ک.، ۱۳۸۷، روش‌های سنتی حفاظت خاک و آب در ایران، انتشارات سبحان با همکاری انجمن آبخیزداری ایران، چاپ سلام، ۱۱۰ صفحه.
- عرب‌خدری، م.، جعفری اردکانی، ع.، بیات، ر.، شادفر، ص.، خواجوی، ا.، نبی پی لشکریان، س.، مهدیان، م. ح.، بنی‌هاشمی، س. ع. و جافریان، م. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش خاک برآوردشده در سطح کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۱۸ صفحه.
- عرب‌خدری، م.، بیات، ر. و ط شادفر، ص. ۱۳۹۹. بررسی فرسایش خاک دیم‌زارهای منتخب چهار استان کرمانشاه، گلستان، قزوین و کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از شبیه‌ساز باران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۲۴۴ صفحه.
- عرب‌خدری، م. ۱۴۰۰. وضعیت فرسایش آبی و رسوبدهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای، دوفصلنامه پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۶ (۲)، ۱۳۹-۱۵۶.
- غفاری، ع.، ۱۳۸۷، راهکارهای افزایش تولید در دیم‌زارهای کشور، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور.
- غیاث‌آبادی فراهانی، ف.، خوش‌اخلاق، ف.، شمسی‌پور، ع.، عزیزی، ق.، فتاحی ا. ۱۳۹۷. بررسی و تحلیل تغییرات درون دهه‌ای روند و الگوی فضایی بارش‌های سالانه و فصلی (مطالعه موردی: نیمه غربی ایران). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۸(۴۸): ۵۹-۷۸.
- صالح، ا.، واعظی، ب.، پیروان. ح ر.، خزایی، م.، صالح، ح.، سیدی موردراز، ع. ۱۴۰۱. بررسی اثر کشت گیاهان علوفه‌ای خانواده لگومینوز سازگار با شرایط دیم بر میزان رواناب و رسوب. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

- لطف‌اله‌زاده، د.، نوروزی‌بنیس، ی. و جعفری‌اردکانی، ع. ۱۳۹۱. بررسی و تعیین مقدار فرسایش خاک با استفاده از مکعب‌های آلومینیومی در اراضی دیم به منظور مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی در حوزه هنام و مرک استان‌های لرستان و کرمانشاه). مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. لرستان.
- ملکوتی، ع. و نوروزی، غ. ۱۳۶۲. تحلیلی بر سیل مورخ ۱۳۶۲/۲/۲۸ حوزه آبخیز سد کرج. دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.
- موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۸۴، خاک- کتاب اول: شناخت وضع موجود و منابع (مبانی لایحه قانون جامع خاک کشور)، انتشارات تابان، ۴۵۰ ص.
- میرزاشاهی، ک.، بازرگان، ک. ۱۳۹۴. مدیریت ماده آلی خاک، نشریه فنی شماره ۵۳۵، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
- نیک‌کامی، د.، جعفری اردکانی، ع.، بیات‌موحد، ف.، رزم‌جو، پ. ۱۳۸۴. تعیین اثرات شخم بر میزان فرسایش خاک و تعیین حد شیب. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- نیک‌کامی، د.، مهدیان، م ح.، عرب‌خدری. م.، سررشته‌داری. ا. و لطف‌اله‌زاده، د. ۱۳۹۲. بررسی و تعیین مناسب‌ترین شاخص فرسایندگی باران در مناطق مختلف ایران. گزارش‌نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۲۰ ص.
- Sedighi, F., Khaledi Darvishan, A., Zare, M.R., 2021. Effect of Watershed Geomorphological Characteristics on Sediment Redistribution. Geomorphology, 375: 107559.
- Siadat, H. 1998. Iranian agriculture and salinity. In: Proceedings of the international symposium held in Tehran, Iran 12–15 October. http://archive.unu.edu/env/Land/iran-1/index.htm#papers.
- Soufi, M., R. Bayat and A.H. Charkhabi. 2021. Gully Erosion in I. R. Iran: Characteristics, Processes, Causes, and Land Use. In: Shit P.K. et al. (eds.), Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions, Advances in Science, Technology and Innovation, 357-368. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_23.
- Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M. and Cerdà, A. 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. Geoderma. 266: 58-65. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.032.

توسعه نهال‌کاری و مدیریت آب سبز با احداث پشته‌های هلالی

کورش کمالی*[۱]، شهریار صبح‌زاهدی[۲]

۱*-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(kamali_kourosh@yahoo.com)

۲- پژوهشگر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده

استحصال ریزش‌های جوی یکی از راهکارهای اجرایی مدیریت و بهره‌برداری از آب محدود قابل دسترس برای احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی است. یکی از شیوه‌های استحصال آب، استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر باران کوچک مقیاس است. سطوح آبگیر کوچک به سامانه‌هایی اطلاق می‌شود که رواناب سطحی از یک سطح آبگیر کوچک با طول کمتر از ۵۰ تا حداکثر ۱۵۰ متر، که دارای جریان سطحی به صورت قشری می‌باشد، جمع‌آوری می‌شود. سامانه پشته‌های هلالی شکل به عنوان یک سطح آبگیر کوچک مقیاس، پشته‌های خاکی به شکل نیم‌دایره هستند که بر روی خطوط تراز برای نهال‌کاری و رشد درختان و درختچه‌ها ایجاد می‌شوند. معمولاً این پشته‌ها در ردیف‌هایی به‌صورت متناوب ساخته می‌شوند، به‌طوری‌که آب که از فاصله هر دو پشته ردیف بالا می‌گذرد، داخل پشته ردیف بعد جمع شود. این مقاله می‌کوشد تا با معرفی و در نظر گرفتن ضوابط و معیارهای فنی اجرای این سامانه، نقش آن را در توسعه نهال‌کاری با مدیریت آب سبز و حفظ رطوبت خاک مورد بررسی قرار دهد.

واژه‌های کلیدی:

باران، سطح آبگیر کوچک، سامانه هلالی شکل

مقدمه

دسترسی به آب در تمام مناطق به ویژه در زیست‌بوم‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل ویژگی ریزش‌های جوی همواره با مسائل و مشکلاتی مواجه است. در چنین مناطقی بهره‌گیری از روش‌های مختلف استحصال آب در قالب روش‌های بزرگ و کوچک مقیاس، راهکار گریزناپذیر دستیابی به آب برای استفاده جهت مقاصد مختلف است. افزایش مقدار آب قابل دسترس برای تولید محصولات کشاورزی و احیای منابع طبیعی تجدید شونده با کاربست سامانه‌های سطوح آبگیر باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک علیرغم اندک بودن مقدار ریزش‌های جوی، می‌تواند به توسعه پایدار در سطوح مورد انتظار با حداقل سرمایه‌گذاری منجر شود. راهکار مدیریت بارش‌های جوی نیازمند استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر است که از یک طرف قابلیت اجرایی وسیع در گستره‌های پهناور را دارند و از طرف دیگر به دلیل

ساده بودن سامانه‌های سطوح آبگیر با مشارکت مستقیم بهره‌برداران و یا هزینه‌های کم قابل اجرا است (طباطبایی یزدی و چکشی، ۱۳۸۶).

سامانه‌های جمع‌آوری آب باران بر اساس سطح آبگیر، نوع مخزن ذخیره، استفاده از آب‌های استحصال شده و منشاء جمع‌آوری آب باران طبقه‌بندی می‌شوند. این سامانه‌ها از نظر اندازه سطوح آبگیر به دو گروه کوچک و بزرگ مقیاس قابل تقسیم هستند (شکل ۱). سطوح آبگیر کوچک مقیاس[15] علاوه بر سطوح آبگیر سقفی و پشت بامی، می‌تواند دامنه‌های با طول کمتر از ۵۰ تا حداکثر ۱۵۰ متر را شامل شود. این سامانه‌ها به صورت سامانه‌های درون مزرعه‌ای[16] تولیدکننده رواناب‌های سطحی ورقه‌ای غیرمتلاطم هستند. چاله‌های منقطع[17]، بانکت‌ها[18]، سکوها[19]، کرت‌های لوزی شکل[20] اعم از این‌که سطح آبگیر آنها تیمار شده باشد (نظیر جمع‌آوری بقایای گیاهی، سنگریزه‌های سطحی، استفاده از مواد افزودنی کاهش‌دهنده نفوذپذیری خاک و فشردن و کوبیدن خاک سطحی) و یا تیمار نشده (نظیر سطوح طبیعی آبگیر باران) از جمله سامانه‌های سطوح آبگیر کوچک مقیاس باران محسوب می‌شوند.

	سطوح آبگیر سقفی **Rooftop** water harvesting
	سطوح آبگیر کوچک مقیاس **Micro catchment** water harvesting
	سطوح آبگیر بزرگ مقیاس (با حوزه آبخیز متوسط) **Macro catchment** water harvesting (=Medium-sized catchment water harvesting)
	سطوح آبگیر بزرگ مقیاس (با حوزه آبخیز بزرگ) **Floodwater harvesting** (=Large catchment water harvesting)

شکل ۱- طبقه‌بندی سامانه‌های جمع آوری آب باران بر اساس اندازه سطح آبگیر

1 .Micro catchment 5
1 .Within field catchments 6
1 .Pitting 7
1 .Narrow terrace 8
1 .Bench terrace 9
2 .Negarim micro catchments 0

سامانه پشته‌های هلالی شکل[۱][۲] به عنوان نمونه‌ای از سامانه‌های سطوح آبگیر باران کوچک مقیاس، پشته‌های خاکی به شکل نیم‌دایره هستند که بر روی خطوط تراز ایجاد می‌شوند. پشته‌های هلالی، دارای اشکال گوناگونی بوده که بیشتر جهت احیای مراتع یا برای تولید علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین این تکنیک برای کاشت درختان و درختچه‌ها مفید است. در این سامانه‌ها محل ذخیره آب پروفیل خاک است. معمولاً آب باران بعد از نفوذ در خاک و قبل از این‌که به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد. براساس تعریف؛ آب سبز، آب نگهداشته شده در بخش‌های غیراشباع خاک است که توسط بارش تأمین می‌شود و قابل دسترس برای گیاه بوده و در نهایت توسط تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌گردد. معمولاً به مقدار آب موجود در پروفیل خاک ذخیره آب سبز و به تبخیر و تعرق واقعی جریان آب سبز اطلاق می‌شود که در قالب تبخیر از سطح خاک و آب و تعرق از پوشش گیاهی وارد اتمسفر می‌گردد.

استفاده از سامانه‌های کوچک پشته‌های هلالی شکل در جمع‌آوری رواناب و حفظ رطوبت خاک نقش موثری دارد. نتایج مطالعات Ali (۲۰۱۰) نشان داد که حجم رواناب جمع‌آوری شده در این سامانه‌ها بسته به شرایط بارندگی و مساحت سطح آبگیر می‌تواند تا ۸۵ درصد بارش‌های رخ داده را در خاک نفوذ دهد. Rehman (۲۰۱۴) نیز افزایش ۲۰ درصدی بهره‌وری آب و عملکرد محصول توام با بهبود کیفیت خاک و کاهش فرسایش را نتیجه کاربست این سامانه‌ها می‌داند.

در سال‌های اخیر استفاده از هلالی آبگیر، به عنوان یک روش اصلاح مرتع در مراتع خشک و نیمه خشک کشور رایج شده است. خادم و همکاران (۱۳۹۱) بهترین محل استقرار گیاهان و مناسب‌ترین اندازه چاله‌های هلالی آبگیر در حاشیه کویر محمدآباد قاین را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش که با هدف بررسی اثر اندازه چاله‌ها و موقعیت قرارگیری آنها بر بهترین موقعیت نهال‌های گیاهان مرتعی انجام شد، همبستگی بین مساحت هلالی آبگیر و تعداد نهال‌های مستقر شده تاغ و آتریپلکس و سایر گیاهان طبیعی در هلالی آبگیر بررسی شد. نتایج این بررسی رابطه معنی‌داری بین مساحت هلالی آبگیر و تعداد گیاهان موجود در هلالی نشان نداد. بیشترین استقرار گیاهان کاشته شده در بخش میانی و چپ و راست هلالی آبگیر بود. توصیه این پژوهش احداث چاله‌های کوچک به مساحت ۲-۴ مترمربع و کاشت گیاهان مرتعی در بخش داخلی پشته‌ها بود.

حشمتی و همکاران (۱۳۹۶) نقش بانکت‌های هلالی شکل را در حفظ رطوبت خاک به منظور مقابله با خشکیدگی جنگل‌های زاگرس مورد بررسی قرار دادند. بانکت‌ها بسته به وضعیت سطح زمین به شکل هلالی به طول تقریبی ۷ متر و عمق ۰/۵ متر ایجاد شدند. نتایج این پژوهش نشان داد میانگین ذخیره رطوبت داخل بانکت ۲ برابر نقطه شاهد بود که با اعمال تیمار بانکت به همراه قرق بعد از ۳ سال، تعداد

2 Semi-circular bunds

۳ پایه از درختان خشکیده احیاء (۱۹ پایه در هکتار) و ۳۷ پایه در هکتار نیز کمتر خشک شده بود (درمقایسه با تیمار شاهد) که در مجموع موجب نجات ۵۷ پایه درختی در هکتار از پدیده خشکیدگی گردید. تاثیر تیمار بانکت بدون قرق در کاهش خشکیدگی ۶ پایه در هکتار به دلیل عدم حفاظت و چرای دام بود. نهایتا افزایش معنی‌دار تاج پوشش گیاهی و لاشبرگ سطح زمین و کاهش سطح خاک لخت در تیمارهای بانکت و قرق نیز افزایش یافت.

بررسی انواع مختلف سطوح آبگیر کوچک باران برای احداث باغ و تامین بخشی از منابع آب مورد نیاز پایه درخت در شرایط کم‌آبی با کاربرد بانکت هلالی به‌منظور جمع‌آوری رواناب و افزایش رطوبت خاک در پایین‌دست چاله توسط قیطوری و همکاران (۱۳۹۷) مورد توجه قرار گرفته است. در این بررسی فراهم نمودن بستر کاشت نهال با استفاده از چیدمان روکش پلاستیکی، کاه و سنگ و سنگریزه در کف چاله نقش مفیدی در کنترل و افزایش رطوبت خاک داشته است.

به منظور توسعه درخت‌کاری و جنگل‌کاری در اراضی شیب‌دار، اگر ترتیبی داده شود که در نواحی بین درختان که تراکم ریشه کم است سطح زمین نفوذناپذیر شود و محل نفوذ آب درست در قسمت تجمع ریشه باشد، بارندگی مختصر باعث نفوذ عمقی آب در محل‌های حضور ریشه شده و آب برای مدت بیشتری در دسترس ریشه گیاه قرار می‌گیرد. همانگونه که ذکر شد این روش حفاظت از آب به تکنیک جمع‌آوری آب از حوضه‌های کوچک[۲] مشهور است. در این روش سعی می‌شود که فاصله بین درختان (سامانه آبگیر) به سطح نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم تبدیل شود و آب باران را با شیب اندکی که در این سطوح ایجاد شده است به منطقه گسترش ریشه‌ها هدایت کنند (راحمی و همکاران، ۱۳۹۳)، بطوری‌که رطوبت خاک نیز حفظ گردد.

از آنجا که توسعه، حفظ، احیا و بهره‌برداری از منابع مستلزم مدیریت پایدار در عرصه‌ها و بکارگیری دانش و فن‌آوری روز و استفاده از تجارب گذشته است، این مقاله می‌کوشد تا به منظور توسعه نهال‌کاری و مراقبت از نهال‌های کاشته شده مدیریت آب سبز را با استفاده از پشته‌های هلالی، به عنوان یکی از شیوه‌های ذخیره و حفظ رطوبت خاک بیان نماید.

مواد و روش‌ها

در اجرای پشته‌های هلالی به جزئیات و الزامات فنی احداث آن می‌بایست توجه نمود. میزان بارندگی مورد نیاز در مناطق اجرای این سامانه ۷۵۰ – ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. خاک منطقه از عمق مناسبی برخوردار بوده و در اراضی مسطح و کم‌شیب و همچنین در شیب‌های تا حد ۱۵ درصد این سامانه قابلیت اجرا دارد (طباطبایی و چکشی، ۱۳۸۶). از آنجایی‌که پشته‌های هلالی دارای تنوع در ابعاد هستند، مطابق

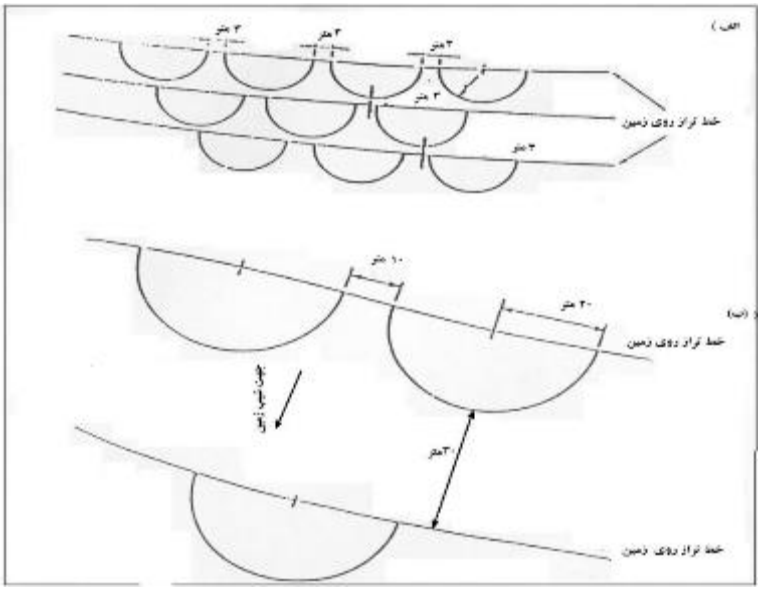
[2] Micro catchment

شکل (۲) دو طرح اصلی برای ایجاد آن وجود دارد. دو طرحی که برای پشته‌های هلالی مطرح شد در اندازه سازه با یکدیگر اختلاف دارند. در طرح "الف"پشته‌ها در یک نیم‌دایره به شعاع ۶ متر قرار می‌گیرند، اما شعاع نیم‌دایره در طرح "ب" ۲۰ متر است. در واقع هر دو طرح در سامانه پشته‌های هلالی شکل به‌صورت متناوب بر روی خطوط تراز ایجاد می‌گردند (شکل ۲).

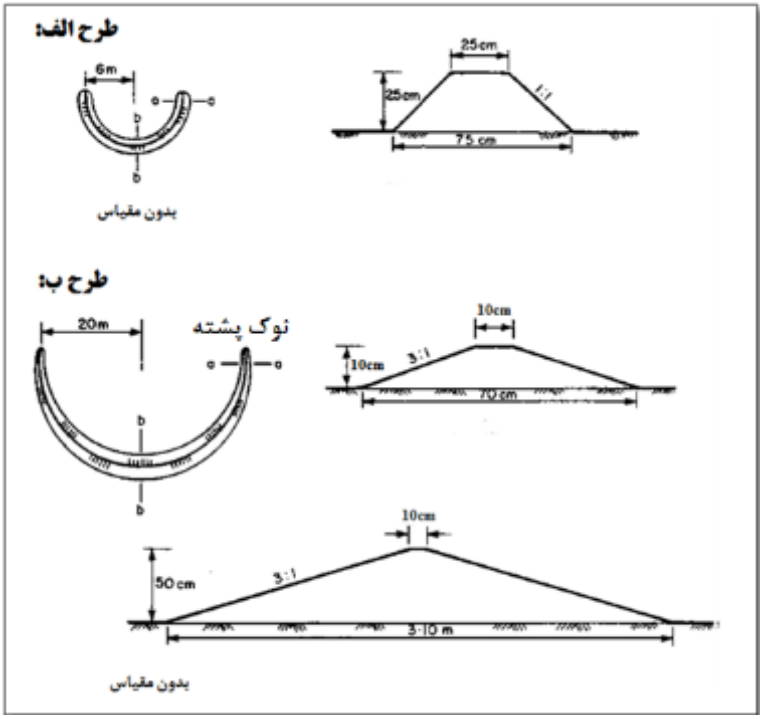
طرح "الف" در برگیرنده پشته‌های هلالی (شیارهای نیم‌دایره‌ای) کوچکی است که با فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند. این طرح در مناطق نیمه‌خشک با شرایط رطوبتی مطلوب‌تر ایجاد می‌شود اما به دامنه‌هایی با شیب کم و توپوگرافی یکنواخت‌تر نیاز دارد. طرح "ب" دارای پشته‌های هلالی (شیارهای نیم‌دایره‌ای) بزرگ‌تری است که فاصله بین آن‌ها بیشتر می‌باشد و برای مناطق خشک با شرایط رطوبتی نامساعدتر مناسب است؛ بطوری‌که نسبت به طرح "الف" به توپوگرافی خیلی یکنواختی نیاز ندارد (FAO، ۲۰۱۳).

طرح "الف" برای شیب‌های یک درصد یا کمتر توصیه می‌شود و شامل یکسری از پشته‌ها نیم‌دایره‌ای کوچک است با شعاع ۶ متر که طول کل پشته حدوداً ۱۹ متر است و سطح مقطع آن ثابت است. ارتفاع پشته‌ها ۲۵ سانتی متر و شیب‌های جانبی۱:۱و عرض پایه پشته ۷۵ سانتی‌متر و عرض بالا ۲۵ سانتی‌متر است (شکل ۳). نوک پشته‌ها بر روی خطوط تراز قرار می‌گیرند و فاصله بین نوک پشته‌های مجاور در هر ردیف ۳ متر است. پشته‌ها با آرایش لوزی شکل به صورت یکسان قرار می‌گیرند بنابراین پشته پایینی می‌تواند رواناب بین دو پشته بالا را جمع آوری کند. فاصله بین دو ردیف ۳ متر در نظر گرفته می‌شود که با این فاصله ۷۵-۷۰ پشته در هکتار مورد نیاز است.

در طرح "ب" شعاع نیم‌دایره ۲۰ متر بوده و سطح مقطع پشته در طول آن تغییر می‌کند. در قسمت پایه سطح مقطع بیشتر و در قسمت نوک سطح مقطع کمتر است. در قسمت نوک، ارتفاع پشته ۱۰ سانتی متر خواهد بود و همچنان که به میانه پشته پیش می‌رویم ارتفاع پشته افزایش یافته و به حدود ۵۰ سانتی متر می‌رسد با شیب جانبی ۳:۱ (عمودی: افقی). عرض بالایی پشته ۱۰ سانتی‌متر و عرض پایین در قسمت نوک پشته ۷۰ سانتی‌متر خواهد بود (شکل ۳). با توجه به اینکه در این طرح ابعاد پشته‌ها بزرگ در نظر گرفته می‌شوند معمولاً فقط ۴ سازه در هر هکتار کافی است.

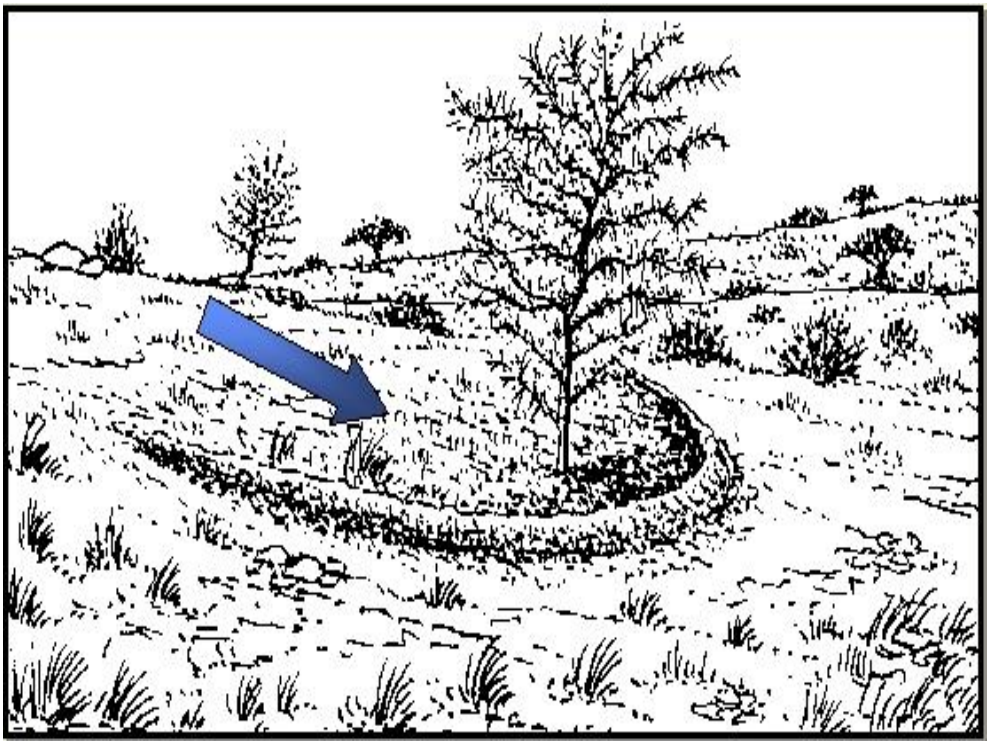


شکل ۲- پشته‌های هلالی شکل یا شیارهای نیم دایره‌ای (هلالی) بر روی خطوط تراز (FAO، ۲۰۱۳)



شکل ۳- ابعاد پشته‌های هلالی شکل (FAO، ۲۰۱۳)

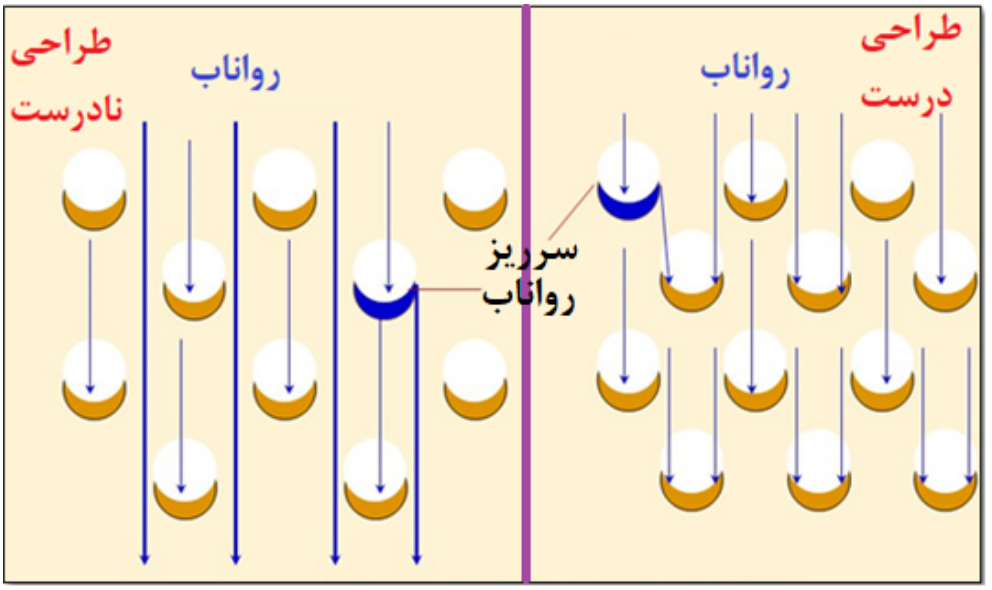
پشته‌های هلالی شکل را می‌توان در اندازه‌های مختلف (با توجه به شعاع نیم‌دایره و ابعاد پشته‌ها) اجرا کرد (شکل‌های ۴ الی ۶). در عرصه‌های شیب‌دار معمولاً احداث پشته‌های هلالی در بالادست چاله‌ها به‌شیوه نیم‌دایره‌ای انجام می‌شود. اجرای درست این سامانه در ردیف‌های پلکانی موجب ذخیره حداکثر رواناب می‌گردد. عدم اجرای صحیح سامانه‌های هلالی موجب فرسایش و هدررفت آب و خاک می‌شود (شکل ۷). دیواره پشته‌ها را می‌توان با شاخه‌های خشک و سنگ‌های کوچک پوشاند تا علاوه بر افزایش استحکام، سطح خاک لخت دیواره نیز پوشیده شود (شکل‌های ۸ و ۹).



شکل ۴- نمایی از طرح شماتیک پشته های هلالی به منظور کاشت نهال (FAO، ۲۰۱۳)

شکل ۵- نمونه ای از کاشت نهال در باندهای نیم دایره‌ای با پشته‌های هلالی در کشور سوریه

شکل ۶- سامانه پشته‌های خاکی هلالی شکل (رواناب در قسمت انتهای پشته که محل مناسبی برای کشت نهال است جمع‌آوری می‌شود. برای پایداری بیشتر پشته خاکی، از سنگ‌چین در پشت و روی پشته استفاده می‌کنند.)



شکل ۷- مقایسه چیدمان و اجرای صحیح سامانه‌های هلالی شکل (FAO، ۲۰۱۳)

شکل ۸- پشته‌های نیم‌دایره‌ای که با حفاظی از سنگ، پوشش داده شده است. هر اندازه شیب بیشتر باشد به حفاظت با سنگ نیاز بیشتری خواهد بود.

شکل ۹- نمونه‌ای دیگر از کاشت نهال در سامانه‌های هلالی جمع‌آوری رواناب

سامانه پشته‌های هلالی شکل ممکن است علاوه بر تقویت پوشش گیاهی موجود سبب رشد گونه‌های مرغوب یا ریزوم‌دار چندساله نیز بشود. معمولاً پس از کاشت نهال، پشته‌ای در پایین دست نهال به شکل مربعی یا نیم‌دایره‌ای ایجاد خواهد شد تا رواناب جمع‌آوری شده در پای درختان جمع شود. در مناطقی که بارندگی زیاد است و احتمال غرقاب شدن و بروز تنش تهویه‌ای وجود دارد، درختان در پایین‌دست سامانه یا کمی بالاتر از منتهی‌الیه محل تمرکز رواناب کشت می‌شود. در ایجاد سامانه نیم‌دایره‌ای باید دقت شود که اگر شیب محل اجرای باغ، زیاد باشد، حجم خاکبرداری و ارتفاع پشته‌ها در محل کاشت درخت زیاد خواهد شد که هم امکان فرسایش وجود خواهد داشت و هم هزینه‌های ترمیم سالانه آن زیاد خواهد بود. به منظور کنترل تبخیر در پای درخت نیز می‌توان از شیوه‌های مختلف همچون استفاده از مالچ بقایای گیاهی (کاه و کلش)، قلوه‌سنگ، سنگریزه و ماسه و پلاستیک استفاده نمود (شکل‌های ۱۰ الی ۱۲).

شکل ۱۰- سامانه سنتی جمع‌آوری رواناب با آرایش نیم‌دایره‌ای (هلالی) در یک بادامستان

شکل ۱۱- نمایی از کاشت درختان مثمر با سامانه‌های هلالی شکل

شکل ۱۲- کاشت نهال در اراضی شیبدار با آرایش نیم‌دایره‌ای و احداث پشته های هلالی و کنترل تبخیر در پای درخت (توکلی و همکاران، ۱۳۹۷)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توسعه، حفظ، احیا و بهره‌برداری از منابع مستلزم مدیریت کارا و پایدار در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی است. برنامه‌ریزی استحصال آب باران و بهره‌برداری از رواناب‌های حاصله به وسیله سامانه‌های آبگیر کوچک مقیاس از جمله سامانه پشته‌های هلالی، ذخیره رطوبت کافی برای گیاهان را در طرح‌های توسعه جنگل‌کاری با طراحی مناسب اندازه سامانه‌ها فراهم می‌آورد. سطوح آبگیر کوچک مقیاس درون مزرعه‌ای با طول دامنه کمتر از ۵۰ تا حداکثر ۱۵۰ متر، تولیدکننده رواناب‌های سطحی ورقه‌ای غیرمتلاطم هستند. سامانه پشته‌های هلالی در مناطقی با بارندگی ۷۵۰ – ۲۰۰ میلی‌متر در اقالیم خشک و نیمه‌خشک و در خاکی با عمق مناسب و در اراضی با شیب کمتر از ۲ تا ۱۵درصد در دامنه‌های منظم و با توپوگرافی یکنواخت قابلیت اجرا دارد. این پشته‌ها متناسب با شیب، توپوگرافی و اقلیم دارای تنوعی از ابعاد هستند. همانند اکثر سازه‌های خاکی، دوره بحرانی برای شبکه پشته‌های هلالی شکل، مواقعی است که بارندگی شدید اندکی بعد از ساخت سامانه به وقوع می‌پیوندد. از آنجایی‌که در این زمان پشته‌ها هنوز بطور کامل تحکیم نشده‌اند، بایستی بلافاصله هرگونه شکستگی و تخریب را مرمت کرد و اگر با خسارت همراه بود توصیه می‌شود که نهر انحرافی در صورتی‌که پیش از این تعبیه نشده باشد، احداث شود. همچنین توجه به ملاحظات اقتصادی – اجتماعی در توسعه، اصلاح، مرمت و نگهداری این سامانه‌ها

ضروری است؛ به طوری‌که نمی‌توان انتظار داشت که مردم داوطلبانه در این خصوص سرمایه‌گذاری کنند. حتی اگر چنین موضوعی نیز ممکن باشد، به هر حال معرفی و اجرای قابل قبول این برنامه‌ها نیازمند همکاری دستگاه های اجرایی مسئول است.

منابع

- توکلی، ع.، کاووسی، ب. و حاجی‌وند، ش. ۱۳۹۷. راهنمای فنی و کاربردی احداث باغ‌های دیم، نشر آموزش کشاورزی، معاونت ترویج، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۲ صفحه.
- حشمتی، م.، قیطوری، م.، پرویزی، ی.، احمدی، م.، شیخویسی، م.، عربخدری، م.، حسینی، م. و شادمانی، ع. ۱۳۹۶. نقش بانکت‌های هلالی شکل و قرق در حفظ رطوبت خاک به منظور مقابله با خشکیدگی جنگل‌های زاگرس. مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۵ (۱) :۱۰-۱.
- خادم، ک.، جنگجو، م. و مصداقی، م. ۱۳۹۱. بررسی بهترین محل استقرار گیاهان و مناسب‌ترین اندازه چاله‌های هلالی آبگیر در حاشیه کویر محمدآباد قاین، مجموعه مقالات سومین همایش ملی مقابله با بیابانزایی و توسعه پایدار تالابهای کویری ایران، اراک.
- راحمی، ع.، یداللهی، ع. و شریعتی، ش. ۱۳۹۳. بادام‌کاری دیم، دفتر ترویج کشاورزی و منابع طبیعی و معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی.
- روغنی، م.، قادری، ن.، شاهینی، غ.، شهریور، ع.، غفوری، ع.، طباطبایی، م.ر. و خانی، ج. ۱۳۹۰. بهینه سازی سامانه‌های سطوح آبگیر از طریق تداوم افزایش ماندگاری رطوبت در پروفیل خاک، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- طباطبایی یزدی، ج. و چکشی، ب. ۱۳۸۶. استحصال آب: استفاده از دانش بومی برای تامین آب در مناطق خشک، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۷۴ صفحه.
- قیطوری، م.، حشمتی، م.، و شهبازی، خ. ۱۳۹۷. دستورالعمل فنی احداث باغ بادام دیم در اراضی شیب‌دار مناطق کوهستانی زاگرس، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- Ali A., Yazarb A., Aalc A.A., Oweisd A. and Hayekd P. 2010. Micro-catchment water harvesting potential of an arid environment. AgriculturalWater Management, 98: 96–104.
- FAO. 2013. Water harvesting, Produced by: Natural Resources Management and Environment Department
- Finkel, M. 1987. Water harvesting manual, (unpublished draft) FAO, Rome.
- Rehman O., Rashid R., Kausar R. and Alvi S. 2014. Micro catchment Techniques for Efficient Utilization of Stored Rain Water in Gullied Lands. Intl J Agri Crop Sci. 7 (13), 1304-1311.

نقش شخم حفاظتی بر پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش پذیری خاک درشرایط دیم

مسیب حشمتی*[۱]، محمد قیطوری[۱]، ایرج یاوری[۲]، حمیدرضا پیروان[۳] و یحیی پرویزی[۳]

۱- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۲- استادیار پژوهشی معاونت موسسه تحقیقات دیم سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: +۹۸۹۱۸۵۵۸۶۵۲۷، *heshmati46@gmail.com*

چکیده

در غالب دیمزارهای ایران شخم با گاوآهن برگردان‌دار و در جهت شیب دامنه انجام می‌گیردکه بدترین نوع شخم است. این روند پیامدهای زیانباری دارد که مهمترین آنها تشدید انتشار کربن آلی، کاهش عملکرد محصول، آسیب به خاکدانه‌های مفید و تشدید فرسایش‌پذیری خاک است. هدف از اجرای این پروژه بررسی اثرات چهار روش شخم بر پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش پذیری خاک بودکه در قالب طرح آزمایشی اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه کرت‌های کامل تصادفی با چهار تیمار اصلی و سه تیمار فرعی در تناوب گندم و نخود دیم به‌مدت چهار سال در ایستگاه سرارود (معاونت موسسه تحقیقات دیم) انجام یافت. نمونه‌برداری سالانه از خاک (عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) انجام و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در آزمایشگاه انجام یافت. همچنین وضعیت فرسایش‌پذیری خاک نیز محاسبه شد. نتایج حاصله نشان داد که تیمارهای شخم حفاظتی موجب افزایش معنی‌دار خاکدانه‌های درشت خاک (با قطر بزرگتر از ۱ میلی‌متر) شدند. تیمارهای فرعی یک سوم و دو سوم در صد بقایای گیاهی نیز تاثیر مثبت و معنی‌داری بر روی متغیرهای مورد اندازه‌گیری داشتند و بطورکلی بیشترین نقش را خاکورز مستقیم با دوسوم درصد بقایا داشت. همچنین این شرایط منجر به کاهش قابل توجه فرسایش‌پذیری خاک گردید. در نهایت با توجه به‌اینکه بخشی از بقایای گیاهی گندم (کلش) برای تعلیف دام جمع‌آوری می‌گردد، باقی گذاشتن یک سوم در صد بقایا به همراه کشت مستقیم به‌عنوان گزینه مناسب و قابل اجرا برای حفظ کیفیت خاک و پایداری محیط‌زیست است.

واژه‌های کلیدی

بقایای گیاهی، خاکدانه‌های درشت، شخم چیزل، خاکورز مرکب، کشت مستقیم

مقدمه

شخم (خاکورزی) با گاوآهن برگردان‌دار که به شخم متداول نیز معروف است، اثرات زیان‌باری بر خاک، محیط‌زیست و عملکرد محصول دارد. نقش این نوع شخم در تشدید فرسایش نیز قابل توجه است، بطوری که از دیدگاه خیلی از پژوهشگران به تنهایی مبحثی جداکانه و مهم در فرسایش خاک است.

در زاگرس بخش عمده‌ای از رسوبات پشت سدها نیز به‌دلیل این نوع شخم توام با سوزاند بقایای محصول است (حشمتی و همکاران، ۲۰۱۱). معمولاً شخم متداول در سطح وسیعی از دیمزارها با خیش برگردان‌دار به شکل ناصحیح (در جهت شیب) انجام می‌گردد که منجر به فرسایش ذرات سیلت و رس خاک سطحی محتوی عناصر غذایی و ماده آلی می‌شود (Morgan، ۲۰۰۵). مهمترین پیامد این روندعلاوه بر کاهش عملکرد محصول، افت نگران‌کننده کیفیت خاک به‌همراه کاهش ظرفیت نگهداری رطوبت و ترسیب کربن آلی است (Rong و همکاران، ۲۰۱۹). در چنین نقاطی شخم در جهت شیب عامل کلیدی رسوب‌زایی، هدر رفت مواد غذایی خاک، آلودگی آب‌های سطحی، تخلیه عناصر غذایی خاک است.

این پدیده در نواحی نیمه‌خشک شدیدتر است (Miralles و همکاران، ۲۰۰۹). در نواحی نیمه‌خشک ایران از جمله زاگرس نیز به مرز پرخطر و نگران‌کننده رسیده است (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۸). در چنین شرایطی میزان جابجایی و حمل عناصر غذایی خاک به سیستم زهکش پایین‌دست نیز قابل توجه است مصرف زیاد کودهای شیمیایی از جمله ازت و فسفر معمولا باعث کاهش تولید شده و معمولا تا ۸۰ در صد مازاد آن وارد منابع آب می شود (Xiao و، ۲۰۱۹). این روند به‌دلیل افزایش ضریب رواناب و کاهش نفوذپذیری لایه سطحی خاک بر اثر اعمال خاکورزی نامناسب است. خاک‌ورزی نامناسب موجب تغییرات کربن آلی خاک، هم زدن خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقابل فرسایش خواهد شد (متین و اخباری (۱۳۸۲). همچنین بر اساس تحقیقات آقارضی (۱۳۸۲)، تلفات خاک ناشی از شخم با گاوآهن برگردان‌دار سهم بیشتری درتلفات خاک دارد که متناسب با افزایش شیب تشدید می‌گردد.

در مقابل، نتایج تحقیقات Crittenden و همکاران (۲۰۱۵)، نشان داد که استفاده از خیش زیرشکن بدون زیر و رو کردن خاک منجر به حفظ کیفیت فیزیکی خاک و ذخیره رطوبت بدون کاهش محصول در مقایسه با خیش برگردان‌دار بود. بر اساس نتایج تحقیقات شم‌آبادی (۱۳۹۴)، حفظ بقایای گیاهی توام با شخم حفاظتی منجر به حفظ معنی‌دار ذخیره رطوبت خاک در عمق ۲۰-۵ سانتیمتری، بهبود شرایط فیزیکی خاک و کاهش هزینه خاکورزی می‌گردد.

بطورکلی اصلاح خاکورزی اساس کشاورزی پایدار است. این امر به دلیل نقش خاکورزی اصولی در بهبود ویژگی های فیزیکی از جمله پایداری خاکدانه ها و جرم مخصوص ظاهری است که نهایتاً منجر به حفظ کربن آلی و عناصر غذایی و نهایتا کاهش فرسایش پذیری، کاهش پدیده بهپروردگی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و حتی کاهش هزینه‌های کشاورزی می‌گردد. این روند مستلزم مدیریت و سرمایه‌گزاری

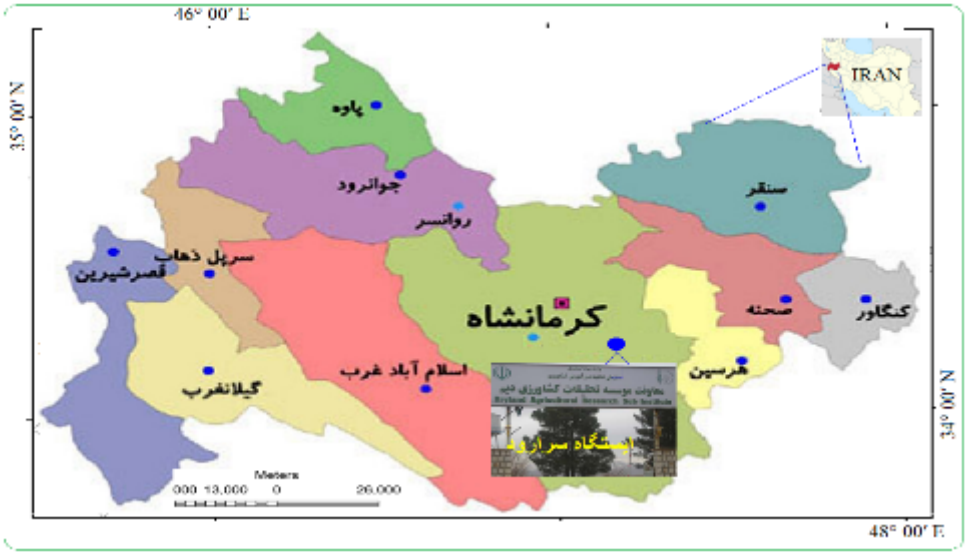
دولت‌ها است (Lin و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به مطالب فوق، فراهم نمودن تمهیدات قانونی، مالی و آموزشی برای تشویق و ترغیب کشاورزان به اصلاح شیوه شخم (خاکورزی) در دیمزارها امری حیاتی است. این امر در مناطق نیمه‌خشک (از غالب نواحی زاگرس) که مقدار رس و سیلت خاک زیاد است، عواقب جبران ناپذیر آن در قالب فرسایش، رسوب، سیل، تشدید ریزگردها و انتشار کربن آلی شدیدتر است. با توجه به مطالب فوق، بی‌خاکورزی برترین نوع شخم حفاظتی است که به دلیل مزایای زیاد آن در شرایط خشک سالی و تغییرات اقلیمی تدریجاً جایگزین شخم متداول می‌گردد. بر اساس مطالعات Yang و همکاران (۲۰۱۸)، تاثیرات بی‌خاکورزی در ذخیره رطوبت و کاهش دمای سطح خاک زمانی است که با باقی گذاشتن بقایای گیاهی همراه باشد. در چنین شرایطی فتوسنتز گندم زمستانه به همراه رشد زایشی (تولید محصول) به‌دلیل افزایش رطوبت خاک بر اثر بهبود سطح ماده آلی افزایش خاکدانه‌های درشت و کاهش جرم مخصوص ظاهری است (Topa و همکاران، ۲۰۲۱).

هدف از انجام این پژوهش که به مدت ۵ سال از تاریخ ۱۳۹۷/۱/۱ تا ۱۴۰۱/۱/۱ در معاونت تحقیقات دیم کشور (سرارود) انجام یافت، بررسی مقایسه‌ای انواع شخم بر پایداری خاکدانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقات دیم سرارود

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی موصوف به سرارود (معاونت موسسه تحقیقات دیم کشور) انجام یافت. این ایستگاه در ۱۵ کیلومتری شرق شهر کرمانشاه و ۳ کیلومتری راه اصلی کرمانشاه-تهران با مختصات جغرافیایی عرض جغرافیایی ´۲۰ °۳۴ و طول جغرافیایی ´۱۹ °۴۷ و ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه (متوسط ایستگاه هواشناسی داخل ایستگاه) ۴۴۵ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد است. خاک ایستگاه عمیق و واجد افق‌های A، B و C است که در رده اینسپتی سول قرار دارد. ایستگاه فوق معرف بخش وسیعی از اراضی دیم غرب کشور (از جمله منطقه زاگرس) است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه تحقیقات دیم سرارود در استان کرمانشاه و ایران

روش تحقیق

تیمارهای اصلی و فرعی

کشت اصلی شامل گندم دیم در تناوب با نخود بود. پژوهش در قالب طرح آزمایشات اسپلیت-اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد که متشکل از چهار تیمار اصلی (نوع خاکورزی) و سه تیمار فرعی(درصد بقایای گیاهی) به شرح زیر انجام شد:

تیمارهای اصلی

- T_0= تیمار شاهد، شخم متداول (گاو آهن برگردان‌دار)
- T_1= خاکورز مرکب (مدل دلتا با غلتک سبدی)
- T_2= چیزل پکر (غلتک چنگالی)
- T_3= کشت مستقیم[۲۳]

تیمارهای فرعی

- بدون بقایای گیاهی؛
- یک سوم بقایای گیاهی (عمدتاً گندم)؛ و
- دو سوم بقایای گیاهی (عمدتاً گندم).

1. NoTillage

برای بررسی تغییرات سالانه متغیرهای مورد نظر، ابتدا یک قطعه زمین زراعی دیم در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود انتخاب شد. محل تیمارها ا صلی و فرعی به‌طور ت صادفی انتخاب و در سال‌های بعد محل کشت نخود و گندم (تناوب گندم و نخود) .هر پلات به عرض ۱۰ و طول ۲۰ متر طراحی شد (متناسب با حرکت رفت وبرگشت ادوات کشاورزی).

روش نمونه‌برداری

نمونه‌های خاک از لایه ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. به این منظور، در هر پلات نمونه از سه نقطه با عمق یکسان برداشت و شماره‌گذاری شد. نمونه کلوخه دست‌نخورده نیز جداگانه برداشت شد. پایداری خاکدانه‌ها یکی از شاخص‌های کلیدی موثر بر کیفیت خاک، نگهداری رطوبت و مقاومت در مقابل عوامل فرساینده است که فراوانی خاکدانه‌های درشت‌تر نقش بیشتری دارند. به این منظور، نسبت وزنی خاکدانه‌ها به روش الک تر انجام شد (آریا ومیرخانی، ۱۳۸۴). بر این اساس، ۵۰ گرم خاک از خاک با قطر ۴/۶-۲ میلی‌متر پس از خیس نمودن تدریجی با پیست بر روی یک سری الک‌های (به ترتیب از بالا به پایین) ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر قرار داده شد و در مخزن آب الک تر قرار گرفت. در مرحله سری الک‌ها با سرعت ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در د ستگاه الک تر تکان داده شد و خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک به ظرف جداگانه منتقل و پس از خشک شدن در آون وزن گردید که نهایتاً نسبت آنها با هم محاسبه شد.

فاکتور فرسایش از طریق محاسبه فاکتور فرسایش پذیری (K) در فرمول جهانی فرسایش خاک و بر اساس ۵ عامل درصد مواد آلی، درصد سیلت + شن ریز (۰/۲تا ۱ میلی‌متر)، درصد شن درشت (۱تا۲ میلی‌متر)، ساختمان خاک و نفوذپذیری از طریق نموگراف فرسایش‌پذیری (شکل ۲-۳) محاسبه گردید. داده‌ها مورد تجزیه آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارهای اصلی (نوع شخم) و تیمارهای فرعی (نسبت بقایای گیاهی) قرار گرفت. به این منظور، از نرم افزار SAS ا ستفاده شد.

نتایج

تغییرات نسبت خاکدانه‌های خاک و تغییرات آن در طول سال‌های تحقیق به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ درج شده است. بر ایت اساس:

الف- خاکدانه‌های خیلی ریز (با قطر کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر): نسبت خاکدانه‌های خیلی ریز در تیمارهای اصلی شامل شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب حدود ۱۴/۲۰، ۱۳/۴۰، ۱۳/۶۰ و ۱۳/۵۵ درصد. به همین منوال در تیمارهای فرعی (بدون بقایای محصول)،

۳۳ ٪ بقایا و ۶۶ ٪ بقایا به‌ترتیب ۱۴/۱۵، ۱۳/۱۰ و ۱۴/۶۵ درصد بدست آمد که در تیمار کشت مستقیم و با بیشترین بقایای گیاهی بطور معنی‌داری کمتر بود.

ب- خاکدانه‌های ریز (با قطر ۰/۲۵ تا ۰/۵۰ میلی‌متر)

درصد خاکدانه‌های ریز تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب ۹/۷۰، ۹/۶۰، ۸/۳۰ و ۸/۵۰ درصد بود و درسه تیمار فرعی ۰، ۳۳ و ۶۶ درصد بقایای گیاهی نیز به ترتیب ۸/۷۵، ۸/۳۵ و ۵،۱۰ درصد بدست آمد. مقادیر فوق در تیمارهای شاهد (شخم متداول و بدون بقایای گیاهی) بطور معنی‌داری کمتر بود.

ج- خاکدانه‌های متوسط (با قطر ۰/۵۰ تا ۱ میلی‌متر)

خاکدانه‌های متوسط تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب ۶/۳۰، ۶/۹۰، ۷/۶۵ و ۷/۵۰ درصد بود. این نسبت در تیمارهای فرعی بقایای گیاهی صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد به‌ترتیب ۶/۷۰، ۶/۸۵ و ۷/۷۰ درصد بدست آمد. با توجه به جدول ۴-۴، مقدار خاکدانه‌های متوسط در سطح تیمارها با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند.

د- خاکدانه‌های درشت (با قطر ۱ تا ۲ میلی‌متر)

نسبت خاکدانه‌های درشت در تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب ۸/۵۰، ۹/۷۰، ۱۰/۰۰ و ۱۱/۰ درصد بدست آمد. این نسبت در تیمارهای فرعی (بقایای گیاهی) صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد به‌ترتیب ۹/۴۰، ۹/۳۵ و ۱۲/۰۰ درصد بود. در مجموع این نسبت در تیمار اصلی کشت متداول و تیمار فرعی بدون بقایای محصول بطور معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر است.

و- خاکدانه‌های خیلی درشت (با قطر ۲ تا ۴/۶ میلی‌متر)

متوسط خاکدانه‌های خیلی درشت به‌ترتیب تیمارهای شاهد (شخم متداول)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم

۷/۵۰، ۱۱/۳۰، ۱۱/۵۰ و ۱۴/۳۰ درصد بود. این نسبت به‌ترتیب تیمارهای فرعی (۰، ۳۳ و ۶۶٪ بقایای محصول) به‌ترتیب ۹/۴۰، ۹/۳۵ و ۱۲/۰۰ درصد بدست آمد. در مجموع این نسبت در تیمار اصلی کشت متداول و تیمار فرعی بدون بقایای محصول بطور معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر است.

با توجه به جدول ۲، تغییر در نسبت اندازه خاکدانه‌های خاک در سال سوم و عمدتاً در چهارم معنی‌دار بود. به‌عبارتی افزایش خاکدانه‌های درشت و خیلی درشت و به همان نسبت کاهش خاکدانه‌های ریز و خیلی ریز از سوم به بعد نمایان شده است.

تاثیر تیمارها بر فرسایش‌پذیری خاک

نتایج تغییرات شاخص فرسایش‌پذیری خاک در جدول ۳ درج شده است. با توجه به اینکه از میان ۷ عامل موثر بر فرسایش‌پذیری تنها عامل ماده آلی متاثر از تیمارهای اصلی خاکورزی (شخم) و فرعی (نسبت بقایای محصول) در بازه زمانی مورد بررسی قرار دارند، بر این اساس فرسایش‌پذیری تیمارهای اصلی شامل شخم متداول (شاهد)، خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم به‌ترتیب ۰/۳۳، ۰/۲۳، ۰/۲۵ و ۰/۲۲ بدست آمد. نتایج بیانگر نقش موثر روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک در مقایسه با خاکورزی متداول است. همچنین، این نسبت به‌ترتیب تیمارهای فرعی (۰، ۳۳ و ۶۶٪ بقایای محصول) به‌ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۵ و ۰/۲۴ بود که تفاوت آنها با هم به‌نسبت نوع شخم (خاکورزی) کمتر است.

جدول ۳- ارزیابی فرسایش‌پذیری تیمارهای اصلی (نوع شخم) و فرعی (نسبت بقایای گیاهی)

۱		۲		۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تیمار		کربن آلی (٪)	ماده آلی* (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	شن خیلی ریز (٪)	مجموع ستون ۴ و ۵	ساختمان	نفوذپذیری	فرسایش پذیری
اصلی	T_0	1.27	2.18	6.28	66.93	1.25	68.18	3	4	0.33
	T_1	1.52	2.61	7.36	61.37	1.33	62.70	3	4	0.23
	T_2	1.44	2.48	7.14	63.27	1.24	64.51	3	4	0.25
	T_3	1.85	3.18	7.01	66.93	1.16	68.10	3	4	0.22
فرعی	0%-R	1.33	2.29	6.50	60.52	1.22	61.74	3	4	0.26
	33%-R	1.55	2.67	7.43	63.17	1.90	65.07	3	4	0.25
	66%-R	1.65	2.84	7.49	62.27	1.66	63.93	3	4	0.24

* ماده آلی ۱/۷۲ برابر کربن آلی در نظر گرفته شد، ساختمان خاک از نوع توده‌ای، نفوذپذیری کم تا متوسط

بحث و پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد که سه روش خاکورزی حفاظتی شامل خاکورز مرکب، چیزل و کشت مستقیم (بدون خاکورز) در مقایسه با شخم متداول (با گاوآهن برگردان‌دار) نقش موثری بهود پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه کاهش فرسایش‌پذیری خاک داشتند. البته که نقش کشت مستقیم (بدون شخم) در این روند برجسته‌تر بود. به‌طوریکه میزان افزایش خاکدانه‌های درشت و خیلی درشت به ترتیب تیمارهای خاکورزی مورد اشاره نیز ۲۲، ۲۳ و ۴۰ درصد بود. همچنین جرم مخصوص ظاهری نیز به ترتیب فوق ۱۱، ۱۲ و ۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (شخم متداول) کاهش یافت.

این موضوع می‌تواند راه حل مناسبی برای کاهش پیامدهای شخم متداول باشد که در حال حاضر روش خاکورزی (شخم) غالب منطقه ا ست که پیامدهای منفی ضمن آ سیب جدی به کیفیت خاک، موجب انتشار کربن آلی و در نهایت کاهش محصول می‌گردد که در شرایط خشکسالی ملموس‌تر است

(Dewia و همکاران، ۲۰۲۱؛ Sausa Medeiros و همکاران، ۲۰۲۲). دلیل این روند نقش برجسته‌تر کشت مستقیم در ذخیره کربن آلی خاک از طریق فراهم نمودن پیوندهای آلی برای چسباندن خاکدانه‌های ریز و تبدیل آنها به خاکدانه‌های درشت‌تر از ۲ میلی‌متر و پایداری بیشتر آنها می‌باشد (Qi و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، در شرایطی که کمبود بارش و افزایش دمای هوا به عنوان چالشی کلیدی در حال گسترش است، اعمال شخم مناسب برای حفاظت خاک و پایداری عملکرد محصول بسیار مهم است. بر اساس بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که بدترین حالت ممکن شخم متداول، در حالتی که در جهت شیب در دامنه‌های با شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد انجام می‌شود. چنین دیمزارهایی به‌عنوان مناطق بحرانی فرسایش و هدر رفت کربن آلی خاک محسوب می‌شوند. پژوهش‌های Quinton و همکاران (۲۰۰۶)، در این زمینه نشان داد که هدر رفت کربن آلی خاک و انتشار آن در هوا در چنین مکان‌هایی بیشتر از سایر نقاط است.

با توجه نتایج این تحقیق و مقایسه آن با نتایج بدست آمده، حداق دو و در شرایط مطلوب سه سال زمان لازم است که اعمال خاکورزی حفاظتی منجر به افزایش نسبت خاکدانه‌های درشت خاک گردد. برای حصول بهتر و موثرتر در این زمینه لازم است خاکورزی حفاظتی از نوع کشت مستقیم و توام با باقی گذاشتن بقایای محصول در زمین باشد. به‌عبارتی نقش خاکورزی حفاظتی زمانی به حالت ایده‌آل می‌رسد که توام با باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول در مزرعه باشد که موجب پیوند بین ذرات خاک می‌شود (انصاری و همکاران، ۲۰۲۲). از طرفی افزایش کربن آلی خاک از طریق برگرداندن بقایای گیاهی به خاک فعالیت‌های بیولوژیکی، هوادهی و قابلیت دسترسی گیاه به عناصر خاک را ارتقاء می‌بخشد (Gura و Mnkeni، ۲۰۱۹). بنابراین حفظ پوشش گیاهی سطح زمین و بویژه بقایای محصول در دیمزارها برای پایداری محیط‌زیست امری ضروری است که در اراضی کشاورزی نیز موجب پایداری و بهبود عملکرد محصول نیز می‌گردد و این امر زمانی موثر است که خاکورزی نیز اصلاح شود (Wittwer و همکاران، ۲۰۱۷). در ایران سوزاندن بقایای گیاهی در دیمزارهای تحت کشت گندم در تناوب با نخود است که غالباً بعداز برداشت محصول گندم، ابتدا بخشی از کاه و کلش برداشت شده، سپس بصورت پسچر مورد چرای دام قرار می‌گیرد و باقی‌مانده نیز سوزانده می‌شود تا به زعم آنها برای کشت نخود در بهار سال بعد آماده گردد (Heshmati و همکاران، ۲۰۱۲). به همین دلیل عملاً سطح خاک در طول بارندگی پاییز، زمستان و اولیل بهار سال بعد لخت باقی می‌ماند. این روند مستلزم تغییر باور و دیدگاه کشاورزان از طریق آموزش، ترویج و نظارت مستمر خواهد بود تا آنها را نسبت به عواقب آن برای محیط‌زیست، خاک و عملکرد محصول واقف نماید.

تغییر در فرسایش‌پذیری خاک بر اثر اعمال تیمارهای مختف خاکورزی و نسبت بقایای محصول در واقع بازتابی از نقش نوع خاکورزی و نسبت باقی‌مانده بقایای گیاهی است، بطوریکه روش‌های مختلف خاکورزی حفاظتی و باقی گذاشتن بخشی از بقایای محصول (کاه و کلش) منجر به کاهش

فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد. به‌عبارتی این روند موجب پایداری خاک در مقابل عوامل فرسایش می‌گردد که با اعمال کشت مستقیم و بقایای گیاهی موثرتر است.

علی‌رغم نقش معنی‌دار سه روش خاکورزی حفاظتی، روش کشت مستقیم (بی‌خاکورزی) با ۶۶ در صد بقایای گیاهی بیشترین نقش را در پایداری خاک و افزایش مقاومت آن در مقابل فرسایش خاک بیشتر است. با این وجود، کشاورزان بخشی از کلش گندم را به کاه تبدیل و برای برای تغذیه دام استفاده می‌کنند و یا مستقیماً به صورت پسچر مورد چرای دام قرار می‌گیرد (بازده اقتصادی). در نتیجه عملاً برگرداندن ۶۶ درصد بقایای گیاهی در مزرعه قابلیت ترویج و استقبال کشاورزان نخواهد داشت. لذا برای دیمزارهای تحت کشت گندم با تناوب نخود که شامل بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی نیمه‌خشک ایران است، روش بی‌خاکورزی (کشت مستقیم) با یک سوم بقایای گیاهی (۳۳ در صد) به عنوان مناسب‌ترین روش خاکورزی با قابلیت اجرایی پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه خاص به شماره ثبت ۹۶۰۱۱۶-۹۶۰۰۳-۰۰۷-۲۹-۵۵-۰۱۴ می‌باشد که با همکاری سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه تدوین یافته است که بدینوسیله از همکاری آن سازمان کمال قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

- آریا، پ و میرخانی، ر. ۱۳۸۴. روشهای اندازه‌گیری ویژگیهای فیزیکی خاک. نشریه فنی شماره ۴۷۹. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۳۳ ص.
- آقارضی، ح .۱۳۸۲ .اندازه گیری فرسایش و رواناب در کرتهای استاندارد به منظور ارزیابی فرمول جهانی تلفات خاک.پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آموزش و تحقیقات کشاورزی . نشریه شماره ۸۲/۱۲۰.
- اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۸. فعال نذیری مهدی، اردشیر پی علی اصغر. بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۹ (۲): ۵۳-۷۱.
- شم‌آبادی، ز. ۱۳۹۴. بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر بهره‌وری سوخت مصرفی و عملکرد گندم دیم. زراعت دیم ایران، ۴ (۱): ۱۷-۲۴.
- متین، م .و اخباری، ت .۱۳۸۲ .اندازه گیری فرسایش و رواناب در اراضی دیم دایر، آیش و بایر رها شده .پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آموزش و تحقیقات کشاورزی .نشریه شماره ۸۲/۱۸۶.

- Dewia, R.K., Fukudac, M., Takashimac,, Yagiokad, A and Komatsuzakic,M. 2021. Soil carbon sequestration and soil quality change between no-tillage and conventional tillage soil management after 3 and 11 years of organic farming. Soil Science and Plant Nutrition, 68 (1): 133-148.
- Crittenden, N.P., Heinen, M., Balen, D.J.M. and Pulleman, M.M. 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. Soil and Tillage Research, 154: 136–144.
- Gura, I. and Mnkeni, P.N.S. 2019. Crop rotation and residue management effects under no till on the soil quality of a Haplic Cambisol in Alice, Eastern Cape, South Africa, Geoderma, 337: 927-934.
- Heshmati, M., Arifin, A., Shamshuddin, J. and Majid, N.M. (2012). Predicting N, P, K and organic carbon depletion in soils using MPSIAC model at the Merek catchment, Iran. Geoderma, 175-176: 64-77.
- Heshmati, M., Arifin, A., Shamshuddin, J. and Majid, N.M. (2011). Effects of Land Use Practices on the Organic Carbon Content, Cation Exchange Capacity and Aggregate Stability of Soils in the Catchment Zones. American Journal of Applied Sciences 8 (12): 1363-1373.
- Lin, H., Zhou, M., Zeng, F., Xu, P., Ma, S., Zhang, B., Li, Z., Wang, Y. and Zhu, B. 2022. How do soil organic carbon pool, stock and their stability respond to crop residue incorporation in subtropical calcareous agricultural soils? Agric. Ecosyst. Environ., 332, 107927.
- Miralles, I., Ortega, R., Almendros, G., Maranon, M. S., Soriano, M. 2009. Soil Quality and Organic carbon Ratios in Mountain Agro-ecosystems of South-east Spain, Geoderma 150 (1-2): 120-128.
- Morgan, R.P.C., 2005. Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publisher, Oxford, London.
- Qi, J.Y., Han, S.W., Lin, B.J., Xiao, X.P., Jensen, J.L., Munkholm, L.J. and Zhang, H.L. (2022). Improved soil structural stability under no-tillage is related to increased soil carbon in rice paddies: Evidence from literature review and field experiment, Environmental Technology & Innovation, 26: 102248.
- Quinton, J.N., Catt, J.A., Wood, G.A., Steer, J., (2006). Soil carbon losses by water erosion: experimentation and modeling at field and national scales in the UK. Journal of Agriculture Ecosystems and Environment 112, 87–102.
- Sausa Medeiros, A.S., Santos, T.C.D. and Ferreira Maia, S.M. (2022). Effect of long-term and soil depth on soil organic carbon stocks after conversion from native vegetation to conventional tillage systems in Brazil, Soil and Tillage Research, 219: 105336.
- Rong, L., Duan, X., Zhang, G., Gu, Z. and Feng, D. 2019. Impacts of tillage practices on ephemeral gully erosion in a dry-hot valley region in southwestern China, Soil and Tillage Research, 187: 72-84.
- Topa, D., Cara, I.J. and Jităreanu, G. 2021. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis, CATENA,199:105102,

- Wittwer, R.A., Dorn, B., Jossi, W. and van der Heijden M.G.A. 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. Nature, CIENTIFICRepoRts |7:41911| DOI: 10.1038/srep41911, ww.nature.com/scientificreports.
- Yang, Y., Ding, J., Zhang, Y., Wu, J., Zhang, J.,Pan, X., Gao, C., Wang, Y. AND He, F. 2018. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat, Agricultural Water Management, 201: 299-308.
- Xiao, S.S., Ye, Y.Y., Xiao, D., Chen, W.R., Zhang, W. and Wang, K.L. 2019. Effects of tillage on soil N availability, aggregate size, and microbial biomass in a subtropical karst region, Soil and Tillage Research, 192: 187-195.

خطوط کلی تحلیل اقتصادی فرسایش و اقدامات حفاظت خاک در ایران

یحیی پرویزی*[۱]، زینب کریمی[۲]
۱*-دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
(*yparvizi1360@gmail.com*)
۲-پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه یزد

چکیده
فرسایش خاک، مهم‌ترین تهدید برای نابودی خاک به عنوان رکن اصلی بوم‌سازگان‌ها حوزه‌های آبخیز و محیط زیست هر کشور است. همچنین تبعات اقتصادی این پدیده بر رشد اقتصادی بسیار عمیق و گسترده است. در واقع، محاسبه ارزش اقتصادی اقدامات حفاظت خاک به‌دلیل پیچیدگی تأثیر مولفه‌های اثرگذار بر آن و نیز ترکیبی و نداشتن شاخص آزمون شده‌ای برای ارزش‌گذاری آن در بازار بازار دشوار است. تا کنون کمتر مطالعه یا پژوهشی در خصوص تحلیل اقتصادی خسارات فرسایش خاک و بازده اقتصادی یا اثرات اقدامات حفاظتی خاک و احیایی آبخیزها در ایران صورت گرفته است. در این مقاله ضمن واکاوی اقتصادی تبعات فرسایش خاک، روش‌های ممکن برای ارزیابی اقتصادی تلفات خاک و نیز مولفه‌های تاثیرگذار بر ارزش اقتصادی حفاظت خاک با رویکرد کلی طراحی بازار حفاظت خاک بررسی خواهد شد. همچنین، در این نوشتار و برای ارزش‌گذاری اقتصادی فرسایش خاک سه شاخص اصلی هزینه و شش شاخص ترکیبی سود معرفی می‌شود. روش‌های تبیین شده در این راستا در مدیریت و سیاست‌گزاری‌های مربوط به احیاء و حفاظت خاک و آب مورد استفاده قرار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، ارزش فعلی خالص، عملیات آبخیزداری، تحلیل سود به هزینه، خسارات غیرمستقیم

۱- مقدمه

۱-۱- ضرورت پژوهش در اقتصاد فرسایش خاک و حفاظت از آن

در دنیای در حال تغییر امروز، هشت میلیارد انسان با تهدیدات حیاتی تغییرات آب و هوایی، کمبود آب و کاهش حا صلخیزی خاک مواجه ه ستند و اقت صاد ک شاورزی با چالش حفظ امنیت غذایی و در عین حال رعایت مرزهای زیست محیطی و اکولوژیکی مواجه است. خاک زیر بنای تدارک و فراهمی بسیاری از خدمات اکوسیستم مانند تهیه غذا، چوب، فیبر، کاهش سیل، پالایش آلودگی، ذخیره کربن آلی و تنظیم گازهای گلخانه‌ای، سم‌زدایی و بازیافت مواد زائد و تعدیل کننده آفات و بیماری‌ها ا ست. کاهش نرخ فرسایش خاک از طریق مدیریت موثر خاک، عنصر کلیدی برای تضمین یک سیستم پایدار تولید و

حفظ اکوسیستم است و منظور نکردن هزینه فرسایش خاک در تحلیل‌های هزینه- منفعت و استفاده از خاک به‌عنوان نهاده رایگان در فرایند تولید را می‌توان از مهم‌ترین عوامل تخریب فزاینده خاک بشـــمار آورد (یگانه و همکاران، ۱۳۹۵).

فرســایش خاک تأثیر منفی مســتقیم و غیر مســتقیم بر چرخهٔ تولید و اقتصــاد دارد. از منظر اقتصــاد فرســایش خاک، هزینه‌های مختلف فرســایش خاک به دو دســته تقســیم می‌شــود. نوع اول، هزینه‌های درون منطقه ای ا ست که شامل کاهش حا صلخیزی خاک و از بین رفتن مواد مغذی از جمله نیتروژن، فستفر و پتاستیم، و کاهش عملکرد تولیدات زراعی است. هزینه‌های جبران این نقصان و تلفات حاصله از طریق مصــرف کود و نیز خســارات ناشــی از عدم‌النفع ناشــی از نقصــان تولید نیز از این دســت هزینه‌ها ست. بخش دیگر از هزینه ها که به هزینه‌های برون منطقه‌ای مو سوم ا ست، ایجاد خ سارت به صورت رسوب‌گذاری است، همچنین آلودگی‌های محیط‌زیست و رودخانه‌ها، آسیب به زیستگاه‌های آبی و کنار آبی، کاهش پوشش جنگل و ارزش زیبایی چشم‌اندازها، کاهش تولید برق و کیفیت آب آشامیدنی و هزینه‌های ناشــی از جبران این خســارات و از طرف دیگر افزایش ســیلاب‌ها، پر شــدن مخازن ســدها، خطرات بهداشــتی و غیره اســت. از دیدگاه دیگری هزینه‌های فرســایش خاک به دو دســته هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های غیرمستقیم فرسایش خاک قابل تقسیم‌بندی است. دیدگاه کارکردی برای خدمات اکوسیستمی خاک مبنای تحلیل در این نوع دسته‌بندی هزینه‌های فرسایش خاک است.

برآورد هزینه‌های فر سایش به آژانس‌های اقت صادی در ت صمیم‌گیری در مورد سیا ست حفاظت از خاک کمک می‌کند و شواهد ملمو سی را در مورد نیاز به اجرای سیا ست‌های عمومی با هدف ت ضمین تو سعه پایدار فعالیت‌های اقت صادی مرتبط با بخش ک شاورزی در اختیار دولت‌ها قرار می‌دهد.در ایالات متحده، هزینه‌های فرســایش خاک ســالانه ۴۴ میلیارد دلار برآورد شــده اســت. هزینه‌های تخمینی فرسایش خاک از ۵ دلار هزینه شده برای حذف هر تن رسوب برای فعال نگه داشتن فعالیت‌های حمل و نقل تا ۴۵,۴ میلیارد دلار در ســال در اتحادیه اروپا که برای جبران اثرات ناشــی از از دســت دادن حاصــلخیزی خاک و کنترل رســوب گذاری منابع آب هزینه می شــود متفاوت اســت. برآوردهای اخیر هزینه‌های تخریب اراضــی نشــان می دهد که هزینه این چالش بر اقتصــادی جهانی چندان مشــخص نی ست. مع‌الو صف برآوردهایی معادل ۴۰ تا ۴۹۰ میلیارد دلار وجود دارد و از ک شوری به ک شور دیگر متفاوت است.

۲-۱- مفاهیم کارکردی نوین خاک در اقتصاد فرسایش خاک

امروزه مفهومی به نام سلامت خاک مطرح ا ست و به صورت توانائی و کارکرد پیو سته خاک به عنوان اکو سیستم زنده در حمایت و حفاظت از حیات گیاهی، جانوری و انسانی تعریف می شود. بهره‌برداران از عر صه ارا ضی برای حفظ و بهبود سلامت خاک خود و کاهش فر سایش می‌توانند شیوه‌های مدیریتی

مختلفی را اجرا کنند که هم هزینه و هم فایده برای ایشان دارد. بنابراین لاجرم موضوع اقتصاد فرسایش و حفاظت از کیفیت خاک واجد اهمیت ذاتی خواهد شد. بنابراین، در پرداختن به مو ضوعات پیچیده و مطالبات اجتماعی، بسیاری از موضوعات مربوط به پایداری محیط زیست جهان امروز، مانند امنیت غذایی، امنیت آب و انرژی، تغییرات آب و هوایی و حفاظت از تنوع زیستی، لازم است که دانش به دست آمده در چند دهه گذشته توسط علوم خاک به طور کامل مورد استفاده قرار گرفته و با سایر رشته‌های مرتبط دیگر همانند اقتصاد به اشتراک گذاشته شود

رویکرد خدمات اکو سیستم خاک در تلاش است تا ارزش اقتصادی خدمات اکو سیستمی خاک را در ارزیابی ها و تصمیم گیری‌ها وارد کند. این ارزش اقتصادی مشتمل بر هزینه‌ها و عدم‌النفع ناشی از خسارات تخریب و فرسایش خاک نیز خواهد بود. یکی از اهداف رویکرد خدمات خاک- اکوسیستم، استفاده از ارزیابی اقتصادی منابع خاک در سیاست طراحی، ارزیابی و اجرای طرح‌های اقتصادی خرد و کلان است. خدمات و کارکردهای بوم‌سازگانی رایگان نیستند و ارزش و بهای اقتصادی به ظاهر نهفته‌ای دارند که بسیار مهم‌اند و در صورتی که این خدمات رایگان تلقی شوند، این بوم‌سازگان‌ها مورد بهره‌برداری و سودجویی بی‌رویه قرار می‌گیرند و تخریب شده یا به کاربری‌های دیگر تبدیل می‌شوند (Panahi، ۲۰۰۵). هم‌چنین از آنجا که خدمات بوم‌سازگانی به‌طور کامل در بازارهای تجاری قابل داد و ستد نیستند، یا به گونه‌ای که قابل مقایسه با خدمات اقتصادی و سرمایه تولیدی باشند، کمی سازی نمی‌شوند اغلب اهمیت بسیار کمی در سیاست‌گزاری‌ها دارند (Costanza و همکاران، ۱۹۹۷). سرمایه طبیعی خاک، بخشی از دارایی‌های زیست محیطی است که توسط خصوصیات خاک، یا ذخایر مواد و انرژی و سازماندهی آنها نمایندگی می‌شود و از طریق توابع متعدد خود به چهار دسته خدمات اکوسیستم کمک می‌کند:

(۱) پشتیبانی: حفاظت از حیات گیاهان (وارائه دهنده عناصرغذایی)، جانوران و فعالیت‌های انسانی

(۲) تنظیم : از طریق چرخه‌های هیدرولوژیکی و بیوژئوشیمیایی (کربن شامل) که در خاک به همراه ظرفیت بافری به عنوان محور در نظر گرفته شده‌اند، به عنوان مثال برای دفع زباله پایدار.

(۳) تهیه : به عنوان منبع خام و با تولید زیست توده؛

و (۴) فرهنگی : به عنوان بایگانی میراث باستان شناسی و به عنوان بخش اساسی سیمای اراضی.

این مفهوم که اکوسیستم‌ها و خاک‌ها خدمات با ارزشی برای جامعه فراهم می کنند، شاید یک روش معنادارتری برای انتقال اهمیت عملکرد خاک به تصمیم گیرندگان و عموم مردم باشد که قبلا با محصولات و خدمات تولید شده در جوامع مصرف کننده آشنا هستند.

با رویکردهای بیان شده، باید از نظر اقتصادی سهم خاک را در ارایه خدمات اکوسیستم ارزش‌گذاری کرد. در این رهگذر، باید ارزش هزینه‌ای ناشی از خسارات مستقیم و غیرمستقیم فرسایش خاک را نیز احصاء نمود. کما اینکه اسناد بالا دستی سیاستگزاری کلان در زمینه خاک که تحت عنوان قانون

حفاظت خاک در سال ۱۳۹۷ تصویب و ابلاغ شده است در ماده ۴ این قانون به تعیین ارزش اقتصادی خاک در کشور تاکید شده است. اما تاکنون تحقیقاتی در این زمینه، صورت نگرفته است بنابراین باید سعی شود با همکاری متخصصین خاک- سنجی، فرسایش و بیابان‌زائی، اقتصاد و منابع طبیعی و با توجه به تجربیات جهانی برنامه‌ای در قالب پژوهشی- اجرایی به صورت پایلوت در منطقه‌ای جرا شود.

۳-۱- زمان در ارزیابی اقتصاد حفاظت از خاک

عامل مهمی که باید در ارزیابی اقتصادی فرسایش و حفاظت از خاک در نظر گرفته شود آن است که برای بهره‌بردار تأخیر زمانی برای دستیابی به بهبود در کیفیت و سلامت خاک ناشی از اعمال عملیات حفاظت خاک و عملیات احیایی اهمیت فراوانی دارد. از یک سو، هزینه‌های اتخاذ یک روش حفاظتی و احیایی در سال‌های اولیه باید تامین شود. در حالی که، بهبود در شاخص‌های کیفیت و کارکرد خاک در طول زمان به کندی ایجاد می شود. حتی اگر مزایا برای بهره‌بردار در طول زمان بیشتر از هزینه ها باشد، محدودیت های مالی یا عدم اطمینان در مورد منافع بلندمدت می‌تواند بر تصمیم‌گیری‌های آنها تأثیر بگذارد. بنابراین انواع نهاده‌ها با هزینه اولیه بالا نظیر کود، تامین آب به هر قیمت و آفت‌کش‌ها جایگزین شیوه‌های حفاظتی و احیایی خاک هستند و برخی زارعین ممکن است تصمیم بگیرند که افزایش استفاده از این نهاده‌ها را گزینه بهتری نسبت به سرمایه‌گذاری بلندمدت در احیاء و حفاظت خاک و کنترل فرسایش آن بدانند.

۲- اقتصاد فرسایش و حفاظت از خاک در ایران

از دیدگاه اقتصادی، خاک در زمره منابع طبیعی بر قدرت ملی یک کشور مؤثر بوده و به‌عنوان محوری عمده در قدرت اقتصادی ارزیابی می‌شود. متوسط فرسایش خاک در ۱۲۶ میلیون هکتار از عرصه کشور برابر یک میلی‌متر کاهش سطح کل در سال است. این رقم بسیار قابل توجه بوده و ارزش اقتصادی بیش از صدها میلیارد ریال را شامل می شود. تنش‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به‌ویژه تنش‌های حاصل از مهاجرت‌های روستاییان و عشایر نیز تا حد زیادی به این موضوع مرتبط می‌باشد (موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۸۷). ضمن‌اینکه، رشد روز افزون جمعیت در ایران و به دنبال آن مصرف بیش‌تر مواد غذایی، بهره‌برداران را به استفاده از اراضی شیب‌دار حساس به فرسایش واداشته و این از دلایل عمده تخریب منابع طبیعی بشمار می‌رود. در این راستا، فرسایش خاک باروری اراضی بالادست را تقلیل داده و از طریق رسوبگذاری در اراضی پایین‌دست و مخازن آن‌ها را دچار آسیب می‌نماید (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۷). در کشور ما به‌دلیل مدیریت ناصحیح و بهره‌برداری غیر اصولی از عرصه‌های منابع طبیعی، میزان فرسایش و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز بسیار بیش‌تر از فرسایش مجاز می‌باشد (صادقی و همکاران، ۱۳۸۳). طی دهه‌های اخیر، میزان فرسایش خاک در ایران افزایش چشم‌گیری یافته است به‌طوری که در سال ۱۳۳۰ حدود ۵۰۰ میلیون تن، در سال ۱۳۴۰

حدود ۷۵۰ میلیون تن، در سال ۱۳۵۰ حدود یک میلیارد تن و در سال ۱۳۷۲ بین ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن خاک فرسایش یافته و از دسترس خارج شده است. این روند رشدی معادل ۴۲۰ درصد را نشان می‌دهد (Nachtergaele و Petri، ۲۰۱۳).

در سال‌های اخیر اهمیت ارزشگذاری خاک (سکوتی اسکوئی و بشارتی، ۱۴۰۱؛ بارانیان‌کبیر و همکاران، ۱۳۹۶؛ عاقلی کهنه شهری و صادقی، ۱۳۸۴) و هم‌چنین ارز شگذاری اقدامات آبخیزداری (Kumar و همکاران،۲۰۱۴؛ Palanisami و همکاران، ۲۰۰۹؛ حمدان دریس و همکاران، ۱۳۹۹؛ حسنی و ملکی، ۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفته است. اما در رابطه با ارزشگذاری خاک در اثر اقدامات حفاظتی (Dhyani، ۱۹۹۳؛ قاسمی‌آریان و همکاران، ۱۳۹۵؛ گرشاسبی و قربانپور، ۱۳۹۴) کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

۳- سوابق روش‌های ارزش‌گزاری اقتصادی فرسایش خاک

از جمله ساده‌ترین این شیوه ها، شاخص‌های اراضی و روش ارزیابی اراضی فائو(۱۹۷۶)، محدود به ارزش خاک به عنوان یک محیط ک شت، معمولا برای تولید ک شاورزی در سی ستم‌های مورد ا ستفاده محلی ا ست. مفاهیم اقت صاد اکولوژیکی ب سیار و سیع‌تر و در عمل پیچیده‌تر ه ستند تا در عمل اعمال شوند. برخی از محققین نشان داده-اند که ارزیابی اراضی فراسوی گزارش دهی کارایی تولید غذا و کیفیت خاک بایستی عمل کند و تمامی خدماتی که خاک در یک محیط زیست بوم- کشاوررزی ارائه می دهد را شامل شود. در ن شریه بازبینی شده ارزیابی ارا ضی فائو (۲۰۰۷)، فائو چارچوب خود را برای ارزیابی اراضی اصلاح کرد تا نه تنها کالاها بلکه خدمات اراضی را نیز تحت پوشش خود قرار دهد. دو محور جدید به چارچوب اضافه شد که شامل کارکردها و خدمات وسیع تر اراضی و نیاز به مشارکت ذینفعان برای تعیین نتایج اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی و فرهنگی مطلوب آن بود. اما تاکنون این محورهای جدید به معیارهای عملیاتی تبدیل نشده‌اند.

در دهه ۲۰۱۰ محققین چارچوب نظری مستند سازی سهم خاک و تبعات فرسایش آن در خدمات اکو سی ستم ارائه دادند. در فا صله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ رو شهایی برای ارزش گذاری و کمّی سازی اقتصاد فر سایش خاک بر مبنای ارزیابی اقتصادی خدمات اکو سیستمی خاک در مقیاس مزرعه ابداع و توسعه یافت. برای این کار خدماتی که توسط خاک، قبل و بعد از فر سایش ارائه می کند را کمّی نموده و ارزش‌گذاری کردند. کار پژوهشی در این زمینه در ایران به طور گسترده انجام نشده فقط می توان به مطالعه موردی ح سن یگانه و همکاران در مورد برآورد ارزش اقت صادی کارکرد حفاظت خاک در زنجان و تعیین ارزش اقتصادی ترسیب کربن خاک در گونه‌های مختلف جنگل‌کاری شده لاویج مازندران توسط باده‌یان و همکاران (۱۳۹۷) ضیائی جزی و همکاران (۱۳۹۸) و محدودی پژوهش‌های موردی

دیگرکه تنها ارزش اقتصادی یکی از خدمات خاک را (تولید) برای یک نوع کاربری (زراعت) مورد بررسی قرار داده اند؛ اشاره نمود.

۴- روش های برآورد اقتصادی فرسایش و حفاظت خاک

(Cruz و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده از رویکرد هزینه فرصت را برای برآورد ارزش خاک براثر فرسایش توصیه می‌کند و آن را معادل با از دست رفتن سودآوری سامانه‌های کشاورزی در درازمدت می‌داند که به عدم‌تشویق سرمایه‌گذاری در تولیدات کشاورزی و هدایت سرمایه‌ها به سوی فعالیت‌های اقتصادی بخش‌های دیگر خواهد انجامید. به‌عبارت دیگر، هزینه فرسایش خاک گویای اختلاف بین ارزش‌های فعلی بازدهی‌های خالص مالی نظام‌های جایگزین کاربری اراضی با درجات مختلف فرسایش خواهد بود (سکوتی اسکوئی و بشارتی،، ۱۴۰۱). هر مطالعه‌ای در زمینه ارزشگذاری اقتصادی خاک، در بر گیرنده دو بخش ساختاری است: یکی، کمی‌سازی کارکردها و خدمات و دیگری تلاش برای تقویم ارزش اقتصادی آن‌ها از طریق محاسبات مالی و ارزش‌های پول. در این زمینه، باید ارزش استفاده‌های مستقیم و غیرمستقیم را به ارزش‌های مبادله‌ای تبدیل کرد که برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و جوامع محلی بهره‌بردار، زبانی آشنا و قابل فهم باشد؛ اما استفاده از قیمت‌های بازاری برای کارکردهای بوم‌سازگانی دارای دشواری‌های زیادی است؛ زیرا این خدمات در بازار عرضه نمی‌شوند و ارزش‌گذاری آن‌ها نیاز به رویکردهای متفاوتی دارد (مبرقعی، ۱۳۸۹). در ادامه، به‌طور مختصر به تشریح روش‌های ارزیابی در این زمینه پرداخته می‌شود و مقتضی بر شرایط از تعدادی از این روش‌ها استفاده خواهد شد. به‌طور عموم شیوه‌های ارزیابی و برآورد اقتصادی فرسایش خاک و شیوه‌های حفاظت خاک مبتنی بر دو دسته هزینه‌ها یا خسارات فرسایش خاک است یک دسته خسارات مستقیم فرسایش خاک و دسته دوم خسارات غیرمستقیم فرسایش خاک است.

۴-۱- برآورد هزینه‌های مستقیم فرسایش خاک:

جهت برآورد هزینه‌ای مستقیم فرسایش خاک، دو روش کلی وجود دارد

A. روش هزینه جایگزینی(NRCM) [۲]:

روش هزینه جایگزینی که روش هزینه تخلیه مواد مغذی هم نامیده می‌شود و به دنبال احیای خاک فرسایش یافته به سطح قبل از فرسایش است. در این روش، هزینه خرید کود شیمیایی الزم برای حفظ و احیای بهرهوری و کسب مجدد مواد مغذی توسط خاک محاسبه میشود. منطق نهفته در این روش، محاسبه هزینه یک آسیب خاص و هم‌چنین برآورد آن با استفاده از هزینه معادل یاجایگزینی است

[2] Nutrient Replacement Cost Method

(گرشاسبی و همکاران، ۱۳۹۲). به‌عنوان مثال اگر در نظر باشد خطر فرسایش خاک را در مزرعه تخمین یا برآورد شود، لازم است که از دست رفتن مواد مغذی ناشی از فرسایش محاسبه شده و با استفاده از هزینه معادل یعنی هزینه بازسازی خاک و با توجه به اقدامات زیر در آن جایگزین شود:

الف) برآورد میانگین خاک از دست رفته در هر هکتار برای مناطق شاهد؛

ب) برآورد کاهش مواد مغذی قابل جبران خاک؛

ج) ارزش‌گذاری مواد از دست رفته مغذی خاک در هر هکتار با در نظر گرفتن هزینه حاصلخیزی جایگزین در بازار (عمدتاً کاهش عناصر غذایی اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم).

پس از تعیین مقدار رسوب خاک، کل مواد غذایی از دست رفته خاک به‌دلیل فرسایش در سال n ام با استفاده از رابطه ۱، برآورد می‌شود. در این رابطه؛ Dun: مقدار عنصر u از دست رفته در سال n ام؛ S: میزان رسوب خاک و Mn: درصد هر یک از عناصر مورد نظر در رسوب می‌باشد.

$$Dun = S \times M$$ رابطه (۱)

در ادامه، جمع کل هدررفت مواد غذایی در سال n ام از رابطه ۲ برآورد می‌شود. هم‌چنین، با در نظر گرفتن قیمت کودهای جانشین برای جبران عناصر از دست رفته خاک، ارزش اقتصادی عناصر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. PK، PP و PN به‌ترتیب قیمت کودهای جانشین برای عناصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن و V ارزش اقتصادی کل عناصر می‌باشد.

$$An = DnN + DnP + DnK$$ رابطه (۲)

$$V = (PNDN + PPDP + PK)$$ رابطه (۳)

B. روش ارزش کاهش بهره‌وری (VLPM):

روش (VLPM) یا روش ارزش افت تولیدات زراعی یا کاهش بهره‌وری است که هزینه کاهش تولیدات زراعی در اثر فرسایش را به قیمت بازار ا ندازه‌گیری میکند. این روش که به اُفت تولیدات زراعی هم معروف است، کاهش تولیدات زراعی را در اثر فرسایش به قیمت بازار اندازه‌گیری می‌کند. البته امکان سنجش کاهش ارزش تمام محصولات زراعی به قابلیت دسترسی به داده‌های آماری برمی‌گردد، ولی محاسبه این کاهش ارزش برای مهم‌ترین محصولات منتخب (از نظر میزان تولید) به نسبت برآورد دقیقی از فرسایش مستقیم است.

۲-۴- برآورد هزینه‌های غیرمستقیم فرسایش خاک:

برای محاسبه هزینه‌ای که فرسایش خاک به‌صورت غیرمستقیم تحمیل می‌کند و نیز برآورد هزینه‌های ناشی از خسارات نقصان کارکردی خاک، پیچیدگی‌های شناختی زیادی وجود دارد. برای برآورد این بخش از هزینه‌های تحمیلی فرسایش و تخریب خاک باید شناخت دقیقی از ارزش‌گذاری خاک داشته باشیم. یکی دیگر از شیوه‌های ارزیابی اقتصادی کارکردی خاک و فرسایش آن رویکرد بسندگی ذخایر[۲۵] (Hewitt و همکاران، ۲۰۱۵) و رویکرد شاخص Calzolari و همکاران (۲۰۱۶) است. در شیوه‌ی ارزش گذاری منابع خاک بر اساس یک رویکرد اکوسیستمی، در ابتدا باید زمینه‌های جغرافیایی، سیاسی و اجتماعی- اقتصادی هر مکانی که در آن فرایند ارزش‌گذاری اجرا می‌شود مشخص شود.

۳-۴- روش‌های برآورد اقتصادی بر مبنای مفاهیم کارکردی خاک

I. روش تغییر بهره‌وری[۲۶]

در این روش، از طریق مقدار تولید از دست رفته با قیمت‌های بازار مقایسه و برآورد می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر هدف، برآورد ارزش اقتصادی بازدهی محصول از دست رفته در اثر فرسایش خاک در محل باشد، نسبت به برآورد اندازه‌گیری بازدهی فیزیکی محصولات با و بدون فرسایش خاک مقایسه می‌شود و سپس تغییر در میزان محصول به‌دست می‌آید.

II. روش خسارت اجتناب‌شده[۲۷]

این روش متکی به این فرضیه است که هزینه‌های اجتناب ازخطر و آسیب، اندازه‌ای مساوی با ارزش بوم‌سازگان دارند. روش هزینه اجتناب شده یا جلوگیری از خطر، از ارزش محصول حفاظت شده استفاده می‌کند و یا از هزینه اقدام صورت گرفته به‌منظور اجتناب از آسیب‌ها به‌عنوان معیاری از سودهای ارائه شده به‌وسیله یک بوم‌سازگان استفاده می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر جنگلی از اراضی زراعی مجاورش در برابر سیلاب حفاظت نماید، سودهای حاصل از حافظت در برابر سیلاب را می‌توان از طریق آسیب‌های جلوگیری شده، برآورد کرد. این در حالی است که سیلابی روی نداده و یا زارعین با پرداخت هزینه مزارع را در برابر سیلاب محافظت می‌کنند(Garshasbi، ۲۰۱۱).

III. روش هزینه فرصت از دست رفته[۲۸]

در این روش هزینه یک خطر خاص از طریق مقدار تولید از دست رفته که با قیمت‌های بازار مقایسه می‌شود، برآورد می‌گردد. به‌عنوان مثال، اگر هدف برآورد ارزش اقتصادی تولید محصول از دست رفته در اثر فرسایش خاک در محل مد نظر باشد، نسبت به برآورد و اندازه‌گیری تولید محصولات در دو گزینه با فرسایش خاک و

---

[2] Stock adequacy [5]
[2] Productivity Change Method [6]
[2] Damage Cost Avoided Method [7]
[2] Opportunity Cost Method [9]

بدون فرسایش خاک مقایسه شده و سپس تغییرات میزان محصول به‌دست می‌آید (Zhu و همکاران، ۲۰۰۱). روش محاسبه به این صورت است که مساحت اراضی معادل خاک حفظ شده در اثر وجود (مثلاً پوشش مرتعی) از تقسیم حجم خاک حفظ شده (AT) بر عمق مناسب کشت (d) قابل محاسبه است. متوسط سود سالانه کشت دیم به‌عنوان هزینه فرصت کاهش میزان از دست رفته اراضی در نظر گرفته شده و برای محاسبه ارزش این کارکرد از رابطه ۴ استفاده می‌گردد. در این رابطه، ES: ارزش کارکرد کاهش میزان از دست رفتن اراضی و BR: سود خالصانه هر هکتار کاربری (دیم‌کاری) در منطقه است.

هم‌چنین، به‌منظور برآورد ارزش اقتصادی کارکرد کنترل رسوب و کاهش رسوبگذاری در سد مخزنی، هزینه ساخت هر مترمکعب از ظرفیت این سد به‌عنوان هزینه فرصت این کارکرد منظور می‌تواند گردد.

$$ES = \left(\frac{\frac{AT}{d}}{10000}\right) * BR$$ رابطه (۴)

۴-۴- عوامل هزینه و سود:

معیارهای متفاوتی برای این تحلیل و ارزیابی وجود دارد که از میان آن ها روش ارزش فعلی خالص (NPV[۲۹])، نرخ برگشت داخلی[۳۰]، نسبت سود به هزینه[۳۱] و ارزش سرمایه‌گذاری خالص[۳۲] به‌عنوان معیارهای رایج به‌شمار می‌روند. برای تحلیل موضوع در پژوهش حاضر روش NPV انتخاب خواهد شد. این روش بر خلاف دیگر روش‌ها یک معیار قابل اتکاء بوده و نسبت به ارائه نتایج مبهم آسیب‌پذیر نیست و به‌صورت تفاوت بین مجموع ارزش فعلی جریان سود تنزیل یافته و مقدار تنزیل‌یافته جریان هزینه در طول عمر پروژه تعریف می‌شود. هم‌چنین، ارزیابی ارزش سرمایه‌گذاری هر پروژه در روش NPV دقیق و مشخص است. طبق این معیار، پروژه‌های با NPV مثبت پذیرفته‌شده و با NPVمنفی قابل قبول نمی‌باشند (رابطه ۵). در این رابطه،، و به‌ترتیب منافع پروژه، هزینه پروژه، سال و نرخ تنزیل است.

$$NPV = \sum \frac{R_i - C_i}{(1+r)^i}$$ رابطه (۵)

امروزه از تلفیق مدل‌های شبیه سازی متشکل از مدل‌های برآورد فرسایش منطقه‌ای و مدل‌های ارزیابی اقتصادی برای ارزیابی اقتصاد فرسایش خاک استفاده می‌شود. به عنوان مثال یک مدل بیوفیزیکی نرخ فرسایش خاک نظیرRUSLE تغییرات زمانی و مکانی فرسایش را تعیین و شبیه‌سازی می‌کندو سپس این نرخ‌ها به تلفات باروری خاک تبدیل می شود و متعاقباً نتایج آن در یک مدل شبیه سازی بازار یا

---

[29] Net Present Value
[30] Internal Rate of Return
[31] Benefit-Cost Ratio
[32] Net Present Worth

الگوریتم مدل‌سازی اقتصادی نظیر مدلهای نظری اقتصادی همانند مدل‌های چندمنطقه‌ای نئوکلاسیک محاسباتی عمومی CGE[۳۳] قرار داده می‌شود تا به تولید ناخالص داخلی در مقیاس ملی یا جهانی تبدیل شود (سارتوری و همکاران ۲۰۱۹).

منابع

- بادەیان، ض.، منصـــوری م. و فخاری م.ع. ۱۳۹۷. تعیین ارزش اقتصـــادی ترســـیب کربن خاک در گونه‌های مختلف جنگل کاری شده. پژوهش‌های محیط زیست، ۹ (۱۷) :۱۱۱-۱۲۰
- بارانیان‌کبیر، ا. موسوی، س.ع. بشری، ح. مصدقی، م.ر. و بصیرتی، م. ۱۳۹۶. پیامدهای اقتصادی تغییر کاربری مراتع به دیمزار از جنبه کارکردهای حفظ آب و خاک. بوم‌شناسی کاربردی، ۶ (۲): ۳۹-۲۷.
- پرویزی، ی. بیات، ر. حشمتی، م. و قیطوری، م. ۱۳۹۷. مقایسه کمّی اثر عملیات مکانیکی و زیستی آبخیزداری در مهار فرسایش و رسوب حوزه آبخیز حاجی‌آباد کرمانشاه. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲ (۴۲): ۵۹-۵۲.
- حسنی، ح. و ملکی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی اثرات اجتماعی- اقتصادی پروژه‌های آبخیزداری از دید ذینفعان (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حسن ابدال- استان زنجان). نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳ (۴۵): ۶۲-۵۴.
- حمدان دریس، ح. معین، ز. و فرجی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی اقتصادی بندهای چند منظوره کنترل سیل و رسوب در اراضی استان خوزستان. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۴ (۴۸): ۱۱۴-۱۱۱.
- سکوتی اسکوئی، ر. و بشارتی، ح. ۱۴۰۱. مروری بر ارزشگذاری اقتصادی خاک. نشریه علمی مدیریت اراضی، ۱۰ (۱): ۱۶-۱.
- صادقی، س.ح. فروتن، ا. و شریفی، ف. ۱۳۸۳. ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری به روش کیفی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز کن). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۹: ۴۷-۳۶.
- ضیایی جزی, دلارام, زارع بیدکی, رفعت. (۱۳۹۸). 'تعیین خسارت اقتصادی ناشی از فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف اراضـــی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز بهشـــت آباد، اســـتان چهارمحال و بختیـاری)', نشـــریـه علمی - پژوهشـــی مرتع و آبخیزداری, ۷۲(۱), pp. 151-165. doi: 10.22059/jrwm.2019.263499.1288

[3] Computable General Equilibrium

- قاسمی‌آریان، ی. آذرنیوند، ح. و کیانی‌راد، ع. ۱۳۹۵. ارزشگذاری اقتصادی کارکرد حفظ حاصلخیزی خاک در اکوسیستمهای مرتعی احیاء شده در مناطق خشک (مطالۀ موردی: پروژۀ بین المللی ترسیب کربن، خراسان جنوبی). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی، ۶۹ (۴): ۱۰۴۲-۱۰۳۱.
- گرشاسبی، پ. رجب‌نژاد، س. و خانی، ش. ۱۳۹۲. بررسی نقش ارزش فرصت زمین در احیای حوزه‌های آبخیز. نشریه آبخیزداری، ۱ (۱): ۲۶-۱۹.
- گرشاسبی، پ. و قربانپور، د. ۱۳۹۴. ارزیابی اقتصادی اقدامات حفاظت خاک، مطالعه موردی: زیرحوضه میانبیشه در حوزه آبخیز طالقان. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷ (۳): ۲۳۹-۲۲۹.
- عاقلی کهنه شهری، ل.، صادقی، ح.، ۱۳۸۴. برآورد آثار اقتصادی فرسایش خاک در ایران. پژو هش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهشهای ا قتصادی)، ۵(۱۵):۸۷-۱۰۰ https://www.sid.ir/fa/journal /ViewPaper.aspx?id=55522.
- مبرقعی، ن. ۱۳۸۹. برآورد ارزش کارکرد حفاظت از مواد مغذی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی. پژوهش‌های محیط زیست، ۱ (۲): ۱۲-۳.
- موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۱۳۸۷. خاک. کتاب اول: شناخت وضع موجود و منابع (مبانی لایحه قانون جامع خاک کشور)، وزارت جهاد کشاورزی، ۴۴۹ ص.
- یگانه، ح. آذرنیوند، ح. صالح، ا. ارزانی، ح. و امیرنژاد، ح. ۱۳۹۵. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفاظت خاک (مطالعه موردی: تهم زنجان)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۳ (۱): ۱۷۶-۱۶۱.
- Bouma, J. 2014. Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: Linking soil functions with ecosystem services. J. Plant Nutr. Soil Sci. 177:111–120.
- Calzolari C, Ungaro F, Filippi N et al. 2016. A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. Geoderma 261:190–203.
- Costanza, R. de Groot, R. Sutton, P. van der Ploeg, S. Anderson, S.J. Kubiszewski, I. and Turner, R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 26: 152-158.
- Dhyani, B.L. 1993. Economic analysis of watershed management programme in outer Himalaya: a case study ofoperational research project, Fakot. Indian Journal of Agricultural Economics, 48(2): 237-245.
- Dominati, E.J., Mackay, A.D., Green, S., Patterson, M. 2014. A soil change-bedmethodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. Ecol. Econ. 100, 119–129.

- Dominati, E.J., Mackay, A.D., Bouma, J. and Green, S. 2016. An Ecosystems Approach to Quantify Soil Performance for Multiple Outcomes: The Future of Land Evaluation? Soil Sci. Soc. Am. J. 80:438–449
- Hewitt, A., Dominati, E., Webb, T., and Cuthill, T. 2015. Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. Geoderma, 241–242:107–114.
- Kumar, G. S. Kurothe, V.C. Pande Rao, A.K. Vishwakarma, Bagdi1 and P.K. Mishra. 2014. Watershed impact evaluation using remote sensing. Current Science, 106 (10): 1-10.
- McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. Geoderma 213, 203–213.
- Nachtergaele, F. and M. Petri. 2013. Land Use Systems mapping at global and regional scales in support of Land Degradation Assessment Analysis. Version 1.1, LADA.
- Palanisami, K. Kumar, S. and Wani, S.P. 2009. Evaluation of watershed development programs in India, using economic surplus method. File URL: http://purl.umn.edu/57396.
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., Panagos, P. 2019 .A linkage between the biophysical and the economic: assessing the global market impacts of soil erosion. Land Use Policy, 86:299-312
- Samarasinghe, O., Greenhalgh, S., 2013. Valuing the soil natural capital: a New Zealand case study. Soil Res. 51:278–287.
- Panahi, M. 2005. Economic valuation of hyrcanian forest. Ph.D thesis. Faculty of Natural resource. Tehran university. P. 294.
- Storie, R.E., 1933. An index for rating the agricultural value of soils. Bulletin 556. University of California Experimental Station, Berkley, CA .

کاربرد روش کلارک در برآورد دبی سیلاب بازفت کارون

مسعود گودرزی*[۱]، معصومه بحری[۲]

۱*-دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی *m.goodarzi@areeo.ac.ir*

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه یزد

چکیده

از اهداف مهم هیدرولوژی، پیش بینی کمی فرایند بارش- رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی عبوری در خروجی حوزه است. هدف تحقیق حاضر بررسی دقت، صحت و اعتبار روش‌های زمان- سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد هیدروگراف سیلاب از نظر شکل، دبی پیک، زمان تا پیک، زمان پایه و حجم هیدروگراف در هر رگبار بارش با شدت و مدت معین می‌باشد. برای این منظور ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه خطوط هم زمان تمرکز و مرکز ثقل حوزه به دست آمد سپس با استفاده از داده های باران نگار و انتخاب رگبار مناسب هیدروگراف سیل مربوط به هر رگبار با روشهای مختلف به دست آمد و با نتایج هیدروگراف ثبت شده در انتهای حوزه مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان دهنده آنست که روش کلارک نتایج بهتری را نسبت به روش زمان-سطح ارائه می کند. لذا این روش برای محاسبه هیدروگراف ناشی از یک رگبار در حوزه های بدون آمار قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی:

هیدروگراف واحد لحظه‌ای، مدل کلارک، مدل زمان-سطح، برآورد سیل.

مقدمه

به دلیل کمبود ایستگاههای هیدرومتری و بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری آن، اطلاعات کافی در مورد هیدروگراف سیل و دبی جریان رودخانه در اکثر حوزه‌های ایران وجود ندارد. از طرفی در کارهای مهندسی منابع آب و ساماندهی رودخانه، تعیین دبی سیلاب امری بسیار ضروری است. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی توانائی هیدروگرافهای واحد کلارک در برآورد دبی سیلاب است, مدلهای بارش-رواناب از جمله روشهایی هستند که قادر به پیش بینی و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب ناشی از هر بارش می‌باشند. از جمله این مدلها می‌توان به هیدروگراف واحد[۳]، هیدروگراف واحد لحظه‌ای[۴]، هیدروگراف واحد لحظه‌ای

3 - Unit Hydrograph
4 - Instantaneous Unit Hydrograph

ژئومورفولوژیکی[۳۶] و روش زمان-سطح[۳۷] اشاره کرد. این مدلها بر اساس پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی پیک سیلاب را محاسبه می‌کنند. سوال اساسی اینست که کدام روش در حوزه های فاقد آمار کارآئی بیشتری دارد؟

از مهمترین قدمهایی که در تجزیه و تحلیلهای هیدرولوژی و تهیه هیدروگراف سیل طرح برداشته شده است استفاده از هیدروگراف واحد می باشد که اولین بار توسط شرمن پیشنهاد گردید. تهیه هیدروگراف واحد حوزه برای تداومهای مختلف از اقدامات اساسی در هیدرولوژی می باشد.

تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای در سال ۱۹۳۰ توسط کمیته مهندسی بوستون ارائه گردید و بیانگر توزیع رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد است که بطور آنی و لحظه‌ای در حوزه آبخیز اتفاق افتاده باشد. این هیدروگراف یک هیدروگراف تک اوجی است و مقدار آن برای هرحوزه واحد است (علیزاده،۱۳۸۴: ص ۵۵۰ و Ramirez, 2000 p :27). هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای هر حوزه منحصر به فرد بوده و به عنوان شناسنامه آن حوزه می باشد. این هیدروگراف فقط با داشتن خصوصیات فیزیوگرافی و ژئومرفولوژیکی حوزه (بدون نیاز به اطلاعات مربوط به بارندگی و مستقل از زمان) بدست می آید و با کمترین داده اولیه قادر به پیش‌بینی هیدروگراف سیل با دقت قابل قبول می‌باشد(علیزاده، ۱۳۸۲). مدل زمان- سطح تکامل یافته روش استدلالی[۳۸] است که توسط Lioyd-Davis ارائه گردید. در این روش دبی خروجی حوزه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = 0.278CIA$$ (رابطه ۱)

که در آن Q دبی اوج سیلاب بر حسب متر مکعب بر ثانیه، C ضریب رواناب سطحی، I شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت در زمان تمرکز در دوره بازگشت مورد نظر و A مساحت بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد. در این مدل شدت بارندگی متغیر و مساحت محاسباتی مربوط به مساحت بین دو خط همزمان تمرکز می باشد (Singh ,1988: p 11).

مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک حوزه را به عنوان یک مخزن فرضی با ویژگیهای مشابه ذخیره حوزه در نظر می‌گیرد و با استفاده از روش روندیابی ماسکینگام هیدروگراف ورودی را روندیابی می‌کند(Singh ,1988 : p 13). رابطه ۲ روش روندیابی ماسکینگام برای مدل کلارک را نشان می‌دهد. (رابطه ۲)

$$Q_2 = \frac{0.5t}{K + 0.5t} I_1 + \frac{0.5t}{K + 0.5t} I_2 + \frac{K - 0.5t}{K + 0.5t} Q_1$$

---

3 - Geomorphology Instantaneous Unit Hydrograph
3 - Time Area Method
3 - Rational Method

که در آن : GT گام زمانی ($\frac{K}{3} f_{GT} f_K$)، I_1 میزان جریان ورودی اولیه، I_2 میزان جریان ورودی بعد از زمانt، Q_1 میزان جریان خروجی اولیه، Q_2 میزان جریان خروجی بعد از زمانt، S_1 میزان ذخیره اولیه و k ضریب ذخیره حوزه است.

پیشینه تحقیق

Clark عرض هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به عنوان یک پاسخ ژئومرفولوژیکی حوزه و متناسب با منحنی تمرکز زمان- مساحت قلمداد نمود(Clark, 1945 p: 17). Nash گشتاور اول و دوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای را با برخی ویژگی‌های ژئومرفولوژیکی حوزه‌های آبخیز انگلستان مرتبط کرد و این روش را برای تعیین هیدروگراف واحد حوزه مناسب ارزیابی کرد (Nash, 1957 p: 122). در استرالیا Snell وSivapalan هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی بدست آمده از قوانین هورتن و استراهلر را با روش تابع عرض مقایسه نمودند و روش تابع عرض را شاخص بهتری برای واکنش حوزه دانستند (Snell and Sivapalan, 1994 p: 58). Maidment مدلی توزیعی را بر اساس روش زمان- سطح و مدل رقومی ارتفاع بنا نهاد(Maidment, 1993 p: 112) . Muzic مشابه کار Maidment را انجام داد، نمونه‌ای از این روش در مدل کامپیوتری HMS مورد استفاده قرار گرفته است (Muzic, 1995 p: 91). Singh معتقد است که تولید رواناب به عوامل متعددی از جمله: خصوصیات حوزه، دینامیک بارش، نفوذپذیری خاک و رطوبت پیشین بستگی دارد وی بیان می‌کند که رطوبت پیشین در رواناب تاثیر زیادی دارد (Sing, 1997 p: 18). Fong Lin و Yu-Ming Wang پیشنهاد کردند که در استفاده از روش IUH از تکنیکهای سنجش از دور استفاده شود، ایشان ثابت کردند که استفاده از شبکه آبراهه فرعی در این مدلها اختلاف معنی‌داری نسبت به مدل Valdes و Rodrigue که فقط رودخانه اصلی را مد نظر دارد، بوجود می آورد(Fong Lin and Yu- Ming Wang, 1998 p: 105) .

Jain و همکاران با استفاده از ترکیب مدل کلارک و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی بوسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی دریافتند که حساسیت دبی پیک به تغییرات الگوی بارش زیاد است (Jain et al, 2000 p:5). Saghafyan و همکاران روش جدیدی را بر پایه استفاده از مدلهای رقومی ارتفاع و تکنیک زمان-سطح برای مدلسازی توزیعی توسعه دادند (Saghafiyan et al, 2002 p:275). Raymond و Jeng با حل معادله موج سینماتیک با استفاده از تابع توزیع گاما و مفهوم مخازن خطی، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را بدست آوردند و آنرا تابع PKW-IUH[3] نامیدند. (Raymond and Jeng, 2003 p:37).

[3] -Pseudo kinematics Wave Instantaneous Unit Hydrograph

رحیمیان هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی را در حوزه پس کوهک شیراز مورد آزمایش قرار داد. وی نتیجه گرفت که روش‌های SCS و اشنایدر مثلثی با هیدروگراف مشاهده‌ای مطابقت بیشتری دارد(رحیمیان، ۱۳۷۴: ص۷۹). غیاثی در۶ مورد هیدروگراف تهیه شده به روش مشابه برای حوزه معرف امامه، به نتیجه معکوسی نسبت به رحیمیان رسید و نشان داد که هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی کارائی مناسب‌تری نسبت به روش اشنایدر ندارد(غیاثی، ۱۳۷۴: ص۹۲). قهرمان در حوزه معرف کسیلیان و اقلیم شمال کشور مدل فوق را نسبت به مدل ژئومورفوکلیماتیک دارای کارائی کمتری یافت(قهرمان، ۱۳۷۴ : ص۳۳). روغنی با کالیبره نمودن یک مدل روندیابی رواناب با استفاده از سطوح همزمان تمرکز و همچنین نحوه قرار گرفتن این سطوح در کل حوزه میزان تاثیر این سطوح را در دبی اوج مورد بررسی قرار داد. وی نتیجه گرفت که سطوح مختلف حوزه نقش متفاوتی در دبی خروجی حوزه ایفا می‌کند(روغنی، ۱۳۷۶: ص۵۶). عرفانیان با بررسی‌های خود در حوزه جزین سمنان بوسیله شاخص آماری مجموع مربعات خطا ترتیب کارائی مدلها را به صورت Nash، GIUH،S.C.S با توزیع گاما، GcIUH و GIUH مثلثی ارائه نموده است(عرفانیان، ۱۳۷۷ : ص ۵۱). عبدالهی بر اساس ویژگیهای ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و بررسی ۴ رگبار بارش به این نتیجه رسید که هیدروگراف مشاهده‌ای در اغلب موارد دبی اوج بیشتری نسبت به مقادیر برآورد شده از مدل دارد، از نقطه نظر زمان تا اوج نیز هیدروگراف طبیعی زمان تا اوج طولانی‌تری دارد(عبدالهی، ۱۳۸۱ ص: ۶۹).

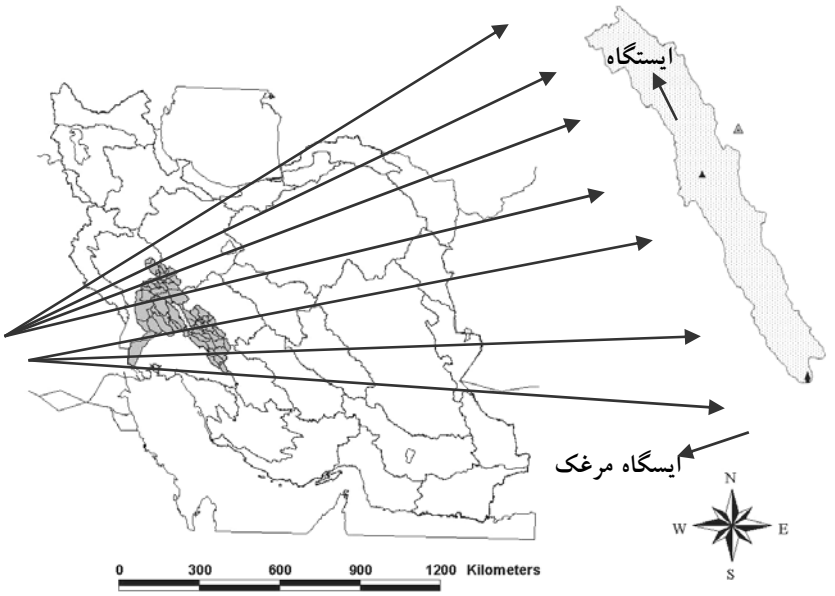
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

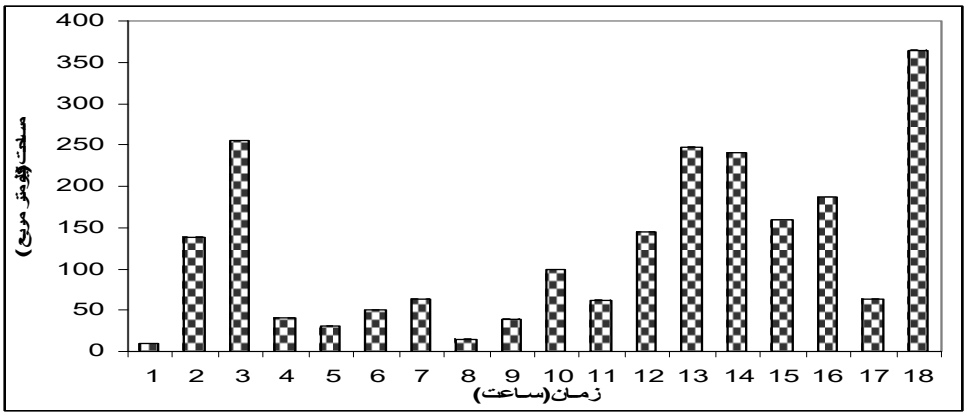
حوزه آبخیز بازفت از زیر حوزه‌های اصلی کارون واقع در استان چهار محال و بختیاری با مساحت ۲۱۱۱/۴ کیلومتر مربع برای این مطالعه انتخاب گردید. حداکثر ارتفاع این حوزه ۴۰۱۸ متر و حداقل آن ۸۶۰ متر از سطح دریا می باشد. شکل ۱ موقعیت حوزه کارون و زیر حوزه بازفت را نشان می دهد.

انجام تحقیق حاضر شامل مراحل گردآوری اطلاعات بارش-رواناب، استخراج هیدروگراف زمان – سطح حوزه با استفاده ازGIS، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل زمان – سطح، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل هیدروگراف واحد لحظه کلارک با استفاده از روش گرافیکی برای بدست آوردن پارامترK معادله ماسکینگام و ارزیابی نتایج بدست آمده می‌باشد. در عین حال از گرافهای سیلابهائی باید استفاده شود که گرافهای بارش همزمان آن موجود بوده و آب حاصل از ذوب برف در آن تاثیری نداشته باشد. سپس شدت بارندگی از گرافهای باران نگارهای ثبات استخراج ده و هیتوگراف بارش نظیر هر سیلاب ترسیم می گردد. از روی هیتوگراف بارندگی با استفاده از شاخص فی، مدت زمان بارش موثر مربوط به هر سیلاب محاسبه می گردد. نقشه توپوگرافی حوزه رقومی گردید سپس با استفاده از نقشه بدست آمده نقشه مدل

رقومی ارتفاع[4] با اندازه پیکسل برابر با ۳۰ متر بدست آمد. منحنی‌های همزمان تمرکز با استفاده از نقشه DEM و فرمول California برای هر یک ساعت محاسبه گردید و با استفاده از منحنی‌های بدست آمده، نمودار زمان-سطح برای حوزه بازفت مطابق شکل ۲ بدست آمد.



شکل ۱- موقعیت حوزه کارون، زیر حوزه بازفت و ایستگاههای مورد استفاده

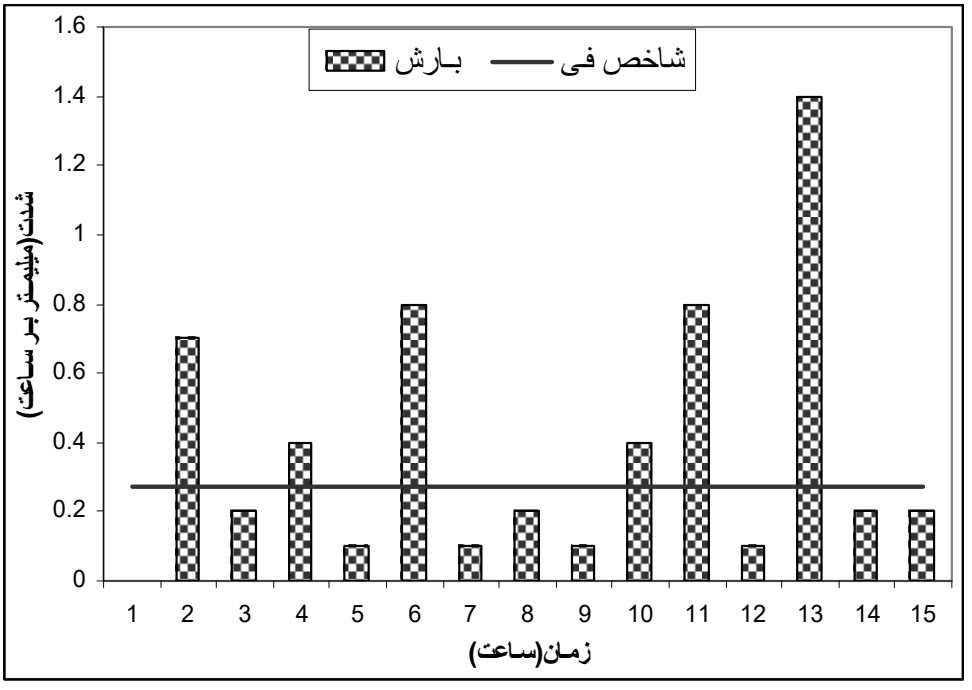


شکل ۲- نمودار زمان – سطح حوزه

4 - Digital Elevation Models

برای بدست آوردن مرکز ثقل حوزه نقاط مختلفی روی محیط حوزه انتخاب و با توجه به طول و عرض آنها مرکز ثقل حوزه تعیین گردید. نقطه بدست آمده دارای طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه و عرض ۳۲ درجه و ۸ دقیقه می باشد. فاصله این نقطه تا خروجی حوزه برابر با ۷۹/۷۵ کیلومتر و عرض حوزه در این نقطه حدود ۱۸/۷۵ کیلومتر می‌باشد. با توجه به مرکز ثقل حوزه ایستگاه چلگرد با ارتفاع ۲۳۰۰ متر و مختصات جغرافیائی به طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه و عرض ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه به عنوان نزدیکترین ایستگاه دارای باران‌نگار انتخاب گردید.

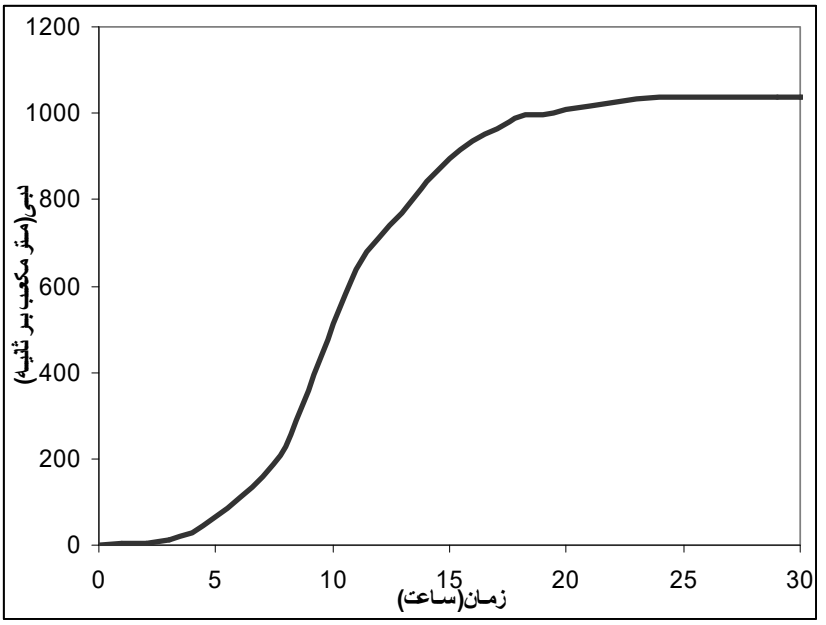
برای محاسبه هیدروگراف خروجی با استفاده از مدلهای یاد شده تعداد شش رگبار منفرد ایستگاه چلگرد که مقادیر سیل مربوطه به آن در ایستگاه مرغک ثبت شده بود در دوره ۷۹-۱۳۷۲، انتخاب شده و گرافهای باران نگار مربوط به آن تجزیه و بارش مازاد هر یک محاسبه گردید. علت انتخاب ۶ رگبار این بود که بایستی رگبارهائی انتخاب شوند که هیدروگراف سیلاب همزمانان در اختیار باشد. بارش مازاد با استفاده از شاخص φ (مقدار متوسط تلفات باران به نحوی که بیشتر از این مقدار رواناب تولید می‌شود) تعیین گردید. به عنوان نمونه رگبار ثبت شده درتاریخ ۷۳/۱۰/۲۷ و شاخص فی مربوط به آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



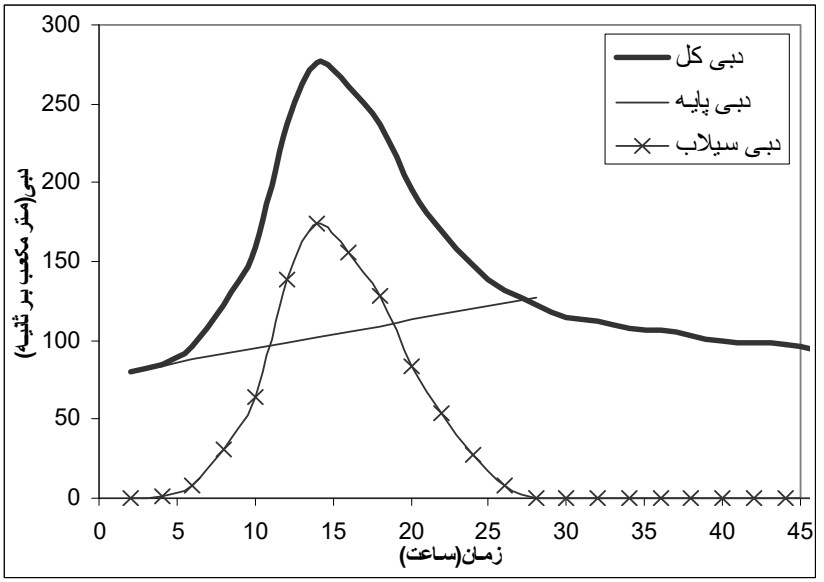
شکل ۳- مقادیر شدت بارندگی و شاخص فی مربوط به آن

گراف‌های لیمینوگراف (ایستگاه مرغک) مربوط به رگبارهای انتخابی تعیین و هیدروگراف آن بدست آمد. برای مقایسه هیدروگراف سیل پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر ثبت شده در ایستگاه مرغک لازم است که مبانی هیدروگرافها یکی باشد. لذا منحی S مربوط به هر سیل تهیه و با توجه به آن هیدروگراف واحد با ساعت دلخواه بدست آمد. برای جدا کردن دبی پایه از شاخه خشکیدگی هیدروگراف استفاده شد. در شکلهای ۴ و ۵ منحنی S، هیدروگراف کل، دبی پایه و دبی سیلابی به عنوان نمونه نشان داده شده است.

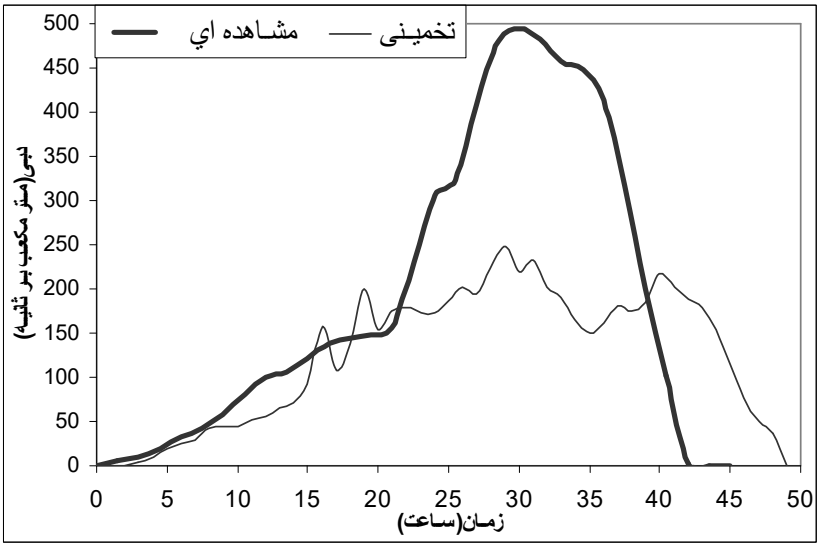
با توجه به منحنی S مربوط به هر سیل بدست آمده در مرحله قبل، هیدروگراف واحد مربوطه تهیه شد که بعدا بعنوان هیدروگرافهای مشاهداتی مبنای مقایسه قرار گرفتند. در شکلهای۶ تا ۱۱ هیدروگرافهای تخمینی بدست آمده از مدل زمان- سطح با هیدروگرافهای مشاهداتی ایستگاه مرغک مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک ابتدا با توجه به هیدروگراف سیلابهای مختلف بدست آمده از ایستگاه خروجی(ایستگاه مرغک)هیدروگراف واحد متوسط حوزه به صورتی که Visman و همکاران(۱۹۹۶)پیشنهاد کرده‌اند تهیه گردید (شکل ۱۲) سپس هیدروگراف واحد متوسط حوزه با هیدروگراف واحد بدست آمده از مدل کلارک مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱۳)



شکل۴- منحنی S

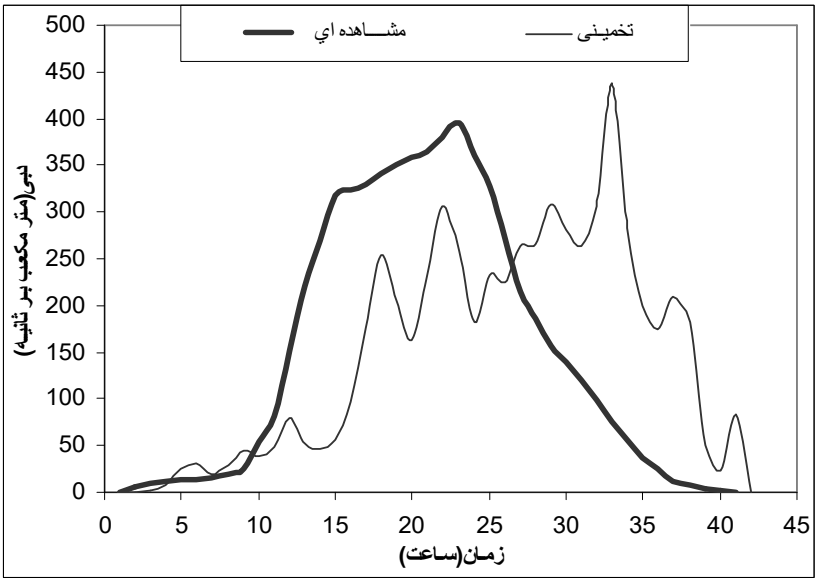


شکل ۵- هیدروگراف جریان و طرز جدا کردن دبی پایه

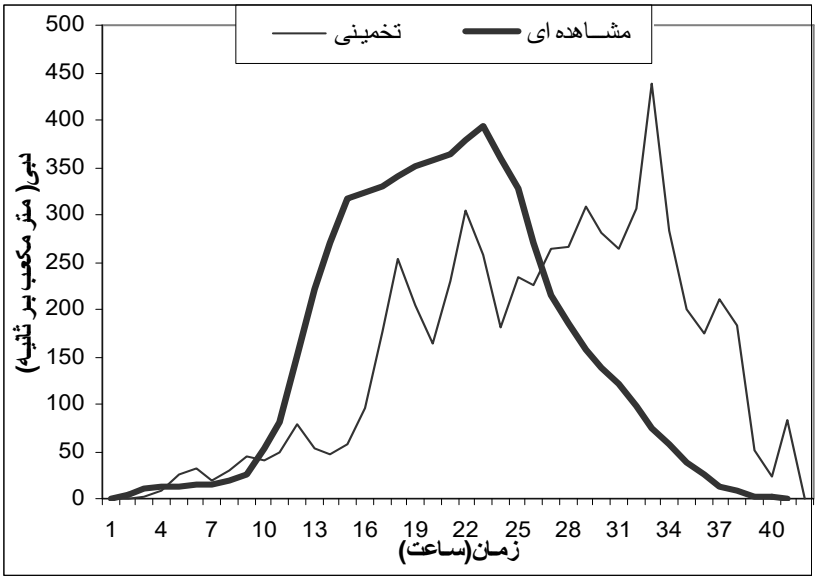


شکل۶- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۹۶/۱۲/۲۹)

شکل۷ - هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۹۷/۱۲/۲)

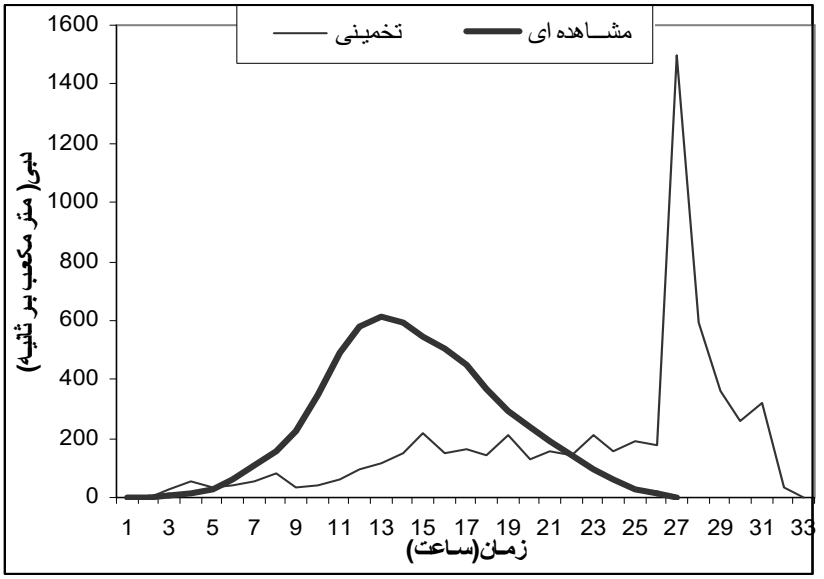


شکل ۸- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی(۹۹/۱/۲)

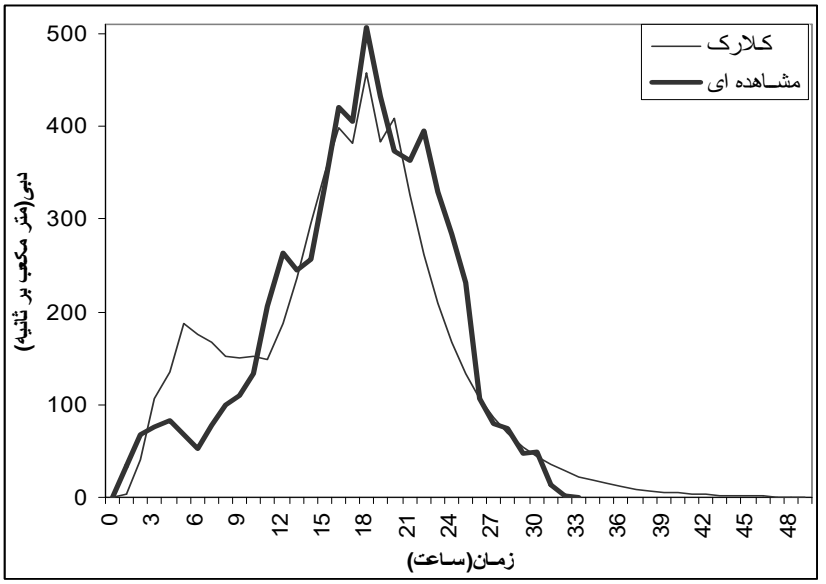


شکل ۹- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی(۹۹/۱/۱۹)

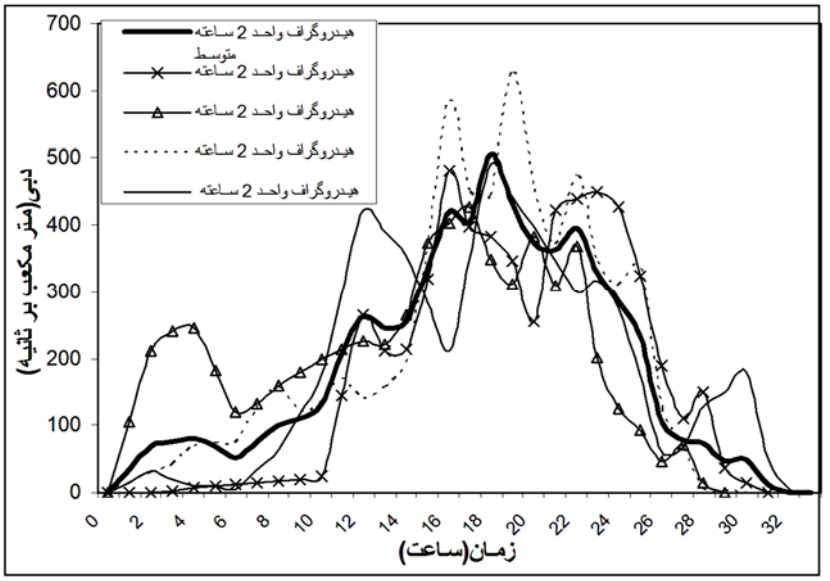
شکل ۱۰- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۹۷/۱۰/۲۸)



شکل ۱۱- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۹۶/۱۲/۲۹)



شکل ۱۲- هیدروگراف واحد متوسط حوزه



شکل ۱۳- مقایسه هیدروگراف واحد کلارک و هیدروگراف واحد متوسط حوزه

بحث و نتیجه‌گیری

با برای ارزیابی کارایی مدلهای زمان-سطح و کلارک از شاخصهای آماری شامل: خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا[۱] و میزان انحراف[۲] استفاده گردید. شاخصهای مذکور برای بررسی وقایع مرکب (هیدروگراف مرکب) و وقایع منفرد (هیدروگراف ساده) توسط[۳] (ASCE,1993 : p 13) توصیه گردیده است. مقادیر خطای نسبی برای پیک سیلاب، حجم سیلاب، زمان پایه هیدروگراف و زمان تا پیک هیدروگراف و همچنین مجذور میانگین مربعات خطا و میزان انحراف برای هر یک از مدلهای زمان-سطح و کلارک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدلها

شاخص آماری	مجذور میانگین مربعات خطا	درصد خطای نسبی				انحراف در پیک
		دبی پیک	زمان تا پیک	زمان پایه	حجم سیلاب	
روش زمان- سطح	۱۳۶/۹	۳۲/۸	۲۰/۷	۱۴,۵	۵۷	۱/۴
روش کلارک	۵۲/۸	۲۳/۳	۰	۴۸/۴۸	۱/۸	۱/۳

4 -Root Mean Square Error (RMSE)
4 - Bias 2
4 -American Society of Civil Engineering 3

نتایج نشان می‌دهد بر اساس شاخص مجذور میانگین مربعات خطا این دو مدل کارائی ندارند در حالی که بر اساس شاخص آماری خطای نسبی، میزان خطا در حجم سیلاب، پیک سیلاب و زمان تا پیک هیدروگراف پیش بینی شده در مدل کلارک بسیار کم و از نظر آماری قابل قبول می‌باشد. حداقل خطا در حجم سیلاب و زمان تا پیک دیده می‌شود همچنین میزان انحراف دبی پیک با توجه به پارامتر انحراف برابر با ۱/۳ می باشد که بسیار نزدیک به یک است ضمن اینکه در مقایسه انجام شده برای تک تک رگبارهای انتخابی به صورت متناظر شکل هیدروگراف تخمینی در این روش شباهت زیادی به هیدروگراف مشاهده‌ای دارد. جدول فوق نشان می دهد که میزان خطای نسبی در پیک سیلاب، زمان پایه و زمان تا پیک مدل زمان – سطح از نظر آماری قابل قبول است ولی دقت آن کم می باشد و این مدل ارزیابی خوبی در مورد حجم و پیک سیلاب ارائه نمی‌کند. حجم و پیک سیلاب در کارهای مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است لذا در مجموع می‌توان گفت که روش کلارک نسبت به روش زمان-سطح، نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد به نظر می رسد این نتیجه با یافته های تحقیقاتی سایر محققین نیز تطابق دارد و این مدل قادر به شبیه سازی هیدروگراف سیل در حوزه‌های فاقد آمار می‌باشد.

منابع

- دهقانی، م، ۱۳۸۲، "ارزیابی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک با استفاده از GIS"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- رحیمیان، ر، ۱۳۷۴، "بررسی مدلهای مختلف هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و کاربرد آنها جهت سنتز هیدروگراف در حوزه‌های آبریز فاقد آمار"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی آبشناسی، دانشکده علوم دانشگاه شیراز.
- روغنی، ع، ۱۳۷۶، " بررسی تاثیر مکانی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب با بکارگیری GIS و مدل روندیابی رواناب در حوزه آبخیز رودک"، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- عبدالهی، خ، ۱۳۸۱، "مدلسازی رواناب بر اساس ویژگیهای ژئومرفولوژیکی حوزه آبخیز خان میرزا با استفاده از GIS" پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- عرفانیان، م، ۱۳۷۷، "بررسی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتیکی در حوزه آبخیز جرین سمنان"، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه گرگان.
- علیزاده، ا، ۱۳۸۴، " هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، چاپ هیجدهم.

- غیاثی، ن، ۱۳۷۴، "واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی حوزه امامه"، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- قهرمان، ب، ۱۳۷۴، " طرح پژوهشی بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی"، گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- American Society of Civil Engineering, 1993,"Criteria for Evaluation of Watershed Models", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 199(3).
- Clark, C. O, 1945, "Storage and Unit Hydrograph", Journal of Trans ASCE, 110:1419-1446.
- Fong Lin, G. and Yu-Ming Wang, 1998,"General Stochastic Instantaneous Unit Hydrograph", Journal of Hydrology, 182(4):227-235.
- Jain, S. K., R. D, Singh, and S. M., Set, 2000, "Design Flood Estimation Using GIS Supported GIUH Approach", Journal of Water Resources Management, 14:369-376.
- Maidment, D. R, 1993," Development a Spatially Distributed Unit Hydrograph by Using GIS", Proceeding of Hydro GIS 93, Iahs Publication, No 212.
- Mccarthy, G. T, 1938, "The Unit Hydrograph Based on Flood Routing", Proceeding Conference of North Atlantic Div, Crops of Engineering Publication.
- Muzic, I, 1995, "Lumped Modelling and GIS in Flood Predictions", Kluwer Academic Publications.
- Nalbantis, I., M, Rodriguez and S, Obled, 1995, "Unit Hydrograph and Effective Precipitation Identification", Journal of Hydrology, 168: 127 – 157.
- Nash, J. E, 1957, "The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph", Journal of Iash, 72: 114-118.
- Raghunath, H.M, 1997, "Hydrology (Principle, Analysis, Design)", Wily Eastern Limited Publications.
- Ramírez, J. A, 2000, "Prediction and Modelling of Flood Hydrology and Hydraulics", Ellen Wohl Cambridge University Press.
- Raymond,I and P, Jeng, 2003, "True Form of Instantaneous Unit Hydrograph of Linear Reservoirs", Journal of Hydrology, 122(1):11-17.
- Saghafyan, B., P. Y, Julien and H, Rajaie, 2002, "Run off Hydrograph Simulation Based on Time Variable Isochrones Technique", Journal of Hydrology, 261: 193-203.
- Singh,Vp, 1988, "Hydrology System", Prentice Hall Publications.
- Singh,Vp, 1997, "Flood Routing Based on Diffusion Wave Equation Using Mixing Cell Method", Journal of Hydrological Processes, 11(14): 1881-1894.
- Snell, J. D and M, Sivapalan, 1994, "On Geomorphologic Dispersion in Natural Catchments and Geomorphologic Unit Hydrograph", Journal of Water Resources Research, 30(7): 2311-2323.
- Taylor, A. B, and H. E, Schwarz, 1952, "Unit Hydrograph Lag and Peak Flow Related to Basin Characteristics Trans", Journal of Geophysics, 33: 235-246.
- Viesman,V., L, Gary and Lewis, 1996, "Introduction to Hydrology". HarperCollins College Publications.

❖ **حکمرانی و مدیریت جامع حوزه آبخیز، اصلاح رژیم جریان آبی و سلامت آبخیز و آبخیزداری مردمی**

ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند

مرجان بهلکه[۱] و سیدحمیدرضا صادقی[۲*]

[۱] دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(Marjan.bahlekeh@modares.ac.ir)

[۲*] استاد (نویسنده مسئول) گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(Sadeghi@modares.ac.ir)

چکیده

امروزه مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیک از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت منابع خاک و آب است. به نحوی‌که مطالعه تغییرپذیری دبی رودخانه‌ها، اطلاعات مهمی برای درک درست از توان بازیابی در آبخیزها ارائه می‌دهد. حال آن‌که تاکنون بررسی تغییرات هدف‌مدارانه دبی در مقیاس‌های مختلف و به منظور ارزیابی توان بازیابی و به عبارتی زیستایی آبخیز مستند نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک آبخیز بر اساس دبی کم‌آبی (حد رهاسازی) و دبی نرمال (حد تاب‌آوری) در حوزه آبخیز شازند است. به این منظور در این پژوهش پس از گردآوری مقادیر دبی در مقاطع زمانی ۱۳۸۸، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷حوزه آبخیز شازند اقدام به تهیه منحنی تداوم جریان شد. با توجه به عدم تجهیز زیرحوزه‌های آبخیز به ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برای تعیین آستانه دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در مقیاس زیرحوزه‌های آبخیز مطالعاتی، از ضریب اصلاحی منتج از حاصل‌ضرب شماره منحنی و مساحت نسبی زیرآبخیزها استفاده شد. به این منظور ضریب رواناب با استفاده از ابزار ArcCN-Runoff محاسبه شد و تعمیم دبی به زیرآبخیزها صورت گرفت. در نهایت زیستایی هیدرولوژیک در مقیاس زیرآبخیزهای شازند با لحاظ حدود تاب‌آوری و رهاسازی تعیین شد. با توجه به بررسی دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در ۲۴ زیرآبخیز مطالعاتی، به‌طور میانگین وضعیت زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند از لحاظ دبی کم‌آبی در محدوده زیستایی هیدرولوژیک متوسط و از لحاظ دبی نرمال در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ غالباً در وضعیت پایین و بسیار پایین بوده است. لکن در سال ۱۳۹۷ روند مثبت قابل‌توجهی در زیستایی هیدرولوژیک مشاهده شده است به‌گونه‌ای که بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک از لحاظ دبی نرمال مربوط به زیرآبخیز ۲۲ در شمالی‌ترین بخش آبخیز به دلیل مدیریت صحیح انواع کاربری‌ها اتفاق افتاده است. سنجش معیارهای زیستایی هر آبخیز می‌تواند به‌عنوان نقطه شروع برای مشارکت گرودارن و کارشناسان در فرآیندهای برنامه ریزی و آمادگی در جهت مدیریت کارآمد آبخیزها محسوب شود.

واژه‌های کلیدی:
رژیم جریان، فرآیندهای هیدرولوژیک، محدوده تاب‌آوری، محدوده رهاسازی، مدیریت جامع آبخیز

مقدمه

حوزه‌های آبخیز کشور که جز مهمی از بوم‌سازگان به شمار می‌آیند و با توجه به تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی روزبه‌روز به سمت ناپایداری میل می‌کنند، چنان‌چه برخی از این تغییرات مذکور از آستانه حفاظتی حوزه‌های آبخیز عبور نماید، موجب کاهش سلامت و ارائه خدمات متوقع از آبخیز و درنهایت موجب افت کلی عملکرد حوزه آبخیز خواهد شد. از همین رو اطلاع از وضعیت حوزه آبخیز در پی تغییرات ایجادشده باهدف حفظ عملکرد خدمات و سلامت بوم‌سازگان‌های تأمین‌کننده نیازهای حیاتی موردنیاز انسان ضرورت می‌یابد (Jain و Bhunya، ۲۰۰۸). هم‌چنین آگاهی از وضعیت حوزه‌های آبخیز به دلیل برخورداری از عوامل بسیار پویای هیدرولوژیک از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار هستند. به هر تقدیر رژیم هیدرولوژیک رودخانه نیروی محرکه و عامل اصلی پویایی بوم‌سازگان رودخانه است. به‌نحوی‌که علی‌رغم مقدار بسیار ناچیز آب رودخانه‌ها در مقایسه با حجم آب‌کره زمین (۰/۰۰۱ درصد)، بسیاری از تغییرات ایجاد شده در سطح خشکی‌های کره زمین ناشی از عملکرد آب‌های جاری است (Zou و Liang، ۲۰۱۵). رودخانه‌ها یکی از منابع مهم تجدیدشونده و حیاتی برای استفاده در کشاورزی، شرب و صنعت به شمار می‌روند و برای مدیریت بهتر منابع آب مصرفی، اطلاع از روند دبی و عوامل ایجادکننده آن ضروری است (Gonzalez و همکاران، ۲۰۲۳). در همین راستا امـروزه مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیک از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت منابع خاک و آب است. تغییر زمانی جریان دبی ازنظر آب قابل استفاده و بهره‌برداری از آن دارای آثار اقتصادی بسیاری است و این تغییرپذیری در مقیاس‌های مختلف علت اصلی سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها به‌حساب می‌آید (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰). بدین ترتیب بررسی و مطالعه تغییرات جریان رودخانه برای تعیین روش‌های بهینه مدیریت منابع آب مهم است (Li و McGregor، ۲۰۱۶). بنابراین، ارزیابی صحیح و جامع وضعیت و پویایی آبخیزها در واکنش به تنش‌ها نیاز است (Qi و همکاران، ۲۰۱۶) زیرا با ارزیابی صحیح از وضعیت آبخیز، علاوه بر شناخت کامل از کارکرد سطوح مختلف آبخیز، تنش‌های موجود در حوزه‌های آبخیز شناسایی خواهند شد (Aslam و همکاران، ۲۰۲۰). در چنین حالتی می‌توان با تکیه‌بر منابع و ظرفیت‌ها و هم‌چنین یادگیری شیوه برخورد صحیح با تنش‌ها، موجب خودسامان‌دهی و بازیابی تعادل حوزه‌های آبخیز شد.

از آن‌جاکه مطالعاتی در زمینه ارزیابی تغییرات روند دبی از لحاظ هیدرولوژیک انجام شده است لکن پژوهشی در رابطه با ارزیابی زیستایی[1]با در نظر گرفتن حدود تاب‌آوری[2]و رهاسازی[3]در حوزه‌های آبخیز انجام نشده است و با توجه به چالش‌های اساسی در زمینه ناپایداری حوزه‌های آبخیز تدوین سطوح بالای تصمیم‌گیری در قالب روش‌شناسی جدید ازجمله ارزیابی رویکرد زیستایی ضرورت می‌یابد. به

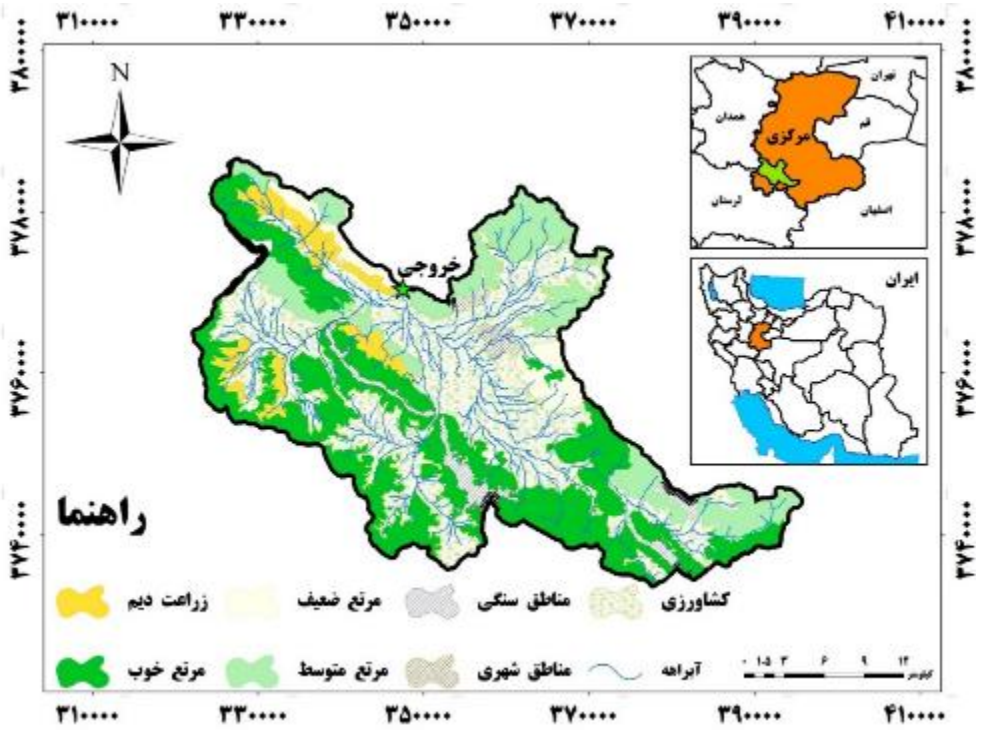
1 Viability
2 Resilience
3 Release

عبارت‌دیگر زیستایی به‌عنوان یک فرآیند پویا تلقی می‌شود و می‌تواند به سنجش اصول اولیه دارایی‌ها و ظرفیت‌ها کمک کند، بنابراین برای مقابله با فشارهای غیرمنتظره سنجش زیستایی آبخیز الزامی است. از آن‌جاکه برای دستیابی به آبخیز زیستا، وجود سطحی پذیرفته از زیستایی نیاز است به این‌منظور در ارزیابی زیستایی تحلیل حدود تاب‌آوری و رهاسازی سامانه آبخیز در برابر تغییرات مطرح می‌شود. تاب‌آوری به دلیل پویا بودن واکنش سامانه در برابر مخاطرات، نوعی آینده‌نگری است و موجب افزایش ظرفیت سازگاری و معیشت پایدار جامعه و عدم اختلال در عملکرد آن می‌شود (Manyena، ۲۰۱۲؛ قدیری و افتخاری، ۱۳۹۲) و چنانچه سامانه آبخیز ویژگی‌های محیط زیستا را داشته باشد، در برابر بحران‌های طبیعی و انسانی عملکرد خوبی را خواهد داشت و مسلماً به سمت آبخیز پایدار، در غیر این صورت زیستایی کاهش و به سمت رهاسازی پیش خواهد رفت. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک آبخیز براساس دبی کم‌آبی (حد رهاسازی) و دبی نرمال (حد تاب‌آوری) در حوزه آبخیز شازند است. نتایج این پژوهش نقش مهمی در بخش مدیریت بهتر منابع آب آبخیز، کشاورزی و پایداری آبخیز خواهد داشت. از آن‌جاکه تغییرات در شرایط هیدرولوژیک، توسعه اقتصادی-اجتماعی و حفاظت محیط‌زیست را به خطر می‌اندازد و بر زندگی انسان نیز تأثیر می‌گذارد. درک عملکرد و ویژگی‌های متغیرهای هیدرولوژیک بلندمدت برای توسعه اقتصادی-اجتماعی کشورهای درحال‌توسعه و مدیریت کارآمد امری حیاتی است.

برهمین اساس، آشکارسازی روند تغییرات شاخص‌های متعدد هیدرولوژیک از اولین گام‌های تحلیل تغییرات حوزه آبخیز در طول زمان است. اگرچه پژوهش‌های متعددی در زمینه بررسی روند تغییرات عوامل هیدرولوژیک در سطح دنیا و به‌ویژه در بعضی از کشورهای پیشرفته و یا دارای آمار طولانی‌مدت صورت گرفته است. در همین ارتباط، VanLoon و همکاران (۲۰۱۵) شدت خشک‌سالی هیدرولوژیک در ۴۴ حوزه کشور اتریش با سری‌های زمانی طولانی از داده‌های هواشناسی (۵۰ ساله) و ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبخیز با استفاده از روش سطح آستانه متغیر را بررسی کردند. هم‌چنین عسگری و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی را با هدف تعیین و تحلیل نقاط تغییر در داده‌های مربوط به دبی سالانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز گرگان‌رود در طول دوره آماری ۳۴ ساله انجام دادند. نتایج حاصل از تحلیل نقاط تغییر در دبی نشان داد که نقاط تغییر در داده‌های مورداستفاده در این مطالعه بیش‌تر از نوع کاهشی و در مواردی نیز افزایشی و در برخی از ایستگاه‌ها تغییری شناسایی نشده است. بنابراین تعداد تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه، به‌طور معنادار بیش‌تر از تغییرات افزایشی بوده است. بررسی پیشینه‌های پژوهشی در زمینه‌های مختلف مدیریت آبخیز و مطالعات هیدرولوژی نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش خاصی در ارتباط با ارزیابی زیستایی آبخیز بر اساس متغیرهای مهم هیدرولوژی انجام و یا مستند نشده است. بر همین اساس مطالعه نمونه حاضر برای ارزیابی زیستایی آبخیز شازند با استفاده از معیارهای مهم هیدرولوژی در مقیاس زیرآبخیز برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومترمربع، با مختصات جغرافیایی "۱۵ '۴ °۴۹ تا "۱۲ '۵۲ °۴۹ طول شرقی و "۴۲ '۴۴ °۳۳ تا "۱۳ '۱۲ °۳۴ عرض شمالی و به عنوانی یکی از زیرآبخیزهای دریاچه نمک انجام شد. رودخانه خروجی آبخیز با دبی متوسط ۳/۸۶ مترمکعب بر ثانیه، در پایین‌دست پس از ادغام با سرشاخه‌های اصلی رودخانه قره‌چای در استان همدان، درنهایت به سد الغدیر ساوه منتهی می‌شود (Davudirad و همکاران، ۲۰۱۶). مقدار متوسط بارندگی و دمای سالانه حوزه آبخیز شازند به ترتیب ۴۲۰ میلی‌متر و ۱۲ درجه سانتی‌گراد است (کیانی‌هرچگانی و همکاران، ۱۳۹۸). انواع کاربری اراضی و موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ نمایی از انواع کاربری اراضی و موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز شازند در کشور و استان مرکزی

برای ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند، ازمعیارهای دبی‌های کم‌آبی و نرمال استفاده شد. برای این منظور، ابتدا با توجه به مقادیر دبی روزانه مقطع‌های زمانی مطالعاتی (۱۳۸۸، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ و

۱۳۹۷) از ایستگاه‌های هواشناسی، منحنی تداوم جریان[1] به‌عنوان انعکاسی از پاسخ هیدرولوژیک آبخیز، تهیه شد. مقطع‌های زمانی موردنظر در پژوهش حاضر متناسب با موجودیت داده‌ها، شرایط توسعه‌ای آبخیز شازند انتخاب شده‌اند. برای رسم منحنی تداوم جریان، نخست دبی‌های روزانه به‌صورت نزولی مرتب شده و سپس احتمال وقوع آن‌ها از فرمول تجربی ویبول (مهدوی، ۱۳۸۰) به‌دست آمد. برای تخمین دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در خروجی هر یک از زیر آبخیزها، ابتدا داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل دوآب واقع در نقطه خروجی آبخیز شازند ارائه شده در شکل ۱ مربوط به چهار مقطع زمانی اشاره شده از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی دریافت و از منحنی تداوم جریان مقادیر دبی کم‌آبی (دبی که ۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا بیش‌تر از آن باشد) و دبی نرمال (مقدار جریانی که در ۱۸۲ روز از سال دبی مساوی و یا بیش‌تر از آن باشد) استخراج شدند (علیزاده، ۱۳۹۴؛ بیرانوند، ۱۴۰۲). بر همین اساس، آستانه‌های مربوط به دو معیار دبی کم‌آبی و دبی نرمال برای کل حوزه آبخیز به‌ترتیب ۰/۱ و ۰/۷۵مترمکعب بر ثانیه استخراج شد. سپس با توجه به عدم تجهیز زیرحوزه‌های آبخیز به ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برای تعیین آستانه دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال در مقیاس زیرآبخیزهای مطالعاتی، از ضرب ضریب اصلاحی (RC) محاسبه شده از رابطه (۱) در مقدار آستانه‌های تعیین‌شده برای تمام زیرآبخیزها استفاده شد.

$$C = \left[\prod_{i=1}^{2} \frac{A_i}{A_t} * \frac{R_{ci}}{R_{ct}}\right]^{1/2}$$ رابطه (۱)

که در آن، A_i، A_t، R_{ci} و R_{ct} به‌ترتیب بیان‌گر مساحت زیرآبخیز، مساحت کل، ضریب رواناب تهیه شده در واحد زیرآبخیز و ضریب رواناب کل هستند. برای محاسبه ضریب رواناب از ابزار ArcCN-Runoff استفاده شد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). این لایه با اجرای عملیات تلفیق (Intersect) دو لایه کاربری اراضی با گروه هیدرولوژیک خاک در محیط نرم‌افزاری GIS ایجاد شد. از دیگر ورودی‌های این ابزار جدول شاخص (Index) است که در این جدول مقدار شماره منحنی (CN) برای هریک از گروه‌های هیدرولوژیک خاک با توجه به نوع کاربری اراضی براساس جداول مربوطه (وفاخواه و مقدم‌نیا، ۱۳۹۸) استخراج شد.

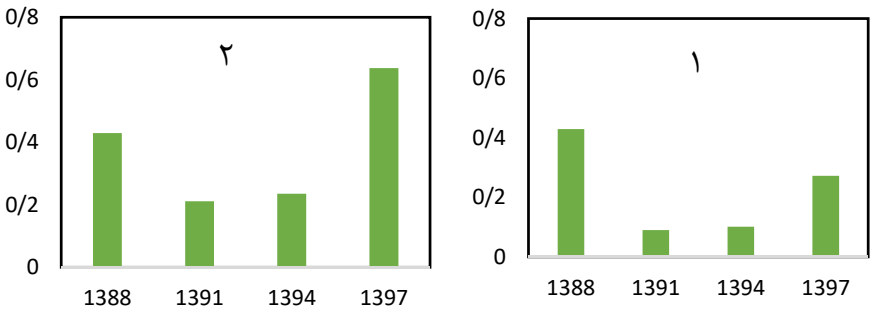
سپس زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند با توجه به حدود تاب‌آوری (دبی نرمال) و رهاسازی (دبی کم‌آبی) تعیین شد. از سوی دیگر محدوده زیستایی هیدرولوژیک آبخیز با توجه به مقادیر مذکور از تفاضل حدود تاب‌آوری و رهاسازی تعیین شد. بدیهی است هر چه فاصله بین حدود تاب‌آوری و رهاسازی حوزه آبخیز بیش‌تر باشد توانایی مدیر برای شناسایی دامنه‌ای از مناسب‌ترین اقدامات برای بهبود وضعیت

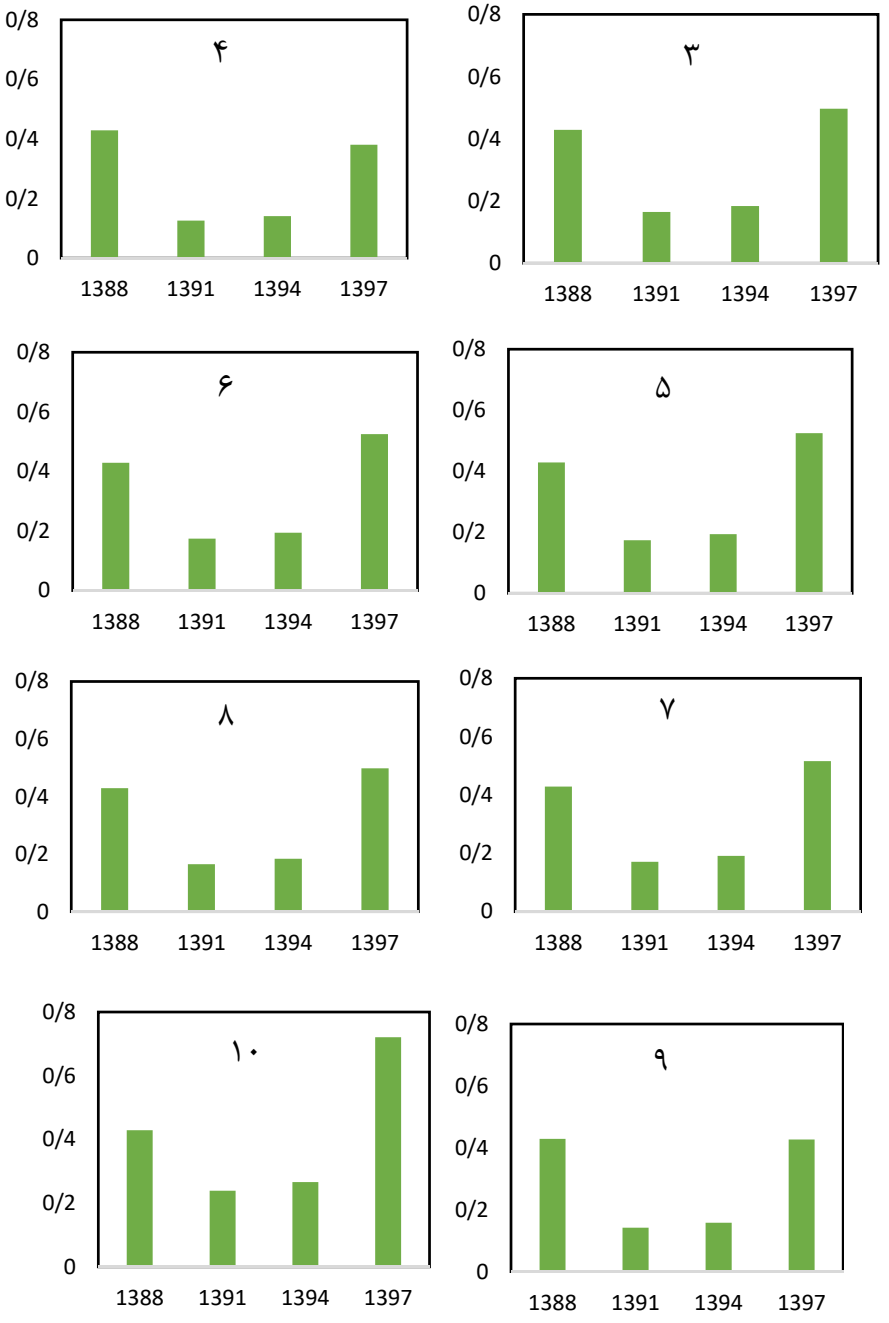
1 Flow Duration Curve (FDC)

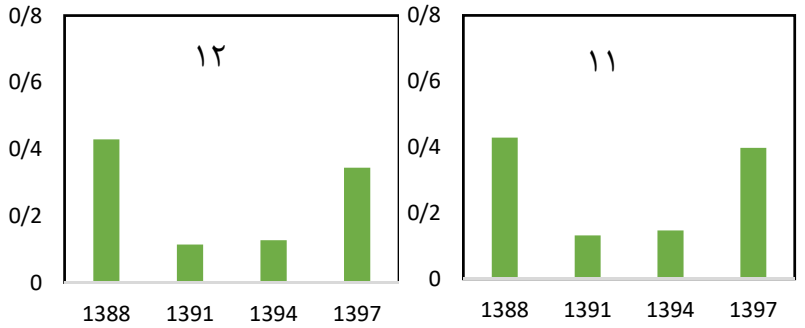
حوزه آبخیز از لحاظ ابعاد موردبررسی افزایش خواهد یافت. هم‌چنین طبقه‌بندی زیستایی نیز به‌صورت زیستایی بسیار بالا (>۰/۸۰)، بالا (۰/۷۰ تا ۰/۸۰)، متوسط (۰/۵۵ تا ۰/۷۰)، پایین (۰/۴۰ تا ۰/۵۵) و بسیار پایین (<۰/۴۰) انجام گرفت.

نتایج و بحث

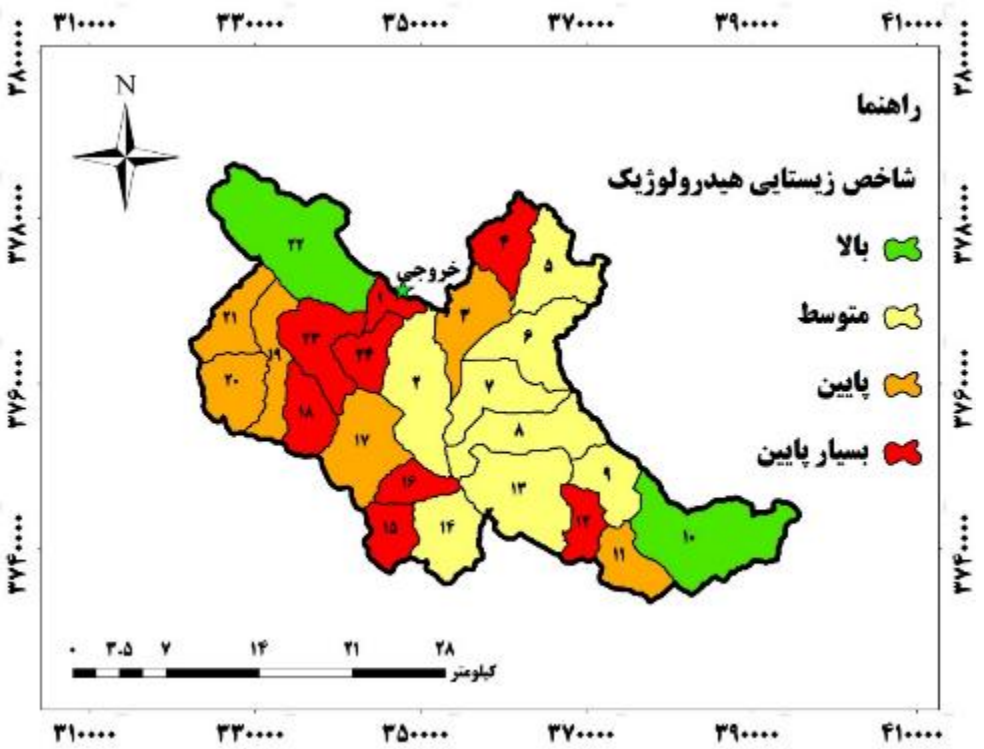
نتایج حاصل از مدل‌سازی و پهنه‌بندی زیستایی هیدرولوژیک آبخیز شازند در چهار دوره زمانی ۱۳۸۸، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ در شکل‌های ۲ و ۳ برای معیار دبی کم‌آبی برای نمونه زیرآبخیزهای ۱ تا ۱۲ شازند ارائه شده است. زیستایی هیدرولوژیک آبخیز شازند براساس دبی کم‌آبی از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ متغیر بوده است، لکن به‌طورکلی روند کاهشی و سپس افزایشی را می‌توان مشاهده کرد. در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴غالب زیرآبخیزها از وضعیت زیستایی هیدرولوژیک پایین و بسیار پایینی برخوردار بوده‌اند. در سال ۱۳۹۷ تغییرپذیری به سمت مثبت بوده و در برخی از زیرآبخیزها به سمت زیستایی هیدرولوژیک متوسط و بالا بهبود یافته است. بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک براساس دبی کم‌آبی برای سال ۱۳۹۷ در زیرآبخیز ۲۲ است. در زیرآبخیزهای ۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۷ و ۲۲، بهبود شاخص زیستایی قابل‌مشاهده است که دلیل این امر می‌تواند تغذیه آب‌های زیرزمینی در طی سیلاب باشد که با نقشه‌های و داده‌های موجود در این زمینه و محل احداث سامانه‌های پخش سیلاب در این زیرحوزها مطابقت دارد. با توجه به بررسی کلیه نمودارهای زیرآبخیزهای ۲۴گانه، به‌طور میانگین وضعیت زیستایی هیدرولوژیک حوزه آبخیز شازند از لحاظ دبی کم‌آبی در محدوده زیستایی متوسط است که برای نمونه ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک مقطع زمانی ۱۳۹۷ در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳ قسمت‌های خروجی آبخیز در وضعیت زیستایی هیدرولوژیک بسیار پایین است و قسمت‌های مرکزی و غربی حوزه با توجه به موقعیت مکانی مراکز صنعتی و شهری در وضعیت متوسط زیستایی قرار دارد. زیرآبخیزهای ۱۰ و ۲۲ بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک از لحاظ دبی کم‌آبی را به خود اختصاص داده است.




۴
۳
۶
۵
۸
۷
۱۰
۹
0/8
0/6
0/4
0/2
0
1388
1391
1394
1397

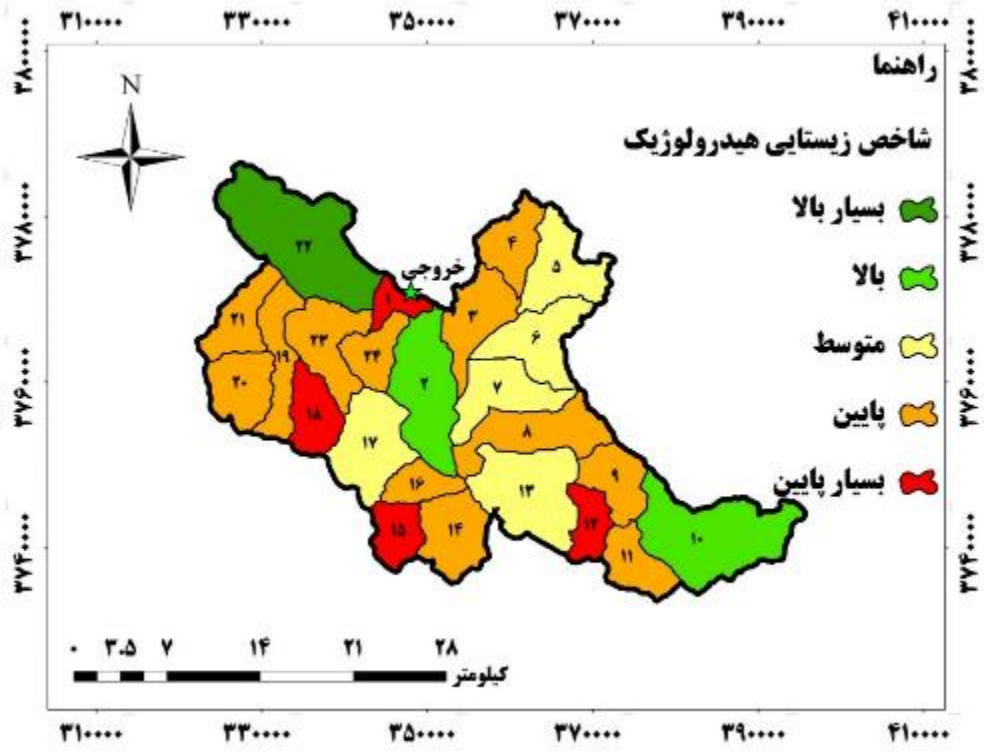


شکل ۲ تغییرات شاخص ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک مبتنی بر دبی کم‌آبی زیرآبخیزهای ۱ تا ۱۲ شازند، استان مرکزی



شکل ۳ پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرولوژیک براساس دبی کم‌آبی برای سال ۱۳۹۷حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

با توجه به ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک براساس دبی نرمال در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ غالب زیرآبخیزها در وضعیت پایین و بسیار پایین بوده و کمترین زیستایی هیدرولوژیک در زیرآبخیزهای ۱، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ قابل‌مشاهده است. لکن با توجه به ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک در سال‌های موردبررسی، روند افزایشی مثبت در زیرآبخیزها وجود داشته است به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۷ تغییرپذیری مثبت قابل‌توجه به‌خصوص در زیرآبخیزهای ۲، ۱۰ و ۲۲ وجود داشته است و زیرآبخیز ۲۲ با مقدار ۰/۸۴۲ در سال ۱۳۹۷ بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک را به خود اختصاص داده است. زیستایی هیدرولوژیک براساس دبی نرمال زیرآبخیز ۲ در وضعیت بالا قرار دارد. استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب‌های ناشی از بارش در این زیرحوزه، وضعیت نسبی بهتری را فراهم ساخته است. ازآن‌جاکه زیستایی از تفاضل بین حدود تاب‌آوری (دبی نرمال) و رهاسازی (دبی کم‌آبی) محاسبه می‌شود، بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک از لحاظ دبی نرمال مربوط به زیرآبخیز ۲۲ در شمالی‌ترین بخش آبخیز به دلیل مدیریت صحیح انواع کاربری‌ها ازجمله مرتع خوب، مرتع متوسط و زراعت دیم اتفاق افتاده است.



شکل۴ پهنه‌بندی شاخص زیستایی هیدرولوژیک براساس دبی نرمال برای سال ۱۳۹۷ حوزه آبخیز شازند، استان مرکزی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به بررسی دبی‌های کم‌آبی و دبی نرمال به عنوان متغیر مناسب هیدرولوژیک در حوزه آبخیز شازند، این حوزه به‌طور میانگین از لحاظ دبی کم‌آبی در محدوده زیستایی هیدرولوژیک متوسط و از لحاظ دبی نرمال در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ غالباً در وضعیت پایین و بسیار پایین بوده است. لکن در سال ۱۳۹۷ روند مثبت قابل‌توجهی در زیستایی هیدرولوژیک مشاهده شده است به‌گونه‌ای که بیش‌ترین زیستایی هیدرولوژیک از لحاظ دبی نرمال مربوط به زیرآبخیز ۲۲ در شمالی‌ترین بخش آبخیز به دلیل مدیریت صحیح انواع کاربری‌ها اتفاق افتاده است. قابل ذکر است در این پژوهش به ارزیابی زیستایی هیدرولوژیک آبخیز براساس دبی‌های کم‌آبی و نرمال به عنوان متغیر مناسب هیدرولوژیک پرداخته شده است و طبیعتاً با توجه به پیچیدگی و پویایی آبخیزها نیازمند بررسی متغیرهای مختلف تاثیرگذار بر زیستایی آن‌ها به عنوان رویکردی جدید در مدیریت جامع آبخیزها مورد تاکید است. در همین ارتباط سنجش زیستایی آبخیز به‌نوبه خود، این امکان را فراهم می‌آورد که به چالش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز به شیوهای مؤثر پرداخته شود. بنابراین می‌توان از طریق ایجاد چارچوب‌های سازنده و کمّی برای سنجش سایر ابعاد زیستایی، این اطمینان حاصل شود که رویکرد زیستایی به یک راهبرد قابل‌اجرا در مدیریت آبخیزهاست و بدین‌وسیله میزان درک و شناخت کارشناسان، مدیران و نیز سیاست‌گذاران در حوزه برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز در سطح مناسب را ارتقا داد. بنابراین ارائه یک برنامه اقدام با رویکرد آینده‌پژوهی ازجمله سنجش زیستایی در تمامی ابعاد بوم‌شناختی، اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی آبخیزها ضروری است تا شرایط عملکرد مطلوب مدیران اجرایی ایجاد شود. رهیافت نهایی رویکرد ارائه شده، توسعه محیط‌زیست محور است که یک اصل مهم در ارزیابی توان بازیابی سلامت و پایداری آبخیزها محسوب می‌شود.

منابع

- بیرانوند، ن.، سپه وند، ع.ر. و حقی زاده، ع. ۱۴۰۲. مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کشکان). مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک، ۳(۲): ۵۰-۶۵.
- حسین‌زاده، م.م.، نصرتی، ک. و ایمنی، س. ۱۳۹۷. تعیین شماره منحنی و برآورد پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۵۱(۱۷): ۱۳۳-۱۵۰.
- عسگری، ا.، مصطفی‌زاده ر. و حاجی، خ. ۱۳۹۸. تحلیل نقاط تغییر در سری زمانی دبی برخی ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان. فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱(۵): ۸۱-۹۳.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا، ۹۴۲ص.

- قدیری، م. و رکن‌الدین‌افتخاری، ع.ر. ۱۳۹۲. رابطه ساخت اجتماعی شهرها و میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله (مطالعه موردی: محلات کلان‌شهر تهران). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۴(۵۰): ۱۷۴-۱۵۳.
- کیانی‌هرچگانی، م.، صادقی، س.ح.ر. و فلاحتکار، س. ۱۳۹۸. تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوزه آبخیز شازند. اکوهیدرولوژی، ۶(۱): ۱۵۳-۱۶۳.
- مهدوی، م. ۱۳۸۰. هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه تهران، ۳۴۲ ص.
- وفاخواه، م. و مقدم‌نیا، ع.ر. ۱۳۹۸. کنترل سیلاب. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۴۱۱.
- یوسفی، ی.، رورده، ه. و رضوی، س.م. ۱۳۹۰. تغییرپذیری زمانی و مکانی جریان رودهای استان مازندران. جغرافیا و آمایش سرزمین، ۱(۲): ۱-۱۴.
- Aslam Saja, A.M., Lafir Sahid, M.S. and Sutharshanan, M. 2020. Implementing Sendai Framework priorities through risk-sensitive development planning-A case study from Sri Lanka. Progress in Disaster Science, 5 (100051): 1-20.
- Davudirad, A.A., Sadeghi, S.H.R. and Sadoddin, A. 2016. The impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed. Iran. Land Degradation and Development, 27(4): 1236–1244.
- Gonzalez, J.M., Tomlinson, J.E., Martínez Ceseña, E.A., Basheer, M., Obuobie, E., Padi, P.T., Addo, S., Baisie, R., Etichia, M., Hurford, A. and Bottacin-Busolin, A., 2023. Designing diversified renewable energy systems to balance multisector performance. Nature Sustainability.
- Jain, S.K. and Bhunya, P.K. 2008. Reliability, Resilience and vulnerability of a multipurpose storage reservoir. Hydrological Sciences Journal, 53 (2): 434-447.
- Li, N. and McGregor, G.R. 2016. Linking Interannual river flow river variability across New Zealand to the Southern Annular Mode 1979- 2011. Hydrological Processes, 1-16.
- Manyena, S.B. 2012. The concept of resilience revisited. Disasters 2006, Resilience: A bridging concept or a dead end? Plan Theory Pract, 2(13): 299–307.
- Qi, M., Feng, M., Sun, T. and Yang, W. 2016. Resilience changes in watershed systems: A new perspective to quantify long-term hydrological shifts under perturbations. Journal of Hydrology, 539: 281-289.
- Van Loon, A.F. and Laaha, G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526: 3-14.
- Zou, Q. and Liang, S.H. 2015. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368, 2015): 1-6.

ارزیابی موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخیزداری در حوضه خوجین در جنوب استان اردبیل

رضا طلائی*[۱]، امین صالح‌پور جم [۲] و بایرامعلی بیرامی [۳]

۱*- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران، *rztala1969@gmail.com* ۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ۳- کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

چکیده

مشارکت مردم در پروژه‌های توسعه حوضه‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرایی، می‌تواند سبب موفقیت و اجرای موثرتر پروژه‌های اجرایی شود. عوامل متعددی می‌توانند باعث عدم مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری گردند، که هدف از پژوهش حاضر شناسایی، طبقه‌بندی و نیز اولویت‌بندی این عوامل در حوضه خوجین خلخال از دیدگاه آبخیزنشینان و کارشناسان است. بدین‌منظور ابتدا این عوامل بر اساس مرور منابع، پرسش از کارشناسان و نیز مراجعه به منطقه و مصاحبه حضوری با ساکنان و بهره‌برداران مشخص و طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد، پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی و لیکرت به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری تهیه و روایی پرسش‌نامه‌ها مبتنی بر نظرات خبرگان تایید شد. در نهایت پس از تعیین حجم نمونه توسط فرمول کوکران و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، با به کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مدل فازی و نیز آزمون فریدمن، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری حوضه خوجین خلخال در استان اردبیل اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد که از منظر خبرگان، شاخص‌های اقتصادی، حقوقی- قانونی و آموزشی ترویجی نقش بیشتری را در عدم مشارکت مردم نسبت به شاخص‌های اجتماعی و طراحی - اجرائی دارند. از دیدگاه مردم، در حوضه خوجین خلخال شاخص‌های طراحی - اجرا و اجتماعی در اولویت اول و دوم هستند. نتایج رتبه‌بندی زیرشاخص‌ها نشان می‌دهد که ارزش و اهمیت آن‌ها از منظر گروه‌های کارشناسان و جوامع محلی متفاوت و قابل تامل است. بطوریکه از منظر کارشناسان، زیرشاخص‌های "نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم(X1)" و "عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه (X13)" به ترتیب بیشینه و کمینه اهمیت را دارند. از منظر جوامع محلی زیرشاخص "مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری(X17)" دارای بیش‌ترین میزان اهمیت در عدم مشارکت مردم می‌باشد. همچنین دو زیرشاخص "مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری(X17)" و "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه (X14)" از منظر هر دو گروه در

شش اولویت نخست قرار گرفته‌اند. "عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها (X12)"، "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی (X15)"، "تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز (X9)" و "عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه ریزی‌های آبخیزداری(X8)" از منظر جوامع محلی در شش اولویت نخست قرار گرفته و از اهمیت نسبی بیشتری در عدم مشارکت جوامع روستایی برخوردارند. نظر دو گروه در خصوص عوامل "پائین بودن سطح سواد و آگاهی(X4)"، "عدم احساس تملک در اراضی ملی (X7)"، "عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثر بخشی پروژه‌ها (X6)"، "دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری (X2)" و "نقص در قوانین بهره بهرداری از منابع طبیعی توسط اشخاص حقیقی(X16)" متفاوت است. نتایج کلی به دست آمده از نظرسنجی از جوامع محلی نشان می‌دهد که تمرکززدایی قدرت تصمیم‌گیری، افزایش فعالیت سمن‌ها و آموزش بهره‌برداران و تغییر قوانین بهره برداری از منابع طبیعی و ضوابط تخصیص حق‌آبه می‌تواند زمینه‌ساز اعتماد و جلب مشارکت فعال مردم در پروژه‌های آبخیزداری حوضه گردد.

واژه‌های کلیدی:
آزمون‌های ناپارامتریک، تحلیل سلسله مراتبی فازی، رتبه‌بندی، مشارکت، استان اردبیل

مقدمه

طی چند دهه اخیر رشد سریع جمعیت بخصوص در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران باعث افزایش فشار بر اراضی زراعی و مرتعی، جهت تأمین مواد غذائی شده است. به عبارتی نیاز امروزی کشور، فشار بر انواع منابع طبیعی تجدید شونده و فناپذیر را به حدی زیاد نموده است که از دامنه بردباری آن تجاوز کرده و زمینه‌های سیر قهقرایی آن را بوجود آورده است. در سال‌های اخیر پدیده فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن مانعی اساسی در برابر توسعه کشور شده است. افت کمّی و کیفی محصولات کشاورزی، تخریب مراتع، کاهش تولید اراضی جنگلی، نابودی تالاب‌ها، ناپایداری دامنه‌ها، سیل‌های مخرب، افت منابع آب زیرزمینی، آسیب‌های جبران‌ناپذیر زیست محیطی و در نهایت فقر اقتصادی و عدم ثبات اجتماعی از آثار فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز است.

امروزه برکارشناسان امر مشخص شده است که خروج از بحران کنونی منابع طبیعی در کشورهایی که با مشکلات اقتصادی و اجتماعی روبرو هستند، بدون درنظر گرفتن جایگاه انسان به عنوان عامل اصلی تخریب در مناطق تحت فعالیت وی امکان‌پذیر نخواهد بود. تجربه کشورهای متعدد حاکی از آن است که فعالیت‌ها و اقدامات دولت‌ها به تنهایی کارآئی لازم را ندارد و تدوین برنامه‌ریزی راهبردی که بتواند اساسی‌ترین و عام‌ترین نیازها را مبنا قرار دهد، و به عبارتی فراگیر و سیستمی و دموکراتیک باشد، مورد نیاز است (Clayton، ۲۰۰۵). نتایج یافته‌های Catacutanb و Duqueb (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که برای موفقیت طرح‌های آبخیزداری، چهار شرط سرمایه‌گذاری و تامین مالی، توسعه ظرفیت فنی و

مدیریتی، وجود فرهنگ سیاسی مناسب و اعمال قوانین ملی روشن، ضروری است. Johnson و همکاران (۲۰۰۲)، مشارکت مردمی را لازمه فرآیند مدیریت آبخیز می‌دانند. مشارکت جامعه سبب کاهش هزینه‌ها درجمع‌آوری اطلاعات، تعیین راهکارها، توافق، تدوین قوانین، هماهنگی اعضای جامعه، نظارت و اعمال بهتر قوانین می‌گردد (Singleton و همکاران، ۱۹۹۲). تا کنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با بررسی عوامل مؤثر در مشارکت مردمی صورت گرفته است.

تا کنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با بررسی عوامل مؤثر در مشارکت مردمی صورت گرفته است. قربانی و همکاران (۱۳۹۴) اقدام به بررسی تاثیر ویژگی‌های اجتماعی بهره‌برداران بر مشارکت آن‌ها در تعاونی‌های آبخیزداری در حوضه سقزچی چای استان اردبیل نمودند. نتایج نشان داد که جوانان تحصیل‌کرده باور مناسبی نسبت به موفقیّت تعاونی‌های آبخیزداری ندارند و بیشتر تمایل به مهاجرت و کمتر دلبستگی به ماندن در روستا و انجام فعالیت‌های مختلف در قالب تعاونی‌ها را از خود نشان داده‌اند. طائی سمیرمی و احمدی (۱۳۹۵) در تحقیقی با عنوان نگرشی بر مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مشارکت و عدم مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های آبخیزداری نشان دادند مبهم بودن اهداف طرح، لحاظ نکردن نظرات مشورتی روستائیان و تصورات غلط آنان مبنی بر کاهش کمیت منابع آبی در اثر احداث طرح‌های آبخیزداری، از جمله دلایل عمده عدم مشارکت مردم در طرح‌ها و پروژه‌ها می‌باشد. مولان‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی خود با عنوان عوامل موثر بر ترغیب کشاورزان به مشارکت در برنامه‌های مدیریت آب و آبخیزداری در شهرستان میاندوآب نشان داد از بین عوامل تاثیر گذار بر مشارکت بهره‌برداران در مدیریت آب و آبخیزداری متغیرهای اشتغال‌زایی و ایجاد پروژه‌های درآمدزا در بخش‌هایی غیرکشاورزی در اطراف حوضه، پرداخت غرامت به کسانی که در نتیجه اجرای طرح‌های آبخیزداری ضرر دیده‌اند و همچنین فراهم کردن امکانات زیربنایی (احداث جاده و...) به ترتیب تاثیر را در ترغیب کشاورزان به مشارکت در مدیریت آب و آبخیزداری داشتند. نتایج بررسی‌های باقریان و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که میزان مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری متوسط بوده و در سه بعد اجتماعی ۳۷ درصد، بعد میدانی ۱۶ درصد و بعد اقتصادی ۸ درصد بوده است. براساس نتایج حاصل از تحقیق ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه قره‌شیران در جنوب شهر اردبیل میزان آگاهی پائین مردم از طرح‌های آبخیزداری و عدم اطلاع‌رسانی مناسب به منظور آگاه‌سازی آن‌ها یکی از موانع اصلی عدم مشارکت روستائیان در طرح‌های آبخیزداری است. صالح پور جم و همکاران (۱۳۹۶) عوامل موثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری را به ترتیب به شاخص اقتصادی، برنامه‌ریزی، اجتماعی و در نهایت انسانی مربوط دانسته‌اند.

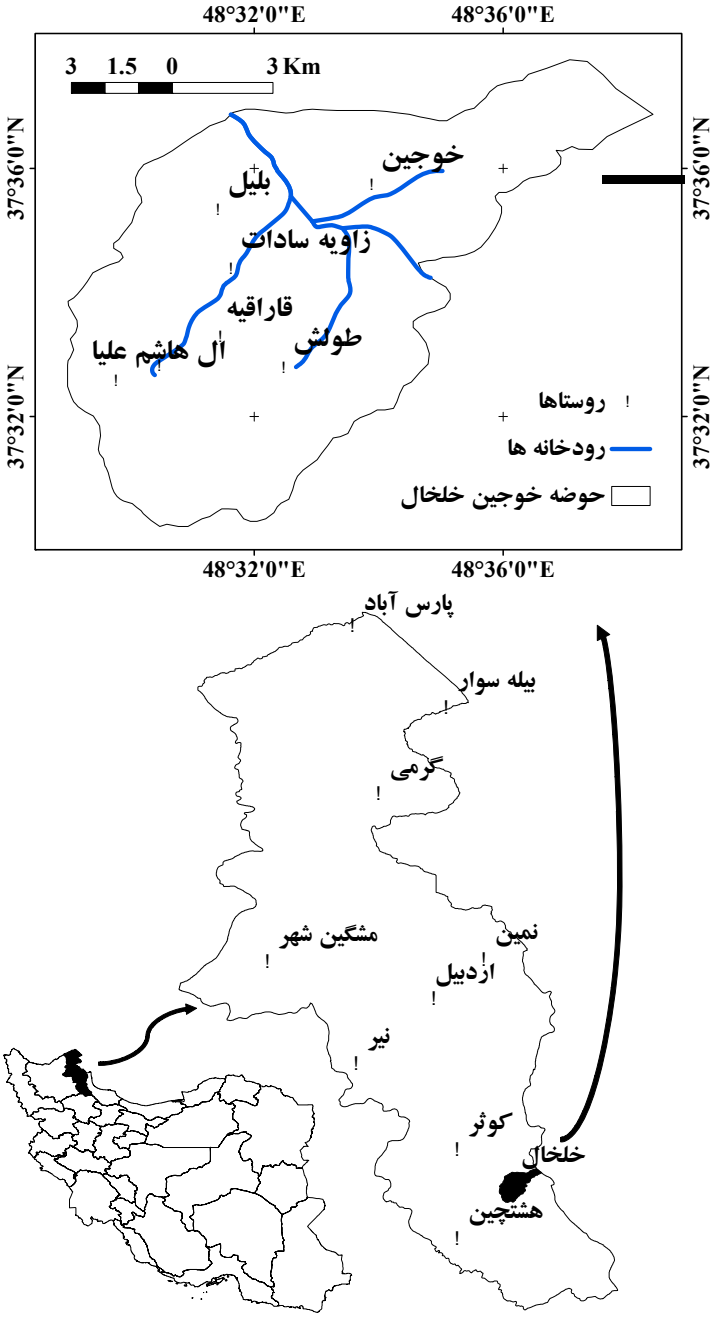
Duram و Brown (۲۰۱۰) اقدام به بررسی مشارکت عمومی در طرح‌های آبخیزداری به انجام رسیده در ۶۴ حوضه در آمریکا، نمودند. نتایج نشان داد که افزایش آگاهی از شرایط آبخیز، ارتقاء همکاری‌های میان سازمانی، اجماع در طرح‌های مدیریتی منابع و صحت و هدف‌مندی طرح‌های نهایی نقش مهمی را

در این مقوله داراست. Bohnet و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی عوامل موثر بر برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی از دیدگاه اجتماعی و اقتصادی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عوامل اجتماعی مثل آگاهی، علاقه و عوامل اقتصادی مثل حمایت مالی از طرح‌ها از عوامل تاثیرگذار بر روی مشارکت در طرح‌ها می‌باشند. پژوهش‌های Bagdi و Kurothe (۲۰۱۴) در حوضه ویداربها هند، نشان داد که درصد مشارکت در مراحل طراحی، اجرا و نگهداری به ترتیب برابر با ۶۳/۷، ۵۷/۷ و ۷۵/۱ درصد بوده که بیانگر سطح مشارکت متوسط در مراحل طراحی- اجرا و سطح مشارکت بالا برای مرحله مراقبت و نگهداری می‌باشد. بررسی نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص مشارکت ذینفعان در فعالیت‌های آبخیزداری در ایران انجام شده است. نتایج به دست آمده از اکثر قریب به اتفاق تحقیقات گذشته نشان می‌دهد میزان مشارکت ذینفعان ضعیف بوده است و علل آن نیز متفاوت می باشد. بنابراین، با توجه به تاثیر گذاری عوامل و شرایط متفاوت منطقه‌ای و فرهنگی هر جامعه، بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت ذینفعان در پروژه‌های آبخیزداری در هر حوضه ضروری است. لذا در این تحقیق سعی شده است که مهم‌ترین عوامل موثر بر عدم مشارکت مردمی اعم از اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و آموزشی و ترویجی از دیدگاه دو گروه متخصصین و ذینفعان در یک حوضه بنام خوجین خلخال در جنوب استان اردبیل شناسایی و مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی حوضه

حوضه خوجین خلخال در جنوب شهرستان خلخال و استان اردبیل و بین مختصات جغرافیایی ″۵ ′ ۳۰ °۳۷ تا ″۸ ′ ۳۷ °۳۷ عرض شمالی و ″ ۴۷ ′۲۸ °۴۸ تا ″۲ ′۳۷ °۴۸ طول شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه حدود۹۵۵۱ هکتار است (شکل۱). شرایط آب و هوایی این حوضه کوهستانی و نیمه خشک است و در ۶۰ درصد از مساحت حوضه طرح‌های آبخیزداری در قالب طرح‌های مکانیکی (گابیون بندهای ملاتی) و بیولوژیکی(نهال کاری و بعضاً بذرپاشی) انجام گرفته است.



شکل ۱- موقعیت حوضه خوجین خلخال در استان اردبیل

روش تحقیق

شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی

در این تحقیق عوامل مؤثر بر عدم مشـــارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری بر اســـاس مطالعات کتابخانه‌ای، و میدانی که شامل، پر سش از کار شنا سان و نیز مراجعه به منطقه و م صاحبه ح ضوری با ساکنان و بهره برداران منطقه شناسایی، و سپس در قالب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها طبقه‌بندی شدند.

اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیر شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی از دیدگاه کارشناسان

به‌منظور اولویت‌بندی شـــاخص‌ها و زیرشـــاخص‌های موثر بر عدم مشـــارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری به ترتیب از پرسش‌نامه‌های مرتبط با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مبتنی بر مقایسات زوجی معیارها) و پرســـش‌نامه با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوســـط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری اســـتفاده شـــد. پس از مشـــخص نمودن زیرشـــاخص‌های موثر بر عدم م شارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری و طبقه‌بندی در قالب شاخص‌های مربوطه، روایی پر سش‌نامه مبتنی بر نظرات خبرگان به تایید نهایی ر سید. برای اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مربوط به هر شاخص مطابق با مراحل زیر اقدام شد:

الف) در نخستین مرحله، به‌منظور مشخص نمودن اوزان شاخص‌ها از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FUZZY AHP) به قرار مراحل زیر استفاده شد:

۱. تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسات زوجی. درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی مبتنی بر روش ساعتی (۱۹۸۰) و با درنظرگرفتن اعداد فازی مثلثی در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی نظیر (Saaty، ۱۹۸۰)

متغیر زبانی	عدد فازی	مقیاس فازی مثلثی	مقیاس معکوس فازی
ترجیح یکسان	$\tilde{1}$	(۱و۱و۱)	(۱/۰۰و۱/۰۰و۱/۰۰)
حد فاصل ترجیح یکسان و کمی مرجح	$\tilde{2}$	(۳و۲و۱)	(۱/۰۰و۰/۵۰و۰/۳۳)
کمی مرجح	$\tilde{3}$	(۴و۳و۲)	(۰/۵۰و۰/۳۳و۰/۲۵)
حد فاصل کمی مرجح و ترجیح قوی	$\tilde{4}$	(۵و۴و۳)	(۰/۳۳و۰/۲۵و۰/۲۰)
ترجیح قوی	$\tilde{5}$	(۶و۵و۴)	(۰/۲۵و۰/۲۰و۰/۱۷)
حد فاصل ترجیح قوی و ترجیح خیلی قوی	$\tilde{6}$	(۷و۶و۵)	(۰/۲۰و۰/۱۷و۰/۱۴)
ترجیح خیلی قوی	$\tilde{7}$	(۸و۷و۶)	(۰/۱۷و۰/۱۴و۰/۱۳)
حد فاصل ترجیح خیلی قوی و کاملاً مرجح	$\tilde{8}$	(۹و۸و۷)	(۰/۱۴و۰/۱۳و۰/۱۱)
کاملاً مرجح	$\tilde{9}$	(۱۰و۹و۸)	(۰/۱۳و۰/۱۱و۰/۱۰)

۲. ایجاد ماتریس مقایسات زوجی مبتنی بر اعداد فازی. مقایسات میان معیارها با استفاده از مقیاس اندازه‌گیری ارایه شـده به‌وسـیله Saaty (۱۹۸۰) و اعداد فازی مثلثی نظیر صـورت گرفت، به‌طوری‌که متغیرهای زبانی و مقیاس فازی مربوطه بسته به اهمیت نسبی معیارها به کارگرفته شد.

۳. محاسبه نسبت سازگاری[۲](CR): در این مرحله نسبت سازگاری قضاوت‌ها و نیز ماتریس ترکیبی تصمیم با هدف بررسی امکان رتبه‌بندی فازی ترکیبی گزینه‌ها محاسبه می‌گردد (رابطه ۱).

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۱)$$

که در آن:RI، نمایه نا سازگاری ت صادفی ا ست که از جدول ۲ به‌د ست آمده و CI، نمایه سازگاری است که از رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (۲)$$

که در آن: N، تعداد گزینه‌ها در ماتریس تصـــمیم (رتبه ماتریس) و λmax، میانگین بردار پایندگی است.

جدول ۲- نمایه‌های ناسازگاری تصادفی (Saaty، ۱۹۸۰)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۶	۱/۴۹

۴. محاسبه S_i مرتبط با سطرهای ماتریس مقایسه زوجی. در این مرحله اقدام به محاسبه S_i مبتنی بر رابطه ۳ شد:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \Big/ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \qquad (۳)$$

که در آن: i بیانگر شماره سطر، j بیانگر شماره ستون و M_{gi}^{j}، اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسات زوجی است.

مقادیر $\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$، $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ و $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ به ترتیب از روابط ۴ تا ۶ قابل محاسبه است:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j\right) \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i\right) \qquad (۵)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \qquad (۶)$$

در روابط فوق l_i، m_i و u_i به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

[۲] - Consistency Ratio

۵. محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر. چنانچه $M_1=(l_1,m_1,u_1)$ و $M_2=(l_2,m_2,u_2)$ به عنوان اعداد فازی مثلثی درنظر گرفته شوند، درجه بزرگی M_1 نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۷):

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۷)$$

۶. محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها. بدین منظور از رابطه ۸ استفاده شد.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad k = 1,2,\ldots,n \;,\; k \neq i \qquad (۸)$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت زیر خواهد بود (رابطه ۹):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T \qquad i = 1,2,\ldots,n \qquad (۹)$$

۷. محاسبه بردار وزن نهایی. در این مرحله اقدام به محاسبه بردار وزن نهایی مبتنی بر نرمالیزه نمودن بردار وزن حاصل از مرحله پیشین گردید (رابطه ۱۰):

$$W = (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T \qquad (۱۰)$$

در این مرحله، اقدام به شناسایی و رتبه‌بندی تمامی زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت پایدار مردمی در طرح‌های آبخیزداری مبتنی بر آزمون‌های ناپارامتریک مبتنی بر پرسش‌نامه با طیف لیکرت، به قرار مراحل زیر شد:

الف) در این تحقیق از روش آلفای کرونباخ[۳] به منظور محاسبه میزان پایایی یا قابلیت اعتماد پرسش‌نامه[۴] با طیف لیکرت استفاده شد. مقدار آلفای کرونباخ مبتنی بر رابطه ۱۱ با کاربرد نرم‌افزار SPSS محاسبه شد (منصور فر، ۱۳۹۷):

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{S_t^2}\right) \qquad (۱۱)$$

که در آن: K، تعداد گویه‌ها یا سئوالات یک شاخص، S_i^2، واریانس نمرات مربوط به j امین گویه شماره j و S_t^2، واریانس جمع نمره‌های هر پاسخگو (واریانس کل شاخص) است.

[4] Reliability

ب) به‌طور کلی تحلیل واریانس دوطرفه رتبه‌ای فریدمن، این فرضیه را می‌آزماید که k گروه همتا از توزیع پیوسته واحدی و یا از چند توزیع با میانه یکسان و یا در صورت تقارن توزیع‌ها با میانگین یکسان گرفته شده‌اند (رابطه ۱۲):

$$\chi^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^{k} R_j^2 - 3N(k+1) \quad (۱۲)$$

که در آن: K، تعداد ستون‌ها یا سئوالات، N، تعداد سطرها و R_j، حاصل جمع رتبه‌ها در ستون jام است. در این حالت، درجه آزادی به صورت k-1 است (منصور فر، ۱۳۹۷).

اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی از دیدگاه ساکنان حوضه

در این تحقیق مبتنی بر روش کدگذاری چندپاسخی، متغیرهای پرسش‌نامه از نوع متغیرهای ترتیبی کیفی و منطبق با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) بوده، و از ساکنان حو ضه پس از سنجش روایی و پایایی (رابطه ۹) پر سش‌نامه نظر سنجی بعمل آمد. همچنین در این تحقیق، واحد نمونه، خانوار روستایی بوده و به منظور محاسبه حجم نمونه از فرمول کوکران (رابطه ۱۳) استفاده شد.

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1)} \quad (۱۳)$$

که در آن: n: حجم نمونه (خانوارهای انتخاب شده) از جامعه آماری حوضه، N: جامعه آماری (خانوارهای ساکن در حوزه آبخیز)، t: آمارهt استیودنت برای سطح اطمینان ۵ درصد (t =۱/۹۶)، S^2: واریانس برآوردی جامعه مورد نظر(S^2 =۰/۲۵) و d: درجه دقت احتمالی مطلوب (d =۰/۰۵).

در آخرین مرحله، به منظور رتبه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری از آزمون فریدمن (رابطه ۱۲) برای تجزیه واریانس دوطرفه از طریق رتبه‌بندی و همچنین مقایسه میانگین رتبه‌بندی گروه‌های مختلف با کاربرد نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم

بر اساس مرور منابع و مصاحبه با کارشناسان و جوامع محلی عوامل مؤثر در عدم مشارکت مردمی در قالب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها طبقه‌بندی شدند (جدول ۳).

جدول ۳- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری

شاخص	زیر شاخص	اختصار
اقتصادی	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم	X1
	دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری	X2
	درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها	X3
اجتماعی	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	X4
	اختلافات قومی و محلی	X5
	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثر بخشی پروژه ها	X6
	عدم احساس تملک در اراضی ملی	X7
طراحی- اجرایی	عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه ریزی های آبخیزداری	X8
	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	X9
	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال زایی)	X10
	عدم توجه به سازمان‌های غیر دولتی (سمن‌ها) در برنامه ریزی‌های آبخیزداری	X11
	عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها	X12
	عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه	X13
آموزشی - ترویجی	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه	X14
	عدم استفاده از گروه های مروج بومی	X15
حقوقی و قانونی	نقص در قوانین بهره برداری از منابع طبیعی توسط اشخاص حقیقی	X16
	مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری	X17

اولویت‌بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر خبرگان

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ۲۷ کارشناس خبره، شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردمی در پروژه‌های آبخیزداری اولویت‌بندی شد. مقدار نسبت سازگاری محاسبه شده برابر ۰/۰۱۶ و کمتر از ۰/۱ می‌باشند ($CR\leq 0.1$)، که مورد قبول است. اولویت‌بندی شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری نشان می‌دهد که شاخص‌های اقتصادی و طراحی-اجرائی به ترتیب دارای بیشینه و کمینه اولویت می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۴- نسبت سازگاری و وزن نرمال شده محاسباتی شاخص‌ها

شاخص	CI	RI	CR	L	M	U	وزن نرمال
اقتصادی	۰/۰۱۷۳۸	۱/۱۲	۰/۰۱۶	۰/۱۷۶۶	۰/۲۴۷۹	۰/۳۴۱۶	۰/۳۱۱
حقوقی و قانونی				۰/۱۲۲۳	۰/۱۶۹۴	۰/۲۳۶۶	۰/۱۳۵
آموزشی و ترویجی				۰/۱۱۵۰	۰/۱۵۳۵	۰/۲۰۷۳	۰/۰۷۶
اجتماعی				۰/۱۵۰۳	۰/۲۰۰۳	۰/۲۶۹۲	۰/۲۰۵
طراحی- اجرایی				۰/۱۶۵۸	۰/۲۲۸۷	۰/۳۱۴۶	۰/۲۷۳

برای تمام ۱۷ عامل (زیرشاخص)، ضریب اعتبار با مدل Alpha برابر ۰/۷۸۹ می‌باشد که نشان دهنده اعتبار نسبتاً خوب پرسشنامه است. مقدار سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ (Sig= ۰/۰۰) در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم در سطح یک درصد است (جدول ۵).

جدول ۵-رتبه‌بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم در فعالیت‌های آبخیزداری حوضه از منظر خبرگان

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم	۱۲/۷۶	۲۷	۹۹/۴۹۲	۱۶	۰/۰۰۰
۲	درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها	۱۲/۷۲				
۳	دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری	۱۱/۴۴				
۴	نقص در قوانین بهره برداری از منابع طبیعی توسط اشخاص حقیقی	۱۰/۹۴				
۵	مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری	۱۰/۱۵				
۶	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه	۱۰/۰۶				
۷	عدم استفاده از گروه های مروج بومی	۹/۹۳				
۸	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	۸/۹۶				
۹	اختلافات قومی و محلی	۸/۹۴				
۱۰	عدم احساس تملک در اراضی ملی	۸/۳۱				
۱۱	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثر بخشی پروژه ها	۷/۸۳				
۱۲	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	۷/۷۸				
۱۳	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال زایی)	۷/۷۸				
۱۴	عدم توجه به سازمان‌های غیر دولتی (سمن‌ها) در برنامه ریزی‌های آبخیزداری	۷/۴۱				

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱۵	عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه ریزی های آبخیزداری	۷/۰۲				
۱۶	عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها	۶/۵۲				
۱۷	عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه	۴/۴۴				

بر این اساس، از منظر خبرگان، زیرشاخص "نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم" با میانگین رتبه ۱۲/۷۶ دارای بیشترین اولویت نسبی و زیرشاخص "عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه" با میانگین رتبه ۴/۴۴ دارای کمترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری حوضه می‌باشند.

اولویت‌بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر جوامع محلی

براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، حوضه خوجین خلخال دارای ۶ روستا با جمعیتی بالغ بر ۵۴۳۴ نفر در قالب ۱۶۶۹ خانوار می‌باشد. در این حوضه حجم نمونه محاسبه شده طبق فرمول کوکران ۳۱۲ است. براساس مقدار آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۴۶ ابزار اندازه‌گیری (پرسش‌نامه) از پایایی بالایی برخودار بوده و به‌عبارتی، زیرشاخص‌های مفروض از پایایی و سازگاری درونی بالایی برخوردارند (George و Mallery، ۲۰۰۳). دامنه مقادیر میانگین رتبه‌ها برای شاخص‌ها و براساس نظر مردمی بین ۳/۱۸ تا ۲/۶۷ متغیر است. مقدار سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ (Sig= ۰/۰۰) در آزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم در سطح یک درصد است (جدول ۶). دامنه مقادیر میانگین رتبه‌ها برای اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آن‌ها براساس آزمون فریدمن بین ۱۱/۷۱ تا ۴/۷۹ متغیر است (جدول ۷).

جدول ۶- رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر ساکنان حوضه خوجین خلخال

اولویت	شاخص	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱	طراحی - اجرائی	۳/۱۸	۳۱۲	۲۷/۱۷۹	۴	۰/۰۰۰
۲	اجتماعی	۳/۱۲				
۳	حقوقی - قانونی	۳/۱۰				
۴	اقتصادی	۲/۹۶				
۵	آموزشی - ترویجی	۲/۶۷				

جدول ۷- رتبه‌بندی زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر ساکنان حوضه خوجین خلخال

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱	مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری	۱۱/۷۱	۳۱۲	۷۵۴/۴۶۶	۱۶	۰/۰۰۰
۲	عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها	۱۰/۳۸				
۳	عدم استفاده از گروه های مروج بومی	۱۰/۲۴				
۴	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	۱۰/۱۸				
۵	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه	۱۰/۱۷				
۶	عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه ریزی های آبخیزداری	۹/۹۹				
۷	نقص در قوانین بهره برداری از منابع طبیعی توسط اشخاص حقیقی	۹/۹۳				

اولویت	عامل	میانگین رتبه	تعداد نمونه	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۸	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم	۹/۸۴				
۹	دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری	۹/۲۸				
۱۰	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال زایی)	۹/۷۲				
۱۱	عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه	۹/۶۶				
۱۲	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	۸/۴۹				
۱۳	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثر بخشی پروژه ها	۸/۰۷				
۱۴	عدم احساس تملک در اراضی ملی	۷/۶				
۱۵	درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها	۶/۸				
۱۶	عدم توجه به سازمان‌های غیر دولتی (سمن‌ها) در برنامه ریزی-های آبخیزداری	۶/۱۵				
۱۷	اختلافات قومی و محلی	۴/۷۹				

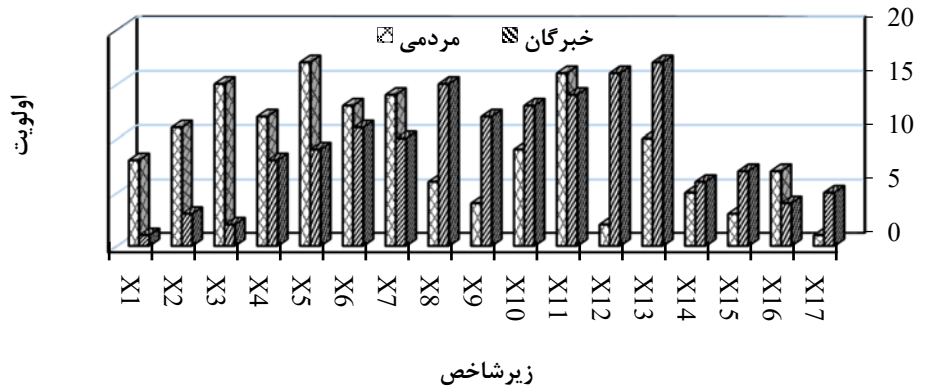
همچنین مقدار سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ (Sig= ۰/۰۰) درآزمون فریدمن، بیانگر تفاوت معنی‌دار اهمیت نسبی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم در سطح یک درصد است. بر این اساس، از منظر جوامع محلی، زیرشاخص "مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری" با میانگین رتبه ۱۱/۷۱ دارای بیشترین اولویت نسبی و زیرشاخص "اختلافات قومی و محلی" با میانگین رتبه ۴/۷۹ دارای کمترین اولویت نسبی در عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری حوضه می‌باشند. همچنین از علل اصلی دیگر در عدم مشارکت مردمی در این حوضه می‌توان به ترتیب به مواردی از جمله: عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها، عدم استفاده از گروه های مروج بومی، تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز، نادیده گرفتن درآمدزائی پروژه‌ها برای مردم، عدم توجه به نیازهای مردم، نواقص قانونی در بهره برداری مردم از منابع طبیعی و عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه اشاره کرد. مقایسه نتایج اولویت‌بندی

شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری از منظر دو گروه خبرگان و جوامع محلی در جدول ۸ و شکل ۲ ارائه شده است. چنانکه مشاهده می‌شود در ترتیب اولویت شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها برحسب نظرات خبرگان و ساکنان حوضه تفاوت‌های مشاهده می‌شود. نظر دو گروه کارشناسان خبره و ساکنان حوضه خوجین خلخال تنها در شاخص طراحی-اجرا متفاوت، و در چهار شاخص دیگر یکسان است. در مورد زیر شاخص‌ها نیز در شش مورد، نظر دو گروه یکسان نیست. خبرگان و ساکنان حوضه در خصوص دخالت شش عامل "درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها"، "اختلافات قومی و محلی"، "عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه‌ریزی‌های آبخیزداری"، "تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز"، عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها" و "عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه" در مشارکت نکردن مردم در طرح‌های آبخیزداری با هم اختلاف دارند.

جدول ۸- رتبه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر خبرگان و ساکنان حوضه خوجین خلخال

شاخص	اولویت		زیرشاخص	اختصار	اولویت	
	خبرگان	مردم			خبرگان	مردم
اقتصادی	۱	۴	نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم	X1	۱	۸
			دیربازده بودن طرح‌های آبخیزداری	X2	۳	۱۱
			درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها	X3	۲	۱۵
اجتماعی	۴	۲	پایین بودن سطح سواد و آگاهی	X4	۸	۱۲
			اختلافات قومی و محلی	X5	۹	۱۷
			عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثر بخشی پروژه ها	X6	۱۱	۱۳
			عدم احساس تملک در اراضی ملی	X7	۱۰	۱۴
طراحی - اجرائی	۵	۱	عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه ریزی های آبخیزداری	X8	۱۵	۶
			تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز	X9	۱۲	۴
			عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال زایی)	X10	۱۳	۹
			عدم توجه به سازمان‌های غیر دولتی (سمن‌ها) در برنامه ریزی‌های آبخیزداری	X11	۱۴	۱۶

شاخص	اولویت		زیرشاخص	اختصار	اولویت	
	خبرگان	مردم			خبرگان	مردم
			عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها	X12	۱۶	۲
			عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه	X13	۱۷	۱۰
آموزشی-ترویجی	۳	۵	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه	X14	۶	۵
			عدم استفاده از گروه های مروج بومی	X15	۷	۳
حقوقی - قانونی	۲	۳	نقص در قوانین بهره برداری از منابع طبیعی توسط اشخاص حقیقی	X16	۴	۷
			مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری	X17	۵	۱



شکل ۲- اولویت‌بندی زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از منظر دو گروه خبره و ساکنان حوضه خوجین خلخال

نتایج اوزان حاصل از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از دیدگاه کارشناسان خبره حاکی از آن است که به ترتیب شاخص‌های اقتصادی، حقوقی-قانونی و در نهایت آموزشی و ترویجی، بیشترین نقش را در عدم شکل‌گیری مشارکت این جوامع در پروژه‌های آبخیزداری در حوضه خوجین خلخال در استان اردبیل داشته‌اند. صالح‌پور جم و همکاران (۱۳۹۶) عوامل موثر بر عدم مشارکت ذینفعان در طرح‌های آبخیزداری را در حوضه‌های مشرف به شهر

تهران بررسی و اولویت‌بندی نمودند که در تحقیق ایشان شاخص‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی (طراحی - اجرائی) جزو شاخص‌های با اولویت بالا شناسایی شده‌اند که در این خصوص، اولویت اول بودن شاخص اقتصادی با نتایج این تحقیق دارای همخوانی است. موسایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی نظرات کارشناسان خبره استان فارس در خصوص عوامل موثر در مشارکت مردمی در طرح‌های آبخیزداری به این نتیجه رسیده‌اند که مؤثرترین عامل در افزایش میزان مشارکت مردمی، عوامل اقتصادی هستند. براساس نتایج برخی از بررسی‌ها (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۵؛ صالح‌پور جم و همکاران، ۱۳۹۶) شاخص مربوط به آموزش و ترویج کمینه میزان اهمیت را به خود اختصاص داده است، اما در پژوهش اخیر در اولویت سوم از پنج اولویت قرار دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که تفاوت دیدگاه‌های کارشناسی بر حسب شرایط منطقه و واکنش‌های مختلف مردمی می‌تواند متفاوت باشد. نتایج حاصل از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم از دیدگاه جوامع محلی با رتبه‌بندی مبتنی بر نظرکارشناسان خبره کاملاً متفاوت است (جدول ۹). کارشناسان خبره استانی عامل انگیزه‌های اقتصادی و به عبارت دیگر بهره‌مندی از سود مادی و کسب درآمد از مشارکت در طرح‌های آبخیزداری را عامل اصلی در عدم مشارکت مردمی در طرح‌ها معرفی کرده‌اند. برخلاف نظر خبرگان، اهالی حوضه خوجین خلخال نواقص طراحی و اجرا را عامل اصلی عدم مشارکت مردمی در اجرای طرح‌ها می‌دانند.

جدول ۹- مقایسه اولویت‌های شاخص‌ها براساس نظر خبرگان و اهالی حوضه خوجین خلخال

اولویت	خبرگان	خوجین خلخال
۱	اقتصادی	طراحی- اجرائی
۲	حقوقی و قانونی	اجتماعی
۳	آموزشی و ترویجی	حقوقی- قانونی
۴	اجتماعی	اقتصادی
۵	طراحی- اجرایی	آموزشی- ترویجی

نتایج اوزان حاصل از آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم حاکی از تفاوت نقش زیرشاخص‌های موثر بر عدم مشارکت مردم در پروژه‌های آبخیزداری است. علاوه بر این، در میزان اهمیت این زیرشاخص‌ها نیز از منظر گروه‌های کارشناسی و جوامع محلی تفاوت‌های وجود دارد. از منظر کارشناسان، زیرشاخص‌های" نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم (X1)" و "عدم تداوم پروژه‌های آبخیزداری در حوضه (X13)" به ترتیب بیشینه و کمینه اهمیت را در عدم مشارکت مردم به خود اختصاص داده‌اند. در حالی‌که از منظر جوامع محلی زیرشاخص "مشکلات قانونی مربوط به واگذاری حق آبه‌های مناطق اجرای عملیات آبخیزداری (X17)" دارای بیش‌ترین میزان اهمیت

در عدم مشارکت مردم می‌باشد. به نظر اهالی حوضه خوجین خلخال زیرشاخص" عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها (X12)" دومین عامل اصلی در مشارکت نکردن مردمی در طرح‌های آبخیزداری است. کارشناسان خبره استانی معتقدند که عامل " عدم توجه به تصمیم گیران بومی در برنامه نظرات و پیشنهادهای آبخیزنشینان در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای پروژه‌ها (X12)" نقش چندانی در مشارکت مردمی نداشته و به آن امتیاز کمتری داده‌اند بطوریکه در اولویت ۱۵ قرار گرفته است. به نظر اهالی حوضه خوجین خلخال "اختلافات قومی و محلی (X5)" در عدم همکاری مردم در طرح‌های آبخیزداری تاثیر چندانی ندارد و در اولویت آخر قرار می‌گیرد. اما از منظر خبرگان این عامل اولویت ۹ داشته و اهمیت نسبتاً بالایی دارد. نظر خبرگان و ساکنان حوضه در خصوص نقش انگیزه مادی و کسب درآمد در افزایش مشارکت مردمی در طرح های آبخیزداری تفاوت اساسی وجود دارد بطوریکه از منظر خبرگان دو عامل "نادیده گرفتن درآمد مردم به عنوان انگیزه اقتصادی (X1)" و "درآمد کم ساکنان حوضه از طرح‌ها (X3)" به ترتیب در اولویت اول و دوم قرار دارند اما از منظر ساکنان حوضه دارای رتبه‌های ۸ و ۱۵ هستند.

زیرشاخص‌ها (۱۷ مورد) براساس گروه خبرگان و ساکنان حوضه و با استفاده از آزمون ناپارامتری فریدمن اولویت‌بندی شدند. هرچند براساس نتایج این آزمون ترتیب اولویت‌ها متفاوت است و برخی از زیرشاخص-ها در اولویت‌های آخر قرار می‌گیرند ولی این نتایج بدین معنا نیست که این زیرشاخص‌ها فاقد اهمیت می‌باشند، زیرا صرف شناسایی آن‌ها بیانگر نقش آن‌ها در عدم مشارک مردمی بوده و رتبه پایین برای یک اولویت فقط گویای اهمیت نسبی کمتر نسبت به سایر زیرشاخص‌های شناسایی شده در حوضه است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در نهایت می‌توان نتیجه گیری نمود که اصلاح قوانین بهره برداری و واگذاری حق آبه‌های حاصل از اجرای پروژه‌های آبخیزداری به ساکنان محلی می‌تواند در رفع موانع مشارکت مردمی بسیار موثر باشد. همچنین در اجرای پروژه‌های آبخیزداری مشارکت دادن جوامع محلی در مراحل مختلف پایش، مطالعات، نیازسنجی، اجرا، و نیز نگهداری پروژه‌های آبخیزداری می‌تواند سبب تمرکز زدایی قدرت تصمیم‌گیری در مرکز و ستاد شده و زمینه جلب اعتماد مشارکت فعال و همکاری مردم را در مراحل مذکور فراهم آورد. برگزاری جلسات آموزشی و ترویجی می تواند در افزایش آگاهی مردم از اهداف و منافع پنهان و پیدای طرح‌ها موثر بوده و باعث افزایش مشارکت مردمی گردد. مطمئناً افزایش درآمد ساکنان از محل اجرای طرح‌ها نیز انگیزه مشارکت آن‌ها را زیاد خواهد کرد. همچنین مجریان طرح‌ها می‌توانند با مرحله‌ای نمودن اجرای پروژه‌ها و با برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر و منطبق بر اعتبارات واقعی طرح‌ها از ناقص ماندن

پروژه‌ها جلوگیری نموده و در جهت افزایش بازدهی طرح‌ها قدم بردارند. با توجه به نتایج حاصل ازاین پژوهش، پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- انجام تحقیقات مشابه در دیگر حوضه استان از منظر کارشناسان دستگاه‌های اجرایی، مراکز تحقیقاتی و نیز نظرات جوامع محلی
- فراهم نمودن شرایطی جهت مشارکت فعال آبخیزنشینان در مراحل مختلف تصمیم‌گیری، طراحی-اجرا و نگهداری و ترمیم پروژه‌ها
- معتمدان محلی در کنار مسئولین محلی و سازمان‌های مردم نهاد (سمن‌ها) می‌توانند نقش مروج بومی برای اهالی منطقه را داشته و با ترویج اهداف پروژه‌ها، زمینه جلب مشارکت مردم در پروژه‌های مزبور را فراهم نمایند.
- فراهم نمودن شرایطی برای بکارگیری نیروی محلی و افراد روستا در اجرای پروژه‌ها و ایجاد نوعی اشتغال برای آن‌ها
- برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های آموزشی با هدف افزایش اطلاعات و دانش جوامع محلی با پروژه‌های آبخیزداری
- اجرایی برنامه‌های آموزشی و ترویجی در جلسات هفته‌های انتقال یافته‌ها و همچنین برگزار روزهای منابع طبیعی و آبخیزداری
- ارائه پیشنهادهای لازم به مسئولین ذیربط به منظور اصلاح مسائل قانونی و حقوقی در خصوص نحوه بهره‌برداری اشخاص
- پیشنهاد به مدیران و مسئولان در جهت برقرار شرایط لازم به منظور منتفع شدن اهالی حوضه از منافع اقتصادی طرح‌ها

منابع

- باقریان، ر.، م. گودرزی، م. ثنایی طرقبه، ع.باقریان کلات. ۱۳۹۶. بررسی ابعاد مشارکت مردم درطرح های آبخیزداری با استفاده از روش تحلیل عاملی. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۱۱ شماره ۳۶: ۷۵-۹۶.
- صالح‌پور جم، ا.، ا. سرشته‌داری، و م.ر. طباطبایی. ۱۳۹۶. اولویت‌بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت ذینفعان در طرح‌های آبخیزداری بر اساس دیدگاه کارشناسان، منطقه مورد مطالعه: حوضه مشرف به شهر تهران. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹ (۴): ۴۴۱-۴۵۰.
- طائی سمیرمی، س.، و م. احمدی. ۱۳۹۵. نگرشی بر مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مشارکت و عدم مشارکت در طرح‌های آبخیزداری و بازخورد آن در معیشت بهره‌برداران، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج. ۱-۷.

- فیض نیا، س.، ا. صالح پورجم، و م.ک. کیانیان. ۱۳۸۵. بررسی عوامل موثر بر عدم مشارکت مردم در طرح‌های منابع طبیعی (حوزه آبخیز رودخانه شور). فصلنامه محیط کوهستان، ۶(۱): ۱۲-۲۵.
- قربانی، ا.، ا.ح. کاویانپور، و ر. دبیری. ۱۳۹۴. تأثیر ویژگی‌های اجتماعی بهره برداران بر مشارکت آنها در تعاونی‌های آبخیزداری (مطالعه موردی: تعاونی آبخیزداری حوزه آبخیز سقزچی چای استان اردبیل). ۶(۳): ۵۹-۷۴.
- ملکی، م.، ح.ر. دهقانی بیدگلی، و ر. قانع مقدم. ۱۳۹۷. بررسی اثرات طرح های منابع طبیعی و آبخیزداری اجرا شده با مشارکت بهرهبرداران حوزه در توسعه روستا (مطالعه موردی: حوزه قره شیران شهرستان نیر استان اردبیل). فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۵(۳): ۳۴۷-۳۶۲.
- منصور فر، ک. ۱۳۹۷. روش‌های پیشرفته آماری: همراه با برنامه‌های کامپیوتری. دانشگاه تهران، ۴۶۳ صفحه.
- موسایی، م.، ا. ملک‌محمدی، س.ج. فرجاله حسینی و س.م. میردامادی. ۱۳۸۹. عوامل موثر بر مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری از دیدگاه کارشناسان ترویج منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ۴ (۱): ۱۲۷- ۱۳۹.
- مولان‌نژاد، ل.، ج. یعقوبی و ب. خضرلو. ۱۳۹۵. عوامل مؤثر بر ترغیب کشاورزان به مشارکت در برنامه‌های مدیریت آب و آبخیزداری در شهرستان میاندوآب، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج. ۱-۸.
- Bagdi, G.L., R.S. Kurothe. 2014. People's participation in watershed management programmes: Evaluation study of Vidarbha region of Maharashtra in India. International soil and water conservation research, 2 (3): 57-66.
- Bohnet, C.I., B. Roberts, E. Harding and K.J. Haug. 2011. A typology of grazers to inform a more targeted approach for developing natural resource management policies and agricultural extension - programs programs. Journal of land use policy, 28(3): 629-63.
- Catacutanb, D. and A. Duqueb. 2006. Challenges and opportunities in managing Philippine watersheds: The case of Manupali watershed in the southern Philippine. Conference on watershed management in the Philippine, Don Mariano Marcos Memorial University, La Union Philippine, 81- 89.
- Clayton, A. 2005. Empowerment People: A Guide for Participation, Translated by Piroz Izadi), Research Center rural issues, Tehran.
- Duram, L.A. and K.G. Brown. 2010. Insights and applications assessing public participation in US watershed planning initiatives. Society and Natural Resources, 12(5): 455-467.
- George, D. and Mallery, P. 2003. SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 11.0 update (4th ed.), Allyn and Bacon, Boston. 386 pages.
- Johnson, N., H.M. Ravnborg, O. Westermann, and K. Probst. 2002. User participation in watershed management and research. Water policy, 3(6): 507-520.

- Saaty, T. 1980. The Analytical Hierarchy process, planning, priority, Resource Allocation, Rws pub, USA.
- Singleton, A., and M. Taylor. 1992. Common property, collective action and community. J. Theor. Pol. 4(3): 309-324.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در نظام‌های تولید آفتابگردان

زین العابدین امیدمهر[۱]، فاطمه زهرا عرب عامری[۲]

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان (شاهرود)

۲- کارشناس خاک و اب

چکیده:

این مطالعه به‌منظور بررسی جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع آفتابگردان منطقه کالپوش شهرستان میامی انجام شد. اطلاعات لازم در مورد سه روش آماده‌سازی زمین (رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) از طریق مصاحبه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه در سال ۱۳۸۹ تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، پارامترهای مربوط به انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی اکسیدکربن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی در سه روش آماده‌سازی زمین (رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) به ترتیب برابر ۱۳۹۷۱، ۱۲۱۱۷ و ۱۰۸۶۵ مگاژول بر هکتار بود. در هر سه روش در مقایسه با سایر نهاده‌ها،کود نیتروژن و سوخت دیزل بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری انرژی به ترتیب مربوط به بی‌خاک‌ورزی (۰/۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) و خاک‌ورزی رایج (۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول) بود. کمترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به روش بی‌خاک‌ورزی بود (۱۴۴۹ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار). در روش رایج و کم‌خاک‌ورزی، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف سوخت، بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای به ترتیب ۴۳/۳ و ۳۶/۵ درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داد. در روش بی‌خاک‌ورزی، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف کود نیتروژن بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (۴۷/۳ درصد) را به خود اختصاص داد. با توجه به نتایج بدست آمده مدیریت عملیات زراعی و بکارگیری خاک‌ورزی حفاظتی با رویکرد حذف عملیات اضافی (کاهش مصرف سوخت) و مدیریت مصرف کود نیتروژن، به‌منظور افزایش بهره‌وری انرژی،کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و اثرات زیست محیطی پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی:

آفتابگردان، خاک‌ورزی، شخم، کاشت مستقیم، گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

طی چند دهه اخیر، افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 باعث به‌وجود آمدن پدیده تغییرات آب و هوایی و گرمایش جهانی، سوراخ شدن لایه ازن، ذوب شدن یخ‌های قطبی شده است. اهمیت این موضوع در سطح جهانی و تلاش برای سیاست‌گذاری جهت کنترل گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی می‌باشد که رشد گازهای گلخانه‌ای سهم بسزایی در این موضوع دارد (کرباسی و رحیمی، ۱۳۸۸). استفاده کارآمد از انرژی در کشاورزی یکی از شرایط مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب کاهش آلودگی‌های محیطی می‌گردد. بنابراین شناسایی روش‌هایی برای تولید محصول که بتواند کارایی مصرف انرژی را به حداکثر و تولید گازهای گلخانه‌ای و مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند، باید از اولویت‌های پژوهشی و تحقیقاتی بخش کشاورزی به شمار آید (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

طبق برآوردهای انجام‌شده ۲۰ درصد از اثر گلخانه‌ای مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است (برنتروپ و همکاران، ۲۰۰۰). سیستم‌های خاک‌ورزی موجب تغییر کربن خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست شده است. میزان انتشار دی اکسید کربن از خاک به‌واسطه عملیات خاک‌ورزی، به تعداد و شدت خاک‌ورزی بستگی دارد. خاک‌ورزی حفاظتی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عملیات کشاورزی برای کاهش انتشار دی اکسید کربن از خاک‌های کشاورزی به اتمسفر در نظر گرفته می‌شود (لال و کیمبل، ۱۹۹۷). افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر، به عنوان عامل اصلی پتانسیل گرمایش جهانی در نظر گرفته می‌شود. انجام عملیات خاک‌ورزی نادرست موجب افت کربن خاک و انتشار آن به‌صورت گاز دی اکسید کربن یا گازهای دیگر به اتمسفر می‌شود (ریکوسکی و همکاران، ۱۹۹۷).

گرفتی (۲۰۰۸) گزارش کرد که در اثر استفاده از کشاورزی حفاظتی (خاک‌ورزی حفاظتی)، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. آمار موجود در ایران نشان می‌دهد که سرانه انتشار دی اکسید کربن از ۶۰۷ کیلوگرم در سال ۱۳۴۶ به ۴۹۷۷/۷ کیلوگرم در سال ۱۳۸۲ و ۶۸۸۱/۷ کیلوگرم در سال ۱۳۸۶ رسید که بیش از ۱۱ برابر رسیده است (دامن کشیده و همکاران، ۱۳۸۸). طبق گزارش احدی (۱۳۹۳) سرانه انتشار دی اکسید کربن به ۱۰۳۰۰ کیلوگرم در سال افزایش یافته‌است. ارزیابی کل سوخت مصرفی در دو سامانه کشت گندم آبی و دیم در شهرستان ساوه نشان داد که مصرف سوخت به ترتیب برابر ۹۸ و ۷۴ لیتر در هکتار برای کشت گندم آبی و دیم است که از این میزان بیشترین سهم سوخت مصرفی در سامانه کشت گندم آبی مربوط به عملیات آبیاری (۷۸/۴ درصد) و درکشت گندم دیم، بیشترین سهم مصرف سوخت به عملیات خاک‌ورزی (۵۹ درصد) اختصاص یافت (صفا و طباطبایی، ۲۰۰۲).

در آزمایشی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان نشان داد که میزان انتشار معادل ۱۴۰۳/۲ کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار بود. گازهای گلخانه‌ای نهاده سوخت دیزل برابر ۶۴۶/۲ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار بود و با ۴۵/۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پنبه

در استان گلستان، بیش‌ترین انتشار گازهای انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشت (طاهری‌راد، ۲۰۱۵). ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی ذرت توسط خانعلی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که در بخش مزرعه‌ای، بیشترین بارهای محیطی، به ترتیب ناشی از عملیات آبیاری، کود نیتروژن، سوخت دیزل و الکتریسیته مصرفی بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نیتروژن برای تولید جو در نظام‌های کشت آبی و دیم نشان داد که بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در نظام تولید جو آبی برابر ۸۹۸/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر تن دانه برای سطح کودی ۱۸۰-۱۴۰ نیتروژن در هکتار و برای نظام کشت دیم برابر با ۶۰۴/۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر تن دانه برای سطح کودی ۴۰-۳۰ نیتروژن در هکتار برآورد شد (خرمدل و غفوری، ۱۳۹۵).

نتایج بررسی بیلان انرژی و انتشار دی اکسید کربن در تولید گندم نشان داد که بیشترین میزان انتشار دی اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی به دلیل ورودی بیشتر مربوط به مصرف نیتروژن، سوخت و بذر بوده است و روش کشت بهبودیافته (کم نهاده) کمترین پتانسیل گرمایش جهانی را دارا بود (پاوزکی-طرودی، ۱۳۹۷). روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف کشاورزی وجود دارد که تعیین پتانسیل گرمایش جهانی یکی از روش‌های ارزیابی اثرات پایداری است. این پژوهش به‌منظور ارزیابی میزان انرژی مصرفی در سه روش مختلف تولید آفتابگردان، برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی و سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در تولید آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در منطقه کالپوش از توابع شهرستان میامی استان سمنان انجام شد. این منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی جزء مناطق معتدل سرد بوده و محصولات آفتابگردان، گندم و عدس در تناوب کاشته می‌شوند. تیمارها مورد بررسی شامل عملیات خاک‌ورزی رایج شامل (شخم با گاوآهن برگرداندار+ دیسک+ بذرپاشی+ دیسک)، کم‌خاک‌ورزی (شخم با دستگاه چیزل- پکر+ کاشت با ردیف‌کار) و بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم) بودند. عملیات کاشت در روش رایج با استفاده از بذرپاش و پوشاندن بذر توسط دیسک، و در روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی توسط ردیف‌کار انجام شد. اطلاعات مربوط به ادوات و ماشین‌های مورداستفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ادوات مورد استفاده

نام ادوات	نوع عملیات	مشخصات ادوات	عمق کار (cm)	عرض کار (cm)	سرعت (Km/hr)
ادوات روش رایج					
گاوآهن برگرداندار	خاک‌ورزی اولیه	سه خیش	20-25	90	4-6
هرس بشقابی ۲۸ پره	خاک‌ورزی ثانویه	قطر بشقاب ۵۱ سانتی‌متر	8-10	224	6-8
بذرپاش سانتریفوژ	کاشت	-	-	-	6-8
ادوات روش کم‌خاک‌ورزی					
چیزل پکر	خاک‌ورزی	۵ ردیفه	20-25	175	6-8
دستگاه ردیف‌کار	کاشت	۴ ردیفه	4-6	200	6-8
ادوات کاشت مستقیم					
دستگاه کشت مستقیم	کاشت مستقیم	۶ ردیفه	4-6	300	6-8

با استفاده از معادله کوکران (معادله ۱) تعداد ۳۰ بهره‌بردار برای ارزیابی انتخاب شدند (Snedecor & cochran, 1989).

$$n = \frac{N(s\,t)^2}{(N-1)d^2 + (s\,t)^2} \qquad \text{(معادله ۱)}$$

که در آن؛ n= حجم نمونه (تعداد)، N= حجم جامعه (تعداد)، s= پیش برآورد انحراف معیار جامعه، t= ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵٪) و d= دقت احتمالی مطلوب (۰/۵) می‌باشند. جمع‌آوری داده‌ها از طریق نمونه‌گیری تصادفی و مصاحبه با کشاورزان مختلف (۱۵ بهره‌بردار روش رایج، ۱۰ بهره‌بردار روش کم‌خاک‌ورزی و ۵ بهره‌بردار کاشت مستقیم) و تکمیل پرسش‌نامه انجام شد. برخی اطلاعات مربوط به نهاده‌های مختلف (ماشین‌های کشاورزی، بذر، کود، سوخت و سموم) با استفاده از اطلاعات شرکت‌های مکانیزه و منابع علمی تهیه شد. راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص از معادلات ۲ تا ۵ محاسبه شد (Mohammadi & Omid, 2010).

$$E_e = \frac{E_O}{E_I} \qquad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن، Ee = راندمان انرژی، Eo= انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) و EI= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$E_p @ \frac{Y}{E_I}$$ (معادله ۳)

E_P = بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$E_T @ \frac{E_I}{Y}$$ (معادله ۴)

E_T = شدت انرژی (مگاژول برکیلوگرم)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$N_e @ E_O \; 0 \; E_I$$ (معادله ۵)

که در آن، N_e = انرژی خالص، E_O= انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

جدول ۲- ضرایب معادل انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظام تولید آفتابگردان

نهاده	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	منبع
ورودی‌ها (الف			
نیروی کارگری	1.96	ساعت	Haj-Seyed-Hadi, 2012
ماشین‌های کشاورزی	62.7	ساعت	Singh et al., 2007
سوخت	47.8	لیتر	Singh et al., 2007
بذر	14.8	کیلوگرم	Singh et al., 2007
سموم شیمیایی			
علف‌کش	238	لیتر	Mirhaji et al., 2014
آفت‌کش	199	لیتر	Namdari et al., 2011
قارچ‌کش‌ها	92	لیتر	Ozkan et al., 2004
کودهای شیمیایی			
نیتروژن	66.14	کیلوگرم	Ozkan et al. (2004)
فسفر	12.44	کیلوگرم	Ozkan et al. (2004)
پتاسیم	11.15	کیلوگرم	Ozkan et al. (2004)
خروجی (ب			
دانه آفتابگردان	28.5	کیلوگرم	Mehrabi-Boshrabadi and Esmaaeli (2012)

مقدار انرژی نهاده‌های مصرفی (نیروی کارگری، ماشین‌های کشاورزی، سوخت، بذر، کودها و سموم شیمیایی) از حاصل‌ضرب میزان مصرف آنها در هکتار در معادل انرژی محاسبه گردید. انرژی تولیدی آفتابگردان از

حاصل‌ضرب عملکرد در معادل انرژی آن محاسبه شد. سایر محاسبات انرژی برای ورودی و خروجی‌های مورد استفاده در هر روش با استفاده از ضرایب بدست آمده از سایر منابع انجام شد (جدول ۲).

پتانسیل گرمایش جهانی(GWP) عبارت از جمع گازهای گلخانه‌ای تولید شده است که به صورت معادل CO_2 بیان می‌شوند (IPCC, 1996). گازهای گلخانه‌ای عمده عبارت از دی اکسیدکربن (CO_2)، نیترو اکسید (N_2O)، متان (CH_4)، ازن و گازهای دیگر می‌باشند. در بین این گازها دی اکسیدکربن، متان و نیترواکسید به دلیل طول عمر زیاد و میزان تابش امواج فروسرخ از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند، بنابراین در گزارش‌های مربوطه به میزان نشر گازهای گلخانه‌ای عمدتاً نشر این گازها را در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، دی اکسید کربن به عنوان مبنای تعیین میزان تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش زمین در نظر گرفته شد و پتانسیل گرمایش سایر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش سایر گازها نسبت به این گاز سنجیده شد. ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

ورودی‌ها	واحد	معادل کیلوگرم دی اکسیدکربن	منبع
ماشین‌های کشاورزی		0.071	Dyer & Desjardins, 2006
سوخت دیزل	L	2.76	Dyer & Desjardins, 2006
کودهای شیمیایی			
نیتروژن	kg	1.3	Lal, 2004
فسفر	kg	0.2	Lal, 2004
پتاسیم	kg	0.2	Lal, 2004
مواد شیمیایی			
قارچ‌کش	L	3.9	Lal, 2004
حشره‌کش	L	5.1	Lal, 2004
علف‌کش	L	6.3	Lal, 2004

مقادیر نهاده‌ها جهت تولید محصول در هکتار، در روش‌های زراعی در جدول ۴ نشان شده است. همچنین تفاوت روش‌های مختلف از نظر عملیات زراعی و ورودی نشان داده شده است. در نهایت داده‌های مربوط به نهاده‌ها و خروجی‌ها با توجه به معادل‌های انرژی طبق جدول ۲ به واحد مگاژول در هکتار تبدیل شدند. برای تجزیه و تحلیل داده ها از برنامه صفحه گسترده اکسل (Excel) استفاده شد.

۴- مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول آفتابگردان در هکتار در روش‌های مختلف

ورودی	واحد	کشت مستقیم	روش کم‌خاک‌ورزی	روش رایج
سوخت	$l.ha^{-1}$	60	90	120
نیروی انسانی	$hr.ha^{-1}$	50	80	130
بذر	$kg.ha^{-1}$	10	10	12
کودها و سموم شیمیایی				
کود نیتروژن	$kg.ha^{-1}$	75	75	75
کود فسفر	$kg.ha^{-1}$	30	30	30
پتاسیم	$kg.ha^{-1}$	50	50	50
علف‌کش	$l.ha^{-1}$	3	1.5	-
آفت‌کش	$l.ha^{-1}$	1	1	1
عملیات زراعی				
شخم	مرتبه	-	1	1
دیسک‌زنی	مرتبه	-	-	2
لولر	مرتبه	1	1	1
کاشت	مرتبه	1	1	1
پخش کود	مرتبه	1	1	1
پخش علف‌کش (پیش‌کاشت)	مرتبه	1	-	-
پخش علف‌کش (پس از کاشت)	مرتبه	1	1	-
پخش آفت کش	مرتبه	1	1	1
کود سرک	مرتبه	1	1	1
برداشت	مرتبه	1	1	1
حمل و نقل	مرتبه	1	1	1

نتایج و بحث

مقادیر انرژی ورودی و سهم هر کدام در روش‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. میزان انرژی مربوط به هر کدام از نهاده‌ها از حاصل ضرب مقدار مصرف در معادل انرژی هر نهاده (جدول ۲) محاسبه شد. نتایج نشان داد که جهت تولید آفتابگردان از لحاظ مجموع انرژی مصرفی، بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب به روش رایج (۱۳۹۷۱ مگاژول بر هکتار) و بی‌خاک‌ورزی (۱۰۸۶۵ مگاژول بر هکتار) اختصاص یافت. انرژی مصرفی بیشتر در روش رایج در مقایسه با روش‌های حفاظتی (کم و بی‌خاک‌ورزی) مربوط به انجام عملیات

اضافی و انرژی‌خواه شخم (مصرف بیشتر سوخت) بود. نتایج مشابه توسط الماسی و همکاران (۲۰۰۸) رزاقی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شد.

در روش رایج بیشترین مقدار انرژی مصرفی مربوط به سوخت دیزل (۴۳/۵ درصد) وکود نیتروژن (۳۶/۷ درصد) بود. مصرف سوخت بیشتر در روش رایج، بدلیل زیاده‌روی در انجام عملیات خاک‌ورزی و انجام عملیات سنگین و انرژی‌بر شخم بود تایج مشابه توسط الماسی همکاران (۲۰۰۸) گزارش شد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در روش‌های حفاظتی مربوط به کود نیتروژن (۴۴ درصد) و سوخت (۳۲ درصد) بود و کمترین مقدار انرژی مصرفی در روش‌های مختلف به حمل و نقل (۰/۵ درصد) و سایر عملیات زراعی شامل لولر، کاشت، پخش کود و سم (۰/۷ درصد) بود. سوخت دیزل برای عملیات آماده‌سازی زمین، عملیات زراعی و حمل و نقل استفاده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان دادکه مقدار مصرف سوخت درخاک‌ورزی رایج (۱۲۰ لیتر در هکتار)، حدود ۶۰ درصد بیشتر از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (۷۵ لیتر در هکتار) بود (جدول ۴). استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی در کشاورزی، موجب ایجاد گازهای گلخانه‌ای و آلودگی زیست محیطی می‌شود. ضرورت کاهش مصرف سوخت و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با مواد سوختی دیگر حتی برای کشورهای صادرکننده هم وجود دارد. نتایج مشابه توسط کوچکی و حسینی (۱۹۹۹) گزارش شد.

در هر سه روش در مقایسه با سایر نهاده‌ها،کودهای شیمیایی بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. از کل انرژی ورودی، بیشترین سهم انرژی کودهای شیمیایی (۵۵٪) در روش بی‌خاک‌ورزی و کمترین سهم (۴۵٪) مربوط به روش رایج بود. مصرف زیاد کودهای شیمیایی علاوه بر کاهش کارایی انرژی مصرفی، می‌تواند باعث آلودگی منابع آبی و خاکی شود.

جدول ۵- مقادیر انرژی ورودی آفتابگردان به تفکیک روش زراعی در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

ورودی	کشت مستقیم		کم‌خاک‌ورزی		خاک‌ورزی رایج	
	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل
سوخت	2868	27.1	4302	36.3	5736	43.5
نیروی انسانی	98	0.9	156.8	1.3	254.8	1.9
بذر	285	2.7	285	2.4	285	2.2
کود نیتروژن	4960.5	46.8	4960.5	41.9	4960.5	37.6
کود فسفر	373.2	3.5	373.2	3.1	373.2	2.8
پتاسیم	557.5	5.3	557.5	4.7	557.5	4.2
علف‌کش	714	6.7	357	3.0	375	2/7
آفت‌کش	199	1.88	199	1.68	199	1.5
شخم	0	0.0	172.7	1.5	219.8	1.7

دیسک‌زنی	0	0.0	0	0.0	188.4	1.4
لولر	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
کاشت	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
پخش کود	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
پخش علف‌کش	150.72	1.4	94.2	0.8	-	-
پخش آفت کش	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
کود سرک	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
برداشت	125.6	1.2	125.6	1.1	125.6	1.0
حمل و نقل	62.8	0.6	62.8	0.5	62.8	0.5
کل	10865	100.0	12117	100.0	13791	100.0

بیشترین انرژی غیرمستقیم وارد شده به مزرعه ناشی از مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. با استفاده از آزمون خاک و تعیین مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز و مصرف بهینه آن، علاوه بر حفاظت از خاک و کاهش آلودگی‌های محیطی، می‌توان کارایی انرژی را با شرایط موجود افزایش داد. نتایج مشابهی توسط عدنان و همکاران (۲۰۰۹) و احمدی و حسن‌زاده ۲۰۰۸)گزارش شد. روش رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی سوخت را داشتند. مصرف سوخت بیشتر در روش رایج نسبت به روش‌های حفاظتی، به دلیل انرژی‌بر بودن عملیات شخم و تعدد عملیات تولید در روش رایج می‌باشد. استفاده از ماشین‌های کشاورزی در مزارع مکانیزه عامل اصلی افزایش مصرف سوخت و انرژی مصرفی می‌باشد. نتایج مشابه توسط یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شد.

سوخت، نیروی انسانی و آب آبیاری از عواملی هستند که دربخش انرژی مصرفی مستقیم قرار می‌گیرند. بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع آفتابگردان مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن بودکه بایستی با مدیریت صحیح در مصرف بهینه آنها گام برداشت. مصرف این نهاده ها نه تنها هزینه تولید را افزایش می‌دهد، بلکه سبب آلودگی محیط و منابع آب و خاک نیز می‌شود. نتایج مشابه توسط مهرابی بشرآبادی و اسماعیلی (۲۰۱۲) و ولدیانی و همکاران (۲۰۰۲) ران دیگر گزارش شد. کاهش تعداد عملیات و صرفه‌جویی در مصرف انرژی از مزایای خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشند. با تجزیه و تحلیل مصرف انرژی و تعیین سهم هر یک از انرژی‌های فسیلی و تجدید شونده که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در تولید محصول زراعی

نقش دارند، می‌توان روش‌های افزایش کارآیی و بهره وری منابع آب، خاک و نهاده های شیمیایی و امکان استقرار یک نظام تولید بوم سازگار را بررسی کرد.

میزان بهره‌وری انرژی در کشت رایج از دو روش دیگر کمتر است (جدول ۶). دلیل این امر سهم زیاد انرژی ماشین‌ها و سوخت و نیز استفاده بیشتر از نیروی انسانی و عملکرد پایین در واحد سطح می‌باشد. یکی از دلایل افزایش راندمان در سیستم‌های کشاورزی، مصرف کمتر نهاده‌ها معرفی می‌باشد . نتایج مشابه توسط فیض‌بخش و سلطانی (۲۰۱۳) گزارش شد. در خاک‌ورزی رایج، به دلیل مصرف بیشتر انرژی برای تولید محصول، بهره‌وری انرژی (۰/۱۱کیلوگرم بر مگاژول) کمتر بود. این در حالی است که در روش‌های حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک-ورزی) بدلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی (۰/۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) نسبت به روش رایج بیشتر بود. بهره‌وری انرژی از طریق افزایش عملکرد محصول یا کاهش مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

۶- مقادیر انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

ورودی	کشت مستقیم		کم‌خاک‌ورزی		خاک‌ورزی رایج	
	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل
انرژی مستقیم						
سوخت	2868.0	27.1	4302.0	36.3	5736.0	43.5
نیروی انسانی	98.0	0.9	156.8	1.3	254.8	1.9
آب آبیاری	0	0	0	0	0	0
انرژی غیرمستقیم						
بذر	285	2.7	285	2.4	285	2.2
کود نیتروژن	4960.5	46.8	4960.5	41.9	4960.5	37.6
کود فسفر	373.2	3.5	373.2	3.1	373.2	2.8
پتاسیم	557.5	5.3	557.5	4.7	557.5	4.2
علف‌کش	714.0	6.7	357.0	3.0	-	-
آفت‌کش	199	1.88	199	1.68	199	1.5
حمل و نقل	62.8	0.6	62.8	0.5	62.8	0.5
ماشین‌های کشاورزی	810.1	7.6	926.3	8.7	1067.6	10.1
کل	10865	100.0	12117	100.0	13791	100.0

میزان انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی و بذر) و تجدیدناپذیر (سوخت،کود، ماشین‌های کشاورزی، آفت‌کش‌ها و حمل و نقل) در جدول ۷ نشان می‌دهد که در هر سه سیستم تولید، بخش زیادی از انرژی مصرفی مربوط به انرژی تجدیدناپذیر است. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی انرژی گندم دیم نتایج مشابه گزارش کردند.

جدول ۷- مقادیر انرژی ورودی، خروجی و روابط انرژی در سه سیستم تولید آفتابگردان

شکل‌های مختلف انرژی	کشت مستقیم	روش کم‌خاک‌ورزی	روش رایج
ورودی‌ها			
مستقیم (مگاژول در هکتار)	2966.0	4587	5990.8
غیرمستقیم (مگاژول در هکتار)	7899	7559	7800
کل (مگاژول در هکتار)	10865	12117	13791
تجدیدپذیر (مگاژول در هکتار)	383	442	540
تجدید ناپذیر (مگاژول در هکتار)	10302	11675	13251
خروجی‌ها			
عملکرد دانه	1545.0	1680.0	1475.0
انرژی خروجی دانه (مگاژول در هکتار)	44033	47880	42038
بازده انرژی (درصد)	4.05	3.95	3.05
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	0.15	0.14	0.11
شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)	6.9	7.1	8.9
انرژی خالص (مگاژول)	33167	35863	28247

مقایسه عملکرد دانه در روش مختلف نشان داد که در دو روش حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) از روش رایج بهتر بود. این امر به دلیل اثر مثبت روش‌های حفاظتی در حفظ رطوبت خاک در شرایط دیم می‌باشد. اگر در بحث انتخاب روش برتر، فقط عملکرد محصول در نظر گرفته شود روش کم‌خاک‌ورزی روش برتر خواهد بود، اما با توجه به بهره‌وری انرژی، کاهش آلودگی محیط زیست و به منظور پایداری در تولید کاشت مستقیم به عنوان روش برتر معرفی می‌شود.

پتانسیل گرمایش جهانی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی در جدول (۸) نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدارپتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب مربوط به روش رایج (۱۸۳۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و کشت مستقیم (۱۴۴۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود.

جدول ۸- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (GWP بر حسب معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار) در سه روش خاک‌ورزی آفتابگردان

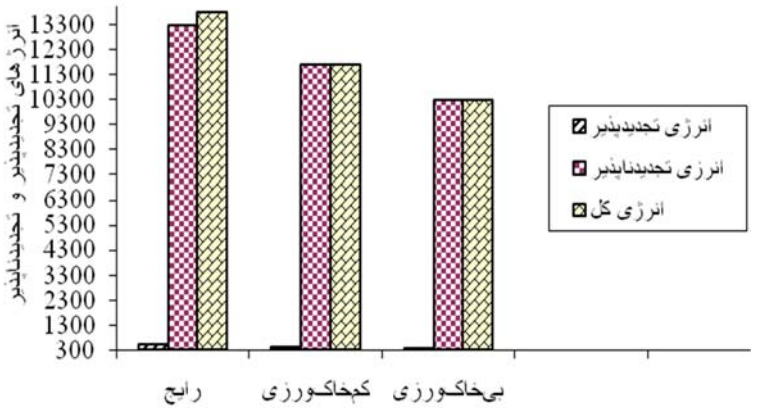
عملیات	کشت مستقیم		روش کم‌خاک‌ورزی		روش رایج	
نهاده‌های تولید	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل
کود نیتروژن	685.6	47.3	685.6	42.5	685.6	37.5
کود فسفر	51.5	3.5	51.5	3.2	51.5	2.8
پتاسیم	77.1	5.3	77.1	4.8	77.1	4.2
سموم شیمیایی	126	7.7	77	4.8	77	4.2
سوخت	396	27.5	594	36.8	793	43.3
ماشین‌های کشاورزی	112	7.7	128	7.9	148	8.1
کل	1449	100.0	1614	100.0	1831	100.0

پتانسیل گرمایش جهانی بیشتر در روش رایج، بدلیل تعداد عملیات خاک‌ورزی بیشتر و انرژی‌بر بودن عملیات شخم بودکه موجب مصرف سوخت بیشتر و به تبع آن افزایش پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بود. زیاده‌روی در استفاده از ماشین‌های کشاورزی و انجام عملیات متعدد، عامل اصلی افزایش مصرف سوخت و افزایش قابل‌ملاحظه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از برگردانی خاک بود. نتایج مشابه توسط یوسفی و همکاران ۱۹۹۳)، خلیلی-عراقی (۲۰۱۳) و ریکوسکی و لیندستورم (۱۹۹۷) گزارش شد. مقدار پتانسیل گرمایش جهانی محاسبه شده در این مطالعه، نسبت به ارقام گزارش شده توسط سایر محققین کمتر بود، علت آن مطالعه تولید آفتابگردان در شرایط دیم (عدم نیاز به آبیاری و انرژی پمپاژ آب) بود.

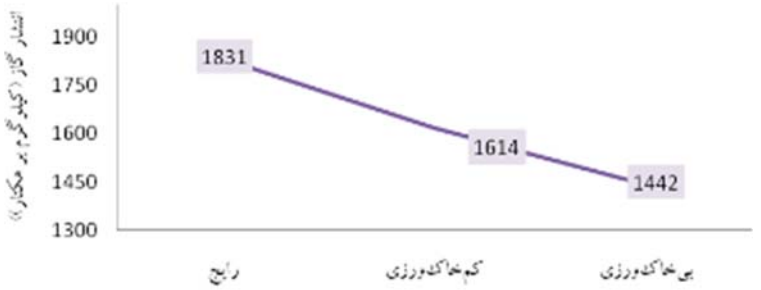
نتیجه‌گیری

مقادیر انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی و انرژی بذر) و تجدیدناپذیر (سوخت،کود، ماشین‌های کشاورزی، آفت‌کش‌ها و حمل و نقل) در شکل ۱-الف نشان داده شده است. با دقت در شکل مشاهده می‌شود که

در هر سه سیستم تولید، بخش زیادی از انرژی مصرفی مربوط به انرژی تجدیدناپذیر است و سهم انرژی-های تجدیدپذیر (بذر و نیروی انسانی) در تولید آفتابگردان دیم بسیار ناچیز است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در کشاورزی می‌تواند موجب اصلاح بازده انرژی و پایداری در تولید شود، زیرا منابع انرژی (مانند سوخت‌های فسیلی) محدود هستند و از طرفی موجب تخریب محیط زیست می‌شوند.



(الف)



(ب)

شکل ۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (بر حسب معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار) در سه روش خاک‌ورزی

از طرفی در هر سه روش کود نیتروژن و سوخت بخش زیادی از تولید گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. بر اساس نظر کارشناسان خاک و آب، در مصرف کود نیتروژن در منطقه زیاده‌روی می‌شود. بنابراین برای توصیه‌های کودی، بایستی نمونه‌برداری از خاک هر منطقه و تعیین خواص

فیزیکوشیمیایی و میزان حاصل‌خیزی آن را به عنوان مهم‌ترین معیار در نظر گرفت و با مصرف بهینه کود نیتروژن بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد محصول، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. بنابراین با مدیریت بیشتر در مصرف دقیق و بموقع نهاده‌ها و استفاده از ماشین‌های کشاورزی در زمان بهینه و پرهیز از انجام عملیات اضافی می‌توان تا حدی میزان ورودی انرژی‌های تجدیدناپذیر را کاهش داد. همچنین مطابق جدول ۷ و ۸، تفاوت قابل توجهی در انرژی ورودی نهاده‌ها و عملیات زراعی و انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود داشت. این تفاوت قابل توجه در میزان مصرف نهاده‌ها و عملیات زراعی در روش‌های مختلف تولید، بیانگر مدیریت نادرست مصرف نهاده‌ها و زیاده‌روی در انجام عملیات و مصرف سوخت است که موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در خاک‌ورزی رایج، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف سوخت بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (۴۳/۳ درصد) را به خود اختصاص داد. پس از آن مصرف کود نیتروژن و ماشین‌های کشاورزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بنابراین با کاهش میزان سوخت مصرفی (نوسازی ماشین‌های کشاورزی و استفاده از ادوات جدید و پیشرفته، انجام عملیات در رطوبت بهینه خاک و پرهیز از انجام عملیات اضافی) می‌توان میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. مصرف بیشتر نهاده سوخت علاوه بر کاهش بهره‌وری انرژی، موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی زیست محیطی شد. بنابراین با استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی زمینه مناسبی برای اصلاح کارآیی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در روش‌های تولید آفتابگردان در شرایط دیم وجود دارد.

منابع

- Adnan, C. Altynta, G. Erdal, G. 2009. Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production. Case study for Tokat region. Turkey J. Food, Agriculture and Environment. 639-644.
- Ahadi, M.S. 2014.Workshop on Empowering Departments in CalculatingGreenhouse gasinventory. University of the Environment. Karaj.
- Alipour, A., Keshavarz Afshar, R., Ghaleh Golab Behbahani, A., Karimi Nejad, A., and Mohammadi, V. 2013.Investigation of energy flow in irrigated wheat ecosystems: A case study: Rey township. Journal of SustainableAgriculture Knowledge 23: 69-106. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi-Hamzian M., Hassanzadeh qourt-tapeh A. 2008. Evaluation of energy and economy in nuts and oily seeds of sunflower in Khoy. Journal of Research in Crop Sciences. 1 (2): 67-79.
- Almassi, M., Kiani, S. and Lovimi, N. 2008. Principles of Agricultural Mechanization (4th ed.). Jungle Publications International. (In Persian).
- Brentrup F., Küsters J., Lammel J., Kuhlmann H .2000.Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The international journal of life cycle assessment. 5 (6): 349- 357.
- Daman-keshide, M., Nazari, M., Rezayee, E. 1398. Investigating factors affecting CO2 emissions in Iran (case study of power plants). Journal of financial economics. 12 (3): 63-80.

- Faizbakhsh, M.T., Soltani, A. 2012. Energy flow and global warming potential in grain corn fields (Gorgan city). Journal of crop production. 6 (3): 89-107. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Geraghty J. 2008. Sustainable crop production and climate change - reducing emissions inthe Irish arablesector. In: Institute of International and European Affairs (ed.) Proceedings of the Conference TheGreening of Irish Agriculture, Institute of International and European Affairs, Dublin Castle, Ireland , pp. 20–21.
- Haj-Seyed-Hadi, M.R. 2012. Energy Efficiency of Potato Crop in Major Production Regions of Iran. International Journal of Agricultulture. Crop Sci. 4 (2): 51-53.
- Karbasi A., Rahimi N. 2009. Environmental considerations of the energy sector. International Energy Agency (IEA).
- Khalili-Iraqi, M., Sharzei, G., Hashodori, S. 2013. Analysis of carbon dioxide emissions caused by energy consumption in Iran. Environmental Journal, 38 (61): 93-104
- Khanali, M., Elhami, B., Eslami, H., Hosseinpoor, S. 2018.Evaluating and comparing environmental indicators of hybrid maize production with three different harvesting methods in Alborz province using the life cycle assessment method.Journal of Agroecology. 9 (4): 892-909. (In Persian with English abstract).
- Khoramdel S., Amin Ghafuri A. 2015. Evaluation of environmental impacts for saffronagroecosystems of Khorasan based on nitrogenfertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA). Journal of Saffron Research. 2: 152-166. (InFarsi).
- Koochacki, A. and Hosseini, M. 1999. Energy productivity in agricultural ecosystems. MashadUniversity Press. 317 pp. (In Persian).
- Lal, R., Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutr. Cycling Agroecosyst. 49: 243–253.
- Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. Env. Int. 30: 981-990.
- Mehrabi-Boshrabadi, H., and Esmaaeli, A. 2012. Analysis of energy input-output in Iran agriculture. Agric. Economy & Extension. 19: 74. (In Persian).
- Mirhaji, M., Khojastepour, M., Abbaspourfard, M., Mahdavi Shahri, M. 2013. Evaluation of resource depletion in sugar beet production with life cycle assessment method. (Case study: South Khorasan Province, Khazari Agricultural Joint Stock Company). The fifth national conference and specialized exhibition of environmental engineering, Tehran, Iran.
- Mohammadi, A., Omid, M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy. 87: 191-196.
- Pazoki-torodi, M., Ajam-novrozi, H., Qanbari-malidareh, A., Dadashi, M.R., Dastan, S. 2018.Assessment of energy bill and carbon dioxide emissions in wheat production fields. Journal of Agroecology. 9 (4): 1168-1193. (In Persian with English abstract).
- Razzaqi, M.H., khad-Alhoseini, N., Jovkar, L. 2008. Study the effect of tillage reducing on energy consumption forage corn production. 2ndNational Congress of Ecological Agriculture. (In Persian with English abstract).
- Reicosky, D.C., Dugas, W.A., Torbert, H.A.. 1997. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. Soil Tillage Res. 41:105–108.
- Safa M., Tabatabaeefar A. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dry land farming . Proceeding of international Agriculture Engineering, Wuxi, China, Now, 28-30.

- Singh, G., Singh, S., Singh, J. 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management, 45, 453-65.
- Snedecor G.W., and Cochran W. G. 1989. Statistical methods. Iowa State University Press.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen. 2009. Review of greenhousegas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agricultural Ecosystem Environment. 133(3–4): 247-266.
- Taheri-Rad A. R., Nikkhah A., Khojastehpour M., Nourozieh S.2015. Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cottonproduction in the Golestan province. Journal of Agricultural Machinery. 5 (2): 428-445.
- Valadiani, A., Hasanzadeh-Ghourtapeh, A. and Valadiani, R. 2005.Study of energy balance indryland wheat seed cultivars in seed reproduction fields and its effect on the environment in East Azerbaijan province. Agriculture Sciences Journal. 15: 1-12. (In Persian).
- Yosefi, M., Mahdavi-Damghani, A., Khosh-bakht, K. and Veisy, H.2011. Renewable and nonRenewable energy use pattern of rainfed wheat agroecosystems in iran. Wold Applied Sciences journal. 13 (6): 1389-1403.

پهنه‌بندی سلامت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر با شاخص خشک‌سالی ترکیبی SDI

سمیه زارع[۱]، سید حمیدرضا صادقی*[۲]، رضا چمنی[۳]، سید وحید موسوی[۴]

۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(somayezare@modares.ac.ir)

*۲- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(sadeghi@modares.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(Reza.Chamani@modares.ac.ir)

۴- استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(v.moosavi@modares.ac.ir)

چکیده

امروزه ارزیابی سلامت حوزه‌های آبخیز به یکی از رهیافت‌های بشر در راستای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و دستیابی به توسعه پایدار است. حال آن که بررسی جامع و درخور مقیاس مناسب آن و یا معیارهای جامع انجام نشده است. بر همین اساس در این پژوهش سعی شده است وضعیت پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه های آبخیز جنوبی دریای خزر با رویکرد مدیریتی $R_{el}R_{el}V_{ul}$ مورد ارزیابی قرار گیرد. برای انجام این پژوهش از شاخص ترکیبی خشک‌سالی SDI با استفاده از متغیرهای شاخص پوشش‌گیاهی (VCI)، شاخص دمایی (TCI) و شاخص بارندگی (PCI) استفاده شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که بارندگی و پوشش‌گیاهی از غرب به شرق حوزه آبخیز کاهش و دما افزایش یافته است. هم‌چنین نتایج ارزیابی سلامت نشان داد شاخص پایایی در تمام زیرآبخیزها در گروه متوسط سلامت واقع شده است. اما شاخص تاب‌آوری در سه گروه خیلی ناسالم، ناسالم و متوسط سالم قرار گرفته است. شاخص آسیب‌پذیری نیز طبقه‌های خیلی ناسالم، ناسالم، متوسط سالم و سالم را به خود اختصاص داده است. شاخص متوسط سلامت آبخیز نیز مبین آن است که زیرآبخیزهای مختلف در سه طبقه خیلی ناسالم، ناسالم و متوسط سالم پهنه‌بندی شده است. با توجه به آسیب‌پذیر بودن حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر نسبت به متغیرهای مختلف، ارائه راه‌کارهای مدیریت بلندمدت در راستای کاهش خطرات احتمالی ضروری است.

واژه‌های کلیدی:

تاب‌آوری آبخیز، رویکردهای مدیریتی، متغیرهای اقلیمی، مدیریت جامع آبخیز.

مقدمه

امروزه ارزیابی سلامت بوم‌سازگان به یکی از اولویت‌های اساسی و حیاتی تمام دولت‌ها، پژوهش‌گران و مدیران در سرتاسر جهان در راستای دست‌یابی به اهداف مدیریت سازگار تبدیل شده است، به‌طوری‌که یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها در مدیریت پایدار حوزه آبخیز را به خود اختصاص داده است (شاهدی و همکاران، ۱۴۰۱). در حال حاضر خطرات زیادی از جمله گسترش بی‌رویه صنایع، رشد جمعیت، تغییرات کاربری اراضی، تغییر اقلیم و خشک‌سالی[5]سلامت بوم‌سازگان را تهدید می‌کند و ارائه خدمات از سوی حوزه‌های آبخیز را با مشکل مواجه ساخته است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱; Chamani و همکاران، ۲۰۲۲). در این میان، خشک‌سالی و ارتباط آن با پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز از اهمیت ویژه‌ای در تدوین برنامه‌های مرتبط با مدیریت جامع حوزه آبخیز برخوردار است. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین بر شرایط جوی و هیدرولوژیکی بوم‌سازگان‌ها تأثیر گذاشته و افزایش خشک‌سالی‌های شدید را در پی داشته است. به‌نحوی‌که خشک‌سالی از مشکلات اصلی است که بشر در سال‌های اخیر با آن مواجه بوده است (Lindsay و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌گران برای پایش خشک‌سالی و بررسی اثرات آن بر منابع آب و خاک از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. در این میان، شاخص SDI[6] یکی از شاخص‌های محاسبه خشک‌سالی است که برآیندی از سه شاخص دما، بارش و تفاضل پوشش‌گیاهی نرمال‌شده است (عبادی‌نهاری و همکاران، ۱۴۰۲). حال آن‌که مقوله‌های مرتبط بر خشک‌سالی، از جمله تأثیر آن بر سلامت حوزه آبخیز کم‌تر مورد توجه قرارگرفته است و هم‌چنین با توجه به ماهیت و اثرات خشک‌سالی، استفاده از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی سلامت حوزه‌های آبخیز امری ضروری است (چمنی و همکاران، ۱۴۰۱). تاکنون رویکردهای مختلفی از جمله چارچوب‌های مفهومی $R_{el}R_{el}V_{ul}$[7]، PSR[8] و VOR[9] برای ارزیابی سلامت آبخیز و مبتنی بر خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه چمنی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی سلامت حوزه آبخیز چالوس را بر اساس تغییرات پایایی (R_{el}) تاب‌آوری (R_{es}) و آسیب‌پذیری (V_{ul}) تحت تأثیر خشک‌سالی مستند به دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج به‌دست آمده دلالت بر متوسط بودن شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و طبعاً نقش دخالت‌های ماشه‌ای انسانی در تهدید سلامت آبخیز چالوس دارد و یافته‌های موردبررسی نقش مهمی در تبیین شیوه‌های مدیریت سازگار حوزه آبخیز مذکور ایفا خواهد کرد. هم‌چنین چمنی و همکاران (۱۴۰۲) تأثیر خشک‌سالی بر سلامت حوزه آبخیز افین را با روش $R_{el}R_{el}V_{ul}$ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که با توجه به ثبات نسبی بارندگی، تأثیر

5Drought
6 Synthesized Drought Index
7 Realability-Reseliance-Vulnerability
8 Presser-State-Response
9 Vigor-Organizatinon- Reseliance

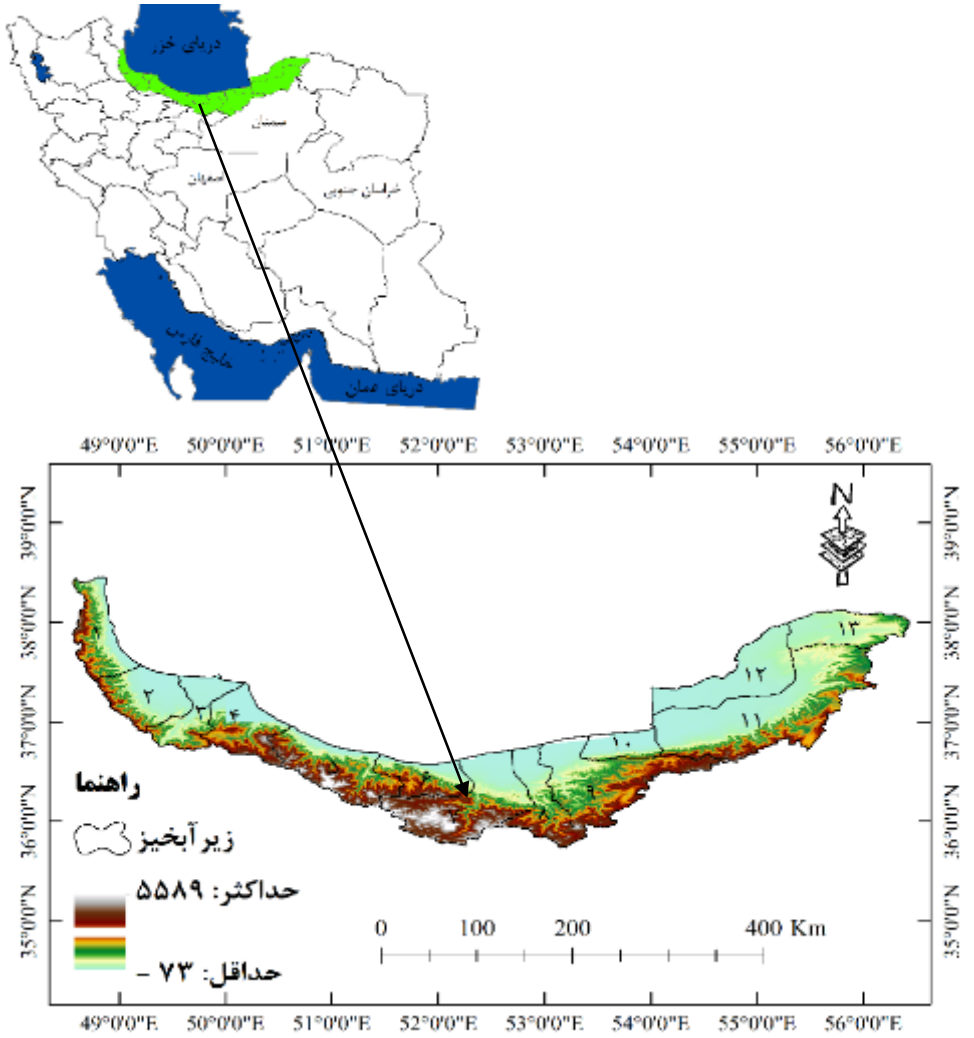
دخالت‌های انسانی و تشدید عوامل تهدیدکننده سلامت آبخیز، بیش از پیش بر وضعیت موجود تأثیرگذار بوده است و در صورت عدم‌توجه به آن تاثیرات زیان‌باری در پی خواهد داشت. در مستندات خارجی نیز Chanda و همکاران (۲۰۱۴) یک حوزه آبخیز در هند با استفاده از مدل $R_{el}R_{el}V_{ul}$ و داده‌های رطوبت خاک، روند خشک‌سالی را موردبررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که منطقه دارای تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی بوده و برای مهار خشک‌سالی نیاز به مدیریت منابع آب دارد. Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۷) از رویکرد شاخص‌های پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری ($R_{el}R_{el}V_{ul}$) مبتنی بر شاخص خشک‌سالی (SPI) برای ۲۴ زیرحوزهٔ آبخیز شازند استفاده کردند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها، دلالت بر تغییرات مکانی و زمانی شاخص سلامت حوزه آبخیز در منطقهٔ مطالعاتی داشت و نشان داد که تمامی زیرحوزه‌های آبخیز موردمطالعه در دوره زمانی پژوهش در شرایط ناسالم و بسیار ناسالم قرار گرفتند. Chamani و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای، اثر تغییر اقلیم و خشک‌سالی بر سلامت حوزه آبخیز افین بر اساس تغییرات شاخص‌های پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری در دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ را مورد ارزیابی قرار دادند. سپس شاخص بارش نرمال شده (SPI) بر اساس میانگین و انحراف معیار داده‌های ماهانه تعیین شد. نتایج سالانه نشان داد که میانگین شاخص سلامت آبخیز در این دوره ۰/۴۲ است که نشان‌دهنده میانگین وضعیت سلامت آبخیز است. هم‌چنین نتایج تجزیه‌وتحلیل بارندگی منطقه حاکی از آن است که با توجه به پایداری نسبی بارندگی، تأثیر مداخلات انسانی و تشدید عوامل تهدیدکننده سلامت آبخیز، بیش از هر زمان دیگری بر وضعیت کنونی اثر گذاشته و در صورت عدم‌توجه، آثار زیان‌باری خواهد داشت. به هر تقدیر پایش و مدیریت سلامت و خشک‌سالی در یک منطقه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک ابزار مناسب در پایش زمانی و مکانی است. اطلاع از نحوه وقوع و تهیه نقشه‌های شدت خشک‌سالی بر اساس روش‌های نوین و جدید تأثیر بسیار مثبت و جدی در مدیریت خشک‌سالی در یک منطقه دارد. یکی از روش‌های جدید و پرکاربرد در پایش زمانی و مکانی خشک‌سالی استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی چند متغیره مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای است که اخیراً نیز در مباحث مربوط به خشک‌سالی از آن استفاده می‌شود. هدف انجام این پژوهش ارزیابی تأثیر خشک‌سالی بر سلامت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شکل ۱ منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این پژوهش در آبخیز جنوبی دریای خزر از استان گستان در شرق تا گیلان در غرب را در بر می‌گیرد. در این منطقه بارندگی از حدود

۵۰۰ میلی‌متر در شرق تا ۱۱۰۰ میلی‌متر در غرب متفاوت است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱). تغییرات ارتفاعی این منطقه نیز از ۷۳- تا ۵۵۸۹ متر متفاوت است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه و پراکنش مکانی ارتفاعی آن

روش پژوهش

برای پهنه‌بندی سلامت حوزه‌های آبخیز دامنه شمالی البرز از شاخص خشک‌سالی تلفیقی (SDI) استفاده شد. برای محاسبه شاخص SDI، حاصل از ترکیب سه شاخص وضعیت پوشش‌گیاهی (VCI[1])، شاخص

1 Vegetation Condition Index

وضعیت دما (TCI[1]) و شاخص وضعیت بارندگی (PCI[2]) طی دوره آماری مشترک ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ و مقیاس مکانی مشابه استفاده شد. برای همین منظور شاخص اختلاف نرمال‌شده پوشش‌گیاهی (NDVI)، دمای سطح زمین (LST) و داده‌های بارندگی (PCI) از داده‌های سنجده MODIS و داده‌های بارش از سازمان هواشناسی ایران حاصل شد. هم‌چنین شاخص VCI (Kogan, F.N، ۱۹۹۵) به‌عنوان معرف وضعیت پوشش‌گیاهی یک منطقه و تابعی از حداقل و حداکثر NDVI برای یک دوره چند ساله از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$VCI = \frac{NDVIi - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}$$ رابطه (۱)

بازه تغییرات این شاخص بین صفر و یک است. زمانی‌که VCI به صفر نزدیک می‌شود، نشان‌دهنده یک ماه بسیار خشک است و زمانی‌که VCI به بیش‌ترین مقدار نزدیک می‌شود، وضعیت خشک‌سالی بهبود می‌یابد. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی در پی، به ازدیاد خشک‌سالی اشاره دارد (Thenkabail و همکاران، ۲۰۰۴).

شاخص وضعیت دما (TCI) برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش‌گیاهی تعریف شده است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$TCI = \frac{LSTmax - LSTi}{LSTmax - LSTmin}$$ رابطه (۲)

در این رابطه LSTi، دمای سطح پیکسل مورد نظر و LSTmax، بیشینه دما مربوط به آن پیکسل و LSTmin، کمینه دمای سطح در آن پیکسل است. بازه تغییرات این شاخص بین صفر و یک است و مقدار بالای LST با شدت خشک‌سالی ارتباط نزدیک دارد (Do و همکاران، ۲۰۱۲).

شاخص وضعیت بارش (PCI) ماهانه (Do و همکاران، ۲۰۱۲) نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$PCI = \frac{TRMM - TRMMmin}{TRMMmax - TRMMmin}$$ (۳)

مقدار TRMMmax و TRMMmin، به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر حداکثر و حداقل مقدار شاخص در ماه مورد نظر است. نهایتاً و پس از محاسبه ورودی‌های اساسی مطالعاتی و اطمینان از مستقل بودن متغیرها، از رابطه‌های (۴) تا (۶) برای تعیین و ارزیابی سلامت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر مبتنی بر شاخص‌های پایایی (R_{el})، تاب‌آوری (R_{es}) و آسیب‌پذیری (V_{ul}) استفاده شد.

$$Reliability(R_{el}) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{M} d[j]}{T}$$ رابطه (۴)

$$Resilience(R_{es}) = \{\frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} d(j)\}^{-1}$$ رابطه (۵)

$$Vulnerability(v_{ul}) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{T}\{[\frac{L_{obs}(i) - L_{std}(i)}{L_{std}(i)}]H[L_{obs} - L_{std}(i)]\}$$ رابطه (۶)

1 Temperature Condition Index
2 Precipitation Condition Index

در این روابط M تعداد وقایع شکست است، d(j) مدت زمان رویداد شکست j^{th}است، T تعداد کل فواصل زمانی، $L_{obs(i)}$ مقدار مشاهده شده، $L_{std(i)}$ مقدار حد آستانه و [H] عملکرد تابع پله‌ای[۱۳]است. این تابع برای جلوگیری از ورود حوادث شکست در محاسبه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار کل [H] در معادله مزبور برای مقادیر منفی، صفر و مقادیر مثبت به‌ترتیب صفر، یک و نیم در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین نرمال‌سازی داده‌ها برای حذف اثرات بزرگی و ایجاد قابلیت مقایسه داده‌ها با یکدیگر با استفاده از رابطه (۷) صورت گرفت (Hazbavi وSadeghi ، ۲۰۱۷).

$$Y = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$ رابطه (۷)

در نهایت با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های پایایی (R_{el})، تاب‌آوری (R_{es}) و آسیب‌پذیری (V_{ul}) مبتنی بر مقادیر میانه شاخص‌های مطالعاتی در دوره مزبور به عنوان حدود آستانه شکست، وضعیت کلی سلامت حوزه آبخیز بر اساس رابطه (۸) مورد ارزیابی قرار گرفت (Wiegand و همکاران، ۲۰۱۳).

$$(R_{el}R_{es}V_{ul}) = [\prod_{i=1}^{3} R_{el}.R_{es}.V_{ul}]^{1/3}$$ رابطه (۸)

پس از تعیین این مقادیر و محاسبه شاخص‌های سلامت حوزه آبخیز، وضعیت سلامت حوزه آبخیز در پنج طبقه خیلی سالم (۰/۸۱ تا ۱)، سالم (۰/۶۱ تا ۰/۸)، متوسط (۰/۴۱ تا ۰/۶)، ناسالم (۰/۲۱ تا ۰/۴) و خیلی ناسالم (۰ تا ۰/۲) طبقه‌بندی شد (Chamani و همکاران، ۲۰۲۳).

نتایج و بحث

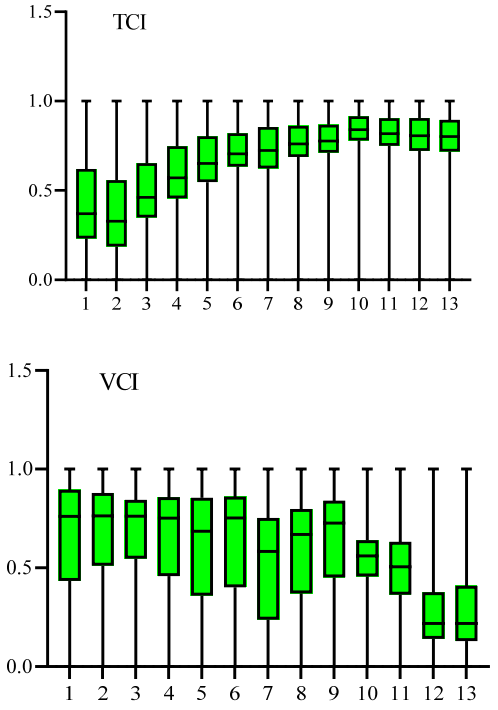
برای تعیین مستقل بودن متغیرها از یک‌دیگر و تعیین ضریب اثر هرکدام از معیار عامل تورم واریانس[۱۴] (VIF) و ضریب همبستگی استانداردشده (β) استفاده شد. بر این اساس متغیرهای با VIF کم‌تر از ۱۰ مستقل از یکدیگر است. باتوجه به جدول ۱، هر سه متغیر دارای مقادیر کم‌تر از ۱۰ بوده و از همدیگر مستقل است. لذا از هر سه متغیر در تعیین شاخص خشک‌سالی SDI استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در این شاخص، متغیر بارندگی با ۸۱/۱۵ درصد بیش‌ترین مشارکت و شاخص NDVI با ۳/۲۸ درصد کم‌ترین مشارکت را داشته است.

1 Haviside Step Function
1 Variance Inflation Factor

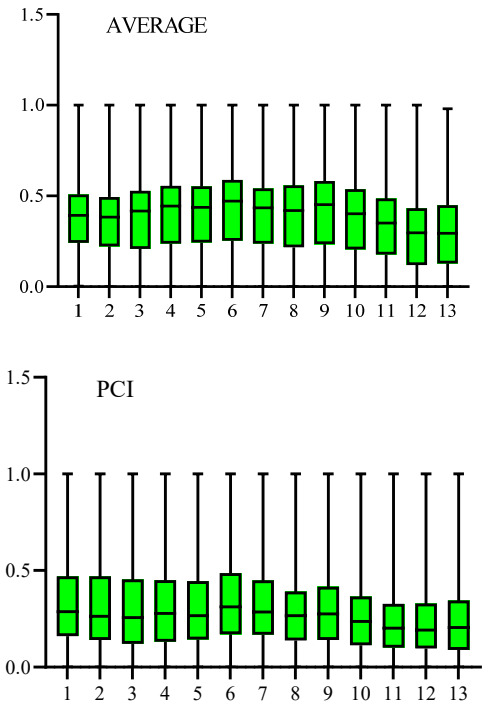
جدول ۱- مقادیر VIF و درصد مشارکت متغیرها

متغیرهای مورد استفاده	عامل تورم واریانس	ضریب همبستگی استانداردشده	درصد مشارکت
شاخص دمایی (TCI)	۱/۷۲	۰/۱۹	۱۵/۵۷
شاخص وضعیت پوشش‌گیاهی (VCI)	۱/۶	۰/۰۴	۳/۲۸
شاخص بارش (PCI)	۱/۱۴	۰/۹۹	۸۱/۱۵

در شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات شاخص وضعیت پوشش‌گیاهی (VCI)، شاخص دمایی (TCI)، شاخص بارش (PCI) و متوسط این سه شاخص نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زیرآبخیزهای غربی، TCI نسبت به زیرآبخیزهای شرقی (از آبخیزهای ۱ به ۱۳ شکل ۱) از مقدار کم‌تری برخودرار بوده است. بر خلاف TCI، شاخص VCI از شرق به غرب افزایش پیدا می‌کند. PCI نیز همانند شاخص VCI از سمت غرب دریای خزر به شرق کاهش پیدا کرده است.

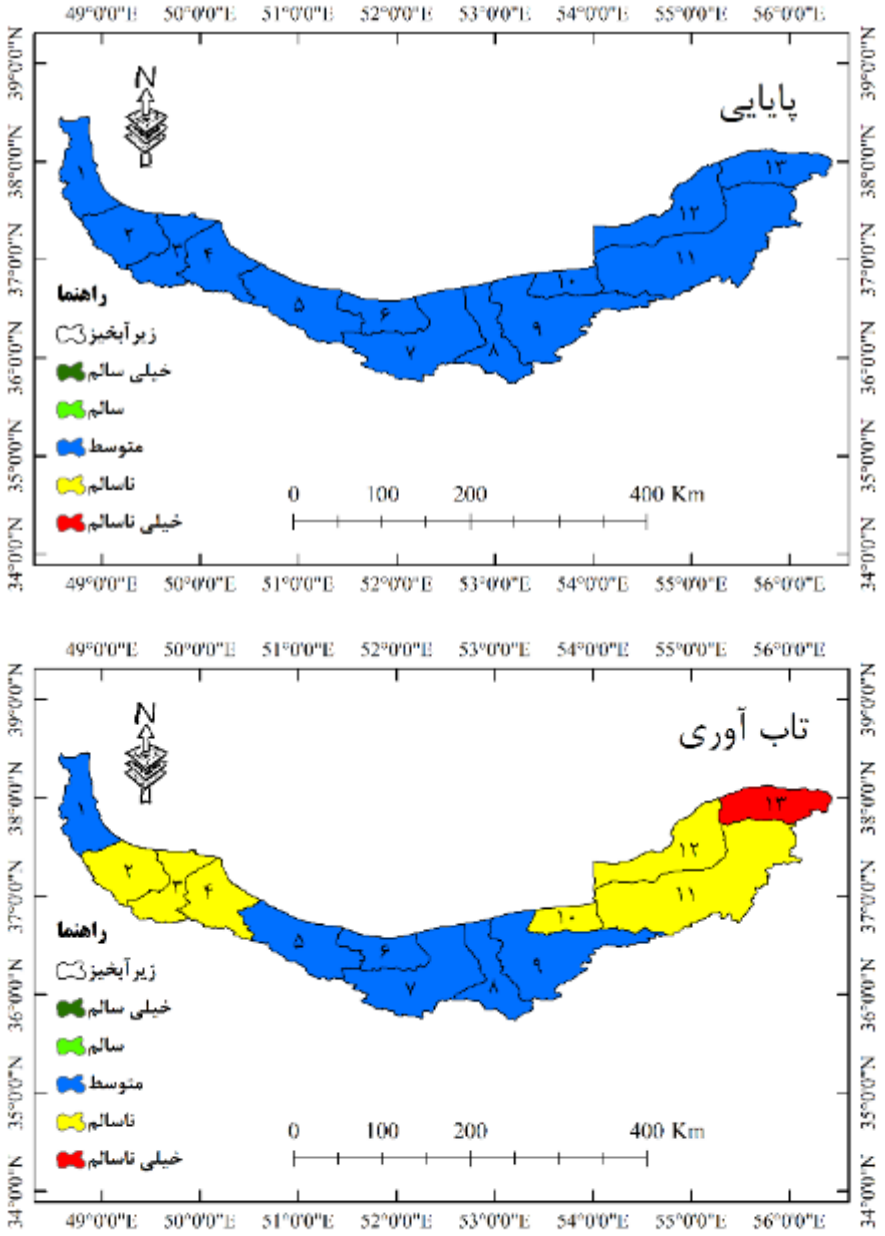


شکل ۲- تغییرات شاخص وضعیت پوشش‌گیاهی (VCI)، شاخص دمایی (TCI)

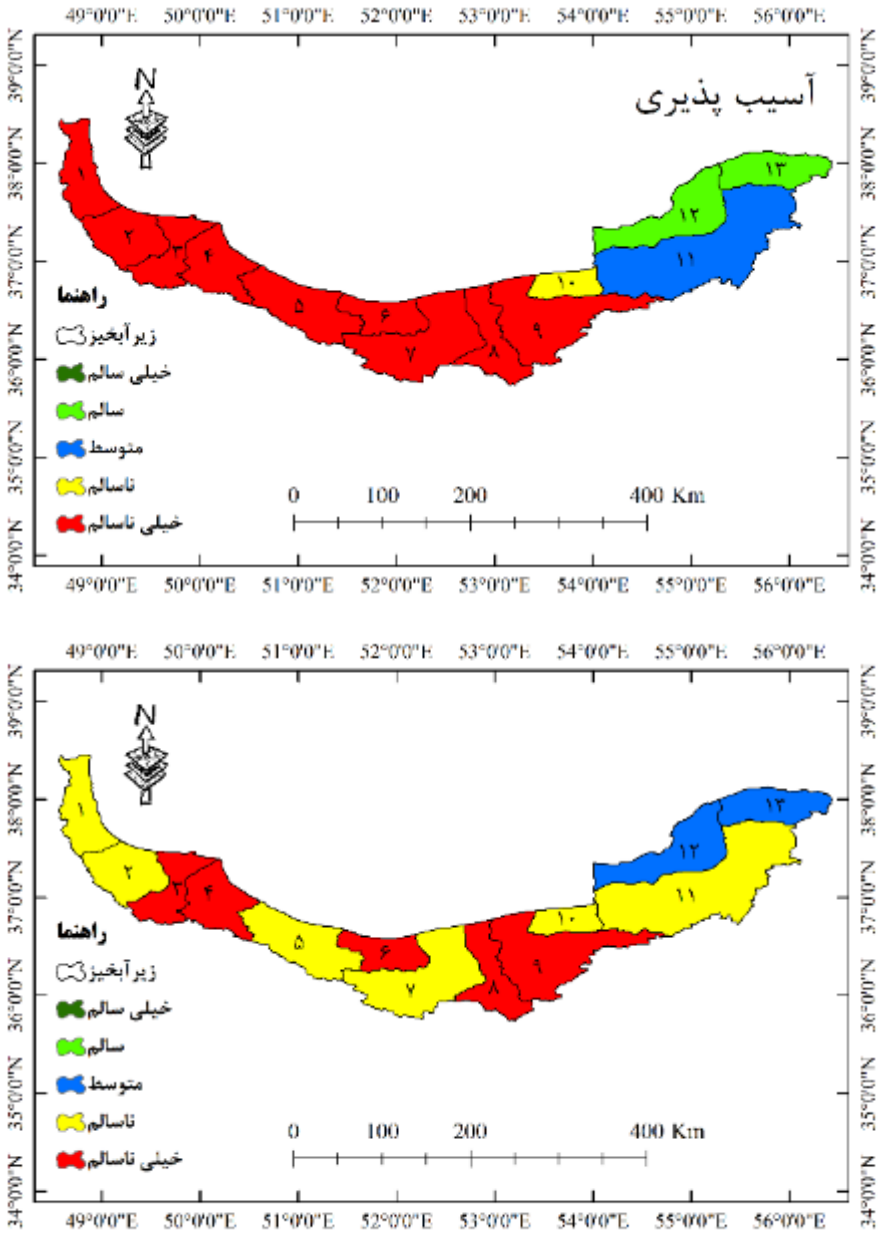


شکل ۳- تغییرات شاخص بارش (PCI) و میانگین سه شاخص

در شکل ۴ تغییرات مکانی شاخص پایایی و تاب‌آوری نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص پایایی در تمام زیرآبخیزها در طبقه متوسط واقع شده است. این در حالی است که تاب‌آوری از پراکنش مکانی بیش‌تری برخوردار بوده و طبقه‌های خیلی ناسالم (زیرآبخیز ۱۳)، ناسالم (آبخیزهای ۲، ۳، ۴، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) و متوسط (آبخیزهای ۱، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹) را شامل می‌شود. شاخص‌های آسیب‌پذیری و متوسط سلامت نیز در شکل ۳ مبین آن است که شاخص آسیب‌پذیری در آبخیزهای ۱ تا ۹ خیلی ناسالم، آبخیز ۱۰ ناسالم، آبخیز ۱۱ متوسط و آبخیزهای ۱۲ و ۱۳ سالم طبقه‌بندی شده است. متوسط سلامت در آبخیزهای موردمطالعه کاملاً متفاوت و از تغییرات مکانی گسترده‌تری برخوردار است. بر اساس شکل ۵ آبخیزهای ۳، ۴، ۶، ۸ و ۹ در طبقه خیلی ناسالم قرار گرفته‌اند. هم‌چنین آبخیزهای ۱، ۲، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۱ شرایط ناسالم و تنها آبخیزهای ۱۲ و ۱۳ شرایط سلامت متوسط دارند.



شکل ۴- تغییرات مکانی شاخص‌های پایایی و تاب‌آوری در حوزه آبخیز جنوب دریای خزر



شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص‌های آسیب‌پذیری و سلامت در حوزه آبخیز جنوب دریای خزر

همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده، پراکنش مکانی شاخص‌های سلامت بسیار متفاوت است. پایایی اولین شاخص است که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت و بیان‌کننده آن است که وضعیت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر از شرایط نسبتاً یکنواخت و متوسطی برخوردار است و از غرب به شرق تغییر نمی‌کند اما تاب‌آوری آبخیزها متفاوت است. در آبخیزهای شرقی به‌دلیل کاهش بارندگی‌ها و هم‌چنین نوسانات زمانی بارش، تاب‌آوری آبخیزها کم‌تر و در شرایط ناسالم و خیلی ناسالم قرار گرفته است. در همین راستا مطالعات علی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) بیان‌کننده آن است که در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ حدود ۹۸ درصد شهرستان‌های غربی استان گلستان در معرض خشک‌سالی شدید و دو درصد دیگر در معرض خشک‌سالی خیلی‌شدید قرار داشته است. هم‌چنین باتوجه به هم‌جواری این منطقه با صحرای ترکمنستان، پتانسیل بروز خشک‌سالی در این منطقه را افزایش داده که این امر تاب‌آوری آبخیزهای شرقی منطقه موردمطالعه را نیز تحت تاثیر قرار داده است. اگر چه در شرایط فعلی آسیب‌پذیری آبخیزهای شرقی در طبقه متوسط و سالم دیده می‌شود، اما به‌دلیل پایین بودن شرایط تاب‌آوری آن‌ها، در صورت تغییر شرایط و کاهش بارندگی و افزایش دما، آسیب‌پذیری آن‌ها افزایش خواهد یافت که می‌تواند وضعیت جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. این مساله زمانی اهمیت پیدا می‌کند که نتایج پژوهش نیرومند و همکاران (۱۳۹۷) در حوزه آبخیز محمدآباد استان گلستان نشان‌دهنده افزایش دما در طول سال و کاهش بارندگی در بهار و تابستان در دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ است. مطالعات شاهبایی‌کوهتنایی و همکاران (۱۳۹۷) در استان مازندران نیز نشان می‌دهد در این استان دما و بارش به‌طور مرتب در دوره بازگشت‌های ۳ و ۵ ساله در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴ رخ داده است. وجود این چرخه منظم در کاهش و افزایش بارش و دما سبب شده است تا آبخیزهای واقع در بخش میانی حوزه آبخیز موردمطالعه از پایایی و تاب‌آوری متوسطی برخوردار باشند. اما نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که علی‌رغم وجود پایایی و تاب‌آوری متوسط دراین منطقه، پتانسیل بالای آسیب‌پذیری را نیز داراست و در صورت تغییر در شرایط اقلیمی فعلی، سبب بروز رخدادهای جبران‌ناپذیری در این منطقه خواهد شد. در همین راستا محمدپور زیدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز با ارزیابی خشک‌سالی در استان مازندران بیان می‌کنند خشک‌سالی در این استان از سمت شرق به غرب در حال افزایش است و از طبقه خشک‌سالی کم به خشک‌سالی شدید در حال تغییر است. هم‌چنین در این استان مراکز با خشک‌سالی شدید در مجاورت یکدیگر قرار دارد که آسیب‌پذیری منطقه را در مقیاس بزرگ افزایش می‌دهد و در راستای نتایج این پژوهش است. در آبخیزهای غربی منطقه موردمطالعه به‌دلیل بالا بودن مقدار بارندگی و وابستگی بیش‌تر این مناطق به رطوبت، سبب شده است تا کم‌ترین تغییر در شرایط اقلیمی سلامت آن‌ها را تحت تاثیر قرار داده و سبب بروز آسیب به این نواحی شود. این امر به وضوح در شاخص آسیب‌پذیری دیده می‌شود. مطالعات رضایی و قربان پور (۱۳۹۷) در ارزیابی فضایی بارش استان گیلان در دوره ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۴ بیان‌کننده آن است که تغییرات بارندگی در ایستگاه‌های استان از روند خاصی پیروی نمی‌کند که

وجود عدم الگوی خاص کاهشی یا افزایش سبب آسیب‌پذیرتر شدن منطقه شده است. هم‌چنین مطالعات تاج‌بخش و همکاران (۱۳۹۷) در استان گیلان حاکی از آن است که بارندگی‌های شدید ۴۷ درصد رشد داشته است که این امر سبب هدر رفت سریع آب و کاهش نفوذ و بهره‌وری آب در منطقه می‌شود و در درازمدت آسیب‌پذیری منطقه را افزایش خواهد داد که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است. شاخص سلامت متوسط آبخیزها نیز بیان‌کننده آن است که سلامت متوسط آبخیزها در بخش‌های مختلف شکننده است. به‌طوری‌که به‌جز آبخیزهای ۱۲ و ۱۳، سایر آبخیزها در شرایط ناسالم و خیلی ناسالم قرار دارند که نیازمند توجه بیش‌تر و بهتر می‌باشند. مطالعات متعددی سلامت حوزه‌های آبخیز را بر اساس شاخص خشک‌سالی موردمطالعه قرار داده‌اند. در این راستا، Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۷) تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های $R_{el}R_{es}V_{ul}$ مبتنی بر خشک‌سالی در حوزه آبخیز شازند برای سه سال ۱۹۸۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۸ را ارزیابی و بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که تمام زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند در تمام سال‌های موردمطالعه در شرایط ناسالم و بسیار ناسالم قرار دارند. هم‌چنین Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸) تغییر شاخص‌های قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری با توجه به الگوهای خشک‌سالی در سه حوزه آبخیز Foyle در ایرلند شمالی، Xarrama در پرتغال و شازند در ایران را ارزیابی نمودند. متوسط شاخص سلامت به‌ترتیب برای آبخیزهای Foyle، Xarrama و شازند ۰/۵۴، ۰/۵۳ و ۰/۳۷ به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر چمنی و همکاران (۱۴۰۱) با ارزیابی سلامت حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر خشک‌سالی در استان مازندران بیان داشتند شاخص‌های R_{el}، R_{es} و V_{ul} به ترتیب ۰/۵، ۰/۲۳ تا ۰/۶۲ و ۰/۰۶ تا ۱ بوده است. نهایتاً متوسط شاخص سلامت حوزه آبخیز چالوس بر اساس پویایی شاخص خشک‌سالی ۰/۴۵ و در گروه متوسط بود. نتایج پژوهش چمنی و همکاران (۱۴۰۲) با ارزیابی زمانی و مکانی سلامت مبتنی بر خشک‌سالی در حوزه آبخیز افین خراسان جنوبی نیز نشان داد آبخیز افین به لحاظ شاخص‌های R_{el}، R_{es} و V_{ul} به‌ترتیب مقادیری بین۰/۸۳-۰/۹۲، ۰/۱۷-۰/۳۳ و ۰/۲۴-۰/۵۴ را دارا است. شاخص $R_{el}R_{es}V_{ul}$ نیز مقادیری بین ۰/۳۷-۰/۵۳ را به خود اختصاص داده است. هم‌چنین متوسط شاخص سلامت آبخیز در این دوره ۰/۴۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده قرارگیری سلامت آبخیز در گروه متوسط است. تغییرات مکانی سلامت آبخیز نیز نشان داد شاخص‌های R_{el}، R_{es} و V_{ul} در آبخیزهای مختلف به‌ترتیب مقادیری بین ۰/۸۵-۰/۸۶، ۰/۲۱-۰/۲۴ و ۰/۷۶-۰/۷۸ را دارا هستند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سلامت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر با استفاده از شاخص‌های پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و سپس با استفاده از داده‌های به‌دست آمده، سلامت آبخیزها با رویکرد $R_{el}R_{es}V_{ul}$ تعیین شد. با توجه به تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، دما از شرق به غرب افزایش اما NDVI و

بارندگی برخلاف دما، از شرق به غرب کاهش می‌یابد. هم‌چنین پایایی، تاب‌آوری به‌دست آمده از نتایج نشان می‌دهد که وضعیت حوزه‌های آبخیز جنوبی دریای خزر از شرایط متوسطی برخوردار، اما پتانسیل آسیب‌پذیری منطقه بالاست. لذا ضروری است در زیرحوزه‌های آسیب‌پذیر، اقدامات حفاظتی مناسب برای جلوگیری از کاهش سلامت حوزه‌های آبخیز مدنظر قرار گیرد.

منابع

- تاج‌بخش، س.، ف. مومن‌پور، ح. عابد، س. نگاه، و ن. فریدمجتهدی. ۱۳۹۷. ارزیابی و واسنجی برآورد شدت بارش رادار گیلان با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی. مجله فیزیک زمین و فضا. ۴۴(۳): ۶۹۵-۶۷۹.
- چمنی، ر.، س.ح.ر. صادقی، م. وفاخواه، و م. نقدی. ۱۴۰۱. پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر شاخص خشک‌سالی. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۴(۱): ۶۵-۷۵.
- چمنی، ر.، م. وفاخواه، و س.ح.ر. صادقی. ۱۴۰۲. تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات مکانی-زمانی سلامت حوزه آبخیز افین. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۵(۱): ۱۲-۱.
- رضائی، پ.، و آ. قربان‌پور. ۱۳۹۷. تحلیل روند تغییرات بارش در شرق گیلان. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی. ۱۱(۴۰): ۱۰۴-۱۲۰.
- شاهبایی‌کوتنایی، ع.، م. فرومدی، و ا. احمدی. ۱۳۹۶. تحلیل و مقایسه چرخه‌های دمای کمینه، بیشینه و بارش استان مازندران (مطالعه موردی: ایستگاه‌های همدید رامسر و بابلسر) .علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۲(۳): ۳۹۵-۴۰۹.
- شاهدی، ک.، ب. محسنی، و ب. مومنی. ۲۰۲۲. بررسی سلامت حوزه آبخیز تالار با استفاده از چارچوب ارزیابی سلامت آبخیز (WHAF) در محیط GIS. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. https://doi.org/10.30495/girs.2022.691305
- صادقی، س.ح.ر.، م. طاووسی، س. زارع، و. بیرانوندی، ه. شکوهیده، ف. اکبری‌امام‌زاده، م. بهلکه، ف. خورشید سخن‌گوی، و ر. چمنی. ۱۴۰۱. ارزیابی و تغییرپذیری سیل‌محورِ سلامتِ حوزه آبخیز دروازه قرآن شیراز از سازه‌های آبخیزداری .آب و خاک مشهد. ۳۶(۵): ۵۶۱-۵۷۷.
- عبادی‌نهاری، ز.، م. عرفانیان، و س. کاظم‌پور چورسی. ۱۴۰۲. ارائه یک روش نوین برای ارزیابی و پایش جامع خشک‌سالی حوزه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص تلفیقی خشک‌سالی SDI. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۶۸): ۲۵۷-۲۴۳.
- علی‌زاده، پ.، ب. کامکار، ش. شتایی، و ح. کاظمی. ۱۳۹۷. پایش مکانی و زمانی خشک‌سالی کشاورزی در اراضی تحت کشت گندم با استفاده از شاخص بارش استانداردشده (مطالعه موردی غرب استان گلستان). بوم‌شناسی کشاورزی. ۱۱(۳): ۱۰۶۹-۱۰۸۴.

- محمدپور زیدی، ع.، ک. بزرگمهر، و س.ی. حکیم‌دوست. ۱۳۹۳. بررسی فضایی خشک‌سالی اقلیمی بر اساس بارش استاندارد (SPI) مطالعه موردی (استان مازندران). آمایش جغرافیایی فضا. ۱۴(۴): ۱۹۲-۱۷۷.
- نیرومندفرد، ف.، م. ذاکری‌نیا، و ب. یازرلو. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش-رواناب (IHACRESمطالعه موردی: حوضه محمدآباد در استان گلستان). نشریه علوم مهندسی و آبیاری، مجله علمی کشاورزی. ۴۱(۳): ۱۰۳-۱۱۷.
- Chamani, R., Vafakhah, M., and Sadeghi, S.H.R. 2023. Effect of drought on temporal-spatial changes of the Efin Watershed health. Watershed Engineering and Management. 15(1): 1-12.
- Chamani, R., Vafakhah, M., Tavosi, M., and Zare, S. 2022. Assessment of the effect of climate change on the health status of Atrak watershed in Northeastern of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 15(24): 1745.
- Chanda, K., R., Maity, A., Sharma and R. Mehrotra. 2014. Spatiotemporal variation of long-term drought propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought management index. Water Resources Research. 50(10): 7662–7676.
- Do, L., Tain, Q., YU, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P and Huang, Y. 2012. A Comprehensive Drought Monitoring Method Integrating MODIS and TRMM Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 23: 245-253.
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., C´elleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P.V., and Rocha, H. 2018. Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. Ecohydrology. 11: e1921.
- Hazbavi, Z., J.E.M. Baartman, J.P. Nunes, S.D. Keesstra and S.H.R. Sadeghi. 2018. Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns. Ecological Indicators, 87: 196–208.
- Kogan, F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Adv, Space Res, 15(11): 91– 100.
- Lindsay J, Dean AJ, Supski, S. 2017. Responding to the millennium drought: comparing domestic water cultures in three Australian cities. Reg Environ Chang. 17(2): 565–577.
- Sadeghi, S.H. R., Z. Hazbavi. 2017. Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran). Science of the Total Environment. 587: 168–176.
- Sobral, B.S., de Oliveira-Junior, J.F., de Gois, G., Pereira-Júnior, E.R., de Bodas Terassi, P.M., Muniz-Júnior, J.G.R., Lyra G.B., and Zeri, M. 2019. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: trends, statistical tests and its relation with ENSO. Atmospheric Research. 220: 141- 154.

- Thenkabail, P.S.; Enclona, E. A.; Ashton, M. S.; Legg, C.; and Jean De Dieu, M. 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Wiegand, A.N., C. Walker, P.F. Duncan, A. Roiko, and N. Tindale. 2013. A systematic approach for modelling quantitative lake ecosystem data to facilitate proactive urban lake management. Environmental Systems Research volume. 2:1-12.

پهنه‌بندی اجمالی سلامت حوزه آبخیز جازموریان با رویکرد پایایی-تاب‌آوری-آسیب‌پذیری

سید حمیدرضا صادقی*[۱]، کاظم صادقیان[۲]، حامد بیگی[۳]، حمید خدامرادی[۴] و رضا چمنی[۵]

۱- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس (sadeghi@modares.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
k.sadeghian@modares.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
hamed.beigi@modares.ac.ir

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
hamid.khodamoradi@modares.ac.ir

۵- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
Reza.Chamani@modares.ac.ir

چکیده

خشک‌سالی یکی از موضوعات مهم مورد توجه جامعه جهانی است اما تأثیر آن بر ارائه خدمات و سلامت آبخیزها کم‌تر مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر همین اساس، در این پژوهش سعی شده است که تأثیر خشک‌سالی در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ بر سلامت حوزه آبخیز جازموریان مبتنی بر تغییرات پایایی (R_{el})، تاب‌آوری (R_{es}) و آسیب‌پذیری (V_{ul}) مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس از داده‌های بارندگی سه ایستگاه باران‌سنجی قنات مروان، اسلام‌آباد و فرمانداری ایرانشهر در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. سپس شاخص ماهانه بارش نرمال شده (SPI) بر اساس میانگین و انحراف معیار داده‌های ماهانه تعیین شد و برای محاسبه شاخص‌های R_{el}، R_{es} و V_{ul} مورداستفاده قرار گرفت. در نهایت با محاسبه مقدار میانگین هندسی این شاخص‌ها وضعیت کلی سلامت آبخیز تعیین شد. نتایج پژوهش نشان داد که حوزه آبخیزجازموریان به لحاظ شاخص‌های R_{el}، R_{es} و V_{ul} به ترتیب مقادیری بین ۰/۵ تا ۰/۵۴، ۰/۳۴ تا ۰/۴۵ و ۰/۱۳ تا ۰/۳۱ را داراست. همچنین متوسط شاخص سلامت آبخیز در این دوره ۰/۳۱ تا ۰/۳۸ محاسبه شد که نشان‌دهنده قرارگیری سلامت آبخیز در گروه ناسالم از لحاظ خشک‌سالی است. نتایج تحلیل بارندگی منطقه حاکی از ضرورت مدیریت سازگار کشاورزی و استفاده صحیح از منابع آب با شرایط حاکم بر منطقه به رغم ثبات نسبی بارندگی است.

واژه‌های کلیدی:

تغییرات اقلیمی، سلامت آبخیز، شاخص خشک‌سالی، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، مدیریت سازگار منابع آب

مقدمه

آبخیزها شامل یک سامانه اجتماعی- بوم‌شناختی هستند (Gari و همکاران، ۲۰۱۸) که از تعامل واحدهای متعددی مانند رودخانه‌ها، نهرها، تالاب‌ها، مخازن، سدها و انشعابات، همراه با شهرها و انسان‌ها تشکیل شده‌اند (Cai و Zhang، ۲۰۱۸). آبخیزهای سالم در ارائه خدمات مختلف ازجمله منابع آب، حفاظت از زیستگاه، کنترل فرسایش و رسوب، کنترل سیلاب، تنظیم آب‌وهوا، مسکن، رفع نیازهای فرهنگی و عملکردهای مناسب محیط‌زیستی نقش اساسی دارند (Hamel و همکاران، ۲۰۱۸؛ Alilou و همکاران، ۲۰۱۹؛ Hazbavi و همکاران، ۲۰۱۹). پدیده‌های غیرانسانی از جمله تغییرات آب‌وهوایی، خشک‌سالی و فعالیت‌های انسانی مانند تخریب، جنگل‌زدایی و نظایر آن سبب کاهش سلامت آبخیزها و تشدید عملکرد منفی پدیده‌های غیرانسانی می‌شود (Tsai و همکاران، ۲۰۲۱). دراین‌بین، خشک‌سالی‌ها به دلیل تغییرات مکانی، زمانی و منطقه‌ای بودن، پیچیده هستند (Tirivarombo و همکاران، ۲۰۱۸) و ضرورت بررسی آن در رفتارشناسی سامانه آبخیز و از جمله ارزیابی سلامت و ارائه خدمات برای موجودات زنده و انسان ضروری است (Hazbavi و همکاران، ۲۰۱۸؛ Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۹). در همین ارتباط مطالعات متعددی با شاخص‌های مختلفی از جمله SPI، تأثیر خشک‌سالی را بررسی و تشدید آن در آینده را پیش‌بینی کرده‌اند (فنی و همکاران، ۱۳۹۵؛ دولت‌آبادی و خاشعی‌سیوکی، ۱۳۹۸؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ صالحی‌طبس و همکاران، ۱۳۹۹).

در همین ارتباط لحاظ خشک‌سالی در ارزیابی سلامت آبخیزها به شیوه‌های مختلف مدنظر قرار گرفته است (Hazbavi و همکاران، ۲۰۱۸). مدل پایایی[1] (R_{el})، تاب‌آوری[2] (R_{es}) و آسیب‌پذیری[3] (V_{ul}) ازجمله مدل‌هایی است که امروزه در زمینه ارزیابی سلامت آبخیزها موردتوجه قرارگرفته است (صادقی و حزباوی، ۲۰۰۱۶). چارچوب $R_{el}R_{es}V_{ul}$ در ابتدا توسط Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) برای توصیف عملکرد یک سامانه مخزن چندمنظوره ارائه شده است. تاب‌آوری میزان رسیدن یک سامانه به حالت مطلوب بعد از شکست را بیان می‌کند و آسیب‌پذیری میزان نامطلوب بودن وضعیت و یا عوامل ایجادکننده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد . ارزیابی شاخص‌های جامع $R_{el}R_{es}V_{ul}$ در مورد عملکرد حوزه آبخیز در طولانی‌مدت درکی عمیق از شرایط متغیر آب‌وهوایی را فراهم می‌کند (Sadeghi و Hazbavi، ۲۰۱۷). در این راستا، چمنی و همکاران، (۱۴۰۲) سلامت آبخیز افین را با $R_{el}R_{es}V_{ul}$ بررسی و شاخص سلامت مزبور را بین ۰/۳۷ تا ۰/۵۳ و با میانگین ۰/۴۲ در گروه متوسط گزارش کرده‌اند. Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۷) تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های $R_{el}R_{es}V_{ul}$ مبتنی بر خشک‌سالی در حوزه آبخیز شازند را ارزیابی و بررسی و طبقه‌بندی تمام زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند در تمام سال‌های

1 Reliability
2 Resilience
3 Vulnerability

مورد مطالعه در شرایط ناسالم و بسیار ناسالم را گزارش کردند. Hazbavi و همکاران (۲۰۱۸) شاخص‌های اطمینان، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری با توجه به الگوهای خشک‌سالی در سه حوزه آبخیز شازند در ایران، Xarrama در پرتغال و Foyle در ایرلند شمالی با وضعیت‌های مختلف سلامت مبتنی بر خشک‌سالی را ارزیابی نمودند. چمنی و همکاران، (۱۴۰۱) پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر شاخص خشک‌سالی را در دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۶ با مدل $R_{el}R_{es}V_{ul}$ ارزیابی و مقادیر هر یک از شاخص‌های R_{el} ، R_{es} و V_{ul} را به ترتیب ۰/۵، ۰/۲۳ تا ۰/۶۲ و ۰/۰۶ تا ۱ گزارش دادند. Chamani و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات زمانی و مکانی سلامت حوزه آبخیز اترک را تحت سناریوهای مختلف اقلیمی بررسی کردند. در سناریوی اقلیمی RCP 4.5، مقادیر قابلیت اطمینان، تاب‌آوری، آسیب‌پذیری و شاخص‌های عمومی WH بین ۰/۵۸-۰/۷۵، ۰/۵-۰/۸۳، ۰-۱و ۰-۰/۸۳ متغیر است. در سناریوی RCP 8.5، این شاخص ها از ۰/۶۷-۰/۸۳، ۰/۸۳-۰/۳۳، ۰/۶-۰/۵۱و ۰/۷۴-۰ متغیر هستند. هر گونه تغییر در شاخص‌ها باعث ایجاد میانگین تغییرات شاخص WH شده است. در این پژوهش سعی شده است با کمّی نمودن شاخص‌های $R_{el}R_{es}V_{ul}$، درک صحیح و قابل قبولی از میزان پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز جازموریان در استان‌های کرمان و سیستان‌وبلوچستان در مقابله با خشک‌سالی و تغییرات بارندگی در طول دوره ۱۳ساله را ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

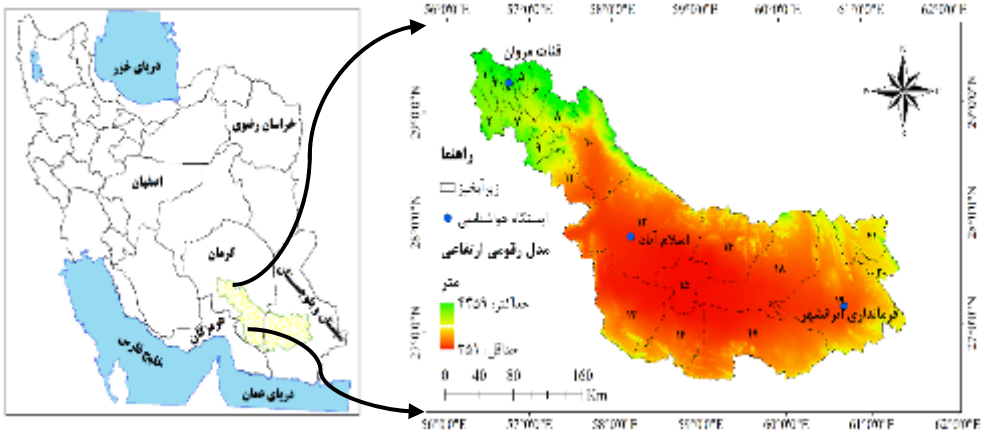
حوزه آبخیز بسته تالاب جازموریان با مساحت ۶۹۶۲۱ کیلومترمربع به صورت شکل ۱ در جنوب شرقی ایران واقع شده است. نیمه شرقی آن، در استان سیستان‌وبلوچستان با مساحتی حدود ۳۴۴۳۹/۰۸ کیلومتر مربع و نیمه غربی این حوضه ۳۴۹۶۹/۷۷ کیلومتر مربع مساحت دارد که در استان کرمان واقع شده است. منتهی علیه شمال غرب حوضه دشت‌های جیرفت، فاریاب، رودبار جنوب و در نیمه شرقی آن دشت های ایرانشهر، بمپور، دلگان، سردگان، سرتختی، اسپکه قرار دارند.

روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های بارندگی ماهانه سه ایستگاه باران‌سنجی (شکل ۱) برای دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ و ارزیابی شاخص خشک‌سالی SPI به سبب سهولت برآورد استفاده شد (Mckee و همکاران، ۱۹۹۳). اگر بارش بیش‌تر از میانگین بلندمدت باشد، SPI مثبت و اگر بارش کم‌تر از درازمدت بارندگی باشد، SPI منفی است. برخلاف سایر شاخص‌های خشک‌سالی، استفاده از SPI از ساده است زیرا فقط به یک سری داده ورودی واحد از بارش طولانی‌مدت نیاز دارد (Smakhtin و Hughes، ۲۰۰۴). این شاخص با استفاده

از رابطه (۱) محاسبه شد که در آن x_i و x و σ به ترتیب بارش مشاهده‌ای، میانگین بارش و انحراف معیار دوره بارندگی است.

$$SPI = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (۱)$$



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی

سپس برای محاسبه شاخص‌های $R_{el}R_{es}V_{ul}$ از تجزیه وتحلیل تغییرات مکانی ماهانه SPI از روابط (۲) تا (۴) استفاده شد. در این روابط M تعداد وقایع شکست است (تعداد ماه‌هایی که SPI زیر آستانه قرار می‌گیرد)، d(j) مدت زمان رویداد شکست jth است، T تعداد کل فواصل زمانی، Lobs(i) مقدار مشاهده شده، Lstd(i) مقدار حد آستانه و [H]عملکرد تابع پله‌ای Heaviside[1] است. این تابع برای جلوگیری از ورود حوادث شکست در محاسبه آسیب‌پذیری مورداستفاده قرار می‌گیرد. مقدار کل [H] در معادله مزبور برای مقادیر منفی، صفر و مقادیر مثبت به ترتیب صفر، یک و نیم در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین برای نرمال‌سازی داده‌ها برای حذف اثرات بزرگی و ایجاد قابلیت مقایسه داده‌ها با یکدیگر از رابطه (۵) استفاده شد (Hazbavi و Sadeghi ، ۲۰۱۷).

$$Reliability(R_{el}) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{M} d[j]}{T}$$ رابطه (۲)

$$Resilience(R_{es}) = \{\frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} d(j)\}^{-1}$$ رابطه (۳)

رابطه (۴)

$$Vulnerability(v_{ul}) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{T}\{[\frac{L_{obs}(i) - L_{std}(i)}{L_{std}(i)}]H[L_{obs} - L_{std}(i)]\}$$

[1] Haviside step function

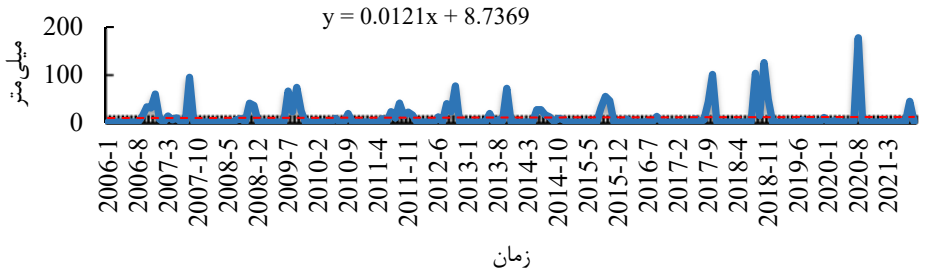
$$Y = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$ رابطه (۵)

برای ارزیابی وضعیت کلی سلامت آبخیز از میانگین هندسی شاخص‌های سلامت به سبب حساسیت بیش‌تر نسبت به تغییرات متغیرهای جداگانه (Wiegand و همکاران، ۲۰۱۳) به شرح اشاره شده در Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۹). رابطه (۶) استفاده شد (

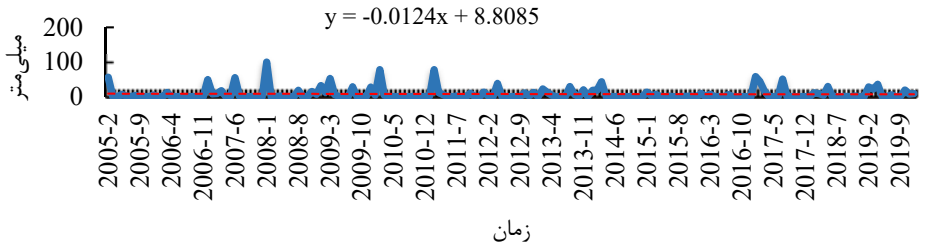
$$(R_{el}R_{es}V_{ul}) = [\prod_{i=1}^{3} R_{el}.R_{es}.V_{ul}]^{1/3}$$ رابطه (۶)

نتایج و بحث

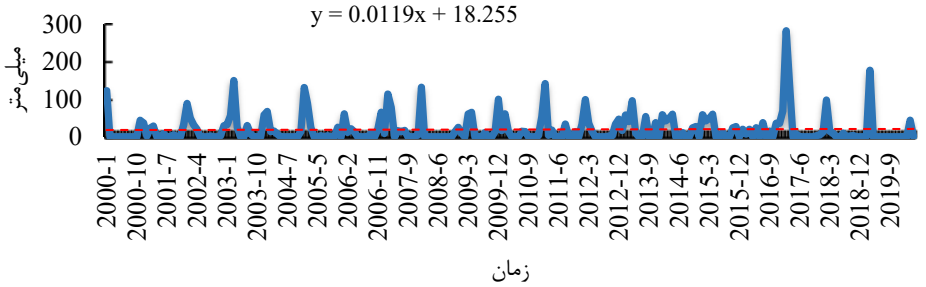
بارندگی ماهانه و شاخص SPI ایستگاه‌های مورداستفاده در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. در ایستگاه اسلام‌آباد بیش‌ترین میزان بارش در ماه هشتم ۲۰۲۲ است (شکل ۲) و در ایستگاه ایرانشهر بیش‌ترین بارش در ماه دوم ۲۰۰۸ و همچنین برای ایستگاه قنات مروان در پایان سال ۲۰۱۶ بوده است.



شکل ۲- بارندگی ماهانه ایستگاه اسلام‌آباد

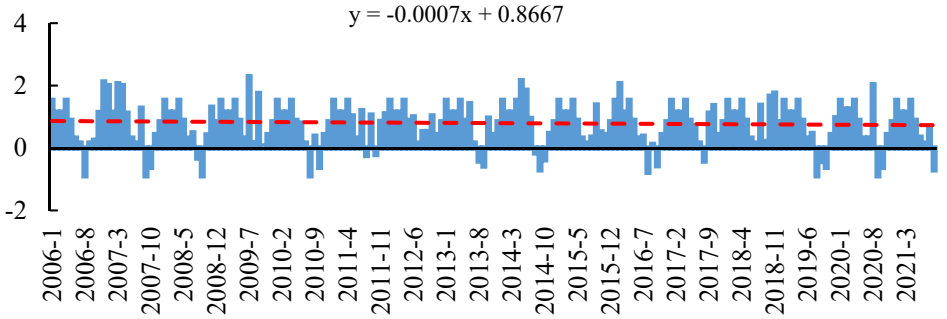


شکل ۳- بارندگی ماهانه ایستگاه فرمانداری ایرانشهر

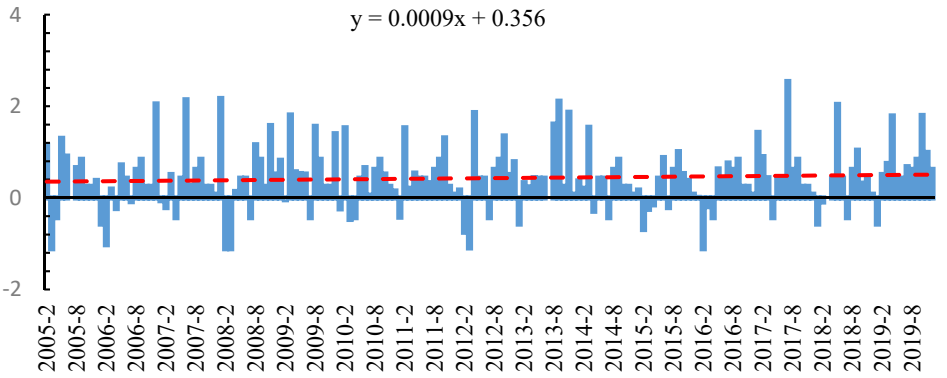


شکل ۴- بارندگی ماهانه ایستگاه قنات مروان

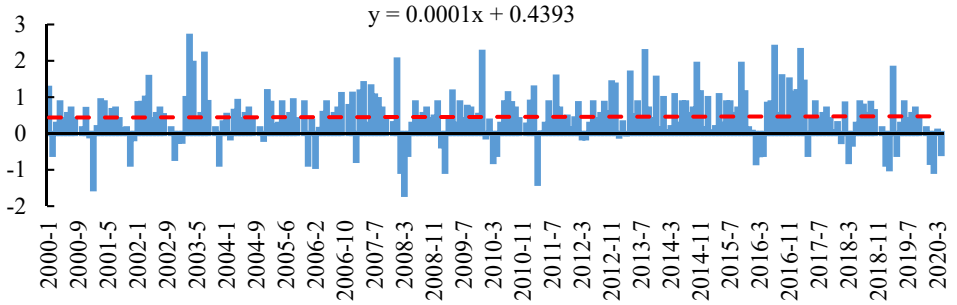
تغییرات سالیانه شاخص SPI نیز در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده‌شده است. بر اساس شکل ۵، ایستگاه اسلام‌آباد حالت نزولی داشته و در طول دوره کاهش می‌یابد ولی در ایستگاه فرمانداری ایرانشهر و قنات مروان تغییر زیادی نداشته است.



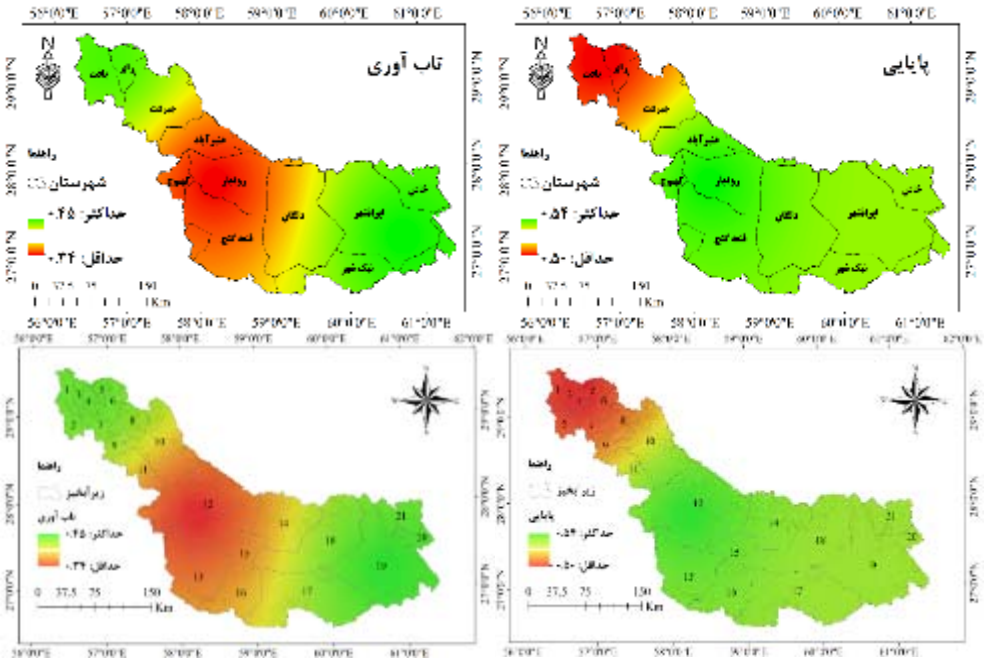
شکل ۵- شاخص SPI در ایستگاه اسلام‌آباد



شکل ۶- شاخص SPI در ایستگاه فرمانداری ایرانشهر



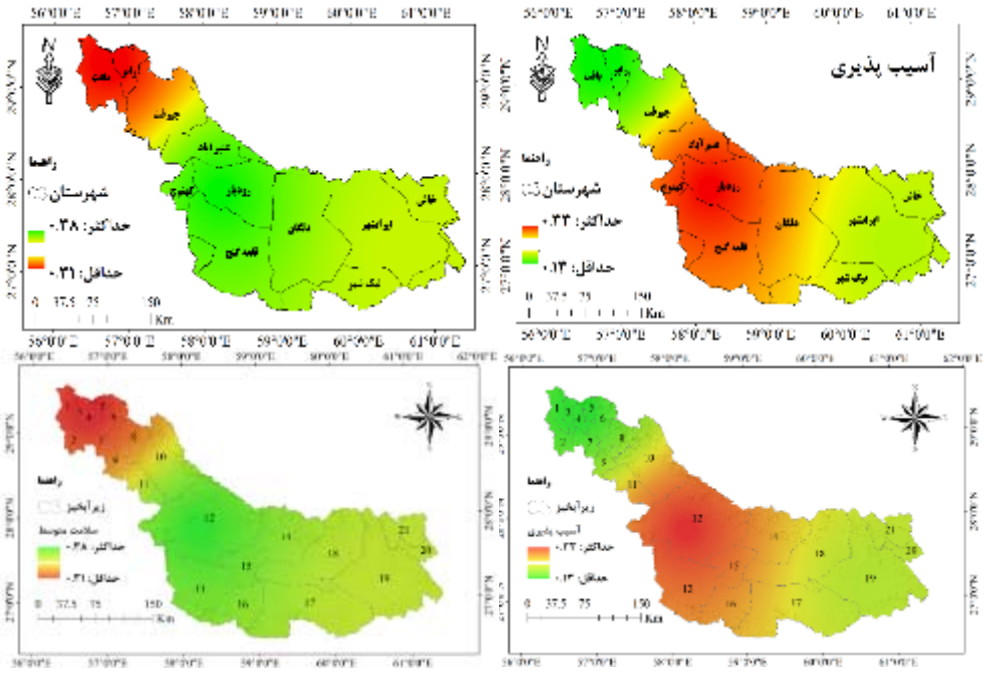
شکل ۷- شاخص SPI در ایستگاه قنات مروان



شکل ۸- پراکنش مکانی شاخص‌های پایایی

تغییرات مکانی شاخص‌های سلامت آبخیز نیز در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. بر اساس شکل ۸ شاخص پایایی در حوزه آبخیز جازموریان تغییرات زیادی نداشته و در بازه ۰/۵ تا ۰/۵۴ متغیر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود علی‌رغم پراکنش مکانی کم آن، از شرق به غرب حوزه آبخیز کاهش پیدا کرده است. شاخص تاب‌آوری نسبت به شاخص پایایی از پراکنش مکانی بیش‌تری برخوردار بوده است به‌طوری‌که این شاخص در بازه ۰/۳۴ تا ۰/۴۵ گسترش یافته است. بر اساس شکل ۸ شاخص تاب‌آوری در بخش میانی حوزه آبخیز از کم‌ترین مقدار برخوردار بوده و در شرق و غرب حوزه آبخیز مقدار آن

افزایش می‌یابد. شاخص آسیب‌پذیری نیز مانند تاب‌آوری در بخش میانی از کم‌ترین مقدار برخوردار بوده و بخش میانی نسبت به سایر بخش‌های حوزه آبخیز آسیب‌پذیرتر است. این شاخص نیز بازه بین ۰/۱۳ تا ۰/۳۱ را دارا است. سلامت آبخیز در بازه ۰/۳۱ تا ۰/۳۸ متغیر است که در طبقه ناسالم قرار گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود کم‌ترین مقدار سلامت در بخش‌های غربی متمرکز شده است.



و

شکل ۹- پراکنش مکانی شاخص‌های آسیب‌پذیری و سلامت در حوزه آبخیز جازموریان

تاب‌آوری در حوزه آبخیز جازموریان

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود شاخص پایایی در گروه متوسط سلامت قرارگرفته است اما پراکنش مکانی آن در بخش‌های مختلف یکسان نبوده است به‌طوری‌که مقدار این شاخص از شرق به غرب کاسته شده است. بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ نیز بارندگی در مناطق شرقی نسبت به مناطق غرب و شمال غرب از تغییرات کم‌تری برخوردار بوده است. همچنین بر اساس شکل‌های ۶ و ۷ مقادیر مثبت شاخص SPI در شرق حوزه آبخیز جازموریان بیش‌تر از مناطق غربی و شمال غربی بوده است. بر این اساس بخش شرقی حوزه آبخیز از پایایی بیش‌تری برخوردار است. برخلاف شاخص پایایی، شاخص تاب‌آوری در بخش میانی حوزه آبخیز کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد است. همان‌طور که در

شکل ۲ نیز مشاهده می‌گردد بارندگی در محدوده ایستگاه اسلام‌آباد از تغییرات بیش‌تری برخوردار بوده و افزایش تغییرات بارندگی سبب کاهش تاب‌آوری در این منطقه شده است. لذا کاهش تاب‌آوری سبب شده است تا منطقه از آسیب‌پذیری بیش‌تری برخوردار باشد به‌طوری‌که هم‌راستا با شاخص تاب‌آوری، شاخص آسیب‌پذیری در بخش میانی حوزه آبخیز جازموریان از بیش‌ترین مقدار برخوردار بوده است. پهنه‌بندی سلامت حوزه آبخیز جازموریان در شکل ۹ مبین آن است که بخش شمال غربی منطقه کم‌ترین میزان سلامت را داراست. در همین راستا سلیمانی‌ساردو و زارعی (۱۳۹۸)، شاخص خشک‌سالی حوزه آبخیز جازموریان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص SPI موردبررسی قراردادند که مرکز حوزه آبخیز جازموریان خشک‌سالی شدیدتری را نسبت به سایر بخش‌ها تجربه کرده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین Hazbavi و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعات خود در سه حوزه آبخیز شازند ایران، Xarrama پرتغال و Foyle ایرلند دریافتند که تغییرات بارندگی و شرایط بارندگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خشک‌سالی و شاخص‌های پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از چارچوب ارزیابی تغییرات پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری برای ارزیابی وضعیت سلامت حوزه آبخیز جازموریان استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد آبخیز جازموریان در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ از پایایی ۰/۵ تا ۰/۵۴ و تاب‌آوری و آسیب‌پذیری به ترتیب ۰/۳۴ تا ۰/۴۵ و ۰/۱۳ تا ۰/۳۳ برخوردار بوده است. بخش میانی حوزه آبخیز موردمطالعه کم‌ترین تاب‌آوری و بیش‌ترین آسیب‌پذیری را داراست. بر این اساس، متوسط شاخص سلامت حوزه آبخیز جازموریان بر اساس پویایی شاخص خشک‌سالی در بازه ۰/۳۱ تا ۰/۳۸ و در گروه "ناسالم" با شدت بیش‌تر در بخش‌های غربی قرارگرفته است. نتایج پژوهش می‌تواند زمینه هماهنگی‌های بیش‌تر بین سیاست‌گذاران، مدیران و بهره‌برداران محلی برای استفاده از راهبردهای موفق و شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تخریب با کاربست مدیریت سازگار منابع زیستی و غیر زیستی آبخیز را ایجاد نماید.

منابع

0 چمنی، ر.، صادقی، س.ح.ر.، وفاخواه، م.، نقدی، م. ۱۴۰۱. پایایی، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری حوزه آبخیز چالوس مبتنی بر شاخص خشک‌سالی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۴(۱): ۷۵-۶۵.

0 چمنی، ر.، وفاخواه، م.، صادقی، س.ح.ر. ۱۴۰۲. تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات مکانی-زمانی سلامت حوزه آبخیز افین. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۵(۱): ۱-۱۲.

- دولت‌آبادی، س.، خاشعی سیوکی، ع .۱۳۹۸. برآورد عملکرد زعفران با استفاده از شاخص خشک‌سالی RDIمطالعه موردی: استان خراسان جنوبی. نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه). ۷(۱): ۱۶۱-۱۷۶.
- سلیمانی ساردو، م.، و زارعی، م. ۱۳۹۸. پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جازموریان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۲۰)، ۲۵۰-۲۶۱.
- شجاعی، ط.، باعقیده، م.۱۳۹۱. تحلیل و بررسی آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار در استان خراسان جنوبی. پژوهشکده جغرافیا و علوم زیستی. ۳(۱): ۵۸-۷۰.
- صادقی، س. ح.، حزباوی، ز. ۱۳۹۵. سلامت آبخیز(قسمت اول) مدل مفهومی پایایی، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری (RRV. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۴(۱۴): ۴۲-۳۹.
- صالحی‌طبس، م.، یعقوب‌زاده، م.، زمانی، غ.، امیرآبادی زاده، م. ۱۳۹۹. اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشک‌سالی در خراسان جنوبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲): ۴۹۷-۴۸۲.
- فنی، ز.، خلیل‌اللهی، ح.، سجادی، ژ.، فال‌سلیمان، م. ۱۳۹۵. تحلیل دلایل و پیامدهای خشک‌سالی در استان خراسان جنوبی و شهر بیرجند. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ۲۰ (۴): ۲۰۰-۱۷۵
- کریمی، م.، بنایان اول، م.، موسوی بایگی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی خشک‌سالی و آسیب‌پذیری در نوسانات تولید محصول زعفران در اثر کمبود بارش (مطالعه موردی: خراسان رضوی و جنوبی). آبیاری و زهکشی ایران.۱۳(۳)، ۷۷۳-۷۸۷
- Alilou, H., O. Rahmati, V. P. Singh, B. Choubin, B. Pradhan, S. Keesstra, and S. H.R. Sadeghi. 2019. Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo-environmental and topo-hydrological criteria. Journal of Environmental Management. 232: 22–36.
- Chamani, R., Vafakhah, M., Tavosi, M. *et al.* 2022.Assessment of the effect of climate change on the health status of Atrak watershed in Northeastern of Iran. *Arab J Geosci* **15**, 1745.
- Cai, Y. L. Zhang. 2018. Editorial: Multi-scale ecological indicators for supporting sustainable watershed management. Ecological Indicator. 92: 1–10.
- Gari, S.R., C.E.O. Guerrero, B. Uribe, J.D. Icely, A. Newton. 2018. A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. Water Science. 32: 318–337.
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., S. Jacobs, S. Jasechko, M. Johnson, J. Krishnaswamy, M. Poca, P.V. Pompeu, and H. Rocha. 2018. Watershed services in the humid tropics: opportunities from recent advances in ecohydrology. Ecohydrology. 11 (3): 1-42.
- Hazbavi, Z., S.H.R. Sadeghi, M. Gholamalifard, and A.A. Davudirad. 2019. Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. Land Degradation and Development. 31: 3–19.

- Hazbavi, Z., J.E.M. Baartman, J.P. Nunes, S.D. Keesstra, and S.H.R. Sadeghi. 2018. Changeability of reliability, resilience, and vulnerability indicators with respect to drought patterns. Ecological Indicators. 87: 196–208.
- Hashimoto, T., D.P. Loucks, and J.Stedinger. 1982. Reliability, resilience and vulnerability for water resources system performance evaluation. Water Resources. Research. 18: 14–20.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, J. and Kleist. 1393. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. AMS, Boston, MA. 179-184.
- Sadeghi, S.H. R., Z. Hazbavi, 2017. Spatiotemporal Variation of Watershed health Propensity through reliability-resilience-vulnerability Based Drought Index (case study: Shazand Watershed in Iran). Science of the Total Environment. 587: 168–176.
- Sadeghi, S. H. R., Z. Hazbavi, and M. Gholamalifard. 2019. Interactive impacts of climatic, hydrologic, and anthropogenic activities on watershed health. Science of the Total Environment, 648: 880–893.
- Smakhtin, V.U. and D.A. Hughes. 2004. Review, Automated estimation and analyses of drought indices in South Asia... International Water Management Institute. 1-24.
- Tasi, Y., W., J. Y. Lin, Y. C. Chen. 2021. Establishment of the watershed health indicators and health check of reservoirs. Ecological Indicators. 127, 107779.
- Tirivarombo, S., D. Osupile, and P. Eliasson. 2018. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index [SPEI] and Standardised Precipitation Index [SPI]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 106:1-10
- Wiegand, A.N. C. Walker, P.F. Duncan, A. Roiko, and N. Tindale. 2013. A systematic approach for modelling quantitative lake ecosystem data to facilitate proactive urban lake management. Environmental Systems Research volume. 2:1-12.

وضعیت منابع آب در آینده حوزه آبخیز زاینده‌رود- اسکندری

زینب کریمی*[۱] و علی طالبی[۲]

۱*- پژوهشگر پسادکتری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد (*Karimi.modares@gmail.com*)

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

چکیده

آب به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده و مصرف‌کننده در بخش توسعه و کشاورزی حوزه آبخیز زاینده‌رود محسوب می‌شود. با توجه به وسعت زیاد حوزه آبخیز زاینده‌رود، حوزه آبخیز اسکندری به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های بالادست سد زاینده‌رود برای مطالعه حاضر انتخاب شد. در این مطالعه با استفاده از شاخص فالکن مارک پایداری منابع آب در سه بازه زمانی مختلف (۱۳۹۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است. از نظر شاخص فالکن مارک وضعیت حوزه آبخیز اسکندری در زمان گذشته، فعلی و آینده به‌ترتیب در وضعیت عدم تنش آبی، کم آبی و کمبود مطلق می‌باشد. واضح است که تأمین آب مورد نیاز برای مصارف بخش کشاورزی با اضافه برداشت از منابع آبی غیر تجدید شونده صورت می‌گیرد و با گذشت زمان پیش‌بینی می‌شود وضعیت منابع آب در حوزه آبخیز اسکندری بحرانی خواهد شد. بنابراین، در راستای مدیریت و بهره‌برداری اصولی و پایدار از منابع آب، اعمال راهکارهای توسعه برنامه‌های تخصیص بهینه مصرف آب و تنظیم حق آبه و هم‌چنین تهیه و تدوین برنامه مدیریت جامع منابع آب با اعمال مدیریت‌هایی از قبیل تغییر الگوی کشت و جایگزین کردن کشت‌های کم‌مصرف و با بهره‌وری اقتصادی بالا پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

حوزه آبخیز اسکندری، شاخص فالکن مارک، کمبود مطلق، وضعیت منابع آب

مقدمه

وقتی در بخشی از طبیعت مجموعه‌ای از جانداران به همراه عوامل و تشکیل‌دهنده‌های محیط به‌صورت یک واحد متمایز و نسبتاً مستقل از بخش‌های دیگر زندگی کنند، بوم‌سازگان را تشکیل می‌دهند (نیشابوری، ۱۳۸۸). بوم‌سازگان‌ها اگر به‌درستی مدیریت شوند، یک جریان خدماتی مانند تولید کالاها را که برای انسان‌ها حیاتی است، ارائه می‌دهند (محمدیاری و زرندیان، ۱۴۰۰). براساس تعریف ارزیابی بوم سازگان هزاره[۲](۲۰۰۵)، خدمات بوم سازگانی مزایایی هستند که انسان‌ها از آبخیز به‌دست می‌آورند

2 Millennium Ecosystem Assessment

و چهار دسته شامل خدمات تولیدی[3]، تنظیمی[4]، فرهنگی[5] و حمایتی[6] برای آن تعیین نموده‌اند. در این میان، خدمات تولیدی بر تمامی منابع تولید و استخراج‌شده توسط آبخیز چون تأمین غذا، الیاف، آب شیرین یا منابع درمانی دلالت دارد و مواد یا انرژی خروجی از آبخیز را توصیف می‌کنند. کالاها و خدمات این دسته ممکن است از سوی سامانه‌های طبیعی، نیمه‌طبیعی و یا کشاورزی منطقه عرضه شوند (Millennium Ecosystem Assessment، ۲۰۰۵). از طرفی؛ افزایش سطح زیر کشت، کاهش نزولات آسمانی، تداوم خشکسالی‌های اخیر و از همه مهم‌تر برداشت بی‌رویه از منابع آب، سبب عدم تعادل منابع و مصارف و به‌تبع آن موجب کاهش شدید جریانات سطحی و افت شدید سطح منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق کشور شده است. از این‌رو استفاده پایدار از منابع آب، چالش قرن به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید (Wilson و Tyrchniewicz، ۱۹۹۵). ضمن‌اینکه، مفهوم توسعه پایدار آب به معنای تأمین نیاز جمعیت فعلی بدون اثر منفی بر توانایی تأمین نیازهای نسل‌های آینده است (Bithas، ۲۰۰۸).

در این راستا، ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در پهنه‌بندی خشک و نیمه‌خشک جهانی قرار دارد. با وجودی که این میانگین در حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی است، افزایش تقاضای آبی کشور را می‌توان به صورت افزایش میزان اراضی در چرخه تولیدات کشاورزی آبی، تقلیل آیش‌گذاری آبی، تغییرات الگوی کشت به سمت محصولات با نیاز آبی بالا و افزایش چشمگیر محصولات کشت دوم به‌خوبی مشاهده کرد (Zibai و همکاران، ۲۰۱۳). لذا ضرورت به‌کارگیری سیاست‌های منطقی و کارآمد مدیریت منابع آب بیش از هر زمان دیگر مطرح شده است (Safavi و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین منابع آب باید به صورت یکپارچه مدیریت شوند تا کمبود آب در فصل‌های خشک را جبران کند (Zibai و همکاران، ۲۰۱۳). ضمن‌اینکه، مدیریت منابع آب برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و کیفیت آب با برداشت متعادل از دو منبع سطحی و زیرزمینی به نحوی که هم نیازها به نحو مطلوب برآورده شوند و هم منابع آبی موجود با بحران مواجه نشوند، امری ضروری و حیاتی است (Ahmadi و همکاران، ۲۰۱۵). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود و یا نوسانات شدید منابع آب سطحی، منجر به مصرف آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبع کمکی برای تأمین آب کشاورزی در فصول پرمصرف شده است. در این مناطق شور شدن و آلودگی آب به‌دلیل استحصال آب برای مصرف کشاورزی، فشارهایی را به کیفیت آب و زمین اعمال کرده است. به‌عنوان مثال، استان اصفهان با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی، یکی از استان‌های کم آب ایران است که همواره تحت

3 Provisioning
4 Regulating
5 Cultural
6 Supporting

تأثیر پدیده خ شک سالی بوده ا ست (مردانی و همکاران، ۱۳۹۵). ر شد جمعیت و خ شک سالی‌های اخیر تأمین منابع آب منطقه را دچار مشـکل نموده اسـت، به‌طوری که علی‌رغم اجرای طرح‌های انتقال آب، افزایش در مصارف آب باعث شده تا استان تحت تنش آبی قرار گیرد.

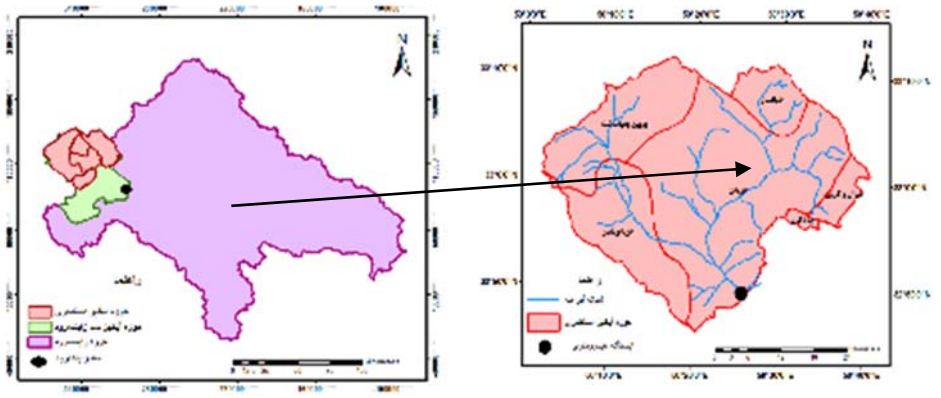
علاوه بر این، به‌دلیل ادامه روند نامطلوب وضعیت منابع آبی در سطح جهان و پیش‌بینی وضعیت بحرانی در سـال‌های آینده باعث شـده اسـت که محققین و نهادهای بین‌المللی شـاخص‌های متفاوتی را برای سنجش و ضعیت منابع آبی نقاط مختلف دنیا پی شنهاد کنند. در اکثر این شاخص‌ها بر روی منابع آبی موجود کشـورها و مناطق مختلف دنیا تأکید شـده اسـت و از معیارهایی مانند سـرانه آب و یا درصـد تجدیدپذیر سالانه برای ارزیابی و ضعیت کنونی و پیش‌بینی و ضعیت آتی ا ستفاده شده ا ست. در این راسـتا، شـاخص‌های متعددی از جمله شـاخص تنش آبی (WSI)[7] شـاخص حداکثر اراضـی فاریاب (MILI)[8] و شـاخص فالکن مارک (FI)[9] را می‌توان به کار برد. مطالعات متعددی توسـط پژوهشـگران مختلف (Shahdi و Talebi Hossinabad، ۲۰۱۳؛ Rahim و Kaledi، ۲۰۰۰؛ رجـا و همکـاران، ۱۳۹۸) در این زمینه انجام شده ا ست. اما کمتر پژوه شی به برر سی و ضعیت پایداری منابع آب حوزه آبخیز در زمان گذشته، فعلی و آینده پرداخته است. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی وضعیت پایداری منابع آب حوزه آبخیز اسکندری از نظر تغییرات زمانی برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌ها و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ا سکندری در ا ستان ا صفهان قرار گرفته ا ست و شامل شهر ستان‌های بویین و میاند شت، تیران و کرون، چادگان، خوانسار، فریدن و فریدون‌شهر می‌باشد. این حوزه آبخیز با داشتن مساحتی بالغ بر ۱۶۴۹ کیلومترمربع، ارتفاع متوسـط وزنی ۲۶۲۶ متر از سـطح دریا، میانگین بارندگی سـالیانه ۳۳۹ میلی‌متر و مختصات ′۰۲ °۵۰ تا ′۳۰ °۵۰ طول شرقی و ′۴۲ °۳۲ تا ′۱۱ °۳۳ عرض شمالی در حوزه آبخیز زاینده‌رود واقع شده است. رودخانه پلاسجان که از ارتفاعات شهرستان فریدون‌شهر از توابع استان ا صفهان سرچ شمه می‌گیرد، در حوزه آبخیز ا سکندری جاری می‌با شد و دارای متو سط آبدهی سالانه ۱۳۱ میلیون مترمکعب اسـت. رودخانه پلاسـجان که بعد از زاینده‌رود مهم‌ترین شـاخه حوزه آبخیز زاینده‌رود می‌با شد، از ارتفاعات چالک، دره‌رجب و بیدغرب سرچ شمه گرفته؛ در جهت شمال به جنوب جریان می‌یابد و پس از طی م سافتی به ای ستگاه هیدرومتری ا سکندری می‌ر سد. موقعیت حوزه آبخیز اسکندری واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود و نقشه شبکه آبراهه آن در شکل ۱ ارائه شده است.

7 Water Stress Index
8 Maximum Irrigated Lands Index
9 Falkenmark Index



شکل ۱- موقعیت و نقشه شبکه آبراهه حوزه آبخیز اسکندری در حوزه آبخیز زاینده‌رود

روش مطالعه

در این مطالعه برای تحلیل وضعیت پایداری منابع آب منطقه از شاخص فالکن مارک (Falkenmark و همکاران، ۱۹۸۹) استفاده شده است. Falkenmark و همکاران (۱۹۸۹) در مطالعات خود کشورها را از جهت تأمین آب، بر حسب حجم سرانه سالانه تجدیدپذیر رده‌بندی کردند. در جدول ۱، مقادیر استاندارد این شاخص نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر استاندارد سرانه آب تجدیدپذیر با شاخص فالکن مارک

وضعیت	سرانه آب تجدیدپذیر (m^3/person)
بدون تنش	FI>۱۷۰۰
تنش	۱۰۰۰-۱۷۰۰
کم آبی	۵۰۰-۱۰۰۰
کمبود مطلق	FI<۵۰۰

در این روش، ابتدا حجم آب تجدیدپذیر (RW)[1] با توجه به معادله ۱ محاسبه شد (Shahdi و Talebi Hossinabad، ۲۰۱۳). در این معادله، R و I به‌ترتیب رواناب و حجم نفوذیافته ناشی از بارش، Ri و Roبه‌ترتیب رواناب‌های ورودی و خروجی، Gi و Go به‌ترتیب جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی است. لازم به ذکر است، منابع اطلاعات مورد نیاز به‌منظور بررسی وضعیت منابع آب آبخوان‌های حوزه

[1] Renewable Water

آبخیز اسکندری بر اساس اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، گزارش بیلان منابع آب حوزه آبخیز اسکندری (مطالعات اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوضه سد زاینده‌رود، ۱۴۰۰)، مطالعات جامع حوضه سد زاینده‌رود (۱۳۹۰)، نتایج و داده‌های استفاده شده در رساله دکتری انتشاری نجف‌آبادی (۱۳۹۹) تهیه شد.

بر این اساس، ابتدا حجم آب تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ برای حوزه آبخیز اسکندری محاسبه شد. سپس، به‌منظور پیش‌بینی حجم آب تجدیدپذیر در سال ۱۴۱۰، از مطالعات موجود در خصوص پیش‌بینی تغییر میزان بارندگی در حوزه آبخیز زاینده‌رود استفاده شد (انتشاری نجف‌آبادی، ۱۳۹۹). سپس با فرض ثابت بودن سایر شرایط، وضعیت منابع آب حوزه آبخیز اسکندری در سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد. در نهایت، بر اساس حجم آب تجدیدپذیر و میزان جمعیت حوزه آبخیز اسکندری شاخص فالکن مارک برای وضعیت گذشته (۱۳۹۰)، فعلی (۱۴۰۰) و آینده (۱۴۱۰) محاسبه شد. لازم به ذکر است، اطلاعات مربوط به جمعیت شهرستان‌های حوزه آبخیز اسکندری؛ بر اساس آخرین سرشماری سالنامه‌های آماری شهرستانی استان اصفهان (۱۳۹۰ و ۱۴۰۰) تهیه شد. در ادامه، با داشتن تعداد جمعیت سال پایه، رشد سالانه جمعیت و فاصله زمانی بین سال پایه و سال مورد نظر؛ جمعیت سال ۱۴۱۰ بر اساس فرمول نرخ رشد جمعیت برای هر یک از شهرستان‌های حوزه آبخیز اسکندری پیش‌بینی شد (معادله ۲).

در این رابطه؛ P_t، جمعیت در سال مورد نظر؛ P_0، جمعیت در سال پایه؛ r، رشد سالانه جمعیت و t، تعداد سال‌های بین سال پایه تا زمان مورد پیش‌بینی می‌باشد.

$$RW= R+ Ri+ I- Ro+ Gi- Go$$ معادله (۱)

$$P_t = P_0(1 + r)^t$$ معادله (۲)

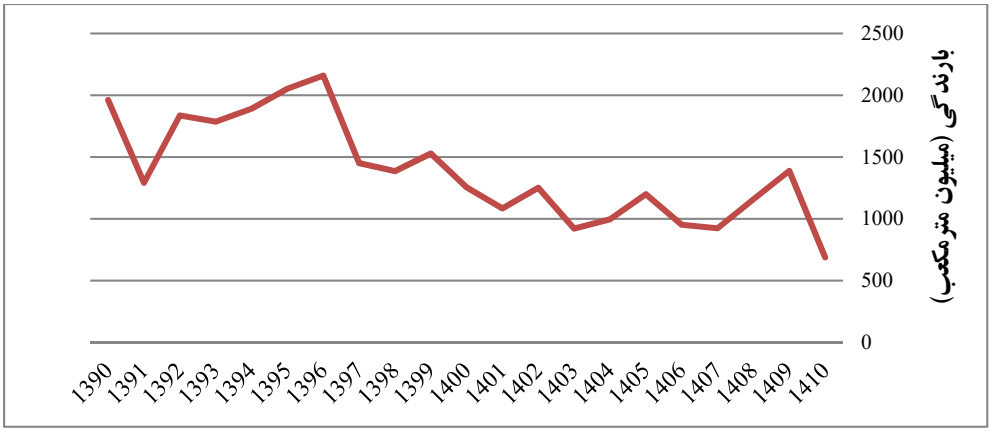
نتایج و بحث

به‌منظور سنجش حجم آب تجدیدپذیر از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز اسکندری در خصوص منابع آب سطحی و آب زیرزمینی استفاده شد. بر این اساس، اطلاعات مربوط به بارندگی، حجم آب نفوذیافته و رواناب برای دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۰ و ۱۴۰۰-۱۳۹۰ از ایستگاه مذکور تهیه شد. هم‌چنین، پیش‌بینی دوره آماری ۱۴۱۰-۱۴۰۰ بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انتشاری نجف‌آبادی (۱۳۹۹) در حوزه آبخیز زاینده‌رود صورت گرفت (شکل ۲). سپس با فرض ثابت بودن سایر شرایط، وضعیت منابع آب حوزه آبخیز اسکندری در سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد (جدول ۳). بر اساس نتایج، میانگین بارندگی سالانه در دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰، ۱۴۰۰-۱۳۹۰ و ۱۴۱۰-۱۴۰۰ به‌ترتیب ۲۲۵۸/۳۲، ۱۶۹۱/۰۱ و ۱۰۷۴/۷۴ است. شایان ذکر است، از دلایل اصلی روند کاهشی میزان بارندگی در پیش‌بینی ۱۰ سال آتی؛ وجود اقلیم خشک و نیمه‌خشک و خشکسالی‌های متوالی در این حوضه می‌باشد (انتشاری نجف‌آبادی، ۱۳۹۹).

هم‌چنین در خصوص منابع آب زیرزمینی، محدوده مورد مطالعه شامل قنات، چشمه، چاه است. میزان برداشت از چاه‌ها با توجه به تعداد، متوسط آبدهی و متوسط ساعات کارکرد آن‌ها محاسبه شد. هم‌چنین میزان برداشت از چشمه‌ها و قنات‌های موجود با توجه به تعداد (دهنه)، متوسط آبدهی در طول سال در طی دوره‌های آماری مورد مطالعه تعیین شد و نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. در واقع منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی طبق نتایج آخرین آماربرداری انجام گرفته توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، در سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. در این محدوده‌ها، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف مختلف از طریق چاه، قنات و چشمه انجام می‌شود. جدول (۲) خلاصه نتایج بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز اسکندری را ارائه می‌دهد (مطالعات اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوضه سد زاینده‌رود، ۱۴۰۰ و سالنامه آماری شهرستانی استان اصفهان، ۱۴۰۰). نتایج نشان می‌دهد تعداد چاه‌ها افزایش و متوسط آبدهی چاه‌ها پیدا کرده است، به‌طوری که میزان برداشت در سال ۱۳۹۰ ۱۸۰ به ۱۵۲/۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۴۰۰ رسیده است. نتایج حاضر مبنی بر افزایش تعداد و کاهش آبدهی چاه‌ها با مطالعات رجا و همکاران (۱۳۹۸) هم‌خوانی دارد. هم‌چنین، تعداد چشمه‌ها و قنات‌ها در طول دوره آماری مورد مطالعه افزایش و میزان آبدهی آن‌ها کاهش یافته است.

هم‌چنین، نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بیش‌ترین سهم منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز اسکندری به بخش کشاورزی اختصاص دارد. در واقع، با توجه به روند کاهشی بارندگی و پراکنش زمانی و مکانی غیر مؤثر در سال‌های اخیر و هم‌چنین روند افزایشی میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی (جدول ۳) و نیز توجه به توسعه سطح اراضی تحت کشت و تغییر الگوی کشت (توسعه گیاهان با الگوی مصرف بالا) بیانگر این است که وضعیت آبخوان‌ها در آینده چندان مناسب نیست و برداشت مازاد سبب ایجاد شرایط بحرانی شده است. لذا ارائه الگوهای مدیریتی جامع استفاده از منابع آب و حوزه آبخیز، بر اساس وضعیت بحرانی سال‌های اخیر، متضمن دوام و پایداری منابع آب‌های زیرزمینی خواهد بود.

در ادامه، بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ میزان کل جمعیت حوزه آبخیز اسکندری به‌ترتیب ۲۵۳۴۸۹ و ۲۴۶۸۱۰ نفر گزارش شده است. هم‌چنین بر اساس فرمول نرخ رشد جمعیت، میزان کل جمعیت در سال ۱۴۱۰؛ ۲۴۱۰۰۵ نفر پیش‌بینی شده است. با تقسیم میزان کل آب مصرفی بر میزان جمعیت، سرانه آب مصرفی برای هر نفر بر اساس شاخص فالکن مارک به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس شاخص FI محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه میزان آب تجدیدپذیر به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۱۰ به‌ترتیب ۱۸۹۴/۰۷، ۶۳۷/۶۰ و ۴۱۲/۳۳ مترمکعب است که بر اساس طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط فالکن مارک به‌ترتیب در کلاس عدم تنش آبی، کم آبی و کمبود مطلق قرار دارند. لازم به ذکر است، نتایج مطالعه حاضر در خصوص وضعیت منابع آبی حوزه آبخیز اسکندری در سال ۱۳۹۰، با یافته‌های مردانی و همکاران (۱۳۹۵) مبنی بر عدم تنش آبی هم‌خوانی دارد.



شکل ۲- روند تغییرات میزان بارندگی در حوزه آبخیز اسکندری

جدول ۲- منابع تأمین آب زیرزمینی و مصارف آن در محدوده مطالعاتی

سال	منبع تخلیه	تعداد	متوسط دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون‌مترمکعب)	نوع مصرف (درصد)				
					کشاورزی	شرب	دام و طیور	صنعت	سایر
۱۳۹۰	چاه	۱۵۵۸	۴۴/۱	۱۸۰	۲۴۳/۸	۱۹/۱	۳۳	۷/۳	۷/۷
	چشمه	۱۶۸۶	۱/۵	۳۳/۴۹	۲۷۰/۲	۰/۴۲	۲۷/۷	۰	۱/۶۸
	قنات	۲۸۶	۶/۹	۲۰/۲	۲۸۸/۳	۲/۱	۹/۱	۰	۰/۵
۱۴۰۰	چاه	۱۶۴۹	۲۹/۸	۱۵۲/۲	۲۷۰/۵۵	۱۳/۷۲	۱۱/۱۴	۴/۳۵	۰/۲۴
	چشمه	۱۹۸۳	۰/۸۸	۲۷/۰۵	۲۳۹/۵	۰/۲۵	۵۹/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۵
	قنات	۲۹۳	۲/۱۲	۶/۷۷	۲۹۰/۳۱	۰	۸/۹۳	۰/۷۶	۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در ابتدا متغیرهای نا شناخته و محیط، طبیعت و زیستگاه‌های انسانی را کنترل می‌کردند. اما امروزه علاوه بر فعالیت‌های غیر انسانی، توسعه کنترل‌نشده فعالیت‌های انسانی، محیط را تغییر می‌دهد و به‌طور جدی همه ارا ضی د ستنخورده و بوم سازگان‌ها را تهدید می‌کنند (کریمی و طالبی، ۱۴۰۱). از طرف دیگر، با گذشت زمان و با توجه به تغییر در وضعیت معیشتی مردم، نیاز بازار و سیاست‌گذاری‌های اشتباه، الگوی کشت نامناسب، کشت محصولات با نیاز آبی بالا و غیره؛ الگوی کشت منطقه دچار تغییر شده است و این تغییر الگوی کشت منجر به استفاده بی‌رویه و برداشت نامتعادل از منابع آب شده است. ضمن‌اینکه، عدم رعایت حق‌آبه و نبود برنامه‌های تخصیص بهینه مصرف آب بر مشکلات کم‌آبی در

و ضعیت فعلی و شرایط بحرانی در ۱۰ سال آینده مؤثر ا ست. تداوم این امر در جهت ناپایداری منابع آب قابل‌دسترس و تجدیدپذیر در آینده، ادامه حیات ساکنین منطقه را به مخاطره خواهد انداخت. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد مقدار سرانه منابع آب تجدیدپذیر برای هر نفر در آینده با توجه به شاخص فالکن مارک برای منطقه در طبقه کمبود مطلق قرار دارد و ضرورت مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب در منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین، در را ستای مدیریت و بهره‌برداری ا صولی و پایدار از منابع آب، اعمال راهکارهای تو سعه برنامه‌های تخصیص بهینه م صرف آب و تنظیم حق آبه و هم‌چنین تهیه و تدوین برنامه مدیریت جامع منابع آب با اعمال مدیریت‌هایی از قبیل تغییر الگوی کشت و جایگزین کردن کشت‌های کم‌مصرف و با بهره‌وری اقتصادی بالا پیشنهاد می‌شود.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های وضعیت منابع آب (میلیون مترمکعب) حوزه آبخیز اسکندری

شاخص	سال ۱۳۹۰	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۱۰
مساحت (ha)	۷۶۶/۴۲	۷۴۴/۶۰	۷۲۲/۷۸
بارندگی	۱۹۶۱/۷۳	۱۲۵۵/۶۰	۶۸۸/۱۱
رواناب	۹۸۵/۵۹	۵۳۲/۸۸	۳۷۹/۶۱
نفوذ	۴۷۶/۱۴	۲۲۲/۷۲	۱۵۶/۳۸
مجموع منابع آب در دسترس	۱۴۶۱/۴۳	۷۵۵/۶۰	۵۳۵/۹۹
جریان زیرزمینی ورودی	۲۵۴/۴۶	۲۳۲/۹۰	۲۱۳/۶۴
جریان زیرزمینی خروجی	۲۷۹	۲۷۵/۴۰	۲۷۱/۸۰
تغییرات حجم ذخیره	-۲۴/۵۴	-۴۲/۵۰	-۵۸/۱۶
حجم آب تجدیدپذیر	۱۸۹۴/۰۷	۶۳۷/۶۰	۴۱۲/۳۳
شاخص FI	عدم تنش آبی	کم آبی	کمبود مطلق

منابع

- انتشاری نجف‌آبادی، س. ۱۳۹۹. تدوین چارچوب مدیریت منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود با تأکید بر جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی. ر ساله دکتری، دانشکده مهند سی عمران، اصفهان.
- رجا، ا.، پارسی‌نژاد، م.، سهرابی، ت. و آلی، خ.ا. ۱۳۹۸. بررسی وضعیت منابع آب محدوده مرودشت-خرامه با استفاده از شاخص‌های تحلیل پایداری. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰ (۴): ۹۰۹-۸۹۸.
- سالنامه آماری شهرستانی استان اصفهان، ۱۳۹۰.
- سالنامه آماری شهرستانی استان اصفهان، ۱۴۰۰.
- کریمی، ز. و طالبی، ع. ۱۴۰۱. مدیریت جامع اراضی یا مدیریت جامع آبخیز؟ ترویج و توسعه

آبخیزداری، ۱۰ (۳۷): ۶۶-۵۷.

- محمدیاری، ف. و زرندیان، ا. ۱۴۰۰. ارزشگذاری اقتصادی خدمات اکوسیستم: مروری بر مفاهیم و روش‌ها. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱ (۲): ۸۱-۶۳.
- مردانی، م.، ضیائی، س. و نیکوئی، ع. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی در الگوی کشت منطقه‌ای استان اصفهان با استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی چند معیاره. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۵ (۱۰۰): ۸۸-۵۹.
- مطالعات اثربخشی عملیات آبخیزداری در حوضه سد زاینده‌رود. گزارش آب زیرزمینی، ۱۴۰۰.
- نیشابوری، ع.ا. ۱۳۸۸. اکولوژی عمومی انتشارات دانشگاه پیام‌نور. ۳۱۲ ص.
- Ahmadi, A., Zadevakili, N., Safavi, H.R. and Ohabizadi, S.A. 2015. Developing a dynamic planning model for the allocation of surface water and underground resources, Case study: Zayandehroud catchment basin, Iran water resources research, 11(1): 22-31.
- Bithas, K. 2008. The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience. Ecological Economics, 68(1-2): 221-229.
- Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? Ambio, 112-118.
- Millennium Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.
- Rahimi, H. and Kaledi, H. 2000. The Water Crisis in Iran and the Ways to Cope with It, The First National Conference on Dehydration and Drought Management, 941-951.
- Safavi, H. R., Darzi, F. and Mariño, M. A. 2010. Simulation-optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater. Water resources management, 24(10): 1965-1988.
- Shahedi, M. and Talebihossian abad, F. 2013. An Indicator of Application to Assess Water Balance and Development Sustainability, Water and Sustainable Development, 1(1): 73-79.
- Wilson A., and Tyrchniewicz A. 1995. Agriculture and sustainable development: policy analysis on the Great Plains. Manitoba, Canada, International Institute for Sustainable Development (IISD).
- Zibai, M.H., Zibai, M. and Ardokhani, k. 2013. Evaluation of combined use scenarios of surface and underground water resources in Firouzabad Plain Fars, Agricultural Economics Research, 5(1): 157-181.

ارزیابی نگرش دانش آموزان مدارس ابتدایی نسبت به خاک

نظام اصغری پور دشت بزرگ [*1]، زینب حزباوی [2]، زهرا اسکندری [3]، راضیه ابولی [4]

۱*- دکترای ژئومورفولوژی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، رایانامه (*nasgharipour@gmail.com*)

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه محقق اردبیلی

۳- آموزگار مقطع ابتدایی مدارس شهر مسجدسلیمان

۴- کارشناس روانشناسی استان البرز *raziepnugiti@gmail.com*

چکیده

خاک یکی از مهمترین منابع پایه حوزه آبخیز می باشد و سلامت کمی وکیفی آن تاثیر مستقیمی بر سلامت آبخیز دارد. از این رو متناسب با بهره‌برداری گسترده از آن، نیاز به آموزش‌های بنیادین حفاظت از خاک به آبخیزنشینان نیاز ضروری است. انسان بعنوان بهره‌بردار و محور اصلی حفاظت از خاک، ساکن سرزمین و حوزه آبخیز بوده و رفتارش که در یک دستگاه پیشرفته مرکزی بنام مغز شکل گرفته بر پیرامون خود، شامل زمین، خاک و محیط زیست، اثر می‌گذارد. آموزش‌های انسان از کودکی تا بزرگسالی با رشد مغز و در کنش و واکنش با محیط بشکل رفتار بروز می‌نماید. از این رو واکاوی نگرش بارگذاری شده در ذهن آبخیزنشیان، خصوصاً کودکان بعنوان تاثیر گذاران اصلی بر سلامت آبخیزها درآینده نزدیک بسیار اهمیت دارد. این مطالعه بشیوه پرسش‌نامه محقق ساخته با هدف شناخت نگرش دانش آموزان مقطع ابتدایی در مورد خاک از جهت تمیز یا کثیف بودن برای بازی، برروی ۱۰۲ دانش‌آموز دختر مقطع ابتدایی شهر اردبیل و مسجد سلیمان صورت پذیرفت. نتایج نشان داد، ۲۸ درصد دانش آموزان دختر در مدارس شهر اردبیل و ۵۲ درصد دانش آموزان دختر در مدارس شهر مسجد سلیمان خاک را ماده‌ی کثیف کننده برای بازی می‌دانند. تحقیق حاضر علاوه بر نشان از وجود تفاوت در نگرش دانش آموز نسبت به خاک در شرایط اقلیمی و محیطی متفاوت ضرورت ارائه آموزش‌های متناسب با فرآیند رشد مغز و شکل‌گیری نگرش و نهایتاً رفتار کودکان را بعنوان تاثیرگذاران بر سرزمین، سلامت خاک و آبخیزها را از محیط خانواده، مهدکودک و مدارس پایه را بیان می‌دارد.

واژه‌های کلیدی :

آبخیزنشینان، رشد مغز، آموزش، حفاظت خاک، شهراردبیل

مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه انسان در نقاط مختلف کره زمین تا کنون موجب بروز مشکلات و تاثیرات منفی زیادی بر محیط زیست کره زمین مانند گرمایش‌زمین، آسیب به تنوع زیستی، آلودگی آب و هوا، آلودگی، تخریب خاک و غیره شده است و تاثیرات بروز این مشکلات بر سلامت آبخیزها نیز نمایان

می‌گردد. به دلیل آثار زیانبار این مشـــکلات، نیاز به رویکردهای پاکســـازی محیط زیســـت در قالب آگاهی‌های علمی و عمومی می‌باشد، در کشورمان نیز این موضوع به‌عنوان یک ضرورت نمایان بوده و به تغییر و تحول در رویکردهای محیط زیستی، متناسب با مسایل و مشکلات متنوع آن را داریم. یکی از رویکردهای با اهمیت در این خصـــوص آموزش و تربیت کودکان و نوجوانانی می‌باشـــد که به زودی شهروند می شوند و رفتار آن‌ها هم بر روی محیط‌زیست مجاور و هم بر روی زیست‌کره اثرگذار خواهد گذاشت(شبیری و همکاران ۱۳۸۸). خاک یکی از ارکان اصلی محیط زیست بوده و شکل‌گیری و جایگاه آن بر روی زمین از جنبه‌های متفاوت قابل بررســـی می باشـــد. به‌طوری که بر طبق اســـاطیر اکثر ملل مانند، اسطوره‌های سومری، یونانی، قبایل بومی استرالیا و.... خاک ماده آفرینش انسان بوده و همچنین بر طبق روش شناسی دینی، خاک ماده اولیه آفرینش انسان و در قرآن به‌طور مستقیم این موضوع ذکر گردیده است (سوره حج، آیه ۵) و در عبری که زبان کتاب تورات است، کلمه آدم هم معنی کلمه خاک می‌باشد. از سوی دیگر با نگاهی با روش شناسی علوم تجربی درمی‌یابیم که خاک بسترحیات و فراهم آورنده شرایط زیست و ادامه حیات غالب موجودات زنده متکی به آن می‌باشد. در تاریخ تمدن بشر نیز جایگاه خاک کاملاً مشخص بوده و تحولات تمدنی در حوزه انقلاب کشاورزی، ساخت خانه و شهرها و آغاز تمدن، ســـاخت ظروف و ســـفالینه‌ها، خلق آثار در حوزه هنر و معماری، در گرو وجود خاک برروی کره زمین بوده است (امین سلماسی، ۱۳۹۶).

خاک بعنوان یکی از ارکان اصلی و منابع پایه حوضه‌های آبخیز امروزه در اولویت برنامه‌های سازمان‌های، مانند سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، موسسات تحقیقاتی و اجرایی، دانشگاه‌هی و غیره مرتبط با خاک قرار دارد. همچنین یکی از مواد اصـــلی قانون حفاظت خاک کشـــور، آموزش در جهت حفاظت و نگهداری از خاک در ســطح ملی می‌باشـد. بدین منظور با توجه به اهمیت خاک، پرداختن به مقوله جایگاه آن و سرمایه گذاری درحوزه تعلیم و تربیت افراد، خصوصاً کودکان و نوجوانان و نوع نگرش و مفاهیم تربیتی موجود در جامعه، خانواده و سازمان‌های مربوطه، بسیار با اهمیت می‌با شد، در زمینه تاثیرات خاک و محیط طبیعی بر سیستم بیولوژیک و نگرش کودکان به برخی از تحقیقات صورت گرفته در ادامه اشاره می‌گردد.

لاوری و همکاران(۲۰۰۷)، در نقش مایکوباکتریوم واکا و تاثیر برروی ســـیســـتم ایمنی بدن و تحریک ســـیســـتم ســـروتونرژیک مغز بیان نمودند، موش‌هایی که در تماس با خاک، مایکوباکتریوم واکا و محیط طبیعی رشـد نمودند، دارای ســیســتم ایمنی و ســیســتم ســروتونرژیک مغزفعال ترهســتند، نســبت به موش‌های که در تماس با خاک و مایکوباکتریوم واکا نبودند.

ســـامور(۲۰۰۳)، در زمینه آگاهی و نگرش‌های زیســـت محیطی کودکان بیان داشـــتند که برنامه‌های آموز شی گروهی و در محیط طبیعی تفاوت معنی‌دار و موثری‌تری بر نگرش و یادگیری کودکان نسبت به کودکانی که بدون کار گروهی و محیطی آموزش دیده‌اند، داشته‌است.

طلایی و همکاران (۱۳۹۴)، در ضرورت تربیت اوان کودکی (پیش از دبستان)، بر اهمیت پرداختن به تربیت در این دوره از چهار منظر توجیه بیولوژیک (یافته‌های پژوهشی حوزه عصب شناختی و مغز)، توجیه اقتصادی (تحلیل هزینه فایده)، توجیه آموزشی (عملکرد و پیشرفت تحصیلی مطلوب در طول دوره تحصیل) و توجیه اجتماعی(رشد منشها و کنشهای اجتماعی مطلوب در طول نوجوانی و بزرگسالی)تاکید نمودند.

اصغری‌پور و همکاران(۱۴۰۰)، درمقایسه جایگاه خاک از دیدگاه دانش آموزان مقطع ابتدایی و پیش دبستانی شهر کرج، نتیجه گرفتند که کودکان پیش دبستانی بیشتر از کودکان گروه سنی بالاتر و دانش‌آموز ابتدایی خاک را برای بازی کردن ماده‌ای کثیف می‌دانند، که این نگرش غالباً از طریق مادران در فرایند تربیت به آنها منتقل شده‌است.

آموزش‌های محیط‌زیست را می‌توان از پایه به طور آموزش رسمی آغاز نمود و تغییراتی را در نگرش، دانش و مهارت‌های دانش‌آموزان در رابطه با محیط‌زیست ایجاد نمود(کریمی، ۱۳۸۸). ولی از سوی دیگر، زیر بنای آموزش‌های رسمی، نوع تربیت تا سن شش سالگی در خانواده و مهد کودک‌ها می‌باشد؛ به‌طوری که بیشتر مفاهیم پایه و قالب اولیه ساختار شناختی مغز کودکان تا سن شش سالگی و پایین‌تر شکل می‌گیرد و خاک‌بازی و گل بازی یکی از فعالیت‌های بسیار با اهمیت در این سنین بوده(کریمی، ۱۳۹۰)، که موجب تماس پوست کودک با خاک و ارتقای سیستم ایمنی و سیستم سروتونرژیک بدن می‌گردد(Lowry و همکاران ۲۰۰۷)، همچنین در درک حسی پیکری، تکامل مراکز حسی مغز، ترکیب اطلاعات دریافتی با شعور و عواطف و ایجاد بستر افکار انتزاعی(خلق ایده های نو)، پرورش تجسم فضایی، رشد مهارت‌های اجتماعی، محیط زیستی و غیره اثر دارد. با توجه به اینکه مغز انسان از سه لایه یا بخش اصلی تشکیل شده است و در بخش ساقه مغز رفتارهای غریزی مانند گردش خون، تنفس، سیستم گوارش و غیره، در بخش میانی عواطف انسان و در لایه فوقانی یا کورتکس مغز فعالیت‌های منطقی و تفکر انسان کنترل و انجام می‌گیرد. از این رو رفتارهای والدین در سنین پایین و نهی کردن فرزندان از ارتباط با خاک و گفتن جملاتی از قبیل، بچه دست به خاک و زمین نزن، کثیف است، علاوه بر بارگذاری باورهای نادرست در بخش تفکری مغز کودک در بخش انگیزه و عواطف و خصوصاً حس مکان او بعنوان عاملی که موجب تبدیل یک فضا به مکانی با خصوصیات حسی و رفتاری ویژه و قابل پذیرش برای افراد می شود، اثر گذاری مخربی خواهد داشت(فلاحت، ۱۳۸۵)، از این رو چنین باوری در نهی کودک از ارتباط با خاک تا سنین بالاتر و دوره‌های بعدی زندگی همراه شخصیت او باقی می‌ماند. از این رو بارگذاری مفاهیم پایه در سنین کودکی بسیار با اهمیت بوده به‌طوری که زیربنای رفتاری افراد در جامعه آینده در همان کودکی شکل اولیه بخود می‌گیرد. هدف از این پژوهش متأثر از مسائل مختلف در زمینه خاک، بررسی جایگاه خاک در فرایند رشد کودک و شناسایی دیدگاه کودکان دانش‌آموز در

مقطع تحصـیلی ابتدایی در مورد خاک از جهت تمیز یا کثیف بودن برای بازی روی کودکان در مدارس ابتدایی شهر اردبیل و مسجدسلیمان و مقایسه آنها می‌باشد

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به جایگاه خاک در بازی و تاثیر بر فرآیند رشـــد و آموزش کودکان و نوجوانان. تعداد ۱۰۲ دانش‌آموز در سنین کلاس سوم وچهارم در مدارس ابتدایی مورد در شهر اردبیل و مسجد سلیمان مورد مصاحبه قرار گرفتند. ابزار گردآوری اطلاعات پرسشنامه محقق ساخته بر مبنای سوالات جدول (۱) بود که با مصـــاحبه حضـــوری و انفرادی با هر یک از کودکان تکمیل گردید. در مرحله بعد پاسـخ‌های کودکان به سـوالات پرسـشـنامه، به محیط نرم‌افزار اکسـل و SPSS وارد شـده و درصـد نمودارهای فراوانی بدست آمد.

جدول ۱. سوالات مورد استفاده در مصاحبه با کودکان

ردیف	سوال	جواب				
		هرگز	به ندرت	گاهی اوقات	اغلب	همیشه
Q1	آیا تاکنون خاک بازی و گل بازی کرده اید؟ (سوال زمینه ساز)					
Q2	چه میزان خاک بازی و گل بازی را دوست دارید؟(سوال زمینه ساز)					
Q3	آیا والدین شما را از خاک بازی و گل بازی منع می‌کنند ؟ کدام یک از والدین شما را منع می کند؟	پدر		مادر		
Q4	آیا به نظر شما خاک تمیز است؟					

۱- مغز و نگرش

مغز انسان با دارا بودن یکصد میلیارد سلول عصبی از بدو تولد تا شش سالگی ۹۰ درصد رشد خود را انجام داده و بیشتر از هر زمان دیگری رشد می‌کند، همچنین بیشترین میزان درجه حساسیت نسبت به محیط پیرامون از جهت مهارت گوناگونی همچون کنترل هیجانات، شـــنوایی، بینایی، مهارت های اجتماعی، مهارت‌های زبانی و واکنشـــی را دارد. مغز جایگاه فعالیت‌های آگاهانه‌ای مانند اندیشـــیدن و یادگیری است و رفتار انسان متناسب با بارگذاری مفاهیم و مهارت‌های مختلف با آموزش بر سیستم مغز او صورت می‌پذیرد.

نگرش نشـان دهنده اثر شـناختی و عاطفی به جای گذاشـته شـده تجربه شـخص از شـئ یا موضـوعی اجتماعی است، نگرش یک مکانیسم پنهانی و اجزای آن مرکب از سه عنصر شناختی، عاطفی (احساسی) و آمادگی برای عمل ا ست، نگرش‌ها ارزیابی از ا شیا را خلا صه می‌کنند و در نتیجه پیش‌بینی یا هدایت اعمال یا رفتارهای آینده را بر عهده می‌گیرند(کریمی، ۱۳۸۸).

روباه گرد وخاکی

پیکرک گلی روباه گردوخاکی توسط نگارنده‌ای مقاله، نظام اصغری پور دشت بزرگ در سال ۹۳ در شهر اهواز و در اثر ناراحتی فراوان ایشان برای کشته شدن روباهی توسط برادر شان در موقع انجام آزمایش دانه‌بندی میدانی ذرات گرد وغبار در بین انگشتانشان و یادآوری گل‌بازی کودکیشان ساخته شده و به دنبال بهره‌گیری از ظرفیت‌های اجتماعی با شیوه‌های هنری و جستجوی جایگاه نمادین خود بوده، تا به ما انسان‌ها این پیام را برساند که جایگاه زمین و خاک بسیار با اهمیت بوده و آسیب‌های ما به طبیعت در زمانی دیگر به ما بازخورد خواهد داشت. تحقیق حاضر بخشی از ماجرای علمی و واقعی این شخصت می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون کودکان و تجزیه وتحلیل یافته‌ها نشـــان داد، که از مجموع ۵۴ کودک دانش آموز ابتدایی در شـــهر اردبیل، ۱۵ نفر (۲۸ درصـــد) نظرشـــان بر کثیف بودن خاک برای بازی و تعداد ۳۹ نفر (۷۲ درصد) نیز نظر برتمیزی خاک داشتند. همچنین نتایج آزمون کودکان در شهر مسجدسلیمان نشان داد، از مجموع ۴۸ کودک دانش آموز ابتدایی در این شهر، ۲۵ نفر (۵۲ درصد) نظرشان بر کثیف بودن خاک برای بازی و تعداد ۲۳ نفر (۴۸ درصد) نیز نظر برتمیزی خاک داشتند. نمودارهای تعداد و درصد فراوانی نظرات کودکان مورد آزمون در شکل‌های (۲) تا (۵) ارائه گردیده است.

شکل ۱. شخصیت عروسکی روباه گرد و خاکی و نحوه خلق آن

شکل ۲. نمودار تعداد فراوانی نظرات دانش‌آموزان اردبیل

شکل ۳. نمودار تعداد فراوانی نظرات دانش‌آموزان مسجدسلیمان

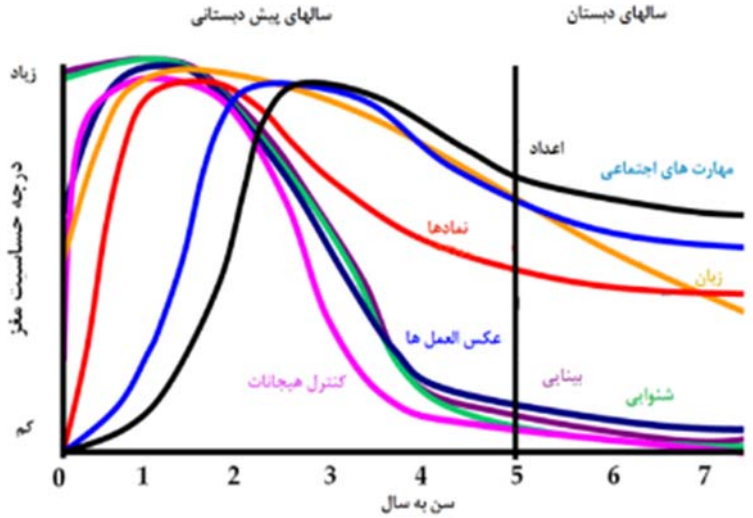
شکل ۴. نمودار درصد فراوانی نظرات دانش‌آموزان اردبیل

شکل ۵. نمودار درصد فراوانی نظرات دانش‌آموزان مسجدسلیمان

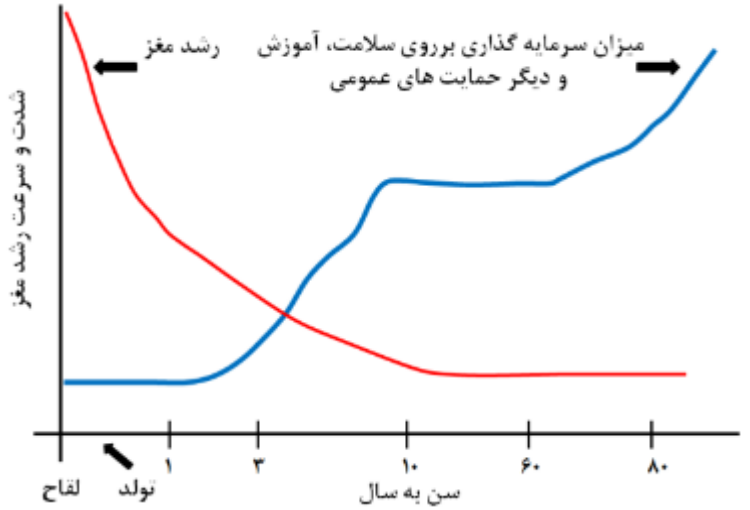
دیدگاه کودکان دانش آموز دختر پایه چهارم ابتدایی مورد آزمون در خصوص تمیز بودن خاک در مدارس شهر اردبیل ۲۸ در صد در طبقه با نظر کثیف بودن خاک برای بازی بد ست آمد که این مقدار در همان پایه تحصیلی در شهر مسجد سلیمان به میزان ۵۲ در صد است که می‌تواند تفاوت موجود در نگرش دانش آموزان نسبت به خاک تحت تاثیر شرایط اقلیمی با توان آسایشی مناسب‌تر، فضای محیطی با پوشش گیاهی بیشتر نسبت به شهر مسجد سلیمان که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک با شرایط گرد و غبار و آلاینده‌های محیطی بیشتر را در کنار مسایل تربیتی و باورهای آموزش داده شده توسط والدین دانست. از سوی دیگر میانگین هر دو گروه دانش آموزان با نگرش کثیف بودن خاک برای بازی در دو شهر به میزان ۴۰ درصد قرار داشت که این نتیجه گویای آموزش ناکافی و عدم شناخت صحیح کودکان در خصوص درک ماهیت خاک و جایگاه اکولوژیک آن که جوهره‌ی اصلی آفرینش و بستر حیات بودن آن است، می‌باشد. نتایج مطالعات، اسدی و همکاران (۱۳۹۷) نیز تایید کننده عدم آموزش کافی در خصوص محیط زیست و مسائل مربوط به آن است.

ارائه برنامه‌های آموزشی قابل درک و فعالیت‌های سرگرم کننده و مناسب با سن کودکان، از قبیل (کارگاه‌های گل‌بازی، اجرای نمایش و غیره) و شرکت فعال کودکان در این برنامه‌ها، می‌تواند یکی از راهبردهای موثر در جهت تغییر نگرش آن‌ها نسبت به خاک و زمینه‌ساز شکوفایی استعدادهای آنان باشد. ویلسون معتقد است که یادگیری مفاهیم باید از طریق بازی و نمایش، خود جوش و بدون محدودیت و غیر رسمی باشد (Wilson، ۲۰۱۱).

خانواده اولین اجتماعی است که کودک آن را می‌شناسد و ویژگی‌های فردی والدین بر نگرش و رفتار فرزندان نسبت به جامعه و محیط زیست اثر می‌گذارد. انتقال یک مفهوم نادرست در ذهن فرزند از سنین کم، مانند (نباید با خاک‌بازی کنید، چون کثیف است)، باعث پذیرش اجتناب ناپذیر آن از سوی فرزند و همچنین ایجاد یک نگرش نادرست بدون بررسی و علت‌یابی آن می شود و قطعاً بر رفتار حال و آینده آنان اثر می‌گذارد. با توجه به اینکه بالاترین میزان حساسیت مغز تا قبل از ۵ سالگی می باشد شکل(۶) نمودار روند دوره رشد مغز و لزوم توجه به این دوره در بارگذاری درست مفاهیم مرتبط با خاک را نشان می‌دهد. اما واقعیت در حال اتفاق افتادن در بیشتر کشورها، کمترین میزان سرمایه‌گذاری دولتی روی نیروی انسانی و در فعالترین دوره رشد سیستم عصبی است، یعنی زمانی که بالاترین توانایی برای شکل‌دهی عادات و شایستگی‌ها (شش سال اول کودکی) در افراد وجود دارد(Van der Gaag و Snijders، ۲۰۰۴). شکل(۷) عدم تطابق میان رشد مغز و میزان سرمایه‌گذاری دولتها را نشان می‌دهد.



شکل۶. نمودار روند دوره رشد مغز



شکل ۷.عدم تطابق میان سرمایه گذاری دولتها و روند رشد

کودکان نسل آینده را تشکیل داده و مسئولیت ارتباط نسل حاضر با نسل‌های آینده را بر عهده دارند و بنابراین مهم‌ترین گروه هدف آموزش‌های زیست محیطی هستند. لازمه زندگی پایدار در یک جامعه شناخت صحیح محیط زیست و کسب مهارت‌های لازم در نحوه رفتار با آن است. با وجود مطالعات صورت گرفته در زمینه بررسی دانش و نگرش کودکان نسبت به مسائل زیست محیطی، این مطالعه با هدف بررسی دیدگاه کودکان نسبت به خاک و بررسی تأثیر منع گل‌بازی توسط برخی والدین در پاسخ به سوال اصلی تحقیق "به نظر شما خاک تمیز است" انجام شد. بر اساس نتایج، نوع انتقال مفاهیم

تو سط والدین و خ صو صاً مادران در سنین قبل از ۶ سالگی در دیدگاه کودکان ن سبت به خاک تأثیر گذاشـــته اســـت. به عبارت دیگر این نوع اطلاق و آموزش در مورد خاک علاوه بر بارگذاری یک باور و الگوریتم نادرســت در بخش کورتکس مغز، بر عملکرد بخش میانی مغز که مرکز عواطف و احســاســات انســان اســت، تاثیر منفی دارد، هم‌چنین می‌تواند بر کارکرد مغز تاثیر منفی گذاشــته و بر کاهش قدرت تخیل ذهن اثر قابل توجهی بگذارد. از ســـوی دیگر مطالعات لاوری و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر ارتباط و تماس پو ست کودک با خاک و ارتقای سیـ ستم ایمنی و سیـ ستم سروتونرژیک بدن او را ن شان داده، بنابراین توصیه می‌شود که فرزندان خود را از گل‌بازی منع نکنید و بگذارید که از این طریق مهارت‌های اجتماعیشان را ارتقاء دهند و محیط زیست خود را بهتر شناخته و در راستای حفاظت آن گام بردارند. . در ادامه تصاویری از فعالیت ها و کارگاه‌های آموزشی گل‌بازی انجام شده در شکل (۸) مبتی بر موضوع تحقیق و شخصیت پیکرک گلی روباه گردوخاکی ارائه شده است.

شکل ۶. کارگاه‌های گل‌بازی در خانه و جامعه با هدف ترویج فرهنگ خاک واصلاح نگرش کودکان و والدین

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خاک وگل بازی بنیادترین فعالیت ارتباطی کودک در ارتباط با محیط و سازگاری با آن می باشد و موجب افزایش خلاقیت و ارتقای سیستم فیزیولوژیک و عصبی او و نهایتاً شناخت اکولوژیک او از محیط زیست و سرزمین می‌گردد. از مجموع ۵۴ کودک مورد آزمون مقطع ابتدایی در شهر اردبیل ۱۵ نفر و به میزان ۲۸ درصد نظرشان بر کثیف بودن خاک برای بازی بود این مقدار در شهر مسجدسلیمان از مجموع ۴۸ کودک دانش آموز ابتدایی ۲۵ نفر (۵۲ در صد) نظر شان بر کثیف بودن خاک برای بازی بود که میانگین ۴۰ درصد برای مدارس دو شهر مورد آزمون بدست آمد. بالا بودن درصد نظرات در خصوص اینکه خاک کثیف است، درکودکان را می‌توان نتیجه نوع انتقال مفاهیم توسط والدین و خصوصاً مادران در این سنین در جلوگیری از خاک وگل‌بازی بچه‌ها دانست و این دیدگاه در ادامه فرآیند رشد تا سنین بالاتر نیز ادامه دارد. پیشنهاد می شود، بررسی دیدگاه کودکان نسبت به خاک در پژوهش‌های آینده، علاوه بر جنسیت دختر در بین پسران، مقاطع تحصیلی مختلف و غیره مورد بررسی قرار گیرد و گستره‌ی جغرافیایی جمله "به خاک دست نزن، کثیف است" به عنوان یک آموزش نادرست از سوی برخی والدین و نقش متغیرهای دیگری از جمله محل زندگی، سن، تحصیلات و شغل و درآمد والدین در پاسخ به سوال اصلی تحقیق (به نظر شما خاک تمیز یا کثیف است؟) مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- اسدی، م.، نقی‌زاده، م. م.، مظلومی، س. و غضنفری، ز. ۱۳۹۷. بررسی دانش، نگرش و رفتارهای مسئولانه زیست محیطی دانش آموزان دختر مدارس متوسطه اول. نشریه پایش، ۱۷ (۶)، ۶۷۷-۶۸۶.
- اصغری‌پور دشت بزرگ، ن. غریب رضا، م. محمد زنوزی راد، م. نوروزی، آ. قطبی زاده، ف. ۱۴۰۰. مقایسه جایگاه خاک از دیدگاه دانش آموزان مقطع ابتدایی و پیش دبستانی، هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، کرج، مهر ۱۴۰۰.
- امین سلماسی، ب. ۱۳۹۶. ترجمه تاریخ هنر، نوشته مریلین استاکستد و مایکل کاترن، انتشارات فخراکیا.
- شبیری، م. و عبدالهی س. ۱۳۸۸. نظریه ها وکاربردهای آموزش محیطزیست». تهران: دانشگاه پیام نور.
- صبور، م.ر.، امیری، ا. و دزواره، ق. ۱۳۹۵. مهندسی و پاکسازی خاک تالیف ساتن ساترسان، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی.
- طلایی، ا، بزرگ، ح.(۱۳۹۴)، ضرورت تبین تربیت اوان کودکی (پیش از دبستان) مبتنی بر سنتز پژوهی شواهد تجربی معاصر، فصلنامه تعلیم و تربیت شماره ۱۲۲.

- فلاحت، محمدصادق(۱۳۸۵)، حس مکان و عوامل شکل‌دهنده آن، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۲۶، تابستان، ص ۵۷.
- کریمی،یوسف . (۱۳۸۸). نگرش و تغییر نگرش . تهران : نشر ویرایش
- کریمی، س. ۱۳۹۰. چگونگی ایجاد و مدیریت مدارس زیست محیطی در کشورهای پیشرو و ارائه مدلی با قابلیت اجرایی در ایران. دانشگاه پیام نور واحد شهر ری.
- Mary Mayesky. 2002. Creative Activities for Young Children. Publisher Delmar and Thomson Learning.
- Wilson, C. 2011. Effective approachesto connect children with nature, Publishing Team, Department of Conservation,PO Box 10420, The Terrace,Wellington 6143, Newzeland.
- Van der Gaag, M. & Snijders, T. (2004). Proposals for the measurement of individual social capital. In H.D. Flap & B. Völker (Eds.), Creation and returns of social capital (pp. 199-218). London: Routledge
- Lowry CA, Hollis JH, de Vries A, Pan B, Brunet LR, Hunt JR, Paton JF, van Kampen E, Knight DM, Evans AK, Rook GA, Lightman SL.2007. Identification of an immune-responsive mesolimbocortical serotonergic system: potential role in regulation of emotional behavior. Neuroscience. Neuroscience 146 -756–772
- Sumner, Jennifer (2003). Environmental adult education and community sustainability. New Directions for Adult and Continuing Education. doi:10.1002/ace.108. ISSN.

- روش‌های استحصال آب (باران، رطوبت هوا، نامتعارف، سیلاب، سدهای زیرزمینی و ...)

بررسی معیارهای تعیین اولویت مکانی استحصال آب زیرقشری به روش سدزیرزمینی

(مطالعه موردی: مناطق عشایری شهرستان بردسکن خراسان رضوی)

علیرضا اسلامی[1]، علی باقریان کلات [2]و زهره شیبانی زاده[3]

۱*- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، *نویسنده مسئول:
Ar.Eslami@areeo.ac.ir

۲و۳- محققین بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران،

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی معیارهای تعیین اولویت مکانی به منظور شناسایی مناطق مستعد استحصال آب زیرق شری از طریق احداث سد زیرزمینی برای شرب و بهدا شت دام در زی ست بوم های ع شایری شهر ستان برد سکن در خرا سان ر ضوی انجام شد. برای تعیین مکان های دارای اولویت احداث سد زیرزمینی و اســـتحصـــال جریان زیرقشـــری، اولویت‌بندی باتوجه به مهمترین معیارها در قالب عوامل محیطی-فنی شامل: شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، خصوصیات مخزن سد، خصوصیات هیدرولوژیکی محدوده، کیفیت آب ذخیره شده و عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز شامل: نیاز آبی منطقه، هزینه تامین آب در منطقه، هزینه تامین احداث سد، فاصله از روستا یا محله و فاصـله از جاده از طریق وزن دهی عوامل به روش ANPfuzzy اسـتفاده شـد. در این پژوهش از میان عوامل تأثیرگذار در تعیین مکان‌های اولویت دار احداث سدزیرزمینی، عامل زمین شنا سی به دلیل تأثیر زیادی که روی نوع آبرفت و کیفیت آب قابل ا ستح صال دارد و عامل شیب مورد توجه قرار گرفتند. در این خصوص نتایج نشان داد که کلاس شیب‌های ۳-۰ درصد در بین سایر کلاس‌های شیب، بیشترین امتیاز را به خود اخت صاص داد. سپس کلاس شیب بین ۳ تا ۶ در صد، امتیاز بالاتر را ن سبت به سایر کلاسها بدست آورد. در مورد زیرمعیارهای عامل زمین شناسی، واحدهای آبرفتی (Qt, Qal) بیشترین امتیاز در مقایسات زوجی به خود اختصاص دادند که این به دلیل درشت دانه بودن و قابلیت نگهداشت بالای آب می توا ند تلقی گردد. همینطور وا حد های کربـ نا ته (Ktr, Jmz) در رتـ به دوم از بین زیرمعیارهای زمین شنا سی قرار گرفتند. از نظر شنا سایی اولیه طبق برر سی‌هایی که صورت گرفت، در منطقه مورد پژوهش ۸ نقطه برای احداث سدزیرزمینی جهت استحصال آب شرب دام عشایر شهرستان شناسایی شد. اما باتوجه به اعمال معیارهای، یک نقطه به عنوان مکان مناسب برای کنترل و استحصال جریان زیرقشری به روش سد زیرزمینی انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی
جریان زیرقشری، بردسکن، سدزیرزمینی، تامین آب، عشایر، ANPfuzzy

مقدمه

در برخی از مناطق عشایرنشین استان خراسان رضوی که نیازمند آب شرب دام و مصارف بهداشتی هستند، جریان آب زیرقشری مناسبی وجود دارد که با احداث سد زیرزمینی می‌توان بخش قابل‌توجهی از جریان آب زیرسطحی را در مخزن آبرفتی موجود در پشت سد زیرزمینی ذخیره کرده و در مواقع نیاز مورد بهره‌برداری قرار داد. این در حالی است که به دلیل وقوع خشکسالی‌های متمادی و کمبود شدید آب در سال‌های اخیر، زندگی و امرار معاش بسیاری از عشایر استان از جمله شهرستان مورد پژوهش با بحران جدی مواجه شده است. برای مناطق خشکی که دسترسی به منابع معمول آب نظیر چاه و رودخانه دائمی ندارند، استفاده از سدهای زیرزمینی به عنوان یکی از راه‌حل‌های تأمین آب (معمولاً در مقیاس کوچک) مطرح بوده است. فن احداث و استفاده از سدهای زیرزمینی در کشور ما دارای قدمتی نظیر حفر قنوات است(داودی و همکاران، ۱۳۸۰) که به خاطر بی‌توجهی و عدم استفاده از فناوری به‌روز جهت توسعه و بهره‌برداری از آن دچار رکود و فراموشی گردیده است (صفی‌نژاد و دادرس، ۱۳۷۹). بی‌تردید سدهای زیرزمینی در مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه که شرایط آب و هوایی خشکی دارند، از مزایای بیشتری نسبت به سدهای سطحی برخوردارند، به ویژه آن که ریسک آلودگی محتمل و تبخیر آب را کاهش می‌دهند (هانسون و نیلسون، ۱۹۸۶). در مقایسه با سدهای معمولی که در عرض رودخانه یا نهر به منظور ذخیره ساخته می شوند و آب زیرزمینی را در بالادست سد جمع آوری می کنند، سد زیرزمینی جریان آب زیرزمینی (زیرقشری) را مسدود کرده و آب را در زیر سطح ذخیره می‌نماید. سدزیرزمینی همچنین می تواند به عنوان سازه ای جهت انحراف آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵).

بررسی‌های متعددی در داخل کشور در مورد سدهای زیرزمینی انجام شده است. بیرجندی (۱۳۹۰) برای مکان‌یابی سد زیرزمینی از روش تحلیل سلسه مراتبی در منطقه بیارجمند استفاده کرد. نوجوان و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش برهان خلف اقدام به مکان‌یابی سد زیرزمینی کردند. کردی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در غرب ایران پرداختند. و مناطق دارای پتانسیل سد زیرزمینی را مشخص نمودند. صادقی گوغری (۱۳۹۵) از روش ژئوالکتریک در حوضه آبخیز شهداد کرمان برای مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده کرد. درافشان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش AHP تصمیم‌گیری چند معیاره در ناحیه اندیکا در استان خوزستان اقدام به مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی کردند. بحرالعلوم و همکاران (۱۳۹۶) برای تعیین معیارهای تأثیرگذار بر مکان‌یابی سدهای زیرزمینی از تلفیق نقشه‌ها در GIS، بازدید میدانی

و اولویت‌بندی توسط سیستم تصمیم‌گیری AHP استفاده کردند. خرازی و همکاران (۱۳۹۶) محل مناسب احداث سد زیرزمینی را با استفاده از تلفیق و امتیازدهی به لایه‌ها در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تعیین کردند. عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) برای شناسایی محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی در منطقه اردستان استان اصفهان از روش AHP و GIS استفاده کردند. در خارج از کشور نیز بررسی های مرتبط با احداث و بهره برداری از سدهای زیرزمینی موردتوجه قرارگرفته است. قدمت اولین سد زیرزمینی ساده به قرن ۱۸ برمی‌گردد (نیلسون، ۱۹۸۸). منطقه‌ای به نام ساحل واقع در شاخ آفریقا که شامل چند کشور آفریقایی است در خطر نابودی ناشی از پیشروی کویر قرار گرفته و هر ساله ۱/۵ میلیون هکتار بر وسعت بیابان های آن افزوده می‌شده است. در این منطقه پروژه‌ای به نام کمربند سبز ساحل به اجرا گذاشته‌است. در این طرح آب مورد نیاز درختکاری بوسیله سدهای زیرزمینی که توسط جریانات فصلی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها تغذیه می‌شود، تأمین می‌گردد و به این وسیله جریانات موجود در فصول پرباران در داخل آبرفت منطقه ذخیره و در فصول گرم و خشک سال مورد بهره‌برداری گیاهان قرار می‌گیرد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵). در کشور ژاپن احداث سدهای زیرزمینی در عمق آبرفت دره‌های باریک منتهی به دریا نه تنها به عنوان مانعی در برابر هجوم آب‌های شور به داخل سفره‌های آب شیرین عمل نموده‌اند بلکه باعث گردیده است که بازدهٔ استفاده از مخازن بوجود آمده در بالادست آنها به خاطر افزایش سطح آب زیرزمینی (ناشی از پس زدگی در بالادست) افزایش چشمگیری داشته باشد (ماتوناگا و کاتو، ۱۹۹۲). از این تکنیک اکنون به طور گسترده‌ای جهت ایجاد حاشیه سبز رودخانه‌های فصلی و نیز افزایش فضای سبز شهرها استفاده شده است (یامادا، ۱۹۹۸). قسمت‌هایی از کشور تانزانیا با داشتن بارندگی حدود ۶۰۰-۵۰۰ میلیمتر در سال به خاطر پتانسیل تبخیر سالانه ۲۵۰۰ میلی‌متر و توزیع نامناسب بارندگی و بروز سیلهای بزرگ، با کم آبی مواجهند. جهت حل مشکل آب شرب و بهداشتی برخی از روستاهای واقع در مناطق مذکور، در بستر آبراهه هایی که دارای جریان زیرقشری است سدهای زیرزمینی احداث گردیده است. آب در مخزن سدزیرزمینی جمع آوری می شود (کیفوا، ۱۹۹۲). مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع در شمال غرب و نیز مناطق شمالی تبت در کشور چین با بارندگی متوسط سالانه حدود ۲۰۰ میلی‌متر و توزیع نامناسب فصلی دچار کم‌آبی شدید می‌باشند. احداث سدهای زیرزمینی با هدف کنترل و بالا آوردن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و نگهداری آن در داخل لایهٔ آبرفتی به طوری که در زمان مورد نیاز بتواند برای آبیاری اراضی مورد استفاده قرار گیرد از روش‌های معمول تأمین آب در این مناطق می‌باشد. (لئو، ۱۹۹۲). سدهای زیرزمینی ژاپن در مقیاس بزرگ‌تر مانند سدزیرزمینی احداث شده در جزیرهٔ ناکاجیما و با دو هدف استفادهٔ حداکثر از سفره‌های آب شیرین مشرف به دریا و نیز جلوگیری از هجوم آب‌های شور در این نواحی طراحی و به اجرا در آمده‌اند (آئوی، ۱۹۹۲). در کشور برزیل با توجه به کمبود آبرفت مناسب در آبراهه‌های فصلی علاوه بر اقدام جهت مسدود نمودن جریان زیرسطحی از طریق ایجاد پردهٔ آب‌سد در داخل آبرفت، آن را در روی زمین ادامه می‌دهند

تا بدین‌وسیله حجم ذخیره بوسیلهٔ رسوبات ناشی از سیل که به پشت دیوار می‌رسد افزایش یابد (یو ان دی پی، ۱۹۹۵). فورزیری و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی روشی را برای امکان‌سنجی سدهای زیرزمینی رائه کردند. اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی منطقه، اساس تحقیق این محققین را تشکیل می‌دهد. دای (۲۰۱۶) در شرق کشور چین از روش AHP و GIS برای شناسایی محل مناسب برای احداث سد استفاده نمود. براساس نتایج تحقیق مذکور نهایتاً ۸ نقطه برای احداث سد شناسایی و معرفی شد.

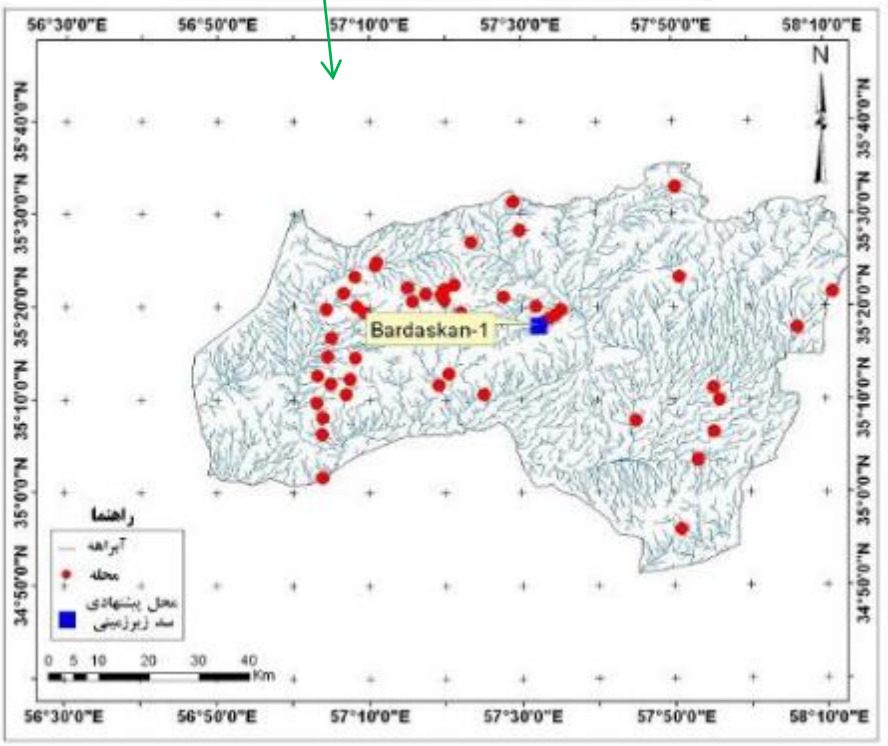
اداره کل امور عشایر استان خراسان رضوی در برخی جاها از جمله در اکثر مناطق مستقر جامعه عشایری در تامین آب شرب دام آنان دچار چالش جدی شده است. در اغلب این مناطق با توجه به نیاز شدید به آب و حمل آب با تانکرهای سیار و تحمیل هزینه های گزاف تامین آب، عملاً در سال‌های اخیر دامداری برای عشایر منطقه غیراقتصادی شده است. با انجام بررسی‌های انجام شده در قالب طرح پژوهشی مشخص شد که در برخی از مناطق عشایری شهرستان بردسکن از نظر فنی امکان تامین آب از طریق احداث سدزیرزمینی امکانپذیر است. در این مقاله نتایج بررسی های بعمل آمده از نظر امکان‌سنجی تامین آب شرب و بهداشت دام های عشایر مناطق واقع در شهرستان بردسکن ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

شهرستان بردسکن در جنوب غرب استان خراسان رضوی قرار دارد. درمناطق عشایری این شهرستان، حداقل ارتفاع ۷۲۰ متر و حداکثر ارتفاع ۲۳۶۰ متر می‌باشد. میزان بارندگی سالانه منطقه بین ۱۴۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر متغیر است. موقعیت محلات عشایری شهرستان بردسکن بر روی نقشه در شکل ۱ ارائه شده است.

این تحقیق با هدف بررسی معیارهای تعیین اولویت مکانی به منظور شناسایی مناطق مستعد استحصال آب زیرقشری از طریق احداث سد زیرزمینی در مناطق عشایری شهرستان بردسکن در خراسان رضوی به شرح مراحل ذیل انجام شد:



شکل ۱- موقعیت محله های عشایری شهرستان بردسکن روش انجام تحقیق

در ابتدا نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) باتوجه به محدوده سامانه‌های محلات عشایری شهرستان مورد پژوهش، تهیه شد. سپس نقشه شبکه آبراهه‌ها در همان محدوده‌ها استخراج و موقعیت محلات نیز مشخص گردید. نقشه کاربری اراضی محدوده سامانه عرفی عشایر شهرستان نیز تهیه شد. اراضی موجود بر روی این نقشه با توجه به نوع کاربری به دو دسته اراضی مناسب و نامناسب تقسیم شدند (اراضی مناسب عمدتاً کاربری مرتعی و جنگلی دارند). با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی محدوده سامانه‌های محلات عشایری، این محدوده ها به دو دسته اراضی مناسب و نامناسب تفکیک شدند. مناطقی که از پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی برخوردار نبودند حذف شدند. معیارهای حذفی در این فاز شامل مناطق مرتفع مثل کوهستان‌ها و حریم آبراهه‌ها با استفاده از بافر ۳۰۰ متری و تپه‌ها با شیب بالای ۲۵ در صد، محدوده گسل‌ها و خطواره‌ها (با بافر ۵۰۰ متر)، اراضی صخره‌ای، اراضی شور، مخازن آب موجود در منطقه، حریم چاه ها چشمه ها و قنوات (بافر ۱۰۰متر)، رودخانه‌های دائمی دارای دبی پایه، سازندهای تخریب کننده گچی و نمکی و نیز حوضه‌های بالادست سدهای منطقه مدنظر قرارگرفتند. پس از تهیه لایه های معیارهای حذفی، با استفاده از منطق بولین، لایه‌ها با هم تلفیق شدند و لایه مناطق دارای پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی مشخص گردید. در مرحله آخر با استفاده از روش ANPمناطق دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی مشخص شد. برای این منظور پس از تهیه لایه های مربوطه و اعمال توابع فازی بر آنها، نقشه های معیارها استانداردسازی شده به دست آمد. سپس با استفاده از نظر کارشناسان (۲۱ نفر) و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وزن مربوط به هر نقشه معیار محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از عملگر جمع فازی نقشه معیارها با هم تلفیق می شود و مکان های مناسب برای احداث سد مشخص می گردد.

معیارهای تعیین اولویت مکانی محل استحصال جریان زیرقشری

برای تعیین مکان های دارای اولویت احداث سد زیرزمینی و استحصال جریان زیرقشری به منظور تامین آب شرب و بهداشت دام، اولویت‌بندی باتوجه به مهمترین معیارها از جمله: میزان نیاز به آب، مساحت حوضه آبخیز بالادست محلات عشایری، زمین شناسی منطقه، کیفیت آب، ضخامت تقریبی آبرفت و عرض مقطع خشکه‌رود و وجود یا فقدان سیلاب در خشکه‌رود مورد نظر، صورت گرفت. این معیارها در قالب عوامل محیطی-فنی شامل: شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، خصوصیات مخزن سد(حجم مفید)، خصوصیات هیدرولوژیکی محدوده، کیفیت آب ذخیره شده و عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز شامل: نیاز آبی منطقه (تقاضا)،هزینه تامین آب در منطقه احداث سد، هزینه تامین احداث سد، فاصله از روستا یا محله و فاصله از جاده استفاده شدند.

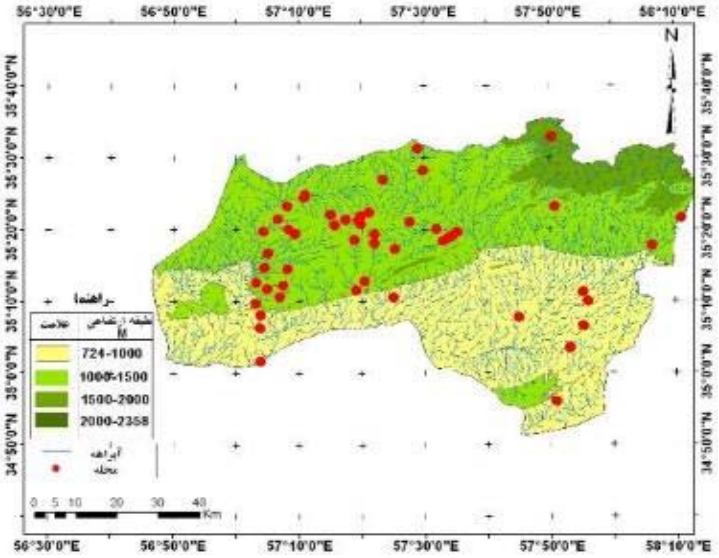
تدقیق اطلاعات میدانی طی فرآیند انجام پژوهش

با گرفتن اطلاعات مربوط به آبرسانی سیار در مناطق عشایری مختلف و انجام مصاحبه، محلاتی که فاقد منبع آب بوده و در ییلاق یا قشلاق بخش قابل توجهی از نیاز آبی آنها از طریق تانکرهای آبرسان سیار تامین می شود، مشخص شدند. سپس با استفاده از نقشه‌های رقومی حاصل و اطلاعات تهیه شده در مراحل قبل، به منظور اولویت‌گذاری محدوده‌های دارای پتانسیل اولیه احداث سد زیرزمینی در محلات عشایری، نسبت به بازدید میدانی از محدوده محلات عشایری و نیز مناطق پیشنهادی احداث سد، اقدام گردید. در راستای تدقیق اطلاعات نیز اقداماتی صورت گرفت که ازجمله عبارتند از: تعیین ضخامت آبرفت به ترتیب با استفاده از مشاهدات مستقیم، تدقیق شیب براساس اندازه‌گیری صحرایی، اندازه گیری عرض دره و تخمین توپوگرافی سنگ کف، بررسی وجود کاربر در پایین دست بند و نوع نیاز آبی (شرب و بهداشت و دام)، بررسی حقابه‌های پایین دست، تخمین میزان آب زیرقشری عبوری از مقاطع منتخب در طول سال با توجه به پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه بالادست بند زیرزمینی،

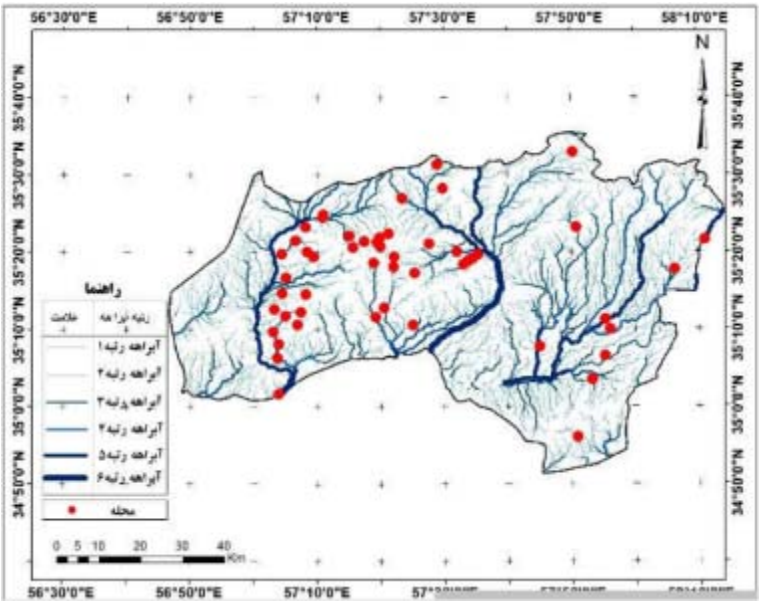
همچنین بمنظور شناخت کیفیت آب موردا ستفاده، در مواردی که امکان نمونه‌برداری آب میسر بود، نسبت به برداشت نمونه آب اقدام و آنالیز نمونه انجام شد.

نتایج و بحث

نقشه‌های رقومی هیپسومتری و شبکه آبراهه‌های زیست بوم عشایری شهرستان بردسکن با جانمایی محله‌های عشایری در اشکال۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۲- نقشه هیپسومتری زیست بوم عشایری در شهرستان بردسکن



شکل ۳- نقشه شبکه آبراهه‌های زیست بوم عشایری در شهرستان بردسکن

بررسی معیارهای تعیین اولویت مکانی

باتوجه به معیارهایی که توسط کارشناسان و خبرگان امتیازدهی شد یعنی شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از روستا و فاصله از جاده، ماتریس مقایسات زوجی بین این معیارها درروش ANP در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ماتریس مقایسات زوجی بین معیارها

متغیرها	زمین‌شناسی	فاصله از روستا	فاصله از جاده	شیب	کاربری اراضی
کاربری اراضی	۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۱
شیب	۰/۵	۲	۳	۱	۴
فاصله از جاده	۰/۲	۰/۵	۱	۰/۳۳	۲
فاصله از روستا	۰/۵	۱	۲	۰/۵	۲
زمین‌شناسی	۱	۲	۵	۲	۵

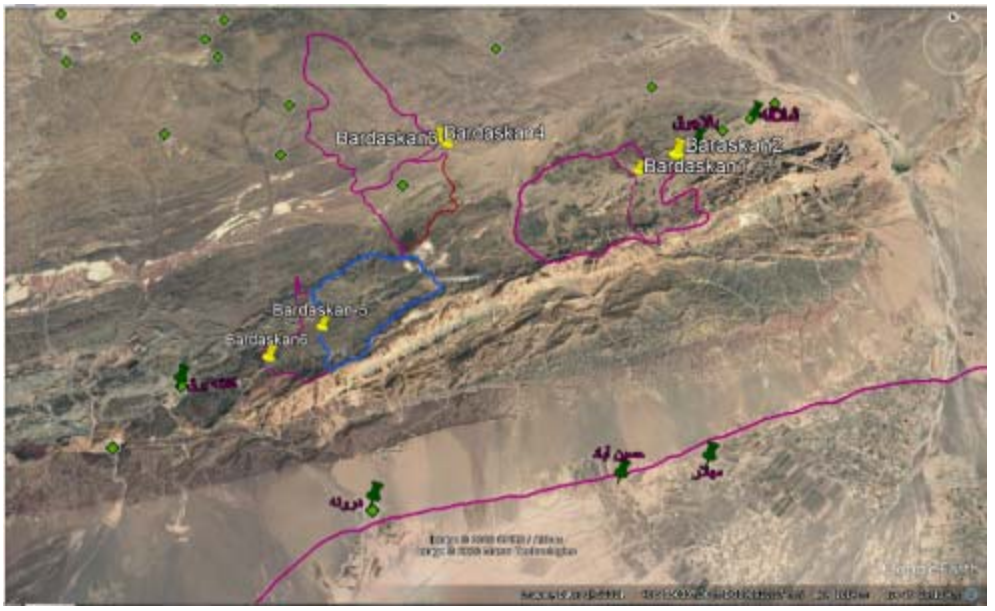
شیب به عنوان یکی از عوامل مهم محیطی- فنی به طبقات چهارگانه ۳-۰، ۶-۳، ۱۰-۶، ۲۵-۱۰ درصد تقسیم‌بندی شد. یادآوری می شود که برای کلاس شیب بالای ۲۵ در صد امتیاز صفر اختصاص داده شد. ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای شیب نیز در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ماتریس مقایسات زوجی بین زیرمعیارهای شیب

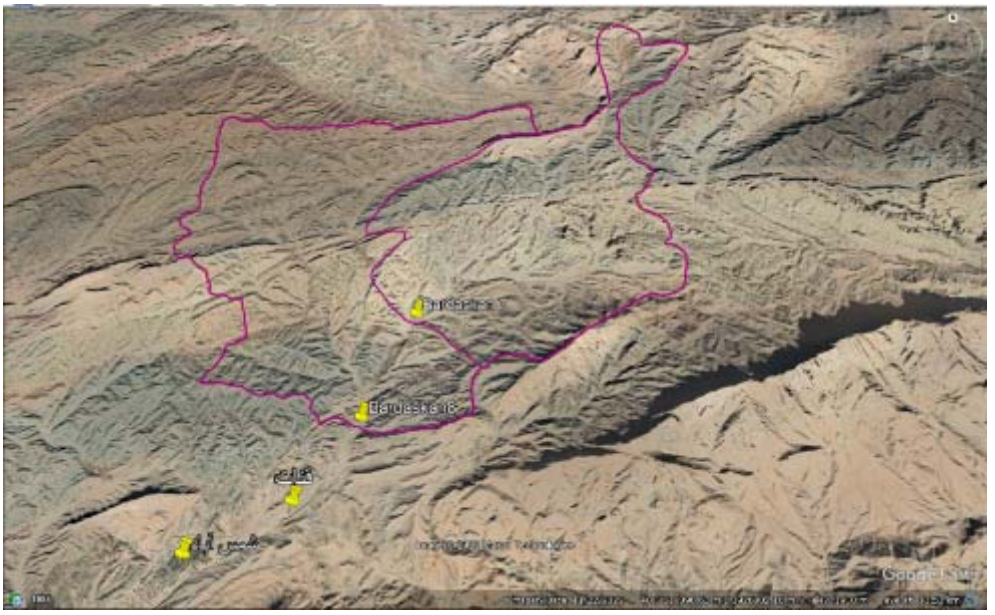
طبقات شیب (درصد)	۳-۰	۶-۳	۱۰-۶	۲۵-۱۰
۳-۰	۱	۳	۵	۸
۶-۳	۰/۳۳	۱	۲	۵
۱۰-۶	۰/۲	۰/۵	۱	۲
۲۵-۱۰	۰/۱۲۵	۰/۲	۰/۵	۱

باتوجه به مقادیر المان‌های تابع ذوزنقه‌ای وزن‌های فازی و وزن‌های نهایی فازی برای زیر معیارهای شیب و براساس نتایج بدست امده باتوجه به کلاسهای چهارگانه شیب، مقادیر وزن‌های نهایی فازی به ترتیب ۰/۵۸ برای کلاس شیب ۰ تا ۳ درصد، ۰/۲۴ برای کلاس ۳ تا ۶ درصد، ۰/۱۲ برای کلاس ۶ تا ۱۰ درصد و ۰/۰۶ برای کلاس ۱۰ تا ۲۵ درصد اختصاص یافت. مشابه این بررسی درمورد عامل کاربری اراضی، زیر عامل پوشش مرتعی بیشترین امتیاز معادل ۰/۳، را نسبت به سایر زیرعامل ها به خود اختصاص داد. در مورد زیرمعیارهای عامل زمین شناسی، واحدهای آبرفتی (Qt, Qal) با امتیاز ۰/۴ بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. از طرفی واحدهای کربناته (Ktr, Jmz) با امتیاز ۰/۲۳ در رتبه دوم به لحاظ امتیازی قرار گرفتند.

نتایج بررسی‌های کارشناسی و بازدیدهای میدانی و تلفیق عوامل موثر انتخابی در تعیین نقاط اولیه پیشنهادی جهت استحصال آب زیرسطحی به روش احداث سدزیرزمینی در سامانه عرفی مناطق عشایری شهرستان بردسکن، در اشکال ۴ و۵ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود تعداد ۸ نقطه در نقشه مشخص شده است. نقاط انتخابی شماره ۷ و ۸ پس از بازدیدهای میدانی و قرارگرفتن قنات واقع در روستای شمس آباد در پایین دست نقاط مذکور(شکل۵)، این گزینه ها از مناطق دارای اولویت حذف شدند. در این راستا مشخصات یک نقطه انتخابی (Bardaskan1) با ذکر مشخصات (جدول۳) و تصویر محل جانمایی و محور سد در تصویر شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۴- نقاط انتخابی (شش نقطه) به منظور احداث بندزیرزمینی در شهرستان بردسکن



شکل ۵- نقاط انتخابی (دونقطه) به منظور احداث بندزیرزمینی در شهرستان بردسکن

شکل۶- مکان انتخابی (Bardaskan-1) در شهرستان بردسکن به منظور احداث بندزیرزمینی در منطقه عشایری بالاجو

جدول ۳ مشخصات یکی از نقاط انتخابی مناسب احداث سدزیرزمینی در سامانه‌های عرفی عشایر شهرستان بردسکن

موقعیت نقاط مناسب	علامت اختصاری نقطه	شوری آب (دسی‌زیمنس بر متر)	عرض مقطع خشکه‌رود (متر)	ضخامت تقریبی آبرفت(متر)	شیب طولی آبراهه(٪)	مساحت حوضه آبخیز بالادست (هکتار)
35°17'58.68"N 57°32'19.10"E	Bardaskan-1	۱/۳	۹۰	۸	۲	۲۳۰۰

نتیجه گیری

براساس بررسی‌های میدانی این پژوهش در مناطق عشایری مورد مطالعه در شهرستان‌های استان خراسان رضوی از جمله منطقه مورد پژوهش، آبراهه‌های اصلی فاقد آب دائمی و یا حتی فصلی است. بنابراین آبراهه‌های اصلی در این مناطق را مسیل‌هایی تشکیل می‌دهند که فاقد رواناب دائمی برای تامین آب شرب دام است. بررسی‌های آب زیرزمینی نشان داد که در اغلب این مناطق آب زیر سطحی در عمق ۸ تا ۱۰ متری وجود دارد. از نظر شناسایی اولیه طبق بررسی‌هایی که صورت گرفت، ۸ نقطه برای احداث سدزیرزمینی جهت استحصال آب شرب دام عشایر شهرستان شناسایی شد. اما بدلایلی که

پیش از این تو ضیح داده شد برخی نقاط در مرحله بعدی حذف گردید. در این پژوهش از میان عوامل تأثیرگذار در تعیین مکان‌های اولویت دار احداث سدزیرزمینی، پارامترهای زمین شنا سی به دلیل تأثیر زیادی که روی نوع آبرفت و کیفیت آب قابل ا ستح صال دارد و عامل شیب از این جنبه که بر سرعت رواناب و امکان ایجاد مخزن آب زیرزمینی موثر اســت، مورد توجه قرار گرفتند. در این خصــوص نتایج ن شان داد که کلاس شیب‌های ۳-۰ در صد در بین سایر کلاس‌های شیب، بی شترین امتیاز را به خود اختصاص داد. سپس کلاس شیب بین ۳ تا ۶ درصد، امتیاز بالاتر را نسبت به سایر کلاسها بدست آورد. بطورکلی در این شیب‌ها سرعت آب به حداقل رسیده است و با توجه به نوع آبرفت‌های منطقه، می‌تواند مخازن مناســبی را ایجاد کند. ســایر منابع از جمله کردی و همکاران، (۱۳۹۵) و نیز امانیان و همکاران،(۱۳۹۸) بدین مو ضوع ا شاره شده است. در مورد زیرمعیارهای عامل زمین شنا سی، واحدهای آبرفتی (Qt, Qal) بی شترین امتیاز در مقای سات زوجی به خود اختصاص دادند که از نظر کار شنا سان این به دلیل درشــت دانه بودن و قابلیت نگهداشــت بالای آب می تواند تلقی گردد. همینطور واحدهای کربناته (Ktr, Jmz) در رتبه دوم از بین زیرمعیارهای زمین شناسی قرار گرفتند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم اداره کل امورعشایر اســتان خراســان رضــوی بخاطر تامین منابع مالی اعلام می دارند. همچنین از مدیران و کارکنان پژوه شکده حفاظت خاک و آبخیزداری و م سئولین مرکز تحقیقات و آموزش ک شاورزی و منابع طبیعی خرا سان ر ضوی بخاطر حمایت‌های علمی و فنی طرح پژوه شی م صوب آن پژوه شکده و فراهم نمودن امکانات در انجام طرح، سپاسگزاری می شود.

منابع

- امانیان, نصرت الله, ایلیاتی, عیسی, مختاری, محمدحسین. (۱۳۹۸). مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: دشت کاشان)، خشکبوم, ۹(۱), ۲۱-۳۷. doi: 10.29252/aridbiom.2019.1541.
- بیرجندی، ابوالفضل.(۱۳۹۰). مکان‌یابی سدزیرزمینی درحوضه‌ی آبخیز منطقه‌ی بیارجمند. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه کاشان.
- بحرالعلوم، محمد، ملایی نیا، محمود رضا، امینی‌زاده بزنجانی، محمدرضا. (۱۳۹۶). مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از تلفیق GIS و AHP (مطالعه موردی: حاشیه کویر لوت، کرمان). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران, ۸(۲), ۱۱۶-۱۲۸.

- درفشان، فرید، حیدرنژاد، محمد، بردبار، امین، دانشیان، حسن. (۱۳۹۵). مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش AHP تصمیم‌گیری چند معیاره(مطالعه موردی ناحیه اندیکا- خوزستان). فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب, ۴(۲), ۹-۲۰.
- داودی، م.ه.، جواد طباطبایی یزدی و س. نبی‌پی لشکریان. ۱۳۸۰. مدیریت و استحصال آب به کمک سدهای زیرزمینی. مجموعه مقالات همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوزه‌های آبخیز. صص۲۶۳-۲۵۸.
- سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۷۲. سدهای زیرزمینی، تکنیکی جدید در توسعهٔ منابع آب زیرزمینی. طرح بررسی مطالعات منابع آب و پژوهش در بهره‌برداری بهینه از تأسیسات آبی موجود. نشریهٔ شمارهٔ۸. ص۶۵.
- صادقی گوغری، معین. (۱۳۹۵). مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش ژئوالکتریک. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون.
- صفی نژاد، ج. و ب. دادرس. ۱۳۷۹. سد زیرزمینی قنات وزوان- میمه اصفهان. مؤسسهٔ گنجینهٔ ملی آب ایران. ص۲۴۰.
- طباطبایی یزدی، ج.، م.ه. داودی، ع. مجیدی، ا. گوهری و پ. دانش کار آراسته. ۱۳۸۵. ارزیابی و بهره‌برداری از جریانات زیرسطحی بوسیلهٔ احداث سد زیرزمینی در یک آبراهه. پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. ص۲۵۰.
- عرب عامری علیرضا، سهرابی مسعود، رضایی خلیل، شیرانی کورش. مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از تکنیک GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی.(AHP) (۱۳۹۷). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۳ (۴۱) :۶۰-۵۱
- کردی، رضوان، فرامرزی، مرزبان، کریمی حاجی، گرایی پرویز, یارمحمدی، احسان (۱۳۹۵). مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: مهران، استان ایلام). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، (۱۳)۷ ; ۱۶۴-۱۷۲.
- نوجوان بشنیغان، محمدرضا، جمالی، علی اکبر، ناظری تهرودی، زهرا. (۱۳۹۴). برهان خلف: مکان‌گزینی سدهای زیرزمینی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی, ۲۶(۱), ۵۳-۶۶.
- Aoi, T. 1992. A construction of subsurface dam at Nakajima Island. IRCSA, Regional Conference. 1992. pp:644-651.
- Dai , Xinyi . 2016. Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision making support in Bortala, Northwest China. Msc. Thesis, Department of Physical Geography and Ecosystem Science Lund University, Sweden.
- Forzieri, G., Gardenti, Marco, Caparrini, F. and Castelli, F. 2008.A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A

case study in the region of Kidal, Mali. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. Volume 33, Issues 1–2, Pages 74-85.

- Hanson, G. and A. Nilsson. 1986. Ground water dams for rural water supplies in developing countries. Groundwater, vol.24.No.4.pp:497-506.
- Kifua,G.M.1992. Groundwater dams; prospects for rural water supply, IRCSA, Regional Conference. 1992. pp:620-634.
- Luo, D.1992. The utilization measures of rainwater in the rural areas of China, IRCSA, Regional Conference. 1992. pp:612-614.
- Matunaga, M. and M.Kato. 1992. Large underground dam and 8 merits. IRCSA, Regional Conference. 1992. pp:635-643.
- Nilsson, Å. (1988). Groundwater dams for small-scale water supply. In Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply (pp. 1-69). Practical Action Publishing.
- UNDP. 1995. Underground dam in Brazil, sourcebook of alternative technique for freshwater Argumentation in the Latin America and the Caribbean. UNDP Int. Envir. Tech. Center. 1995., ch. 5.3. Part C.
- Yamada, T.1998. Construction of underground dams on Miakojima (In Japan). The dam digest, the Japan dam foundation. No.4. pp:497-506.

تاثیر اقدامات آبخیزداری مختلف کنترل رواناب بر تراکم و غنای پوشش گیاهی

بنفشه یثربی[1*]، مهری دیناروند[1] و سید حسین آرامی[1]
۱*- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پست الکترونیک (b.yasrebi@areeo.ac.ir)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی میزان موفقیت روش‌های مختلف ذخیره نزولات در استقرار پوشش گیاهی انجام شده است. در این تحقیق در عرصه های اجرای روش‌های پیتینگ، فارو و هلالیهای آبگیر در استان خوزستان به طور تصادفی در مرکز عرصه قطعات ۱۰۰ هکتاری انتخاب گردید و در این قطعات به طور جداگانه دو ترانسکت ۱۰۰ متری انداخته شد و پلات‌های یک متر مربعی در راستای ترانسکت ها انداخته شد. گونه‌ها و درصد پوشش گیاهی در پلات‌ها اندازه گیری شد. مناطق شاهد در اراضی بین ردیفهای ذخیره نزولات اجرا شده انتخاب شد و در هر عرصه نیز ۳۰ پلات یک متر در مناطق شاهد انداخته شد. میزان درصد پوشش در هر عرصه با منطقه شاهد با استفاده از آزمون t مستقل مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان می دهد سامانه های ایجاد شده در کانون ششم گردوغبار واقع در بندر ماهشهر در جنوب استان خوزستان در استقرار پوشش گیاهی بومی نسبت به اراضی شاهد بسیار موفق بوده اند و درصد پوشش در هلالی ها ۴ برابر، در فاروها ۱۱ برابر و در پیتینگها ۰/۹۲ برابر رشد نشان می‌دهد که این تفاوت از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنادار بوده است. همچنین مشاهدات حاصل از پیمایش صحرایی نشان می دهد که نه تنها سامانه ها توانسته اند با بازگشت و استقرار گونه های ارزشمند بومی به احیای بیابان کمک کنند بلکه می توانند به یک عنوان حلقه اتصال اجزای مختلف در اکوسیستم عمل نمایند و روش بهینه و محل تلاقی سود و زیان در احیای مناطق بیابانی باشند. خردآبخیزها از یک سو با افزایش رطوبت در پروفیل خاک شرایط را برای استقرار پوشش گیاهی فراهم می آورند و از سوی دیگر با افزایش حضور آب در منطقه زندگی را برای سایر زیست مندان آسوده تر می کنند و همزمان پناهگاهی برای بازگشت حیات وحش در منطقه هستند.

واژه‌های کلیدی:
پیتینگ، فارو، هلالی آبگیر، پوشش گیاهی، خوزستان.

مقدمه

بیابان زایی مختص به مناطق خشک و نیمه خشک نیست و حاصل دخالت و بهره برداری بیش از حد انسان از طبیعت است که باعث ایجاد مشکلات عدیده‌ای دردنیا شده است که بارزترین آن توسعه اراضی

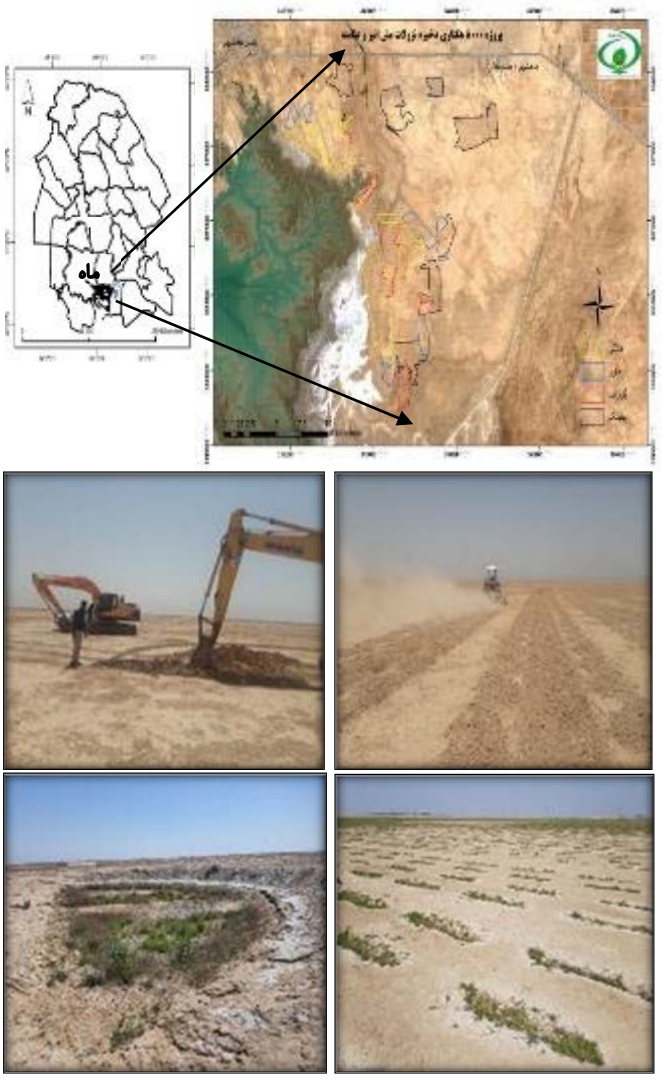
بایر و در نتیجه غیر قابل استفاده شدن اراضی است که تا پیش از این محل امرار معاش ساکنین آن بوده است. معضل دیگری که در نتیجه بیابان زایی به وجود می آید و استان خوزستان نیز با آن درگیر است، تشکیل کانونهای گردوغبار و روند صعودی وقوع توفانهای گردوغبار در استان است که بر جنبه های مختلف اقتصادی و اجتماعی تاثیرگذار بوده است (یثربی و همکاران،۱۴۰۱). پس از وقوع توفان گردوغبار وسیع در بهمن ماه ۱۳۹۵ با منشا کانونهای داخلی، مساله بیابان زایی و تشکیل کانونهای گردوغبار استان بسیار مورد توجه قرار گرفت و مساحتی معادل ۷۳۷۷۹۰ هکتار به عنوان بیابانهای داخلی استان شناسایی شد که منشاء تولید گردوغبار به خصوص در شش ماهه دوم سال به دلیل تغییر جهت باد غالب به شرقی و جنوب شرقی هستند (گزارش مطالعات جامع کانون‌های گردو غبار، ۱۳۹۷). کانونهای استان در قالب ۷ کانون شامل جنوب غرب هویزه، شمال و شرق خرمشهر، شرق اهواز، جنوب و جنوب شرق اهواز، محدوده بندر امام به امیدیه، محدوده ماهشهر به هندیجان، شرق هندیجان می باشند (اژدری و همکاران، ۱۳۹۴). پس از شناسایی این عرصه ها احیای اراضی تخریب یافته در دستور کار مسوولان استانی قرار گرفت.

اولین اصل در مبارزه با فرسایش بادی همواره استقرار پوشش گیاهی است. احیای پوشش گیاهی در مناطق تخریب یافته به دو روش امکانپذیر است: روش اول اجرای پروژه های بیولوژیک و کاشت گونه های متحمل به شوری و خشکی است و روش دوم استفاده از روشهای ذخیره نزولات و جمع آوری روان‌آب به منظور احیا یا کشت پوشش گیاهی در عرصه های تخریب یافته است. در احیای کانونهای گردوغبار استان خوزستان هر دو استراتژی توسط دستگاه‌های متولی دنبال گردید. یافتن مناسب‌ترین شیوه جهت احیای بیابانها و استقرار پوشش گیاهی، ضمن اینکه به پایداری بیشتر اکوسیستم می‌انجامد، باعث حصول اطمینان خاطر بر احیا پوشش طبیعی مراتع و بیابان‌زدایی می‌گردد (دیناروند و همکاران، ۱۴۰۰). گونه‌های بومی هر منطقه به دلیل طی سیر تکاملی، با شرایط محیطی سازگار بوده و در صورت حفاظت و احیا، بهترین گزینه برای افزایش بانک بذر، اصلاح خاک و توالی مثبت در منطقه هستند. استفاده از نزولات آسمانی و ایجاد بستر مناسب برای ذخیره آب روشی کارآمد در احیا و اصلاح مراتع به ویژه در مناطق بیابانی و خشک است (Zare *et al.*, 2020). ذخیره نزولات آسمانی از روش های احیای اراضی هستند که مبتنی بر فرآیندها و چرخه های طبیعی بوده و به همین دلیل هم به عنوان یک رویکرد پایدار و موفق در احیای اراضی شناخته می شوند (یثربی و همکاران، ۱۴۰۰). سال‌هاست کارایی روش‌هایی مانند حفر فارو، پیتینگ و هلالی آبگیر در احیا و استقرار پوشش گیاهی در اراضی تخریب یافته اثبات شده است. این روش‌ها استفاده بهینه از آب را از طریق جمع آوری آن به جای تخریب و فرسایش خاک ممکن می‌سازند و نه تنها یک گزینه امیدوار کننده برای تثبیت مناطق تخریب یافته هستند بلکه سامانه‌های ذخیره نزولات آسمانی در مراتع با بهبود رطوبت خاک باعث افزایش طول ریشه گیاهان و افزایش مقاومت به خشکی در آنها می شوند (Stavi et al., 2020).

کانون‌های گردوغبار استان خوزستان به علت واقع شدن در مناطق دشتی و وجود رسوبات ریزدانه و تاحدودی یکنواخت و فقدان جهت‌های مختلف جغرافیایی از نظر حضور گونه های گیاهی در مقایسه با مناطق شمالی و شرقی (بخش‌های کوهپایه‌ای و کوهستانی) استان از غنای چندانی برخوردار نیستند (اژدری و همکاران، ۱۳۹۴). اما در این مناطق تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی موجود به علت تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک از یک‌سو، دسترسی به منابع آبی، بارندگی‌ها و دخالت‌های شدید انسانی می توانند خرد زیستگاه‌های متنوعی تشکیل دهند و سبب تنوع سیمای فصلی پوشش گیاهی شوند (گزارش مطالعات جامع کانون‌های گردو غبار، ۱۳۹۷؛ دینا روند و همکاران، ۱۳۹۷). طرح‌ها و پروژه‌های اجرایی بیابان‌زدایی زمانی با اطمینان خاطر موفق خواهند بود که تمرکز آنها بر ایجاد فرصت برای حضور یا برگشت گونه‌های بومی باشد. این تحقیق با هدف بررسی و ارزیابی موفقیت روشهای متفاوت ذخیره نزولات در بازگشت و استقرار پوشش گیاهی بومی در کانون گردوغبار جنوب استان خوزستان انجام پذیرفته و در نهایت مناسب‌ترین و موفق‌ترین روش اجرا شده را در احیای پوشش گیاهی معرفی می نماید.

مواد و روش‌ها

به منظور تثبیت و احیا پوشش گیاهی در سه کانون تولید گردوغبار در جنوب و جنوب شرق استان با مساحت ۲۵۴۸۲۵ هکتار، به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی، شوری بالای خاک و محدودیت بارش و هم‌چنین منازعات شدید اجتماعی اولویت بر اجرای پروژه های ذخیره نزولات آسمانی قرار گرفت. کانونهای ذکر شده بخشی از حوزه آبریز زهره - جراحی و بزرگ حوزه خلیج فارس هستند. متوسط شیب عرصه های اجرای ذخیره نزولات ۱ تا ۲ درصد و ارتفاع از سطح دریا ۵ تا ۶ متر است و متوسط بارش سالانه منطقه اجرای طرح ذخیره نزولات ۲۰۰ میلی‌متر و بر اساس طبقه بندی دومارتن در اقلیم خشک واقع شده است. خاک منطقه لوم تا لومی رسی و لومی سیلتی است و بسیار شور و قلیاست و پوشش گیاهی غالب منطقه گز *Tamarix spp.*، گدک *Halocnemum strobilaceum* و شریب *Aeluropus lagopoides* است. در سال ۱۳۹۹ در دو سامان عرفی عثامنه و مش انبر واقع در شهرستان بندر ماهشهر و کانون ششم گردوغبار ۳۵۰۰ هکتار هلالی آبگیر، ۱۰۰۰ هکتار فارو، ۱۵۰۰ هکتار گوراب و ۳۳۰۰ هکتار پیتینگ با طراحی و نظارت موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع توسط اداره منابع طبیعی و آبخیزداری بندر ماهشهر اجرا گردید که در شکل ۱ مکان اجرای سامانه ها و هم‌چنین تصاویری از زمان اجرای طرح ارایه شده است. در طراحی‌های اولیه خرد آبخیزها، تنها مسایل فنی مد نظر قرار گرفت اما با توجه به مخالفت مالکان عرفی، با برگزاری جلسات مشترک با نمایندگان آنها تلاش گردید مقبولیت اجتماعی طرح نیز مد نظر قرار گیرد و طراحی نهایی سامانه‌ها تا جایی که به مسایل فنی لطمه‌ای وارد نشود با درخواست‌های آنها تطبیق داده شود.



شکل ۱ مکان اجرای پروژه در استان خوزستان و بندر ماهشهر و تصاویر عرصه درزمان اجرا و پس از اجرای پروژه

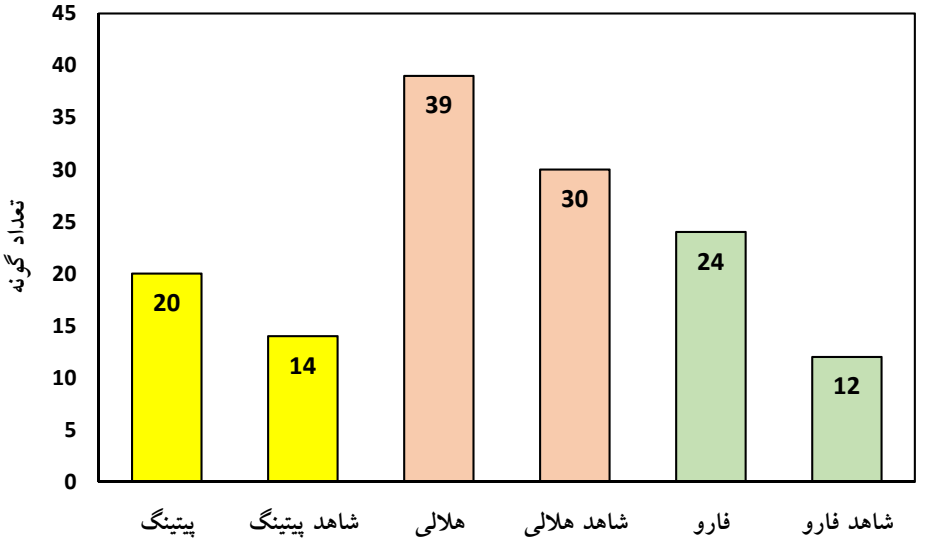
پس از گذشت حدود ۲/۵ سال از اجرای پروژه و آبگیری سامانه‌ها در سه فصل بارش اقدام به ارزیابی و بررسی میزان موفقیت آنها در استقرار پوشش گیاهی در سه سامانه پیتینگ، هلالی‌های آبگیر و فاروها گردید. در اندازه گیری پوشش گیاهی در عرصه پیتینگ و فارو ابتدا قطعات ۱۰۰ هکتاری در عرصه ها به صورت جداگانه انتخاب گردید و دو ترانسکت در مرکز اجرای طرح به لحاظ تقلیل اثر حاشیه‌ای در مکان‌های تصادفی در ۳۰ پلات یک مترمربعی در محل تلاقی پیتینگ‌ها و فاروها و هلالی‌ها با ترانسکت

اندازه گیری شد. عرصه شاهد نیز بین ردیفهای ذخیره نزولات اجرا شده انتخاب گردید و میزان پوشش گیاهی و تعداد گونه ها در ۳۰ پلات یک متر مربعی اندازه گیری شد. برای مقایسه بین روشهای متفاوت با اراضی شاهد از آزمون t مستقل استفاده شد.

نتایج و بحث

غنای ژنی گیاهان بومی منطقه

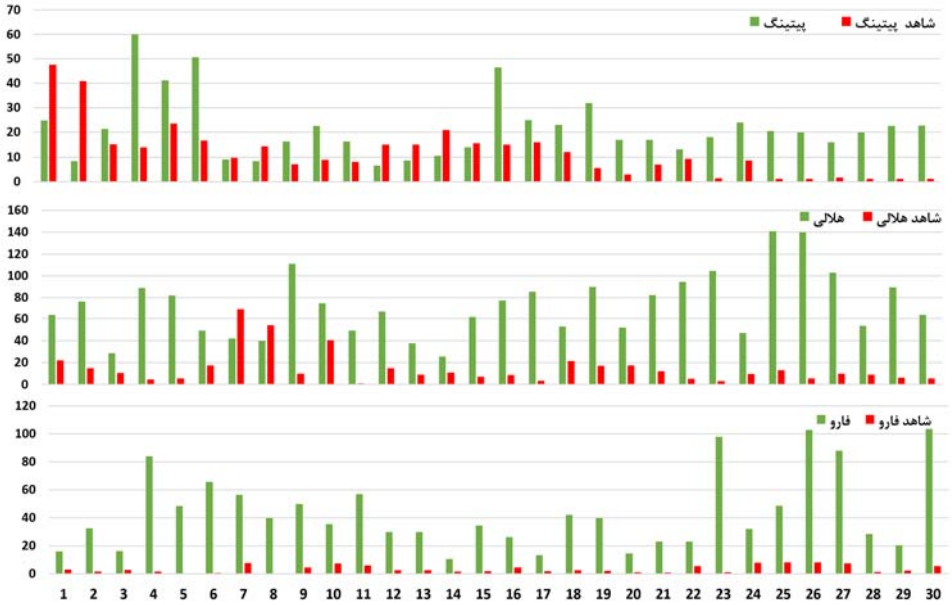
مشاهدات میدانی نشان می‌دهد گیاهان مناطق بیابانی با بکارگیری استراتژی‌های مختلف بویژه فیزیولوژیکی و ظاهری با شرایط محیطی سازگار می‌شوند (دینارووند، ۱۳۹۸). از سوی دیگر وجود خردزیستگاه‌ها و تنوع ویژگی‌های خاک باعث تفاوت‌های ساختاری و ترکیب پوشش گیاهی در مناطق با اقلیم مشترک می‌گردد (Tao, et al, 2013). کانون‌های گرد و غبار واقع در بخش جنوبی استان خوزستان واقع شده در این مناطق پوشش گیاهی اکثرا شورپسند و یا یکساله‌های کوتاه‌زی هستند (دینارووند و همکاران، ۱۳۹۷). گیاهان تیره اسفناجیان که پوشش عمده مناطق شور را تشکیل می‌دهند با تولید بذر فندقه کوچک فراوان و پنهان در اندامک‌های برگ مانند یا در محور ساقه و یا با داشتن بال‌های غشایی نازک به خوبی در منطقه گسترش می‌یابند. این بذرها که اغلب از اوایل مهر ماه تا آذر رسیده و بالغ می‌شوند، گاه روی پایه مادری باقی‌مانده و در فصل بارندگی (آبان تا دی) با اولین بارش‌ها و پس از شستشوی نمک سطحی خاک به سرعت زیر تاج بوته‌ها شروع به جوانه‌زنی کرده و در منطقه گسترش می‌یابند. بذر سایر گونه‌های موجود در کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان با داشتن کرک (مانند انواع درختچه‌های گز *Tamarix* spp.)، بال (*Salsola* spp., *Sedlitzia rosmarinus*)، زوائد خار مانند (انواع یونجه *Medicago* spp. یا *Emex spinosus*) یا کرک (گیاهان تیره مینا Asteraceae) به راحتی در منطقه پراکنده می شوند. بذرهای جابجا شده توسط حشرات و جانوران مهره‌دار محلی نیز یکی از روش‌های توسعه و حفاظت از گیاهان بومی منطقه است (دینارووند، ۱۳۹۸). به استناد بازدیدهای میدانی منطقه بیابانی محل کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان و پژوهش‌های انجام شده طی سال‌های اخیر (دینارووند و همکاران، ۱۴۰۰)، از بانک بذر خوبی برخوردار می‌باشد و درصورت وجود کوچکترین محل ذخیره آب باران پوشش بومی قابل برگشت و استقرار در منطقه هستند. ایجاد فارو، هلالی آبگیر و پیتینگ در منطقه مورد بررسی و نفوذ حتی کمترین حجم بارشها فرصت مغتنمی برای برگشت و احیای پوشش بومی منطقه است. مطابق نمودار (شکل ۲) تفاوت مشخصی بین مناطق شاهد و خرد آبخیزها به لحاظ تعداد گونه گیاهی مشاهده می‌شود. بدون تردید این مناطق می‌توانند به بخشهای کوچک ذخیره ژنی تبدیل شده و در صورت حفاظت و مدیریت منطقه، شاهد توالی مثبت و ایجاد فرصت برای غنای بیشتر پوشش بومی بود.



شکل ۲ تعداد گونه های موجود در روشهای مختلف ذخیره نزولات

اثر شیوه‌های مختلف کنترل روان‌آب بر احیای بیابان

بر اساس اندازه گیریهای انجام شده میزان پوشش در سامانه ها در مقایسه با عرصه های شاهد به صورت شکل ۳می باشد.



شکل ۳ مقایسه درصد پوشش گیاهی پلاتها در سامانه های آبگیر باران

متو سط پو شش گیاهی در هلالیها، فاروها و پیتینگ‌ها به ترتیب ۴۳،۷۲/۷ و ۲۲ در صد بوده ا ست در حالیکه در همان زمان و با وجود م شابهت شرایط میزان متو سط پو شش گیاهی در عر صه های شاهد درهلالیها ۱۴/۶، فاروها ۳/۴ و پیتینگ‌ها ۱۱/۴ درصد اندازه‌گیری شده است. با استفاده از آزمون t میانگین درصد پوشش در هر سامانه با شاهد آن مورد آزمون قرار گرفت و نتایج نشان داد که میانگین ها در سطح ۹۹ در صد دارای تفاوت معنادار ه ستند. به نظر می‌ر سد هلالی‌های آبگیر به دلیل ذخیره حجم آب بالاتر موفق تر از سایر روشها بوده اند و به همین دلیل نیز در هلالی‌های آبگیر استقرار پوششهایی مانند گز *Tamarix passerinoides* و نی *Phragmites australis* به وفور دیده می شود افزایش غنا و تراکم پو شش گیاهی و همچنین تاثیر بر مثبت بر کیفیت خاک در مطالعات مختلف نیز مشاهده شده است از آن جمله می توان به مطالعات Ebrahimi (2022) در سیستان و بلوچستان اشاره کرد و در مقایسه بین روشهای مختلف می توان به نتایج پژوهش حبیب زاده و همکاران (۱۳۸۶) که بیشترین درصد پوشش گیاهی را در مقایسه با ارضی شاهد در پیتینگ با بذرپاشی عنوان می کنند و Jahantigh و Pessarakli (۲۰۰۹) در مقایسه فارو و پیتینگ افزایش میزان پوشش گیاهی را در فارو و مشتاقیان و همکاران (۱۳۸۸) پیتینگ را در استقرار گونه *Astragalus cyclopllon* را موفقتر از فارو عنوان می کنند. همچنین روزها پس از بارش باران برخی از هلالی‌ها هنوز مملو از آب بوده و عشایر محلی جهت استفاده دامها از آنها برداشت می‌کردند (شکل ۴).

شکل ۴ ذخیره آب در هلالیهای آبگیر هفته ها پس از بارش و برداشت آن توسط عشایر برای شرب دام

به وضوح می توان گفت نه تنها هلالی‌های آبگیر باعث افزایش معنادار استقرار پوشش گیاهی بومی در کانون‌ها بوده‌اند بلکه با افزایش ح ضور آب در منطقه باعث بهبود زندگی زی ست مندان منطقه شده اند. مورد دیگری که در عرصه اجرای پروژه قابل توجه است لانه‌سازی حیات وحش در هلالی‌های آبگیر است که خود می‌تواند نشان دیگری از بهبود وضعیت شاخص های زیست محیطی منطقه با اجرای این دست از پروژه‌ها و تاییدی دیگر بر طبیعت محور بودن آنها باشد (شکل۵).

شکل۵ لانه سازی حیات وحش در هلالی های آبگیر

در ابتدای حفر و احداث سامانه ها و پیش از فرا رسیدن فصل بارش، فاروهای ایجاد شده در عرصه به مانند موانع فیزیکی عمل نموده و با افزایش زبری سطحی جریان هوای نزدیک به سطح را تغییر داده در نتیجه توزیع فرسایش بادی نیز تغییر کند و سرعت باد به طور قابل توجهی کاهش می یابد. ماحصل تاثیر بر مشخصات باد، رسوبگذاری در فاروها و کاهش فرسایش بادی و کاهش وقوع توفان گردوغبار است. نمونه عملکرد دوگانه فاروها نیز در شکل ۶ آورده شده است.

شکل ۶- اخذ رسوبات حاصل از فرسایش بادی توسط فاروها

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق با هدف برر سی میزان موفقیت روش‌های مختلف ذخیره نزولات در ا ستقرار پو شش گیاهی انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد سامانه های ایجاد شده در کانون ششم گردوغبار واقع در بندر ماه شهر در جنوب ا ستان خوز ستان در ا ستقرار پو شش گیاهی بومی ن سبت به ارا ضی شاهد ب سیار موفق بوده اند و در صد پو شش در هلالی ها ۴ برابر، در فاروها ۱۱ برابر و در پیتینگها ۰/۹۲ برابر رشد نشان می‌دهد که این تفاوت از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنادار بوده است. همچنین م شاهدات حا صل از پیمایش صحرایی ن شان می دهد که نه تنها سامانه ها توان سته اند با بازگ شت و استقرار گونه های ارزشمند بومی به احیای بیابان کمک کنند بلکه می توانند به یک عنوان حلقه اتصال اجزای مختلف در اکوسیستم عمل نمایند و روش بهینه و محل تلاقی سود و زیان در احیای مناطق بیابانی باشند. خردآبخیزها از یک سو با افزایش رطوبت در پروفیل خاک شرایط را برای استقرار پوشش گیاهی فراهم می آورند و از سوی دیگر با افزایش حضور آب در منطقه زندگی را برای سایر زیست مندان آسوده تر می کنند و همزمان پناهگاهی برای بازگشت حیات وحش در منطقه هستند. از آنجا که برگ شت طبیعت و ا صلاح جنگل‌ها و مراتع به شکل طبیعی سابق اغلب هزینه بر بوده و از سوی دیگر زمان زیادی لازم دارد، بنابراین وجود هر خردزیستگاهی غنیمت بوده و حفظ و توسعه آن کمک شایانی به طی مراحل توالی و برگشت پوشش مطلوب می‌کند. به باور نگارنده احداث خردآبخیزها تبلور حقیقی مدیریت جامع حوزه های آبخیز ا ست چرا که ضمن حل مع ضلی که ن سبت به آن اقدام شده ا ست به خوبی با دیگر ارکان اکوسیستم همخوانی و همکاری دارد و باعث هم افزایی در سیستم می شود. از نظر بررسی مسایل اقتصادی نیز اجرای خرد آبخیزها بر دیگر روشهای احیا و استقرار پوشش گیاهی برتری دارد. در هنگام اجرای پروژه مورد ارز یابی در سال ۱۳۹۹ برآورد اجرا هکتاری ۱۰ میلیون ریال، در حالیکه همزمان به منظور آبیاری و مراقبت از پروژه های نهالکاری ۵۰ تا ۶۰ میلیون ریال پیشنهاد شده بود که تا ۲۰ در صد هم قابلیت افزایش دا شته ا ست. فر صت طبیعی پیش آمده بیانگر وجود بانک بذر مناسب در منطقه و پتانسیل رویشی خودرو و ذاتی آن است.

با توجه به ارزشمندی منابع محدود آبی در مناطق خشک و فراخشک مصرف آنها به منظور اجرای پروژه های بیولوژیک شاید توجیه منطقی نداشته باشد در حالیکه با احداث خردآبخیزها می توان آب تولید کرد. با نگاه به تجربیات موفق سایر کشورها سامانه های آبگیر باران و جمع آوری آب این قابلیت را دارند که توسعه داده شوند و برای نهالکاری دیم و کشت سایر گونه ها نیز به کار بروند.

منابع

- اژدری، ع. حیدریان، پ.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج.، شهبازی، ر. ۱۳۹۴: شناسایی کانون‌های منشا ریزگرد در استان خوزستان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری (اهواز).
- حبیب زاده احد، گودرزی مسعود، مهرورزمغانلو کریم، جوانشیر عزیز. تاثیر پیتینگ, ریپینگ و کنتور فارو در ذخیره رطوبت و افزایش پوشش گیاهی. منابع طبیعی ایران .[Internet] 1386؛۶۰(۲):۳۹۷-۴۱۰. Available from: https://sid.ir/paper/23131/fa
- دیناروند، م. ۱۳۹۸. نگاهی به سیمای پس از باران کانونهای گرد و غبار در ا ستان خوز ستان. مجله طبیعت ایران، جلد ۲ شماره ۲: ۲۷-۲۱.
- دیناروند، م. بهنام‌فر، ک.، فیاض، م.، خاکساریان، ف و کنشلو. ه. ۱۴۰۰. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی بررسی تنوع گونه‌ای در اراضی دست کاشت کانون‌های ریزگرد در جنوب شرق اهواز. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور.
- دیناروند، م.، کنشلو، ه. و فیاض، م.، ۱۳۹۷. پوشش گیاهی کانون‌های گرد و غبار در استان خوزستان. نشریه طبیعت ایران، ۳(۳): ۳۲-۴۲.
- گزارش مطالعات و برنامه کنترل ریز اجرایی تثبیت کانون جنوب شرق اهواز، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. زارع، م. ت.، فیاض، م.، زارع کیا، ص.، باغستانی میبدی، ن. و ابوالقاسمی، م. ۱۳۹۹. بررسی روشهای مختلف ذخیره نزولات آسمانی و فصل کشت در استقرار گونه کمای طبسی (Ferula Tabasensis) در استان یزد (مطالعه موردی مراتع کالمند بهادران). نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۷ شماره ۱: ۳۵-۲۴.
- مشتاقیان, م. ب., کشتکار, ح., اسماعیلی شریف, م. و رضوی, س. م. ۲۰۰۹. ارزیابی اثر روش کاشت بر استقرار گونه گون علوفه‌ای Astragalus cyclophyllon. تحقیقات مرتع و بیابان ایران, ۱۶, ۷۹-۸۴.
- یثربی، ب. ۱۴۰۱. گزارش پایانی طرح پایش کانونهای گردوغبار و ماسه های روان استان خوزستان.
- یثربی، ب. بهنام فر، ک. دیناروند، م. جلیلیان، ح.، ۱۴۰۰. احیای کانونهای گردوغبار خوزستان با روشهای مبتنی بر طبیعت. دومین کنفرانس بیا المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. ۱۹ و ۲۰ خرداد ۱۴۰۰- اردبیل- ایران.
- Tao, Y., Zhang, Y. M. and Downing, A. 2013. Similarity and difference in vegetation structure of three desert shrub communities under the same temperate climate but with different microhabitats. Botanical Studies, 54: 1-14.
- STAVI, I., SIAD, S. M., KYRIAZOPOULOS, A. P. & HALBAC-COTOARA-ZAMFIR, R. 2020. Water runoff harvesting systems for restoration of degraded rangelands: A

review of challenges and opportunities. Journal of Environmental Management, 255, 109823.

- JAHANTIGH, M. & PESSARAKLI, M. 2009. Utilization of contour furrow and pitting techniques on desert rangelands: Evaluation of runoff, sediment, soil water content and vegetation cover. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7
- EBRAHIMI.M 2022. Effects of semi-circular bunds on plant vegetation and soil properties of Naroon and Neron rangelands- Sistan and Baluchestan. ECOPERSIA, 10, 1-11

بررسی استفاده بهینه از نزولات جوی برای تأمین نیاز آبی گیاه در باغات دیم

امیرمرادی نژاد[۱]*، مهدیه کریمی [۳]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲- دکتری باغبانی و کارشناس پهنه مدیریت جهادکشاورزی شهرستان خنداب، استان مرکزی
Amir_24619@yahoo.com

چکیده

درشرایط خشک که میزان بارندگی کم و هیچ‌گونه نظمی برای بارندگی وجود ندارد، جمع‌آوری آب باران به‌اضافه مقدار رطوبتی که درخاک ذخیره شده است می‌تواند بسیار مفید باشد. استحصال آب باران و استفاده از آن در بخش کشاورزی، یکی از تکنیک‌هایی است که از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع استحصال آب باران یکی از شاخص‌ترین روش‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی می‌باشد. در این تحقیق سطوح آبگیر باران در قالب سه تیمار و پنج تکرار در اراضی شیب‌دار به مدت پنج سال انجام شد. سامانه‌های سطوح آبگیر، شامل تیمار زمین تمیز شده با استفاده از فیلتر در چاله نهال، تیمار سامانه نیمه‌عایق با استفاده از فیلتر در چاله نهال و شاهد طبق عرف محل اجرا شد. در سال اول این پروژه بعد از کشت نهال گل‌محمدی آبیاری کمکی انجام شد. هر سال پارامترهای ارتفاع و تاج پوشش در آخر فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تجزیه واریانس اثر سال بر روی صفت قطر در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شده است ($P<۰/۰۱$). اثر تیمار بر روی صفت قطر در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). بیشترین قطر مربوط به تیمار نیمه عایق با فیلتر در چاله نهال است. اثر سال بر روی صفت ارتفاع در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). اثر تیمار بر روی صفت ارتفاع در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار نیمه عایق با فیلتر در چاله نهال است. اثر سال در تیمار برای پارامتر ارتفاع معنی‌دار نبود. درمجموع تیمار نیمه عایق مطلوب‌تر از سایر تیمارها عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی:

آبگیر باران، باغ شیب‌دار، نزولات جوی، فیلتر، گل محمدی.

مقدمه

محدودیت آب به‌عنوان یکی از مهمترین موانع توسعه کشاورزی به‌خصوص در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده منابع آبی بوده و روند افزایشی جمعیت و نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی، باعث تحمیل فشار مضاعف بر منابع آب گردیده است.

درشرایط خشک که میزان بارندگی کم و هیچ‌گونه نظمی برای بارندگی وجود ندارد. دسترسی به آب شیرین چندان مقدور نیست، جمع‌آوری آب باران به‌اضافه مقدار رطوبتی که درخاک ذخیره شده است می‌تواند بسیار مفید باشد. استحصال آب باران و استفاده از آن در بخش کشاورزی، یکی از تکنیک‌هایی است که از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع استحصال آب باران یکی از شاخص‌ترین روش-های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی می‌باشد. با توجه به تنوع گستردگی روش‌های استحصال آب باران باید در انتخاب روش مناسب به ویژگی‌هایی از جمله توپوگرافی زمین، اقلیم، نوع خاک و عوامل اقتصادی اجتماعی و میزان مصرف آب برای به‌کارگیری روش‌های استحصال در هر منطقه توجه جدی نمود. در این تحقیق به ترویج سامانه‌های سطوح آبگیر در استقرار و توسعه کشت گل‌محمدی در شرایط دیم پرداخته شده است. از دیرباز استفاده از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری در کشاورزی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هر فرآیندی که منجر به استفاده بهینه از آب باران گردد و امکان کاربرد بهتری برای آن را فراهم آورد با عنوان استحصال آب باران شناخته می‌شود (Meter et al., 2014). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد استحصال آب باران از زمان‌های گذشته مورد توجه تمدن‌های بشری بوده است. گزارش شده است که استحصال آب باران نخستین بار در منطقه‌ای در فلسطین اشغالی اجرا شده است (Stanton, 2005). نوع روش مورد استفاده در طراحی سطوح آبگیر باران برای باغات دیم در مناطق مختلف متفاوت و مشخصات فنی و هندسه و همچنین متفاوتی دارد. رحیم‌پور و همکاران(۱۳۹۵) میزان رواناب‌های قابل استحصال از ۴۳۳ هکتار از مناطق توده سنگی بالای ۹۰ درصد در شهرستان طرقبه را برای آبیاری تکمیلی نهال‌های قابل کشت ۸۶۶۰۰۰ مترمکعب برآورد کردند. شاهینی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که با ایجاد سیستم عایق نایلونی در سطح سامانه‌های هلالی، حجم رواناب در محل کاشت نهال‌های زیتون ۳ برابر میزان بارش سالانه منطقه (حدود ۳۴۰ میلی‌متر) شد و منجر به استقرار موفق نهال دیم در شرایط دیم گردید. حشمتی و همکاران (۱۳۹۶) تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح آبگیر باران در کنترل روند خشکیدگی بلوط در جنگل‌های زاگرس، انجام و نشان دادند که تیمار بانکت + قرق بعد از سه سال، موجب کاهش خشکیدگی ۳۷ پایه و احیای ۱۹ پایه در هکتار (در مقایسه با تیمار شاهد) گردید. در تحقیقی میرطاهری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که اگر فقط ۱۰درصد رواناب حاصله از مجموع ۳۲۱ هکتار اراضی توده سنگی حاشیه جنوبی شهر مشهد توسط سازه‌ها و تجهیزات جانبی جمع‌آوری و مورد بهره‌برداری قرار گیرد قابلیت تولید ۶۰۰۰ مترمکعب برای آبیاری حدود ۱۴۰۰۰ نهال فراهم خواهد شد. حسینی و همکاران (۱۳۹۴) بازده اقتصادی و فنی روش‌های مورد استفاده جهت استحصال آب باران شامل: پیتینگ، بانکت، تراس‌بندی، آب انبار و کنتور فارو را ارزیابی و نشان دادند که با توجه به سودآوری پروژه ۲/۰۴ درصد و نرخ بازدهی داخلی (۶۳/ ۰ درصد)، اجرای طرح مذکور از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. جهان تیغ (۱۳۹۵) در تحقیقی نشان داد که از ۲۲/۴۴ میلیون مترمکعب حجم رواناب سالانه حوضه ترشآب زابل، به‌طور متوسط ۵۱۸۰۰ مترمکعب

آن از طریق سامانه سطوح آبگیر تورکینست کنترل می‌گردد. در تحقیق دیگری قیطوری و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که سختی سطح سامانه سطوح آبگیر باران در سه سامانه هلالی، لوزی و مسطح، از نظر رطوبت خاک مؤثرتر از شکل سامانه عمل کرد. به‌گونه‌ای که سامانه با پوشش پلاستیک ذخیره رطوبت بیشتری نسبت به سامانه سنگفرش و شاهد در خود ذخیره نمود.

به‌منظور دستیابی به آب باران، باید سیستم استحصال در یک منطقه اجرا و با حداکثر ظرفیت نگهداری ذخیره شود تا برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Traboulsi, & Traboulsi, 2015) . سوابق نشان می‌دهد استحصال آب باران اولینبار در فلسطین اشغالی در منطقه‌ای با متوسط بارندگی ۹۰ میلی-متر انجام شد که موجب افزایش تولید علوفه در منطقه گردید. در استرالیا نیز سطوح آبگیر ناودانی شکل به‌منظور هدایت آب باران به باغات مورد استفاده قرار گرفت که نتایج به‌دست آمده به‌صورت دستورالعملی برای تأمین آب اضطراری مناطق خشک در این کشور اجرا گردید (Stanton, 2005). یک راه‌برد کلیدی در کشت محصولات دیم با هدف کاهش ریسک تولید محصول، تأکید بر سرمایه‌گذاری روی سامانه‌های استحصال آب باران برای انجام آبیاری تکمیلی کشت‌های دیم است (Rockstrom et al., 2009). استحصال آب باران برای انجام آبیاری تکمیلی اراضی دیم در بسیاری از مناطق خشک با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. برای این‌منظور، آب باران از اراضی مجاور جمع‌آوری و ذخیره می‌شود و در زمان کمبود آب به مصرف گیاه می‌رسد (Qiang et al., 2006). نکویی‌مهر و الیاسی(۱۳۹۶) با مطالعه اثربخشی استفاده از روش‌های استحصال آب باران در بهبود شاخص‌های گیاهی در شرایط کشت دیم گزارش نمودند که بین تیمارهای مختلف سطوح آبگیر باران از لحاظ شاخص‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج ایشان نشان داد استفاده از روش‌های استحصال آب باران (سامانه پلاستیک و سنگریزه) برای شرایط کشت دیم در اراضی شیب‌دار قابل توصیه است. سلطانی و همکاران(۱۳۹۷) به‌منظور شناسایی محل‌های مناسب برای احیاء منابع آب زیرزمینی با استفاده از استقرار سیستم‌های جمع‌آوری آب باران از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبخیز خسروآباد شهرستان سنقر استفاده نمودند. برای این‌منظور معیارهای پوشش گیاهی، تاج پوشش، درصد و جهت شیب، بارندگی، سنگ‌شناسی، کاربری‌اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، ژئومورفولوژی، طبقات ارتفاعی و فرسایش خاک در نظر گرفته و بر اساس آن‌ها نقشه مناطق مناسب برای تغذیه منابع آب زیرزمینی تهیه شد. عشقی زاده (۱۳۹۸) به‌منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل استحصال آب‌باران در حوضه آبخیز کلات خراسان رضوی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به عنوان یک روش ساده و در دسترس با تلفیق در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بر اساس عوامل ژئومورفولوژیکی استفاده نمود. ساخت سطوح آبگیر باران به‌منظور ذخیره نزولات آسمانی و بهره‌برداری مناسب از بارندگی جهت ایجاد پوشش گیاهی و بهبود محیط زیست روش مناسبی برای مناطق کم باران به‌خصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود(Kahinda and Taigbenu, 2011؛Yazar et al., 2014). در دنیا پژوهش‌های

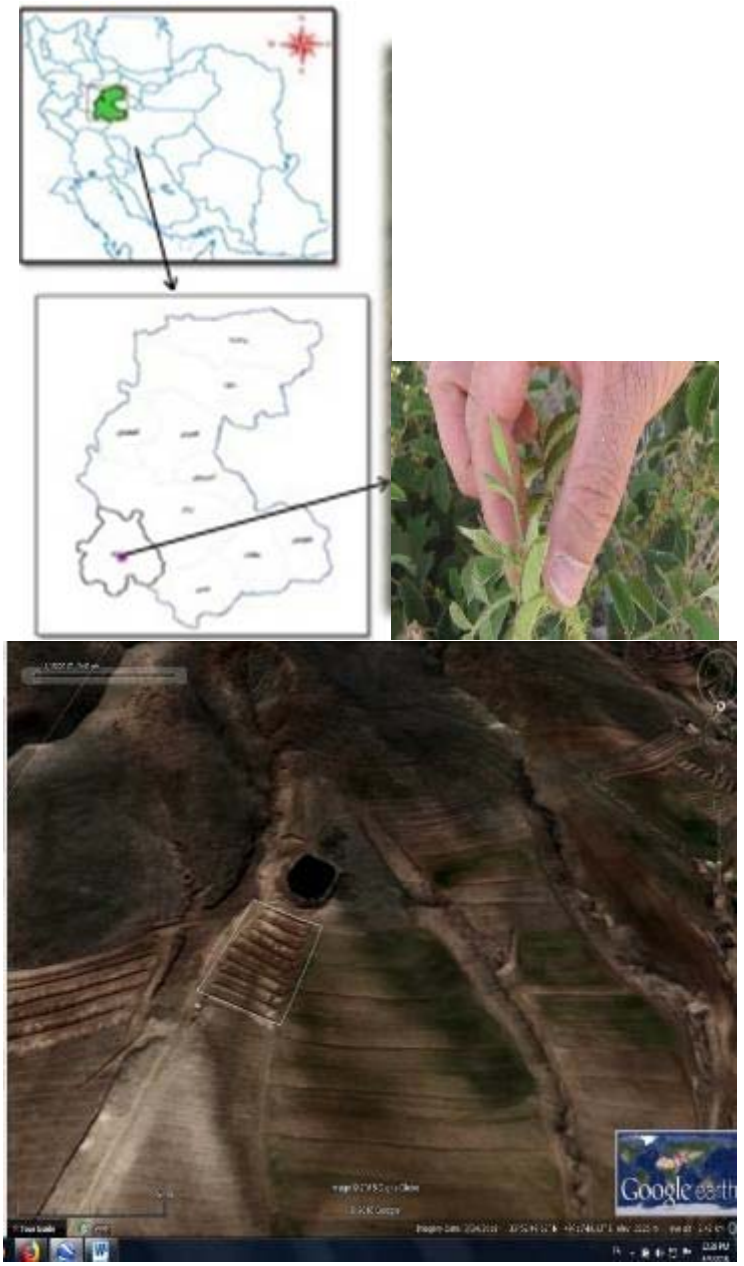
متعددی در خصوص ایجاد سامانه‌های آبگیر و عملکرد آنها صورت پذیرفته است. در همین راستا Yi و همکاران (۲۰۱۰) در کشور چین نشان داد که ایجاد سطوح آبگیر باران با پوشش پلاستیکی الگوی مناسبی مطالعات برای جمع‌آوری آب باران و مصرف آن برای افزایش محصول ذرت دانه‌ای بوده است. Wangو همکاران (۲۰۰۹) عملکرد سامانه‌های سطوح آبگیر در شمال کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که این تاسیسات نقش مثبتی در ذخیره آب در مناطق خشک و کم آب دارد که چنین وضعیتی شرایط را برای رشد و نمو گیاهان فراهم می‌نماید. بنی‌اسدی و پناهی (۱۳۹۷) نیز بر این باورندکه جمع‌آوری نزولات آسمانی در سامانه‌های سطوح آبگیر باران سبب رفع بخشی از نیاز آبی بهره‌برداران می‌گردد که چنین رویکردی افزایش توان اقتصادی آنان را به‌همراه دارد.

مواد و روش‌ها

موقعیت طرح:

این پروژه در روستای کتیران از توابع شهرستان شازند استان مرکزی انجام شد. این روستا در فاصله ۲۰ کیلومتری غرب شهرستان شازند و در دامنه تپه‌ای به طول جغرافیایی " ۴۰ ´۰۱۶ °۴۹ و "۵۳´۳۷ °۳۳ و ارتفاع ۲۱۴۳ متری از سطح دریا قرار دارد. طرح الگویی باغ دیم گل‌محمدی در روستای کتیران از توابع شهرستان شازند انجام شده است. در جنوب این روستا زمینی دیم‌زاری در دامنه شمالی با شیب حدود ۲۰ درصد با مساحت حدود ۳۰۰۰ مترمربع به باغ دیم اختصاص داده شده است.

عرصه تحقیق در دامنه شمالی روستا با شیب حدودِ ۲۰ درصد انتخاب شد. با نمونه‌برداری سنجش عمق خاک انجام شد. کانال سراسری به عمق ۸۰ سانتی‌متر با بیل مکانیکی در پایین‌دست سامانه‌ها حفر گردید. کانال با مخلوط کاه و کلش و ترکیب کود دامی با خاک (به میزان ۲۰ درصد حجمی) به‌منظور افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک پر شد. برای انجام پژوهش حاضر، تعداد ۷۵ سامانه آبگیر مستطیلی شکل به ابعاد ۶×۵ متر با استفاده از پشته‌های خاکی بر روی دامنه‌های با شیب ۲۰ درصد احداث گردید. این سامانه‌ها با توجه به قرار گرفتن در شیب دامنه و انجام یکسری تمهیدات در بستر آن‌ها، سبب تولید و هدایت رواناب به سمت نقطه هدف (محل کشت نهال) می‌شوند. در پایین دست هر سامانه یک چاله برای کاشت نهال در نظرگرفته شد. پژوهش در قالب سه تیمار سامانه شامل: زمین تمیز شده با استفاده از فیلتر سنگریزه‌ای در چاله نهال، تیمار سامانه نیمه‌عایق با استفاده از فیلتر سنگریزه‌ای در چاله نهال و شاهد(پوشش طبیعی زمین) طبق عرف محل اجرا شدند.



شکل ۱- تصویر محل اجرای پروژه در گوگل ارث.

برای ساخت سامانه عایق، ابتدا پوشش گیاهی سطح سامانه حذف شد و با استفاده از نایلون ضخیم و یک لایه ۳ سانتی‌متری از سنگریزه بر روی آن، بستر سامانه عایق گردید. همچنین قسمت پایین دست

سامانه در محل چاله نهال جهت کاهش تبخیر، با استفاده از قلوه سنگ‌های موجود در منطقه سنگفرش شد. شکل (۲) نحوه احداث سامانه نیمه‌عایق (پلاستیک و سنگریزه) را نشان می‌دهد. در شکل (۲) سامانه عایق پس از کشت نهال گل‌محمدی دیده می‌شود. فیلترهای سنگریزه‌ای، ستونی از سنگریزه می‌باشد که در قسمت بالادست نهال با استفاده از دو لوله پلیکا به قطر ۱۰ سانتی‌متر و عمق ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر در هنگام خاکریزی در پای نهال احداث گردیده است. در داخل لوله‌ها سنگریزه ریخته شد. جهت برقراری ارتباط هیدرولیکی بین ستون سنگریزه و خاک چاله و اطراف آن، قسمت پایین لوله مشبک گردید. این فیلترها به منظور نفوذ بهینه رواناب استحصال شده به عمق توسعه ریشه درخت به کار رفته است. برای احداث سامانه لخت، پوشش گیاهی و سنگریزه‌های سطح سامانه جمع‌آوری شد. با زدن غلطک بر روی سطح خاک امکان افزایش رواناب مهیا گردید. شکل (۲) نمونه‌ای از سطح سامانه لخت را نشان می‌دهد. برای انجام کار، نوع گونه گل‌محمدی انتخاب سپس با جمع‌آوری داده‌های بارندگی منطقه، نیاز آبی گل‌محمدی با توجه به روش‌های موجود محاسبه شد. با توجه به متوسط بارندگی در ماه‌های مختلف با استفاده از آمار موجود و مقایسه نیاز آبی محاسباتی، ابعاد سامانه محاسبه و طراحی شد. ابعاد سامانه‌ها بر اساس بارش با دوره بازگشت ده ساله و ضریب رواناب تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

جدول(۱) بارندگی فصلی (میلی‌متر) و درصد آن در هر فصل و در سال‌های مختلف ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ در منطقه شازند را نشان می‌دهد. مثلاً در سال ۱۳۹۸ مقدار کل بارندگی سالانه در ایستگاه شازند ۵۷۳/۶ میلی‌متر بوده است. از این مقدار ۵۰ درصد بارندگی در فصل بهار، ۰/۰۶ درصد در فصل تابستان، ۲۷ درصد در فصل پاییز و ۲۳/۵درصد در فصل زمستان رخ داده است. یا در سال ۱۴۰۰مجموع بارندگی سالانه در ۳۶۰ میلی‌متر بوده است. از این مقدار ۸/۵ درصد در فصل بهار، ۰/۲۲ درصد در فصل تابستان، ۴۹/۶۶ درصد در فصل پاییز و ۴۱/۵ درصد در فصل زمستان رخ داده است. شکل (۳) بارش در ماه‌های مختلف سال‌های پروژه در منطقه شازند ر ا نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست بیشترین بارندگی در فصل بهار مربوط به سال ۱۳۹۸ و کمترین آن مربوط به سال۱۴۰۱و ۱۴۰۰ می‌باشد.

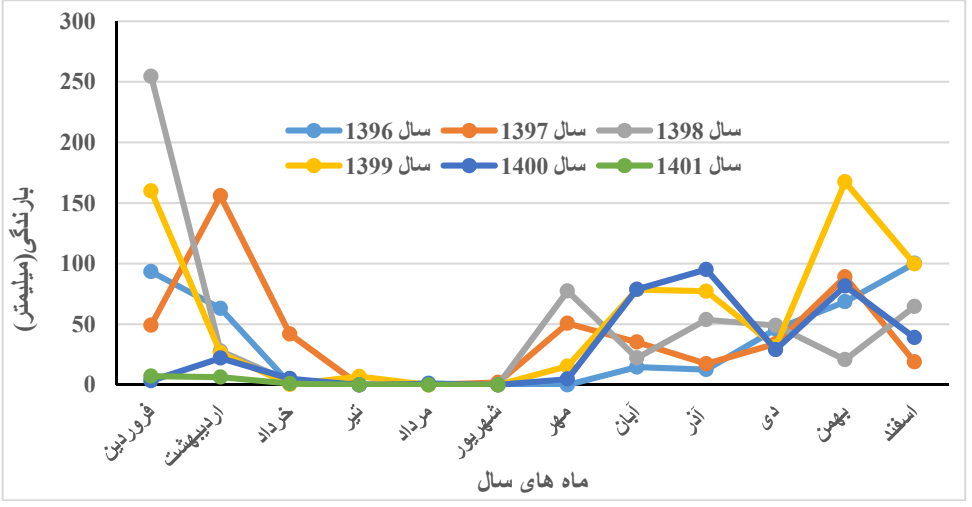
شکل ۲- انتخاب محل اراضی دیم شیب دار جهت کاشت گل محمدی (کانال های پرشده با خاک و کود) در روستای کتیران شازند.

جدول ۱- بارندگی فصلی در سال‌های مختلف (میلی‌متر) در منطقه شازند

سال	1396	1397	1398	1399	1400
بهار	157.5	247.1	285.4	186.8	30.7
تابستان	1.3	2	0.4	7	0.8
پاییز	27.2	103.44	153.4	171.2	178.81
زمستان	214.9	142.03	134.4	298.91	149.6
مجموع	400.9	494.57	573.6	663.91	359.91
	مقدار بر حسب درصد نسبت به کل سال				
بهار	39.28661	49.76136	49.75593	28.13634	8.527778
تابستان	0.32427	0.402763	0.069735	1.05436	0.222222
پاییز	6.784734	20.8309	26.74338	25.78663	49.66944
زمستان	53.60439	28.60221	23.43096	45.02267	41.55556

اثر تیمارها بر روی صفات ارتفاع و تاج:

با توجه به جداول (۲) و (۳) در تجزیه واریانس، اثر تیمارهای آبیاری بر روی صفت ارتفاع در سال‌های ۱۳۹۷ با سطح احتمال یک درصد ($P<۰/۰۱$) و در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اثر تیمار روی صفت ارتفاع در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد. بیشترین طول ارتفاع مربوط به تیمار سوم (با فیلتر و و سامانه نیمه‌عایق) و کمترین ارتفاع و تاج مربوط به تیمار شاهد می‌باشد.



شکل۳- بارش در ماه‌های مختلف سال‌های پروژه در منطقه شازند

جدول ۲- تجزیه واریانس صفت ارتفاع در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (سال 1397)	میانگین مربعات (سال 1398)	میانگین مربعات (سال 1399)	میانگین مربعات (سال 1400)	میانگین مربعات (سال 1401)
تیمار	2	1.3 **	67.1 *	75.0 *	113.9 ns	122.5 ns
اشتباه	9	0.1	49.8	18.6	43.6	44.5
ضریب تغییرات	-	2.2	32.1	10.5	12.3	11.8

**معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری درسطح احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری.

۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفت ارتفاع در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

تیمار	1397	1398	1399	1400	1401
شاهد	14.2 b	25.5 b	36.8 b	48.1	51.0
با فیلتر	14.8 a	32. 5 a	41.0 ab	53.3	56.1
با فیلتر و سامانه نیمه	15.4 a	36.7 a	45.5 a	58.7	62.1

با توجه به جداول (۴) و (۵) در مورد اثر تیمارها روی صفت طول تاج در تمام سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹، ۱۴۰۰و ۱۴۰۱ معنی‌دار می‌باشد. در سال ۱۳۹۹ در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) و در سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار می‌باشد. در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اثر تیمارها روی صفت ارتفاع معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد اثر تیمارها بر روی تاج بیشتر از اثر آنها بر روی ارتفاع می‌باشد. بیشترین تاج در تیمار سوم (با فیلتر و سامانه نیمه‌عایق) و کمترین تاج در تیمار شاهد به‌دست آمد.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفت تاج در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (سال 1398)	میانگین مربعات (سال 1399)	میانگین مربعات (سال 1400)	میانگین مربعات (سال 1401)
تیمار	2	2.4*	58.7*	81.0**	110.7*	106.8*
اشتباه	9	0.5	48.4	6.3	28.9	32.9
ضریب تغییرات	-	4.9	13.9	6.4	10.7	10.8

**معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری درسطح احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری.

جدول ۵ -مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفت تاج در بوته‌های گل محمدی.

تیمار	1397	1398	1399	1400	1401
شاهد	13.9 b	28.1	34.8 c	44.8 b	48.8 b
با فیلتر	14.5 ab	31.7	38.9 b	49.8 ab	53.1 ab
با فیلتر و سامانه نیمه	15.4 a	36.7	43.8 a	55.4 a	59.1 a

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان داد که سامانه سطوح آبگیر نیمه‌عایق با چاله نهال حاوی فیلتر شنی بیشترین تأثیر را در افزایش رطوبت خاک داشته است. بعد از آن سامانه با فیلتر در چاله نهال و در نهایت تیمار شاهد، کمترین تولید رواناب و رطوبت را به همراه داشت. همچنین در بررسی سامانه‌های گوناگون، می‌توان به این نکته نیز اشاره داشت که عایق کردن سطح زمین با پلاستیک، از اثر برخورد مستقیم قطره باران با سطح خاک جلوگیری می‌کند و پخش شدن ذرات خاک و به دنبال آن تشکیل رسوب به حداقل می‌رسد. لذا کمترین فرسایش مختص سامانه نیمه‌عایق (پلاستیک با پوشش سنگریزه) خواهد بود. دیم‌زارهای رها شده موجود در اراضی شیب‌دار، همواره در معرض فرسایش بوده و از منابع عمده تولید رسوب می‌باشند. تأمین رطوبت و استقرار نهال‌های مثمردر آنها باعث احیا و افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌گردد. از آنجا که راهبرد کلیدی در کشت گیاهان دیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌منظور به‌حداقل رساندن ریسک نابودی کامل محصولات، استفاده از سامانه‌های استحصال آب باران می‌باشد، بنابراین سامانه‌های استحصال آب باران با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی و اجتماعی یکی از روش‌های مدیریت منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند.

منابع

- جهان‌تیغ، م. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد تورکینست در کنترل رواناب سطوح آبگیر باران مناطق خشک (مطالعه موردی حوزه آبخیز ترش آب سیستان). مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. گیلان، رشت، اسفند ۱۳۹۵.
- حسینی، ق ا.، احمدی، ر. و باقری، و. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر اجرای عملیات سطوح آبگیر باران بر وضعیت مراتع (مطالعه موردی: مراتع خشک و نیمه‌خشک منطقه دهلران). سامانه‌های سطوح آبگیر باران ۶ (۱): ۵۷ – ۶۴.
- حشمتی، م.، قیطوری، م.، شیخ‌ویسی، م.، عرب‌خدری، م. و حسینی، م. ۱۳۹۶. مقابله با خشکیدگی جنگل‌های زاگرس با رویکردهای جمع‌آوری آب باران و حفظ رطوبت خاک به‌منظور مدیریت پیامدهای محیط‌زیستی . جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲۳ (۳) : ۱۲۵ –۱۴۱.

- سلطانی، م.، سلیمانی، ک.، حبیب‌نژاد روشن، م. و جلیلی، خ. ۱۳۹۷. مکان‌یابی مقایسه‌ای جمع‌آوری آب‌باران (مطالعه موردی: حوضه‌های میخوران و خسروآباد استان کرمانشاه). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۷ (۱۸ :) ۴۹ - ۶۲.
- عشقی زاده، م. ۱۳۹۸. تعیین پتانسیل استحصال آب باران براساس عوامل ژئومورفولوژیکی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (حوضه آبخیز کلات، خراسان رضوی). سامانه سطوح آبگیر باران، سال هفتم، شماره ۳، دوره هفتم، پیاپی ۲۲. صفحه ۹-۲۰.
- میرطاهری، ع.، تاجبخش فخرآبادی، س م. وغضنفری، م ص. ۱۳۹۲ بررسی ظرفیت تولیدرواناب ازسطوح سنگی حوزه آبخیز برای آبیاری تکمیلی. دوره هشتم/جلد۴۲/صفحه: ۳۵-۴۴.
- نکویی‌مهر، م. و الیاسی، ز.، ۱۳۹۶، اثربخشی استفاده از روش‌های استحصال آب باران در بهبود شاخص‌های گیاهی در شرایط کشت دیم، ششمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، بهمن ماه، خمینی شهر.
- Bani Asadi, M. and Panahi, b. 2017. Investigating the effect of using managed catchment levels systems in increasing plant production. Irrigation and Water Engineering Scientific Research Quarterly, (9).34, 207-222. (In Persian).
- Kahinda J. M. and Taigbenu A. E. (2011). Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36(14-15), 968-976.
- Qiang, Z., Yuanhong, L., and Manjin, C. (2006), Effect of low-rate irrigation with rainwater harvesting system on the dry farming. The 2nd International RWHM Workshop,IWA 5th world water congress and ehibition. Beijing, china.
- Rockstrom, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron J. & Hatibu, N. (2009), Managing water in rainfed agriculture- The need for a paradigm shift, Agricultural Water Management, 87(4):543-550.
- Rockstrom, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron J. & Hatibu, N. (2009), Managing water in rainfed agriculture- The need for a paradigm shift, Agricultural Water Management, 87(4):543-550. Paper
- Shahini, GH. 2014. Annual report of the research project of optimization of catchment surface systems by increasing the retention of moisture in the soil profile in Golestan province, Soil Conservation and Watershed Research Institute, 2014.
- Stanton, D. (2005). Roaded catchments to improve reliability of farm dams. Government of Western Australia, Department of Agriculture, Bulletin 4660.
- Stanton, D. (2005). Roaded catchments to improve reliability of farm dams. Government of Western Australia, Department of Agriculture, Bulletin 4660.
- Traboulsi, H. & Traboulsi, M. (2015), Rooftop level rainwater harvesting system, Applied Water Science, 7, pp 769– 775.
- Wang Y., Xie Z., Malhi S. S., Vera C. L., Zhang Y. and Wang J. (2009). Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semiarid Loess Plateau, China. Agricultural water management. 96(3): 374-382.
- Yazar A., Kuzucu M., Celik I., Sezen S. M. and Jacobsen S. E. (2014). Water harvesting for improved water productivity in dry environments of the Mediterranean region case study: Pistachio in Turkey. Journal of agronomy and crop science, 200(5), 361-370.

- Yi L., Shenjiao Y., Shiqing L., Xinping C. and Fang C. (2010). Growth and development of maize (Zea mays L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency.Agricultural and Forest Meteorology, 150(4): 606-613.
- Ghaitouri, M., Roghani, M., Heshmati, M. and Biddle, R. 2016. Evaluation and comparison of flat, crescent and diamond-shaped catchment surface systems in rainwater storage in Kermanshah province. Final report of the research project, Research Institute of Soil Protection and Watershed Management. (In Persian). Final report
- Meter K., Basu, N., Tate, E. & Wyckoff, J. (2014). Monsoon harvests: the living legacies of rainwater harvesting systems in South India. Environmental Science & Technology, 48, pp 4217–4225.

بررسی عوامل فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنوات آبخوان مشهد-چناران

علی دسترنج*[۱]، حمزه نور[۱]، ابراهیم کریمی سنگچینی[۲]

۱*- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی خراسان‌رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد. Dastranj66@gmail.com

۲- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

چکیده

قنات‌ها به‌عنوان سرمایه‌های ملی، نقش و اهمیت بسزایی در توسعه بخش کشاورزی کشور ازجمله استان خراسان رضوی دارند و با توجه به نقش قنات در تأمین آب مناطق خشک در شرایط کنونی کشور که مسئله کمبود آب و مدیریت منابع آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، انجام مطالعات پژوهشی درباره‌ی شناخت بهتر قنات از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است. ازاین‌رو هدف مطالعه حاضر بررسی و اولویت‌بندی مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی بر آبدهی قنات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) با توجه به نظر کارشناسان در قنات‌های دشت مشهد- چناران است. برای این منظور ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و تفصیلی و نظرات کارشناسان خبره درزمینه قنات، پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات شناسایی شد. در ادامه به‌منظور بررسی اهمیت و اولویت‌بندی پارامترهای مختلف بر آبدهی قنات بر اساس نظرات کارشناسان از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) استفاده شد. برای این منظور با طراحی پرسشنامه نظرات کارشناسان درزمینه اهمیت پارامترهای مختلف بر آبدهی قنات جمع‌آوری شد سپس با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار Expert Choice، وزن و اهمیت هر یک از پارامترهای مختلف مشخص شد. بر اساس نتایج اولویت‌بندی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات پارامترهای مربوط به خصوصیات آبخوان با وزن ۰/۴۹۷ دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.

واژه‌های کلیدی:
آبخوان، آبدهی قنات، پارامترهای فیزیکی، AHP

مقدمه

قنات با توجه به نقش این پدیده در تأمین آب مناطق خشک در شرایط کنونی کشور که مسئله کمبود آب و مدیریت منابع آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است. قنات یا کاریز یکی از پیچیده‌ترین و شگفت‌انگیزترین ابتکارات ایرانیان جهت مبارزه با کمبود آب و تأمین آب کشاورزی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک هست. قنات‌ها به‌عنوان سرمایه‌های ملی، نقش و اهمیت بسزایی در توسعه بخش کشاورزی استان خراسان رضوی می‌توانند ایفا کنند. یکی از

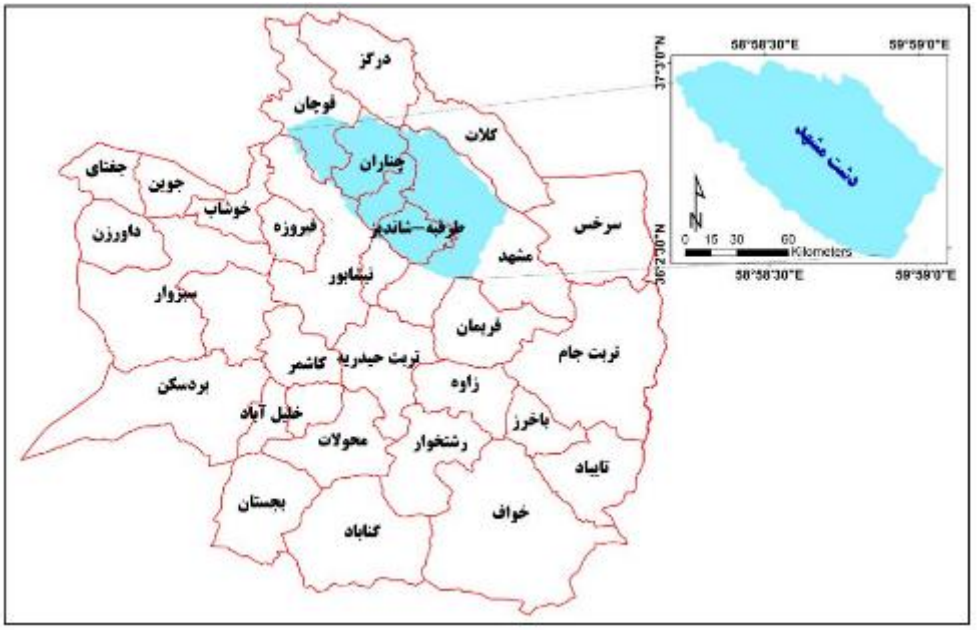
مهم‌ترین منابع استحصال آب‌های زیرزمینی در مناط خشک و نیمه‌خشک ایران برای بهره‌برداری ساکنین روستاها به‌منظور استفاده برای کشاورزی، شرب، دامداری و غیره قنوات هست. یکی از ویژگی‌های باارزش قنات، جاری ساختن آب زیرزمین به‌صورت ثقلی به سطح زمین بدون به‌کارگیری هیچ‌گونه نیروی محرکه و م صرف انرژی و با رعایت سایر ملاحظات زیستمحیطی ا ست که با توجه به عدم هزینه‌های جانبی، از نظر اقتصادی نیز بسیار حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد قنات همچنان نقش مؤثری در ساماندهی اقتصادی، بهره‌برداری بهینه از اراضی و توسعه پایدار در مناطق روستایی را با توجه به پراکندگی گسترده زمین‌های کشاورزی دارد. قنات مجرای زیرزمینی است که آب زیرزمینی را به سطح زمین هدایت می‌کند و تاریخ نویسان شرق و غرب آن را تکنیک ملی ایرانیان در آب‌رسانی شهرها و کشتزارها می‌دانستند و ازنظر فن مهندسی آن را هم‌پایه و یا مهم‌تر از ساخت اهرام مصر می‌دانند، ازاین‌رو قنات، نقشی انکارناپذیر در حفظ و گسترش تمدن در فلات ایران داشته است (بوزرجمهری و خاتمی، ۱۳۹۷). بررسی منابع و مقالات موجود نشان می‌دهد عمده مباحث علمی پیرامون قنات بر جنبه‌های تاریخی، سازه‌ای، هیدرولیکی و اجتماعی متمرکز بوده است. درزمینه بررسی عوامل مؤثر بر آبدهی قنات مطالعه‌ای صورت نگرفته است. از جمله محققینی که مطالعاتی در زمینه قنات داشته اند می توان از طباطبایی و خزیمه نژاد (۱۳۹۸)، پاپلی یزدی و همکاران (۱۳۹۸)، میرانی مقدم و همکاران(۱۳۹۸)، ویسی(۱۳۹۹)، صفایی و همکاران(۱۴۰۰) و شیخی و پاکزی(۱۴۰۰)، نام برد. مطالعات انجام‌شده در رابطه با قنات ا شاره‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر آبدهی قنات نشده است. در این مطالعه سعی شده ا ست که به برر سی عوامل فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات پرداخته شود و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP[1]) به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر آبدهی قنوات دشت مشهد- چناران پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه به بررسی عوامل فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنوات دشت مشهد- چناران بر اساس نظر کارشناسان پرداخته شد. دشت مشهد با وسعت۹۹۰۹۱۴ هکتار در دره‌ای نسبتاً عمیق در شمال استان خرا سان ر ضوی ه ست و زیر حو ضه‌ای از حوزه آبخیز بزرگ قره‌قوم ا ست. این د شت شامل بخ شی از شهرستان مشهد، طرقبه-شاندیز، چناران و بخشی از جنوب قوچان است. ازنظر مختصات جغرافیایی در محدوده طول‌های " ۲۳ ۲۲ ۵۸ ˚ الی " ۵۸ ´ ۶ ˚ ۶۰ شرقی و عرض‌های "۰ ´۰۵۸ ˚ ۳۵ الی " ۲۷ ´ ۳ ˚ ۳۷ شمالی واقع‌شده است در این دشت بالغبر ۱۰۸۶ رشته قنات ثبت‌شده وجود دارد (صالحی، ۱۳۹۶).

1 Analytic Hierarchy Process



شکل ۱- موقعیت دشت مشهد-چناران

روش کار

عوامل مختلفی از جمله عوامل فیزیکی، عوامل انسانی، خصوصیات آبخوانی که قنات در آن حفر شده است و عوامل اقتصادی - اجتماعی بر آبدهی و پایداری قنات موثر می باشند. که در این مطالعه به بررسی عوامل فیزیکی کوثر بر آبدهی قنات پرداخته می شود.

در یک قنات سه پارامتر اصلی فیزیکی بر آبدهی قنات مؤثر است. این پارامترها شامل خصوصیات حوزه آبخیز بالادست، خصوصیات فیزیکی آبخوان و خصوصیات هندسی قنات می باشند. روش انجام تحقیق شامل:

- **بررسی خصوصیات حوزه آبخیز بالادست بر آبدهی قنات**

شیب حوضه: تأثیر مستقیمی بر زمان تمرکز حوزه آبریز و درنتیجه زمان ماندگاری جریان در داخل حوضه دارد. طبیعی است هر چه مدت ماندگاری جریان‌های سطحی در یک حوضه بیشتر باشد، فرصت نفوذ بیشتری برای آب فراهم خواهد شد.

پوشش گیاهی: افزایش پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز بالادست قنوات بر میزان نفوذ و به‌تبع بر آبدهی قنات مؤثر است. این امر در قنوات دشتی تابع برآیند شرایط پوشش گیاهی حوضه‌های مشرف‌به دشت است.

کاربری ارا ضی: در کاربری‌های زراعی و باغی آب مازاد در آبیاری فاریاب تأثیر مثبتی بر آبدهی قنوات دارد ولی زراعت دیم موجب حذف بخشی از رطوبت خاک خواهد شد.

- **بررسی خصوصیات فیزیکی آبخوان بر آبدهی قنات**

عمق سطح ایستابی: عمق سطح ایستابی در محل احداث قنات با توجه به شرایط اجرائی به‌وا سطه افزایش هزینه‌های مرحله اجرا، بر میزان آبدهی تأثیر دارد. این مو ضوع را می‌توان بدین صورت بیان کرد که چنانچه عمق سطح ایستابی افزایش یابد، احداث قنات نیاز به عملیات حفاری بیشتر در خصوص تعداد میله‌ها و همچنین طول کوره قنات خواهد داشت. لذا افزایش این پارامتر موجب افزایش عملیات اجرایی می‌شود.

ضخامت لایه اشباع: هرچقدر ضخامت لایه اشباع بیشتر باشد قدرت مانور اجرایی در احداث قنات در مرحله اولیه و نیز تو سعه قنات و پیشکار کنی در دوره بهره‌برداری، بیشتر خواهد بود. لذا ضخامت لایه اشباع تأثیر مثبتی بر میزان آبدهی قنات از بعد اجرایی و مدیریتی دارد.

شیب سطح ایستابی: شیب سطح ایستابی در آبخوان محل حفر قنات د شتی هرچقدر بیشتر با شد موجب می شود به دلیل محدودیت عملیات حفاری در ق سمت تره‌کار، طول ق سمت تره‌کار کمتر شود، لذا شیب سطح ایستابی رابطه معکوسی با آبدهی قنات دشتی دارد.

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان: این ضرایب شامل پارامترهای ضریب آبگذری(K)، قابلیت انتقال(T) و ضریب ذخیره(S) هست. دراین‌بین پارامتر K تأثیر مستقیم بر میزان آبدهی قنات دارد به‌نحوی‌که افزایش مقدار آن موجب افزایش آبدهی قنات خواهد بود.

بافت خاک و قطر متوسط ذرات: این پارامتر درواقع مناسب‌ترین پارامتر در خصوص ویژگی‌های هند سی آبرفت لایه ا شباع ا ست که نقش آن را می‌توان بر میزان آبدهی در قنات مؤثر دان ست، چراکه سایر پارامترها نظیر تخلخل و پوکی و حتی ضرایب K، T و S نیز متأثر از آن است. هرچقدر خاک ریزدانه‌تر باشد(d50 کمتر) میزان آبدهی قنات کمتر است و چقدر خاک درشت دانه‌تر باشد(d50 بیشتر) میزان آبدهی قنات بیشتر خواهد بود.

- **بررسی خصوصیات هندسی قنات بر آبدهی قنات**

طول بخش تره‌کار قنات: بدیهی ا ست در شرایط یک سان هرچقدر طول ق سمت تره‌کار قنات بی شتر باشد میزان آبدهی قنات افزایش خواهد یافت. البته طول قسمت تره‌کار تابع شرایط اجرا در زمان حفاری است که معمولاً بسته به میزان پیشروی در لایه اشباع، با توجه به شیب سطح ایستابی و میزان نشت به کوره قنات و میزان توانمندی حفاری مقنیان و امکانات و الزامات حفاری متغیر است.

طول قسمت خشکه‌کار قنات: قسمت خشکه‌کار قنات عملاً نقش کانال انتقال را داشته و با توجه به اینکه بسته به موقعیت مظهر قنات اراضی و کشاورزی مشروب از قنات این طول تغییر می‌کند، عملاً نقشی در میزان آبدهی قنات ندارد.

شیب کوره قنات: این پارامتر در دو بخش تره‌کار و خشکه‌کار متفاوت است. اولاً در بخش خشکه‌کار قنات توسط مقنی به‌گونه‌ای انتخاب می شود که جریان با سرعت مناسب به مظهر قنات انتقال یابد. در این بخش شیب کوره قنات صرفاً عامل انتقال است و تأثیری بر آبدهی قنات ندارد. در قسمت تره‌کار قنات نیز فاکتور شیب کوره قنات متأثر از شیب سطح ایستابی به نحوی انتخاب می شود که علاوه بر فراهم بودن شرایط حفاری مناسب عمق جریان در داخل کوره قنات حداکثر تا یک‌سوم ارتفاع تونل حفاری باشد.

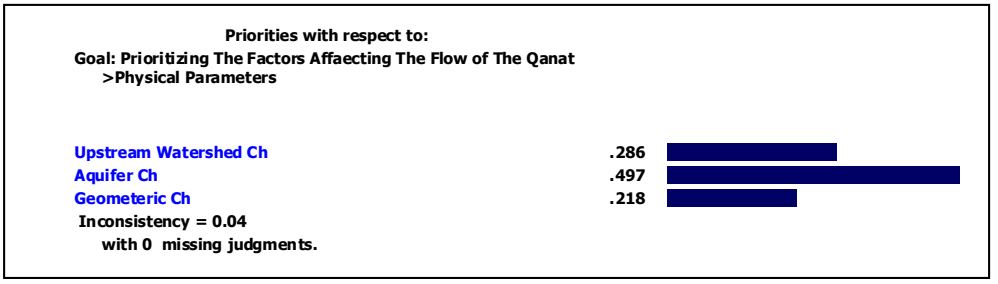
- **اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیر شاخص‌های فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات با استفاده از روش AHP**

در این پژوهش پس از شناسایی و مطالعه پارامترهای فیزیکی تأثیرگذار بر آبدهی قنات به‌منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف بر آبدهی قنات و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسات زوجی در روش AHP استفاده شد. به‌طوری‌که تصمیم‌گیرنده (کارشناس) ارجحیت یک عامل را نسبت به عامل دیگر در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل نموده است. سپس به‌منظور انجام روش تحلیل سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی و برای محاسبه شاخص ناسازگاری نتایج حاصل ازنظر کارشناسان به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد. و وزن هریک از پارامترها و زیر پارامترها بر آبدهی قنات تعیین گردید.

نتایج و بحث

اولویت‌بندی عوامل فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات:

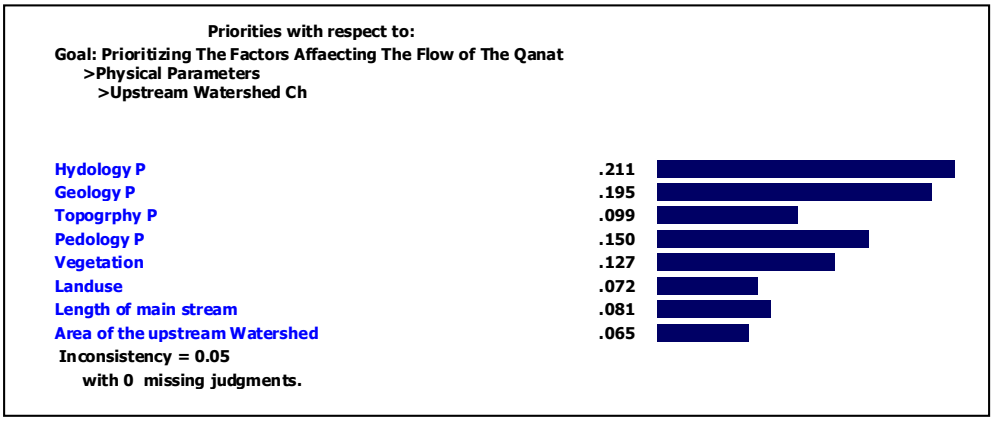
نتایج حاصل از وزن دهی این پارامترها در شکل۲ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج اولویت‌بندی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات پارامترهای مربوط به خصوصیات آبخوان با وزن ۰/۴۹۷ دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.



شکل۲: اولویت‌بندی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات

اولویت‌بندی زیرشاخص‌های پارامتر حوزه آبخیز بالادست در آبدهی قنات

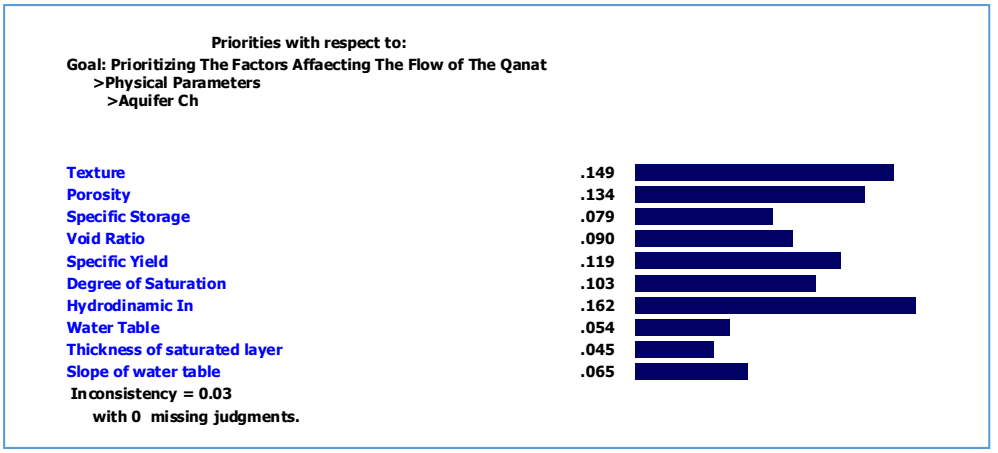
در رابطه با پارامترهای مؤثر در حوضه آبخیز در بالادست، موضوعاتی نظیر مساحت حوضه و طول آبراهه‌های حو ضه، شیب حو ضه، پو شش گیاهی و کاربری ارا ضی نقش مؤثری بر آبدهی قنات دارند. نتایج حاصل از وزن دهی به زیرشاخص‌های مربوط به پارامتر حوزه آبخیز بالادست قنات در شکل۳ ارائه شده ا ست. بر ا ساس نتایج اولویت‌بندی زیر شاخص‌های حوزه آبخیز بالاد ست مؤثر بر آبدهی قنات زیر شاخص‌های هیدرولوژی، زمین شنا سی و خاک شنا سی با وزن‌های ۰/۲۱۱، ۰/۱۹۵ و ۰/۱۵۰ دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.



شکل ۳: اولویت‌بندی زیرشاخص‌های حوزه آبخیز بالادست مؤثر بر آبدهی قنات

اولویت‌بندی زیرشاخص‌های پارامتر آبخوان در آبدهی قنات

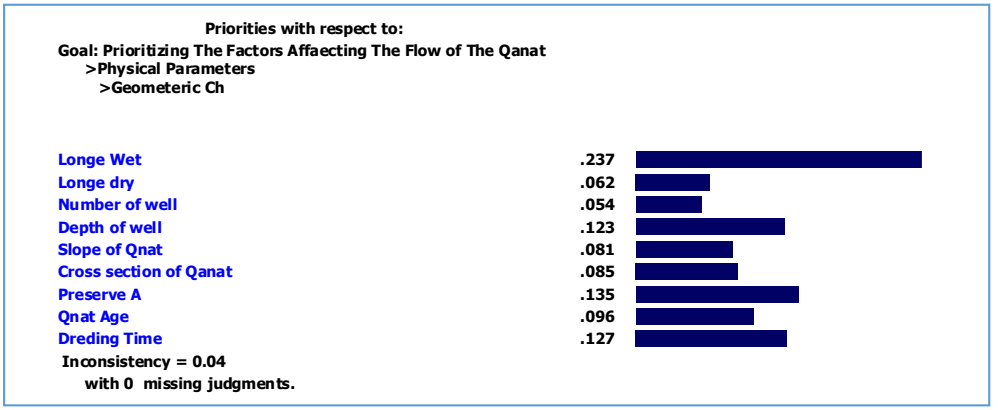
با توجه به حفر قنات در لایه‌های آبرفتی که آبخوان را تشکیل می‌دهند، وضعیت خصوصیات آبخوان ازنظر ویژگی‌های آبرفت، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و نیز وضعیت سفره، عمق سطح ایستابی، ضخامت لایه اشباع، عمق سنگ‌بستر، شیب سطح ایستابی، تخلخل و پوکی آبرفت لایه اشباع، ساختمان خاک و بافت خاک و قطر متوسط ذرات نقش مهمی در آبدهی قنات خواهند داشت. نتایج حاصل از وزن دهی به زیرشاخص‌های مربوط به پارامتر آبخوان در شکل۴ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج اولویت‌بندی زیر شاخص‌های آبخوان مؤثر بر آبدهی قنات زیر شاخص‌های هیدرودینامیک، بافت خاک و تخلخل با وزن‌های ۰/۱۶۲، ۰/۱۴۹ و ۰/۱۳۴ دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.



شکل ۴: اولویت‌بندی زیرشاخص‌های آبخوان مؤثر بر آبدهی قنات

اولویت‌بندی زیرشاخص‌های پارامتر مشخصات هندسی قنات

یکی دیگر از پارامترهای که در آبدهی قنات مؤثر هستند مجموعه خصوصیات هندسی قنات شامل، طول کوره در بخش‌های خشکِ کار و تره‌کار، شیب طولی کوره قنات، ابعاد هند سی مقطع کوره، تعداد میله‌ها در بخش تره‌کار و وضعیت مادر چاه قنات که از پارامترهای هندسی مؤثر بر آبدهی قنات خواهند بود. نتایج حاصل از وزن دهی به زیرشاخص‌های مربوط به پارامتر مشخصات هندسی قنات در شکل ۵ ارائه شده ا ست. بر ا ساس نتایج اولویت‌بندی زیر شاخص‌های م شخ صات هند سی قنات مؤثر بر آبدهی قنات زیرشـــاخص‌های طول تره کار و اقدامات حفاظتی با وزن‌های ۰/۲۳۷ و ۰/۱۳۵ دارای بیشـــترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.



شکل ۵: اولویت‌بندی زیرشاخص‌های مشخصات هندسی قنات بر آبدهی قنات

نتیجه‌گیری

در خصوص پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات سه پارامتر اصلی فیزیکی شامل خصوصیات حوزه آبخیز بالادست، خصوصیات آبخوان و خصوصیات هندسی قنات بر آبدهی قنات مؤثر است. بر اساس نتایج اولویت‌بندی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر آبدهی قنات پارامترهای مربوط به خصوصیات آبخوان با وزن دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند. مهم‌ترین پارامترهای آبخوان که موردبررسی قرار گرفت شامل: بافت خاک، تخلخل، نگهداشت ویژه، نسبت پوکی، آبدهی ویژه، درجه اشباع، شاخص‌های هیدرودینامیک، سطح ایستابی، ضخامت لایه اشباع و شیب سطح ایستابی می‌باشند. بر اساس نتایج اولویت‌بندی زیر شاخص‌های آبخوان مؤثر بر آبدهی قنات زیر شاخص‌های شاخص‌های هیدرودینامیک، بافت خاک و تخلخل دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند.

در رابطه با پارامترهای مؤثر حوزه آبخیز در بالادست در آبدهی قنات پارامترهای هیدرولوژیکی، زمین شناسی، توپوگرافی، خاکشناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، طول آبراهه اصلی و مساحت حوزه بالادست موردبررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج اولویت‌بندی زیرشاخص‌های حوزه آبخیز بالادست مؤثر بر آبدهی قنات زیر شاخص‌های هیدرولوژی، زمین شناسی و خاکشناسی دارای بیشترین اهمیت در آبدهی قنات می‌باشند. عوامل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز بالادست نظیر عوامل اقلیمی، آبراهه‌ها و تراکم آبراهه‌ها و... نقش بسیار مهمی بر آبدهی قنات دارند. نقش عوامل اقلیمی از جمله میزان بارش، نوع بارش و خشک‌سالی ها و غیره قطعاً در میزان آب زیرزمینی نقش بسزایی دارد. خشک سالی و کمبود بارش باعث افت منابع آب زیرزمینی و میزان ذخیره آبخوان شده که به طبع آن آبدهی قنوات کاهش می‌یابد. نقش سازندهای زمین شناسی هم از نظر کمیت و هم ازنظر کیفیت دارای اهمیت هست. نوع و جنس سازندهای زمین‌شناسی، ضخامت سازندهای زمین‌شناسی، درزه و گسل‌ها و نوع رسوبات درشت‌دانه یا ریزدانه در میزان نفوذ و نگه داشت آبخوان تأثیر بسزایی دارد که به طبع خود بر آبدهی قنات مؤثر هست.

منابع

- بوزرجمهری، خ و خاتمی، س. (۱۳۹۷). بازشناسی قنات، راهگشای توسعه پایدار در "تمدن کاریزی"، مطالعه موردی: قنات زارچ، استان یزد. آب و توسعه پایدار. ۵(۱). ۱۳۵-۱۲۳.
- پاپلی یزدی، م و وثوقی، ف. (۱۳۹۸). تحلیل فرهنگی‌دانش‌بومی درزنجیره ابزار قنات. دوفصلنامه دانش‌های بومی ایران۶(۱۲)،۴۰-۹.
- شیخی، د و پازکی، م. (۱۴۰۰). بررسی کارکردهای اجتماعی قنات در نواحی روستایی با تاکید بر شاخصهای سرمایه اجتماعی (موردمطالعه: شهرستان همدان)، نشریه پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی، ۲(۳)، ۵۹-۷۳.

- صالحی، ح. (۱۳۹۶). ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های دشت مشهد-چناران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.
- صفایی، ف؛ شجاعی، م و فاطمه، ی.(۱۴۰۰). باستان شناسی سازه‌های آبی با محوریت قنات‌های خراسان، نشریه باستان شناسی ایران، ۱۱(۱)، ۶۹-۸۰.
- طباطبایی، م و حسین، خ. (۱۳۹۸). بررسی اثر دانش بومی قنات بر ابعاد توسعه پایدار، مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۷(۱)، ۳۱-۴۴.
- میرانی م، حجت؛ کرمی، غ؛ باقری، ر. (۱۳۹۸). ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت گناباد، مجله هیدروژیولوژی، ۴(۲)، ۳۴-۴۷.
- ویسی، ه. (۱۴۰۰). بحران آب در فلات مرکزی و ضرورتهای توجه به سرمایه دانش بومی قنات در ایران، فصلنامه جغرافیا، ۱۸(۶۷)، ۱۰۴-۱۱۶.

ارزیابی روند تغییرات سطح ایستابی و آبدهی قنات‌های آبخوان مشهد – چناران

حمزه نور*۱، محمد رستمی خلج۲، علی دسترنج۲، ربابه شمشیری نصر آباد۳

۱* استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد ایران (*h.noor@areeo.ac.ir*)

۲- استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۳- کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

چکیده

منابع آب زیرزمینی سهم بالایی در تامین نیاز آبی بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت در دشت مشهد-چناران را دارند. در این زمینه قنات‌ها به دلیل اینکه از نیروی ثقل برای تخلیه آب استفاده می‌کنند دارای تغییراتی همسو با نوسانات آب زیرزمینی می‌باشند. به عبارتی آبدهی هر قنات (درصورت عدم تغییر مشخصات و خرابی مسیر) وابسته به وضعیت سطح ایستابی آبخوان در محدوده تره کار می‌باشد. دراین راستا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند تغییرات سطح ایستابی و هم‌چنین آبدهی قنات‌های آبخوان مشهد-چناران طی دوره ۱۳۶۵ الی ۱۳۹۵ طرح ریزی شده است. نتایج تحقیق نشان داد که قنات‌های موجود در منطقه مسئول ۱۳ درصد از تخلیه منابع آب زیرزمینی هستند. بررسی نتایج آزمون من-کندال بر داده‌های آبدهی قنات‌ها نشان دهنده آن است که آبدهی اغلب قنات‌های منطقه دارای روند کاهشی هستند. در این بین در قنات‌های سیدان آباد، نصوح آباد، موچنان، خرم آباد و حصار سرخ روندکاهشی معنی‌دار نمی‌باشد. با این حال در سایر قنات‌ها روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد در سری زمانی آبدهی آنها مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین کاهش آبدهی در قنات‌های ماریان، معین آباد و انداد مشاهده شده است. در ادامه بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومترهای منطقه مورد مطالعه نشان داد که با توجه به مقدار منفی Z آزمون من-کندال (به‌جز پیزومتر قوقان) تمام پیزومترها دارای روند کاهشی (بدون توجه به سطح معنی‌داری) هستند. در پیزومترهای ابا صلت، هاشم آباد و اخلمد در سطح ۵ در صد روند کاهشی و معنی‌دار سطح ایستابی مشاهده شده است. در سایر پیزومترها روند کاهشی و معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) سطح ایستابی مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی:

آزمون روند، آبدهی قنات، دشت مشهد - چناران

مقدمه

توجه به آب‌های زیرزمینی در ایران که در کمربند خشک و نیمه خشک کره زمین واقع شده است از دیر باز بسیار مد نظر بوده است. با این حال در طول نیم قرن گذشته و با توسعه صنعتی در زمینه حفر چاه و پمپاژ آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری از این منبع گسترش یافته است (ولایتی، ۱۳۸۵؛ ببران، ۱۳۸۷؛ تنی، ۱۴۰۰؛ Vali-Khodjeini، ۱۹۹۵). ازسوی دیگر در طول سالیان متمادی با افزایش جمعیت و نیاز بیش‌تر به آب به‌تدریج به‌تعداد چاه‌های بهره‌برداری کننده از آبخوان‌های کشور افزوده شده است، به‌طوری‌که این امر باعث تسریع روند کاهش ذخایر آب زیرزمینی شده است (قاسمی، ۱۳۹۲؛ رهنما، ۱۳۹۲؛ نور، ۱۳۹۶؛ ارشادحسینی و همکاران، ۱۴۰۰).

قنات از پیچیده‌ترین ابداعات تاریخ بشری است که برای رفع حیاتی‌ترین نیازهای جوامع بشری یعنی تأمین آب در مناطق کم آب و یا بی‌آب به وجود آمده است. یکی از ویژگی‌های باارزش قنات، جاری ساختن آب زیرزمین به‌صورت ثقلی به سطح زمین بدون به‌کارگیری هیچ‌گونه نیروی محرکه و مصرف انرژی و با رعایت سایر ملاحظات زیست‌محیطی است که با توجه به عدم هزینه‌های جانبی، از نظر اقتصادی نیز بسیار حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد قنات همچنان نقش مؤثری در ساماندهی اقتصادی، بهره‌برداری بهینه از اراضی و توسعه پایدار در مناطق روستایی را با توجه به پراکندگی گسترده زمین‌های کشاورزی دارد. با توجه به قدمت و هم‌چنین اهمیت قنات، تحقیقات متعددی در زمینه مدل‌سازی، مائل اقتصادی- اجتماعی، عوامل موثر بر آبدهی و ... گزارش شده است. در این زمینه نادری و عباسی(۱۳۹۶) وضعیت آبدهی قنات‌ها و تغییرات کمی و کیفی آب آن‌ها، راندمان کاربرد و کار آیی مصرف آب در اراضی پایین‌دست قنات‌ها در استان سمنان ارزیابی کردند. ذوالفقاران و همکاران (۱۳۹۸) باهدف بررسی علل کاهش آبدهی قنوات و ارائه راهکارهای فنی و مدیریتی، ۱۵ رشته قنات در استان خراسان رضوی برای مطالعه انتخاب شدند. نتایج ایشان نشان داد که متوسط آبدهی قنوات ۲۱ درصد کاهش داشته است. هم‌چنین حبیب زاده و همکاران(۱۳۹۸) به بررسی استفاده از تورکینست در تغذیه مادر چاه قنات ها در حوزه آبخیز مشنق در شمال دریاچه ارومیه پرداختند. ایشان نتیجه‌گیری نمودند که در صورت رعایت اصول فنی در احداث این سازه باهدف تغذیه مصنوعی در داخل مسیل‌ها و آبرفت‌های درشت‌دانه با کمینه تخلخل ۳۵٪، بیش از ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب در هر آبگیری به سطح ایستابی‌آب زیرزمینی در مادر چاه قنات تغذیه خواهد شد. میرانی مقدم و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه‌ای هیدروژیولوژی قنات‌های دشت گناباد بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که شیب هیدروگراف قنات‌های قصبه و بهاباد در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نسبت به دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ به ترتیب ۵ و ۲ برابر شده است. عدم لایروبی، احداث سد و حفر چاه‌های عمیق در حوضه آبگیر قنات‌ها باعث کاهش آبدهی آن‌ها شده است. در نهایت میرانی مقدم و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی برآورد میزان تغذیه سالانه قنات های دشت گناباد به وسیله روش

های ایزوتوپی پرداختند. خط شیب ایزوتوپی منطقه نشان می‌دهد تغذیه قنات‌ها از محدوده‌ای در ارتفاعات بین ۲۰۰۰ تا ۲۷۰۰ متر حوضه منشأ می‌گیرد .

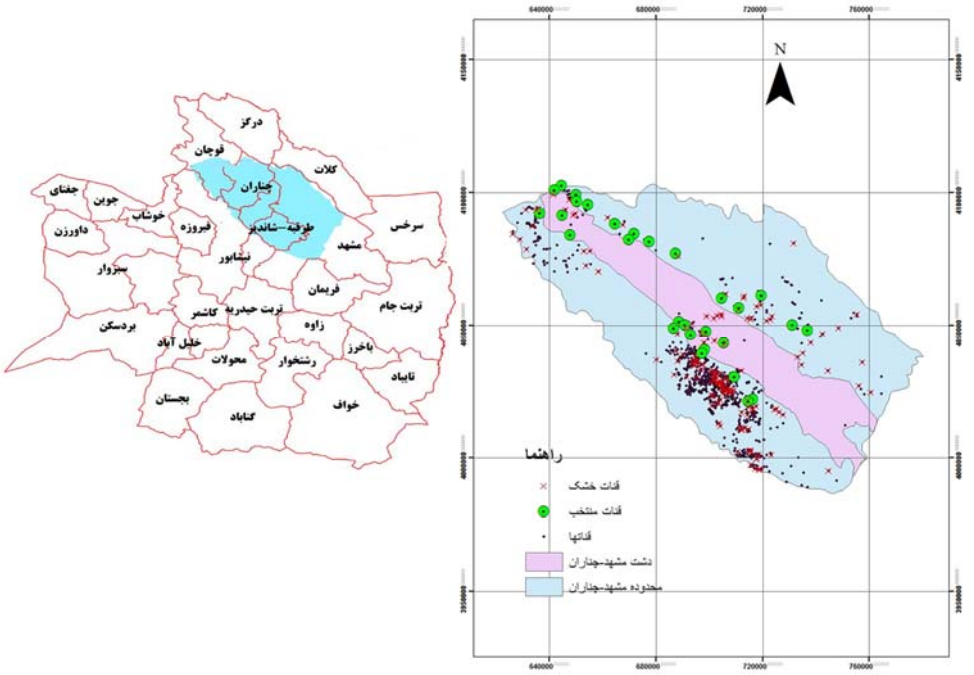
بر اساس آمار ارائه شده توسط وزارت نیرو حوزه آبخیز قره‌قوم با افت متوسط سالانه بیش از یک متر دارای بیش‌ترین روند افت سطح آب زیرزمینی در کشور می‌باشد. در این حوضه، دشت مشهد -چناران از مناطق مهم جمعیتی و کشاورزی استان خراسان رضوی می‌باشد که عمده منبع تامین آب در آن، منابع زیرزمینی می باشند. بر اساس آمار موجود از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۹۵ میزان متوسط افت سطح ایستابی و حجم آبخوان در محدوده مطالعاتی مشهد - چناران به ترتیب ۰/۷۱ متر و ۱۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. در این محدوده مطالعاتی سهم چاه عمیق و نیمه عمیق به ترتیب ۷۶ و ۳ درصد می‌باشد . این در حالی است که تخلیه از چشمه و قنات در این محدوده مطالعاتی به ترتیب ۸ و ۱۳ درصد است. این دشت دارای بیش از ۱۰۰۰ رشته قنات می‌باشد که از نظر تعداد و حجم بهره برداری در سطح استان دارای رتبه اول است.

مطمنا با کاهش مداوم سطح آب‌های زیرزمینی، قنات‌ها اولین منابعی خواهند بود که دچار مشکل و خشکیدگی خواهند شد. بر اساس اطلاعات اولیه تهیه شده، ۱۴۷ رشته قنات در منطقه مورد مطالعه خشک شده است (دبی صفر). در این راستا عوامل متعددی در تغییرات آبدهی قنات‌های منطقه نقش داشته اند، که مهمترین آنها می‌تواند نوسانات سطح ایستابی در آبخوان باشد. در این راستا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند تغییرات سطح ایستابی و آبدهی قنات‌های آبخوان مشهد –چناران و هم‌چنین تغییرات آبدهی قنات‌های منتخب در ارتباط با تغییرات سطح ایستابی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخوان مشهد-چناران با وسعت۹۹۰۹۱۴/۶ هکتار در دره‌ای نسبتا عمیق در شمال استان خراسان رضوی می‌باشد و زیر حوزه‌ای از حوزه آبخیز بزرگ قره‌قوم است. دشت مشهد شامل بخشی از شهرستان مشهد، طرقبه-شاندیز، چناران و بخشی از جنوب قوچان است. دشت مشهد از شمال به خطالراس ارتفاعات هزارمسجد، و از جنوب به خطالراس ارتفاعات بینالود، از شرق به حوزه آبخیز جام‌رود و دشت نریمانی، از غرب به حوزه آبخیز رودخانه اترک محدود می‌شود. میزان ۶۵ درصد از آن در مناطق کوهستانی و ۳۵ درصد آن در مناطق دشتی قرار دارد. طول کشیدگی حوزه حدود ۱۵ کیلومتر بوده که از ۹ کیلومتری جاده قوچان-مشهد شروع و به کال تنگل شور واقع در شرق حوزه ختم میگردد. کمترین ارتفاع ۸۹۰ مترو بیشترین ارتفاع دشت مشهد ۱۸۰۰ متر از سطح دریا می باشد. رودخانه معروف این دشت، کشف‌رود است که از شمال شهر مشهد می‌گذرد. دشت مشهد دربرگیرنده کلان شهر مشهد و شهرستانهای چناران و قوچان بوده و در حقیقت قطب اصلی صنعتی و کشاورزی استان و محل تمرکز جمعیتی است.



شکل ۱ -آبخوان آبرفتی مشهد-چناران و قنات‌های موجود در آن

آبخوان آبرفتی دشت مشهد، آبخوانی آزاد می‌باشد که در بعضی قسمت‌های آن آبخوان از نوع نشتی و چند لایه است. نقشه‌های هم پتانسیل آبخوان دشت مشهد نشان می‌دهد که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی از شمال‌غرب به طرف جنوب شرق (در جهت شیب عمومی دشت) می‌باشد. جنس رسوبات نیز براساس محیط رسوبی از رسوبات متنوع محیط‌های رودخانه ای، مخروط افکنه ای و تبخیری تشکیل شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته در سال ۱۳۶۶ در دشت مشهد تعداد ۲۵۶ سونداژ الکتریکی در امتداد ۴۵ پروفیل برداشت گردیده است. سوندازها عمدتاً در راستای شمال شرقی جنوب غربی بوده و فاصله بین آنها به طور متوسط برابر ۲ کیلومتر می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته بیشترین ارتفاع سنگ کف به میزان ۱۴۵۰متر در بخش غربی دشت در محدوده شهر شاندیز می‌باشد شیب سنگ کف در این بخش زیاد بوده و در حدود ۴/۵درصد می‌باشد. کمترین ارتفاع سنگ کف به میزان ۷۲۵ متر در بخش شرقی دشت در محدوده روستاهای یاردشت و لاته قاضی می‌باشد. شیب عمومی سنگ کف مشابه توپوگرافی سطح زمین بوده و جهت آن به سمت خروجی دشت می‌باشد. ضخامت آبخوان در محدوده دشت مشهد متغیر بوده و دامنه تغییرات آن از ۲۰ متر در قسمت خروجی دشت تا بیش از ۲۵۰ متردر مرکز دشت در تغییر می‌باشد.

روش تحقیق

همان‌گونه که بیان شد دشت مشهد – چناران دارای بیش از ۱۰۰۰ قنات می‌باشد. با این حال تعداد ۳۰ قنات از طرف شرکت آب منطقه‌ای انتخاب شده و هرساله کار آماربرداری در آنها صورت می‌پذیرد. در این تحقیق از آمار ۳۰ قنات منتخب طی دوره ۹۵-۱۳۶۵ استفاده شده است. بنابراین در ابتدا با جمع‌آوری اطلاعات قنات‌های انتخاب شده روند تغییرات آبدهی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از این طریق معنی داری تغییرات کاهشی و یا احتمالا افزایشی آبدهی قنات‌ها مشخص شد. برای این منظور از آزمون ناپارامتریک تحلیل روند من-کندال استفاده شده است. با توجه به اینکه شرط اصلی استفاده از آزمون من-کندال عدم خودهمبسته بودن داده‌ها می‌باشد، بنابراین در ابتدا خودهمبستگی داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و در ادامه از روش من-کندال و یا من کندال اصلاحی توسط حامد و رائو (۱۹۹۸) استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی تغییرات سطح ایستابی، در ابتدا اطلاعات پیزومترهای دشت مشهد – چناران جمع آوری شد. در ادامه پیزومترهای نزدیک به قنات‌های منتخب مشخص شده و روند تغییرات سطح ایستابی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات سطح ایستابی خود دلالت بر عوامل موثر بر برداشت یا تغذیه در مناطق نزدیک قنات می‌باشد بنابراین کلیه عوامل تخلیه آب‌های زیرزمینی خود را در افت سطح ایستابی نشان می‌دهد. در ادامه ارزیابی تغییرات آبدهی قنات و سطح پیزومتری مورد توجه قرار گرفت. برای این منظور ارتباط داده‌ها افت سطح ایستابی و آبدهی قنات با و بدون تأخیر زمانی مد نظر قرار داده شد.

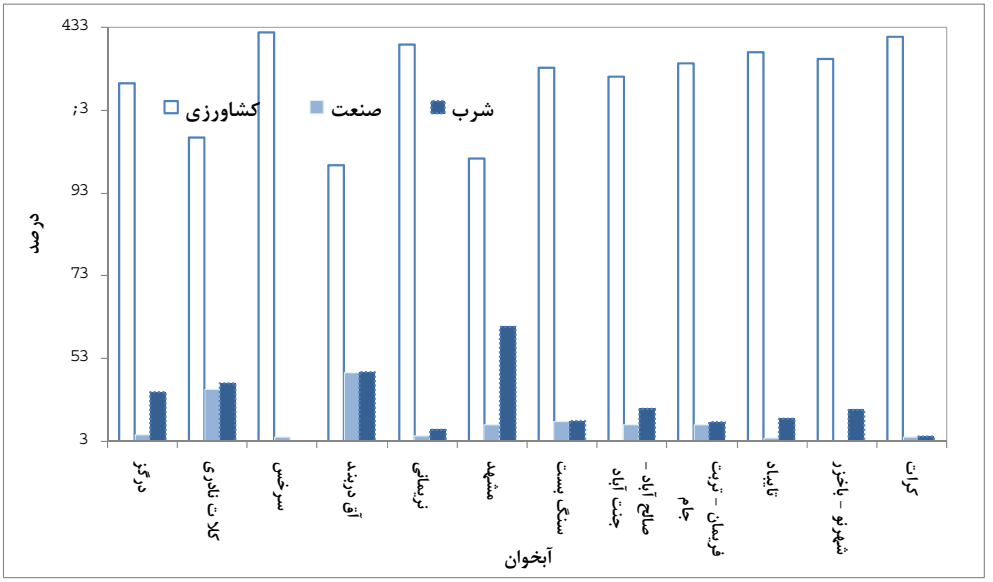
نتایج و بحث

جدول ۱ محدوده‌های مطالعاتی موجود در آبخیز قره‌قوم به‌همراه نوع و وضعیت بهره‌بردرای از آبخوان‌های این منطقه را نشان می‌دهد.

در مقیاس حوضه قره‌قوم کل آب‌های زیرزمینی برداشت شده حدود ۲۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد بیش از ۸۶ درصد در بخش کشاورزی و حدود ۸/۷ درصد در بخش شرب مصرف می‌گردد. با این حال با توجه به زائرپذیر بودن شهر مشهد، بخش قابل ملاحظه‌ای از آبهای زیرزمینی برای مصارف شرب و بهداشتی مصرف می‌شود. شکل ۲ سهم مصرف آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان‌های آبخیز قره‌قوم را نشان می‌دهد.

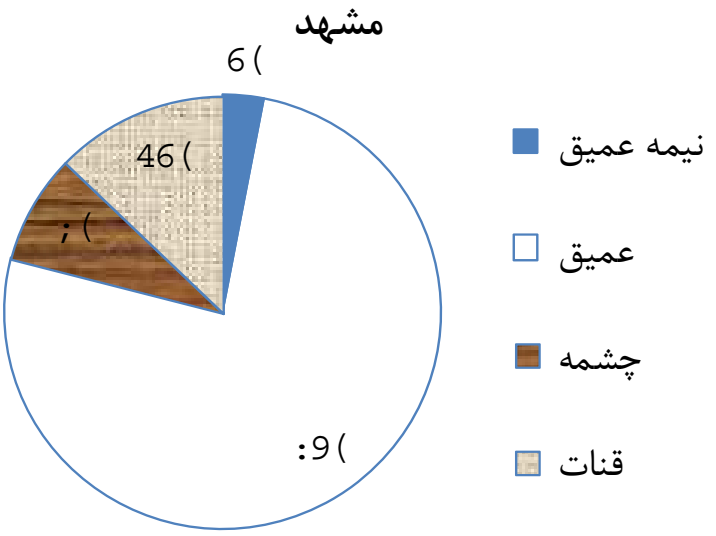
جدول ۱ آبخوان‌های موجود در آبخیز قره‌قوم و وضعیت بهره‌برداری آن‌ها

نام استان	کدمحدوده	نام محدوده	وضعیت آبخوان	وضعیت بهره‌برداری
خراسان رضوی	6001	درگز	تحت فشار-آزاد	ممنوعه
خراسان رضوی	6002	کلا ت نادری	آزاد	آزاد
خراسان رضوی	6004	سرخس	آزاد	ممنوعه
خراسان رضوی	6005	آق دربند	آزاد	آزاد
خراسان رضوی	6006	نریمانی	آزاد	ممنوعه بحرانی
خراسان رضوی	6007	مشهد	تحت فشار-آزاد	ممنوعه بحرانی
خراسان رضوی	6008	سنگ بست	آزاد	ممنوعه
خراسان رضوی	6009	صالح آباد - جنت آباد	آزاد	ممنوعه
خراسان رضوی	6010	فریمان - تربت جام	آزاد	ممنوعه بحرانی
خراسان رضوی	6011	تایباد	آزاد	ممنوعه بحرانی
خراسان رضوی	6012	شهرنو - باخزر	آزاد	ممنوعه بحرانی
خراسان رضوی	6013	کرات	آزاد	ممنوعه بحرانی



شکل ۲ درصد مصارف آب‌های زیرزمینی در آبخیز قره‌قوم در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب

بر اساس اطلاعات موجود در دشت مشهد-چناران از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۶ به طور متوسط سالانه ۰/۷۱ متر افت سطح وجود داشته است که موجب کاهش حجم آبخوان به میزان متوس ۱۰۵/۵ میلیون مترمکعب در سال شده است. به‌منظور درک بهتر وضعیت آبخوان مورد مطالعه در شکل ۳ میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی توسط چاه عمیق و نیمه عمیق، چشمه و قنات ارائه شده است.



شکل ۳ منابع تخلیه آب‌های زیرزمینی در دشت مشهد چناران

طبق اطلاعات مندرج در شکل ۳ چاههای عمیق نقش اصلی تخلیه آبهای زیرزمینی دشت مشهد-چناران را دارند. از سوی دیگر قنات‌ها نیز مسئول ۱۳ درصد از تخلیه منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند.

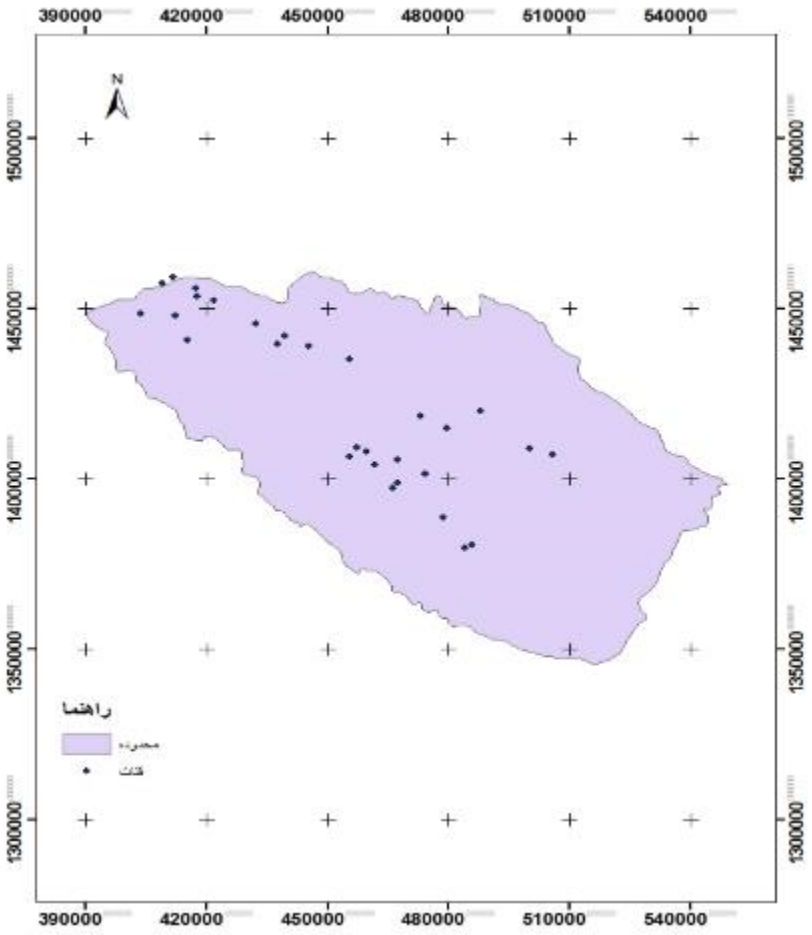
قنات‌های دشت مشهد-چناران

در محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۱۰۸۷ رشته قنات وجود دارد که مهمترین مشخصات قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ مشخصات قنات‌های منطقه مورد مطالعه

آماره	عمق مادرچاه (متر)	تعداد رشته	طول بلندترین رشته (متر)	سطح زیرکشت (هکتار)	دبی حداکثر (لیتر بر ثانیه)	pH	EC
حداکثر	115	4	15000	400	80	8.5	10600
حداقل	1.5	1	8	0	0.2	6.1	435
متوسط	17.4	1.4	833.2	16.4	9.4	6.8	549.1

طی دوره‌های آمار برداری سراسری از منابع آب (هر ۱۰ سال) شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی اطلاعات آبدهی این قنات‌ها را ثبت نموده است. این اطلاعات از نظر زمانی محدود می باشد و چندان برای این تحقیق مناسب نمی باشند. در این بین تعدادی از قنات‌های منطقه مورد مطالعه توسط شرکت آب منطقه‌ای به‌عنوان "منابع انتخابی" مشخص شده و در هر سال چند نوبت اندازه‌گیری دبی در آنها صورت می‌گیرد، در شکل ۴ موقعیت این قنات‌ها نشان داده شده است.



شکل ۴ موقعیت قنات‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه

ارزیابی روند در سری زمانی سالانه آبدهی قنات‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌های قنات‌های منتخب، داده‌ها بر اساس مقیاس سالانه تنظیم شدند. سپس سری زمانی سالانه آبدهی قنوات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جدول ۳ نتایج بررسی آزمون روند من – کندال بر سری زمانی سالانه آبدهی قنوات منتخب دشت مشهد-چناران را نشان می‌دهد. در این زمینه

آماره z بزرگ‌تر از ۱/۶۵، ۱/۹۶ و ۲/۶۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده روند معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول۳ مقدار Z و سطح معنی‌داری آزمون من-کندال برای داده‌های آبدهی قنوات منتخب

نام قنات	مقدار Z	سطح معنی‌داری
چهارطاقی	-0.49	
حصارسرخ	-3.86	***
خرم آباد	-4.57	***
دهنو	-3.59	***
دیزآوند	-3.04	**
رضا آباد	-3.71	***
ریاض	-2.95	**
سلوگرد	-0.29	
سوهان	-2.76	**
سیدآباد	-1.03	
شلنگرد	0.57	
فتح آباد	-3.50	***
قره	-3.46	***
کورده	-2.52	*
ماریان	-3.85	***
معیین آباد	-2.73	**
موچنان	-4.09	***
نصوح آیاد	-2.17	*
احمد آباد	-3.86	***
اسلام آباد	-4.57	***
الماجق	-3.59	***
انداد	-3.04	**
چمگرد	-1.29	
نصوح آیاد	-0.49	
نوچاه	-3.86	***
یزدان آباد	-4.57	***
یساقی	-3.59	***

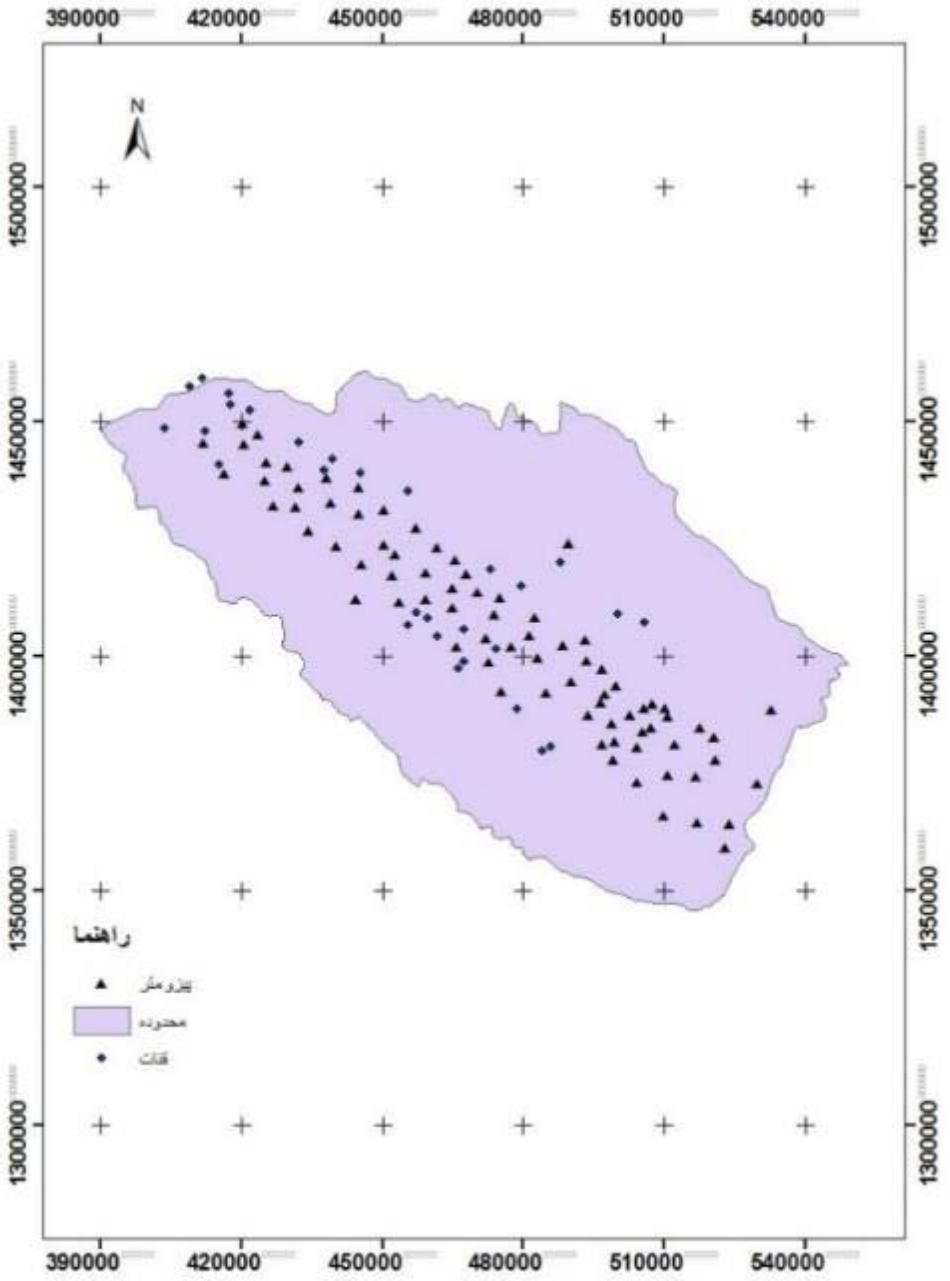
بررسی نتایج آزمون من-کندال بر داده‌های آبدهی قنات‌ها نشان دهنده آن است که آبدهی اغلب قنات‌های منطقه دارای روند کاهشی هستند. در این بین در قنات‌های سیدان آباد، نصوح آباد، موچنان، خرم آباد و حصار سرخ روندکاهشی معنی‌دار نمی‌باشد. با این حال در سایر قنات‌ها روند کاهشی معنی‌دار در سری زمانی آبدهی آنها مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین کاهش آبدهی در قنات‌های ماریان، معین آباد و انداد مشاهده شده است.

آزمون روند در سری زمانی سالانه سطح ایستابی آبخوان

برای انجام تحقیق حاضر اطلاعات پیزومترهای مندرج در جدول ۴ تهیه شده است. موقعیت مکانی این پیزومترها در شکل ۵ ارائه شده است.

جدول ۴ اطلاعات پیزومترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر

نام پیزومتر	عمق برخورد به آب (متر)	متوسط تغییرات عمق آب (متر)
اخلمد	61.35	-0.11
جمع آب	80.45	-1.35
چمگرد	69.44	-1.07
حسن آبادویرانی	142.2	-1.21
خواجه اباصلت	108.37	-0.40
دستگردان ۲	57.56	-0.45
دوغائی	55.17	-0.11
ریاض	59.2	-0.72
ساروجه	24.25	-0.44
سنگ سفید	114.25	-0.25
قره چاه	39.32	-0.18
قزل حصار	26.3	-1.17
کلاته حاج علی	41.4	-0.42
گراب	34.15	-
مومن آباد	83.56	-0.88
هاشم آباد	97.85	-0.12
یکه لنگه	86.5	-1.19
قاسم آباد	83.56	-0.29
اندرخ	86.5	-1.15



شکل ۵ موقعیت پیزومترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر

پس از تهیه داده‌های پیزومترهای منطقه اقدام به بررسی روند داده‌های عمق سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه و در مقیاس سالانه شد (جدول ۵)

جدول ۵ نتایج آزمون من کندال بر روی داده‌های سطح ایستابی در پیزومترهای مختلف

نام پیزومتر	من کندالZمقدار	سطح معنی‌داری
کلاته	-4.5	***
مومن آباد	-6.4	***
چمگرد	-6.4	***
قزلصار	-6.6	***
که لنگه	-6.4	***
اخلمد	-2.5	*
ساروجه	-2.7	***
جمع آب	-5.8	***
هاشم آباد	-2.3	*
قاسم آباد	-1.9	+
حسن آباد	-5.4	***
اباصلت	-2.2	*
دستگردان	-5.2	***
قورقان	3.5	***
تقی اباد	-6.4	***
قرقروک	-6.4	***
ابروان	-6.4	***

بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومترهای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به مقدار منفی Z آزمون من-کندال (به‌جز پیزومتر قوقان) تمام پیزومترها دارای روند کاهشی (بدون توجه به سطح معنی‌داری) هستند. در پیزومتر قاسم آباد روند منفی معنی‌دار نمی باشد. در پیزومترهای اباصلت، هاشم آباد و اخلمد در سطح ۵ درصد روند کاهشی و معنی‌دار سطح ایستابی مشاهده شده است. در سایر پیزومترها روند کاهشی و معنی‌دار (در سطح ۰/۰۰۱) سطح ایستابی مشاهده شده است.

در نهایت نتیجه بررسی ارتباط بین آبدهی قنات‌های منطقه مورد مطالعه و تغییرات سطح ایستابی نشان می‌دهد که این ارتباط در قنات‌های اسلام آباد (r2= ۰/۳۱۲)، کورده (r2= ۰/۱۴۴)، یساقی (r2= ۰/۱۳۱) و معین آباد (r2= ۰/۱۵) بالاترین مقدار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات آب‌دهی قنات‌های منتخب دشت مشهد-چناران طرح‌ریزی شده است. بررسی نتایج آزمون من-کندال بر داده‌های آبدهی قنات‌ها نشان دهنده آن است که آبدهی اغلب قنات‌های منطقه دارای روند کاهشی هستند. بیش‌ترین کاهش آبدهی در قنات‌های ماریان، معین آباد و انداد مشاهده شده است. هم‌چنین بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومترهای منطقه مورد مطالعه نشان داد که تمام پیزومترها دارای روند کاهشی (بدون توجه به سطح معنی‌داری) هستند.

منابع

- ببران، صدیقه.، هنربخش نازلی.، ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در جهان و ایران. فصلنامه راهبرد. شماره ۴۸. صص ۱۹۳-۲۱۲.
- حبیب زاده، احد؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ مجیدی، علیرضا. (۱۳۹۸). استفاده از تورکینست در تغذیه مادر چاه قنات‌ها (مطالعه موردی حوزه آبخیز مشنق در شمال دریاچه ارومیه)، مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۷(۴)، ۳۱-۴۰.
- رهنما حسین .، میراثی سهراب، ۱۳۹۲. مدیریت بحران افت سطح آب های زیرزمینی و مخاطره فرونشست سطح زمین در دشت های ایران. پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحرانهای طبیعی، تهران. ۶۲۹-۶۵۱.
- قاسمی آسیه، ۱۳۹۲، نگاهی گذرا به سیر تاریخی تخریب منابع آب کشور، علل، پیامدها و راهکارها. وزارت امور اقتصاد و دارایی – معاونت امور اقتصادی، موجود در لینک:- http://www.mefa.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=2aa2fd58-2e0f-4979-96e2-203a0cd6a3a3
- میرانی مقدم، حجت؛ کرمی، غلامحسین؛ باقری، رحیم. (۱۳۹۸). ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت گناباد، مجله هیدروژیولوژی، ۴(۲)، ۳۴-۴۷.
- میرانی مقدم، حجت؛ کرمی، غلامحسین؛ باقری، رحیم. (۱۳۹۸). ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت گناباد، مجله هیدروژیولوژی، ۴(۲)، ۳۴-۴۷.

- نادری، نادر و عباسی، فریبرز. (۱۳۹۶). بررسی وضعیت قنوات و آبیاری در اراضی کشاورزی مربوط به آن‌ها در استان سمنان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۳)، ۴۱۳-۴۲۴.
- نظام تنی، کمال امیدوار، راضیه عزیزی، .(1401)بررسی روند تغییرات منابع آب زیرزمینی و ارتباط آن با خشک سالی هواشناسی) (SPI) مطالعه موردی: در بافق(، مجله آبخوان و قنات، 3(2)، 4. magiran.com/p2481643
- نور حمزه. ارزیابی روند مصرف منابع آب زیرزمینی و وضعیت کنونی آن در ایران .سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۱۳۹۶; ۵ (۲) :۳۸-۲۹.
- Ershad, M., Keshtkar, A., Hosseini, S., & Afzali, A. (2021). Analysis of temporal trend of groundwater quality using nonparametric Mann-Kendall and Sen's methods (Case study: Yazd-Ardakan Plain). *Geography and Environmental Planning*, *32*(4), 87-106. doi: 10.22108/gep.2021.127620.1404
- Vali-Khodjeini, A. (1995). Human impacts on groundwater resources in Iran. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, 230, 141-146.

❖ فرسایش و رسوب در رخدادهای کرانه‌ای و جریان‌های واریزه‌ای

تحلیل کیفی داده‌های مرتبط با آب‌سنجی و رسوب‌سنجی در حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی ایران

محمود عرب‌خدری[*1]، یحیی پرویزی[2]، محمد شرافتی[3]، حمزه نور[4]، سیدمسعود سلیمان‌پور[5]، هادی نظری‌پویا[6]، فریدون سلیمانی[7]، لطف‌الله پارسایی[8]، محمدعلی هادیان‌امری[9]، جلال برخورداری[10]، عطا امینی[11]، منصور جهان‌تیغ[12]، جمشید یاراحمدی‌خراجو[13]

۱* و ۲-اعضا هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۳-معاون دفتر آبخیزداری و حفاظت خاک، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور
۴ تا ۱۳- به ترتیب اعضا هیئت علمی مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های خراسان رضوی، فارس، همدان، خوزستان، گلستان، مازندران، یزد، کردستان، سیستان و آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده

شبکه ۱۲ گانه حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی کشور مشتمل بر زیست البرز، گنبد همدان، کاخک خراسان رضوی، تنگ‌شول فارس، دهگین هرمزگان، کسیلیان مازندران، گوربند سیستان و بلوچستان، شوش خوزستان، طاحونه یزد، کچیک گلستان، هریس آذربایجان شرقی و خامسان کردستان مراکز پایش آبخیزداری هستند که بوسیله سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور مدیریت می شوند. این مطالعه با هدف دستیابی به یک ارزیابی کشوری از وضعیت تجهیزات، میزان انطباق با شرایط اولیه و تحلیل کیفیت داده‌های استحصال شده از آن‌ها تا سال ۱۴۰۰ اجرا شد. بر اساس مطالعات پیشین و مشاهدات میدانی، فهرستی از ادوات پایش و وضعیت آن‌ها تهیه و ارزیابی عملیات آبخیزداری انجام شد. به‌علاوه، با تحلیل داده‌ها، ارزیابی از نظر خلاء در پایش و کیفیت متغیرهای مرتبط با چرخه هیدرولوژی مشتمل بر بارش، تبخیر، نفوذپذیری، رواناب، پیزومتری و رسوب‌سنجی بدست آمد. در ارزیابی کلی، به‌رغم توزیع مناسب جغرافیایی در گستره کشور و زحمات ارزنده در مدیریت و پایش آن‌ها، به‌دلیل عدم تشابه خصوصیات حوضه‌های زوجی، اجرا نشدن برنامه‌های مدیریتی مورد نظر، هدف اولیه مقایسه دو حوضه زوجی در اکثر موارد قابل تامین نیست. کیفیت داده‌های بارش و تبخیر به غیر از دو حوضه گوربند و طاحونه وضعیت متوسط به بالا دارد. در حالی‌که، جریان در شش حوضه زیدشت، گنبد، کاخک، دهگین، کچیک و خامسان، نفوذپذیری در حوضه کچیک و تراز آب زیرزمینی در حوضه دهگین، وضعیت متوسط به بالا دارند. بقیه حوضه‌ها یا فاقد زیرساخت اندازه‌گیری هستند و یا داده‌های موجود آن‌ها (از جمله رسوب معلق و کف) محدود است و با کیفیت ضعیف ارزیابی می‌شوند. ضعف مهم اقدامات آبخیزداری انجام شده در حوضه‌های نمونه، تمرکز کلیه اقدامات در عرصه‌های منابع طبیعی و استفاده از قرق کامل و همچنین شیوه‌های سازه‌ای در این اراضی است. در انتها توصیه‌هایی مشتمل بر

تقویت نیروی انسانی، تسهیلات رفاهی و زیربنایی، تامین ردیف اعتباری مستقل، ضرورت پالایش داده‌ها، بهبود روش‌های پایش، تعامل بیشتر با ساکنین آبخیز و جذب مشارکت دستگاه‌های پژوهشی و آموزشی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی:
پایش، چالش، حوزه آبخیز زوجی، داده‌کاوی، کیفیت داده‌ها

مقدمه

بیش از نیمی از مساحت کشور را کوهستان‌ها و تپه‌ها تشکیل می‌دهند. آبخیزهای شیب‌دار از نظر تولید آب سالم اهمیت دارند. بخشی از این اراضی به‌دلیل دستیازی انسان نظیر چرای بی‌رویه، شخم سالانه اراضی دیم و جاده سازی به‌ویژه در اراضی پر شیب و سازندهای حساس در معرض فرسایش تشدیدی قرار می‌گیرند که گزارش‌هایی نظیر هفت برابر بودن تلفات خاک کرت‌های فرسایشی در دیمزارها نسبت به مراتع (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۵) و تشدید وقوع حرکت‌های توده‌ای در اثر جاده‌سازی در مناطق کوهستانی حساس (امامی و همکاران، ۱۳۸۵) مؤید این موضوع هستند. عوامل مؤثر بر فرسایش، بر وقوع سیل نیز تأثیر می‌گذارند. براساس آمار معاونت آبخیزداری کشور میزان خسارات محسوس سیلاب در ۶ دهه گذشته افزایش چشمگیری پیدا کرده است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۹۵). با توجه به این مسائل، ضروریست داده‌های دقیقی در مقیاس مکانی و زمانی مناسب به‌منظور پایش وضعیت فرسایش خاک، تولید رسوب، رواناب و سیل در کشور تهیه شود. در این راستا، تأسیس ایستگاه‌های تحقیقاتی و حوضه‌های آزمایشی که در واقع نوعی آزمایشگاه صحرایی هستند، به‌عنوان یک ضرورت در سطح جهان و ایران شناخته شده است.

با تجهیز این آبخیزها با توجه به وسعت آن، می‌توان انواع فرسایش خاک و فرآیندهای حمل و ترسیب رسوب (Toy و همکاران، ۲۰۰۲) و مقادیر کمّی رواناب و وقوع سیل و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژی در شرایط بارش طبیعی (Bagarello و همکاران، ۲۰۱۳) را بررسی کرد. اهداف دیگر تجهیز این حوزه‌های آبخیز کوچک، انجام ارزیابی مقایسه‌ای تیمارهای مختلف حفاظت آب و خاک (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های آبخیز معرف و نمایشی، ۱۳۷۹)، توسعه یا واسنجی مدل‌های هیدرولوژیک (Noor و همکاران، ۲۰۱۸؛ Pacific South-West Inter Agency Committee، ۱۹۶۸) و شناسایی و تعیین سهم عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب (Wischmeier و همکاران، ۱۹۶۲) بوده است.

در کشور ما حوزه‌های آبخیز "معرف" و "معرف و زوجی" مهم‌ترین حوضه‌های آزمایشی هستند که طبق برنامه مدونی در مناطق مختلف کشور به‌ترتیب توسط وزارت نیرو (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۹۷) و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوضه‌های معرف و

نمایشی، ۱۳۷۹) احداث شده‌اند. البته، موارد دیگری نظیر پایگاه تحقیقات حفاظت سنگانه مشتمل بر ۶ آبخیز آزمایشی(عرب‌خدری و نور، ۱۴۰۰) و حوزه آبخیز آزمایشی کجور (نور و صادقی، ۱۳۹۰) نیز توسط مؤسسات پژوهشی و آموزشی در سطح کشور تأسیس شده‌اند.

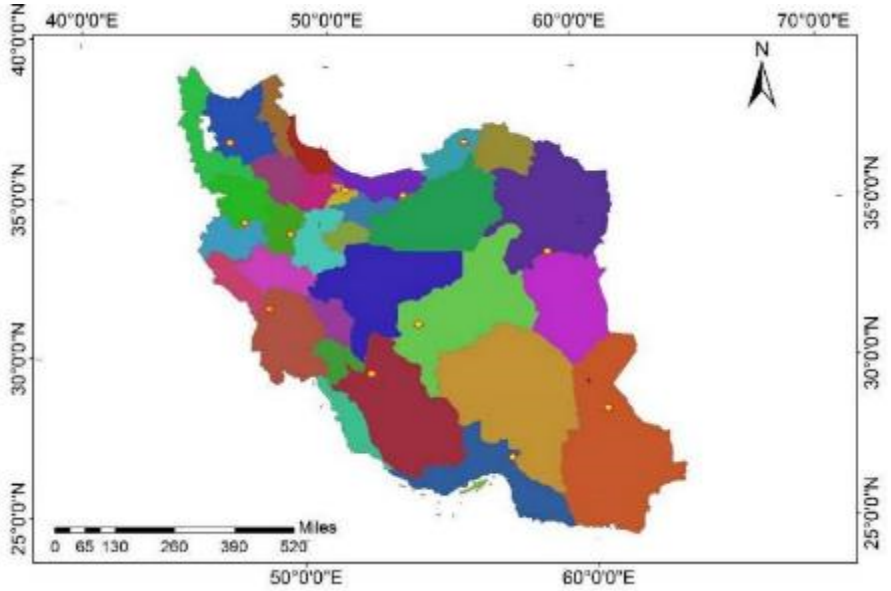
در میان آبخیزهای آزمایشی موجود در کشور، شبکه حوضه‌های معرف و زوجی اهمیت ویژه‌ای دارند. هر حوضه معرف دربردارنده دو زیرحوضه زوجی نمونه و شاهد است که با تجهیز آن‌ها، پایش و ثبت آمار داده مکانی هواشناسی، فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی، خاک و آب‌های زیرزمینی انجام می‌گیرد. با اجرای اقدامات آبخیزداری در حوضه نمونه امکان پژوهش‌های مقایسه‌ای با حوضه شاهد تحت شرایط مدیریتی مرسوم در محل، فراهم شده است.

در پژوهشی ملی (عرب‌خدری و همکاران، ۱۴۰۲) به بررسی وضعیت برنامه‌های پیش‌بینی شده از جمله میزان کارایی ادوات و سامانه‌های پایش رواناب و رسوب پس از دو دهه فعالیت پرداختند و کیفیت و کمیت داده‌های جریان، رسوب، نفوذپذیری و پیزومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. در پژوهش مذکور، همچنین تلاش شد میزان تحقق اهداف تاسیس حوضه‌های معرف و زوجی از دیدگاه‌های فوق مشخص و در صورت وجود ایراد، راه‌های برطرف کردن ایرادها و مشکلات ارائه شود. این مقاله بخشی از نتایج این تحقیق را ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

مشخصات حوضه‌های معرف و زوجی

مطالب این قسمت عمدتاً بر اساس گزارش اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی (۱۳۷۹) تهیه شده است. برای انتخاب و مکانیابی حوضه‌های معرف و زوجی کشور، مناطق همگن کشور تعیین شد. به این منظور، با استفاده از تلفیق سه لایه اقلیم، خاک و پوشش کشور و با در نظر گرفتن سایر عوامل و مسائل فنی و اقتصادی و اجتماعی، ۱۱ منطقه همگن یا محدوده معرف درسطح کشور تعریف شد. ابتدا در نظر بود ۳۲ حوضه معرف و زوجی در سطح کشور تاسیس شوند. در عمل با توجه به محدودیت‌های منابع مالی و نیروی انسانی متخصص در استان‌ها در مرحله اول، ۱۱ حوضه راه‌اندازی شدند. متعاقباً با فاصله زمانی زیاد، حوضه طاحونه نیز به عنوان معرف مناطق کوهستانی خشک و سرد اضافه گردید. شکل ۱ موقعیت آبخیزهای معرف و زوجی و **Error! Reference source not found.** برخی مشخصات آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱-نقشه موقعیت آبخیزهای معرف و زوجی در سطح استان‌های کشور

جدول ۱- محل و مساحت حوضه‌های معرف و زوجی کشور (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹)

ردیف	نام حوضه	تقسیمات کشوری		تقسیمات حوضه‌ای		مساحت (هکتار)		
		استان	شهرستان	حوضه رتبه ۱	حوضه اصلی	نمونه	شاهد	معرف
1	زیدشت	البرز	طالقان	دریای خزر	سفید رود	104	92	2750
2	گنبد	همدان	همدان	کویر مرکزی	قره چای	143	145	447
3	کاخک	خراسان رضوی	گناباد	کویر مرکزی	کاخک	107	111	3720
4	تنگ‌شول	فارس	مرودشت	داخلی	دریاچه تشک	50	59	-
5	دهگین	هرمزگان	رودان	خلیج فارس	میناب	123	178	350
6	کسیلیان	مازندران	پل سفید	دریای خزر	تالار	125	136	6792
7	گوربند	سیستان و بلوچستان	زاهدان	گود زره	لار	78	57	2235
8	شوش	خوزستان	شوش	خلیج فارس	کرخه	97	103	598
9	طاحونه	یزد	اشکذر	کویر مرکزی	دشت یزد اردکان	154	135	-
10	کچیک	گلستان	کلاله	دریای خزر	گرگانرود	198	197	3600
11	هریس	آذربایجان شرقی	مراغه	دریاچه ارومیه	صوفی چای	185	144	635
12	خامسان	کردستان	کامیاران	خلیج فارس	آب سیروان	96	90	4206

تجهیزات اندازه‌گیری مرتبط با جریان، رسوب، نفوذپذیری و پیزومتری

با ساخت سه دهنه فلوم بیشتر از نوع سانتاریتا در خروجی حوضه‌های معرف، نمونه و شاهد و همچنین نصب اشل و دستگاه تالیمدیس، سنجش تراز آب جاری و پایش دبی انجام می‌گیرد. برای هر فلوم، اتاقکی روی چاهک و محل شناور نصب شده است و ادوات سنجش تراز سطح آب داخل آن قرار داده شده‌اند. همچنین، اشلی نیز برای اندازه‌گیری ارتفاع رسوب در حوضچه آرامش نصب شده است. برای اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در خروجی هر یک از حوضه‌ها یک حلقه چاه پیزومتری حفر و ابزار سنجش تراز آب روی آن قرار دارد. برای هر حوضه معرف و زوجی، ادوات دیگر مشتمل بر میکرومولینه، نمونه‌بردار بارمعلق، نمونه‌بردار بارکف، نمونه‌بردار مواد بستر، استوانه مضاعف به همراه چکش و صفحه و لوله مدرج تامین شده‌اند. در کلیه حوضه‌های معرف و زوجی، ایستگاه هواشناسی نیز تاسیس شده است که در آن متغیرهای مختلف از جمله باران، برف و تبخیر که در چرخه هیدرولوژی مستقیما نقش دارند، اندازه‌گیری می‌شوند.

روش کار

ابتدا، سوابق گزارش‌های مطالعات حوضه‌های ۱۲ گانه معرف و زوجی از منابع کتابخانه‌ای از جمله اطلاعات و نقشه‌های اجرایی و پژوهش‌های پیشین در سطح این حوضه‌ها جمع‌آوری شد. در ادامه، خصوصیات فیزیکی و هندسی حوضه‌ها استخراج، نوع و وضعیت سلامت ادوات ثبت داده‌های هواشناسی مرتبط با چرخه هیدرولوژی، آب‌سنجی، رسوب معلق و کف، نفوذپذیری و پیزومتری و نیز کمیت و کیفیت آمار برداشت شده بررسی و تشریح گردیدند. خلاصه کلیه اطلاعات و مشخصات مذکور در صفحه‌های گسترده جداگانه به تفکیک ۱۲ منطقه در محیط نرم‌افزار EXCEL گردآوری شد.

داده های لحظه‌ای متغیر های بارندگی، برف، تبخیر، دبی، رسوب معلق و کف و نفوذ پذیری و پیزومتری حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی از دفتر آبخیزداری و حفاظت خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و ادارات کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌های ذیربط در قالب فایل‌های اکسل تهیه شد. داده‌های بارش و تبخیر با پایه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و داده‌های جریان با پایه زمانی پنج دقیقه‌ای بودند. در ادامه، آنالیز کیفی داده‌ها و آمار مربوط به متغیرهای مذکور انجام گرفت. کیفیت داده‌های استحصالی از نظر پوشش زمانی (جدول ۲) و دقت و صحت داده‌ها از جمله مقادیر وقایع حداکثری در بازه زمانی رویدادهای حدی بارش و جریان در جداولی تنظیم و مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله بعد با بازدید از حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی، ضمن احصاء ادوات و فنون اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر، وضعیت ابزارهای مورد استفاده از نظر کارآمدی و تطبیق با شرایط طراحی اولیه بررسی شد. بعلاوه، با اخذ نظر کارشناسان حوضه‌های معرف و زوجی و بازدید محلی، چالش‌های موجود در ثبت صحیح داده‌ها و مدیریت اجرایی ایستگاه‌ها شناسایی و تعیین شد.

جدول ۲-طبقه‌بندی کیفیت داده‌های مورد بررسی

کیفیت	توصیف داده‌ها
عالی	داده‌برداری در تمام مراحل منطبق با طراحی اولیه بوده و داده‌ها از زمان شروع داده‌برداری به‌طور کامل ثبت شده است.
خوب	حداقل ۷۵ درصد داده‌ها از زمان آغاز پایش به‌طور منظم برداشت شده و خلأ آماری کمتر از ۲۵ درصد زمان داده‌برداری را در برمی‌گیرد.
متوسط	نیمی از اهداف طراحی اولیه ایستگاه محقق شده و داده‌ها حدوداً نیمی از زمان داده‌برداری را پوشش می‌دهند.
ضعیف	حدود ۷۵ درصد از بازه زمانی ازآغاز داده‌برداری داده ثبت نشده است و داده‌های موجود کفایت لازم را برای تحلیل ندارد.
بسیار ضعیف	داده‌های بسیار محدودی وجود دارد و به هیچ‌وجه قابلیت تحلیل ندارد.

در مرحله انتهایی، مهم‌ترین چالش‌ها و مشکلات اجرایی هر حوضه معرف و زوجی شناسایی و راهکارهایی برای حل آن‌ها پیشنهاد شد. همچنین، کارائی و کیفیت شیوه‌های به کار رفته برای پایش، تعیین و انطباق آن‌ها با شیوه‌های به‌روز در سطح دنیا انجام و پیشنهادات اصلاحی ارائه شد. بعلاوه، حوضه‌ها از نظر وضعیت کیفیت ثبت داده‌ها و خلأ آماری طبقه‌بندی شد. همچنین چالش‌ها و مشکلات مشترک بین تعداد زیادی حوضه معرف و زوجی مشخص و پیشنهادهای اصلاحی در مقیاس ملی تبیین شد.

نتایج

اهم یافته‌های مرتبط با کیفیت داده‌ها

یکی از نکاتی که در اغلب موارد مشاهده شد، اختلاف منابع مختلف در مشخصات حوضه‌ها و حتی در مواردی نظیر اختلاف در ظرفیت و ابعاد فلوم‌ها است. توصیه می شود، در این خصوص، اقدام و جداول نهایی مورد تایید مشخصات فیزیوگرافی تهیه و منتشر شود.

مساحت حوضه‌های معرف انتخابی از ۴۴۷ هکتار در گنبد همدان تا ۶۷۹۲ هکتار در کسیلیان مازندران متغیر است. مساحت حوضه‌های نمونه انتخابی در داخل حوضه‌های معرف نیز از ۵۰ هکتار در تنگ‌شول فارس تا ۱۹۸ هکتار در کچیک استان گلستان متغیر است. در مقابل، مساحت حوضه‌های شاهد از حداقل ۵۷ هکتار در گوربند سیستان و بلوچستان تا حداکثر ۱۹۷ هکتار در کچیک گلستان تفاوت دارد. اختلاف مساحت حوضه‌های زوجی از کمتر از ۵ درصد در کاخک، کچیک و گنبد، ۵ تا ۱۰ درصد در حوضه‌های شوش، خامسان و کسیلیان، ۱۰ تا ۲۰ درصد در حوضه‌های زیدشت، طاحونه و تنگ‌شول، و بین ۲۸ تا ۳۷ درصد در حوضه‌های هریس، گوربند و دهگین متفاوت است. اختلاف زیاد بین مساحت

حو ضه‌ها و سایر م شخ صات به‌طور قطع مقای سه بین حو ضه‌های زوجی را دچار م شکل می‌کند. این درحالی است که نهایت تلاش برای انتخاب حوزه‌های آبخیز زوجی موجود صورت پذیرفته تا مشابه‌ترین حوضــه‌ها انتخاب شــوند. با توجه به اینکه یافتن دو حوزه آبخیز کاملاً مشــابه از تمام جهات در طبیعت عملاً غیر ممکن ا ست، می‌توان پیشنهاد داد که در آینده در هر حو ضه معرف فقط یک آبخیز آزمایشی انتخاب شود و مدتی در حد یک دهه با مدیریت معمول مورد پایش قرار گیرد و پس از آن، پایش همراه با اعمال مدیریت علمی ادامه یابد. به عبارت دیگر، به این ترتیب تاثیر اقدامات مدیریتی در هر آبخیز آزمایشی با دوره قبل از اعمال مدیریت همان حوضه قابل مقایسه خواهد بود.

نکته قابل تو صیه دیگر، تفکر در خ صوص تعیین م ساحت برای حو ضه‌های زوجی متنا سب با اقلیم و سایر شرایط حو ضه ا ست. در واقع باید حداقل م ساحت حو ضه طوری تعیین شود که چند بار رواناب قابل اندازه‌گیری در طول یک دهه رخ دهد. به‌این ترتیب داده کافی برای بررسی روابط بارش-رواناب که یکی از اهداف تاسیس حوضه‌های زوجی است، فراهم خواهد شد.

در جدول ۳ نقاط قوت و محدودیت‌های آبخیزهای معرف و زوجی کشــور از نظر کیفیت داده‌ها ارائه شده است. همانطور که قبلا بیان شد، حوضه طاحونه (ردیف آخر) در مرحله نصب ادوات پایش است و طبعاً نمی‌تواند از نظر کیفیت داده‌ها قابل ارزیابی باشــد. در نگاهی کلی، بدون تردید وضــعیت کیفیت داده‌های باران و تبخیر، مناســب‌تر از ســایر داده‌های پایش اســت. حتی در حوضــه‌هایی نظیر گوربند و هریس که به‌دلیل تنگناهای اجتماعی و شــرایط مدیریتی خاص خود از فقر مفرط داده رنج‌می‌برند، تاکنون در طی دوره پایش به صورت منقطع داده‌برداری باران و تبخیر انجام شده ا ست. به این ترتیب می‌توان گفت کیفیت داده‌های هوا شنا سی مذکور در حو ضه دهگین، خامسان، کچیک، گنبد، زید شت، کاخک، کسیلیان و شوش مناسب است.

جدول ۳- نقاط قوت و محدودیت‌های آبخیزهای معرف و زوجی کشور از نظر کیفیت داده‌ها

ردیف	حوضه معرف و زوجی	نقاط قوت	محدودیت
۱	زیدشت	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، متوسط تا خوب؛ داده دبی، متوسط تا ضعیف (به استثناء پنج سال اخیر در حوضه نمونه و دو سال در حوضه شاهد)	فاقد داده رسوب‌سنجی معلق؛ کیفیت داده رسوب‌سنجی کف، بسیار ضعیف؛ فاقد پیزومتر
۲	گنبد	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب تا متوسط؛ کیفیت داده دبی، خوب	کیفیت داده رسوب‌سنجی معلق و کف، ضعیف؛ کیفیت داده پیزومتری، ضعیف (۶ سال اخیر در حوضه نمونه و یکسال در حوضه شاهد)

ردیف	حوضه معرف و زوجی	نقاط قوت	محدودیت
۳	کاخک	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب تا متوسط؛ کیفیت داده دبی، متوسط تا ضعیف در سال‌های اخیر، مطلوب در سال‌های ابتدائی	ضعف داده رسوب، فاقد داده رسوب وجریان در ۴ سال اخیر، ضعف اندازه‌گیری نفوذپذیری، فاقد پیزومتر
۴	تنگ‌شول	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، متوسط	کیفیت داده دبی، ضعیف؛ کیفیت داده‌های رسوب سنجی معلق و کف، ضعیف؛ داده پیزومتری یکساله در حوضه نمونه؛ کیفیت داده‌های نفوذپذیری ضعیف
۵	دهگین	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب؛ کیفیت داده دبی، متوسط؛ کیفیت داده پیزومتری، متوسط	کیفیت داده رسوب معلق، بسیار ضعیف؛ فاقد داده رسوب سنجی کف؛ کیفیت داده‌های نفوذپذیری، ضعیف
۶	کسیلیان	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب تا عالی	کیفیت داده دبی، ضعیف؛ فاقد داده رسوب سنجی؛ فاقد چاه پیزومتر؛ کیفیت داده‌های نفوذپذیری، بسیار ضعیف
۷	گوربند	--	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، ضعیف؛ کیفیت داده پیزومتری، بسیار ضعیف؛ فاقد داده آب‌سنجی، رسوب؛ فاقد داده نفوذپذیری
۸	شوش	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، متوسط	داده‌های دبی منحصر به چند رویداد در ابتدای تاسیس ایستگاه و فاقد جریان در چند سال اخیر و مشکل دستگاه اندازه‌گیری در حال حاضر؛ فاقد داده رسوب‌سنجی؛ کیفیت داده‌های نفوذپذیری، ضعیف؛ فاقد چاه پیزومتر
۹	طاحونه	-	فاقد اندازه‌گیری
۱۰	کچیک	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب تا متوسط؛ کیفیت داده دبی، متوسط؛ کیفیت داده نفوذپذیری، متوسط (احتمال وجود خطا در اندازه‌گیری)	داده رسوب سنجی معلق، محدود؛ فاقد داده رسوب‌سنجی کف؛ فاقد چاه پیزومتر
۱۱	هریس	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، متوسط تا ضعیف	فاقد داده آب‌سنجی، رسوب، نفوذپذیری و پیزومتری
۱۲	خامسان	کیفیت داده‌های بارش و تبخیر، خوب؛ کیفیت داده دبی، خوب	داده رسوب، پراکنده و ضعیف؛ کیفیت داده‌های نفوذپذیری، ضعیف؛ پیزومتری یکسال اخیر

کیفیت داده‌های دبی پس از داده‌های بارش و تبخیر در درجه دوم قرار دارد. در مجموع، به‌رغم مساعی خوب در تجهیز ایستگاه‌های آب‌سنجی و برداشت داده جریان در آبخیزهای زوجی، در دو ایستگاه گوربند و هریس، خلأ کامل داده مشاهده شد. در سایر آبخیزها نیز خلأ داده بسیار زیاد است. موارد موفق در این زمینه حوضه‌های گنبد، خامسان، کچیک و دهگین هستند که از نظر کیفیت دبی خوب و متوسط ارزیابی شدند. بخشی از ایراد در اندازه‌گیری جریان در آبخیزهای هریس، کچیک، و کاخک به ورود رسوب به چاهک سطح‌سنج جریان در فلوم و متوقف ماندن شناور مربوط است. یکی از ضعف‌های داده در آبخیزهای معرف و زوجی کشور، کمبود یا نبود داده جریان در خروجی حوضه معرف است. حتی در برخی از آن‌ها، حوضه معرف تعریف نشده یا در خروجی حوضه، فلوم احداث نشده و یا در صورت وجود فلوم، ادوات پایش نصب شده است و طبعا در حال حاضر داده‌ای ثبت نمی‌کند. موارد استثناء، آبخیزهای خامسان و کچیک هستند که زیر ساخت لازم برای پایش جریان را دارند. در آبخیز کسیلیان، آبخیز معرف مستقل تعریف نشده است و از ظرفیت ایستگاه آب سنجی ولیک‌بن متعلق به وزارت نیرو استفاده می‌شود.

به‌طور کلی، کیفیت داده‌های لحظه‌ای رسوبدهی معلق و کف حتی در حوضه‌های دارای اندازه‌گیری و پایش، ضعیف ارزیابی شد و برای محاسبه رسوبدهی متوسط، غیر قابل استفاده است. داده‌های پیزومتری نیز در اغلب حوضه‌ها موجود نیست و یا خلأ آماری آن بسیار زیاد است. داده‌های نفوذپذیری موجود نیز بسیار محدود و ضعیف ارزیابی می‌شود و به‌دلیل هدفمند نبودن از نظر اندازه‌گیری در مکان‌های معین و برنامه زمان‌بندی مشخص و همچنین ایراد در روش اندازه‌گیری قابل استناد به‌نظر نمی‌رسد.

در تکمیل جمع‌بندی فوق باید گفت که خلأ داده‌های استحصالی از حوضه‌های معرف و زوجی در طول بازه نمونه‌برداری به‌حدی است که از نظر منطقی امکان محاسبه برخی از میانگین‌ها نظیر میانگین بارش یا تبخیر وجود ندارد و مقادیر میانگین محاسبه شده فاقد اعتبار کافی است.

چالش‌ها و راه حل‌ها

در این بخش، خلاصه‌ای از مهمترین چالش‌ها و راه‌های حل مشکلات و موانع پیش‌رو ارائه می‌شود.

الف) شرایط نیروی انسانی، زیرساخت‌ها و تامین تجهیزات:

تامین ردیف اعتباری مستقل برای بهبود مدیریت و نگهداری حوضه: بسیاری از مشکلات مرتبط با تامین نیروی انسانی، بهبود وضعیت زیرساخت‌ها و پشتیبانی تامین تجهیزات مورد نیاز پایش حوضه‌های معرف و زوجی ناشی از فقدان ردیف مستقل اعتباری برای این حوضه‌ها است. بنابراین بی‌راه نیست اگر گفته شود که مهم‌ترین چالش مدیریت و نگهداری این حوضه‌ها، کمبود یا حتی تخصیص نیافتن اعتبارات در برخی از سال‌ها است. همانطور که پایش متغیرهای هواشناسی و آب شناسی از سال‌های

دور به‌ترتیب توسط سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو انجام می‌گیرد، وزارت جهاد کشاورزی نیز به‌عنوان مسئول خاک و پوشش گیاهی کشور ذاتاً برای پایش آن‌ها وظیفه‌مند است (عرب‌خدری، ۱۳۹۷). لذا، لازم است وزارت جهاد کشاورزی برای اخذ ردیف مستقل پایش خاک و پوشش گیاهی از سازمان برنامه و بودجه کشور اقدام نماید.

تقویت نیروی انسانی مجرب دائمی مستقر در محل: کمبود نیروی متخصص و دائمی از جمله آماربردار مقیم در محل ایستگاه با توجه به ماهیت پایش بعضی متغیرها نظیر سیل و رسوب بسیار مشهود است. توضیح آن‌که تغییر شرکت‌ها و کارشناس‌های متصدی پایش در طول زمان منجر به ثبت نشدن منظم آمار برداشت شده و کیفیت پایین داده‌ها شده است.

تامین تسهیلات رفاهی و زیربنایی و اینترنت با کیفیت و تجهیزات انتقال برخط داده‌ها: با توجه به فاصله زیاد حوضه‌های معرف و زوجی از مراکز شهری، تامین امکانات زیربنایی نظیر جاده ارتباطی ترجیحاً آسفالته، آب و برق مطمئن به‌همراه اینترنت، پیش‌نیاز استقرار کارکنان مورد نیاز در حوضه‌های معرف و زوجی است. نصب تجهیزات انتقال برخط داده‌ها GPRS به مراکز تصمیم‌گیری نیز برای بهبود انجام امر نظارت ضرورت دارد. البته در مسیر برخط‌سازی دستگاه‌ها و ادوات اندازه‌گیری، به‌دلیل کوهستانی بودن و سختی انتقال سیگنال، دشواری‌هایی وجود دارد که باید با مشاوره متخصصین مربوطه تصمیم لازم اتخاذ شود.

پشتیبانی برای تامین به موقع تجهیزات: یکی از مشکلات مهم ایستگاه‌ها، اختلال در پایش ناشی از خرابی ادوات و تجهیزات است. لذا، توصیه می‌شود انباری از ادوات و تجهیزات پایش پشتیبان در هر ایستگاه یا در ستاد سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری در نظر گرفته شود تا به محض خرابی یا ایجاد مشکل، جایگزین شود.

احداث راه‌های دسترسی داخل حوضه معرف و زوجی وتامین وسائل نقلیه: فاصله زیاد گاه تا ۱۰ کیلومتر (رفت و برگشت) بین ساختمان اداری حوضه با فلوم‌ها از یک سو و فقدان مسیرهای مناسب از سوی دیگر، خصوصاً در روزهای بارانی و برفی حضور به‌موقع ماموران برای نظارت بر تجهیزات پایش، برداشت نمونه و انتقال نمونه‌های رواناب و رسوب به آزمایشگاه را دچار چالش کرده است. به این مشکل باید، خطر مارگزیدگی و حمله حیوانات وحشی را اضافه کرد. برای بهبود کیفیت نمونه‌برداری و سرکشی و ثبت داده، همچنین اجتناب از تردد بازدیدکنندگان از مسیرهای غیر رسمی و جلوگیری از هر گونه تخریب احتمالی و همچنین تضمین سلامت کارکنان و بازدیدکنندگان، باید تمهیداتی مشتمل بر طراحی و احداث مسیرهای دسترسی مناسب تردد پیاده مشتمل بر تعبیه پله در مناطق پرشیب مشابه مسیرهای کوهنوردی در نظر گرفته شود.

ب) ارتقاء و بهبود سطح بهره‌برداری از حوضه‌های معرف و زوجی: تکمیل برنامه‌های پایش حوضه‌ها، اجرا، خرید و نصب تجهیزات و ادوات باقیمانده، تعمیر و نگهداری و ارتقاء سازه‌ها و ادوات پایش برای بهبود سطح بهره‌برداری حوضه‌های معرف و زوجی ضرورت دارد.

ج) ارتقاء کیفیت داده‌های ثبت شده و بهبود روش‌های پایش: به طور کلی چهار مشکل اصلی پایش عبارتند از انجام نشدن پایش، خلأ زیاد آماری، خام بودن و عدم پالایش اولیه داده‌های پایش و نامناسب بودن روش پایش و کم‌اعتبار بودن اندازه‌گیری های موجود که در گزارش نهایی پروژه پژوهشی (عرب‌خدری و همکاران، ۱۴۰۲) تمهیدات مناسب برای مقابله با هر یک از مشکلات ارائه شده است. به عنوان مثال به رغم وجود نمونه‌بردار رسوب معلق، به دلیل کوتاه بودن زمان جریان سیل در حوضه‌های کوچک که مسئول حمل عمده رسوب معلق هستند، عملاً داده رسوب معلق در اوج جریان ثبت نشده است و لازم است با استفاده از فناوری مناسب نظیر نمونه‌برداری تلمبه‌ای در زمان‌های مناسب نمونه‌های کافی برداشته شود.

د) بهبود مدیریت حوضه: بر خلاف دیدگاه طراحان ایستگاه‌های معرف و زوجی، در برخی از موارد مدیریت مرسوم در حوضه شاهد و مدیریت علمی در حوضه نمونه انجام نمی شود. مثلاً لازم است در حالتی که کاربری آبخیز نمونه مرتع است، به صورت برنامه‌ریزی شده تحت چرای دام قرار گیرد و از قرق کامل اجتناب شود. گاهی این مشکلات به مسائل اجتماعی مربوط است. مثلاً حصارکشی و قرق هر دو حوضه شاهد و نمونه در حوضه معرف و زوجی شوش به خاطر جلوگیری از تعرضات محلی که به ترتیب در تضاد با اعمال مدیریت عرفی و مدیریت علمی آن‌ها است. وجود بیش از اندازه علوفه خشک، آن را مستعد وقوع آتش‌سوزی (سهوی یا عمدی) کرده است. بدیهی است برای کاهش مشکلات و افزایش مشارکت روستائیان و با توجه به برنامه بلندمدت حوزه آبخیز زوجی و هزینه زیاد مادی و معنوی، بایستی تعامل کافی با ساکنین حوضه انجام گیرد و اهداف پروژه به خوبی برای اهالی تبیین و از مشارکت آن‌ها در مدیریت حوضه استفاده شود.

نتیجه‌گیری

حوضه‌های معرف و زوجی مهمترین واحدهای پایش آبخیزداری در کشور هستند که اندازه‌گیری متغیرهای جریان سطحی، رسوب معلق و کف، نفوذپذیری، آب زیرزمینی و متغیرهای هواشناسی را در برنامه خود قرار دارند. به رغم تلاش‌های بسیار زیاد به عمل آمده و توفیق‌های کسب شده، مشخص شد که به دلیل تعدادی از مشکلات به‌ویژه فقدان ردیف اعتباری، کمبود نیروی انسانی، مشکلات و محدودیت‌های زیرساختی و همچنین ایراد در برخی از شیوه‌های پایش کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده در حد مورد انتظار نیست. امید است با حل مشکلات موجود، هر چه زودتر شاهد بهبود کیفیت پایش در حوضه‌های معرف و زوجی باشیم.

تشکر و قدردانی

انجام این پژوهش بدون مساعدت و پشتیبانی تعداد زیادی از اعضا هیئت علمی، کارشناسان و کارکنان در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و ادارات کل تابعه در استان‌های کشور مقدور نبود. نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همه همکاران و به‌طور ویژه مدیر کل و کارکنان دفتر آبخیزداری و حفاظت خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری و تمام مسئولین پایش حوضه‌های معرف و زوجی تشکر و قدردانی کنند

منابع

- اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی. ۱۳۷۹. اصول و مبانی طرح استقرار و راه‌اندازی حوزه‌های معرف و نمایشی در سطح کشور. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی. ۳۲۶ ص.
- امامی، ن.، ج. غیومیان، ا.ح. چرخابی و ر. رئیسیان. ۱۳۸۵. بررسی علل زمین لغزش افسرآباد به منظور پیشنهاد گزینه‌های مناسب جهت تثبیت. گزارش‌نهایی طرح پژوهشی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۲ ص.
- سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور. ۱۳۹۵. برنامه اجرایی توسعه عملیات آبخیزداری و آبخوانداری و بیابان‌زدایی و کنترل کانون‌های بحرانی و فرسایش بادی.
- عرب‌خدری، م. شادفر، ص. و ر. سکوتی اسکویی. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۷. ضرورت طراحی برنامه جامع پایش فرسایش خاک کشور. سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری. ۸ صفحه.
- عرب‌خدری، م.، صدارتی، ک.، و اسمعلی، ا. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات رسوب معلق در ایران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. ۱۰۸صفحه.
- عرب‌خدری، م. نور، ح. و عباسی، ع ا. ۱۳۹۹. برخی نکات فنی در اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز کوچک. مدیریت اراضی. ۸ (۲)، ۲۲۵-۲۳۷.
- عرب‌خدری، م. و نور، ح. ۱۴۰۰. پژوهش‌های تجربی فرسایش و رسوب در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه، فرصت‌های پژوهشی، آموزشی و ترویجی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- عرب‌خدری، م. یاراحمدی‌خراجو، ج.، پرویزی، ی.، نور، ح.، سلیمانی، ف.، جهان‌تیغ، م. و همکاران. ۱۴۰۲. تحلیل کمی و کیفی داده‌های هیدرومتری و رسوب حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی در کشور. گزارش نهایی پروژه پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

- نور، ح. و صادقی، س.ح.ر. ۱۳۹۰. مدل‌سازی رسوب نگار واحد لحظه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران. ۷ (۴): ۶۲ - ۷۰
- Bagarello, V., Castellini, M., Di Prima, S., Giordano, G., Iovino, M., 2013. Testing a simplified approach to determine field saturated soil hydraulic conductivity. Procedia Environmental Sciences 19, 599–608. doi:10.1016/j.proenv.2013.06.068
- Noor, H. and Rostami Khalaj, M. 2018. Improving MUSLE performance for sediment yield prediction at micro-watershed level using seasonal classified data. Water Practice and Technology, 13(3), 505-512.
- Toy, T. J., G. R. Foster and K. G. Renard. 2002. Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control, John Wiley & Sons.
- Pacific South-West Inter Agency Committee. 1968. Report on factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest area. Water Management Sub-committee, Sedimentation Task Force.
- Wischmeier, W. H. 1962. Storms and soil conservation. Journal of Soil and Water Conservation, 17

بررسی آماری وضعیت فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران

داود نیک‌کامی[۱]، محمد طهمورث*[۲]

۱- استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲*- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، پست الکترونیک (*m.tahmoures@areeo.ac.ir*)

چکیده

فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن یکی از معضلات کشور بوده و آگاهی از مقادیر فرسایش و تغییرات مکانی آن راه‌گشای مدیران و برنامه‌ریزان در امر مهم حفاظت آب و خاک در حوزه‌های آبخیز است. با این وجود و به رغم سابقه نسبتاً طولانی مطالعات فرسایش و رسوب در سطح کشور، اختلاف زیادی در میان برآوردهای موجود مشاهده می‌گردد. لذا در این مقاله سعی شده تا تصویر نسبتاً روشن‌تری از وضعیت فرسایش آبی در ایران، بر مبنای مطالعات مختلف انجام گرفته، ارائه گردد. بررسی‌ها نشان داد که متخصصین، میزان متوسط فرسایش ویژه کشور را از حدود ۵ تا ۳۰ تن در هکتار در سال اعلام کرده‌اند. در طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، با استفاده از مدل EPM، میانگین فرسایش ویژه کشور ۶/۹۴ تن در هکتار در سال و متوسط فرسایش کشور حدود ۹۷۵ میلیون تن در سال و مقدار رسوب کل کشور ۱۲۹ میلیون تن برآورد گردیده است در حالی که، مطالعات منحنی‌های سنجه در حوضه‌های دارای ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور، میانگین فرسایش ویژه کشور را ۱۶ تن در هکتار در سال، کل رسوب‌دهی کشور را حدود ۲۹۷ میلیون تن و متوسط فرسایش کشور را حدود ۲ میلیارد تن در سال برآورد نموده است. نتایج مطالعات فرسایش و رسوب با بهره‌گیری از روابط منطقه‌ای و معادلات رگرسیونی در حوزه‌های آبخیز کشور نیز بیان‌گر متوسط میزان فرسایش ویژه ۱۵/۶۱ تن در هکتار در سال می‌باشد. از آنجا که روش‌های تخمین فرسایش و رسوب و مقادیر بدست آمده بسیار متفاوت می‌باشند لذا، مطالعه دقیق برآورد میزان فرسایش و رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز کشور با استفاده از روش‌های مناسب، امری لازم و ضروری است.

واژه‌های کلیدی:

حفاظت خاک، میزان فرسایش و رسوب، مدل‌سازی، نقشه فرسایش خاک.

مقدمه

پدیده‌های فرسایش و رسوب دو پدیده اجتناب‌ناپذیر حوزه‌های آبخیز بوده که تابع عوامل پیچیده‌ای هستند. مشخص نمودن این عوامل و شناخت اثر آن‌ها بر فرسایش و رسوب، به برنامه‌ریزی‌های بهتر

برای کاهش خسارات ناشی از فرسایش و رسوب در یک حوضه کمک شایانی خواهد نمود (طهمورث و نیک‌کامی، ۱۴۰۰). شتاب فرسایش خاک به‌علت تغییرات زیست‌محیطی ناشی از دخالت‌های انسانی در مقیاس جهانی به‌دلیل افزایش فرآیندهای ژئومرفولوژیکی به افزایش جریان رسوب در بسیاری از نقاط جهان منجر شده است (Lazzari و همکاران، ۲۰۱۵). فرسایش خاک به عنوان یکی از چالش‌های مهم در مباحث مدیریت پایدار کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و طبعاً مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز[۱۲] و نیز یکی از مهمترین عوامل تهدیدکننده کمیت و کیفیت خاک محسوب می‌شود که پیامدهای ناخواسته آن را می‌توان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات امروزی بوم‌سازگان‌های مختلف تلقی کرد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۸). در این راستا شناخت عوامل موثر در فرسایش از یک طرف و برآورد میزان فرسایش از دیگر سو، برای تصمیم‌گیری‌های صحیح و اصولی استفاده از منابع آبخیز کشور ضروری است (هاتفی و صادقی، ۱۴۰۰). زیرا آگاهی از وضعیت و روند فرسایش خاک و تولید رسوب در اراضی، داده مورد نیاز برای تصمیم‌گیری و تدوین راهبردهای مناسب مدیریتی را فراهم می‌آورد (Yakupouglu و همکاران، ۲۰۲۱).

با نگاهی به مسائل و مشکلات اصلی حوزه‌های آبخیز در ایران مشاهده می‌شود که فرسایش خاک، تولید رسوب و وقوع سیل‌های متعدد از اساسی‌ترین موضوعات تلقی شده که توان و انرژی زیادی از مدیران، کارشناسان و متخصصین را به خود اختصاص داده و حتی توجه به سایر منابع را به سمت خود منحرف نموده است (مصفایی و طالبی، ۱۳۹۳). محققین مختلف از چندین دهه گذشته تاکنون در مورد مقدار فرسایش و رسوب کشور ارقام متفاوت و در برخی از پژوهش‌ها تا چند برابر اختلاف را ذکر کرده‌اند. این ارقام از کمتر از یک تا بیش از پنج میلیارد تن در سال با هم تفاوت دارند (نیک‌کامی، ۱۳۸۸). ارقام یاد شده مبتنی بر تخمین‌های کارشناسی و یا اندازه‌گیری‌های مستقیم یا غیرمستقیم بوده است. روش‌های مختلفی برای برآورد مستقیم مقدار فرسایش وجود دارد که هریک در نوع خود دارای محاسن و محدودیت‌هایی هستند که در نهایت نمی‌توان از آنها برای مناطق وسیع جغرافیایی استفاده کرد. بنابراین، در شرایط فعلی تنها راه عملی برای دستیابی به مقادیر یکپارچه و نزدیک به واقعیت از وضعیت فرسایش و تولید رسوب در کل کشور، استفاده از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و تولید رسوب می‌باشد.

بنابراین نخستین گام برای مبارزه با فرسایش خاک، آگاهی از شدت و وضعیت فرسایش خاک می‌باشد که در واقع دورنمای بهتری را از وضعیت تخریب و هدر رفت خاک عرضه می‌نماید. با این وجود هنوز تصویر صحیحی از فرسایش خاک در کشور موجود نمی‌باشد و منابع مختلف نظیر سایت‌های خبری، رسانه‌ها، مسئولین و متخصصین امر، آمار و ارقام مختلفی را از میزان فرسایش در کشور که در بعضی

---

1 Integrated watershed management

موارد تفاوت‌های فاحشی نیز بین آنها مشاهده می‌گردد، ارائه می‌نمایند. اختلاف نظر در مقدار فرسایش محدود به برآورد کشوری نیست و در سطوح کوچک در حد کرت فرسایش و بزرگتر نظیر آبخیز رودخانه‌ها نیز دیده می‌شود.

مجموعه تحقیقات علمی-پژوهشی و اجرایی، تجربه‌های گران‌سنگ و داده‌های ارزشمندی را از وضعیت فرسایش و رسوب کشور فراهم نموده است. در این مقاله سعی شده است ضمن جمع‌آوری و بررسی داده‌های مذکور و همچنین بررسی مطالعات و تحقیقات صورت پذیرفته، تصویری نسبتاً روشن‌تری از وضعیت فرسایش آبی کشور ارائه گردد تا ضمن همگرا نمودن نظر متخصصین مختلف، بتوان اقدامات مدیریتی موثری نیز در این زمینه اعمال نمود.

مواد و روش‌ها

در این مقاله با اتکا به داده‌های اندازه‌گیری شده، بررسی آمار و ارقام مختلف ارائه گردیده، مطالعات و پژوهش‌های گذشته، وضعیت فرسایش و تولید رسوب کشور، واکاوی می‌شود. در پژوهش حاضر از چند منبع اطلاعاتی نظیر بررسی منحنی‌های سنجه رسوب، رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک، نتایج مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و نظرات متخصصین امر استفاده شده است.

نتایج و بحث

منحنی‌های سنجه رسوب

منحنی سنجه رسوب شناخته‌شده‌ترین روش در رویکرد هیدرولوژیکی برای تخمین بار رسوب معلق است که یک فرم رابطه توانی (یا فرم خطی بر اساس داده‌های تبدیل لگاریتمی شده) است که بار رسوب معلق را به دبی جریان رودخانه مرتبط می‌سازد. اگرچه استفاده از رسوب پایین‌ترین محل اندازه‌گیری نمیتواند معرف شرایط فرسایش و رسوب‌گذاری و توزیع مجدد خاک در کل حوضه بالادست باشد ولی ازآنجاکه داده‌های رسوب بیشتر از داده‌های فرسایش در دسترس است یا بعبارتی اندازه‌گیری رسوب راحت‌تر از فرسایش می‌باشد، لذا با استفاده از نسبت تحویل رسوب[۳](SDR) می‌توان میزان فرسایش حوضه را برآورد نمود.

در بسیاری از مواقع کارشناسان در صورت کمبود داده‌های واقعی رسوب، از مدل‌های سنجه رسوب برای پیش‌بینی و برآورد غلظت رسوب استفاده می‌کنند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد بار رسوبی با استفاده از منحنی‌های سنجه رسوب انجام شده است که در بیشتر آنها، این منحنی‌ها برای

[1] . Sediment Delivery Ratio

رسوبات معلق ترسیم و برای تخمین بار رسوبی کل، میزان بار کف را بصورت درصدی از بار کل در نظر گرفته‌اند. علت اصلی این موضوع نیز فقدان داده‌های بار کف، بدلیل مشکلات نمونه‌برداری این نوع از رسوبات می‌باشد. در این تحقیق دو مورد از مطالعات سنجه رسوب که توسط محققین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری بر روی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور انجام گرفته، بررسی شد.

عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۲) با برر سی آمار ر سوب معلق ۲۰۹ ایستگاه ر سوب سنجی در سرتا سر کشور در قالب طرح پژوهشی با عنوان " مقایسه چند روش آماری برآورد بار معلق در یک حوضه با رژیم برفی و بارانی" استفاده از روش حد وسط دسته‌ها را در بررسی رسوب معلق با منحنی‌های سنجه رسوب معرفی کردند. ایشان از بین چندین روش برآورد بار معلق مانند منحنی سنجه رسوب یک خطی، روش عبور دادن بیش از یک خط از بین نقاط، استفاده از ضریب اصلاحی فائو، استفاده از ضریب ا صلاحی پارامتری و ضریب ا صلاحی غیر پارامتری و روش‌های ا ستفاده از دبی جریان، روش حد و سط دسته‌ها را مناسب‌ترین روش برای تعیین بار معلق حوضه معرفی نمودند. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۸) در قالب طرح پژوه شی دیگری با عنوان " برآورد ر سوب‌دهی و تهیه نق شه تولید ر سوب برای ایران" و با ا ستفاده از روش حد و سط د سته‌ها، ر سوب ویژه هر ایستگاه را محا سبه و به و سیله روش میانه، رسوب متوسط کشور را ۳۵۰ میلیون تن در سال اعلام کرده‌اند. نتایج مطاله مذکور که با بررسی ۲۰۹ ایستگاه رسوب‌سنجی و با بیش از ۲۰ سال آمار که حدود یک چهارم از سطح کشور را در برمی‌گیرد، نشان داد که میانه و میانگین رسوب تولیدی در حوزه‌های آبخیز کشور به ترتیب ۲/۱۴ و ۳/۵۸ تن در هکتار در سال ا ست. از بین دو آماره میانگین و میانه، به دلیل نرمال‌نبودن توزیع داده‌های فرسایش و ر سوب، استفاده از میانه توصیه شده است (Boardman، ۱۹۹۸). با احتساب میانه، رسوب ویژه معادل ۲/۱۴ تن در هکتار در سال، سالانه در ایران حدود ۳۵۰ میلیون تن تولید رسوب وجود دارد و با فرض ن سبت تحویل ر سوب ۲۲٪، فر سایش ویژه ک شور حدود ۹/۷ تن در هکتار در سال می‌با شد (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین، فرسایش کل کشور بدون احتساب بار کف، ۱/۵۹ میلیارد تن در سال و با احت ساب بار کف ۲۰٪، ۱/۹ میلیارد تن در سال خواهد بود (برو شکه و همکاران، ۱۳۸۳). البته در ارقام حا صل از نتایج روش منحنی‌های سنجه نیز باید دقت شود که بیشتر این ارقام مربوط به مناطق کوه ستانی و مرطوب ک شور بوده و در سایر مناطق ک شور ممکن ا ست نتایج متفاوتی حا صل گردد.

نیک‌کامی (۱۳۸۸) براساس یافته‌های طرح عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۸) که حدود یک چهارم سطح ک شور را پو شش می‌دهد و با تعمیم نتایج به سطح ۱۲۵ میلیون هکتار حوزه‌های آبخیز ک شور، ر سوب معلق ویژه را دو تن در هکتار در سال و با ا ضافه کردن متو سط ۱۷/۵ در صد بار کف به بار معلق (۱۸ درصد به وسیله Matthews، ۱۹۹۹) و ۲۰ درصد ضریب تحویل رسوب (۱۷/۱ تا ۲۱/۶ توسط Ouyang و Bartholic، ۱۹۹۷)، مقدار فر سایش ویژه سالانه ک شور را ۱۶/۴۵ تن در هکتار در سال و

مقدار کل فرسایش سالانه کشور در سطح ۱۲۵ میلیون هکتار حوزه‌های آبخیز بالغ بر دو میلیارد تن برآورد کرد.

نیک‌کامی و همکاران (۱۳۹۹) در طرحی پژوهشی با عنوان " تهیه و یکپارچه سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حوضه‌ها و توسعه پایگاه داده‌های مکانی، زمانی و موضوعی مرتبط با فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های رده هفت کشور" با تفکیک حوزه‌های آبخیز رده هفت به هفت منطقه یا ناحیه شامل: ۱) البرز شرقی ۲) البرز میانی ۳) البرز غربی ۴) ایران مرکزی ۵) زاگرس شمالی ۶) زاگرس میانی و ۷) زاگرس جنوبی، آمار بلندمدت رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه در این مناطق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با روش حد وسط دسته‌ها برای هریک از این ایستگاه‌های منتخب، منحنی سنجه رسوب ترسیم و مقدار رسوب هر ایستگاه تعیین شد. با توجه به میزان بار بستر رودخانه‌ها، با استفاده از مدل EPM میزان رسوب‌دهی و با در نظر گرفتن ضریب انتقال رسوب حوضه‌ها میزان فرسایش خاک تعیین و نقشه فرسایش خاک کشور برای حوزه‌های آبخیز مشرف به ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه شد. نتایج نشان داد که میانگین رسوب‌دهی و میزان متوسط وزنی فرسایش خاک در حوضه‌های مشرف بر ایستگاه‌های دارای آمار رسوب در کشور، به‌ترتیب ۳/۳ و ۱۶ تن در هکتار در سال است. کمترین و بیشترین میزان فرسایش خاک به ترتیب با مقادیر ۹ و ۳۲/۴ تن در هکتار در سال متعلق به مناطق زاگرس میانی و زاگرس جنوبی است.

رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک

برای ارزیابی مدل‌های تجربی و برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، رسوب سنجی مخازن سدها و بندهای کوچک است. رسوب ته‌نشست شده در مخازن بندهای کوچک می‌تواند پاسخگوی بسیاری از سؤالاتی باشد که متخصصین درگیر با حوزه‌های آبخیز و همچنین، مدیران بهره‌برداری از سدها برای حل معضلات خود به‌دنبال آن‌ها هستند.

در برآوردهای حاصل از رسوب‌سنجی بندهای کوچک، خطاهایی از قبیل روش محاسبه ضریب تله‌اندازی مخزن، محاسبه حجم مخازن، وزن مخصوص رسوبات انباشته و روش محاسبه مساحت حوضه‌های بالادست اجتناب‌ناپذیرند (Putkonen و Morgan، ۲۰۰۵). مزیّت عمده این روش نسبت به منحنی‌های سنجه‌رسوب این است که در بسیاری از موارد تنها یک مورد اندازه‌گیری که دربرگیرنده چند سال است، می‌تواند برآورد نسبتاً خوبی از متوسط تولید رسوب یک دوره چندساله داشته باشد؛ به شرطی که ضریب تله‌اندازی مخزن، حجم، وزن مخصوص رسوبات انباشته‌شده و مساحت حوضه بالادست با دقّت لازم محاسبه شوند (Walling، ۲۰۰۵).

موسوی و همکاران (۱۳۷۵) با رسوب‌سنجی تعداد ۱۳ بند کوچک واقع در سرشاخه‌های حوضه کارون، تولید رسوب ویژه آبخیزهای آن‌ها را از ۳/۲۴ تا ۱۴/۶۲ تن در هکتار در سال برآورد کرده‌اند. بروشکه و

همکاران (۱۳۸۳)، با ر سوب سنجی ۲۵ بند کوچک خاکی دیگر در سر شاخه‌های زیرحو ضه‌های غربی حو ضه دریاچه ارومیه تولید ر سوب ویژه آبخیزهای آن‌ها را با همان فرض بالا از ۰/۱۶ تا ۱۵/۵۹ تن در هکتار در سال برآورد کردند. مختاری و همکاران (۱۳۸۶)، تولید رسوب ویژه آبخیزهای ۱۰ بند خاکی کوچک واقع در سرشاخه‌های حوضه‌های زاینده‌رود و کارون را با رسوب‌سنجی و با فرض ناچیز بودن بار ر سوبات خروجی از ۰/۱ تا ۶/۴۷ تن در هکتار در سال تخمین زده‌اند. ها شمی و عرب‌خدری (۱۳۸۶)، تولید ر سوب ویژه آبخیزهای ۹ بند کوچک واقع در ا ستان سمنان را با ر سوب سنجی آن‌ها و با فرض ناچیزبودن ر سوبات خروجی از آن‌ها از ۰/۳۵ تا ۳/۵۸ تن در هکتار در سال گزارش کرده ا ست. نبی‌پی ل شکریان و همکاران (۱۳۹۶) در وا سنجی مدل تجربی EPM از طریق برر سی ر سوب مخازن بندهای کوچک در شمال شرقی ایران بیان کردند که با فرض ناچیزبودن رسوبات خروجی از آن‌ها، تولید رسوب ویژه آبخیزهای ۱۷ بند کوچک از ۰/۱۳ تا ۱۰/۸۴ تن در هکتار در سال متغیر ا ست. آن‌ها بیان نمودند که دو عامل زمین‌شناسی و کاربری اراضی دارای حساسیت بیشتری نسبت به سایر عوامل مدل EPM در ر سوب‌دهی حو ضه‌های مطالعاتی دارند. اما برعکس عامل طول حو ضه از حسا سیت زیادی برخوردار نی ست. بر ا ساس نتایج به‌د ست آمده از مدل در حو ضه‌های شمال شرقی ک شور، برآوردهای مدل با مقادیر مشاهده‌ای بندها مطابقت مناسبی دارد. شاخص NSE برابر ۰/۴۴ و شاخص RRMSE برابر ۰/۶۸، نیز این مسئله را کاملا تأیید می‌کند. ولی، بررسی نتایج حاصل از مدل در حوضه‌های شمال شرقی کشور با مساحت کمتر از ۵۰۰ هکتار نشان داد که تخمین‌های مدل، مطابقت مناسب‌تری با ر سوب اندازه‌گیری شده بندها دا شته به‌طوری‌که شاخص‌های NSE و RRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۴۸ است. همچنین، شاخص‌های NSE و RRMSE مدل اصلاحی به‌ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۲۲ هستند که می‌توان رسوبدهی حوضه‌های شمال شرقی را با دقت مناسبی از این روش برآورد کرد. قهاری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای با انتخاب پنج حوزه آبخیز کوچک در استان فارس که در خروجی آن‌ها بندهای خاکی و سنگی-ملاتی بنا شده، اقدام به بررسی کارایی مدل EPM از طریق ر سوب سنجی مخازن مذکور پرداخته و بیان نمودند که ر سوب ویژه آبخیزهای ۵ بند کوچک از ۰/۸۹ تا ۲/۶۲ تن در هکتار در سال متغیر است. این محققین بیان کردند که نتایج درصد خطای نسبی برآوردهای مدل EPM، نشان از بیش برآوردی در تمام حوضه‌های مورد مطالعه دارد و کاربرد مدل EPM جهت برآورد فر سایش و ر سوب در این مناطق مورد پذیرش نیست. نبی‌پی لشکریان و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی دیگر با عنوان ارز یابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز برگزیده‌ی ایران، بیان نمودند که ر سوب‌سنجی مخازن منتخب در استان‌های سمنان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال بختیاری، آذربایجان غربی، لرستان، فارس، خراسان رضوی و گلستان گویای این مسئله است که در بیشتر زیرآبخیزها، برآوردهای مدل EPM (۰/۱۹ تا ۹/۷۱ تن بر کیلومتر مربع درسال) کمتر از مقدار ر سوب ویژه اندازه‌گیری شده آبگیرها و بندهای منتخب (۰/۴۴ تا ۴۵۹/۶۴ تن بر کیلومتر مربع بر

سال) بوده و توصیه نمودند که مدل توان فرسایش اولیه در پژوهش‌های اجمالی استفاده شده و در پژوهش‌های تفصیلی به کار برده نشود. همچنین کاربرد مدل مزبور در مناطق با فرسایش شدید توصیه نمی‌شود. ایشان تاکید نمودند که مدل اولیه EPM (در کرواسی) بدون اصلاح ضرایب آن و واسنجی در حوزه‌های آبخیز کشور استفاده نشود و بهتر است که از این مدل در حوضه‌های با مساحت کمتر از ۴۰۰ هکتار به کار برده شود، البته کاربرد مدل اصلاح شده در هر مساحتی بلامانع خواهد بود. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۹۵) در طرح پژوهشی "تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور" داده‌های نزدیک به ۱۰۰۰ مکان اندازه‌گیری فرسایش آبی و تولید رسوب کشور را در پنج گروه مشتمل بر سدهای مخزنی، ایستگاه‌های هیدرومتری، بندهای آبخیزداری، کرت‌های فرسایش و نقطه‌های سزیم ۱۳۷را جمع‌آوری کرده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- آماره های توصیفی فرسایش خاک و رسوبدهی سالانه در واحد سطح اندازه گیری شده (اقتباس از عرب‌خدری و همکاران،۱۳۹۵)

ردیف	روش/ محل اندازه گیری	متغیر	کمینه*	بیشینه	میانگین	میانه	تعداد	توضیح ها
			(تن در کیلومتر مربع در سال)					
۱	کرت فرسایش	فرسایش	۰	۳۳۹۶	۱۳۱	۵	۲۹۱	جمع آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۲	سزیم ۱۳۷	فرسایش/ نهشتگی	-۵۲۹۳۰	۲۷۸۰۱	۴۸۵	۱۵۱	۵۴۵	جمع آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۳	سزیم ۱۳۷	فرسایش	۰	۲۷۸۰۱	۴۵۴۸	۲۹۶۳	۳۸۲	جمع آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۴	بندهای مخزنی (حوضه های کوچک) **	رسوبدهی کل	۱۰	۱۶۲۵	۲۰۸	۱۰۳	۳۷	جمع آوری شده از ۱۴ مرجع مختلف
۵	بندهای مخزنی و مخازن اندازه گیری (حوضه های کوچک) ***	رسوبدهی کل	۰/۰۵	۱۹۸۰	۲۳۹	۱۲۴	۷۴	پروژه ملی پژوهشی در ۹ استان (اندازه گیری شده)
۶		رسوبدهی معلق	۴	۲۳۹۱	۳۵۸	۲۱۴	۲۰۹	پروژه پژوهشی (منحنی سنجه‌رسوب حدوسط داده ها)

ردیف	روش/ محل اندازه گیری	متغیر	کمینه*	بیشینه	میانگین	میانه	تعداد	توضیح ها
۷	ایستگاههای رسوب سنجی (حوضه های میانگین و بزرگ) ****	رسوبدهی معلق	۲	۳۷۱۴	۴۲۵	۲۹۱	۳۳۷	جمع آوری شده از ۲۳ مرجع مختلف (منحنی سنجه رسوب باتوجه به ضریب اصلاحی فائو)
۸		رسوبدهی کل	۴	۴۷۱۵	۶۰۸	۳۵۴	۲۰۶	پروژه پژوهشی (براساس داده های ردیف ۶ و تخمین بار کف)
۹	سدهای مخزنی (حوضه های میانگین و بزرگ)*****	رسوبدهی کل	۷۰	۵۵۹۱	۱۲۷۱	۹۷۲	۲۷	دریافت شده از وزارت نیرو (کف سنجی مخازن سدها)
۱۰	ردیف های ۵ و ۸ و ۹	رسوبدهی کل	۰/۰۵	۵۵۹۱	۵۷۷	۳۱۰	۳۰۷	-

به طور کلی با این که مطالعات یادشده، پراکنش مناسبی در کشور ندارند؛ ولی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تولید رسوب متوسط کشور کمتر از ۱۵ تن در هکتار در سال است. اندازه‌گیری‌های مستقیم فرسایش یا تلفات خاک در پلات‌های کوچک نیز بیانگر مقدار کم فرسایش در حدّ عمدتاً یک تا پنج تن در هکتار در سال می‌باشد. این پلات‌ها، فرسایش‌های سطحی و ورقه‌ای دامنه را به طور مستقیم جمع‌آوری می‌کنند و بنابراین سایر انواع فرسایش را در نظر نمی‌گیرند؛ بنابراین، با توجّه به مساحت ایران مقدار کلّ فرسایش‌های سطحی و ورقه‌ای کشور با احتساب این رقم، ۱۶۴ میلیون تن در سال خواهد بود.

مدل‌های تجربی برآورد فرسایش

طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور

نخستین نقشه‌های فرسایش خاک برای ایران، نقشه‌هایی هستند که با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ توسط یونسکو و با همکاری فائو و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل در سال ۱۹۸۰ با مدل USLE ساده شده، برای خاورمیانه و شمال آفریقا تهیه شده است که شاهویی (۱۳۶۸) درصد مساحت کلاس‌های مختلف این نقشه را در محدوده ایران تعیین کرد. بر اساس حد وسط هر کلاس، میزان کل هدررفت خاک کشور ۳/۲ میلیارد تن در سال (معادل حدود ۲۰ تن در هکتار در سال) خواهد بود. بعد از نقشه فائو، دومین برآورد میزان فرسایش در سطح کشور، در قالب طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور (۱۳۸۶) و با کاربرد مدل EPM انجام گرفت. نتایج اجرای مدل EPM در زیر حوزه های رتبه ۲ تماب براساس طرح مزبور

در جدول ۲ و طبقه بندی زیر حوزه های ۳۰ گانه کشور از نظر شدت فرسایش در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود براساس خروجی مدل، میانگین مقدار فرسایش ویژه در کشور ۶/۹ تن در هکتار در سال، مقدار رسوب کل کشور ۱۲۹ میلیون تن و مقدار کل فرسایش ۱/۱۳ میلیارد تن در سال برآورد شد. شکل (۱) طبقه‌بندی فرسایش خاک کشور که با استفاده از مدل EPM بدست آمده است، را نشان می‌دهد.

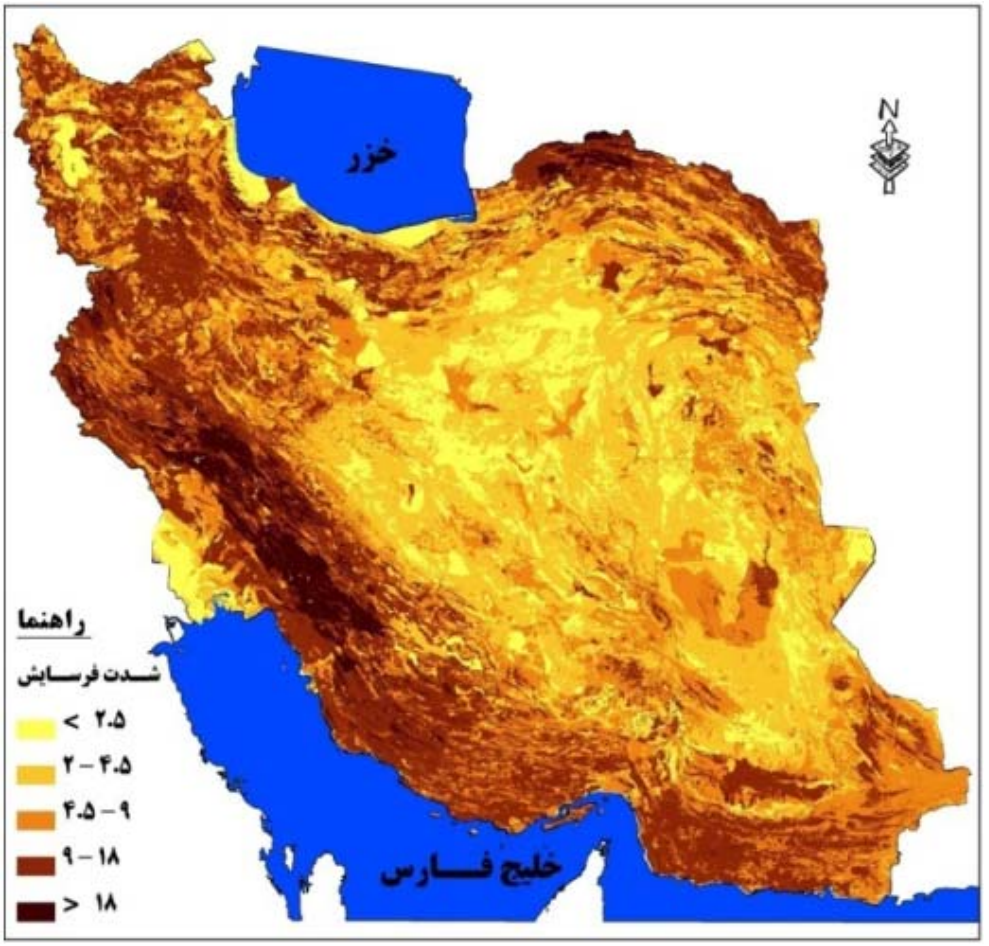
جدول ۲- خلاصه نتایج اجرای مدل EPM در زیر حوزه های رتبه ۲ تماب براساس طرح سیمای حوزه‌های آبخیز (۱۳۸۶)

کد تماب	نام حوزه	مساحت (هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش حوضه (تن در سال)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب حوزه (تن در سال)
۲۴	هندیجان	۴۲۲۱۰۰	۱۸/۲۵	۷۷۰۳۳۰۰	۲/۵	۱۰۵۵۲۰۰
۲۳	کارون	۶۶۳۵۰۰	۱۳/۶۵	۹۰۵۶۷۰۰	۱/۷۶	۱۱۶۷۷۰۰
۲۵	حله	۱۵۴۵۰۰	۱۳/۳۳	۲۰۵۹۴۵۰۰	۲/۰۱	۳۱۰۵۰۰
۱۷	اترک	۲۶۸۵۰۰	۱۲/۵	۳۳۵۶۲۵۰۰	۱/۸۳	۴۹۱۳۰۰
۲۱	مرزی غرب	۳۹۵۳۰۰	۱۲/۱۷	۴۸۱۰۸۰۰	۱/۶۸	۶۶۴۱۰۰
۲۶	مند	۵۳۷۰۰۰	۱۰/۹۲	۵۸۶۴۰۰۰	۱/۴۷	۷۸۹۳۰۰
۲۲	کرخه	۵۱۸۴۰۰	۱۰/۱۷	۵۲۷۲۱۰۰	۱/۳۶	۷۰۵۰۰۰
۱۳	سفیدرود	۵۹۱۸۰۰	۸/۹۲	۵۲۷۸۸۰۰	۱/۱۷	۶۹۲۴۰۰
۱۶	گرگانرود	۱۳۰۸۰۰	۸/۵۶	۱۱۱۹۶۰۰	۱/۸۴	۲۴۰۶۰۰
۲۸	بندرعباس	۴۵۴۸۰۰	۷/۶۳	۳۴۷۰۱۰۰	۱/۰۴	۴۷۲۹۰۰
۲۷	کل مهران	۶۳۵۸۰۰	۶/۸۹	۴۳۸۰۶۰۰	۰/۸۹	۵۶۵۸۰۰
۶۰	قره قوم	۴۴۰۹۰۰	۶/۶۶	۲۹۳۶۳۰۰	۰/۹۱	۴۰۱۲۰۰
۳۰	ارومیه	۵۱۹۶۰۰	۶/۵۶	۳۴۰۸۵۰۰	۰/۸۷	۴۵۲۰۰۰
۱۱	ارس	۴۰۱۹۰۰	۶/۳۳	۲۵۴۴۰۰۰	۰/۸۷	۳۴۹۶۰۰
۲۹	رابچ	۴۹۱۴۰۰	۶/۳	۳۰۹۵۸۰۰	۰/۸۵	۴۱۷۶۰۰
۱۵	هراز نکا	۱۸۲۹۰۰	۶/۰۶	۱۱۰۸۳۰۰	۰/۹۴	۱۷۱۹۰۰
۱۴	لاهیجان	۱۰۹۰۰۰	۵/۷۹	۶۳۱۱۰۰	۰/۹۶	۱۰۴۶۰۰
۵۳	مشکیل	۳۶۶۸۰۰	۵/۷۴	۲۱۰۵۴۰۰	۰/۸	۲۹۳۴۰۰

کد تماب	نام حوزه	مساحت (هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش حوضه (تن در سال)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب حوزه (تن در سال)
۱۲	انزلی	۶۸۱۰۰	۵/۶۳	۳۸۳۴۰۰	۱	۶۸۱۰۰
۴۳	مهارلو	۳۱۵۳۰۰	۵/۵	۱۷۳۴۱۰۰	۰/۷۹	۲۴۹۰۰۰
۴۱	دریاچه نمک	۹۲۴۶۰۰	۵/۰۴	۴۶۵۹۹۰۰	۰/۶۲	۵۷۳۲۰۰
۴۵	جازموریان	۶۹۸۳۰۰	۴/۸	۳۳۵۱۸۰۰	۰/۶۱	۴۲۵۹۰۰
۵۲	هیرمند	۳۳۷۳۰۰	۳/۰۳	۱۰۲۲۰۰۰	۰/۴۳	۱۴۵۰۰۰
۴۷	کویر مرکزی	۲۲۷۵۶۰۰	۲/۹۵	۶۷۱۳۰۰۰	۰/۳۲	۷۲۸۱۰۰
۴۹	ساغند	۵۰۵۳۰۰	۲/۷۹	۱۴۰۹۷۰۰	۰/۳۷	۱۸۶۹۰۰
۵۱	خواف	۳۲۹۸۰۰	۲/۷۴	۹۰۳۶۰۰	۰/۳۹	۱۲۸۶۰۰
۴۶	لوت	۲۰۶۰۰۰۰	۲/۷۴	۵۶۴۴۴۰۰	۰/۳	۶۱۸۰۰۰
۴۴	سیرجان	۵۷۱۶۰۰	۲/۶۵	۱۵۱۴۷۰۰	۰/۳۵	۲۰۰۰۰۰
۴۲	گاوخونی	۴۱۴۸۰۰	۲/۳۹	۹۹۱۳۰۰	۰/۳۳	۱۳۶۸۰۰
۴۸	سیاکوه	۵۶۴۳۰۰	۱/۷۲	۹۷۰۵۰۰	۰/۲۳	۱۲۹۷۰۰

جدول ۳- طبقه بندی زیر حوضه های ۳۰ گانه کشور از نظر شدت فرسایش

نام حوضه	میزان فرسایش (تن در هکتار در سال)	طبقه شدت
سیاه کوه	کمتر از ۲	خیلی کم
جازموریان، هیرمند،کویر مرکزی، ساغند، خواف، لوت، سیرجان، گاوخونی	۲ تا ۵	کم
سفید رود، گرگانرود، بندرعباس، کل و مهران، قره قوم، ارومیه، ارس، رابچ، هراز نکا، لاهیجان نور، مشکیل، انزلی، مهارلو، دریاچه نمک	۵ تا ۱۰	متوسط
کارون، حله، اترک، مرزی غرب، مند و کرخه	۱۰ تا ۱۵	زیاد
هندیجان	بیش از ۱۵	خیلی زیاد



شکل ۱- نقشه شدت فرسایش (تن در هکتار در سال) با مدل EPM
(اقتباس از طرح سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، ۱۳۸۶)

عرب‌خدری (۱۳۹۳) با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از اندازه‌گیری و تخمین فرسایش خاک و رسوب-دهی کشور، مقدار کل فرسایش از سطح کشور را حدود یک میلیارد تن در سال و یا به‌طور متوسط، شش تن در هکتار برآورد کردند. ایشان سهم فرسایش سطحی در کل تولید رسوب را یک سوم و بقیه رسوب تولیدی را ناشی از فرسایش‌های عمقی نظیر سازندهای حساس به فرسایش، فرسایش آبکندی، کنار رودخانه‌ای و رانش زمین می‌دانند. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۹۵) برای تدقیق مقدار رسوب برآوردی، سطح کشور را به هشت منطقه همگن تفکیک کردند و با مقایسه ارقام مشاهده‌ای و برآوردی رسوب‌دهی و به‌دست آوردن ضریب اصلاحی برای مدل EPM، وزن کل فرسایش خاک کشور را ۸۹۵ میلیون تن در

سال (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد کردند. نیک‌کامی و شادفر (۱۴۰۰) رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه را مورد استفاده قرار داده، برای تعیین درصد بار بستر از روشی تجربی بهره بردند و در نهایت با کمک داده‌های بار رسوب (بار معلق و بار بستر)، برای تهیه نقشه فرسایش خاک از مدل EPM استفاده کردند. آنها میانگین رسوب‌دهی ویژه و متوسط وزنی فرسایش خاک حوضه‌های مشرف به ایستگاه‌های رسوب سنجی را به ترتیب ۳/۳ و ۱۶ تن در هکتار در سال برآورد کردند. در این تحقیق، با تعمیم نتایج به سطح ۱۲۵ میلیون هکتار دارای فرسایش آبی، میزان فرسایش آبی کشور را دو میلیارد تن در سال به‌دست آمد. در جدیدترین برآورد سراسری فرسایش خاک با مدل‌سازی، محمدی و همکاران (۲۰۲۱) کاربرد مدل G2 در سطح کشور بر مبنای اطلاعات ورودی عمدتاً دورسنجی شده، میانگین سالانه فرسایش خاک را برای ایران ۱۶/۵ تن در هکتار (معادل ۲/۷ میلیارد تن تلفات کل سالانه) برآورد کردند.

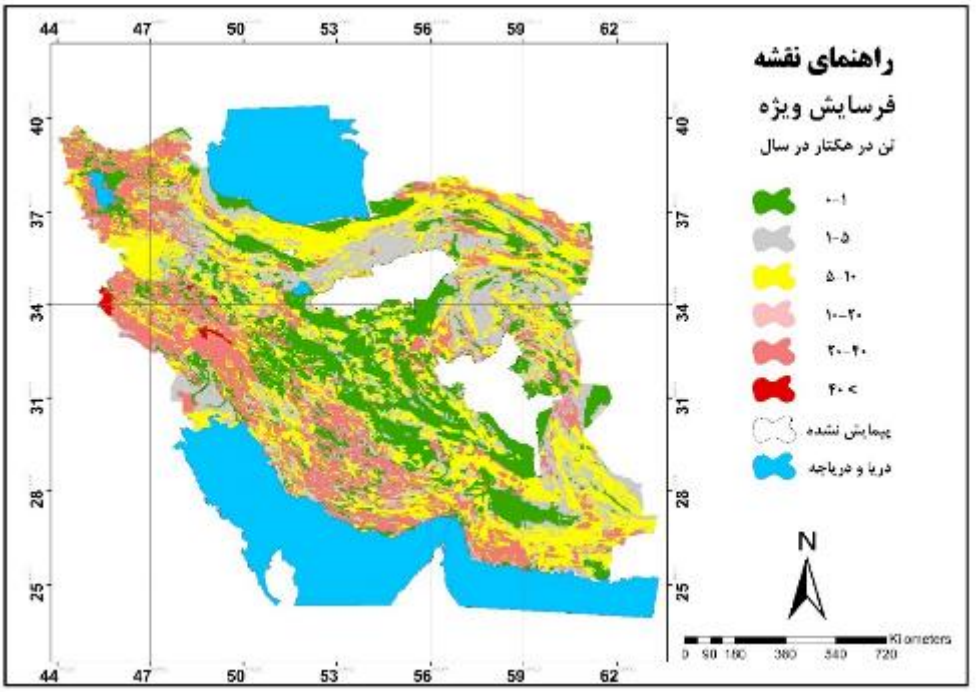
تحلیل منطقه‌ای بار رسوب و تهیه نقشه فرسایش آبی خاک کشور با بهره‌گیری از روابط رگرسیونی

با بررسی آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور و تجزیه و تحلیل آمار بلندمدت آن‌ها، همچنین مشخص نمودن مهمترین عوامل موثر بر فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های مناطق همگن هفت‌گانه تعیین شده براساس روش مناطق جغرافیاییِ مشابه (جعفری اردکانی و همکاران، ۱۳۹۵) و (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۹۹) مناسب‌ترین رابطه آماری (رابطه‌ای با بالاترین ضریب تبیین (R^2)) بین رسوب تولیدی زیرحوضه‌ها و مهمترین عوامل موثر بر رسوب‌دهی برای کل کشور، تعیین شد (جدول ۴) و با در نظر گرفتن روابط مختلف جهت تعیین SDR زیرحوضه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین روش (روش رنفرو، ۱۹۷۵) براساس آنالیزهای آماری، میزان فرسایش خاک تعیین و نقشه فرسایش خاک برای کشور ترسیم شد (شکل ۲). براساس روش مزبور میانگین رسوب‌دهی ویژه و متوسط وزنی فرسایش خاک کشور به ترتیب ۳/۰۹ و ۱۵/۶۱ تن در هکتار در سال برآورد می‌شود.

جدول ۴-۲۰- مدل رگرسیونی ساخته شده جهت برآورد رسوب‌دهی ویژه برای کل کشور

منطقه	معادله رگرسیونی	NS	R^2	RRMSE
کل کشور	Log SSy =2.661 +1.989(logx1) +1.005(logx2) + 0.724(logx3) + 0.433(logx4) + 0.521(logx5) + 1.788(logx6)	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۳۴

در روابط ارائه شده در جدول ۴، SSy: رسوب‌دهی ویژه کشور بر حسب تن در هکتار در سال، x_1: درصد مساحت اراضی کشاورزی (دیم، آبی+ باغات)، x_2: درصد مساحت سازندهای حساس به فرسایش، x_3 : دبی متوسط سالیانه، x_4 : مساحت حوضه،
x_5 : ضریب شکل حوضه، x_6 : درصد مساحت اراضی مرتعی با وضعیت ضعیف و دیم‌زارهای رها شده.



شکل ۲- نقشه فرسایش ویژه کشور براساس تحلیل منطقه‌ای بار رسوب و بهره‌گیری از روابط رگرسیونی

چکیده‌ای از نتایج تحقیقات و مطالعات منتشر شده در خصوص برآوردهای موجود از فرسایش آبی ایران در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- جمع‌بندی نظرات محققان، کارشناسان و مسئولین مختلف در مورد میزان فرسایش آبی در ایران

ردیف	پژوهشگر	روش-محدوده مطالعه	تن در هکتار در سال	توضیحات
۱	باختر (۱۳۵۲)	نامشخص	متوسط فرسایش در سطح کشور بین ۳/۶ تا ۶	مقدار کل فرسایش ۰/۶ تا ۱ میلیارد تن
۲	فائو (۱۹۸۰)	برآورد با مدل USLE ساده شده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰	متوسط فرسایش در سطح کشور بین ۶ تا ۳۰	براساس کار شاهویی (۱۳۶۸)

ردیف	پژوهشگر	روش-محدوده مطالعه	تن در هکتار در سال	توضیحات
۳	جلالیان و همکاران (۱۳۷۳)	رسوب‌سنجی ۲۴ زیرحوضه با مساحت بالغ بر ۷۳ میلیون هکتار	رسوب‌دهی ویژه ۷/۵ و فرسایش خاک ۲۵	تحلیل آمار و داده‌ها برمبنای سال‌های کم باران و پر باران
۴	عرب‌خدری، محمود (۱۳۸۴)	رسوب‌دهی معلق ۲۰۹ ایستگاه در سطح کشور	میانه رسوب‌دهی ویژه ۲/۱۴ و متوسط فرسایش خاک ۶	مقدار کل فرسایش بدون احتساب بار بستر، بالغ بر یک میلیارد تن در سال
۵	احمدی، حسن (۱۳۸۵)	-	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور ۱۶/۴	مصاحبه با مجله دیده‌بان کوهستان
۶	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۶)	نقشه فرسایش کشور با مدل EPM	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور ۶/۹	مقدار کل فرسایش ۱/۱۳ میلیارد تن
۷	بشارتی، حسین (۱۳۸۹)	-	میزان فرسایش سالانه ۲ میلیارد تن	مسئولیت نامبرده: رئیس موسسه تحقیقات آب و خاک کشور، مصاحبه با خبرگزاری فارس
۸	گرشاسبی، پرویز (۱۳۸۹)	-	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور بیش از ۱۶/۵	مسئولیت نامبرده: مدیرکل دفتر حفاظت خاک سازمان جنگل‌ها، مصاحبه با خبرگزاری فارس
۹	عرب‌خدری، محمود (۱۳۹۳)	بررسی داده‌های کرت، سزیم و رسوب‌سنجی	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور ۶	سهم فرسایش سطحی در تولید رسوب یک سوم
۱۰	عرب‌خدری، محمود (۱۳۹۵)	تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور	میانه رسوب‌دهی کل ۳/۵۴ و متوسط فرسایش خاک ۵/۵	مقدار کل فرسایش، ۸۹۵ میلیون تن
۱۱	نیک‌کامی، داود (۱۴۰۰)	واسنجی مدل EPM با رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه رسوب‌سنجی در هفت منطقه همگن مطالعاتی	میانگین رسوب‌دهی ویژه ۳/۳ و متوسط فرسایش خاک ۱۶	مقدار کل فرسایش در ۱۲۵ میلیون هکتار وسعت حوزه‌های آبخیز کشور، ۲ میلیارد تن
۱۲	پیروان، حمیدرضا (۱۴۰۱)	-	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور ۱۶ و میزان فرسایش خاک کشور ۷ برابر حد مجاز	مسئولیت نامبرده: مدیر گروه مهندسی حفاظت آب و خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مصاحبه با خبرگزاری ایسنا

ردیف	پژوهشگر	روش-محدوده مطالعه	تن در هکتار در سال	توضیحات
۱۳	محمدی و همکاران (۲۰۲۱)	کاربرد مدل G2 در سطح کشور بر مبنای اطلاعات عمدتاً دورسنجی شده	میانگین سالانه فرسایش خاک کشور ۱۶/۵	مقدار کل فرسایش ۲/۷ میلیارد تن

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هر چند که در مورد مقدار دقیق فرسایش آبی در کشور اتفاق نظر وجود ندارد و تاکنون، آمار و ارقام بسیار متفاوتی از سوی مسئولین، متخصّصین و سایت‌های مختلف خبری از وضعیت فرسایش و رسوب در ایران ارائه شده است؛ به طوری که منابع مختلف خبری، شدّت فرسایش در ایران را از ۵ تن در هکتار در سال تا ۳۰ تن در هکتار در سال نیز اعلام کرده‌اند، که این تفاوت در برآورد متوسط فرسایش آبی خاک کشور ناشی از عواملی نظیر: چند وجهی بودن پدیده فرسایش خاک و تاثیر عوامل مختلف انسانی و طبیعی در رخداد آن، وسعت زیاد و تنوع بالای عوامل دخیل در فرسایش خاک کشور (مانند اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی، زمین شناسی و خاک و کاربری اراضی)، عدم تناسب شبکه پایش فرسایش و رسوب از نظر کمی و کیفی با وسعت کشور و اختلاف در تجزیه و تحلیل و تصمیم‌های کارشناسی در روش‌های موجود جهت برآورد فرسایش و رسوب کشور است. نکته حائز اهمیت این است که با وجود اختلاف در برآورد میزان فرسایش آبی کشور، با این وجود کم‌ترین مقدار برآوردی نرخ فرسایش خاک، حداقل ۱۰ برابر بیشتر از حد قابل تحمل فرسایش خاک کشور می‌باشد، چرا که با توجه به مجموعه شرایط و مطالعات جهانی (Verheijen et al.، ۲۰۰۹) متوسط نرخ خاک‌سازی در کشور با احتمال زیاد بیش از ۰/۵ تن در هکتار در سال نیست.

سهم عمده فرسایش خاک در کشور (بیش از دو سوم) مربوط به فرسایش‌های عمقی از جمله فرسایش کناره‌ای و آبکندی، فرسایش‌های توده‌ای و فرسایش تشکیلات زمین‌شناسی حساس از جمله (مارن‌ها و لس‌ها) است. همچنین قسمت عمده فرسایش خاک در رخدادهای شدید و حدی (بارندگی‌های شدید و سیلاب‌ها) اتفاق می‌افتد که اغلب نیز بعد از یک دوره خشکی رخ می‌دهند. شواهد نشان می‌دهد که میزان فرسایش آبی در دیمزارها به‌ویژه در اراضی شیب‌دار نیز بسیار زیاد است. جابه‌جایی خاک ناشی از فرسایش شخم، و هدررفت خاک همراه برداشت محصولات ریشه‌ای نیز مهم هستند. همچنین فرسایش خندقی (آبکندی) که علاوه بر تلفات شدید خاک و تخریب اراضی، در تخلیه رطوبت خاک مزارع و مراتع در شرایط خشک و نیمه‌خشک ایران، دارای اهمیت فراوان است، باید موردتوجه ویژه باشد (اسدی، ۱۴۰۱).

در مجموع علل اصلی شدت فرسایش خاک در کشور را می‌توان در جغرافیای طبیعی ایران از یک سو و عوامل انسانی و بهره‌برداری و مدیریت غلط از سوی دیگر جستجو نمود. اگرچه این تعبیر که ایران در شمار کشورهای رکورددار فرسایش است، اندکی نادرست می‌باشد؛ اما این مقاله مجدداً بیان می‌کند

که حتی در این صورت نیز ایران حداقل یکی از کشورهای با میزان بسیار بالای فرسایش خاک می‌باشد. از این رو، مدیریت جامع و همه‌جانبه حوزه‌های آبخیز کشور و بهره‌برداری شایسته از آن‌ها بر اساس قابلیت و ا ستعداد آن‌ها و بر طبق الگوی آمایش سرزمین که از ا صولی‌ترین رویکردهای تعامل با پدیده فر سایش خاک تلقّی می شود، باید در سرلوحه برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست کشور قرار گیرد.

جهت برآورد و ارزیابی دقیق فر سایش ک شور، پایش طولانی مدت آن در سطح ک شور یک امر ضروری است که لازمه این امر، برنامه‌ریزی و تامین اعتبار و بودجه کافی در قالب ردیف بودجه ویژه با هماهنگی مجلس شورای اسلامی و سازمان برنامه و بودجه است.

برای افزایش دقت مدل های فر سایش و ر سوب و کاربردی کردن آن ها پیشنهاد می شود که وا سنجی مدل ها در اقلیم ها، خاک‌ها و کاربری‌های مختلف انجام پذیرد. افزون بر این برای تعیین دقیق میزان کارایی لازم ا ست، این برر سی در چند دوره زمانی مختلف (مثلاً سه دوره ۱۰ ساله) انجام شود. ضمناً می‌توان پژوهش‌هایی در نقاط مختلف کشور با مدل‌های جدیدتر انجام و مقایسه مدل‌ها با هم و با مقادیر اندازه‌گیری شده صورت پذیرد.

اندازه‌گیری و جمع‌آوری آمار و ارقام ر سوب در مناطق کویری مرکزی و شرقی کشور و د شت‌های سایر مناطق جهت برآورد دقیق‌تر میزان فرسایش کشور، لازم و ضروری است. همچنین ضروری است بانک‌های اطلاعاتی فرسایش و رسوب کشور به صورت دوره‌ای تکمیل گردد.

منابع

- اسدی، ح. ۱۴۰۱. واکاوی تاریخچه فعالیت دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های اجرایی مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک در ایران. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۲): ۴۱۲- ۴۳۳.
- بروشکه، ا؛ عرب‌خدری، م؛ سکوتی اسکوئی، ر؛ حبیبی، م. ۱۳۸۳. برآورد رسوبدهی سرشاخه‌ها با استفاده از اندازه‌گیری رسوب سدهای کوچک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. تهران.
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۶. برنامه راهبردی شناخت عوامل مؤثّر بر فرسایش و رسوب (فصل اوّل: برّرسی وضعیت موجود).
- تاجگردان، ت؛ ایوبی، ش؛ شتایی جویباری، ش. ۱۳۸۷. برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطّلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت). مجلّه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره۷۹ .

- جعفری اردکانی، ع.، ر. بیات، م. عرب‌خدری، س. نبی‌پی لشکریان، م. پاره‌کار، ح.ر. پیروان، م. شریعت‌جعفری، ب. قرمزچشمه، م.ح. مهدیان. ۱۳۹۵. بررسی کارآیی مدل EPM در برآورد میزان فرسایش و رسوب‌دهی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- سیمای حوزه‌های آبخیز. ۱۳۸۶. اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز، بخش فرسایش و رسوب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- شاهویی، ص. ۱۳۶۸. بررسی فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوئین و تعمیم نتایج در تهیه نقشه فرسایش خاک آبخیز سرشاخه ملارود. پایان‌نامه کارشناسی-ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.
- صادقی، س.ح.ر.، ا. شریفی‌مقدم و م. محسنی‌ساروی. ۱۳۹۸. رویکردهای نوین در مدیریت کاربردی آبخیز. انتشارات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۶۷ صفحه.
- طهمورث، م. و د. نیک‌کامی. ۱۴۰۰. ارزیابی و تعیین عوامل موثر بر فرسایش و رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۷۴ (۴): ۷۷۱-۷۸۴.
- عرب‌خدری، م.، ش. حکیم‌خانی و د. نیک‌کامی. ۱۳۸۲. مقایسه چند روش آماری برآورد رسوب‌دهی معلق در یک حوزه با رژیم برفی بارانی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۸۴. بررسی رسوب‌دهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱ (۲):۵۱-۶۰.
- عرب‌خدری، م.، ع.و. خوجینی، ش. حکیم‌خانی، ا.ح. چرخابی و ع. تلوری. ۱۳۸۸. برآورد رسوبدهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۳. مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۴ (۲): ۲۳-۳۰.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۴. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد بارندگی. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۱۱ (۱): ۷-۱۵.
- عرب‌خدری، م.، ع.و. خوجینی، ش. حکیم‌خانی، ا.ح چرخابی و ع. تلوری. ۱۳۸۸. برآورد رسوب‌دهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۵ صفحه.
- عرب‌خدری، م.، ص. شادفر و ر. سکوتی اسکوئی. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

- عرب‌خدری، م.، س. نبیپی لشکریان، ص. شادفر و د. نیک‌کامی. ۱۳۹۶. واسنجی مدل‌های تجربی برآورد رسوب‌دهی از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در ایران. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- عرب‌خدری، م.، ص. شادفر، ع. جعفری اردکانی، ر. بیات، ا. خواجوی و م.ح. مهدیان. ۱۳۹۷. تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. پژوهش های آبخیزداری، ۳۱ (۳): ۱۳-۲۷.
- عرب‌خدری، م. ۱۴۰۰. وضعیت فرسایش آبی و رسوب‌دهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۶ (۲): ۱۳۹-۱۵۶.
- عرب‌خدری، م. و ح. نور. ۱۴۰۰. پژوهش‌های تجربی فرسایش و رسوب (در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه) فرصت‌های تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۳۶ صفحه. موسوی، س.ف؛ صمدی بروجنی، ح. ۱۳۷۵. ارزیابی توزیع رسوب در مخازن سدهای کوچک منطقه چهارمحال و بختیاری. آب و فاضلاب. ۱۸: ۴-۱۳ .
- قهاری، غ.، ص. شادفر و ح. حسینی مرندی. گزارش فنی: بررسی کارایی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۴): ۱۱۳۳-۱۱۴۵.
- مصفایی، ج. و ع. طالبی. ۱۳۹۳. نگاهی آماری به وضعیت فرسایش آبی در ایران. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲(۵): ۹-۱۸.
- نبی پی لشکریان، س. م، عرب‌خدری، ص، شادفر و ع، جعفری اردکانی. ۱۳۹۴. بررسی و ارزیابی نتایج تحقیقات مدل‌های فرسایش خاک و تولید رسوب در ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۱۵ صفحه.نیک‌کامی، د. ۱۳۸۸. برنامه راهبردی حفاظت خاک. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- نبی پی لشکریان، س.، م. عرب خدری، ص. شادفر، ع. جعفری اردکانی و س. احمدی. ۱۳۹۶. واسنجی مدل تجربی EPM با استفاده از رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک در شمال شرقی ایران. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۷ صفحه.
- نبی پی لشکریان، س. م، عرب‌خدری و ص، شادفر. ۱۴۰۰. ارزیابی کارایی مدل تجربی توان فرسایش در ۶۳ زیرآبخیز برگزیده ایران. مجله پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۴(۴): ۳۴-۵۲.
- نیک‌کامی، د.، ص. شادفر و ع. جعفری اردکانی. ۱۳۹۹. تهیه و یکپارچه‌سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حوضه‌ها و توسعه پایگاه داده‌های مکانی، زمانی و موضوعی مرتبط با فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های رده هفت کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۹۶ صفحه .
- نیک‌کامی، د. و ص. شادفر. ۱۴۰۰. تهیه نقشه فرسایش خاک در حوضه‌های دارای ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور. مهندسی و مدیریت آبخیز ۱۳(۲): ۴۷۹-۴۹۶.

- هاتفی، م. و س.ح.ر. صادقی. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی اجمالی استان‌های کشور بر اساس شاخص‌های تنش آبی، سیل، خشکسالی و فرسایندگی باران. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳ (۱): ۲۱۳-۲۲۱.
- هاشمی، ع.ا؛ عرب‌خدری، م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک. مجلّه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد۱۱. شماره۴. ۳۴۵-۳۵۵.
- Boardman, J. 1998. An average soil erosion rate in Europe: Myth or Reality? Journal of Soil and Water Conservation, 53(1): 46-50.
- FAO. 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. Rome. Italy .
- Morgan, D.J., and Putkonen, J. 2005. Sediment transport in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. Geological Society of America Abstracts with Programs, Vol. 37, No. 7, p.304 .
- Pimentel, D., and Kounang, N. 1998. Ecology of Soil Erosion in Ecosystems. Ecosystems, 1: 416-426.
- Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., and McNair, M. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, new series, vol. 267, No. 5201. p.1117-1123 .
- Lazzari, M., D. Gioia, M. Piccarreta, M. Danese and A. Danese. 2015. Sediment yield and erosion rate estimation in the mountain catchments of the Camastra artificial reservoir (Southern Italy): a comparison between different empirical methods. Catena, 127:323-339.
- Rostami, N., and Salajeghe, A. 2011. Selecting the best model of sediment delivery ratio estimation in Ilam dam basin. Advances in Environmental Biology, 5(5): 795-802 .
- Vanoni, J. 1975. Soil Erosion Prediction. New York Uni. pp:21 .
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., and Smith, C.J., (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth Science Review*, 94, 23–38
- Verstraeten, G., and Poesen, J. 2000. Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: Methods and implication for the assessment of sediment yield. Progress in Physical Geography, 24(2): 219-251 .
- Walling, D. E., and Webb, B. W. 1988. The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: Some further comments. In: Erosion and Sediment Transport Measurement (Proc. Porto Alegre Symp. Dec. 337-350. IAHS Publ. No. 174).
- Walling, D. E., and Webb, B. W. 1981. The reliability of suspended sediment load data. In: Sediment Budgets (Proc. Florence Symp. June 1981), 177-194. IAHS Publ, No. 133 .
- Walling, D. E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. Science of the Total Environment, 344: 159-184.
- Yakupoglu, T., R. Gundogan, T. Dindaroglu, K. Kusvuran, V. Gokmen, J. Rodrigo-Comino, Y. Gyasi-Agyei, and A. Cerdà. 2021. Tillage Impacts on Initial Soil Erosion in Wheat and Sainfoin Fields under Simulated Extreme Rainfall Treatments. Sustainability, 13,789.1-17. https://doi.org/10.3390/su13020789.

ارزیابی هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه زوجی کاخک گناباد

حمزه نور*[۱]، یحیی پرویزی[۲]، حسین چمنی[۳]

۱*- استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، *H.Noor@areeo.ac.ir*

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی

چکیده

در این پژوهش، به ارزیابی وقایع حداکثر ثبت شده بارش در ایستگاه هواشناسی، داده‌های هدررفت خاک و تولید رواناب در مقیاس دامنه توسط کرت فرسایشی و هم‌چنین هدررفت خاک توسط میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک گناباد پرداخته می‌شود. برای این منظور کلیه وقایع بارش، هدررفت خاک و تولید رواناب از سامانه‌های پایش مستقر در حوضه زوجی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم تفاوت زیرحوضه‌های نمونه و شاهد در هدررفت خاک، تولید رواناب، نقش وقایع حداکثری در فرسایش خاک و تولید رواناب هر دو زیرحوضه بسیار چشم‌گیر می‌باشد. به‌طوری‌که یک تا سه واقعه فرساینده در هر دو زیرحوضه مورد مطالعه مسئول بیش از ۸۰ درصد هدررفت خاک در دامنه‌ها و تولید رواناب و رسوب‌دهی خوضه‌ها می‌باشند. از سوی دیگر نتایج نشان داد که مقدار هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد بسیار بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است. به‌گونه‌ای که متوسط سالانه هدررفت خاک دو زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش، کنترل رسوب، حوضه آزمایشی، کرت‌های آزمایشی

مقدمه

تحقیقات مختلفی در زمینه اثرگذاری اقدامات آبخیزداری بر هدررفت خاک، رسوب‌دهی و تولید رواناب گزارش شده است. اغلب این تحقیقات با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک (Noor و همکاران، ۲۰۱۶) و یا مقایسه دوره قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری (Fazli و Noor، ۲۰۱۳)، صورت گرفته‌اند. در این میان، حوضه‌های زوجی نوعی آزمایشگاه میدانی هستند که برای بررسی اثرات تیمارهای مختلف حفاظت خاک و آبخیزداری به‌کار می‌روند. حوضه‌های زوجی از دو زیرحوضه نمونه و شاهد تشکیل شده‌اند. این دو زیرحوضه از نظر مساحت، توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک، شیب، فرسایش، آب و هوا و غیره تا حد امکان یکسان می‌باشند (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰). در یکی از زیرحوضه‌ها شرایط ثابت باقی مانده و به روش‌های متداول هر منطقه مورد بهره‌برداری کشاورزی و

چرای دام قرار می‌گیرد. این آبخیز کوچک به‌عنوان زیرحوضه شاهد در نظر گرفته می‌شود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، ۱۳۹۸). در زیرحوضه دیگر تغییراتی با اعمال روش‌ها و تکنیک‌های آبخیزداری صورت می‌گیرد و اثرات آنها مطالعه می‌شود، که زیرحوضه نمونه خوانده می‌شود. در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد پایش و اندازه‌گیری فرسایش خاک، تولید رواناب، رسوب‌دهی، خصوصیات پوشش گیاهی و ... به‌صورت منظم صورت می‌گیرد. تحقیقات متعددی به مقایسه رسوب‌دهی حوضه‌ای (نور و همکاران، ۱۳۹۷؛ Ebabu و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ebling و همکاران، ۲۰۲۱)، فرسایش خاک در دامنه‌ها (عشقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، تولید رواناب (Ebling و همکاران، ۲۰۲۱)، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق در حوضه‌های زوجی در مناطق مختلف پرداخته‌اند. با این حال ضرورت مطالعه جامعی در حوضه‌های آبخیز زوجی، با هدف مقایسه همزمان هدررفت خاک در دامنه‌ها، رسوب‌دهی حوضه‌ای و تولید رواناب طرح‌ریزی شود.

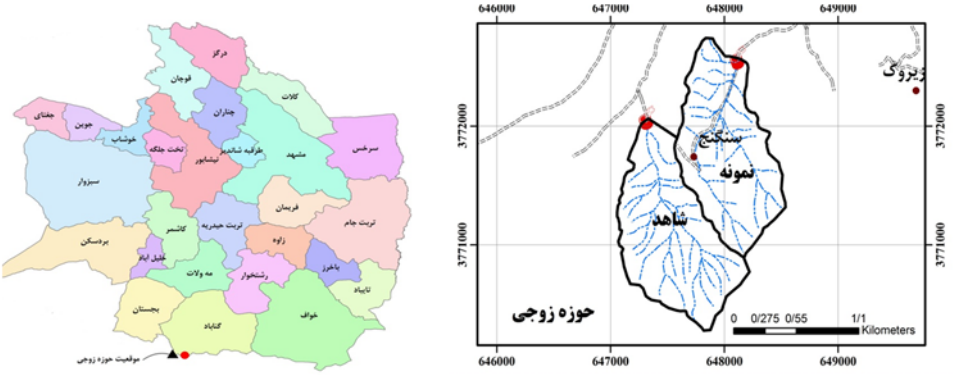
حدود دو دهه از تجهیز حوضه زوجی کاخک گناباد می‌گذرد و در این مدت ابزار و کارشناسان مختلفی به‌منظور پایش مولفه‌های متنوع هیدرولوژی، فرسایش خاک و پوشش گیاهی در منطقه مستقر شده‌اند. به‌گونه‌ای که طی این مدت اطلاعات هواشناسی (مهم‌ترین آن بارش ساعتی، روزانه و ماهانه)، آب سنجی، رسوب حوضه، هدررفت خاک در سطح دامنه، نفوذپذیری و پوشش گیاهی به‌نحوی ثبت شده‌اند. بنابراین بستر مناسبی به منظور ارزیابی اثر اقدامات مدیریتی و سازه‌ای آبخیزداری بر هدررفت خاک، رسوب‌دهی و تولید رواناب در مقیاس دامنه و آبخیز کوچک فراهم شده است. در این راستا، تحقیق حاضر در نظر دارد تا اثر ۱- وقایع حاکثر بارش، هدررفت خاک و تولید رواناب در مقیاس دامنه، را در حوضه زوجی کاخک گناباد مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه زوجی کاخک با مساحت ۲۱۷/۱ هکتار در جنوب استان خراسان رضوی بین طول‌های "۳۷ '۳۵ °۵۸ الی "۴۱ '۳۶ °۵۸ شرقی و عرض‌های "۴۶ '۰۳ °۳۴ الی "۰۶ '۰۵ °۳۴ شمالی قرار دارد. این آبخیز در فاصله ۳۰۰ کیلومتری از شهر مشهد و ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهر گناباد در بخش کاخک از شهرستان گناباد واقع شده است.

حوضه زوجی شامل دو زیرحوضه نمونه به مساحت ۱۰۶/۵ هکتار و زیرحوضه شاهد به مساحت ۱۱۰/۶ هکتار می‌باشد. شکل هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد کشیده می‌باشند. طول آبراهه اصلی در زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱/۸۱ و ۱/۸۷ کیلومتر می‌باشد. شیب متوسط در این دو زیر حوضه نیز به‌ترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۴ درصد است. در نهایت زمان تمرکز زیرحوضه نمونه ۰/۶۱ ساعت و برای زیرحوضه شاهد ۰/۵۴ است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، ۱۳۹۸).



شکل ۱- موقعیت حوضه زوجی کاخک گناباد در استان خراسان رضوی

کاربری اراضی غالب در زیرحوضه نمونه به‌ترتیب مرتع (۹۱/۵)، نهال‌کاری (۴/۵ درصد) و بستر آبراهه‌ها (۴/۰ درصد) می‌باشد. در زیرحوضه شاهد نیز مرتع (۹۵/۱ درصد)، دیم‌کاری (۲/۰ درصد) و باغات (۱/۰) درصد را شامل می شوند. در زیرحوضه نمونه ۴/۲ هکتار بانکت‌بندی به همراه نهال‌کاری، ۱۰۲/۳ هکتار کپه‌کاری، ۱۹ بندگابیونی و ۷ بند خشکه‌چین اجرا شده است.

روش انجام تحقیق

به‌منظور انجام تحقیق حاضر، لازم است تا اثر اقدامات آبخیزداری در مقیاس دامنه بر تولید رواناب و فر سایش خاک مورد برر سی قرار گیرد. بر این ا ساس تمامی گزارش‌ها و داده‌های ثبت شده تا ابتدای سال ۲۰۲۰ (سال انجام پژوهش حاضر) جمع‌آوری شدند.

لازم به‌توضیح است که در ادامه توضیحاتی در زمینکرت و میخ فرسایشی در حوضه زوجی کاخک ارائه می‌شود.

کرت‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک:

در هر کدام از زیرحوضه‌های نمونه و شاهد سه محدوده اندازه‌گیری فرسایش (در سه جهت اصلی منطقه غربی، شرقی و شمالی) وجود دارد. در هر یک از این محدوده‌ها سه کرت احداث شده است. به‌عبارتی در زیرحوضه‌های نمونه و شاهد جمعاً تعداد ۱۸ کرت به ابعاد ۲۴ متر طول و ۱/۸۳ متر عرض و مخزن با ابعاد ۲ متر طول، ۱ متر عرض و ۰/۵ متر ارتفاع ساخته و نصب شد. لازم به توضیح است که زیرحو ضه نمونه قرق بوده و درنتیجه کرت‌های م ستقر در این حو ضه تحت چرای دام قرار نمی‌گیرد با این حال در زیرحوضه شاهد، چرای دام‌ها منعی ندارد و دام‌ها به‌صورت آزادانه از علوفه مراتع تعلیف

می‌کنند. بنابراین در این شـرایط امکان بررسـی اثر قرق مرتع به‌عنوان یک اقدام مدیریتی، بر هدررفت خاک و تولید رواناب وجود دارد. مقدار رواناب و رسوب به‌صورت ماهانه ثبت و اندازه‌گیری شده است.

میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک: میخ‌های فرسایش در سال ۱۳۷۸ به تعداد ۴۸۶ میخ در سـه میدان به ابعاد ۹ متر طول و ۹ متر عرض در مجاورت محدوده کرت‌های فرسـایشـی در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد ساخته و نصب شد. این میخ‌ها در یک شبکه با فاصله یک متر قرار گرفته‌اند و در هر میدان نیز ۸۱ میخ فرسایشی وجود دارد. از آنجایی‌که فرآیند فرسایش خاک باعث تغییر سطح خاک به صورت کاهش عمق در منطقه برداشت و افزایش عمق در محل رسوب‌گذاری می‌شود، به‌صورت نظری می‌توان با ثبت این تغییرات، حجم خاک منتقل شـده را برآورد کرد (Boardman و همکاران، ۲۰۱۵). اندازه‌گیری ارتفاع بخش بیرون از خاک میخ‌ها ماهانه با دقت نیم میلی‌متر صـورت پذیرفته است.

در نهایت پس از جمع‌آوری داده‌ها، مقایسه مولفه‌های حجم رواناب، هدررفت خاک با استفاده از کرت و هدررفت خاک با استفاده از میخ‌های فرسایشی مربوط به حوضه‌های نمونه و شاهد مد نظر قرار گرفت. این مقایسـه‌ها با اسـتفاده از میانگین داده‌ها (درصـد تفاوت در دو حوضـه) و آزمون t-جفتی صـورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی بارش‌های حداکثری

نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که به‌طور متوسط ۴۰ روز در سال بارندگی در منطقه ثبت شده است. در این میان بارش‌ها اغلب زیر ده میلی‌متر (مقدار روزانه بارش) به وقوع پیوسته که به‌طور متوسـط ۳۴ روز در سـال را بخود اختصـاص داده اسـت. هم‌چنین بارش‌های بیش از ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌متر به‌طور متوسط ۴/۲، ۱/۷ و ۰/۱ روز در سال می‌باشد. درنهایت داده‌های ده بارش حداکثر ثبت شده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

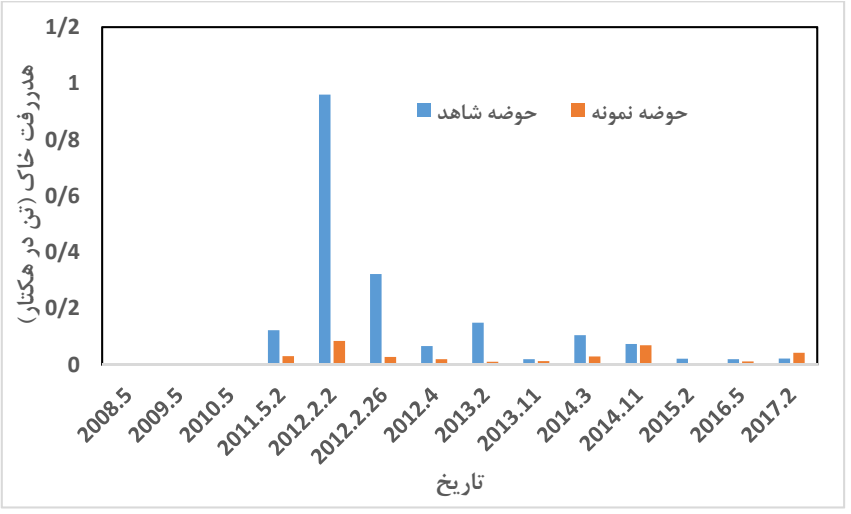
همان‌گونه که در جدول ۱ مشـاهده می‌شـود، حداکثر بارش‌های ۲۴ سـاعته ثبت شـده در این منطقه مربوط به فصل زمستان می‌باشند. هم‌چنین حداکثر بارش ۲۴ ساعته ثبت شده، ۵۳/۵ میلی‌متر می‌باشد که نسبت به متوسط بارش منطقه (۲۲۶ میلی‌متر در ایستگاه هوا شناسی) دارای سهم ۲۳ در صدی می‌باشد. در این میان بارش ۲ فوریه ۲۰۱۲ دارای رتبه دوم مقدار بارش و رتبه اول شدت بارش در این جدول می‌باشـد. حداکثر هدررفت خاک و تولید رواناب در دامنه‌ها و هم‌چنین خروجی زیرحوضـه‌های نمونه و شاهد در این واقعه ثبت شده است.

جدول ۱ ده بارش حداکثر ثبت شده در حوضه زوجی کاخک

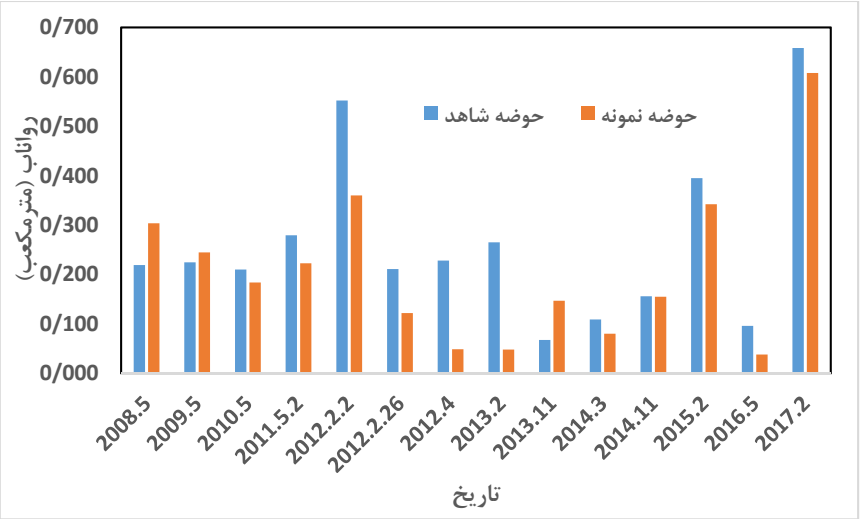
ردیف	تاریخ	حداکثرارتفاع بارندگی روزانه (میلیمتر)	سهم نسبی بارش متناظر از کل بارندگی سال مربوطه(%)	حداکثر شدت (میلی‌متر در ساعت)
۱	۲۰۱۷/۰۲/۱۷	۵۳/۵	۱۷/۵	۹/۶
۲	۲۰۱۲/۰۲/۰۲	۴۶/۶	۱۶/۳	۱۴/۴
۳	۲۰۱۲/۰۲/۲۶	۳۹/۸	۱۳/۹	۶/۰
۴	۲۰۱۶/۰۱/۰۲	۳۷/۸	۲۱/۸	۱۲/۱
۵	۲۰۱۸/۰۲/۲۵	۳۷/۳	۱۵/۵	-
۶	۲۰۱۷/۰۱/۰۲	۲۹/۷	۹/۷	۱۲/۰
۷	۲۰۱۳/۰۲/۱۴	۲۸/۴	۱۵/۴	۶/۶
۸	۲۰۱۷/۰۲/۱۳	۲۷/۱	۸/۹	۱۳/۸
۹	۲۰۱۳/۰۲/۰۱	۲۶/۵	۱۴/۳	۸/۴
۱۰	۲۰۱۷/۰۳/۲۰	۲۵/۸	۸/۴	۱۸/۶

ارزیابی داده‌های کرت‌های فرسایشی

در دو زیرحوضه شاهد و نمونه ۱۴ واقعه هدررفت خاک توسط کرت‌های فرسایشی در دوره سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ اندازه‌گیری شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب مقدار هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک را نشان می‌دهد.



شکل ۲ مقدار هدررفت خاک در کرت‌های مستقر در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک



شکل ۳ مقدار تولید رواناب در کرت‌های مستقر در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود مقدار هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد بسیار بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است. به‌گونه‌ای که متوسط هدررفت هر واقعه در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۱۷ تن بر هکتار می‌باشد. متوسط سالانه هدررفت خاک دو زیرحوضه نمونه و شاهد نیز به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال محاسبه شده است. این نتایج دلالت بر آن دارد که میزان هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد ۵۳۶ درصد بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است.

بررسی داده‌های رواناب در مقیاس کرت انجام گرفت و متوسط تولید رواناب دو زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۲۷ مترمکعب محاسبه شد. بنابراین، میزان تولید رواناب در زیرحوضه شاهد ۱۳۸ درصد بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است.

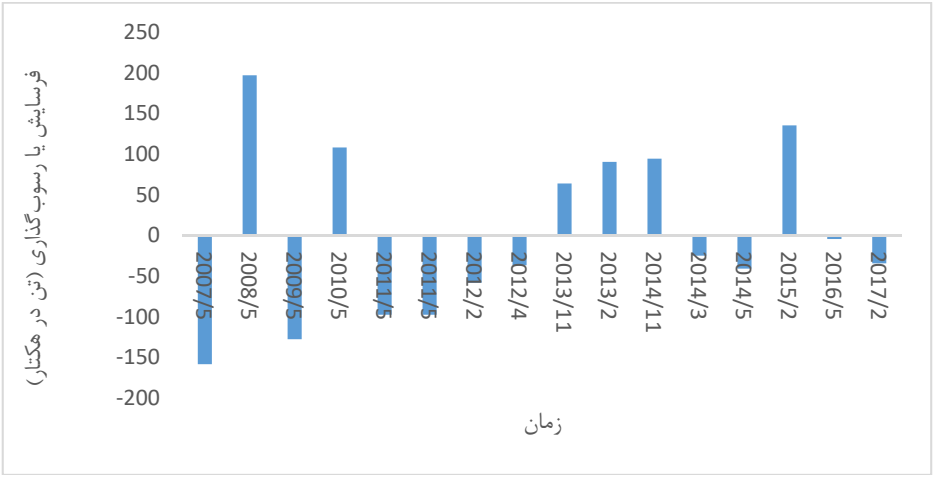
پنج واقعه حداکثر هدررفت خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر هدررفت خاک در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد طی واقعه ۲ فوریه ۲۰۱۲ ثبت شده است. این واقعه حداکثر در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب مسئول ۲۳/۶ و ۵۰/۶ درصد هدررفت خاک کل دوره مورد بررسی بوده است. هم‌چنین سه واقعه حداکثر (سه واقعه از ۱۴ واقعه: حدود ۲۰ درصد کل وقایع) در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب مسئول ۷۵/۵ و ۵۵/۲ درصد هدررفت کل دوره مورد بررسی بوده‌اند.

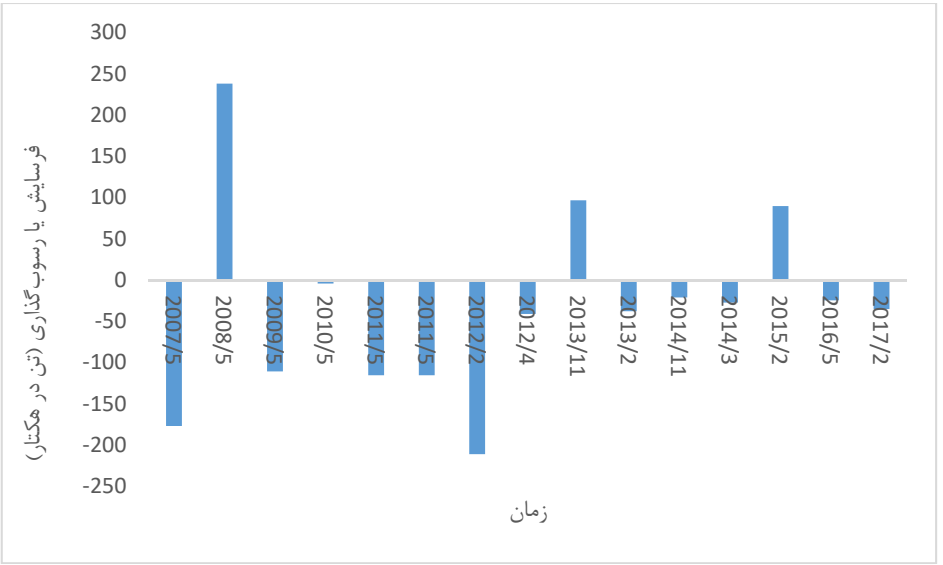
ارزیابی میخ‌های فرسایشی

طی دوره زمانی ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۷ در مجموع ۱۶ و ۱۵ ثبت داده ماهانه به‌ترتیب در حوضه‌های نمونه و شاهد گزارش شده است. شکل ۴ مقادیر فرسایش یا رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده توسط میخ‌های فرسایشی به‌ترتیب در دو زیرحوضه نمونه و شاهد را نشان می‌دهد.

جدول ۲ پنج واقعه حداکثر هدررفت خاک از کرت‌های مستقر در زیرحوضه نمونه

حوضه	تاریخ	میزان فرسایش ثبت شده (کیلوگرم در هکتار)	سهم نسبی فرسایش مربوطه از کل فرسایش سال مربوطه (٪)	سهم نسبی فرسایش مربوطه از کل فرسایش دوره (٪)
نمونه	۲۰۱۲/۲	۸۵/۰	۶۳/۷	۲۳/۶
	۲۰۱۴/۱۱	۷۰/۶	۶۹/۸	۱۹/۷
	۲۰۱۷/۲	۴۲/۹	۱۰۰/۰	۱۱/۹
	۲۰۱۱/۵	۳۰/۹	۱۰۰/۰	۸/۶
	۲۰۱۴/۳	۳۰/۵	۱۰۰/۰	۸/۵
شاهد	۲۰۱۲/۲/۲	۹۶۰/۰	۷۱/۱	۵۰/۶
	۲۰۱۲/۲/۲۶	۳۲۳/۰	۲۳/۹	۱۷/۰
	۲۰۱۳/۲	۱۵۰/۰	۸۸/۱	۷/۹
	۲۰۱۱/۵	۱۲۳/۰	۱۰۰/۰	۶/۵
	۲۰۱۴/۳	۱۰۵/۰	۵۸/۷	۵/۶





شکل ۴ مقادیر فرسایش یا رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده توسط میخ‌های فرسایشی در زیرحوضه نمونه (بالا) و شاهد (پایین)

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان‌دهنده میزان تغییرات بسیار زیاد سالانه مقادیر اندازه‌گیری شده با میخ‌های فرسایشی در منطقه می‌باشد. به‌گونه‌ای حداکثر میزان تغییرات ثبت شده سالانه دو زیرحوضه شاهد و نمونه به‌ترتیب ۱۹/۳ و ۱۵/۰ میلی‌متر گزارش شده است. در این زمینه، حداکثر میزان فرسایش خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۵۸/۶ و ۲۱۰/۸ تن در هکتار قابل محاسبه است. با این حال کل فرسایش دوره (مقدار تجمعی تغییرات طی ده سال محاسبه شد) در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۳ و ۳۵ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است.

در نهایت مقایسه آماری حجم، رواناب، دبی اوج آب‌نمود، زمان شروع رواناب، غلظت رسوب و حجم رسوب در حوضه‌های نمونه و شاهد انجام شد (جدول ۳) که حاکی از اختلاف معنی‌دار ۵٪ و ۱٪ به ترتیب برای رواناب و هدررفت خاک دارد.

جدول ۳- مقایسه آماری حجم رواناب، هدررفت خاک اندازه‌گیری شده توسط کرت و میخ فرسایشی را نشان می‌دهد.

مولفه مورد بررسی	حوضه	میانگین	میزان تغییرات (درصد)	سطح معنی‌داری
متوسط حجم رواناب (مترمکعب)	نمونه	۰/۱۹	۴۲	پنج درصد
	شاهد	۰/۲۷		
هدررفت خاک-کرت (تن بر هکتار)	نمونه	۰/۰۵	۴۴۰	یک درصد
	شاهد	۰/۲۷		
هدررفت خاک-میخ فرسایشی (تن بر هکتار)	نمونه	۱/۳	۱۴۱	یک درصد
	شاهد	۳/۵		

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بر سی داده‌های بارش مندرج در جدول ۱ ن شان دهنده آن ا ست که ده واقعه حداکثر بارش طی فصل زمستان در منطقه روی داده است. طی این فصل، پوشش گیاهی در حداقل مقدار خود می‌باشد و در ابتدای ر شد سالانه قرار دارد. بنابراین پو شش گیاهی ناچیز در کنار بارش‌های شدید در این ف صل باعث وقوع سیلاب‌های حداکثری در زیرحوضه نمونه و شاهد شده است.

بررسی داده‌های ثبت شده در مقیاس دامنه نشان داد که چرای بیش از حد مرتع و لگدکوبی دام، تأثیر معنی‌داری بر افزایش هدررفت خاک و تولید رواناب در زیرحو ضه شاهد دا شته ا ست، به‌طوری‌که در بارش‌های م شابه در منطقه، فر سایش خاک در آبخیز تحت چرا (زیرحو ضه شاهد) بیش‌تر از آبخیز قرق شده (زیرحو ضه نمونه) ا ست. بر ا ساس گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خرا سان ر ضوی (۱۳۹۸) ظرفیت مراتع حو ضه شاهد حدود ۷۰ واحد دامی می‌با شد درحالی که دام‌های در حال چرا در منطقه بیش از دو برابر این ظرفیت می‌با شند. در این زمینه Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۶) افزایش ۲۱/۴۳ در صدی میزان ر سوب در کرت‌های تحت چرا ن سبت به کرت‌های قرق شده را گزارش نمودند. در این رابطه می‌توان تأثیر قرق در کاهش ر سوب را به افزایش تراکم پو شش گیاهی در اثر عدم چرای دام و بهبود وضـــعیت نفوذپذیری خاک به‌دلیل عدم لگدکوبی خاک توســـط دام‌ها در پهنه قرق نســبت داد. این نتایج نشـان می‌دهد که فرسـایش خاک در مقیاس دامنه تحت تأثیر پوشـش گیاهی و نحوه مدیریت و بهره‌برداری از آن اســـت. پوشـــش گیاهی با کاهش ســـرعت رواناب، نگه داری و نفوذ مقداری از بارش، جلوگیری از برخورد مســـتقیم قطرات باران، تثبیت خاک توســـط ریشـــه‌ها، بهبود ساختمان و خ صو صیات شیمیایی خاک باعث کاهش فر سایش می‌گردد (Zuazo و Pleguezuelo،

۲۰۰۹). علاوه بر این پو شش گیاهی با ایجاد زبری و تقلیل نیروی بر شی رواناب موجب کاهش ر شد و توسعه شیارها شده و در ترسیب مواد نقش مهمی دارند (Martinez و همکاران، ۲۰۰۶).

هم‌چنین نتایج دلالت بر تاثیرپذیری بالاتر هدررفت خاک (نسبت به تولید رواناب) از قرق مرتع دارد. حرکت دام‌ها در زیرحوضه شاهد باعث بهم‌خوردگی خاک دامنه‌های شیب‌دار می‌شود، در این حالت افزایش ذرات قابل حمل خاک در زیرحو ضه شاهد، باعث ت سهیل ورود و انتقال ر سوب تو سط رواناب می‌شود. بنابراین در حوضه تحت چرای دام، مقدار هدررفت خاک نسبت به تولید رواناب با سرعت بیش‌تری افزایش یافته است.

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان دهنده میزان تغییرات بسیار زیاد سالانه مقادیر اندازه‌گیری شده هدررفت خاک تو سط میخ‌های فر سایشی در منطقه می‌با شد. به‌گونه‌ای که متو سط تغییرات سالانه دو زیرحو ضه شاهد و نمونه به‌ترتیب ۸/۶ و ۷/۸ میلی‌متر برآورد شده ا ست. حداکثر میزان تغییرات سالانه ثبت شده نیز در حو ضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۹/۳ و ۱۵/۰ میلی‌متر گزارش شده ا ست. در این زمینه حداکثر میزان فرسایش خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۵۸/۶ و ۲۱۰/۸ تن در هکتار گزارش شده است. نتایج این تحقیق دلالت بر آن دارد که استفاده از میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک گناباد در دوره‌های کوتاه مدت دارای خطای بسیار زیادی می‌باشد. پژوهش‌های پی شین متعددی نیز اندازه‌گیری کوتاه مدت فر سایش خاک تو سط میخ‌های فر سای شی را دارای خطا دانسته‌اند (Boardman و Favis-Mortlock، ۲۰۱۶؛ Gholami و همکاران، ۲۰۲۱). در این زمینه می‌توان بیان نمود که با توجه به دامنه فرسایش این آبخیز که کم‌تر از ۷/۵ تن در هکتار معادل کاهش ارتفاع ۰/۵ میلی‌متر (حداکثر دقت خط کش) در سال است، این بازه زمانی بسیار کوتاه بوده و باعث خطا در ثبت داده‌ها می‌شود.

هم‌چنین همان‌گونه که بیان شد اساس این روش بر مبنای اندازه‌گیری تغییرات تراز سطح زمین می‌باشد. بنابراین هرگونه تغییر تراز به فرسایش خاک نسبت داده می‌شود. دراین زمینه بازدید انجام شده از منطقه ن شان داد که در برخی دامنه‌های حو ضه زوجی کاخک در صد سنگ و سنگ‌ریزه بالا می‌با شد و عملا با جابجایی سنگ‌ریزه‌ها مقدار بالای فر سایش یا ر سوب‌گذاری ثبت می شود. هم‌چنین در زیرحوضه شاهد، چرای دام‌ها وجود دارد و ممکن است بخشی از تغییرات تراز سطح مربوط به عوامل غیر از فرسایش آبی باشد. موارد مذکور قادرند در نتایج اندازه‌گیری هدررفت خاک در منطقه ایجاد خطا نماید. علاوه بر این دریکوندی و همکاران (۱۳۹۷) یخ‌زدگی خاک و ذوب مجدد آن را یکی از عوامل ایجاد خطا توسط میخ‌های فرسایشی عنوان نموده‌اند. با توجه به موارد ذکر شده کاربرد میخ‌های فرسایشی برای اندازه گیری فرسایش سطحی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد نمی‌شود.

هم‌چنین مطابق نتایج تحقیق حاضر، علی‌رغم تفاوت حوضه‌های نمونه و شاهد در هدررفت خاک، تولید رواناب و ر سوب‌دهی، هر دو حو ضه از نظر نقش بسیار چ شم‌گیر وقایع حداکثری در انتقال ذرات خاک

تشابه دارند. در مجموع می‌توان بیان نمود که یک تا سه واقعه فرساینده در هر دو حوضه مسئول بیش از ۸۰ درصد هدررفت خاک در دامنه‌ها و تولید رواناب و رسوب در خروجی آبخیزهای مورد مطالعه می‌باشند. در این میان واقعه ۲ فوریه ۲۰۱۲ در تمامی مولفه‌های مورد بررسی شامل هدررفت خاک از دامنه، رسوب‌دهی آبخیز و تولید رواناب و حداکثر سیلاب در مقیاس آبخیز، بالاترین مقدار را در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد دارا بوده است. مطابق جدول ۱ این واقعه دارای بالاترین شدت بارش ثبت شده در منطقه مورد مطالعه را دارد. این نتایج تأکیدی بر اهمیت مقیاس رگبار در مطالعات فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل خصوصیات بارشی آن‌ها می‌باشد. در این زمینه پژوهش‌های پیشین نیز بر اهمیت مقیاس رگبار در مطالعه فرسایش خاک و سهم بالای وقایع بارش محدود از کل فرسایش خاک و تولید رسوب تأکید داشته‌اند. در این رابطه همسو با یافته‌های تحقیق حاضر، Regues و همکاران (۲۰۰۰) در شمال شرق اسپانیا طی ۳۵۰ رخداد بارندگی نشان دادند که بارش‌ها با شدت زیاد عامل اصلی فرسایش خاک منطقه است به‌طوری‌که حدود ۹۰ درصد از میزان فرسایش خاک به وسیله ۲ درصد از بارش‌ها ایجاد شده است. هم‌چنین Gallart و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه نیمه خشک در اسپانیا ملاحظه نمودند که ۹۰ درصد رسوب تولیدی در حوزه آبخیز از طریق ۱۰ درصد وقایع ایجاد شده است. Fang و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده نمودند که از ۲۰۵ رویداد بارندگی-رواناب ثبت شده در منطقه مورد مطالعه ایشان، ۱۰ رویداد بزرگ‌تر به تنهایی مسئول ۸۳/۳ درصد از کل رسوب می‌باشد. Mathys و همکاران (۲۰۰۵) نیز اعلام نمودند که طی دوره مورد مطالعه سه رگبار مسئول بخش عمده‌ای از فرسایش خاک در مارن‌های مورد بررسی در فرانسه بوده است. هم‌چنین Li و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی ۴۰ آبخیز مشاهده نمودند که طی پنج واقعه بارش ۵۶ درصد رسوب سالانه منتقل شده است. در نهایت Duan و همکاران (۲۰۲۰) سهم شدیدترین واقعه ثبت شد در پلات‌های کوچک (۳ در ۲/۵ متری) در منطقه پرباران Jiangxi را برابر ۴۴ در صد کل هدررفت خاک اندازه گیری شده طی ۲ سال تحقیق، گزارش نمودند. در این زمینه عرب‌خدری (۱۳۹۴) بیان می‌دارد که در مناطق معتدل به‌دلیل غلبه رویدادهای معمولی، فرسایش و تولید رسوب بیش‌تر متاثر از رویدادهای متوسط است. حال‌آن‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل اهمیت رویدادهای شدید، فرسایش و تولیدرسوب بیش‌تر از رویدادهای حداکثر تاثیر می‌پذیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی مصوب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. نگارندگان بدین وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری

استان خراسان رضوی، به‌دلیل پشتیبانی‌های مختلف ایشان در طول انجام پژوهش، صمیمانه قدرانی می‌کنند.

منابع

- دریکوندی، م.، خالدی درویشان، ع.و. چپی، ک. ۱۳۹۷. اندازه‌گیری فرسایش خاک در بازه‌های مختلف زمانی در حوضهٔ آبخیز معرف خامسان با استفاده از میخ‌های فرسایش. اکوهیدرولوژی، ۵(۲): ۶۷۵-۶۸۵.
- سلیمانی، ف.، عرب‌خدرری، م.، صامت‌زاده، آ.، رعیت پیشه، ا. (۱۴۰۰). معرفی، فرصت‌ها و چالش‌های حوضه معرف و زوجی شوش، استان خوزستان. سومین کنفرانس بین‌المللی و ششمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. اردبیل، ایران.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۴. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. ۳ (۱۱): ۷-۱۵.
- عشقی زاده، م.، دستورانی، م.ت.، طالبی، ع (۱۳۹۴). مقایسهٔ بار معلق رسوب در دو زیرحوضهٔ قرق‌شده و تحت چرا در منطقهٔ کاخک گناباد. مرتع و آبخیزداری، ۶۸(۳): ۵۷۳-۵۸۸.
- نور، ح.، رجایی، س.ح.، باقریان کلات، ع.، صدیق، ر.، ۱۳۹۷. ارزیابی تاثیر مقیاس زمانی و مکانی بر رسوبدهی حوضه های کوچک در منطقه سنگانه، مجله ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲۱(۶): ۴۲-۳۷.
- Boardman, J., Favis-Mortlock, D., & Foster, I. (2015). A 13-year record of erosion on badland sites in the Karoo, South Africa. Earth Surface Processes and Landforms, 40(14), 1964-1981.
- Boardman, J., Favis-Mortlock, D., 2016. The use of erosion pins in geomorphology. Geomorphological Techniques, Chap. 3, Sec. 5.3.
- Duan, J., Yao-Jun, L., Jie, Y., Chong-Jun, T., Zhi-Hua, S. 2020. Role of groundcover management in controlling soil erosion under extreme rainfall in citrus orchards of southern China. Journal of Hydrology, 582 (2020): 124290.
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Meshesha, D.T., Aklog, D., Masunaga, T., Tsubo, M., Sultan, D., Fenta, A.A. and Yibeltal, M. 2018. Analyzing the variability of sediment yield: A case study from paired watersheds in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. Geomorphology, 303: 446-455.
- Ebling, E.D., Reichert, J.M., Peláez, J.J.Z., Rodrigues, M.F., Valente, M.L., Cavalcante, R.B.L., Reggiani, P. and Srinivasan, R., 2021. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. International Soil and Water Conservation Research, 9(2), pp.180-194.
- Fang, N.F. Z.H. Shi, B.J. Yue, L. Wang. 2013. The characteristics of extreme erosion events in a small mountainous watershed. PLoS ONE 8(10): e76610. doi:10.1371/journal.pone.0076610

- Fazli, S., & Noor, H. (2013). Storm-wise sediment yield prediction using hillslope erosion model in semi-arid abundant lands. Soil and Water Research, 8(1), 42-48.
- Gallart, F. P. Llorens, J. Latron, D. Regüés. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6(3), 527-537.
- Gholami, V., Sahour, H., & Amri, M. A. H. (2021). Soil erosion modeling using erosion pins and artificial neural networks. Catena, 196, 104902.
- Khaledi Darvishan, A. L. Gholami, J.H. Ghorghi, V. Spalević, A.K. Kord, H.M. Amini. 2016. Effect of exclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots. Agrofor International Journal, 1(1): 49-57.
- Khorasan Razavi Department of Natural Resources and Watershed management Asistance of Watershed management. 2020. Production of data and information, monitor and operation management Khakhk of reference and paired watershed. 217 pp (in Persian).
- Li, Zh. X. Xianli, Z. Jingxuan, X. Chaohao, W. Kelin. 2020. The contributions of the largest erosive events to sediment yields in karst catchments. Water Resources Research, doi.org/10.1029/2019WR025839.
- Mathys, N. S. Klotz, M. Esteves, L. Descroix, J.M. Lapetite. 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. Catena. 63(2), 261-281.
- Noor, H., Vafakhah, M., & Mohammady, M. (2016). Comparison of different targeting methods for watershed management practices implementation in Taleghan dam watershed, Iran. Water Science and Technology: Water Supply, 16(6), 1484-1496.
- Organization of Forests and Rangelands and Watershed Management, 2020. Production of data and information, monitor and operation management Khakhk of reference and paired watershed, 234 p (in Persian)..
- Regues, D. J.C. Balasch, X. Castelltort, M. Soler, F. Gallart. 2000. Relaciones entre lastendencias temporalis de producción y transporte de sedimentos y las condiciones climáticas, en una pequeña cuenca de montaña Mediterránea (Vallcebre, Pirineos orientales). Cuadernos de Investigación Geográfica, 26: 41–65.
- Zuazo, V.H.D., Pleguezuelo, C.R.R. 2009. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. Sustainable agriculture, pp.785-811.

پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های احتمالاتی دو متغیره و یادگیری ماشین

کورش شیرانی*[۱]، رضا نادری سامانی[۲]

۱*- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، (*KouroshShirani@gmail.com*)

2_ کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

زمین‌لغزش یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی با پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است که امروزه با روش‌های جدید و متنوع می‌توان با منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی این رخداد، دست یافت. هدف از انجام این پژوهش پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های احتمالاتی دو متغیره و یادگیری ماشین اعم از رگرسیون پشتیبان (SVR)، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF)، دمپسترشفر و حداکثر آنتروپی و معرفی مناسب‌ترین آن‌ها در حوضه‌ی دوآب صمصامی در ایران می‌باشد. نقشه پراکنش رخداد زمین‌لغزش بر اساس ۱۷۰ پهنه لغزشی بر اساس اطلاعات موجود و بررسی تصاویر Google Earth تهیه شد. از این تعداد ۷۰% به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰% به عنوان داده‌های آزمایشی بصورت نقطه لغزشی به ترتیب برای اجرا و اعتبارسنجی مدل به طور تصادفی انتخاب و تقسیم شدند. در مرحله بعد از ۱۳ عامل زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، مورفومتریک حوضه به همراه داده‌های اقلیم (به عنوان متغیر مستقل) و به منظور پهنه‌بندی و مدل‌سازی استفاده شد. ارتباط بین عوامل موثر و رخدادهای زمین‌لغزش توسط شاخص نسبت‌فراوانی (FR)، کمی و وزن‌دار شدند. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت حاصل از اجرای ۶ مدل توسط شاخص‌های نسبت فراوانی و سطح سلول هسته (FR & SCAI) و سطح زیر منحنی ویژگی عملکرد گیرنده (AUC-ROC) مورد ارزیابی، اعتبارسنجی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد AUC-ROC برای مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر، مدل جنگل تصادفی، مدل حداکثرآنتروپی، سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی و مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰,۸۴،۰,۸۵،۰,۹۱،۰,۹۱،۰,۹۶،۰,۹۷ است. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به زمین‌لغزش حاصل از این پژوهش می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران ناشی از رخداد لغزش قرار گیرد. خروجی این پژوهش برای توسعه پروژه‌های آتی در ارگان‌های مختلف فعال در اکثر کشورهای در حال توسعه ضرورت خواهد داشت و به عنوان پایه‌ای به کاهش خطر لغزش و مدیریت آن کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی:
زمین‌لغزش، یادگیری ماشین، روش‌احتمالاتی دو متغیره، دوآب صمصامی

مقدمه

زمین‌لغزش را میتوان به عنوان بزرگترین و مخرب ترین مخاطرات طبیعی با پیامدهای بسیار وسیع اجتماعی و اقتصادی در سراسر جهان دانست. کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه خشک، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند شرایط برای لغزش کاملا مهیا شده است (Shirani et al., 2018). در عصر حاضر تجزیه و تحلیل حساسیت نسبت به زمین‌لغزش‌ها اطلاعات با ارزش و مهمی برای طیف وسیعی از کاربردها، از جمله برنامه های مدیریت کاربری زمین و جلوگیری از خسارات احتمالی فراهم میسازد (Yariyan et al., 2020). در همین راستا مدل سازی و توسعه نقشه های حساسیت نسبت به زمین‌لغزش به عنوان گام اولیه برای ارزیابی خطر، برنامه ریزی و حداقل رساندن زیان های اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه روش‌های جدیدی در صدد کاهش این رخداد ارائه گریده است که نسبت به شرایط زیست‌محیطی حوضه و عوامل فیزیکی آن داری مزیت‌های متفاوتی هستند و هر یک رویکرد، نتایج متمایزی را به همراه دارد. بنابراین برای تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش انتخاب بهترین روش مدل‌سازی کمی دشوار است. اما از آنجایی که روش های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی ساختاری غیرخطی دارند، نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر هستند. رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) یکی از قوی‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های یادگیری ماشین است، بسیاری از پژوهشگران از روش SVR به منظور مدل‌سازی استفاده کرده‌اند و نتایج خوبی به همراه داشته است (Balogun et al., 2021). سیستم استنتاج فازی عصبی_ تطبیقی (ANFIS) یکی از مناسب ترین رویکردها درزمینه پیش بینی مکانی خطر وقوع زمین لغزش است و بطور گسترده ای استفاده میشود. این مدل از کارامدترین روش ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالات و پیش بینی سیستم هاست که میزان دقت را بصورت کمی برآورد میکند (Polykretis et al., 2019). مدل حداکثرآنتروپی با ساختار نظریه حداکثر بی‌نظمی و همچنین مدل دمپسترشفر با یک رویکرد ریاضی متفاوت از نظریه بیزی، از جمله الگوریتم‌های هستند که با گستردگی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های احتمالاتی دومتغیره مورد توجه و استفاده پژوهش‌گران قرار گرفته است (Dempster 1967; Phillips at al., 2004)، جنگل تصادفی[1]یک روش یادگیری نظارت شده که نخستین بار توسط لئو برایمن[2]آدن‌کاتلر[3]توسعه یافته است و شبکه‌های عصبی

[1] Random forest
[2] Leo Breiman
[3] Adele Cutler

مصنوعی[1] به زبان ساده، سیستم‌ها و روش محاسباتی نوین برای یادگیری ماشین، نمایش دانش و در نهایت اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه ایجاد شده هستند (Breiman., 2001; Ardeshir et al. 2014). در این پژوهش حوضه‌ی آبخیز دوآب صمصامی واقع در استان چهارمحال و بختیاری در ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه برای تهیه و پهنه‌بندی نقشه حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش در نظر گرفته شد و تشخیص عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش و نقشه پراکنش مکان‌های دارای لغزش از گام‌های مهم تهیه نقشه حساسیت نسبت به زمین‌لغزش است. لذا با توجه به پیشینه پژوهش در منطقه‌ی استان چهارمحال و بختیاری و به منظور بررسی دقیق‌تر، براساس توپوگرافی و شرایط آبی- اقلیمی حوضه‌ی مورد نظر ۱۳ عامل زمین‌شناسی، هیدرولوژیک و مورفومتریک حوضه به همراه داده‌های اقلیم به عنوان عوامل مؤثر بر لغزش در نظر گرفته شدند. مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش با استفاده از ۶ مدل هوشمند رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر، مدل جنگل تصادفی، مدل حداکثرآنتروپی، سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی و مدل شبکه عصبی مصنوعی صورت پذیرفت. هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی و مقایسه ۶ مدل کارآمد ذکرشده و معرفی بهترین مدل به منظور پیش‌بینی لغزش می‌باشد. این امر منجر به افزایش محبوبیت این تکنیک و کمک به محققان در مطالعات آینده مرتبط با لغزش می‌گردد.

مواد و روش‌ها

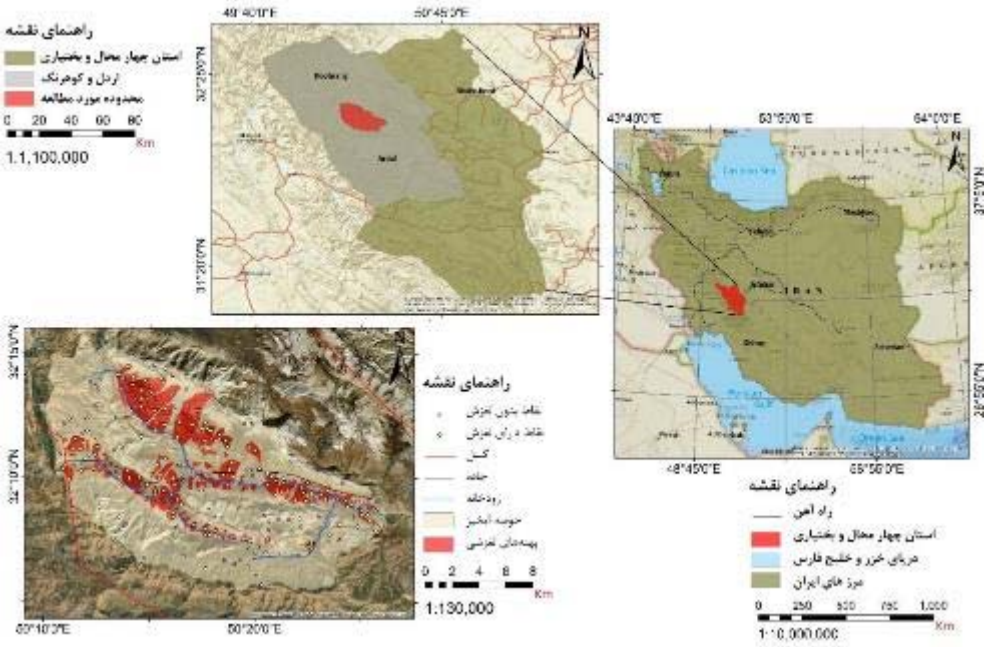
محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز دوآب صمصامی با مساحتی بالغ بر ۲۷۶ کیلومترمربع در غرب استان چهارمحال و بختیاری در شهرستان‌های کوهرنگ و اردل ما بین طول‌های جغرافیایی "۱۰ و '۱۱ و °۵۰ تا "۲۴ و '۲۶ و °۵۰ شرقی و عرض‌های "۴۲ و '۰۸ و °۳۲ تا "۳۳ و '۱۰ و °۳۲ شمالی قرار دارد. این حوضه آبخیز با عرصه‌های منابع طبیعی غنی از تنوع ژنتیکی گیاهی، از نظر هیدرولوژیکی حوضه‌ی کشیده با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. رودخانه بزرگ دوآب صمصامی به عنوان زهکش اصلی حوضه پس از پیوستن دو رودخانه مهم این منطقه شامل آب کوفی و دزداران در شمال غرب حوضه تشکیل می‌گردد. شیب متوسط حوضه ۱۷ درجه، ارتفاع متوسط ۲۵۵۳ متر از سطح دریا با حداکثر ارتفاع ۴۲۲۱ متر و ضریب برف‌گیری ۳۴ تا ۵۹ درصد در سال‌های مختلف می‌باشد. دو جاده اصلی شهرکرد- مسجد سلیمان و شهرکرد- ایذه مسیرهای دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۱).

نقشه پراکنش زمین‌لغزش

[1] Atificial Neural Networks

در این پژوهش به منظور مدل‌سازی در پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین لغزش از داده‌های مکانی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته استفاده گردید. در راستای تهیه این نقشه با استفاده از مشاهدات میدانی، ثبت مکانی لغزش‌ها به کمک دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، نقشه حاصل از پردازش تصاویر راداری سنجنده اروپایی ایسار بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱، تصاویر گوگل ارث به منظور ترسیم و تدقیق، تعداد ۱۷۰ پهنه لغزشی شناسایی شد (شکل ۱). زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوع زمین‌لغزش‌های سطحی، چرخشی، انتقالی، سنگ‌افت و مرکب می‌باشند (شکل ۳). داده‌های مکانی پراکنش زمین‌لغزش در قالب دو دسته آموزشی و آزمایشی به ترتیب به نسبت ۷۰ درصد به منظور اجرا و توسعه و ۳۰ درصد به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها با تعداد ۱۰۴ نقطه دارای لغزش و ۱۰۴ نقطه بدون لغزش در شیب‌های کمتر از ۵% به صورت کاملا تصادفی در محیط ArcGIS®10.5 تقسیم و انتخاب گردیدند.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و نقشه پراکنش زمین‌لغزش

روش تهیه نقشه‌ی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش شامل ۵ مرحله اصلی است (شکل ۲): مرحله اول انتخاب منطقه مورد مطالعه، جمع‌آوری و آماده‌سازی نقشه‌های عوامل موثر، دوم تهیه نقشه پراکنش رخداد زمین‌لغزش، سوم وزن‌دهی، کمی کردن عوامل مؤثر، چهارم اجرای مدل‌های ANFIS، SVR، RF، ANN، دمپستر شفر و حداکثرآنتروپی، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد

زمین‌لغزش و طبقه‌بندی آنها به پنج رده خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد و پنجم ارزیابی دقت طبقه‌بندی و اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش و معرفی مناسب‌ترین مدل میباشد.

جمع‌آوری اطلاعات و تهیه عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش

شکل ۲- نقشه راه پژوهش

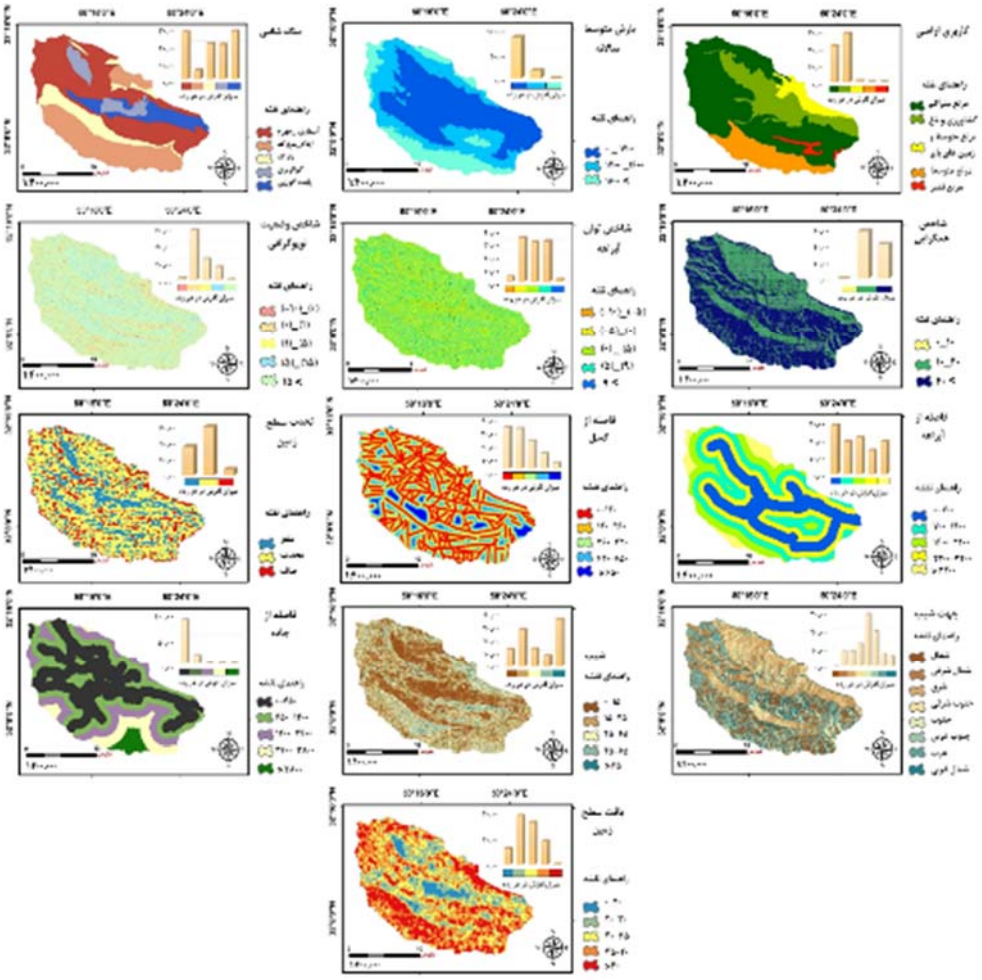
پیش‌نیاز توسعه و برازش تمامی مدل‌ها برای ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی، تهیه و آماده‌سازی متغیرهای مستقل (نقشه عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش) و وابسته (نقشه پراکنش لغزش‌ها) مورد نیاز می‌باشد. به منظور جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های مکانی مورد نیاز برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۲۰ لندست (OLI) ۸ با دقت ۱۵ متر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، کاربری اراضی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی و پردازش قرار گرفت. مدل رقومی ارتفاعی DEM پالسار ۲ سال ۲۰۰۶ با دقت ۱۲,۵ متر مربوط به ماهواره ALOS ژاپن از جمله داده‌های مکانی است که نقش موثری در تهیه و آماده‌سازی عوامل ژئومورفومتریک تاثیرگذار بر ناپایداری و زمین‌لغزش ایفاء می‌کند. لذا به منظور تهیه ۱۰ عامل از بین ۱۳ عامل موثر انتخابی شامل شیب، جهت شیب، شاخص وضعیت توپوگرافی (TPI) ، شاخص توان آبراهه (SPI)، تحدب سطح زمین، بافت سطح زمین و شاخص همگرایی و فاصله از آبراهه، از مدل رقومی ارتفاعی DEM پالسار ماهواره آلوس ژاپن و نرم افزار SAGA GIS®7.7.1 استفاده گردید (جدول ۱).

پنج عامل دیگر شامل عوامل ذاتی سنگ شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از جاده و میانگین بارش سالیانه با استفاده از نقشه‌های موجود و تدقیق آنها به شرحی که در ادامه آمده است، تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی و فاصله از گسل و تراکم خطواره با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه گردیدند . نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات و نقشه‌های کاربری اراضی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و همچنین تدقیق آنها با استفاده از تصاویر رقومی ماهواره لندست ۲۰۲۰ لندست ۸ تهیه گردید. برای تهیه نقشه هم‌بارش سالیانه از آمار بارش متوسط سالانه ایستگاه‌های هواشناسی اداره هواشناسی و وزارت نیرو شامل ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن، بن، سامان، کوهرنگ، لردگان، اورگان، امام قیس، بلداجی، دوآب صمصامی، شلمزار و ناغان و همبستگی رگرسیونی با ارتفاع به منظور تهیه نقشه بارش متوسط منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نقشه حاصل از پردازش تصاویر راداری سنجنده ایسار از ماهواره اروپای انویست بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱، تصاویر گوگل ارث به منظور تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه شناسایی، ترسیم، تدقیق و شناسایی گردیدند (شکل ۱). کلیه نقشه‌های عوامل موثر و پراکنش رخداد زمین‌لغزش در محیط ArcGIS®10.8 در قالب فرمت سلولی (رستری) با اندازه سلولی ۳۰*۳۰ متر مربع بصورت یکسان و مشابه برای تمامی عوامل تاثیرگذار بر زمین‌لغزش پردازش گردیدند. همچنین به منظور آماده‌سازی، ورود، برازش و مدل‌سازی از نرم‌افزارهای بانک اطلاعاتی Excel®2016 استفاده شد. نهایتاً ۱۳ عامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش بر اساس سابقه پژوهش و روابط منطقی بین آنها با رخداد زمین‌لغزش به عنوان عوامل یا متغیرهای مستقل در محیط SAGA GIS®7.7.1 و ArcGIS®10.8 تهیه و طبقه‌بندی گردیدند (شکل ۳). لازم به ذکر است معیار تعیین آستانه‌های طبقات هر عامل در محیط ArcGIS®10.5، وضعیت فراوانی آماری توزیع پیکسل‌ها در نظر گرفته شد. در حالت نرمال بودن فراوانی پیکسل‌ها از الگوریتم طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی (Natural breaks) و در حالت غیر نرمال از الگوریتم فواصل ژئومتریک (Geometrical interval) استفاده شد (Shirani et al., 2018).

مدل‌سازی نقشه‌های حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش

رگرسیون بردار پشتیبان

روش رگرسیون بردار پشتیبان مستقیما از نظریه یادگیری آماری وپنیک به نام ماشین‌های بردار پشتیبان استخراج شده است. ماشین‌های بردار پشتیبان برای مسائل طبقه بندی به کار می‌روند. بعدها الگوریتم آن‌ها برای کار با مسائل رگرسیون یا تخمین داده‌ها توسعه یافت. این الگوریتم جدید رگرسیون بردار پشتیبان نامیده شد (Smola & Schölkopf, 1998). رگرسیون بردار پشتیبان روشی است که با اتکا بر مبنای ماشین بردار پشتیبان می‌تواند به عنوان رگرسیون در مسائل مهندسی عمل کند.



شکل ۳- عوامل تاثیرگذار بر لغزش

سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی

اخیراً منطق فازی برای مدل سازی فرآیندهای مهندسی و حل ویژگی های مبهم آن ها پیشنهاد شده است. با وجود این، مشکل اصلی منطق فازی این است که روند سینماتیکی برای طراحی یک کنترل کننده فازی وجود ندارد. به عبارت دیگر، یک شبکه عصبی این توانایی را دارد که از محیط آموزش ببیند (جفت های ورودی–خروجی)، ساختارش را خود مرتب کند و با شیوه ای، تعامل خود را تطبیق دهد.

بدین منظور پروفسور جانگ[1] در سال ۱۹۹۳ مدل ANFIS را ارائه کرد که قابلیت ترکیب توانایی دو روش مذکور را داشت (Jang & Gulley, 1995).

جنگل تصادفی

این الگوریتم از تلفیق درخت رگرسیون و طبقه‌بندی حاصل می‌شود که در سال ۲۰۰۱ پا به عرصه ظهور گذاشت و تا به امروزه یکی از قابل قبول‌ترین الگوریتم‌های یادگیری می‌باشد. این الگوریتم به‌دلیل سادگی یکی از پر کاربردترین مدل‌ها به‌شمار می‌رود (Breiman., 2001).

شبکه عصبی مصنوعی

این سیستم در حقیقت یک سیستم پردازش اطلاعات است که دارای خصوصیات و رفتار مشابه با شبکه سلول‌های عصبی انسان می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی برگرفته از سلول‌های مغز انسان با قدرت یادگیری و سرعت بالا، در واقع یک مدل ریاضی است که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط ریاضی غیرخطی را برای درون‌یابی دارد (Ardeshir et al. 2014).

دمپستر شفر

تئوری دمپسترشفر به عنوان تابع اعتقادات خود تعمیمی از تئوری بیزین و مبتنی بر احتمالات است. این مدل برای وزن‌دهی رده‌های عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش اجرایی می‌شود (Dempster., 2008)

حداکثر آنتروپی

مدل حداکثر آنتروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که بصورت گسترده در سال‌های اخیر برای جنبه‌های مختلف مدل‌سازی منابع طبیعی به خصوص زمین‌لغزش استفاده گردیده است. مدل حداکثر آنتروپی فقط بر اساس موقعیت زمین‌لغزش‌ها مدل‌سازی را انجام می‌هد. در حالی‌که مدل‌های آماری و سایر روش‌ها علاوه بر موقعیت‌های وقوع زمین‌لغزش، نیازمند موقعیت‌های عدم وقوع زمین‌لغزش نیز هستند. این مدل قادر است توزیع احتمالاتی داده‌های هر یک از لایه‌های رستری مربوط به عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش را استخراج نماید. در نهایت مدلی بدست می‌آید که دارای بیشترین قدرت تشخیص مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها پهنه‌بندی می‌گردد (park., 2015). مدل حداکثر آنتروپی با استفاده از بسته نرم افزاری متن باز Maxent با سرعت و دقت خوب در ارزیابی عوامل موثر و اعتبارسنجی پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش می‌تواند بکار گرفته شد.

[1] Jang

ارزیابی طبقه‌بندی و اعتبارسنجی مدل

به منظور ارزیابی دقت تفکیک بین طبقات در هر مدل از نسبت فراوانی (FR)[2]و شاخص سطح سلول هسته (SCAI)[3]و برای اعتبارسنجی، بررسی دقت، ویژگی عملکرد گیرنده (ROC) و مقدار سطح زیر منحنی (AUC)[4]استفاده گردید. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند، لذا از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI دو شاخصی هستند که دقت طبقه‌بندی مدل را می‌توانند تعیین کنند. به‌عبارت دیگر نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغزشی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه می‌باشد و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه یا درصد هسته (Seed%) است هر دو شاخص که از نظر مقدار، رابطه عکس با همدیگر دارند، برای ارزیابی دقت تفکیک طبقات مدل استفاده می‌گردد (شیرانی و همکاران ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از هم‌پوشانی نقشه پراکنش لغزش و هریک از ۱۳ نقشه طبقه‌بندی شده عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش، بر اساس شاخص نسبت فراوانی (FR) در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ - میزان تاثیرگذاری هر عامل بر رخداد زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه

عامل موثر بر زمین‌لغزش	طبقه بندی	مساحت لغزش (هکتار)	مساحت رده (هکتار)	نسبت فراوانی FR	دمپستر شفر				حداکثر آنتروپی
					باور	ناباوری	ابهام	مطلوبیت	
جهت شیب	شمال	۹۹۳/۱۹	۲۷۴۴/۸۸	۱/۹۹	۰/۰۳۵	۰/۱۴۷	۰/۸۱۸	۰/۸۵۳	۱۰۵/۱
	شمال شرقی	۱۴۸۱/۶۹	۴۹۲۲/۷۴	۱/۶۶	۰/۰۳۶	۰/۱۴۷	۰/۸۱۷	۰/۸۵۳	
	شرق	۴۴۶/۹۸	۳۰۰۸/۶۶	۰/۸۲	۰/۰۵۳	۰/۱۳۱	۰/۸۱۶	۰/۸۶۹	
	جنوب شرقی	۴۶۱/۹۶	۵۰۶۷/۳۷	۰/۵۰	۰/۰۸۷	۰/۱۲۴	۰/۷۸۹	۰/۸۷۶	
	جنوب	۲۳۱/۵۹	۲۹۲۳/۷۵	۰/۴۴	۰/۱۸۰	۰/۱۰۷	۰/۷۱۳	۰/۸۹۳	

2 Frequency Ratio
3 Seed Cell Area Index
4 Area Under Curve

عامل موثر بر زمین‌لغزش	طبقه بندی	مساحت لغزش (هکتار)	مساحت رده (هکتار)	نسبت فراوانی FR	دمپستر شفر			حداکثر آنتروپی
					باور	ناباوری	ابهام	مطلوبیت	
	جنوب غربی	۴۲۱/۹۷	۴۰۶۱/۴۳	۰/۵۷	۰/۳۹۵	۰/۰۹۶	۰/۵۰۹	۰/۹۰۴	
	غرب	۳۴۳/۴۹	۱۹۸۳/۸۸	۰/۹۵	۰/۱۷۰	۰/۱۱۸	۰/۷۱۲	۰/۸۸۲	
	شمال غربی	۶۳۶/۱۴	۲۹۱۳/۲۸	۱/۲۰	۰/۰۴۵	۰/۱۳۰	۰/۸۲۵	۰/۸۷۰	
سنگ‌شناسی	آسماری جهرم	۱۳۵۶/۵۷	۱۱۹۵۶/۲۸	۰/۶۲	-۰/۰۳۴	۰/۲۷۹	۰/۷۵۵	۰/۷۲۱	۱۲/۴۷۳
	ایلام سروک	۲۴۸/۰۰	۷۶۹۸/۲۶	۰/۱۸	-۰/۰۰۸	۰/۲۹۲	۰/۷۱۶	۰/۷۰۸	
	رازک	۱۰۲۷/۰۸	۲۷۳۱/۵۵	۲/۰۷	-۰/۳۵۷	۰/۱۵۰	۱/۲۰۷	۰/۸۵۰	
	کواترنری	۹۹۵/۲۸	۱۸۷۰/۳۷	۲/۹۳	۱/۹۴۴	۰/۱۴۴	-۱/۰۸۸	۰/۸۵۶	
	پابده گورپی	۱۳۹۰/۰۷	۳۳۶۹/۵۴	۲/۲۷	-۰/۵۴۵	۰/۱۳۶	۱/۴۰۹	۰/۸۶۴	
بارش سالیانه	۰-۱۲۰۰	۴۱۰۵/۴۷	۱۳۱۸۶/۵۰	۱/۷۱	۰/۸۶۹	۰/۱۴۲	-۰/۰۱۱	۰/۸۵۸	۳۹/۶۷۲
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۸۹۸/۷۳	۸۹۱۷/۵۴	۰/۵۵	۰/۱۳۰	۰/۴۱۵	۰/۴۵۵	۰/۵۸۵	
	۱۶۰۰<	۱۲/۸۰	۵۵۲۱/۹۶	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۴۲	۰/۵۵۶	۰/۵۵۸	
شیب	۰-۱۵	۲۸۸۵/۸۰	۸۸۷۷/۶۳	۱/۷۹	۰/۱۹۵	۰/۱۸۷	۰/۶۱۸	۰/۸۱۳	۴/۷۲۱
	۱۵-۲۵	۱۵۵۵/۵۱	۹۷۵۰/۱۴	۰/۸۸	۰/۵۲۸	۰/۱۵۲	۰/۳۲۰	۰/۸۴۸	
	۲۵-۴۵	۴۷۲/۵۴	۵۸۰۳/۷۶	۰/۴۵	۰/۲۰۲	۰/۱۲۷	۰/۶۷۱	۰/۸۷۳	
	۴۵-۶۵	۱۰۰/۲۵	۲۷۶۷/۰۶	۰/۲۰	۰/۰۶۰	۰/۲۱۳	۰/۷۲۸	۰/۷۸۷	
	۶۵<	۲/۹۰	۴۲۷/۴۱	۰/۰۴	۰/۰۱۶	۰/۳۲۲	۰/۶۶۳	۰/۶۷۸	
فاصله از گسل	۰-۱۲۰	۱۵۸۲/۶۷	۸۳۷/۵۱	۱۰/۴۱	۰/۱۶۳	۰/۲۱۰	۰/۶۲۷	۰/۷۹۰	۲/۶۱۳
	۱۲۰-۲۶۰	۱۵۴۷/۹۷	۲۹۵۷/۵۲	۲/۸۸	۰/۱۶۶	۰/۲۰۳	۰/۶۳۱	۰/۷۹۷	
	۲۶۰-۴۲۰	۱۰۷۵/۹۸	۵۶۷۵/۰۴	۱/۰۴	۰/۱۸۷	۰/۲۰۰	۰/۶۱۳	۰/۸۰۰	
	۴۲۰-۶۵۰	۵۸۰/۲۹	۸۵۳۰/۰۶	۰/۳۷	۰/۱۹۹	۰/۱۹۵	۰/۶۰۷	۰/۸۰۵	
	۶۵۰<	۲۳۰/۱۰	۹۶۲۵/۸۷	۰/۱۳	۰/۲۸۶	۰/۱۹۲	۰/۵۲۲	۰/۸۰۸	
کاربری اراضی	مرتع متراکم	۲۱۰۱/۵۶	۱۵۵۴۲/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۱۹	۰/۳۰۱	۰/۶۱۸	۰/۶۹۹	۰/۰۰۱
	کشاورزی و باغ	۲۸۲۰/۹۴	۵۸۸۹/۱۴	۲/۶۴	۰/۹۷۴	۰/۰۸۰	-۰/۰۵۴	۰/۹۲۰	
	مرتع متوسط و زمین های	۸۵/۶۰	۱۷۲۶/۴۱	۰/۲۷	۰/۰۰۶	۰/۱۹۷	۰/۷۹۸	۰/۸۰۳	
	مرتع متوسط	۱/۳۰	۳۹۵۷/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۵	۰/۷۶۵	۰/۷۶۵	
	مرتع فقیر	۷/۶۰	۵۱۰/۶۰	۰/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۱۸۸	۰/۸۱۱	۰/۸۱۲	
فاصله از جاده	۰-۶۵۰	۴۰۶۹/۹۲	۱۲۰۰۹/۸۳	۱/۸۷	۰/۷۲۰	۰/۱۲۹	۰/۱۵۰	۰/۸۷۱	۹/۵۸۶
	۶۵۰-۱۴۰۰	۷۴۲/۹۹	۷۴۴۶/۰۸	۰/۵۵	۰/۲۲۰	۰/۱۳۳	۰/۶۴۷	۰/۸۶۷	
	۱۴۰۰-۲۴۰۰	۹۴/۵۰	۲۵۶۰/۸۳	۰/۲۰	۰/۰۴۲	۰/۲۳۹	۰/۷۱۹	۰/۷۶۱	
	۲۴۰۰-۳۸۰۰	۱۰۹/۶۰	۴۵۷۲/۳۵	۰/۱۳	۰/۰۰۶	۰/۲۸۴	۰/۷۱۰	۰/۷۱۶	
	۳۸۰۰<	۰/۰۰	۱۰۳۶/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۱۱	۰/۲۱۵	۰/۷۷۴	۰/۷۸۵	
	(۰)-(-۱۰)	۱۱۷/۳۵	۱۸۹۲/۷۳	۰/۳۴	۰/۰۶۳	۰/۲۱۳	۰/۷۲۴	۰/۷۸۷	

عامل موثر بر زمین‌لغزش	طبقه بندی	مساحت لغزش (هکتار)	مساحت رده (هکتار)	نسبت فراوانی FR	دمپستر شفر			حداکثر آنتروپی
					باور	ناباوری	ابهام	مطلوبیت	
شاخص وضعیت توپوگرافی	(۰)-(۱)	۵۴/۴۵	۸۵۰/۰۰	۰/۳۵	۰/۱۹۹	۰/۲۲۰	۰/۵۸۱	۰/۷۸۰	۵/۴۷۰
	(۱)-(۵)	۷۴۶/۳۵	۵۰۶۶/۴۰	۰/۸۱	۰/۴۶۷	۰/۱۳۴	۰/۳۹۹	۰/۸۶۶	
	(۵)-(۱۵)	۲۸۸۵/۹۰	۱۴۱۲۹/۷۷	۱/۱۲	۰/۲۳۳	۰/۲۱۳	۰/۵۵۳	۰/۷۸۷	
	۱۵<	۱۲۱۲/۹۴	۵۶۸۷/۱۰	۱/۱۷	۰/۰۳۷	۰/۲۲۱	۰/۷۴۳	۰/۷۷۹	
بافت سطح زمین	۰-۲۰	۱۷/۳۵	۵۹۱۴/۹۲	۰/۰۲	۰/۷۸۹	۰/۱۵۳	۰/۰۵۸	۰/۸۴۷	۱/۰۶۲
	۲۰-۳۰	۸۸۹/۷۴	۹۵۸۷/۴۳	۰/۵۱	۰/۱۴۳	۰/۱۳۸	۰/۷۱۹	۰/۸۶۲	
	۳۰-۳۵	۱۶۲۵/۳۷	۶۲۸۵/۳۷	۱/۴۲	۰/۰۵۰	۰/۲۱۶	۰/۷۳۴	۰/۷۸۴	
	۳۵-۴۰	۱۸۷۲/۸۵	۴۶۰۳/۹۱	۲/۲۴	۰/۰۱۳	۰/۲۶۸	۰/۷۱۹	۰/۷۳۲	
	۴۰<	۶۱۱/۶۸	۱۲۳۴/۳۶	۲/۷۳	۰/۰۰۵	۰/۲۲۵	۰/۷۷۰	۰/۷۷۵	
فاصله از آبراهه	۰-۷۰۰	۲۴۲۴/۸۵	۸۲۲۲/۴۹	۱/۶۲	۰/۴۹۹	۰/۱۳۲	۰/۳۶۹	۰/۸۶۸	۶/۶۰۱
	۷۰۰-۱۴۰۰	۱۱۲۳/۵۸	۷۰۸۴/۸۲	۰/۸۷	۰/۱۹۴	۰/۱۹۶	۰/۶۱۰	۰/۸۰۴	
	۱۴۰۰-۲۲۰۰	۸۶۳/۵۸	۶۴۷۸/۲۴	۰/۷۳	۰/۱۲۸	۰/۲۱۶	۰/۶۵۶	۰/۷۸۴	
	۲۲۰۰-۳۲۰۰	۴۵۶/۳۹	۴۰۲۱/۹۰	۰/۶۲	۰/۱۱۳	۰/۲۳۴	۰/۶۵۳	۰/۷۶۶	
	۳۲۰۰<	۱۴۸/۶۰	۱۸۱۸/۵۵	۰/۴۵	۰/۰۶۶	۰/۲۲۲	۰/۷۱۲	۰/۷۷۸	
شاخص توان آبراهه	(-۵)-(-۱۰)	۱۵۴۳/۷۷	۹۴۵۵/۷۰	۰/۹۰	۰/۳۸۵	۰/۱۶۴	۰/۴۵۰	۰/۸۳۶	۳/۷۶۹
	(۰)-(-۵)	۱۶۸۴/۹۷	۹۸۴۶/۴۱	۰/۹۴	۰/۰۶۸	۰/۲۴۰	۰/۶۹۲	۰/۷۶۰	
	(۵)-(۰)	۸۴/۲۰	۴۷۷/۳۱	۰/۹۷	۰/۲۲۰	۰/۱۸۲	۰/۵۹۸	۰/۸۱۸	
	(۹)-(۵)	۱۵۱۹/۳۷	۷۲۶۵/۰۸	۱/۱۵	۰/۱۴۸	۰/۲۱۵	۰/۶۳۷	۰/۷۸۵	
	۹<	۱۸۴/۷۰	۵۸۱/۵۱	۱/۷۵	۰/۱۷۸	۰/۱۹۸	۰/۶۲۴	۰/۸۰۲	
تحدب سطح زمین	مقعر	۱۷۲۸/۳۷	۶۴۶۳/۶۹	۱/۴۷	۰/۵۱۳	۰/۲۸۰	۰/۲۰۷	۰/۷۲۰	۱/۶۹۲
	محدب	۲۹۴۲/۶۴	۱۶۶۵۰/۷۴	۰/۹۷	۰/۳۱۰	۰/۳۱۰	۰/۳۸۰	۰/۶۹۰	
	صاف	۳۴۵/۹۹	۴۵۱۱/۵۷	۰/۴۲	۰/۱۷۷	۰/۴۱۰	۰/۴۱۳	۰/۵۹۰	
شاخص همگرایی	۰-۱۰	۰/۴۶	۴/۶۱	۰/۵۵	۰/۷۰۱	۰/۱۷۹	۰/۱۲۰	۰/۸۲۱	۴/۸۷۷
	۱۰-۴۰	۲۱۱۱/۶۷	۲۶۰۹۶/۳۶	۰/۴۵	۰/۱۸۷	۰/۳۵۳	۰/۴۶۰	۰/۶۴۷	
	۴۰<	۲۹۰۴/۸۷	۱۵۲۵/۰۲	۱۰/۴۹	۰/۱۱۲	۰/۴۶۸	۰/۴۲۰	۰/۵۳۲	

نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش

نتایج حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش نشان داد (شکل ۴) در مدل جنگل تصادفی سطح رده‌های حساسیت خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی‌کم به ترتیب با

نسبت‌های ۲۵,۰۳،۱۴,۹۹،۱۲,۸۲،۱۴,۶۵،۳۲,۵۰، مدل شبکه عصبی مصنوعی با ۲۷,۰۰،۳۱,۱۷،۶,۷۲،۲۰,۳۸،۱۴,۷۳، مدل دمپسترشفر با ۱۲/۵۳، ۱۸/۹۰، ۲۲/۱۳، ۲۷/۵۹ و ۱۸/۸۵، مدل حداکثرآنتروپی با ۸/۲۴، ۱۱/۳۵، ۱۱/۵۹، ۱۳/۴۶، ۵۵/۳۷، مدل رگرسیون بردار پشتیبان با ۱۵,۵۸،۱۷,۷۰،۲۰,۶۴،۲۳,۱۲،۲۲,۹۶ و مدل سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی با ۲۵,۰۷،۴,۶۴،۴,۵۷،۵,۵۲،۶۰,۱۹ درصد از سطح ۲۷۶ کیلومتر مربعی منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند (جدول ۲، شکل ۴و۵).

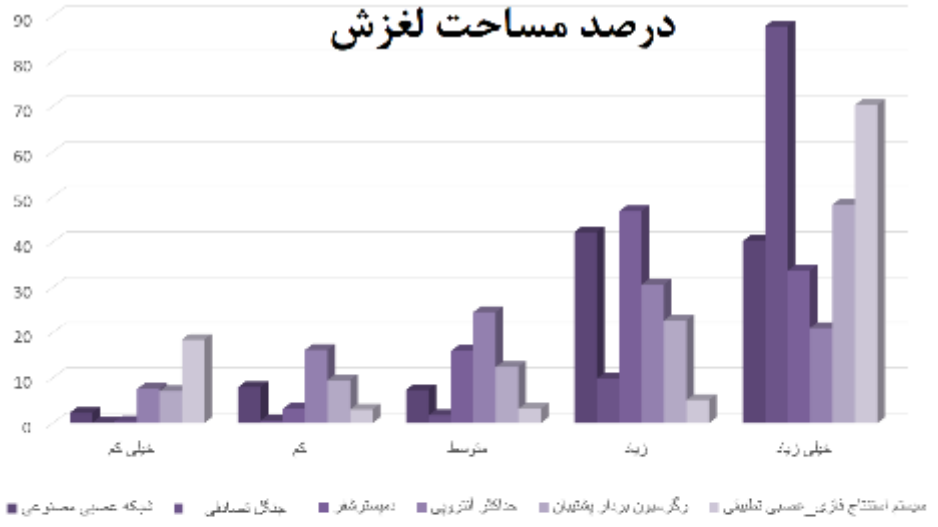
نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی و اعتبارسنجی مدل‌ها

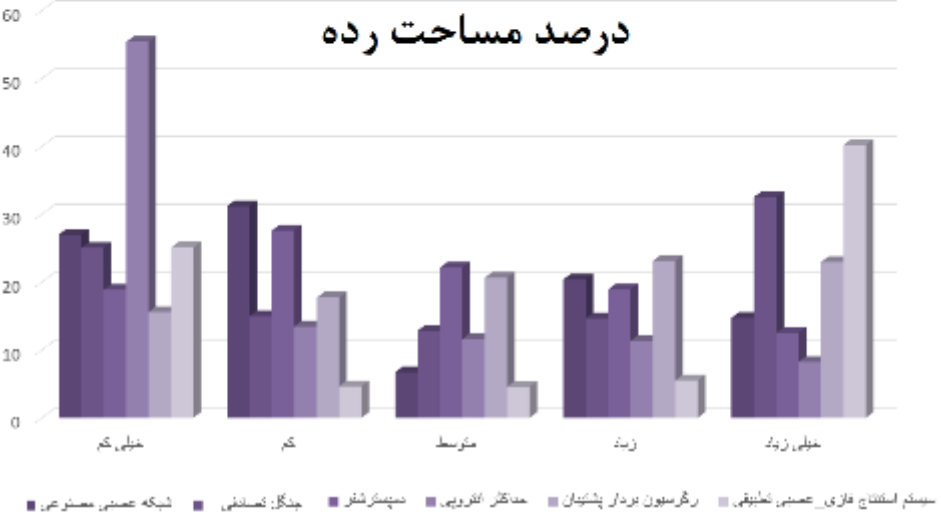
نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های نسبت‌فراوانی (FR) و سطح سلول‌هسته (SCAI) به منظور ارزیابی دقت تفکیک طبقه‌بندی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش حاصل از اجرای مدل‌ها نشان می‌دهد مدل جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی در از مطلوبیت مناسب‌تری برخوردار است (جدول۲ و شکل ۶). همانطور که شکل ۶ نشان می‌دهد روند صعودی شاخص نسبت‌فراوانی (FR) و نزولی شاخص سطح سلول‌هسته (SCAI) بصورت معکوس یکدیگر از رده‌های حساسیت خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد می‌باشند. مقدار شاخص نسبت‌فراوانی در هر دو مدل از رده خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد، دارای روند افزایشی است. نتایج منحنی ROC به منظور اعتبارسنجی، ارزیابی، مقایسه و پیش‌بینی در مدل رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر، مدل جنگل تصادفی، مدل حداکثرآنتروپی، سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی و مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰,۸۴،۰,۸۵،۰,۹۱،۰,۹۱،۰,۹۶،۰,۹۷ نشان میدهد رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر و مدل جنگل تصادفی از کارآمدی و مطلوبیت بیشتری در پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد (شکل ۷).

جدول ۲ - مساحت رده‌های حساسیت و رخداد زمین‌لغزش، نسبت فراوانی و SCAI

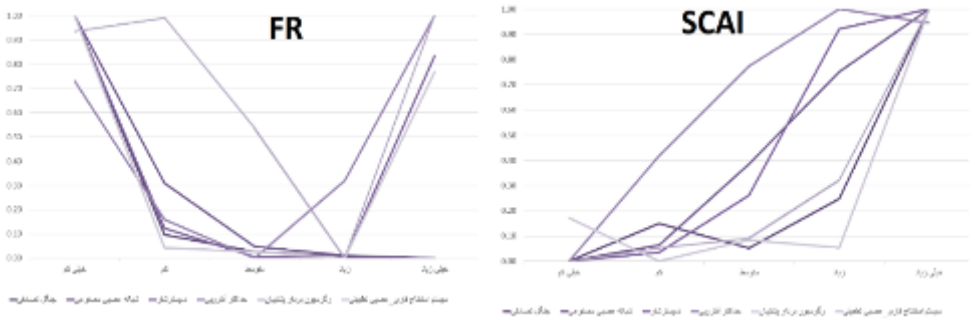
نام مدل	رده حساسیت لغزش	مساحت لغزش (هکتار)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده (هکتار)	درصد مساحت رده	درصد نسبت فراوانی (FR)	درصد Seed	SCAI
جنگل تصادفی	خیلی کم	۵	۰/۰۹	۶۹۱۵	۲۵/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۹	۲۶۸/۳۵
	کم	۲۹	۰/۵۸	۴۱۴۲	۱۴/۹۹	۰/۰۴	۰/۵۸	۲۵/۹۸
	متوسط	۸۹	۱/۷۷	۳۵۴۱	۱۲/۸۲	۰/۱۴	۱/۷۷	۷/۲۳
	زیاد	۴۹۵	۹/۸۶	۴۰۴۸	۱۴/۶۵	۰/۶۷	۹/۸۶	۱/۴۹
	خیلی زیاد	۴۴۰۰	۸۷/۷۰	۸۹۸۰	۳۲/۵۰	۲/۷۰	۸۷/۷۰	۰/۳۷
	خیلی کم	۱۱۴	۲/۲۶	۷۴۵۸	۲۷/۰۰	۰/۰۸	۲/۲۶	۱۱/۹۲

نام مدل	رده حساسیت لغزش	مساحت لغزش (هکتار)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده (هکتار)	درصد مساحت رده	درصد نسبت (فراوانی FR)	درصد Seed	SCAI
شبکه عصبی مصنوعی	کم	۳۹۷	۷/۹۲	۸۶۱۱	۳۱/۱۷	۰/۲۵	۷/۹۲	۳/۹۳
	متوسط	۳۷۰	۷/۳۷	۱۸۵۸	۶/۷۲	۱/۱۰	۷/۳۷	۰/۹۱
	زیاد	۲۱۱۹	۴۲/۲۳	۵۶۳۱	۲۰/۳۸	۲/۰۷	۴۲/۲۳	۰/۴۸
	خیلی زیاد	۲۰۱۸	۴۰/۲۲	۴۰۶۸	۱۴/۷۳	۲/۷۳	۴۰/۲۲	۰/۳۷
دمپسترش فر	خیلی‌کم	۱۶/۷۱	۰/۳۳	۵۲۰۸/۶۲	۱۸/۸۵	۰/۰۲	۰/۳۳	۵۶/۶۰
	کم	۱۵۸/۷۷	۳/۱۶	۷۶۲۰/۷۲	۲۷/۵۹	۰/۱۱	۳/۱۶	۸/۷۲
	متوسط	۸۰۰/۱۳	۱۵/۹۵	۶۱۱۳/۲۸	۲۲/۱۳	۰/۷۲	۱۵/۹۵	۱/۳۹
	زیاد	۲۳۵۰/۲۵	۴۶/۸۵	۵۲۲۱/۷۰	۱۸/۹۰	۲/۴۸	۴۶/۸۵	۰/۴۰
	خیلی‌زیاد	۱۶۹۱/۱۴	۳۳/۷۱	۳۴۶۱/۶۸	۱۲/۵۳	۲/۶۹	۳۳/۷۱	۰/۳۷
حداکثر آنتروپی	خیلی‌کم	۳۷۸/۱۹	۷/۵۴	۱۵۲۹۵/۶۳	۵۵/۳۷	۰/۱۴	۷/۵۴	۷/۳۴
	کم	۸۱۳/۹۹	۱۶/۲۲	۳۷۱۷/۳۲	۱۳/۴۶	۱/۲۱	۱۶/۲۲	۰/۸۳
	متوسط	۱۲۳۰/۹۴	۲۴/۵۴	۳۲۰۲/۳۳	۱۱/۵۹	۲/۱۲	۲۴/۵۴	۰/۴۷
	زیاد	۱۵۳۷/۸۹	۳۰/۶۵	۳۱۳۵/۴۲	۱۱/۳۵	۲/۷۰	۳۰/۶۵	۰/۳۷
	خیلی‌زیاد	۱۰۵۵/۹۹	۲۱/۰۵	۲۲۷۵/۳۰	۸/۲۴	۲/۵۶	۲۱/۰۵	۰/۳۹
رگرسیون بردار پشتیبان	خیلی کم	۳۵۳	۷,۰۵	۳۵۲۳	۱۵,۵۸	۰,۰۰۰	۹,۶۶	۱,۰۰۰
	کم	۴۷۸	۹,۵۳	۴۰۰۲	۱۷,۷۰	۰,۰۵۲	۱۱,۵۱	۰,۹۳۶
	متوسط	۶۲۳	۱۲,۴۳	۴۶۶۵	۲۰,۶۴	۰,۰۹۱	۱۲,۸۷	۰,۹۹۱
	زیاد	۱۱۳۸	۲۲,۷۰	۵۲۲۶	۲۳,۱۲	۰,۳۲۱	۲۰,۹۹	۰,۵۳۶
	خیلی زیاد	۲۴۲۳	۴۸,۳۰	۵۱۹۰	۲۲,۹۶	۱,۰۰۰	۴۴,۹۷	۰,۰۰۰
سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی	خیلی کم	۹۲۵	۱۸,۴۴	۵۶۶۷	۲۵,۰۷	۰,۱۷۲	۱۸,۶۶	۱,۰۰۰
	کم	۱۵۰	۳,۰۰	۱۰۴۹	۴,۶۴	۰,۰۰۰	۱۵,۵۰	۰,۰۴۳
	متوسط	۱۵۸	۳,۱۶	۱۰۳۴	۴,۵۷	۰,۰۸۵	۱۶,۵۶	۰,۰۲۶
	زیاد	۲۵۶	۵,۱۲	۱۲۴۹	۵,۵۲	۰,۰۵۳	۲۲,۲۴	۰,۰۰۰
	خیلی زیاد	۳۵۲۶	۷۰,۲۹	۱۳۶۰۸	۶۰,۱۹	۱,۰۰۰	۲۸,۰۳	۰,۷۶۹

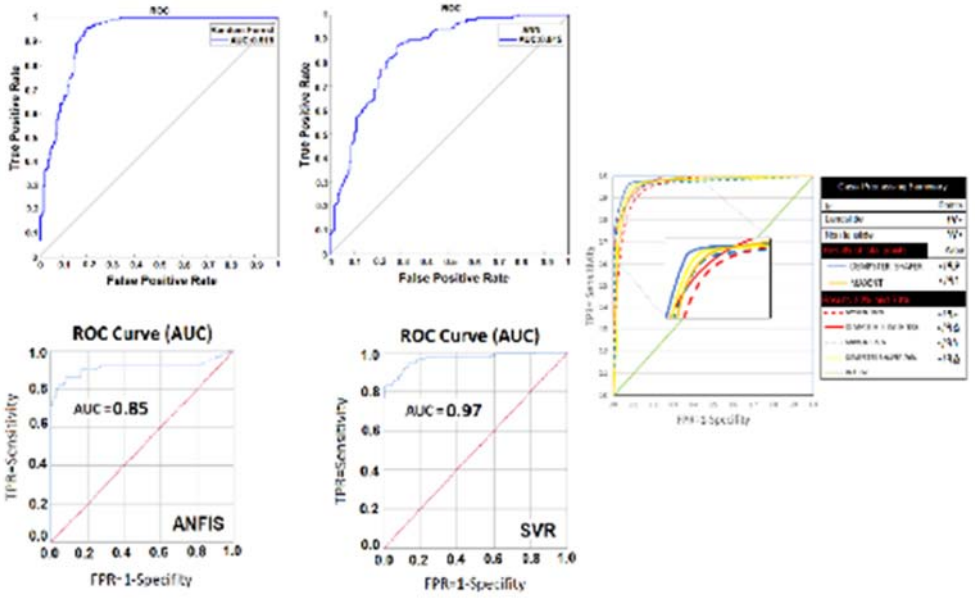




شکل ۵- نمودار طبقات نقشه پهنه‌بندی حساسیت نسبت زمین‌لغزش و درصد سطح رخداد زمین‌لغزش‌ها در هر مدل



شکل ۶- شاخص نسبت فراوانی (FR) و شاخص سطح سلول هسته (SCAI)



شکل ۷- سطح زیر منحنی ROC

نتیجه گیری

عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش بسیار پیچیده و گاه ناشناخته می‌باشد. توسعه تحقیقات بر روی روش‌های مختلف مدل‌سازی از جمله روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین برای شناسایی، تعیین و بررسی عوامل موثر و نهایتاً پهنه‌بندی و پیش‌بینی مناطق نسبت به رخداد زمین‌لغزش‌ها کمک شایانی می‌نماید. در این پژوهش با ۱۳ عامل انتخابی موثر بر رخداد زمین‌لغزش، برازش مدل‌ها و اولویت‌بندی عوامل با استفاده از آن‌ها مشخص شد. در هر ۶ مدل رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر، مدل جنگل تصادفی، مدل حداکثرآنتروپی، سیستم استنتاج فازی_ عصبی تطبیقی و مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب از دارای مطلوبیت بوده اند. متفقاً به‌ترتیب عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و فاصله از جاده

دارای اهمیت و اولویت در رخداد زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. ارزیابی دقت طبقه‌بندی و اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان، مدل دمپسترشفر و مدل جنگل تصادفی ضمن دارا بودن آستانه طبقات مناسب در طبقه‌بندی، از اولویت بیش‌تری برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش‌ها دارا می‌باشد. این درحالی است که هر ۶ مدل در پهنه‌بندی و پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش‌ها در حوزه آبخیز دوآب صمصامی واقع در استان چهارمحال و بختیاری از کارآمدی مناسبی برخوردار می‌باشند. با توجه به نتایج و کارآمدی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش و توانائی خوب مدل‌ها در تفکیک بین رده‌های حساسیت نسبت به زمین‌لغزش پیشنهاد می‌شود نقشه‌های حاصل از مدل‌های مذکور مبنای مدیریت و برنامه‌ریزی در عرصه‌های منابع طبیعی، نقشه‌های برآورد فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز به منظور حفاظت خاک، آمایش سرزمین و کاهش خسارات ناشی از آن مد نظر مدیران و کارشناسان اجرایی دستگاه‌های اجرایی ذیربط در کشور قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس بخشی از اطلاعات پایه پروژه تحقیقاتی ملی با عنوان "ارزیابی کارایی فن تداخل‌سنجی تفاضلی راداری(DInSAR) و پراکنش کننده‌های دائمی (PSInSAR) در شناسایی و پایش زمین‌لغزش‌ها" با کد مصوب ۹۴۱۲۰-۲۹-۳۸-۰ انجام گردیده است. لذا نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به خاطر حمایت‌های مالی و ستادی ابراز می‌نمایند.

منابع

- شیرانی, کورش, سیف, عبدالله، نصر, احمد. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای برپایه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس) .فصلنامه علمی علوم زمین *23(89), 3-10* .
- Ardeshir A, Amiri M, Ghasemi Y, Errington M. 2014. Risk assessment of construction projects for water conveyance tunnels using fuzzy fault tree analysis. International Journal of Civil Engineering, 12(4): 396-412.
- Breiman L. 2001. Random Forests. Machine Learning, 45: 5-32
- Balogun, A.-L., Rezaie, F., Pham, Q. B., Gigović, L., Drobnjak, S., Aina, Y. A., … Lee, S. (2021). Spatial prediction of landslide susceptibility in western Serbia using hybrid support vector regression (SVR) with GWO, BAT and COA algorithms. Geoscience Frontiers, 12(3), 101104.
- Dempster, A.P. (1967). Upper and lower probabilities induced by a multi valued mapping. Ann Math Stat, 38 (2), 325–339
- Dempster, Arthur P. 2008. “Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping.” In Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions,

Springer, 57–72.

- Jang JSR, Sun CT 1995 Neuro-fuzzy modeling and control. Proc IEEE 83(3):378–406.
- Smola, A. J., & Schölkopf, B. 1998. On a kernel-based method for pattern recognition, regression, approximation, and operator inversion. Algorithmica, 22(1–2), 211–231.
- Polykretis, C., Chalkias, C., & Ferentinou, M. 2019. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) modeling for landslide susceptibility assessment in a Mediterranean hilly area. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78(2), 1173–1187.
- Park, No-Wook. 2015. "Using Maximum Entropy Modeling for Landslide Susceptibility Mapping with Multiple Geoenvironmental Data Sets." Environmental Earth Sciences 73(3): 937–49.
- Phillips, S.J., Dudík, M., and Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, 83
- Shirani K. Pasandi M. Arabameri A. 2018. Landslide susceptibility assessment by dempster–shafer and index of entropy models, sarkhoun basin (Iran). Natural Hazards, 93(3):1379-1418.
- Yariyan, P., Avand, M., Abbaspour, R. A., Torabi Haghighi, A., Costache, R., Ghorbanzadeh, O., … Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping using an improved analytic network process with statistical models. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 11(1), 2282–2314.

معرفی و کاربست مفهوم برگشت‌پذیری فرسایش خاک در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند

مصطفی ذبیحی‌سیلابی[۱]، سیدحمیدرضا صادقی[۲*] و مهدی وفاخواه[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲*- استاد (نویسنده مسئول) گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس،
رایانامه: sadeghi@modares.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

تغییرات اقلیمی حوزه‌های آبخیز در کنار استفاده بدون برنامه‌ریزی از کاربری اراضی، شهرسازی، جنگل‌زدایی و کشاورزی غیراصولی و بدون عملیات کنترلی، افزایش بی‌رویه فرسایش خاک را در پی داشته است. از همین‌رو ارزیابی فرسایش خاک و شناسایی زیرآبخیزهای اولویت‌دار در شرایط مختلف اقلیمی، محیطی و با لحاظ حدود آستانه فرسایشی خاک به‌منظور توسعه راهبردهای مدیریتی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ضروری است. حال آن‌که در مطالعات صورت گرفته اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز متناسب با تغییرات محیطی و مفهوم برگشت‌پذیری فرسایش خاک تاکنون انجام نشده است. بنابراین در مطالعه حاضر ضمن معرفی رویکرد مدیریتی برگشت‌پذیری فرسایشی خاک، اولویت‌بندی زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند با استفاده از رویکرد مذکور انجام و نتایج آن با استفاده از روش‌های معمول مقایسه شده است. براین اساس در ابتدا میزان فرسایش خاک کمینه، میانگین و بیشینه زیرآبخیزهای مطالعاتی با توجه به تغییرات پوشش‌گیاهی برآورد شد. در ادامه برگشت‌پذیری فرسایشی حوزه آبخیز با توجه به حدود آستانه فرسایشی حوزه آبخیز برآورد و زیرآبخیزهای مطالعاتی با استفاده از رویکرد مذکور اولویت‌بندی شدند. نتایج پژوهش نشان داد براساس رویکرد برگشت‌پذیری خاک، زیرآبخیزهای ۵ و ۲۱ به‌ترتیب با مقدار برگشت‌پذیری فرسایشی خاک ۰/۰۲ و ۰/۱۶ به‌عنوان زیرآبخیزهای با اولویت بالا شناسایی شدند. از سوی دیگر نتایج نشان داد زیرآبخیز ۲ علی‌رغم داشتن بالاترین میزان فرسایش خاک در اولویت ۱۸ قرار گرفته است. رویکرد ارائه شده در پژوهش حاضر می‌تواند به‌عنوان یک رویه مدیریتی جدید، جامع و کارا به‌منظور تعیین زیرآبخیزهای اولویت‌دار با هدف تبیین شیوه‌های مدیریتی قابل‌اعتماد در دستور کار مدیران و برنامه‌ریزان بخش‌های مربوطه قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی:

برگشت‌پذیری حوزه آبخیز، حد ایده‌آل فرسایش، حد تاب‌آور فرسایش، مدیریت جامع حوزه آبخیز

مقدمه

منابع طبیعی به‌عنوان یکی از ارکان جدایی‌ناپذیر زندگی انسان‌ها به شمار می‌رود (Krywkow و Hare، ۲۰۰۸). بااین‌حال بشر در مواجهه با منابع طبیعی پیرامون خود، بهره‌برداری مناسبی را اتخاذ ننموده و به‌جای جامع‌نگری، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری پایدار از محیط و منابع، به بهره‌برداری بی‌رویه و نادرست از اراضی پرداخته که منجر به فرسایش بی‌رویه خاک شده است (Li و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، کشت بدون عملیات کنترلی، و هم‌چنین استفاده بدون برنامه‌ریزی از اراضی در کنار شهرسازی، جنگل‌زدایی و کشاورزی غیراصولی، پایداری و مقاومت خاک در برابر فرسایش خاک را از بین می‌برد و باعث توسعه سریع فرسایش مخرب می‌شود (Abdulkareem و همکاران، ۲۰۱۹؛ Zhou و همکاران، ۲۰۲۱). این اتفاق ضمن کاهش بهره‌وری خاک و کیفیت آب، باعث خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم، کاهش عملکرد محصول و افزایش هزینه‌های تولید محصول می شود (Pandey و همکاران، ۲۰۲۱). این تغییرات تأثیرات معنی‌داری بر بوم سازگان و منابع ذخیره آب‌وخاک حوزه آبخیز به‌ویژه در بخش های پایین‌دست می گذارند (Prathapar و همکاران، ۲۰۱۴).

به‌هر تقدیر ارزیابی کمّی فرسایش خاک برای تحلیل اثرات فرسایش خاک بر محیط‌زیست، اقتصاد جهانی و شناسایی زیرآبخیزهای اولویت‌دار به‌منظور توسعه راهبردهای مدیریتی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ضروری است (Alexakis و همکاران ۲۰۱۳). از سوی دیگر به‌دلیل گستردگی حوزه‌های آبخیز و وجود شرایط متنوع اقلیمی، زمین‌شناسی، خاک، توپوگرافی، هیدرولوژی و پوشش‌گیاهی استفاده از روش‌های اولویت‌بندی به‌منظور طبقه‌بندی آبخیزها و زیرآبخیزها به‌منظور اجرای مدیریت جامع آبخیزها ضرورت می‌یابد (Sengupta و همکاران، ۲۰۲۲). از همین‌رو در چند سال اخیر، علاقه به توسعه روش‌های متفاوت برای اولویت‌بندی حوزه آبخیز و شناسایی مناطق بحرانی مستعد فرسایش خاک نسبت به دهه‌های اخیر افزایش پیدا کرده است (Bajirao و Kumar، ۲۰۲۱؛ Benzougagh و همکاران، ۲۰۲۲؛Al-Hantouli و همکاران، ۲۰۲۳؛ Guduru و Jilo، ۲۰۲۳). با این حال در هیچ یک از رویکردهای مورد استفاده برای اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز، شرایط فرسایشی حوزه‌های آبخیز در قبال تغییرات پویای طبیعی و محیطی در نظر گرفته نشده است. به‌عبارت دیگر به‌دلیل ماهیت پویا و شرایط مختلف اقلیمی و محیطی، میزان فرسایش خاک و طبیعتاً اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز در شرایط مذکور نتایج متفاوتی در پی خواهد داشت. در چنین حالتی اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز با تغییر شرایط محیطی و اقلیمی تغییر خواهد کرد و شرایط را برای مدیران و تصمیم‌گیران مربوطه برای انتخاب یک یا مجموعه‌ای از زیرآبخیزها برای اجرای بهترین گزینه یا گزینه‌ها به‌منظور کاهش اثرات تخریبی فرسایش خاک دشوار خواهد کرد. از همین‌رو ضروری است اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز با لحاظ رفتار فرسایشی حوزه آبخیز در شرایط متفاوت اقلیمی و محیطی در دستور کار قرار گیرد. در

این صورت علاوه بر شناخت رفتار فرسایشی حوزه آبخیز در شرایط مذکور، انتخاب یک یا چند گزینه مدیریتی برای مدیریت حوزه آبخیز تسهیل خواهد شد. از همین‌رو در پژوهش حاضر اولویت‌بندی حوزه آبخیز با استفاده از رویکرد جدید و نوآورانه برگشت‌پذیری فرسایشی[5] مبتنی بر تغییرات پوشش‌گیاهی برنامه‌ریزی شده است. در رویکرد مذکور، وضعیت فعلی و هم‌چنین آستانه بالا و پایین فرسایش خاک حوزه آبخیز برای اولویت‌بندی لحاظ خواهد شد. برهمین اساس نتایج حاصل از کاربست رویکرد برگشت‌پذیری فرسایشی در اولویت‌بندی حوزه آبخیز می‌تواند به‌عنوان یک مبنای کامل و راهبردی مفید برای اولویت‌بندی و اجرای بهترین اقدامات مدیریتی در اختیار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران بخش‌های مربوطه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومترمربع، در جنوب غربی استان مرکزی واقع‌شده است. دامنه ارتفاعی آبخیز از ۱۸۲۰ تا بیش از ۳۳۰۰ متر، متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز شازند ۴۲۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش آمبرژه، اقلیم این منطقه نیز در طبقه نیمه‌خشک معتدل تا نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد (Davudirad و همکاران، ۲۰۱۶). بیش‌ترین مساحت آبخیز مربوط به طبقه شیب کم‌تر از پنج در صد بوده که دشت حاشیه شازند را در خود جای‌داده است. مهم‌ترین مراکز سکونت‌گاهی منطقه شامل شهرهای شازند، آستانه، مهاجران، شهباز و توره و مهم‌ترین واحدهای صنعتی نیز شامل پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه حرارتی هستند که در دشت شازند واقع‌شده و به‌تدریج بعد از سال ۱۳۶۷ فعال شدند (Hazbavi و همکاران، ۲۰۲۰).

روش کار

در پژوهش حاضر برای شناسایی مناطق اولویت‌دار فرسایشی از رویکرد جدید و نوآورانه برگشت‌پذیری فرسایشی به شرح ارائه شده در رابطه (۱) استفاده شد.

$$Ee = \frac{E_{max} - E_{mean}}{E_{mean} - E_{min}} \quad (1)$$

که در آن Ee، برگشت‌پذیری فرسایشی حوزه آبخیز، E_{max}، E_{mean} و E_{min} به‌ترتیب بیشینه، میانگین و کمینه فرسایش حوزه آبخیز است. با توجه به رابطه (۱)، زیرآبخیز با مقدار کم‌تر Ee به‌عنوان زیرآبخیز با اولویت بالا برای اقدامات مدیریتی شناخته می‌شود. زیرآبخیز با اولویت بالا در این روش زیرآبخیزی است که میانگین فرسایش فعلی در آن به بیشینه میزان فرسایش حوزه آبخیز نزدیک بوده و

[5] Erosion Elasticity

کمینه فرسایش رخداده در آبخیز مطالعاتی بسیار کم‌تر از بیشینه فرسایش آن است. به‌عبارت دیگر، زیرآبخیز با اولویت بالا در این روش زیرآبخیزی است که در سالیان اخیر مقدار فرسایش بسیار کمی داشته است، در صورتی که در حال حاضر مقدار فرسایش فعلی آن بسیار نزدیک به بیشینه فرسایش رخ داده در آبخیز مطالعاتی است. لازم به ذکر است اگر چه ممکن است زیرآبخیزی نیز وجود داشته باشد که مقدار فرسایش فعلی، کمینه و بیشینه آن بسیار بیش‌تر از زیرآبخیز اولویت‌دار باشد. در چنین حالتی می‌توان نتیجه گرفت به‌صورت طبیعی پتانسیل تولید فرسایش در زیرآبخیز مدنظر بسیار بالاتر از زیرآبخیز اولویت‌دار است. برهمین اساس با انجام اقدامات مدیریتی مناسب و کارا در زیرآبخیز اولویت‌دار می‌توان فرسایش را به‌صورت چشم‌گیری در مقایسه با زیرآبخیز با پتانسیل بالای فرسایشی کاهش داد.

برای برآورد برگشت‌پذیری فرسایشی زیرآبخیزهای مطالعاتی در ابتدا تغییرات زمانی بلندمدت پوشش‌گیاهی با استفاده از شاخص NDVI[6] در سامانه Google Earth Engine برآورد شد. سپس میانگین، بیشینه و کمینه پوشش‌گیاهی رخ داده در آبخیز مطالعاتی استخراج و میزان فرسایش کمینه، میانگین و بیشینه خاک با توجه به تغییرات پوشش‌گیاهی با استفاده از مدل RUSLE (Renard و همکاران، ۱۹۹۷) برآورد شد. در همین ارتباط برای برآورد عامل فرسایندگی باران از روش Roose (Roose، ۱۹۷۷) و از نتایج پژوهش کیانی‌هرچگانی و همکاران (۱۳۹۸) نیز برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد. از سوی دیگر عامل توپوگرافی با استفاده از روش Desmet و Govers (۱۹۹۶) محاسبه شد. در همین راستا عامل پوشش‌گیاهی نیز با استفاده از میانگین NDVI در ماه‌های بارشی برآورد شد. عامل مدیریت اراضی نیز با استفاده از روش پیشنهادی Troeh و همکاران (۱۹۹۹) به‌دست آمد. پس از برآورد میزان فرسایش خاک در شرایط فعلی، کمینه و بیشینه، برگشت‌پذیری فرسایشی حوزه آبخیز برآورد و اولویت‌بندی زیرآبخیزها با استفاده از مقدار برگشت‌پذیری فرسایشی انجام شد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی با توجه به روش ابداعی برگشت‌پذیری فرسایشی حوزه آبخیز انجام شد. از همین‌رو در ابتدا کمینه، میانگین و بیشینه مقدار عامل پوشش‌گیاهی با توجه به کمینه، میانگین و بیشینه پوشش‌گیاهی رخ داده در آبخیز مطالعاتی محاسبه شد. در ادامه عامل‌های فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و مدیریت اراضی ثابت در نظر گرفته شد و میزان فرسایش خاک کمینه، میانگین و بیشینه حوزه آبخیز شازند با توجه به کمینه، میانگین و بیشینه عامل

[6] Normalized Difference Vegetation Index

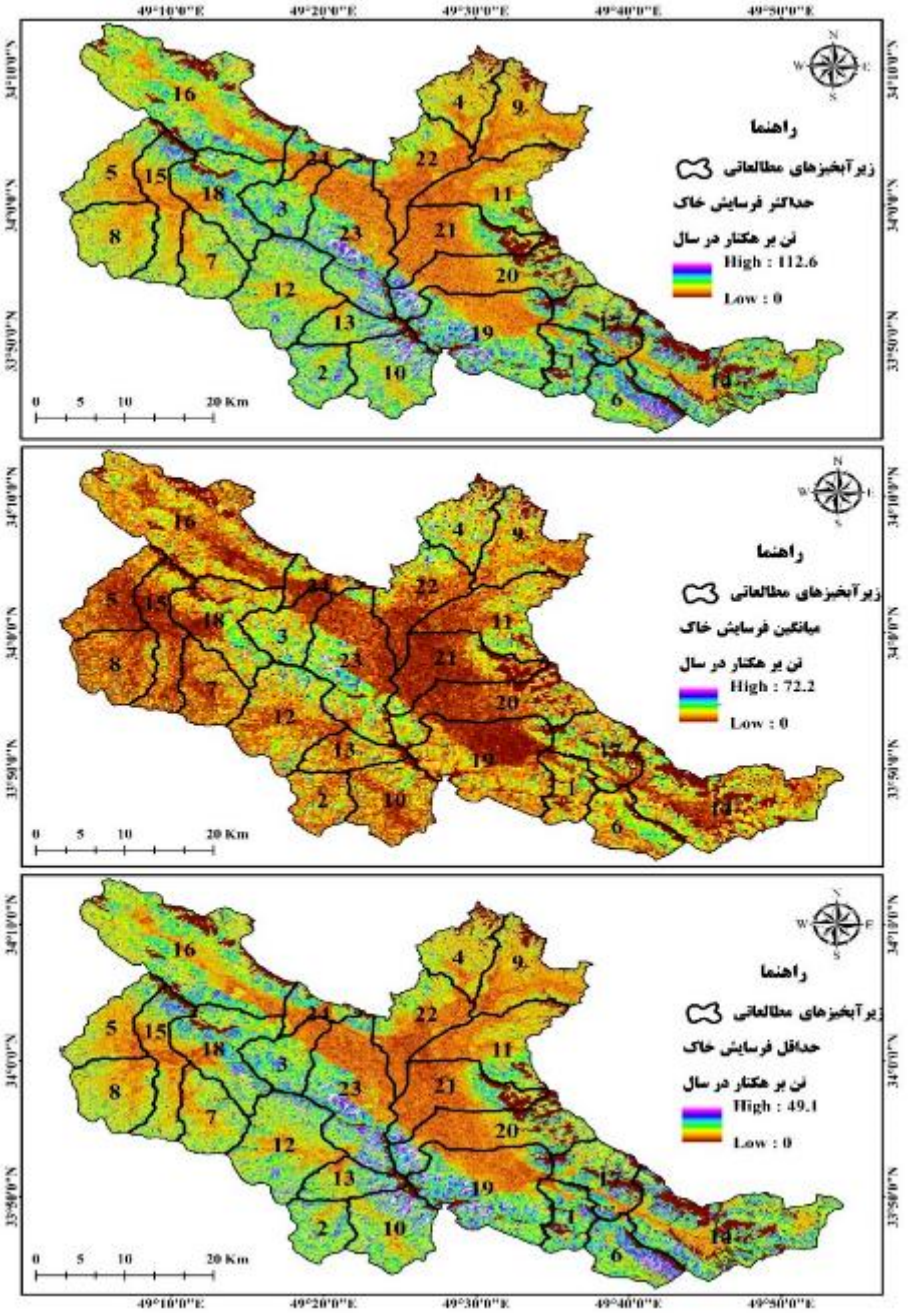
پوشش‌گیاهی برآورد شد. نتایج حاصل از برآورد فرسایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است. نمایش تصویری میزان فرسایش خاک در هر یک از زیرآبخیزهای مطالعاتی نیز در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی حوزه آبخیز شازند استان مرکزی براساس برگشت‌پذیری میزان فرسایش خاک

زیرآبخیز	کمینه فرسایش خاک	اولویت	میانگین فرسایش خاک	اولویت	بیشینه فرسایش خاک	اولویت	برگشت‌پذیری فرسایشی خاک	اولویت
1	9/90	8	10/6	9	11/94	9	1/77	23
2	11/77	1	13/3	1	14/90	1	1/08	18
3	10/80	4	11/9	4	12/76	4	0/75	14
4	9/53	12	10/5	12	11/78	10	1/43	21
5	7/45	21	8/4	20	8/46	20	0/02	1
6	11/69	2	12/7	2	14/05	3	1/36	20
7	8/67	15	9/9	14	10/59	13	0/60	10
8	7/80	18	8/9	16	9/36	16	0/36	5
9	7/28	22	8/0	22	8/27	23	0/41	7
10	11/39	3	12/6	3	14/45	2	1/49	22
11	7/96	17	8/6	18	8/85	17	0/37	6
12	10/31	7	11/6	6	12/43	6	0/63	12
13	10/60	5	11/7	5	12/64	5	0/88	17
14	9/05	14	9/8	15	10/32	15	0/74	13
15	7/56	20	8/5	19	8/83	18	0/35	3
16	9/53	11	10/6	11	11/21	12	0/63	11
17	9/49	13	10/2	13	10/57	14	0/59	9
18	10/34	6	11/4	7	11/98	8	0/53	8
19	9/83	9	10/6	10	12/07	7	1/86	24
20	7/63	19	8/2	21	8/41	21	0/36	4
21	5/59	24	6/0	24	6/08	24	0/16	2
22	6/69	23	7/5	23	8/36	22	1/13	19
23	9/68	10	10/6	8	11/42	11	0/79	15
24	8/11	16	8/7	17	8/58	19	0/81	16

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ می‌توان دریافت رفتار فرسایشی زیرآبخیزهای مطالعاتی با تغییرات پوشش‌گیاهی تغییر پیدا می‌کند. رحمانی ننه‌کران و همکاران (۱۴۰۱) و نور و همکاران (۱۴۰۲) نیز به تغییر رفتار فرسایشی در اثر تغییرات کاربری اراضی به‌ترتیب در مقیاس آبخیز و کرت اشاره کرده‌اند. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد زیرآبخیزهای ۲ و ۲۱ در سه شرایط کمینه، میانگین و بیشینه پوشش‌گیاهی به‌ترتیب

بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فرسایش خاک را دارند. از همین‌رو براساس روش‌های معمول اولویت‌بندی، زیرآبخیز ۲ و ۲۱ در هر سه روش برآوردی مقدار فرسایش خاک به‌ترتیب در اولویت اول و آخر برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند. با این حال بررسی نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی با استفاده از رویکرد برگشت‌پذیری آبخیز نشان داد زیرآبخیزهای اولویت‌بندی‌شده با استفاده از این روش کاملاً متفاوت با سه روش برآوردی میزان فرسایش خاک است. تحلیل نتایج اولویت‌بندی حاصل از روش مذکور نشان داد زیرآبخیز ۲ علی‌رغم داشتن بالاترین میزان فرسایش خاک در اولویت ۱۸ قرار گرفته است. بررسی یافته‌ها نشان داد که کمینه و بیشینه فرسایش رخ داده در زیرآبخیز ۲ به‌ترتیب ۱۱/۸ و ۱۴/۹ تن بر هکتار بر سال است. در صورتی که میزان فرسایش فعلی زیرآبخیز ۲ حدود ۱۳/۳ تن بر هکتار بر سال است. تحلیل نتایج حاکی از آن است که پتانسیل فرسایشی زیرآبخیزهای ۱۹، ۱، ۱۰، ۴۵، ۶، ۲۲ و ۲ در مقایسه با سایر زیرآبخیزهای مطالعاتی بالاست. از سوی دیگر می‌توان دریافت فاصله شرایط فعلی تا شرایط بحرانی زیرآبخیزهای مذکور بالا بوده و نسبت به شرایط ایده‌آل فرسایشی فاصله کمی دارند. از این‌رو می‌توان چنین استدلال کرد زیرآبخیزهای ۱۹، ۱، ۱۰، ۴۵، ۶، ۲۲ و ۲ ضمن دارا بودن پتانسیل بالای فرسایشی، از شرایط بحرانی نیز در مقایسه با غالب زیرآبخیزها فاصله زیادی دارند. برهمین اساس در اولویت‌های آخر برای انجام اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرند. از سوی دیگر بررسی نتایج حاصل از برگشت‌پذیری فرسایشی زیرآبخیزهای مطالعاتی نشان داد زیرآبخیزهای ۵ و ۲۱، ۱۵، ۲۰، ۸ و ۱۱ به‌ترتیب با برگشت‌پذیری فرسایشی خاک ۰/۰۲، ۰/۲۱، ۰/۳۵، ۰/۳۶، ۰/۳۶ و ۰/۳۷ به‌عنوان زیرآبخیزهای با اولویت بالا برای انجام اقدامات مدیریتی شناسایی شدند. بررسی نتایج نشان داد میانگین فرسایش رخ داده در زیرآبخیزهای ۵ و ۲۱، ۱۵، ۲۰، ۸ و ۱۱ به‌ترتیب ۸/۴۴ و ۶/۰۰، ۸/۵۰، ۸/۲۰، ۸/۹۵ و ۸/۶۱ تن بر هکتار بر سال است. در صورتی که بیشینه فرسایش زیرآبخیزهای مذکور به‌ترتیب برابر ۸/۴۶ و ۶/۰۸، ۸/۸۳، ۸/۴۱، ۹/۳۶ و ۸/۸۵ تن بر هکتار بر سال است. از همین‌رو می‌توان دریافت مقدار فرسایش فعلی زیرآبخیزهای مذکور بسیار نزدیک به بیشینه فرسایش رخ داده در آن‌هاست. برهمین اساس در صورت عدم انجام اقدامات مدیریتی در این زیرآبخیزها، مقدار فرسایش فعلی آن‌ها به بیشینه مقدار خود نزدیک شده و زیرآبخیزهای مذکور از حالت تاب‌آور خود خارج می‌شوند. از همین‌رو ضروری است فعالیت‌های مدیریتی در زیرآبخیزهای با برگشت‌پذیری کم متمرکز شوند، تا ضمن دور کردن شرایط فرسایشی آن‌ها از شرایط بحرانی، فرسایش رخ داده در آن‌ها تثبیت شده و به شرایط ایده‌آل آن‌ها نزدیک شود.



شکل ۱- برآورد فرسایش خاک در شرایط بیشینه (بالا)، میانگین (وسط) و کمینه (پایین) در حوزه آبخیز شازند استان مرکزی

نتیجه‌گیری

وضعیت فرسایش خاک حوزه‌های آبخیز به‌سبب شرایط مختلف اقلیمی و محیطی و هم‌چنین ماهیت پویای حاکم بر آن‌ها متفاوت است. در چنین حالتی میزان فرسایش خاک و طبیعتاً اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز برای انجام اقدامات مدیریتی متفاوت بوده و شرایط را برای مدیران مربوطه برای انتخاب راهبردهای مدیریتی قابل‌اعتماد سخت می‌کند. از همین‌رو ضروری است ارزیابی‌های فرسایش خاک و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی با توجه به شرایط پویای حوزه آبخیز مدنظر قرار گیرد. برهمین اساس در پژوهش حاضر کاربست رویکرد مدیرتی برگشت‌پذیری فرسایشی حوزه آبخیز برای اولویت‌بندی زیرآبخیزهای حوزه آبخیز شازند با توجه به شرایط پویای پوشش‌گیاهی آبخیز انجام شد. در همین راستا با استفاده از رویکرد مذکور زیرآبخیزهای با وضعیت پایدار و هم‌چنین شکننده شناسایی شدند و اولویت‌بندی آن‌ها براساس هر دو شرایط ایده‌ال و بحرانی صورت گرفت. از همین‌رو می‌توان انتظار داشت با کاربست رویکرد برگشت‌پذیری فرسایشی خاک در حوزه آبخیز شازند موقعیت فعلی حوزه آبخیز شازند در مقایسه با شرایط ایده‌آل و نامطلوب مشخص و راهبردهای مدیریتی کارا و قابل اعتماد برای دور کردن زیرآبخیزهای اولویت‌دار از شرایط بحرانی به‌کار گرفته شود. از همین‌رو نتایج پژوهش حاضر می‌تواند الگویی مناسب برای شناسایی زیرآبخیزهای اولویت‌دار و تبیین شیوه‌های مدیریتی متناسب برای مدیران و برنامه‌ریزان مربوطه باشد. اگرچه آزمون و تحلیل بیش‌تر آن در سایر شرایط برای دستیابی به نتایج جامع‌تر تأکید می‌شود.

منابع

- رحمانی‌ننه‌کران، ف.، اسمعلی‌عوری، اباذر.، کله‌هوئی، م.، احمدی، م.، مصطفی‌زاده، ر.، حزباوی، ز. (۱۴۰۱). تغییرپذیری مؤلفه‌های رواناب و رسوب از ترکیب‌ها و درصدهای مختلف پوشش‌گیاهی. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۲ (۴): ۱۷۳-۱۵۸.
- نور، ح.، عرب‌خدری، م.، دسترنج، ع. (۱۴۰۲). ارزیابی اثر قرق مرتع بر فرسایش خاک در مقیاس کرت (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک ۳(۲)، ۶۶-۷۷.
- Abdulkareem, J.H., B. Pradhan, W.N.A. Sulaiman and N.R. Jamil. 2019. Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed. Geoscience Frontiers, 10(2): 389-403.
- Alexakis, D. D., Hadjimitsis, D. G., & Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus. Atmospheric Research, 131, 108-124.
- Al-Hantouli, F., Awawdeh, M., & Obeidat, M. (2023). Soil Erosion Prioritization of Yarmouk River Basin, Jordan Using Multiple Approaches in a GIS Environment. In Water Resources Management and Sustainability: Solutions for Arid Regions (pp. 291-318). Cham: Springer Nature Switzerland.

- Bajirao, T. S., & Kumar, P. (2021). Geospatial technology for prioritization of Koyna River basin of India based on soil erosion rates using different approaches. Environmental Science and Pollution Research, 28 (1), 35242-35265.
- Benzougagh, B., Meshram, S. G., Dridri, A., Boudad, L., Baamar, B., Sadkaoui, D., & Khedher, K. M. (2022). Identification of critical watershed at risk of soil erosion using morphometric and geographic information system analysis. Applied Water Science, 12, 1-20.
- Davudirad, A.A., S.H.R., Sadeghi and A. Sadoddin. (2016). The Impact of development plans on hydrological changes in the Shazand Watershed, Iran. Land Degradation & Development, 27(4), 1236-1244.
- Desmet, P.J.J. and G. Govers. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5), 427-433.
- Guduru, J. U., & Jilo, N. B. (2023). Assessment of rainfall-induced soil erosion rate and severity analysis for prioritization of conservation measures using RUSLE and Multi-Criteria Evaluations Technique at Gidabo watershed, Rift Valley Basin, Ethiopia. Ecohydrology & Hydrobiology, 23(1), 30-47.
- Hazbavi, Z., Sadeghi, S.H.R, Gholamalifard, M., & Davudirad, A. A. 2020. Watershed health assessment using the pressure–state–response (PSR) framework. Land Degradation & Development, 31(1), 3-19.
- Krywkow, J. and M. Hare. 2008. Participatory process management. 4th International Congress on Environmental Modeling and Software, EMSs. 888-899.
- Li, G., J.P. Messina, B.G. Peter and S.S. Snapp. 2017. Mapping land suitability for agriculture in Malawi. Land Degradation & Development, 28(7): 2001-2016.
- Pandey, S., P. Kumar, M. Zlatic, R. Nautiyal and V.P. Panwar. 2021. Recent advances in assessment of soil erosion vulnerability in a watershed. International Soil and Water Conservation Research. 9(3): 305-318.
- Prathapar, S.A., and A.A. Bawain. 2014. Impact of sedimentation on groundwater recharge at Sahalanowt Dam, Salalah, Oman. Water International, 39(3): 381-393.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, DC: US Government Printing Office, Vol. 703, 384 P.
- Roose E. 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest-vingt annees de mesures en petites parcelles experimentales. Pour Faire Face A` Ce Proble`me Pre´occupant, I'ORSTOM et Les Instituts Travaux et Documents de I'ORSTOM, 78, 108.
- Sengupta, S., Mohinuddin, S., & Arif, M. (2022). Sub-watershed prioritization for soil erosion potentiality estimation in tenughat catchment, India. Geocarto International, 37(25), 9160-9189.
- Troeh, F.R., J.A. Hobbs and R.L. Donahue. 1999. Soil and water conservation: Productivity and environmental protection. Prentice-Hall, Inc. 624pp.
- Zhou, N., X. Hu, I. Byskov, J.S. Næss, Q. Wu, W. Zhao and F. Cherubini. 2021. Overview of recent land cover changes, forest harvest areas, and soil erosion trends in Nordic countries. Geography and Sustainability, 2(3): 163-74.

بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه، استان لرستان

ابراهیم کریمی سنگچینی*[۱]، علی دسترنج[۲]، حسین آرامی[۳]، صمد شادفر[۴]

۱*- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران. پست الکترونیک (*E.karimi64@gmail.com*)

۲-استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد.

۳- استادیار، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۴- دانشیار، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

زمین‌لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارت جانی و مالی فراوانی در مناطق کوهستانی، پر باران و لرزه‌خیز به همراه دارد. شرایط توپوگرافی و فراهم بودن شرایط زمین شناسی حساس به زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه سبب شده که سطح قابل توجهی به طور بالقوه مستعد وقوع زمین لغزش باشد. از طرفی عوامل انسانی نظیر تغییر شدید کاربری اراضی و احداث متعدد و نظارت نشده جاده روستایی سبب تشدید شرایط مستعد موجود گردیده است. در این مقاله سعی شده عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه بررسی و مهمترین عوامل به منظور ارزیابی خطر انتخاب گردند. با بررسی منابع و مطالعات کتابخانه‌ای ۱۶ عامل شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه)، جاده (فاصله از جاده)، فاصله از روستا، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های توپوگرافیک (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب ((LS)، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)و شاخص قدرت بردار (VRM) کاربری اراضی و خطوط هم بارش به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، شناسایی و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. بررسی مهم‌ترین عوامل با استفاده از شاخص کاپا و روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) صورت گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)، طول شیب و جهت شیب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار هستند. از نظر زمین‌شناسی کلاس‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد بیشتر شامل سازند آهک های خردشده کرتاسهK و نهشته‌های کواترنری بوده است. بررسی مهم‌ترین عوامل موثر بر زمین‌لغزش می‌تواند به انتخاب بهترین عوامل به منظور ارزیابی خطر و خسارت زمین لغزش کمک کند.

واژه‌های کلیدی:
عوامل موثر، شاخص کاپا، روش حداکثر احتمال، خطر زمین لغزش، حوزه آبخیز کرگانه.

مقدمه

ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد (مددی و همکاران، ۱۳۹۴ و Lee و همکاران، ۲۰۱۷). زمانی که این فرایند فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شوند (کریمی سنگچینی، ۱۳۹۸ و Paoletti و همکاران، ۲۰۱۳). زمین‌لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (علی پور و ملکیان، ۱۳۹۴ و Devkota و همکاران، ۲۰۱۳). در وقوع زمین‌لغزش هم عوامل انسانی و هم طبیعی دخالت دارند. ازجمله عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان به عواملی همچون بارندگی، سنگ شناسی، شیب و مانند آن اشاره کرد (Eslami و همکاران ۲۰۱۹). از جنبه عوامل انسانی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها مهم‌تر از همه می‌توان به نقش تغییر کاربری اراضی از جنگل به اراضی زراعی اشاره داشت (کلارستاقی، ۱۳۸۶ و Raghuvanshi و همکاران، ۲۰۱۵). شریفی و همکاران (۱۴۰۰) ۱۲ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ شناسی، گسل، بارش، آبراهه، جاده‌های ارتباطی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، TWI و SPI، Shano و همکاران (۲۰۲۱) از فاکتورهای لیتولوژی، شرایط آب زیرزمینی، فاصله از گسل، پارامترهای مورفومتریک (شیب، جهت و انحنا)، کاربری و بارش، Tyagi و همکاران (۲۰۲۱) پارامترهای داده‌های زمین‌لرزه، بارش، DEM، SPI، TWI، شبکه زهکش، شیب، جهت و مخازن آب را به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب کرده‌اند. شرایط توپوگرافی و فراهم بودن شرایط زمین شناسی حساس به زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه سبب شده که سطح قابل توجهی به طور بالقوه مستعد وقوع زمین لغزش باشد. از طرفی عوامل انسانی نظیر تغییر شدید کاربری اراضی و احداث متعدد و نظارت نشده جاده روستایی سبب تشدید شرایط مستعد موجود گردیده است. لذا شناسایی و انتخاب عوامل موثر بر زمین لغزش می‌تواند اولین حلقه کلیدی در ارزیابی خطر و خسارت زمین‌لغزش باشد. در این مقاله سعی شده عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه بررسی و مهمترین عوامل به منظور ارزیابی خطر انتخاب گردند.

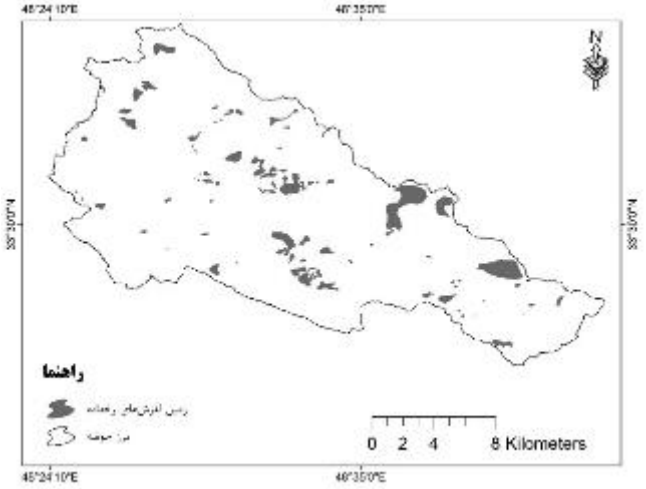
مواد و روش‌ها

شواهد زمین لغزش‌های موجود در حوضه با استفاده از گوگل ارث، تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر، بازدیدهای میدانی منابع محلی و سازمانی شناسایی و ثبت شده و نوع و ابعاد لغزش

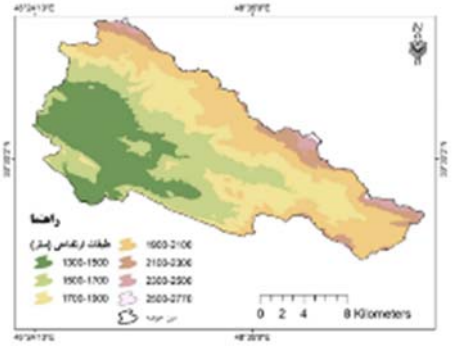
ها مشخص شد و در نهایت با انتقال اطلاعات به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS ۱۰.۵) نقشه شواهد زمین لغزش تهیه گردید. اولین مرحله مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شناخت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عواملی که در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش مؤثری دارند، است. گردآوری اطلاعات به‌صورت میدانی، کتابخانه‌ای و با مراجعه به اداره کل منابع طبیعی استان لرستان صورت گرفته است. از میان عوامل مؤثر در رخداد لغزش، آن دسته از عوامل که بر پایه پژوهش‌های انجام‌گرفته در مناطق دیگر و نیز نظر کارشناسی، تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشته‌اند، انتخاب شدند. با بررسی منابع و مطالعات کتابخانه‌ای ۱۶ عامل شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه)، جاده (فاصله از جاده)، فاصله از روستا، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های توپوگرافیک (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب ((LS)، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)و شاخص قدرت بردار (VRM) کاربری اراضی و خطوط هم بارش به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، شناسایی و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در مرحله بعد با استفاده از شاخص کاپا و روش حداکثر احتمال به انتخاب موثرترین عوامل اقدام شد.

نتایج و بحث

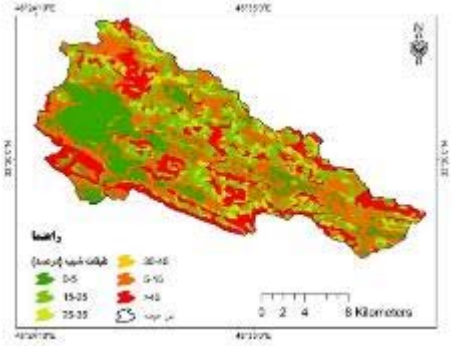
نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه با ۹۵ مورد ثبتی به صورت پهنه‌ای تهیه گردید (شکل ۱). مجموع سطح لغزش‌یافته حدود ۱۴۸۳/۲۴ هکتار می‌باشد که معادل حدود ۵ درصد سطح آبخیز است. مساحت کوچکترین و بزرگترین لغزش به ترتیب ۰/۳۱ و ۲۷۴/۶۲ هکتار می‌باشد. نقشه عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در حوضه تهیه و در ادامه آورده شده است (اشکال ۲ تا ۱۷).



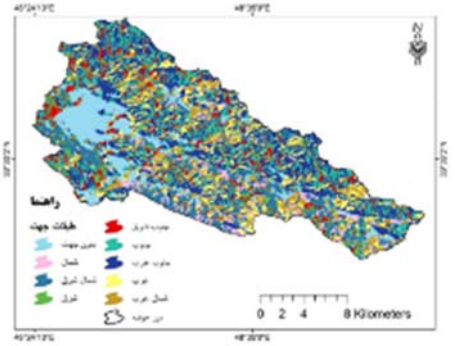
شکل ۱- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه آبخیز کرگانه



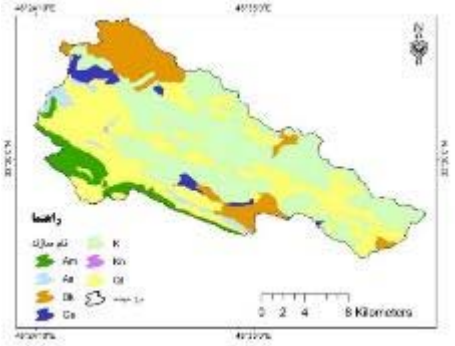
شکل ۲- نقشه طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز کرگانه



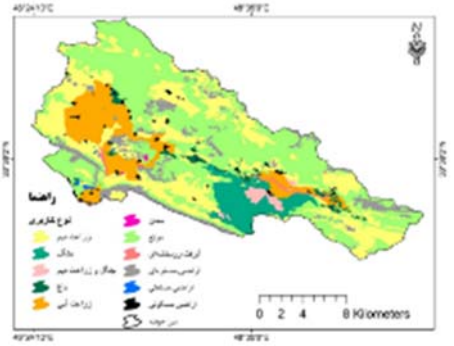
شکل ۳- نقشه طبقات شیب حوزه آبخیز کرگانه



شکل ۴- نقشه طبقات جهت شیب حوزه آبخیز کرگانه

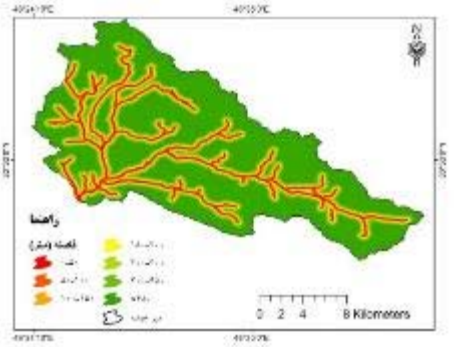


شکل ۵- نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز کرگانه

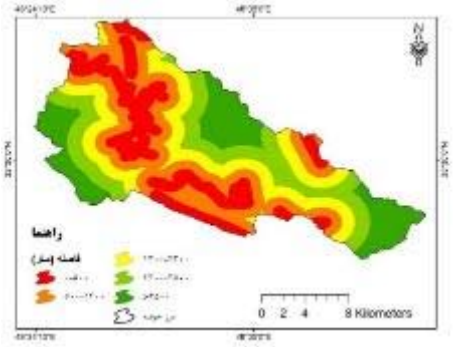


شکل ۶- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کرگانه

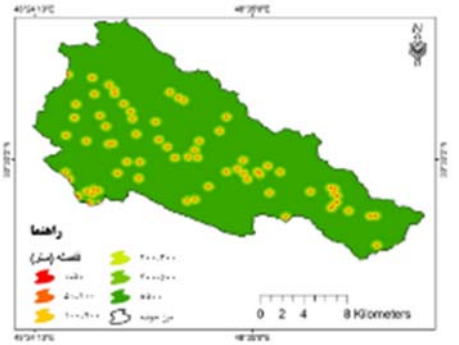
شکل ۷- نقشه طبقات فاصله از جاده حوزه آبخیز کرگانه



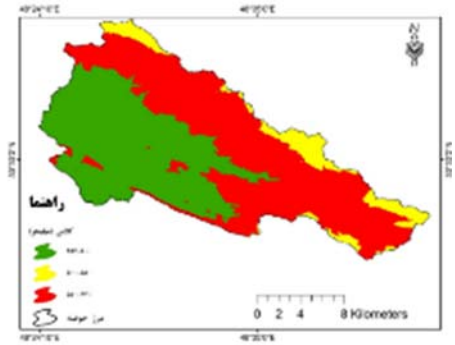
شکل ۸- نقشه طبقات فاصله از آبراهه حوزه آبخیز کرگانه



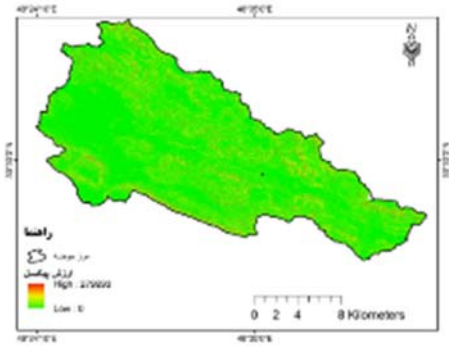
شکل ۹- نقشه طبقات فاصله از گسل حوزه آبخیز کرگانه



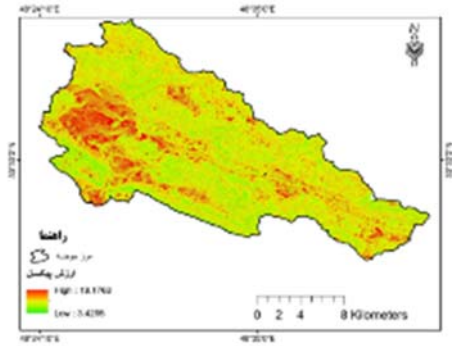
شکل ۱۰- نقشه طبقات فاصله از روستا حوزه آبخیز کرگانه



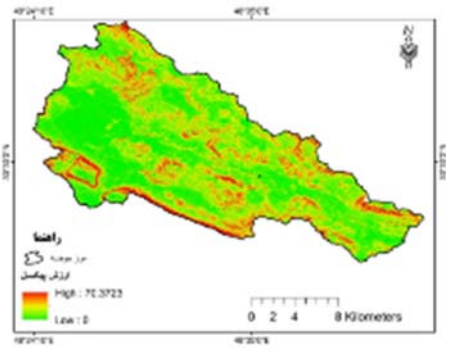
شکل ۱۱- نقشه طبقات بارش حوزه آبخیز کرگانه



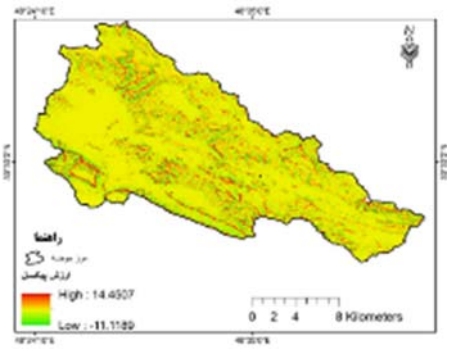
شکل ۱۲- نقشه شاخص توان آبراهه (SPI) حوزه آبخیز کرگانه



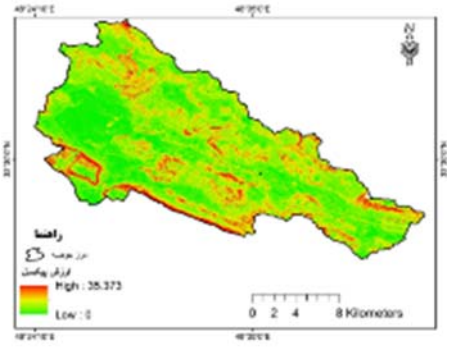
شکل ۱۳- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) آبخیز کرگانه



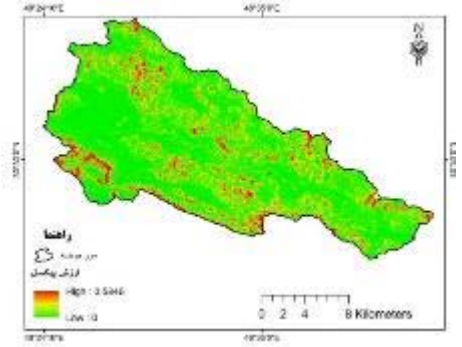
شکل ۱۴- نقشه شاخص طول شیب (LS) حوزه آبخیز کرگانه



شکل ۱۵- نقشه شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) آبخیز کرگانه

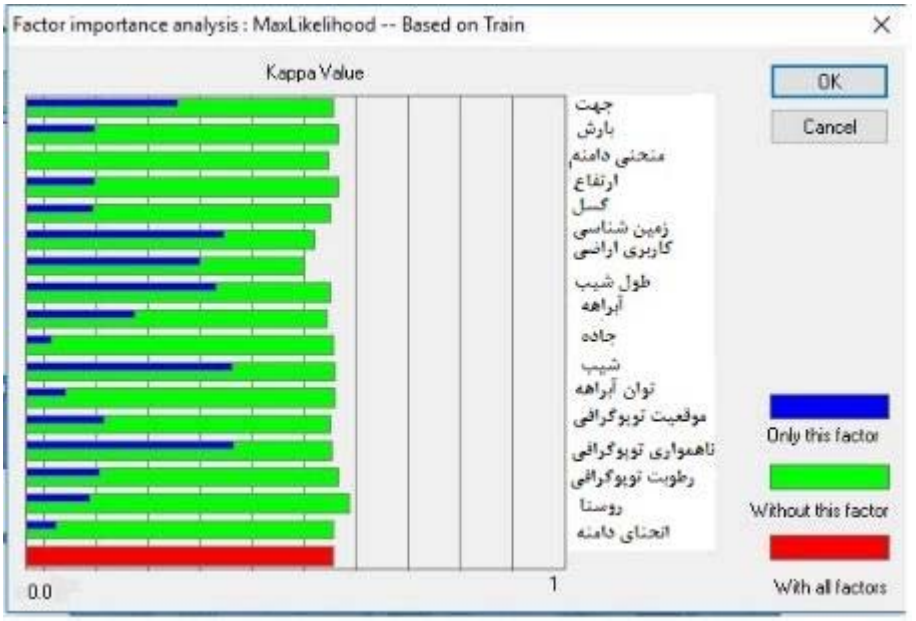


شکل ۱۶- نقشه شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) آبخیز کرگانه



شکل ۱۷- نقشه شاخص انحنای دامنه (VRM) آبخیز کرگانه

نتایج حاصل از نمودار شاخص کاپا جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها در نمودار شکل ۱۸ آورده شده است. با توجه به نمودار، شاخص‌های زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)، طول شیب و جهت شیب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار هستند.



شکل ۱۸- نتایج حاصل از نمودار شاخص حداکثر احتمال جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه سعی شد تا تعداد گسترده‌ای از عوامل (۱۶ عامل) به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شود. این عوامل حاصل نظرات کارشناسی و انجام مروری بر منابع در زمینه مدل‌های مختلف هست که بخش مهمی از آن‌ها در فصل مرور منابع ارائه‌شده است. به‌عنوان نمونه Eslami و همکاران (۲۰۱۹) لایه‌های زمین شنا سی، خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، بارش، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و لایه کاربری اراضی، Raghuvanshi و همکاران (۲۰۱۵) شش پارامتر شیب، شیب مواد، جهت شیب، ارتفاع، پو شش سطح، کاربری ارا ضی و تراز سطح آب زیرزمینی، را به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب کرده‌اند.

بر ا ساس نتایج مدل حـ سا سیت برتر، عوامل طول شیب (LS)، شیب و شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه می‌با شند. شیب یکی از پارامترهای تأثیرگذار در ناپایداری‌های دامنه‌ای محسوب می شود. به‌طورکلی میزان شیب نقش مهمی را در عواملی همچون نفوذ آب در دامنه‌ها، زاویه شکست و چسبندگی خاک می‌گذارد (Devkota و همکاران، ۲۰۱۳). بسیاری از تحقیقات بر روی نقش مستقیم شیب و تأثیر آن بر روی زمین‌لغزش‌ها تأکید دا شته‌اند (Lee و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین Devkota و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات خود به نقش مؤثر شیب در وقوع زمین‌لغزش تأکید دارند. در عامل شیب، با افزایش شیب حساسیت زمین‌لغزش

افزایش‌یافته است که نماینده افزایش نیروی گرانش در شیب‌های بالا هست. لذا عامل شیب نسبت به ارتفاع یک عامل بهتر و کامل‌تر(به لحاظ اطلاعات گرانشی موجود) برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش معرفی می شود. شاخص طول شیب (LS) یا حمل رسوب (STI) بیانگر توان حمل آبراهه است. درواقع تأثیر توپوگرافی را بر فرسایش مشخص می‌کند. درواقع هر چه طول شیب بیشتر باشد توان حمل رسوب بالاتری دارد درنتیجه شرایط فرسایش کناری بیشتر شده و زمین‌لغزش‌های کناری بیشتر می‌شود. در ارتباط با شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و ارتباط این شاخص با وقوع زمین‌لغزش می‌توان گفت که ازآنجایی‌که میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده بالاآمدگی و فعالیت نئوتکتونیک است درنتیجه ناهمواری، به‌هم‌ریختگی و زبری سطوح و افزایش شیب بیشتری رخ می‌دهد، که باعث مساعد شدن شرایط وقوع زمین‌لغزش می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشی، با همکاری و هزینه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان با شماره مصوب ۲-۵۹-۲۹-۰۳۱-۰۰۰۴۸۹ انجام شده است. مولفین برخود لازم میدانند تا از همکاری این مراکز در کلیه مراحل اجرای طرح صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

منابع

- مددی، ع.، ع. غفاری، و ا. پیروزی. ۱۳۹۴. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق لاقان چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴۱۳: ۱۲۴-۱۴۱.
- کریمی سنگچینی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی خطر، خسارت و برنامه مدیریت زمین‌لغزش حوضه آبخیز چهل چای، استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، ایران ۱۴۰ صفحه.
- کلارستاقی، ع.، م. حبیب نژاد. و ح. احمدی. ۱۳۸۶. مطالعه وقوع زمین‌لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی مطالعه موردی حوزه آبخیز تجن، ساری. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۶۲): ۹۱-۸۱.
- علی پور، ح. و آ. ملکیان. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۹): ۱۶۵-۱۸۰.

- شریفی پیچون، م.، ک. شیرانی و م. شیرانی،). اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه بندی حساسیت آن با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی مطالعه موردی: حوضه آبریز وهرگان-غرب استان اصفهان. نشریه هیدروژیومورفولوژی، ۸(۲۶): ۱۶۳-۱۳۹.
- Paoletti, V.,Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A. 2013. Level-2 susceptibility zoning on seismic induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. Physics and Chemistry of the Earth 63:147- 159.
- Shano, L., T. K. Raghuvanshi. and Meten, M. 2021. Landslide Hazard Zonation using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. Geotechnical and Geological Engineering, 1-19.
- Tyagi, A., R. K. Tiwari, and James, N. 2021. GIS-Based Landslide Hazard Zonation and Risk Studies Using MCDM. In Local Site Effects and Ground Failures (pp. 251-266). Springer, Singapore.
- Eslami, M., S. Shadfar., A. Mohammadi-Torkashvand, and Pazira, E. 2019. Assessment of density area and LNRF models in landslide hazard zonation (Case study: Alamout watershed, Qazvin Province, Iran). Acta Ecologica Sinica, 39(2): 173-180.
- Raghuvanshi, T. K., L. Negassa, and Kala, P. M. 2015. GIS based Grid overlay method versus modeling approach–A comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Showa Zone in Ethiopia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2): 235-250.
- Devkota, K. A. Regmi., H.R. Pourghasemi., K. Yoshida., B. Pradhan., I. Ryu., M. Dhital. and Q. Althuwaynee. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya, Nat Hazards, 65: 135-165.
- Lee, S., S. M. Hong, and Jung, H. S. 2017. A support vector machine for landslide susceptibility mapping in Gangwon Province, Korea. Sustainability, 9(1), 48.

بررسی تاثیر شاخص های تکتونیک و فعالیت‌های لرزه‌ای بر رسوبدهی حوضه‌ها

(حوضه‌های منتخب شمالی، جنوبی، جنوب غربی و شمال‌غرب ایران)

ضیاءالدین شعاعی[*۱]، علیرضا ستوده[۲]، صمد شادفر[۳]، حمیدرضا پیروان[۳]، علی اکبر نوروزی[۳] محمود عرب خدری[۳]،مهدی زارع[۴]، Poesen J.,[۵] Vanmaerche, M.,[۶]

۱- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (zshoaei@gmail.com)

۲-واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم دانشجوی دکترا

۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴- موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Department of Earth and Environmental Sciences, KU Leuven, Heverlee, Belgium -۵

Research Foundation Flanders (FWO), Brussels, Belgium-۶

چکیده

درک عوامل و فرآیندهای کنترل کننده میزان رسوب حوضه در زمان حاضر (SY [t km-2 y-1]) ؛ یعنی جرم رسوبی که سالانه از یک حوضه در واحد سطح حوضه خارج می شود) برای بسیاری از مسائل زیست محیطی و اقتصادی بسیار مهم است. منابع متعددی برای پشتیبانی از این فرضیه که شاخص لرزه‌خیزی یک حوضه یکی از عوامل اصلی تولید رسوب حوضه است، تاکنون در خارج از کشور منتشر شده است. همانطور که قبلا نیز اشاره گردید، تحقیقات کامل ولی نه چندان فراگیر در سطح جهان در مورد تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر رسوب حوضه انجام پذیرفته است که این روابط منطقی را نشان می‌دهد. در برخی منابع به خوبی اثبات شده است که زمین لرزه در اغلب مناطق، مسبب وقوع بسیار ناپایداری‌ها و وقوع زمین‌لغزش‌ها که مولد رسوب هستند، است. در این تحقیق، بررسی تاثیر عوامل تکتونیک بر رسوب حوضه‌های انتخابی کشور با استفاده از ضریب تاثیر تکتونیک مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مطالعات انجام شده شاخص های تکتونیکی حوضه انتخاب گردید و تاثیر گذاری آن بر میزان رسوب حوضه ها بررسی گردید. با استفاده از نتایج این تحقیقات پیشنهاد گردیده که در مطالعات آینده، میزان این تاثیرگذاری در هر حوضه شناسایی شده و از ضرایب بدست آمده جهت توسعه مدل‌های فرسایش که در برخی موارد ده‌ها برابر میزان واقعی رسوب برآورد می‌کنند، استفاده شود و با استفاده از ضریب تاثیر شاخص تکتونیکی حوضه بر میزان رسوب و استفاده از یک ضریب اصلاحی مدل‌های برآورد رسوب اصلاح گردد.

واژه‌های کلیدی:

رسوب، مدل فرسایش، تکتونیک

مقدمه

یکی از مسئولیت‌های اصلی متخصصین آب و خاک و فرسایش در کشور شناخت عوامل موثر بر فرسایش و رسوب و و دستیابی به اعداد و ارقام دقیق از هدر رفت این لایه ارزشمندی است که بر اثر عملکرد فرآیندهای هوازدگی در تشکیلات زمین‌شناسی و متعاقب آن پدیده‌های فرسایش و رسوب امروزه به صورت خاک زراعی در دسترس بشر قرار گرفته است. خاک یکی از منابع پایه اصلی تحقق حیات بر روی کره زمین است که بیش از ۹۷ درصد نیاز غذایی جهان بر روی آن تولید می‌شود. در سال‌های گذشته، عواملی از قبیل جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد، سوء مدیریت اراضی و فرسایش آبی و بادی از باروری و کیفیت آن کاسته است.

فرسایش آبی از جمله فرسایش‌های سطحی، آبکندی و حرکت‌های توده‌ای در بیش از ۱۲۰ میلیون هکتار از مناطق کوهستانی کشور و مطالعات فرسایش و رسوب در ایران دارای سابقه نسبتا طولانی می‌باشد. ولی متاسفانه اختلاف زیادی در میزان برآوردهای بدست آمده با استفاده از روش‌های مختلف می‌باشد. به منظور رسیدن به دیدگاهی واحد و ارائه تصویری از شدت و میزان فرسایش آبی و نرخ تولید رسوب کشور و ارائه دستورالعمل و راهنمای کلی برای تعیین نرخ تلفات خاک قابل تحمل در کشور، مطالعه جامعی انجام گرفته است. عرب خدری و همکاران (۱۳۹۵) مطالعات و تحقیقات جامعی را در زمینه مرور مدل های متنوع برآورد فرسایش در حوضه‌های کشور انجام داده است. در این مطالعه با استفاده از نتایج کاربرد مدل فرسایش EPM در سطح ملی، اندازه‌گیری‌های تلفات خاک در کرت‌ها، ارزیابی فرسایش با استفاده از سزیوم ۱۳۷، بار معلق سنجیده شده در محل ایستگاه‌های رسوب سنجی، رسوب نهشته شده پشت بندها، رسوب نهشته شده در مخزن سدهای بزرگ، استفاده از نسبت بار کف به معلق، منشا یابی رسوب در حوزه‌های منتخب مورد تحلیل قرار گرفت. برای برآورد متوسط میزان فرسایش و رسوب در یک نقطه، ناحیه یا دامنه، روش‌های مختلفی شامل روش‌های مستقیم و غیر مستقیم وجود دارد. در سه تحقیق (فیروز نخجوانی، ۱۳۵۱؛ روزیطلب، ۱۳۶۹ و عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۸۸) کل رسوب کشور به میزان بیش از یک میلیارد تن بر آورد گردیده است. بر اساس گزارش جلالیان و همکاران (۱۳۷۳) میزان فرسایش کشور ۵۴۹ میلیون تن در سال از ۷۳ میلیون هکتار از آبخیزهای کشور با رسوب‌دهی ویژه ۷/۵ تن در هکتار در سال و میزان فرسایش ۲۵ تن در هکتار در سال اعلام گردیده است. منیعی، (۱۳۶۹) به نقل از FAO مقدار فرسایش کل کشور را۱/۵ میلیارد تن در سال ۱۹۸۰ از ۵۶ میلیون هکتار مساحت کشور، و دو میلیارد تن در سال ۱۹۸۹ از سطح ۶۰ میلیون هکتار گزارش کرده است. معاونت آبخیزداری (گزارش بدون تاریخ) میزان فرسایش کشور را یک میلیارد تن در سال ۱۳۵۰، ۱/۵ میلیارد تن در سال ۱۳۶۰ و ۲/۵ میلیارد تن در سال ۱۳۷۰ گزارش کرده است. گزارش مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی در سال ۱۳۸۱ میزان فرسایش کشور را سه تا چهار میلیارد تن اعلام کرده است. در همین گزارش با فرض فرسایش یک میلی‌متر خاک در سال از

سطح ۱۰۰ میلیون هکتار میزان فرسایش در این وسعت ۱/۵ میلیارد تن در سال اعلام شده است. همچنین شاهویی (۱۳۶۸) فرسایش در کشور را شش تا ۳۰ تن در هکتار در سال با استفاده از نقشه-های FAO ۱:۵۰۰۰۰۰۰ اعلام نموده است. علاوه بر موارد یاد شده، میزان فرسایش در سطح ۱۲۵ میلیون هکتار از حوزه‌های آبخیز توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، حدود ۲۵ تا ۳۰ تن در هکتار در سال اعلام شد (کوچ‌بیده و همکاران، ۱۳۸۷). اخیراً نیز نیک‌کامی (۱۳۹۱) میزان فرسایش را دو میلیارد تن در سال در سطح کشور برآورد نموده است. در بررسی دیگری که در قالب مطالعات سیمای حوزه‌های آبخیز انجام گرفت (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۶)، میزان فرسایش کل کشور با استفاده از مدل EPM ارائه شده توسط Gavrilovic (۱۹۸۸)، بالغ بر ۹۷۶ میلیون تن تخمین زده شده است.

اختلاف برآوردهای موجود علاوه بر ضعف روش‌های به کار رفته، تا حد زیادی به طبیعت پیچیده فرسایش نیز مربوط است. نقاط ضعف برآوردهای موجود، مشتمل بر کارشناسی بودن اغلب آن‌ها، تعمیم اندازه‌گیری‌های بخش نسبتا کوچکی از کشور به مابقی سطح و استفاده از مدل‌های واسنجی نشده می‌شود. این دو عامل، مانع از رسیدن به یک اجماع در برآورده فرسایش متوسط در سطح کشور شده است.

نظر به اینکه، اصولا برنامه‌ریزی صحیح با اتکا به برآوردهای مبتنی بر اطلاعات و آمار و اندازه‌گیری‌ها امکان‌پذیر است؛ نیاز به تدقیق ارقام برآوردی فرسایش احساس می‌شد. در برخی از تحقیقات انجام شده تلاش گردیده با اصلاح ضرایب معادلات این اختلاف را تا حدودی اصلاح نمایند. موضوعی که در این تحقیق مد نظر قرار دارد، بررسی تاثیر ضریب تکتونیک یک منطقه بر میزان رسوب است که در برخی از تحقیقات در سایر نقاط دنیا به اثبات رسیده است و در برخی از تحقیقات انجام شده، عدم توجه به این پارامتر مهم را عامل پایین بودن دقت مدل ها ذکر کرده‌اند.

مواد و روش‌ها

عمده مدل‌ها که در حال حاضر در برآورد رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند سیستم‌های استاتیک هستند که برآورد رسوب را بر اساس فرسایش ممکنه تحت تاثیر شرایط اقلیمی فعلی و فرآیندهای متنوع فرسایش و حمل ذرات ناشی از هوازدگی فیزیکی و شیمیایی انجام می‌دهند. در این مدل ها معمولاً به عوامل دینامیکی نظیر فعالیت‌های تکتونیکی توجه نمی‌شود. بسیاری از بررسی‌هایی که بر رابطه بین لرزه‌خیزی و تولید بار رسوبی تمرکز داشته‌اند از نقشه‌های خطرات لرزه‌ای برای ارزیابی کمی درجه فعالیت لرزه‌ای استفاده کرده‌اند. حرکات تکتونیکی مرتبط با زمین‌لرزه می‌تواند منجر به شکاف (برش یا قطع شدگی مسیر) رودخانه شده و به همین علت موجب افزایش میزان انتقال رسوب می‌شود. Whittaker و همکاران، (۲۰۱۰)، Larsen and Montgomery، (۲۰۱۲)، Yanites و همکاران (۲۰۱۰)، نشان

دادند که در مقیاس زمانی کوتاه‌تر (در دهه‌های اخیر عهد حاضر) افزایش میزان SY، رابطه‌ای مستقیم با تاثیر تکتونیک بر قطع شدگی مسیرها که یک پدیده متناسب ضریب فعالیت تکتونیکی می‌باشد، داشته است. علی رغم وجود شواهد مطالعاتی و تحقیقاتی قابل اعتماد در زمینه تاثیر فعالیت های لرزه ای بر SY، هنوز سوالات بسیاری بدون تحقیق و جواب مانده است. در این تحقیق منظور از ضریب فعالیت‌های تکتونیکی، فعالیت‌های تکتونیکی مستمری هستند که به لرزه‌خیزی یک منطقه و وقوع زلزله‌ها منجر می شود و بر فعالیت‌های رسوب‌زائی حوضه‌ها تاثیر می‌گذارند. با توجه به فعال بودن تکتونیکی فلات ایران، در نظر گرفتن عامل لرزه‌خیزی در رسوبدهی حوضه‌ها می‌تواند به تدقیق مدل‌های برآورد میزان فرسایش و رسوب کمک نماید (Vanmaercke et al.2011a, b).

در این مطالعه رابطه بین SY و خصوصیات تکتونیکی حوضه از جمله خصوصیات لرزه‌ای، گسل‌ها را تحلیل می‌کنیم. برای دستیابی به یک شاخص که نشان دهنده خصوصیات تکتونیکی یک حوضه باشد مرور منابع وسیعی صورت گرفت و بر اساس آن چندین پارامتر انتخاب و اطلاعات هر حوزه جمع‌آوری گردید. شاخص‌های نسبت گسل از تقسیم طول گسل‌های یک حوضه به کیلومتر و مساحت حوضه به کیلومتر مربع بدست آمد. این شاخص‌ها عبارتند از نسبت طول کل گسل‌های یک حوضه به مساحت حوضه (نسبت تراکم گسل‌ها)، نسبت گسل‌های فعال یک حوضه به مساحت حوضه (نسبت تراکم گسل های فعال). برای تعیین شاخص زلزله در هر حوضه، از متوسط شدت و ماکزیمم شدت زلزله‌های رخ داده در یک حوضه استفاده گردید. با توجه به اطلاعات موجود و امکان استفاده از اطلاعات شتاب نگاشت‌ها، مقدار شتاب ماکزیمم زلزله ها (PGA) در هر حوضه نیز به عنوان یکی دیگر از شاخص‌های تکتونیکی حوضه در نظر گرفته شد.

منطقه مطالعاتی

از نظرفیزیوگرافی و مورفولوژی سرزمین ایران فلات نسبتا مرتفعی است که در بخش میانی کمربند چین خورده آلپ ـ هیمالیا قرار دارد. این رشته ارتفاعات عظیم که از اروپا تا آسیای مرکزی ادامه پیدا می‌کند، در ایران به دو شاخه کوه‌های البرز و زاگرس تقسیم می شود. شاخه جنوبی، رشته کوه زاگرس را می‌سازد که به صورت دیواره‌ای عظیم، ایران مرکزی را از جلگه بین النهرین جدا می‌سازد. این رشته در جنوب خاوری بصورت سدی تمام سواحل خلیج فارس را پوشانده و به رشته مکران وصل و وارد خاک پاکستان می‌شود. شاخه شمالی، رشته البرز را بوجود آورده که از طرف شمال حوزه داخلی را از دریای خزر، و پس از اتصال به رشته کپه داغ، که امتداد شمال باختری ـ جنوب خاوری دارد، از صحرای قره قوم و خوارزم جدا می‌کند. در این نواحی قسمتی از رشته کوه‌های خاوری ایران با راستای شمالی ـ جنوبی که بین بلوک لوت در باختر و بلوک هلمند در خاور قرار دارد از شمال به کفه‌های خواب و از جنوب به رشته مکران می‌رسد و حصار حوزه مرکزی ایران را کامل می‌کند. رشته سوم در قسمت میانی رشته البرز و

زاگرس با راستای شمال باختری ـ جنوب خاوری در داخل پهنه فلات مانند مرکزی، ضمن برخورد با هسته‌های موجود مرکز ایران، اشکالی متنوع از حوزه‌های بسته یا دریاچه‌ای بوجود می‌آورد که ریخت-شناسی کنونی دشت‌های داخلی را شکل داده است.

به طور کلی حوزه های مورد بررسی در این طرح نواحی شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب و جنوب ایران را پوشش می‌دهند و شامل استان‌های مازندران، گیلان، اردبیل، آذربایجان غربی و شرقی، زنجان، هرمزگان، خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان، کرمانشاه و همدان می‌باشند که موقعیت آنها در نقشه شماره ۱ مشخص شده است.

با توجه به ضرورت تطابق اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل با ایستگاه‌های هیدرومتری که در خروجی حوضه‌ها تعبیه میگردند، واحد آبخیزها به عنوان واحد کاری انتخاب شد.

روش تحقیق

در روش‌های بکارگیری شده در سایر تحقیقات مشابه تلاش گردید تا ارتباط بین تولید رسوب (SY) حوضه و عوامل مرتبط با تکتونیک یک منطقه بر قرار گردد. اولین فاکتور مورد توجه در این تحقیق انتخاب مناطقی است که اطلاعات کافی در مورد آمار رواناب و رسوب حوضه و همچنین سایر اطلاعات مورد نیاز این تحقیق در دسترس باشد. علی رغم وجود شواهد مطالعاتی و تحقیقاتی قابل اعتماد در زمینه تاثیر فعالیت‌های لرزه‌ای بر SY ، و وجود روند فزاینده این مطالعات برای تعیین میزان این تاثیر در زمان حال و نرخ فرسایش دراز مدت حوزه‌های آبخیز، هنوز سوالات بسیاری بدون تحقیق و جواب مانده است. در ادامه این تحقیقات تلاش گردید روش کار با استفاده از تجارب جهانی در شرایط متنوع حوضه‌های ایران مورد توجه قرار گیرد.

در روش تحقیق ابتدا اطلاعات مربوط به پارامترهای منتخب برای هر حوضه جمع آوری گردید. گرچه در زمینه رواناب و رسوب اطلاعات کافی در مورد وجود یا عدم وجود اطلاعات در حوضه های مختلف وجود دارد، ولی با توجه به ضرورت وجود هم وزنی بین اطلاعات رواناب و رسوب و اطلاعات تکتونیکی نظیر تراکم گسل‌ها، شدت و تعداد زلزله‌ها در طول تاریخ، شتاب حاصل از این زلزله‌ها، انتخاب حوضه‌های مورد مطالعه کار آسانی نبود. از سویی در مناطقی که وقوع زلزله‌های نسبتا شدید و با شتاب قابل توجه وجود دارد مثل شرق کشور، بارش‌ها کم و آمار ایستگاه‌های هیدرومتری ناکافی بود. و از سویی دیگر در منطقه غرب کشور که نسبتا آمار رواناب و رسوب کامل‌تری دارد وقوع زمین‌لرزه‌ها معدود است. با توجه به اهمیت بیشتر آمار رواناب و رسوب، کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری کشور مرور گردید و در اولین مرحله تعداد ۷۳ ایستگاه که دارای آمار کافی بودند انتخاب گردید.

الف: نقشه استانی مناطق منتخب

ب : تقسیم بندی حوضه های درجه ۱

پ: حوضه های منتخب

ت: تقسیم بندی حوضه های درجه ۲

شکل ۱ - نقشه تقسیم‌بندی حوضه‌های آبخیز کشور و موقعیت حوضه منتخب به عنوان مناطق مطالعاتی

در مرحله بعد وجود یا عدم وجود اطلاعات کافی لرزه‌ای و تکتونیکی در تعدادی از استان‌های جنوبی، غربی، جنوب غرب و شمال و شمال‌غرب بررسی و در نهایت حوضه‌ها انتخاب گردید. موقعیت استان‌های منتخب و لیست مشخصات حوزه های منتخب در جدول۱ نشان داده شده است. همانطور که می‌دانیم در کنار تقسیم‌بندی استانی کشور تقسیم بندی ایالت‌های لرزه‌ای و تقسیم‌بندی حوضه‌های آبخیز وجود دارد. در شکل ۱ نقشه تقسیم‌بندی کشور به ۶ ابر حوضه بزرگ و ۳۰ حوضه درجه دو نشان داده شده است. در انتخاب حوضه‌های مناسب سعی شد تا حوضه‌هایی انتخابی گردد که ایستگاه هیدرومتری آن قدیمی و سابقه ثبت اطلاعات طولانی‌تر و آمار رسوب معلق بیشتری داشته باشد. موقعیت مناطق منتخب آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ مشخصات کلی حوزه و زیر حوزه های منتخب

شماره منطقه	نام زیر حوضه منتخب	تعداد زیر حوضه های حوضه منتخب	استان	کدتماب
۱	ارس	۵	اردبیل+آدر غربی	۱۹
۲	ارومیه	۱۲	آذر غربی	۳۱
۳	نور	۶	گیلان+مازندران	۱۶
۴	نکا	۶	مازندران	۱۴+۱۳
۵	سفیدرور	۶	آذر غربی+زنجان+گیلان	۱۷
۶	بندر عباس	۴	هرمزگان	۲۸+۲۷
۷	زهره	۷	خوزستان+کهگیلویه+فارس	۲۲
۸	مند	۴	فارس	۲۴
۹	کارون	۱۱	لرستان+خوزستان_چهارمحال	۲۱
۱۰	کرخه	۱۳	کرمانشاه+لرستان	۲۱

آمار رسوب حوضه‌ها

با توجه به اینکه یکی از چالش‌های اصلی در کشور ما کمبود اطلاعات در ایستگاه‌های کشور است لذا در این تحقیق تلاش گردید که پس از شناسایی ایستگاه‌های حاوی اطلاعات نسبتا کافی که در تحقیقات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری مورد بررسی قرار گرفت، تعدادی از حوزه‌های که مورد نظر در مناطق فعال از نظر تکتونیکی بود به نحوی انتخاب گردید که از هر دو جنبه اطلاعات رسوب و تکتونیک غنی باشد. ابتدا ۱۰ حوزه درجه ۲ انتخاب شد و در داخل این حوزه، زیر حوضه‌هایی انتخاب شد که منتهی به یک ایستگاه هیدرومتری مناسب باشد. جمعا ۷۰ ایستگاه با مقیاس درجه ۴ و دارای ایستگاه آب و رسوب انتخاب گردید به نحوی که این ایستگاه‌ها سنجش رسوب از تاثیر پذیری از عملیات سدسازی و سایر اثرات فعالیت‌های انسانی مصون باشد، و در صورت وجود اثرات انسانی به عبارتی کمتر از ۱۰ درصد از حوضه آبریز تحت تأثیر قرار داشته باشد و نسبت مساحت زمین‌های دست خورده (یعنی زمین-های زراعی، محصولات دائمی و منطقه ساخته شده) کمتر از ۲۰ درصد باشد. به طور کلی، این حوضه‌های انتخابی طیف وسیعی از شرایط توپوگرافی، سنگ‌شناسی و زمین‌ساختی در ایران را نشان می‌دهد.

شاخص تکتونیک

همانطور که در مرور منابع اشاره گردید، تحقیقات کامل ولی نه چندان فراگیر در سطح جهان در مورد تاثیر فعالیت های تکتونیکی بر رسوب حوضه انجام پذیرفته است که نشان می‌دهد بین میزان رسوب یک حوضه و شاخص تکتونیکی حوضه یک سری روابط منطقی وجود دارد. البته در برخی از تحقیقات انجام شده اثبات شده است که زمین‌لرزه‌ها در اغلب مناطق، مسبب وقوع بسیار ناپایداری‌ها و وقوع زمین‌لغزش‌ها هستند. اگر چه همه لغزش‌های یک منطقه معلول زمین لرزه‌ها نیستند ولی تحقیقات متعددی نشان دهنده این واقعیت است که حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها بر تولید رسوب بسیار مؤثر بودند. علاوه بر این، در تعدادی از تحقیقات در مناطق کوهستانی بسیار فعال نشان دهنده این واقعیت بوده که یک رابطه کاملا مشهود بین فعالیت‌های لرزه‌ای و تولید رسوب در حوزه برقرار است. این نکته هم قابل ذکر است که فعالیت‌های لغزشی می‌توانند یک پالس تولید رسوب در منحنی سنجه رسوب ایجاد نمایند ولی در همه موارد دلیلی وجود ندارد که فرسایش دراز مدت در حوزه نیز همیشه تحت تاثیر این لغزش قرار داشته باشد که تایید این واقعیت است که لزوماً بر تداوم نرخ فرسایش بلند مدت تاثیر ندارد. باید توجه داشت که فعالیت‌های لرزه‌ای تمام اثراتی را که نیروی زمین ساختی ممکن است بر SY داشته باشد، کاملاً نشان نمی‌دهد. به عنوان مثال، در حالی که بالا آمدگی ناشی از تکتونیک معمولاً با فعالیت لرزه‌ای قابل توجه مشخص می‌شود (Parker et al., 2011)، ولی زمین‌لرزه‌ها لزوماً موجب بالا آمادگی بخشی از زمین نمی‌شوند.

شاخص تکتونیکی حوضه می‌تواند از خصوصیات و اندازه‌گیری‌های مختلف بعمل آمده در حوضه استخراج گردد. جهت آزمون بهترین شاخص که بیانگر میزان فعالیت تکتونیکی یک حوضه باشد تنوعی از شاخصه-های تکتونیکی هر حوضه در نظر گرفته شد. اولین شاخص، شاخص شدت و بزرگی زلزله است. در برخی از مناطق فعال از نظر لرزه‌خیزی که آمار تعداد زلزله‌ها قابل توجه است، تحقیقات نشان داده است که علیرغم عدم مشاهده زمین‌لغزش‌ها و جنبش‌های توده‌ای ناشی از زلزله‌ها، فعالیت‌های لرزه‌ای به افزایش نرخ رسوب منجر شده است که علت آن می‌تواند بهم ریختگی‌های سطحی، افزایش هوازدگی و تشدید فرسایش باشد. اطلاعات شدت و تعداد وقوع زلزله از بانک اطلاعاتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و کاتالوگ پایگاه جهانی (پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله) استفاده گردید. این مجموعه‌ها داده بر اساس موجودی‌های بزرگ زمین‌لرزه‌های تاریخی و اندازه‌گیری شده است. این شاخص مستخرج از متوسط گیری از شدت زلزله‌های رخ داده ثبت شده در ۵۰ سال اخیر است. یکی دیگر از شاخص تکتونیکی که می‌تواند بر اساس بیان کننده میزان و شدت فعالیت تکتونیکی یک منطقه باشد و شتاب حداکثر زمین (Peak Ground Acceleration)یا (PGA) زلزله‌ها می‌باشد. در این تحقیق پیک شتاب حداکثر که بیان کننده حساسیت حوضه به وقوع زلزله بوده و می‌تواند مستقیماً به افزایش SY در حوزه آبخیز مرتبط شود، انتخاب گردید. از آنجایی که PGA به شدت به بزرگی زمین لرزه‌ها بستگی دارد

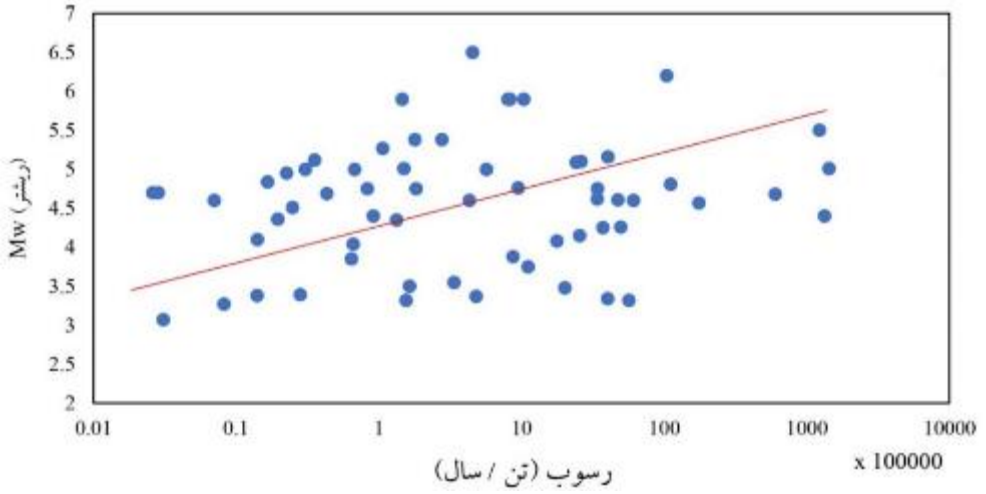
(Shedlock et al., 2000) و فراوانی و شدت زمین‌لرزه‌های کوچکتر به طور کلی با بزرگی بزرگ‌ترین رویدادهای زمین لرزه همبستگی قوی دارد (Bak et al., 2002; Turcotte and Malamud,2004)، می‌توان انتظار داشت که PGA معیار خوبی از فعالیت کلی لرزه‌ای در یک منطقه باشد. باید توجه داشت که فعالیت لرزه‌ای تمام اثراتی را که نیروی زمین ساختی ممکن است بر SY داشته باشد به طور کامل نشان نمی‌دهد. در مورد بیشینه شتاب زمین و شدت زلزله برای هر حوضه میانگین وزنی این پارامتر به عنوان عامل موثر زلزله محاسبه می‌شود. برای هر حوضه‌ای که مورد مطالعه قرار گرفت، میانگین اوج شتاب زمین (PGA [m s-2]) را در بازه آماری ۵۰ ساله استخراج کردیم.

بحث و نتیجه گیری

مرحله بعد همبستگی فضایی بین SY و فعالیت پارامترهای تکتونیکی اشاره شده در بالا بررسی گردید. روابط بین سنگ‌شناسی که در مدل های مختلف به عنوان عامل موثر در رسوبدهی حوضه مطرح است و شاخص‌های تکتونیک و SY نیز با روش رگرسیون‌های دو متغیره مورد بررسی قرار گرفت.

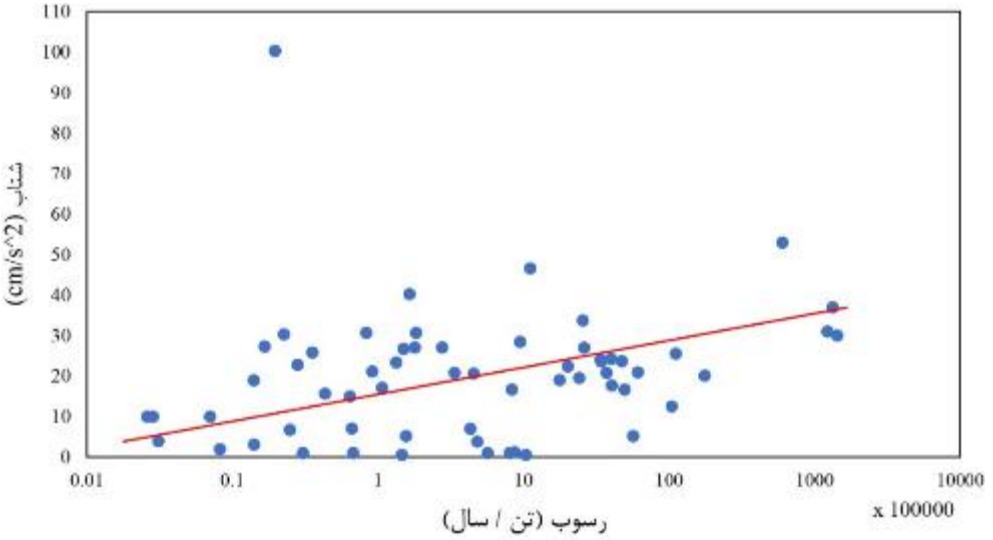
مرور منابع نشان می‌دهد که رسوبدهی یک حوضه (SY) در مقیاس حوضه‌های متوسط و بزرگ رابطه معنی‌داری با شدت فعالیت‌های تکتونیکی در یک حوضه آبخیز دارد، که معمولا در مدل‌های تجربی لحاظ نمی شود. در این تحقیق، بررسی تاثیر عوامل تکتونیک بر رسوب حوض‌های انتخابی کشور با استفاده از ضریب تاثیر تکتونیک در مدل‌های مورد استفاده اعمال خواهد شد. در این تحقیق منظور از ضریب فعالیت‌های تکتونیکی، فعالیت‌های تکتونیکی مستمری هستند که به لرزه‌خیزی یک منطقه و وقوع زلزله‌ها منجر می‌شود و بر فعالیت‌های رسوب‌زائی حوضه‌ها تاثیر می‌گذارند. در صورت فعال بودن تکتونیکی یک منطقه، در نظر گرفتن عامل لرزه‌خیزی در رسوبدهی حوضه‌ها می‌تواند به تدقیق مدل‌های برآورد میزان فرسایش و رسوب کمک نماید. بدین صورت که با استفاده از ضریب اصلاحی برای برآورد مدل و مقدار انداز گیری رسوب و شاخص تکتونیکی حوضه با استفاده از یک رابطه ضریب قابل اعمال در مدل توصیه می‌گردد.

رابطه بین بزرگای زلزله (آمار ثبت شده ۵ ساله) در حوضه‌های منتخب و میزان رسوب حوضه در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.



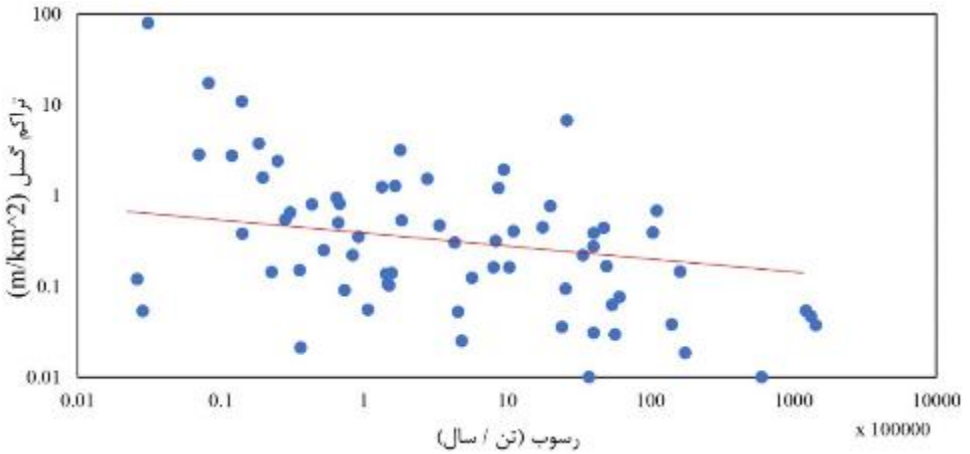
شکل ۲ رابطه بین بزرگای زلزله و میزان رسوب حوضه‌ها

در یک رابطه دیگر بین رسوب مشاهده شده (SY) و میانگین اوج شتاب زمین (PGA) در آمار ۵۰ ساله بررسی گردید که در شکل ۳ نشان داده شده است.



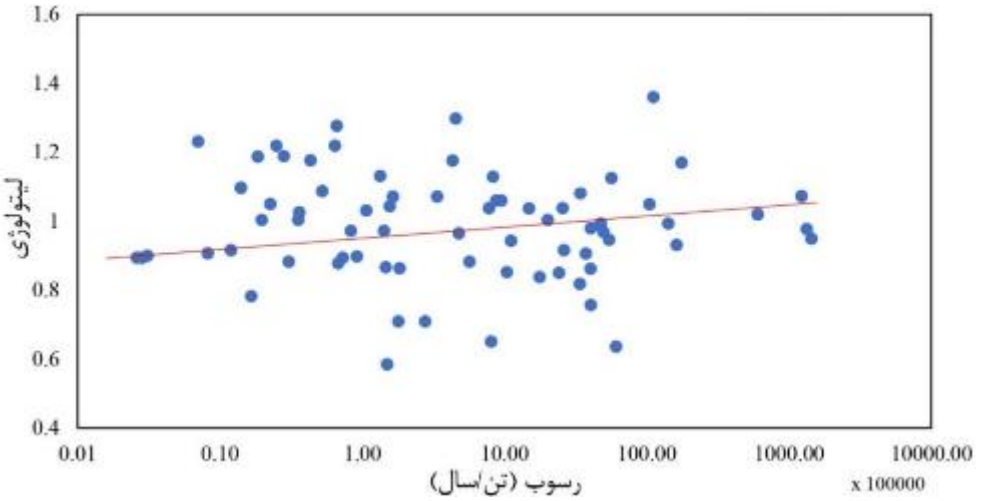
شکل ۳ رابطه بین شتاب زلزله و میزان رسوب حوضه‌ها

رابطه بین ارتباط نسبت تراکم گسل و رسوب حوضه نیز (SY) در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ رابطه بین ارتباط نسبت تراکم گسل و رسوب مشاهده شده (SY) در حوضه‌های منتخب

در شکل ۵ رابطه بین سنگ‌شناسی بر اساس تنوع سنگ‌شناسی ارائه شده توسط پژوهشکده آبخیزداری (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۸۵) و مقادیر رسوب نشان داده شده است.



شکل ۵ رابطه بین سنگ شناسی و مقادیر رسوب در حوضه های منتخب

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است رابطه بین بزرگای زلزله و رسوب یک همبستگی مثبت را نشان می‌دهد. همین رابطه در شکل ۳ در مورد همبستگی بین شتاب و رسوب حوضه‌ها صادق می‌باشد. بدیهی است که تغییرات SY در مقیاس بزرگ تنها با لرزه خیزی کنترل نمی‌شود. رابطه همبستگی نسبت رسوب حوضه‌ها و تراکم گسل‌ها دارای ارتباط معنی‌داری نبوده که شاید علت اصلی آن رابطه معکوس و تاثیر وجود گسل‌ها بر جذب رواناب و کاهش رسوب در منطقه باشد. البته به دلیل تاثیر وقوع گسل‌ها بر سست کردن تشکیلات زمین‌شناسی و خاک‌های سطحی منطقه و افزایش فرسایش پذیری شاید در دراز مدت این تاثیر بصورت پیک رسوبی قابل رویت باشد که این امر نیاز به تحقیقاتی مستقل دارد.

در شکل ۵ رابطه بین سنگ‌شناسی و رسوب حوضه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برخلاف انتظار که لیتولوژی و فرسایش پذیری سنگ‌ها را یکی از عوامل تاثیر گذار در رسوب حوضه می‌داند، در این نمودار این رابطه مثبت وجود دارد ولی شیب کم خط برازش رابطه نسبتا ضعیفی را نشان می‌دهد. علت این امر می‌تواند اندازه حوضه‌های رده ۴ و تنوع زیاد تشکیلات زمین‌شناسی در آنها باشد.

پیشنهادها

همانطور که ملاحظه گردید رابطه نسبتا قطعی بین شاخص های تکتونیکی و رسوب (SY) , وجود دارد ولی مکانیسم‌هایی که این همبستگی را توضیح دهند در حال حاضر به خوبی درک نشده اند (Cox et al., 2010). نتایج ما بیشتر نشان می‌دهد که رابطه بین تغییرات کاربری زمین، فعالیت لرزه‌ای و فرآیندهای مختلف فرسایش باید محور تحقیقات آینده باشد. تجزیه و تحلیل‌هایی که در بالا توضیح دادیم به وضوح کنترل قابل توجه لرزه خیزی در SY یک حوضه را نشان می‌دهد، اما اثرات آن را کمی سازی نمی‌کند. برای استمرار این تحقیق پیشنهاد می‌شود که در مرحله بعد بر روی حوضه‌های دارای اطلاعات اندازه‌گیری شده بیشتر تاکید گردد و تلاش گردد، این روش در چند حوضه خاص در کشور که دارای آمار طولانی تر نظیر کارون و حوضه‌های مشابه دیگر اجرا شود. در این صورت پیشنهاد می‌گردد که بین فاکتور تکتونیک و فاکتورهای که در مدل‌های مورد استفاده در کشور یک رابطه رگرسیونی به منظور توصیه یک مدل فرسایش دارای قابلیت پیش‌بینی دقیقتر توصیه گردد. همچنین توصیه می‌شود با توجه به تاثیر اندازه حوضه در دقت کار، این تحقیقات باید بر روی حوضه های با مقیاس بزرگ و کوچک همزمان اجرا شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به خاطر تامین منابع و اطلاعات لازم برای اجرای این طرح اعلام می‌دارند، از پژوهشگاه زلزله و مهندسی زلزله به خاطر تسهیل

و راهنمایی در دستیابی به اطلاعات زلزله تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از سازمان زمین شناسی به خاطر تامین آخرین اطلاعات گسل‌های حوضه‌های مورد مطالعه تشکر می‌گردد. و سر انجام از همکاران طرح در دانشگاه لون بلژیک به خاطر همکاری صمیمانه در ارسال منابع لازم نیز تشکر می‌گردد.

منابع

- عرب خدری م.، صمد شادفر ص، سکوتی اسکویی ر. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن
- در کشور گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و ابخیزداری، کد طرح: ۹۱۵۱-۲۹-۲۹-۱۴، تاریخ انتشار: ۱۳۹۵، ۲۵۵ صفحه
- فیروز نخجوانی، ف. ۱۳۵۱. مبارزه با فرسایش و اصلاح آبخیزها. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۳۵۱. ۳۶۸ صفحه.
- روزیطلب، م.ح. ۱۳۶۹. ویژگی‌های عمومی خاک‌های ایران. نگرشی بر استعداد تولیدی و محدودیت‌های آن. دانشمند، ۲۸(۴۳): ۱۸-۲۶.
- عرب‌خدری، م.، ع.و. خوجینی، ش. حکیم‌خانی، ا.ح چرخابی و ع. تلوری. ۱۳۸۸. برآورد رسوب‌دهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۵ صفحه.
- جلالیان، ا.، ا.م. قهاره، و ح.ر. کریم‌زاده. ۱۳۷۳. فرسایش و رسوب و علل آن در حوزه‌های آبخیز کشور و ارائه نتایج موردی در بعضی از حوزه‌های آبخیز ایران. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشکده کشاورزی دانشگاه اصفهان، ۹-۱۰.
- منیعی، ع. ۱۳۶۹. دامداری، مراتع و برنامه پنج سال اول. دانشمند، ۲۸(۴۳): ۳۶-۴۲
- معاونت آبخیزداری. بی‌تاریخ. آبخیز و آبخیزداری. بروشور تهیه شده در دفتر بررسی و تحقیق
- شاهویی، ص. ۱۳۶۸. بررسی فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوئین و تعمیم نتایج در تهیه نقشه فرسایش خاک آبخیز سر شاخه ملارود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.
- کوچ‌بیده، ن.، م.ر. بیگلربیگی، و م. پاشاپور. ۱۳۸۷. سند توسعه منابع طبیعی و آبخیزداری در افق ۱۴۰۴. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۴۳ صفحه.
- نیک‌کامی، د.، م. عرب‌خدری، ع. رنجبر سعادت‌آبادی، م. پاره‌کار، ا. سررشته‌داری، د. لطف‌الله‌زاده، ش. حکیم‌خانی، پ. رزم‌جو، م. همتی و م.ع. شریفی. ۱۳۹۱. بررسی و تعیین مناسب‌ترین شاخص

فرسایندگی باران در مناطق مختلف ایران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۴۱ صفحه.

- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۶. نقشه شدت فرسایش ایران با استفاده از مدل EPM. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری.
- پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (http://www.iiees.ac.ir/fa/eqcatalog)
- شریعت جعفری، م، غیومیان، ج، پیروان، ح. (۱۳۸۵). حساسیت ذاتی سازندهای زمین شناسی به هوازدگی و فرسایش در حوضه های واقع در پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی، نشریه علوم (دانشگاه خوارزمی)، ۶ (۲-۱)، ۷۰۹-۷۲۲

- Gavrilovic, Z. 1988. The use of an empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. In: White, W. R. (Ed.), International Conference on River Regime; 411–422
- Whittaker AC, Attal M and Allen PA (2010) Characterizing sediment origin, nature, and fate exported from catchments perturbed by active tectonics. Basin Research 22: 809–828.
- Larsen IJ and Montgomery DR (2012) Landslide erosion coupled to tectonics and river incision. Nature Geoscience 5: 468–473.
- Yanites, B.J., Tucker, G.E., Mueller, K.J., Chen, Y.-C., 2010. How rivers react to large earthquakes: evidence from central Taiwan. Geology 38, 639–642.
- Vanmaercke M, Poesen J, Verstraeten G, et al. (2011a) Sediment yield as a desertification risk indicator. Science of the Total Environment 409: 1715–1725.
- Vanmaercke M, Poesen J, Verstraeten G, et al. (2011b) Sediment yield in Europe: Spatial patterns and scale dependency. Geomorphology 130: 142–161.
- Parker RN, Densmore AL, Rosser NJ, et al. (2011) Mass wasting triggered by the 2008 Wenchuan earthquake is greater than orogenic growth. Nature Geoscience 4: 449–452.
- Shedlock K, Giardini D, Gru¨nthal G, et al. (2000) The GSHAP global seismic hazard map. Seismological Research Letters 71: 679–686.
- Turcotte DL and Malamud BD (2004) Landslides, forest fires, and earthquakes: Examples of self-organized critical behavior. Physica A 340: 580–58
- Bak P, Christensen K, Danon L, et al. (2002) Unified scaling law for earthquakes. Physical Review Letters 88: 178501
- Cox R, Zentner DB, Rakotondrazafy AMF, et al. (2010) Shakedown in Madagascar: Occurrence of lavakas (erosional gullies) associated with seismic activity. Geology 38: 179–182.

بررسی اثر بارش‌های با شدت متفاوت بر رواناب و غلظت رسوب اراضی دیم سرارود کرمانشاه

سعید نبی‌پی لشکریان*[۱]، زهرا گرامی[۲]، محمود عرب‌خدری[۳]

۱*- کارشناس پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، snabipay@gmail.com

۲- کارشناس پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، gerami_z@scwmri.ac.ir

۳- استاد پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، mahmood.arabkhedri@gmail.com

چکیده

دیم‌زارها با مساحت بالغ بر ۱۰ میلیون هکتار در کشور، به دلایل مختلف نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و یکی از منابع مهم رسوب رودخانه‌ها هستند. از طرفی وقوع بارش‌های حدی، میزان تلفات در این اراضی را چند برابر می‌کند؛ بنابراین، در این پژوهش اثر بارش‌ها با شدت متفاوت بر ویژگی‌های جریان در اراضی دیم تحت شبیه‌سازی باران انجام گرفت. در اجرای این پژوهش، حدود ۱۰ تن خاک سطحی از دیم‌زارهای استان کرمانشاه به پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری حمل شد. خاک پس از آماده‌سازی، به داخل فلوم آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش منتقل شد. سپس، اثرات باران‌هایی با شدت ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت (شدت‌های کم، متوسط و زیاد)، به مدت ۳۰ دقیقه در شیب ثابت ۱۲ درصد بررسی شد. در کل آزمایش‌ها رواناب همراه رسوب جمع‌آوری و حجم و ضریب رواناب و غلظت رسوب محاسبه شد. نتایج نشان داد که در شدت ۳۳ میلی‌متر بر ساعت، به علت ساختمان خوب و ماده آلی زیاد این خاک که موجب بالارفتن نفوذپذیری در این خاک شده است، رواناب جاری نشد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش شدت باران، غلظت رسوب، حجم و ضریب رواناب افزایش‌یافته است. میزان افزایش غلظت رسوب از شدت ۶۴ به ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت به میزان ۴/۳ برابر بوده است و تغییرات حجم رواناب و ضریب رواناب در شدت ۱۱۰ نسبت به شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت، به ترتیب ۱۹ و ۱۵ برابر بوده است. در مجموع می‌توان بیان کرد که در رویدادهای استثنایی، غلظت رسوب و حجم رواناب و ضریب رواناب، به میزان قابل‌توجهی تغییر می‌کند که ضرورت محافظت خاک‌های لخت در برابر برخورد قطرات باران و افزایش ظرفیت نفوذ خاک‌ها از طریق بهبود ساختمان خاک‌ها را در این بارش‌ها نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

دیمزار، ویژگی‌های جریان، فلوم، شبیه‌سازی باران، ماده آلی

مقدمه

فرسایش خاک یک فرایند ژئومورفولوژیکی و درعین‌حال تخریب زمین است که امکان دارد باعث آسیب های زیست‌محیطی و خسارات مالی، از دست دادن معیشت و خدمات و همچنین اختلالات اجتماعی و اقتصادی شود. فرسایش نه‌تنها باعث کاهش کیفیت خاک، حاصلخیزی و سطح زیر کشت در محل، بلکه باعث مشکلات قابل‌توجه مرتبط با رسوب در خارج از محل وقوع فرسایش (Poesen، ۲۰۱۸) و مشکلات دیگر از قبیل ایجاد خندق‌ها، آب‌گرفتگی زمین‌های کشاورزی، رسوب‌گذاری در مخازن ذخیره آب، شکوفایی جلبک‌ها و کاهش کنترل سیلاب‌ها (Lal، ۱۹۸۸) شود. فر سایش خاک به شدت منابع خاک و پایداری کشاورزی را تهدید می‌کند و پس از چند دهه تحقیق، این مشکل همچنان ادامه دارد و به یک مسأله جهانی تبدیل‌شده است(Govers و همکاران، ۲۰۱۷).

با وجود سابقه طولانی مطالعات فر سایش و ر سوب در ایران اختلافات زیادی در برآوردهای فر سایش و رسوب دیده می‌شود. بااین‌حال، عرب‌خدری (۱۳۹۳) با جمع‌بندی داده‌های موجود، شامل نتایج استفاده از مدل‌ها در سطح ملی، مقادیر اندازه‌گیری شده کرت‌ها، تخمین فرسایش به کمک سزیم ۱۳۷، بار معلق در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، نسبت بارکف به معلق و در نهایت منشأیابی رسوب در حوضه‌های منتخب، مقادیر فرسایش و رسوب‌دهی معلق ویژه سطح کشور را به ترتیب حدود دو و شش تن در هکتار در سال گزارش کرد. بررسی‌های انجام‌شده توسط سازمان خوار و بار جهانی نشان می‌دهد که نرخ فرسایش آبی در اراضی زراعی بسیار زیاد بوده و مقدار آن بیش‌تر از ۲۰ تن در هکتار در سال است (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). به دلیل نیاز روزافزون به منابع غذایی بیش‌تر، هر روز از سطح منابع طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع در کشور کاسته و به اراضی شیب‌دار کشاورزی که مشتمل بر بخش عمده‌ای از دیم‌زارهای مناطق نیمه‌خشک، بخشی از باغات و اراضی تحت آبیاری قطره‌ای و بارانی و اراضی کشاورزی که در دامنه‌های مناطق شمالی و پرباران کشور هستند، تبدیل می‌شود. در نتیجه تغییر کاربری این منابع به اراضی دیم، بخش عمده‌ای از آب باران به شکل رواناب سطحی از دسترس خارج شده که عامل مهمی در فر سایش خاک ا ست. زراعت دیم به تولید مح صول بدون آبیاری اطلاق می‌شود که معمولاً در مناطق نیمه‌خشک با ۵۰۰-۲۵۰ میلی‌متر باران سالانه و با محدودیت آب قابل استحصال برای آبیاری، رایج است. باتوجه‌به توصیه فائو به پرهیز از زراعت دیم در اراضی با شیب بیش از ۱۲ درصد و باتوجه‌به شیب این‌گونه اراضی که در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌نیافته خیلی بیش از این حد است، استفاده از برخی روش‌های به‌زراعی، موجب ذخیره آب باران در نقطه ریزش، کاهش رواناب سطحی، کاهش فرسایش خاک، کاهش هزینه‌های تولید و نهایتاً افزایش تولید محصول می‌شود. جمع‌بندی در سطح مقیاس جهانی نیاز به برر سی خاک فر سایش‌یافته دارد. در برخی مناطق، تر سیب خاک فر سایش‌یافته در رودخانه‌های سیلابی و دلتاها، مناطقی با حا صلخیزی بالا و پایدار ایجاد می‌کند (FAO و ITPS، ۲۰۱۵).

محمودآبادی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران در منطقه گل‌آباد اردستان به این نتیجه رسیدند که در بارشی با شدت ۳۵ میلی‌متر بر ساعت در مدت ۴۰ دقیقه در تکرارهای مختلف با افزایش میزان رس، تولید رسوب و رواناب و همچنین غلظت رسوب افزایش‌یافته، درحالی‌که میزان شن، تولید رواناب و رسوب را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش pH، تولید رواناب کاهش می یابد. نتایج مطالعات ناطقی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) حاکی از این است که ماده آلی بر تخلخل و فشردگی خاک، ظرفیت نگهداشت آب در خاک و نفوذپذیری اثر مثبت داشته و باعث بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذ عمقی آب در خاک شده و زمینه ساز کاهش رواناب می شود. نتایج پژوهش‌های ذرتی‌پور (۱۳۹۱) روی نمونه خاک مارنی، در شیب‌ها و شدت‌های بارندگی متفاوت نشان داد، در کلیه شدت‌های بارندگی و شیب‌های مختلف، غلظت رسوب در ابتدای شروع بارش مقادیر بالایی دارد و با گذشت زمان از غلظت رسوب خروجی فلوم کاسته می‌شود. این روند در شدت بارندگی‌های متوسط و بالا بیش‌تر مشاهده می‌شود. به این دلیل که در شدت‌های بالاتر، ذرات با قدرت بیش‌تر جدا می‌شوند.

در سال‌های اخیر، بیش‌تر تحقیقات انجام شده در زمینه فرسایش خاک بر روی اراضی منابع طبیعی (جنگل و مرتع) صورت‌گرفته و کم‌تر مطالعه‌ای روی اراضی کشاورزی دیم انجام شده است. مساحت دیم‌زارهای کشور بالغ بر ۱۰ میلیون هکتار است. دیم‌زارهای استان کرمانشاه یکی از مهم‌ترین مناطق کشت دیم در کشور محسوب می‌شوند. این اراضی به دلایل مختلف نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و یکی از منابع مهم رسوب رودخانه‌ها هستند که وقوع بارش‌های حدی، نیز باعث تخریب بیشتر و تلفات خاک بیشتر می‌شود. هدف اصلی از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر باران‌ها با شدت‌های مختلف بر ویژگی‌های جریان و غلظت رسوب پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش باهدف ارزیابی اثر بارش‌هایی با شدت متفاوت بر ویژگی‌های جریان در اراضی دیم در نمونه خاک دیم‌زارهای سرارود (شکل ۱) به کمک شبیه‌سازی در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (شکل ۳) انجام گرفت. این آزمایشگاه، با امکان تولید بارش از ارتفاع حدود ۸ متری و همچنین با امکان تولید رواناب هم‌زمان روی فلوم شیب‌پذیر با طول ۵/۸ و عرض ۱ متر، محل مناسبی برای شبیه سازی مطالعات فرسایش روی اراضی شخم‌خورده و یا به‌صورت آیش رها شده است (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۸۷). شکل ۳، نمایی از دیمزارهای سرارود کرمانشاه را نشان می‌دهد.

شکل ۱- موقعیت منطقه نمونه‌برداری‌شده

شکل ۲- نمایی از فلوم شبیه‌ساز باران پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شکل ۳- نمایی از اراضی دیم سرارود کرمانشاه

برای انجام آزمایش‌ها، خاک لازم از مزرعه انتخابی از منطقه سرارود در ا ستان کرماناشاه به آزمایشگاه منتقل شد. جرم مخصوص ظاهری با ا ستفاده از ا ستوانه‌های فلزی، در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، بافت خاک، شوری و اسیدیته، ماده آلی و آهک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که بدین منظور نمونه‌های خاک پس از هوا خشک‌شدن و کوبیدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۷۸).

با توجه به توصیه فائو به پرهیز از زراعت دیم در اراضی با شیب بیش از ۱۲ درصد (نیک‌کامی و همکاران، ۱۳۸۴)، در این پژوهش آزمایش‌ها در شیب ۱۲ در صد که بالاترین شیب مجاز ا ست، انجام گرفت. سه شدت باران ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه با نام اختصاری I33-

S12، I64-S12 و I110-S12، برای بررسی اثر شدت‌های مختلف (کم، متوسط و زیاد) بر ویژگی‌های جریان در این پژوهش انتخاب شد.

برای انجام آزمایش‌ها، پس از هوا خشک‌کردن خاک، آن را از سرند ۱/۵ سانتی‌متری عبور و در فلوم شبیه‌ساز باران که دارای یک‌لایه به ضخامت ۵ سانتی‌متر شن درشت به‌عنوان لایه زهکش که روی آن با یک‌لایه گونی از جنس کنف پوشیده شده است، ریخته شد. برای آماده‌سازی خاک داخل فلوم، خاک به‌صورت لایه‌های ۵ سانتی تا رسیدن به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر ریخته و غلتک زده شد. پس از آماده شدن فلوم، خاک از کف فلوم به‌آرامی اشباع و سپس تخلیه شد. بعد از خروج آب اضافی و تنظیم فلوم در شیب موردنظر، بارش آغاز شد.

در هر شبیه‌سازی بارش، پس از جمع‌آوری رواناب حاوی رسوب به‌طور مجزا و اندازه‌گیری حجم رواناب، برای ۲۴ ساعت به حال خود رها شد. سپس آب زلال رویین تخلیه و رسوب ته‌نشین به‌طور کامل جمع‌آوری شد. رسوب جمع‌آوری شده نیز در کوره در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و وزن خشک رسوب برای محاسبه غلظت رسوب بر حسب گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان غلظت رسوب (حاصل میانگین غلظت نمونه‌های موجود)، حجم رواناب و ضریب رواناب (حاصل تقسیم حجم رواناب به حجم باران؛ ضرب در ۱۰۰) در سه آزمایش با شدت‌های متفاوت مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در منطقه سرارود در جدول ۱ ارائه شده است. متوسط جرم مخصوص ظاهری خاک سطحی منطقه در نقاط نمونه‌گیری شده با روش کلوخه حدود ۱/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب به دست آمد. مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز در این خاک ۶۱ درصد است، اما با توجه به این که این خاک دارای ماده آلی به میزان ۱/۸۹ درصد است که از نظر ماده آلی در شرایط خوبی است، همچنین این خاک حاوی آهک بالایی است (۳۱/۱۵ در صد) و آهک نقش سازنده‌ای در ثبات خاکدانه‌ها دارد (بایبوردی،۱۳۸۴)، باعث می‌شود که نفوذپذیری افزایش و فرسایش‌پذیری خاک کاهش یابد. با بررسی شوری نمونه‌ها، مشخص شد که این خاک شور نیست، بنابراین جزء خاک‌های شور و سدیمی محسوب نمی‌شود.

جدول ۱ – ویژگی‌های نمونه خاک در منطقه سرارود

ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
بافت خاک	لوم سیلتی رسی	آهک	۳۱/۱۵
ماده آلی (درصد)	۱/۸۹	اسیدیته	۷/۸۲
سیلت+ شن خیلی ریز (درصد)	۶۱	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۲۳

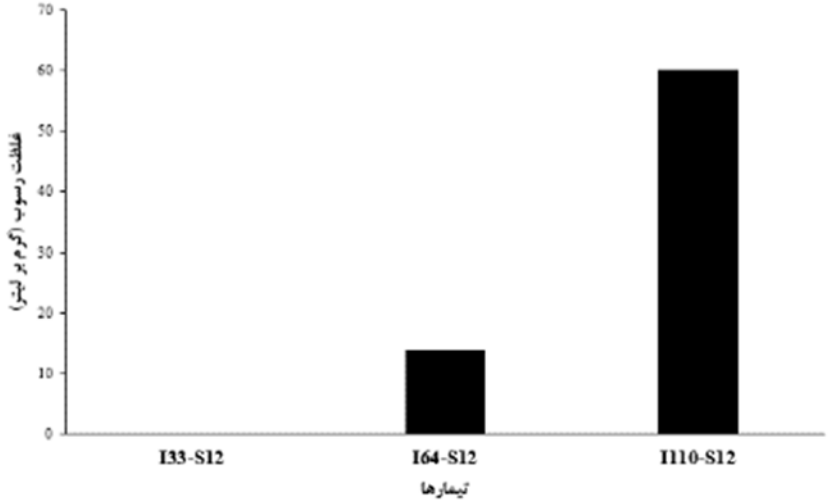
نتایج سه آزمایش انجام شده نشان داد که در تیمار I33-S12، خاک به حالت اشباع رسید و رواناب جاری شد، اما تا اتمام آزمایش در مدت ۳۰ دقیقه، به انتهای فلوم نرسید و فقط نفوذ عمقی انجام شد. این مساله می‌تواند به دلیل ساختمان خوب و مواد آلی زیاد خاک باشد. در تیمار I64-S12، رواناب در دقایق آخر آزمایش به انتهای فلوم رسید، اما در تیمار I110-S12 رواناب در مدت ۳۰ دقیقه جاری و جمع‌آوری شد.

شکل ۴، مقادیر غلظت رسوب در سه آزمایش انجام شده با سه شدت متفاوت را نشان می‌دهد. در شدت‌های ۳۳ و ۶۴ میلی‌متر بر ساعت، به علت جاری نشدن رواناب در شدت ۳۳ میلی‌متر بر ساعت، غلظت رسوب صفر است. در شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت، غلظت رسوب حدود ۱۴ گرم بر لیتر و در شدت ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت، غلظت رسوب ۶۰ گرم بر لیتر به دست آمد. حداکثر دبی جریان نیز صفر هست. مقایسه میزان غلظت رسوب در شدت‌های ۳۳، ۶۴ و ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت نشان می‌دهد که با افزایش شدت باران، میزان غلظت رسوب افزایش‌یافته است. به‌عبارت‌دیگر، میزان افزایش غلظت رسوب از شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت به ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت، به میزان ۴/۳ برابر تغییر کرد که به علت افزایش فرسایش ناشی از افزایش شدت باران بوده است. تغییرات حجم رواناب و ضریب رواناب نسبت به‌شدت باران در شکل ۵، نشان‌داده‌شده است. همان گونه که در این شکل نشان‌داده‌شده است، ضریب و حجم رواناب با افزایش شدت باران، افزایش می‌یابد که میزان افزایش حجم رواناب و ضریب رواناب در شدت ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت، نسبت به شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت، به ترتیب ۱۹ و ۱۵ برابر بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در اراضی دیم با ساختمان مناسب (در صد ماده آلی بالا) و نفوذپذیری بالا، رویدادهای با شدت کم و متوسط تأثیر چندانی بر غلظت رسوب و رواناب ندارند، اما رویدادهای حدی بر میزان غلظت رسوب و حجم و ضریب رواناب بسیار مؤثر هستند و مقادیر ویژگی‌های ذکر شده را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. در این راستا، عرب‌خدری (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که بیش از ۵۰ درصد تلفات خاک به‌وسیله رویدادهای استثنائی مانند بارش‌ها با شدت دو تا سه میلی‌متر در دقیقه ایجاد می‌شوند.

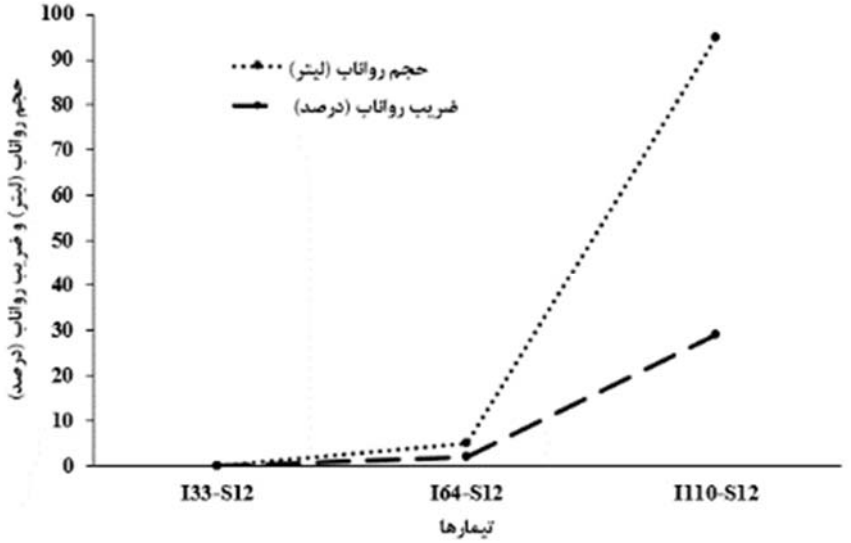
نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نفوذپذیری زیاد خاک سرارود واقع در استان کرمانشاه، مربوط به وجود مواد آلی زیاد و ساختمان خوب آن است. نتایج این پژوهش در بررسی اثر شدت‌های مختلف باران بر ویژگی‌های جریان در اراضی دیم تحت شبیه‌سازی باران نشان داد که شدت باران اثر مستقیمی با میزان غلظت رسوب و حجم و ضریب رواناب دارد؛ به طوری که با افزایش شدت باران از ۶۴ به ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت، غلظت رسوب، حجم و ضریب رواناب به ترتیب ۴/۳، ۱۹ و ۱۵ برابر افزایش یافته است. اما نکته قابل‌توجه آن است که مقدار افزایش غلظت رسوب و حجم و ضریب رواناب در بارش‌ها با شدت بالا و حدی، بسیار قابل‌توجه است و

نیازمند توجه و اقدامات لازم حفاظتی برای جلوگیری از اثرات مخرب این بارش‌های حدی در اراضی دیم با وجود مقادیر قابل‌توجهی از تلفات خاک است. پیشنهاد می‌شود که برای افزایش رواناب چنین خاک‌هایی که نفوذپذیری بالایی دارند، برای افزایش رواناب کوبیده شده یا با استفاده از روش‌هایی باعث افزایش ضریب رواناب شوند. پی شنهاد می شود، برر سی‌های م شابه به‌منظور برر سی فر سایش خاک دیم‌زارها با استفاده از باران‌های طبیعی به‌منظور مقایسه نتایج این پژوهش با شرایط باران طبیعی انجام شود.



شکل ۴- مقادیر غلظت رسوب در سه آزمایش انجام شده



شکل ۵- مقادیر حجم کل و ضریب رواناب در سه آزمایش انجام شده

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه پژوهشی با عنوان "بررسی اثرات شیب، شدت بارندگی و رواناب بر فرسایش دیمزارهای منتخب استان کرمانشاه با شماره مصوب ۹۶۰۷۶۲-۰۲۸-۲۹-۲۹-۰۴ با استفاده از برج شبیه‌ساز باران" است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اجرا شده است.

منابع

- ذرتی‌پور، ا. ۱۳۹۱. مدل‌سازی دینامیک فرسایش خاک در سازندهای مارنی، مبتنی بر خصوصیات بارش و عوامل فیزیکی. رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۴. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد بارندگی. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. ۳(۱۱): ۷-۱۵.
- عرب‌خدری، م.، م. محمودآبادی، ح. روحی‌پور، ا. حیدریان و د. لطف‌اله‌زاده. ۱۳۸۷. بررسی خصوصیات بارش و کالیبراسیون باران‌ساز. گزارش نهایی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی.
- محمودآبادی، م و م.ر. مظاهری. ۱۳۹۱. تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر نفوذپذیری خاک در شرایط مزرعه‌ای. فصلنامه علمی‌پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، ۸: ۱۴-۲۵.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب. ۱۳۷۸. موسسه تحقیقات آب‌وخاک، نشریه ۴۶۷. ۲۵۵ صفحه.
- ناطقی‌نیا، س.، ب. مصطفی‌زاده فرد و س.ف. موسوی.۱۳۸۷. تأثیر شیب و پوشش گیاهی بر ذخیره سطحی رواناب در خاک‌های درز و شکاف‌دار تحت آبیاری بارانی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، ۱۹- ۳۰.
- نیک‌کامی، د.، پ. رزمجو، ع. جعفری اردکانی و ف. بیات موجد. ۱۳۸۴. بررسی رابطه کاهش فرسایش خاک و افزایش تولید در زراعت دی. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
- FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Govers, G., R. Merckx, B. Wesemael, and K.V. Oost. 2017. Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. SOIL, 3:45–59.
- Lal, R. 1988. Effects of slope length, slope gradient, tillage methods and cropping system on runoff and soil erosion on a tropical Alfisol: preliminary results. IAHS Publ. 174: 79-88.

- Poesen, J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. Earth Surface Processes and Landforms,43: 64-84.

ارزیابی رواناب، فرسایش و پوشش گیاهی حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت طالقان

سعید نبی‌پی لشکریان*[1]، یحیی پرویزی[2]

۱*-کارشناس پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
snabipay@gmail.com

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
yparvizi1360@gmail.com

چکیده

پایش و تحلیل آمار و اطلاعات حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی یکی از نیازهای مهم در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری از حوزه‌های آبخیز است. با وجود این که این آبخیزها با صرف هزینه‌های زیاد برای تولید داده‌ها تجهیز شده‌اند، تاکنون تحقیقی در خصوص داده‌کاوی حوضه‌ها انجام نشده است. لذا این مطالعه با هدف بررسی جامع و شیوه شناسی در خصوص بررسی کیفیت و کمیت داده‌های فرسایش، رواناب، خاک و پوشش گیاهی انجام شده است. بدین‌منظور گزارشات مطالعاتی و فایل‌های داده‌ها مربوط به حوزه‌های معرف و زوجی زیدشت واقع در شهرستان طالقان از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز اخذ شد. سپس وضعیت کمی و کیفی داده‌های فرسایش، رواناب و پوشش گیاهی از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت و نسبت به ارائه گزارش سیمای کلی حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت شهرستان طالقان اقدام شد. یافته‌های این تحقیق حاکی از این است که جانمایی ایستگاه و موقعیت آن برای دسترسی به مکان‌های ثبت داده مناسب نیست، لذا ضرورت شن‌ریزی و تعبیه پله وجود دارد. همچنین، ضرورت تغییر مدیریت حوضه نمونه و محدوده میادین میخ فرسایشی و کرت وجود دارد؛ بدین‌ترتیب که قرق کامل این مناطق باید به مدیریت چرای دام کنترل شده تغییر یابد. استفاده از ابزارها و فنون جدید برای پایش فرسایش لغزشی نیز، ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی:
کرت فرسایش، میخ فرسایشی، مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز، شهرستان طالقان، استان البرز.

مقدمه

آبخیزهای آزمایشی که به‌عنوان حوزه‌های آبخیز معرف و زوجی فعال هستند، مکان‌های بسیار مهم تولید داده‌های مورد نیاز برای مدیریت یکپارچه و دانش‌بنیان حوزه‌های آبخیز کشور هستند (سلیمان‌پور

و همکاران، ۱۴۰۰). آبخیزهای معرف[7] واحدهای هیدرولوژیکی هستند که در مناطق همگن از نقطه‌نظر اقلیمی، زمین شناسی، پوشش گیاهی و خاک‌شناسی استقرار و راه‌اندازی می شوند (شفیعی و قراری، ۱۳۹۶). حوزه‌های آبخیز نمونه[8] حوضه‌هایی هستند که عملیات مدیریتی آبخیزداری بر روی آن‌ها اعمال شده و برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب و رواناب از آن‌ها استفاده می‌شود (Yaghobi و همکاران، ۲۰۱۸). حوزه‌های آبخیز شاهد[9] که معمولاً حالت بکر و دست‌نخورده دارند، در مجاورت آبخیز نمونه بوده و برای مطابقت آن با حوضه نمونه استفاده می‌شود. این حوضه‌ها (کاظم‌زاده، ۱۳۹۷). حوزه‌های نمونه و شاهد در داخل یک حوضه معرف تعریف می‌شوند و به آن‌ها آبخیزهای زوجی[10] اطلاق می‌شود.

سابقه تأسیس حوزه‌های آبخیز زوجی در دنیا به سال ۱۹۲۸ در ایالات متحده آمریکا بر می‌گردد (Nichols و همکاران، ۲۰۰۸). در آسیا این حوضه‌ها اولین بار در کشورهای ژاپن و هندوستان احداث شدند (Zhang، ۲۰۱۹). معروف‌ترین حوضه معرف و زوجی آمریکا، آبخیز والنات گالچ در جنوب آریزونا و رینولدزکریک در آیداهو است که با هدف پایش داده‌های رواناب، فرسایش و رسوب و سیل و ارزیابی عملیات حفاظت خاک به‌ترتیب در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در یک محدوده ۱۵۰ و ۲۳۹ کیلومتر مربعی تأسیس شدند (Renard و همکاران، ۲۰۰۸). Kelner و Hubbart (۲۰۱۷) از داده‌های ایستگاه‌های آزمایشی برای مدل سازی جریان در حوضه‌های شهری استفاده کردند و نشان دادند که مهم‌ترین پارامترها با R^2>۰/۹ در پیش‌بینی رفتار جریان در زیرحوضه‌های آزمایشی عوامل پوشش و کاربری بودند. Caloiero و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی داده‌های رواناب ایستگاه آزمایشی بونیس ۵ در جنوب ایتالیا از ۱۹۸۶ تا سال تحقیق مشاهده نمودند که بعد از جنگل‌تراشی، رواناب به میزان ۵۰ درصد افزایش یافته است.

در ایران نیز پژوهش‌های مختلفی توسط محققین انجام شده است. حسینعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در حوزه آبخیز زوجی کچیک استان گلستان با استفاده از روش سزیم ۱۳۷، متوسط فرسایش سالانه را در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه به‌ترتیب ۷۶/۷ و ۷۷/۴ تن در هکتار بدست آوردند. گلکاریان و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز معرف و زوجی کاخک، کارایی مدل فرسایش و هیدرولوژی مرتع را در برآورد میزان رسوب دامنه‌های مرتعی بررسی کردند. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد خامسان استان کردستان به تحلیل درون‌رگباری پاسخ هیدرورسوبی پرداختند. در پژوهشی دیکر در کرت‌های فرسایش همین حوضه، خالدی‌درویشان و همکاران (۱۳۹۶) اثر قرق را روی

7 . Representative Watersheds
8 . Sample Catchments
9 . Testifier Catchments
10 . Paired Catchments

حجم رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک بررسی نمودند و گزارش دادند که این تأثیر در مقیاس رگبار کاهنده و معنی‌دار است. آقابیگی‌امین و فتاحی (۱۳۹۶) در حوزه آبخیز زوجی گنبد همدان نشان دادند که در زیرحوزه نمونه، به دلیل پوشش گیاهی و مواد آلی بیشتر و وجود بقایای گیاهی و ریشه گیاهان در سطح خاک، میزان و شدت نفوذپذیری بیشتر شده و در نتیجه تولید رواناب کمتر از زیرحوزه شاهد بوده است. پژوهش‌های جعفری‌تختی و همکاران (۱۳۹۷) ور حوزه آبخیز معرف و زوجی شوش خوزستان و Yaghobi و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه دهگین هرمزگان همگی مبین کارآمدی داده‌های استحصال شده در این حوضه‌ها به‌منظور استفاده در تحلیل و مدل‌سازی فرآیندهای فرسایش و رسوب است.

از آن جایی که ارزیابی پایش پروژه‌های آبخیزداری معمولاً از جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت هستند، ارزیابی آن‌ها موجب می شود تا مدیریت مناسبی روی این پروژه‌ها انجام شود. از طرفی، این ایستگاه‌ها در گذشته با صرف هزینه‌های زیاد به ادوات ثبت داده مجهز شده‌اند و تاکنون بررسی جامعی در خصوص نحوه پایش آن‌ها صورت نگرفته است، لذا این مطالعه در حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت شهرستان طالقان با هدف بررسی کمیت و کیفیت داده‌های فرسایش، رواناب و پوشش گیاهی و شیوه‌شناسی نمونه‌برداری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

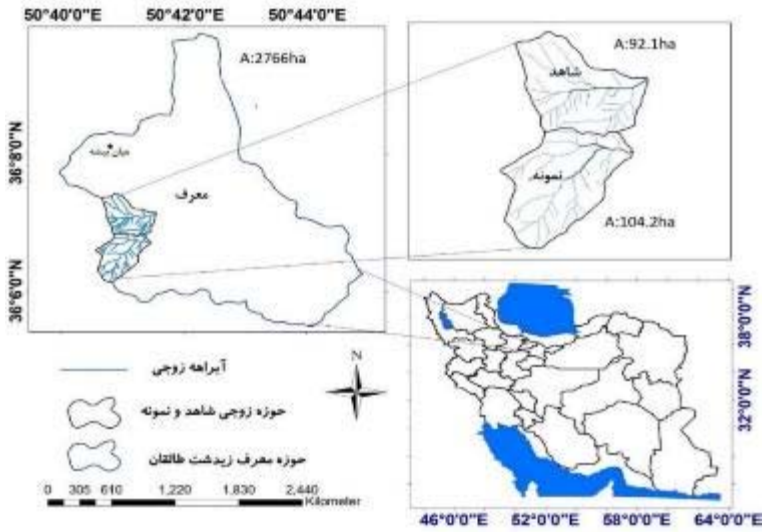
حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت در ۱۷ کیلومتری جنوب شهرستان طالقان در محدوده طول شرقی"۵۰°۰۷',۲۶ تا " ۵۴ ,' ۴۱ ,°۵۰ و عرض شمالی " ۰۹,' ۰۶ ,°۳۶ تا " ۱۴ ,' ۰۷ ,°۳۶ واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از شمال به سد طالقان، از جنوب به سد کماچین، از غرب به حوضه زیاران و از شرق به رودخانه فلک‌آباد هم‌مرز است. این حوضه در سال ۱۳۸۶ طراحی شده و نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۰ شروع شده است.

در ابتدا گزارشات مطالعاتی و فایل‌های داده‌ها مربوط به حوزه‌های معرف و زوجی زیدشت واقع در شهرستان طالقان از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز اخذ شد. سپس وضعیت کمی و کیفی داده‌های فرسایش، رواناب، خاک و پوشش گیاهی از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت و نسبت به ارائه گزارش سیمای کلی حوزه آبخیز معرف و زوجی زیدشت شهرستان طالقان اقدام شد.

نتایج و بحث

زیرحوضه شاهد با مساحت ۹۲/۱ هکتار، ارتفاع متوسط ۲۲۹۹ متر از سطح دریا و شیب ۲۲/۶۵ درصد و حوضه نمونه با مساحت ۱۰۴/۲ هکتار، ارتفاع متوسط ۲۴۲۵ متر از سطح دریا و شیب ۲۳ در صد حوضه‌هایی کوچک و پر شیب محسوب می‌شوند. طول آبراهه اصلی در زیرحوضه شاهد ۱۵۶۷ متر و در

حوضه نمونه ۱۷۵۰ متر است. این حوضه به‌عنوان معرف مراتع کوهستانی البرز مرکزی با اقلیم‌های نیمه‌سرد، سر و مدیترانه‌ای در نظر گرفته شده است. در جدول ۱، مشخصات فیزیکی حوضه زیدشت طالقان ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود بیش از ۹۰ درصد شیب منطقه در طبقه شیب بالای ۲۵ درصد قرار گرفته است. پیش‌بینی رفتار حوضه در برابر مؤلفه‌های محیطی ضرورت پارامترهای این جدول را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، شیب تند حوضه و ضریب شکل و زمان تمرکز حوضه، تصویری از رفتار حوضه در زمان وقوع رگبارهای تند از نظر احتمال وقوع جریان‌های سیلابی به ما ارائه می‌دهد. در این ایستگاه، سه میدان میخ فرسایشی در حوضه نمونه و سه میدان میخ فرسایشی در زیرحوضه شاهد مستقر است. ابعاد هر یک از این از میادین میخ فرسایشی، ۱۰ در ۱۰ متر است و در هر میدان، تعداد ۱۰۰ میخ فرسایشی به فاصله‌های یک در یک متر مستقر شده‌اند. نمونه‌برداری بعد از هر رگبار منجر به تولید رسوب انجام شده و چنانچه رسوبی وجود نداشته باشد، در انتهای سال اندازه‌گیری انجام می‌شود. شیوه اندازه‌گیری پیج مدرج است. همچنین در این ایستگاه سه میدان کرت در حوضه معرف و سه میدان کرت در زیرحوضه شاهد مستقر شده است. ابعاد هر یک از کرت‌ها، ۱/۸*۲۴ متر بوده و جنس دیواره کرت آهنی به قطر پنج میلی‌متر و به عرض ۳۵ سانتی‌متر است. مخازن انتهای کرت از جنس ورق گالوانیزه با حجم ۲۲۰ لیتر است. در این ۲۴ کرت بعد از هر رگبار بارندگی، هم مقادیر رواناب و هم مقادیر رسوب بر حسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری می شود. لازم به ذکر است که عملیات مدیریتی و آبخیزداری خاصی در حوضه‌های شاهد و نمونه انجام نشده و تنها عملیات مدیریتی در این حوضه‌ها عملیات قرق است. جدول ۲ مشخصات میادین میخ فرسایشی و کرت را ارائه می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز معرف و زوجی (نمونه و شاهد) زیدشت (میان‌بیشه) طالقان

جدول ۱- مشخصات فیزیکی حوضه زوجی زیدشت طالقان

مشخصات فیزیکی	شاهد	نمونه	مشخصات فیزیکی	شاهد	نمونه
مساحت (ha)	۹۲/۱	۱۰۴/۲	شیب خالص (٪)	۲۲/۶۵	۲۲/۹۷
محیط (Km)	۴/۳	۴/۴	شیب ناخالص (٪)	۱۹/۷	۱۶/۱۴
قطر دایره هم‌سطح (Km)	۱/۱	۱/۱۵	زمان تمرکز کرپیچ (ساعت)	۰/۱۶	۰/۱۹
کمینه ارتفاع حوضه (m)	۲۰۸۵	۲۲۲۸	ضریب شکل گراولیوس	۱/۲۹	۱/۱۷
بیشینه ارتفاع حوضه (m)	۲۴۷۴	۲۶۸۴	ارتفاع متوسط وزنی	۲۲۹۹	۲۴۲۵
اختلاف ارتفاع حوضه (m)	۳۸۹	۴۵۶	ارتفاع ۵۰ درصد	۲۳۱۱	۲۴۳۴
بیشینه ارتفاع آبراهه (m)	۲۴۴۰	۲۶۳۰	شیب متوسط وزنی	۴۰	۵۰/۸۷
اختلاف ارتفاع آبراهه (m)	۳۵۵	۴۰۲	شیب میانه	۳۷	۴۷/۸
طول بزرگترین آبراهه (m)	۱۵۶۷	۱۷۵۰	تراکم آبراهه	۹/۵۲	۸/۱۱
طول کل آبراهه‌ها (Km)	۸/۹	۸/۵۲	نسبت انشعاب	۵/۶	۳

جدول ۲- مشخصات میادین میخ فرسایشی و کرت‌های فرسایش در حوضه‌های نمونه و شاهد

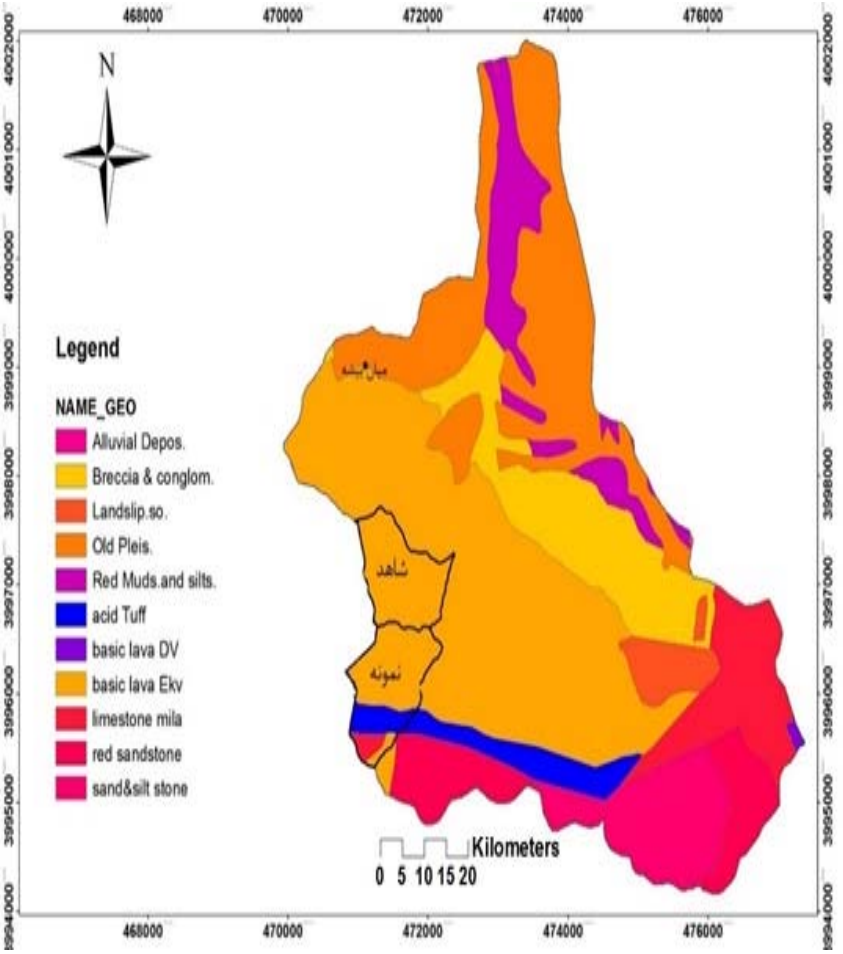
مشخصه	آبخیز	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳
جهت شیب	نمونه	شمالی	جنوبی	شرقی
	شاهد	شمالی	شمالی	شمال شرقی
شیب زمین	نمونه	۴۲ درصد	۵۶ درصد	۲۰ درصد
	شاهد	۲۷ درصد	۳۸ درصد	۳۷ درصد
شکل شیب	نمونه	محدب	محدب	محدب و مستقیم
	شاهد	مقعر و مستقیم	مقعر	محدب و مستقیم

خصوصیات زمین و خاک، نقش بسیار مهمی در نوع استفاده از زمین و بهره‌وری از زمین دارد. شکل ۲ نیز زمین شناسی حوضه‌های نمونه و شاهد را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این شکل نیز ملاحظه می شود، پلئیستوسن قدیمی تقریباً ۷۰ درصد حوضه نمونه را پوشانده و توف اسیدی و سازند سنگ آهک میلا به‌ترتیب ۱۳ و هفت در صد مابقی حوضه نمونه را پوشانده است. در حالی که در زیرحوضه شاهد، ۱۰ درصد حوضه از پلئیستوسن قدیمی تشکیل یافته است.

تیپ پوشش گیاهی غالب زیرحوضه نمونه، *Astragalus-Agropyron-Thymus* است که تقریباً ۹۵ درصد سطح آن را به خود اختصاص داده است. تیپ پوشش گیاهی Astragalus-Acantalimon

تیپ دوم پوشـشـی موجود در زیرحوضـه نمونه اسـت که تقریباً پنج درصـد مسـاحت این زیرحوضـه را پوشانده است. در زیرحوضه شاهد هم تیپ غالب، *Astragalus-Agropyron-Thymus* است که تقریباً ۹۳ در صد این زیرحو ضه را پو شانده ا ست و تیپ دوم قابل ت شخیص در این زیرحو ضه، *Artemsia-Astragalus-Thymus* است که حدود هفت درصد مساحت این زیرحوضه را پوشانده است.

برر سی داده‌های ا ستخ صالی حا صل از آنالیز مطالعات دوره‌ای پو شش گیاهی حاکی از این م سأله است که قرق کامل حوضه نمونه منجر به افزایش تدریجی ظرفیت تولید مرتع شده و درصد تاج‌پوشش گیاهی نیز به تدریج افزایش یافته اسـت. تغییرات ظرفیت تولید مرتع در زیرحوضـه شـاهد و نیز کمیت تاج‌پوشش تابع تغییرات سالانه بارش بوده است (جدول ۳).



شکل ۲- زمین‌شناسی حوضه‌های شاهد و نمونه

جدول ۳- ارزیابی سنواتی ظرفیت تولید مراتع شاهد و نمونه حوضه زیدشت

سال	حوضه	علوفه قابل برداشت (کیلوگرم در هکتار)	تولید (کیلوگرم در هکتار)	ظرفیت واحد دامی در هکتار در ماه	تاج پوشش (درصد)
۲۰۱۷	نمونه	۲۴۲/۴	۶۵۷/۴	۴/۸	۴۵/۶
	شاهد	۱۷۳/۲	۶۱۹/۳	۳/۴	۴۰/۳
۲۰۱۸	نمونه	-	-	-	-
	شاهد	-	-	-	-
۲۰۱۹	نمونه	۲۸۰/۶	۸۷۳/۷	۵/۵	۴۸/۳
	شاهد	۱۲۷/۴	۴۷۲	۲/۵	۳۹
۲۰۲۰	نمونه	۲۶۹/۷	۸۹۷/۸	۵/۳	۵۳/۹
	شاهد	۱۶۱/۱	۵۵۰/۸	۳/۲	۴۵/۲

آبخیز شاهد تحت چرای دام و مدیریت مر سوم مراتع در منطقه قرار دارد که شواهد تراکم نسبتاً زیاد چرای دام در منطقه و حتی داخل محدوده کرت‌ها مشهود است. حوضه نمونه نسبت به شاهد ارتفاع نسبتاً بیش‌تری دارد. ضمنا دامنه‌ها بیش‌تر رو به شمال تمایل دارد. لذا نسبتاً سردتر بوده و فصل رشد با تأخیر نسبی مواجه است. همان‌طور که از شکل مربوطه پیداست میدان میخ فرسایشی زمانی تحت تردد و چرای دام قرار گرفته است و امکان مشاهده و مستند سازی وضعیت ثبت داده فرسایش سطحی و پاشمانی در آنها وجود ندارد. لیکن میخ‌های فرسایشی سالم و مستقر می‌باشند و با توجه به آماس‌پذیر نبودن خاک‌های منطقه، از نظر ارزیاب، امکان ثبت و اندازه‌گیری داده فرسایش در آن‌ها وجود دارد. در یک برر سی کلی به دلیل پو شش مطلوب عر صه، فر سایش فعال وجود ندارد، اما در محدوده کرت‌ها و میخ‌های فرسایشی لغزش فعال و در حال وقوع است. این شرایط در داخل محدوده کرت‌ها حادتر است. به‌گونه‌ای که محدوده کرت‌ها به حالت پلکانی در آمده است. همچنین علائم تخریب خاک به‌صورت کوبیدگی و تراکم در محدوده میدان میخ فر سایشی وجود دارد. اما این شرایط در داخل کرت‌ها حاکم نیست. از نظر پوشش اگرچه پوشش غالب با گونه‌های گرامینه و لگومینه (گون و تلخ بیان) است، ولیکن ظهور گونه‌های مقاوم و مهاجم کاسنی نشان از گرایش منفی در محدوده زیرحوضه شاهد دارد.

نتایج بررسی داده‌های کرت‌های فرسایش و میادین میخ فرسایشی نشان داد که داده‌ها به‌صورت مقطعی در برخی از بازه‌ها در اواخر پاییز و اوایل بهار استحصال شده است. از آن‌جایی که ارتفاع حوضه بالا است و به دلیل سرد سیر بودن حوضه، تقریباً با اولین بارش‌ها محل میادین میخ فرسایشی و کرت‌ها به زیر برف رفته و تا اوایل بهار باران در سطح کرت‌ها جریان نیافته است. با وجود این که سعی بر برداشت ماهانه وقایع بارش وجود داشته، بیشتر رواناب حاصل ذوب برف بوده و روانابی از بارش مستقیم باران

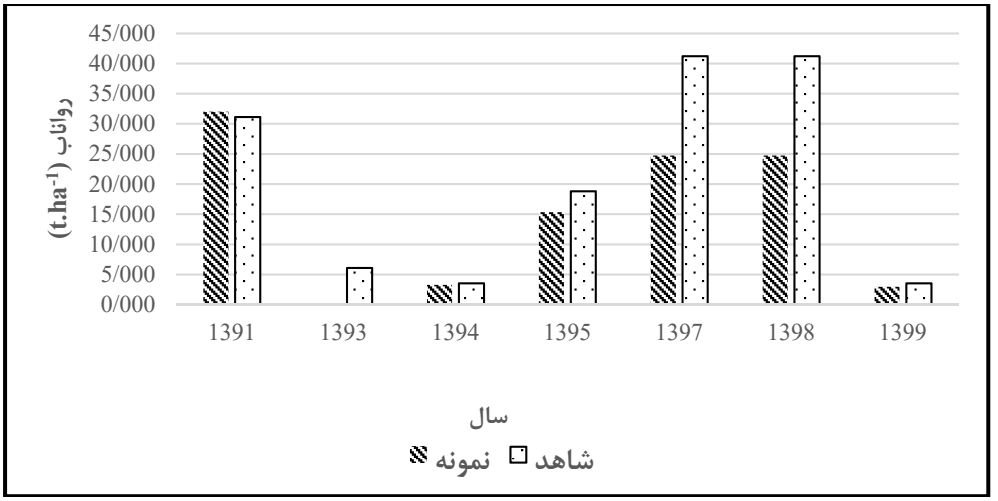
جریان نیافته است. بررسی میدانی در سطح میادین میخ فرسایشی نشان داد که در سطح میادین میخ فرسایشی به غیر از میخ فرسایشی شماره ۳ حوضه نمونه، به‌هم‌خوردگی ناشی از زمین‌لغزش، حرکت توده‌ای خاک و سیلان گل وجود دارد. همچنین، با توجه به قرق بودن حوضه‌ها و به‌طور مضاعف، فنس‌کشی محدوده میادین میخ فرسایشی، پوشش گیاهی بسیار کاملی حاکم بود که شرایط متفاوت و اکوسیستم متفاوت‌تری نسبت به دیگر عرصه‌های حوضه در سطح کرت‌ها و میادین میخ فرسایشی به‌وجود آمده بود و تقریبا فرسایش و رواناب به کمیت صفر میل کرده بود (شکل ۳). بنابراین به نظر می‌رسد رواناب کرت‌ها هم عمدتا متعلق به ذوب برف بوده‌اند و فرسایش چندانی در حوضه به‌خصوص در سنوات پایانی منتهی به تحقیق حاضر وجود نداشته است. فرسایش به صورت ثقلی و نیز فرسایش سطحی در اطراف محدوده برون‌زدگی‌های سنگی و نیز محدوده‌ای که یک رگه توف آتش‌فشانی برون‌زدگی داشت، قابل رویت است. در یک دید کلی آبخیز نمونه اگرچه شیب نسبتاً تندتری نسبت به شاهد داشت، ولی به دلیل اعمال مدیریت قرق پوشش گیاهی غنی‌تری را نسبت به شاهد دارا است. لذا آثار وجود فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش سطحی بسیار کم‌تر از آبخیز شاهد مشاهده شد. همچنین شیب دامنه‌ها عمدتا تند بوده و طول شیب نسبتاً زیاد است.

شکل ۳-نمایی از پوشش کامل سطح کرت‌های فرسایش و میدان میخ فرسایشی شماره یک

داده‌های جریان به صورت هر ۶۰ ثانیه یک‌بار ثبت می شود، ولی به دلیل د ستر سی د شوار نمونه‌برداری ر سوب تاکنون انجام ن شده ا ست. فقط سالانه مخزن پ شت فلوم تخلیه و اندازه‌گیری می شود. به دلیل نبود فر سایش خالص و ر سوبدهی متعاقب آن در آبخیز نمونه ر سوبی نیز به‌ویژه به‌صورت بار معلق البته در جریان خروجی قابل اندازه‌گیری نیست. سازه‌های احداث شده در مسیر آبراهه اصلی اندک بار بستر را نیز به تله انداخته و مانع جریان به سمت فلوم خروجی می‌شوند. شکل ۴، نمایی از فلوم خروجی آبخیز نمونه و دستگاه ثبات داده‌های جریان را نشان می‌دهد.

شکل ۴-نمایی از فلوم خروجی آبخیز نمونه و دستگاه ثبات داده‌های جریان

تفاوت معنی‌داری در رواناب و ر سوب تولیدی در حو ضه‌های شاهد و نمونه از نظر شاخص‌های آماری وجود ندارد و لیکن به‌طور مشخص میانگین رواناب‌های اندازه‌گیری شده در زیرحوضه شاهد بیش از حوضه نمونه بود. شکل‌های ۵ و ۶ متوسط سالانه کمیت‌های رواناب فرسایش اندازه‌گیری شده را در دو آبخیز نمونه و شاهد نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست در سنوات مختلف در کرت‌های فر سایش روند م شخ صی را در کمیت فر سایش از نظر تفاوت بین دو حو ضه نمی‌توان ت شخیص داد و لیکن به‌طور م شخص در بی شتر سنوات و به‌ویژه در سنوات متأخر، کمیت رواناب جمع‌آوری شده در کرت‌های زیرحوضه شاهد بیش از نمونه بوده است. در سال ۹۰ و ۹۳ متوسط فرسایش اندازه‌گیری شده در حوضه نمونه حدوداً ۳۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از شاهد بوده، ولی در سال‌های بعد چنین روندی مشاهده نشده و ضمن تقلیل کمیت فرسایش، تفاوت محسوسی بین دو حوضه مشهود نیست. دلیل این امر این می‌توان باشد که در سنوات اولیه استقرار حوضه، هنوز اثر عملیات مدیریتی قرق به‌طور کامل بر حو ضه نمونه و در سطح واحدهای پایش فر سایش نمایان ن شده بود. شایان ذکر ا ست در بین سنوات داده‌برداری برای سنوات ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ داده‌ای گزارش نشده است.



شکل ۵-مقادیر رواناب حوضه‌های شاهد و نمونه زیدشت

شکل ۶-مقادیر فرسایش جمع‌آوری شده در کرت‌های فرسایش حوضه‌های شاهد و نمونه زیدشت

کل داده‌های میخ فرسایشی برداشت شده منحصر به چند مورد به‌صورت متناوب از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ است که متوسط ارقام مربوطه به تفاضل ارتفاع میخ‌های فرسایشی قرائت شده در سنوات مذکور در جدول ۴ نشان داده شده است. اعداد اندازه‌گیری شده بیشتر بیان‌گر وقوع رسوبگذاری در محدوده میخ‌های فرسایشی در حوضه نمونه و پدیده فرسایش در زیرحوضه شاهد است. در سال ۱۳۹۳ در زیرحوضه شاهد به‌طور متوسط ۲۰۸ تن در هکتار فرسایش محاسبه شده و در حوضه نمونه به‌طور متوسط ۱۱۲ تن در

هکتار رسوب‌گذاری است و در سال ۱۳۹۷ حدود ۴۶۸ تن در هکتار رسوبگذاری در زیرحوضه شاهد محاسبه شده است. اگرچه وقوع رسوبگذاری می‌تواند ناشی از پدیده لغزش باشد، ولی در واقع بی‌نظمی محرز در داده‌های حاصل و عدم وجود روند مشخص و داده‌های با پراکندگی بالا، نشان از عدم کارایی واحد پایش میخ فرسایشی در اندازه‌گیری فرسایش سطحی در حوضه است. Nichols و همکاران (۲۰۰۸) نیز به بررسی کمی و کیفی داده‌های رسوب ایستگاه والنات‌گالچ در ۹۱ سال پرداخته و نقاط ضعف و قوت داده‌ها را بر شمرده است. آن‌ها بازه‌های زمانی قابل اطمینان داده‌ها را در فاصله ۳۱-۱۹۱۱ استخراج نمودند.

جدول ۴- داده‌های میخ‌های فرسایشی ثبت شده در حوضه زیدشت طالقان

	میدان	۱۳۹۱	۱۳۹۳	۱۳۹۵	۱۳۹۷	۱۳۹۸
زیرحوضه نمونه (میلی‌متر)	A	-۳/۲ β	-۲	۲۹/۹	-	-
	B	-۱/۷	۰/۱		-۱۱	-۱۳
	C	۵/۶	۱۰/۵		-۳	۳۴
متوسط فرسایش یا رسوبگذاری ($t.km^{-2}$)		۹/۱	۱۱۱/۸		-۱۸۲	۲۷۳
زیرحوضه شاهد (میلی‌متر)	A	-	-	۳۲/۵	۱۰	۲۴
	B	-۰/۱	-۱/۳		-۴۱	-۱۸
	C	۱/۳	-۱۴/۷		-۵	-۱۲
متوسط فرسایش یا رسوبگذاری ($t.km^{-2}$)		۱۵/۶	-۲۰/۸		-۴۶۸	-۷۸

β: خلا آماری در سال مورد نظر زیاد است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش در پایش رواناب، فر سایش و پو شش گیاهی حو ضه زید شت ن شان داد که مهم‌ترین شکل فرسایش در حوضه، زمین‌لغزش است و رخنمونی از سایر اشکال فرسایش در منطقه وجود ندارد. پوشش گیاهی از تیپ غالب گراس‌های مرتعی چند ساله-گون بوده و به دلیل قرق و استقرار کامل پو شش گیاهی، شرایط برای وقوع رواناب و فر سایش مهیا نیست. لذا فر سایش چندانی در میادین میخ فر سای شی و کرت‌های فر سایش، ثبت ن شده ا ست. همچنین به دلیل برف‌گیر بودن محدوده کرت‌ها و میادین میخ فر سای شی، رواناب‌های ثبت شده عمدتاً حا صل ذوب برف ه ستند. حرکت‌های توده‌ای و خزش در محدوده کرت‌های فرسایش و میخ‌های فرسایشی منجر به ایجاد خسارت به بدنه کرت‌ها و انحراف میخ‌های فر سای شی شده ا ست. همچنین، لزوم دقت بی شتر در داده‌برداری فر سایش، رواناب و پو شش گیاهی و ا ستفاده از ابزارها و فنون جدید برای تدقیق داده‌ها ضروری ا ست. اما نکته قابل توجه این است که مهم‌ترین محدودیت ثبت و پایش داده و متعاقب آن نبود آمار و اطلاعات مناسب در آبخیزهای نمونه و شاهد حو ضه زید شت، د ستر سی نامنا سب به میادین میخ فر سای شی و کرت‌های

فرسایش و جانمایی نامناسب ایستگاه است. برای رفع این محدودیت، تعبیه پله در مناطق پر شیب و همچنین شن‌ریزی توصیه می شود. یافته‌های این تحقیق حاکی از این است که حوضه دارای شرایط حادی از نظر فرسایش نیست و تنها تهدید محتمل، وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های پر شیب است، لذا توصیه می شود که از اعمال عملیات مکانیکی و سازه‌ای امتناع شود. همچنین، ضرورت تغییر مدیریت حوضه نمونه و محدوده میادین میخ فرسایشی و کرت از قرق کامل به مدیریت چرای دام کنترل شده وجود دارد. همچنین توصیه می‌شود، تراکم، تکثیر و زادآوری گونه‌های کشت شده در عملیات بیولوژیک نیز مورد بررسی قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه پژوهشی با عنوان "بررسی و تحلیل کمی و کیفی داده‌های فرسایش و رواناب، خاک و پوشش گیاهی در ۱۲ زیرحوضه زوجی کشور" با شماره مصوب ۹۹۰۲۴۴-۰۰۹-۲۹-۰۴-۵۵ است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری اجرا شده است.

منابع

- آقابیگی‌امین، س. و ب. فتاحی. ۱۳۹۶. بررسی پوشش گیاهی و برخی خصوصیات خاک بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زوجی گنبد همدان). نشریه مرتع. ۱۱(۱): ۱۳-۲۳.
- جعفری‌تختی، ا.، ن. کوهپایه، ع. بابایی، ف. عامری‌سیاهویی و م. آتش‌دهقان. ۱۳۹۷. بررسی اثر فعالیت‌های آبخیزداری در پیشگیری و مهار سیل حوزه آبخیز معرف و زوجی دهگان در استان هرمزگان. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی سامانه سطوح آبگیر باران. تهران. اول و دوم اسفند ۱۳۹۷. ۱۰۲۶-۱۰۳۳.
- حسینعلی‌زاده،م.، ح. احمدی، س. فیض‌نیا، ف. ریواز و م.ص. ناصری. ۱۳۹۱. تعیین فرسایش و رسوب با روش سزیم ۱۳۷توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان). مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۲(۲:)۱-۱۴.
- خالدی‌درویشان، ع.، ج. هادی‌قورقی، آ. کاتبی‌کرد، ه. محمدامینی، ل. غالمی، ا. کرم‌زاده، ع. بهمنی و ف. سعیدی، ۱۳۹۶. بررسی اثر قرق بر رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در کرت‌های فرسایش در حوزه آبخیز معرف خامسان در استان کردستان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۶): ۲۴۳-۲۵۵.
- سلیمان‌پور، س.م.، ی. پرویزی و م.ح. تیزمغز. ۱۴۰۰. بررسی سیمای کلی فرسایش، رواناب، خاک و پوشش گیاهی در حوضه‌های معرف و زوجی تنگ‌شول استان فارس. مجموعه مقالات دومین کنفرانس

بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. هسته پژوهشی بازیافت و مدیریت کاربرد پسماند مواد لیگنوسلولزی. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی. صفحات ۱-۱۲.

- شفیعی م.و قراری ش. ۱۳۹۶. مروری بر مفاهیم مدل‌سازی هیدرولوژی: بخش اول، معرفی فرآیند مدلسازی. آب و توسعه پایدار.۴(۲):۹۵-۱۰۲.
- کاظم‌زاده، م. ۱۳۹۷. شناسنامه پروژه حوضه معرف و زوجی زیدشت طالقان استان البرز. دفتر آبخیزداری و حفاظت خاک، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری.
- گلکاریان، ع.، د. داودی مقدم، س.ا. نقیبی و م. عشقی‌زاده. ۱۳۹۲. کارایی مدل فرسایش و هیدرولوژی مرتع در برآورد میزان رسوب دامنه‌های مرتعی مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زوجی شهید نوری کاخک). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۶(۳:)۴۵۷-۴۶۷.
- محمدی، م.ا.، م. زارع خورمیزی و ع. کاویان. ۱۳۹۴. تحلیل درون رگباری پاسخ هیدرورسوبی حوزه آبخیز معرف خامسان. مجله علوم آب و خاک.۱۹(۷۲:)۱۱۵-۱۲۵.

- Caloiero, T., C. Biondo, G. Callegari and A. Veltri. 2017. Results of a long-term study on an experimental watershed in southern Italy. https://www.researchgate.net/publication/320490647.
- Kellner, E. and J.A. Hubbart 2017. Application of the experimental watershed approach to advance urban watershed precipitation/discharge understanding. Urban Ecosyst, 20, 799-810. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0631-4.
- Nichols, M. H., J. J. Stone, and M. A. Nearin. 2008. Sediment database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States, Water Resour. Res., 44, W05S06, doi:10.1029/2006WR005682.
- Yaghobi, A., B. Khalilimoghadam, T. Saedi and M. Rahnama. 2018. The effect of exclosure management on the reduction of SOC loss due to splash erosion in gypsiferous soils in Southwestern Iran. Geoderma, 319: 34-42.
- Zhang, H. 2019. A detailed GIS modeling study for two different environments: simulating runoff and sediment yields for a variety of smaller experimental watersheds near Tombstone (USA) to plan measurements near Nanning (China). Master of Science thesis. University at Buffalo, USA6/j.eng.2021.08.026.

معرفی گونه‌های مرتعی سازگار در کنترل فرسایش سازندهای مارنی منطقه خور و بیابانک

زهرا جابرالانصار[۳] فرزاد پارسادوست*[۱]،حمیدرضا پیروان[۲]

۱-استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، پژوهشکده حفاظت خاک و
آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی farzadeparsa@gmail.com

۲- دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری،پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

۳- محقق بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

مارن‌ها به‌عنوان حساس‌ترین سازندها به فرسایش نقش عمده‌ای در تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز کشور را دارند. بررسی پوشش گیاهی برخی از مناطق مارنی که سبب پایداری خاک و کنترل رسوب زایی مارنی شده‌اند حاکی از آن است که در برخی از رخنمون‌های مارنی گونه‌های مرتعی خاصی به‌طور چشمگیری رشد و نمو یافته و باعث تثبیت و پایداری این سازندها گردیده و درنهایت فرسایش و رسوب در این مناطق تا حدی کنترل‌شده است. این پژوهش باهدف بررسی خصوصیات پوشش گیاهی استقراریافته بر روی مارن‌های منطقه خور و بیابانک در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای انجام گرفت. در این پژوهش در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای، از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. میزان فرسایش متوسط نیز با روش BLM برآورد گردید. نمونه‌برداری پوشش گیاهی به روش تصادفی-سیستماتیک انجام و خصوصیات درصد پوشش و تراکم گونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مناطق مارنی دارای پوشش گیاهی وضعیت بهتری ازنظر فرسایش‌پذیری نسبت به مناطق فاقد پوشش گیاهی دارا بودند. بر اساس نتایج حاصل از همبستگی بین ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی، عامل تاج پوشش گیاهی با درصد شن به میزان ۷۹ درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میزان درصد سدیم تبادلی همبستگی منفی و معنی‌دار (۸۷ درصد) نشان داد. ازنظر نوع گونه گیاهی غالب، گونه *Artemisia sieberi* در هر سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای به‌عنوان سازگارترین گونه برای حفاظت خاک در فلات‌های مارنی منطقه منتخب مارنی خور و بیابانک شناسایی شد. نتایج این پژوهش در راستای استقرار گونه‌های مناسب در آبرفت‌های مارنی با شرایط اقلیمی مشابه می‌تواند به‌عنوان دستاوردی نوین برای جلوگیری از فرسایش خاک مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی:

مارن، فرسایش خاک، خور و بیابانک، گیاهان مرتعی، روش BLM

مقدمه

پدیده فرسایش و رسوب یکی از معضلات اساسی است که بسیاری از کشورها با آن دست‌به‌گریبان می‌باشند. فرسایش خاک موجب شستشوی عناصر غذایی خاک سطحی شده و درنهایت کاهش حاصلخیزی خاک را در پی خواهد داشت(احمدپور،۱۳۹۳). کاهش حاصلخیزی و به طبع آن کاهش پوشش گیاهی و درنهایت افزایش مناطق فرسایش یافته را در پی خواهد داشت. یک از ارزان‌ترین و مناسب‌ترین راه‌های جلوگیری از فرسایش خاک ایجاد پوشش گیاهی پایدار خواهد بود(احمدی، ۱۳۷۸). پدیده فرسایش و رسوب یکی از معضلات اساسی است که بسیاری از کشورها با آن دست‌به‌گریبان می‌باشند(Hajigholizadeh،۲۰۱۸).فرسایش موجب کاهش حاصلخیزی خاک و به طبع آن کاهش پوشش گیاهی را در پی خواهد داشت (احمدپور۱۳۹۳ و سکوتی و همکاران ۱۳۹۴). رخنمون‌های مارنی بخش عمده‌ای از رسوبات تولیدشده در حوزه‌های آبخیز را به خود اختصاص می‌دهند که بر اساس نوع و اندازه کانی‌ها، بافت و درصد ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و فرسایشی متفاوتی دارند (Gourfi و همکاران ۲۰۲۰). مطالعات نشان داده است که اراضی مارنی نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و موجب کاهش عمر مفید سدها، افزایش هزینه‌های تصفیه آب آشامیدنی، و کاهش چشمگیری در نفوذپذیری عرصه‌های پخش سیلاب به دلیل ترسیب کلوئیدهای رسی در این مناطق می‌شوند (درویش‌زاده ۱۳۷۰و Cardoso و همکاران ۲۰۰۹). علیرغم دشواری استقرار پوشش گیاهی بر روی اراضی مارنی به دلیل تمرکز کانی‌های رسی نفوذناپذیر (صحتی و همکاران، ۱۳۹۵)، در برخی مناطق به طرز شگفت‌انگیزی می‌توان پوششی نسبتاً متراکم از گونه‌های مرتعی را ملاحظه نمود که سبب پایداری خاک و کنترل نرخ رسوب زایی اراضی مارنی شده‌اند.

گونه‌های مرتعی با ایجاد پوشش گیاهی پایدار بر روی سازندهای مارنی به‌عنوان یکی از مؤثرترین و مناسب‌ترین راه‌های جلوگیری از فرسایش خاک مطرح می‌باشد ((فیض‌نیا ۱۳۸۲، Zhang و همکاران،۲۰۱۰، Martínez-Murillo و همکاران۲۰۱۳). مطالعات گوناگونی در بررسی گونه‌های مرتعی شاخص که نقش حفاظتی بر روی سازندهای مارنی دارند در کشور انجام‌شده است. عسکری و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی دقیق و سیستماتیک گونه‌های گیاهی و نقش حفاظتی آن‌ها در مناطق مارنی شرقی، جنوبی و غربی در شهرستان ایلام بیان نمودند که گونه‌های غالب در این مناطق به ترتیب شامل *Quercus brantii*، *Noaea mucronata*، *Hamada salicornica* و *Zygophyllum atriplicoides* می‌باشند.

برخورداری و همکاران (۱۴۰۰) نقش گونه‌های مرتعی در حفاظت سازندهای مارنی را در شهرستان اردکان در استان یزد بررسی نمودند. نتایج نشان داد سازگارترین گونه ازلحاظ حضور (۸۳درصد) روی اراضی مارنی گونه *Salsola tomentosa* می‌باشد.

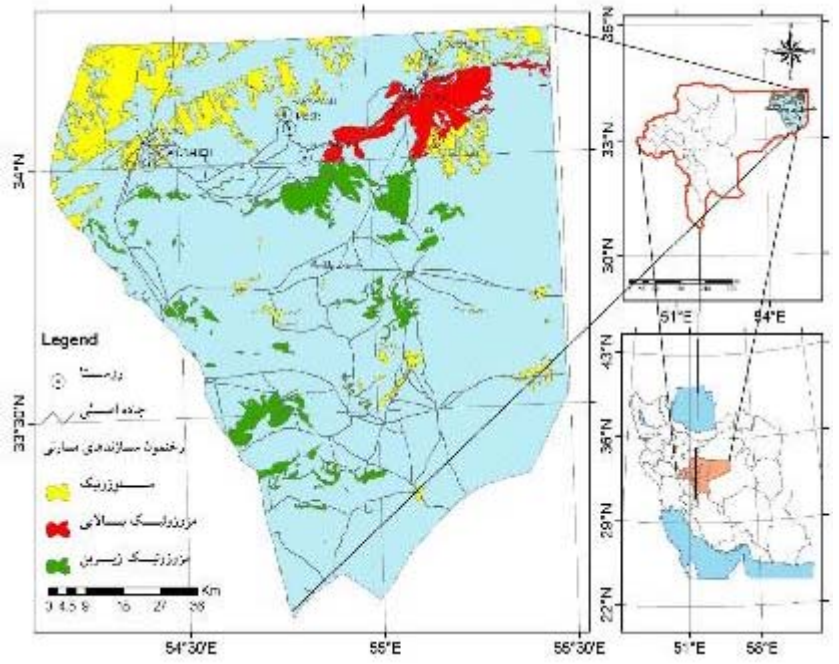
قدرتی و صبح زاهدی (۱۴۰۱) در بررسی گونه‌های شاخص سازندهای مارنی در استان گیلان (پشت سد سفیدرود) تعداد ۳۶ گونه گیاهی متعلق به ۲۳ خانواده را شناسایی نمودند که از میان آن‌ها گونه‌هایی نظیر گل گزی (*Reaumuria alternifolia*)، قره داغ (*Nitraria schoberi*) کاروانکش رودباری (*Atraphaxis aucheri*)، کم ریش واگرا(*Oligochaete divaricata*)، شورپای مامانی(*Halimocnemis mamamensis*)، پونه سای رودباری(*Nepeta amoena*)، سُدابی بی ورزین(*Haplophyllum buhsei*) و تاغ (*Haloxylon ammodendron*) به‌صورت ویژه بر روی خاک‌های مارنی رویش یافته و جهت تثبیت خاک‌های مارنی مناسب می‌باشند.

هدف از این پژوهش شناسایی گونه‌های مرتعی و بررسی نقش آن‌ها بر مهار فرسایش در سازندهای مارنی منتخب در استان اصفهان می‌باشد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک‌های مارنی و خصوصیات پوشش گونه‌های گیاهی در انواع مختلف فرسایش موردمطالعه قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

رخنمون‌های مارنی بسیاری مربوط به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی در شرق، شمال و جنوب استان اصفهان وجود دارد که در طرح طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان اصفهان منطقه خور و بیابانک جهت شناسایی و بررسی نقش گونه‌های مرتعی بر کنترل فرسایش انتخاب گردید(حیدری و همکاران،۱۳۹۸). این منطقه با عنایت به رخنمون سازندهای رسوبی، دارای گسترش خوبی ازنظر سازندهای مارنی بوده و سازندهای فرخی با لیتولوژی تناوبی از آهک، مارن و ما سه سنگ، سازند دبر سو با لیتولوژی آهک، مارن، آهکر سی و ما سه سنگ، قرمز زیرین با لیتولوژی کنگلومرا، ما سه سنگ، مارن و سیلت سنگ، قرمز فوقانی با لیتولوژی آهک، مارن و ژیپس، چوپانان با لیتولوژی عمدتاً مارن، بازیاب با لیتولوژی آهک و مارن و سازند قم با لیتولوژی آهک و مارن به‌صورت متناوب در منطقه گسترش دارند. به‌طورکلی مارن‌های رخنمون یافته در این منطقه به دلیل شرایط محیط ر سوبی درگذ شته (دریا ن سبتاً عمیق و آرام در دوران دوم و سوم زمین شنا سی) خ صو صیات منحصربه‌فردی با سایر رخنمون‌های گسترش‌یافته در دیگر نقاط ا ستان ا صفهان خصو صاً زون زاگرس دارد(شکل ۱). در واحدهای یکسان مارنی(ازلحاظ ویژگی‌های درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع و میزان پوشش گیاهی) و سه شکل فرسایشی (سطحی، شیاری و آبراهه‌ای) در سه منطقه نمونه‌برداری،نمونه خاک از هر فرسایش، سه نمونه و به عمق ۰-۲۰ سانتیمتری جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری انجام شد. سه شکل فر سای شی (سطحی، شیاری و آبراهه‌ای) و در واحدهای یکسان مارنی و مناطق فاقد پوشش مجاور آن‌ها (شاهد) در حین نمونه‌برداری، فرم BLM جهت ارزیابی وضعیت فرسایش تکمیل شد.

با استفاده از روش تصادفی - سیستماتیک برای تشخیص و بررسی گونه‌های گیاهی انجام شد. در حین بازدیدها در فصل رویش، نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شد. سپس وضعیت فرسایش سطح زمین و ارتباط آن با پوشش گیاهی و نوع گونه‌ها تعیین و نهایتاً گونه‌های مناسب معرفی شدند. مختصات منطقه نمونه‌برداری در سه نوع فرسایش موردبررسی در جدول ۱ آورده شده است.



شکل۱- رخنمون سازندهای مارنی منطقه خور و بیابانک

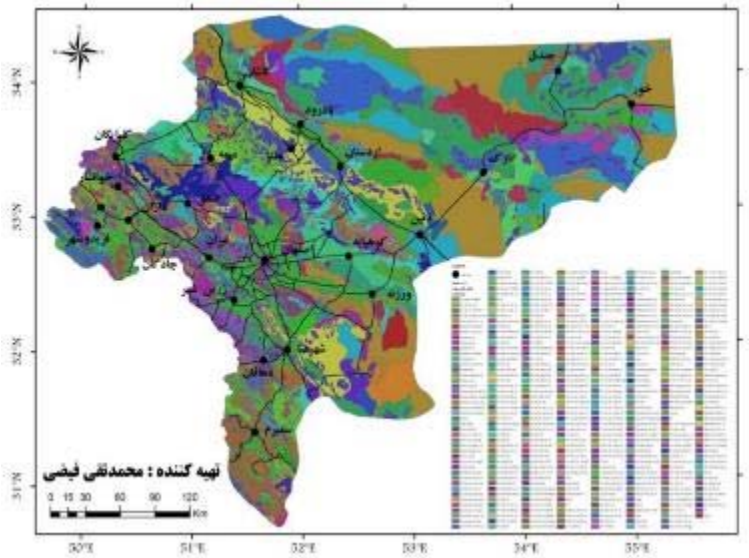
جدول۱-مشخصات مناطق منتخب گروهای مارنی موردمطالعه

ردیف	مناطق منتخب مارنی	موقعیت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	خور و بیابانک	بازیاب، فرسایش سطحی	54°، 45، 45.5″	33°،28′،02.6″
		بازیاب، فرسایش شیاری	54°، 45، 45.7″	33°،28′،02.9″
		بازیاب، فرسایش خندقی – پای دامنه	54°، 45، 45.8″	33°،28′،02″

نتایج و بحث

در این مرحله اطلاعات، اسناد و مدارک موردنیاز درزمینه پوشش گیاهی منطقه خوروبیابانک به تفکیک نقشه تیپ‌های گیاهی از طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور، تیپ‌های گیاهی استان اصفهان که در سال ۱۳۹۲ انتشاریافته مشخص گردید. تیپ‌های گیاهی شناسایی‌شده در منطقه خور و بیابانک عبارت‌اند از درمنه دشتی، قیچ و پرند(*Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides-Pteropyrum aucheri*) با نشان بر روی نقشه به‌صورت Ar.si-Zy.at-Pt.au نشان داده‌شده‌اند(فیضی

و همکاران، ۱۳۹۶). این تیپ‌های گیاهی با مساحت ۴۸۷۷۷۸ هکتار، معادل ۶/۱۷۶ درصد از تیپ‌های پوشش گیاهی و ۴/۵۵۴ درصد از کل استان موردمطالعه در پنج نقطه از کوه‌های یخاب در شهرستان کاشان تا انارک و خوروبیابانک بیشتر مناطق کوهستانی را دربرمی گیرد.عرصه گسترش این تیپ گیاهی در دامنه تغییرات ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۲۱۰۰ متری از سطح دریا، اقلیم فراخشک معتدل و فراخشک سرد با میانگین بارندگی سالانه بین ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر با میانگین دمای سالانه ۱۶ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این تیپ گیاهی بیشتر روی تیپ اراضی کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها و تراس‌های فوقانی و واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه دار واقع‌شده است. در این تیپ بیشترین مساحت طبقات شیب مربوط به طبقه شیب ۵ تا بیش از ۶۰ درصد می‌باشد.



شکل۲- نقشه موقعیت تیپ‌های گیاهی استان اصفهان

وضعیت فرسایش‌پذیری منطقه مارنی منطقه خور و بیابانک

برای بررسی فرسایش پذیری در این پژوهش از روش BLM که یک روش کیفی با برآورد هفت عامل(حرکت خاک، وجود لاشبرگ در سطح خاک، وضعیت سنگ‌ها، قطعات سنگی تحکیم یافته، وجود فرسایش شیاری، فرم آبراهه‌ها و وجود فرسایش خندقی) میزان فرسایش‌پذیری خاک برآورد شد. در طی بازدیدهای صحرایی و با بررسی عوامل، امتیازدهی به آن‌ها صورت گرفت و جمع امتیازها که نشان‌دهنده میزان فرسایش‌پذیری است مشخص شد(جدول۲). همان‌گونه که مشاهده می‌گردد وضعیت فرسایش در دو نوع فرسایش سطحی و شیاری متوسط و در فرسایش خندقی زیاد به دست آمد ولی وضعیت فرسایش در مناطق شاهد به‌گونه‌ای بود که در فرسایش‌های سطحی، شیاری و خندقی به ترتیب زیاد، زیاد و خیلی زیاد به دست آمد.

جدول۲- وضعیت فرسایش‌پذیری اراضی مارنی منتخب در شهرستان خور و بیابانک(بازیاب)

شرح	امتیاز به‌دست‌آمده فرسایش سطحی	شرح	امتیاز به‌دست‌آمده شاهد(بدون پوشش)
حرکت ذرات خاک	۱۵	حرکت ذرات خاک	۱۸
لاشبرگ سطحی	۵	لاشبرگ سطحی	۸
سنگ و سنگریزه	۱۴	سنگ و سنگریزه	۱۶
فرسایش پاسنگی	۸	فرسایش پاسنگی	۹
شیارها	۴	شیارها	۵
آثار جریان	۷	آثار جریان	۸
خندق‌ها	۰	خندق‌ها	۱
مجموع امتیاز	۵۳ متوسط	مجموع امتیاز	۶۵ زیاد
شرح	امتیاز به‌دست‌آمده فرسایش شیاری	شرح	امتیاز به‌دست‌آمده شاهد (بدون پوشش)
حرکت ذرات خاک	۱۰	حرکت ذرات خاک	۱۴
لاشبرگ سطحی	۵	لاشبرگ سطحی	۷
سنگ و سنگریزه	۹	سنگ و سنگریزه	۱۲
فرسایش پاسنگی	۸	فرسایش پاسنگی	۱۰
شیارها	۱۴	شیارها	۱۹
آثار جریان	۱۰	آثار جریان	۱۵
خندق‌ها	۲	خندق‌ها	۳
مجموع امتیاز	۵۸ متوسط	مجموع امتیاز	۸۰ زیاد
شرح	امتیاز به‌دست‌آمده فرسایش خندقی	شرح	امتیاز به دست آمده شاهد (بدون پوشش)
حرکت ذرات خاک	۱۰	حرکت ذرات خاک	۱۲
لاشبرگ سطحی	۸	لاشبرگ سطحی	۱۰
سنگ و سنگریزه	۸	سنگ و سنگریزه	۹
فرسایش پاسنگی	۱۲	فرسایش پاسنگی	۱۵
شیارها	۳	شیارها	۴
آثار جریان	۱۱	آثار جریان	۱۶
خندق‌ها	۱۳	خندق‌ها	۱۵
مجموع امتیاز	۶۵ زیاد	مجموع امتیاز	۸۱ خیلی زیاد

همبستگی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و درصد تاج پوشش گیاهی

به‌منظور بررسی اثرات متقابل عوامل خاکی و پوشش گیاهی از روش همبستگی استفاده شد(جدول ۵). اثرات متقابل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و عامل تاج پوشش گیاهی در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای نشان داد که عامل تاج پوشش گیاهی با درصد شن با ۷۹ درصد در سطح معنی‌داری ۰/۰۱همبستگی مثبت داشته و از همدیگر متأثر می‌شوند. رابطه همبستگی بسته به گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها متفاوت است. همچنین شوری خاک، درصد سدیم تبادلی، سیلت و رس با عامل تاج پوشش گیاهی همبستگی منفی داشته ولی با آهک خاک همبستگی متوسط(۰/۴۶ درصد) را نشان داد. کمترین همبستگی ضعیف و منفی با عامل تاج پوشش گیاهی در رابطه با شوری خاک(۰/۱۹) درصد مشاهده گردید (جدول ۳).

جدول ۳- ضرایب همبستگی پیرسون بین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها با عامل پوشش گیاهی

	Canopy Cover	EC	SAR	$CaSO_4$	$CaCO_3$	Sand	Silt	Clay
Canopy Cover	۱							
EC	-۰/۱۹ ns	۱						
SAR	-۰/۸۷**	۰/۶۵**	۱					
$CaSO_4$	۰/۱۴ ns	۰/۸۷**	۰/۲۹ns	۱				
$CaCO_3$	۰/۴۶*	۰/۴۶*	ns -۰/۰۶	۰/۳۴ns	۱			
Sand	۰/۷۹**	ns ۰/۲۸	۰/۴۵*	۰/۳۰ ns	۰/۹۱ns	۱		
Silt	-۰/۷۳**	ns ۰/۲۷	۰/۶۴**	۰/۲۷ns	-۰/۷۱۰**	-۰/۸۳**	۱	
Clay	-۰/۷۱**	۰/۲۰ns	۰/۶۰ **	۰/۲۴ns	-۰/۷۶**	-۰/۸۵**	۰/۹۸**	۱

*و** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد،ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار

گونه‌های گیاهی در اشکال مختلف فرسایش

با بازدیدهای میدانی و بررسی پوشش گیاهی به روش تصادفی - سیستماتیک در منطقه آبرفت اراضی مارنی خور و بیابانک(بازیاب)، فهرست گونه‌های گیاهی در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای مشخص شد (جدول ۴).

خصوصیات پوشش گیاهی به تفکیک فرم رویشی و نوع فرسایش در اراضی مارنی منتخب در شهرستان خور و بیابانک(بازیاب)

با بازدیدهای میدانی و بررسی وضعیت پوشش گیاهی به روش تصادفی - سیستماتیک گونه‌های گیاهی ازنظر تراکم، درصد پوشش، لاشبرگ و سنگریزه در سه نوع فرسایش در منطقه مارنی منتخب در شهرستان خور و بیابانک شناسایی شدند (جدول۵).

جدول ۴-گونه‌های گیاهی منطقه منتخب مارنی خور(بازیاب)

نوع فرسایش	گونه	خانواده	درصد تراکم	درصد تاج پوشش
سطحی	*Artemisia sieberi*	Asteraceae	۰/۵۷	۰/۹۴
	Euphorbia Sp	Euphorbiaceae	۰/۲۱	۰/۱۲
	Scoronozera tourtisia	Asteraceae	۰/۰۳	۰/۱۶
شیاری	*Artemisia sieberi*	Asteraceae	۱/۷۰	۸/۰۳
	Scorzonera tortuosissima	Asteraceae	۰/۱۱	۰/۱۴
	Zygophyllum atriplicoides	Zygophyllaceae	۰/۰۱	۰/۶۶
آبراهه‌ای	*Artemisia sieberi*	Asteraceae	۱/۷۳	۴/۷۴
	Pteropyrum aucheri	Polygonaceae	۰/۲۶	۱/۷۸
	Scariola orientalis	Asteraceae	۰/۱۳	۱/۲۳

جدول۵- خصوصیات پوشش گیاهی به تفکیک فرم رویشی و نوع فرسایش در منطقه خور و بیابانک

نوع فرسایش	ترکیب تراکم (درصد)			میانگین تراکم (در مترمربع)	ترکیب تاج پوشش(درصد)				میانگین تاج پوشش (درصد)	لاشبرگ	سنگریزه
	گندمی	پهن‌برگ علفی	بوته‌ای		گندمی	پهن‌برگ علفی	بوته‌ای	یک‌ساله	درصد		
سطحی	۰	۶/۶	۶۲/۲	۰/۹۰	۰	۱۹/۱	۶۸/۱	۱۱/۷	۱/۳۶	۵/۱	۸۱/۶
شیاری	۰	۰	۹۱/۳	۱/۱۶	۰	۰	۹۳/۶	۶/۱	۹/۲۸	۷/۳	۴۱/۱
آبراهه‌ای	۰	۰	۹۳/۴	۲/۱۳	۰	۱۷/۲	۸۲/۱	۰/۵	۷/۹۰	۱۰/۸	۴۶/۱

نتایج داده‌های پوشش گیاهی در وضعیت‌های مختلف فرسایش منطقه خور و بیابانک نشان می‌دهد که بیشترین تراکم پوشش گیاهی در این منطقه مربوط به فرسایش آبراهه‌ای بوده است و کمترین تراکم در فرسایش سطحی دیده‌شده است(جدول۵). در خصوص درصد تاج پوشش گیاهان نیز، فرسایش شیاری دارای بیشترین درصد تاج پوشش گیاهی و گیاهان موجود در فرسایش سطحی واجد کمترین درصد تاج پوشش گیاهی را در منطقه دارا بوده‌اند. پوشش لاشبرگ که شاخصی از وضعیت حفاظت خاک است نیز

تفاوت‌هایی بین وضعیت‌های مختلف سطح خاک‌نشان می‌دهد، به‌نحوی‌که بیشترین درصد لاشبرگ مربوط به فرسایش آبراهه‌ای (۱۰/۸) و کمترین درصد مربوط به فرسایش سطحی (۵/۱) دیده شده است (جدول۵).

ازنظر فرم رویشی گیاهان موردبررسی، داده‌ها نشان می‌دهد که درمجموع گیاهان بوته‌ای بیشترین تراکم را به خود اختصاص داده‌اند و پس‌ازآن پهن برگان علفی قرار دارند. همین وضعیت در مورد درصد پوشش گیاهان منطقه نیز دیده می‌شود. البته ازنظر ترکیب پوشش گیاهی اختلافاتی بین اشکال مختلف فرسایش در منطقه دیده می‌شود. به‌نحوی‌که در فرسایش آبراهه‌ای گیاهان بوته‌ای با حدود ۹۳/۴ درصد بیشترین تراکم و با ۸۲/۱ درصد کل از تاج پوشش را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که در فرسایش سطحی این نسبت‌ها به ترتیب، ۶۲/۲ و۶۸/۱ و در فرسایش شیاری به ترتیب ۹۱/۳و ۹۳/۶بوده است. ازنظر نوع گونه گیاهی غالب، داده‌ها نشان می‌دهد که گونه *Artemisia sieberi* در هر سه نوع فرسایش به ترتیب سطحی، شیاری و آبراهه‌ای با ۶۶/۱، ۸۶/۱ و ۵۹/۴ درصد بیشترین درصد ترکیب پوشش گیاهی را در منطقه هر سه نوع فرسایش خود اختصاص داده است.

Artemisia sieberi

شکل۳- درمنه دشتی، گونه غالب در هر سه نوع فرسایش موردبررسی در منطقه منتخب خور و بیابانک

گونه گیاهی *Artemisia sieberi* گیاهی چندساله، پشته‌ای یا توده‌ای، بیخ ساقه‌چوبی، ضخیم، پر ساقه، ساقه‌های بارور این گیاه به ارتفاع ۱۵ تا ۵۵ سانتی‌متراست در حالت جوانی و قبل از گل و میوه دهی اغلب پربرگ، پس از گل و میوه دهی تقریباً عریان و بدون برگ یا حاوی بقایای برگ‌های ریخته شده

است. ساقه‌ها اغلب به رنگ قهوه‌ای روشن، در ابتدا کاملاً کرکی هلویی، با افزایش سن بدون کرک شونده، با شاخه‌های اغلب فوقانی افقی تا رو به بالای با زاویه باز، در انتها گاهی خاری شونده دارد.گل‌آذین پانیکول بزرگ، تنک یا انبوه، با شاخه‌های اولیه و ثانویه افقی یا گاهی واگرای رو به بالا است. ازلحاظ ارتفاعی درمنه دشتی در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا و درشیب‌های کمتر از ۱۵ درصد پراکنش دارد. میزان بارندگی مناطق مورد پراکنش این گیاه از ۲۰۰-۷۵ میلی‌متر بوده و گستره پراکنش آن ازلحاظ اقلیمی فراخشک متعادل تا خشک بیابانی می‌باشد(شکل۳).

در خصوص مراحل فنولوژی گیاه *Artemisia sieberi* می‌توان گفت که شروع رشد اواخر اسفند، رشد رویشی از اوایل فروردین تا اوایل شهریور، گلدهی اواسط شهریور تا اواسط مهر، میوه دهی اوایل مهر تا آبان و رسیدن میوه آبان به بعد و در پایان خواب زمستانه است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فرسایش در مناطق بدون پوشش نسبت به مناطق دارای پوشش از شدت کمتری برخوردار بود. در هر سه شکل فرسایش گونه های گیاهی با فرم رویشی بوته ای بیشترین درصد پوشش را بخود اختصاص دادند.گونه گیاهی سازگار با مناطق مارنی در هر سه نوع فرسایش گیاه درمنه دشتی بود. این گیاه با دارا بودن تاج پوشش گسترده بخوبی می تواند در حفاظت خاک و کنترل بیولوژیک فرسایش در اراضی مارنی موثر باشد. با توجه به تیپ پوشش گیاهی منطقه، ارتباط درصد پوشش گونه های گیاهی با عوامل خاک شامل بافت، آهک و درصد سدیم تبادلی منطقی بنظر می رسد. پیشنهاد می شود با توجه به وجود اراضی مارنی تیپیک در منطقه خوروبیابانک، تحقیقات کاملتری در سایر اراضی مارنی با شرایط توپوگرافی متفاوت انجام گیرد، تا ازاین طریق سایر گونه های گیاهی سازگار با این اراضی شناسایی شود.

سپاسگزاری

این مقاله از بخشی از نتایج پروژه با عنوان شناسایی و بررسی نقش گونه‌های مرتعی بر کنترل فرسایش در سازندهای مارنی منتخب در استان اصفهان در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و در بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری انجام گرفت که بدین‌وسیله از کلیه همکارانی که ما را یاری نمودند کمال تقدیر و تشکر راداریم.

منابع

- احمدپور، م.۱۳۹۳. اثر برخی گونه‌های مرتعی بومی طرح حفاظت خاک اراضی مارنی لوشان. دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتع‌داری، صفحه ۱۰۵.
- احمدی،ح. ۱۳۷۸ . ژئومورفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران.

- برخورداری،ج. پیروان، ح، شادفر، ص.، میرجلیلی، ع . هاتفی،م. ۱۴۰۰ بررسی نقش گونه‌های مرتعی در حفاظت سازندهای مارنی از فرسایش در شهرستان اردکان –استان یزد .ترویج و توسعه آبخیزداری. ۳۳ (۹):۴۶-۳۹.
- حیدری، ف. صبوحی، ر.۱۳۹۸. طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان اصفهان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۲): ۴۴۰-۴۵۱.
- درویش زاده، ع.۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران. تهران، نشر دانش امروز.
- سکوتی اسکویی، ر.ح.ر.پیروان، د. نیک کامی، م . ح.مهدیان. ۱۳۹۴.بررسی رابطه فرسایش‌پذیری،اشکال فرسایش و تلفات خاک‌های حاصل از سه نوع مارن در آذربایجان غربی. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۴):۳۷۹-۳۸۸.
- صحتی،م.ا.نوحه گر، ی. اسماعیل پور و ح. غلامی . ۱۳۹۵. مطالعه بیوژئومورفولوژی سازندهای زمین‌شناسی مارنی با تأکید بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: شهرستان لامرد-استان فارس). ۶(۲): ۳۸-۲۵.
- عسگری ش.ا، پیروان، ح.ر.، شادفر، ص.، شوهانی، ن. ۱۴۰۱. بررسی و شناخت گونه‌های گیاهی سازگار با حفاظت خاک مارن‌های شهرستان ایلام . فضای جغرافیایی، ۲۲ (۷۷) :۸۱-۹۷
- قدرتی، ع.، صبح زاهدی، ش.، ۱۴۰۱. شناسایی و ترویج پوشش گیاهان شاخص در سازندهای مارنی استان گیلان (پشت سد سفیدرود). ۴(۱): ۷-۱۶.
- فیضی، م.علی جانی، و.، خداقلی، م. شیرانی، ک. ۱۳۹۶. اکولوژی ایران. تیپ های گیاهی استان اصفهان. سازمان جنگلها و مراتع کشور. ۲۸۹ صفحه.
- فیض نیا، س.، ۱۳۸۲. فرسایش و رسوب مارن‌ها،پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.منتشرنشده.
- Cardoso, R. and Alonso, E.E., 2009. Degradation of compacted marls: a microstructural investigation. Soils and Foundations, 49(3), pp.315-327.
- Gourfi, A., Daoudi, L., Rhoujjati, A., Benkaddour, A. and Fagel, N., 2020. Use of bathymetry and clay mineralogy of reservoir sediment to reconstruct the recent changes in sediment yields from a mountain catchment in the Western High Atlas region, Morocco. Catena, 191, p.104560.
- Hajigholizadeh, M., Melesse, A.M. and Fuentes, H.R., 2018. Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on approaches, models and applications. International journal of environmental research and public health, 15(3), p.518.
- Martínez-Murillo, J.F., Nadal-Romero, E., Regüés, D., Cerdà, A. and Poesen, J., 2013. Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: A review. Catena, 106, pp.101-112.
- Zhang, J.T. and Dong, Y., 2010. Factors affecting species diversity of plant communities and the restoration process in the loess area of China. Ecological Engineering, 36(3), pp.345-350.

ارزیابی توانایی گیاهان درختچه‌ای دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق در مهار فرسایش

رضا طلائی*[1]

۱*- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران، rztala1969@gmail.com

چکیده

در این تحقیق روشی جهت ارزیابی توانایی چهار گونه گیاه درختچه‌ای دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق در مهار کردن فرسایش شیاری و خندق معرفی شده است. پنج شاخص به نام‌های تراکم ساقه (SD)، توانایی ریشه گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) برای این چهار گیاه گردید (SD=۰/۰۰۲۳–۰/۰۶۸۴، RSD=۳/۶×۱۰ $^{-۴۲}$ - ۰/۰۶۴، SOP=۰/۰۵۲ - ۰/۹۸۸، MEI=۱۴/۶۹ -۵۳/۴۷۱، Cr=۰/۱۹ - ۳۴/۶۲). مقادیر شاخص تراکم ساقه‌ی (SD) در گونه‌های گیاهی بادام کوهی و سماق به ترتیب برابر ۰/۰۶۸۴ و ۰/۰۲۰۶ متربرمترمربع است. مقادیر توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) به ترتیب برای گونه‌های دغدغک و بادام کوهی بین ۰/۲۵۰ تا ۰/۹۸۸ متر بر متر است. نتایج محاسبات شاخص سفتی گیاه (MEI) نشان می‌دهد گونه‌های دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق مقاومت خمشی زیادی در مقابل نیروی برشی دارند (۵/۱۹ – ۳۴/۶۲۶ نیوتن). براساس شاخص شاخص RSD هر چهار گیاه توانایی بالایی در کاهش فرسایش در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند. ترکیب گونه‌های گیاهی مختلف مورد مطالعه جهت مهار کردن فرسایش می‌تواند بسیار موثر باشد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که این چهارگیاه توانایی لازم برای مهار فرسایش را در اراضی شیب دار دارند و می‌توانند نقش مؤثری در کاهش فرسایش و احیایی اراضی تخریب شده داشته باشند.

واژه‌های کلیدی:
توانایی، درختچه‌ای، شاخص، فرسایش و گونه‌های گیاهی

مقدمه

اشکال مختلف فرسایش آبی از جمله فرسایش‌های سطحی، خندقی و حرکت‌های توده‌ای در بیش از ۷۲ درصد یعنی ۱۲۰ میلیون هکتار از مناطق کوهستانی و دشت‌های کشور غالب هستند (عرب خدری، ۱۳۹۳). هرچند برآورد دقیقی از میزان فرسایش در ایران وجود ندارد اما کارشناسان معتقدند که سالانه

بر میزان آن افزوده می‌شود، بطوریکه طبق گزارش برنامه توسعه محیطی سازمان ملل[1] میزان فرسایش خاک در ایران در یک دوره ده ساله از ۱۰ تن در هکتار به ۲۰ تن در هکتار رسیده است (نژاد افضلی و همکاران، ۱۳۹۸). پژوهشگران ایجاد تغییرات وسیع در کاربری اراضی و از بین بردن پوشش سطحی را جزو عوامل اصلی فرسایش خاک در کشور معرفی می‌نمایند (عرب خدری، ۱۳۹۳؛ آذرتاج و همکاران، ۱۳۹۷).

ضرورت حفاظت و احیای اراضی حاصل‌خیز کشورمان با استقرار پوشش گیاهی مورد توجه متخصصین بوده و از اولویت‌هایی اصلی بخش اجرا است. اگرچه مهار فرسایش با اجرای عملیات مکانیکی نظیر ساخت سازه‌هایی همچون خشکه چین نیز امکان‌پذیر است اما مهار فرسایش با احیایی پوشش گیاهی در حفاظت از محیط‌زیست و منابع خاک و آب بسیار مهم می‌باشد (Ogunlela وMakanjuola، ۲۰۰۰؛ Eshghizadeh و همکاران، ۲۰۱۶). احیای پوشش گیاهی یکی از بهترین و مؤثرترین روش‌های حفاظت از خاک و مهار فرسایش است (Liu و همکاران ۲۰۱۹)، و این باعث شده تا پژوهشگران زیادی در دنیا به تحقیق در خصوص نقش گیاهان در کاهش میزان و شدت فرسایش خاک بپردازند (Molina و همکاران ۲۰۰۹، Dong و همکاران، ۲۰۱۴). ریشه گیاهان با تثبیت خاک و اندام‌هایی هوایی و با کاستن از انرژی برخورد قطرات باران با خاک و افزایش حجم آب نفوذی سبب کاهش شدت فرسایش آبی می‌شوند (De Bates و همکاران، ۲۰۱۴). با بهم چسبانده شدن ذرات خاک توسط ریشه گیاهان امکان جابجایی آن به حداقل رسیده و حجم خاک فرسایش یافته نیز بشدت کاهش می‌یابد (Katuwal و همکاران ۲۰۱۳). در این راستا به کار گیری گونه‌های بومی به دلیل سازگار بودن با محیط می‌تواند بسیار مهم باشد (Kou و همکاران ۲۰۱۶). واضح است که باید گونه‌های بومی انتخاب شده دارای توانایی لازم برای بهبود شرایط و کاهش فرسایش داشته باشند (Adekalu و همکاران، ۲۰۰۶). گونه‌های گیاهی زیادی برای مهار فرسایش وجود دارد اما نوع بومی و توانمند آن می‌تواند اثرات بیشتری داشته و از نظر اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش چهار گونه درختچه‌ای بومی، که در نقاط مختلف کشور رشد می‌نمایند، شامل دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق انتخاب شدند و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در مناطق مختلف کشور با گسترش سازندهای حساس به فرسایش در خصوص توانایی گونه‌های بومی درختچه‌ای در کاهش شدت فرسایش مطالعه چندانی صورت نگرفته است. در این پژوهش به منظور تعیین توانایی گیاهان انتخاب شده در مهار فرسایش با ارزیابی همزمان اندام‌هایی هوایی و زیرزمینی انجام گرفته است. در ابتدای این پژوهش، چهار گونه انتخاب شده مورد شناسایی و جمع آوری قرار گرفتند. بعد از اندازه‌گیری‌هایی صفات این گیاهان در محل استقرار، نمونه‌های لازم تهیه و سایر صفات آن‌ها در

[1] United Nations Environment Programme

آزمایشگاه تعیین شدند. براساس مقادیر کیفی و کمّی مربوط به ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها، توانایی آن‌ها در کاهش و مهارکردن فرسایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات و بررسی منابع موجود، محل استقرار چهار گونه گیاهی دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق در شمال غرب کشور و در اقلیم‌های سرد تا معتدل شناسایی شدند. ویژگی‌های پوشش گیاهی بر روی خط نمونه‌های به طول ۵۰ متر در امتداد طول دامنه انجام گرفت. برای انجام این پژوهش نمونه‌برداری از این گیاهان هم در مناطق با شکل‌های فرسایش شیاری و خندقی و هم بدون فرسایش انجام گرفت. چنانکه اشاره شد گونه‌های دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) و سماق(*Rhus coriaria* L.) دارای فرم درختچه‌ای و گاهی درختی بودند. در شکل ۱ سیمایی کلی فرسایش شیاری و خندقی، نمونه قاب یک متر مربعی، اندازه گیری‌ها و گونه‌های گیاهی انتخاب شده نشان داده شده است.

از هر گیاه حداقل ۵ نمونه با اندازه متوسط انتخاب و ضمن اندازه‌گیری‌های صحرایی برای انجام آزمایش-های لازم به آزمایشگاه انتقال داده شد. در مرحله‌ی عملیات صحرایی متغیرهایی شامل تعداد و قطر ساقه‌ها در یقه‌ی هر گونه، مساحت کل اشغال شده به‌وسیله تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین، سطح‌مقطع کل ریشه‌های اندازه گیری شده در خاک، طول یا قطر حداکثر اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب در تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه‌گیری شد. جهت برداشت نمونه از ریشه و تعیین ویژگی‌های آن نیاز به حفاری می‌باشد. حفاری برای بررسی و برداشت نمونه از ریشه در محل گیاهانی در اندازه متوسط انجام شد. روش برداشت نمونه به دو حالت زیر صورت گرفت: بعد از حفاری در محل گیاه انتخاب شده، ریشه‌ها در یک کیسه پلاستیکی جمع آوری و شماره گذاری شدند. بلافاصله بعد از برداشت نمونه در فاصله چند روز نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند. در مواردی که امکان آزمایش نمونه‌ها وجود نداشت و به آینده موکول گردید، تا زمان آزمایش در محلول ۱۵ درصد از الکل اتانول نگهداری شدند.

در مواردی که تفکیک ریشه‌ها در صحرا امکان پذیر نبود کل نمونه گیاهی همراه با ریشه و خاک در کیسه پلاستکی قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه نمونه روی تور سیمی قرار داده شد و به دقت با آب معمولی مورد شستشو قرار گرفت تا تمام خاک اطراف تارهای ریشه از آن جدا و از طریق تور فلزی خارج گردد در آزمایشگاه نیز مقادیر متغیرهای نیروی حداکثری برای شکست ریشه، میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش، حداکثر نیروی وارده جهت خمیدگی ساقه برای قطرهای مختلف ساقه‌ها، میانگین قطر ریشه، جرم ریشه (کیلوگرم)، که در آون در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه در مدت ۲۴ ساعت خشک شد، و حجم خاک حاوی ریشه به متر مکعب تعیین شد. توانایی گونه‌های

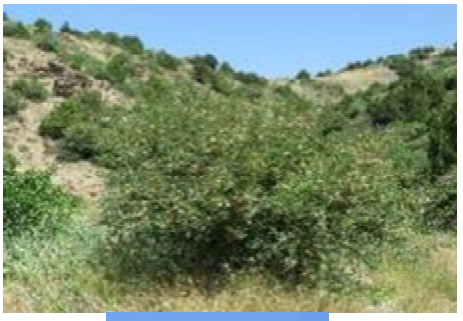
گیاهی در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی با استفاده از متغیرهای اندازه گیری شده در صحرا و آزمایشگاه و با کاربرد روش پیشنهادی De Bates و همکاران (۲۰۰۹)، De Bates و همکاران (۲۰۱۴) و Farhadi و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی شد. در این روش پنج شاخص کمّی براساس ویژگی‌های اندازه-گیری شده از اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان منطقه محاسبه شد. با مقایسه‌ی نسبی این شاخص‌ها، توانایی گونه‌های جمع آوری شده در مهارکردن فرسایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

الف)

ب)

ج)

د)



ه)

و)

شکل ۱- الف) نمای کلی از یک دامنه تحت فرسایش شیاری در شمال غرب کشور، ب) پلات‌های ۱ مترمربعی برای تعیین نوع و فراوانی گونه‌های گیاهی، ج) شستشو و آماده‌سازی گیاهان برای اندازه گیری‌های آزمایشگاهی، د) گیاه دغدغک، ه) گونه گز و و) نمایی از گیاه بادام کوهی

فلوچارت معیارها، شاخص‌ها و صفات گیاهی در ارزیابی توانایی گیاهان در مهار کردن فرسایش درشکل ۲ نشان داده شده است. چون هر دو فرسایش شیاری و خندقی با جریان متمرکز فرسایشی شروع می‌شوند، بنابراین معیارهای یکسانی برای ارزیابی مقاومت گیاه در فرسایش خاک به‌وسیله رواناب متمرکز در نظر گرفته شده است. توانایی گیاهان در پایدارسازی دیواره بعنوان شاخصی برای مهار کردن فرسایش خندقی مورد استفاده قرار گرفته است. این معیار ارزیابی توانایی گیاه در مهار کردن فرسایش و در مراحل تبدیل فرسایش شیاری به خندقی بسیار مهم است. شاخص‌های تراکم ساقه (SD)، توانایی ریشه گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD) برای ارزیابی توانایی گیاه در مهار کردن فرسایش شیاری و خندقی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین از شاخص‌های توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) و شاخص سفتی گیاه (MEI) در ارزیابی توانایی گیاه برای کاهش فرسایش شیاری و از شاخص چسبندگی ریشه (Cr) در ارزیابی توانایی برای مهار کردن فرسایش خندقی استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی توانایی گونه‌های گیاهی در مهارکردن فرسایش

مقاومت در برابر جریان فرسایشی تمرکز یافته: معیارهای نشان دهنده تاثیر ریشه در مهار فرسایش توانایی گیاه در ایجاد پایداری در دیواره و مقاومت در مقابل جریان متمرکز فرسایشی است. مطالعات De Bates و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد توانایی گیاهان در کاهش شدت فرسایش در مقابل جریان رواناب‌های متمرکز با افزایش تراکم ریشه بصورت نمایی افزایش می‌یابد، اما رابطه توانایی گیاه در مهار فرسایش با قطر گیاه به این شدت نیست. برای ارزیابی توانایی یک گیاه در مهار فرسایش از دو شاخص مبتنی بر معیارهای فوق تحت عنوان توانایی ریشه گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD) و چسبندگی ریشه (Cr) استفاده شد. تأثیر ریشه بر مقاومت خاک سطحی در برابر جریان تمرکز یافته‌ی فرسایشی با استفاده از تراکم ریشه[۲](RD، به کیلوگرم در یک مترمکعب ماده خشک) و قطر ریشه (D به متر) و با محاسبه شاخص جدا شدگی نسبی خاک[۳](RSD) به‌عنوان یک متغیر بیان می‌شود. در این پژوهش توانایی گونه‌های منتخب در کاهش فرسایش در برابر جریان رواناب تمرکز یافته با استفاده از تراکم ریشه (RD)، قطر ریشه (D) در خاک سطحی و تراکم ساقه[۴](SD: مترمربع بر مترمربع) تعیین شد.

1 - Root density 2
1 - Relative soil detachment 3
1 - Stem density 4

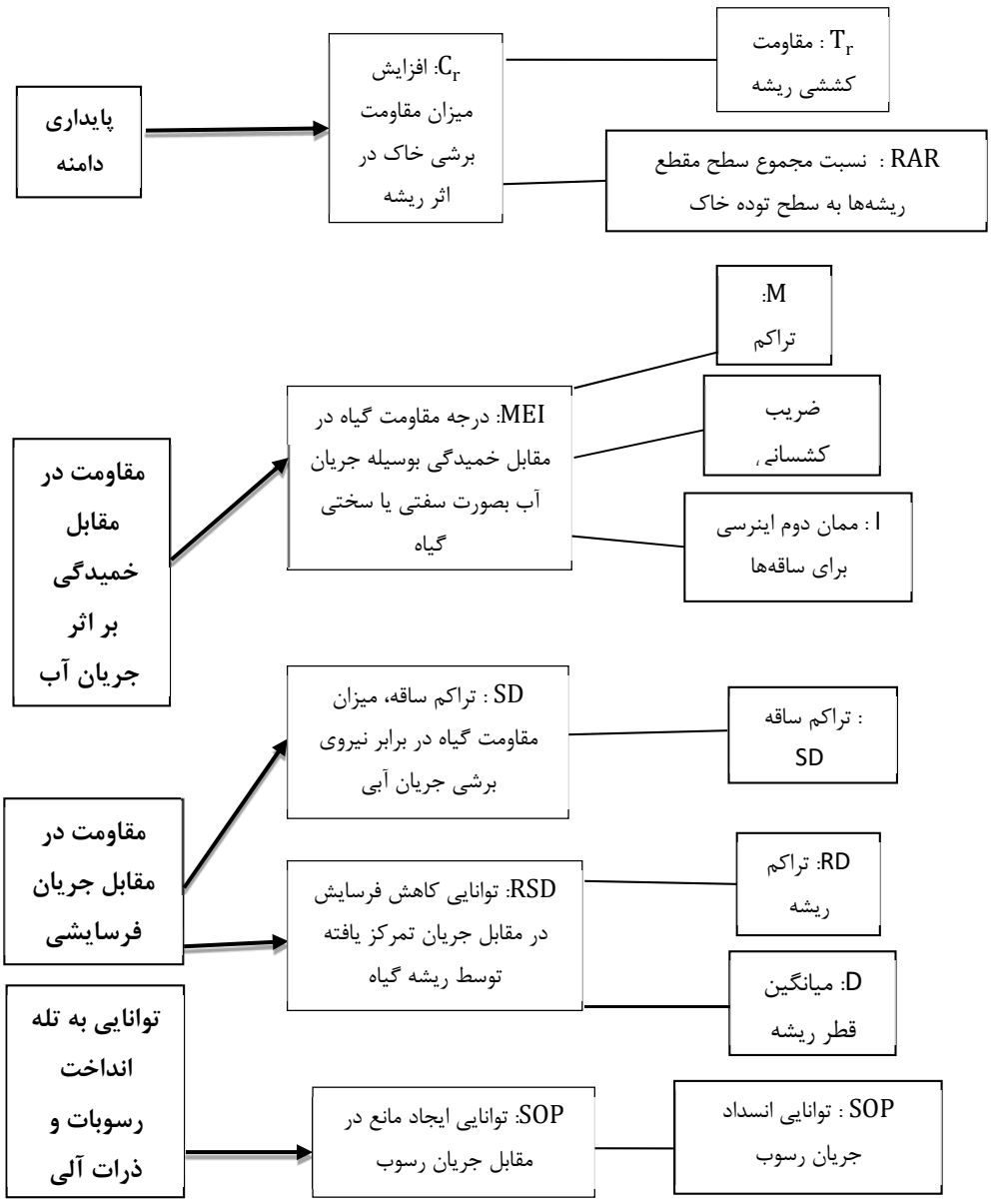
توانایی پایدارسازی دیواره‌ها و دامنه‌ها: برای ارزیابی تاثیر گیاهان منطقه بر پایداری دامنه‌ها و یا پایداری دیواره‌ی خندق‌ها مقدار چسبندگی ریشه[1](C_r به کیلوپاسکال)، که نشان دهنده‌ی اندازه‌ی قدرت ریشه در پایدارسازی دامنه است، برآورد شد. برای تعیین این ویژگی نسبت مساحت ریشه[2] (RAR بدون بعد) و مقاومت کششی ریشه[3](T_r به مگاپاسکال) محاسبه شد. در این حالت تأثیر ریشه بر چسبندگی خاک تا ژرفای ۰/۳ تا ۰/۴ متری است، و این نیز همان ژرفایی است که دیواره‌ی خندق ناپایدار می‌شود.

آستانه خمیدگی بر اثر جریان آب: شاخص سفتی یا سختی[4](MEI به‌نیوتن) به عنوان درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی اندازه‌گیری شد. فرض براین است که هرچقدر ساقه‌ی گیاه سفت و سخت‌تر باشد، باعث می‌شود گیاه در برابر جریان آب کمتر خمیده شود. به‌این ترتیب از اندازه‌ی انرژی آب کاسته می‌شود و اجازه‌ی جدا شدن بیشتر به ذرات خاک داده نمی‌شود.

توانایی به تله انداختن رسوب و ذرات آلی: در این معیار توانایی ایجاد مانع در برابر رسوب و ذرات آلی[5] (SOP متر بر متر) برای ارزیابی قابلیت گیاه در به تله انداختن رسوبات و ذرات آلی تعیین شد.

روابط مورد استفاده برای تحلیل چند معیاری به منظور انتخاب گونه‌های مناسب در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی در جدول ۱ خلاصه شده است. مقادیر برآوردی برای هر شاخص در پنج رده طبقه‌بندی شد (صفر تا چهار درجه). در جدول ۲ محدوده‌ی تغییرات مقادیر شاخص‌های محاسباتی و امتیازهای در نظر گرفته شده ارایه شده است. امتیازهای بالا (سه) و بسیار بالا (چهار) نشان دهنده‌ی توانایی گیاه در مهارکردن فرسایش شیاری و خندقی است. به‌منظور مقایسه‌ی توانایی گیاهان مختلف منطقه، امتیازهای هر شاخص برای هر گونه‌ی گیاهی در یک نمودار ستاره‌ای با پنج محور مشخص شد و ترسیم گردید. با مقایسه‌ی شکل و مساحت اشغالی سطح ترسیم شده در روی این نمودار، گونه‌های گیاهی منتخب از دیدگاه توانایی آن‌ها برای مهارکردن فرسایش مقایسه و ارزیابی شدند. برای جمع‌بندی نتایج از نمودارهای ستاره‌ای، گونه‌های گیاهی طبق امتیازهای اختصاص داده شده برحسب پنج شاخص با استفاده از روش خوشه‌بندی[6]گروه‌بندی شدند. گروه‌بندی گونه‌ها براساس مقادیر متغیرهای تراکم ساقه (SD)، توانایی ریشه‌ی گیاه در کاهش فرسایش (RSD)، توانایی ایجاد مانع در برابر موادمعلق (SOP)، سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) انجام گرفت.

1- Root reinforcement effect
2- Root area ratio
3- Root tensile strength
4- Index of stiffness
5- Sediment obstruction potential
6- Cluster analysis


معیار
شاخص‌ها
صفات گیاه
پایداری دامنه
C_r: افزایش میزان مقاومت برشی خاک در اثر ریشه
T_r : مقاومت کششی ریشه
RAR : نسبت مجموع سطح مقطع ریشه‌ها به سطح توده خاک
مقاومت در مقابل خمیدگی بر اثر جریان آب
MEI: درجه مقاومت گیاه در مقابل خمیدگی بوسیله جریان آب بصورت سفتی یا سختی گیاه
M: تراکم
ضریب کشسانی
I : ممان دوم اینرسی برای ساقه‌ها
مقاومت در مقابل جریان فرسایشی
SD : تراکم ساقه، میزان مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی
: تراکم ساقه SD
RSD: توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه
RD: تراکم ریشه
D: میانگین قطر ریشه
توانایی به تله انداخت رسوبات و ذرات آلی
SOP: توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب
SOP : توانایی انسداد جریان رسوب

شکل ۲- فلوچارت صفات، شاخص‌ها و معیارهای لازم در ارزیابی توانایی گیاهان در مهار کردن فرسایش

جدول ۱- معیارها و شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش شیاری و خندقی براساس خصوصیات اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان

معیارها	شاخص‌ها (نشانه‌ها)	روابط محاسباتی براساس ویژگی‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان	
		بوته‌ای و درختچه‌ای	گندمیان و پهن‌برگ‌های علفی
ایجاد پایداری در دیواره و دامنه	توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها (C_r)	$C_r=1.2\frac{\sum_i^n T_{ri}\times A_{rti}}{A_r}$	
مقاومت در برابر خمیدگی بر اثر جریان آب	درجه‌ی مقاومت گیاه در برابر خمیدگی به‌وسیله‌ی جریان آب به‌صورت سفتی یا سختی گیاه (MEI)	$MEI_{shrub}=\frac{\sum_i^n I_i E_{mod}}{A_r}$	$MEI_{grass}=ME_{mod}l$
مقاومت در برابر جریان فرسایشی تمرکز یافته	تراکم ساقه، اندازه‌ی مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی (SD)	$SD_{shrub}=\frac{\sum_i^n \pi(d_{si}/2)^2}{A_r}$	$SD_{grass}=\frac{\frac{A_b}{A_s}(n_s\times\pi(\frac{\bar{d}_s}{2}))^2}{A_r}$
	توانایی کاهش فرسایش در برابر جریان تمرکز یافته به‌وسیله ریشه‌ی گیاه (RSD)	$RSD=e^{-1.45\,RD}_{1<D<5}\times e^{-0.47\,RD}_{5<D<15}$	
توانایی به تله انداختن موادمعلق و آلی	توانایی ایجاد مانع در برابر جریان موادمعلق (SOP)	$SOP_{shrub}=\frac{\sum d_{si}}{L_{tot}}$	$SOP_{grass}=\frac{L_b\times n_{1\,cm}\times\bar{d}_s}{L_{tot}}$

A_{rt}: سطح مقطع کل ریشه‌های اندازه گیری شده در خاک (مترمربع)؛ A_r: مساحت کل اشغال شده به‌وسیله تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین (مترمربع)، T_{ri} و A_{rti} مقادیر T_r و A_{rt} برای هر طبقه از رده‌های قطر ریشه هستند (طبقه i) و n تعداد طبقات قطر ریشه می‌باشد. T_r: تنش کششی کل رشته‌های ریشه در واحد سطح خاک (به مگا پاسکال) بوده و براساس رابطه زیر محاسبه شده است: $T_r=\frac{F_{max}}{\pi(\frac{D^2}{4})}$ که در آن F_{max} : نیروی حداکثر برای شکست ریشه (به نیوتن) و D: میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش (به میلی‌متر).

$E_{mod}=\frac{L^3(dF/dY)}{12\pi r^4}$ که در آن: E_{mod} مدول الاستیسته بوده و براساس آزمون تعیین اندازه‌ی خمیدگی ساقه باکاربرد روش سه نقطه‌ای تعیین شد (ه پاسکال). L: فاصله بین دو نقطه‌ی ثابت در دستگاه اندازه‌گیری خمیدگی ساقه (متر)، F: نیروی وارده به‌نمونه (نیوتن)، Y: میزان جابه جایی در جهت عمودی (متر) و r: شعاع ساقه (متر).

$I=\frac{\pi d_s^4}{64}$ که در آن: I : ممان دوم اینرسی برای ساقه‌های با مقطع دایره‌ای (m^4) و d_s: قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر). همچنین : تعداد ساقه‌ها در سطح تصویر قائم از اندام هوایی گیاهان علوفه‌ای در واحد سطح است.

d_{si}: قطر ساقه در پایه‌ی گیاه (متر)، n_s: تعداد ساقه‌ها در یک قطعه‌ی افقی به مساحت A_s، A_s: سطح مقطع ۵ سانتی مترمربعی از ساقه‌های پایه‌ای گیاه (به مترمربع) $\bar{d}_s$: قطر متوسط ساقه در پایه گیاه (به متر) و A_b: مساحت اشغال شده به‌وسیله‌ی ساقه‌های یک گیاه از نوع گندمیان (به مترمربع)

D: میانگین قطر ریشه، RD: تراکم ریشه کیلوگرم به مترمکعب است که برحسب رابطه $RD=\frac{M_D}{V}$ محاسبه شده است. M_D : جرم ریشه به کیلوگرم که در آون در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه در مدت ۲۴ ساعت خشک شده است و V: حجم خاک حاوی ریشه به متر مکعب. برای گیاهانی با قطر ریشه کمتر از ۱ میلی متر (D<1 mm) از رابطه $RSD=e^{-2.58\,RD}$ استفاده شد.

L_{tot}: طول یا قطر حداکثر اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب (متر) که بر روی تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه‌گیری شده است. $n_{1\,cm}$: تعداد ساقه‌ها در واحد طول ۱ سانتی‌متر، L_b: طول اشغالی به‌وسیله ساقه‌ها در روی خط افقی عمود بر جهت جریان در پایه‌ی گیاه (متر)

برای تعیین اندازه‌ی خمیدگی ساقه در اثر نیروی جریان آب و مقاومت کششی ریشه‌ها از دستگاه‌های که در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل طراحی و ساخته شد استفاده شد.

جدول ۲- محدوده تغییرات مقادیر شاخص‌ها و امتیازات مربوطه

درجه	امتیاز	SD	SOP	RSD	MEI	C_r
بسیار پائین	۰	۰/۰-۰/۰۰۱	۰/۰ -۰/۰۵	بزرگتر از ۰/۵۰	۰/۰ -۰/۲۵	۰/۰ -۰/۱
پائین	۱	۰/۰۰۱ -۰/۰۰۲	۰/۰۵ -۰/۰۷۵	۰/۵۰ -۰/۲۵	۰/۲۵ -۱	۰/۱-۱
متوسط	۲	۰/۰۰۲ -۰/۰۰۳	۰/۰۷۵ -۰/۱۰	۰/۲۵ -۰/۱۰	۱-۱۰	۱-۵
بالا	۳	۰/۰۰۳ -۰/۰۰۷	۰/۱۰ -۰/۱۵	۰/۱۰ -۰/۰۱	۱۰-۲۵	۵-۱۰
بسیار بالا	۴	بزرگتر از ۰/۰۰۷	بزرگتر از ۰/۱۵	۰/۰ -۰/۰۱	بزرگتر از ۲۵	بزرگتر از ۱۰

نتایج و بحث

مقادیر شاخص تراکم ساقه‌ی (SD) در گونه‌های گیاهی بادام کوهی و سماق به ترتیب برابر ۰/۰۶۸۴ و ۰/۰۲۰۶ متربرمترمربع است که به آن‌ها امتیاز ۴ تعلق می‌گیرد و نشان دهنده مقاومت بسیار بالای این گیاهان در مقابل نیروی برشی آب است. براساس مقادیر تراکم ساقه‌ای برای گونه‌های دغدغک و گز می‌توان آن‌ها را در گروه گیاهان با توانایی مقاومت ساقه‌ای متوسط در نظر گرفت. حداکثر مقدار توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب (SOP) را گونه دغدغک با ۹۸/۸ درصد و حداقل آن را گونه گز با ۵/۲ درصد بخود اختصاص داده‌اند. معمولاً ریشه هر چهار گیاه دارای مقادیر پائینی برای شاخص توانایی کاهش فرسایش (RSD) بوده و بنابراین توانایی بالایی در افزایش مقاومت خاک سطحی در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند. این توانایی در گونه دغدغک زیاد و در سه گونه دیگر بسیار زیاد بوده و همه توانایی افزایش مقاومت در خاک سطحی را در مقابل جریان رواناب فرسایشی دارند. گونه بادام کوهی با امتیاز بالا (۳) و سه گونه دغدغک، گز و سماق با امتیاز بسیار بالا (۴) دارای توانایی فوق العاده برای کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه هستند. چنانکه اشاره شد بیشترین مقدار شاخص استحکام در گیاهان منطقه به ترتیب به گونه‌های دغدغک، سماق و گز با مقادیر شاخص سفتی گیاه (MEI) ۵۳/۴۷۱، ۳۲/۱۶ و ۲۷/۱۳۴ نیوتن تعلق دارد که نشان دهنده مقاومت بسیار بالای آن‌ها در مقابل جریان رواناب است. مقادیر شاخص مربوط به توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها (Cr) در چهار گونه گز، سماق، دغدغک و بادام کوهی به ترتیب برابر ۳۴/۶۲۶، ۱۸، ۶/۹۴ و ۵/۱۹ کیلوپاسکال است که باعث پایداری خاک‌ها در عمق‌های بیش از ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری می‌شوند. شاخص‌های پنجگانه که عبارتند از مقاومت در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته (SD مترمربع بر مترمربع)، توانایی برای پایدارسازی دامنه (C_r به کیلوپاسکال)، آستانه خمیدگی بالا بر اثر جریان آب شاخص سفتی یا سختی (MEI به نیوتن)، توانایی به تله انداخت رسوبات و ذرات آلی (SOP متر بر متر) و پتانسیل کاهش فرسایش (RSD به کیلوگرم بر مترمکعب ریشه) با استفاده از اندازه گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی برای چهار گونه انتخابی محاسبه شدند (جدول۳).

مقادیر شاخص‌های پنجگانه برای هر کدام از گونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای ستاره‌ای ارائه شده است (شکل۳). گونه‌های درختچه‌ای دغدغک، بادام کوهی، گز و سماق دارای سطح نسبتاً بزرگ در داخل منحنی بوده و برای مهار کردن فرسایش شیاری و خندقی و حتی حرکات دامنه‌ای کم عمق بسیار مناسب هستند.

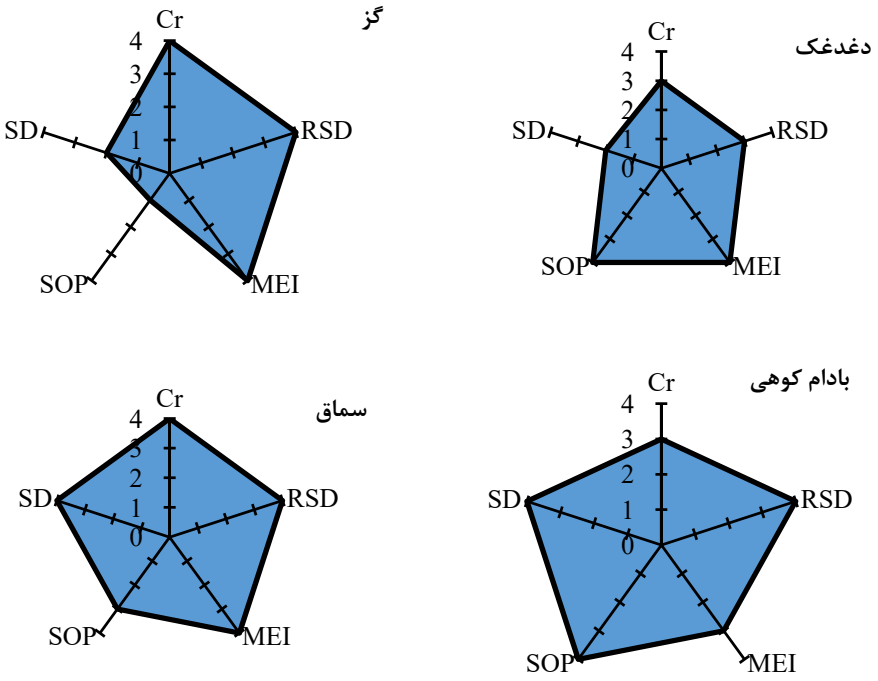
گونه‌های سماق (*Rhus coriaria*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss) و گز (*Tamarix ramosissima*) با ریشه متراکم و عمیق می‌توانند جهت کنترل فرسایش شیاری، خندقی و دامنه‌ای با شیب تند مورد توجه قرار گیرند. با توجه به اینکه برای یک گیاه داشتن ریشه متراکم و نسبتاً عمیق، بویژه در مراحل اولیه رشد، یک صفت بسیار خوب برای

برای کنترل فرسایش در اقلیم خشک و نیمه خشک است (Gökbulak، ۲۰۰۳؛ De Bates و همکاران، ۲۰۰۸)، لذا تراکم بالا و نفوذ ریشه این گونه‌ها تا عمق بیش از یک متری، آن‌ها را جهت کنترل فرسایش خصوصاً فرسایش شیاری، پایداری دیواره خندق‌ها، دامنه‌های شیب‌دار و سواحل رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه مناسب می‌سازد.

درختچه و یا درخت سماق (*Rhus coriaria*) در ترکیه، شمال عراق، ایران و افغانستان رشد می‌نماید (Akram و Shabir Ahmad، ۲۰۲۰). ریشه گیاه سماق (*Rhus coriaria*) می‌تواند تا ۱۶ متری اطراف تنه گیاه و در خاک سطحی گسترش پیدا کند (Rowe و Blazich، ۲۰۰۸). این گیاه در کنار کاربردهای مختلف از جمله به عنوان گیاه زینتی، طعم دهنده غذا و داروی سنتی (Abu-Reidah و همکاران، ۲۰۱۴) می‌تواند در کنترل فرسایش خندقی و ناپایداری دیواره آن‌ها نیز بسیار مؤثر باشد (Wiersema و León، ۲۰۱۳). گونه سماق (Rhus coriaria) در خاک‌های فقیر، با بافت سنگین تا سبک و مناطق سنگلاخی و در شرایط خشکی بخوبی رشد می‌نماید (Rowe و Blazich، ۲۰۰۸).

جدول ۳- مقادیر و امتیازات برآورد شده برای شاخص‌های پنجگانه چهار گونه گیاه

شماره نمونه	نام فارسی گونه	نام علمی گونه	ویژگی‌های گیاهان									
			SD		SOP		MEI		RSD		Cr	
			تراکم ساقه	امتیاز	پتانسیل ایجاد مانع در مقابل رواناب	امتیاز	سفتی گیاه	امتیاز	پتانسیل کاهش فرسایش	امتیاز	پتانسیل افزایش پایداری دیواره‌ها	امتیاز
۱۸	دغدغک	*Colutea persica* Boiss.	۰/۰۰۲۶	۲	۰/۹۸۸	۴	۵۳/۴۷۱	۴	۰/۰۶۴۹۳۶	۳	۶/۹۴۰	۳
۱۹	بادام کوهی	*Amygdalus scoparia* Spach.	۰/۰۶۸۴	۴	۰/۲۵۰۰	۴	۱۴/۶۹	۳	$۳/۶\times۱۰^{-۳}$	۴	۵/۱۹	۳
۲۱	گز	*Tamarix ramosissima* Ledeb.	۰/۰۰۲۳	۲	۰/۰۵۲۳	۱	۲۷/۱۳۴	۴	$۶/۰۵۹\times۱۰^{-۵}$	۴	۳۴/۶۲۶	۴
۲۵	سماق	*Rhus coriaria* L.	۰/۰۲۰۶	۴	۰/۱۴۲۲	۳	۳۲/۱۶۰	۴	$۲/۴۹۹\times۱۰^{-۴}$	۴	۷۱	۴



شکل ۳- نمودارهای ستاره‌ای نشان دهنده توانایی چهار گونه گیاهی در کنترل فرسایش

بادام کوهی در مناطقی از کشور که دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و پاییزهای کوتاه است به خوبی رشد می‌نماید (جوزی و مرادی مجد، ۱۳۹۲). گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach) با فرم رویشی درختچه‌ای ساقه‌های همیشه سبز دارد و با داشتن توانایی بالایی اندام هوایی و زیرزمینی می‌تواند در کاهش شدت فرسایش بسیار مؤثر باشد (Mirabdollahi Shamsi و همکاران، ۲۰۱۹). این گیاه مقاوم به خشکی (Alimohammadi و همکاران، ۲۰۱۳) می‌تواند به عنوان گیاه اصلی در احیای پوشش گیاهی در شرایط نیمه خشک مورد توجه قرار گیرد. این گونه وحشی جزو بهترین گیاهانی است که علاوه بر توانایی بالا در کنترل اشکال مختلف فرسایشی کاربردهای اقتصادی زیادی نیز دارد. اندام‌های این گونه تحمل زیادی در برابر تنش‌های غیر زنده مانند خشکسالی، شوری، خاک‌های با حاصلخیزی کم و دمای پایین زمستان نشان می‌دهند و به همین دلیل ممکن است به عنوان یک منبع ژنتیکی مهم در برنامه‌های اصلاح نژاد برای تولید ارقام مناسب و سازگار با تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد (Moradi و همکاران، ۲۰۲۰)، بطوریکه در بسیاری از مناطق از ریشه این گونه گیاهی، بعلت داشتن مقاومت بالا در مقابل تنش‌های خشکی، جهت پیوند زدن به سایر گونه‌های بادام نیز استفاده می‌کنند (Khadivi-Khub و Anjam، ۲۰۱۶). جهت استقرار این گونه در دامنه‌ها می‌توان

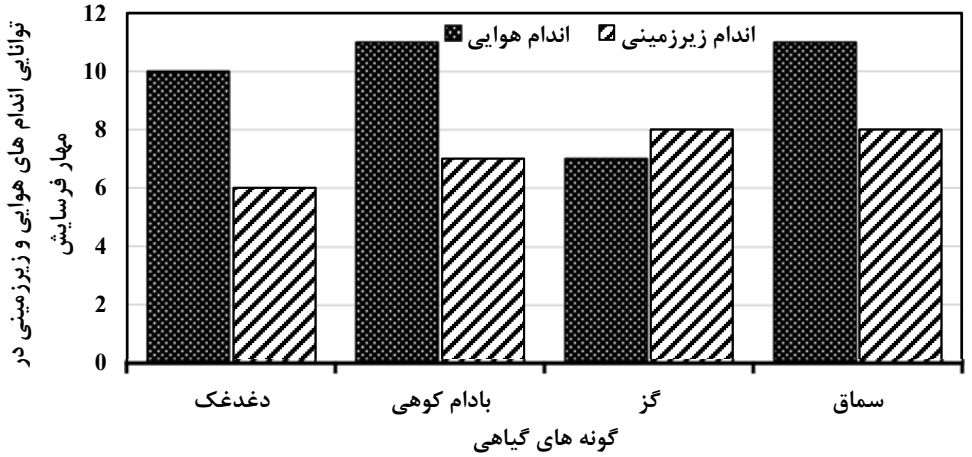
از روش‌های پشته کاری استفاده کرد و از معدود گونه‌های چوبی است که با بذرکاری مستقیم و فقط با آب باران قابل استقرار در اقلیم خشک و نیم- خشک می‌باشد.

گونـــهٔ *Colutea persica* که در فارسی دغدغک نامیـده می‌شود، در بیشتر نقاط مختلف کشور پراکندگی دارد (مظفریان، ۱۳۸۲؛ ثـابتی، ۱۳۸۷). گونه دغدغک (*Colutea persica* Boiss) خشکی پسند بوده و در مناطق کم باران، صخره‌ای و دامنه‌های شیب‌دار مشاهده می‌شود. این گونه می‌تواند نقش مؤثری در کنترل فرسایش داشته باشد (Pijut، ۲۰۰۸). دغدغک علاوه بر اهداف داروئی (Souri و همکاران، ۲۰۰۴؛ Mohamadi و همکاران، ۲۰۱۵)، بصورت زینتی و به منظور تامین مواد اولیه صنعت و تولید علوفه نیز کاشته می‌شود (Mirzaei و همکاران، ۲۰۱۵). هرچند این گیاه اهمیت اکولوژیکی زیادی دارد اما پوسته سخت بذر آن لایه غیرقابل نفوذی را ایجاد کرده و مانع جذب آب، تبادل گاز و ظهور ریشه می‌شود که به همین دلیل قبل از کاشت به برخی اقدامات اولیه نیاز دارد (Yüceda و Gültekin Cemal، ۲۰۱۱؛ Mirzaei و همکاران، ۲۰۱۵).

درختچه گز (*Tamarix ramosissima*) نسبت به شرایط محیطی مختلف سازگار بوده و یک گونه غالب در شرایط خشک و نیمه خشک است (Zhang و همکاران، ۲۰۰۲). ریشه‌های درختچه گز (*Tamarix ramosissima*) می‌تواند ضریب ایمنی پایداری را نسبت به خاک بدون ریشه افزایش دهد (اکرمیان و همکاران، ۱۳۹۸)، چراکه ریشه‌های آن با اتصال لایه‌های سطحی خاک به لایه‌های عمیق‌تر و سنگ بستر، از فرسایش و لغزش توده خاک جلوگیری می‌کنند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲). این گونه گیاهی هم می‌تواند به عنوان کنترل کننده فرسایش و هم گونه زینتی[1]مورد استفاده قرار گیرد (Wiersema و León، ۲۰۱۳). بطور کلی این گیاه مقاومت زیادی در مقابل سرما، خشکی و شوری بالای خاک دارد (Sher و Marshall، ۲۰۰۳). گونه گز (*Tamarix ramosissima*) هم از طریق کاشت بذر و هم قلمه زنی می‌تواند تکثیر شود اما تکثیر از این طریق جوانه زنی بذر مناسب‌تر می‌باشد چراکه با افزایش شوری و رطوبت خاک میزان زنده مانی قلمه‌ها نسبت به بذر کمتر می‌شود (Shepperd، ۲۰۰۸؛ Natale و همکاران، ۲۰۱۰).

مجموع امتیازات مربوط به شاخص‌های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در نمودار شکل۴ برای گیاهان بومی منطقه نشان داده شده است. مقایسه مجموع مقادیر شاخص‌های مربوط به گیاهان منطقه نشان می‌دهد که هر دو اندام هوایی و ریشه گونه گز توانایی بالایی در مهار فرسایش دارد. گیاهان دغدغک، سماق و بادام کوهی با داشتن اندام هوایی بسیار مناسب و ریشه نسبتاً متراکم توانایی زیادی در مهار فرسایش دارند.

[1] Ornamental



شکل ۴- مقایسه توانایی اندام‌های هوای و زیرزمینی گیاهان انتخابی در مهار فرسایش

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک و گز که در مناطق رویشی کشور با ریشه متراکم و عمیق رشد و نمو دارند می‌توانند جهت مهار کردن فرسایش شیاری، خندقی و دامنه‌های با شیب تند مورد توجه قرار گیرند، این یافته‌ها با نتایج مطالعات Gökbulak، (۲۰۰۳)؛ De Bates و همکاران، (۲۰۰۸) کاملاً همخوانی دارد. امتیاز شاخص‌های توانایی تراکم ساقه (SD)، توانایی ریشه گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) برای گیاه سماق موجود در منطقه ۴ (توانایی بسیار بالا) و برای شاخص توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) آن نیز ۳ (توانایی بالا) است، که نشان می‌دهد این گیاه در کنار کاربردهای مختلف از جمله زینتی، طعم دهنده غذا و داروی سنتی (Abu-Reidah و همکاران، ۲۰۱۴) می‌تواند در مهار کردن فرسایش خندقی و ناپایداری دیواره آن‌ها نیز بسیار مؤثر باشد (Wiersema و León، ۲۰۱۳). گونه سماق می‌تواند در خاک‌های فقیر، با بافت سنگین تا سبک و مناطق سنگلاخی و در شرایط خشک منطقه بخوبی رشد نماید (Rowe و Blazich، ۲۰۰۸).ریشه گیاه سماق می‌تواند تا عمق های بیش از ۱۰ متری اطراف تنه گیاه و در خاک سطحی گسترش پیدا کند که با نتایج مطالعات Rowe و Blazich (۲۰۰۸) نیز مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به دست آمده در مورد چهار گونه درختچه انتخاب شده در نمودارهای ستاره‌ای نشان داده شد. با توجه به توانایی متفاوت گونه‌ها در مهار فرسایش، پیشنهاد می‌شود که از ترکیب گونه‌ها جهت مهار

فرسایش در مورفولوژی‌های مختلف استفاده شود. این گونه‌ها برای مهار کردن اشکال مختلف فرسایش از جمله فرسایش شیاری و خندقی بسیار مناسب هستند. گونه‌های درختچه‌ای سازگار با محیط برای مهار کردن فرسایش در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها و خندق‌ها و در تمام دامنه‌های مناطق مستعد می‌توانند بطور طبیعی احیاء و یا کاشته شوند. گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک و گز می‌توانند در پایداری سواحل رودخانه‌ها و مسیل‌ها نیز مورد توجه قرار گیرند. ترکیب گونه‌های سماق، بادام کوهی، دغدغک و گز با سایر گونه‌های علفی نیز می‌تواند در احیاء و ترمیم پوشش گیاهی در نتیجه کاهش شدت فرسایش در جوانب و بالادست خندق‌ها و در دامنه‌های مناطق فرسایشی مورد استفاده قرار گیرد. کاشت ترکیبی گونه‌های انتخاب شده در مهار کردن فرسایش تاثیر زیادی خواهد داشت. اجرای طرح تحقیقی- ترویجی در مناطق مختلف بصورت کاشت ترکیبی گونه‌های معرفی شده، به منظور ارزیابی نتایج اجرای عملیات بیولوژیک می‌تواند بسیار ثمر بخش باشد.

منابع

- آذرتاج، ا.، ع. رسول زاده، و ع. اصغری. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب و فرسایش خاک با استفاده از شبیه سازی باران در منطقه حیران اردبیل. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۱): ۱-۱۳. اکرمیان، م.، م.ت. دستورانی، م. فرزام، و ا. عبدی. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر ریشه گز در افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک کناره‌های کشف رود. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۲): ۳۲۸-۳۳۵.ثابتی، ح. ۱۳۸۷. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات دانشگاه یزد، چاپ پنجم، ۸۰۶ صفحه.
- جوزی، س.ع.، و ن. مرادی مجد. ۱۳۹۲. ارزیابی شرایط رویشگاهی بادام کوهی Amygdalus scoparia در منطقه بوالحسن دزفول به روش تصمیم چندمعیاره گیری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، ۵(۱۵): ۸۸-۱۰۲.
- حسینی، ع.، م. شفاعی، و س.ح. موسوی جهرمی. ۱۳۹۲. بررسی سیستم ریشه درختان گز روی شیب ساحل رودخانه سیمره. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۶(۴): ۸۹-۹۹. عرب خدری، م. ۱۳۹۳. مروری بر عوامل موثر بر فرسایش آبی خاک در ایران. نشریه مدیریت اراضی، ۲(۱): ۱۷-۲۶.
- مظفریان، و. ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران، انتشارات فرهنگ معاصر، ۹۲۸ صفحه.
- نژاد افضلی، ک.، م. شاهرخی، و ف. بیاتانی. ۱۳۹۸. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی موثرترین عامل آن در جنوب حوزه آبریز دهکهان (جنوب کرمان). مجله مخاطرمحیط طبیعی، ۸(۲۰): ۲۱-۳۷.
- Abu-Reidah, I.M., R.M. Jamous, and M.S. Ali-Shtayeh. 2014. Phytochemistry, pharmacological properties and industrial applications of *Rhus coriaria* L. (Sumac). Jordan Journal of Biological Sciences, 7(4): 233-244.

- Adekalu, K.Q., D.A. Okunada, and J.A. Osunbitan. 2006. Compaction and mulching effect on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. Geoderma, 137: 226–230.
- Akram, M., and R. Shabir Ahmad. 2020. Herbs and Spices, 4:116-131.
- Alimohammadi, A., B. Shiran, P. Martínez-Gómez, and E. Ebrahimie. 2013. Identification of water-deficit resistance genes in wild almond Prunus scoparia using cDNA-AFLP. Scientia Horticulturae, 159: 19–28.
- De Baets, S., J. Poesen, A. Knapen, and P. Galindo. 2007. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. Earth Surf. Process. Landforms, 32: 1323–1345.
- De Baets, S., J. Poesen, B. Reubens, B. Muys, J. De Baerdemaeker, and J. Meersmans. 2009. Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion: application to a Mediterranean Ecosystem Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion. Earth Surf. Process. Landforms, 34: 1374–1392.
- De Baets, S., J. Poesen, B. Reubens, K. Wemans, J. De Baerdemaeker, and B. Muys. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant Soil, 305: 207–226.
- De Baets, S., T.A. Quine, and J. Poesen. 2014. Root strategies for rill and gully erosion control. In: Morte, A., and A. Varma (eds)., Root Engineering, Soil Biology 40, Springer-Verlag, Berlin, Pp. 297–323.
- Dong, Y., D. Xiong, Z. Su, J. Li, D. Yang, L. Shi, and G. Liu. 2014. The distribution of and factors influencing the vegetation in a gully in the Dry-hot Valley of southwest China. Catena, 116: 60–67.
- Eshghizadeh, M., A. Talebi, M.T. Dastorani, and H.R. Azimzadeh. 2016. Effect of natural land covers on runoff and soil loss at the hill slope scale. Global Journal of Environmental Science and Management, 2.2: 125-134.
- Farhadi, A., H. Ahmadi, M. Soufi, B. Motamedvaziri, and A. Moeini. 2018. Assessment of the potential of semi-arid plants to reduce soil erosion in the Konartakhteh watershed, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 11(518): 1–13.
- Gökbulak, F. 2003. Comparision of growth performance of *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L. and *Agropyron elongatum* (Host.) P. Beauv. For erosion control in Turkey. Journal of Environmental Biology, 24: 45–53.
- Katuwal, S., J. Vermang, W.M. Cornelis, D. Donald Gabriels, P. Moldrup, and L.W. de Jonge. 2013. Effect of root density on erosion and erodibility of a loamy soil under simulated rain. Soil Science, 178(1): 29–36.
- Khadivi-Khub , A., and K. Anjam. 2016. *Prunus scoparia*, a suitable rootstock for almond (*Prunus dulcis*) under drought condition based on vegetative and fruit characteristics. Scientia Horticulturae, 10: 220-226.
- Kou, M., J. Jiao, Q. Yin, N. Wang, Z. Wang, Y. Li, W. Yu, Y. Wei, F. Yan, and B. Cao. 2016. Successional trajectory over 10 years of vegetation restoration of abandoned slope croplands in the hill-gully region of the Loess Plateau. Land Degradation and Development, 27: 919-932.
- Liu, X., H. Li, S. Zhang, R.M. Cruse, and X. Zhang. 2019. Gully erosion control practices in northeast china: a review. Sustainability, 11, 5065: 1-16.

- Mirabdollahi Shamsi, M., M. Akbarinia, M. Mirabolfathy, S. Manzari, and A. Ahmadikhah. 2019. Dieback and decline of wild almond (Amygdalus scoparia Spach) in the Harat protected forest of Yazd Province. Iran Forest Pathology, 2019; 00:e12538: 1-14.
- Mirzaei, L, M. Assadi, T. Nejadsatari, and I. Mehregan. 2015. Comparative seed and leaf micromorphology of Colutea species (Fabaceae) from Iran. Environmental and Experimental Biology, 13: 183–187.
- Mohamadi, N., F. Sharififar, A. Koohpayeh, and M. Daneshpajouh. 2015. Traditional and Ethnobotanical uses of medicinal plants by ancient populations in Khabr and Rouchon of Iran. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 5(11): 101-107.
- Molina, A., G. Govers, F. Cisneros, and V, Vanacker. 2009. Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. Earth Surf. Process. Landforms, 34: 755–767.
- Moradi, Y., A. Khadivi, F. Mirheidari, and S. Paryan. 2020. Morphological variability of naturally grown Prunus scoparia Spach accessions. Scientia Horticulturae, 267: 109331.
- Natale, E., S.M. Zalba, A. Oggero, and H. Reinoso. 2010. Establishment of Tamarix ramosissima under different conditions of salinity and water availability: Implications for its management as an invasive species. Journal of Arid Environments, 74: 1399-1407.
- Ogunlela, O.A. and, M.B. Makanjuola. 2000. Hydraulic Roughness of some African Grasses. Journal of Agricultural Engineering Resources, 75: 221 – 224.
- Pijut, P.M. 2008. Colutea L. In: Bonner, F.T., R.P. Karrfalt. (Eds.). Woody Plant Seed Manual. Agriculture Handbook, 727, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC.: Pp. 426-427.
- Rowe, D.B., and F.A. Blazich. 2008. Rhus L. Sumac. In: Bonner, F.T., and R.P. Karrfalt. (Eds.). Woody Plant Seed Manual. Agriculture Handbook 727 U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Pp. 954-960.
- Shepperd, W.D. 2008. Tamaricaceae—Tamarix family, Tamarix chinensis Lour., saltcedar or five-stamen tamarisk. In: Bonner, F.T. and R.G. Nisley. (Eds.). Woody Plant Seed Manual, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. 1087-1088.
- Sher A.A., and D.L. Marshall. 2003. Seedling competition between native populus deltoides (salicaceae) and exotic tamarix ramosissima (tamaricaceae) across water regimes and substrate types. American Journal of Botany, 90(3): 413–422.
- Souri, E., G. Amin, A. Dehmobed-Sharifabadi, A. Nazifi, and H. Farsam. 2004. Antioxidative activity of sixty plants from Iran. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 3: 55-59.
- Wiersema, J.H., and B. León. 2013. World economic plants, A standard reference. Second Edition. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Zhang, D., L. Yin, and B. Pan. 2002. Biological and ecological characteristics of Tamarix L. and its effect on the ecological environment. Earth Sciences, 45(1): 18-22.

تغییرپذیری مکانی شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری

امینه حسین بر[۱]، علی شهریاری*[۲]، ابراهیم شیرمحمدی[۳]، سیدروح اله موسوی[۴]، علیرضا ضیائی جاوید[۵]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل (*a.hoseinbor2021@gmil.com*)

۲*- استادیار گروه علوم ومهندسی خاک دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل (*shahriari.ali@uoz.ac.ir*)

۳- استادیار گروه علوم ومهندسی خاک دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل (*eshirmohammadi@uoz.ac.ir*)

۴-گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران (r_mousavi@ut.ac.ir)

۵- محقق موسسه تحقیقات آب و خاک کشور(alirazaziaee65@gmail.com)

چکیده:

افزایش جمعیت جهان از یک سو و فشار بیش از حد بر زمین و بهره‌برداری نامناسب و غلط از خاک از دیگر سو، موجب وارد کردن خسارات زیادی بر این منبع مهم و حیاتی شده است. این عامل موجب شده است بیش از یک سوم اراضی دنیا در معرض خطر فرسایش قرار گیرد که در نهایت تهدیدی برای حیات بشر و محیط زیست می‌باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مدل‌های زمین آماری به دلیل توانایی بالا در تخمین و درون‌یابی داده‌های مکانی همچنان می‌توانند به عنوان ابزاری توامند در نقشه‌برداری فرسایش-پذیری خاک مورد استفاده قرار گیرند. بر این اساس مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از دو مدل زمین آماری کریجینگ معمولی (OK) و معکوس فاصله (IDW) در بخشی اراضی دشت سیستان انجام گردید. موقعیت ۴۶۰ نقطه به روش تصادفی نظارت شده تصادفی در دشت سیستان انتخاب و خصوصیات مرتبط با برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، کلاس نفوذپذیری و ساختمان خاک) با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه-گیری شد. در این مطالعه از نرم افزار GIS برای تهیه نقشه های زمین آماری استفاده شده است و همچنین ضرایب اعتبارسنجی برای بررسی دقت و میزان تطابق دو مدل زمین آماری مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج اعتبارسنجی مدل های زمین آماری OK و IDW به‌ترتیب بر اساس آماره ضریب تبیین (R^2) مقادیر ۰/۲۰ و ۰/۲۱ نشان داد که حاکی از صحت کم آنها بود. با این حال نتایج نیم-تغییرنمای تجربی برازش داد شده بیانگر وجود خودهمبستگی مکانی شاخص فرسایش پذیری خاک در کلاس متوسط بود. بطور کلی دو مدل OK وIDW توزیع مکانی مشابهی را برای پیش‌بینی تغییرات فاکتور K نشان دادند، همچنین به‌جز بخش‌های جنوبی مابقی اراضی در کلاس فرسایش پذیری زیاد قرار دارند که به دلیل ماهیت دلتایی بودن منطقه مورد مطالعه و بالا بود مقادیر ذرات حساس به فرسایش

(سیلت و شن خیلی ریز) در خاک آن است و این موضوع نشان می‌دهد که باید در برنامه ریزی و آمایش سرزمین در منطقه و تصمیم سازی‌های اجرایی خطر فرسایش می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی:
زمین آمار، فرسایش پذیری خاک، کریجینگ معمولی، میانگین معکوس فاصله، دشت سیستان

مقدمه:

امروزه فرسایش خاک یکی از معضلات بزرگ حوزه های آبخیز، زمین های کشاورزی و منابع طبیعی می باشد که باعث تخریب اراضی و کاهش حاصلخیزی شده است(نادری و همکاران، ۱۳۸۹). فرسایش خاک به وسیله عوامل فرساینده مانند آب یا باد ایجاد می شود. فرسایش پذیری خاک(K) در واقع هدر رفت خاک به ازای یک واحد EI در پلات استاندارد است (پلاتی که با طول ۲۲ متر و شیب متوسط ۹ درصد باشد). فرسایش خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی است که بیشترین آن در فصل بهار و کمترین فرسایش در فصل پاییز و زمستان برآورد شده است (ایوبی و حسینعلی زاده، ۱۳۸۶).

فرسایش خاک معمولا در بالادست حوضه و به وسیله عواملی نظیر تغییر کاربری اراضی، بهره‌وری بی رویه از جنگل‌ها و مراتع، استفاده نامناسب از اراضی کشاورزی و یا جاده‌سازی صورت می‌پذیرد. عوامل مختلف اقلیمی (بارش، تگرگ، برف، یخبندان، حرارت، باد)، عوامل خاکی (کاهش سرعت نفوذ آب، کاهش ظرفیت ذخیره آب در خاک، بافت خاک، ساختمان خاک و کلوئیدهای خاک)، شیب زمین (درجه، طول، شکل و جهت شیب)، پوشش گیاهی(ارتفاع، تراکم، مراحل رشد گیاه و پوشش سطحی) و مدیریت کاربری اراضی (صدمه و قطع درختان، چرای غیر اصولی و بیش از ظرفیت و توسعه اراضی زراعی دیم) از مهم ترین عوامل موثر در ایجاد فرسایش خاک به شمار می‌روند (موسوی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی تغییرپذیری ویژگی‌های خاک با دو رویکرد آماری کلاسیک و زمین آمار انجام می شود که از نظر شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها با یکدیگر تفاوت دارند. بویکوس فرسایش پذیری خاک را با نسبت مجموع درصد شن و درصد سیلت به درصد رس متناسب دانسته است و بیان کرده است که در خاکهایی که این مقدار کوچکتربرآورد شود فرسایش خاک کمتر می باشد. بریان شاخص فرسایش پذیری خاک(K) را در مقدار خاکدانه هایی که قطر آن ها بیش از ۰,۵ میلی متر باشد، تعریف می کند و بیان می کند هر چه این مقدار بیشتر باشد خاک مقاومت بیشتری در مقابل فرسایش نشان می‌دهد (جوادی و همکاران، ۱۴۰۱).

زمین آمار یا آمار مکانی گردآورنده ی چارچوبی کاربردی ونظری برای تجزیه و تحلیل مکانی داده‌ها می‌باشد که هدف اصلی آن، ارائه ی مدلی مناسب جهت توصیف متغیر ناحیه ای می باشد. آگاهی از حساسیت خاک به فرسایش و نیز ارائه نقشه توزیع مکانی آن نقش بسیار مهمی در مدیریت مناطق استراتژیک کشاورزی دارد(استواری و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت شاخص فرسایش پذیری

خاک در مدیریت خاک‌های تحت خطر فرسایش در ایران، پژوهش حاضر در اراضی دشت سیستان با هدف بررسی کارایی رویکردهای زمین‌آماری کریجینگ معمولی (OK) و روش درون یابی میانگین عکس فاصله (IDW) انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان درجنوب غرب قاره آسیا و جنوب شرق کشور ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. این دشت دلتایی حاصل رسوبات آبرفتی رودخانه ای می باشد که بعنوان یک جلگه پهناور شناخته می شود و از رودخانه هیرمند در کشور افغانستان سرچشمه می گیرد. وسعت منطقه مورد مطالعه حدود ۲۱۸هزار هکتار است. این منطقه از جنوب با شهرستان زاهدان، غرب خراسان جنوبی و شرق و شمال با کشور افغانستان مرز مشترک دارد (حیدری نسب، ۱۳۸۶). دشت سیلابی سیستان بدلیل اینکه فاقد هرگونه فعالیت کوه‌زایی و طبقات ارتفاعی است دارای توپوگرافی قابل توجهی نمی‌باشد. ارتفاع متوسط از سطح دریا در این منطقه بین ۴۸۰-۴۹۰ متر در قسمت های مختلف دشت متغیر است. همچنین شیب منطقه نیز بین ۱-۲درصد می‌باشد که با توجه به استراتژی منطقه از سمت جنوب به شمال مقدار شیب افزایش داشته و در قسمت شمال دشت مقدار شیب ۲ درصد و در قسمت جنوب بعلت تجمع رسوبات باد رفت مقدار شیب کاهش داشته و ۱ درصد می باشد (Mirakzehi et al., 2018).

نمونه‌برداری صحرایی و برآورد فاکتور فرسایش پذیری خاک

موقعیت ۴۶۰ نقطه به روش تصادفی نظارت شده تصادفی در دشت سیستان انتخاب و خصوصیات مرتبط با برآورد فاکتور فرسایش پذیری خاک (توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، کلاس نفوذ پذیری و ساختمان خاک) با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری و سپس با فرمول زیر برآورد شد.

رابطه ۱ $K = [(2.1\times 10\text{-}4 \times M^{1.14}\times (12\text{-}OM) + 3.25\,(S\text{-}2) + 2.5\,(P\text{-}3))/100] \times 0.1317$

که در آن K ضریب (فاکتور) فرسایش‌پذیری خاک است (تُن در هکتار در ساعت بر هکتار در مگاژول در میلیمتر)، M از حاصل‌ضرب (درصد رس-۱۰۰) در (درصد سیلت + درصد شن خیلی ریز) به دست می‌آید، OM درصد ماده آلی خاک، S کلاس ساختمان خاکدانه و P کلاس نفوذپذیری خاک است. بر اساس اصلاحیه Auerswald et al. (۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) برای خاک هایی با مقادیر بالای سیلت و شن ریز (بیش ۷۰ درصد) برآورد فاکتور فرسایش پذیری آبی (K) انجام شد.

تغییرپذیری مکانی

در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی عامل فرسایش پذیری خاک(K) از روش زمین آماری کریجینگ معمولی(OK) ودرون‌یابی وزن دهی معکوس فا صله(IDW) در محیط نرم افزار Arc GIS نسخه 10.6.1 استفاده شده است.

کریجینگ معمولی یکی از اساسی‌ترین روش‌های زمین آماری است که تخمین متغیرz در یک مکان مشاهده نشده را براساس میانگین وزنی مکانهای مشاهده شده مجار در یک منطقه معین ارائه می‌کند (Setianto and Triandini., 2013). میانگین وزنی داده شده توسط پیش بینی کننده کریجینگ معمولی در یک سایت نمونه برداری نشده z(s0) به صورت رابطه (۱) تعریف می شود: که در آن، λ وزن‌های اختصاص داده شده به هر یک از نمونه‌های مشاهده شده است.

$$\boldsymbol{Z(s_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda\, z\,(s_i)}$$ رابطه ۲

روش وزن فاصله معکوس (IDW) براساس این نظریه که نقاط نزدیکتر به یکدیگر هبستگی و شباهت بیشتری دارند تا نقاط دورتر مفروض شده است .در این روش اساسا میزان همبستگی صفر فرض شده است و شباهت بین همسایه‌ها متناسب با فاصله بین آنهاست که می‌تواند به عنوان تابع معکوس فاصله هر نقط از نقاط هم سایه تعریف شود. لازم به یادآوری ا ست که شعاع هم سایه و توان مربوط به تابع معکوس فاصله از مسایل مهم در این روش محسوب می‌شود. علاوه بر این، اندازه محله و تعداد هم سایگان نیز با دقت نتایج مرتبط ا ست (Setianto& Triandini., 2013). وزن فا صله معکوس مطابق با معادله نقاط نموه‌برداری نشده را طبق معادله زیر پیش‌بینی می‌کند (رابطه ۳).

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} Z_i . d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^{N} d^{-n}}$$ رابطه ۳

Z0= مقدار تخمینی متغیر z در نقطه .I، zi=مقدار نمونه در نقطه .I، di=فاصله نقطه نمونه تا نقطه تخمینی، N= ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌شود، n= تعداد کل پیش‌بینی‌ها برای هر مورد اعتبارسنجی.

اعتبارسنجی

مدل‌های رگرسیونی تولید شده توسط مدل های زمین آمار برای تعیین صحت پیش بینی‌های انجام شده توسط روش‌ها برای داده‌های مشاهده شده می‌باشد. برای این منظور از دو معادله ضریب تبیین(R^2) و میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است. میزان SI و d نیز برای تعیین میزان پراکندگی نقاط باقی مانده استفاده شده است. همچنین d به عنوان معیاری از نسبت میانگین مربع خطا به خطای

بالقوه شناخته می‌شود که بین ۰-۱ متغیر است. هرچه d به ۱ نزدیک‌تر باشد تطابق بیشتر بین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده است (Taghizadeh et al., 2021) روابط (۴، ۵، ۶ و ۷). براساس طبقه بندی ارائه شده توسط (Rossel and McBratney 2009) مقادیر ضریب تبیین برای پیش-بینی ویژگی‌های خاک به صورت جدول زیر طبقه‌بندی می‌شوند: R^2>0.81 خیلی خوب، R^2 = 0.61-0.81 خوب، R^2 = 0.41-0.6 متوسط، R^2<0.4 ضعیف است.

در روابط فوق γi داده اندازه‌گیری شده، γ^ i مقدار پیش‌بینی شده است. همچنین $\bar{\gamma}$ میانگین داده‌های

رابطه ۴

$$R2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(\gamma i - \bar{\gamma})(\hat{\gamma} i - \bar{\hat{\gamma}})}{\sum_{i=1}^{N}(\gamma i - \bar{\gamma})^{\wedge}2 \sqrt{\sum_{i=1}^{N}(\hat{\gamma} i - \bar{\hat{\gamma}})^{\wedge}2}}$$

رابطه ۵

$$RSME = \frac{\sqrt{\sum(\gamma i - \gamma)^{\wedge}2}}{N}$$

رابطه ۶

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum(\gamma i - \gamma)^2}}{\bar{\gamma}}$$

رابطه ۷

$$d=1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(\gamma i-\gamma)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|\gamma-\bar{\gamma}|+|\gamma i-\bar{\gamma}|)^2}$$

اندازه‌گیری شده و $\hat{\gamma}$ - میانگین داده‌های پیش‌بینی شده است. همچنین N برابر با تعداد داده‌ها است.

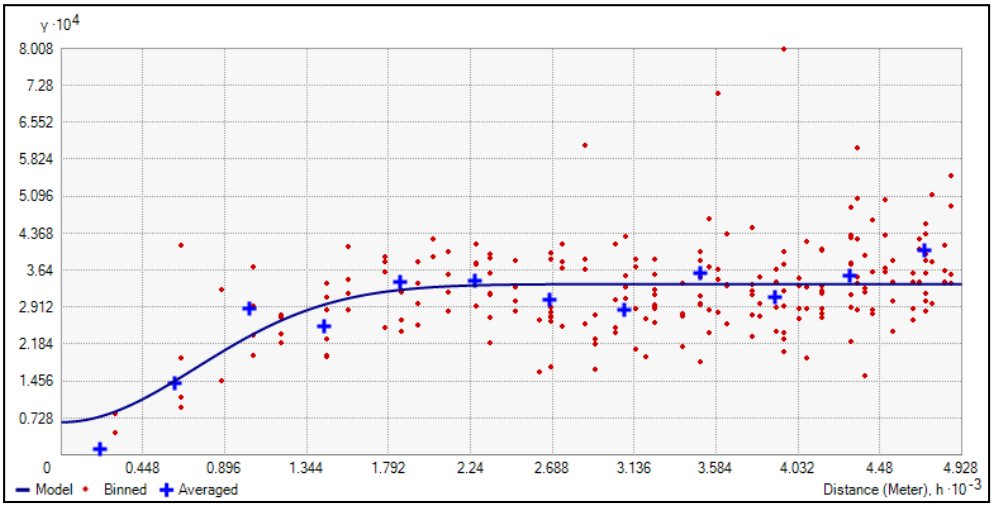
نتایج و بحث

طبق جدول ۱، نتایج اعتبارسنجی مدل زمین آماری کریجینگ معمولی(OK) (R^2=/۲۰) و معکوس فاصله(IDW) (R^2=/۲۱) برای پیش‌بینی فرسایش خاک ضعیف بوده و همچنین مقادیر SI نشان دهنده تطابق ضعیف بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده می باشد. با توجه به اینکه روش‌های درون‌یابی مورد مطالعه برای پیش‌بینی فاکتور K دارای یک ساختار خطی می‌باشند، کارایی ضعیف انها در پیش‌بینی مکانی این ویژگی می‌تواند به‌دلیل تغییرات غیرخطی آن و یا عدم لحاظ شدن نقش فاکتورهای محیطی (توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی) نیز مربوط دانست (). در همین راستا مطالعه (Zhang et al., 2021) به مقایسه کارایی روش‌های زمین‌آماری و روش‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی فرسایش پذیری خاک پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند که روش‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های عصبی، در پیش‌بینی فاکتور فرسایش پذیری خاک عملکرد بهتری نسبت به روش‌های زمین‌آماری مانند OK و IDW دارند. همچنین، استفاده از یک روش ترکیبی از روش‌های زمین‌آماری و روش‌های یادگیری ماشین، می‌تواند به دقت و کارایی بهتری در پیش‌بینی فاکتور فرسایش پذیری خاک منجر شود.

جدول (۱): نتایج اعتبار سنجی مدل‌های زمین‌آماری و درون‌یابی

	R^2	RMSE	SI	D
IDW	۰/۲۱	۰/۰۱۸	۱/۰۷	۰/۴۴
Kriging	۰/۲۰	۰/۰۱۶	۱/۰۷	۰/۶۶

نمودار واریوگرم پیش‌بینی مکانی توسط مدل زمین‌آماری OK در شکل (۱) ارائه شده است. نسبت واریانس قطعه ای به آستانه برای توصیف درجه همبستگی مکانی فرسایش‌پذیری خاک(K) در جدول ۲ ارائه شده است. نسبت واریانس قطعه ای به آستانه نشان داد که مدل OK برای پیش‌بینی مقدار فرسایش‌پذیری، همبستگی مکانی متوسط (بین ۰/۲۵ تا ۰/۵) دارد (Vieira, 2003). غالبا وابستگی مکانی قوی در اثر فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شود (Camberdella et al., 1994).



شکل (۱) نمودار واریوگرم پیش‌بینی مکانی توسط مدل زمین‌آماری OK

جدول (۲): پارامتر برازش داده شده برای مدل واریوگرام گوسین برآورد شده از پیش‌بینی مدل کریجینگ

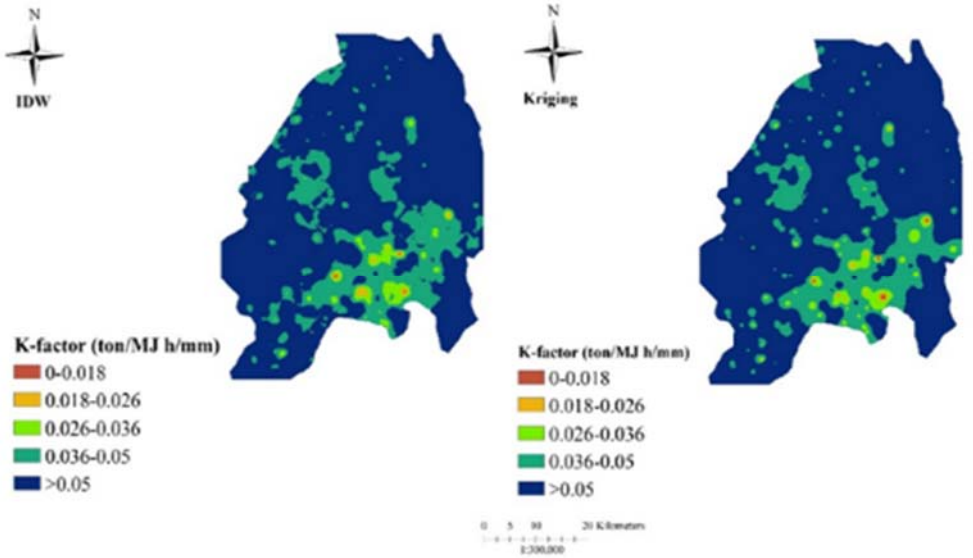
ویژگی	مدل	دامنه تاثیر	آستانه	واریانس قطعه ای / آستانه	همبستگی مکانی
k-factor	گوسین	۱۸۰۳/۸	۰/۰۲	۰/۳۵	متوسط

پهنه‌بندی مکانی فرسایش پذیری

نقشه‌های پراکنش مکانی شاخص K بر اساس دو روش OK و IDW در (شکل ۲) ارائه شده است. نتایج پهنه‌بندی مکانی نشان می‌دهد که به‌جز بخش‌های جنوبی منطقه، سایر نواحی در کلاس

فرسایش‌پذیری خیلی زیاد (k>0.05) و زیاد (0.036<k<0.05) قرار دارند. از طرفی بر اساس نقشه ضریب فاکتورK ، مقادیر ضریب K خیلی زیاد با آبرفت‌های ریز ورسوبات رودخانه‌ای مربوط به دوران‌های نئوژن-کواترنری، هالوسن و پلیستوسن منطبق است که تحت تاثیر فرسایش کناری قرار دارند (جهان تیغ و حسینی، ۱۴۰۰). علت بالا بودن فرسایش در این نواحی انفصال ذرات، تخلخل و نفوذپذیری زیاد و ناچیز بودن ضریب مقاومت به شمار می‌آید (James et al.,2013) . همچنین بافت ماسه-ای غالب اراضی واقع در بخش‌های شمالی منطقه ناشی از خشک شدن بستر رودخانه هیرمند کاملا حساس به فرسایش بوده که با اندک جریان هوا به حرکت درآمده و در پایین دست نشست می‌کند. همچنین تراکم پوشش گیاهی به دلیل تاثیر بر رواناب و نفوذپذیری خاک یکی دیگر از عوامل موثر بر فاکتور K فرسایش‌پذیری است.

به عبارت دیگر می توان گفت که تغییرات مکانی فاکتور فرسایش پذیری آبی خاک نشان داد که بجز در مناطق جنوبی دشت که مقدار شن و به تبع آن نفوذپذیری خاک زیاد است، در سایر مناطق فرسایش پذیری آبی خاک بسیار بالاست که ان هم به دلیل فراوانی ذرات سیلت و شن ریز، کمی ماده آلی خاک، عدم وجود ساختمان خاک و نفوذپذیری پایین خاک می باشد. نتایج پژوهش Kharazmi و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که در دشت سیستان کلاس‌های پوشش گیاهی و آب کاهش چشمگیری داشته و بر مساحت اراضی کلاس بایر افزوده شده است که منجر به فرسایش خاک و بیابانی شدن این منطقه شده است. در نهایت، عوامل K بالا با SOM پایین مرتبط است (Liu et al., 2019) .



شکل(۲) توزیع مکانی فاکتور K پیش‌بینی شده توسط مدل الف: IDW ب: OK

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه فرسایش خاک یکی از چالش‌های مهم در حوزه محیط زیست است پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه‌های پیش‌بینی مکانی فاکتور فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی (OK) و درون‌یابی میانگین معکوس فاصله(IDW)، در بخشی از اراضی دشت سیستان صورت پذیرفت. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های زمین آماری نشان داد که دقت کمی در پیش‌بینی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد، اما با این حال، نتایج نیم تغییرنمای تجربی نشان داد که شاخص فرسایش پذیری خاک در کلاس خودهمبستگی مکانی متوسط دارد. بطور کلی، دو مدل OK و IDW توزیع مکانی مشابهی را برای پیش‌بینی تغییرات فاکتور K نشان دادند و به‌جز بخش‌های جنوبی، مابقی اراضی در کلاس فرسایش پذیری زیاد قرار داشتند. به دلیل خصوصیات ژئومورفیک (دلتایی بودن) منطقه و همچنین شرایط خاکسازی منطقه که در خصوصیات خاک‌های منطقه خود را نشان می دهند (ماده آلی کم و اجزاء حساس به فرسایش زیاد) بالا بودن فکتور K دور از انتظار نیست. بنابراین، برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در این مناطق جهت کاهش خطر فرسایش بسیار اهمیت دارد. در نتیجه، مطالعات بیشتر در زمینه پیش‌بینی و مدیریت فرسایش خاک با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و زمین‌آماری استفاده گردد. در مناطق در کلاس فرسایش پذیری بالا قرار دارند، استفاده از روش‌های بهینه برای بهره‌برداری از خاک و کاهش فشار بر آن الزامی است. برای مثال، می‌توان از روش‌های کشاورزی پایدار و مدیریت دقیق آب و خاک استفاده کرد. در نهایت، برای کاهش خطر فرسایش در مناطق مختلف، آموزش بهره‌بردارن اراضی کشاورزی و عرصه‌های طبیعی در زمینه مدیریت پایدار منابع طبیعی و استفاده بهینه از خاک و منابع آب ضروری است. با افزایش آگاهی و توانمندی جامعه در این زمینه، می‌توان به‌طور مؤثری به حفظ پایداری منابع خاک در کشور کمک نمود.

منابع

- ایوبی، ش. حسینعلی زاده، م. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش زمین آمار و GIS(مطالعه موردی:حوزه آبخیز سبزوار. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۴(۲): ۳۸۲-۳۶۹.
- استواری، ی. قربانی دشتکی، ش. بهرامی، ح. نادری، م. عباسی، م. ۱۳۹۴. تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک و عوامل موثر بر آن در بالادست سد سیوند، پژوهشهای ژئومورفولوژی کفی، ۴(۳): ۱۴۲-۱۲۷.

- جوادی، م. زهتابیان، غ. احمدی، ح. ایوبی، ش. جعفری، م. ۱۴۰۱. بررسی تغییر پذیری مکانی عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از برخی روش های زمین آماری(مطالعه موردی: حوزه آبخیز نومه رود). پژوهشهای دانش زمین، ۱۳(۵۰): ۵۷-۴۲.
- جهان تیغ, منصور, جهان تیغ, & معین. (۲۰۲۱). پایش تغییرات پهنه‌های فرسایشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طی دوره‌های پر آبی، نرمال و کم آبی (مطالعه موردی: منطقه‌ی نیمروز سیستان). مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی, ۱۱(۲), ۱-۲۶.
- حیدری نسب، م. .۱۳۸۶. نقش باد در ایجاد لندفرم های بادی منطقه ی سیستان، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- موسوی نژاد، س، ه، حبشی، ه، کیانی، ف، شتابی، ش، عبدی، ا، ۱۳۹۶. ارزیابی وضعیت فرسایش خاک با استفاده از تصاویر ماهواره ایSPOT5 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان)، نشریه پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۴(۲) .
- نادری، ف. کریمی، ح. ناصری، ب. ۱۳۸۹. پهنه بندی پتانسیل فرسایش خاک در حوزه آبخیز آسمان آباد ایلام به روش شاخص فرسایش. ۵۱-۴۴.
- Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W., Elhaus, D., 2014. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling. Catena 118, 220–225.
- Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W., Elhaus, D., 2016. Corrigendum to “Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling” [Catena 118 (2014) 220–225]. Catena 139, 271.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society American Journal. 58: 5. 1501-1511.
- James, R., G. Jacky Croke and C. Thompson. 2013. Quantifying different riverbank erosion processes during an extreme flood event. Earth Surface Processes and Landforms, 38(12): 1393–1406.
- Kharazmi, R.; Abdollahi, A. A.; Rahdari, M. R.; Karkon, M.; & M. Rnosfaderani, 2016. Monitoring Land Use Change and its Impacts on Land Degradation and Desertification Trend Using Landsat Satellite Images (Case study: East of Iran, Hamoon Wetland), Arid Regions Geographic Studies, 7 (25), 64-75. (In Persian).
- Mirakzehi, K., Pahlavan-Rad, M. R., Shahriari, A., & Bameri, A., 2018. Digital soil mapping of deltaic soils: A case of study from Hirmand (Helmand) river delta. Geoderma, 313, 233-240.
- Rossel, R. A. V. McBratney, A.B. 2009. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for digital soil mapping. In: Digital soil mapping with limited data.
- Setianto, A., & Triandini, T. (2013). Comparison of kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. Journal of Applied Geology, 5(1).
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Schmidt, K., Toomanian, N., Heung, B., Behrens, T., Mosavi, A., Band, Sh.S., Amirian-Chakan, A., Fathabadi, A., Scholten, T., 2021. Improving the spatial prediction of soil salinity in arid regions using wavelet transformation and support vector regression models. Geoderma, 383, 114793.

- Vieira S. R., Paz Gonzalez A., 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. Bragantia, Campinas 62: 127-138
- Yu, X., Zhang, C., Li, D., Zhang, X., & Zhu, A. X. 2021. A comparison of geostatistical and regression models for soil erodibility mapping. Catena, 197, 105139. doi: 10.1016/j.catena.2020.105139.
- Zhang, H., Liu, Y., Sun, Z., & Li, Y. (2021). Comparison of geostatistical and machine learning methods for soil erodibility mapping. Catena, 201, 105310. doi: 10.1016/j.catena.2021.105310.

❖ مهندسی و بهینه‌سازی سازه‌های آبخیزداری

بررسی اثر شکاف در کاهش آبشستگی پایه پل مربعی دماغه تیز

سمیرا فرهادی سرتنگی*[۱]، مهدی اسدی [۲]، الهام قنبری[۲]، علی رئیسی[۲].

۱*-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب- سازه های آبی

۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی آب- سازه های آبی

چکیده

حفاظت از پل‌ها و سواحل رودخانه‌ها در شرایط سیلابی یکی از اقدامات مهم مدیریت سواحل می‌باشد. آبشستگی اطراف پایه پل‌ها و خطر شکست و تخریب احتمالی این پل‌ها در این شرایط می‌تواند آسیب‌های جبران ناپذیری به مناطق ساحلی اطراف، از منظر تخریب سازه‌ها و تا سیات ساحلی و همچنین فر سایش خاک ساحل وارد سازد. لذا مطالعه و شناخت رفتار این سازه در مواقع سیلابی دارای اهمیت می‌باشد. در این پژوهش هدف بررسی اثر شکاف در کاهش آب‌شستگی پایه پل مربعی دماغه تیز می‌باشد. با مقایسه داده‌های حا صل از نمونه شاهد با داده‌های حا صل از پایه‌های شکاف دار، م شاهده شد که ایجاد شکاف یک روش کارآمد برای کنترل آب ش ستگی حول پایه پل می‌با شد. در این پژوهش تعبیه شکاف در پایه پل برای دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه در حالت شکاف ۲ سانتیمتر بالای سطح بستر ۷۱/۴درصد و شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر، تا ۱۰۰ درصد کارآمد می‌باشد. برای بیشترین دبی مورد بررسی در این تحقیق (دبی ۴۰ لیتر برثانیه) آب‌شستگی تا ۷۲/۳۴ درصد کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین حالت برای کنترل آب ش ستگی حول پایه ایجاد شکاف زیر سطح بستر ا ست و با نزدیک شدن شکاف به سطح آب میزان اثر بخشی شکاف برای کاهش آب‌شستگی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی :

کنترل آب‌شستگی، سیلاب، پایه پل، شکاف.

مقدمه

پایه‌های پل به عنوان موانعی در مسیر جریان آب هستند که در واقع باعث کاهش سطح مقطع مفید رودخانه و در ادامه افزایش تلاطم در جریان آب و بروز فرسایش و آب‌شستگی اطراف این پایه‌ها می‌شود. آب‌شستگی حول پایه پل در شرایط سیلابی و در شرایطی که اقدامات حفاظتی انجام نشده باشد و یا سازه پل کارآمد نباشد، باعث شکست و خرابی پل می‌شود که خسارات مالی و جانی فراوانی را برای ساکنین منطقه احداثی پل به بار می‌آورد.

محققان و پژوهشگران زیادی برای تعیین راهی جدید جهت مقابله با اثرات مخرب سیل، اقدام نموده‌اند. با توجه به اهمیت مسئله آب شستگی اطراف پایه‌های پل و همچنین با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه، لزوم یک بررسی متمرکز بر عوامل کاهش آب‌شستگی پایه پل کاملا آشکار می‌باشد.یکی از روش‌های کنترل آب ش ستگی حول پایه پل که تو سط محققان پیشنهاد شده ا ست ایجاد شکاف در پایه پل می‌باشد.

چیو (۱۹۹۵) اثر عمق و ارتفاع و موقعیت شکاف را مورد پژوهش قرار داد که با بررسی نتایج، کاهش عمق آب‌شستگی به میزان ۲۵ درصد برای حالتی که شکاف به عرض یک چهارم قطر پایه و ارتفاع شکاف دو برابر قطر پایه و در موقیت شکاف نزدیک به سطح بستر بود را نشان داد.

کومار و همکاران (۱۹۹۹) اثر شکاف و طوق در کاهش آب‌شستگی پایه پل را بررسی کردند نتایج نشان دهنده کاهش آب‌شستگی حول پایه با ایجاد شکاف نزدیک به سطح بستر در پایه به میزان ۱۸درصد و با ایجاد شکاف زیر سطح بستر در پایه به میزان ۳۳ درصد بود.

اثر لنگر دوم سطح شکاف بر آب شستگی پایه پل مستطیلی با ایجاد شکاف لوزی و مربع با مساحت سطح برابر توسط اردلانی و همکاران (۱۳۹۸) بررسی شد. با بررسی نتایج به دست آمده نتیجه گرفتند با نزدیک شدن شکاف نزدیک به سطح آب میزان آب‌شستگی تا ۳۷/۷ درصد افزایش می‌یابد وبا افزایش قطر متوسط ذرات رسوبی عمق آب‌شستگی ۱۹/۵ وحجم چاله آب‌شستگی ۴۹ درصد کاهش می‌یابد.

حیدری و همکاران (۱۳۹۹) اثر شکاف در کاهش آب‌شستگی پایه پل را مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها روی چهار مدل شکاف با اشکال ذوزنقه‌ای، ذوزنقه‌ای برعکس، مثلثی و مثلثی برعکس در شرایط آب زلال انجام شد. نتایج حاصل نشان داد بهترین عملکرد شکاف مربوط به شکاف ذوزنقه که کاهش آب‌شستگی به میزان ۷۳/۵۸ تا ۸۱/۵۹ را موجب می‌شد و با افزایش تراز قرار گیری شکاف نزدیک به سطح آب میزان آب‌شستگی افزایش می‌یابد.

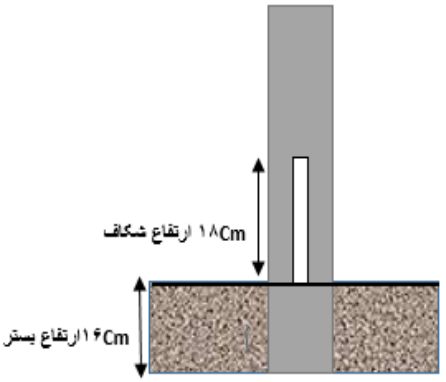
کاضمیان و همکاران (۱۴۰۰) اثر شکاف در کاهش آب‌شستگی پایه پل در بستر با رسوبات یکنواخت و نایکنواخت را بر سی کردند که از سه مدل شکاف، نزدیک به سطح آب، هم تراز سطح بستر، و افزایش ارتفاع شکاف به اندازه ۶/۲ سانتیمتر زیر سطح بستر استفاده کردند نتایج حاصل بیانگر کاهش آب شستگی در بستر یکنواخت برای مدل شکاف نزدیک به سطح آب ۱۰ درصد، شکاف هم تراز سطح بستر ۲۳درصد و شکاف ۶/۲ سانتیمتر زیر سطح بستر ۴۷ درصد بود میزان تغییرات برای بستر نایکنواخت که بستر اصلی رودخانه‌ها به شمار می‌آید به ترتیب ۱۲درصد برای شکاف نزدیک به سطح آب، ۲۳درصد شکاف هم تراز بستر و ۴۳ درصد شکاف زیر سطح بستر بود.

محققان پژوهش‌های فراوانی در زمینه کاهش آب‌شستگی و در ابعاد مختلف انجام دادند اما تاکنون پژوهشی به بررسی اثر ایجاد شکاف در پایه پل مربعی دماغه تیز انجام نگرفته است که در این پژوهش این موضوع مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصل ثبت شد.

مواد و روش‌ها

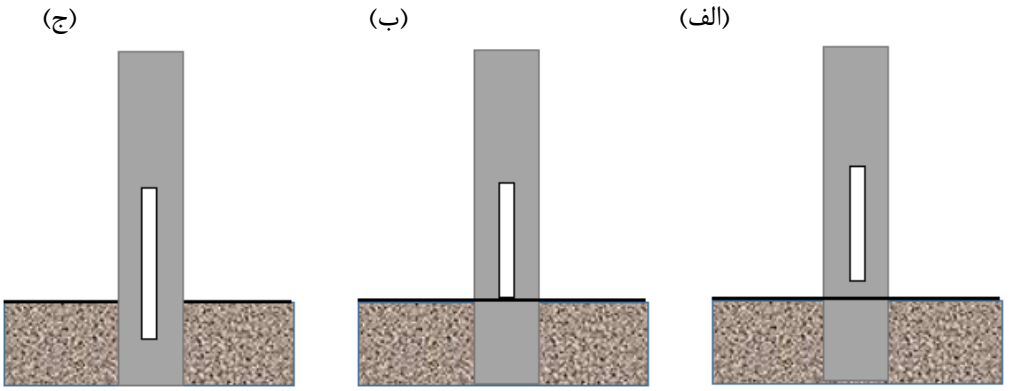
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد و در فلوم آزمایشگاهی به طول ۲۰ متر و عرض و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر انجام شد. بستر یکنواخت به طول ۴ متر و ارتفاع ۱۶ سانتیمتر در وسط فلوم(در فاصله‌ی ۱۰ متری از حوضچه ارامش) ایجاد شد شکل (۱). بر اساس توصیه بروزرز و رادکیوی (۱۹۹۱)

وبه منظور جلوگیری از تشکیل ریپل و فرم بستر قطر متوسط ذرات ۰/۷۱۰ میلیمتر انتخاب شد، ارتفاع پایه ۶۰ سانتیمتر و طول ضلع مربع و دماغه پایه ۸/۵ سانتیمتر و جنس پایه از بتن انتخاب شد. آزمایش‌ها برای سه دبی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ لیتر برثانیه و در شرایط آب زلال انجام شد. ارتفاع شکاف ۱۸ سانتیمتر و عرض شکاف ۲/۵۵ انتخاب شد.



شکل ۱- شماتیکی از شکل پایه، شکل شکاف و بستر

از یک پایه بدون شکاف به عنوان نمونه شاهد به منظور مقایسه نتایج و از سه پایه شکاف دار در سه حالت، شکاف ۲ سانتیمتر بالاتر از سطح بستر، شکاف هم تراز سطح بستر و شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر (۱۸ سانتیمتر شکاف هم سطح بستر+ ۷ سانتیمتر شکاف زیر سطح بستر) استفاده شد (شکل۲).



شکل ۲- الف) شکاف ۲ سانتیمتر بالاتر از سطح بستر ب) شکاف هم تراز سطح بستر ج) شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر

برای انجام آزمایش ابتدا تو سط یک دریچه انتهایی با جریان ورودی کمتر از ۲ لیتر برثانیه، عمق جریان را تا ۲۰ سانتیمتر روی سطح بستر تنظیم کرده و در ادامه دبی مورد نظر را تو سط والف که روی لوله ورودی جریان نصب شده و همچنین با دبی سنج نصب شده روی لوله ورودی جریان تنظیم کرده و نتایج حاصل ثبت و بررسی شد.

نتایج و بحث

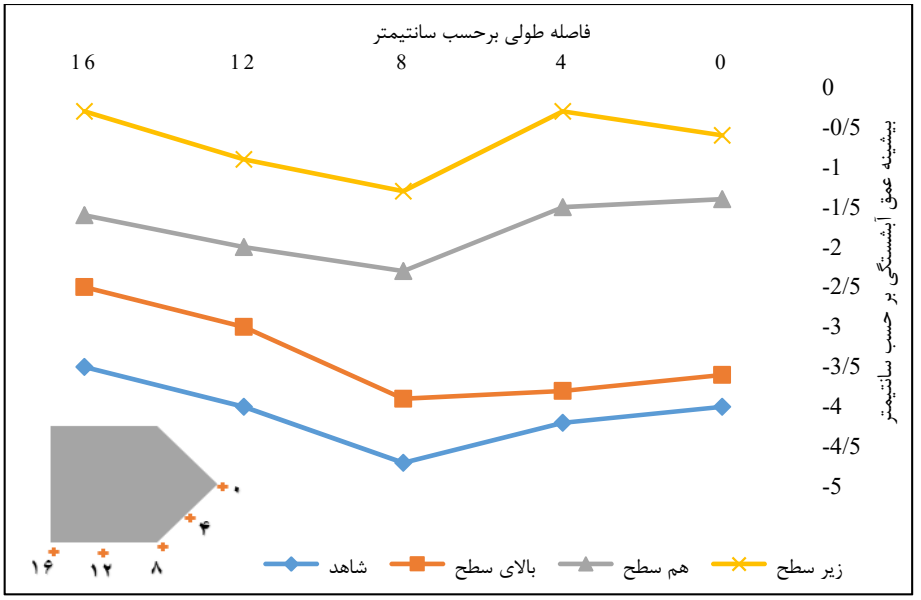
آزمایش‌ها با دبی ۲۰ و۳۰، ۴۰ لیتر بر ثانیه انجام شد و بررسی‌ها برای سه حالت شکاف بالاتر از سطح بستر، شکاف هم سطح بستر و شکاف زیر سطح بستر انجام شد. با مقایسه نسبت به نمونه شاهد که بدون شکاف است برای دبی ۴۰ لیتر، برای حالت شکاف ۲ سانتیمتر بالاتر از سطح بستر ۱۷/۰۶ درصد و برای شکاف هم تراز سطح بستر ۵۱/۰۶ در صد و برای شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر ۷۲/۳۴ درصد اثر مثبت ایجاد شکاف مشاهده شد. برای دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه نسبت به نمونه شاهد حالت شکاف ۲ سانتیمتر بالاتر از سطح بستر تا ۷۱/۴۲ درصد و حالت شکاف هم سطح بستر و ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر تا ۱۰۰ درصد اثر مثبت داشت و برای دبی ۲۰ لیتر که کمترین دبی مورد بررسی است در همه حالت‌ها که شکاف ایجاد شد آب‌شستگی تا ۱۰۰ درصد کنترل شد.

جدول ۱- بیشینه عمق آب‌شستگی(cm)

موارد آزمایش	شاهد بدون شکاف	شکاف بالاتر از بستر	شکاف هم سطح بستر	شکاف زیر سطح بستر
دبی ۲۰	۱/۲	۰	۰	۰
دبی ۳۰	۲/۱	۰/۶	۰	۰
دبی ۴۰	۴/۷	۳/۹	۲/۳	۱/۳

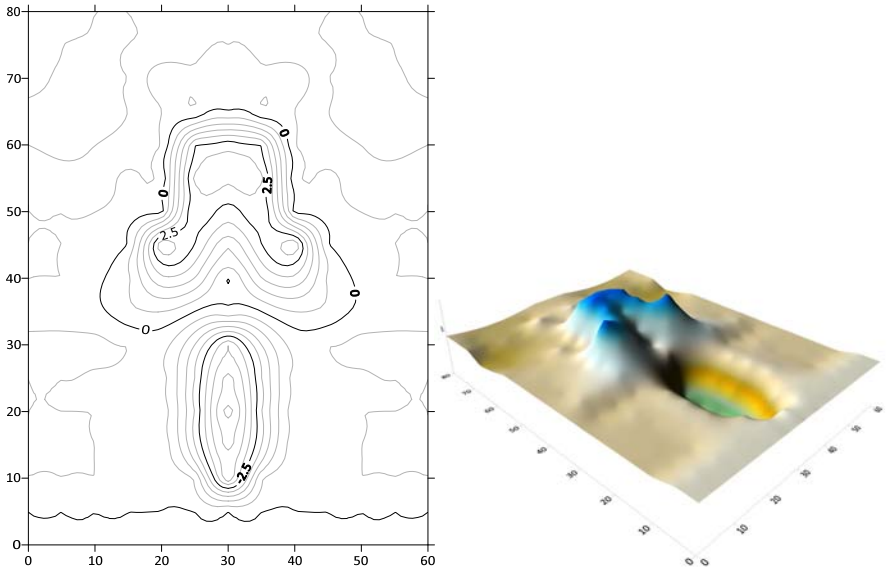
(الف) (ب)

شکل ۳- الف) دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه پایه بدون شکاف ب) دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه پایه شکاف دار

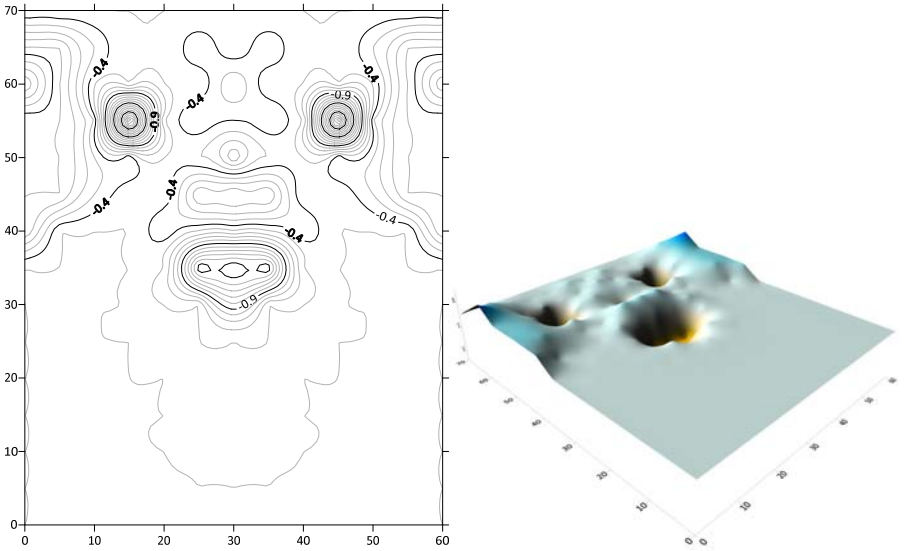


شکل ۳- تغییرات طولی گودال آب‌شستگی حول پایه مربعی دماغه تیز برای دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه

با برر سی نمودارها در شکل ۳ م شاهده شد که بهینه ترین نمودار خطی مربوط به موقعیت شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر بود که آب‌شستگی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌داد و به ترتیب شکاف هم سطح بستر و شکاف ۲ سانتیمتر بالاتر از سطح بستر بر کاهش آب‌شستگی مؤثر است.



شکل ۴- توپوگرافی بستر اطراف پایه پل در شرایط دبی ۴۰ لیتر برثانیه نمونه شاهد بدون شکاف



شکل ۵ – توپوگرافی بستر اطراف پایه پل در شرایط دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر

با مقایسه (شکل ۴و۵) مشاهده می‌شود که گودال آب‌شستگی حول پایه پل با ایجاد شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

نتیجه گیری

نتایج نشـــان دهنده اثر مثبت ایجاد شـــکاف در پایه مربعی دماغه تیز اســـت و با قرار گرفتن شـــکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر(۱۸ سانتیمتر شکاف هم سطح بستر+ ۷ سانتیمتر شکاف زیر سطح بستر) برای دبی ۴۰ لیتر که بیشترین دبی مورد بررسی است و یک دبی نزدیک به حالت سیلابی برای ایجاد تلاطم حول پایه پل می‌باشد آب شستگی تا ۷۲/۳۴ در صد کاهش می‌یابد. و در ادامه هرچه دبی کمتر باشد آب‌شستگی حول پایه کمتر است و شکاف اثر بیشتری در کنترل آب‌شستگی دارد بطوریکه برای کمترین دبی یعنی دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه آب‌شـــستگی ۱۰۰ درصـــد کاهش می‌یابد. با بررســـی نتایج و مقایسه با نمونه شاهد می‌توان نتیجه گرفت که ایجاد شکاف نزدیک به سطح بستر اثر بخشی بیشتری نسبت به ایجاد شکاف نزدیک به سطح آب دارد و اثر بخشی شکاف برای موقعیت شکاف ۷ سانتیمتر زیر سطح بستر بهترین عملکرد را دارد.

منابع

- اردلانی، ا. بختیاری، م.، صانعی، م.، کاشفی پور، س.،م. ۱۳۹۸. بررسی آزمایشگاهی اثر مساحت سطح شکاف در بدنه‌ی پایه روی کاهش آب‌شستگی موضعی پایه پل،نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۹، شماره ۳.
- حیدری بنی، م. بختیاری، م.، صانعی، م. و کاشفی پور، س.م. ۱۳۹۹. بررسی آزمایشگاهی استفاده از شکاف در پایه جهت کنترل پایه پل، مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال سیزدهم، شماره دوم.
- کاظمیان، م.، گوهری، س.، شاهوردی، ک. ۱۴۰۰. تأثیر شکاف در کاهشر آب‌شستگی پایه پل در بستر با رسوب‌های یکنواخت و نایکنواخت، انجمن هیدرولیک ایران، نشریه هیدرولیک، دوره ۱۶، شماره ۴.
- Chiew, Y.M. 1995. Mechanism of riprap failure at bridge piers, J Hyd Eng ASCE 121 (9).635-643.
- Kumar, V., Rango Raju, K.G. and Vittal, N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J.Hyd.Eng. ASCE, 125, 12 : 1302- 1305.
- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. Scouring. Hydraulic Structures Design Manual Balkama publication, Rotterdam, Netherlands, 560.

❖ هوشمندسازی؛ مدل‌سازی و فناوری‌های نوین در حفاظت خاک و آبخیزداری

نقش متغیر بارش در بهبود کارایی مدل‌های شبیه‌ساز رسوب معلق

محمودرضا طباطبایی*[۱]، امین صالح‌پورجم [۲]، جمال مصفائی [۳]

۱*- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، taba1345@hotmail.com

۲- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، aminpourjam@yahoo.com

۳- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، jamalmosaffaie@gmail.com

چکیده

در اغلب پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با شبیه‌سازی رسوب معلق (به‌ویژه در پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور)، شبیه‌سازی به‌طور عمده، بر پایه متغیر دبی جریان بوده و به نقش متغیرهایی نظیر بارش کمتر توجه شده است. این در حالی است که بارش حوضه یکی از متغیرهای اصلی در تولید فرسایش و انتقال رسوب به ویژه در حوضه‌هایی با رژیم‌های بارانی، یا بارانی-برفی است. در پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی رسوب معلق روزانه رودخانه قره‌چای (در محل ایستگاه آب‌سنجی رامیان در استان گلستان) و بررسی تاثیر بکارگیری متغیر بارش در میزان کارائی مدل‌های هوشمند، از متغیرهای دبی جریان و دبی جریان پیشین در مقیاس‌های لحظه‌ای و روزانه و همچنین، متوسط بارش روزانه و پیشین حوضه (اخذ شده از ماهواره CHIRPS) برای یک دوره آماری ۳۷ ساله (۱۳۹۶-۱۳۵۹) به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل، استفاده شد. به‌منظور برآورد رسوب معلق، سناریوهای مختلفی در نظر گرفته شد که در مجموع منجر به ساخت ۱۰ مدل گردید. نتایج حاصل از مقایسه مدل ها نشان داد که استفاده از متغیر بارش روزانه و بکارگیری تابع فعال‌سازی Huber و تابع زیان ReLU، در مدل‌های شبکه عصبی، سبب بهبود کارائی مدل‌ها شده است.

واژه‌های کلیدی:

بارش روزانه، رودخانه قره‌چای، فرسایش و رسوب، مدل‌های هوشمند، نگاشت خودسازمان

مقدمه

عوامل تاثیرگذار در رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز بسیار متنوع بوده و با توجه به شرایط خاص اقلیمی، خاک شناسی، پوشش گیاهی، زمین شناسی، توپوگرافی و ... در هر حوضه، وزن و نقش هر یک از عوامل یاد شده در تولید رسوب بسیار متفاوت است. تعیین و اندازه‌گیری دقیق این عوامل و فرموله نمودن روابط ریاضی بین آن‌ها اغلب مشکل، پر هزینه، زمان بر و با خطا همراه بوده و این در حالی است که با

استفاده از مدل‌های مبتنی بر هوش محاسباتی و به‌کارگیری تعداد محدودی از متغیرهای دینامیک حوضه می‌توان، رفتار حوزه آبخیز در تولید رسوب را به‌خوبی شبیه‌سازی نمود (Tayfur، ۲۰۱۲). امروزه، استفاده از مدل‌های داده مبنا[2]نظیر مدل‌های رگرسیونی (منحنی سنجه رسوب) یا ماشینی (شبکه‌های ع صبی، فازی، نروفازی، الگوریتم‌های ژنتیک و...) در شبیه سازی ر سوب معلق رودخانه‌ها بسیار رایج شده ا ست (Chen و Chau ۲۰۱۹؛ Khan و همکاران ۲۰۱۹؛ Olyaiel و همکاران ۲۰۱۵؛ Tabatabaeiو همکاران ۲۰۱۹). با توجه به تنوع و گستردگی پژوهش‌های انجام شده در زمینه کاربرد شبکه‌های ع صبی م صنوعی در برآورد ر سوب معلق رودخانه‌ها (در داخل و خارج از ک شور) در ادامه، به برخی از نتایج آن‌ها اشاره می‌شود. رضائی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۲) برای برآورد بار رسوب معلق روزانه حو ضه رودخانه قرانقو، از سی ستم ا ستنتاج فازی-ع صبی تطبیقی[3](ANFIS) ا ستفاده نمودند. در این پژوهش، ترکیب‌های مختلفی از ورودی، مشتمل بر داده‌های دبی روزانه و بار رسوب معلق روزهای پیشین، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ANFIS در مقایسه با سایر روش‌های رگرسیونی و منحنی سنجه‌ی رسوب، از کارائی بالاتری برخوردار است. در پژوهش دیگری، Joshi و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که غلظت رسوب معلق با ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز رابطه غیرخطی دارد. به همین دلیل استفاده از روش‌های سنتی منحنی سنجه‌ی رسوب نمی‌تواند تخمین درستی در برآورد غلظت رسوب معلق داشته باشد. در نتیجه آن‌ها از روش‌های مبتنی بر شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی رسوب معلق استفاده کردند. منطقه مورد مطالعه، یخچالهای طبیعی کنگتری در هیمالیا بود که رابطه بین غلظت رسوب معلق با رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌رو با الگوریتم پس انتشار خطا مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها، طی یک دوره ۱۱ ساله از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ جمع‌آوری شد. از ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون مدل‌ها استفاده گردید. در این پژوهش، هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنجه رسوب مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آماره‌های میانگین مربعات خطا[4](MSE)، میانگین قدر مطلق خطا[5](MAE) و ضریب تبیین (R^2) نشان داد که مدل شبکه ع صبی م صنوعی برآورد بهتری از غلظت رسوب معلق نسبت به منحنی سنجه‌ی رسوب داشته است. برای پژوهشی در حوزه آبخیز Goodwin Creek در آمریکا، Chiang و همکاران (۲۰۱۴) برای برآورد بار رسوب معلق، از شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و مدل رگرسیون استفاده نمودند. در این پژوهش، از دبی جریان به‌عنوان داده‌های ورودی و از بار ر سوب معلق به‌عنوان داده‌های خروجی در مدل سازی ا ستفاده شد. نتایج تحقیق نشان

2 Data Driven Models
3 Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)
4 Mean square error (MSE)
5 Mean absolute error (MAE)

داد که کارائی مدل ماشین بردار پشتیبان در برآورد رسوب معلق بهتر از شبکه عصبی و مدل رگرسیونی بوده است. در پژوهشی Kisi و Fedakar (۲۰۱۴) به‌منظور برآورد غلظت رسوب معلق در دو ایستگاه آب‌سنجی Muddy Creek در آمریکا، کارائی مدل‌های هیبرید فازی-ژنتیک، انفیس، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و منحنی سنجه رسوب را با یکدیگر مقایسه نمودند. در همگی مدل‌ها از دبی جریان به‌عنوان داده ورودی و از غلظت رسوب معلق، به‌عنوان داده خروجی استفاده شد. نتایج گرفته شده از پژوهش، حاکی از کارائی بالاتر مدل هیبرید فازی-ژنتیک[6] نسبت به دیگر مدل‌ها بود.

داده‌های بارش ماهواره CHIRPS[7]، با داده‌های ایستگاهی کارگروه مخاطرات آب و هوایی می‌تواند به صورت روزانه اخذ و مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهشی که به‌وسیله Duan et al., (2019) به‌منظور شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه Adige در ایتالیا و به کمک مدل SWAT[8] انجام شد از داده‌های بارش ماهواره CHIRPS و TRMM[9] استفاده شد که نتایج به‌دست آمده از داده‌های CHIRPS رضایت‌بخش‌تر بوده است. آن‌ها استفاده از این داده‌ها در حوضه‌هایی که کمبود یا فقدان اطلاعات بارش وجود دارد را توصیه کردند. نتایج مشابه دیگری در رابطه با شبیه سازی جریان و استفاده از داده‌های بارش ماهواره CHIRPS توسط Sulugodu و Deka (۲۰۱۹) و احمدی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش شده است.

در مجموع، پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی و برآورد رسوب معلق روزانه در ایستگاه هیدرومتری رامیان با تاکید بر استفاده از داده‌های بارش ماهواره CHIRPS (که تاکنون در شبیه سازی رسوب معلق مورد استفاده قرار نگرفته است) انجام شده است.

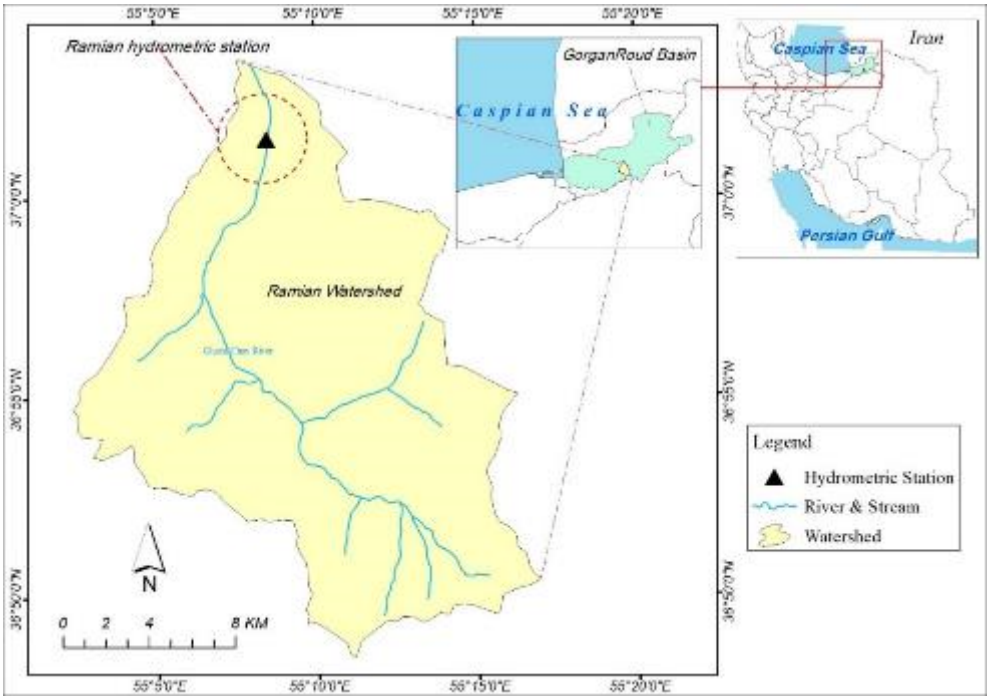
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در استان گلستان در حوزه آبخیز رامیان و در محل ایستگاه هیدرومتری رامیان بر روی رودخانه قره‌چای انجام شده است (شکل ۱). این حوضه در مختصات جغرافیایی '۵۵°۰۲ تا '۵۵°۱۶ طول شرقی و '۳۶°۴۹ تا '۳۷°۰۲ عرض شمالی در استان گلستان واقع است. مساحت حوضه، ۳۰۳۴۵ هکتار و متوسط ارتفاع آن ۱۱۸۹ متر از سطح دریا است. طول رودخانه قره چای ۳۳ کیلومتر بوده و مناطق بالادست آن کاملا کوهستانی و از نظر کاربری اراضی بیشتر جنگلی است. مناطق اطراف رودخانه در پایین‌دست، تقریبا هموار بوده و شامل اراضی کشاورزی است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش،

6 Fuzzy-genetic hybrid model
7 Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data (CHIRPS)
8 Soil and Water Assessment Tool
9 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

شامل داده‌های دبی لحظه‌ای جریان و غلظت ر سوب معلق روزانه[1] ایستگاه هیدرومتری رامیان، در یک دوره زمانی ۳۷ ساله (۱۳۹۶-۱۳۵۹) و به تعداد ۳۵۸ رکورد اطلاعاتی و همچنین، داده‌های بارش روزانه تصاویر ماهواره‌ای CHIRPS در دوره یاد شده است. ویژگی‌های آماری داده‌های مورد استفاده در جدول ۱، ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه و ایستگاه هیدرومتری رامیان

1 Suspended Sediment Concentration (SSC)

جدول ۱- ویژگی‌های آماری داده‌های رسوب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری رامیان و داده‌های بارش روزانه تصاویر ماهواره‌ای CHIRPS

سال آماری و تعداد داده	نوع داده	میانگین	میانه	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	چولگی	ضریب تغییرات (درصد)
۱۳۹۶-۱۳۵۹ ۳۵۸	دبی لحظه‌ای (مترمکعب در ثانیه (m^3s^{-1})	۱/۶۰	۰/۶۲۴	۲/۴۳	۰/۰۰۲	۱۳/۴۶	۲/۶۱	۱۵۲/۱۷
	غلظت رسوب معلق (میلی‌گرم در لیتر (mgl^{-1})	۱۱۷۵/۰۹	۳۸۲/۱۶	۲۴۷۳/۸۸	۴/۲۷	۲۳۴۵۶	۵/۰۴	۲۱۰/۵۲
	بارش روزانه (میلی‌متر mm)	۲/۲۱	۰	۸/۰۷	۰	۶۵/۵۵	۵/۳۹	۳۶۵/۴۳

در پژوهش حاضر و در شبیه‌سازی رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری رامیان، از داده‌های دبی لحظه‌ای، دبی روزانه و بارش متوسط حوضه، به‌همراه داده‌های روزهای پیشین آن‌ها به‌عنوان متغیرهای ورودی (تخمین‌گر مدل)[1] و از غلظت رسوب معلق به‌عنوان متغیر خروجی، در مدل‌سازی استفاده شده است.

داده‌های ماهواره CHIRPS

داده‌های بارش ماهواره CHIRPS که با اهداف پایش خشکسالی کشاورزی توسعه داده شده‌اند، مجموعه‌ای مشتمل بر حدود ۴۰ سال داده بارندگی جهانی بوده که در مقیاس‌های زمانی شش ساعته، روزانه و ماهانه و با قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ درجه تهیه و از سال ۱۹۸۱میلادی در دسترس هستند (Funk و همکاران، ۲۰۱۵). این محصولات، تنها اطلاعات خام ماهواره‌ای نبوده بلکه به‌وسیله ایستگاه‌های زمینی تدقیق شده‌اند. در پژوهش حاضر، به‌منظور پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های رقومی تصاویر CHIRPS و محاسبه میانگین بارش‌های روزانه حوضه مورد مطالعه در طول دوره آماری، از کدنویسی در محیط سامانه Google Earth Engine استفاده شده است.

1 Model Predictor

شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه روبه‌جلو[12]

شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، از عناصر عملیاتی ساده‌ای به نام نرون ساخته‌شده که به‌صورت موازی و در کنار هم، عمل می‌کنند. شبکه‌های عصبی چند لایه، از یک لایه ورودی (در ارتباط با داده‌های ورودی)، یک یا چند لایه پنهان (برای سازمان‌دهی نرون‌ها) و یک لایه خروجی (در رابطه با داده خروجی) تشکیل می‌شوند. عملکرد شبکه عصبی، از طریق نحوه اتصال بین اجزاء، با تنظیم مقادیر هر اتصال که به نام وزن اتصال بیان می‌شود، تعیین می‌شود. یکی از انواع شبکه‌های عصبی پرکاربرد در هیدرولوژی و منابع آب، شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه روبه‌جلو با الگوی آموزش پس انتشار[13] خطا است (Ulke و همکاران، ۲۰۰۹). در این نوع از شبکه‌های عصبی، جهت جریان داده، از لایه ورودی به سمت لایه پنهان و از لایه پنهان به سمت لایه خروجی بوده است که از این نظر به آن‌ها شبکه‌های عصبی روبه‌جلو یا پیش‌خور گفته می‌شود. به‌منظور آموزش شبکه عصبی، مقدار خطا در جهت بیشترین شیب تابع خطا محاسبه شده و این مقدار، به لایه‌های قبل (لایه یا لایه‌های پنهان) فرستاده شده تا با تنظیم مجدد مقادیر وزن نرون‌ها، مقدار خطا را کاهش دهند (قانون دلتا) (Tayfur، ۲۰۱۲) (رابطه ۱):

$$w_{ij}^{new}=w_{ij}^{old}-\eta\frac{\partial E}{\partial wij} \quad (1)$$

که در آن، w_{ij}^{old} و w_{ij}^{new}، به‌ترتیب وزن بین نرون‌های i و j قبل و بعد از یک تکرار معین، η نرخ یادگیری و E تابع خطا است.

آموزش شبکه و کاهش خطا تا ایجاد همگرایی در شبکه ادامه می‌یابد.

تهیه داده‌های همگن جهت آموزش و آزمون مدل‌ها

به‌منظور افزایش قدرت تعمیم‌دهی مدل شبکه عصبی، لازم است داده‌های مورد استفاده در آموزش مدل، معرف و نماینده داده‌های کل دوره آماری باشند. همچنین، برای آزمون و ارزیابی صحیح نتایج مدل، لازم است داده‌های آزمون، مشابه داده‌های آموزش و ارزیابی متقاطع[4](که برای جلوگیری از بیش برازش مدل استفاده می‌شود) بوده و از توزیع فراوانی یکسانی با آن‌ها برخوردار باشند. بدین منظور، در پژوهش حاضر از شبکه عصبی نگاشت خود سازمان‌ده[15]برای خوشه‌بندی داده‌ها و از روش تخصیص برابر[16]به‌منظور نمونه‌گیری از خوشه‌ها استفاده شده است. تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، به‌وسیله شاخص ارزیابی کیفیت خوشه‌بندی دیویس-بولدین[17]انجام گرفته است.

---

12 Feed-Forward Multi-Layer Perceptron (FFMLP)
13 Back Propagation
4 Cross validation
15 Self-Organizing Map (SOM)
16 Proportional Allocation
17 Davies-Bouldin Index

متغیرهای ورودی-خروجی، سناریوهای مدل‌سازی و اسامی مدل‌ها

در آموزش مدل‌های شبکه عصبی به‌منظور شبیه‌سازی رسوب معلق، از داده‌های دبی لحظه‌ای (Q)، دبی روزانه (Q_{w-i}) و بارش متوسط حوضه (P_{-i}) به‌عنوان متغیرهای ورودی (تخمین‌گر مدل)، و از غلظت رسوب معلق (SSC) به‌عنوان متغیر خروجی استفاده شده است. از آنجا که مقدار رسوب معلق رودخانه در زمان اندازه‌گیری می‌تواند با مقادیر روزهای قبل متغیرهای ورودی (در این پژوهش دبی و بارش) ارتباط داشته باشد باشد (Tayfur و Guldal (۲۰۰۶) و Ulke و همکاران (۲۰۱۱))، لذا، به‌منظور افزایش کارایی مدل‌های شبکه عصبی و آزمون این روش، از مقادیر روزهای پیشین آن‌ها (تاخیرهای یک روزه، دو روزه تا چهار روزه) نیز در شبیه‌سازی رسوب معلق استفاده شد. در نام‌گذاری متغیرهای ورودی، شماره روزهای پیشین با اندیس i مشخص شده است. به‌طور مثال، متغیر Q_{w-1}، اشاره به متغیر دبی روزانه با تاخیر یک روزه دارد یا متغیر P_{-2}، اشاره به مقدار متوسط بارش حوضه در دو روز قبل آن دارد. به‌منظور درک مناسب‌تر از آنچه گفته شد در شکل ۲، الگوهایی از داده‌های مورد استفاده در آموزش مدل‌های شبکه عصبی نشان داده شده است.

Input variables patterns		Output Variable
$Q, Q_{w-0}, Q_{w-1}, Q_{w-2}, Q_{w-3}, Q_{w-4}, P_{-0}, P_{-1}, P_{-2}, P_{-3}, P_{-4}$	→	SSC
$Q, Q_{w-1}, Q_{w-0}, P_{-3}, P_{-2}, P_{-1}, P_{-0}$	→	SSC
$Q, P_{-3}, P_{-2}, P_{-1}, P_{-0}$	→	SSC

شکل ۲- الگوهایی از داده‌های مورد استفاده در آموزش مدل‌های شبکه عصبی

همان‌طور که در شکل ۲، قابل مشاهده است، از ترکیب متغیرهای ورودی (دبی لحظه‌ای، دبی روزانه و بارش)، الگوهای ورودی متنوعی را می‌توان برای شبیه‌سازی رسوب معلق در نظر گرفت. با توجه به این‌که تعداد ترکیبات غیرتکراری ممکن از قانون کلی 2^{n-1} (n تعداد متغیر) قابل محاسبه است، لذا می‌توان تعداد ترکیبات ممکن از الگوهای ورودی را قبل از شروع شبیه‌سازی تعیین کرد. به‌عنوان مثال در پژوهش حاضر، چنانچه از متغیر دبی لحظه‌ای و دو متغیر بارش روزانه و دبی روزانه (با احتساب داده‌های چهار روز پیشین آن‌ها) استفاده شود، تعداد الگوهای غیرتکراری ممکن حاصل از ترکیب آن‌ها، 2^{11-1} یا ۱۰۲۴ الگو است. از آنجا که تعیین بهترین الگو یا الگوهای ورودی (در برآورد هرچه صحیح‌تر رسوب معلق) از بین این تعداد الگوی ممکن، عملا کاری دشوار است، لذا لازم است قبل از شروع شبیه‌سازی، با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی[2] نسبت به تعیین الگوهای مناسب اقدام شود. در این رابطه، آزمون گاما[3]

2 Feature selection
3 Gamma Test

یکی از روش‌های مناسب برای کشف الگو یا الگوهای مناسب ورودی بوده که در ادامه به اختصار در مورد آن مطالبی ارائه می‌شود.

به‌منظور بررسی تاثیر به‌کارگیری متغیر بارش اخذ شده از ماهواره CHIRPS در مقدار کارایی مدل‌های برآوردکننده رسوب معلق، دو سناریوی کلی الف) شامل متغیرهای بارش و دبی جریان و ب) تنها متغیرهای دبی جریان، در نظر گرفته شد. در هر دو سناریو، انتخاب ویژگی‌ها (متغیرهای ورودی) به‌وسیله آزمون گاما انجام شد. پس از آن‌که متغیرهای منتخب هر دو سناریو تعیین شد، با استفاده از داده‌های مجموعه آموزش، برای هر سناریو مدل‌های شبکه عصبی ساخته و در آن‌ها تاثیر به‌کارگیری توابع فعال-سازی (Sigmoid، tanh و ReLU) و توابع زیان (MSE، MAE و Huber) بررسی شد. به‌طور خلاصه، در هر سناریو نه مدل و در مجموع ۱۸ مدل ساخته شد و پس از آن، کارایی آن‌ها با داده‌های آزمون مورد مقایسه قرار گرفت. به‌منظور درک بهتر و سهولت مقایسه مدل‌ها، اسامی آن‌ها، مطابق الگو "نام تابع فعال‌سازی- نام تابع زیان-M-A(or B)" تعریف شد. در این الگو، حرف M، اشاره به مدل و حروف A یا B اشاره به سناریوهای الف و ب دارند. برای مثال الگوی M-A-ReLU-MSE اشاره به یک مدل در سناریوی الف با تابع فعال‌سازی ReLU و تابع زیان MSE دارد.

آزمون گاما

آزمون گاما، یک ابزار مدل‌سازی غیرخطی است که به کمک آن می‌توان از بین متغیرهای (ویژگی) مختلف ورودی، ترکیب مناسب متغیرها را برای ایجاد یک مدل هموار[1] بررسی و تعیین کرد. آزمون گاما برای اولین‌بار به‌وسیله Koncar (۱۹۹۷) ارائه و در سال‌های بعد به‌وسیله بسیاری از محققین مورد استفاده قرار گرفته است (Choubin و Malekian (۲۰۱۷) و Durrant، ۲۰۰۱). .به کمک آزمون گاما می‌توان، ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی را تعیین و سپس، مقدار نویز (خطا) موجود در هر ترکیب را قبل از انجام مدل‌سازی مشخص کرد.

صحت‌سنجی و ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی و مقایسه نتایج گرفته شده از مدل‌های شبکه عصبی و مقایسه آن‌ها با داده‌های رسوب مشاهداتی (داده‌های مجموعه آزمون)، اندازه‌گیری مقدار خطا و ترسیمات گرافیکی انجام شد. در این رابطه، از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا[2]، MAE، ضریب کارائی ناش-ساتکلیف[3](NSE)،

1 Smooth
2 Root Mean Squre Error (RMSE)
3 Nash–Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NSE)

ضریب تبیین[1] (R^2) و درصد اریبی یا بایاس (PBIAS) بین داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های محاسباتی (به ترتیب رابطه‌های۲ تا ۶) استفاده شد.

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_M-s_O)^2} \quad (۲)$$

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}|(S_O-S_M)|}{n} \quad (۳)$$

$$NS^{=1}-\frac{\sum_{i=1}^{n}(s_M-s_O)^2}{\sum_{i=1}^{n}(s_O-\overline{S}_O)^2} \quad (۴)$$

$$R^2=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_O-\overline{S}_O)(S_M-\overline{S}_M)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S_O-\overline{S}_O)^2\sum_{i=1}^{n}(S_M-\overline{S}_M)^2}}\right]^2 \quad (۵)$$

$$PBIAS=\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_O-S_M)}{\sum_{i=1}^{n}(S_O)}*100 \quad (۶)$$

در رابطه‌های فوق، S_o و S_M به‌ترتیب، غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای و برآورد شده (mgl^{-1})، $\overline{S}_O$ و $\overline{S}_M$، به‌ترتیب میانگین غلظت رسوب مشاهده‌ای و محاسبه شده و n تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

نتایج آزمون گاما

به کمک آزمون گاما، کلیه ترکیبات غیرتکراری متغیرهای ورودی مورد بررسی قرار گرفته و براساس آماره گاما (Γ) و V_{ratio} بهترین ترکیب متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی رسوب معلق تعیین شد. در جدول ۲، چهار نمونه از بهترین ترکیبات متغیرهای ورودی محاسبه‌ای آورده شده است. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر، تنها از ترکیب متغیرهای ردیف اول و چهارم در شبیه‌سازی رسوب معلق استفاده شده است.

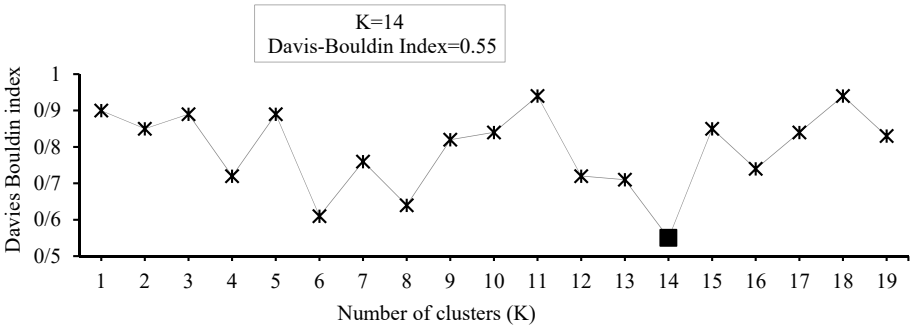
جدول ۲- نتایج آزمون گاما

ردیف	ترکیب متغیرهای ورودی	آماره گاما (Γ)	V_{ratio}
۱	$Q, Q_{w-0}, Q_{w-2}, Q_{w-3}, Q_{w-4}, P_{-0}, P_{-3}$	۰/۰۴۹۸۷۱	۰/۱۹۹۴۸
۲	$Q, Q_{w-0}, Q_{w-2}, Q_{w-3}, Q_{w-4}, P_{-1}, P_{-3}$	۰/۰۵۰۲۶	۰/۲۰۱۰۴
۳	$Q, Q_{w-0}, Q_{w-2}, Q_{w-3}, P_{-3}$	۰/۰۵۲۶۱۶	۰/۲۱۰۴۶
۴	$Q, Q_{w-0}, Q_{w-1}, Q_{w-4}$	۰/۱۲۸۳۵	۰/۵۱۳۴۱

1 Coefficient of Determination (R2)

نتایج خوشه‌بندی و تحلیل آماری داده‌ها

با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی نگاشت خود سازمان‌ده و شاخص دیویس بولدین، تعداد خوشه‌های بهینه (K) برای داده‌های مورد مطالعه، ۱۴ خوشه تعیین شد (شکل ۳).



شکل ۳- تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از خوشه‌بندی نگاشت خود سازمان‌ده و شاخص دیویس-بولدین در ایستگاه رامیان

نتایج مدل‌سازی

نتایج ساخت، آموزش و ارزیابی مدل‌های مختلف شبکه عصبی در ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۳، به‌طور خلاصه آورده شده است. در این جدول، بهترین ساختار شبکه عصبی، نوع توابع فعال‌سازی و زیان، به همراه شاخص‌های ارزیابی صحت‌سنجی مدل‌ها بیان شده است. تعداد بهینه نرون‌های لایه پنهان مدل‌های شبکه عصبی با آزمون و خطا و کمینه کردن خطای شبکه در تکرارهای زیاد، تعیین شده است. لازم به ذکر مجدد است که آموزش، اعتبارسنجی و آزمون کلیه مدل‌ها با داده‌های یکسان (مجموع داده‌های آموزش، ارزیابی متقاطع و آزمون) انجام شده است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۳، مدل‌های M-A-Tanh-Huber (M5) و M-A-ReLU- (M2) Huber با داشتن شاخص‌های صحت‌سنجی مناسب‌تر نسبت به دیگر مدل‌ها در رتبه ۱ و پس از آن‌ها، مدل‌های M3 و M1 به‌ترتیب، در رتبه‌های بعدی هستند. همچنین مدل M10 که تنها از متغیرهای دبی جریان استفاده نموده است کمترین کارائی را داشته است. علاوه بر شاخص‌های صحت‌سنجی، مدل-های مختلف شبکه عصبی از نظر مقدار برآورد کل رسوب معلق و میزان بیش برآوردی یا کم برآوردی (PBIAS) برای داده‌های آزمون نیز با یکدیگر مورد مقایسه گرفتند که نتایج آن‌ها در جدول ۴، نشان داده شده است.

جدول ۳-ساختار و نتایج ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی در برآورد غلظت رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری رامیان با داده‌های آزمون

نام مدل	نام خلاصه شده مدل	ساختار شبکه	تابع فعال-سازی	تابع زیان	MAE (mgl^{-1})	RMSE (mgl^{-1})	NSE	R^2
M-A-ReLU-MSE	M1	۱:۱۴:۱	ReLU	MSE	۳۹۱/۰۳	۶۲۱/۹۸	۰/۸۶	۰/۸۹
M-A-ReLU-Huber	**M2**	**۱:۱۴:۱**	**ReLU**	**Huber**	**۳۶۸/۶۸**	**۵۸۹/۴۲**	**۰/۸۸**	**۰/۸۸**
M-A-ReLU-MAE	M3	۱:۱۴:۱	ReLU	MAE	۳۸۱/۵۴	۶۰۳/۶۵	۰/۸۷	۰/۸۸
M-A-Tanh-MSE	M4	۱:۱۴:۱	Tanh	MSE	۴۶۶/۱۶	۱۰۳۸/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۱
M-A-Tanh-Huber	**M5**	**۱:۱۴:۱**	**Tanh**	**Huber**	**۳۶۸/۹۴**	**۵۹۷/۸۹**	**۰/۸۷**	**۰/۸۸**
M-A-Tanh-MAE	M6	۱:۱۴:۱	Tanh	MAE	۴۶۳/۵۵	۱۰۳۷/۶۷	۰/۵۹	۰/۷
M-A-Sigmoid-MSE	M7	۱:۱۴:۱	Sigmoid	MSE	۵۳۲/۱۳	۱۱۳۴/۳۴	۰/۵۵	۰/۶۷
M-A-Sigmoid-Huber	M8	۱:۱۴:۱	Sigmoid	Huber	۵۱۱/۱۱	۹۷۲/۹۹	۰/۶۷	۰/۷
M-A-Sigmoid-MAE	M9	۱:۱۴:۱	Sigmoid	MAE	۵۰۸/۷۵	۱۰۷۲/۵۳	۰/۶	۰/۷
M-B-ReLU-Huber	M10	۱:۸:۱	ReLU	Huber	۵۳۲/۹۸	۱۳۴۳/۱۳	۰/۳۶	۰/۴۵

جدول ۴-مجموع کل رسوب معلق مشاهده‌ای و برآورد شده توسط مدل‌های مختلف برای داده‌های آزمون

مقدار کل رسوب معلق مشاهده‌ای	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
۲۶۲۳۶/۲	۲۳۶۸۶/۸	۲۶۸۱۹/۳	۲۶۸۹۸/۱	۱۹۲۹۳/۸	۲۷۰۴۳/۷	۱۷۹۳۹/۶	۱۷۷۰۰/۹	۲۲۶۷۲	۱۷۲۵۷/۵	۱۴۱۲۷/۹
PBIAS (درصد)	۹/۷	۲/۲-	۲/۵-	۲۶/۵	۳/۱-	۳۱/۶	۳۲/۵	۱۳/۶	۳۴/۲	۴۶/۱۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در شبیه‌سازی رسوب معلق، اغلب از متغیر دبی جریان به عنوان تنها متغیر پیش‌بینی کننده رسوب معلق استفاده می‌شود، این در حالی است که در حوضه‌هائی با رژیم‌های بارانی، یا بارانی-برفی، نقش بارش در تولید رواناب‌های سطحی و فرسایش خاک بسیار با اهمیت بوده و نقش مهمی در تولید و انتقال رسوب حوضه دارد (Ayes Rivera و همکاران، ۲۰۱۹ و Shams و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین نتایج بدست آمده از برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در فصول مختلف سال، دبی جریان به تنهایی، نمی‌تواند تغییرات رسوب رودخانه را به‌درستی تبیین نماید. در این رابطه Rodríguez-Blanco و همکاران (۲۰۱۰) بیان می‌کنند که دبی رودخانه تنها ۱۹درصد واریانس رسوب معلق رودخانه را تشریح می‌کند. نتایج پژوهش‌های گرفته شده از دیگر محققان نظیر Ulke و همکاران (۲۰۰۹)، Melesse و همکاران (۲۰۱۱)، Tayfur و همکاران (۲۰۱۲) نیز موید مطلب یاد شده می‌باشد.

اگرچه استفاده از داده‌های بارش اخذ شده از ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی، نقش موثری در افزایش کارایی مدل‌های داده مبنا در برآورد رسوب معلق داشته است، با این‌حال، تهیه صدها لایه مکانی توزیعی بارش روزانه از داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های زمینی، استفاده از این متغیر را در شبیه‌سازی رسوب معلق حوضه با مشکلات فراوان نظیر کمبود یا نامناسب بودن توزیع مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی (Cho و همکاران، ۲۰۰۹)، نواقص آماری، به‌کارگیری روش‌های میان‌یابی نامناسب و زمان‌بر بودن انجام محاسبات، روبرو ساخته است. لذا در عمل، اغلب از متغیر دبی جریان رودخانه به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده رسوب استفاده شده است و کمتر از بارش استفاده می‌شود. یکی از راه‌حل‌های برون رفت از مشکل یاد شده که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS است که برای

اولین بار در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها که از سال ۱۹۸۱ میلادی در دسترس است، به سادگی می‌تواند برای شبیه‌سازی رسوب معلق یا دیگر کاربردها مرتبط با حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

نکته مهم دیگر که لازم است در شبیه‌سازی رسوب معلق به آن توجه شود، وجود چولگی زیاد در داده‌های رسوب‌سنجی بوده است (هم رسوب معلق و هم دبی جریان) که عدم توجه به آن در فرایند آموزش (یا واسنجی) و آزمون مدل‌ها منجر به ساخت مدل‌های ضعیف به لحاظ کارایی و وجود عدم قطعیت در صحت نتایج آن‌ها خواهد شد. در این رابطه لازم است از تبدیلات لگاریتمی و یا توابع مناسب فعال سازی و زیان در فرایند آموزش استفاده شود که در این پژوهش به‌ترتیب دو تابع ReLU و Huber پیشنهاد شد.

از نکات مهم دیگر، توجه به قدرت تعمیم‌دهی مدل‌های داده مبنا است که تا اندازه زیادی وابسته به داده‌های استفاده شده در فرایند واسنجی یا آموزش آن‌ها است. این داده‌ها بایستی به‌گونه‌ای انتخاب شوند که ضمن آن‌که معرف داده‌ها در کل دوره آماری هستند، با دیگر مجموعه‌های داده (نظیر مجموعه‌های ارزیابی یا آزمون)، مشابه و از توزیع یکسان برخوردار باشند. در این راستا، در پژوهش حاضر با استفاده از شبکه عصبی نگاشت خودسازمان‌ده[1] اقدام به تهیه مجموعه‌های همگن و مشابه از داده‌ها برای آموزش و آزمون مدل‌ها شد که نتایج این بخش از پژوهش با کار Li و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر و به‌منظور افزایش کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد رسوب معلق ایستگاه های هیدرومتری حوزه‌های آبخیز، پیشنهاد می‌شود از تجارب به‌دست آمده در این پژوهش در دیگر ایستگاه‌های رسوب‌سنجی کشور نیز استفاده شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش انجام شده با حمایت مالی و معنوی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است که بدین وسیله از کلیه عزیزانی که ما را در این راه کمک نموده‌اند، تشکر می‌شود.

منابع

- احمدی، م.، ع. داداشی رودباری، و آ. دیرمجائی. ۱۳۹۹. برآورد رواناب با استفاده از مدل IHACRESبر اساس داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS و مدل‌های CMIP5) مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود-منطقه آق‌قلا، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۳): ۶۷۱-۶۵۹

[1] Self-organizing map

- رضایی بنفشه، م.، م. فیض ا. پور و س. صدر افشاری. ۱۳۹۲. استفاده از سیستم استنتاجی فازی عصبی در تخمین بار رسوبی و مقایسه آن با مدل‌های MLR و SRC در حوضه رودخانه قرانقو. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲ (۸۴):۹۰-۷۷
- Ayes Rivera, I., A.C. Callau Poduje, J. Molina-Carpio, J.M. Ayala, E. Armijos Cardenas, R. Espinoza-Villar, J.C. Espinoza, O. Gutierrez-Cori and N. Filizola. 2019. On the relationship between suspended sediment concentration, rainfall variability and groundwater: an empirical and probabilistic analysis for the Andean Beni River, Bolivia (2003–2016). Water, 11(12), p.2497
- Chen, X.Y. and K.W. Chau. 2019. Uncertainty analysis on hybrid double feedforward neural network model for sediment load estimation with LUBE method. Water Resources Management, 33(10), pp.3563-3577.
- Chiang, J.L., K.J. Tsai, Y.R. Chen, M.H. Lee and J.W. Sun. 2014. Suspended Sediment Load Prediction Using Support Vector Machines in the Goodwin Creek Experimental Watershed. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 16: 5285
- Choubin, B. and A. Malekian. 2017. Combined gamma and M-test-based ANN and ARIMA models for groundwater fluctuation forecasting in semiarid regions. Environmental Earth Sciences, 76(15), pp.1-10.
- Duan, Z., Tuo, Y., Liu, J., Gao, H., Song, X., Zhang, Z., Yang, L. and Mekonnen, D.F. 2019. Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia. Journal of hydrology, 569, pp.612-626
- Funk, C., P. Peterson, M. Landsfeld, D. Pedreros, J. Verdin, S. Shukla, G. Husak, J. Rowland, L. Harrison, A. Hoell, and J. Michaelsen. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific data, 2(1), pp.1-21.
- Joshi, R., K. Kumar, and V.P.S. Adhikari. 2016. Modelling suspended sediment concentration using artificial neural networks for Gangotri glacier. Hydrological Processes, 30(9), pp.1354-1366.
- Khan, M.Y.A., F. Tian, F. Hasan and G.J Chakrapani. 2019. Artificial neural network simulation for prediction of suspended sediment concentration in the River Ramganga, Ganges Basin, India. International journal of sediment research, 34(2), pp.95-107.
- Kişi, Ö. and Fedakar, H.I. 2014. Modeling of suspended sediment concentration carried in natural streams using fuzzy genetic approach. Computational Intelligence Techniques in Earth and Environmental Sciences, pp.175-196.
- Koncar, N. 1997. Optimisation Methodologies for Direct Inverse Neurocontrol, PhD Thesis, Department of Computing, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London.
- Li, X., M.H. Nour, D.W. Smith and A.A. Prepasc. 2010. Neural networks modeling of nitrogen export: model development and application to unmonitored boreal forest watersheds. Environmental Technology, 31(5):495–510

- Melesse, A.M., S. Ahmad, M.E. McClain, X. Wang and Y.H. Lim. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network. Agricultural Water Management, 98(5): Pages 855-866.
- Olyaie, E., H. Banejad, K.W. Chau, and A.M. Melesse. 2015. A comparison of various artificial intelligence approaches performance for estimating suspended sediment load of river systems: a case study in United States. Environmental monitoring and assessment, 187(4), pp.1-22.
- Rodríguez-Blanco, M.L., M.M. Taboada-Castro, L. Palleiro-Suárez, and M.T. Taboada-Castro. 2010. Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain. Geomorphology, 123(1):181-188
- Shams, S., U. Ratnayake, E.A Rahman and A.A. Alimin. 2020. Analysis of sediment load under combined effect of rainfall and flow. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 476, No. 1, p. 012111). IOP Publishing.
- Sulugodu, B. and Deka, P.C. 2019. Evaluating the performance of CHIRPS satellite rainfall data for streamflow forecasting. Water Resources Management, 33, pp.3913-3927. Tabatabaei, M., A. Salehpour Jam, and S.A. Hosseini. 2019. Suspended sediment load prediction using non-dominated sorting genetic algorithm II. International Soil and Water Conservation Research, 7(2), pp.119-129.
- Tayfur, G. 2012. Soft computing in water resources engineering: Artificial neural networks, fuzzy logic and genetic algorithms, WIT Press, Dorset, UK, 288 pp.
- Tayfur, G. and V. Guldal. 2006. Artificial neural networks for estimating daily total suspended sediment in natural streams. Hydrology Research, 37(1), pp.69-79.
- Ulke, A., G. Tayfur and S. Ozkul. 2009. Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. Journal of Hydrologic Engineering, 14: 954-965.

مقایسه مدل‌های بیلان انرژی در تعیین مقدار آب مصرفی گیاهان عرصه‌های تحت اثر پخش سیلاب گربایگان

مجتبی پاک‌پرور*[1]، غلامعلی نکوییان[2]، غلامرضا قهاری[1]

۱-استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس،
۲-کارشناس پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

چکیده

محدودیت‌های روش‌های فیزیکی و تجربی برآورد تبخیر-تعرق واقعی (ETa)، کاربرد فن‌آوری سنجش از دور را برای حل معادله بیلان انرژی در سال‌های اخیر رایج ساخته است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی ETa بیلان انرژی و سنجش از دور در دشت گربایگان، اجرای مدل‌های METRIC، SEBAL و SEBS بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از مهر ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۴۰۰ انجام گرفت و با کمک داده های بیلان آب خاک اعتبارسنجی شد. در اجرای گسترده مدل، نقشه‌های ETa تمامی ۸۱ تصویر حاصل از مدل‌های واسنجی شده به کار گرفته و مقدار مصرف آب اراضی تحت کشت در محدوده‌ای از دشت گربایگان که تحت تأثیر پخش سیلاب قرار دارد محاسبه شد. مصرف آب در سال‌های آبی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ به هم نزدیک بوده و رقمی در نزدیکی ۵/۵ میلیون متر مکعب قرار دارد. این مصرف در سال آبی ۱۴۰۰-۹۹ به نصف تلقیح یافته و در نیمه دوم سال ۱۴۰۰ دوباره افزایش یافته است. داده‌های همزمان بارش در ایستگاه تحقیقات آبخوانداری کوثر نیز همین روند را نشان می‌دهد. بالاترین مصرف آب مربوط به سال آبی ۹۹-۹۸ است با بالاترین بارش یعنی ۴۳۵ میلی‌متر همراه بوده است. بنابر این تغییرات مصرف آب حاصل از مدل از یک روند منطقی پیروی می‌کند.

واژه‌های کلیدی

SEBAL، METRIC، SEBS، بیلان آب خاک، پخش سیلاب

مقدمه

مدل‌های متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های سنجش از دور توسعه یافته است. از بین تمام مدل‌های پیشنهادی برای تخمین تبخیر و تعرق (Allen et al. 2007)، الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای زمین (SEBAL)[2] بیشترین استفاده را در بین محققان در بیش از ۳۰ کشور جهان داشته است. این مدل توسط Bastiaanssen et al. (1998) توسعه یافته و توسط آلن بهبود یافته

2 Surface Energy Balance Algorithm for Land

است (Shamloo et al. 2021). در مطالعات پیشین ثابت شده است مدل SEBAL تبخیر و تعرق را با دقت بهتری تخمین می‌زند و دقت ثبت شده آن ۸۵ ٪ در مقیاس مزرعه و بیش از ۹۵ ٪ دقت در مقیاس منطقه ای ثبت شده است (Seneviratne et al. 2006). تخمین تبخیر و تعرق SEBAL با داده‌های لایسیمتر در مزارع گندم، سورگوم و پنبه در منطقه تالاب گزیرا، سودان مقایسه شده است که در آن دقت بالا و عملکرد خوب ذکر شده است (Bashir et al. 2008). مقایسه دیگری با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانتیث توسط Ramos et al. (2009) در منطقه فلومن در دشت ابرو، اسپانیا انجام شد. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق حاصل از مدل SEBAL بر روی چمن تنها ۰/۳mm و ۰/۳۶ mm در روز در مقایسه با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانتیث به ترتیب اختلاف داشته است. مطالعه‌ای توسط Rawat et al. (2017) جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی گندم در منطقه هاریانا، هند با استفاده از داده‌های SEBAL، لایسیمتر و فائو پنمن مانتیث انجام شد. نتایج همبستگی خوبی بین SEBAL با داده‌های لایسیمتر(R=0.85) و خطای کم با روش فائو پنمن مانتیث (RMSE = 0.56) نشان داد. تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از الگوریتم سبال در استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد RMSE و MAE تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از الگوریتم سبال با روش فائو پنمن مانتیث به ترتیب معادل ۰/۴۵ mm و ۰/۱۸ mm در روز است (ولیزاده کامران و لنگ باف ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای دیگر تبخیر و تعرق جنگل‌های هیرکانی با استفاده از مدل سبال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد MAE برآورد شده بین مقادیر تبخیر و تعرق روزانه سبال با روش فائو پنمن مانتیث معادل ۰/۶ و میانگین درصد خطای نسبی این دو پارامتر ۱۳/۵٪ به دست آمد (Abbasnezhad Alchin et al. 2020). برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و مقایسهٔ آن با تبخیر و تعرق استاندارد فائو 56، به‌منظور تعیین باغات پستهٔ تحت تنش خشکی در استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا، تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده روزهٔ فنولوژی پسته به‌دست آمد و سپس، با جمع تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده‌روزه، میزان تبخیر و تعرق در چهار مرحلهٔ اصلی فنولوژی پسته و کل دورهٔ رشد سالیانه تعیین شد. مقایسهٔ نتایج با روش استاندارد فائو ۵۶ نشان داد این دو روش مطابقت خوبی با یکدیگر دارند (زارع خورمیری و همکاران ۱۴۰۰).

در ایران سابقه کاربرد مدل‌های توازن انرژی در ابتدا به مدل SEBAL مربوط می‌شود (عمادزاده، ۱۳۸۶؛ یعقوبی فشکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ غلامی سفید کوهی و میرلطفی، ۱۳۸۸؛ محسنی ساروی و همکاران، ۱۳۸۹؛ پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قمرنیا و رضوانی، ۱۳۹۳؛ میر یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ زمانی و رحیم زادگان ۲۰۱۸؛ رحیم زادگان و جانانی ۲۰۱۹).

Zamani Laosgedargh و Rahimzadegan (2018) سه مدل METRIC، SEBAL و SEBS را برای تعیین میزان تبخیر از آب آزاد در دریاچه سد امیرکبیر مقایسه نموده و داده‌های تبخیر از طشتک

ایستگاه مجاور سد را به عنوان داده زمینی در نظر گرفتند. بر اساس دو آماره‌ی ضریب تشخیص و ریشه میانگین مربعات میزان هماهنگی مدل با واقعیت را به ترتیب شـــامل SEBS، METRIC و SEBAL دانستند.

سوابق تحقیقاتی نشان می‌دهد که سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای قابلیت بالایی برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی دارند و در سراسر جهان توسط محققین برای برآورد تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی با توجه به اهمیت و ضرورتی که برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (مخصوصا پخش سیلاب بر آبخوان دشت گربایگان) دارد.

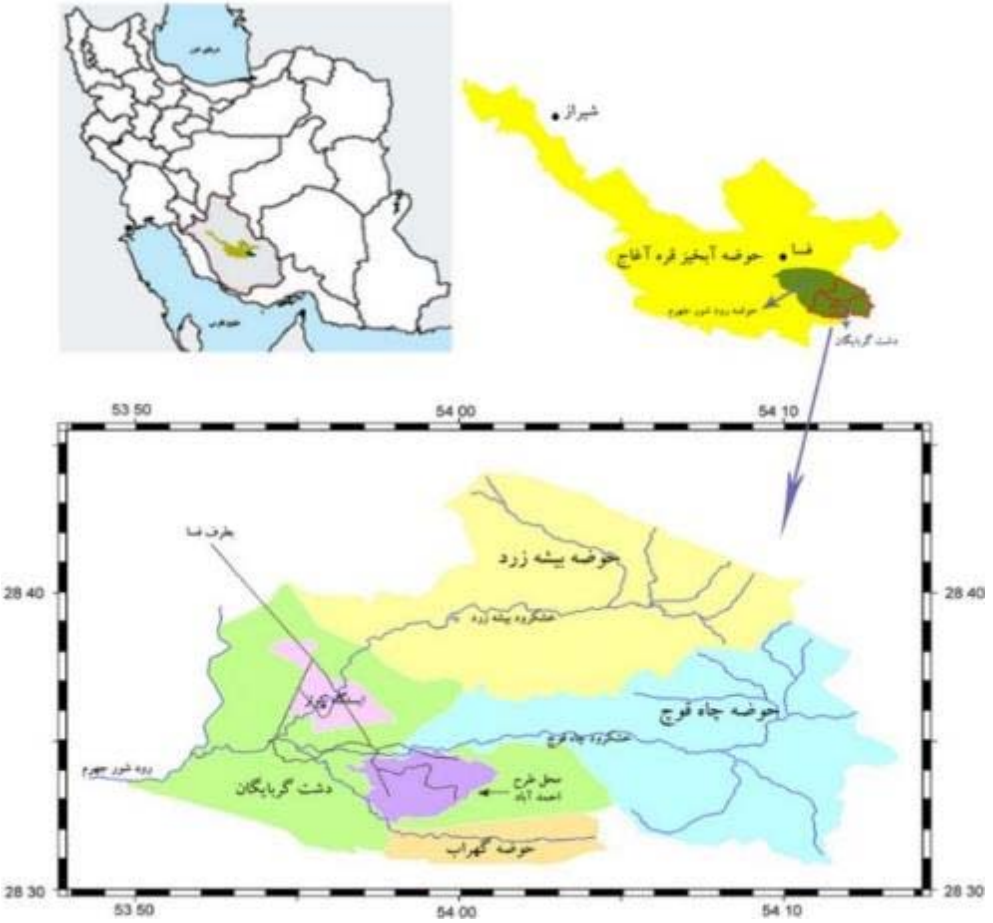
در تحقیق حاضر تلاش شد تا برای ارزیابی و تدقیق کارهای گذشته، کارآیی و صحت مدل سنجش شده و در صـــورت نیاز نســـبت به منطقه مورد اصـــلاح قرار گرفته تا در نتیجه بتوان از آن به عنوان ابزاری مطمئن در مدیریت آب دشت‌های تحت تأثیر پخش سیلاب استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محل اجرای تحقیق

دشت گربایگان بین طول '۵۳ °۵۳ تا '۵۷ °۵۳ شرقی و عرض '۳۵ °۲۸تا '۴۱ °۲۸ شمالی در ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز قرار دارد (شکل۱-۲). آبخیزهای کوه گر با مساحت ۱۹۲ کیلومترمربع، چاه‌قوچ با مســـاحت ۱۷۱کیلومترمربع و گهراب با مســـاحت ۱۶ کیلومترمربع در بالا دســـت مخروط افکنه‌ی دشت گربایگان قرار دارند. سیلاب این حوضه‌ها به سیله خشکه‌رودهای بیشه‌زرد، چاه‌قوچ و گهراب، در این دشـــت جریان می‌یابد. دشـــت گربایگان و حوضـــه‌های مزبور، بخشـــی از حوزه‌ی آبخیز قره‌آغاج هستند. سیلاب‌های وارده به دشت گربایگان از رود شور جهرم و رودخانه مند به خلیج فارس تخلیه می شوند. منطقه‌ی گربایگان بخشی از ناحیه‌ی زاگرس چین خورده در جنوب غربی ایران است که با روند شمال غرب- جنوب شرق به صورت یک کمربند چین خورده کشیده شده است.

بر اســـاس آمار ۲۰ ســـاله ایســـتگاه کوثر (۱۳۹۴-۱۳۷۵) میانگین بارندگی ســـالانه ۲۲۲/۷ میلی‌متر که کمینه‌ی آن در تیرماه برابر صـــفر وبیشـــینه‌ی آن در دی ماه برابر ۵۵/۱ میلی‌متر اســـت. درجه حرارت مطلق سالیانه ۴۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و حداقل مطلق دما ۸/۵- درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین رطوبت نسبی ۴۳ درصد و شمار روزهای یخبندان به ۲۷ روز می‌رسد. براساس طبقه بندی دو مارتن، منطقه در اقلیم خشـــک قرار می‌گیرد. خاکی شـــنی- لومی ســـطح منطقه را فرا گرفته و ســـفره‌ی آب زیرزمینی در عمق افزون بر ۳۰ متر قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت دشت گربایگان در منطقه، فارس و ایران (کوثر و پاک‌پرور، ۱۳۸۲)

معادله بیلان انرژی

در صورتی که از یک سطح مرطوب گیاه شیب فشار بخار وجود داشته و آب کافی برای تبخیر نیز وجود داشته باشد، مقدار ET بر اساس انرژی موجود کنترل می‌شود.

$$\lambda E = Rn - G - H \qquad (۱)$$

که در این رابطه، Rn تابش خالص ورودی به سطح مورد نظر، G شار گرمای سطح زمین و H مقدار گرمایی است که صرف گرم کردن هوا می‌شود. در این رابطه از مقدار گرمایی که در گیاه ذخیره می‌شود و از مقدار انرژی که صرف ET می شود صرف‌نظر شده ا ست. در این روش‌ها از G صرف‌نظر شده و سپس از ن سبت بوون برای اندازه‌گیری ET ا ستفاده می شود. این معادله ا ساس مدل‌هایی ا ست که با بیلان انرژی به دنبال یافتن کمیت تبخیر-تعرق در واحد زمان هستند. به دلیل امکان برآورد پارامترهای

این معادله با داده های ماهواره‌ای، امروزه کاربرد سنجش از دور در حل معادله بیلان انرژی و تهیه نقشه تبخیر-تعرق گسترش زیادی یافته است.

تصحیحات تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق از آنجا که در سال پایانی پروژه تصاویر سطح دو لند ست ۸و۹ بر روی سایت USGS برای عموم قابل دسترس شد با توجه به اینکه تصاویر سطح دو با روش پارامتری و به کمک داده‌های هواشناسی جو بالا مورد تصحیح اتمسفری قرار گرفته و همپنین، داده‌های دمای سطح زمین و گسیلندگی از روی باند حرارتی توسط خود مرجع تصویربرداری ساخته شده و در مجموعه سطح دو قرار داده شده است، برای کل دوره پروژه از لندست ۸ سطح دو استفاده شود. بررسی تعداد ۷ تصویر سطح یک و مقایسه آن با سطح دو نشان داد که نتایج تعیین ET با تصاویر سطح دو منطقی‌تر است

معرفی مدل SEBAL

اساس نظری و محاسباتی مدل SEBAL نخستین بار توسط باستیانسن و همکاران در سال ۱۹۹۸ شرح داده شده (Bastianssen و همکاران ۱۹۹۸) و سپس منوال مدل آن را مشروح‌تر تبیین کرده است (Waters و همکاران ۲۰۰۲). به طور کلی در مدل SEBAL مقدار ET از تصاویر ماهواره‌ای با بکارگیری یک معادله بیلان انرژی در سطح زمین تعیین می شود. جایی که انرژی مصرف شده توسط جریان ET به عنوان یک باقی مانده از معادله انرژی سطحی محاسبه می‌شود (معادله ۱).

یک مزیت استفاده از بیلان انرژی این است که ET واقعی سریع تر نسبت به ET بالقوه (براساس مقدار پوشش گیاهی) محاسبه می شود. بطوری که کاهش ET که حاصل کمبود رطوبت خاک می‌باشد، به دست می‌آید. از معایب روش بیلان انرژی این است که محاسبه LE تنها با استفاده ازمجموعRn ، Gو H صورت می گیرد. در مدل SEBAL، Rn با استفاده از باند های انعکاسی و دمای سطحی محاسبه شده از باندهای حرارتی محاسبه می شود، G ازRn ،دمای سطحی و شاخص های گیاهی محاسبه می‌شود و H نیز از برآورد دامنه دمای سطحی، زبری سطح و سرعت باد با استفاده از تصحیحات مرتبط انجام می‌شود.

معرفی مدل METRIC

اساس نظری و محاسباتی مدل متریک توسط ریچارد آلن و همکاران در سال۲۰۰۷ شرح داده شده است (Allen و همکاران ۲۰۰۷). از معایب روش بیلان انرژی این است که محاسبه LE تنها با استفاده ازمجموعRn ، Gو H صورت می گیرد. مدل متریک سعی می کند تا بر این عیب با تمرکز بر کالیبراسیون داخلی نه بر LE بلکه برH،بر همه میانگین برآورد خطاها و اریبی‌ها فایق آید. در مدل

METRIC نیز به مانند SEBAL، پارامترهای Rn، G و H با استفاده از باند های انعکاسی و دمای سطحی محاسبه شده از باندهای حرارتی محاسبه می‌شود،و تفاوت آنها در تبدیل ET لحظه عبور ماهواره به ET ۲۴ ساعته است. در METRIC از نسبت ETrF برای تبدیل ET فائو پنمن-مانتیس به ET روزانه حا صل از بیلان انرژی ا ستفاده شده و در SEBAL از نسبت Rn ۲۴ ساعته بهره برده می‌شود.

معرفی مدل SEBS

SEBS یک الگوریتم سنجش از دور ا ست که بر ا ساس مفهوم بیلان‌انرژی طراحی شده، برای تخمین شارهای انرژی[3] از م شاهدات طیفی ماهواره[4] و اطلاعات هوا شنا سی ا ستفاده می‌کند و نیازمند سه سری داده‌های ورودی ا ست. اولین سری شامل تولیدات رادیومتریک یک ماهواره شامل آلبیدوی سطحی، گ سیلندگی سطحی[5] و دمای سطحی ا ست. دومین سری از محتویات اطلاعات هوا شنا سی ا ست که شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت آفتابی است. سومین سری از اطلاعات ورودی شامل پوشش‌گیاهی جزیی، شاخص سطح برگ و ارتفاع زبری[6] است (Enko، ۲۰۰۹). الگوریتم SEBS به‌وسیله (Su، ۲۰۰۲) پیشنهاد شده است و شامل یک سری ابزار برای تعیین پارامترهای فیزیکی سطح زمین مانند آلبیدو، انت شار سطح، دما و پو شش‌گیاهی، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاهان ا ست. در SEBS سرعت اصطکاکی، شار گرمای محسوس و طول پارامتر ایوکوف به‌وسیله حل معادلات غیرخطی به‌دست می‌آید. کسر تبخیر بر اساس تعادل انرژی در مولد محدود کننده انجام می‌شود و در نهایت شار گرمای آشفته با استفاده از تعادل انرژی سطح مشخص می‌شود. در نهایت ET روزانه با استفاده از کسر تبخیر که در طول روز ثابت فرض می‌شود و انرژی دسترس روزانه محاسبه می‌شود. در صورتی که اطلاعات گیاهی در د سترس نبا شد شاخص‌گیاهی و NDVI به عنوان جان شین برای محا سبه پارامتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت برآورد ETa با استفاده از مدل SEBS، نیاز به تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی می‌باشد.

محاسبه میزان آب مصرفی اراضی کشاورزی در گربایگان

با تکیه بر اعتمادپذیری نتایج مدل واسنجی شده‌ی هر سه مدل مقدار مصرف آب اراضی تحت کشت در محدوده‌ای از د شت گربایگان که تحت تأثیر پخش سیلاب قرار دارد محا سبه شد. برای این کار در هر یک از تاریخ‌های دارای تصویر، پیکسل‌هایی که دارای رقم NDVI بالاتر از آستانه خاصی بودند به

1. energy fluxes estimation
2. satellite spectral observations
3. surface emission
4. roughness height

عنوان زمینی که در مرحله‌ای از کشت قرار دارد جداسازی شد. تعیین رقم NDVI آستانه برای زمانهای مختلف متفاوت و از ۰/۲۳ تا ۰/۳ در تغییر بود. برای تعیین حد آستانه NDVI بر روی هر تصویر با بررسی چشمی و با توجه به آشنایی با اراضی تحت کشت و انواع محصولات در زمان مورد نظر، مقادیر آستانه حداقل برای اراضی زراعی و باغی تعیین گردید.

آنگاه با استفاده از دستور شرطی زیر پیکسل‌های با مقدار NDVI بالاتر از حد استانه جداسازی و به عنوان فایل اراضی کشاورزی آن تاریخ در نظر گرفته شد. سپس هیستوگرام هر فایل ایجاد و دو ستون valueو npix آن در هم ضرب شده و جمع کل آنها در جدولی گردآوری شد. این عدد بر ۱۰۰۰ تقسیم (تبدیل میلیمتر به متر) و در ۹۰۰ ضرب (مساحت هر پیکسل لندست ۸) شد تا مقدار آب مصرفی مزارع به متر مکعب در آن تاریخ به دست آمد. برای هر تاریخ یک شیت اکسل تشکیل و آنگاه خلاصه مصرف آب در هر سال آبی برای کل دوره میان یابی شد. میان یابی به این ترتیب بود که ارقام دو تاریخ متوالی برای روزهای بینابینی آن به صورت تقسیم به نسبت باز سازی گردید. در پایان جمع تمام ارقام یک سال آبی به عنوان کل مصرف آب اراضی کشاورزی محدوده جغرافیایی تحت تأثیر پخش سیلاب در نظر گرفته شد.

نتایج

تصاویر ماهواره ای

تصاویر ماهواره ای به کار رفته در دوره این تحقیق به شرح جدول ۱ است.

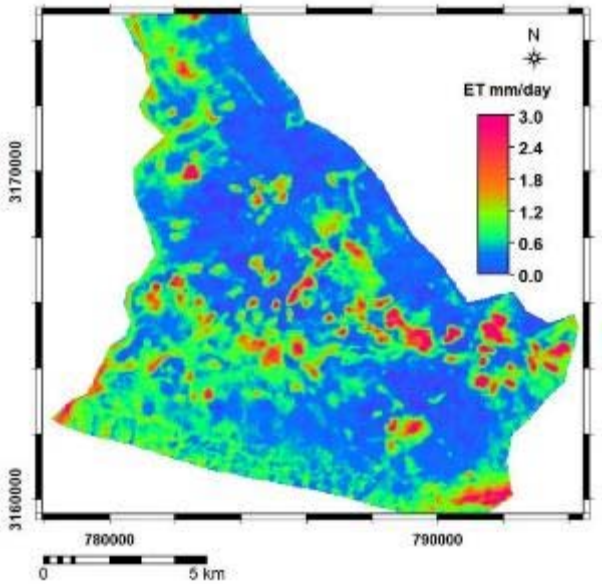
نقشه‌های مورد نیاز واسطه‌ای در تولید نقشه تبخیر-تعرق با استفاده از هر یک از مدلها در محیط انوی برای تمام تاریخهای تصویر تولید شد.

سپس داده‌های مورد نیاز مدل تدارک شد و با کاربرد آنها و نقشه‌های پایه، مدل در حالت واسنجی شده‌ی آن به اجرا درآمد. نتایج نقشه‌های تبخیر-تعرق (ETa) مربوط به برخی تاریخ‌های فصل گرم و سرد در شکل ۲ به زور نمونه برای مدل SEBAL ارائه شده است.

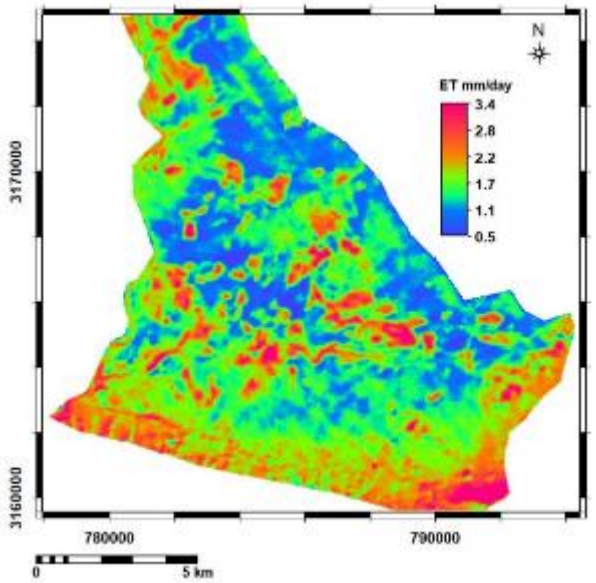
چنانچه در نقشه‌های ارائه شده در شکل ۲ تا۵ ملاحظه می‌شود در تاریخ‌های فصل سرد ارقام ETa بین ۰/۸ تا حداکثر ۲/۳ میلی متر در روز در تغییر است و کمترین آن در دی ماه اتفاق افتاده است. در فصل گرم که از بهمن ماه در منطقه آغاز می‌شود این ارقام بین ۱/۸ در بهمن تا ۵/۶ میلی‌متر در روز تغییرات دارد و بیشترین آن مربوط به اردیبهشت ماه است. بنابراین تغییرات فصلی در حیطه منطقی و توجیه پذیر قرار دارد.

جدول ۱. تصاویر ماهواره ای لندست ۸ به کار رفته در این تحقیق.

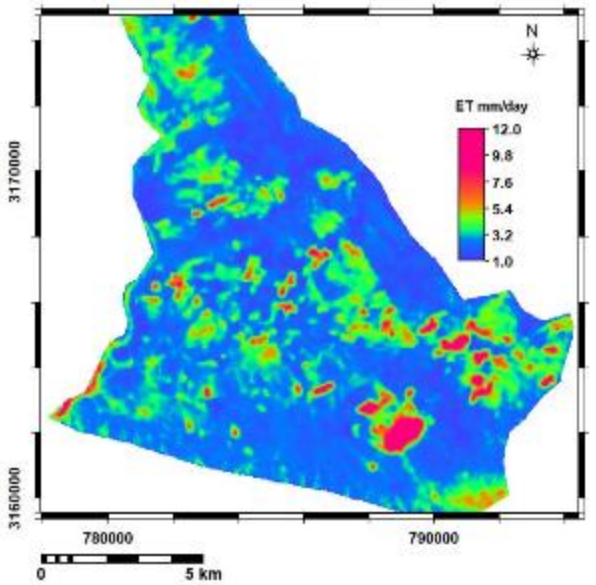
ردیف	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	ردیف	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	ردیف	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی
۱	۱۳۹۷/۸/۱	۰۳/۱۱/۲۰	۳۰	۱۳۹۸/۱۰/	۰۲/۱/۲۰۲	۵۹	۱۴۰۰/۱/۲	۱۰/۴/۲۰۲
۲	۱۳۹۷/۸/۲	۱۹/۱۱/۲۰	۳۱	۱۳۹۸/۱۰/	۱۸/۱/۲۰۲	۶۰	۱۴۰۰/۲/۶	۲۶/۴/۲۰۲
۳	۱۳۹۷/۹/۷	۲۸/۱۱/۲۰	۳۲	۱۳۹۸/۱۱/	۰۳/۲/۲۰۲	۶۱	۱۴۰۰/۲/۲	۱۲/۵/۲۰۲
۴	۱۳۹۷/۹/۲	۱۴/۱۲/۲۰	۳۳	۱۳۹۸/۱۱/	۱۹/۲/۲۰۲	۶۲	۱۴۰۰/۳/۷	۲۸/۵/۲۰۲
۵	۱۳۹۷/۹/۳	۲۱/۱۲/۲۰	۳۴	۱۳۹۸/۱۲/	۰۶/۳/۲۰۲	۶۳	۱۴۰۰/۳/۲	۱۳/۶/۲۰۲
۶	۱۳۹۷/۱۰/	۳۰/۱۲/۲۰	۳۵	۱۳۹۸/۱۲/	۱۳/۳/۲۰۲	۶۴	۱۴۰۰/۴/۸	۲۹/۶/۲۰۲
۷	۱۳۹۷/۱۰/	۰۶/۰۱/۲۰	۳۶	۱۳۹۹/۱/۱	۰۷/۴/۲۰۲	۶۵	۱۴۰۰/۴/۲	۱۵/۷/۲۰۲
۸	۱۳۹۷/۱۱/	۲۲/۰۱/۲۰	۳۷	۱۳۹۹/۲/۴	۲۳/۴/۲۰۲	۶۶	۱۴۰۰/۵/۹	۳۱/۷/۲۰۲
۹	۱۳۹۷/۱۱/	۳۱/۰۱/۲۰	۳۸	۱۳۹۹/۲/۲	۰۹/۵/۲۰۲	۶۷	۱۴۰۰/۵/۲	۱۶/۸/۲۰۲
۱۰	۱۳۹۷/۱۱/	۰۷/۰۲/۲۰	۳۹	۱۳۹۹/۳/۵	۲۵/۵/۲۰۲	۶۸	۱۴۰۰/۶/۱	۰۱/۹/۲۰۲
۱۱	۱۳۹۷/۱۲/	۰۴/۰۳/۲۰	۴۰	۱۳۹۹/۳/۲	۱۰/۶/۲۰۲	۶۹	۱۴۰۰/۶/۲	۱۷/۹/۲۰۲
۱۲	۱۳۹۷/۱۲/	۱۱/۰۳/۲۰	۴۱	۱۳۹۹/۴/۶	۲۶/۶/۲۰۲	۷۰	۱۴۰۰/۷/۱	۰۳/۱۰/۲۰
۱۳	۱۳۹۷/۱۲/	۲۰/۰۳/۲۰	۴۲	۱۳۹۹/۴/۲	۱۲/۷/۲۰۲	۷۱	۱۴۰۰/۷/۲	۱۹/۱۰/۲۰
۱۴	۱۳۹۸/۱/۷	۲۷/۰۳/۲۰	۴۳	۱۳۹۹/۵/۷	۲۸/۷/۲۰۲	۷۲	۱۴۰۰/۸/۱	۰۴/۱۱/۲۰
۱۵	۱۳۹۸/۱/۱	۰۵/۰۴/۲۰	۴۴	۱۳۹۹/۵/۲	۱۳/۸/۲۰۲	۷۳	۱۴۰۰/۸/۲	۱۸/۱۱/۲۰
۱۶	۱۳۹۸/۱/۲	۱۲/۰۴/۲۰	۴۵	۱۳۹۹/۶/۸	۲۹/۸/۲۰۲	۷۴	۱۴۰۰/۹/۱	۰۶/۱۲/۲۰
۱۷	۱۳۹۸/۲/۱	۲۱/۰۴/۲۰	۴۶	۱۳۹۹/۶/۲	۱۴/۹/۲۰۲	۷۵	۱۴۰۰/۱۰/	۲۲/۱۲/۲۰
۱۸	۱۳۹۸/۲/۱	۰۷/۰۵/۲۰	۴۷	۱۳۹۹/۷/۹	۳۰/۹/۲۰۲	۷۶	۱۴۰۰/۱۰/	۰۷/۱/۲۰۲
۱۹	۱۳۹۸/۲/۲	۱۴/۰۵/۲۰	۴۸	۱۳۹۹/۷/۲	۱۶/۱۰/۲۰	۷۷	۱۴۰۰/۱۱/	۲۳/۱/۲۰۲
۲۰	۱۳۹۸/۳/۲	۲۳/۰۵/۲۰	۴۹	۱۳۹۹/۸/۱	۰۱/۱۱/۲۰	۷۸	۱۴۰۰/۱۱/	۰۸/۲/۲۰۲
۲۱	۱۳۹۸/۳/۹	۳۰/۰۵/۲۰	۵۰	۱۳۹۹/۸/۲	۱۷/۱۱/۲۰	۷۹	۱۴۰۰/۱۲/	۲۴/۲/۲۰۲
۲۲	۱۳۹۸/۳/۱	۰۸/۰۶/۲۰	۵۱	۱۳۹۹/۹/۱	۰۳/۱۲/۲۰	۸۰	۱۴۰۰/۱۲/	۱۲/۳/۲۰۲
۲۳	۱۳۹۸/۳/۲	۱۵/۰۶/۲۰	۵۲	۱۳۹۹/۱۰/	۲۶/۱۲/۲۰	۸۱	۱۴۰۰/۱۲/	۲۰/۳/۲۰۲
۲۴	۱۳۹۸/۸/۶	۲۸/۱۰/۲۰	۵۳	۱۳۹۹/۱۰/	۰۴/۱/۲۰۲			
۲۵	۱۳۹۸/۷/۲	۱۴/۱۰/۲۰	۵۴	۱۳۹۹/۱۱/	۲۰/۱/۲۰۲			
۲۶	۱۳۹۸/۸/۸	۳۰/۱۰/۲۰	۵۵	۱۳۹۹/۱۱/	۰۵/۲/۲۰۲			
۲۷	۱۳۹۸/۸/۱	۰۶/۱۱/۲۰	۵۶	۱۳۹۹/۱۲/	۲۸/۲/۲۰۲			
۲۸	۱۳۹۸/۹/۱	۰۱/۱۲/۲۰	۵۷	۱۳۹۹/۱۲/	۰۹/۳/۲۰۲			
۲۹	۱۳۹۸/۱۰/	۲۴/۱۲/۲۰	۵۸	۱۴۰۰/۱/۵	۲۵/۳/۲۰۲			



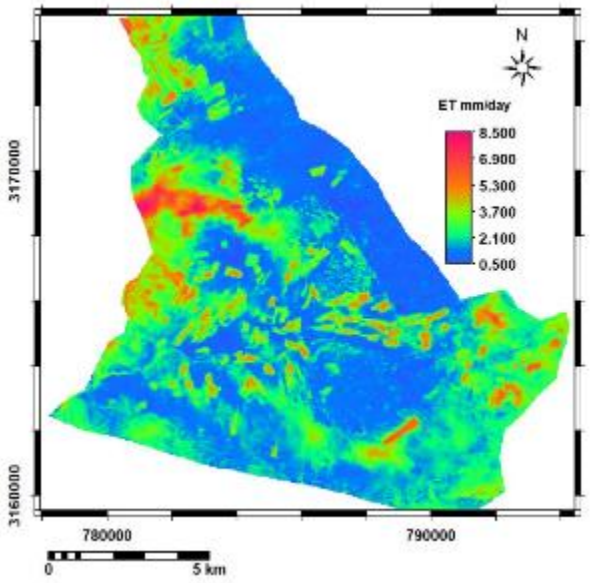
شکل ۲- نقشه تبخیر-تعرق منطقه گربایگان فسا با استفاده از مدل SEBAL ۲۰۱۹/۱۲/۰۱ برابر ۱۳۹۸/۹/۱۰.



شکل ۳- نقشه تبخیر-تعرق منطقه گربایگان فسا با استفاده از مدل SEBAL ۲۰۲۱/۱۲/۲۲ برابر ۱۴۰۰/۱۰/۱



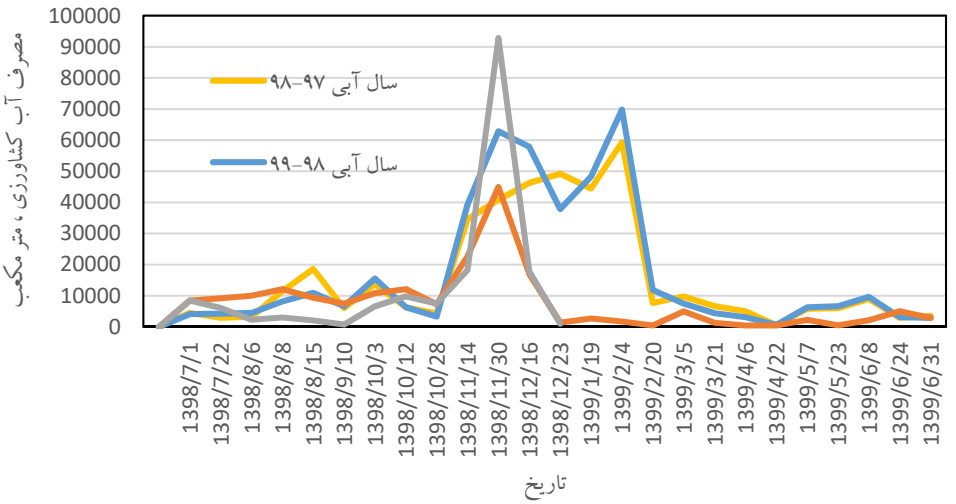
شگل ۴- نقشه تبخیر-تعرق منطقه گربایگان فسا با استفاده از مدل SEBAL ۲۰۲۰/۶/۱۰ برابر ۱۳۹۹/۳/۲۱.



شکل۵- نقشه تبخیر-تعرق منطقه گربایگان فسا با استفاده از مدل SEBAL ۲۰۲۲/۳/۱۲ برابر ۱۴۰۰/۱۲/۲۱.

میزان آب مصرفی اراضی کشاورزی

مقدار مصرف آب اراضی تحت کشت در محدوده‌ای از دشت گربایگان که تحت تأثیر پخش سیلاب قرار دارد به ترتیبی که در مبحث روش تحقیق تبیین شده بود محا سبه و نمودار تغییرات آن در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶. تغییرات مصرف آب کشاورزی در محدوده تحت تأثیر پخش سیلاب گربایگان.

جمع بندی میزان مصرف آب برای سال‌های مختلف این تحقیق در جدول ۲ گردآوری شده است.

جدول ۲. محاسبات میزان مصرف آب اراضی کشاورزی بر اثر تبخیر-تعرق.

دوره مصرف	مصرف خالص آب، MCM			میزان بارش، mm
	SEBAL	METRIC	SEBS	
سال آبی ۹۸-۹۷	۴۹۲۰۷۵۷	۵۵۹۱۷۶۹	۵۸۸۶۰۷۳	۲۵۶
سال آبی ۹۹-۹۸	۵۳۲۴۹۵۲	۶۰۵۱۰۸۲	۶۳۶۹۵۶۰	۴۳۵
سال آبی ۱۴۰۰-۹۹	۲۴۷۸۹۰۴	۲۸۱۶۹۳۶	۲۹۶۵۱۹۶	۶۶
نیمه دوم ۱۴۰۰	۲۱۴۶۶۰۲	۲۴۳۹۳۲۰	۲۵۶۷۷۰۵	۶۹

چنانچه ملاحظه می‌شود مصرف آب در سال‌های آبی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ به هم نزدیک بوده و رقمی در نزدیکی ۵ میلیون متر مکعب قرار دارد. این مصرف در سال آبی ۱۴۰۰-۹۹ به نصف تلقیق یافته و در نیمه دوم سال ۱۴۰۰ دوباره افزایش یافته است. داده‌های همزمان بارش در ایستگاه تحقیقات آبخوانداری کوثر نیز همین روند را نشان می‌دهد. بالاترین مصرف آب مربوط به سال آبی ۹۹-۹۸ است با بالاترین بارش یعنی ۴۳۵ میلی‌متر همراه بوده است. بنابر این تغییرات مصرف آب حاصل از مدل از یک روند منطقی پیروی می‌کند.

فصل چهارم: نتیجه گیری

امروزه به‌طور فزاینده از مدل‌های ریاضی به‌عنوان ابزاری موثر جهت شبیه‌سازی و مدیریت بهینه منابع‌آب استفاده می شود. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت محاسبه تبخیر-تعرق، دارای کاربردهای گوناگونی از جمله بررسی کارایی آب در اراضی کشاورزی، بررسی بیلان‌حوضه و مدیریت توسعه آبیاری است. همین امر لزوم استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور را گوشزد می‌کند که طی دهه‌های گذشته بشدت در مطالعات بکار برده می‌شوند. مدل‌های بیلان انرژی از اطلاعات تصاویر دیجیتال جمع‌آوری شده به‌وسیله سنجنده لندست که تابش مادون قرمز حرارتی، تابش مرئی و تابش مادون قرمز نزدیک را از سطح زمین ثبت می‌کنند، استفاده می‌کند. در این پژوهش سعی شد تا مقادیر تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از مدل‌های توازن انرژی و به صورت پیکسل به پیکسل در زمان اخذ تصویر ماهواره‌ای و برای هر تصویر محاسبه شود. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشانگر آن است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم های بیلان انرژی ابزار مناسبی جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی بوده و نتایج به‌دست آمده می‌تواند مبنای تصمیمات برنامه‌ریزی و مدیریت قرار گیرد.

آگاهی از میزان تبخیر-تعرق واقعی (ETa) انواع پوشش‌گیاهی از مهم‌ترین نیازهای حل معادله بیلان‌آبی در ارزیابی میزان مصرف آب است. روش‌های سنتی برآورد ET متکی به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای از عامل‌های مؤثر بوده و نتایج آن به‌درستی نمی‌تواند برای پهنه‌های وسیع نمایندگی کند (Allen et al 2011). همچنین به دلیل عدم مشابهت در پوشش زمین، پستی و بلندی و نیز بدلیل پیچیدگی در انتقال جریان گرما به خوبی قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد (Su 2002). بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه به مشکلاتی که در روش‌های بیلان رطوبتی (مثل نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه بالا داشتن، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریبا عدم امکان استفاده از لایسیمتر) وجود دارد و مزایایی که استفاده از ماهواره (تحت پوشش دادن سطح وسیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای

کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود. اما مشکل اصلی در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ این است که هر ۱۶ روز یک بار از نقطه محل اجرای طرح عبور می‌نماید و با این روش نمی‌توان برای تعداد روزهای بیشتری از دوره رشد، تبخیر- تعرق را برآورد نمود اگر بتوان در آینده این مشکل به طریقی حل شود به‌طوریکه بتوان در هر مرحله از رشد تصاویر بیشتری دریافت کرد می‌توان گفت که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با مزایایی که دارد بهترین روش در برآورد تبخیر-تعرق واقعی در این منطقه می‌باشد. دمای سطح زمین از جمله مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در اجزاء بیلان‌آبی در سطح حوزه‌آبریز می‌باشد. تولید نقشه‌های دمای سطح زمین نیاز به باندهای حرارتی دارد که توان تفکیک زمینی پایین داشته و یا در فواصل زمانی طولانی در اختیار محققان قرار می‌گیرد. استفاده از فن سنجش از دور در این زمینه بسیار کارآمد بوده و تصاویر چند زمانه ماهواره‌ها با توجه به سطح پوشش وسیع و قدرت تفکیک زمانی قابل قبول کاربرد زیادی در این زمینه دارند. تصاویر ماهواره‌ای اغلب بصورت خام به کاربران ارائه می شود و برای بکارگیری آنها در مطالعات مختلف باید تصحیحات لازم (هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی) بر روی آنها صورت بگیرد. تصحیح اتمسفری به علت اثر جو بر بازتاب حاصل از پدیده‌های سطح زمین و اثر آن بر نتیجه بد ست آمده از شاخص‌های گیاهی، در مرحله پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مراحل اساسی می‌باشد. این مهم در استفاده از تصاویر چند زمانه به علت تفاوت در شرایط جوی، تغییر در زاویه تابش خورشید در هنگام تصویر برداری برای پی بردن به تغییرات واقعی اهمیت بیشتری می‌یابد. به‌منظور کاهش اثر جو در تصاویر چند زمانه از الگوریتم‌های مختلف تصحیح اتمسفری و نرمال‌سازی رادیومتریکی استفاده می‌شود.

از سوی دیگر پدیده فرارفت در مناطق خشک و نیمه خشک تاثیر شناخته شده‌ای بر افزودن به مقدار تبخیر-تعرق دارد. عامل اصلی آن خشک بودن مناطق همجوار کشتزارها و انتقال انرژی گرمایی در اثر وزش باد به کشتزارها ست و هر چه ارتفاع گیاهان بیشتر باشد اندازه این مقدار انرژی بیشتر است. از آنجا که در روش‌های رایج محاسبه ی ETo به دلیل توجه صرف به مقدار انرژی گرمایی موجود در محیط، ETo کمتر از واقعیت تخمین زده شده و این موضوع در تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است (Majnoni-Heris et al 2009، Pakparvar et al 2014، Pereira et al 2015، Razzaghi and Sepaskhah 2012). کاربرد مدل‌های توازن انرژی سطحی همراه با سنجش از دور افزون بر امتیاز پهنه‌ای بودن که خطای تعمیم یک نقطه به پهنه وسیع را حذف نموده، این برتری را دارد که انرژی موجود در محیط را از هر منبع (تابش خورشید یا انتقال یافته با پدیده فرارفت) در نظر گرفته و معادله بیلان را بر این اساس حل می‌کند. پراکنش مختلف تاج پوشش‌گیاهی در کشت‌های مختلف و همچنین غیر یکنواخت بودن سطح تر شده در زمان آبیاری از جمله عوامل ایجاد اختلاف در ارتباط ETo با ETc از طریق متفاوت بودن Kc است. در این زمینه نیز با توجه به تولید لایه درصد زمین پوشیده از گیاه با

سنجش از دور، تنوع مکانی تاج پوشش و میزان متفاوت رطوبت مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. استفاده از لایسیمتر به عنوان یک روش مستقیم و معتبر برآورد (ETo) تبخیر و تعرق گیاه مرجع مطرح می‌باشد. با این حال در اکثر مطالعات به دلیل کمبود داده های لایسیمتری، استفاده از فرمول های ارائه شده توسط افراد مختلف، که معتبرترین آنها فائو پنمن- مانتیس است، رایج می باشد. لذا لازم است که جهت برآورد هر چه دقیق تر و واقعی‌تر (ETo) مقادیر به دست آمده از روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمترها اصلاح شوند.

پیشنهادها

مواردی که جهت انجام مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد در ادامه ارائه شده است.

- تأسیس امکاناتی از جمله لایسیمتر و برج‌های اندازه‌گیری شارهای سطحی (ادی کوواریانس)، به منظور ارزیابی روش‌های موجود برآورد تبخیر- تعرق واقعی مبتنی بر تکنیک سنجش از دور در منطقه
- استفاده از داده‌های هواشناسی ساعتی و حتی الامکان بازه‌های زمانی کوتاهتر
- به منظور بهبود قدرت تفکیک زمانی نقشه‌های تبخیر-تعرق حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۱۶ روز، پیشنهاد می‌شود از تصاویر سنجنده‌هایی با بازه زمانی کوتاه تر مانند مودیس و روش‌های ریز مقیاس کردن استفاده شود.
- ایستگاه هواشناسی خودکار مجهز به ارسال اینترنتی در منطقه ایجاد شود.
- در فاز بعدی این تحقیق میزان ورودی خروجی آب به شبکه پخش سیلاب اندازه گیری تا با مقایسه با بردا شت آب تو سط مزارع م ستقر بر ارا ضی تحت تأثیر پخش سیلاب، میزان سالانه تغذیه به سفره مشخص گردد.

منابع

- امیدوار، جواد، سهیلا نوری، کامران داوری و علیرضا فرید حسینی. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر-تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهوارهای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۲)، ۲۲-۱۱.
- پریوش، پریداد و کامران داوری. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم سیستم انرژی بیلان سطح (SEBS) در برآورد تبخیر ـــ تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.

- پورمحمدی، سمانه، محمدتقی دستورانی، مختاری، محمد حسن و محمد حسن رحیمیان. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه بندی تبخیر-تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴(۱۳)، ۳۰-۲۱.
- رضائی، مریم, هدی قاسمیه و خدایار عبدالهی, ۱۳۹۹. کاربرد مدل متریک برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی ماهانه حوزه آبخیز ونک با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱(۳)، ۶۱-۴۰.
- زارع خورمیری، هادی، علی طویلی، حمیدرضا غفاریان مالمیری، ۱۴۰۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) و مقایسهٔ آن با تبخیر و تعرق استاندارد فائو ۵۶ بهبودیافته با رابطهٔNDVI-KC . سنجش از دور و GIS ایران، ۱۳ (۳). ۹۲-۷۳.
- عباس نژاد الچین، احمد، علی اصغر درویش صفت و جواد بذرافشان، ۱۳۹۹. تهیه و ارزیابی نقشه‌های تبخیر و تعرق براساس داده‌های ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SEBAL در جنگل‌های هیرکانی (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های پل‌سفید و کیاسر)، جنکل و فرآورده‌های چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، ۷۳(۳)، ۲۷۰-۲۵۹.
- عمادزاده، مریم. ۱۳۸۶ .کاربرد سنجش ازدور در تخمین کارایی آب در مقیاس حوضه ای (مطالعه موردی در زیر حوضه قره سو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- غلامی سفید کوهی، محمد علی و مجید میر لطفی. ۱۳۸۸. محاسبه تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- قربانی، اردوان، محمد فرامرزی، جلال کرمی، نبی الله غلامی و بهروز سبحانی. ۱۳۹۴. ارزیابی مقایسه ای الگوریتم‌های سبال و متریک در برآورد تبخیر-تعرق: مطالعه موردی شهرستان ملایر. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۹(۲)، ۱۸۴-۱۵۳.
- قمرنیا، هوشنگ و سید وحیدالدین رضوانی. ۱۳۹۳ محاسبه و پهنه بندی تبخیر- تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان دربند)، آب و خاک، ۲۸(۱)، ۸۱-۷۲.
- قهاری، غلامرضا و مجتبی پاک پرور. ۱۳۹۹. تعیین آب مصرفی انواع پوشش گیاهی با مدل های بیلان انرژی و سنجش از دور در دشت گربایگان. گزارش پروژه تحقیقاتی به سفارش دفتر پژوهشهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی فارس با کد سمات ۱۳۸۵۰۱-۱۵۳۹۸، ۹۲ص.
- کریمی، علیرضا، بهمن فرهادی بانسوله، و همایون حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقهای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۴)، ۳۶۴-۳۵۳.

- محسنی ساروی، محسن، حسن احمدی و کاظم نصرتی. ۱۳۸۹. کاربرد مدل SEBAL در براورد تبخیر-تعرق در حوزه آبخیز طالقان. اولین کنفرانس بین المللی مدلســـازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.
- مرشدی، علی، مهدی نادری, سید حسن طباطبایی و جهانگرد محمدی. ۱۳۹۶, برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای به کمک داده‌های سنجش از دور در دشت شهرکرد (ب) مقایسه نتایج مدل‌های SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدل‌های ریاضی تبخیر-تعرق. فصلنامه علوم آب و خاک، ۲۱ (۳)، ۵۵-۴۵.
- میریعقوب زاده، میرحسن، کریم سلیمانی، محمود حبیب نژاد روشن، کاکا شاهدی، کریم عباسپور، و سمیرا اخوان. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز تمر، گلستان. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۵)، ۱۰۲-۸۹.
- نظری، رستا و عباس کاویانی، ۱۳۹۶. مقایسهٔ نتایج تخمین تبخیر-تعرق واقعی حاصل از مدل‌های متریک و سبال، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مودیس و ETM+. سنجش از دور و GIS ایران، ۹(۱)، ۷۴-۶۳.
- ولیزاده کامران، خلیل، مریم لنگ باف، ۱۳۹۷. برآورد تبخیر- تعرق واقعی ذرت با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای و مدل سبال در منطقه خوزستان. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۶۸.
- یعقوبی فشکی، مجید، رسول قبادیان و حسین عقیقی. ۱۳۸۸. کاربرد روش سبال (SEBAL)در محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- Allen, R. G., B. Burnett, W. Kramber ,J. Huntington, J. Kjaersgaard et al., 2013 Automated Calibration of the METRIC-Landsat Evapotranspiration Process. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 49: 563-576.
- Allen, R. G., Bastiaanssen, W., Tasumi, M., & Morse, A. (1998a). Evapotranspiration on the watershed scale using the SEBAL model and Landsat images. In 2001 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, T. A. Howell and M. E. Jensen, 2011 Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management 98: 899-920.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998b). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Allen, R. G., Tasumi, M., and Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. Journal of irrigation and drainage engineering, 133(4), 380-394. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380).

- Allen, R., A. Irmak, R. Trezza, J. M. Hendrickx, W. Bastiaanssen, and J. Kjaersgaard. 2011. "Satellite-Based ET Estimation in Agriculture Using SEBAL and METRIC." Hydrological Processes 25 (26): 4011–4027. doi.org/10.1002/hyp.8408
- Antonopoulos, V. Z., and Antonopoulos, A. V. (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. Computers and Electronics in Agriculture, 132, 86-96 .doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.011
- Bashir, M. A., Hata, T., Tanakamaru, H., Abdelhadi, A. W., and Tada, A. (2008). Satellite-based energy balance model to estimate seasonal evapotranspiration for irrigated sorghum: a case study from the Gezira scheme, Sudan. Hydrology and Earth System Sciences, 12(4), 1129-1139. doi.org/10.5194/hess-12-1129-2008, 2008.
- Bastiaanssen, W. G. M. (2000). "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey." J. Hydrol., 229, 87–100.
- Bastiaanssen, W. G. M., M. Menenti, R. A. Feddes and A. A. M. Holtslag, (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology 212-213: 198-212 .
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B. P., and Allen, R. G. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. Journal of irrigation and drainage engineering, 131(1), 85-93. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)
- Bezerra, B. G., B. B. da Silva, C. A. dos Santos, and J. R. Bezerra. (2015). "Actual Evapotranspiration Estimation Using Remote Sensing: Comparison of SEBAL and SSEB Approaches." Advances in Remote Sensing 04 (03): 234–247. doi: 10.4236/ars.2015.43019
- Courault, D., B. Seguin and A. Olioso, (2005) Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. Irrigation and Drainage Systems 19: 223-249.
- Elkatoury, A., Alazba, A. A., and Abdelbary, A. (2020). Evaluating the performance of two SEB models for estimating ET based on satellite images in arid regions. Arabian Journal of Geosciences, 13(2), 1-19. doi:10.1007/s12517-019-5019-3
- Ghaderi, A., M. Dasineh, M. Shokri, and J. Abraham. 2020. Estimation of Actual Evapotranspiration Using the Remote Sensing Method and SEBAL Algorithm: A Case Study in Ein Khosh Plain, Iran. Hydrology 7, no. 2: 36. https://doi.org/10.3390/hydrology7020036
- Liu Q, Yasufuku N, Miao J, and Ren J, (2014), An approach for quick estimation of maximum height of capillary rise: Soils and Foundations, v. 54, no. 6, p. 1241-1245.
- Liu, S. M., Xu, Z. W., Wang, W., Jia, Z. Z., Zhu, M. J., Bai, J., and Wang, J. M. (2011). A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance closure problem. Hydrology and Earth System Sciences, 15(4), 1291-1306. doi.org/10.5194/hess-15-1291-2011, 2011.
- Mao, Y., and Wang, K. (2017). Comparison of evapotranspiration estimates based on the surface water balance, modified Penman-Monteith model, and reanalysis data sets for continental China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(6), 3228-3244. doi.org/10.1002/2016JD026065

- McCabe, M. F., and E. F. Wood, 2006 Scale influences on the remote estimation of evapotranspiration using multiple satellite sensors. Remote Sensing of Environment 105: 271-285.
- Menenti, M., and B. J. Choudhury (Editors), (1993) Parameterization of land surface evapotranspiration using a location dependent potential evapotranspiration and surface temperature range. IAHS Publ 212.
- Mokhtari, M. H., B. Ahmad, H. Hoveidi and I. Busu, (2013) Sensitivity Analysis of METRIC–Based Evapotranspiration Algorithm. International Journal of Environmental Research 7: 407-422.
- Mondal I, Thakur S, De A, and De TK, (2022), Application of the METRIC model for mapping evapotranspiration over the Sundarban Biosphere Reserve, India: Ecological Indicators, v. 136, p. 108553
- Norman, J. M., W. P. Kustas and K. S. Humes, (1995). Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. Agricultural and Forest Meteorology 77: 263-293.
- Overgaard, J., D. Rosbjerg and M. Butts, B, (2006). Land-surface modelling in hydrological perspective—a review. Biogeosciences 3: 229-241.
- Pakparvar, M., 2015 Evaluation of floodwater spreading for groundwater recharge in Gareh Bygone Plain, southern Iran, pp. 252 in Soil Management Dept., Faculty of Bioscience Engineering. Ghent University, Ghent, Belgium.
- Pakparvar, M., W. Cornelis , L. S. Pereira, D. Gabriels, H. Hosseinimarandi et al., (2014). Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data. J. of Hydroinformatics 16: 1441-1460.
- Pereira, L. S., R. Allen, M. Smiith and D. Raes, (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management 147: 4-20.
- Pôças, I., M. Cunha, L. S. Pereira and R. G. Allen, (2013). Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21: 159-172.
- Qahari, Gh., and Pakparvar, M. (2021). Determining the water consumption of different types of vegetation with energy balance models and remote sensing in Dasht Garbaigan, final report of the research project, 92 p .(In Persian)
- Ramos, J. G., Cratchley, C. R., Kay, J. A., Casterad, M. A., Martínez-Cob, A., and Dominguez, R. (2009). Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of NE Spain. Agricultural water management, 96(4), 638-652. doi.org/10.1016/j.agwat.2008.10.001
- Rawat, K. S., Bala, A., Singh, S. K., and Pal, R. K. (2017). Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A case study from Bhiwani District of Haryana, India. Agricultural water management, 187, 200-209. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.015

- Rawat, K. S., Singh, S. K., Bala, A., and Szabó, S. (2019). Estimation of crop evapotranspiration through spatial distributed crop coefficient in a semi-arid environment. Agricultural Water Management, 213, 922-933. doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.002
- Roerink, G. J., Z. Su and M. Menenti, (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere 25: 147-157.
- Sattari, M. T., Ahmadifar, V., Delirhasannia, R., and Apaydín, H. (2021). "Estimation of Pan Evaporation Coefficient in Cold and Dry Climate Conditions with a Decision-Tree Model." Atmosfera 34 (3): 289–300. doi.org/10.20937/ATM.52777
- Sattari, M. T., Apaydin, H., Band, S. S., Mosavi, A., and Prasad, R. (2021). Comparative analysis of kernel-based versus ANN and deep learning methods in monthly reference evapotranspiration estimation. Hydrology and Earth System Sciences, 25(2), 603-618. doi.org/10.5194/hess-25-603-2021
- Seneviratne, S. I., Koster, R. D., Guo, Z., Dirmeyer, P. A., Kowalczyk, E., Lawrence, D., and Verseghy, D. (2006). Soil moisture memory in AGCM simulations: analysis of global land–atmosphere coupling experiment (GLACE) data. Journal of Hydrometeorology, 7(5), 1090-1112. https://doi.org/10.1175/JHM533.1
- Shamloo, N., Taghi Sattari, M., Apaydin, H., Valizadeh Kamran, K., and Prasad, R. (2021). Evapotranspiration estimation using SEBAL algorithm integrated with remote sensing and experimental methods. International Journal of Digital Earth, 14(11), 1638-1658. (In Persian). doi: 10.1080/17538947.2021.1962996
- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., and Liu, Z. (2011). Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4), 1086-1092. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.039
- Tasumi M, (2019). Estimating evapotranspiration using METRIC model and Landsat data for better understandings of regional hydrology in the western Urmia Lake Basin: Agricultural Water Management, v. 226, p. 105805
- Tasumi M, Allen RG, and Trezza R, (2008). At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance: Journal of Hydrologic Engineering, v. 13, no. 2, p. 51-63
- Valayamkunnath, P., Sridhar, V., Zhao, W., and Allen, R. G. (2018). Intercomparison of surface energy fluxes, soil moisture, and evapotranspiration from eddy covariance, large-aperture scintillometer, and modeling across three ecosystems in a semiarid climate. Agricultural and Forest Meteorology, 248, 22-47. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.025
- van der Kwast, J., W. Timmermans, A. Gieske, Z. Su, A. Olioso et al., (2009). Evaluation of the Surface Energy Balance System (SEBS) applied to ASTER imagery with flux-measurements at the SPARC 2004 site (Barrax, Spain). Hydrol. Earth Syst. Sci. 13: 1337-1347.
- Waters R, Allen RG, and Bastiaanssen WGM, (2002). SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho Implementation: Advanced Training and Users Manual, Idaho, USA

- Yamac, S. S. (2021). "Reference Evapotranspiration Estimation with kNN and ANN Models Using Different Climate Input Combinations in the Semi-Arid Environment." Journal of Agricultural Sciences 27 (2): 129–137. doi:10. 15832/ankutbd.630303.
- Yang L, Li J, Sun Z, Liu J, Yang Y, and Li T, 2022, Daily actual evapotranspiration estimation of different land use types based on SEBAL model in the agro-pastoral ecotone of northwest China: PLOS ONE, v. 17, no. 3, p. e0265138
- Zamani Losgedaragh S, and Rahimzadegan M, (2018). Evaluation of SEBS, SEBAL, and METRIC models in estimation of the evaporation from the freshwater lakes (Case study: Amirkabir dam, Iran): Journal of Hydrology, v. 561, p. 523-531

امکان سنجی کاربرد انرژی تابش خورشیدی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و روش SEBAL (مطالعه موردی: دشت چنداب)

رحمان شریفی[۱]،سمیه محرمی*[۲]، میرمسعودخیرخواه زرکش[۳]، مجتبی پاک پرور[۴]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، ورامین، ایران.

۲*- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، تهران، ایران.

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، شیراز، ایران.

چکیده

خورشید تأمین کننده انرژی برای همه فرایندهای زیستی انسان بوده و برای تداوم بقا ضروری می باشد. کاربرد تصاویر ماهواره ای و مدل های سنجش از دور به عنوان تکنیکی مناسب و کم هزینه برای ارزیابی انرژی خورشیدی در سال های اخیر مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. پژوهش حاضر با بکارگیری الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای زمین (SEBAL) و با استفاده از داده های تصاویر ماهواره ای Landsat-8 مقدار انرژی تابش خورشیدی رسیده به زمین، در بخشی از دشت چنداب استان تهران در بازه زمانی سال ۲۰۲۰ محاسبه گردید. الگوریتم SEBAL، روش نسبتاً جدیدی است که در اکثر نقاط دنیا برای برآورد تبخیر و تعرق و سایر جریان های گرمایی و همچنین دمای سطح مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبولی نیز ارائه کرده است. عملیات پیش پردازش شامل تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریک در نرم افزار ENVI 5.6 برروی تمام باندهای تصاویر دریافتی در این بازه زمانی صورت پذیرفت.نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین درصد توزیع تابش خالص در محدوده ۵۹۲- $W\ m^{-2}$ ۵۲۵ با ۵۸/۶۴ در بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۶/۱۵ و کمترین درصد توزیع تابش خالص در بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۸/۱۸ در محدوده ۶۵۳ $W\ m^{-2}$-۷۹۹ با مقدار ۱/۴۷ درصد بوده است. باتوجه به دامنه حساسیت سلول های فتوولتائیک تا ۱۰۰۰ $W\ m^{-2}$ به مقدار تابش، در منطقه مورد مطالعه می توان نتیجه گرفت که این منطقه قابلیت اجرای طرح های فتوولتائیک خورشیدی را جهت بهره مندی از تابش خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک را دارا است. بنابراین شناسایی نواحی پرتابش جهت معرفی به مراجع ذیربط امری ضروری می باشد.

واژه‌های کلیدی:

انرژی تابش خورشیدی، تصاویر ماهواره ای، سلول های فتوولتائیک، SEBAL.

مقدمه

خورشید، به منزلهٔ منبع انرژی، سرآغاز حیات و منشأ همهٔ انرژی های دیگر شناخته شده است. انرژی حاصل از تابش خورشیدی می‌تواند جایگزینی برای سوخا های فسیلی باشد؛ به ویژه اینکه کاربرد این سرچشمهٔ انرژی عاری از آلودگی های زیست محیطی است. تابش خورشیدی که به زمین می رسد تحت تأثیر عوامل جوی (مانند مولکول های هوا، بخار آب و ابر) و عوامل محیطی (مانند شیب، جهت شیب، سایه زمین و پوشش سطح) قرار دارد بنابراین ارزیابی تابش خورشید جهانی[۷](GSR) در زمین های ناهموار پیچیده است (Yeom و همکاران، ۲۰۱۶؛ Shi و همکاران، ۲۰۱۸). داده های GSR یکی از متغییرهای حیاتی در کاربردهای مربوط به هیدرولوژی، هواشناسی، کشاورزی و انرژی‌های تجدیدپذیر است. با این حال، داده‌های مربوط به GSR روزانه در بسیاری از نقاط سراسر جهان در دسترس نیستند (Jahani و همکاران، ۲۰۱۷). فقدان داده های GSR منجر به توسعه چندین روش برای تخمین تابش خورشیدی مانند شبکه عصبی مصنوعی (Amrouche و همکاران، ۲۰۱۴؛ Behrang و همکاران، ۲۰۱۰)، مدل های تجربی (Chen، ۲۰۱۹؛ Fan و همکاران، ۲۰۱۸)، الگوریتم تصادفی (Voyant و همکاران، ۲۰۱۴) و روش های مبتنی بر تصاویر ماهواره ای (Lu و همکاران، ۲۰۱۱) شده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی[۸](GIS) و تکنیک های سنجش از دور روش های جدیدی برای تخمین تابش خورشیدی ارائه کرده است. استفاده از داده های سنجش از دور و دانش هواشناسی، برای محاسبه شار آب و گرما در مقیاس روزانه امکان پذیر بوده و به طور گسترده بکار می رود (Usman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Yin، ۲۰۱۴). الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای مدل زمین[۹](SEBAL)(Bastiansen و همکاران، ۱۹۹۸) در حال حاضر یک روش مهم برای تخمین شار آب و گرما است. Liu (۲۰۰۸) بیان نمود که مدل SEBAL به GSR روزانه حساس است. بنابراین GSR یک پارامتر ورودی مهم برای تبخیر و تعرق با استفاده از مدل SEBAL است. تکنیک های سنجش از دور به دلیل دقت و سرعت بالا در برآورد مقادیر تابش خالص می توانند جایگزین مناسبی برای روش های تجربی و قدیمی در این زمینه باشند. مباشری و خاوریان (۱۳۸۳) در بررسی تجزیه و تحلیل روش های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق بیان نمودند که مدل SEBAL در مقایسه با مکانیزم بازخور داده های ماهواره ای و تکنیک استفاده از فرآیندهای بیوفیزیکی علاوه بر اینکه کم ترین وابستگی را به داده های زمینی دارد، در صورتی که از ماهواره با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا استفاده شود در مقایسه با دو روش دیگر بهترین جواب را برای محاسبه تابش خورشیدی ارائه خواهد کرد. هاتفی اردکانی و رضایی

7 Global Solar Radiation
8 Geographical Information System
9 Surface Energy Balance Algorithm for Land

مقدم (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از الگوریتم SEBAL به بررسی امکان سنجی استفاده از تابش خالص خورشیدی جهت تامین روشنایی بزرگراه زنجان- تبریز پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که به دلیل تنوع توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از تابش خالص سطحی متنوعی برخوردار است و امکان بکارگیری سیستم های فتوولتائیک خورشیدی جهت تأمین روشنایی در این بزرگراه وجود دارد.
در این بررسی با استفاده از داده های ماهواره Landsat-8 امکان سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در دشت چنداب با کمک الگوریتم SEBAL مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الف- موقعیت محل اجرای تحقیق

دشت چنداب در شهرستان پاکدشت با موقعیت جغرافیایی ۲۵ و ۵۱ تا ۴۷ و ۵۲ طول شرقی و ۲۲ و ۳۵ تا ۲۹ و ۳۵ عرض شمالی در شرق شهرستان پاکدشت قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در مساحتی حدود ۲۰۰۰ هکتار برروی مخروطه افکنه ای با رسوبات درشت دانه باقیمانده از جریانات رودخانه ای دوران چهارم زمین شناسی تشکیل شده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۶۲۰ متر و حداقل ارتفاع در محل خروجی ۸۸۰ متر از سطح دریا می باشد. ارتفاع متوسط ۱۴۸۸ متر است. بارش سالانه ۱۸۷ میلی متر و متوسط تبخیر ۲۵۰۰ میلی متر است. حداقل متوسط دما ۲- و حداکثر ۲۶/۱ درجه سانتی گراد و متوسط شیب منطقه ۵ درصد است. منطقه از لحاظ توپوگرافی در عرصه دشتی وسیع که متصل به کویر مرکزی می باشد واقع شده است و به همین لحاظ می توان آن را به عنوان دروازه ورود به کویر محسوب نمود.

ب- داده های مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI/TIRS[1] مربوط به سال ۲۰۲۰ است که از سایت http://earthexplorer.usgs.gov دانلود شد (جدول ۱). از آنجاییکه تصاویر مربوط به بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۱/۲۳، ۲۰۲۰/۰۳/۲۷، ۲۰۲۰/۱۰/۲۱، ۲۰۲۰/۱۲/۰۸ و ۲۰۲۰/۱۲/۲۴ کاملاً ابری بوده و با توجه به اینکه در الگوریتم SEBAL مقادیر تابش خالص با استفاده از اندازه گیری تابش ورودی خورشید از تصاویر بدون ابر بدست می آید امکان استفاده از تصاویر فوق الذکر مقدور نگردید. این ماهواره شامل ۱۱ باند است که ۹ باند طیفی در محدوده

1 Thermal Infrared Sensor
1 Operational Land Imager

پانکروماتیک، مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۳۰ m و ۲ باند طیفی در محدوده مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ m (۳۰ m متر پس از باز سازی نا سا) ا ست. قدرت تفکیک زمانی داده‌های لندست-۸ هر ۱۶ روز یکبار می‌باشد. از نرم افزار ENVI 5.6 جهت تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریک تصاویر ماهواره ای و همچنین اجرای مدل SEBAL استفاده شد.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره Landsat-8 مورد استفاده

ردیف	گذر	تاریخ تصاویر
35	164	2020/01/07
35	164	2020/02/08
35	164	2020/02/24
35	164	2020/03/11
35	164	2020/04/12
35	164	2020/04/28
35	164	2020/05/14
35	164	2020/05/30
35	164	2020/06/15
35	164	2020/07/01
35	164	2020/08/02
35	164	2020/08/18
35	164	2020/09/03

ج- الگوریتم SEBAL

در الگوریتم SEBAL از داده های تصاویر ماهواره ای در باندهای مرئی، فرو سرخ نزدیک و حرارتی برای برآورد انرژی تابشی خالص، شار حرارتی خاک، شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل در یک تصویر استفاده می شود (Allen و همکاران، ۲۰۰۲). در این روش مقادیر لحظه ای تابش خالص با استفاده از اندازه گیری تابش ورودی خورشید از تصاویر بدون ابر و به کارگیری آلبیدوی سطحی، گسیلمندی سطحی و دمای سطح به دست می آید. برای محاسبه میزان تابش خالص انرژی خورشیدی از رابطه (۱) استفاده می شود (Allen و همکاران، ۲۰۰۲).

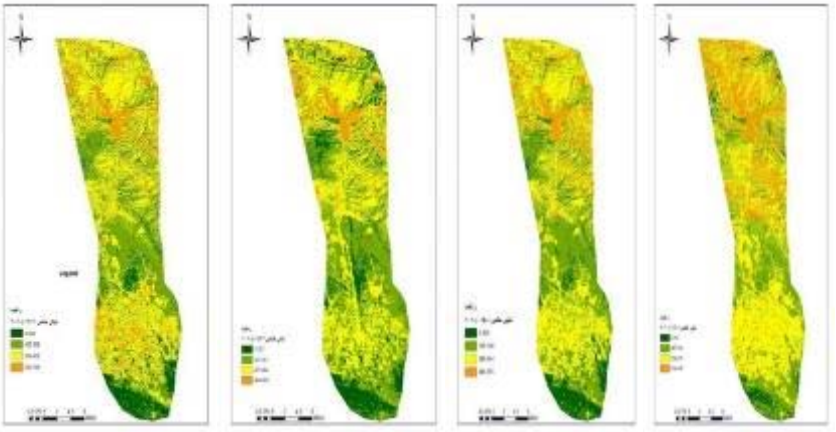
$$R_n = (1-\alpha)R_S\downarrow + R_L\downarrow - R_L\uparrow - (1-\varepsilon_0)R_L\downarrow \qquad \text{رابطه (۱)}$$

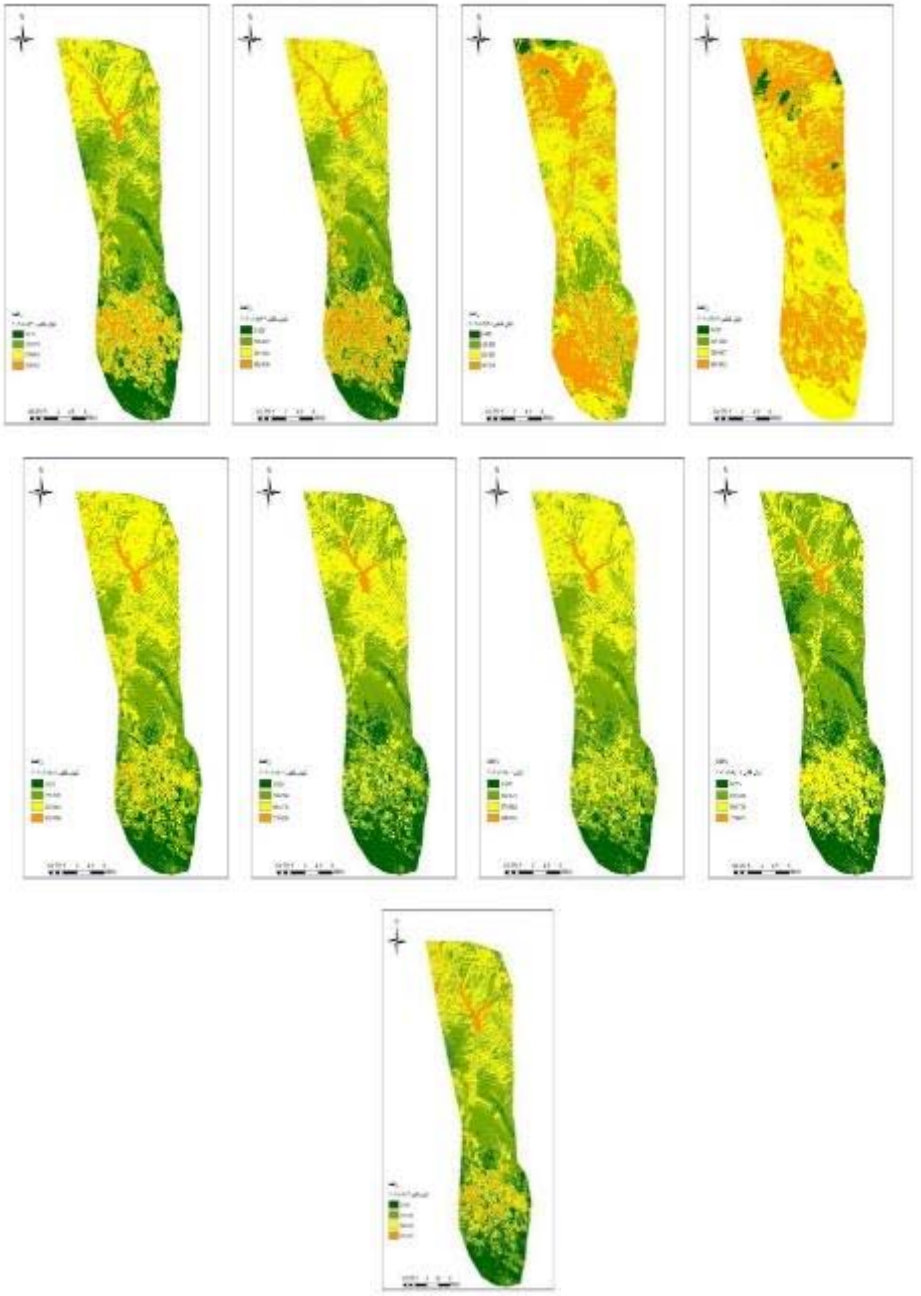
در این رابطه Rn میزان تابش خالص انرژی خورشیدی، $\boldsymbol{\alpha}$ آلبیدوی سطحی، $\boldsymbol{\varepsilon}$ گسیلمندی، $\boldsymbol{R_S}\downarrow$ طول موج کوتاه ورودی، $\boldsymbol{R_L}\uparrow$ طول موج بلند خروجی و $\boldsymbol{R_L}\downarrow$ طول موج بلند ورودی برحسب وات بر

متر مربع را نشان می دهند. بنابراین تابش خالص عبارت است از اختلاف بین جریان تابش خروجی و ورودی و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می رود.

نتایج و بحث

در این پژوهش، پس از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه عملیات پیش پردازش روی تصاویر انجام شد. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تابش خالص رسیده به سطح زمین (Rn) با استفاده از الگوریتم SEBAL محاسبه گردید. نتایج حاصل از الگوریتم مذکور برروی تعدادی از بازه های زمانی تصاویر منطقه مورد مطالعه در شکل۲ نشان داده شده است. محدوده توزیع پراکنش مقادیر تابش در هر تصویر به چهار کلاس طبقه بندی شده است (جدول ۲). براساس داده های ارائه شده در جدول ۲ بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۰۷ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۳۷۵-۳۳۴ با مقدار ۴۵/۴۹ درصد کل تابش خالص بوده است. بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۲/۰۸ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۳۹۶-۳۵۶ با مقدار ۵۱/۸۰ درصد کل تابش خالص بوده است. در تاریخ ۲۰۲۰/۰۲/۲۴ بیشترین درصد تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۴۵۱-۴۲۷ با مقدار ۵۶/۷۵ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین کمترین درصد تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۳/۱۱ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۴۵۵-۰ با مقدار ۱/۹۷ درصد کل تابش خالص ثبت شده است. در حالیکه در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۱۲ کمترین درصد تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۳۲۱-۰ با مقدار ۱/۵۸ درصد کل تابش خالص بوده است.





شکل ۱- توزیع تابش خالص در بازه زمانی تصاویر مورد مطالعه با روش SEBAL

جدول ۲- درصد توزیع تابش خالص با روش SEBAL در منطقه مورد مطالعه

تاریخ تصاویر	کلاس تابش ($W\ m^{-2}$)			
۲۰۲۰/۰۱/۰۷	۰-۲۷۸	۲۷۸-۳۳۴	۳۳۴-۳۷۵	۳۷۵-۴۷۸
	۵/۷۵	۴۱/۷۰	۴۵/۴۹	۷/۰۶
۲۰۲۰/۰۲/۰۸	۰-۳۵۶	۳۵۶-۳۹۶	۳۹۶-۴۴۴	۴۴۶-۵۵۵
	۶/۷۴	۵۱/۸۰	۳۵/۲۷	۶/۱۹
۲۰۲۰/۰۲/۲۴	۰-۴۲۷	۴۲۷-۴۵۱	۴۵۱-۴۸۴	۴۸۴-۵۶۸
	۳/۲۳	۵۶/۷۵	۳۷/۳۱	۲/۷۶
۲۰۲۰/۰۳/۱۱	۰-۴۵۵	۴۵۵-۵۰۶	۵۰۶-۵۶۲	۵۶۲-۷۰۵
	۱/۹۷	۲۵/۸۱	۵۷/۴۹	۱۴/۷۳
۲۰۲۰/۰۴/۱۲	۰-۳۲۱	۳۲۱-۵۵۰	۵۵۰-۶۶۷	۶۶۷-۹۰۲
	۱/۵۸	۳۵/۴۸	۵۶/۶۸	۶/۲۶
۲۰۲۰/۰۴/۲۸	۰-۴۰۰	۴۰۰-۵۹۳	۵۹۳-۶۶۷	۶۶۷-۹۱۸
	۱/۵۹	۳۸/۳۱	۵۲/۷۶	۷/۳۴
۲۰۲۰/۰۵/۱۴	۰-۵۳۸	۵۳۸-۶۰۷	۶۰۷-۶۸۲	۶۸۲-۸۵۶
	۱۸/۹۷	۵۵/۵۵	۲۲/۷۸	۲/۷۰
۲۰۲۰/۰۵/۳۰	۰-۵۱۲	۵۱۲-۵۷۸	۵۷۸-۶۶۳	۶۶۳-۸۶۴
	۴۰/۶۸	۴۸/۳۰	۹/۴۰	۱/۶۲
۲۰۲۰/۰۶/۱۵	۰-۵۲۵	۵۲۵-۵۹۲	۵۹۲-۷۲۴	۷۲۴-۸۷۵
	۶/۰۹	۵۸/۶۴	۳۳/۷۷	۱/۵۰
۲۰۲۰/۰۷/۰۱	۰-۵۰۲	۵۰۲-۵۷۳	۵۷۳-۶۹۲	۶۹۲-۸۳۴
	۵/۱۶	۳۹/۹۷	۵۳/۳۵	۱/۵۲
۲۰۲۰/۰۸/۰۲	۰-۵۲۴	۵۲۴-۵۹۴	۵۹۴-۷۱۶	۷۱۶-۸۵۰
	۲۰/۸۸	۵۲/۹۷	۲۳/۵۶	۲/۵۸
۲۰۲۰/۰۸/۱۸	۰-۵۱۱	۵۱۱-۵۷۰	۵۷۰-۶۵۳	۶۵۳-۷۹۹
	۱۱/۲۰	۴۷/۲۲	۴۰/۱۱	۱/۴۷
۲۰۲۰/۰۹/۰۳	۰-۴۷۶	۴۷۶-۵۳۵	۵۳۵-۶۱۶	۶۱۶-۷۸۷
	۱۶/۵۸	۵۴/۱۰	۲۳/۱۲	۶/۲۰

براساس داده‌های گزارش شده در جدول ۲، بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۴/۲۸ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۶۶۷-۵۹۳ با مقدار ۵۲/۷۶ درصد کل تابش خالص محاسبه شد. همچنین، بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۵/۱۴ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۶۰۷۶-۵۳۸ با مقدار ۵۵/۵۵ درصد کل تابش خالص بوده است. در صورتیکه، در تاریخ ۲۰۲۰/۰۵/۳۰ نیز بیشترین درصد تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۵۷۸-۵۱۲ با مقدار ۴۸/۳۰ درصد کل تابش خالص ثبت شده است.در تاریخ ۲۰۲۰/۰۶/۱۵ کمترین درصد تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۸۷۵-۷۲۴ با مقدار ۱/۵۰ درصد کل تابش خالص ثبت شده است. در حالیکه در تاریخ ۲۰۲۰/۰۷/۰۱ کمترین درصد تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۸۳۴-۶۹۲ با مقدار ۱/۵۲ درصد کل تابش خالص بوده است. همچنین کمترین درصد تابش خالص در بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۸/۰۲ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۸۵۰-۷۱۶ با مقدار ۲/۵۸ درصد کل تابش خالص بوده است. بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۱۸ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۵۷۰- ۵۱۱ با مقدار ۴۷/۲۲ درصد کل تابش خالص محاسبه شد. درحالیکه بیشترین درصد توزیع تابش خالص در تاریخ ۲۰۲۰/۰۹/۰۳ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۵۳۵-۴۷۶ با مقدار ۵۴/۱۰ درصد کل تابش خالص بوده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف ا صلی از تحقیق حا ضر ارزیابی امکان سنجی ا ستفاده از انرژی تاب شی خور شید در منطقه مورد مطالعه ا ست. جهت انجام این پژوهش ت صاویر مربوط به ۱۲ ماه سال ۲۰۲۰ ماهواره Landsat-8 تهیه شـــد. اما بدلیل اینکه تصـــاویر مربوط به بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۱/۲۳، ۲۰۲۰/۰۳/۲۷، ۲۰۲۰/۱۰/۲۱، ۲۰۲۰/۱۲/۰۸ و ۲۰۲۰/۱۲/۲۴ کاملاً ابری بوده از تصـــاویر فوق الذکر اســـتفاده نشـــد. عملیات پیش پردازش در نرم افزار ENVI 5.6 برروی تمام باندهای تصـــاویر صـــورت پذیرفت. با بکارگیری الگوریتم SEBAL مقدار تابش خالص در منطقه مورد مطالعه برحسب $W\ m^{-2}$ محاسبه شد.

نتایج پژوهش حا ضر ن شان داد که بی شترین در صد توزیع تابش خالص در محدوده $W\ m^{-2}$ ۵۹۲-۵۲۵ $W\ m^{-2}$ با ۵۸/۶۴ در بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۶/۱۵ و کمترین درصـــد توزیع تابش خالص در بازه زمانی ۲۰۲۰/۰۸/۱۸ در محدوده $W\ m^{-2}$ ۷۹۹-۶۵۳ با مقدار ۱/۴۷ درصـد را به خود اختصـاص داده اسـت. تفاوت در مقدار تابش خالص رســیده به زمین در منطقه مورد مطالعه ناشـــی از تفاوت زاویه تابش خورشید و تعداد ساعات آفتابی در ماه های مختلف سال است. از این بررسی می توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در منطقه مورد مطالعه پتانسیل لازم را برای اجرای طرح های فتوولتائیک خورشیدی را دارد. نتایج حاصـل از این بررسـی با نتایج سـایر محققین دیگر من الجمله عابدینی و شـیشـه گران (۱۴۰۲) و زینالی و شیشه گران (۱۴۰۲) مطابقت دارد. بر ا ساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود

که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش سنجش از دور در برآورد تابش خالص خورشیدی، در مقایسه با روش های تجربی از عملکرد بهتری برخوردار است. بنابراین پیشنهاد می شود به منظور کاهش زمان تحلیل داده های اقلیمی و روش های تجربی از روش های سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای جهت مطالعات تابش خورشیدی استفاده شود.

تشکروقدردانی

با توجه به این که مقاله حاضر بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی تحت عنوان **"ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی SEBAL در برآورد تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران با کد مصوب ۹۷۰۵۹۳-۹۷۰۱۴-۰۲۷-۲۹-۲۹-۰۱"** بوده، بدین وسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران آقایان دکتر عباس صلاحی اردکانی و معاونین محترم، همکاران بخش تحقیقات آبخیزداری و بهره وری منابع آب و خاک آقایان دکتر مهدی صادقی پورمروی بابت مشاوره علمی و نرم افزاری، مهندس عزیز درویشی و مهندس بهرام فرشادپور بابت عملیات میدانی و نمونه برداری خاک و آب در محل پایلوت پروژه و همچنین از همکار آزمایشگاه خاک، آب، کود و گیاه سرکار خانم مهندس سمانه عبدوسی که با حوصله و دقت کافی در آنالیز نمونه های برداشت شده، همکاری لازم را داشتند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.

منابع

- زینالی، ب.، م، محمدزاده شیشه گران. ۱۴۰۲. امکان سنجی استفاده از انرژی تابش خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان البرز). مجله مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۳): ۶۸۱۵-۶۸۰۲.
- عابدینی، م.، م، محمدزاده شیشه گران. ۱۴۰۲. امکان سنجی استفاده از انرژی تابش خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ). ۱۴۰۲. مجله آمایش سرزمین، ۱۵(۱): ۱۶۳-۱۴۷.
- مباشری، م.، ح، خاوریان. ۱۳۸۳ تجزیه وتحلیل روش های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر وتعرق. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی،۸۳-۹۸.
- هاتفی اردکانی، م.، م، رضایی مقدم. ۱۳۹۴. کاربرد تصاویر ماهوارهای و GIS در امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید جهت تامین روشنایی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک،۶(۲۱): ۱۲۶-۱۰۵.

- Amrouche, B., and X. le Pivert. 2014. Artificial neural network based daily local forecasting for global solar radiation," Applied Energy, 130: pp. 333–341.
- Bastiaanssen, W., M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212: 198-212.
- Behrang, M.A., E. Assareh, A. Ghanbarzadeh, and A. R. Noghrehabadi. 2010. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data. Solar Energy, 84(8): 1468–1480.
- Fan, J., B. Chen, L. Wu, F. Zhang, X. Lu, and Y. Xiang. 2018. Evaluation and development of temperature-based empirical models for estimating daily global solar radiation in humid regions. Energy, 144: 903–914.
- Chen, J.L. 2019. Empirical models for estimating monthly global solar radiation: a most comprehensive review and comparative case study in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 108. 91–111.
- Jahani, B., Y. Dinpashoh, and A. Raisi Nafchi. 2017. Evaluation and development of empirical models for estimating daily solar radiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73: 878–891.
- Liu, C.S. 2008. Regional Land Surface Water/Heat Flux Modeling and Application Based on Remote Sensing in Shandong Province. Phd. thesis, Nanjing University of Information Science & Technology.
- Lu, N., J. Qin, K. Yang, and J. Sun. 2011. A simple and efficient algorithm to estimate daily global solar radiation from geostationary satellite data. Energy, 36(5): 3179–3188.
- Shi, G.P. X.F. Qiu, and Y. Zeng. 2018. New Method for Estimating Daily Global Solar Radiation over Sloped Topography in China. Advanced Atmospheric Science, 35(3): 285 –295.
- Usman, M., R. Liedl, and U.K. Awan. 2015. Spatio-temporal estimation of consumptive water use for assessment of irrigation system performance and management of water resources inirrigated Indus Basin. Pakistan. Journal of Hydrology, 525, 26–41.
- Voyant, C., C. Darras, M. Muselli, C. Paoli, M.L. Nivet, and P. Poggi. 2014. Bayesian rules and stochastic models for high accuracy prediction of solar radiation. Applied Energy, 114: 218–226.
- Yeom J.M, Y.K. Seo, D.S. Kim, and K.S. Han. 2016: Solar radiation received by slopes using COMS imagery, a physically based radiation model, and GLOBE. Journal of Sensors, 4834579.
- Yin, J.Q. 2014. Study on daily evapotranspiration estimation model by remote sensing coupling daily global solar radiation model and daily mean LST model. Phd. thesis, Nanjing University of Information Science & Technology.

ارزیابی مدل بیلان انرژی سطحی SEBS در برآورد تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران

رحمان شریفی[۱]، سمیه محرمی*[۲]، قباد رستمی زاد[۳]، مجتبی پاک پرور[۴]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، ورامین، ایران.

۲*- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، زنجان، ایران.

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، شیراز، ایران.

چکیده

از راه‌های هدررفت آب در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، پدیده تبخیر و تعرق است. یکی از پیش نیازهای مدیریت بهینه آب در حوضه آبخیز تخمین دقیق مولفه های بیلان آب می باشد و تبخیر و تعرق یکی از این مولفه ها محسوب می گردد. تبخیر و تعرق بدلیل نقش کلیدی که در مدیریت منابع آب دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی الگوریتم سنجش از دور SEBS برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی در دشت چنداب استان تهران و مقایسه آن با مقادیر محاسبه شده توسط معادله فائو پنمن-مانتیث انجام شد. اجرای مدل SEBS برروی ۴۸ تصویر ماهواره ای بدست آمده طی سال های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ صورت پذیرفت. فایل های تشعشع مورد نیاز مدل SEBS با استفاده از نرم افزار ENVI 5.6 و سایر داده های سنجش از دور در محیط ILWIS تولید شد. داده های هواشناسی مورد نیاز مدل از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه گردآوری شد. نتایج تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل SEBS با تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط معادله فائو پنمن-مانتیث از لحاظ آماری ضریب همبستگی معنی دار ۰/۶۸را نشان داد. طبق نتایج، روش SEBS مقادیر تبخیر و تعرق را کمتر از میزان تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن-مانتیث برآورد نموده است. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه کمبود داده های آماری برای استفاده در روش های میدانی و مزایایی که استفاده از تصاویر ماهواره ای در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود.

واژه‌های کلیدی:

تبخیر و تعرق، تصاویر ماهواره ای، SEBS، فائو پنمن-مانتیث.

مقدمه

ایران یک کشور خشک و نیمه خشک است که روی کمربند خشکی کره زمین واقع شده است. افزایش جمعیت و کمبود منابع آبی در سال های اخیر بخش کشاورزی را با چالش های جدی در راستای تأمین امنیت غذایی مواجه کرده است. بخش کشاورزی حدود ۹۰ درصد آب مصرفی کشور را به خود اختصاص داده است. بنابراین با بهبود مدیریت مصرف آن می توان تا حد قابل قبولی در مصرف آب صرفه جویی کرد. یکی از روش های مدیریت بهینه آب در حوضه آبخیز تخمین دقیق مولفه های بیلان آب است. تبخیر و تعرق یکی از عوامل تأثیرگذار بر بیلان آب محسوب می گردد. مجموع آبی که در مزرعه از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه از دست می رود را تبخیر و تعرق گویند.

در مناطق خشک و نیمه خشک حدود ۹۰ درصد بارندگی ها ممکن است از طریق تبخیر و تعرق به جو بازگردد. برآورد دقیق تبخیر و تعرق نقش مهمی در بررسی تغییر اقلیم جهانی، تکامل محیطی و کنترل منابع آب ایفا می کند (Liu و همکاران، ۲۰۱۰). روش های مختلفی برای تخمین تبخیر و تعرق توسط داده های هواشناسی در شرایط محیطی متفاوت و پوشش های زمین توسعه داده شده است. این روش‌ها غالباً داده های ثابت محلی را برای ارزیابی تبخیر و تعرق بکار می برند که در مقیاس محلی روش مناسبی است (Bastiaanssen و همکاران، ۱۹۹۸). اما با توجه به ماهیت پویا و تغییرات منطقه ای تبخیر و تعرق، این روش ها را نمی توان به مناطق بزرگتر تعمیم داد (Seemann و همکاران، ۲۰۰۳).

در دهه های اخیر، با توسعه بکارگیری روش های سنجش از دور و تصاویر ماهواه ای، استفاده از تصاویر آنها برای محاسبه تبخیر و تعرق مورد توجه قرار گرفته است (Jana و همکاران، ۲۰۱۶). با کمک آنها بدون توجه به وضعیت خاک، محصول و مدیریت مزرعه می توان تبخیر و تعرق را تخمین زد (Bastiaanssen و همکاران، ۲۰۰۵). در میان الگوریتم های سنجش از دور برای تخمین تبخیر و تعرق، الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای زمین[۲](SEBAL) (Bastiaanssen و همکاران، ۱۹۹۸)، نقشه برداری تبخیر و تعرق در وضوح بالا با کالیبراسیون داخلی[۳](METRIC) (Allen و همکاران، ۲۰۰۵) و سیستم تعادل انرژی سطحی[۴](SEBS) (Su، ۲۰۰۲) جزء روش های پر کاربرد می باشند.

در این بررسی با استفاده از داده های ماهواره Landsat-8 میزان تبخیر و تعرق در مزرعه ای در دشت چنداب با کمک الگوریتم SEBS محاسبه گردید. مدل SEBS یک الگوریتم سنجش از دور است که بر اساس مفهوم بیلان انرژی طراحی شده و برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره

1 Surface Energy Balance Algorithm for Land
1 Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration
1 Surface Energy Balance System

و اطلاعات هوا شنا سی ا ستفاده می‌کند و نیازمند سه سری داده‌های ورودی ا ست. اولین سری شامل تولیدات رادیومتریک ماهواره، شامل آلبیدوی سطحی، انت شار سطحی و دمای سطحی ا ست. دومین سری از محتویات اطلاعات هوا شنا سی ا ست که شامل فشار بخار هوا، دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و تابش موج کوتاه ورودی ا ست. سومین سری از اطلاعات ورودی شامل پو شش‌گیاهی جزیی (ن سبت سطح پوشش گیاهی به کل سطح زمین)، شاخص سطح برگ و ارتفاع زبری است (Enko، ۲۰۰۹).

مدل SEBS تبخیر و تعرق واقعی را با اســتفاده از شـار گرمای محسـوس در مقیاس منطقه ای تخمین می زند. پارامترهایی نظیر دمای سطح زمین، آلبیدو و گ سیل مندی سطح زمین را با الگوریتم SEBS می توان برآورد کرد (Su، ۲۰۰۲). محققین متعددی با اســتفاده از مدل های ســنجش از دور به برآورد تبخیر و تعرق پرداخته اند. در مطالعه ای با کمک مدل SEBS، تبخیر و تعرق دریاچه ای در زیمبابوه مورد برر سی قرار گرفت و نتایج حا صله با داده های بد ست آمده از روش ت شتک تبخیر مقایسه گردید. نتایج ن شان داد که الگوریتم SEBS برآورد اندکی بی شتر ن سبت به ت شتک تبخیر دا شته ا ست اما این اختلاف ناچیز بود (Chinyepe، ۲۰۱۰).

پاک‌پرور و همکاران (۲۰۱۴) با اســتفاده از الگوریتم SEBS و تصــاویر Landsat-5 به مطالعه تبخیر و تعرق دشت گربایگان در استان فارس پرداختند. با استفاده از داده های هواشناسی، مدل های R.SUN و SEBS برای تخمین تشعشع خالص و تبخیر و تعرق واقعی بکار رفتند. نتایج این بررسی نشان داد که در مقای سه با مدل SEBS، نتایج حا صله از R.SUN برای ت شع شع خالص با داده های م شاهده شده هم بستگی بی شتری دا شت. در تحقیقی دیگر که تو سط Gokool و همکاران (۲۰۱۶) در تونس انجام شد تبخیر تعرق- واقعی با استفاده از روش SEBS و تصاویر MODIS برای بازه زمانی روزانه بد ست آمد و با داده های م شاهدات زمینی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ن شان داد که الگوریتم SEBS در مقایسه با داده های زمینی 47 درصد برآورد بیشتری داشته است (Gokool و همکاران، ۲۰۱۶).

این پژوهش با هدف تعیین دقت مدل SEBS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت چنداب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف- موقعیت محل اجرای تحقیق

ایستگاه پخش سیلاب چنداب در شهر ستان پاکدشت با موقعیت جغرافیایی ۲۵ و ۵۱ تا ۴۷ و ۵۲ طول شرقی و ۲۲ و ۳۵ تا ۲۹ و ۳۵ عرض شمالی در شرق شهر ستان پاکد شت قرار گرفته ا ست (شکل ۱). این آبخوان در م ساحتی حدود ۲۰۰۰ هکتار برروی مخروطه افکنه ای با ر سوبات در شت دانه باقیمانده از جریانات رودخانه ای دوران چهارم زمین شنا سی ت شکیل شده ا ست. حداکثر ارتفاع حو ضه آبخیز ۲۶۲۰ متر و حداقل ارتفاع در محل خروجی ۸۸۰ متر از ســطح دریا می باشــد. ارتفاع متوســط حوضــه

۱۴۸۸ متر است. بارش سالانه ۱۸۷ میلی متر و متوسط تبخیر ۲۵۰۰ میلی متر است. حداقل متوسط دما ۲- و حداکثر ۲۶/۱ درجه سانتی گراد و متوسط شیب منطقه ۵ درصد است. حوضه آبخیز چنداب از شمال به حوضه ایوانکی و از غرب به حوضه امامک محدود شده است. منطقه از لحاظ توپوگرافی در عرصه دشتی وسیع که متصل به کویر مرکزی می باشد واقع شده است و به همین لحاظ می توان آن را به عنوان دروازه ورود به کویر محسوب نمود. ایستگاه هواشناسی تبخیرسنجی در داخل محدوده پخش سیلاب قرار دارد و برخی اطلاعات مورد نیاز دیگر از ایستگاه سینوپتیک تهران که در ۷۳ کیلومتری آن قرار دارد استفاده می شود.

شکل ۱- موقعیت آبخوان دشت چنداب در منطقه مورد مطالعه

ب- داده های مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI/TIRS[1] مربوط به سال های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ است که از سایت http://earthexplorer.usgs.gov دانلود شد. این ماهواره شامل ۱۱ باند است که ۹ باند طیفی در محدوده پانکروماتیک، مرئی و مادون قرمز نزدیک

1 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor

با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۳۰ m و ۲ باند طیفی در محدوده مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ m (۳۰ m پس از بازسازی ناسا) است. قدرت تفکیک زمانی داده‌های لندست-۸ هر ۱۶ روز یکبار می‌باشد. برای اجرای مدل SEBS نیاز به یکسری داده های هواشناسی از قبیل دما، ساعت آفتابی، سرعت باد و غیره است که تمام داده های مورد نیاز از ایستگاه سینوپتیک و اداره هواشناسی منطقه تهیه گردید. برخی دیگر از داده های مورد نیاز مانند آلبیدو (Albedo)، شاخص پوشش گیاهی(NDVI)، تشعشع خالص (Rn)را می توان در محیط نرم افزار ENVI 5.6 محاسبه کرد. نقشه های مورد نیاز واسطه‌ای در تولید نقشه تبخیر و تعرق با استفاده از مدل SEBS در محیط ILWIS برای تمام تاریخ های تصاویر تولید شد.

نتایج و بحث

همانطور که اشاره شد در مدل SEBS تبخیر و تعرق واقعی (ETa) محاسبه می گردد. در حالیکه در مدل فائو پنمن-مانتیث[1] تبخیر و تعرق پتانسیل (ET0) محاسبه می شود.

$$\boldsymbol{ETa = ET0.Kc.Ks}$$

Kc ضریب گیاهی و Ks ضریب استرس است. مقادیر Ks و Kc در پهنه یک پیکر آبی برابر ۱ در نظر گرفته می شود (Allen و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه ETa با ET0 برابر خواهد بود. حالت بهینه مدل زمانی است که ارقام ETa برآوردی مدل برای مکان‌هایی که یک محدوده ای آبی نظیر استخر آبیاری با ارقام محاسبه شده بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانتیث به حداکثر تشابه برسد. مدل فائو پنمن-مانتیس به تنهایی می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق جهانی به کار گرفته شود (Pereira و همکاران، ۲۰۱۵). تجزیه و تحلیل حساسیت‌های مختلف و مطالعات منطقه‌ای، کاربرد مدل فائوپنمن-مانتیث را در محیط‌های متنوع، تایید می‌کند (Pereira و همکاران، ۲۰۱۵؛ Estévez و Gavilan، ۲۰۰۹).

استفاده از مدل فائو پنمن-مانتیث در بسیاری از تحقیقات جهت برآوردETo به‌عنوان داده‌های مشاهداتی، در مناطقی که داده‌های برداشت شده کمی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Maeda و همکاران، ۲۰۱۱). برای مقایسه نتایج مدل با واقعیت بایستی منطقه ای را مثل استخر و دریاچه درنظر گرفت که دارای پوشش آبی باشد. در این مطالعه سد ماملو بعنوان پهنه آبی درنظر گرفته شد. مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با مدل SEBS و معادله فائو پنمن-مانتیث در جدول ۱ ارائه شده است.

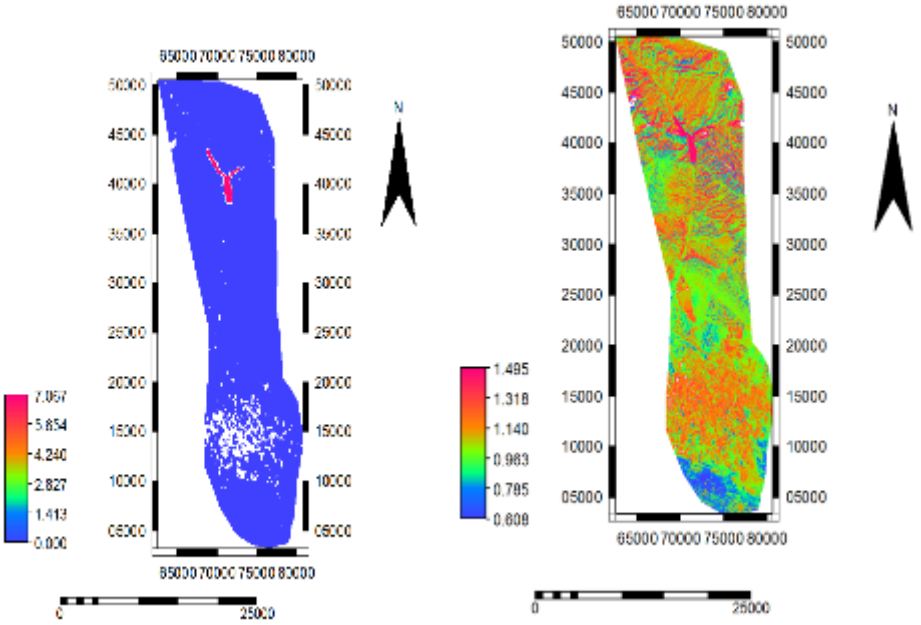
1 FAO Penman-Monteith

جدول ۱- مقادیر تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه به روش فائو پنمن-مانتیث و مدل SEBS، مربوط به تاریخ تصاویر مورد استفاده

تبخیر و تعرق با استفاده از SEBS (mm day)	تبخیر و تعرق با فائو پنمن-مانتیث (mm day)	تاریخ تصاویر	تبخیر و تعرق با استفاده از SEBS (mm day)	تبخیر و تعرق با فائو پنمن-مانتیث (mm day)	تاریخ تصاویر
۲/۵۴	۳/۹۰	2020/02/24	۴/۸۸	۱۰/۲۸	2018/09/14
۲/۸۳	۵/۵۵	2020/03/11	۲/۳۹	۵/۰۳	2018/11/01
۴/۹۹	۴/۱۵	2020/03/27	۲/۰۶	۴/۳۵	2018/11/17
۵/۵۳	۴/۱۱	2020/04/12	۱/۴۸	۳/۶۹	2018/12/03
۵/۷۷	۵/۹۶	2020/04/28	۱/۴۸	۳/۴۰	2018/12/19
۶/۵۴	۶/۶۱	2020/05/14	۱/۵۹	۳/۱۶	2019/01/04
۶/۵۷	۱۰/۷۰	2020/05/30	۱/۸۶	۲/۴۴	2019/01/20
۷/۱۵	۱۲/۶۶	2020/06/15	۲/۵۶	۲/۷۷	2019/02/05
۶/۹۲	۱۱/۵۷	2020/07/01	۴/۷۹	۴/۹۷	2019/04/10
۶/۴۶	۱۲/۰۹	2020/08/02	۶/۸۴	۷/۷۱	2019/05/12
۶/۳۰	۹/۵۸	2020/08/18	۶/۴۹	۱۱/۲۸	2019/05/28
۵/۵۹	۹/۴۷	2020/09/03	۷/۶۴	۱۲/۳۲	2019/06/13
۳/۱۴	۴/۷۸	2020/10/21	۷/۱۱	۱۲/۰۲	2019/06/29
۱/۱۳	۲/۴۷	2020/12/08	۴/۸۲	۱۴/۰۸	2019/07/15
۱/۱۱	۲/۴۴	2020/12/24	۵/۵۴	۹/۶	2019/09/01
۱/۶۶	۲/۰۵	2021/01/09	۳/۵۴	۹/۱۳	2019/09/17
۱/۹۴	۲/۴۷	2021/01/25	۲/۶۹	۷/۹۴	2019/10/03
۲/۴۴	۴/۳۳	2021/02/10	۲/۰۱	۶/۳۶	2019/10/19
۳/۶۳	۲/۸۵	2021/02/26	۱/۶۲	۴/۹۶	2019/11/04
۰/۴۰	۰/۴۰	2021/03/14	۱/۳۰	۲/۹۹	2019/12/06
۴/۳۷	۵/۶۲	2021/03/30	۱/۴۱	۲/۵۴	2019/12/22
۴/۷۶	۷/۱۸	2021/04/15	۱/۶۲	۲/۴۳	2020/01/07
۴/۹۳	۸/۵۱	2021/05/01	۱/۰۹	۲/۰۱	2020/01/23
۶/۸۲	۱۰/۲۹	2021/05/17	۲/۱۶	۵/۰۰	2020/02/08

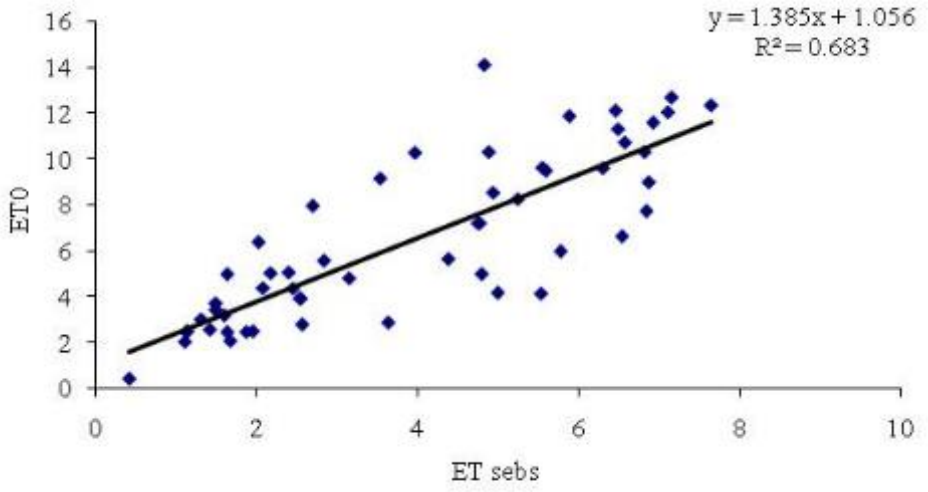
در شکل ۲ نقشه های تبخیر و تعرق برای یک دوره یکساله (ابتدای فصل رشد، ۲۰۲۰/۱۲/۲۴ و انتهای فصل رشد ۲۰۲۱/۰۵/۱۷) نشان داده شده است.

(ب) (الف)



شکل ۲- نقشه تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از مدل SEBS ابتدای دوره رشد (۲۰۲۰/۱۲/۲۴)(الف) و انتهای دوره رشد (۲۰۲۱/۰۵/۱۷)(ب).

شکل ۳ نیز ضریب تعیین (R^2) مربوط به روش SEBS و فائو پنمن مانتیث را نشان می دهد. نتایج این بررسی نشان داد که در بازه زمانی یک دوره رشد (۲۰۲۰/۱۲/۲۴ تا ۲۰۲۱/۰۵/۱۷)، میزان تبخیر و تعرق واقعی در ابتدای دوره رشد ۱/۱۱ mm day-1 و در انتهای دوره رشد ۶/۸۲ mm day^{-1} بود. کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ماه اسفند با مقدار ۰ mm day^{-1} و بیشترین مقدار نیز با مقدار mm day^{-1} ۶/۸۷ مربوط به تیرماه می باشد.



شکل ۳- ارتباط ETo فائو پنمن-مانتیث با ETa حاصل از مدل SEBS.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف ا صلی از تحقیق حا ضر ارزیابی الگوریتم حا صل از سنجش از دور برای تبخیر و تعرق در د شت چنداب جهت مدیریت بهینه منابع‌آب می باشد. بدین منظور تبخیر-تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم SEBS تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود به دست آمد. جهت تعیین تبخیر-تعرق واقعی سایر روزها از روش میانگین‌گیری وزنی استفاده شد. در این مطالعه برای هر واقعه یک عدد ETa بین دو تاریخ قبل و بعد از واقعه مورد نظر به دست آمده است. بدین صورت که اعداد بین دو عدد ETa ا ستخراج شده از ت صویر ماهواره‌ای محا سبه و ET0 ت صاویر مد نظر نیز با ا ستفاده از فرمول فائو پنمن مانتیث اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. ضریب همبستگی میان مقادیر ETa بدست آمده از روش SEBS با مقدار ET0 بدست آمده از روش فائو پنمن-مانتیث برابر ۰/۶۸ بدست آمد. پاک پرور و همکاران (۲۰۱۴) در واسنجی مدل SEBS برای منطقه گربایگان فارس به این نتیجه رسیدند که مقادیر ETa مدل SEBS در فصل گرم انحراف بیشتری نسبت به ET0 دارد. علت این امر وزش بادهایی در منطقه است که گاه سرعت بالایی داشته و سبب تشدید تبخیر و تعرق می شود. در حالیکه پارامتر باد معرفی شده به مدل مربوز به زمان عبور ماهواره است. بنابراین تأثیر بادهای شدید در افزایش ETa به خوبی لحاظ نمی شود. در نتیجه آنها با بکارگیری مقدار باد حداکثر روزانه و اجرای دوباره مدل نشان دادند که ضریب همبستگی میان ETa و ET0 از ۰/۵۴ به ۰/۹۱ افزایش داشت.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روش SEBS مقادیر تبخیر و تعرق را کمتر از میزان تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن-مانتیث برآورد نموده ا ست. بر ا ساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که ا ستفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش بردا شت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه کمبود داده های آماری برای اســـتفاده در روش های میدانی و مزایایی که اســـتفاده از ماهواره (تحت پو شش دادن سطح و سیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود. از آنجاییکه تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 هر ۱۶ روز یک بار از نقطه محل اجرای طرح عبور می‌نماید، پیشنهاد می شود به منظور بهبود قدرت تفکیک زمانی نقشه های تبخیر و تعرق از تصاویر سنجنده هایی با بازه زمانی کوتاه تر مانند MODIS استفاده شود.

تشکروقدردانی

با توجه به این که مقاله حاضر بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی تحت عنوان **"ارزیابی مدل بیلان انرژی سطحی SEBS در برآورد تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران با کد مصوب ۹۷۰۵۹۲-۹۷۰۱۴-۰۲۶-۲۹-۵۰-۰۱"** بوده، بدین وسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران آقایان دکتر عباس صلاحی اردکانی و معاونین محترم، همکاران بخش تحقیقات آبخیزداری و بهره وری منابع آب و خاک آقایان دکتر مهدی صادقی پورمروی بابت مشاوره علمی و نرم افزاری، مهندس عزیز درویشی و مهندس بهرام فرشادپور بابت عملیات میدانی و نمونه برداری خاک و آب در محل پایلوت پروژه و همچنین از همکار آزمایشگاه خاک، آب، کود و گیاه سرکار خانم مهندس سمانه عبدوسی که با حوصله و دقت کافی در آنالیز نمونه های برداشت شده، همکاری لازم را داشتند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.

منابع

- Allen, R.G., L.S. Pereira, T.A. Howell, and M.E. Jensen. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management, 98: 899-920.
- Allen, R.G., M. Tasumi, and A. Morse. 2005. Satellite-based evapotranspiration by METRIC and Landsat for western states water management, US Bureau of reclamation evapotranspiration workshop, pp. 8-10.
- Bastiaanssen, W., M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212: 198-212.

- Bastiaanssen, W.G.M., E.J.M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B.P. Thoreson, and R.G. Allen. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. Journal of irrigation and drainage engineering, 131(1):85-93.
- Chinyepe, A., 2010. Satellite Remote Sensing of Surface water evaporation over Lake Mutirikwi, Zimbabwe, UNIVERSITY OF ZIMBABWE.
- Enko, T. 2009. Estimation of Evapotranspiration from satellite remote sensing and meteorological data over the Fogera flood plain-Ethiopa, M.Sc. Thesis. ITC. Enschede. The Netherlands.
- Estévez . J., and P. Gavilan. 2009. Sensitivity analysis of penman-manteith type equation to estimate reference evaportranspiration in southern Spain. Hydrological Processes. Evapotranspiration Equation. American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 23(1): 3342-3353.
- Gokool, S., K.T. Chetty, G.P.W. Jewitt, and A. Heeralal. 2016. Estimating total evaporation at the field scale using the SEBS model and data infilling procedures. South Africa Water Resource Commissio, 42(4): 673-683.
- Jana, C., M. Rawat, D.R. Sena, N.M. Alam, U. Mandal, R. Kaushal, and P.K. Mishra. 2016. Application of SEBAL model to estimate Evapotranspiration in Doon Valley, India. Indian Journal of Soil Conservation, 44(2): 191-197.
- Liu, S., J. Bai, Z. Jia, L. Jia, H. Zhou and L. Lu. 2010. Estimation of evapotranspiration in the MuUs Sandland of China. Hydrology and Earth System Science, 14: 573–584.
- Maeda, E., D. Wibreg, and P. Pellikka. 2011. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited groung data availability in Kenya. Applied Geography, 3(1): 251-258.
- Pakparvar, M., W. Cornelis, L.S. Pereira, D. Gabriels, M. Edraki, M. Hafeez, and S.A. Kowsar. 2014. Remote sensing estimation of actual evapotranspiration in a multiple land use arid landscape of southern Iran. Journal of Hydroinformatics, 16(6): 1440-1460.
- Pereira, L.S., R. Allen, M. Smiith and D. Raes. 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management, 147: 4-20.
- Seemann, S.W., J. Li, W.P. Menzel, and L.E. Gumley. 2003. Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone from MODIS Infrared Radiances. Journal of Applied Meteorology, 42(8): 1072-1091.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Science, 6(1): 85-100.

شناسایی کانی‌های معدنی با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER در جنوب استان قم

بهناز قادری*[۱۸] زهرا عزیزی [۱۹]

۱*- کارشناس ارشد سنجش از دور و *GIS*، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
و مدیر آزمایشگاه و کنترل کیفیت شرکت آجرسفید، تهران، ایران

۲- استادیار گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ایران (*Ghaderi6719@gmail.com*)

چکیده

بررسی و تشخیص کانی‌ها و مواد معدنی خاک در مناطق خشک و بیابانی دشوار و دسترسی به آن مستلزم هزینه کلان می‌باشد. لذا استفاده از سنجش از دور، بدون دسترسی به منطقه به راحتی می‌توان کانی‌های معدنی را تشخیص، تجزیه و تحلیل نمود، سنگ‌های آذرین نفوذی غرب و جنوب غرب سلفچگان در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب استان قم رخنمون دارد. هدف این پژوهش تشخیص کانی‌های مناطق بیابانی جهت اکتشافات در معادن و شناسایی مواد اولیه محصولات مرتبط با مواد معدنی بوده است. در این مقاله از داده سنجنده ASTER محصول ماهواره TERRA با ۱۴ باند طیفی و مادون قرمز در سال ۲۰۰۴ استفاده شد، ابتدا تاریخ و تصویر مناسب انتخاب و از سایت زمین شناسی USGS اخذ و تصحیحات لازم رادیومتریکی و اتمسفری بر روی باندهای طیفی و مادون قرمز انجام شد. سپس برای بارزسازی و آلتراسیون کانی‌های خاک و مواد معدنی از روش‌های ترکیب باندهای رنگی (RGB: ۸ ۶ ۳)، (RGB: ۸ ۳ ۱)، نسبت گیری باندی (Band Ratio) و نسبت گیری ترکیبی با استفاده از شاخص‌های زمین شناسی QI، CI، SI، Clay، Iron، Dolomite، Kaolonite، Muscovite، Alteration استفاده گردید، سپس با انجام الگوریتم آنالیز مولفه‌های اصلی PCA طبقات و مرزهای کانی‌ها، جداسازی شد، با اعمال شاخص NDVI مناطقی که دارای خاک رس و مناسب کشاورزی بوده نمایش داده شد. در نهایت با الگوریتم طبقه بندی نظارت نشده ISO DATA و نمونه‌های تعلیمی زمینی، صحت سنجی انجام گردید. نتایج نشان داد در بخش‌های غرب و جنوب غربی محدوده سلفچگان براساس نقشه زمین‌شناسی و نقشه‌های کانی

1 Bmghaderi@yahoo.com8
1 Zsazizi@yahoo.com9

سازی و نسبت گیری باندی، شواهدی حاکی از وجود مناطق دگرسانی کانی‌های رسی، اکسید آهن،کربنات کلسیم و کوارتز دیده می‌شود. در واقع این نواحی می‌تواند در فرآیند اکتشاف معادن با تمرکز بیشتری جهت تولیدات محصولات مرتبط با مواد معدنی مختلف، مورد بررسی و تجزیه و تحیل قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی:
مناطق بیابانی، تصاویر سنجنده ASTER، نسبت گیری باندی، آلتراسیون

مقدمه

امروزه روش‌های سنجش از دوری و تجزیه و تحلیل در حیطه زمین شناسی و دگرسانی به دلیل فراهم کردن داده‌هایی با دید وسیع، در طول موج‌های مختلف و شناسایی کانی‌سازی‌های گوناگون کاربرد دارند، به عنوان یکی از بهترین روش‌های اکتشافی کانسارها، دگرسانی‌ها و شناسایی مناطق بیابانی در نقاط صعب العبور شناخته می‌شود. یکی از ویژگی‌های زمین شناسی استان قم فراوانی نسبی سنگ‌های نفوذی است از نگاه زمین شناسی و پهنه‌های ساختاری_ رسوبی استان قم بخشی از قلمروی ساختاری ایران مرکزی است که مورفولوژی حاکم بر آن شامل مجموعه‌ای از رشته کوه‌ها و دشت‌های نیمه موازی با روند شمال غربی و جنوب شرقی است، که به طور عمده در نوار آتشفشانی ارومیه_ بزمان یعنی جایی که فعالیت آتشفشانی شدید بوده، برونزد دارند. (درویش زاده و محمدی، ۱۳۸۶)

بررسی واحدهای تکتونواستراتیگرافی نشان می‌دهد که کهن ترین رخنمون‌های سنگی استان قم مجموعه ماگمایی ائوسن و جوانتر است که بصورت بخشی از نوار آتشفشانی ارومیه ـــ بزمان در نواحی باختری استان برونزد دارد. رخنمون‌های کربناته آهکی سازند قم به سن الیگوسن_ میوسن نشان می‌دهد که در این زمان دریا برای آخرین بار، نواحی کم ارتفاع استان قم را پوشانده و تهنشست‌های اساساً آهکی و مارنی سازند قم به جای گذاشته است(دلاوری و دامغانی، ۱۴۰۱).

در اواخر میوسن زیرین رسوب‌های ستبر قاره‌ای _کولابی سازند قرمز بالایی، جانشین رخساره‌های دریایی قم گردیده و ضمناً نمودهای آتشفشانی نئوژن در طی دو فاز، با دو سیمای متفاوت شکل گرفته‌اند. ردیف‌های پلیوسن استان قم رخساره متفاوت دارد و شامل سه واحد اصلی آتشفشانی _ نیمه آتشفشانی، آتشفشانی_رسوبی و واحدهای آواری است (میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امکان تولید نقشه‌های کانی شناسی از سطح زمین به همراه تولید نقشه‌های پتانسیل معدن به خوبی فراهم شده است.

نقش سنجش از دور در فرآیند اکتشاف معدن به عنوان ابزاری مهم برای کاهش هزینه‌های زمانی، مالی و عملیات‌های پیمایش زمینی دیده شده است. امروزه با استفاده از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی می‌توان نقشه‌های کانی شناسی با کیفیتی مناسب را تولید کرده و از آن در فرآیندهای اکتشاف معادن و عملیات‌های پیمایش زمینی استفاده کرد. در راستای تحقیق حاضر، تحقیقات پیشین دیگری انجام شده از جمله اکبری و همکاران در سال ۱۳۹۷ به پژوهش خود با عنوان شناسایی نواحی دارای کانی زایی آهن در استان قم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست۸ محصول OLI به بررسی مناطق مستعدکانی زایی آهن در محدوده استان قم پرداخت.

روش‌های سنجش از دوری مورد استفاده ترکیب باند رنگی، نسبت باندی، و آنالیز مولفه اصلی و کمترین مربعات رگرسیون بوده است در نتیجه زون‌های دگرسانی مرتبط با کانی زایی آهن در محدوده شناسایی و فرآیند جهت اکتشافات معرفی شد(اکبری و همکاران، ۱۳۹۷).

قادریان و ارفع نیا در سال ۱۳۹۷ در مقاله خود به ارزیابی پتانسیل کانسارسازی آهن و سیلیس با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر سنجنده‌های OLI، ASTER و MSI در منطقه باقرآباد-جنبه، شمال شرق اصفهان پرداختند. جهت بارزسازی نواحی حاوی اکسید آهن و سیلیس در منطقه از روش‌های نسبت گیری باندی ساده و ترکیبی و آنالیز مولفه‌های اصلی و انتخابی استفاده کردند. جهت مقایسه و صحت سنجی از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان بکارگرفته شد. در نهایت تشخیص لایه‌های آهن دار، شناسایی زون گوسان و نیز بارز سازی لایه‌های سیلیس دار منطقه انجام گرفت. انجام روش‌های دورسنجی در منطقه مورد مطالعه نشان داد لایه‌های کنگلومراهایی- آهکی ائوسن و الیگو میوسن و همچنین دولومیت‌های تریاس دارای پتانسیل پایین آهن و شیل‌های تریاس بالایی دارای ذخایر سیلیس قابل توجهی می‌باشد (قادریان و ارفع نیا، ۱۳۹۷).

عباس زاده به جهت شناسایی نواحی مستعد کانی سازی در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آران از تصاویر ماهواره لندست ۸محصول OLI استفاده کرد. در پژوهش خود با استفاده از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی و روش کمترین مربعات رگرسیون، انجام شده است. نتایج حاصل از بکارگیری این روش‌ها نشان می‌دهد که در بخش‌های غرب و شمال‌غرب محدوده که براساس نقشه زمین‌شناسی حضور توده‌های نفوذی کوه انارینه و کوه سیاه نیز وجود داشته، شواهدی حاکی از وجود مناطق دگرسانی کانی‌های رسی واکسیدهای آهن دیده شد (عباس زاده، ۱۳۹۷).

Mehdikhani و همکاران سال ۲۰۲۱ با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER به جستجو معیارهای کرومیت پودی فرم در افیولیت در خوی (شمال غرب ایران) و در نهایت تجزیه و تحلیل آن پرداخته است. مجموعه افیولیتی خوی در شمال غربی که توسط پوشش‌های دونیت احاطه شده است. و

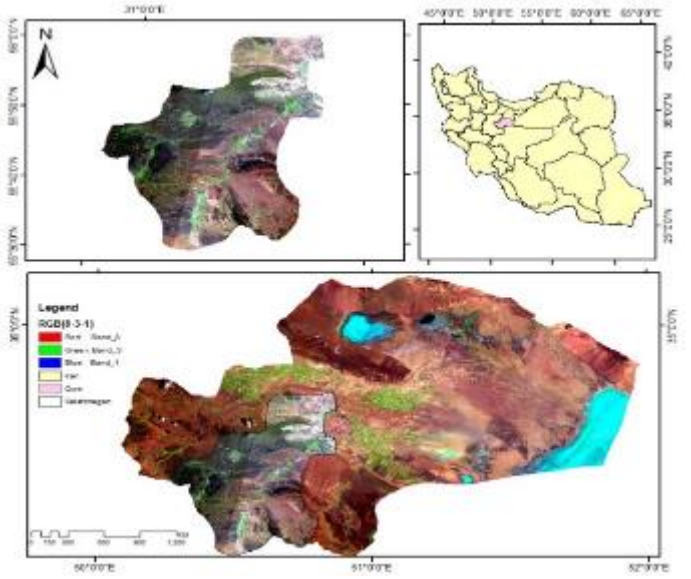
دسترسی به توپوگرافی آن منطقه دشوار است. در واقع مناطق حاوی کرویت به بررسی تمایز کانی‌های حاوی کرومیت پرداخته شد، با تصاویر استر از روش‌های تبدیلات طیفی مانند ضریب شاخص بهینه(OIF)، نسبت باندی BR و زاویه طیفی SAM و آنالیز مولفه اصلی PCA و ترکیب باند رنگی ۸، ۶و ۳ بر روی باندهای مرئی و مادون قرمز انجام شد. در نتیجه با ادغام اطلاعات استخراج شده از الگوریتم‌های پردازش تصویر واحدهای سنگی خوی شناسایی شد (Mehdikhani و همکاران، ۲۰۲۱).
Ninomiya درسال ۲۰۱۳ به نقشه برداری کوارتز، کانی‌های کربناته و سنگ‌های مافیک-اولترامافیک با استفاده از باندهای طیفی و مادون قرمز داده‌های ASTER در ژاپن پرداخت. در مقاله سعی شده است کوارتز ها، کانی‌های کربناته وSiO_2 در سنگ‌های سیلیکات با شاخص‌های تعریف شده برای داده‌های چند طیفی ASTER TIR. مواد معدنی سیلیس که توسط رایج ترین کانی روی زمین، کوارتز نشان داده شده است، دارای ویژگی طیفی منحصر به فردی در TIR است. نسبت باندی کانی‌های کربناته، کوارتز و سیلیس استفاده شد و میزان کلسیت و دولومیت نشان داده شده است.
در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای سنجندهASTER و نقشه زمین شناسی استفاده شد و سعی بر این بوده است که در ابتدا کانی‌ها و مواد معدنی خاک و عناصر مناطق بیابانی جنوب غربی منطقه سلفچگان استان قم را با شاخص‌های طیفی و نسبت گیری باندی بدست آورده سپس کوارتز، کربنات، کلسیت، دولومیت، اکسید آهن و رس در خاک را با نسبت باندی ترکیبی نمایش داده در آخر با آنالیز مولفه اصلی PCA مرزهای کانی‌ها را شناسایی، کلاس بندی و مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قم با وسعت تقریبی ۱۱۲۴۰ کیلومتر مربع در موقعیت ۳۴ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۱ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته است. یکی از استان‌های مرکز کشور بوده که با استان‌های تهران، سمنان، اصفهان و مرکزی همجوار است. از نظر آب و هوایی و جغرافیایی، این استان در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و آب و هوای گرم و خشک دارد، منطقه سلفچگان در مناطق بیابانی مرکز ایران قرار دارد.
در استان قم، چندین پلایای بزرگ و کوچک وجود دارد که اشکال ژئومورفولوژی بیابانی موجود در آن مختلف است. سه پلایای دریاچه نمک، حوض سلطان و پلایای پل، مهمترین پلایاهای قم به‌شمار می‌روند. پلایای دریاچه نمک با مساحت ۳۱۵۶ کیلومتر مربع شامل شش تیپ ژئومورفولوژی می‌باشد که عبارتند از: دشت ریگی یا سنگفرش بیابان، نبکا، جلگه رسی، کویر، دریاچه کویر و ناهمواری‌های ماسه‌ای. پلایای حوض سلطان با مساحت ۲۴۰ کیلومتر مربع شامل پنج تیپ ژئومورفولوژی: دشت

ریگی یا ســـنگفرش بیابان، جلگه رســـی، کویر، دریاچه کویر و ناهمواری‌های عینکی یا ابرویی اســـت و پلایای پل با مساحت ۵۵/۵ کیلومتر مربع و قطر ۱۵ کیلومتر شامل سه تیپ: جلگه رسی، کویر و گنبد نمکی می‌باشـد. همچنین از نظر نوع نهشـته‌ها، در تمام پلایاهای موجود در منطقه مورد مطالعه، هر دو نوع ر سوب کلا ستیک و غیر کلا ستیک وجود دارند. واحدهای رخنمون یافته در این محدوده عمدتا به زمان های الیگوســن تا میوســن شــامل ســازند قرمز زیرین، ســازند قم و ســازند قرمز بالایی هســتند، واحدهای متعلق به ســازند قرمز بالایی با واحدهای پلیوســن و کواترنری پوشــیده اســت (میرحســینی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

بیشتر مساحت استان قم را دشت‌ها تشکیل می‌دهد، مانند دشت‌های قم، جعفرآباد، خلجستان، کهک، قمرود، قنوات، سلفچگان و مسیله است. مهم ترین دشت استان قم، دشت قم است که محل استقرار شهر قم بوده و از قطب‌های مهم صنعتی و کشاورزی استان محسوب می‌شود.

داده‌های مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای ASTER

ت شخیص کانی‌ها و کان سارهای زمین شنا سی در محل، م ستلزم زمان ب سیار و هزینه کلان می‌با شد. امروزه به راحتی می‌توان با ت صاویر ماهواره کار بردا شت و شنا سایی کانی‌های زمین شنا سی و مواد معدنی را با رفتارهای طیفی در باندهای ماهواره‌ای تشــخیص داد. بهترین ســنجنده‌ها در راســتای

تحقیقات زمین شناسی و کانی شناسی سنجنده‌هایی است که باندهای مادن قرمز میانی و حرارتی با رزولوشن مناسب دارا می‌باشد

سنجنده ASTER به روی ماهواره TERRA قرار داشته و بهترین گزینه برای مطالعات زمین شناسی و طبقه بندی مناطق بیابانی می‌باشد. سنجنده ASTER دارای ۳ باند طیفی مرئی ۶ مادون قرمز میانی و ۵ مادون قرمز حرارتی با رزولوشن ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر است و به علت داشتن ۶ باند SWIR ۳۰متری و ۵ باند Thermal ۹۰ متری قابلیت خوبی را در شناسایی کانی‌ها و مواد معدنی خاک دارند. در مطالعه حاضر از یک تصویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER در سال ۲۰۰۴ در جنوب غربی استان قم استفاده شد. برای کار با داده‌های ASTER ابتدا تصحیحات لازم شامل تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری انجام شد. با انجام تصحیحات رادیومتریک در واقع ارزش پیکسل‌ها به ارزش واقعی نزدیک‌تر می‌شود. و برای رفع اثرات اتمسفری بر روی تصاویر، تصحیحات اتمسفری اعمال می‌شود.

الگوریتم‌های مورد استفاده

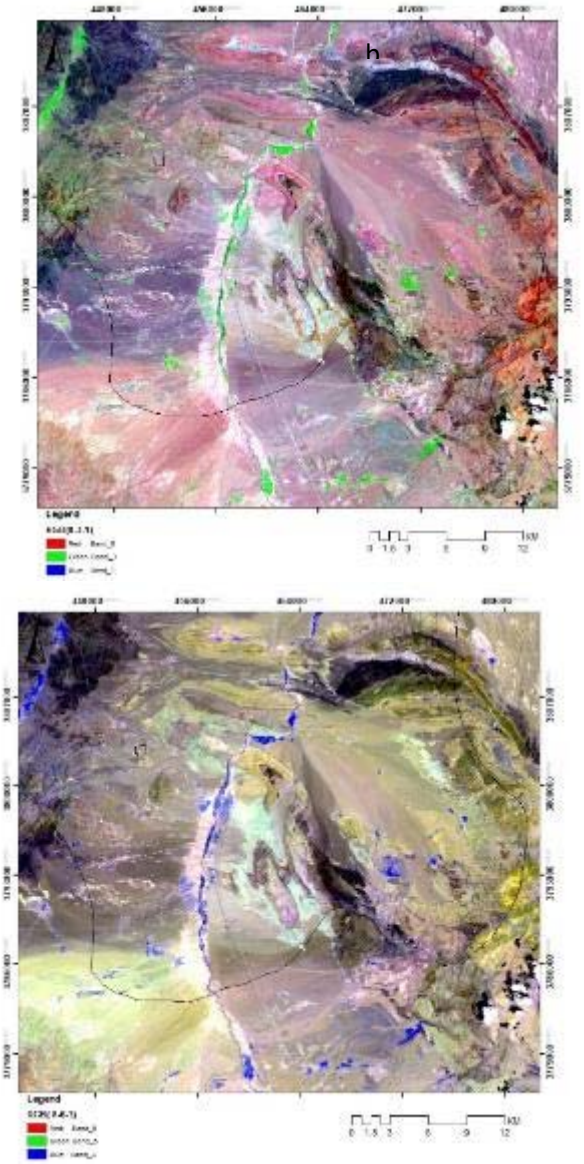
برای تشخیص زمین شناسی و کانی‌های موجود در زمین، روش‌های متعددی معرفی شده است. در هر کدام از روش‌ها تنها از محدوده خاصی از باندهای طیفی استفاده می‌شود. برخی از این روش‌ها صرفا از طیف انعکاسی یا ترکیبی با طیف‌های مادون قرمز میانی و مادون قرمز حرارتی استفاده می شد در این مقاله ابتدا از ترکیب باند رنگی RGB و ترکیب باندی کاذب FCC جهت بارزسازی کانسارها استفاده شد، سپس نسبت گیری باندی (Band Ratio) جهت تشخیص کانی‌های و مواد معدنی بکار گرفته شد. آنالیز مولفه اصلی PCA با ترکیب سه باند طیفی جهت خلاصه سازی و طبقه بندی شد در نهایت با الگوریتم طبقه بندی نظارت نشده Iso data کلاس‌های طبقات مشخص گردید.

ترکیب باند رنگی واقعی[2] (TCC) و کاذب[3] (FCC)

یکی از روش‌های تشخیص تغییرات بر روی تصاویر ماهواره استفاده از ترکیب‌های رنگی (RGB) است. نحوه قرار گرفتن هر کدام از باندهای تصاویر ماهواره‌ای در موقعیت‌های رنگ قرمز، سبز و آبی باعث شناسایی عوارض یا پدیده‌های مختلف به رنگ‌های متفاوتی می‌شود در این مقاله از دو ترکیب رنگی واقعی یا کاذب (RGB: ۳ ۶ ۸) و (RGB: ۱ ۳ ۸) تصویر بدست آمد. برای استفاده از این نوع ترکیبات رنگی باید اثر پدیده‌های مختلف را در تصویر تشخیص داد تا بهترین نتیجه را از ترکیب رنگی به دست آورد.

---

[2] Tero color composite
[3] False color composite



شکل۲- a:ترکیب باند رنگی (۳ ۶ ۸ :RGB) b: (۱ ۳ ۸ :RGB) با تصویر Aster

شاخص‌ها و نسبت باندی Band Ratio

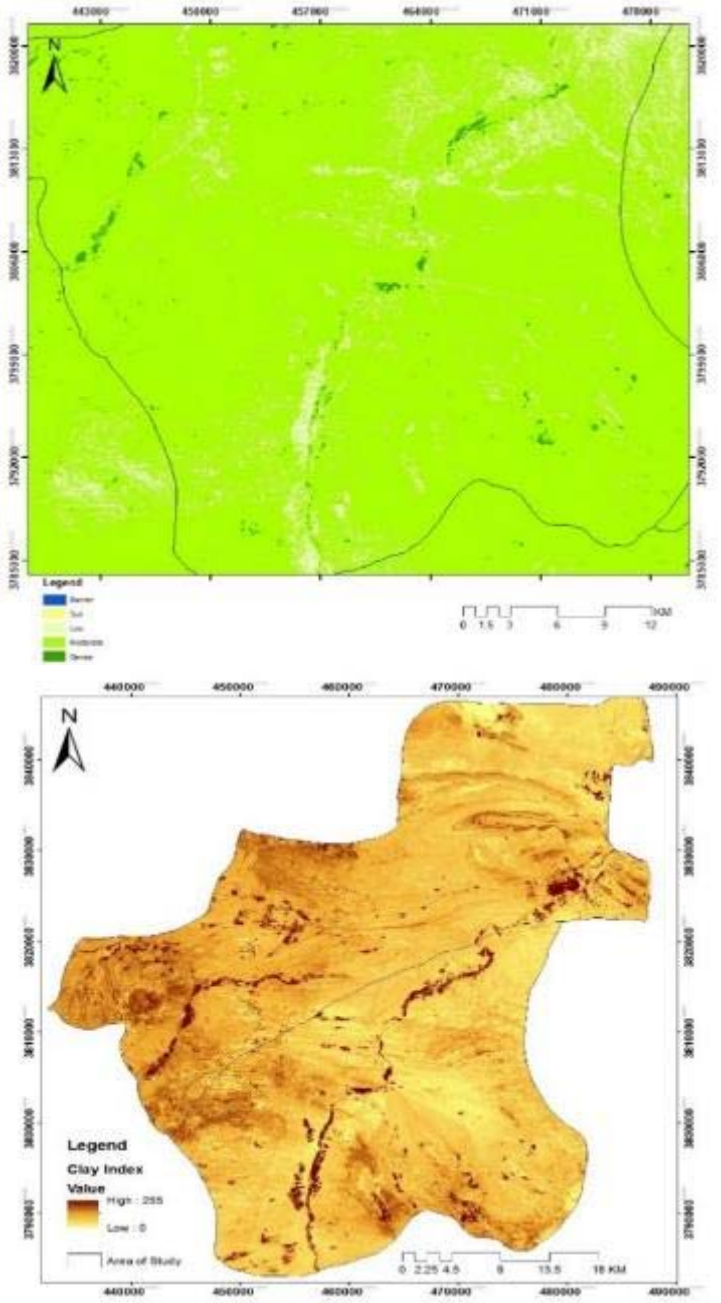
نسبت گیری‌های باندی جهت بارز سازی پدیده‌ها در تصاویر چند باندی استفاده می شود و مهمترین مزیت کاربرد نسبت‌های باندی، تهیه تصویری است که کاملاً از شرایط روشنایی مستقل است(Gupta ۲۰۰۳[2]). به منظور انجام این روش برمبنای ویژگی طیفی کانی‌ها، از باندهایی که حاوی بیشترین اطلاعات آماری باشند یعنی باندهایی که دارای حداکثر جذب و انعکاس باشند، استفاده خواهد شد. در باندهای مورد استفاده باید حداقل یک باند جذبی موجود باشد.

برای تشخیص و شناسایی کانی در تصویر ASTER از باندهای SWIR و Thermal در شاخص‌های زمین شناسی و نسبت باندی استفاده شد. این روش بیشتر در مورد تصاویر چند طیفی کاربرد دارد، باندهای ۴ تا ۱۴ بیشتر برای تشخیص کانی‌های معدنی، کربنات کلسیم، آهن، کوارتز و کائولینت و رس بیشترین کاربرد را داشته لذا در تشخیص کانی کوارتز از باند ۱۴ با بیشترین بازتاب روشنایی و باند ۱۲ جذبی استفاده گردید و طبق روش، مناطق دارای کانی‌های کوارتز به رنگ روشن یا سفیدی مشخص شد. در تشخیص کانی کربنات ازنسبت باندی Band Ratio b13/b14 استفاده شد و میزان کربنات کلسیت و دولومیت خاک با بیشترین بازتاب طیفی و روشنترین رنگ نمایش داده شد. در تشخیص خاک رس از نسبت باندی باندهای ۵، ۷ و ۶ اعمال شده که در مقایسه شاخص پوشش گیاهی NDVI نشان داد مناطقی دارای پوشش گیاهی خوب بوده است دارای رس بیشتر هم می‌باشد در نتیجه شاخص خاک رس رابطه مستقیم با پوشش گیاهی منطقه دارد.

جدول ۱ – شاخص‌های طیفی استفاده شده

کانی‌ها و مواد معدنی	Band Ratio	رفرنس
QI (Quartz)	B14/B12	Rowan and Mars (2003)
CI (Carbonate), Calcite	B13/B14	Ninomiya and Fu (2001), Ninomiya et al. (2005)
SI (Sio2)	B12/B13	Rowan and Mars (2003)
Iron Fe2+	5/3+1/2	Rowan and Mars (2003)
Clay	$(B5*B7)/B6^2$	Bierwith
Iron	(B5/B3) +(B1/B2)	Rowan and Mars (2003)
Dolomite	(B6+B8)/B7	Rowan and Mars (2003)
Kaolinite	B7/B5	Rowan and Mars (2003)
Muscovite	B7/B6	Rowan and Mars (2003)
Alteration	B4/B5	Volesky et al. (2003)
NDVI	(B3-B2)/(B3+B2)	-

2 Gupta 2



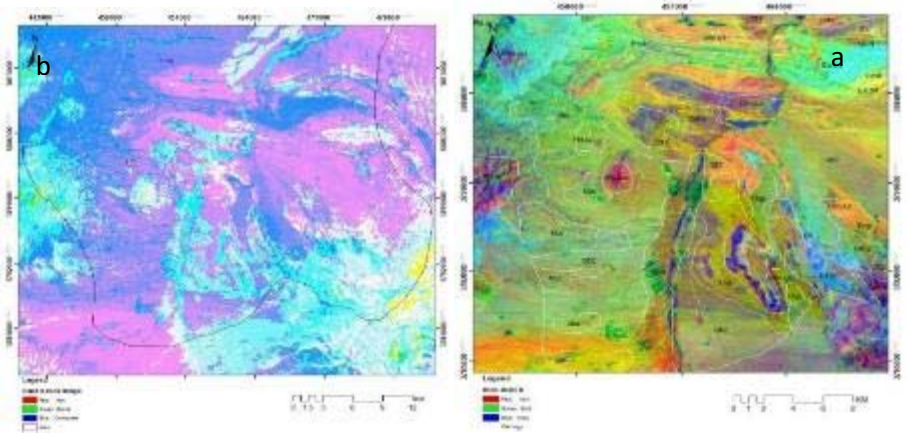
شکل۳- شاخص پوشش گیاهی NDVI و نقشه شاخص خاک رس نسبت باندی ۶/۷ در منطقه مورد مطالعه

نسبت باندی ترکیبی (Band Ratio)

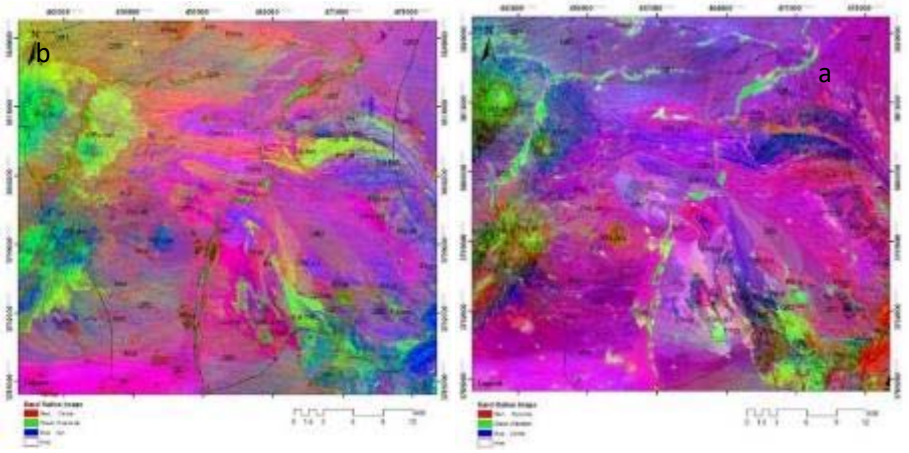
نسبت‌گیری باندی در واقع یکی از روش‌های پردازش تصاویر چندطیفی است که شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر به یک باند طیفی و پیکسل‌های متناظر آن، یا تصویر باند دیگر است(Rowan و همکاران، ۲۰۰۳). روش نسبت‌گیری باندی می‌تواند برای بارزسازی اختلاف طیفی بین باندها مورد استفاده قرار گیرد، همچنین اثرات سایه و اختلاف روشنایی زمین را به دلیل شیب زمین کاهش دهد(Abera و همکاران، ۲۰۰۵). بعد از انجام نسبت گیری باندی و شاخص‌های بدست آمده، از روش نسبت باندی ترکیبی (BR) چهار نقشه با ترکیب باندی رنگی از سه شاخص بدست آمد. از جمله شاخص‌های اعمال شده در نقشه های ترکیبی اکسید آهن، کوارتز و کربنات، سیلیس، رس، دولومیت، کلسیت و مسکویت جهت بارز سازی بوده است. نتایج در نقشه‌ها نشان داد کانی‌های معدنی به شکل ترکیب باند رنگ‌های مختلف نمایش داده شد(شکل۴ و۵). در جدول ۲ نسبت گیری باند ترکیبی از شاخص‌های زمین شناسی اعمال شده بدست آمد در نقشه اول باند قرمز اکسیدآهن باند سبز کوارتز و باند آبی کربنات را نشان می‌دهد. در نقشه دوم مناطق آهن دار با رنگ قرمز، مناطق دارای سیلیس خاک با رنگ سبز و مناطق دارای خاک رس به رنگ آبی بوده است. در نقشه سوم دولومیت و آلتراسیون کانی‌ها به رنگ قرمز و سبز و کلسیت به رنگ آبی نمایش داده شد، در نقشه آخر کلسیت و مسکویت در خاک به رنگ قرمز و آبی بوده و خاک آهن دار به رنگ قرمز نشان داده شد.

جدول ۲- استفاده از نسبت باندی ترکیبی در ترکیب رنگی های کاذب

	Features	R	G	B
1	Iron-Quartz-Carbonate	(B5/B3) +(B1/B2)	B14/B12	B13/B14
2	Iron-Sio2-Clay	(B5/B3) +(B1/B2)	B12/B13	$(B5*B7)/B6^2$
3	Dolomite-Alteration-Calcite	(B6+B8)/B7	B4/B5	B13/B14
4	Calcite- Muscovite-Iron	B13/B14	B7/B6	(B5/B3) +(B1/B2)



شکل۴-a :نقشه نسبت باندهای ترکیبی(RGB: Iron, Quartz, Carbonate) b : نسبت باند ترکیبی (RGB: Iron, Sio2, Clay)



شکل ۵- a: نقشه نسبت باندهای ترکیبی(RGB: Dolomite, Alteration, Calcite) b: نسبت باند ترکیبی (RGB: Calcite, Muscovite, Iron)

آنالیز مولفه‌های اصلی[۲۳]PCA و طبقه بندی نظارت نشده ISO DATA

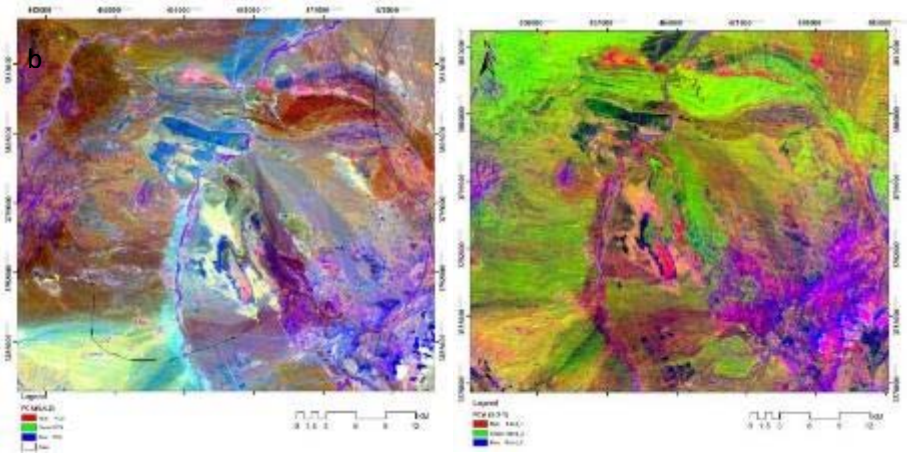
آنالیز مولفه ا صلی PCA برای شنا سایی پدیده‌ها و آلترا سیون کانی‌های زمین شنا سی واقع برای مناطقی که دسترسی به آن سخت می‌باشد، PCA روش مناسبی خواهد بود و می‌تواند پدیده‌هایی که حداکثر بازتاب مشابه را نسبت به یکدیگر دارند را نمایش و واریانس داده‌ها را به حداکثر رساند.. به منظور شناسایی نواحی

[2] Principal Component Analysis

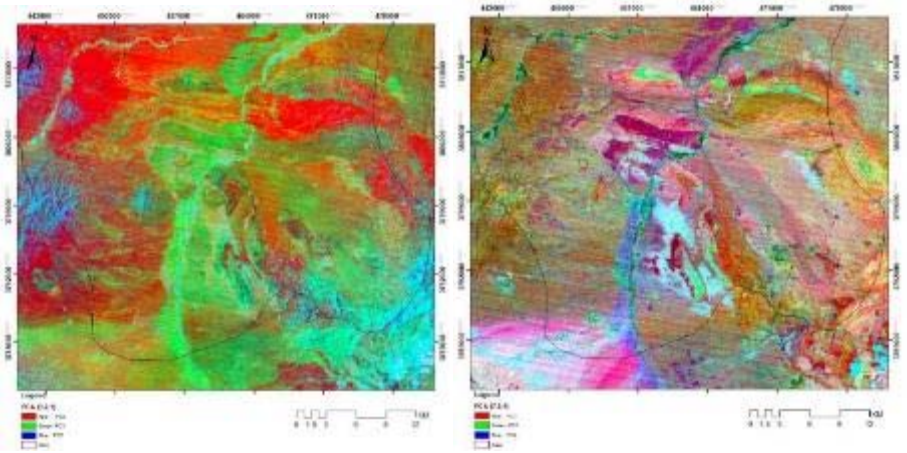
آلتراسیون مرتبط با کانی‌های رسی، کائولن، کوارتز، کربنات کلسیم، اکسیدآهن، مسکویت و دولومیت با استفاده از باندهای مادون قرمز میانی و مادون قرمز حرارتی انجام شد(قادری و عبدالعلی، ۱۴۰۲) طبق روش کار PCA ۹۰ در صد اطلاعات باندها در ۳ باند اول PCA خواهد بود. بر این برا ساس از سه باند مختلف برای روش PCA استفاده شد و ۴ نقشه PCA از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ در محدوده SWIR و Thermal بدست آمد، بنابراین می‌توان آلتراسیون کانی‌ها را بهتر بارزسازی کرد. (طبق جدول ۳ و شکل۶)

جدول۳- PCA انجام شده

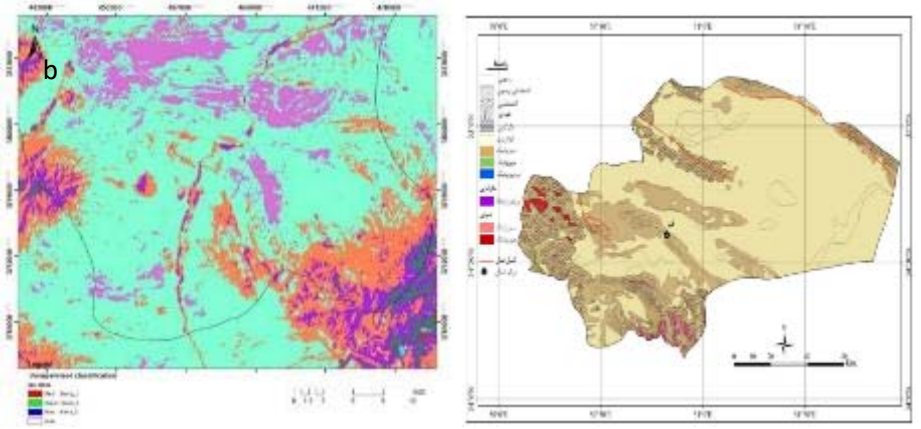
PCA1	PC5	PC4	PC2
PCA2	PC5	PC3	PC1
PCA3	PC3	PC2	PC1
PCA4	PC7	PC5	PC4



شکل۶- a: نقشه آنالیز مولفه اصلی (PCA) با سه PC5، PC4، PC2، b: نقشه PCA با ترکیب PC5، PC3، PC2



شکل۷- a: نقشه آنالیز مولفه اصلی (PCA) با سه PC3، PC2، PC1، b: نقشه PCA با ترکیب PC7، PC4 ،PC5



شکل ۸-a: نقشه زمین شناسی ساده شده استان قم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی) b: نقشه طبقه بندی نظارت نشده ISO DATA

نتایج و بحث

مطالعات زیادی در رابطه با تشخیص کانی‌های زمین شناسی و شناسایی مواد معدنی خاک جهت استخراج در معادن و بهره وری در اکتشافات مواد معدنی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در جهان صورت گرفته ا ست، با برر سی مطالعات گذ شته در این زمینه و تحقیق راجع به روش‌های انجام شده می‌توانیم از روش‌های نوینی به جهت تشخیص، تعیین و شنا سایی کانی‌ها با بازتاب‌های طیفی به منظور خلا صه سازی، آ شکار سازی تغیرات کاربری ارا ضی، تغیرات در مناطق بیابانی، شناخت مناطق صعب العبور و شنا سایی راحت مواد معدنی در خاک در نهایت شناخت مناطق منا سب جهت تولیدات

محصولات از مواد معدنی در شهرها و روستاها و مناطق بیابانی استفاده کرد. در این پژوهش سعی بر این شد با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ASTER و با کمک نقشه‌های زمین شناسی مناطق مناسب جهت تشخیص کانی‌های خاک در منطقه سلفچگان استان قم شناسایی گردید.

در راستای مقاله انجام شده پژوهش دیگری مشابه همین تحقیق، توسط اکبری و همکاران در سال ۱۳۹۷ انجام شد، در این مطالعه داده‌های ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI با هدف شناسایی مناطق مستعد کانی‌زایی آهن در محدوده استان قم مورد پردازش قرار گرفته است. و از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی و کمترین مربعات رگرسیون شده به منظور شناسایی زون‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌زایی آهن در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. با به کارگیری این روش‌های پردازش در نهایت مناطق دارای کانی‌زایی آهن شناسایی و جهت مطالعات تکمیلی در ادامه فرآیند اکتشاف معرفی شده است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۷).

بررسی‌های سنجش از دوری به دلیل فراهم کردن داده‌هایی با دید وسیع، محدوده طول موج‌های مختلف که در شناسایی کانی‌سازی‌های گوناگون کاربرد فراوان دارد به لحاظ پتانسیل‌های بالقوه معدنی در استان قم در ارتباط با بکارگیری مواد معدنی شناسایی شده در صنایع مختلف وجود داشته است. لذا بررسی‌های اکتشافی بسیاری در قالب مطالعات دور سنجی جهت شناسایی نواحی بیابانی در محدوده این استان صورت گرفته است.

با بررسی انجام شده، تصاویر ASTER با ۱۴ باند طیفی توانایی تشخیص آلتراسیون کانی سازی در منطقه مورد مطالعه را داشته است. ابتدا تصویر ASTER مناسب منطقه در تاریخ جولای ۲۰۰۴ از سایت USGS اخذ گردید. سپس پیش پردازش و تصحیحات لازم رادیومتریکی و اتمسفری در نرم افزار ENVI 5.6 انجام شده است. تصویر تصحیح شده که محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد به صورت نقشه ترکیب رنگی کاذب (RGB:8 6 3) و (RGB:8 3 1) جهت تفسیر بصری، بارز سازی کانی‌ها و پدیده‌ها، در شکل ۲ نمایش داده شد.

سپس به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه از روش‌های نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی PCA به منظور خلاصه سازی، طبقه بندی پدیده‌های و کانی‌ها بکارگرفته شد. مرحله بعدی روش ترکیبی نسبت باندی شاخص های QI، CI، SI، Clay، Iron، Dolomite، Kaolonite، Muscovite، Alteration، Calcite جهت نمایش و آشکارسازی کانی‌ها در محدوده ایجاد گردید(شکل۴ و ۵). با روش نسبت باند ترکیبی مواد معدنی خاک به رنگ های مختلف نمایش و بارز سازی شد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

از نظر زمین شناسی و پهنه‌های ساختاری _ رسوبی استان قم بخشی از قلمروی ساختاری ایران مرکزی است که مورفولوژی حاکم بر آن شامل مجموعه‌ای از رشته کوه‌ها و دشت‌های نیمه موازی با روند شمال غربی جنوب شرقی است. رخنمون‌های کربناته آهکی سازند قم به سن الیگوسن _ میوسن نشان می‌دهد که در این زمان دریا برای آخرین بار نواحی کم ارتفاع ا ستان قم را پو شانده و ته ن ش ست‌های اساساً آهکی و مارنی سازند قم بجای گذاشته شده است.

در این مقاله از دو ترکیب رنگی کاذب (RGB: ۸ ۶ ۳) و (RGB: ۸ ۳ ۱) ت صویر بد ست آمد. ترکیب باند رنگی ۸۶۳ منطقه مورد مطالعه را به خوبی بارزسازی کرده و مناطق آهن دار با رنگ قرمز نشان داده شد. ترکیب باند رنگی ۸۶۳ خاک را روشنتر و پدیده‌ها را به خوبی بارز سازی کرده است. با نسبت باندی ۶/۷ خاک رس منطقه نمایش داده شد طبق نتایج در نقشه‌ها رابطه مستقمی بین پوشش گیاهی و خاک رس وجود دارد. یعنی جاهایی که خاک رس بیشتر نمایان است پوشش گیاه بیشتری رشد کرده است. با روش نسبت باندی خاک رس، کربنات کلسیم، سیلیس، اکسید آهن و کوارتز منطقه بارز شد. و با آنالیز مولفه PCA مناطق دارای تغیرات و آلتراسیون کانی‌ها بسیار مشهود و جداسازی شد. در ادامه با نمونه برداری زمینی در منطقه مورد مطالعه و نقشه‌های زمین شناسی صحت سنجی انجام شد.

با برر سی نتایج (Band Ration=(Iron- Quartz- Carbonaite کربنات کل سیم، کوارتز، سیلیس و اک سید آهن به خوبی ن شان داد و در جنوب و شمال محدوده مورد مطالعه در صد کربنات کل سیم بالا بوده ا ست. طبق نتایج بد ست آمده مناطق دارای خاک مناسب تولیدات محصولات معدنی را می‌توان با تصاویر ASTER بارزسازی و نمایان کرد، با توجه به اینکه باند مادون قرمز دور[۴]در شناسایی و آلتراسیون کانی‌ها بسیار موثر بوده است می‌توان از تصاویر دارای باند مادون قرمز دور (SWIR) و تصاویر سنتینل ۲ و تصاویر هایپریون در بارزسازی، شناسایی، تشخیص، تجزیه و تحلیل کانی‌ها، عناصر خاک و زمین شناسی منطقه استفاده نمود. جهت تشخیص دقیق‌تر و تمایز بهتر کانی‌های زمین شناسی با تصاویر می‌توان از الگوریتم‌های طبقه بندی نظارت شده هم استفاده نمود.

منابع

- اکبری، ف. م، عباس‌زاده. ا، افضلی. ۱۳۹۷. شناسایی نواحی دارای کانی‌زایی آهن در استان قم با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست OLI. دهمین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان.

[2] SWIR Band [4]

- عباس زاده، م. ۱۳۹۷. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در شناسایی نواحی مستعد کانی‌سازی در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آران. دهمین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان، شهریور ۱۳۹۷.
- قادری، ب. ح ر،عبدالعلی ۱۴۰۲. استفاده از دورسنجی ماهواره‌ای در پتانسیل‌یابی مناطق دارای مواد اولیه آجر. هفتمین کنفرانس ملی سیستم اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق، خرداد ماه ۱۴۰۲.
- قادریان، ف. ر. ارفع نیا. ۱۳۹۷. ارزیابی پتانسیل کانسارسازی آهن و سیلیس با استفاده از روش‌های سنجش از دور در منطقه باقرآباد-جنبه، شمال شرق ا صفهان. دهمین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان، شهریور ۱۳۹۷.
- دلاوری، م. ع، دامغانی. ۱۴۰۱. تنوع زمین شناسی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه کهک(جنوب قم): شاهدی بر شرایط مختلف ذوب گو شته در کمان ماگمایی ارومیه-دختر. مجله پتولوژی، سال سیزدهم، شماره پنجاهم، تابستان ۱۴۰۱، ص ۹۱-۱۲۰.
- درویش زاده،علی و محمدی، مهین، (۱۳۸۶): «زمین شناسی ایران» انتشارات دانشگاه پیام نور.
- میرحسینی، ع. ق، نباتیان. ا، زهدی، آ، سلسانی. ۱۳۹۹. چینه نگاری سنگی، پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه سنگ های بخش میانی سازند قرمز بالایی منطقه قزلجه، شمال غرب زنجان، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال سی و ششم، شماره پیاپی ۸۱، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹.
- Rowan, L. and J. Mars. 2003. Rates Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, Remote Sensing of Environment, Volume 84, Issue 3 Pages 350-366.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2001. Spectral indices for lithologic mapping with ASTER thermal infrared data applying to a part of Beishan Mountains, Gansu, China. In: Proceedings of the IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. pp. 2988–2990.
- Ninomiya. Y., FU. Bihong Cudahy. Th., 2003. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data. Remote Sensing of Environment, Volume 99, Issues 1–2, 15 November 2005, Pages 127-139.
- Volesky., J C., R, Stern, P R., Johnson., 2003. Geological control of massive sulfide mineralization in the Neoproterozoic Wadi Bidah shear zone, southwestern Saudi Arabia, inferences from orbital remote sensing and field studies,. Precambrian Research Volume 123, Issues 2–4, 10 June 2003, Pages 235-247.

- Gupta R.P. 2003. Remote Sensing Geology, second edition, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 655 pp.
- Abera., B.G., 2005. "Application of remote sensing and spatial data integration modeling to predictive mapping of apatite-mineralized zones in the Bikalal layered gabbro complex, Western Ethiopia. Master of Science Thesis in Geo-information Science and Earth Observation, Specialisation: Mineral Resource Exploration, Enschede the Netherlands .

برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنجش از دور

قباد رستمی زاد*[۱]

۱* استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران *gh.rostamizad@areeo.ac.ir*

چکیده

محدودیت روش‌های فیزیکی و تجربی برآورد تبخیر-تعرق واقعی (ETa)، کاربرد فن‌آوری سنجش از دور را برای حل معادله بیلان انرژی در سال‌های اخیر رایج ساخته است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی ETa بیلان انرژی و سنجش از دور در دشت سهرین - قره‌چریان، واسنجی و اجرای گسترده مدل METRIC بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از مهر ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸ انجام گرفت. داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل از ایستگاه هواشناسی فرودگاه زنجان گردآوری شد. در این پژوهش تعداد ۲۵ تصویر به کار گرفته و ضمن تولید نقشه ETa، مقادیر آن برای پیکسل‌های پیکره‌های آبی استخراج شد تا با ETo روش فائو پنمن-مانتیث مقایسه شود. نتایج نشان داد مقایسهٔ نتایج این دو روش نشان داد الگوریتم متریک قابلیت مناسبی به منظور تعیین تبخیر و تعرق در منطقهٔ مورد مطالعه دارد. علاوه بر این بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه به مشکلاتی که در روش‌های بیلان رطوبتی وجود دارد و مزایایی که استفاده از ماهواره در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود.

واژه‌های کلیدی

تبخیر و تعرق، سنجش از دور، مدل متریک، لندست ۸، دشت سهرین-قره‌چریان

مقدمه

آگاهی از میزان تبخیر-تعرق واقعی (ETa) انواع پوشش گیاهی از مهمترین نیازهای حل معادله بیلان آبی در ارزیابی اثر بخشی طرح‌های تغذیه مصنوعی است اهمیت این عامل به ویژه در مناطق خشک بیشتر است چرا که سهم ETa در چرخه آب شناسی به نسبت افزونتر از سایر عامل‌هاست. مقدار ETa در مقیاسهای فصلی و منطقه ای متغیر است و بستگی زیادی به شرایط محیطی دارد. روشهای سنتی برآورد ET متکی به اندازه گیری‌های نقطه ای از عاملهای موثر بوده و نتایج آن به درستی نمیتواند برای پهنه‌های وسیع نمایندگی کند (Allen و همکاران، ۲۰۱۱) و به دلیل عدم مشابهت در پوشش زمین و

پستی و بلندی و نیز بدلیل پیچیدگی در انتقال جریان گرما به خوبی قابل تعمیم به مناطق دیگر نیست (Su، ۲۰۰۲) .

ET یک پدیده غیر خطی و پیچیده ا ست که به عوامل مختلف اقلیمی، خاکی و گیاهی مختلف بستگی دارد. بنابراین تعیین یک مدل ریا ضی برای آن با در نظر گرفتن تمام عوامل موثر در آن، کاری م شکل، دارای منابع خطای قابل توجه و با نیاز اطلاعاتی زیاد است که اندازه‌گیری آنها مشکل و وقت‌گیر می‌باشد. یکی از مطرح‌ترین روش‌های برآورد ET در دهه اخیر، روش توازن انرژی سطحی است. با استفاده از این روش مولفه‌های مختلف توازن انرژی در مقیاس منطقه‌ای و با کمترین داده‌های زمینی محا سبه می شود. به‌طور خلا صه ارتباط بین ت شع شعات دریافتی تو سط ماهواره‌ها از سطح زمین در باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی و نیز وجود اختلاف زیاد در ویژگی‌های هیدرولوژیک سطح زمین، پایه و اساس معادلات در الگوریتم بیلان انرژی می‌باشد. در این الگوریتم با توجه به شار ورودی به پو شش سطح زمین و خروج آن از طریق طول موج کوتاه و بلند، امکان محا سبه تشعشع خالص جذب شده تو سط هر سلول در سطح زمین فراهم می‌آید. این تشعشع با توجه به اختلاف درجه هوا و سطح پو شش زمین، شدت و ضعف پو شش‌گیاهی و مقاومت آیرودینامیکی سطح زمین به اجزا مختلف نظیر جریان گرمایی خاک، جریان گرمای محسوس و جریان گرمای نهان تبخیر تقسیم می‌گردد. جریان گرمای نهان تبخیر از باقی‌مانده معادله بیلان انرژی حاصل می‌گردد (Bastiaanssen، ۲۰۰۰).

امروزه با توجه به موفقیت‌های گسترده در کاربرد مدل‌های توازن انرژی، متخصصان پیشتاز در روش‌های سنتی برآورد ET به این مدل‌ها گرایش یافته، به گونه ای که مقالات و انتشارات جدید آنها بر توسعه و بهینه سازی آنها متمرکز شده است. از پرکاربردترین مدل‌ها می‌توان به متریک و سبس اشاره کرد. مدل متریک توسط همان تیم تخصصی توسعه یافته (Allen و همکاران، ۲۰۰۷) که مؤلف نشریه معروف فائو ۵۶ بوده و نتیجه کار آن زمان آنها روش "فائو پنمن-مانتیث" است که نزدیک به دو دهه به عنوان یک روش استاندارد برآورد ET گیاه مرجع شناخته می شود. این مدل در حال حاضر مقبولیت گسترده ای یافته و جدیدترین مقالات نشان از هماهنگی نتایج آن با اندازه گیری‌های زمینی دارد (Allen و همکاران ۲۰۱۳؛ Mokhtari و همکاران ۲۰۱۳؛ Pochas و همکاران ۲۰۱۳؛ Pereira و همکاران ۲۰۱۵؛ Tasumi ۲۰۱۹؛ Mundal و همکاران ۲۰۲۲؛ Yang و همکاران ۲۰۲۲).

در ایران سابقه کاربرد مدل‌های توازن انرژی در ابتدا به مدل SEBAL مربوط می‌شود (عمادزاده، ۱۳۸۶؛ یعقوبی فشکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ غلامی سفید کوهی و میرلطفی، ۱۳۸۸؛ محسنی ساروی و همکاران، ۱۳۸۹؛ پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قمرنیا و رضوانی، ۱۳۹۳؛ میر یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ ۲۰۱۹). همچنین نتایجی از کار بر روی مدل METRIC در کشور وجود دارد که از اهم آنها می‌توان به کارهای امیدوار و همکاران (۱۳۹۲)، قربانی و همکاران (۱۳۹۴)،

نظری و همکاران (۱۳۹۶)، مرشدی و همکاران (۱۳۹۶) و رضایی و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد. در همه موارد یاد شده محققان تلاش کرده‌اند تا ضمن معرفی مدل برای کاربرد در یک منطقه خاص، پراکنش ET را به بصورت نقشه ارائه دهند اما واسنجی یا صحت سنجی مدل در میان آنها دیده نمی‌شود. اهمیت این عامل به‌ویژه در مناطق خشک بیشتر است چرا که سهم ETa در چرخه آب شناسی به نسبت افزونتر از سایر عامل‌هاست. مقدار ETa در مقیاس‌های فصلی و منطقه‌ای متغیر بوده و بستگی زیادی به شرایط محیطی دارد. با توجه به تأثیر عوامل مختلفی مثل اقلیم، نوع گیاه، مدیریت کاشت و داشت و کیفیت آب و خاک (تنش‌های محیطی) بر ET، روش‌های متنوعی از نزدیک به یک قرن پیش توسط محققان معرفی شده و برخی از آنها مقبولیت جهانی یافته‌اند. وجود الگوریتم‌ها و روش‌های متعدد و متفاوت برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و از طرفی تولید روش‌های جدید که برخی دارای تفاوت‌های بسیار با الگوریتم‌های پیشین‌اند نشان می‌دهد تکنولوژی سنجش از دور گرچه با سرعت زیادی در حال پیشرفت است، اما هنوز راه زیادی تا تکامل در پیش‌رو دارد. بنابراین ضروری است تا روش‌های موجود به دقت مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های جدیدتر همراه با دقت برآورد بهتری ارائه شوند.

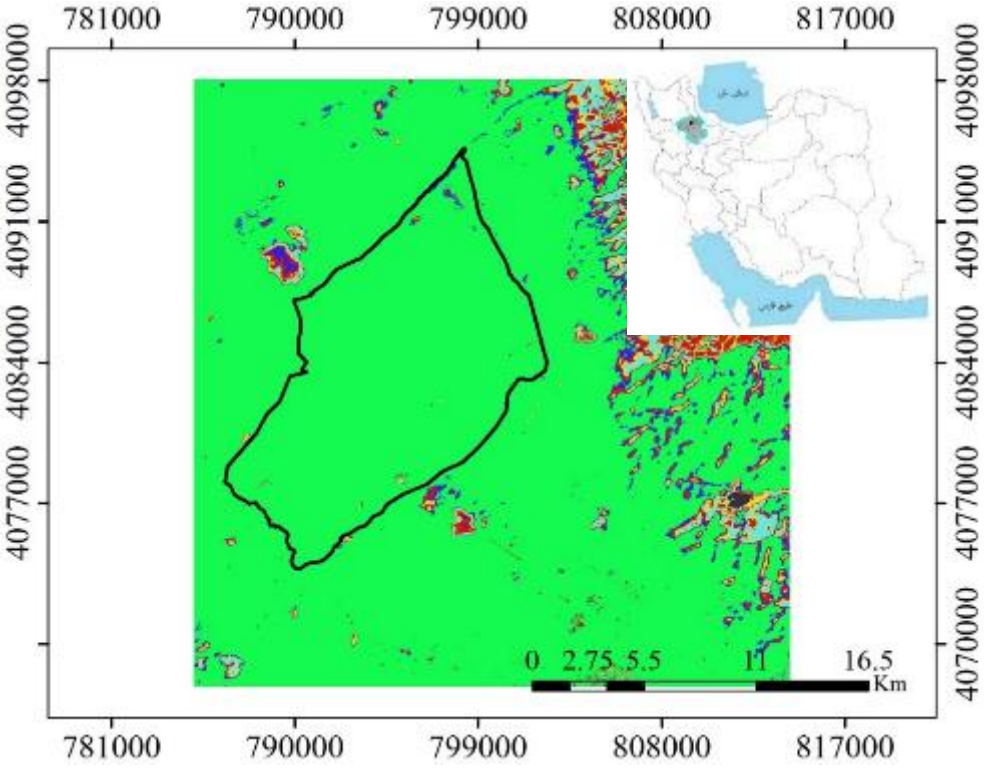
METRIC یک الگوریتم سنجش از دور است که بر اساس مفهوم بیلان انرژی طراحی شده و برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند و نیازمند سه سری داده‌های ورودی است. اولین سری شامل تولیدات رادیومتریک یک ماهواره شامل آلبیدوی سطحی، انتشار سطحی و دمای سطحی است. دومین سری از محتویات اطلاعات هواشناسی است که شامل فشار بخار هوا، دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و تابش موج کوتاه ورودی است. سومین سری از اطلاعات ورودی شامل پوشش‌گیاهی جزیی (نسبت سطح پوشش گیاهی به کل سطح زمین)، شاخص سطح برگ و ارتفاع زبری است (Allen و همکاران، ۲۰۰۷). پایش مستمر مقدار مصرف آب برای پروژه‌های آبی از نقطه نظر مدیریت حقابه‌ها، برنامه ریزی آبیاری، افزایش بهره‌وری آب، و تنظیم بیلان هیدرولوژیک آب حوضه مهم می‌باشد. به‌علاوه، تفاوت‌های بین تبخیر-تعرق واقعی (ETa) و تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ETo)، به عنوان یک شاخص کمبود آب، در قدرت تفکیک مکانی بالا در بسیاری از کاربردها از جمله کشاورزی و منابع آب مورد توجه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان زنجان در ناحیه مرکزی شمال غربی ایران واقع شده است و با هفت استان همسایه است، مساحت استان زنجان،۲۲ هزار و ۴۶۱ کیلومتر مربع است و ۱/۴۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل

می‌شود. ارتفاعات و دشت‌های استان توسط رود قزل اوزن و شاخه‌های آن مانند زنجان‌رود که در نهایت به دریای خزر می‌ریزند و رودهای ابهر و خرارود که به سیستم ایران مرکزی تعلق دارند زهکش می‌شود. منطقه مورد مطالعه در محدوده پخش سیلاب واقع در ایستگاه تحقیقاتی قره‌چریان و در حوزه آبخیز رودخانه قره‌چریان قرار دارد. آبدهی متوسط سالانه رودخانه قره‌چریان که سیلاب ورودی به ایستگاه از آن انحراف داده می‌شود، در حدود ۵۶۲/۳۷ لیتر در ثانیه است. بر اساس داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه هیدرومتری موجود در ورودی ایستگاه سالانه بطور متوسط حدود ۸الی ۱۰ میلیون مترمکعب سیلاب به عرصه پخش سیلاب وارد می شود. با توجه به نفوذپذیری بالای رسوبات عرصه پخش سیلاب ایستگاه و شرایط جوی و تبخیر و تعرق بسیار کم منطقه، از این میزان حجم آبگیری، حداقل ۶/۵ میلیون مترمکعب آب در سفره آب زیرزمینی یا آبخوان منطقه ذخیره سازی شده است. این حجم آب ذخیره شده مصارف آب کشاورزی و شرب و سایر نیازهای آبی ۱۳ روستای منتفع از آن را تأمین می‌کند. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این مطالعه از تصاویر ماهواره Landsat 8 استفاده شد. از مدل METRIC نیز برای برآورد تغییرات زمانی و مکانی ET استفاده گردید. پوشش‌گیاهی نوع و ارتفاع آن نیز با استفاده از بازدید زمینی تعیین شد. افزون بر داده‌های سنجش از دور، داده‌های هواشناسی ساعتی و نقشه‌های کاربری‌ارا ضی منطقه مورد نظر به‌عنوان ورودی مدل METRIC به‌کار گرفته شد. در ادامه سه گروه عمده تصحیحات رایج شامل تصحیحات سنجنده، هند سی و رادیومتریک انجام شد. بطور کلی از چها گروه داده‌های ورودی به مدل METRIC استفاده شد:

الف-داده‌های روزانه و لحظه‌ای هوا شنا سی نظیر بارش، دما، رطوبت، باد، ساعات آفتابی و تشعشع ورودی؛

ب-داده‌های پایه‌ای (بیسیک) ماهواره‌ای شامل باندهای بازتاب سطحی و حرارتی حاصل از تصحیح اتمسفری؛

ج-محصولات پایه سنجش از دور شامل آلبیدو، دمای سطح خاک، گسیل‌مندی؛

د- محصولات ثانویه سنجش از دور شامل شاخص‌های NDVI و SAVI، شاخص سطح برگ، انواع تشعشع‌های ورودی و خروجی برای محاسبه تشعشع خالص (Rn).

اساس نظری و محاسباتی مدل متریک توسط ریچارد آلن و همکاران در سال۲۰۰۷ شرح داده شده است (Allen و همکاران ۲۰۰۷). به طور کلی در مدل متریکET از تصاویر ماهواره‌ای با بکارگیری یک معادله بیلان انرژی در سطح زمین تعیین می شود. جایی که انرژی مصرف شده توسط جریان ET به عنوان یک باقی مانده از معادله انرژی سطحی محاسبه می‌شود (معادله ۱). در صورتی که از یک سطح مرطوب گیاه شیب فشار بخار وجود داشته و آب کافی برای تبخیر نیز وجود داشته باشد، مقدار ET بر اساس انرژی موجود کنترل می‌شود.

$$\lambda E = Rn - G - H \qquad (1)$$

که در این رابطه، Rn تابش خالص ورودی به سطح مورد نظر، G شار گرمای سطح زمین و H مقدار گرمایی است که صرف گرم کردن هوا می‌شود. در این رابطه از مقدار گرمایی که در گیاه ذخیره می‌شود و از مقدار انرژی که صرف ET می شود صرف‌نظر شده ا ست. در این روش‌ها از G صرف‌نظر شده و سپس از نسبت بوون برای اندازه‌گیری ET استفاده می‌شود.

نتایج

در این مطالعه از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ و سطح ۱ ا ستفاده شد. د شت سهرین-قره چریان در فریم ماهواره‌ای ۱۶۷ قراردارد. تصاویر اخذ شده مربوط به دوره آماری کشت محصولات مهم زراعی

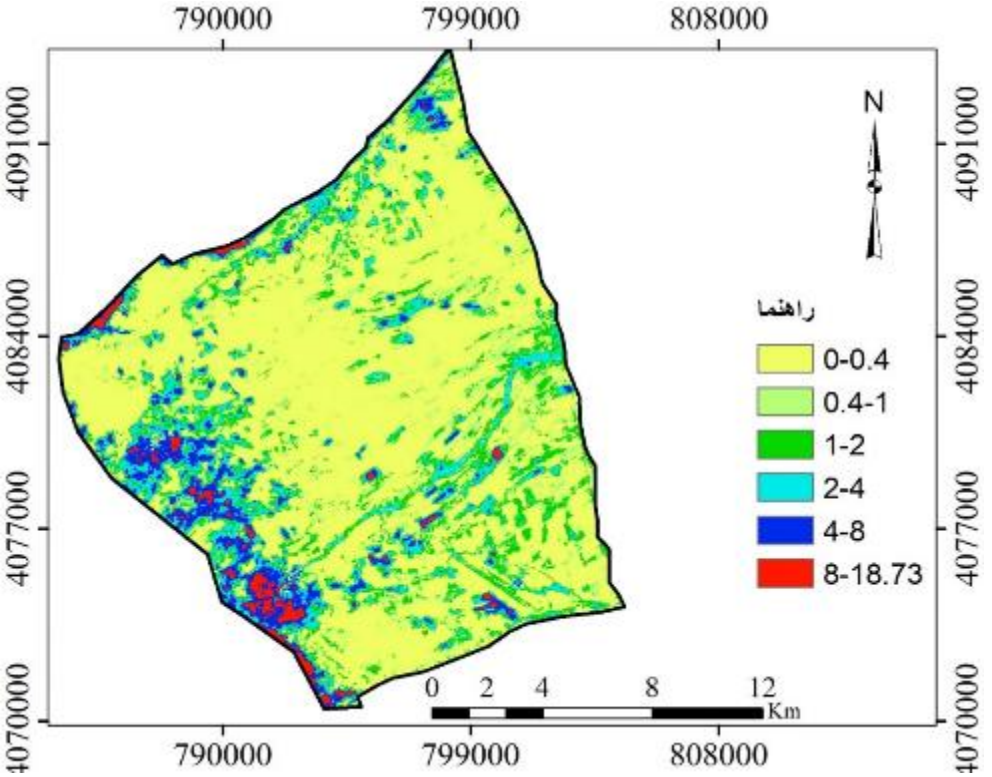
مانند گندم، جو و باغات مهم مانند زردآلو، سیب، گردو و هلو در دشت سهرین-قره چریان است. بعد از تهیه ورودی‌های لازم، مدل اجرا شده و در صورت نیاز تلاش شد با تغییر معادلات آن نتایج به حداکثر انطباق با اندازه‌گیری‌ها برسد. حالت بهینه مدل زمانی است که ارقام ETa برآوردی مدل برای مکان‌هایی که یک محدوده‌ی آبی نظیر استخر آبیاری با ارقام محاسبه شده بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانتیث[2] حداکثر تشابه بر سد. از آنجایی که این مطالعه در سایتی انجام شد که داده‌های ETa (زمینی) برای مقایسه با ETa شبیه سازی شده قابل برداشت از سطح زمین نبود، با استفاده از مدل فائو پنمن-مانتیس، از داده‌های ETo به‌عنوان شاهد تبخیر-تعرق در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور ارقام ETa مدل برای پیکسل‌های یک محدوده‌ی آبی در همه‌ی نقشه‌های سری زمانی استخراج و به‌عنوان یک‌سری داده برآوردی ثبت شد. مقادیر ETo برای همان روزهای سری زمانی با روش استاندارد فائوپنمن-مانتیث نیز به کمک داده‌های هواشناسی محاسبه شد. در تحقیق جاری واسنجی مدل با تصاویر مربوط به دوره یکساله ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد که جزییات آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

از آنجا که تصاویر ماهواره‌ای مربوط به مقاطع زمانی ۱۶ روزه است و حتی در بعضی ماهها به دلیل شرایط جوی و افزایش ابرناکی در بعضی تاریخ‌ها تصویر در دسترس نبوده و این فاصله زمانی دوبرابر خواهد شد. از طرفی لازم است که مقادیر تبخیر-تعرق روزهای مابین این مقاطع نیز تعیین شود. برای این کار از مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع ETo کمک گرفته شد (Su و همکاران ۲۰۰۸). با محاسبه این پارامتر برای تمام دوره سال آبی، نسبت بین ETa/ETo در مقاطع زمانی دارای تصویر تعیین شده و همین نسبت برای تبدیل ETo بین مقاطع زمانی به ETa استفاده خواهد شد. همان‌طور که در شکل (۳) قابل مشاهده است دامنه تبخیر و تعرق در منطقه مختلف بوده و بستگی به درصد پوشش متفاوت می‌باشد. به عبارتی هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد این مقدار نیز بیشتر خواهد بود. علاوه بر درصد پوشش گیاهی زمان وفصل نیز بر میزان تبخیر و تعرق واقعی تاثیرگذار می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش و برآورد میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های سرد و گرم سال، نتایج نشان داد در فصول گرم میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه نقشه تبخیر و تعرق حاصل از مدل متریک در تاریخ ۱۳۹۸/۰۳/۲۸ در شکل (۲) نشان داده شده است. البته برای کل تصاویر نقشه تبخیر و تعرق با استفاده از مدل متریک استخراج شد که به تفکیک هر تصویر تبخیر و تعرق مربوط به پیکسل پیکره آبی در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

2 - FAO Penman-Monteith

جدول ۱- تصاویر به کار رفته جهت مرحله واسنجی مدل متریک

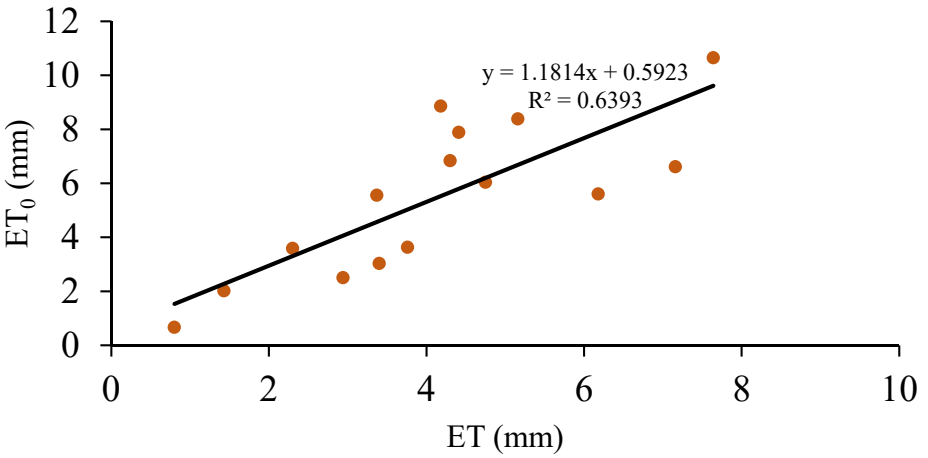
ردیف	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	تبخیر و تعرق	
			FPM	METRIC
1	1397/7/13	2018/10/5	6.53	5.65
2	1397/7/29	2018/10/21	3.35	3.5
3	1397/8/15	2018/11/6	1.15	4.81
4	1397/9/1	2018/11/22	1.19	2.15
5	1397/9/17	2018/12/8	0.87	1.52
6	1397/10/3	2018/12/24	1.16	0.7
7	1397/10/19	2019/1/9	1.41	3.76
8	1397/11/5	2019/1/25	1.40	2.03
9	1397/11/21	2019/2/10	1.65	4.3
10	1397/12/7	2019/2/26	2.17	5.4
11	1397/12/23	2019/3/14	4.19	3.9
12	98/1/10	2019/3/30	2.02	2.9
13	98/1/26	2019/4/15	4.30	4.52
14	98/2/11	2019/5/1	5.89	7.4
15	98/2/27	2019/5/17	6.87	8.45
16	98/3/12	2019/6/2	5.90	7.31
17	98/3/28	2019/6/18	7.27	9.2
18	98/4/13	2019/7/4	6.97	8.57
19	98/4/29	2019/7/20	9.83	7.86
20	98/5/14	2019/8/5	10.22	8.15
21	98/5/30	2019/8/21	5.69	4.35
22	98/6/15	2019/9/6	4.96	3.98
23	98/6/31	2019/9/22	5.55	3.67
24	98/7/16	2019/10/8	3.68	4.42
25	98/7/25	2019/10/17	2.83	3.21



شکل ۲- نقشه تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده با استفاده از مدل متریک محدوده پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین – قره‌چریان در تاریخ ۱۳۹۸/۰۳/۲۸

برآورد تبخیر-تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم متریک تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود به دست آمد. جهت تعیین تبخیر- تعرق واقعی سایر روزها تبخیر و تعرق مرجع (ET0) با استفاده از روش پنمن مانتیث محاسبه گردید. سپس برای روزهای متناظر تبخیر و تعرق برآوردی از مدل متریک و روش پنمن مانتیث ضریب گیاهی (Kc) برآورد گردید. بدین صورت که اعداد بین دو عدد ETa استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای محاسبه و ETo تصاویر مد نظر نیز با استفاده از فرمول فائو پنمن مانتیث اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. سپس از تقسیم ETa و ETo عدد واقعی ضریب گیاهی (Kc) به دست آمد. در ادامه برای سایر روزها با استفاده از درون‌یابی ضریب گیاهی و در نهایت تبخیر و تعرق واقعی برای کل سال برآورد شد. بعد از برآورد تبخیر و تعرق متناظر مربوط به مدل متریک (Eta) و روش پنمن مانتیث (ET0)، رابطه رگرسیون بین این دو پارامتر برقرار شد که نتیجه حاکی از ضریب تبیین بالا (R^2=0.64) بین این دو می‌باشد (شکل ۳).

مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله الگوریتم سنجش از دور متریک و تبخیر و تعرق پتانسیل فائو پنمن- مانتیث نشان می‌دهد که بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله این الگوریتم متریک و روش فائو پنمن- مانتیث ضریب تبیین بالای وجود دارد (R^2=0.64) و نشان می‌دهد که مدل متریک دقت بالایی در برآورد تبخیر و تعرق واقعی دارد.



شکل ۳- رابطه بین تبخیر و تعرق مرجع (ET0) و تبخیر و تعرق حاصل از مدل متریک (ET)

نتیجه‌گیری

آگاهی از میزان تبخیر-تعرق واقعی (ETa) انواع پوشش‌گیاهی از مهم‌ترین نیازهای حل معادله بیلان‌آبی در ارزیابی میزان مصرف آب است. روش‌های سنتی برآورد ET متکی به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای از عامل‌های مؤثر بوده و نتایج آن به‌درستی نمی‌تواند برای پهنه‌های وسیع نمایندگی کند (Allen و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین به دلیل عدم مشابهت در پوشش زمین، پستی و بلندی و نیز بدلیل پیچیدگی در انتقال جریان گرما به خوبی قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد (Su، ۲۰۰۲). بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه به مشکلاتی که در روش‌های بیلان رطوبتی (مثل نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه بالا داشتن، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریبا عدم امکان استفاده از لایسیمتر) وجود دارد و مزایایی که استفاده از ماهواره (تحت پوشش دادن سطح وسیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن

خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود. در پژوهش حاضر، واسنجی نتایج حاصل از مدل متریک جهت برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی در طول یک سال آبی (۱۳۹۸-۱۳۹۷) و نیز یک فصل رشد محصول گندم، مورد ارزیابی قرار گرفت. بر همین اساس میزان تبخیر و تعرق واقعی حاصل از الگوریتم متریک با نتایج حاصل از روش فائو پنمن مانتیث مقایسه گردید. مقایسهٔ نتایج این دو روش نشان داد الگوریتم متریک قابلیت مناسبی به منظور تعیین تبخیر و تعرق در منطقهٔ مورد مطالعه دارد.

منابع

- امیدوار، جواد، سهیلا نوری، کامران داوری و علیرضا فرید حسینی. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر-تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهوارهای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۲)، ۲۲-۱۱.
- پورمحمدی، سمانه، محمدتقی دستورانی، مختاری، محمد حسن و محمد حسن رحیمیان. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه بندی تبخیر-تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴(۱۳)، ۳۰-۲۱.
- رضائی، مریم, هدی قاسمیه و خدایار عبدالهی, ۱۳۹۹. کاربرد مدل متریک برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی ماهانه حوزه آبخیز ونک با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱(۳)، ۶۱-۴۰.
- عمادزاده، مریم. ۱۳۸۶ .کاربرد سنجش ازدور در تخمین کارایی آب در مقیاس حوضه ای (مطالعه موردی در زیر حوضه قره سو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۷۰ص.
- غلامی سفید کوهی، محمد علی و مجید میر لطفی. ۱۳۸۸. محاسبه تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- قربانی، اردوان، محمد فرامرزی، جلال کرمی، نبی الله غلامی و بهروز سبحانی. ۱۳۹۴. ارزیابی مقایسه ای الگوریتم‌های سبال و متریک در برآورد تبخیر-تعرق: مطالعه موردی شهرستان ملایر. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۹(۲)، ۱۸۴-۱۵۳.
- قمرنیا، هوشنگ و سید وحیدالدین رضوانی. ۱۳۹۳ محاسبه و پهنه بندی تبخیر- تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان دربند)، آب و خاک، ۲۸(۱)، ۸۱-۷۲.

- کریمی، علیرضا، بهمن فرهادی بانسوله، و همایون حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقهای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۴)، ۳۵۳-۳۶۴.
- محسنی ساروی، محسن، حسن احمدی و کاظم نصرتی. ۱۳۸۹. کاربرد مدل SEBAL در براورد تبخیر-تعرق در حوزه آبخیز طالقان. اولین کنفرانس بین المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.
- میریعقوب زاده، میرحسن، کریم سلیمانی، محمود حبیب نژاد روشن، کاکا شاهدی، کریم عباسپور، و سمیرا اخوان. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از دادههای سنجش از دور؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز تمر، گلستان. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۵)، ۱۰۲-۸۹.
- نظری، رستا و عباس کاویانی، ۱۳۹۶. مقایسهٔ نتایج تخمین تبخیر-تعرق واقعی حاصل از مدل‌های متریک و سبال، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مودیس و ETM+. سنجش از دور و GIS ایران، ۹(۱)، ۶۳-۷۴.
- یعقوبی فشکی، مجید، رسول قبادیان و حسین عقیقی. ۱۳۸۸. کاربرد روش سبال (SEBAL)در محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.۱۲۳-۱۳۱.
- Allen, R. G., B. Burnett, W. Kramber ,J. Huntington, J. Kjaersgaard *et al.*, 2013 Automated Calibration of the METRIC-Landsat Evapotranspiration Process. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 49**:** 563-576.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, T. A. Howell and M. E. Jensen, 2011 Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management 98**:** 899-920.
- Allen, R., G, M. Tasumi and R. Trezza, 2007 Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133**:** 380-394.
- Bastiaanssen, W. G. M. _2000_. "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey." J. Hydrol., 229, 87–100.
- Mokhtari, M. H., B. Ahmad, H. Hoveidi and I. Busu, 2013 Sensitivity Analysis of METRIC–Based Evapotranspiration Algorithm. International Journal of Environmental Research 7**:** 407-422.
- Mondal I, Thakur S, De A, and De TK, 2022, Application of the METRIC model for mapping evapotranspiration over the Sundarban Biosphere Reserve, India: Ecological Indicators, v. 136, p. 108553
- Pereira, L. S., R. Allen, M. Smiith and D. Raes, 2015 Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management 147**:** 4-20.

- Pôças, I., M. Cunha, L. S. Pereira and R. G. Allen, 2013 Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21**:** 159-172.
- Su, z., 2002 The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences 6: 85-99.
- Tasumi M, 2019, Estimating evapotranspiration using METRIC model and Landsat data for better understandings of regional hydrology in the western Urmia Lake Basin: Agricultural Water Management, v. 226, p. 105805
- Yang L, Li J, Sun Z, Liu J, Yang Y, and Li T, 2022, Daily actual evapotranspiration estimation of different land use types based on SEBAL model in the agro-pastoral ecotone of northwest China: PLOS ONE, v. 17, no. 3, p. e0265138

ارزیابی نتایج حاصل از روش مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در برآورد بار معلق رودخانه (ایستگاه باقرآباد قمرود)

امیر مرادی نژاد[1*]، سید محمود رضا طباطبایی[2]، سیداحمد حسینی[3]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

۲و۳ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Amir_24619@yahoo.com

چکیده

انتقال رسوب و رسوبگذاری یکی از بزرگترین مشکلات بهره برداری از منابع آبی محسوب می‌گردد. به سبب اهمیت فراوان انتقال رسوب در استفادهٔ بهینه از منابع آبی و طراحی سدها، دستیابی به روشی با دقت مناسب برای تخمین میزان بار رسوبی معلق رودخانه ها بسیار ضروری است. در این پژوهش میزان بار رسوبی معلق رودخانهٔ قره‌چای به وسیلهٔ روش نوین داده‌کاوی برنامه ریزی بیان ژن (GEP) تخمین زده شد، سپس با مقادیر به‌دست آمده از روش‌های تجربی منحنی سنجهٔ رسوب و داه های واقعی مقایسه شد. برای این کار از داده های روزانه رسوب، دبی جریان، بارندگی و دمای ایستگاه هیدرومتری خنداب استفاده شد. نتایج بیانگرعملکرد قابل قبول مدل و برتری مدل (GEP) با بیشترین ضریب تعیین (R^2=۰/۹۷) کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE=0.327ton/day) و همچنین شاخص‌های نش-ساتکلیف(NS= -0.036) در مرحله صحت سنجی بود. ضرایب و توابع به کار رفته برای واسنجی مدلهای هوشمند مورد استفاده در این پژوهش میتواند برای تخمین رسوبات معلق ایستگاه های مجاور فاقد آمار دارای شرایط زمین ساختی و هیدرولوژیکی یکسان در سطح منطقه بسیار مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی:

برنامه‌ریزی بیان ژن، شبکهٔ عصبی، رسوب، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

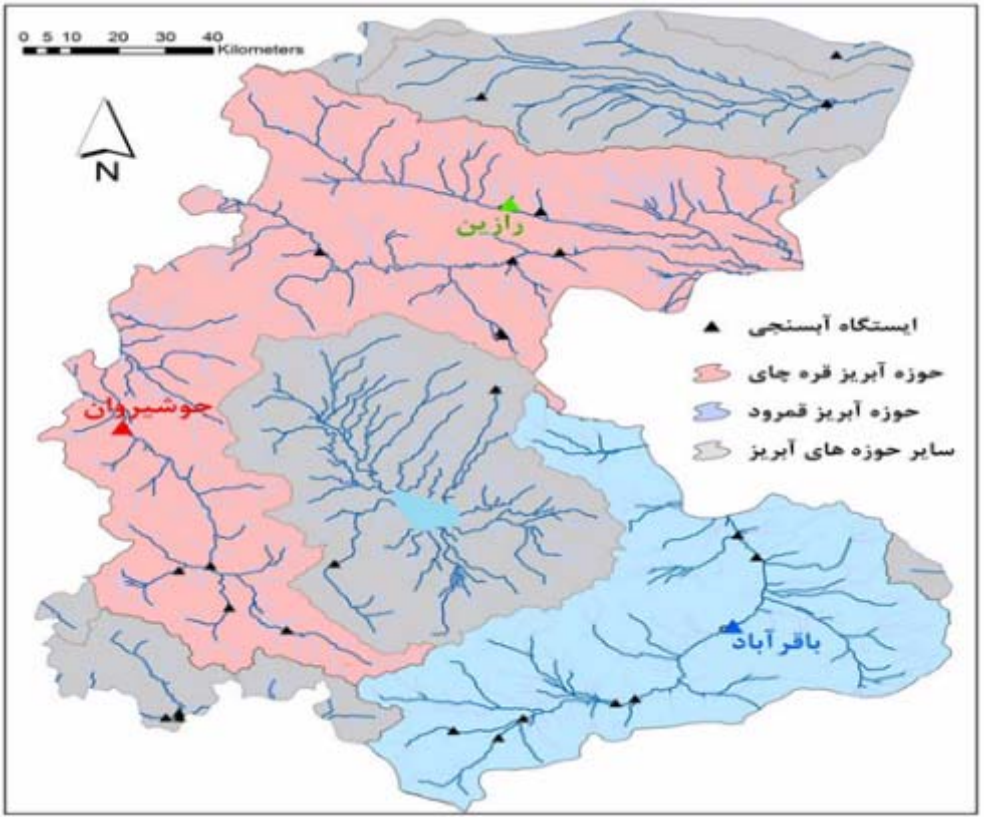
برآورد دقیق میزان انتقال بار رسوبات حمل شده از طریق رودخانه در بسیاری از پروژه های مهندسی منابع آب از قبیل کانالهای کشتیرانی، اجرای مخازن سدها، طول عمر تجهیزات هیدروالکتریکی، مسائل زیست محیطی و سایر موضوعات مرتبط مورد نیاز است (کیسی و همکاران، ۲۰۱۲). معادلات زیادی بر پایه روش‌های مختلف برای برآورد نرخ انتقال رسوب در رودخانه ها توسعه داده شده است. روش‌های

متداول که در بسیاری از مدل سازی ها استفاده شده اند غالباً با یک شکل ساده شده از توابع تجربی یا تحلیلی آغاز میشوند و با یک تحلیل رگرسیونی یا مشخص کردن منحنی سنجه مناسب با استفاده از داده های آزمایشگاهی برای تعیین ضرایب مجهول مدل دنبال میشوند. کیسی و همکاران Kisi et al. (2008) در پژوهش خود عملکرد سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی در تخمین رسوب معلق ماهانه دو رودخانه کیولوس و سالورکوپروسو در ترکیه نسبت‌به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنجهٔ رسوب را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد روش سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی عملکرد بهتری در تخمین میزان بار معلق رودخانه نسبت‌به دو روش دیگر داشته است. این محققان نتیجه گرفتند که ANN بهتر از مدل‌های آماری کلاسیک برای حمل رسوب است. نورانی (Nourani, 2009) بار رسوبات معلق رودخانه تلخه‌رود را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی نمود. این محقق سری زمانی داده‌های جریان رودخانه در زمان حال و گذشته را به‌عنوان ورودی و بار رسوبی را به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفت. نتایج به‌دست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی با نتایج دو روش رگرسیون خطی و روش منحنی سنجه مقایسه شد. براساس یافته‌ها روش شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان کارآمدترین و بهترین روش پیشنهادی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. جلالی و همکاران (Jalali *et al.,* 2007) با مقایسهٔ برآورد بارمعلق ایستگاه هیدرومتری آبلو- نکارود با استفاده از منحنی سنجهٔ رسوب و شبکهٔ عصبی مصنوعی نتیجه گرفتند که شبکهٔ عصبی نسبت به منحنی سنجهٔ رسوب برتری نسبی دارد. در پژوهشی دیگر، جین و کومار (Jain and Kumar, 2007)کارآیی مدل‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی و مدل‌های سری زمانی را در پیش‌بینی مقادیر جریان ماهانهٔ رودخانهٔ کلرادو تحت تأثیر سه سناریو بررسی کردند که در هر سه سناریو دقت مدل شبکه عصبی بهتر ازدقت مدل خود هم-بسته (AR) به‌دست آمد. مساعدی و همکاران (Mosaedi *et al.,* 2008)، در تحقیقی به برآورد حجم رسوب‌گذاری در مخازن سدها کرج و دز و مقایسهٔ نتایج آن با نتایج روش هیدروگرافی پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌خوبی قادر به پیش‌بینی میزان رسوب‌گذاری مخازن سدها است. دهقانی و همکاران(Dehghani *et al.,* 2008)، در تحقیقی تخمین بار معلق به دو روش منحنی سنجهٔ رسوب و شبکهٔ عصبی مصنوعی در رودخانه دوغ استان گلستان را بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با به‌کارگیری شبکهٔ عصبی از نوع پرسپترون چند لایه و تابع تحریک از نوع تانژانت سیگموید، می‌توان با دقت بالایی میزان دبی بار معلق رسوب را پیش‌بینی کرد و دقت نتایج به‌دست آمده از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی به مراتب از دقت روش منحنی سنجهٔ رسوب با و بدون دسته‌بندی داده‌ها بالاتر است. ملک‌محمدی و همکاران (Malekmohamadi *et al.,* 2008) رسوب معلق رودخانهٔ بهشت‌آباد (یکی از سر شاخه‌های رودخانهٔ کارون) را با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی بررسی کردند و نشان دادند که با در نظر گرفتن دبی متناظر جریان در همان روز مورد نظر

همراه با دبی جریان در یک و دو روز قبل از آن به‌عنوان متغییرهای ورودی می‌توان سبب افزایش دقت برآورد دبی بار معلق رسوب گردد. Moradinejad et al. (2018) در مطالعه‌ای به‌بررسی کارآیی روش های برآورد بار رسوب معلق رودخانه قره‌چای پرداختند. آنها از روش‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی، منحنی سنجه‌رسوب و هم‌چنین مدل رگرسیونی چند متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش نروفازی براساس ورودی‌های دبی و رسوب و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی براساس ورودی-های دبی، نسبت‌به رگرسیون چند متغیره و منحنی سنجه رسوب، دارای دقت مطلوب‌تری می‌باشند. نیک‌پور و ثانی‌خانی (Nikpour and SaniKhani, 2017) به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان رسوب معلق حوضهٔ آبریز دره‌رود در استان اردبیل از مدل‌های فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)، برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و رگرسیون بردارپشتیبان (SVR) استفاده کردند. نتایج بیانگر عملکرد قابل قبول مدل‌ها و برتری مدل SVR با بیشترین ضریب تعیین (R^2=۰/۹۷)کمترین ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE=۱۷۳۴۳ton/day) و شاخص‌های نش-ساتکلیف(NS=۰/۹۷) و ویلموت (WI=۰/۹۸) در مرحلهٔ صحت‌سنجی بود. کیسی و همکاران (Kisi *et al.*, 2017) در پژوهش‌های خود عملکرد سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی را در تخمین رسوب معلق ماهانه دو رودخانه کیولوس و سالورکوپروسو در ترکیه، نسبت به مدل‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی و منحنی سنجهٔ رسوب بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد روش سیستم استنتاج تطبیقی عصبی – فازی، نسبت به دو روش دیگر عملکرد بهتری در تخمین میزان بار معلق رودخانه داشته است. رسوب‌هایی که همراه با آب در حرکت باشند رسوب معلق می‌گویند(Shojaeezadeh *et al.*, 2018) فرآیند انتقال رسوب در رودخانه‌ها از نظر زمانی و مکانی فرآیندی غیرخطی و پیچیده است، به همین دلیل در مدیریت منابع آب محاسبهٔ غلظت رسوب معلق امری ضروری است (Rahul et al., 2021). بار رسوبی رودخانه از مهمترین پارامترها در مدیریت پروژه‌های هیدرولیکی، شاخص وضعیت خاک و فرسایش حوزهٔ آبخیز است (Asadi and Fathzadeh, 2017). شرایط آب و هوایی منطقهٔ مورد مطالعه و نیز مشخصات رودخانهٔ مورد مطالعه از نظر هیدرولوژیکی و هیدرولیکی با شرایط آب و هوایی و مشخصات رودخانه‌هایی که در سوابق تحقیق به آن‌ها اشاره شد متفاوت است و به همین دلیل نمی‌توان برای حل مشکل همه رودخانه‌ها نسخه‌ای واحد پیچید. از این رو باید برای هر منطقه و رودخانه مدل‌ها کالیبره و به‌روزرسانی شوند. از طرفی، تعیین بار معلق رسوب معمولاً با صرف زمان و هزینهٔ زیاد همراه است و اهمیت خاصی دارد. هدف از این تحقیق بررسی روش‌های نرم برآورد رسوب معلق در ایستگاه باقرآباد رودخانهٔ قمرود (تأمین کننده آب شرب شهر قم) و انتخاب مناسب‌ترین روش است.

مواد و روش‌ها

موقعیت رودخانه قم‌رود : مساحت حوزۀ آبریز رودخانه قم‌رود تا محل خروج این رودخانه از استان مرکزی ۱۰۳۱۰ کیلومترمربع است. رودخانۀ قمرود از دامنه‌های شرقی سلسله جبال زاگرس سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیر در استان اصفهان از ناحیۀ جنوبی وارد محدوده استان مرکزی می‌شود و در راستای جنوب غربی به شمال شرقی از محدودۀ شرقی استان مرکزی خارج و به دریاچۀ حوض سلطان در محدودۀ استان قم تخلیه می‌گردد. شکل (۱). متوسط، بیشینه و کمینۀ آبدهی متوسط دراز مدت رودخانه قمرود در محل ورود به سد پانزده خرداد(ایستگاه باقرآباد) به‌ترتیب۴/۸۱، ۱۶/۸۲ و ۰/۱۳ مترمکعب برثانیه و در محل خروج از استان مرکزی به قم (ایستگاه دودهک)، به‌ترتیب ۵/۴، ۲۳/۹۴ و ۰/۱۸ مترمکعب برثانیه است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه مطالعاتی باقرآباد رودخانۀ قمرود.

روش تحقیق:

در این پژوهش به عملکرد برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در شبیه‌سازی بار رسوب معلق ایستگاه باقرآباد رودخانه قمرود پرداخته و نتایج با منحنی سنجه مقایسه شد و بهترین روش پیشنهاد گردید. برای این کار ابتدا به‌مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و مرور منابع مرتبط، جمع‌آوری آمار و اطلاعات پرداخته شد. دراین تحقیق از آمار دما، بارندگی، دبی متوسط روزانهٔ جریان و دبی رسوب اندازه‌گیری شدهٔ روزانه در یک دورهٔ آماری بلندمدت ۴۰ ساله درایستگاه هیدرومتری و رسوب سنجی باقرآباد استفاده شد. انتخاب ترکیب مناسبی از متغیرهای ورودی، طراحی الگوی پارامترهای ورودی می‌تواند بر اساس ارتباط بین پارامترهای دبی جریان و دبی رسوب، بارندگی، دبی جریان و دبی رسوب باشد. تعیین مناسب‌ترین تأخیر زمانی پارامترهای ورودی در مدل‌سازی دبی و رسوب. برآورد دبی رسوب با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) و مقایسه با منحنی سنجه و داده‌های مشاهداتی، طراحی مناسب ساختار مدل‌های محاسبه نرم به‌کار گرفته شد. در این پژوهش، بخشی از داده‌های مورد نیاز برای آموزش(معمولاً بیش از ۷۰ درصد) از داده‌های تحقیق به‌عنوان آموزش و همچنین تعیین داده مورد نیاز (معمولا بین ۲۰ تا ۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی و آزمون مورد استفاده قرار گرفت. محدودهٔ تغییرات و مشخصات آماری پارامترهای دبی جریان، دبی رسوب، دما و بارش روزانه در جدول (۱) ارائه شده‌است. همچنین با توجه به‌اهمیت پاسخ حوزه به متغیرهای ورودی به مدل‌ها، علاوه بر متغیر دبی و رسوب از بارندگی و دما نیز استفاده شد. از متغیر دینامیک بارندگی به‌دلیل نقش تأثیرگذار در ایجاد فرسایش و تولید رسوب استفاده شد. دلیل تأثیر دما را می‌توان گفت، آنچه که بر میزان رسوب معلق تأثیر فروانی دارد رطوبت خاک اراضی منطقه است. فرض کنید بارندگی با شدت یکسان روی دو خاک با رطوبت متفاوت ببارد. با توجه به اینکه فرسایش خاک خشک بیشتر است مقدار بار معلق رودخانه بیشتر می‌شود. اگر دما بیشتر باشد رطوبت خاک کمتر است.

جدول ۱- آمار خلاصهٔ داده‌های کمی (داده‌های کمی) در ایستگاه باقرآباد قمرود.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
P(mm)	۵۱۰	۰	۳۷	۰/۹۹۷	۴/۳۳
T	۵۱۰	-۵/۷	۳۱/۱۰	۱۶/۰۵۷	۹/۰۳۲
Q(m3/s)	۵۱۰	۰/۰۳	۱۵۰	۳/۰۹۴	۱۱/۸۲
S(ton/day)	۵۱۰	۰	۴۴/۶۸	۰/۶۴۷	۳/۶۷

معیارهای ارزیابی: برای بررسی دقت نتایج مدل‌ها از چهار معیار آماری شامل میانگین قدرمطلق خطا[۲۶] (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا[۲۷] (RMSE)، میانگین خطای اریبی[۲۸] (MBE) و ضریب تشخیص[۲۹] (R^2) به‌ترتیب برای بررسی مقادیر خطای برآورد، کم یا بیش برآورد و همبستگی بر اساس روابط (۱) تا (۴) استفاده شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_o-\overline{x_o})(x_c-\bar{x}_c)}{\left(\sum_{i=1}^{n}(x_o-\overline{x_o})^2\right)^{0.5}\left(\sum_{i=1}^{n}(x_c-\overline{x_c})^2\right)^{0.5}} \quad (۳-۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_o-x_c)^2}{n}} \quad (۳-۹)$$

$$NS = 1 - \frac{(X_O-X_C)^2}{(X_O-\bar{X}_O)^2} \quad (۳-۱۰)$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_o - x_c) \quad (۳-۱۱)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x_o - x_c| \quad (۳-۱۲)$$

که در آن x_o دادهٔ مشاهده شده، x_c داده پیش‌بینی شده، n تعداد داده‌های مشاهداتی، $\overline{x_o}$ میانگین دادهٔ مشاهده شده و $\overline{xc}$ میانگین داده‌های پیش‌بینی شده است.

نتایج و بحث

با توجه به اهمیت استفاده از داده‌های صحیح آماری، ابتدا کلیه داده‌های موجود از نظر همگن بودن توسط آزمون همگنی نرمال استاندارد که یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی همگنی داده‌ها می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج مربوط به آزمون همگنی نرمال استاندارد در جداول (۲) تا (۴) ارائه شده است. محدوده تغییرات و مشخصات آماری پارامترهای دبی جریان، دبی رسوب و بارش ماهانه در جداول (۴-۲) ارائه شده‌اند. در این آزمون فرض صفر، همگنی داده‌ها و فرض یک، ناهمگن بودن داده‌ها می‌باشد. چنانکه مقدار P-Value

---

26 Mean Absolute Error (MAE)
27 Root Mean Squared Error (RMSE)
28 Mean Bias Error (MBE)
29 Coefficient of Determination (R2)

از مقدار درجه اطمینان بزرگتر باشد، فرض صفر صحیح است، در غیر این صورت فرض یک قابل قبول می‌باشد. نتایج جداول نشان‌دهنده این مطلب است که داده‌های ماهانه بارش، دبی جریان و دبی رسوب در ایستگاه و طول آماری مورد مطالعه همگن بوده و می‌توانند با اطمینان به‌کار برده شوند. یکی از مباحثی که در مطالعات هیدرولوژیکی مطرح می‌باشد مسئله کفایت یا عدم کفایت طول آماری داده‌ها برای انجام مطالعات و مدل‌سازی می‌باشد. روش متداول در این زمینه محاسبه ضریب هرست[3] است (صفوی، ۱۳۹۰) اگر این ضریب بیشتر از مقدار ۰/۵ باشد، طول آماری داده‌ها برای انجام مطالعات کافی و اگر کمتر باشد، بدین معنی است که قبل از انجام مطالعات باید طول آماری داده‌ها تطویل گردد. محاسبه و بررسی ضریب هرست نشان داد طول آماری داده‌ها با مقدار ضریب هرست برابر با ۰/۵۷۴ برای انجام مطالعات کافی و مناسب می‌باشد. نقشه همبستگی و همگنی داده‌ها و تصویر ماتریس همبستگی انها نمودارهای پراکنش پارامترها در شکل‌های (۲) و (۳) امده است. شکل (۲) نقشه‌های همبستگی بین پارامترها و شکل (۳) نمودار پراکندگی داده‌ها را در ایستگاه باقرآباد قمرود نشان می‌دهد..

جدول۲- ماتریس همبستگی پیرسون در ایستگاه باقرآباد قمرود.

Variables	S(ton/day)	Q(m3/s)	P(mm)	T
S(ton/day)	**1**	**0.901**	0.054	-0.002
Q(m3/s)	**0.901**	**1**	0.075	-0.003
P(mm)	0.054	0.075	**1**	**-0.235**
T	-0.002	-0.003	**-0.235**	**1**

=α۰۵/۰ متفاوت استمقادیر پررنگ با صفر با سطح معنی داری

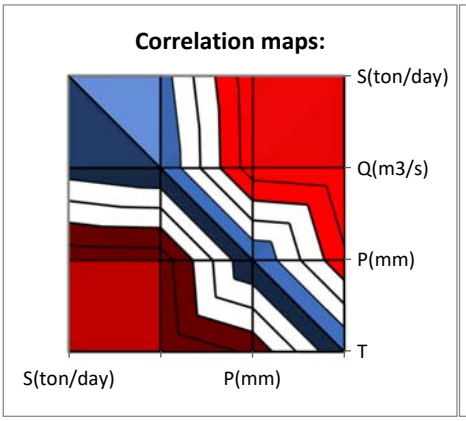
جدول۳- فاصله اطمینان ۹۵٪ حد پایین و بالا ایستگاه باقرآباد قمرود.

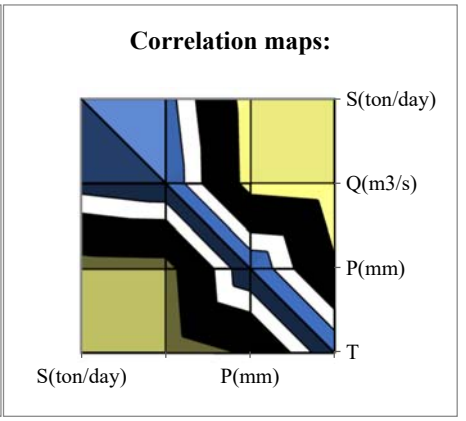
Variables	S(ton/day)	Q(m3/s)	P(mm)	T
S(ton/day)	**1**	0.917	0.140	0.085
Q(m3/s)	0.917	**1**	0.161	0.084
P(mm)	0.140	0.161	**1**	-0.151
T	0.085	0.084	-0.151	**1**

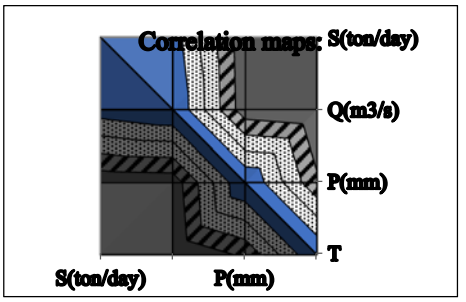
[3] Hurst coefficient

جدول ۴- مقادیر p پیرسون و ضرایب تعیین پیرسون در ایستگاه باقرآباد قمرود.

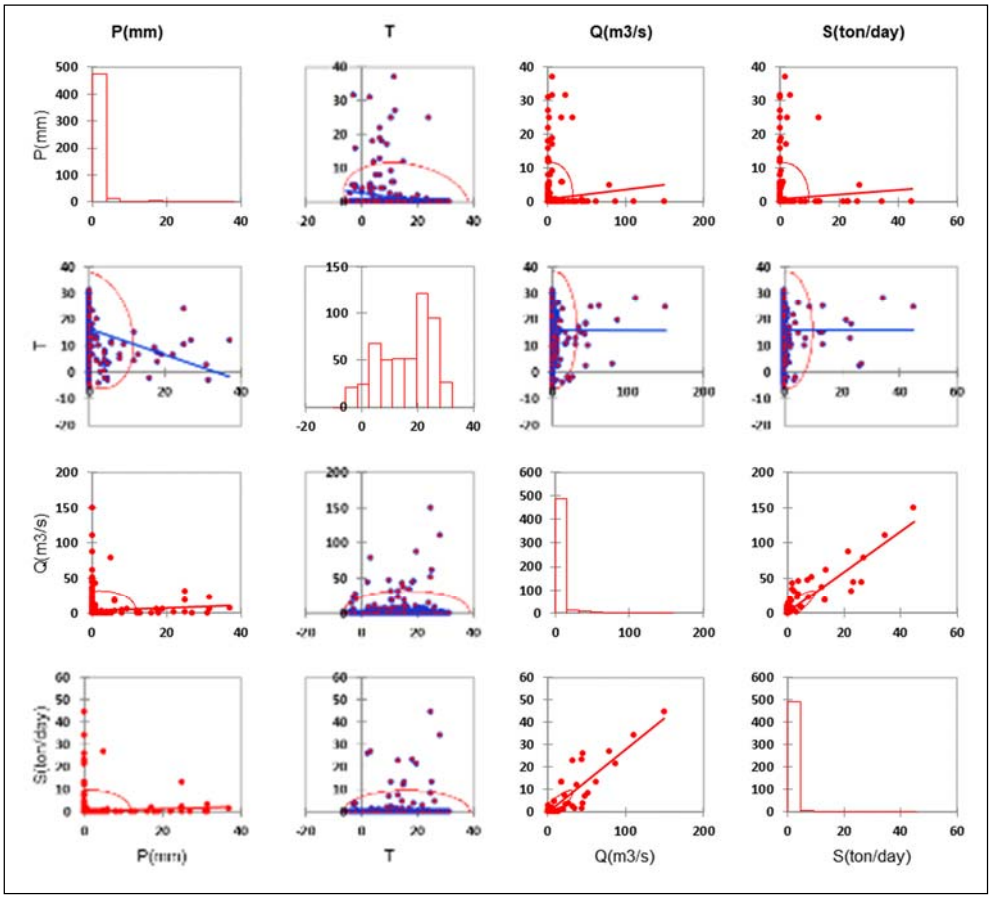
	p-values (Pearson)				Coefficients of determination (Pearson)			
Variables	P(mm)	T(°c)	Q(m3/s)	S(kg/day)	P(mm)	T(°c)	Q(m3/s)	S(kg/day)
P(mm)	**0**	< **0.0001**	0.221	0.699	**1**	0.055	0.006	0.003
T(°c)	< **0.0001**	**0**	< 0.091	0.181	0.055	**1**	0.000	0.000
Q(m3/s)	0.221	< 0.091	**0**	< **0.0001**	0.006	0.000	**1**	0.813
S(kg/day)	0.972	0.94	< **0.0001**	**0**	0.003	0.000	0.813	**1**







شکل ۲- نقشه‌های همبستگی بین پارامترها در ایستگاه باقرآباد قمرود.



شکل ۳- نمودارهای پراکندگی در ایستگاه باقرآباد قمرود.

نتایج حاصل از روش مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن(GEP) یکی از الگوریتم‌های تکاملی است که بر اساس فرضیه تکاملی داروین[۳۱] بنا نهاده شده است. ویژگی مهمی که مدل GEP را از سایر روش‌های محاسباتی نرم[۳۲]متمایز می‌کند، ارائه معادله جبری برای تخمین متغیر هدف[۳۳]می‌باشد (Ferreira, 2001). در این پژوهش از نرم‌افزار

3 Darwinian Evolution Theory
3 Soft computing approaches
3 Target

GeneXpro Tools 4.0 برای به‌کارگیری مدل GEP استفاده شد. در محیط این نرم‌افزار برای شبیه-سازی بار معلق، مراحل ذیل دنبال شد: گام اول، انتخاب تابع برازش[۳۴]بود. در این پژوهش، ریشه نسبی مربعات خطا (RRSE)[۳۵]به‌عنوان تابع برازش انتخاب شد. گام دوم، انتخاب متغیرهای ورودی و توابع برای تولید کروموزوم‌ها بود. در تحقیق حاضر، ترکیبی از دبی جریان و مقادیر رسوب معلق در گامهای زمانی قبل، بارندگی و دما به‌عنوان متغیرهای ورودی در نظر گرفته شد. در گام سوم، ساختار و معماری کروموزوم‌ها و در گام چهارم، توابع ارتباط دهنده آنها انتخاب شد. سرانجام در گام پنجم، عملگرهای ژنتیک انتخاب شد. لازم به ذکر است که برای استخراج رابطه ریاضی برآورد رسوبات معلق علاوه بر عملگرهای اصلی ریاضی مرسوم از توابع مثلثاتی و نمایی نیز استفاده شد. از جمله قابلیت‌های GEP نسبت به سایر الگوریتم‌های هوشمند، ارائه معادله ریاضی بین متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشد که این موضوع جهت انجام پیش‌بینی از اهمیت بالایی برخوردار است. پس از تحلیل حساسیت مدل GEP در تخمین بار معلق، پارامترها و عملگرهای ژنتیکی مورد استفاده به همراه مقادیر آنها در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر پارامترها و عملگرهای مورد استفاده در مدل GEP در ایستگاه باقرآباد قمرود.

تنظیمات کلی		عملگرهای ژنتیکی	
تعداد کروموزومها	۳۰	نرخ جهش	۰/۰۴۴
اندازه رأس	۷	نرخ وارون سازی	۰/۱
تعداد ژن در هر کروموزوم	۳	نرخ ترانهش درج متوالی	۰/۱
تعداد جمعیت تولیدی	۱۰۰۰۰۰	نرخ ترانهش ریشه درج متوالی	۰/۱
تابع پیوند	مجموع(+)	نرخ ترکیب تک نقطه‌ای	۰/۳

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، اولین گام جهت به‌کارگیری مدGEP ، انتخاب تابع برازش مناسب می‌باشد. در این پژوهش، نتایج انتخاب تابع برازش در مدل GEP حاکی از آن بود که استفاده از تابع برازش ریشه نسبی مربعات خطا (RRSE) در مقایسه با سایر توابع جهت مدل‌سازی رسوب معلق، نتایج بهتری به همراه دارد. بنابراین تابع RRSE به عنوان تابع برازش در مدل انتخاب شد. گام بعد انتخاب عملگرهای اصلی برای ساخت درخت تجزیه است. توابع ریاضی به‌کار گرفته شده در این تحقیق و عملکرد مدل به ازای مجموع‌های معین از توابع در جدول (۴-۱۱) نمایش داده شده است. در این جدول عملکرد مدل

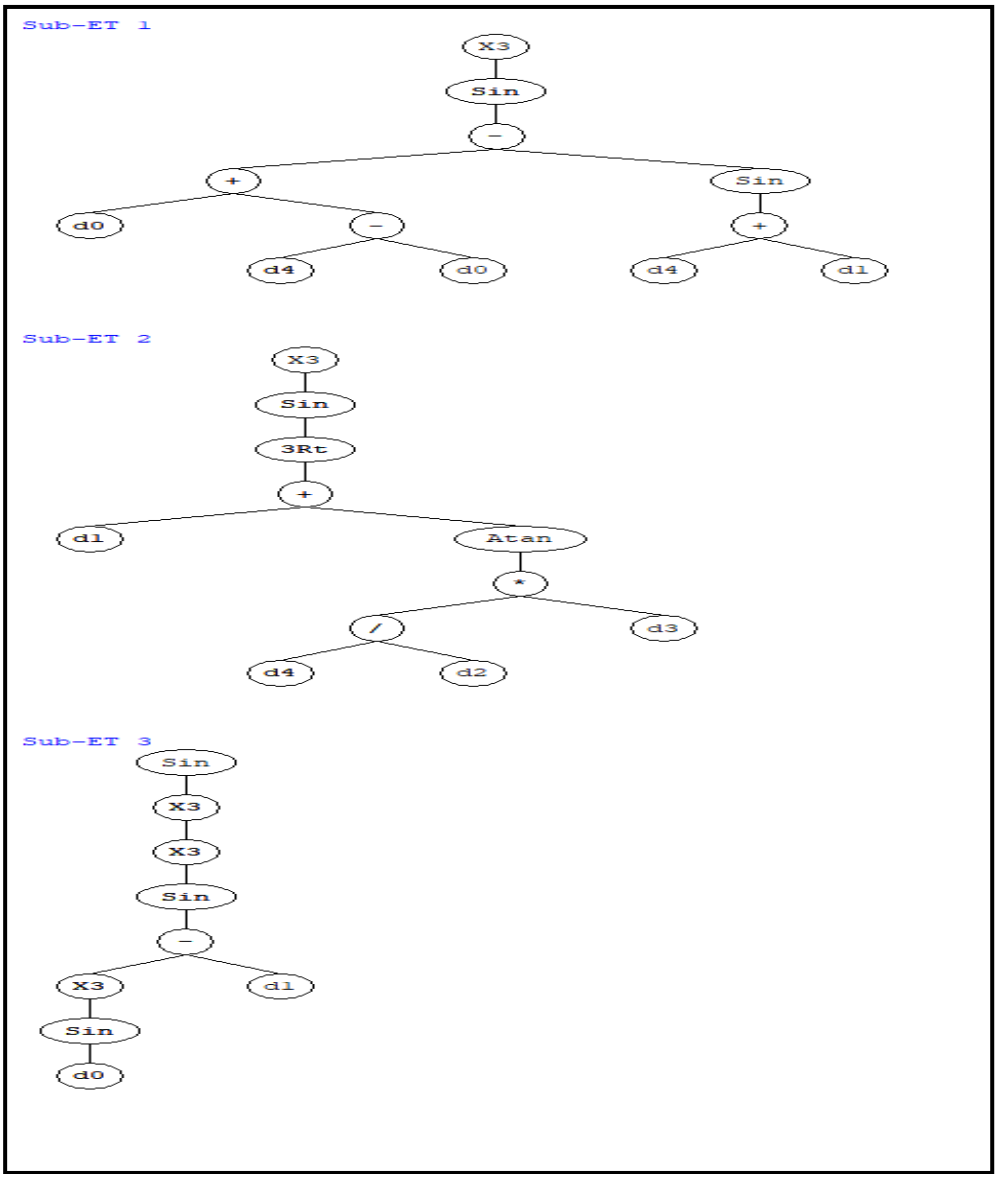
3 Fitness function
3 Root relative square error (RRSE

GEPبه‌ازای ۱۳ الگوی ورودی مختلف در قالب شاخص‌های آماری خطا و همچنین مقادیر بهینه پارامترهای مدل به‌ازای هرالگو نشان داده شده است.در مرحله بعد ۱۳ الگو(سناریو) با هم مورد مقایسه قرار گرفت و بهترین آنها که ضریب تبیین (R^2) بالاتری و RMSE کمتری داشت انتخاب شد. با توجه به جدول (۶) و مقادیر شاخص‌های آماری خطا، می‌توان دید بهترین عملکرد مدل GEP13 به‌ازای الگوی شماره ۱۳ حاصل شده است با توجه به جدول (۶) کمترین مقدار شاخص RMSE به ازای تابع GEP13حاصل شده است.

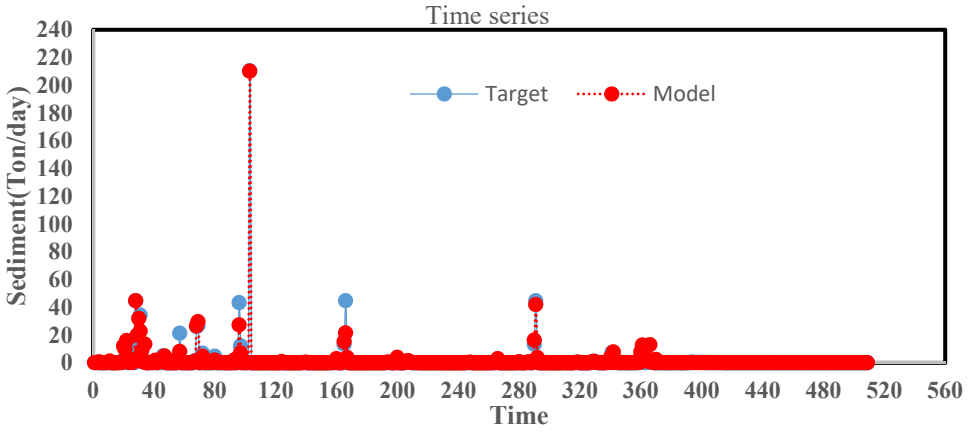
جدول ۶- مقادیر پارامترها و عملکرد مدلGEP به ازای الگوهای ورودی مختلف در دوره اموزش و آزمون در ایستگاه باقرآباد.

مدل	عملکرد شاخصهای آماری در مرحله آموزش					عملکرد شاخصهای آماری در مرحله آزمون				
	R^2	RMSE (ton/day)	MSE	MAE	RRSE	R^2	RMSE (ton/day)	MSE	MAE	RRSE
GEP1	۰/۲۵	۷/۸۳	۶۱/۳۷	۶/۳۸	۰/۸۶۸	۰/۴۹	۳/۵۵	۱۲/۶۱	۲/۳۸۶	۰/۷۱۴
GEP2	۰/۲۲	۷/۹۶	۱۳/۴۳	۶/۵۲	۰/۸۸۱	۰/۴۳	۳/۹۷۷	۱۵/۸۲	۲/۶۶۱	۰/۷۵۸
GEP3	۰/۹۳	۲/۶۸۸	۷/۲۲	۰/۷۷۸	۰/۲۵۷	۰/۹۳	۰/۰۵۳۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۸۲	۰/۲۵۷
GEP4	۰/۱۴	۸/۳۷	۷۰/۱۷	۶/۸۰	۰/۹۲۷	۰/۳۸	۴/۱۴۲	۱۷/۱۵	۲/۸۶	۰/۷۹۰
GEP5	۰/۸۹	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۸	۵۶۰۴/۴۵	۰/۳۲۷	۰/۹۶	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱۵۲	۰/۰۱۸۴	۰/۱۸۷
GEP6	۰/۹۳	۲/۷۱	۷/۳۷	۱/۰۵۸	۰/۲۶۰	۰/۹۳	۰/۰۵۷۴	۰/۰۰۳۲۹	۰/۰۲۵۸	۰/۲۷۵
GEP7	۰/۷۶	۵/۱۳۰	۲۶/۳۱	۱/۳۹۸	۰/۴۹۱	۰/۸۰	۰/۰۹۳۵	۰/۰۰۸۶۹	۰/۰۳۹۲	۰/۴۶۵
GEP8	۰/۹۱	۴/۱۵۰۰	۹/۹۲	۱/۰۰۰۸	۰/۳۰۱۹	۰/۷۴	۰/۱۰۷	۰/۰۱۱۵	۰/۰۳۲۰	۰/۵۱۳
GEP9	۰/۹۶	۲/۰۷۴	۴/۳۰۳	۰/۶۱۶	۰/۱۹۸	۰/۹۶	۰/۰۴۴۷	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۸۶	۰/۲۱۴
GEP10	۰/۹۳	۲/۷۶۱	۷/۶۲۶	۰/۷۰۶۱	۰/۲۶۴	۰/۹۷	۰/۰۳۲۴	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۷۸	۰/۱۵۵
GEP11	۰/۷۲	۴/۷۸۸	۲۲/۹۳۰	۳/۳۴	۰/۵۲۹	۰/۸۴	۲/۳۰۵	۵/۳۱	۱/۳۸	۰/۴۰۶
GEP12	۰/۷۳	۴/۷۱۵	۲۲/۲۳	۳/۲۸	۰/۵۲۱	۰/۸۵	۲/۱۱۰	۴/۴۵۳	۱/۲۶۷	۰/۳۷۷
GEP13	۰/۹۵	۲/۳۷۵	۵/۶۴۲	۰/۶۰۰	۰/۲۲۷	۰/۹۷۶	۰/۰۳۲۷	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۹۹۱	۰/۱۵۶

در شکل (۴) نمودار درختی جهت تخمین رسوب معلق بر مبنای الگوی ورودی شماره ۱۳ ارائه شده است. با توجه به شکل می‌توان دید که متغیر دبی جریان بر میزان رسوب معلق اثر قابل توجهی دارد و این موضوع نتایج به‌دست آمده در بخش‌های قبل را تأیید می‌کند. در شکل (۵) نیز نمودار سری زمانی و پراکندگی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل GEP در دوره آزمون ارائه شده است. با توجه به این شکل می‌توان دید که مدل GEP جهت پیش‌بینی مقادیر رسوب معلق قابل قبول و معنی‌دار می‌باشد و مدل توانسته درپیش‌بینی مقادیر پیک رسوب معلق به خوبی عمل نماید. گام بعد انتخاب عملگرهای اصلی برای ساخت درخت تجزیه است.



شکل ۴- نمودار درختی خروجی مدل درمرحله آزمون در ایستگاه باقرآباد.



شکل ۵- نمودار سری زمانی مقادیر رسوب مشاهعداتی و محاسباتی از مدل در ایستگاه باقرآباد قمرود.

توابع ریاضی به‌کار گرفته شده در این تحقیق و عملکرد مدل به ازای مجموعه‌ای معین از توابع در جدول (۷) نمایش داده شده است. در این جدول نتایج به‌کارگیری توابع ریاضی مختلف بر روی مقدار شاخص R^2, RMSE و MAE در ایستگاه باقرآباد قمرود را نشان می‌دهد.

پس از انتخاب بهترین ترکیب تابع ریاضی، گام بعد شامل پیدا کردن تابع پیوند مناسب است. از بین توابع پیوند شامل جمع، تفریق، ضرب و تقسیم، تابع پیوند تقسیم عملکرد بهتری در مقایسه با سایر توابع داشت که نتایج ارائه شده در جدول (۷) این موضوع را تأیید می‌کند.

جدول ۷- نتایج بکارگیری توابع ریاضی مختلف بر روی مقدار شاخص RMSE در ایستگاه باقرآباد قمرود.

تابع	مدل ریاضی	RMSE (ton/day)	MAE	R^2
F1	+ - * /	۱۸۳۶	۵۸۹	۰/۹۶
F2	+ - * / lnx, e^x	۹۶۸	۲۳۹	۰/۸۹
F3	+ - * /, $\sqrt{X}$, $\sqrt[3]{X}$, x^3, x^2	۸۸۱	۲۸۹	۰/۹۶
F4	+ - * / lnx, e^x, $\sqrt{X}$, $\sqrt[3]{X}$, x^3, x^2	۲۱۷۵	۷۴۵	۰/۹۶
F5	+ - * / lnx, e^x, $\sqrt{X}$, $\sqrt[3]{X}$, x^3, x^2, sinx, cosx, Arctg x	۱۳۸۷	۴۴۵	۰/۹۷
نوع تابع پیوند				
جمع		۲۵۰۰۰	۳۱۸۱	-
تفریق		۲۵۳۸۴	۳۲۶۹	-
ضرب		۷۹۵۶	۱۹۴۳	۰/۹۵
تقسیم		۷۶۳۱	۱۳۶۲	۰/۷۸

۶-۱-۴- نتایج شاخص‌های آماری انتخاب مدل بهینه در ایستگاه باقرآباد

همان‌گونه که بیان شد، به‌منظور برآورد بار رسوبی در رودخانه با توجه به آزمایش‌ها و تجربیات سایر نقاط جهان توسط صاحب‌نظران معادلات و مدل‌های مختلفی ارائه گردیده است. اما بین نتایج حاصله از معادلات مختلف اختلافات چشم‌گیری وجود دارد. همین امر ضرورت تجزیه و تحلیل مقادیر برآورد شده با روش‌های مختلف و ارزیابی آن ها درهریک از رودخانه‌ها را آشکار می‌سازد. به این منظور باید از شاخص‌های خطاسنجی استفاده نمود. شاخص‌های خطاسنجی فراوانی امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعدادی از این شاخص‌ها دقت مدل و تعدادی دیگر صحت مدل را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. هیچ‌یک از این شاخص‌ها به‌طور مطلق بر دیگری برتری ندارد. اما انتخاب مدل تنها بر مبنای یک شاخص امروزه قابل قبول نمی‌باشد. به همین دلیل قضاوت در مورد کارآیی یک مدل، بر اساس استفاده از چند شاخص خطاسنجی صورت می‌گیرد.

در این تحقیق بر اساس شاخص‌های آماری انتخاب مدل بهینه، بهترین عملکرد مدل GEP به‌ازای الگوی شماره ۱۳ حاصل شده است. در این الگو مقدارضریب تبیین R^2 و خطای RMSE حاصل از مدل به ترتیب برابر۰/۹۷ و ۰/۰۳۳ حاصل شده است.

در جدول (۸)، نتایج شاخص‌های آماری برای مدل GEP به‌ازای الگوی ورودی بهینه مربوط به خود ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان دید که عملکرد مدل GEP در مقایسه با منحنی سنجه رسوب بهتر بوده است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت، مدل GEP به‌عنوان مدلی توانمند و با سرعت بالا می‌تواند جهت مدل‌سازی رسوب معلق در حوضه آبریز قمرود ایستگاه باقراباد مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۸- مقایسه عملکرد مدل‌های مورد استفاده جهت تخمین بار معلق به‌ازای بهترین الگوی ورودی در ایستگاه باقرآباد

مدل	الگوی بهینه	R^2	RMSE (ton/day)	MBE	NS
GEP	F13	۰/۹۷	۰/۰۳۲۷	۰/۰۴۶	-۰/۰۳۶
منحنی سنجه		۰/۷۸	۹/۵۸	۰/۴۸	۰/۴۵

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی رسوب معلق رودخانه‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است که می‌تواند بر مدیریت و بهره‌برداری از سازهای آبی و مورفولوژی رودخانه تأثیرگذار باشد. در این مطالعه به بررسی عملکرد روش GEP در پیش‌بینی میزان رسوبات معلق رودخانه پرداخته شد. در این راستا از نمونه داده‌های دبی جریان و بار

معلق، بارندگی و دما ایستگاه باقرآباد واقع در حوضه آبریز رودخانه قمرود در استان مرکزی در یک دوره ۵۰ ساله استفاده شد. از الگوهای ورودی مختلف شامل مقادیر دبی‌های جریان و رسوب معلق پیشین، دما و بارندگی جهت مدل‌سازی رسوب معلق در گام زمانی فعلی و قبلی استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد قابل قبول روش مورد استفاده در پیش‌بینی مقادیر رسوب معلق بود.

منابع

- مرادی‌نژاد، ا.، داودمقامی،د. و مرادی،م. (۱۳۹۸). بررسی کارآیی روش‌های برآورد بار رسوب معلق رودخانه قره‌چای. *محیط زیست و مهندسی آب*. (۴)۵: ص: ۳۲۸-۳۲۸-۳۳۸. https://doi.org/10.22034/jewe.2020.211925.1341
- Asadi, M., and Fathzadeh, A. (2017) Investigating the effectiveness of models based on computing intelligence in estimating the suspended load of the river (case study: Gilan province. Journal of rangeland and watershed management, natural resources of Iran, 1(71). 45-60. (In Persian).
- Dehghani, A. A., Zanganeh, M. A., Mosaedi, A. and Kohestani, N. (2008) Comparison of suspended load estimation using two methods of sedimentation curve and artificial neural network. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 16: 36-51. (In Persian).
- Jain, A., and Kumar, A.M. 2007. Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. Applied Soft Computing. 7(2). 585-592. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2006.03.002
- Jalali, M., Soleimani, K., Mujadadi, H. And Omidhar, A. 2007 estimation of the suspended sediment load of Abloon-Nakaroud hydrometric station using sediment gauge curve and artificial neural network, the 4th National Conference of Iran Watershed Science and Engineering, 1 March 1386, Karaj, (In Persian).
- Kisi, O., Yuksel, I., Dogan, E., (2008). Modelling daily suspended sediment of rivers in Turkey using several datadriven techniques. *Hydrological Sciences Journal*. 53 (6), 1270–1285. https://doi.org/10.1623/hysj.53.6.1270
- Kissi O. and C. Ozkan. 2017. A new approach foe modeling sediment-discharge relationship: Local Weighted Linear Regression. Water Resources Management, 31: 1-23.
- Mosaedi, A., Zanganeh, M.A., Miftah, M., Dehghani, A.A. and Khoshrosh, M. (2008) Evaluation of hydrological methods of suspended load estimation. (Case study: Atrak River, Golestan province). The 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, 19 to 21 Bahman. Kerman. (In Persian).
- Nikpour, M. R. and Sani Khani, H. (2017) Modeling of river suspended sediments using soft calculations (Darah-Rood River). Irrigation and water engineer's scientific and research quarterly. eighth year No. 30:29-44. (In Persian).
- Nourani, V. 2009. Using Artificial Neural Network (ANNs) For Sediment Load Forecasting of Talkherood River Mouth.Urban and Environmental Engineering,3(1):1- 6.

- Rahul, A.K., Shivhare, N., Kumar, S., Dwivedi, S.B., & Dikshit, P.K.S. (2021). Modelling of daily suspended sediment concentration using FFBPNN and SVM algorithms. Journal of Soft Computing in Civil Engineering, 5(2),120-134.
- Shojaeezadeh, S.A., Nikoo, M.R., McNamara, J.P., AghaKouchak, A., & Sadegh, M. (2018). Stochastic modeling of suspended sediment load in alluvial rivers. Advances in Water Resources, 119, 188-196. (In Persian).

بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه، استان لرستان

ابراهیم کریمی سنگچینی*[۱]، علی دسترنج[۲]، حسین آرامی[۳]، صمد شادفر[۴]

۱*- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران. پست الکترونیک (*E.karimi64@gmail.com*)

۲-استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد.

۳- استادیار، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۴- دانشیار، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

زمین‌لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارت جانی و مالی فراوانی در مناطق کوه ستانی، پر باران و لرزه‌خیز به همراه دارد. شرایط توپوگرافی و فراهم بودن شرایط زمین شنا سی حساس به زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه سبب شده که سطح قابل توجهی به طور بالقوه مستعد وقوع زمین لغزش باشد. از طرفی عوامل انسانی نظیر تغییر شدید کاربری اراضی و احداث متعدد و نظارت نشده جاده روستایی سبب تشدید شرایط مستعد موجود گردیده است. در این مقاله سعی شده عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه بررسی و مهمترین عوامل به منظور ارزیابی خطر انتخاب گردند. با بررسی منابع و مطالعات کتابخانه‌ای ۱۶ عامل شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه)، جاده (فاصله از جاده)، فاصله از روستا، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های توپوگرافیک (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)و شاخص طول شیب ((LS)، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و شاخص قدرت بردار (VRM) کاربری اراضی و خطوط هم بارش به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، شناسایی و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. بررسی مهم‌ترین عوامل با استفاده از شاخص کاپا و روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) صورت گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های زمین شنا سی، کاربری ارا ضی، شیب، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)، طول شیب و جهت شیب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار هستند. از نظر زمین شنا سی کلاس‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد بیشتر شامل سازند آهک‌های خرد شده

کرتا سهK و نه شته‌های کواترنری بوده ا ست. برر سی مهم‌ترین عوامل موثر بر زمین‌لغزش می‌تواند به انتخاب بهترین عوامل به منظور ارزیابی خطر و خسارت زمین لغزش کمک کند.

واژه‌های کلیدی:
عوامل موثر، شاخص کاپا، روش حداکثر احتمال، خطر زمین لغزش، حوزه آبخیز کرگانه.

مقدمه

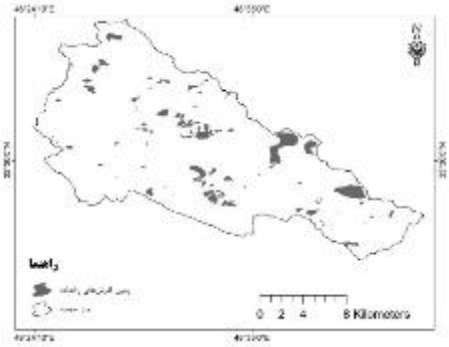
ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین شنا سی ا ست که در تغییر شکل ســـطح زمین نقش مؤثری دارد (مددی و همکاران، ۱۳۹۴ و Lee و همکاران، ۲۰۱۷). زمانی که این فرایند فعالیت‌های انســـانی را تحت تأثیر قرار دهد به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شـــوند (کریمی ســـنگچینی، ۱۳۹۸ و Paoletti و همکاران، ۲۰۱۳). زمین‌لغزش عبارت اســـت از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (علی پور و ملکیان، ۱۳۹۴ و Devkota و همکاران، ۲۰۱۳). در وقوع زمین‌لغزش هم عوامل انســـانی و هم طبیعی دخالت دارند. ازجمله عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان به عواملی همچون بارندگی، سنگ شنا سی، شـــیب و مانند آن اشـــاره کرد (Eslami و همکاران ۲۰۱۹). از جنبه عوامل انســـانی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها مهم‌تر از همه می‌توان به نقش تغییر کاربری اراضی از جنگل به اراضی زراعی اشاره داشت (کلارستاقی، ۱۳۸۶ و Raghuvanshi و همکاران، ۲۰۱۵). شریفی و همکاران (۱۴۰۰) ۱۲ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ شنا سی، گ سل، بارش، آبراهه، جاده‌های ارتباطی، کاربری ارا ضی، پو شش گیاهی، TWI و SPI، Shano و همکاران (۲۰۲۱) از فاکتورهای لیتولوژی، شرایط آب زیرزمینی، فاصله از گســـل، پارامترهای مورفومتریک (شـــیب، جهت و انحنا)، کاربری و بارش، Tyagi و همکاران (۲۰۲۱) پارامترهای داده‌های زمین‌لرزه، بارش، DEM، SPI، TWI، شبکه زهکش، شیب، جهت و مخازن آب را به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب کرده‌اند. شرایط توپوگرافی و فراهم بودن شرایط زمین شنا سی حساس به زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه سبب شده که سطح قابل توجهی به طور بالقوه مستعد وقوع زمین لغزش باشد. از طرفی عوامل انسانی نظیر تغییر شدید کاربری اراضی و احداث متعدد و نظارت نشده جاده روستایی سبب تشدید شرایط مستعد موجود گردیده است. لذا شناسایی و انتخاب عوامل موثر بر زمین لغزش می‌تواند اولین حلقه کلیدی در ارزیابی خطر و خسارت زمین‌لغزش باشد. در این مقاله ســـعی شـــده عوامل موثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز کرگانه بررســـی و مهمترین عوامل به منظور ارزیابی خطر انتخاب گردند.

مواد و روش‌ها

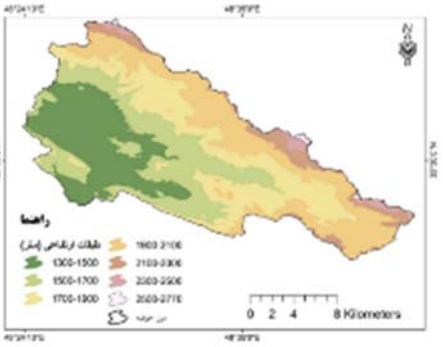
شواهد زمین لغزش‌های موجود در حوضه با استفاده از گوگل ارث، تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر، بازدیدهای میدانی منابع محلی و سازمانی شناسایی و ثبت شده و نوع و ابعاد لغزش ها مشخص شد و در نهایت با انتقال اطلاعات به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS ۵.۱۰) نقشه شواهد زمین لغزش تهیه گردید. اولین مرحله مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شناخت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عواملی که در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش مؤثری دارند، است. گردآوری اطلاعات به‌صورت میدانی، کتابخانه‌ای و با مراجعه به اداره کل منابع طبیعی استان لرستان صورت گرفته است. از میان عوامل مؤثر در رخداد لغزش، آن دسته از عوامل که بر پایه پژوهش‌های انجام‌گرفته در مناطق دیگر و نیز نظر کارشناسی، تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشته‌اند، انتخاب شدند. با بررسی منابع و مطالعات کتابخانه‌ای ۱۶ عامل شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه)، جاده (فاصله از جاده)، فاصله از روستا، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های توپوگرافیک (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب ((LS)، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)و شاخص قدرت بردار (VRM) کاربری اراضی و خطوط هم بارش به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، شناسایی و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در مرحله بعد با استفاده از شاخص کاپا و روش حداکثر احتمال به انتخاب موثرترین عوامل اقدام شد.

نتایج و بحث

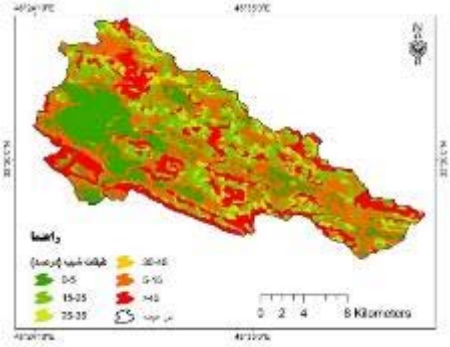
نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه با ۹۵ مورد ثبتی به صورت پهنه‌ای تهیه گردید (شکل ۱). مجموع سطح لغزش‌یافته حدود ۱۴۸۳/۲۴ هکتار می‌باشد که معادل حدود ۵ درصد سطح آبخیز است. مساحت کوچکترین و بزرگترین لغزش به ترتیب ۰/۳۱ و ۲۷۴/۶۲ هکتار می‌باشد. نقشه عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در حوضه تهیه و در ادامه آورده شده است (اشکال ۲ تا ۱۷).



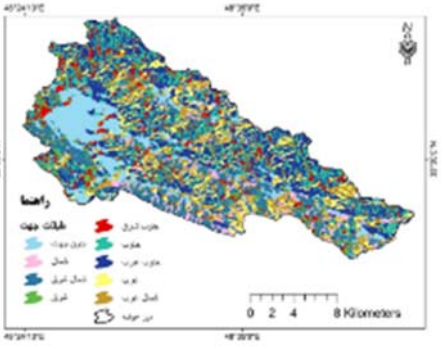
شکل ۱- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه آبخیز کرگانه



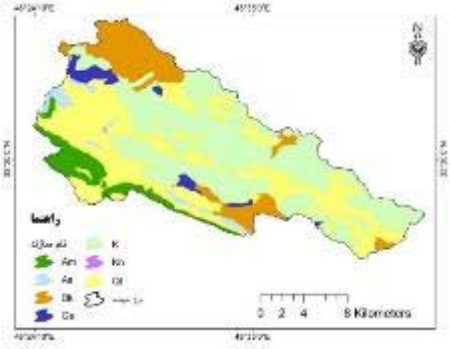
شکل ۲- نقشه طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز کرگانه



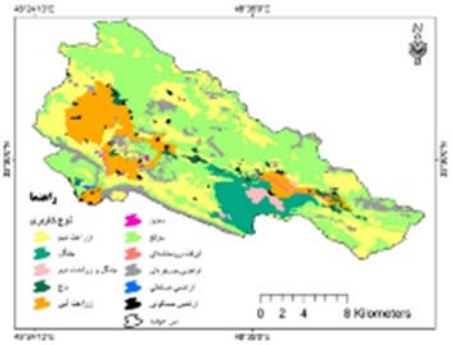
شکل ۳- نقشه طبقات شیب حوزه آبخیز کرگانه



شکل ۴- نقشه طبقات جهت شیب حوزه آبخیز کرگانه

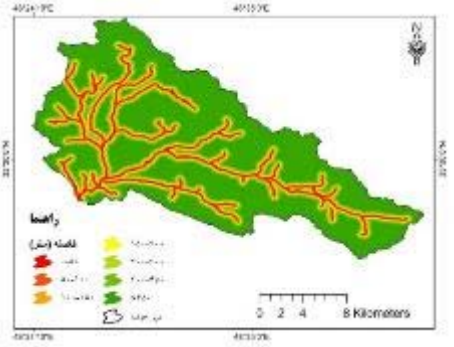


شکل ۵- نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز کرگانه

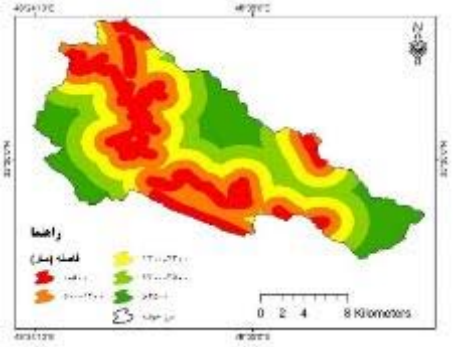


شکل ۶- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کرگانه

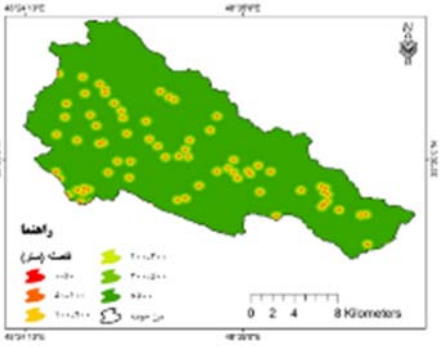
شکل ۷- نقشه طبقات فاصله از جاده حوزه آبخیز کرگانه



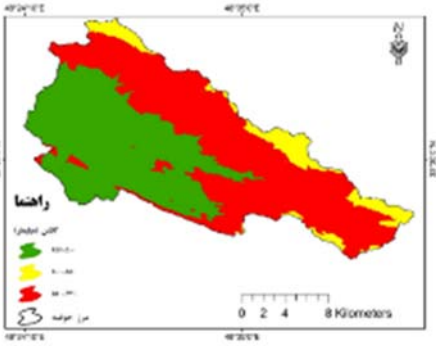
شکل ۸- نقشه طبقات فاصله از آبراهه حوزه آبخیز کرگانه



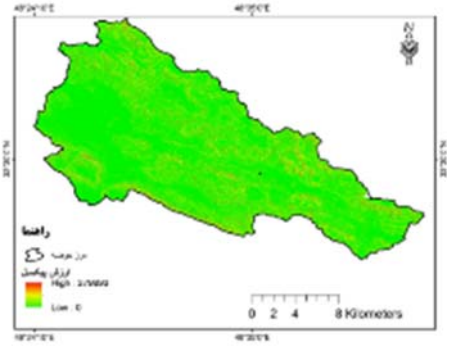
شکل ۹- نقشه طبقات فاصله از گسل حوزه آبخیز کرگانه



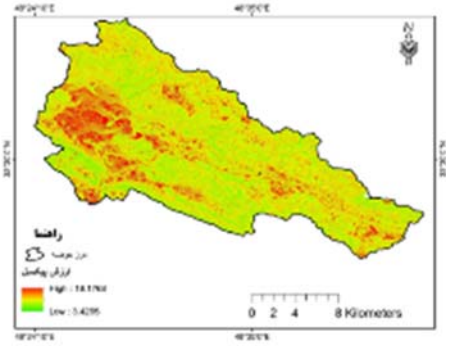
شکل ۱۰- نقشه طبقات فاصله از روستا حوزه آبخیز کرگانه



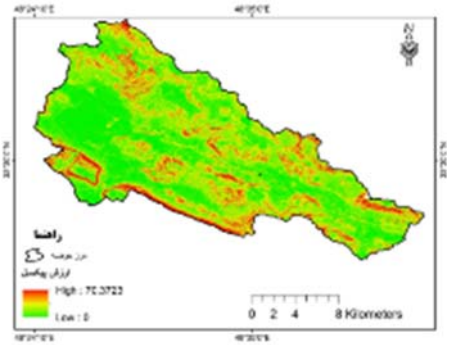
شکل ۱۱- نقشه طبقات بارش حوزه آبخیز کرگانه



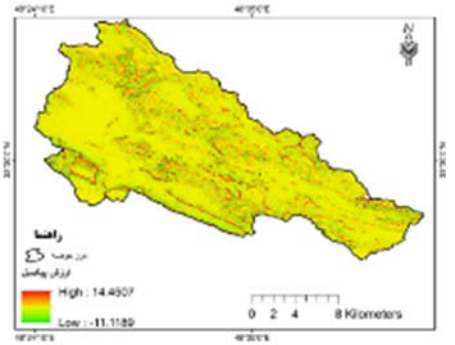
شکل ۱۲- نقشه شاخص توان آبراهه (SPI) حوزه آبخیز کرگانه



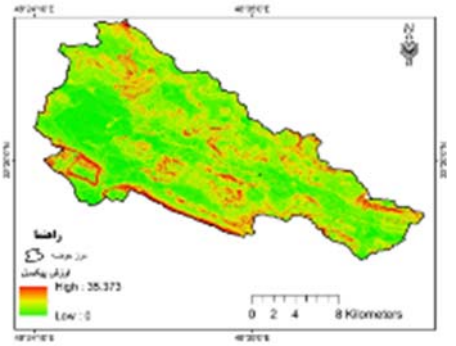
شکل ۱۳- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) آبخیز کرگانه



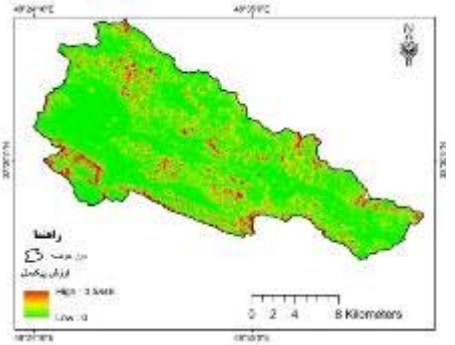
شکل ۱۴- نقشه شاخص طول شیب (LS) حوزه آبخیز کرگانه



شکل ۱۵- نقشه شاخص موقعیت توپوگرافی(TPI) آبخیز کرگانه

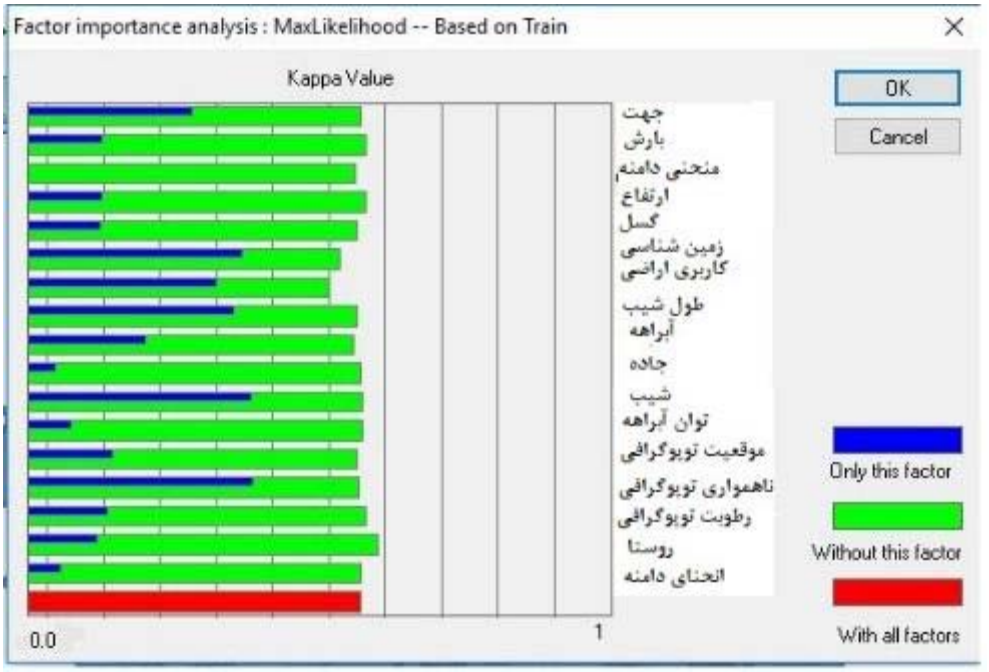


شکل ۱۶- نقشه شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) آبخیز کرگانه



شکل ۱۷- نقشه شاخص انحنای دامنه (VRM) آبخیز کرگانه

نتایج حاصل از نمودار شاخص کاپا جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها در نمودار شکل ۱۸ آورده شده است. با توجه به نمودار، شاخص‌های زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)، طول شیب و جهت شیب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار هستند.



شکل ۱۸- نتایج حاصل از نمودار شاخص حداکثر احتمال جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه سعی شد تا تعداد گسترده‌ای از عوامل (۱۶ عامل) به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شود. این عوامل حاصل نظرات کارشناسی و انجام مروری بر منابع در زمینه مدل‌های مختلف هست که بخش مهمی از آن‌ها در فصل مرور منابع ارائه‌شده است. به‌عنوان نمونه Eslami و همکاران (۲۰۱۹) لایه‌های زمین شناسی، خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، بارش، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و لایه کاربری اراضی، Raghuvanshi و همکاران (۲۰۱۵) شش پارامتر شیب، شیب مواد، جهت شیب، ارتفاع، پوشش سطح، کاربری اراضی و تراز سطح آب زیرزمینی، را به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب کرده‌اند.

بر ا ساس نتایج مدل حـ سا سیت برتر، عوامل طول شیب (LS)، شیب و شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه می‌با شند. شیب یکی از پارامترهای تأثیرگذار در ناپایداری‌های دامنه‌ای محسوب می شود. به‌طورکلی میزان شیب نقش مهمی را در عواملی همچون نفوذ آب در دامنه‌ها، زاویه شـــکســـت و چســـبندگی خاک می‌گذارد (Devkota و همکاران، ۲۰۱۳). بســـیاری از تحقیقات بر روی نقش مســـتقیم شـــیب و تأثیر آن بر روی زمین‌لغزش‌ها تأکید دا شته‌اند (Lee و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین Devkota و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات خود به نقش مؤثر شـیب در وقوع زمین‌لغزش تأکید دارند. در عامل شـیب، با افزایش شـیب حسـاسـیت زمین‌لغزش افزایش‌یافته ا ست که نماینده افزایش نیروی گرانش در شیب‌های بالا هـ ست. لذا عامل شیب نـ سبت به ارتفاع یک عامل بهتر و کامل‌تر(به لحاظ اطلاعات گرانشـــی موجود) برای مدل‌ســـازی حســـاســـیت زمین‌لغزش معرفی می شود. شاخص طول شیب (LS) یا حمل ر سوب (STI) بیانگر توان حمل آبراهه ا ست. درواقع تأثیر توپوگرافی را بر فر سایش م شخص می‌کند. درواقع هر چه طول شیب بی شتر با شد توان حمل ر سوب بالاتری دارد درنتیجه شرایط فر سایش کناری بی شتر شده و زمین‌لغزش‌های کناری بیشـــتر می‌شـــود. در ارتباط با شـــاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و ارتباط این شـــاخص با وقوع زمین‌لغزش می‌توان گفت که ازآنجایی‌که میزان بالای این شـــاخص نشـــان‌دهنده بالاآمدگی و فعالیت نئوتکتونیک است درنتیجه ناهمواری، به‌هم‌ریختگی و زبری سطوح و افزایش شیب بیشتری رخ می‌دهد، که باعث مساعد شدن شرایط وقوع زمین‌لغزش می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشـــی، با همکاری و هزینه پژوهشـــکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات کـ شاورزی و منابع طبیعی ا ستان لر ستان با شماره م صوب ۲-۵۹-۲۹-۰۳۱-۰۰۰۴۸۹ انجام شـده اسـت. مولفین برخود لازم میدانند تا از همکاری این مراکز در کلیه مراحل اجرای طرح صـمیمانه سپاسگزاری نمایند.

منابع

- مددی، ع.، ع. غفاری، و ا. پیروزی. ۱۳۹۴. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق لاقان چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴۱۳: ۱۲۴-۱۴۱.

- کریمی سنگچینی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی خطر، خسارت و برنامه مدیریت زمین‌لغزش حوضه آبخیز چهل چای، استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، ایران ۱۴۰ صفحه.
- کلارستاقی، ع.، م. حبیب نژاد. و ح. احمدی. ۱۳۸۶. مطالعه وقوع زمین‌لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی مطالعه موردی حوزه آبخیز تجن، ساری. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۶۲): ۹۱-۸۱.
- علی پور، ح. و آ. ملکیان. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۹): ۱۶۵-۱۸۰.
- شریفی پیچون، م.، ک. شیرانی و م. شیرانی،). اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه بندی حساسیت آن با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی مطالعه موردی: حوضه آبریز وهرگان-غرب استان اصفهان. نشریه هیدروژیومورفولوژی، ۸(۲۶): ۱۶۳-۱۳۹.
- Paoletti, V.,Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A. 2013. Level-2 susceptibility zoning on seismic induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. Physics and Chemistry of the Earth 63:147- 159.
- Shano, L., T. K. Raghuvanshi. and Meten, M. 2021. Landslide Hazard Zonation using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. Geotechnical and Geological Engineering, 1-19.
- Tyagi, A., R. K. Tiwari, and James, N. 2021. GIS-Based Landslide Hazard Zonation and Risk Studies Using MCDM. In Local Site Effects and Ground Failures (pp. 251-266). Springer, Singapore.
- Eslami, M., S. Shadfar., A. Mohammadi-Torkashvand, and Pazira, E. 2019. Assessment of density area and LNRF models in landslide hazard zonation (Case study: Alamout watershed, Qazvin Province, Iran). Acta Ecologica Sinica, 39(2): 173-180.
- Raghuvanshi, T. K., L. Negassa, and Kala, P. M. 2015. GIS based Grid overlay method versus modeling approach–A comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Showa Zone in Ethiopia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2): 235-250.
- Devkota, K. A. Regmi., H.R. Pourghasemi., K. Yoshida., B. Pradhan., I. Ryu., M. Dhital. and Q. Althuwaynee. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya, Nat Hazards, 65: 135-165.
- Lee, S., S. M. Hong, and Jung, H. S. 2017. A support vector machine for landslide susceptibility mapping in Gangwon Province, Korea. Sustainability, 9(1), 48.

کاربرد پهپاد برای مطالعه آستانه توپوگرافی در منطقه نظر آباد

رضا بیات[۱]، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی*[۲]، مجید صوفی[۳]، عباس ملکی[۴] و امید علی اکبرپور[۵]

۱- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

۳-دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش منابع طبیعی و کشاورزی استان فارس، ایران

۲*-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک (alinezhadian.a@lu.ac.ir)، ۴ -استادیار گروه مهندسی و ۵ -استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، ایران

چکیده

فرسایش آبکندی از نظر تولید رسوب و تخریب اراضی، یکی از انواع مهم فرسایش آبی در جهان است. به دلیل نبود ابزار اندازه‌گیری رواناب در بسیاری از مناطق، از روابط ریاضی مانند آستانه توپوگرافی می‌توان استفاده کرد. تحقیق حاضر با هدف تعیین رابطه آستانه توپوگرافی آبکندهای منطقه نظرآباد انجام شد. با تصاویر Google Earth، مرز منطقه آبکندی ترسیم و در بازدید صحرایی ۳۲ آبکند معرف، انتخاب و مشخصات مورفولوژی و خصوصیات خاک تعیین شدند. باتوجه به شیب کم منطقه و زمان و هزینه‌بر بودن نقشه‌برداری، برای بستن مرز حوزه آبخیز آبکندها از مدل رقومی ارتفاع حاصل از تصاویر پهپادی استفاده شد. ضرایب و معادله آستانه توپوگرافی با تعیین رابطه رگرسیونی نمائی بین شیب و مساحت در هر منطقه با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شد. نتایج نشان داد که در منطقه، آبکندهای مورد تحقیق در محیطی با متوسط قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک ۸۳ dS/m و pH برابر ۸/۲ ایجاد شده بودند که مبین شرایط شوری زیاد و تا حدودی قلیاییت است. همچنین مقادیر بالای سیلت، سدیم، کلر و ماده آلی پایین از جمله مشخصات بارز این مناطق بود. معادله آستانه توپوگرافی برای ایجاد آبکندها، یک رابطه نمائی نزولی با نمای منفی بدست آمد و ضرایب a=۰/۰۷۷۵ و b=۰/۱۳۲- که بیانگر نقش رواناب سطحی به عنوان عامل اصلی ایجاد آبکند است. رابطه توانی بین مساحت - شیب (آستانه توپوگرافی) معنی‌دار نبود و نشان داد که علاوه بر نقش این شاخص آستانه توپوگرافی، عوامل دیگری در ایجاد آبکند نقش دارند.

واژه‌های کلیدی

آستانه توپوگرافی- ایجاد آبکند- پهپاد- رواناب سطحی

مقدمه

با توجه به تولید رسوب، هدررفت خاک و تخریب قابل ملاحظه اراضی توسط فرسایش آبکندی، شناخت دقیق عوامل مؤثر بر گسترش آن ضرورت دارد. به دلیل عوامل گوناگون موثر بر این فرسایش، استفاده از

روش‌های آماری جهت تعیین عوامل مهم‌تر و تأثیرگذارتر اجتناب‌ناپذیر است. خصوصیات توپوگرافی حوزه آبخیز آبکندها و ویژگی‌های خاک از جمله عامل‌های مؤثر بر گسترش آبکند است. مقادیر حداقل لازم از هر مشخصه‌ای که بتواند سبب ایجاد یا گسترش آبکند بشود در بسیاری از موارد و مناطق تعیین نشده است. مقدار آستانه[۶]عوامل در تحقیقات مربوط به منابع طبیعی، اهمیت بسیار زیادی دارد و در ساده‌ترین تعریف، عبارت است از مقدار یا نقطه‌ای از عامل که پس از آن رفتار سیستم تغییر می‌کند (Philips، ۲۰۰۶). مقدار آستانه می‌تواند به عوامل داخلی محیط و یا عوامل خارج از آن مانند اقلیم مرتبط باشد. معمول‌ترین آستانه‌ها در بررسی اکوسیستم‌ها نسبت نیرو به مقاومت سطح و سرعت جریان آب یا باد در انتقال ذرات و رسوبات است. آستانه‌های بسیاری ازجمله آستانه‌های پوشش گیاهی، هیدرولوژی و هیدرولیک، خاک و توپوگرافی برای فرسایش آبکندی معرفی شده است که در این تحقیق بر روابط بین شیب و مساحت حوزه آبخیز آبکند (آستانه توپوگرافی) تمرکز شده است.

Poesen و همکاران (۲۰۰۳) رابطه‌ای برای آستانه توپوگرافی از نوع توانی معرفی نموده که نمای منفی رابطه، معرف تأثیر رواناب سطحی در ایجاد و یا گسترش آبکند است. اگر نمای این رابطه مثبت بشود، نوع فرآیند مؤثر در ایجاد یا گسترش آبکند، از نوع جریان زیرسطحی است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). Ghosh و Guchhait (۲۰۱۷) در پژوهش خود بر پیش‌بینی شرایط آستانه و تعیین مناطق حساس به ایجاد آبکند جانبی در منطقه لاتریتی بنگال غربی هند متمرکز شدند. مفهوم آستانه ژئومورفیک برای تعیین خطر فرسایش آبکند استفاده شد تا شیب بحرانی سر آبکند (S) و منطقه زهکشی بالادست (A) با رابطه اصلی $S = aA^{-b}$ مشخص شود. آن‌ها بر اساس مشخصات ۱۱۸ آبکند، رابطه آماری معنی‌داری بین شیب و منطقه زهکشی به دست آوردند (r=-۰/۵۵). یافته‌های آن‌ها نشان داد که این معادله می‌تواند به‌عنوان یک مدل پیش‌بینی کننده برای یافتن مناطق آسیب‌پذیر (مکان‌های فرسایش آبکند بالقوه) در سایر مناطق داری خاک لاتریتی بنگال غربی استفاده شود.

Gudino-Elizondo و همکاران (۲۰۱۹) به اندازه گیری آستانه توپوگرافی در آبکندهای موقتی یک حوزه آبخیز شهری (شهر Tijuana) مکزیک پرداختند. آنها بیان نمودندکه آبکندهای مناطق شهری عموماً در جاده‌های آسفالت نشده که دارای خاک های فرسایش‌پذیر و جریان متمرکز بودند، شکل گرفت. شیوه‌های مدیریت نامناسب (به عنوان مثال تعمیر و نگهداری جاده‌ها) به تولید رسوب آبخیز کمک کرده‌اند. نتیجه تحقیق نشان داد که مقدار تولید رسوب آبکندهای مناطق شهری از اراضی کشاورزی بالاتر بود ولی مقادیر آستانه شیب و سطح منطقه برای ایجاد آبکند از آبکندهای مناطق کشاورزی کمتر بود.

---

3 Threshold 6

Yibeltal و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود آستانه توپوگرافی و مشخصات شکل شناسی آبکندهای سه منطقه مختلف اکوولوژیک نیل آبی در کشور اتیوپی بررسی نمودند شامل مناطق مرتفع، میانی و کم ارتفاع حوضه بودند. نتایج نشان داد که به ترتیب ضرایب شیب (S) - مساحت (A) در رابطه $S = aA^{-b}$، $a = 0.219$ و $b = -0.139$ در ارتفاعات، $a = 0.133$ و $b = -0.234$ در مناطق میانی و $a = 0.113$ و $b = 0.216$ در بخشهای کم ارتفاع حوضه بود و نشان می‌دهد که آستانه های توپوگرافی برای شروع آبکند در شرایط زیست محیطی متفاوت، مختلف است.

داودی‌راد و صوفی (۱۳۹۷) در پژوهش خود نوع فرآیندهای هیدرولوژیکی موثر در تشکیل آبکند را در دو منطقه خشک آبکندی رباط‌ترک و پیک زرندیه استان مرکزی بررسی و برای آن‌ها آستانه مساحت-شیب را تعیین نمودند. نتایج مبین آن بود که در منطقه رباط‌ترک رابطه مساحت- شیب از همبستگی بالایی برخوردار است و توان b آن نیز منفی است و جریان سطحی همراه با تشدید فرسایش ناشی از عمل انحلال در ایجاد آبکند این منطقه نقش دارد. هرچند در منطقه پیک زرندیه همبستگی قوی در رابطه مساحت- شیب مشاهده نشد، ولی رابطه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

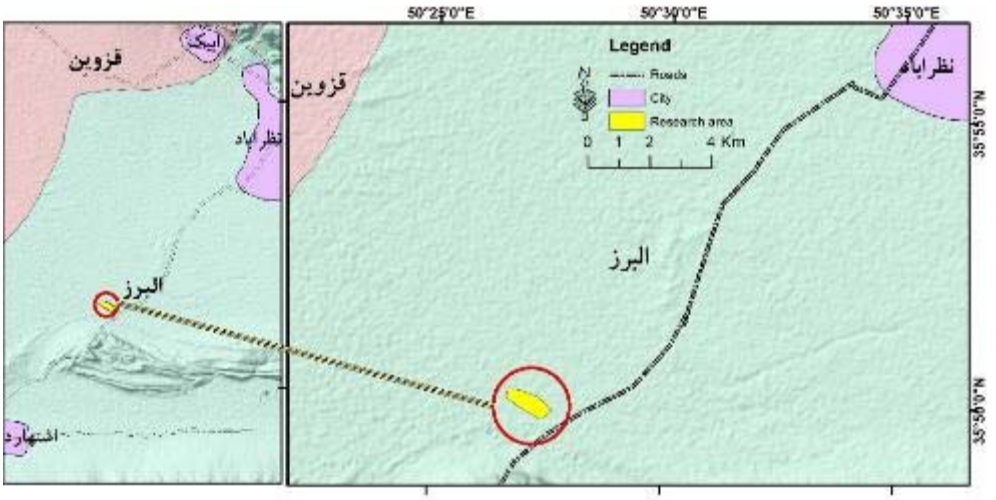
شهبازی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود نشان دادند که حداقل شیب و مساحت لازم برای آستانه فرسایش آبکندی در منطقه صحنه به ترتیب حدود ۱۱ درصد و ۲۸۰ متر مربع بود، در حالی که این مقادیر برای منطقه قصرشیرین به ترتیب ۳ درصد و ۱۴۵۰ متر مربع بدست آمد که در منطقه قصرشیرین به دلیل سازند مارنی آغاجاری در شیب کمتری رخ داده است. آستانه توپوگرافی فرسایش آبکندی در مراتع فقیر کمتر از مراتع متوسط بود.

Gudino-Elizondo و همکاران (۲۰۱۹) برای تعیین آستانه توپوگرافی و مقدار فرسایش در آبکندهای موقتی یک حوزه آبخیز شهری (شهر Tijuana) مکزیک که توسعه شهری سریعی دارد از پهپاد استفاده نمودند. آنها بیان نمودندکه فرسایش آبکندی در محیط‌هایی که آبکندها به سرعت تغییر می‌کنند، چالش برانگیز است و در مناطقی شهری به دلیل پیچیدگی میکروتوپوگرافی منطقه، تعیین آستانه توپوگرافی را پیچیده‌تر می‌کند. کریمی نژاد و همکاران (۱۳۹۸) نیز برای پایش مکانی و بررسی آستانه‌ای عوامل تأثیرگذار بر فرسایش تونلی در اراضی لسی استان گلستان از تصاویر هوایی پهپاد استفاده کردند.

بررسی منابع نشان داد که پژوهش‌های اندکی در خصوص مطالعه آبکندها به کمک سنجش دور به‌خصوص پهپاد انجام شده است و با توجه به تحولات شکلی آن‌ها نیاز به ابزاری است که بتوان در زمان‌های لازم نقشه و دیگر داده‌های موردنیاز را تهیه نمود و برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقدامات مناسب برای مدیریت آبکند را به‌کار گرفت. مقایسه و تحلیل ویژگی‌های مورفومتریک آبکندها با نمای رابطه مساحت شیب برای اولین بار در این منطقه تحقیق انجام می‌شود تا تعیین کند که با ویژگی‌های آبکندهای مختلف، روند تغییر نمای رابطه مساحت – شیب چگونه است.

مواد و روش‌ها

این منطقه آبکندی با مساحت ۶۸ هکتار، غربی‌ترین قسمت استان البرز و در مرز استان قزوین (مختصات ۴۴۹۸۰۶ تا ۴۵۱۴۴۳ طول شرقی و ۳۹۶۴۸۹۹ تا ۳۹۶۵۹۱۱ عرض شمالی) و حدود ۱۵ کیلومتر با شهر نظرآباد فاصله دارد. دارای تیپ اراضی پست شامل اراضی مسطح و دارای فرورفتگی‌های آبگیر است. خاک این واحد اراضی خیلی عمیق با بافت ریز و شوری نسبتاً زیاد همراه است که دارای پوسته نمکی پفی است. به دلیل شوری و قلیائیت اغلب فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم و شور دوست است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مذکور روی واحد Qcf (دشت رسی) با حساسیت خیلی زیاد (درجه ۹ از ۱۰) به فرسایش قرار دارد. حداقل، حداکثر و میانگین ارتفاع به ترتیب ۱۱۳۸، ۱۱۴۷ و ۱۱۴۱ متر، شیب متوسط ۲/۴ درصد و بارش و دمای متوسط سالانه منطقه به ترتیب ۱۹۷ میلی‌متر و ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. برحسب همین متوسط درازمدت و در اقلیم نمای دمارتن، اقلیم منطقه خشک تعیین‌شده و در زیرحوضه ۴۱۱۵ کد ۴ تماب از حوضه مرکزی قرار دارد (پیروان، ۱۳۹۴).



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق و پهنه‌های آبکندی آن

روش تحقیق

بر اساس اطلاعات موجود، بازدیدهای صحرایی و بر اساس تصاویر گوگل ارت مرز منطقه آبکندی ترسیم شد. سپس در بازدید صحرایی ۳۲ آبکند نمونه انتخاب و موقعیت آنها با سامانه موقعیت یاب جهانی ثبت شد. یک نمونه خاک سطحی (۰-۲۵ سانتی‌متر) از محل دیواره بالاکند تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی آن در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تعیین شد (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲).

باتوجه به شیب کم منطقه و زمان و هزینه‌بر بودن نقشه‌برداری، برای بستن مرز حوزه آبخیز آبکندها از مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصویربرداری به کمک پهپاد Dji Phantom 3 Professional استفاده شد (شکل ۲). نمونه تصویر منطقه حاصل از دوربین پهپاد در شکل ۳ ارایه شده است.
با استفاده از نرم‌افزار Pix4d Capture که روی گوشی همراه نصب می‌شود، اطلاعات پرواز شامل ارتفاع پرواز، مقدار هم‌پوشانی عکس‌ها و نیز محدوده منطقه به سامانه راهبری پهپاد معرفی و پهپاد مطابق این اطلاعات پرواز و عکس‌برداری می‌نماید. تصاویر برداشت شده از منطقه، به‌منظور تولید خروجی‌های موردنیاز (شامل ارتوفوتوموزاییک[۳۷]، مدل رقومی زمین (DEM)[۳۸] و مدل سه‌بعدی)، با نرم‌افزار Agisoft.Photoscan.Professional.V1.4.3 پردازش شدند. مدل رقومی ارتفاع حاصله در محیط ArcMap10.2 فراخوانده شد و مراحل بعدی کار شامل بستن مرز و استخراج مشخصات مورفولوژیک حوزه آبخیز هر آبکند انجام شد.

شکل ۲. پهپاد Dji Phantom3 Professional

3 Orthphotomosaic
3 Digital Elevation Model

شکل ۳. نمونه تصویر منطقه حاصل از دوربین پهپاد

برای تعیین آستانه توپوگرافی عنوان‌شده است رابطه به‌صورت معادله (۱) ارائه‌شده است که در این رابطه a و b بر اساس شرایط محیطی تعیین می‌شوند (Poesen و همکاران ۲۰۰۳ و Vandekerckhove و همکاران ۱۹۹۸).

$S=aA^b$ معادله ۱

رابطه خط آستانه را می‌توان از شکل معادله (۱) به‌صورت معادله (۲) نیز نوشت که در آن t در حقیقت همان ضریب a در رابطه توانی آستانه است که برای منطقه‌ای ویژه، مقداری ثابت دارد.

$t @ SA^{0b}$ معادله ۲

بنا بر مطالب بالا، مکان‌هایی در معرض خطر فرسایش آبکندی قرار دارند که در آنجا رابطه $t ? SA^{0b}$ برقرار باشد (Poesen و همکاران ۲۰۰۳). عدد مثبت برای توان b نشان‌دهنده عملکرد فرآیند زیرسطحی و عدد منفی نشانگر عملکرد جریان سطحی است (Montgomery و Dietrich، ۱۹۹۴).

ضرایب و معادله آستانه توپوگرافی با تعیین رابطه رگرسیونی نمائی بین شیب و مساحت در هر منطقه با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

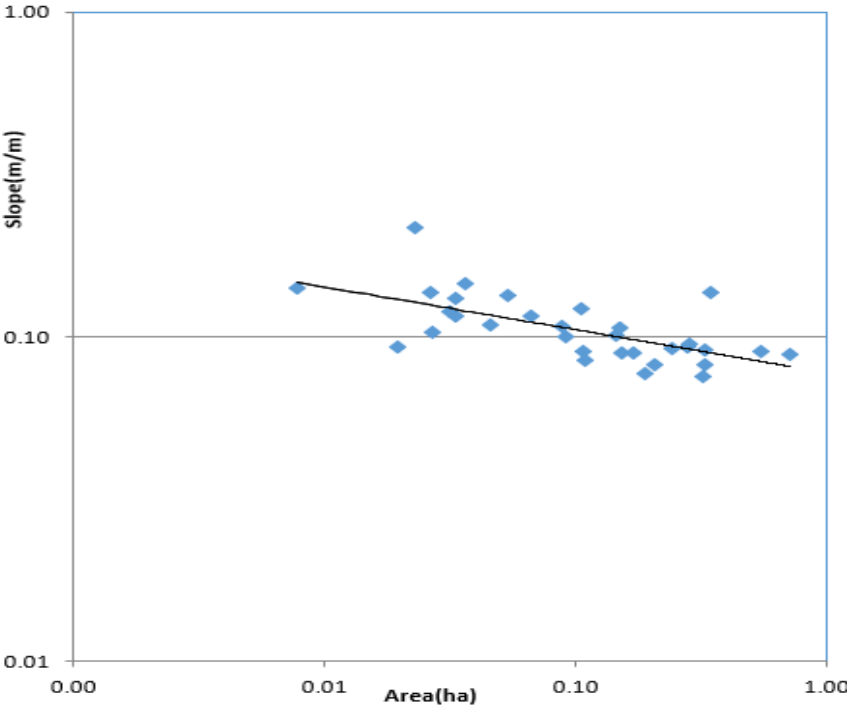
خاک آبکندهای منطقه نظرآباد دارای EC متوسط ۸۲/۷ dS/m، SAR ۷۸ و pH ۸/۳ است که مبین شرایط شوری خیلی زیاد و قلیاییت بالا است. حوزه آبخیز آبکندهای منطقه نظرآباد دارای طول متوسط ۱۲۰ متر و متوسط مساحت ۱۶۰۰ مترمربع بودند که باتوجه به اینکه در حوضه‌های مربعی شکل مقدار ضریب شکل مساوی یک است، ضریب شکل متوسط ۰/۱۴ نشان داد که حوزه‌های آبخیز آبکندها شکل کشیده‌ای دارند (جدول ۱).

جدول۱. میانگین ویژگی‌های حوزه آبخیز آبکندها

نام ویژگی (واحد)	مقدار
محیط حوضه (متر)	373.1
مساحت (متر مربع)	1650
شیب حوضه (درصد)	10.8
طول حوضه (متر)	119.3
ضریب شکل حوضه	0.14
ضریب فشردگی	2.68
شیب کف کانال (درصد)	2.7
شیب آبراهه روی بالاکند (درصد)	1.8

پلان عمومی آبکندهای منطقه نظرآباد از نوع پنجه‌ای و در یک دشت کم شیب ایجاد و گسترش یافته-اند که عموماً محل تمرکز جریان رواناب دشت هستند. نتایج مشخصات ریخت‌شناسی آبکندهای منطقه نظرآباد، نشان داد که متوسط عمق بالاکند ۳۸ cm، طول متوسط ۲۴ m و متوسط حجم آبکندها ۳۹ m3 است.

معادله کلی آستانه مساحت-شیب، نشان دهنده یک رابطه نمائی نزولی است و نمای منفی در رابطه مبین تاثیر غالب رواناب سطحی در ایجاد آبکند بوده است (شکل ۴). همچنین ضرایب رابطه آستانه مساحت-شیب آبکندها برای حالت گسترش رابطه نمائی نزولی را نشان داد که احتمالاً به‌خاطر کاهش سطح آبخیز آبکند، قدر مطلق نمای آن کمتر و منفی به دست آمد و مشخص می‌کند که باز هم رواناب سطحی تاثیر غالبی در گسترش آبکند داشته است (جدول ۳).



شکل ۴. منحنی آستانه مساحت - شیب در ایجاد آبکندهای منطقه نظرآباد

جدول ۳. روابط مساحت- شیب آبکندها در منطقه نظرآباد

شرایط	رابطه مساحت شیب	ضریب تبیین (R^2)	سطح معنی‌داری
حالت ایجاد	$y = 0.0775x^{-0.132}$	0.411	۰/۰۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که ایجاد و گسترش آبکندهای منطقه صرفا تحت تاثیر این نوع آستانه نبوده و انجام مطالعه جامع برای تعیین عوامل موثر بر این پدیده ضروری است. بنابراین برای یافتن روابط کاربردی و بومی شده، تحقیق مشابهی در دیگر مناطق با پوشش، شیب و شوری‌های مختلف انجام شود. همچنین باتوجه به کیفیت تصاویر و مدل رقومی ارتفاع حاصل از بکارگیری فن‌آوری پهپاد، از خروجی‌های آن برای تعیین حجم آبکند، پایش تغییرات آبکند در بارش‌های واقعه‌ای شدید یا سالیانه، تجزیه و تحلیل وضعیت خاک، فرایند فرسایش و میزان رطوبت موجود در آن استفاده شود.

با توجه به نتایج تحقیق مبنی بر فقر پوشش گیاهی و به منظور کاهش پیشروی آبکندها، تقویت و احیاء پوشش گیاهی پیشنهاد می‌شود. همچنین بایستی رواناب ایجاد شده در بالای پیشانی آبکندها را منحرف نمود و در بخشی از بدنه‌ی آبکند یا آبراهه‌های انتهایی مسیرها وارد کرد. همچنین اجرای کارهای احتیاطی برای جلوگیری از ایجاد آبکندهای جدید در محل ورود رواناب به بدنه‌ی آبکند ضروری است. از سوی دیگر می‌توان با اقدامات مکانیکی محدود مانند بانکت‌بندی و یا احداث بندهای خاکی به ارتفاع یک متر در انتهای آبکندها، علاوه بر ایجاد سامانه هایی برای استحصال آب باران، حجم و ارتفاع رواناب ورودی به پیشانی آبکند را کاهش داد و از این راه آب را جمع‌آوری و برای استقرار پوشش گیاهی در اطراف آبکندها به‌کارگرفت.

بر اساس مشاهدات صحرایی، اثرات چرای گله‌های دام بهره‌برداران بومی در مراتع مشاهده شد، بنابراین بهتر است تا با جلب مشارکت آنها و با نگاه اقتصادی به دامداری و مرتعداری و در پی آن بهره‌برداری از خاک، به گونه‌ای هماهنگ شود تا در حفاظت پوشش گیاهی، رعایت تعداد مناسب دام در مرتع و چرای به موقع و متناسب کوشا باشند.

با توجه به اهمیت جاده ارتباطی بین نظرآباد و ماهدشت که مورد تهدید آبکندهای منطقه است، توجیه و ارایه گزارش از وضعیت آبکندها برای مسئولین ذیربط اهمیت دارد تا با اصلاح آبگذرها و برخی اقدامات مکانیکی و تقویت پوشش گیاهی به کاهش گسترش آبکندها کمک کنند.

تشکر و قدردانی

بابت مجوز بکارگیری پهپاد از ریاست محترم پژوهشکده جناب آقای دکتر نیک‌کامی، تهیه و پردازش تصاویر (آقایان دکتر نورزوی، دکتر داودی، مهندس شکری و مهندس زارعی) و آزمایش نمونه‌های خاک (احرار، دادگر و خوشنام)، قدردانی می‌شود.

منابع

- کریمی نژاد، ن.، حسینعلی زاده، م. و پورقاسمی، ح.ر. ۱۳۹۸. پایش مکانی فرسایش پایپینگ با استفاده تصاویر هوایی پهپاد در اراضی لسی استان گلستان. پژوهش های آبخیزداری. انتشار آنلاین.
- شهبازی، خ.، خسروشاهی، م.، حشمتی، م. و قیطوری، م. ۱۳۹۹. مقایسه نقش سازند زمین شناسی و عوامل توپوگرافی در آستانه های فرسایش خندقی . پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۱۱، شماره ۲۱.، ص.
- داودی‌راد، ع. ا. و صوفی، م. ۱۳۹۷. نقش فرایندهای آبشناختی در ایجاد آبکند مبتنی بر روابط مساحت -شیب در مناطق خشک استان مرکزی. پژوهشهای آبخیزداری. دوره ۳۱، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۱۹، صفحات ۲ -۱۶.

- Phillips J.D. 2006. Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. Hydrology and Earth System Sciences, 10: 731-742.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, 50: 91-133.
- Ghosh S. and Guchhait S.K. 2017. Estimation of geomorphic threshold in permanent gullies of lateritic terrain in Birbhum, West Bengal, India". CURRENT SCIENCE, VOL. 113, NO. 478 3.
- Gudino-Elizondo N., Biggs T., Castillo C., Bingner R., Langendoen E., Taniguchi K., Kretzschmar T., Yuan Y. and Liden D. 2018. Measuring ephemeral gully erosion rates and topographical thresholds in an urban watershed using unmanned aerial systems and structure from motion photogrammetric techniques. Land Degrad Dev. Jun;29(6):1896-1905. doi: 10.1002/ldr.2976. PMID: 30245565; PMCID: PMC6145458.
- Yibeltal, M.; Tsunekawa, A.; Haregeweyn, N.; Adgo, E.; Meshesha, D.T.; Masunaga, T.; Tsubo, M.; Billi, P.; Ebabu, K.; Fenta, A.A.; Berihun, M.L. 2019.
- Morphological characteristics and topographic thresholds of gullies in different agro-ecological environments. Geomorphology, 341, p. 15-27.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., and T. de Figueiredo. 1994. Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. Catena, 33, 271–292. 1998.
- Montgomery, D.R., and Dietrich W.E. "Landscape dissection and drainage area-slope threshold. In Kirkby, M.J. (ED.) Process Models and Theoretical Geomorphology. Wiley, Chichester, UK, pp.221-245.

بررسی ویژگی‌های خاک‌شناسی و فرسایش‌پذیری نهشته‌های مارنی جنوب و شرق تهران

حمیدرضا پیروان*[۱]، کورش شیرانی[۲]

* ۱نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مقدمه

مارن‌ها از دو جنبه اقتصادی و مسائل فرسایش و رسوب می‌تواند مهم باشند. از یک سو مارن‌ها دارای مواد اولیه تولید سیمان یعنی کلسیم، آلومینیم و سیلیس در کارخانه‌های سیمان می‌باشند و از سوی دیگر، دارای درجه فرسایش‌پذیری بالایی هستند و سالیانه هزاران تن رسوب را تولید و روانه مخازن سدها می‌کنند. در این تحقیق، واحدهای مختلف مارنی جنوب و شرق شهر تهران شامل مناطق پاکدشت، ورامین، ایوانکی و حسن‌آباد قم انتخاب و بافت خاک و فرسایش‌پذیری ذاتی آن‌ها بررسی شد. این نهشته‌ها شامل مارن پلیوسن، مارن سازند قم و سه واحد مارنی قرمز بالایی و دو واحد گچی و نمکی قرمز زیرین، واحدهای مارن ائوسن سازند کند، واحد مارن پلیوسن، واحد مارن سازند قم و آبرفت‌های مارنی است که جهت بررسی انتخاب و ۹۹ نمونه برداشت شد. خصوصیات فیزیکی شامل دانه‌بندی و ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها شامل درصد گچ و نمک، آهک و مواد آلی اندازه‌گیری شد و سپس طبقه‌بندی خاک‌شناسی انجام و فرسایش‌پذیری (فاکتور K) مارن‌های منطقه تعیین شد. فرسایش‌پذیری ویشمایرK، براساس فاکتورهای درصد آلی، کلاس نفوذپذیری، کلاس ساختمان خاک، درصد رس، درصد سیلت و درصد شن ریز تعیین شد. پراکنش تمامی مارن‌های مورد بررسی در فاکتور K، نشان داد که تمامی آن‌ها در محدوده حساس و فوق حساس به فرسایش قرار دارند و تمایز بین آن‌ها درجه شدت فرسایش‌پذیری است. به جز ۲ نمونه بقیه نمونه‌ها رسی نیستند. همگی لوم و سیلتی تا سیلتی هستند و برخی ماسه‌ای لوم می‌باشند. عمده آبرفت‌های مارنی به خاطر بیشتر شدن اجزاء درشت‌دانه‌تر از حساسیت کمتری برخوردار هستند. در بین مارن‌های دریایی، مارن سازند کند نسبت به مارن سازند قم مقاوم تر است.

واژه‌های کلیدی

فرسایش‌پذیری ذاتی، مارن‌های خشکی، مارن‌های دریایی، معادله ویشمایر

مقدمه

مارن‌ها از دو جنبه اقتصادی و مسائل فرسایش و رسوب می‌تواند مهم باشند. از یک سو مارن‌ها دارای مواد اولیه تولید سیمان یعنی کلسیم، آلومینیم و سیلیس در کارخانه‌های سیمان می‌باشند و از سوی دیگر، دارای درجه فرسایش‌پذیری بالایی هستند و سالیانه هزاران تن رسوب را تولید و روانه مخازن سدها می‌کنند. بررسی‌های انجام شده در حوزه سد سفیدرود نشان از رسوب‌زایی زیاد سازندهای مارنی دارد به نحوی که پهنه‌های مارنی نئوژن با سطح پراکنش ۱۵٪ از سطح حوزه‌آبخیز قزل‌اوزن منتهی به سد سفیدرود، منشاء بیش از ۹۰ درصد میزان رسوب پشت سد می‌باشد.

پیروان و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها (متغیرهای مستقل) و میزان رسوبدهی آنها (متغیر وابسته) در مارن های استان تهران رابطه برقرار کردند. در این ارتباط، خصوصیاتی مانند SAR, EC, K به ترتیب ۸۹، ۳/۵ و۱/۵ درصد تغییرات رسوب تولیدشده توسط شبیه‌ساز باران را در واحدهای مختلف مارنی توجیه نمودند. آنالیز تجزیه واریانس داده‌های رسوب، مارن‌ها را به چهار گروه A (شامل واحد نمکی سازند قرمز زیرین OL_s)، B (شامل واحد M_3 از سازند قرمز بالایی)، C (شامل واحدهای M_2 وM_1 از سازند قرمز بالایی) و D (شامل واحدهای گچی سازند قرمز زیرینOL_g و مارن سازند قم O-M) تقسیم نمود که میزان فرسایش‌پذیری به ترتیب از گروه A تا D کاهش می‌یابد.

یکی از ویژگی‌های نهشته‌های مارنی ریزدانه بودن است که مربوط به محیط تشکیل آن‌ها است. بنا به تحقیقات انجام شده توسط لاسمی (۱۳۶۹) بر روی رخساره‌های لیتولوژیکی این سازند در برش دماوند-ایوانکی، مارن‌های این منطقه در یک محیط رودخانه‌ای مه‌آندری که در انتها به یک محیط پلایایی بزرگ (شبیه پلایاهای مرکزی ایران) ختم می‌گردد، تشکیل شده‌اند که دلیل بافت ریز این نوع نهشته را توجیه می‌کند. تحقیقات صمدی تبریزی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی رسوبات سازند قرمز بالایی کوه گچ‌آب ناحیه گرمسار نشان داده که این نهشته‌ها از نوع سیلت ماسه‌ای، سیلت، گل ماسه‌ای و گل هستند که در شرایط محیط کم عمق و کولابی با تغییرات عمق (با توجه به ارتباط میان میزان آهک و عمق رسوبگذاری) مشخص، نهشته شده‌اند و این شرایط محیطی به محیط پرانرژی کانال رودخانه‌ای نیز تغییر رخساره می‌داده‌اند.

حقیقت و همکاران (۱۳۸۵) اشاره به این موضوع دارد که مارن‌های میوسن در منطقه جنوب و جنوب غرب قم به لحاظ دانه‌بندی سیلت ماسه‌ای و کمی ماسه‌سیلتی هستند. عبازاده چوندرق و همکاران (۱۳۸۵) نیز نهشته‌های مارنی شمال شرق اشتهارد را در گروه رسوبات ریزدانه عمدتا" سیلتی متعلق دانسته است. جورشدگی این رسوبات، بسیار بد، کشیدگی آن‌ها پهن تا بسیار کشیده و کج شدگی آن‌ها از نوع منفی می‌باشد. غالب‌بودن بافت سیلتی در خاک‌های مارنی نشانگر فرسایش‌پذیری بالای این نوع

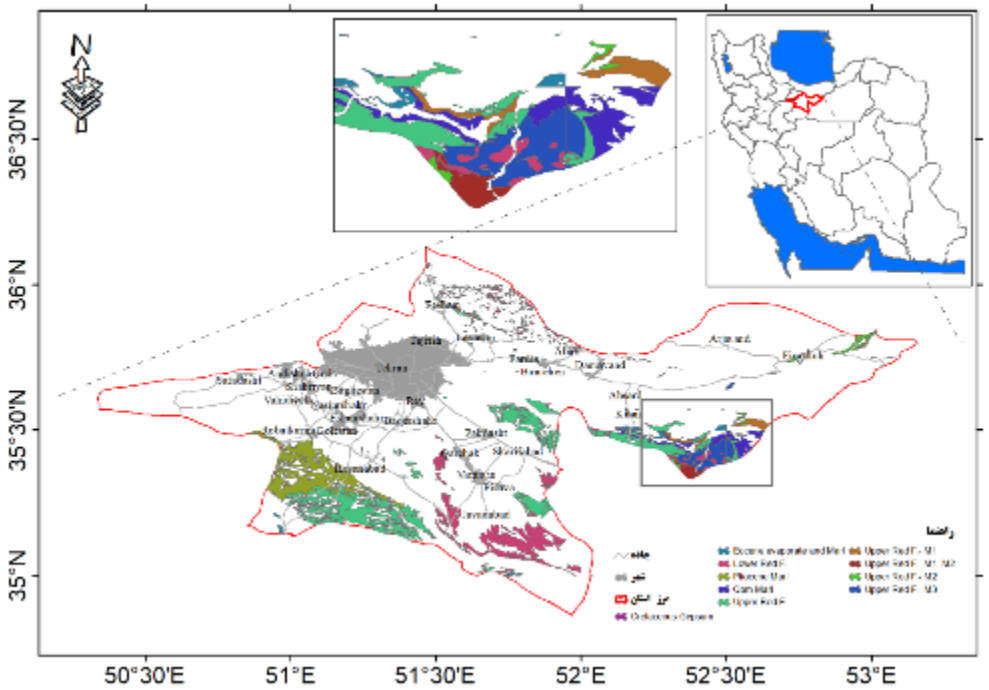
خاک ها است. یکی از روش‌های تعیین میزان فرسایش‌پذیری سازندهای مارنی، استفاده از شاخص فرسایش‌پذیری ذاتی است. فاکتور فرسایش‌پذیریK ، یکی از اجزاء اصلی معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) است. مقدار K از معادلات ارائه شده و یا ازطریق نموگراف ویشمایر و همکاران (۱۹۷۱) قابل تعیین است. نرخ هدررفت خاک در کرت‌های فرسایشی استاندارد به طول ۲۲,۱ متر و با شیب ۹٪ و شخم خورده اندازه گیری می‌شود. فاکتور K از مهم ترین فاکتورهای اساسی برای تعیین هدررفت خاک یا تحویل رسوب برای اشکال مختلف فرسایش شیاری و بین شیاری است. برای تخمین مقدار K، توزیع اندازه ذرات، محتوای مواد آلی، ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک لازم است. کوشش‌های متعددی در آزمایشگاه و صحرا و نیز از طریق شبیه ساز باران انجام شده است. اجرای پلات استاندارد امری وقت‌گیر و زمان‌بر است. ویشمایر و Mannering (۱۹۶۹) معادله فرسایش‌پذیری خاک را با ۱۵ خصوصیت خاک و تاثیرات متقابل بین آن‌ها بررسی کرده‌اند که از این میان نموگراف ویشمایر و همکاران(۱۹۷۱) بیشترین استفاده در این زمینه بوده است. تخمین ریاضی قابل استفاده ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) به صورت معادله‌ای نیز ارائه شده است که در مورد خاک های با میزان سیلت کمتر از ۷۰ درصد سیلت قابل استفاده است. اگر مقدار K حاصل از فرمول یادشده را در عدد ۷,۵۹ تقسیم کنیم مقدار K بر اساس سیستم متریک بدست می آید. بررسی‌ها در خاک‌های نواحی نیمه مرطوب آمریکا نشان داد که مقدار K در مدل RUSLE براساس ماسه درشت، سیلت و ماسه بسیار ریز، ماده آلی و نفوذپذیری قابل برآورد است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

سازندهای مارنی نئوژن با وسعت قابل ملاحظه در استان تهران، یکی از مهم‌ترین منابع تولیدکننده رسوب و کاهش‌دهنده کیفیت خاک اراضی‌اند، لذا این تحقیق در خصوص تعیین ویژگی‌های خاک‌شناسی و فرسایش‌پذیری خاک مارنی (عامل K) که یکی از فاکتورهای اصلی معادله جهانی فرسایش می‌باشد، به انجام رسیده است. در این تحقیق بر اساس روابط تجربی بین مقادیر K با بافت، درصد مواد آلی و ساختمان خاک، مقادیرعامل فرسایش‌پذیری خاک برای واحدهای مارنی تحت بررسی محاسبه شد.

مشخصات کلی و زمین شناسی منطقه:

منطقه مورد مطالعه در جنوب و شرق شهر تهران شامل مناطق پاکدشت، ورامین، ایوانکی و حسن‌آباد قم می‌باشد (شکل ۱). به طور کلی منطقه دارای آب و هوای نیمه بیابانی خشک (کویری) است که در طی سال، بارندگی ناچیزی دارد. تابستان‌ها خشک و سوزان بوده و ماه‌های تیر، مرداد و شهریور گرمترین ماه‌های سال به حساب می‌آیند. درجه حرارت حداکثر به۴۰ تا ۴۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. غالب ریزش‌های جوی در فصل زمستان و اوایل بهار حادث می‌شود، ولی میزان آنها نه تنها از یک ماه به ماه دیگر بلکه از یک سال به سال دیگر کاملاً متغیراست. زمستان‌ها سرد و درجه حرارت به زیر صفر

می‌رسد. از طریق راه‌های اصلی و فرعی، در جنوب حسن‌آباد، جنوب ورامین و شمال پاکدشت دسترسی به مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه امکان‌پذیر است. منطقه مورد مطالعه در دامنه جنوبی البرز و در زون ایران مرکزی واقع شده است. سازندهای مارنی مورد بررسی شامل سازند قرمز زیرین و بالایی، مارن سازند قم، سازند کند، مارن پلیوسن و آبرفت‌های مارنی است.



شکل۱- نقشه راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه و زمین‌شناسی منطقه برگرفته‌شده از نقشه‌های چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی در محدوده استان تهران. مناطق مورد بررسی در این تحقیق شامل جنوب حسن آباد در شمال کوه مره، جنوب شرق ورامین، جنوب ورامین است.

مواد و روش ها

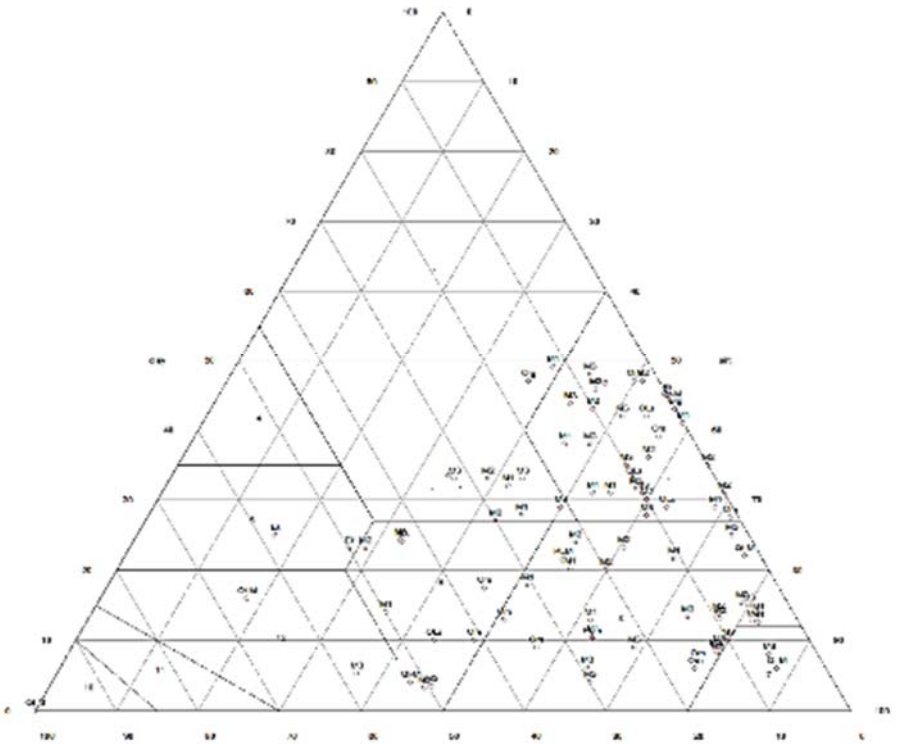
در این تحقیق، واحدهای مختلف مارنی شامل مارن پلیوسن، مارن سازند قم و سه واحد مارنی قرمز بالایی (M_3،M_2،M_1) و دو واحد گچی و نمکی قرمز زیرین(OL_S،OL_g)، واحدهای مارن ائوسن سازند کند (Ek)، واحد مارن پلیوسن (PlM)، واحد مارن سازند قم(QM) و آبرفت‌های مارنی(Qt_m) جهت بررسی انتخاب و ۹۹ نمونه برداشت شد. خصوصیات فیزیکی شامل دانه‌بندی و ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها شامل درصد گچ و نمک، آهک و مواد آلی در آزمایشگاه آب و خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام

شد. براساس نتایج حاصله، طبقه‌بندی خاک‌شناسی انجام و فرسایش‌پذیری (فاکتور K) مارن‌های منطقه تعیین شد.

نتایج و بحث

نام‌گذاری و طبقه‌بندی خاک‌شناسی

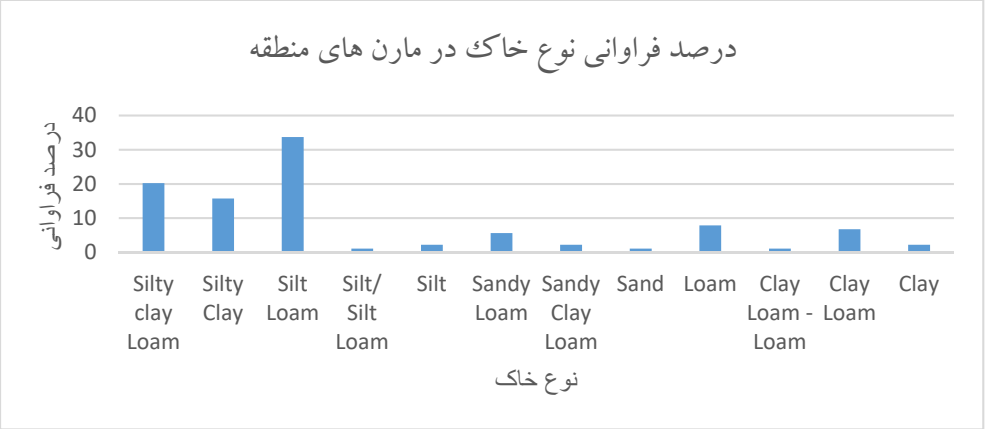
نتایج دانه‌بندی مارن‌های منطقه بر روی مثلث بافت خاک منتقل شد که نتایج آن در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل۲- طبقه‌بندی نمونه‌های مارنی در مثلث بافت خاک

بررسی نمونه‌ها در مثلث بافت خاک نشان داد که که واحد M_1 از نظر بافتی شامل ۷۴٪ درگروه سیلتی، ۱۲,۵ ٪ لوم رسی، ۶,۲۵ ٪ لوم رسی و ۶,۲۵ ٪ رسی، واحد M_2 ۷۰,۷۵ ٪ در گروه سیلتی، ۱۸,۷۵٪ لوم تا لوم رسی، واحد M_3 ۷۱٪ سیلتی، ۱۰ درصد لوم ماسه‌ای و ۱۹ ٪ لوم تا لوم رسی، واحد OL_S ۷۵ ٪ سیلتی، ۲۵٪ لوم، واحد PL_M ۱۰۰ ٪ سیلت لوم، واحد O_M ۷۸٪ سیلتی و ۲۲٪ لوم، واحد E_K ۳۳٪

سیلتی رسی و ۶۷٪ لوم رسی ماسه‌ای، و نهایتاً واحد Qt_M ۵۰٪ در گروه سیلتی و ۵۰٪ در گروه ماسه‌ای هستند. جزئیات بیشتر در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل۳- درصد فراوانی نوع خاک در مارن‌های منطقه

فرسایش‌پذیری مارن‌ها (K factor)

فرسایش‌پذیری خاک، میزان حساسیت آن در برابر جداشدن و انتقال توسط عوامل فرسایش‌دهنده قطره‌های باران و رواناب است. بخشی از این حساسیت، ناشی از مواد مادری خاک و به ویژه بافت خاک است. خاک‌های ریزبافت، دارای چسبندگی زیادتری هستند و جدا شدن آن ها مشکلتر است؛ ولی رسوبات آن‌ها به راحتی انتقال می‌یابند. این در حالی است که در خاک‌های درشت بافت، چسبندگی کمتر است و راحت‌تر و سریع‌تر جدا می‌شوند؛ اما انتقال رسوبات آن‌ها مشکل‌تر است. به طور معمول، خاک‌های سیلتی و لومِ سیلتی، بسیار فرسایش‌پذیر می‌باشند و خاک‌های دارای رس زیاد، دارای فرسایش پذیری کمی هستند. خاک‌های لومی و لومِ شنی، از درجه فرسایش‌پذیری متوسطی برخوردار هستند. مطالعات نشان داده است که با افزایش میزان سیلت خاک، فرسایش‌پذیری نیز افزایش می‌یابد؛ در حالی که با افزایش مقدار رس، از میزان فرسایش‌پذیری کاسته می‌شود.

اندازه‌گیری ضریب فرسایش‌پذیری به طور مستقیم و در شرایط بارندگی طبیعی، وقت‌گیر و پرهزینه است. ویشمایر و همکارانش با آزمایش‌های زیاد توانستند همبستگی خوبی را بین عامل فرسایش-پذیری (K) و پنج عامل فیزیکی خاک به دست آورند. ویشمایر برای محاسبه K، یک نموگراف و همینطور برای محاسبه K فرمولی نیز تهیه نمود. فرمول ارایه شده توسط ویشمایر و همکارانش که تا مقادیر ۷۰ درصد سیلت، قابل استفاده است، به صورت زیر می‌باشد:

$$100K = [2/1M1/14 \times 10\text{-}4 \times (12 - \%OM)] + [3/25 \times (S\ \text{-}2)] + (P\ \text{-}3)$$

که در آن:

OM =درصد ماده آلی، S = کلاس ساختمان خاکدانه‌ها، P =کلاس نفوذپذیری خاکرخ، عامل M ، از طریق فرمول محاسبه می‌شود:

$$M = (100 - C) \times (fS + Si)$$

که در این فرمول: C = درصد رس خاک، fS =درصد شن ریز خاک، Si =درصد سیلت خاک

کلاس ساختمان خاک یا خاکدانه‌ها به شرح زیر قابل تعریف است: ۱ (ساختمان دانه‌ای و اسفنجی خیلی ریز کوچکتر از یک میلی‌متر)، ۲ (ساختمان دانه‌ای و اسفنجی ریز، یک تا دو میلی متر)، ۳ (ساختمان دانه‌ای و اسفنجی متوسط دو تا پنج میلی متر و دانه‌ای درشت،پنج تا ده میلی متر)، ۴ (ساختمان توده‌ای، منشوری، ستونی و مکعبی).

مقادیر ذکرشده برای نفوذپذیری، در واقع کلاس نفوذپذیری را نشان می‌دهند که به صورت زیر تعیین می‌گردند ۱: زیاد تا خیلی زیاد (بیشتر از ۱۲,۵ سانتی‌متر در ساعت)، ۲: متوسط تا زیاد (۶,۲۵ تا ۱۲,۵ سانتی متر در ساعت)، ۳ : متوسط ۲ تا ۶,۲۵ سانتی‌متر در ساعت)، ۴: کم تا متوسط (۰,۵ تا ۲ سانتی‌متر در ساعت)، ۵: کم (۰,۱۲۵ تا ۰,۵ سانتی‌متر در ساعت)، ۶: خیلی کم (کمتر از ۰,۱۲۵ سانتی‌متر در ساعت).

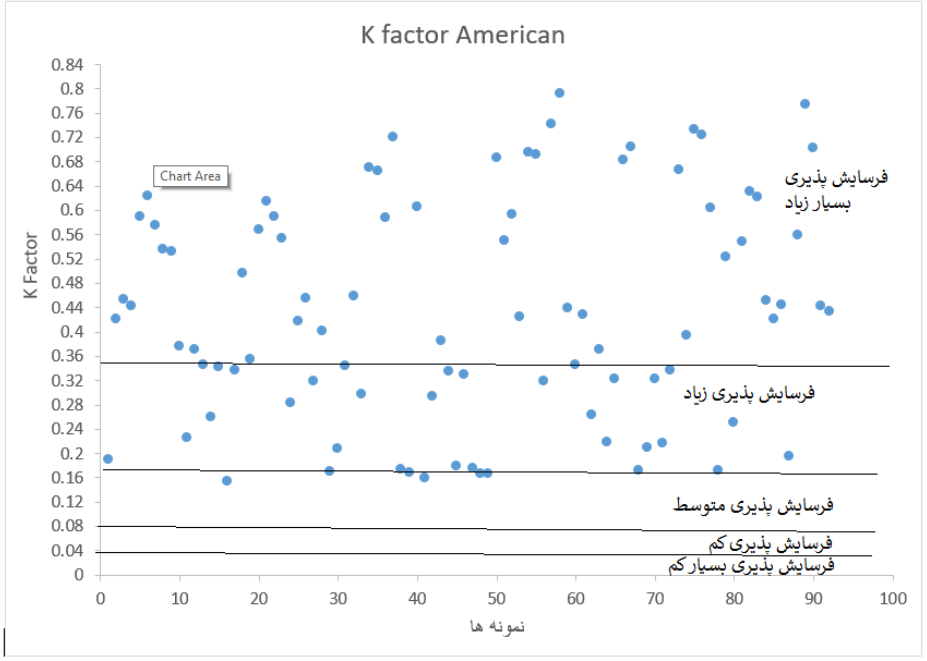
مقدار K در فرمول بالا بر اساس سامانه آمریکایی می‌باشد و برای تبدیل آنها به سامانه متریک (SI)، باید عدد حاصل را بر ۷,۵۹ تقسیم کرد. پس از محاسبه ضریب K نمونه‌های مارنی تحقیق حاضر، بر اساس طبقه‌بندی ارایه‌شده توسط برگسما جدول۱، نام طبقه متناسب با مقدار فرسایش‌پذیری خاک تعیین شد.

جدول ۱- طبقه‌بندی برگسما برای فرسایش‌پذیری خاک ها

نام طبقه	فرسایش‌پذیری (سامانه آمریکایی)
بسیار زیاد	۰,۳۵ -۰,۷
زیاد	۰,۱۷- ۰,۳۵
متوسط	۰,۰۸ -۰,۱۷
کم	۰,۰۴ -۰,۰۸
بسیار کم	۰,۰۴>

جدول۲- میانگین، حداقل و حداکثر مقدار K Factor نمونه های مارنی مورد مطالعه

میانگین فاکتور K	0.43
حداکثر	0.79
حداقل	0.15



شکل ۴- طبقه‌بندی فرسایش‌پذیری مارن‌های مورد مطالعه بر اساس فرسایش‌پذیری ذاتی

نتیجه گیری و پیشنهادها

پراکنش تمامی مارن‌های مورد بررسی در فاکتور K (شکل ۴)، نشان داد که تمامی آن‌ها درمحدوده حساس و فوق حساس به فرسایش قرار دارند و تمایز بین آن‌ها تنها از طریق میزان شدت فرسایش است به نحوی که مارن‌های خشکی و دارای املاح نمکی (سازند قرمز زیرین و بالایی) نسبت به مارن‌های از منشاء دریایی (سازند کند و قم) دارای فرسایش‌پذیری ذاتی بالاتری هستند. با افزایش میزان درصد سیلت نسبت به مقادیر رس و ماسه، این حساسیت بیشتر می‌شود. به جز ۲ نمونه بقیه نمونه‌ها رسی نیستند. همگی لوم و سیلتی تا سیلتی هستند و برخی ماسه‌ای لوم می‌باشند. عمده آبرفت‌های مارنی به خاطر بیشتر شدن اجزاء درشت‌دانه‌تر از حساسیت کمتری برخوردار هستند. در بین مارن‌های دریایی،

مارن سازند کند نسبت به مارن سازند قم مقاوم تر است. با توجه به این که اراضی مارنی ذاتاً فرسایش‌پذیر هستند لذا پیشنهاد می‌شود که هرگونه عملیات احیایی این مناطق توام با بهسازی فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه باشد.

تقدیر و تشکر

در این مقاله از داده‌های پایه پروژه طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان تهران استفاده شده است. بدینوسیله از همکاران و مسئولین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری که زمینه اجرای تحقیق را فراهم کرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- Abazade Chavandarqh, Sh.; Motamed, A. and H. R. Peyrowan, 2006, Sedimentology and Mineralogy Study of Evaporate-Detrital Sediments in Northeast Eshtehard Region, Master's Thesis in Petrology and Sedimentology, Islamic Azad University, North Tehran Branch
- Haghighat, M.; Motamed, A. and H. R. Peyrowan, 2006, Study of sedimentology and geomorphology of Miocene marls in the south and southwest of Qom region, master's thesis in the field of Sedimentology and Sedimentary Petrology, Islamic Azad University, North Tehran Branch
- Hatmian Zarami, F.; Motamed, A.; Peyrowan, H. R., and Kh. Rezaei, 2012, Investigating the mechanism and indicators of erodibility of the marls of the Shur River watershed in the northeastern region of Eshtehard, Master's thesis in the field of Sedimentology and Sedimentary Petrology, Islamic Azad University, North Tehran Branch
- Lasemi, Y., 1990, Sedimentary Environments of the Upper Red Formation, Proceedings of the 9th Earth Sciences Meeting, Geology and Mineral Exploration Organization of Iran
- Peyrowan, H. R., Ghayoumian; J.; Jafari Ardakani, A. and R. Kazemi, 2014, Classification and determination of erodibility indices of marls of Tehran province, Soil Conservation and Watershed Research Institute
- Samadi-Tabrizi, A.; Peyrowan, H. R. and A. Motamed, 2011, Investigation of engineering characteristics of marls in Siyakooh and Gachab region, watershed engineering and management, third volume, number 2, pp. 78-85
- Wischmeier, W.H. and Mannering, J.V. (1969) Soil and Water Management and Conservation. Relation of Soil Properties to Its Erodibility. Soil Science Society of America, Proceedings, 33, 131-137.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537, Maryland.
- Wischmeier, W.H., C.B., Johnson and B.V. cross, 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, J. Soil and water Conser, Vol. 26, pp. 187-193

ارزیابی و واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی METRIC در تعیین تبخیر-تعرق دشت متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران

رحمان شریفی*[۱]،سمیه محرمی[۲]، مجتبی پاک پرور[۳]، سمانه عبدوسی[۴]

۱*- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، ورامین، ایران

Email: r.sharifi@Areeo.ac.ir

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، شیراز، ایران.

۴- کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی (تات)، ورامین، ایران.

چکیده

تبخیر – تعرق واقعی (ETa) به عنوان یکی از مولفه های اصلی در مدیریت منابع آب و تعیین بیلان انرژی ناشی از آن می باشد. در این خصوص روش های فیزیکی و تجربی مختلفی وجود دارد که بهره برداری از آن ها عمومیت دارد، اما عدم دامنه گسترده آن ها و محدودیت های هرکدام از روش ها، موجب گسترش استفاده از تکنولوژی سنجش دور برای کالیبره کردن معادله بیلان انرژی و مرتفع ساختن محدودیت های روش های فیزیکی و تجربی شده است.در پژوهش حاضر برای ارزیابی تبخیر-تعرق واقعی بیلان انرژی و سنجش از دور دشت پخش سیلاب چنداب پاکدشت تهران،سه مرحله واسنجی، اعتبار سنجی و اجرای گسترده مدل METRIC بر روی تصاویر ماهوارهای لندست-۸ (Landsat-8) از مهرماه سال ۱۳۹۷ تا اسفندماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. در زمان ارزیابی و واسنجی تعداد ۴۸ تصویر ماهواره ای استفاده شده و علاوه بر تهیه نقشه تبخیر – تعرق واقعی مقادیر پیکره و پیکسل های آبی از آن ها به منظور مقایسه با ETo حاصل از مدل فائو پنمن – ماتیث استخراج گردید. ارزیابی و واسنجی مدل با معرفی معادله جدید باد انجام و موجب بهبود بخشیدن ETa و ETo در منطقه شده است. در دوره اعتبارسنجی اطلاعات روش بیلان آب و خاک مربوط به مزرعه الگو واقع در کهریزک مندکان پاکدشت در سال ۱۳۹۷ لغایت سال ۱۴۰۰ شامل داده‌های مربوط به بده و حجم آب مصرفی مزرعه‌های منتخب در بازه زمانی مزبور تعیین گردید.آب برگشتی با تعیین عمق نفوذ آب، بافت خاک، درصد رطوبت اراضی زراعی، جرم مخصوص ظاهری و عمق تأثیر برگشت موییننه‌ای تعیین گردیده و ETa مشاهده ای با ETa حاصل از مدل مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین در اجرای گسترده مدل، نقشه های ETa تمام تصویر

حاصل از مدل واسنجی شده METRIC به کارگرفته و مقدار مصرف آب اراضی تحت کشت که در محدوده ای از دشت پخش سیلاب چنداب پاکدشت قرار داشت، محاسبه گردید. ضمنا در همه موارد در ارزیابی و واسنجی مدل ها و معادلات از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ورامین به عنوان نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به منطقه پایلوت پژوهش استفاده شده است.

واژه های کلیدی:
تبخیر و تعرق، تصاویر ماهواره ای، METRIC، دشت سیلابی چنداب، استان تهران.

مقدمه

امروزه با توجه به موفقیت‌های گسترده در کاربرد مدل های توازن انرژی، متخصصان پیشتاز در روش های سنتی برآورد ET به این مدل ها گرایش یافته، به گونه ای که مقالات و انتشارات جدید آنها بر توسعه و بهینه سازی آنها متمرکز شده است. از پرکاربردترین مدل ها می توان به نقشه برداری تبخیر و تعرق در وضوح بالا با کالیبراسیون داخلی[۳۹] (METRIC) و سیستم تعادل انرژی سطحی[۴۰] (SEBS) اشاره کرد. مدل METRIC توسط همان تیم تخصصی توسعه یافته (Allen و همکاران، ۱۹۹۶، از دانشگاه آیداهو آمریکا) که مؤلف نشریه معروف فائو ۵۶ بوده و نتیجه کار آن زمان آنها روش "فائو پنمن-مانتیث[۴۱]" است که نزدیک به دو دهه به عنوان یک روش استاندارد برآورد ET گیاه مرجع شناخته می شود. این مدل در حال حاضر مقبولیت گسترده ای یافته و جدیدترین مقالات نشان از تطابق نتایج آن با اندازه گیری های زمینی دارد (Allen و همکاران، ۲۰۱۱؛ Pereira و همکاران ۲۰۱۵).

در ایران سابقه کاربرد مدل های توازن انرژی در ابتدا به مدل تعادل انرژی سطحی برای زمین[۴۲] (SEBAL) مربوط می شود (عمادزاده، ۱۳۸۶؛ غلامی سفید کوهی و میرلطفی، ۱۳۸۸؛ میریعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین نتایجی از کار بر روی مدل METRIC در کشور وجود دارد که از اهم آنها می توان به کارهای امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) و قربانی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. در همه موارد یاد شده محققان تلاش کرده اند تا ضمن معرفی مدل برای کاربرد در یک منطقه خاص، پراکنش ET را به صورت نقشه درآورده‌اند اما واسنجی یا صحت سنجی مدل در میان آنها دیده نمی‌شود. آگاهی

3 Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration
4 Surface Energy Balance System
4 FAO Penman-Monteith
4 Surface Energy Balance Algorithm for Land

از میزان تبخیر و تعرق واقعی (ETa) انواع پوشش گیاهی از مهمترین نیازهای حل معادله بیلان آبی در ارزیابی اثر بخشی طرح‌های تغذیه مصنوعی است. اهمیت این عامل به‌ویژه در مناطق خشک بیشتر است چرا که سهم ETa در چرخه آب شناسی به نسبت افزونتر از سایر عامل‌ها ست. مقدار ETa در مقیاس‌های فصلی و منطقه‌ای متغیر بوده و بستگی زیادی به شرایط محیطی دارد. با توجه به تأثیر عوامل مختلفی مثل اقلیم، نوع گیاه، مدیریت کاشت و داشت و کیفیت آب و خاک (تنش‌های محیطی) بر ET، روش‌های متنوعی از نزدیک به یک قرن پیش توسط محققان معرفی شده و برخی از آنها مقبولیت جهانی یافته‌اند. این روش‌ها از دقت‌های متفاوتی برخوردارند و تعیین مقدار ETa در آنها بر اساس محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (ETo) بوده و با اتکا بر برآورد ضریب گیاهی (Kc)، تخمینی از ETa را به دست می دهند. با توجه به اتکای صرف به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در محاسبه ETo نتایج آنها نقطه‌ای بوده و در افزایش مقیاس پهنه‌ای با خطا مواجه‌اند و از این گذشته عدم دقت در برآورد Kc نیز بر میزان خطای برآورد می افزاید.

وجود الگوریتم‌ها و روش‌های متعدد و متفاوت برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و از طرفی تولید روش‌های جدید که برخی دارای تفاوت‌های بسیار با الگوریتم‌های پیشین‌اند نشان می‌دهد تکنولوژی سنجش از دور گرچه با سرعت زیادی در حال پیشرفت است، اما هنوز راه زیادی تا تکامل در پیش‌رو دارد. بنابراین ضروری است تا روش‌های موجود به دقت مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های جدیدتر همراه با دقت برآورد بهتری ارائه شوند.

روش‌های سنتی برآورد ET متکی به اندازه گیری های نقطه ای از عاملهای موثر بوده و نتایج آن به درستی نمی تواند برای پهنه های وسیع نمایندگی کند (Allen و همکاران، ۲۰۱۱). به دلیل عدم مشابهت در پوشش زمین و پستی و بلندی و نیز بدلیل پیچیدگی در انتقال جریان گرما به خوبی قابل تعمیم به مناطق دیگر نیست (Su، ۲۰۰۲).

تبخیر و تعرق یک پدیده غیر خطی و پیچیده است که به عوامل مختلف اقلیمی، خاکی و گیاهی مختلف بستگی دارد. بنابراین تعیین یک مدل ریاضی برای آن با در نظر گرفتن تمام عوامل موثر در آن، کاری مشکل، دارای منابع خطای قابل توجه و نیازمند اطلاعات زیادی است که اندازه‌گیری آنها مشکل و وقت‌گیر می‌باشد. یکی از مطرح‌ترین روش‌های برآورد ET در دهه اخیر، روش توازن انرژی سطحی است. با استفاده از این روش مولفه‌های مختلف توازن انرژی در مقیاس منطقه‌ای و با کمترین داده‌های زمینی محاسبه می‌شود. به‌طور خلاصه ارتباط بین تشعشعات دریافتی توسط ماهواره‌ها از سطح زمین در باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی و نیز وجود اختلاف زیاد در ویژگی‌های هیدرولوژیک سطح زمین، پایه و اساس معادلات در الگوریتم بیلان انرژی می‌باشد. در این الگوریتم با توجه به شار ورودی به پوشش سطح زمین و خروج آن از طریق طول موج کوتاه و بلند، امکان محاسبه تشعشع خالص جذب

شده توسط هر سلول در سطح زمین فراهم می‌آید. این تشعشع با توجه به اختلاف درجه هوا و سطح پوشش زمین، شدت و ضعف پوشش‌گیاهی و مقاومت آیرودینامیکی سطح زمین به اجزا مختلف نظیر جریان گرمایی خاک، جریان گرمای محسوس و جریان گرمای نهان تبخیر تقسیم می‌گردد. جریان گرمای نهان تبخیر از باقی‌مانده معادله بیلان انرژی حاصل می‌گردد (Bastiaanssen و همکاران، ۱۹۹۸). تکنیک‌های سنجش از دور به علت توزیع مکانی و زمانی با مشاهدات ماهواره‌ای از سطح زمین موجب امیدواری برای غلبه بر این مشکلات هستند. یکی از روش‌های جدید برای تخمین ET خصوصاً در مناطق بزرگ استفاده از سنجش از دور می‌باشد. سنجش از دور این قابلیت را دارد که ضمن تخمین ET حتی توزیع مکانی آن را مورد بررسی قرار دهد زیرا تنها تکنولوژی است که می‌تواند پارامترهای مهمی نظیر دمای سطحی، ضریب آلبیدو و شاخص‌گیاهی را به صورت منطبق یا سازگار با محیط استخراج کرده و همچنین از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد (Kustas و Norman، ۱۹۹۵). تکنیک‌های سنجش از دور بسیاری جهت برآورد ET وجود دارد اما الگوریتم‌های کلاسیک سنجش از دور برای مقیاس‌های متوسط و بزرگ مناسب نیستند. در نتیجه استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر برای نواحی وسیع و ناهمگن با چشم‌اندازهای مختلف از لحاظ فیزیوگرافی امری ضروری و اساسی است. با استفاده از الگوریتم‌های موجود در سنجش از دور که مربوط به ET است گام بزرگی را می‌توان در مدیریت منابع‌آب برداشت.

با واسنجی و ارزیابی اعتبار این مدل ها در حقیقت ابزاری فراهم می شود که به کمک آن می توان مقدار واقعی تبخیر-تعرق و مصرف آب گیاهان را با دقت مطلوب و برای هر پیکسل تصاویر ماهواره ای تعیین کرد و این کار را برای زمانهای پیاپی تکرار کرد. باین ترتیب آگاهی بسیار متنوعی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی مصرف آب برای گیاهان مختلف به دست می آید که در تصمیم گیری جهت مدیریت آب در دشت های تحت تاثیر پخش سیلاب کاربرد بسیار مفیدی خواهد داشت.

در این تحقیق تلاش شد تا برای ارزیابی و تدقیق کارهای گذشته، راههایی برای اصلاح مدل اندیشیده و پیشنهاد شود تا در نتیجه بتوان از آن به عنوان ابزاری مطمئن در مدیریت آب دشت‌های تحت تاثیر پخش سیلاب استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

الف- موقعیت محل اجرای تحقیق

ایستگاه پخش سیلاب چنداب در شهرستان پاکدشت با موقعیت جغرافیایی ۲۵ و ۵۱ تا ۴۷ و ۵۲ طول شرقی و ۲۲ و ۳۵ تا ۲۹ و ۳۵ عرض شمالی در شرق شهرستان پاکدشت قرار گرفته است (شکل ۱). این آبخوان در مساحتی حدود ۲۰۰۰ هکتار برروی مخروطه افکنه ای با رسوبات درشت دانه باقیمانده

از جریانات رودخانه ای دوران چهارم زمین شناسی تشکیل شده است. حداکثر ارتفاع حوضه آبخیز ۲۶۲۰ متر و حداقل ارتفاع در محل خروجی ۸۸۰ متر از سطح دریا می باشد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۴۸۸ متر است. بارش سالانه ۱۸۷ میلی متر و متوسط تبخیر ۲۵۰۰ میلی متر است. حداقل متوسط دما ۲- و حداکثر ۲۶/۱ درجه سانتی گراد و متوسط شیب منطقه ۵ درصد است. حوضه آبخیز چنداب از شمال به حوضه ایوانکی و از غرب به حوضه امامک محدود شده است. منطقه از لحاظ توپوگرافی در عرصه دشتی وسیع که متصل به کویر مرکزی می باشد واقع شده است و به همین لحاظ می توان آن را به عنوان دروازه ورود به کویر محسوب نمود. ایستگاه هواشناسی تبخیرسنجی در داخل محدوده پخش سیلاب قرار دارد و برخی اطلاعات مورد نیاز دیگر از ایستگاه سینوپتیک تهران که در ۷۳ کیلومتری آن قرار دارد استفاده می شود.

شکل ۱- موقعیت آبخوان دشت چنداب در منطقه مورد مطالعه.

ب- مراحل انجام پژوهش و تهیه نقشه ها و داده ها

به طورکلی خلاصه اقدامات انجام شده جهت پژوهش واسنجی و صحت سنجی مدل تبخیر و تعرق METRIC در دشت متاثراز پخش سیلاب چنداب استان تهران شامل مراحل زیربود:

۱- تعیین منطقه یا پایلوت جهت اجرای پروژه برا ساس شرایط تعیین شده، تهیه نق شه KML و KMZ پایلوت محل اجرای پروژه در دشت متاثر از سیستم آبخوان منطقه در محیط GOOGLE EARTH، درابتدای شروع پروژه (شکل ۲)،

۲- حفر سه پروفیل به عمق ۱/۵ متری در مسیر آبیاری زمین پایلوت اجرای پروژه، برداشت ۱۵ نمونه خاک و تعیین فاکتورهای بافت خاک،pH، EC، مقادیر ازت، سدیم، پتاسیم و فسفر از سه پروفیل حفاری شده

۳- برداشت ۹ نمونه و آنالیز درصد رطوبت و وزن مخصوص ظاهری خاک از سه پروفیل حفاری شده، همچنین برداشت سه نمونه از سه پروفیل حفاری شده در عمق ۵۰ سانتی متری به صورت دست نخورده در ا ستوانه های با حجم م شخص، جهت صحت سنجی وزن مخ صوص ظاهری تعیین شده از اعماق مختلف،

۴- تعیین تاریخ آبیاری در پایلوت موردنظر که به زیر سطح کشت گندم رفته و مرحله اول آن به ا صطلاح محلی و ک شاورز بومی منطقه شخم آب بوده، ضمنا تعیین عمق وجود رطوبت در روز قبل از آبیاری،

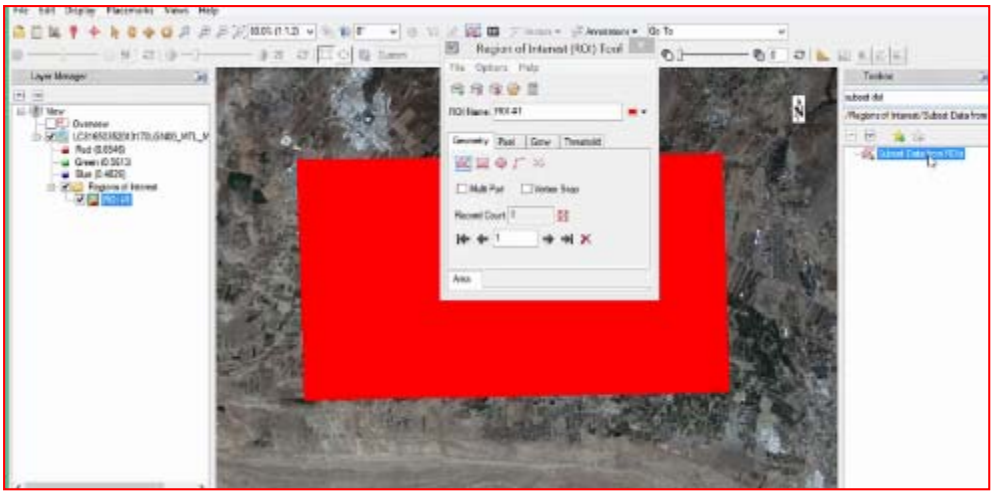
۵- تهیه نقشه KML و KMZ پایلوت محل اجرای پروژه بعد از کشت گندم در محیط GOOGLE EARTH

۶- تهیه و جمع آوری آمار و داده های هوا شنا سی نزدیک ترین ایستگاه هوا شنا سی نزدیک پایلوت موردنظر (ایستگاه ورامین)، تکمیل داده های هوا شنا سی درقالب جدول اکسل به صورت روزانه در بازه زمانی مهرماه ۹۷ تا آخر شهریور ماه ۹۸، مهرماه ۹۸ تا آخر شهریور ماه ۹۹، مهرماه ۹۹ تا آخر ا سفند ماه ۱۴۰۰،

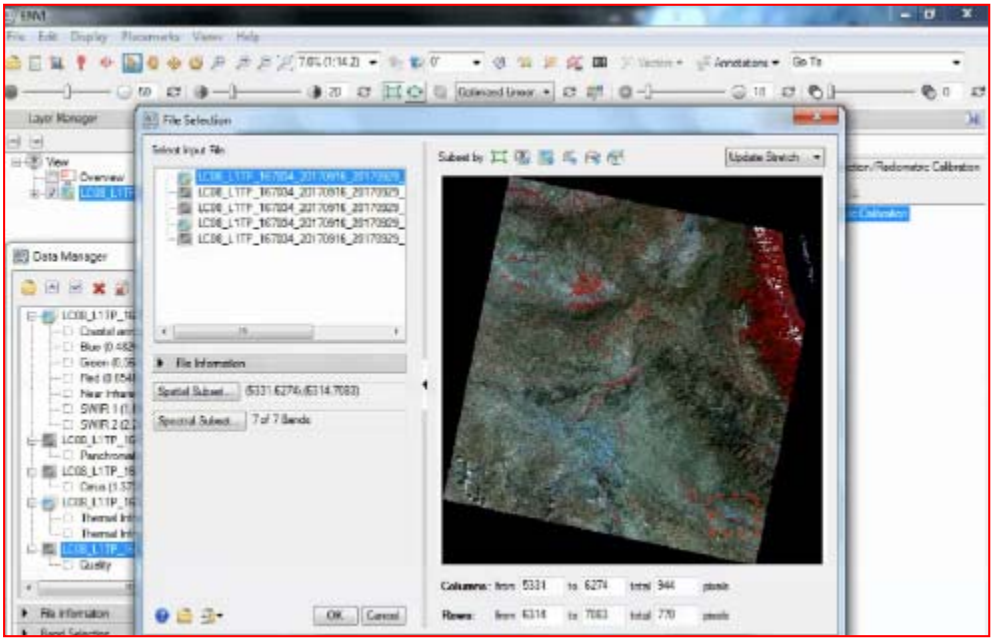
۷- دانلود تصاویر ماهواره ای، حدود ۷۰ قطعه تصویر که آخرین تصویر مربوط به زمان October و یا مهر ماه ۱۴۰۰ بوده. براساس سال آبی در بازه زمانی مهرماه ۹۷ تا آخرشهریور ماه ۹۸(۲۰۱۸/۰۹/۰۱ تا ۲۰۱۹/۰۸/۳۱)، مهرماه ۹۸ تا آخر شهریور ماه ۹۹ (۲۰۱۹/۰۹/۰۱ تا ۲۰۲۰/۰۸/۳۱)، مهرماه ۹۹ تا آخر شهریور ماه ۱۴۰۰ (۲۰۲۰/۰۹/۰ تا ۲۰۲۱/۰۸/۳۱).

۸- انجام تصحیحات رادیومتری(شکل ۳)، اتمسفری(شکل ۴) و DEM(شکل ۵) بر روی تصاویر ماهواره ای دانلود شده،

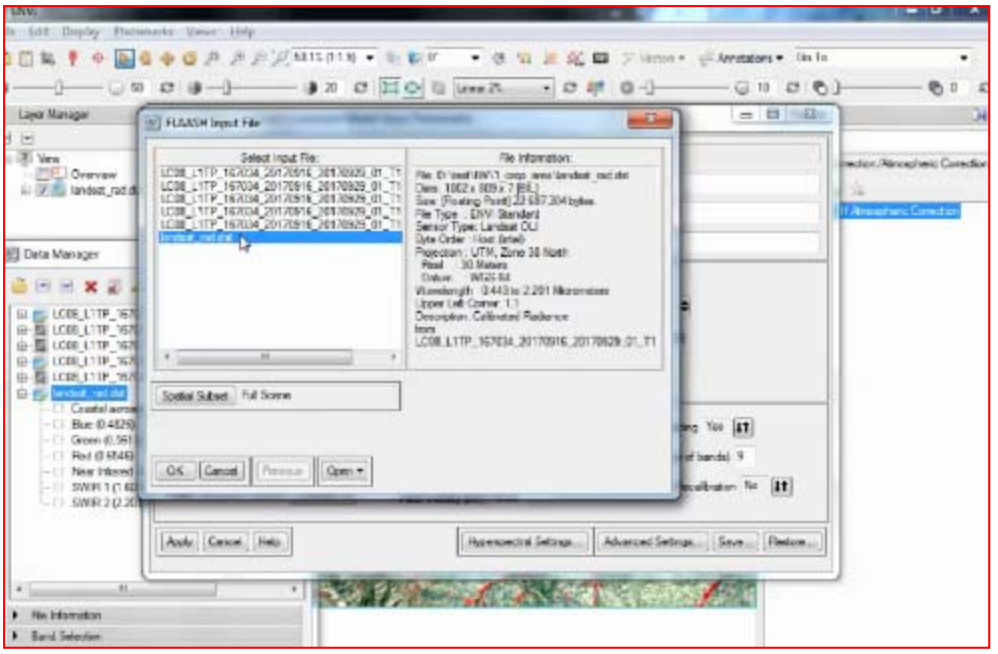
۹- تهیه تصاویر ماهوارهای و پردازشهای اولیه بر روی آنها: در این خصوص از آنجا که در حال حاضر تصاویر Landsat-8 به طور رایگان در اختیار استفاده کنندگان قرار می گیرد به عنوان مبنا به کار گرفته شد. این تصاویر دارای ۹ باند طیفی بازتابی با وضوح زمینی ۱۵ تا ۳۰ متر و ۲ باند حرارتی ۱۰۰ متر بوده و در مقاطع زمانی ۱۶ روزه تکرار می شوند.



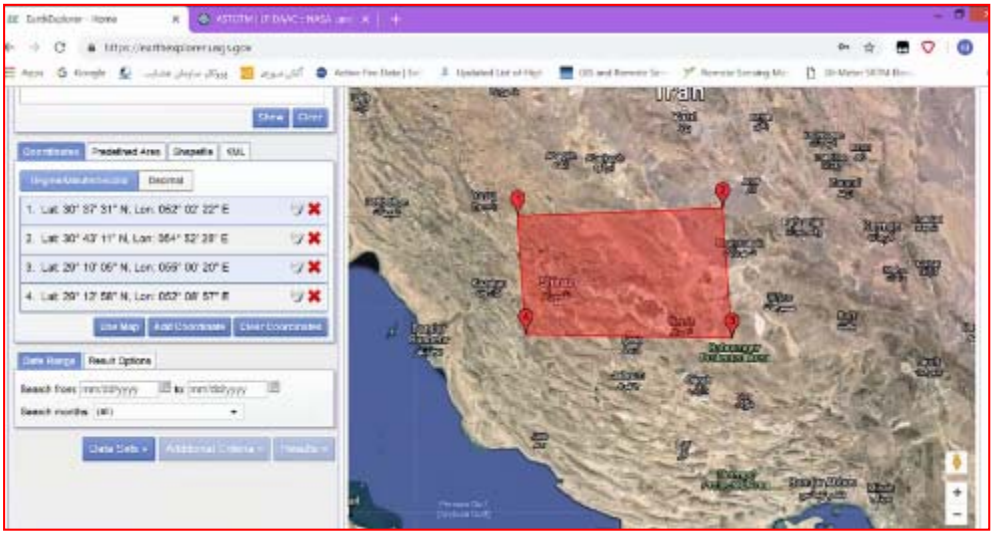
شکل ۲- یک مرحله برش از منطقه در تصویر ماهواره ای.



شکل ۳- یک مرحله از تصحیح رادیومتریک.



شکل ۴- یک مرحله از تصحیح اتمسفریک.



شکل ۵- نمونه ای از تهیه DEM.

نتایج و بحث

در این مرحله مدل اجرا شده و در صورت نیاز تلاش شد با تغییر معادلات آن نتایج به حداکثر انطباق با اندازه‌گیری‌ها برسد. حالت بهینه مدل زمانی است که ارقام ETa برآوردی مدل برای مکان‌هایی که یک محدودهی آبی نظیر استخر آبیاری با ارقام محاسبه شده بر اساس روش استاندارد فائو پنمن مانتیث به حداکثر تشابه برسد. از آنجایی که این مطالعه در سایتی انجام شد که داده‌های ETa (زمینی) برای مقایسه با ETa شبیه‌سازی شده قابل برداشت از سطح زمین نبود، با استفاده از مدل‌فائوپنمن-مانتیث، از داده‌های ETo به‌عنوان شاهد تبخیر-تعرق در منطقه مورد مطالعه و بر اساس دلایل زیر استفاده شد. فلسفه سازمان فائو در انتخاب مدل فائوپنمن-مانتیث به‌عنوان روش مرجع قابل اجرا در سطح جهانی این بود که "فیزیک در همه جا فیزیک است". بنابراین، اگر مدل فائوپنمن-مانتیث به درستی عمل کند و داده‌های آب و هوایی درست اندازه‌گیری شده باشند، مدل فائوپنمن-مانتیث به تنهایی می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق جهانی به کار گرفته شود (Pereira و همکاران، ۲۰۱۵). تجزیه و تحلیل حساسیت‌های مختلف و مطالعات منطقه‌ای، کاربرد مدل فائوپنمن-مانتیث را در محیط‌های متنوع، تایید می‌کند (Pereira و همکاران، ۲۰۱۵؛ Estévez و Gavilan، ۲۰۰۹). استفاده از مدل فائوپنمن-مانتیث در بسیاری از تحقیقات جهت برآورد ETo به‌عنوان داده‌های مشاهداتی، در مناطقی که داده‌های برداشت شده کمی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Maeda و همکاران، ۲۰۱۱). برای این منظور ارقام ETa مدل برای پیکسل‌های یک محدوده‌ی آبی در همه‌ی نقشه‌های سری زمانی استخراج و به‌عنوان یک‌سری داده برآوردی ثبت شد. مقادیر ETo برای همان روزهای سری زمانی با روش ا ستاندارد فائوپنمن-مانتیث نیز به کمک داده‌های هوا شنا سی محا سبه شد. از آنجا که ضریب گیاهی (Kc) برای محدوده‌های آبی برابر ۱/۰۵ در نظر گرفته می‌شود (Allen و همکاران، ۲۰۰۲). هر گونه انحراف در این مقدار را باید در ضعف مدل جستجو کرد. در تحقیق جاری نیز واسنجی مدل با تصاویر مربوط به پاییز ۱۳۹۷ تا پایان ۱۴۰۰ استفاده شده است. جزییات مراحل بینابینی کاربرد مدل METRIC در تولید انواع نقشه های پایه و نقشه نهایی تبخیر-تعرق در مبحث اعتبارسنجی تعیین شد. همچنین میزان آب مصرفی و مقادیر ضریب گیاهی تبخیر–تعرق در منطقه پخش سیلاب چنداب پاکدشت محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آ گاهی از میزان تبخیر-تعرق واقعی (ETa) انواع پوشش‌گیاهی از مهم‌ترین نیاز های حل معادله بیلان‌آبی در ارزیابی میزان مصرف آب است. روش‌های سنتی برآورد ET متکی به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای از عامل‌های مؤثر بوده و نتایج آن به‌درستی نمی‌تواند برای پهنه‌های وسیع نمایندگی کند

(Allen و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین به دلیل عدم مشابهت در پوشش زمین، پستی و بلندی و نیز به دلیل پیچیدگی در انتقال جریان گرما به خوبی قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد (Su 2002). بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه به مشکلاتی که در روش‌های بیلان رطوبتی (مثل نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه بالا داشتن، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریبا عدم امکان استفاده از لایسیمتر) وجود دارد و مزایایی که استفاده از ماهواره (تحت پوشش دادن سطح وسیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر-تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود. اما مشکل اصلی در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ این است که هر ۱۶ روز یک بار از نقطه محل اجرای طرح عبور می‌نماید و با این روش نمی‌توان برای تعداد روزهای بیشتری از دوره رشد، تبخیر- تعرق را برآورد نمود. اگر بتوان در آینده این مشکل را به طریقی حل کرد به‌طوریکه بتوان در هر مرحله از رشد تصاویر بیشتری دریافت کرد می‌توان گفت که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با مزایایی که دارد بهترین روش در برآورد تبخیر-تعرق واقعی در این منطقه می‌باشد. دمای‌سطح زمین از جمله مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در اجزاء بیلان‌آبی در سطح حوضه آبریز می‌باشد. تولیدنقشه‌های دمای‌سطح زمین نیاز به باندهای حرارتی دارد که‌توان‌تفکیک زمینی پایین داشته و یا در فواصل زمانی طولانی در اختیار محققان قرار گیرد. استفاده از فن سنجش از دور در این زمینه بسیار کارآمد بوده و تصاویر چند زمانه ماهواره‌ها با توجه به سطح پوشش وسیع و قدرت تفکیک زمانی قابل قبول کاربرد زیادی در این زمینه دارند. تصاویر ماهواره‌ای اغلب بصورت خام به کاربران ارائه می شود و برای بکارگیری آنها در مطالعات مختلف باید تصحیحات لازم(هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی) بر روی آنها صورت بگیرد. تصحیح اتمسفری به علت اثر جو بر بازتاب حاصل از پدیده‌های سطح زمین و اثر آن بر نتیجه به دست آمده از شاخص‌های گیاهی، در مرحله پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مراحل اساسی می‌باشد. این مهم در استفاده از تصاویر چند زمانه به علت تفاوت در شرایط جوی، تغییر در زاویه تابش خورشید در هنگام تصویر برداری برای پی بردن به تغییرات واقعی اهمیت بیشتری می‌یابد. به منظور کاهش اثر جو در تصاویر چند زمانه از الگوریتم‌های مختلف تصحیح اتمسفری و نرمال‌سازی رادیومتریکی استفاده می‌شود. امروزه به‌طور فزاینده از مدل‌های ریاضی به‌عنوان ابزاری موثر جهت شبیه سازی و مدیریت بهینه منابع‌آب استفاده می شود. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت محاسبه تبخیر-تعرق، دارای کاربردهای گوناگونی از جمله بررسی کارایی آب در اراضی کشاورزی، بررسی بیلان‌حوضه و مدیریت توسعه آبیاری است. همین امر، لزوم استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور را گوشزد می‌کند که طی دهه‌های‌گذشته بشدت در مطالعات بکار برده می‌شوند. مدلMETRIC از اطلاعات تصاویر دیجیتال جمع‌آوری شده به‌وسیله سنجنده لندست که تابش مادون

قرمز حرارتی، تابش مرئی و تابش مادون قرمز نزدیک را از سطح زمین ثبت می‌کنند، استفاده می‌کند. در این پژوهش سعی شد تا مقادیر تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از مدل توازن انرژی METRIC و به صورت پیکسل به پیکسل در زمان اخذ تصویر ماهواره‌ای و برای هر تصویر محاسبه شود. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشانگر آن است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتمMETRIC ابزار مناسبی جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی بوده و نتایج به‌دست آمده می‌تواند مبنای تصمیمات برنامه‌ریزی و مدیریت قرار گیرد. در انتها مواردی چون، تأسیس امکاناتی از جمله لایسیمتر و برج‌های اندازه‌گیری شارهای سطحی (ادی کوواریانس)، به منظور ارزیابی روش‌های موجود برآورد تبخیر- تعرق واقعی مبتنی بر تکنیک سنجش از دور در منطقه، استفاده از داده‌های هواشناسی ساعتی و حتی الامکان بازه‌های زمانی کوتاهتر، استفاده از تصاویر سنجنده‌هایی با بازه زمانی کوتاه تر مانند مودیس و روش‌های ریز مقیاس کردن، احداث ایستگاه هواشناسی خودکار مجهز به ارسال اینترنتی در منطقه را می توان به عنوان پیشنهادها مطرح نمود.

تشکروقدردانی

با توجه به این که مقاله حاضر بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی تحت عنوان **" ارزیابی مدل بیلان انرژی سطحی METRIC در برآورد تبخیر-تعرق دشت‌های متأثر از پخش سیلاب چنداب تهران با کد مصوب ۹۷۰۵۹۴-۹۷۰۱۴-۰۲۶-۲۹-۵۰-۰۱"** بوده، بدین وسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران آقایان دکتر عباس صلاحی اردکانی و معاونین محترم، همکاران بخش تحقیقات آبخیزداری و بهره وری منابع آب و خاک آقایان دکتر مهدی صادقی پورمروی بابت مشاوره علمی و نرم افزاری، مهندس عزیز درویشی و مهندس بهرام فرشادپور بابت عملیات میدانی و نمونه برداری خاک و آب در محل پایلوت پروژه و همچنین از همکار آزمایشگاه خاک، آب، کود و گیاه سرکار خانم مهندس سمانه عبدوسی که با حوصله و دقت کافی در آنالیز نمونه های برداشت شده، همکاری لازم را داشتند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.

منابع

- امیدوار، ج.، س. نوری، ک. داوری، ع. فرید حسینی. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهوارهای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۲): ۱۱-۲۲.
- عمادزاده، م. ۱۳۸۶. کاربرد سنجش ازدور در تخمین کارایی آب در مقیاس حوضه ای (مطالعه موردی در زیر حوضه قره سو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

- غلامی سفید کوهی، م.، م. میر لطفی. ۱۳۸۸. محاسبه تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.
- قربانی، ا.، م. فرامرزی، ج. کرمی، ن. غلامی، ب. سبحانی. ۱۳۹۴. ارزیابی مقایسه ای الگوریتم‌های سبال و متریک در برآورد تبخیر و تعرق: مطالعه موردی شهرستان ملایر. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۹(۲): ۱۵۳-۱۸۴.
- میریعقوب زاده، م.ح.، ک. سلیمانی، م. حبیب نژاد روشن، ک. شاهدی، ک. عباسپور، س. اخوان. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده های سنجش از دور؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز تمر، گلستان. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۵): ۱۰۲-۸۹.
- Allen, R., M. Tasumi, R. Trezza, and B. Wim. 2002. SEBAL: surface energy balance algorithms for land, Version 1.0, Funded by a NASA EOSDIS/Synergy grant from the raytheon company through the Idaho department of water resources.
- Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of data for reference evapotranspiration estimation. Journal of Irrigation and drainage Engineering, Dir., ASCE. 122 (2): 97-106.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, T.A. Howell, and M.E. Jensen. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management, 98: 899-920.
- Bastiaanssen, W., M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212: 198-212.
- Estévez, J., and P. Gavilan. 2009. Sensitivity analysis of penman-manteith type equation to estimate reference evaportranspiration in southern Spain. Hydrological Processes. Evapotranspiration Equation. American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 23(1): 3342-3353.
- Kustas, W., J.M. Norman. 1995. Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. Agricultural and Forest Meteorology, 94(1): 13-29.
- Maeda, E., D. Wibreg, and P. Pellikka. 2011. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. Applied Geography, 3(1): 251-258.
- Pereira, L.S., R. Allen, M. Smiith and D. Raes. 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management, 147: 4-20.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Science, 6(1): 85-100.

بررسی خطر آتش‌سوزی در مراتع نیمه‌خشک و روش‌های مختلف مدل‌سازی آن

حدیث درویش زاده[۱]، مرزبان فرامرزی[۲*]، رضا امیدی‌پور[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی، ایلام، ایران

[۲*]گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (نویسنده مسئول m.faramarzi@ilam.ac.ir)

[۳] گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

چکیده

آتش سوزی امروزه به یکی از مسائل مهم در مناطق نیمه خشک تبدیل شده است آتش سوزی در مراتع بسیار مخرب است و باعث تغییر اکوسیستم می شود. در ایران آتش سوزی در کنار حوادث دیگر یکی از بحران ها محسوب می شود. کنترل کردن کنترل کردن طبیعی آتش سوزی ممکن نیست اما پیش بینی وقوع آتش سوزی و شناسایی نقاط پرخطر و برنامه ریزی مدیریت کارآمد می تواند باعث جلوگیری از آتش سوزی‌های آینده شود. برای شناسایی نقاط پرخطر آتش‌سوزی ابتدا بایستی لایه‌های مورد نیاز نظیر توپوگرافی، هواشناسی و پوشش‌گیاهی تهیه گردد. سپس می‌توان از مدل‌های مختلف از جمله مدل‌های با صحت بالا مانند یادگیری‌ماشین برای تهیه نقشه مناطق پرخطر اتش‌سوزی استفاده کرد. در تحقیق حاضر سعی می‌شود تا خسارات و مشکلات آتش‌سوزی در مراتع نیمه‌خشک تشریح شود و همچنین کاربرد روش‌های مختلف یادگیری‌ماشین در مدل‌سازی خطرآتش‌سوزی مورد بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی:

آتش‌سوزی، یادگیری ماشین، مدل‌سازی، مناطق نیمه‌خشک

مقدمه

آتش‌سوزی امروزه به یکی از مسائل مهم در مناطق نیمه خشک تبدیل شده است . پیش‌بینی مکان احتمال وقوع آتش‌سوزی می‌تواند در جلوگیری از وقوع این حادثه موثر باشد (اسحاقی و جویباری۱۳۹۴). به‌طورکلی مناطق با خطر آتش‌سوزی به آن مناطقی گفته می‌شود که احتمال وقوع و گسترش آتش‌سوزی در آن بیشتر است، شناسایی این مناطق و اجرای کارهای مدیریتی و پیشگیرانه می‌تواند عامل مهمی در کاهش خسارات آتش‌سوزی باشد (Jaiswal و همکاران۲۰۰۲) آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها باعث تغییر اکوسیستم و تخریب محیط زیست می‌شود (Borrell و همکاران۲۰۱۶). این آتش‌سوزی‌ها همچنین موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای شده که درنهایت موجب تشدیدگرمایش زمین خواهند شد (

Kimو Sarkar ۲۰۱۷) از طرفی، افزایش گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی موجب بروز و ظهور آتش‌سوزی بیش‌ازپیش شده و مناطقی که قبلا وقوع آتش نداشته‌اند نیز در خطر وقوع آتش قرار خواهندگرفت (Abedi و همکاران۲۰۲۲) آتش‌سوزی درمراتع و جنگل‌ها در اثر عوامل طبیعی مانند رعد و برق، فعالیت آتشفشان‌ها، عوامل انسانی و غیره ایجاد می‌شوند (Abdo ۲۰۱۸). به‌طورکلی عوامل محیطی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر وقوع و گسترش آتش هستند، برای مثال ویژگی‌هایی ازقبیل ارتفاع از سطح دریا، درصد و جهت‌شیب، نوع اقلیم و عوامل متعدد دیگری از قبیل دوری و نزدیکی به عوامل انسانی(مانند مناطق شهری و جاده) در وقوع آتش‌سوزی تاثیر گذارند. مراتع به‌عنوان بزرگترین کاربری اراضی دنیا یکی از مهم‌ترین بخش‌های زندگی زیستی و اقتصادی انسان‌ها محسوب می‌شوند؛ به همین دلیل وقوع آتش‌سوزی در مراتع باعث ایجاد اثرات منفی بسیاری از جمله کاهش تنوع‌زیستی، برهم خوردن تعادل اکولوژیکی، تغییرات آب و هوایی و کاهش منابع درآمدزائی از قبیل گردشگری می‌شود (Santín و Doerr ۲۰۱۶). مشکلات زیست‌محیطی ناشی از وقوع آتش‌سوزی‌ها و تاثیر آن بر پایداری اکولوژیکی و تنوع‌زیستی در جهان در حال افزایش است و باتوجه به گرم شدن زمین و رشد جمعیت، تعیین نقاط حساس به آتش‌سوزی برای اقدامات مدیریتی بسیار ضرورت دارد(Adab و همکاران ۲۰۲۲) همچنین خصوصیات پوشش گیاهی ازجمله میزان تراکم و نوع پوشش بر میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی و شدت آن تاثیرگذار است به همین دلیل اطلاع داشتن از وضعیت پوشش‌گیاهی منطقه برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی بسیار مفید است (Michael و همکاران ۲۰۲۱). از سوی دیگر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع از عوامل مهم نابودی اکوسیستم‌ها و زوال زندگی انسان است (Mohajane و همکاران ۲۰۲۱) همچنین انتظار می‌رود افزایش و تشدید گرم شدن زمین، افزایش جنگل‌کاری، کاهش فشار چرا و رها شدن مناطق حاشیه‌ای تعداد آتش‌سوزی‌ها در سطح جهانی را افزایش دهد (Levin وهمکاران ۲۰۱۶) به همین دلیل شناسایی مکان‌های با خطر آتش‌سوزی بالا از موضوعات مهم و ضروری محسوب می‌شوند. ایران کشوری وسیع و با منابع طبیعی گسترده است که در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد، بنابراین وقوع آتش‌سوزی در این منطقه امری طبیعی است. از سوی دیگر، به دلیل وسعت بالای منابع طبیعی و کمبود نیرو و تجهیزات لازمه برای مهار آتش‌سوزی، مدیران تنها قادراند تا اقدامات پیشگیرانه را هر ساله در بخش‌های کمی از منابع طبیعی که دارای خطر بالای وقوع آتش‌سوزی هستند انجام دهند. به همین دلیل، تعیین این قبیل مناطق نقش بسیار مهمی در مدیریت وقوع و کنترل آتش‌سوزی دارد.

تعیین عوامل موثر بر وقوع آتش و بر اساس آن تعیین مناطق حساس به وقوع آتش می‌تواند یک ابزار مدیریتی موثر برای مدیریت آتش‌سوزی باشد (Mohajane و همکاران۲۰۲۱) برای یافتن مکان‌های دارای خطر آتش‌سوزی دسترسی به تعداد زیادی از نقشه‌های عوامل محیطی از قبیل عوامل توپوگرافیک، عوامل اقلیمی و عوامل انسانی ضروری است، همچنین با توجه به تاثیر مستقیم خصوصیات پوشش گیاهی،

به نظر می‌رسد استفاده از شاخص‌ها مانند پوشش‌گیاهی بتواند دقت و صحت تعیین مناطق حساس به وقوع آتش‌سوزی و مدلسازی آن را افزایش دهد (Kalantar و همکاران ۲۰۲۰).

مدیریت آتش‌سوزی براساس رابطه آتش‌سوزی با عواملی از قبیل رطوبت خاک و هوا، مقدار و نوع مواد سوختنی، دمای محیط انجام می‌شود. بطور کلی مدل‌ها، ابزارهایی برای ساده کردن محیط اطراف بشمار می‌روند. استفاده از مدل در مقیاس‌های مختلف بخصوص برای عواملی که پیش بینی آنها نیاز مدیران باشد از اهمیت بالاتری برخوردار است (Barreto وArmenteras ۲۰۲۰). خطر وقوع آتش از جمله مهمترین خطرات تهدید کننده منابع طبیعی بوده که پیش‌بینی فضایی (مکانی) آن از اهمیت بالایی برخودار است. در این بین استفاده از روش‌های جدید از قبیل یادگیری ماشین و تصاویر ماهواره‌ای موجب بهبود دقت و صحت نتایج بدست آمده خواهند شد (Helman ۲۰۱۸). شاخص‌های پوشش گیاهی به دلیل داشتن ارتباط مستقیم با میزان تراکم و مقدار مواد سوختنی و همچنین مقدار رطوبت موجود در آنها با اضافه شدن به فرآیند مدل‌سازی مخاطرات طبیعی از جمله حساسیت به وقوع آتش، می‌تواند نقش بسزایی در پیش بینی و مدیریت وقوع آتش داشته باشد که تاکنون به خوبی مورد توجه قرار نگرفته است (Helman و همکاران۲۰۱۷). از طرفی، نادیده گرفتن تغییرات بلند مدت پوشش ممکن است اثرات مهم مربوط به وضعیت خشکی طولانی مدت پوشش‌گیاهی را نادیده بگیرد که تاثیر قابل توجهی بر خطر آتش‌سوزی داشته باشد (Helman وهمکاران۲۰۱۸). بنابراین تحقیق حاضر در صدد است تا با معرفی روش‌های مختلف یادگیری ماشینی برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی و خسارات و مشکلات آن در مراتع نیمه خشک را مورد بررسی قرار دهد. مطالعه حاضر یک مقاله مروری است که با روش جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف بدست آمده است.

اثرات مخرب آتش سوزی

آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع ممکن است باعث تغییراتی در خواص فیزیکی وشیمیمایی خاک و روند رشد پوشش گیاهی شود. در ادامه به بررسی مطالعاتی در این مورد می‌پردازیم.

در بیشتر اکوسیستم‌ها آتش‌سوزی باعث تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود و پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار میدهد طبق مطالعه‌ای که در استان ایلام شهرستان سیروان انجام شده است مشخص شد که خاک در مقابل آتش‌سوزی‌های با شدت متفاوت مقاومت متفاوتی دارد، در آتش-سوزی با شدت بالا ترکیب گونه‌ای بذر درمدت کوتاه تغییرات زیادی دارد اما در آتش‌سوزی با شدت کم تغییر کمتری دربانک بذر صورت می‌گیرد (حیدری و فرامرزی۱۳۹۳). همچنین طبق مطالعه‌ای که در استان ایلام شهرستان بدره انجام شده نتایج نشان داد آتش‌سوزی بیشترین تاثیر را بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی لایه سطحی خاک داشته و باعث کاهش کیفیت خاک از لحاظ شیمیایی مانند کاهش ماده

الی و فیزیکی مانند تغییر بافت‌خاک و... می‌شود البته در بعضی موارد باعث آزاد شدن عناصر غذایی مانند فسفر نیز می‌شود(زینب ریاحی و همکاران۱۳۹۷). با این توضیحات آتش‌سوزی با تغییر در بانک گونه‌ای بذر و کاهش کیفیت خاک بر پوشش‌گیاهی تاثیر گذار است که احیای دوباره آن بسیار زمان‌بر و پر هزینه است با پیش‌بینی مناطق پرخطر آتش‌سوزی و انجام اقدامات پیشگیرانه می‌توان از این رخداد جلوگیری کرد.

در مطالعه‌ای با موضوع ارزیابی تاثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در بالا و پایین منطقه سروآباد استان کردستان مشخص شد که بالا و پایین دامنه از لحاظ توپوگرافی،هواشناسی،پوشش-گیاهی و...در شرایط یکسان قرار داشتند، همچنین آتش‌سوزی بر ویژگی‌هایی همچون موادمعدنی، pHخاک، موادآلی و هادایت‌الکتریکی خاک در بالای دامنه تاثیر بیشتری نسبت به پایین دامنه داشته است که میتوان نتیجه گرفت شدت آتش دربالای دامنه بیشتر از پایین دامنه بوده است، همچنین در دامنه‌ای که آتش‌سوزی رخ نداده‌بود تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک بالای دامنه کمتراز پایین دادمنه بوده که نشان د هنده تاثیر توپوگرافی در ویژگی‌های خاک است (حسینی‌و همکاران۱۴۰۰). در جنگل‌های زاگرس نیز تحقیقاتی انجام شد که بعد از مقایسه منطقه سوخته با منطقه شاهد مشخص شد در آتش‌سوزی‌های سطحی ویژگی‌های خاک تغییرات چندانی ندارند، اما در اتش‌سوزی‌های گسترده تر ویژگی‌های شیمیایی خاک از جملهpH خاک، هدایت‌الکتریکی، ماده معدنی و ماده آلی دستخوش تغییرات می‌شوند.(کریمی‌نسب و همکاران۱۴۰۱) برای مشخص شدن خسارات بیشتر آتش‌سوزی با انجام دادن اتش‌سوزی‌های آزمایشی و تیمارهایی برای این نقاط میتوان دریافت که با اعمال آتش‌سوزی اندام-های هوایی گیاه به طور کلی از بین می‌روند و رویش مجدد ان‌ها بسیار ناچیز بوده وگونه‌های مرغوب نیز رشد خیلی‌کم دارند اما گونه‌های نامرغوب فرصت رشد بیشتری دارند و حتی تیمارها نیز موجب رشد گونه‌های نامرغوب میشوند (میبدی و زارع۱۳۸۶).

مشاهدات نشان‌داده در مناطقی که آتش‌سوزی اتفاق افتاده است در صد پوشش گیاهی گراس‌ها بیشتر از پهن‌برگان است این درحالی است که در مناطق نسوخته پوشش پهن برگان بیشتر است. این مناطق از نظر ویژگی‌های خاک نظیر نیتروزن، پتاسیم، فسفر، کربن و تفاوت چندانی با هم ندارند که میتوان به دلیل بارندگی کم مناطق مورد مطالعه باشد، اما مواد معدنی خاک در مناطق سوخته از مناطق نسوخته کم‌تر است(جوادی و مامون۱۳۹۰). با نجام دادن اتش‌سوزی تجویز شده در سال‌های خشکسالی میتوان دریافت با تغییرات در میزان بارندگی، خشکسالی طبیعی و آتش‌سوزی تجویز شده باعث اثرات مثبی میشوند اما کاهش خشکسالی و آتش‌سوزی تجویزشده باعث افزایش تعریق برگ نسبت به تبخیر خاک میشود که افزایش مصرف آب در اکوسیستم را در پی دارد همچنین منجربه ریشه‌زایی کم علف‌های یکساله میشود (pottsو همکاران۲۰۱۲).

مدل‌های یادگیری ماشین (Machine learning: ML)

به محض اینکه رایانه های الکترونیکی در دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفتند، الگوریتم-هایی توسعه یافتند که مدل‌سازی و تجزیه وتحلیل مجموعه‌های بزرگی از داده‌ها را ممکن می‌ساخت (Kononenko ۲۰۰۱). یادگیری ماشین (ML) مطالعه الگوریتم‌های رایانه‌ای است که قادر به یادگیری بهبود عملکرد یک کار بر اساس تجربه قبلی خود هستند (لطیفی‌هروی و همکاران ۱۴۰۰). برخلاف موانع، تحقیقات فعلی یادگیری ماشین در حال ایجاد پیشرفت‌های چشمگیری در برخی از مسائل اساسی است این شامل افزایش مقیاس روش های ML به اندازه نمونه و ابعاد بزرگ و غیره است (Mjolsness و Decoste۲۰۰۱). یادگیری ماشین ابزار قدرتمندی است که می‌تواند برای مدل‌سازی تاثیر عوامل توضیحی متعدد بر روی یک متغیر پیش‌بینی شده استفاده شود. یادگیری‌ماشین اخیرا برای پیش‌بینی خطرات آتش‌سوزی با استفاده از مجموعه داده‌های متعدد که شامل معیارهای سنجش از دور است، استفاده می‌شود (Cortez و.Morais ۲۰۰۷).

مدل جنگل تصادفی (Random forest Models): مدل‌جنگل‌تصادفی یک الگوریتم پرکاربرد یادگیری ماشین است که برای افزایش دقت پیش‌بینی استفاده می‌شود، این مدل یک الگوریتم ناپارامتری است که برای اجرا به چند پارامتر ازجمله تعداد نمونه (درختان) و تعداد ویژگی‌های پیش بینی کننده نیاز دارد و با حداقل تنظیمات برای پارامترها به محاسبات و زمان اجرایی کمتر نسبت به سایر مدل‌ها نیاز دارد. همچنین این مدل دارای طبقه‌بندی بالایی در مدل پیچیده است. در فرآیند طبقه‌بندی تعداد زیادی درخت‌تصمیم در طبقه بندی رشد می‌یابند و نمونه‌های طبقه‌بندی نشده با توجه به ویژگی‌های همراه خود در یک طبقه جای می‌گیرند. (مژده میرکی وهمکاران۱۳۹۹)

مدل ماشین‌بردارپشتیبان (Support vector machine): ماشین‌بردارپشتیبان یک الگوریتم یادگیری‌ماشین غیرپارامتری است که به منظور طبقه‌بندی و برآورد داده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل با تبدیل داده‌های ورودی به یک فضای ابر صفحه چند بعد توسط تابع کرنل (Kernel Function) سبب گروه‌بندی داده‌های ورودی می‌شود. مدلسازی در این روش نیازمند انتخاب درست برخی پارامترها است که مقدار آن‌ها وابسته به ابعاد داده‌ها بوده که هر یک از طبقه‌بندی‌ها باهم متفاوت است. (مژده میرکی و همکاران۱۳۹۹)

مدل شبکه‌عصبی‌مصنوعی: این مدل دارای قابلیت بالایی در برقراری ارتباط میان ورودی و خروجی داده‌ها است و در پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی، بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و فاکتورهای موثر بر آن ارتباط خوبی برقرار می‌کند. خطای موجود در این روش با اصلاح داده‌های ورودی کاهش میابد و این کار تا آنجایی که خطا صفر شود وخروجی دارای بیشترین دقت باشد ادامه می‌یابد (صالحی و همکاران۱۴۰۱).

مدل تصمیم‌گیری‌چندمعیاره: در این روش بعداز تهیه داده های موثر در آتش‌سوزی، لایه های موجود کلاس بندی می‌شوند و به هر کلاس وزن مناسب داده می‌شود سپس نقشه خطر آتش‌سوزی تهیه می‌شود.
مدل وزن‌شاهد: این مدل براساس تئوری بیزین که بر پایه وقوع یا عدم‌وقوع یک پدیده است(Jaafari و همکاران ۲۰۱۵). کارکرد این مدل در پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی این است که به هریک از داده‌ها طبق اثری که برآتش‌سوزی دارند وزن مثبت یا منفی داده‌می‌شود(Jaafari و همکاران ۲۰۱۷). خطای این مدل در تشخیص وزن داده‌ها به اشتباه است (امیدی و غلامی).
مدل حداکثر بی‌نظمی: این مدل یکی از روش‌های یادگیری‌ماشین است که کارایی آن به اینگونه است که به طور مداوم نقاط واقعی آتش‌سوزی و نقاط محیطی را موردبررسی قرار می‌دهد. این روش در برقراری ارتباط بین متغییرها بسیار کارآمد است(Philips و همکاران ۲۰۰۶). همچنین با جانمایی داده‌های محیطی ورودی در نقاط وقوع شرایط محیطی را در وقوع حادثه بررسی می‌کند.(ابراهیمی و همکاران۱۳۹۷).

انتخاب مدل مناسب برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی

در این تحقیق سعی شده کارایی بعضی روش‌های یادگیری ماشین در یافته‌های محققین در پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی بررسی شود.
استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی نشان دهنده ای کارآمدی این الگوریتم‌ها است. در مطالعاتی که از مدل جنگل‌تصادفی و ماشین بردار برای پیش‌بینی خطر وقوع آتش‌سوزی استفاده شده است مشخص شده است که نسبت به الگوریتم های دیگر به خوبی توانسته احتمال وقوع آتش‌سوزی را پیش بینی کنند همچنین عوامل موثر در آتش سوزی نیز با دقت زیاد شناسایی کرده‌اند (اسحاقی و جویباری۱۳۹۴). نتایج مطالعه‌ای با موضوع پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی با استفاده از سنجش از دور در منطقه کامبوج نشان دهنده این است که مدل جنگل تصادفی در پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی با استفاده از اطلاعات سنجش‌ازدور و دیگر اطلاعات موردنیاز با ضریب همبستگی ۹۸۷/. و میانگین مربع خطای ۰/۰۰۲۸۵ بسیار توانا و کم خطا است و همچنین دریافتند که بارش، دمای سطح‌زمین و توپوگرافی منطقه در وقوع آتش‌سوزی نقش به سزایی ایفا می‌کنند (Bo Yu و همکاران۲۰۱۷). ماشین بردار پشتیبان نیز در مطالعه‌ای با موضوع تکنیک‌های استخراج ویژگی برای بازیابی کلاس گیاهی و ارزیابی خطر آتش‌سوزی مورد استفاده قرلر گرفت. با اینکه تشخیص بعضی از پوشش‌های گیاهی مانند چمن‌های کنار جاده به دلیل همپوشای دشوار است اما ماشین‌بردارپشتیبان با دقت ۹۲درصد عملکرد خوبی از خود نشان داده است (Vermaو Chowdhury ۲۰۱۴). مطالعات نشان میدهد مدل ماشین‌بردارپشتیبان نسبت به مدل جنگل‌تصادفی کارایی بهتری در تعیین حساسیت وقوع

آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دارد. عملکرد بهتر ماشین‌بردارپشتیبان می‌تواند به دلیل توانایی آن در مدل‌سازی پایگاه داده‌های بزرگ و توانایی انجام متغیرهای ورودی زیاد بدون تغییر متغیر باشد(رضاویسی و همکاران۱۴۰۱). دربین الگوریتم‌های سنجش از دور و یادگیری ماشین برای نقشه برداری آتش‌سوزی جنگل LR،FR، MILP-FR، CART-FR،RF-FR ،SVM-RF که در مطالعات استفاده شده‌اند مشخص شد RF-FR بالاترین عملکرد را دارا بوده است (Mohajane و همکاران۲۰۲۱). در بعضی مطالعات از مدل باور بیزین نیز استفاده شده است که نتایج نشان دهنده کارایی خوب مدل در پیش‌بینی خطر وقوع آتش‌سوزی و عوامل موثر در آتش‌سوزی است(تقی‌پوربرج۱۳۹۸). مدل‌های نسبت فراوانی و وزن‌شاهد نیز جز الگوریتم‌های یادگیری ماشین هستند که برای پیش‌بینی خطر وقوع آتش-سوزی کارامداند مطالعات نشان می‌دهند مدل وزن‌شاهد نسبت به مدل نسبت فراوانی در مدل‌سازی وقوع آتش برتری دارد (امیدی و همکاران۱۳۹۸).

مدل سلسله مراتبی فازی نیز دارای دقت قابل قبولی در تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی دارد که بعداز تعیین وزن داده‌های موثر در آتش‌سوزی سپس ادغام نقشه‌ها براساس اهمیت آن‌ها در GIS میتوان نقشه خطر آتش‌سوزی را تهیه کرد(اسکندری و خوشنویس۱۳۹۸). درمطالعاتی که از الگوریتم‌های مدل یادگیری ماشین برای پیش‌بینی خطر وقوع اتش‌سوزی استفاده شده نشان می‌دهد عواملی همچون فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق مسکونی و جاده، ارتفاع، دما، بارش، جهت ودرصد شیب، پوشش‌گیاهی و...از عوامل موثر بر وقوع آتش‌سوزی هستند.

نتیجه‌گیری کلی

افزایش روزافزون آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع نیاز به راهکارها برای کنترل و پیش‌بینی آن را اجتناب ناپذیر کرده‌است. از آن‌جا که آتش‌سوزی خسارات جبران ناپذیری از قبیل تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، تغییر در روند رشد پوشش‌گیاهی و بانک بذر برجای می‌گذارد، بنابراین، مدل سازی خطر وقوع آتش‌سوزی راهکار مناسبی برای مدیریت منابع طبیعی می‌باشد. از طرفی، چون بیشتر فاکتورهای موثر در آتش‌سوزی بعد مکانی دارند، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) روش مناسبی برای این مطالعات می‌باشد. جمع‌بندی تحقیقاتی که در جهان درمورد آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع انجام شده‌است نشان‌دهنده این است که سامانه‌های اطلاعات جغرافیای و سنجش از دور برای مدل‌سازی مناطق پرخطر آتش‌سوزی بسیار کارآمد هستند. همچنین، در بیشتر مطالعاتی که در این مقاله بررسی شده است، مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان بیشتر مورد استفاده قرار گرفته اند که دارای دقت‌های بالا در پیش‌بینی خطر وقوع اتش‌سوزی بوده و به خوبی عوامل موثر در وقوع آتش‌سوزی را

مشخص کرده‌اند، همچنین از تصاویر ماهواره‌هایMODIS، TMو +ETM برای تهیه نقشه‌های پوشش-گیاهی و نقشه‌های فیزیوگرافی استفاده شده است. در اغلب مطالعات فاکتورهای موثر بر آتش‌سوزی شامل پوشش‌گیاهی، جهت و درصد شیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق مسکونی و عوامل اقلیمی بوده است. نتایج کل این مطالعات نشان می‌دهد مناطق در اقلیم های نیمه‌خشک و گرم با جهت شیب جنوبی و نزدیک به جاده و مناطق مسکونی دارای پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی زیادی هستند. در آخر لازم به ذکر است هرکدام از روش‌های مدل‌سازی ارزیابی خطر آتش-سوزی دارای مزایا و معایبی هستند که نیاز به مطالعات بیشتر در مناطق مختلف دارد.

منابع

- ابراهیمی, حمید, رسولی, علی اکبر, و مختاری, داوود. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات خطر آتش‌سوزی و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل حداکثر بی نظمی، مطالعه موردی: جنگل ها و مراتع استان آذربایجان شرقی. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۷(۱), ۵۷-۷۳.
- اسحاقی محمدامین, و شتایی جویباری , شعبان(۱۳۹۴). تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از الگوریتم های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان، شمال شرقی ایران). پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل ۲۳ (۴), ۱۳۳-۱۵۴
- اسکندری, سعیده, و خوشنویس, مصطفی. (۱۳۹۹). ارزیابی و نقشه‌برداری خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع سیراچال با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و GIS. پژوهش و توسعه جنگل, ۶(۲), ۲۱۹-۲۴۵.
- امیدی, مرجان, مافی غلامی, داود, محمودی, بیت‌الله, و جعفری. (۱۳۹۸). مدل‌سازی مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شاهد. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران, ۱۷(۲), ۱۲۵-۱۴۴.
- جوادی, سید اکبر و مأمون, زهرا. (۱۳۹۰). بررسی اثرات آتش سوزی طبیعی بر روی برخی خصوصیات خاک و پوشش گیاهی اکوسیستم مرتع (مطالعه موردی: مرتع پیرگل سرخ بهبهان) .*تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده ,(۱)۲*
- جعفری گلدرق, یونس, محمدزاده*, علی, و سرکارگر اردکانی, علی. (۱۳۹۳). مدلسازی خطر آتش سوزی با استفاده از آنالیز تصمیم گیری چند معیاره بر مبنای شاخص های ماهواره ای. پژوهش های محیط زیست, ۵(۱۰), ۱۲۱-۱۳۴.

- حیدری, مهدی, فرامرزی, مرزبان. (۱۳۹۳). اثرات کوتاه‌مدت آتش‌سوزی با شدت های مختلف بر ترکیب و تنوع بانک بذر خاک در اکوسیستم جنگلی زاگرس، شهرستان سیروان. بوم شناسی کاربردی, ۳(۹), ۵۷-۶۹.
- ریاحی, زینب, بازگیر,مسعود, ولی‌زاده کاخکی, و رستمی نیا, محمود. (۱۳۹۷). بررسی پیامد آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع منطقه بدره (استان ایلام). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۵(۵), ۲۵-۴۶.
- صالحی,نفیسه, دشتی,سولماز, عطاروشن, سینا, نظرپور, احد, وجعفرزاده , نعمت اله(۱۴۰۱). پهنه بندی ریسک آتش سوزی مناطق جنگلی با تلفیق مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موری: منطقه حفاظت شده شیمبار، استان خوزستان. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی, ۰-۰.
- کریمی نسب، میترا، بهشتی آل آقا,علی , پوررضا,مرتضی. (۱۴۰۱). تغییرات ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس .*تخریب و احیاء اراضی طبیعی*,(۴) ۲, ۷۹-۶۸
- فتاحی، بختیار، و طهماسبی، ابوالفضل. (۱۳۸۹). تاثیر آتش سوزی بر تغییرات پوشش گیاهی در مراتع کوهستانی زاگرس مرکزی (مطالعه موردی: مراتع گردنه اسدآباد استان همدان). مرتع، ۴(۲)، ۲۲۸-۲۳۹.
- نقی‌پور برج. (۱۳۹۸). پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل‌سازی شبکه باور بیزین (Bayesian Belief network) در استان چهارمحال و بختیاری. مرتع, ۱۳(۱), ۹۰-۱۰۰.
- ویسی,رضا, فتاحی, بختیار, وخسروبیگی,سعید . (۲۰۲۲). پیش‌بینی و تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی مراتع با استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان (مطالعه موردی: مراتع شهرستان اراک). مرتع, ۱۶(۲), ۴۰۱-۴۱۵.
- باغستانی میبدی، ناصر، و زارع، محمدتقی. (۱۳۸۶). رفتار آتش بر تولید گونه های مرتعی و امکان استفاده آن در اصلاح مراتع استپی استان یزد. مرتع، ۱(۴)، ۳۲۷-۳۴۱.
- Abdo, H. G. (2018). Impacts of war in Syria on vegetation dynamics and erosion risks in Safita area, Tartous, Syria. Regional environmental change, 18(6), 1707-1719.
- Abdo, H. G., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., & Al-Mutiry, M. (2022). GIS-based frequency ratio and analytic hierarchy process for forest fire susceptibility mapping in the western region of Syria. Sustainability, 14(8), 4668.
- Abedi, M., Omidipour, R., Hosseini, S.V., Bahalkeh, K. and Gross, N., 2022. Fire disturbance effects on plant taxonomic and functional β-diversity mediated by topographic exposure. Ecology and evolution, 12(1), p.e8552.

- Adab, H., Kanniah, D., & Solaimani, K. (2011). GIS-based probability assessment of fire risk in grassland and forested landscapes of Golestan Province, Iran. In International conference on environmental and computer science IPCBEE (Vol. 19, p.2011
- Barreto, J. S., & Armenteras, D. (2020). Open data and machine learning to model the occurrence of fire in the ecoregion of "llanos colombo–venezolanos". Remote Sensing, 12(23), 3921.
- Borrelli, P., Panagos, P., Langhammer, J., Apostol, B., & Schütt, B. (2016). Assessment of the cover changes and the soil loss potential in European forestland: First approach to derive indicators to capture the ecological impacts on soil-related forest ecosystems. Ecological Indicators, 60, 1208-1220
- Chowdhury, S., & Verma, B. (2014, December). A novel feature extraction technique to retrieve vegetation class for fire risk assessment. In 2014 8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS) (pp. 1-6). IEEE
- Ferchichi, A., Abbes, A. B., Barra, V., & Farah, I. R. (2022). Forecasting vegetation indices from spatio-temporal remotely sensed data using deep learning-based approaches: A systematic literature review. Ecological Informatics, 101552.
- Helman, D., Lensky, I. M., Tessler, N., & Osem, Y. (2015). A phenology-based method for monitoring woody and herbaceous vegetation in Mediterranean forests from NDVI time series. Remote Sensing, 7(9), 12314-12335.
- Helman, D. (2018). Land surface phenology: What do we really 'see'from space?. Science of the Total Environment, 618, 665-673.
- Helman, D., Lensky, I. M., Osem, Y., Rohatyn, S., Rotenberg, E., & Yakir, D. (2017). A biophysical approach using water deficit factor for daily estimations of evapotranspiration and CO 2 uptake in Mediterranean environments. Biogeosciences, 14(17), 3909-3926.
- Jaafari, A., Gholami, D. M., & Zenner, E. K. (2017). A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. Ecological informatics, 39, 32-44.
- Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A., & Ghajar, I. (2015). Planning road networks in landslide-prone areas: A case study from the northern forests of Iran. *Land Use Policy*, *47*, 198-208.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International journal of applied earth observation and geoinformation, 4(1), 1-10.
- Kalantar, B., Ueda, N., Idrees, M. O., Janizadeh, S., Ahmadi, K., & Shabani, F. (2020). Forest fire susceptibility prediction based on machine learning models with resampling algorithms on remote sensing data. Remote Sensing, 12(22), 3682
- Kim, B., & Sarkar, S. (2017). Impact of wildfires on some greenhouse gases over continental USA: A study based on satellite data. Remote Sensing of Environment, 188, 118-126.
- Michael, Y., Helman, D., Glickman, O., Gabay, D., Brenner, S., & Lensky, I. M. (2021). Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series. Science of The Total Environment, 764, 142844.
- Mohajane, M., Costache, R., Karimi, F., Pham, Q. B., Essahlaoui, A., Nguyen, H., ... & Oudija, F. (2021). Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. Ecological Indicators, 129, 107869.

- N,Levin, N. Tessler, A. Smith, C. McAlpine Erratum to: the human and physical determinants of wildfires and burnt areas in Israel Environ. Manag., 58 (2016), p. 563
- O'Connor, C. D., Calkin, D. E., & Thompson, M. P. (2017). An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. International journal of wildland fire, 26(7), 587-597
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological modelling, 190(3-4), 231-259.
- Potts, D. L., Suding, K. N., Winston, G. C., Rocha, A. V., & Goulden, M. L. (2012). Ecological effects of experimental drought and prescribed fire in a southern California coastal grassland. Journal of Arid Environments, 81, 59-66.
- Santín, C., & Doerr, S. H. (2016). Fire effects on soils: the human dimension. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371(1696), 20150171.
- Yu, B., Chen, F., Li, B., Wang, L., & Wu, M. (2017). Fire risk prediction using remote sensed products: A case of Cambodia. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 83(1), 19-25

ارزیابی هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه زوجی کاخک گناباد

حمزه نور*[۱]، یحیی پرویزی[۲]، حسین چمنی[۳]

۱*- استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، *H.Noor@areeo.ac.ir*

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی

چکیده

در این پژوهش، به ارزیابی وقایع حداکثر ثبت شده بارش در ایستگاه هواشناسی، داده‌های هدررفت خاک و تولید رواناب در مقیاس دامنه توسط کرت فرسایشی و هم‌چنین هدررفت خاک توسط میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک گناباد پرداخته می‌شود. برای این منظور کلیه وقایع بارش، هدررفت خاک و تولید رواناب از سامانه‌های پایش مستقر در حوضه زوجی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم تفاوت زیرحوضه‌های نمونه و شاهد در هدررفت خاک، تولید رواناب، نقش وقایع حداکثری در فرسایش خاک و تولید رواناب هر دو زیرحوضه بسیار چشم‌گیر می‌باشد. به‌طوری‌که یک تا سه واقعه فرساینده در هر دو زیرحوضه مورد مطالعه مسئول بیش از ۸۰ درصد هدررفت خاک در دامنه‌ها و تولید رواناب و رسوب‌دهی خوضه‌ها می‌باشند. از سوی دیگر نتایج نشان داد که مقدار هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد بسیار بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است. به‌گونه‌ای که متوسط سالانه هدررفت خاک دو زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش، کنترل رسوب، حوضه آزمایشی، کرت‌های آزمایشی

مقدمه

تحقیقات مختلفی در زمینه اثرگذاری اقدامات آبخیزداری بر هدررفت خاک، رسوب‌دهی و تولید رواناب گزارش شده است. اغلب این تحقیقات با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک (Noor و همکاران، ۲۰۱۶) و یا مقایسه دوره قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری (Fazli و Noor، ۲۰۱۳)، صورت گرفته‌اند. در این میان، حوضه‌های زوجی نوعی آزمایشگاه میدانی هستند که برای بررسی اثرات تیمارهای مختلف حفاظت خاک و آبخیزداری به‌کار می‌روند. حوضه‌های زوجی از دو زیرحوضه نمونه و شاهد تشکیل شده‌اند. این دو زیرحوضه از نظر مساحت، توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک، شیب،

فرسایش، آب و هوا و غیره تا حد امکان یکسان می‌باشند (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰). در یکی از زیرحوضه‌ها شرایط ثابت باقی مانده و به روش‌های متداول هر منطقه مورد بهره‌برداری کشاورزی و چرای دام قرار می‌گیرد. این آبخیز کوچک به‌عنوان زیرحوضه شاهد در نظر گرفته می‌شود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، ۱۳۹۸). در زیرحوضه دیگر تغییراتی با اعمال روش‌ها و تکنیک‌های آبخیزداری صورت می‌گیرد و اثرات آنها مطالعه می‌شود، که زیرحوضه نمونه خوانده می‌شود. در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد پایش و اندازه‌گیری فرسایش خاک، تولید رواناب، رسوب‌دهی، خصوصیات پوشش گیاهی و ... به‌صورت منظم صورت می‌گیرد. تحقیقات متعددی به مقایسه رسوب‌دهی حوضه‌ای (نور و همکاران، ۱۳۹۷؛ Ebabu و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ebling و همکاران، ۲۰۲۱)، فرسایش خاک در دامنه‌ها (عشقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، تولید رواناب (Ebling و همکاران، ۲۰۲۱)، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق در حوضه‌های زوجی در مناطق مختلف پرداخته‌اند. با این حال ضرورت مطالعه جامعی در حوضه‌های آبخیز زوجی، با هدف مقایسه هم‌زمان هدررفت خاک در دامنه‌ها، رسوب‌دهی حوضه‌ای و تولید رواناب طرح‌ریزی شود.

حدود دو دهه از تجهیز حوضه زوجی کاخک گناباد می‌گذرد و در این مدت ابزار و کارشناسان مختلفی به‌منظور پایش مولفه‌های متنوع هیدرولوژی، فرسایش خاک و پوشش گیاهی در منطقه مستقر شده‌اند. به‌گونه‌ای که طی این مدت اطلاعات هواشناسی (مهم‌ترین آن بارش ساعتی، روزانه و ماهانه)، آب سنجی، رسوب حوضه، هدررفت خاک در سطح دامنه، نفوذپذیری و پوشش گیاهی به‌نحوی ثبت شده‌اند. بنابراین بستر مناسبی به منظور ارزیابی اثر اقدامات مدیریتی و سازه‌ای آبخیزداری بر هدررفت خاک، رسوب‌دهی و تولید رواناب در مقیاس دامنه و آبخیز کوچک فراهم شده است. در این راستا، تحقیق حاضر در نظر دارد تا اثر ۱- وقایع حاکثر بارش، هدررفت خاک و تولید رواناب در مقیاس دامنه، را در حوضه زوجی کاخک گناباد مورد بررسی قرار دهد.

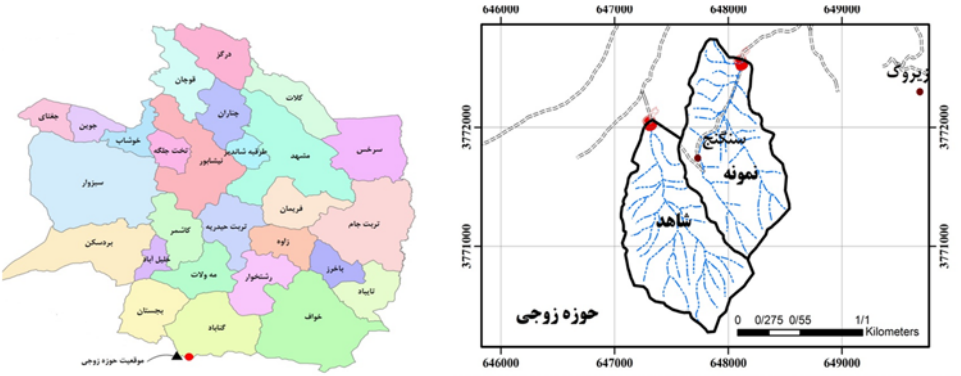
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه زوجی کاخک با مساحت ۲۱۷/۱ هکتار در جنوب استان خراسان رضوی بین طول‌های "۳۷ '۳۵ °۵۸ الی "۴۱ '۳۶ °۵۸ شرقی و عرض‌های "۴۶ '۰۳ °۳۴ الی "۰۶ '۰۵ °۳۴ شمالی قرار دارد. این آبخیز در فاصله ۳۰۰ کیلومتری از شهر مشهد و ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهر گناباد در بخش کاخک از شهرستان گناباد واقع شده است.

حوضه زوجی شامل دو زیرحوضه نمونه به مساحت ۱۰۶/۵ هکتار و زیرحوضه شاهد به مساحت ۱۱۰/۶ هکتار می‌باشد. شکل هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد کشیده می‌باشند. طول آبراهه اصلی در زیرحوضه

نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱/۸۱ و ۱/۸۷ کیلومتر می‌باشد. شیب متوسط در این دو زیر حوضه نیز به‌ترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۴ درصد است. در نهایت زمان تمرکز زیرحوضه نمونه ۰/۶۱ ساعت و برای زیرحوضه شاهد ۰/۵۴ است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، ۱۳۹۸).



شکل ۱- موقعیت حوضه زوجی کاخک گناباد در استان خراسان رضوی

کاربری اراضی غالب در زیرحوضه نمونه به‌ترتیب مرتع (۹۱/۵)، نهال‌کاری (۴/۵ درصد) و بستر آبراهه‌ها (۴/۰ درصد) می‌باشد. در زیرحوضه شاهد نیز مرتع (۹۵/۱ درصد)، دیم‌کاری (۲/۰ درصد) و باغات (۱/۰) درصد را شامل می شوند. در زیرحوضه نمونه ۴/۲ هکتار بانکت‌بندی به همراه نهال‌کاری، ۱۰۲/۳ هکتار کپه‌کاری، ۱۹ بندگابیونی و ۷ بند خشکه‌چین اجرا شده است.

روش انجام تحقیق

به‌منظور انجام تحقیق حاضر، لازم است تا اثر اقدامات آبخیزداری در مقیاس دامنه بر تولید رواناب و فر سایش خاک مورد برر سی قرار گیرد. بر این ا ساس تمامی گزارش‌ها و داده‌های ثبت شده تا ابتدای سال ۲۰۲۰ (سال انجام پژوهش حاضر) جمع‌آوری شدند. لازم به توضیح است که در ادامه توضیحاتی در زمینکرت و میخ فرسایشی در حوضه زوجی کاخک ارائه می‌شود.

کرت‌های فر سای شی در حو ضه زوجی کاخک: در هر کدام از زیرحوضه‌های نمونه و شاهد سه محدوده اندازه‌گیری فرسایش (در سه جهت اصلی منطقه غربی، شرقی و شمالی) وجود دارد. در هر یک از این محدوده‌ها سه کرت احداث شده است. به‌عبارتی در زیرحوضه‌های نمونه و شاهد جمعاً تعداد ۱۸ کرت به ابعاد ۲۴ متر طول و ۱/۸۳ متر عرض و مخزن با ابعاد ۲ متر طول، ۱ متر عرض و ۰/۵ متر

ارتفاع ساخته و نصب شد. لازم به توضیح است که زیرحوضه نمونه قرق بوده و درنتیجه کرت‌های مستقر در این حوضه تحت چرای دام قرار نمی‌گیرد با این حال در زیرحوضه شاهد، چرای دام‌ها منعی ندارد و دام‌ها به صورت آزادانه از علوفه مراتع تعلیف می‌کنند. بنابراین در این شرایط امکان برر سی اثر قرق مرتع به‌عنوان یک اقدام مدیریتی، بر هدررفت خاک و تولید رواناب وجود دارد. مقدار رواناب و رسوب به‌صورت ماهانه ثبت و اندازه‌گیری شده است.

میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک: میخ‌های فرسایش در سال ۱۳۷۸ به تعداد ۴۸۶ میخ در سه میدان به ابعاد ۹ متر طول و ۹ متر عرض در مجاورت محدوده کرت‌های فرسایشی در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد ساخته و نصب شد. این میخ‌ها در یک شبکه با فاصله یک متر قرار گرفته‌اند و در هر میدان نیز ۸۱ میخ فر سایشی وجود دارد. از آنجایی‌که فرآیند فر سایش خاک باعث تغییر سطح خاک به صورت کاهش عمق در منطقه برداشت و افزایش عمق در محل رسوب‌گذاری می‌شود، به‌صورت نظری می‌توان با ثبت این تغییرات، حجم خاک منتقل شده را برآورد کرد (Boardman و همکاران، ۲۰۱۵). اندازه‌گیری ارتفاع بخش بیرون از خاک میخ‌ها ماهانه با دقت نیم میلی‌متر صورت پذیرفته است.

در نهایت پس از جمع‌آوری داده‌ها، مقایسه مولفه‌های حجم رواناب، هدررفت خاک با استفاده از کرت و هدررفت خاک با استفاده از میخ‌های فرسایشی مربوط به حوضه‌های نمونه و شاهد مد نظر قرار گرفت. این مقایسه‌ها با استفاده از میانگین داده‌ها (درصد تفاوت در دو حوضه) و آزمون t-جفتی صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی بارش‌های حداکثری

نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که به‌طور متوسط ۴۰ روز در سال بارندگی در منطقه ثبت شده ا ست. در این میان بارش‌ها اغلب زیر ده میلی‌متر (مقدار روزانه بارش) به وقوع پیو سته که به‌طور متوسط ۳۴ روز در سال را بخود اختصاص داده است. هم‌چنین بارش‌های بیش از ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌متر به‌طور متوسط ۴/۲، ۱/۷ و ۰/۱ روز در سال می‌باشد. درنهابت داده‌های ده بارش حداکثر ثبت شده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

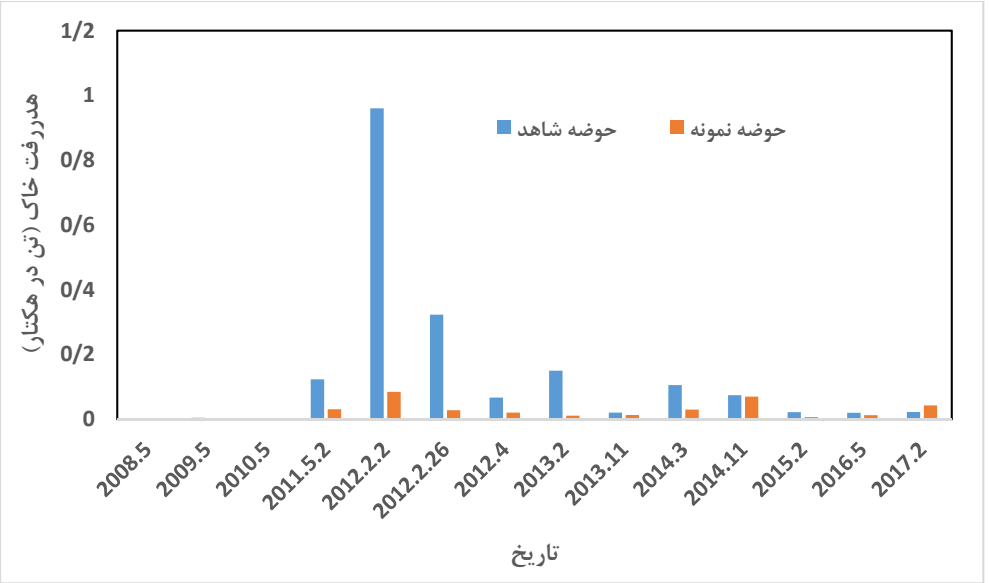
جدول ۱ ده بارش حداکثر ثبت شده در حوضه زوجی کاخک

ردیف	تاریخ	حداکثرارتفاع بارندگی روزانه (میلیمتر)	سهم نسبی بارش متناظر از کل بارندگی سال مربوطه(%)	حداکثر شدت (میلی‌متر در ساعت)
۱	۲۰۱۷/۰۲/۱۷	۵۳/۵	۱۷/۵	۹/۶
۲	۲۰۱۲/۰۲/۰۲	۴۶/۶	۱۶/۳	۱۴/۴
۳	۲۰۱۲/۰۲/۲۶	۳۹/۸	۱۳/۹	۶/۰
۴	۲۰۱۶/۰۱/۰۲	۳۷/۸	۲۱/۸	۱۲/۱
۵	۲۰۱۸/۰۲/۲۵	۳۷/۳	۱۵/۵	-
۶	۲۰۱۷/۰۱/۰۲	۲۹/۷	۹/۷	۱۲/۰
۷	۲۰۱۳/۰۲/۱۴	۲۸/۴	۱۵/۴	۶/۶
۸	۲۰۱۷/۰۲/۱۳	۲۷/۱	۸/۹	۱۳/۸
۹	۲۰۱۳/۰۲/۰۱	۲۶/۵	۱۴/۳	۸/۴
۱۰	۲۰۱۷/۰۳/۲۰	۲۵/۸	۸/۴	۱۸/۶

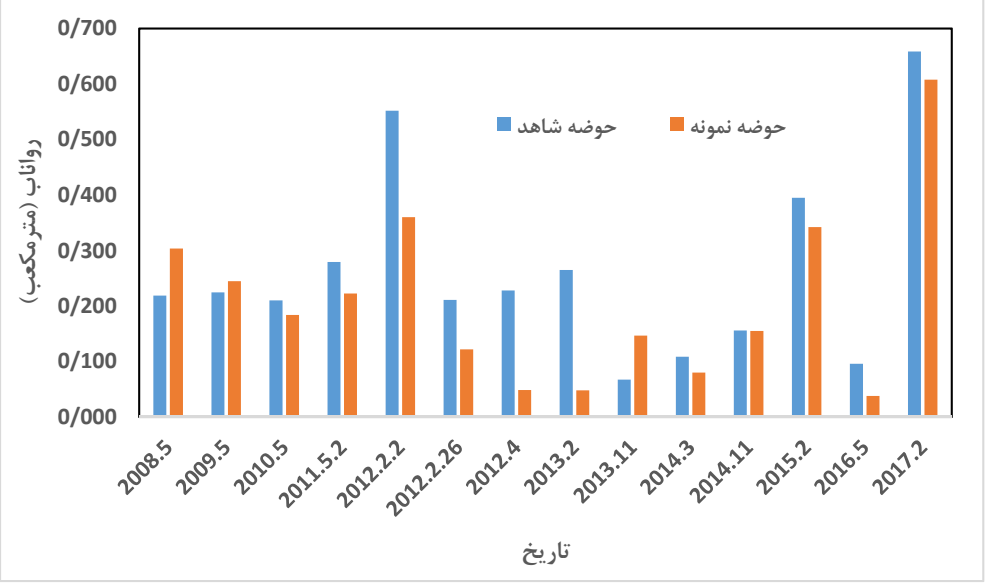
همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته ثبت شده در این منطقه مربوط به فصل زمستان می‌باشند. هم‌چنین حداکثر بارش ۲۴ ساعته ثبت شده، ۵۳/۵ میلی‌متر می‌باشد که نسبت به متوسط بارش منطقه (۲۲۶ میلی‌متر در ایستگاه هوا شناسی) دارای سهم ۲۳ در صدی می‌باشد. در این میان بارش ۲ فوریه ۲۰۱۲ دارای رتبه دوم مقدار بارش و رتبه اول شدت بارش در این جدول می‌باشد. حداکثر هدررفت خاک و تولید رواناب در دامنه‌ها و هم‌چنین خروجی زیرحوضه‌های نمونه و شاهد در این واقعه ثبت شده است.

ارزیابی داده‌های کرت‌های فرسایشی

در دو زیرحوضه شاهد و نمونه ۱۴ واقعه هدررفت خاک توسط کرت‌های فرسایشی در دوره سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷ اندازه‌گیری شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب مقدار هدررفت خاک و تولید رواناب در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - مقدار هدررفت خاک در کرت‌های مستقر در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک



شکل ۳ - مقدار تولید رواناب در کرت‌های مستقر در حوضه‌های نمونه و شاهد کاخک

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود مقدار هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد بسیار بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است. به‌گونه‌ای که متوسط هدررفت هر واقعه در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۱۷ تن بر هکتار می‌باشد. متوسط سالانه هدررفت خاک دو زیرحوضه نمونه و شاهد نیز به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال محاسبه شده است. این نتایج دلالت بر آن دارد که میزان هدررفت خاک در زیرحوضه شاهد ۵۳۶ درصد بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است.

برر سی داده‌های رواناب در مقیاس کرت انجام گرفت و متوسط تولید رواناب دو زیرحوضه نمونه و شاهد به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۲۷ مترمکعب محاسبه شد. بنابراین، میزان تولید رواناب در زیرحوضه شاهد ۱۳۸ درصد بیش‌تر از زیرحوضه نمونه است.

پنج واقعه حداکثر هدررفت خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می شود حداکثر هدررفت خاک در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد طی واقعه ۲ فوریه ۲۰۱۲ ثبت شده است. این واقعه حداکثر در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب مسئول ۲۳/۶ و ۵۰/۶ درصد هدررفت خاک کل دوره مورد بررسی بوده است. هم‌چنین سه واقعه حداکثر (سه واقعه از ۱۴ واقعه: حدود ۲۰ درصد کل وقایع) در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب مسئول ۷۵/۵ و ۵۵/۲ درصد هدررفت کل دوره مورد بررسی بوده‌اند.

جدول ۲ پنج واقعه حداکثر هدررفت خاک از کرت‌های مستقر در زیرحوضه نمونه

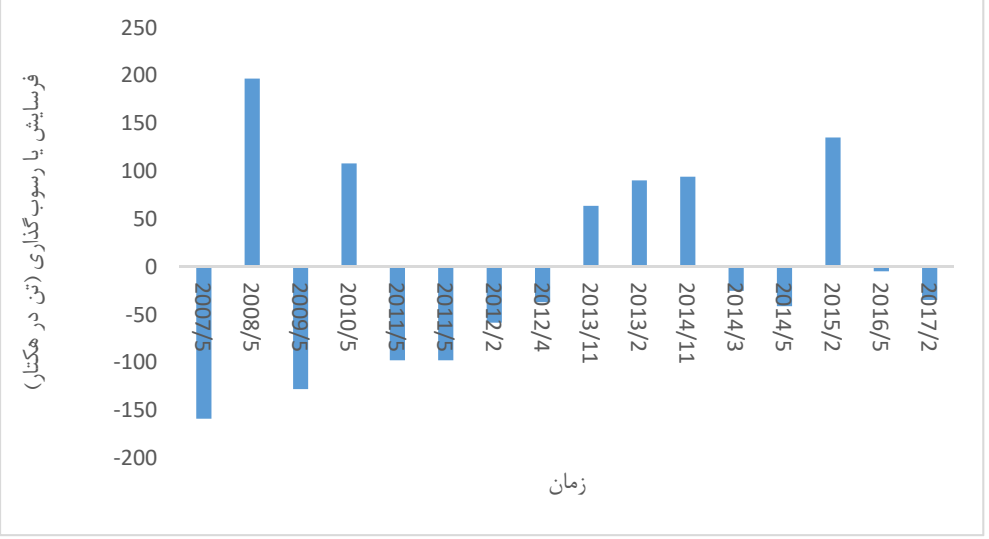
حوضه	تاریخ	میزان فرسایش ثبت شده (کیلوگرم در هکتار)	سهم نسبی فرسایش مربوطه از کل فرسایش سال مربوطه (٪)	سهم نسبی فرسایش مربوطه از کل فرسایش دوره (٪)
نمونه	۲۰۱۲/۲	۸۵/۰	۶۳/۷	۲۳/۶
	۲۰۱۴/۱۱	۷۰/۶	۶۹/۸	۱۹/۷
	۲۰۱۷/۲	۴۲/۹	۱۰۰/۰	۱۱/۹
	۲۰۱۱/۵	۳۰/۹	۱۰۰/۰	۸/۶
	۲۰۱۴/۳	۳۰/۵	۱۰۰/۰	۸/۵
شاهد	۲۰۱۲/۲/۲	۹۶۰/۰	۷۱/۱	۵۰/۶
	۲۰۱۲/۲/۲۶	۳۲۳/۰	۲۳/۹	۱۷/۰
	۲۰۱۳/۲	۱۵۰/۰	۸۸/۱	۷/۹
	۲۰۱۱/۵	۱۲۳/۰	۱۰۰/۰	۶/۵
	۲۰۱۴/۳	۱۰۵/۰	۵۸/۷	۵/۶

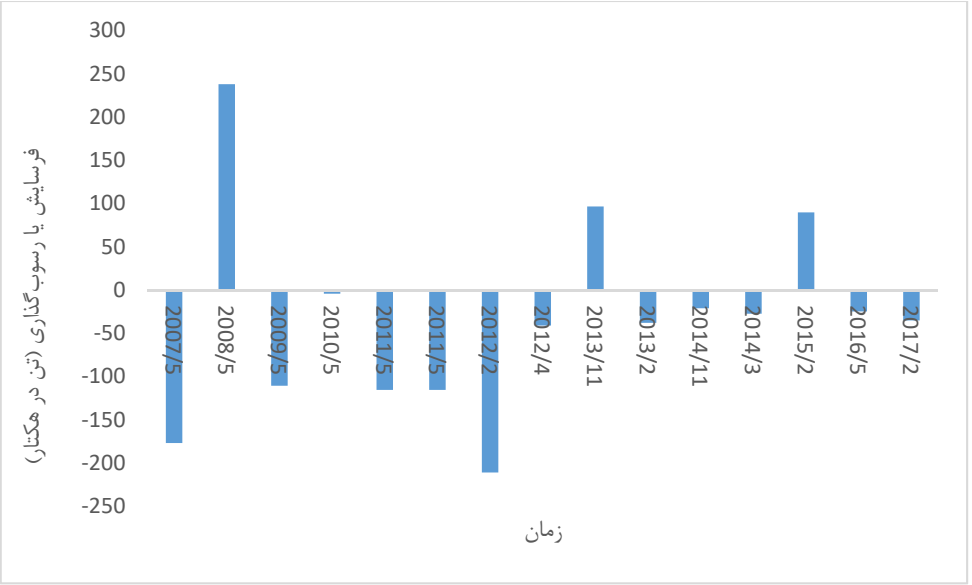
ارزیابی میخ‌های فرسایشی

طی دوره زمانی ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۷ در مجموع ۱۶ و ۱۵ ثبت داده ماهانه به‌ترتیب در حوضه‌های نمونه و شاهد گزارش شده است. شکل ۴ مقادیر فرسایش یا رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده توسط میخ‌های فرسایشی به‌ترتیب در دو زیرحوضه نمونه و شاهد را نشان می‌دهد.

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان‌دهنده میزان تغییرات بسیار زیاد سالانه مقادیر اندازه‌گیری شده با میخ‌های فرسایشی در منطقه می‌باشد. به‌گونه‌ای حداکثر میزان تغییرات ثبت شده سالانه دو زیرحوضه شاهد و نمونه به‌ترتیب ۱۹/۳ و ۱۵/۰ میلی‌متر گزارش شده است. در این زمینه، حداکثر میزان فرسایش خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۵۸/۶ و ۲۱۰/۸ تن در هکتار قابل محاسبه است. با این حال کل فرسایش دوره (مقدار تجمعی تغییرات طی ده سال محاسبه شد) در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۳ و ۳۵ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است.

در نهایت مقایسه آماری حجم، رواناب، دبی اوج آب‌نمود، زمان شروع رواناب، غلظت رسوب و حجم رسوب در حوضه‌های نمونه و شاهد انجام شد (جدول ۳) که حاکی از اختلاف معنی‌دار ۵٪ و ۱٪ به ترتیب برای رواناب و هدررفت خاک دارد.





شکل ۴ مقادیر فرسایش یا رسوب‌گذاری اندازه‌گیری شده توسط میخ‌های فرسایشی در زیرحوضه نمونه (بالا) و شاهد (پایین)

جدول ۳- مقایسه آماری حجم رواناب، هدررفت خاک اندازه‌گیری شده توسط کرت و میخ فرسایشی را نشان می‌دهد.

مولفه مورد بررسی	حوضه	میانگین	میزان تغییرات (درصد)	سطح معنی‌داری
متوسط حجم رواناب (مترمکعب)	نمونه	۰/۱۹	۴۲	پنج درصد
	شاهد	۰/۲۷		
هدررفت خاک-کرت (تن بر هکتار)	نمونه	۰/۰۵	۴۴۰	یک درصد
	شاهد	۰/۲۷		
هدررفت خاک-میخ فرسایشی (تن بر هکتار)	نمونه	۱/۳	۱۴۱	یک درصد
	شاهد	۳/۵		

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج برر سی داده‌های بارش مندرج در جدول ۱ ن شان دهنده آن ا ست که ده واقعه حداکثر بارش طی فصل زمستان در منطقه روی داده است. طی این فصل، پوشش گیاهی در حداقل مقدار خود می‌باشد و

در ابتدای رشد سالانه قرار دارد. بنابراین پوشش گیاهی ناچیز در کنار بارش‌های شدید در این فصل باعث وقوع سیلاب‌های حداکثری در زیرحوضه نمونه و شاهد شده است.

بررسی داده‌های ثبت شده در مقیاس دامنه نشان داد که چرای بیش از حد مرتع و لگدکوبی دام، تأثیر معنی‌داری بر افزایش هدررفت خاک و تولید رواناب در زیرحوضه شاهد داشته است، به‌طوری‌که در بارش‌های مشابه در منطقه، فرسایش خاک در آبخیز تحت چرا (زیرحوضه شاهد) بیش‌تر از آبخیز قرق شده (زیرحوضه نمونه) است. بر اساس گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی (۱۳۹۸) ظرفیت مراتع حوضه شاهد حدود ۷۰ واحد دامی می‌باشد درحالی که دام‌های در حال چرا در منطقه بیش از دو برابر این ظرفیت می‌باشند. در این زمینه Khaledi Darvishan و همکاران (۲۰۱۶) افزایش ۲۱/۴۳ در صدی میزان رسوب در کرت‌های تحت چرا نسبت به کرت‌های قرق شده را گزارش نمودند. در این رابطه می‌توان تأثیر قرق در کاهش رسوب را به افزایش تراکم پوشش گیاهی در اثر عدم چرای دام و بهبود وضعیت نفوذپذیری خاک به‌دلیل عدم لگدکوبی خاک توسط دام‌ها در پهنه قرق نسبت داد. این نتایج نشان می‌دهد که فرسایش خاک در مقیاس دامنه تحت تأثیر پوشش گیاهی و نحوه مدیریت و بهره‌برداری از آن است. پوشش گیاهی با کاهش سرعت رواناب، نگه داری و نفوذ مقداری از بارش، جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران، تثبیت خاک توسط ریشه‌ها، بهبود ساختمان و خصوصیات شیمیایی خاک باعث کاهش فرسایش می‌گردد (Zuazo و Pleguezuelo، ۲۰۰۹). علاوه بر این پوشش گیاهی با ایجاد زبری و تقلیل نیروی برشی رواناب موجب کاهش رشد و توسعه شیارها شده و در ترسیب مواد نقش مهمی دارند (Martinez و همکاران، ۲۰۰۶).

هم‌چنین نتایج دلالت بر تاثیرپذیری بالاتر هدررفت خاک (نسبت به تولید رواناب) از قرق مرتع دارد. حرکت دام‌ها در زیرحوضه شاهد باعث بهم‌خوردگی خاک دامنه‌های شیب‌دار می‌شود، در این حالت افزایش ذرات قابل حمل خاک در زیرحوضه شاهد، باعث تسهیل ورود و انتقال رسوب توسط رواناب می‌شود. بنابراین در حوضه تحت چرای دام، مقدار هدررفت خاک نسبت به تولید رواناب با سرعت بیش‌تری افزایش یافته است.

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان دهنده میزان تغییرات بسیار زیاد سالانه مقادیر اندازه‌گیری شده هدررفت خاک توسط میخ‌های فرسایشی در منطقه می‌باشد. به‌گونه‌ای که متوسط تغییرات سالانه دو زیرحوضه شاهد و نمونه به‌ترتیب ۸/۶ و ۷/۸ میلی‌متر برآورد شده است. حداکثر میزان تغییرات سالانه ثبت شده نیز در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۹/۳ و ۱۵/۰ میلی‌متر گزارش شده است. در این زمینه حداکثر میزان فرسایش خاک در حوضه‌های نمونه و شاهد به‌ترتیب ۱۵۸/۶ و ۲۱۰/۸ تن در هکتار گزارش شده است. نتایج این تحقیق دلالت بر آن دارد که استفاده از میخ‌های فرسایشی در حوضه زوجی کاخک گناباد در دوره‌های کوتاه مدت دارای خطای بسیار زیادی می‌باشد. پژوهش‌های

پی شین متعددی نیز اندازه‌گیری کوتاه مدت فر سایش خاک تو سط میخ‌های فر سای شی را دارای خطا دانســـته‌اند (Boardman و Favis-Mortlock، ۲۰۱۶؛ Gholami و همکاران، ۲۰۲۱). در این زمینه می‌توان بیان نمود که با توجه به دامنه فرســایش این آبخیز که کم‌تر از ۷/۵ تن در هکتار معادل کاهش ارتفاع ۰/۵ میلی‌متر (حداکثر دقت خط کش) در ســال اســت، این بازه زمانی بســیار کوتاه بوده و باعث خطا در ثبت داده‌ها می‌شود.

هم‌چنین همان‌گونه که بیان شـــد اســـاس این روش بر مبنای اندازه‌گیری تغییرات تراز ســـطح زمین می‌باشـد. بنابراین هرگونه تغییر تراز به فرسـایش خاک نسـبت داده می‌شـود. دراین زمینه بازدید انجام شده از منطقه ن شان داد که در برخی دامنه‌های حو ضه زوجی کاخک در صد سنگ و سنگ‌ریزه بالا می‌با شد و عملا با جابجایی سنگ‌ریزه‌ها مقدار بالای فر سایش یا ر سوب‌گذاری ثبت می شود. هم‌چنین در زیرحوضه شاهد، چرای دام‌ها وجود دارد و ممکن است بخشی از تغییرات تراز سطح مربوط به عوامل غیر از فرسایش آبی باشد. موارد مذکور قادرند در نتایج اندازه‌گیری هدررفت خاک در منطقه ایجاد خطا نمایند. علاوه بر این دریکوندی و همکاران (۱۳۹۷) یخ‌ردگی خاک و ذوب مجدد آن را یکی از عوامل ایجاد خطا توســـط میخ‌های فرســـایشـــی عنوان نموده‌اند. با توجه به موارد ذکر شـــده کاربرد میخ‌های فرسایشی برای اندازه گیری فرسایش سطحی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد نمی‌شود.

هم‌چنین مطابق نتایج تحقیق حا ضر، علی‌رغم تفاوت حو ضه‌های نمونه و شاهد در هدررفت خاک، تولید رواناب و ر سوب‌دهی، هر دو حو ضه از نظر نقش بسیار چ شم‌گیر وقایع حداکثری در انتقال ذرات خاک تشابه دارند. در مجموع می‌توان بیان نمود که یک تا سه واقعه فرساینده در هر دو حوضه مسئول بیش از ۸۰ درصد هدررفت خاک در دامنه‌ها و تولید رواناب و رسوب در خروجی آبخیزهای مورد مطالعه می‌با شند. در این میان واقعه ۲ فوریه ۲۰۱۲ در تمامی مولفه‌های مورد برر سی شامل هدررفت خاک از دامنه، ر سوب‌دهی آبخیز و تولید رواناب و حداکثر سیلاب در مقیاس آبخیز، بالاترین مقدار را در هر دو زیرحوضه نمونه و شاهد دارا بوده است. مطابق جدول ۱ این واقعه دارای بالاترین شدت بارش ثبت شده در منطقه مورد مطالعه را دارد. این نتایج تأکیدی بر اهمیت مقیاس رگبار در مطالعات فرســـایش خاک به‌ویژه در مناطق خشـــک و نیمه خشـــک به‌دلیل خصـــوصـــیات بارشـــی آن‌ها می‌باشـــد. در این زمینه پژوهش‌های پیشـــین نیز بر اهمیت مقیاس رگبار در مطالعه فرســـایش خاک و ســـهم بالای وقایع بارش محدود از کل فر سایش خاک و تولید ر سوب تأکید دا شته‌اند. در این رابطه هم سو با یافته‌های تحقیق حا ضر، Regues و همکاران (۲۰۰۰) در شمال شرق ا سپانیا طی ۳۵۰ رخداد بارندگی ن شان دادند که بارش‌ها با شدت زیاد عامل ا صلی فر سایش خاک منطقه ا ست به‌طوری‌که حدود ۹۰ در صد از میزان فرسایش خاک به وسیله ۲ درصد از بارش‌ها ایجاد شده است. هم‌چنین Gallart و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه نیمه خشک در اسپانیا ملاحظه نمودند که ۹۰ درصد رسوب تولیدی در حوزه آبخیز از طریق ۱۰

درصد وقایع ایجاد شده است. Fang و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده نمودند که از ۲۰۵ رویداد بارندگی-رواناب ثبت شده در منطقه مورد مطالعه ای شان، ۱۰ رویداد بزرگ‌تر به تنهایی م سئول ۸۳/۳ درصد از کل رسوب می‌باشد. Mathys و همکاران (۲۰۰۵) نیز اعلام نمودند که طی دوره مورد مطالعه سه رگبار م سئول بخش عمده‌ای از فر سایش خاک در مارن‌های مورد برر سی در فراز سه بوده ا ست. هم‌چنین Li و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی ۴۰ آبخیز مشاهده نمودند که طی پنج واقعه بارش ۵۶ درصد رسوب سالانه منتقل شده است. در نهایت Duan و همکاران (۲۰۲۰) سهم شدیدترین واقعه ثبت شد در پلات‌های کوچک (۳ در ۲/۵ متری) در منطقه پرباران Jiangxi را برابر ۴۴ در صد کل هدررفت خاک اندازه گیری شده طی ۲ سال تحقیق، گزارش نمودند. در این زمینه عرب‌خدری (۱۳۹۴) بیان می‌دارد که در مناطق معتدل به‌دلیل غلبه رویدادهای معمولی، فرسایش و تولید رسوب بیش‌تر متاثر از رویدادهای متوسط است. حال‌آن‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل اهمیت رویدادهای شدید، فرسایش و تولیدرسوب بیش‌تر از رویدادهای حداکثر تاثیر می‌پذیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی مصوب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. نگارندگان بدین وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی، به‌دلیل پشتیبانی‌های مختلف ایشان در طول انجام پژوهش، صمیمانه قدرانی می‌کنند.

منابع

- دریکوندی، م.، خالدی درویشان، ع.و. چپی، ک. ۱۳۹۷. اندازه‌گیری فرسایش خاک در بازه‌های مختلف زمانی در حوضهٔ آبخیز معرف خامسان با استفاده از میخ‌های فرسایش. اکوهیدرولوژی، ۵(۲): ۶۷۵-۶۸۵.
- سلیمانی، ف.، عرب‌خدری، م.، صامت‌زاده، آ.، رعیت پیشه، ا. (۱۴۰۰). معرفی، فرصت‌ها و چالش‌های حوضه معرف و زوجی شوش، استان خوزستان. سومین کنفرانس بین‌المللی و ششمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. اردبیل، ایران.
- عرب‌خدری، م. ۱۳۹۴. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. ۳ (۱۱): ۷-۱۵.

- عشقی زاده، م.، دستورانی، م.ت.، طالبی، ع (۱۳۹۴). مقایسهٔ بار معلق رسوب در دو زیرحوضهٔ قرق‌شده و تحت چرا در منطقهٔ کاخک گناباد. مرتع و آبخیزداری، ۶۸(۳): ۵۷۳-۵۸۸.
- نور، ح.، رجایی، س.ح.، باقریان کلات، ع.، صدیق، ر.، ۱۳۹۷. ارزیابی تاثیر مقیاس زمانی و مکانی بر رسوبدهی حوضه های کوچک در منطقه سنگانه، مجله ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲۱(۶): ۴۲-۳۷.
- Boardman, J., Favis-Mortlock, D., & Foster, I. (2015). A 13-year record of erosion on badland sites in the Karoo, South Africa. Earth Surface Processes and Landforms, 40(14), 1964-1981.
- Boardman, J., Favis-Mortlock, D., 2016. The use of erosion pins in geomorphology. Geomorphological Techniques, Chap. 3, Sec. 5.3.
- Duan, J., Yao-Jun, L., Jie, Y., Chong-Jun, T., Zhi-Hua, S. 2020. Role of groundcover management in controlling soil erosion under extreme rainfall in citrus orchards of southern China. Journal of Hydrology, 582 (2020): 124290.
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Meshesha, D.T., Aklog, D., Masunaga, T., Tsubo, M., Sultan, D., Fenta, A.A. and Yibeltal, M. 2018. Analyzing the variability of sediment yield: A case study from paired watersheds in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. Geomorphology, 303: 446-455.
- Ebling, E.D., Reichert, J.M., Peláez, J.J.Z., Rodrigues, M.F., Valente, M.L., Cavalcante, R.B.L., Reggiani, P. and Srinivasan, R., 2021. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. International Soil and Water Conservation Research, 9(2), pp.180-194.
- Fang, N.F .Z.H. Shi, B.J. Yue, L. Wang. 2013. The characteristics of extreme erosion events in a small mountainous watershed. PLoS ONE 8(10): e76610. doi:10.1371/journal.pone.0076610
- Fazli, S., & Noor, H. (2013). Storm-wise sediment yield prediction using hillslope erosion model in semi-arid abundant lands. Soil and Water Research, 8(1), 42-48.
- Gallart, F. P. Llorens, J. Latron, D. Regüés. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6(3), 527-537.
- Gholami, V., Sahour, H., & Amri, M. A. H. (2021). Soil erosion modeling using erosion pins and artificial neural networks. Catena, 196, 104902.
- Khaledi Darvishan, A. L. Gholami, J.H. Ghorghi, V. Spalević, A.K. Kord, H.M. Amini. 2016. Effect of exclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots. Agrofor International Journal, 1(1): 49-57.
- Khorasan Razavi Department of Natural Resources and Watershed management Asistance of Watershed management. 2020. Production of data and information, monitor and operation management Khakhk of reference and paired watershed. 217 pp (in Persian).
- Li, Zh. X. Xianli, Z. Jingxuan, X. Chaohao, W. Kelin. 2020. The contributions of the largest erosive events to sediment yields in karst catchments. Water Resources Research, doi.org/10.1029/2019WR025839.

- Mathys, N. S. Klotz, M. Esteves, L .Descroix, J.M. Lapetite. 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. Catena. 63(2), 261-281.
- Noor, H., Vafakhah, M., & Mohammady, M. (2016). Comparison of different targeting methods for watershed management practices implementation in Taleghan dam watershed, Iran. Water Science and Technology: Water Supply, 16(6), 1484-1496.
- Organization of Forests and Rangelands and Watershed Management, 2020. Production of data and information, monitor and operation management Khakhk of reference and paired watershed, 234 p (in Persian)..
- Regues, D. J.C. Balasch, X. Castelltort, M. Soler, F. Gallart. 2000. Relaciones entre lastendencias temporalis de producción y transporte de sedimentos y las condiciones climáticas, en una pequeña cuenca de montaña Mediterránea (Vallcebre, Pirineos orientales). Cuadernos de Investigación Geográfica, 26: 41–65.
- Zuazo, V.H.D., Pleguezuelo, C.R.R. 2009. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. Sustainable agriculture, pp.785-811.

کاربرد فتوگرامتری در ارزیابی فرسایش خاک

زهرا گرامی[*۱]

[*۱]-پژوهشگر پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، (gerami_z@scwmri.ac.ir)

چکیده

فرسایش خاک از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی کشورهای درحال‌توسعه از جمله ایران است. با وجود سابقه‌ی طولانی مطالعات فرسایش و رسوب در ایران اختلافات زیادی در برآوردهای فرسایش و رسوب دیده‌می‌شود که نیاز به روش های سریع برای تعیین فرسایش و کمی کردن آن به کمک تغییرات توپوگرافی سطح زمین و تولید مدل رقومی ارتفاع ضروری است که امروزه از روش های فتوگرامتری بهره گرفته شده است. این مطالعه ۲۰ عدد مقاله را بررسی کرده است که نتایج بررسی مطالعات نشان می دهد بسته به میزان سطح مورد مطالعه از فتوگرامتری برد کوتاه یا بلند می‌توان استفاده کرد. با تهیه مدل رقومی ارتفاع به کمک روش های فتوگرامتری، می توان فرسایش خاک را کمی کرد و برای مدیریت اراضی کشاورزی و منابع طبیعی و برنامه ریزی جهت حفاظت از خاک بهره جست.

واژه‌های کلیدی:

فرسایش خاک، فتوگرامتری، توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع

مقدمه

فرسایش خاک پدیده طبیعی است که به شدت منابع خاک و پایداری کشاورزی را تهدید می‌کند و با وجود تحقیقات و تلاش‌های بسیار برای کاهش میزان فرسایش در دهه‌های گذشته این مشکل همچنان ادامه دارد (Govers و همکاران، ۲۰۱۷). اگرچه این تلاش‌ها تا حدی نیز موفقیت‌آمیز بوده، همچنان میزان فرسایش در بسیاری از زمین‌های کشاورزی بالا است و این به دلیل فقدان انگیزه‌های اقتصادی کشاورزان برای حفظ منابع خاک به‌عنوان میراث نسل‌های آینده است (FAO and ITPS، ۲۰۱۵). فرسایش خاک فرایندی است که باعث آسیب‌هایی در محل وقوع فرسایش از قبیل کاهش کیفیت خاک، حاصلخیزی و سطح زیر کشت و همچنین باعث ایجاد اثرات نامطلوب و قابل‌توجه مرتبط با رسوب تولیدی در خارج از محل وقوع فرسایش (Poesen، ۲۰۱۸) مانند رسوب‌گرفتگی زمین‌های کشاورزی، رسوب‌گذاری در مخازن ذخیره آب، شکوفایی جلبک‌ها و تشدید اثرات سیلاب‌ها (FAO and ITPS، ۲۰۱۵) می‌شود. بنابراین آگاهی از میزان فرسایش، رسوبدهی و پیش‌بینی آن‌ها و همچنین شناسایی مناطق مستعد تولید فرسایش و رسوب ضروری است.

فرسایش آبی مهم‌ترین عامل تخریب خاک در اراضی کشاورزی و منابع طبیعی است که در اثر فرایندهای فرسایشی مشتمل بر برخورد قطرات باران و رواناب سطحی رخ می‌دهد. فرسایش هر ساله علاوه بر خسارات اقتصادی درون عرصه (مستقیم) که باعث افزایش هزینه‌های تولید و کاهش سطح تولید می شود، باعث خسارات بیرون عرصه (غیرمستقیم) نا شی از رسوب‌گذاری نیز می‌گردد. بر این اساس، کمی کردن فرسایش خاک و عوامل مؤثر در آن، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های اساسی در مدیریت و حفاظت خاک، به‌منظور نیل به تولید پایدار کشاورزی است. اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش خاک و تحویل رسوب در مقیاس بزرگ دشوار، زمان‌بر و هزینه‌بر است. لذا، جهت برنامه‌ریزی برای مقابله با فرسایش خاک نیاز به برآورد آن با یک مدل مناسب فرسایشی و یا اندازه گیری آن با کمک مدل رقومی ارتفاع از طریق فتوگرامتری است.

فتوگرامتری، هنر، علم و فناوری به دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد در مورد اشیاء فیزیکی و محیط از طریق فرایندهای ثبت، اندازه گیری و تفسیر تصاویر عکاسی و الگوهای ثبت شده انرژی الکترومغناطیسی تابشی و سایر پدیده ها است (Wolf and Dewitt، ۲۰۰۰؛ McGlone، ۲۰۰۴).). فتوگرامتری تقریباً به قدمت خود عکاسی است. از زمان توسعه آن که تقریباً ۱۵۰ سال پیش است، فتوگرامتری از یک تکنیک مکانیکی نوری صرفاً آنالوگ به روش های تحلیلی مبتنی بر حل الگوریتم های ریاضی به کمک رایانه و در نهایت به فتوگرامتری دیجیتال یا کپی نرم افزاری مبتنی بر تصاویر دیجیتال و بینایی رایانه ای منتقل شده است. سخت افزار اپتومکانیکی فتوگرامتری در درجه اول به اندازه گیری دقیق اجسام سه بعدی و ویژگی های زمین از عکس های دو بعدی مربوط می شود. کاربردهای فتوگرامتری شامل اندازه گیری مختصات، تعیین کمیت فواصل، ارتفاعات، مساحت ها و حجم ها، تهیه نقشه های توپوگرافی؛ و تولید مدل‌های رقومی ارتفاعی و عکس‌های ارتو است (Aber و همکاران، ۲۰۱۰).

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت بررسی و گرداوری تحقیقات گذشته است که از تعداد ۲۰ مقاله علمی پژوهشی داخلی و خارجی منتشر شده در مجلات معتبر استفاده شده است.

نتایج و بحث

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده توسط سازمان خواروبار جهانی متوسط نرخ فرسایش در جهان بین ۱۲ تا ۱۵ تن در هکتار در سال و بیشتر از نرخ تشکیل خاک است. ازاین‌رو، یک تهدید جهانی درازمدت برای خاک ایجاد می‌کند که با در نظر گرفتن میانه کاهش تولید، سالانه ۰/۳ درصد از تولیدات کشاورزی برای دوره‌ی ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ کاهش پیدا می‌کند. نرخ فرسایش آبی در اراضی زراعی بسیار

بالا و بیشتر از ۲۰ تن در هکتار در سال است. به‌رغم ضررهای فرسایش، در برخی مناطق، ترسیب خاک فرسایش‌یافته در حاشیه رودخانه‌های سیلابی و دلتاها، مناطقی با حاصلخیزی بالا و پایدار ایجاد می‌کند (FAO and ITPS، ۲۰۱۵).

فرسایش خاک از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران است. باوجود سابقه‌ی طولانی مطالعات فرسایش و رسوب در ایران اختلافات زیادی در برآوردهای فرسایش و رسوب دیده‌می‌شود. بااین‌حال، عرب‌خدری (۱۳۹۳) با جمع‌بندی داده‌های موجود، شامل نتایج استفاده از مدل‌ها در سطح ملی، مقادیر اندازه‌گیری شده در کرت‌ها، بار معلق در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، تخمین فرسایش به کمک سزیم ۱۳۷، نسبت بارکف به معلق و درنهایت منشأیابی رسوب در حوضه‌های منتخب، مقادیر فرسایش و رسوب‌دهی معلق ویژه سطح کشور را به‌ترتیب حدود دو و شش تن در هکتار در سال گزارش کرد. با این وجود برای تعیین میزان فرسایش خاک نیاز به استفاده تغییرات توپوگرافی سطح زمین و تولید مدل رقومی ارتفاع است.

مدل رقومی ارتفاع[۴۳] یک شبکه‌ی رستر[۴۴] بوده که مقادیر آن بیانگر ارتفاع عوارض طبیعی سطح زمین است. مدل رقومی زمین[۴۵] مدل سه‌بعدی از سطح زمین بوده و حاوی داده‌های طول، عرض و ارتفاع سطح یک منطقه و علاوه بر ارتفاع سطح، شامل عوارض طبیعی مانند خط رأس‌ها و رودخانه‌ها را نیز می‌شود. مدل رقومی سطح، لایه‌ای رستری است که ارزش هر پیکسل[۴۶] آن برابر با ارتفاع عوارض طبیعی و انسانی است.

تعیین وضعیت توپوگرافی با استفاده از تهیه مدل رقومی ارتفاع در مقیاس‌های حوزه آبخیز، دامنه، کرت صحرایی و آزمایشگاهی، با تجهیزات مختلفی صورت می‌گیرد (Florinsky، ۲۰۱۶) که در مقیاس حوزه آبخیز از تصاویر ماهواره‌ای و مجموعه داده‌های توپوگرافی با وضوح بالا به کمک لیزر اسکن هوایی[۴۷] متصل به هواپیما و یا پهپاد استفاده می‌شود. وضعیت توپوگرافی در مقیاس دامنه و زیرحوزه آبخیز نیز با تکنیک اسکن لیزری زمینی[۴۸] یا فتوگرامتری دیجیتال مبتنی بر پهپاد با استفاده از الگوریتم‌های ساختار حرکت مبنا[۴۹] برای پردازش تصاویر پهپاد به‌کار می‌رود، به‌دست می‌آید (Heckmann و همکاران، ۲۰۱۸). مقیاس کوچک در اندازه کرت صحرایی یا آزمایشگاهی، داده‌های میکروتوپوگرافی سطحی خاک با

---

43 Digital Elevation Model
44 Raster
45 Digital Terrain Model
46 Pixel
47 Light Detection and Ranging (LiDAR)
48 Terrestrial Laser Scanning (TLS)
49 Structure-from-Motion (SfM)

تکنیک‌های تماسی و غیرتماسی تهیه می‌شود (Balaguer-Puig و همکاران، ۲۰۱۷). تکنیک‌های تماسی به ابزارهای خاصی مانند زنجیر (Saleh، ۱۹۹۳) یا پین‌متر (Jester and Klik، ۲۰۰۵) نیاز دارند و تکنیک‌های غیرتماسی به استفاده از نوعی دستگاه الکترونیکی بستگی دارند که شامل فتوگرامتری (Hohle، ۲۰۰۹)، انواع اسکنرهای لیزری (Favey و همکاران، ۲۰۰۳) و پروفیل‌مترهای لیزری (Bertuzzi و همکاران، ۱۹۹۰) می‌شوند که بسته به امکانات در دسترس و مقیاس مورد نظر برای بررسی توپوگرافی یکی از روش‌های ذکر شده انتخاب می‌شود که امروزه استفاده از روش‌های فتوگرامتری (Laburda و همکاران، ۲۰۲۱) و LiDAR (Turley و همکاران، ۲۰۲۱) گسترش قابل توجهی پیدا کرده است.

بررسی سوابق مطالعات، نشان می‌دهد که ارزیابی فرسایش خاک به مقیاس مکانی وابسته است. مقیاس مکانی از دو جنبه‌ی وضوح مکانی و منطقه‌ی مرجعی که برای آن که ارزیابی فرسایش خاک محاسبه می‌شود، بررسی‌شده است. وضوح مکانی این واقعیت را نشان می‌دهد که برخی فاکتورهای که ارزیابی فرسایش خاک از طریق شبکه‌ی داده‌های زمینی (Geodata Grided) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) محاسبه می‌شوند که دارای ویژگی‌های توپوگرافی مانند ارتفاع است که امکان استخراج ویژگی-های زمین را دارند و به ویژگی‌های اولیه و ثانویه تقسیم شود. ویژگی‌های اولیه شامل شیب، جهت، انحنا، شاخص توپوگرافی، حوزه‌آبخیز و شبکه زهکشی است که می‌توان مستقیماً از DEM استخراج کرد (Mukherjee و همکاران، ۲۰۱۳) ویژگی‌های ثانویه شامل ترکیبی از ویژگی‌های اصلی مانند تابش خورشید، شاخص رطوبت، شاخص حمل و نقل رسوب و سایر موارد است. از این ویژگی‌ها می‌توان برای توصیف تغییرپذیری مکانی فرایندهای دامنه‌ای استفاده کرد (Sena و همکاران، ۲۰۲۰) که منابع مهمی برای تعیین که ارزیابی فرسایش خاک از طریق الگوریتم‌های مسیریابی جریان هستند (Heckmann و همکاران، ۲۰۱۸).

توسعه روش‌های تولید مدل رقومی ارتفاع منجر به ابداع ابزار و نرم افزارهایی برای شناسایی و تعیین کمیت ویژگی‌های مرتبط با توپوگرافی شده است که اخیرا توجه ویژه ای به روش‌های فتوگرامتری شده است. کاربردهای فتوگرامتری برای تحقیقات محیطی از تکامل مداوم و سریع حسگرها و روش‌شناسی در این زمینه بهره می‌برد. پشتیبانی از ابزارهای فتوگرامتری برای طیف وسیعی از فعالیت‌های تحقیقاتی قبلاً به رشته‌های ژئوماتیک و روش‌های کاملاً مبتنی بر فتوگرامتری هوایی زمینی یا سنتی محدود می‌شد. با این حال، بررسی به‌موقع پدیده‌های طبیعی یا انسانی نیازمند ابزارهای انعطاف‌پذیرتر و توانایی زمین‌شناسان و محققان درگیر در مطالعه منابع طبیعی برای بهره‌برداری از روش‌های فتوگرامتری به شیوه‌ای انعطاف‌پذیرتر بود (Mancini و Salvini، ۲۰۱۹). در دهه گذشته، فرصت‌های جدیدی از امکان به دست آوردن تصاویر با استفاده از دوربین‌های غیرمتریک کم‌هزینه از وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین

در ارتفاع پایین (پهپاد)، یا مکان‌های ثابت در بررسی‌های زمینی، با استراتژی پردازش بسیار خودکار متوالی به دست آمد. به عنوان مثال، تعداد زیادی از مقالات در مقالات علمی اخیر به ساختاری از فناوری حرکت (SfM) در بازسازی ویژگی‌های سه‌بعدی در وضوح‌های مکانی و زمانی بسیار بالا و با دقت موقعیتی شگفت‌آوری بالا اشاره می‌کنند. ابرهای نقطه‌ای به‌دست‌آمده از بهترین شیوه‌ها در رویکردهای جدید فتوگرامتری با برد نزدیک، وضوح فضایی و دقت آن‌هایی را که توسط اسکن لیزری زمینی ارائه می‌شوند سازگاری دارند و اغلب، فتوگرامتری و اسکن لیزری برای افزایش کیفیت یکدیگر ترکیب می‌شوند. در مطالعات مختلف از باندها و تصاویر مختلف و همچنین نرم‌افزارهای متفاوتی برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود اما جمع بندی خاصی برای روش‌هایی ثابت انجام نشده است.

فتوگرامتری دارای مزایا و معایبی است که به چند مورد آن اشاره می‌شود. از مزایای آن می‌توان به سرعت در برداشت داده، تصویربرداری از مناطق دور افتاده و دور از دسترس، در تماس نبودن با سطح زمین و آسیب و برهم نزدن زمین، دقت و صحت بالا در تعیین اندازه عارضه های کوچک و بزرگ است و از معایب آن می‌توان به اثر ارتفاع پرواز و ارتفاع سنجنده بر دقت و صحت تصاویر، اثر باد، مه و ابر بر کیفیت تصاویر، عدم امکان تصویربرداری از عارضه های پیوشیده شده توسط اشیا انسان ساخت، اشاره کرد.

با این حال، تعداد محدودی از مقالات بر روی فرایندهای در حال توسعه فرسایش و ارزیابی‌های دینامیکی متمرکز شده‌اند یا در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده از بررسی‌های فتوگرامتری منفرد یا مکرر با طراحی دقیق زمان‌بندی بررسی‌ها استفاده می‌شوند. موضوع ویژه برای تحقیقات از جمله موارد جدید و پیشرفت در استفاده از رویکردهای فتوگرامتری اخیر در طیف وسیعی از مطالعات برای برآورد فرسایش خاک و بررسی منابع طبیعی، شامل فتوگرامتری برای نظارت اراضی، فتوگرامتری پهپاد برای تحقیقات محیطی؛ فتوگرامتری برای پیشگیری و مدیریت فرسایش؛ فتوگرامتری برای نقشه برداری فوری؛ ادغام داده های موثر در فرسایش است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فن آوری های جدید، روش های رقومی و سریع برای تعیین فرسایش و کمی کردن آن ضروری هستند که امروزه از روش های فتوگرامتری برد کوتاه یا بلند می توان استفاده کرد. این روش نسبت به روش‌های دیگر تعیین و کمی کردن فرسایش خاک مانند پین، پلات و مدل‌های تجربی و فرایندی مختلف، مزایایی متعددی شامل سرعت در برداشت داده، تصویربرداری از مناطق دور افتاده و دور از دسترس، در تماس نبودن با سطح زمین و آسیب و برهم نزدن زمین، دقت و صحت بالا در تعیین اندازه عارضه های کوچک و بزرگ، دارد که استفاده از فتوگرامتری برای کمی کردن فرسایش خاک را توجیه می‌کند. از آنجایی که با تهیه مدل رقومی ارتفاع به کمک روش های فتوگرامتری و تصاویر رقومی می

توان فرسایش خاک را کمی کرد و برای مدیریت اراضی کشاورزی و منابع طبیعی و برنامه ریزی جهت حفاظت از خاک بهره جست و با توجه به کارهای محدود انجام شده، ضرورت دارد که تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود.

منابع

- عرب‌خدری، م. (۱۳۹۳). مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۲(۴): ۲۳-۳۰.
- FAO and ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Aber, J. S., Marzolff, I., & Ries, J. B. (2010). Photogrammetry. Small-Format Aerial Photography, 23–39.
- Mancini, F., & Salvini, R. (2019). Applications of Photogrammetry for Environmental Research. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(12), 542.
- McGlone, J.C. (ed.) 2004. Manual of photogrammetry. 5th edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, United States, 1151 p.
- Govers, G., Merckx, R., Wesemael, B. and Oost, K.V. (2017). Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. SOIL. 3:45–59.
- Poesen, J. (2018). Soil erosion in the anthropocene: research needs. Earth Surface Processes and Landforms. 43: 64-84.
- Florinsky, I.V. (2016). Digital Elevation Models. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 77–108.
- Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., Smetanova, A., Vericat, D. and Brardinoni, F. (2018). Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. Earth-Science Reviews. 187: 77–108.
- Balaguer-Puig, M., Marques-Mateu, A., LuisLerma, J. and Ibanez-Asensio, S. (2017). Estimation of small-scale soil erosion in laboratory experiments with structure from motion photogrammetry. Geomorphology. 295: 285-296.
- Saleh, A. (1993). Soil roughness measurement: Chain method. Journal of Soil and Water Conservation. 48(6): 527-529.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. 2000. Elements of photogrammetry with applications in GIS. McGraw Hill, Boston, 608 p.
- Jester, W. and Klik, A. (2005). Soil surface roughness measurement—methods, applicability, and surface representation. Catena, 64(2-3). 174–192.
- Hohle, J. (2009). DEM generation using a digital large format frame camera. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 75(1): 87-93.
- Favey, E., Geiger, A., Gudmundsson, G.H. and Wehr, A. (2003). Evaluating the potential of an airborne laser-scanning system for measuring volume changes of glaciers. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 81(4): 555-561.

- Bertuzzi, P., Rauws, G. and Courault, D. (1990). Testing roughness indices to estimate soil surface roughness changes due to simulated rainfall. Soil and Tillage Research. 17: 87-99.
- Laburda, T., Krasa, J., Zumr, D., Devaty, J., Vrana, M., Zambon, N., Johannsen, L.L., Klik, A., Strauss, P. and Dostal, T. (2021). SfM-MVS Photogrammetry for Splash Erosion Monitoring under Natural Rainfall. Earth Surface Processes and Landforms. 46(5): 1067–1082.
- Turley, M., Hassan, M.A. and Slaymaker, O. (2021). Quantifying sediment connectivity: Moving toward a holistic assessment through a mixed methods approach. Earth Surface Processes and Landforms. 46(12): 2501-2519.
- Mukherjee, S., Mukherjee, S., Garg, R.D., Bhardwaj, A. and Raju, P.L.N., 2013. Evaluation of topographic index in relation to terrain roughness and DEM grid spacing. Journal of Earth System Science, 122(3): 869-886.
- Sena, N.C., Veloso, G.V., Fernandes-Filho, E.I., Francelino, M.R. and Schaefer, C.E. 2020. Analysis of terrain attributes in different spatial resolutions for digital soil mapping application in southeastern Brazil. Geoderma Regional, 21, e00268.

مقایسه شاخص‌های NDVI ، NDBSI و MNDWI در تشخیص خاک لخت

هانیه باقری، زهرا عزیزی*، بهناز قادری

گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران zazizi@srbiau.ac.ir

چکیده

بیابانزایی به عنوان یک تهدید جدی برای مناطق خشک و نیمه خشک در جهان محسوب می‌شود، پایش و کنترل بر روند تغییرات آن از اقدامات مهم می‌باشد. سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره یکی از روشهای مقرون به صرفه و در دسترس، برای نظارت بر تغییرات و پایش مناطق دارای خاک لخت می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، شاخص آب (MNDWI) و شاخص خاک برهنه NDBSI اقدام به ارزیابی و تحلیل بیابانزایی در بخشی از شهر شباب در استان ایلام شده است. ابتدا از سایت زمین شناسی USGS تصویر لندست ۸ محصول OLI مناسب منطقه در سال ۲۰۱۸ اخذ گردید سپس تصحیحات لازم پیش پردازش رادیومتریکی و اتمسفری انجام شد. بعد از انجام تصحیحات لازم، پوشش گیاهی براساس ارزش عددی مقادیر پیکسل‌ها به ۵ طبقه کلاس بندی شد سپس براساس شاخص NDBSI طبقات خاک لخت جدا سازی و تفسیر بصری شد در آخر با استفاده از شاخص MNDWI نیز پهنه‌های آبی و خشکی تشخیص داده و با ارزش عددی مقادیر پیکسل‌ها خاک برهنه و پهنه‌های آبی به ۴ کلاس طبقه بندی گردید. بر این اساس مناطق بایر تشخیص داده و نتایج نشان داد مناطق دارای خشکی بسیار به روشنترین رنگ و بیشترین ارزش عددی را به خود اختصاص داده و حداکثر مقدار آن در جنوب و شمال غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

واژه‌های کلیدی:

خاک لخت، شاخص NDVI، NDBSI، کلاس بندی

مقدمه

ایران کشوری است که در اقلیم خشک و نیمه خشک و مساحتی حدود ۱۰۵ میلیون هکتار حدود ۶۵ درصد از کشور را این اقلیم شامل میشود متوسط بارش در کشور ۲۲۴ تا ۲۷۵ میلیمتر در سال و حدود یک سوم میانگین بارندگی خشکی های جهان است (فاضل دهکردی و همکاران، ۱۳۹۵)

سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای به طور گسترده برای نظارت بر زمین و تغییرات محیطی، از جمله گسترش شهری، جنگل زدایی، اثرات تغییرات آب و هوایی، آسیب آتش سوزی، استفاده شده است. در حال حاضر، ماهواره‌های متنوعی با وضوح بالا وجود دارد که به طور مثبت از مطالعات شهری پشتیبانی می‌کنند، تغییرات بی سابقه پوشش زمین در سرعت، وسعت و گستردگی فضایی طی چند دهه گذشته رخ داده است سلامت اکوسیستم، بقا و توسعه را تهدید می‌کند. خاک برهنه، با اشاره به خاک در معرض پوشش بدون گیاهان یا پوشش ساختمان در سطح زمین، یکی از اجزای بیوفیزیکی اساسی پوشش زمین است. خاک لخت نقش مهمی در اکوسیستم منطقه ایفا می‌کند، تغییرات مکانی و زمانی آن معمولاً به عنوان سیگنالی از گسترش شهری در نظر گرفته می شود بنابراین، برآورد دقیق خاک لخت، به ویژه در مناطق شهری و روستایی با فعالیت‌های انسانی رایج، به درک در مورد اثرات اکولوژیکی، زیست محیطی بر شهرنشینی می‌رساند. اخیراً، فناوری سنجش از دور به طور گسترده‌ای در نظارت بر خاک برهنه در مناطق وسیع، با توجه به ارائه دسترسی به موقع و پویا به داده‌های عظیم استفاده شده است(اسلامی هروان و همکاران، ۱۴۰۱).

راشد و همکاران ابزار ممکنی برای شناسایی خاک لخت ارائه کردند. با این حال، این روش‌ها معمولاً پیچیده، حساس به محاسبه، و به شدت به کیفیت و کمیت نمونه‌ها وابسته هستند. برخلاف روش‌های فوق، یک شاخص طیفی از نظر سادگی، راحتی و عملی بودن مزایای بیشتری دارد. شاخص‌های طیفی متعددی به طور موفقیت آمیزی برای نظارت بر تغییرات پوشش زمین به کار گرفته شده است، به عنوان مثال، شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) برای پوشش گیاهی، شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI)برای آب و شاخص سطح غیرقابل نفوذ نرمال شده (NDISI) برای سطح غیرقابل نفوذ بوده است. با این حال به دلایل مختلف، هیچ شاخص خاک به طور گسترده‌ای شناخته شده نیست. طیفی خاک به طور مستقیم با خواص آن مرتبط است، که تنوع مکانی و زمانی شدیدی را نشان دادند. تغییر شرایط محیطی، جدا کردن خاک برهنه از سطوح غیرقابل نفوذ دشوار است، زیرا ویژگی‌های طیفی آنها مشابه هستند. در حال حاضر، شاخص خاک برهنه (BI) با اطلاعات مادون قرمز متوسط، رابطه متقابل بالا بین وضعیت خاک لخت و وضعیت پوشش گیاهی فرموله شده است (BI) برای تقویت خاک لخت در پوشش جنگلی طراحی شده است، در حالی که سطوح غیر قابل نفوذ به خوبی در نظر گرفته نمی‌شوند. نسبت شاخص تفاوت نرمال شده خاک (RNDISI) یک رویکرد تجربی برای افزایش اطلاعات خاک در مناطق شهری و حومه شهری ارائه می‌دهد. با این حال RNDISI فاقد معنای فیزیکی مورد نیاز برای جداسازی خاک از سایر پوشش‌های زمین است. شاخص نسبت برای خاک روش (RIBS) و بازخورد تولید برای خاک روشن (RIBS) و شاخص محصول برای خاک تیره

(PIDS)بر ا ساس مدل رو شنایی- تاریکی- سبزی ایجاد می شود. با این وجود، تعریف خاک رو شن و تیره روشن نبود که باعث ایجاد مشکل در انتخاب RIBS یا PIDS شد.

با عقیده و همکاران در سال ۱۳۹۰ برای شناسایی شاخص جایگزین به جای شاخص‌های اقلیمی ارزیابی و پایش خ شکسالی‌ها، آمار بارش ماهانه دوره ر شد مارس تا سپتامبر) ایستگاه‌های هوا شنا سی ا ستان اصفهان و تصاویر ماهواره NOAA در دوره ی آماری ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ تهیه و پردازش شدند. از آمار بارش شاخص SPI و از تصاویر ماهواره‌های شاخص NDVI محا سبه و ا ستخراج شدند نواحی پو شش گیاهی استان از روی نقشه کاربری، اراضی به صورت مراتع غنی، متوسط، و فقیر تعیین شدند. در بین دوره‌های زمانی مختلف، شاخص SPI دوره زمانی سه ماهه، همبستگی بالایی نشان داد و بقیه محا سبات برا ساس این دوره زمانی محا سبه شد. نتایج تحقیق ن شان داد که در همه ای ستگاه‌ها و کل ا ستان مقدار شاخص‌ها در ماه‌های بهار، یعنی مارس بالا بود و در ماه‌های تابستان از مقدار آنها کا سته شد در سطح استان اندازه شاخص‌ها در مراتع غنی بالا و در مراتع فقیر کاهش نشان می‌دهد همبستگی بین شاخص‌ها نیز در همه ایستگاه‌ها قابل قبول بود، این مساله نشان داد شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها با شد ارزش این شاخص در مناطقی که داده‌های هوا شنا سی ب سیار پراکنده ه ستند و یا سری زمانی مرتب و مداوم ندارند بسیار بالا است(Liu, 2022).

فرامرزی و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعاتی انجام داده‌اند این مطالعه ابتدا با هدف بررسی رابطه بین تفاوت نرمال شده انجام شد شاخص گیاهی (NDVI) و ویژگی‌های پو شش گیاهی (پو شش گیاهی، خاک لخت، بستر فراوانی و مقدار زیست توده) و سپس تغییر رنگ گیاهی با استفاده ازNDVI در مراتع نیمه خشک غرب ایران انجام شده است. داده‌های زمینی برای جمع آوری شد دقت شاخص NDVI بدین منظور ۱۴ واحد به صورت تصادفی انتخاب شدند مجموعه‌ای از ویژگی‌های گیاهی از جمله زیست توده، پوشش گیاهی، بستر و برهنه خاک سپس، همبستگی بین پیکسل دیجیتال و واحدهای نمونه گیری انجام شد تحلیل و تحلیل کرد. نتایج نشان داد که NDVI با تمام پوشش گیاهی همب ستگی بالا دارد ویژگی‌های بی شترین همب ستگی مربوط به پو شش گیاهی (۰/۸۴) بود. بنابراین، با تغییرات پوشش گیاهی، نقشه های NDVI در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ ایجاد شدند. نتایج ن شان داد که میزان کلاس ۱ (پو شش گیاهی ب سیار ضعیف) از۰,۲۷ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۶ به ۱۲,۸۹ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۳ و همچنین کلاس ۴ و ۵ (خوب و ب سیار خوب) پو شش گیاهی به ترتیب حدود ۲۷,۸ و ۳۷,۷ درصد کاهش یافت. رابطه بین بارش و دما با NDVI برای ارزیابی مورد برر سی قرار گرفت برر سی NDVI به این مرکزها نتایج ن شان داد که مقدار بارندگی در بازه‌های زمانی مورد مطالعه کاهش یافت.

فاضل دهکردی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به منظور شناسایی شاخص مناسب برای ارزیابی و پایش خشکسالی اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان ایلام از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و تصاویر ماهواره MODIS با فاصله زمانی ۱۶ روزه تهیه و پردازش شد. محاسبه SPI بر اساس میزان بارش انجام گردید بنابراین اطلاعات بارش برای محاسبه این شاخص و تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه NDVI بکار گرفته شد. همچنین اطلاعات در صد تاج پوشش در تیپ‌های مرتعی انتخاب شده از بین سایت های مورد مطالعه در طرح ملی ارزیابی مراتع در مناطق مختلف آب و هوایی" استخراج گردید سپس به بررسی همبستگی بین SPI با NDVI و همچنین تاج پوشش گیاهی و شاخص ماهواره‌ای پرداخته شد. روابط بین دو شاخص پوشش گیاهی و خشکسالی هواشناسی از طریق رابطه رگرسیونی مشخص شد. نتایج حاصل از محاسبه سالانه شاخص بارش استاندارد شده خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۰ و تر سالی متوسط در سال ۲۰۰۶ را در مراتع مورد مطالعه استان ایلام نشان داد. نوسان‌های مقادیر شاخص NDVI نیز این مطلب را تأیید کرد نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و فرم رویشی پهن برگان و گندمیان یکساله است. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین SPI و NDVI در بازه زمانی مختلف مبین آن است که SPI در دوره زمانی سه و شش ماهه با شاخص NDVI در سطح یک در صد همبستگی دارد. بررسی میزان کارایی مدل‌های رگرسیونی مدل در بازه زمانی سه و شش ماهه را برای پایش خشکسالی مناسب نشان داد. نتایج حاصل از رگرسیون بین شاخص‌ها بیانگر این مطلب است که NDVI معیار مناسبی برای ارزیابی و پایش خشکسالی است.

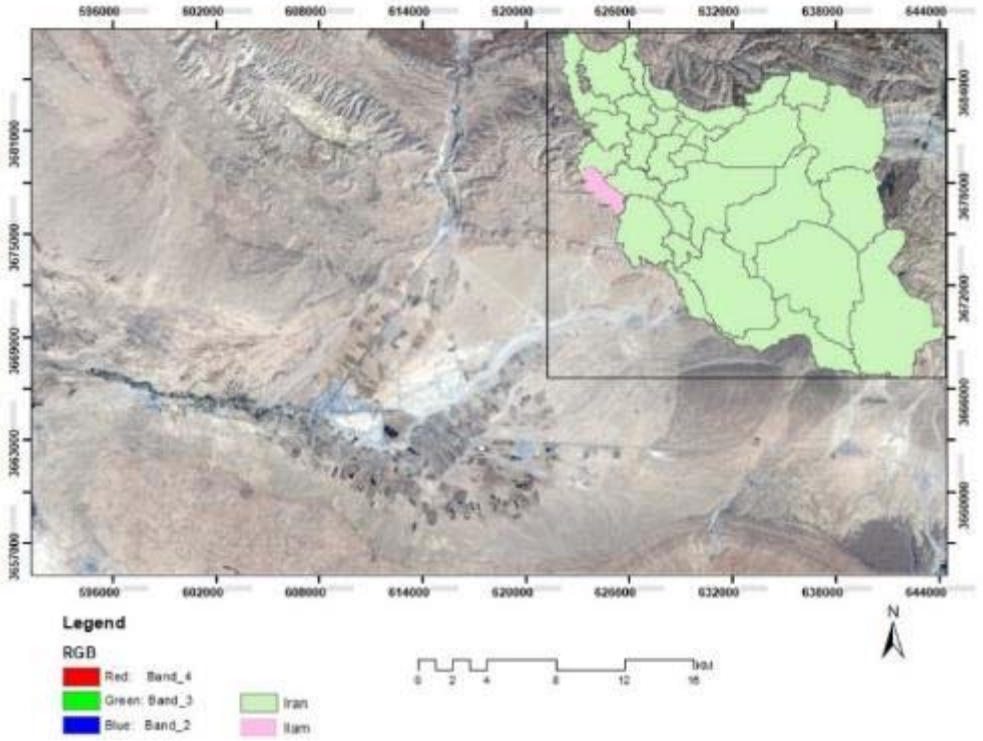
در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ محصول OLI استفاده شد و سعی بر این بوده است که در ابتدا مناطق دارای پوشش گیاهی را شناسایی و مناطق بیابانی و دارای خاک لخت شهر شباب در استان ایلام را با شاخص‌های طیفی بدست آورده سپس طبقات را با رنگ‌های مختلف نمایش داده در نهایت مقایسه بین شاخص‌ها جهت شناسایی انجام گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

شهر شباب در قلب رشته کوه زاگرس و شهرستان چرداول قرار گرفته، و دارای همه زیبایی‌ها و دل انگیزهای این رشته کوه است به همین سبب آن را «عروس زاگرس» می‌شناسند در این استان شهرستان بزرگ و کهن وجود دارد که شهر شباب را باید عروس همه زیبایی‌ها و جذابیت‌های طبیعت، در واقع نگین طبیعت آن دانست شهر شباب در نزدیکی شهر ایلام در استان ایلام است و فاصله آن تا شهر ایلام نزدیک به ۴۶ کیلومتر است و در مختصات جغرافیایی، عرض جغرافیایی ۳۳,۷۴۸۱ و طول جغرافیایی ۴۶,۸۳۷۵ قرار دارد. که در ارتفاع ۱۰۰۰ متری است و میانگین بارش سالانه ۶۵۰ متر بوده

و روزانه یخبندان سالانه ۹۰ روز در سال است مسیر باد جنوب با سرعت km/h ۳ است، رطوبت ۱۹٪ است.



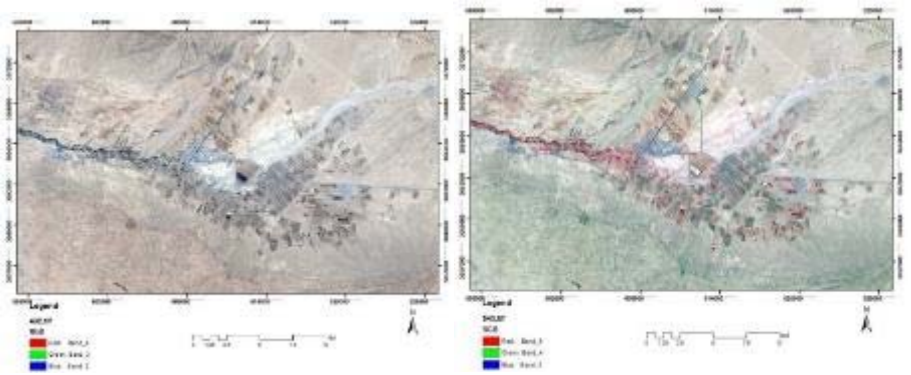
۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

روش کار

ماهواره لندست۸ (Landsat 8) در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه اندازی شده است این ماهواره که در اصل Landsat Data Continuity Mission (LDCM) نامیده می شود، محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) است. ماهواره لند ست ۸ دارای ۱۱ باند می‌با شد. از بین این باندها، باندهای شماره ۱ تا ۴ و ۸ در محدوده دید انسان قرار داشته و بقیه باندها خارج از محدوده مرئی می‌باشد.

در ابتدا تصویر مناسب از سایت زمین شناسی آمریکا USGS دریافت شد. این تصویر در تاریخ ۲۰۱۸/۸/۱۸ تو سط سنجنده لند ست۸ مح صول OLI دریافت و در نرم افزار۵,۶ ENVI پردازش‌های اولیه، تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری انجام شد، سپس شاخص‌های NDBSI, NDVI,MNDWI

عمال گردید. سطوح مختلف خاکی به طبقات خشکی، سطوح آبی، غیرآبی و دارای پوشش گیاهی طبقه بندی شد.



۲-نقشه ترکیب باند رنگی کاذب(۳ ۴ ۵) و ترکیب باند واقعی(۲ ۳ ۴) در منطقه مورد مطالعه

شاخص پوشش گیاهی(NDVI)

شاخص نرمال شده تفاوت پو شش گیاهی(Normalized Difference Vegetation Index) که به اخت صار (NDVI) نامیده می شود، شاخص گرافیکی ساده‌ای ا ست که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد و اولین بار توسط Rouse و همکارانش در سال ۱۹۷۳ معرفی شد. این شاخص بر اساس نسبت باندی بین باندهای مادون قرمز و قرمز محاسبه می‌گردد، دامنه تغییرات مقادیر آن بین ۱ تا ۱- است، این شاخص کاربردی‌ترین و معروف‌ترین شاخص پوشش گیاهی است که در مطالعات مختلف در زمینه پوشش گیاهی بکار رفته است محققین برای اولین بار بر مبنای رفتار گیاه در انعکاس طیف الکترومغناطیسی شاخص NDVI را به عنوان شاخص سلامت و تراکم پو شش گیاهی پی شنهاد کردند، بنابراین به دلیل ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک که یکی از معرف های اصلی پایش خشکسالی است.

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

شاخص خاک برهنه (NDBSI)

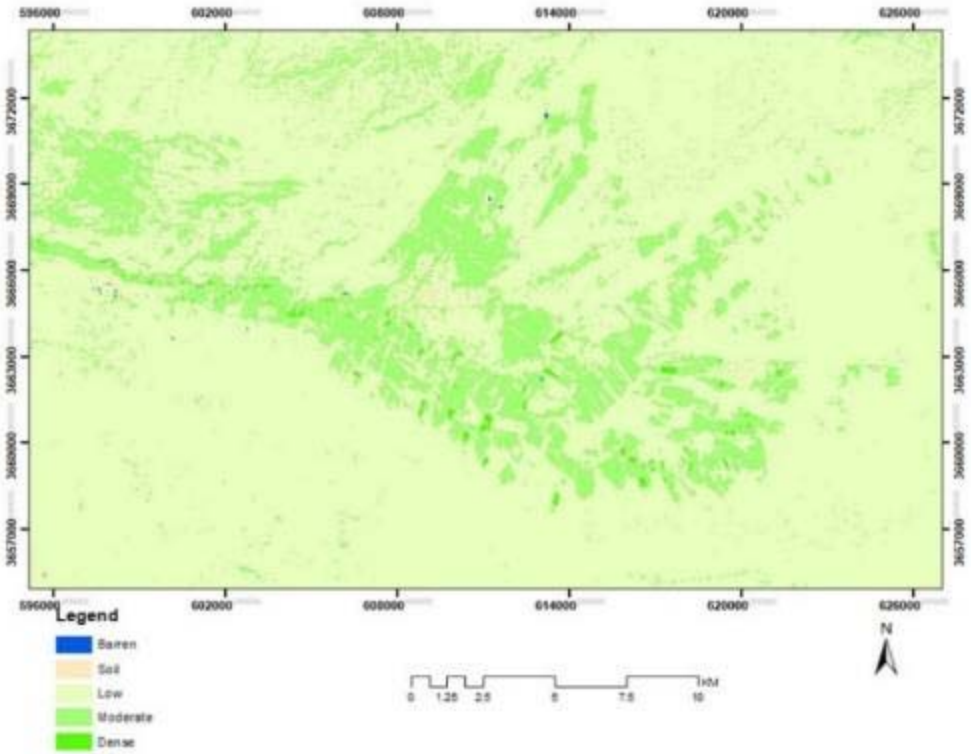
شاخص نرمال شده تفاوت خاک برهنه خ شک (Normalized difference bare soil index) که به اختصار NDBSI شاخصی است که میزان زمین بایر و بدون پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

$$NDBSI=\frac{(RED+SWIR)-(NIR+BLUE)}{(RED+SWIR)+(NIR+BLUE)}$$

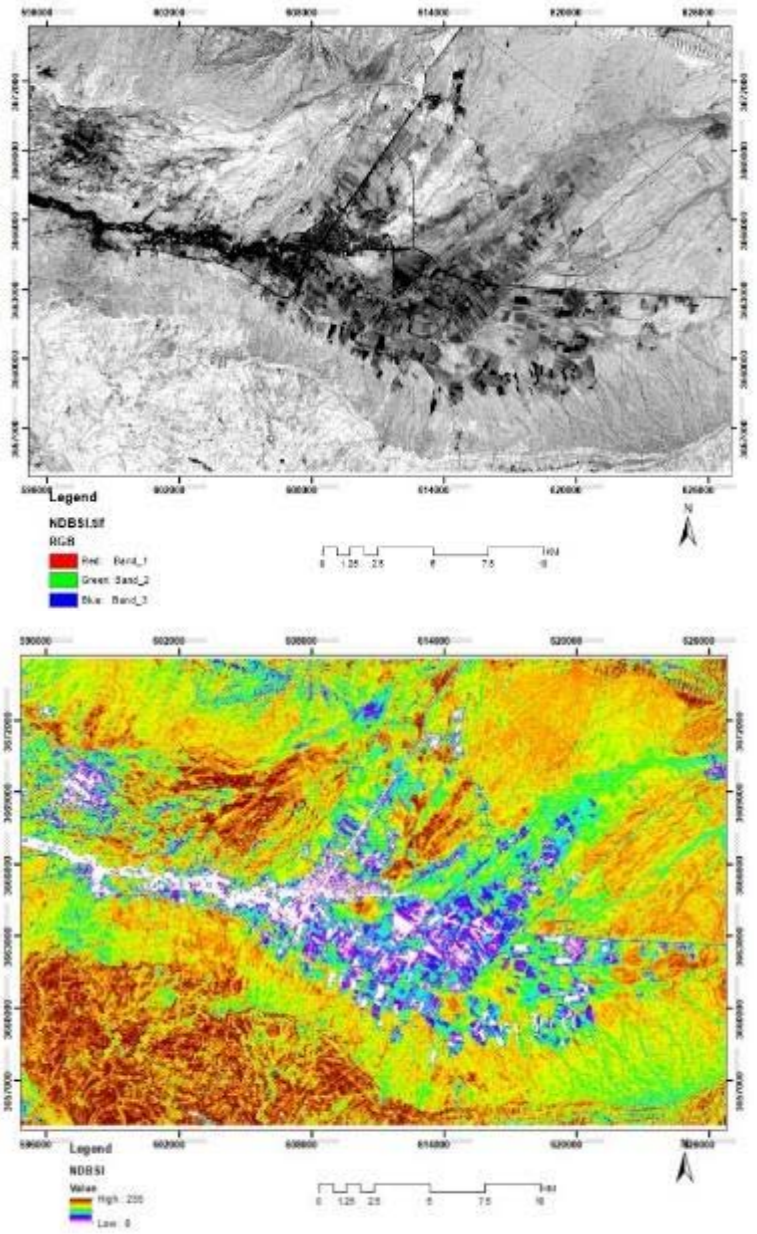
شاخص آب (MNDWI)

شاخص نرمال شده آب (Modified Normalized Difference Water Index) که به اختصار MNDWI شاخصی است که به تغییرات محتوای آبی محصولات کشاورزی حساس است. از این شاخص برای شناسایی زمین‌های کشاورزی سیل‌زده، شناسایی زمین‌های کشاورزی آبیاری شده و تشخیص تالاب‌ها استفاده می‌شود. در سامانه‌ی شرکت ست پلت این شاخص با رنگ آبی مدلسازی شده است. در این رابطه Green نشان دهنده باند طیفی Green است که بالاترین بازتاب را برای آب دارد و SWIRباند مادون قرمز طول موج کوتاه است

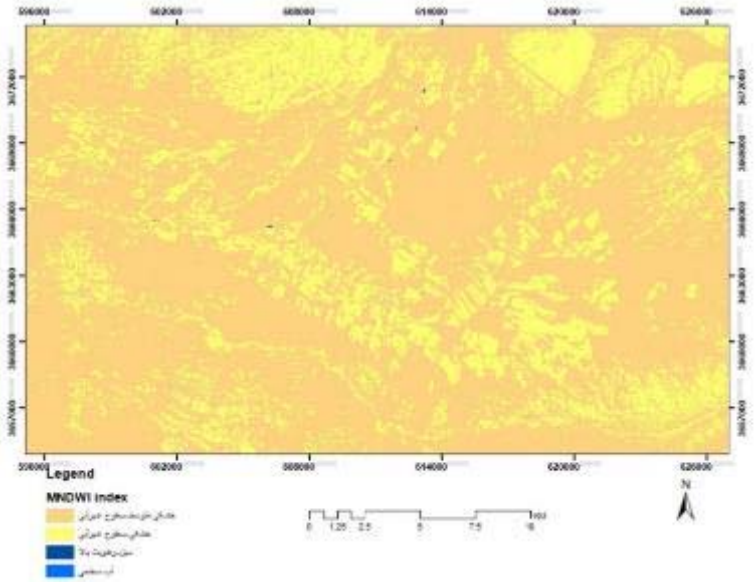
$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$



شکل ۳- نقشه شاخص NDVI



شکل۴-نقشه شاخص NDBSI



شکل۵-نقشه شاخص MNDWI

نتایج و بحث

مسأله تخریب سرزمین و بیابانزایی از مهمترین مسایل زیست محیطی قرن حاضر در سراسر کره زمین می‌باشد. که در سال‌های اخیر این بحران زیست محیطی در نتیجه تغییر اقلیم و دخالت‌های نابجای بشر به سرعت در حال پیشروی می‌باشد بنابراین، تشخیص خاک برهنه هنوز یک کار چالش برانگیز است همچنین در این مقاله از شاخص های NDVI، MNDWI و NDBSI استفاده شد که به تحلیل‌های بیابانزایی کمک زیادی می‌کند.

نیک پور در سال ۱۳۹۷ در پژوهشی مشابه بیان کرد، جنگل زدایی و تخریب پوشش گیاهی یکی از محرکان اصلی تغییرات جهانی زمین به شمار می‌رود و پیامدهای بزرگی بر عملکرد اکوسیستم و حفاظت از تنوع زیستی دارد. یکی از راه‌های مطالعه تغییرات پوشش گیاهی به عنوان مهمترین شاخص تخریب زمین، سنجش از راه دور است. در این مطالعه هدف اصلی پایش روند تغییرات پوشش گیاهی در راستای تخریب سرزمین در استان ایلام می‌باشد. بعد از اخذ و آماده سازی داده‌های مورد نیاز (۴۱۰ تصویر دانلود شده) در محیط نرم افزارهای Arc GIS و Surfer عملیات ضرب، موزائیک و ژئو رفرنس صورت گرفت. با استفاده از روش آماری پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک و به کمک برنامه نویسی در محیط نرم افزار R، روند شیب تغییرات و معناداری شیب تغییرات پوشش گیاهی برای دوره زمانی ۱۷ ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۰) بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که کانون بیشترین روند شیب تغییرات

کاهشی (روند شیب تغییرات منفی) در شاخص NDVI در سراسر نیمه غربی محدوده مورد مطالعه و کانون بیشترین روند شیب تغییرات افزایشی (روند شیب تغییرات مثبت) در شاخص NDVI در مرکز و شرق محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. معنا داری روند شیب تغییرات نیز این ادعا را تأیید می کند. یعنی کانون بیشترین روند شیب تغییرات (منفی) در غرب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه و بیشترین روند شیب تغییرات (مثبت) در مرکز و شرق محدوده مورد مطالعه در سطح احتمالاتی ۰۵/ معنی دار می باشند.

در این مقاله، میزان زمین‌های بایر منطقه شهر شباب را با شاخص های NDVI، NDBSI و MNDWI بررسی و بصورت تصویر رنگی کلاس بندی شده نمایش داده شد در ابتدا ترکیب باند رنگی واقعی ۲ ۳ ۴ برای بارزسازی و نمایش بصری منطقه انجام شد و مناطق ساخته شده از ساخته نشده جداسازی شد و طبق تفسیر بصری مناطق ساخته نشده در شمال، جنوب و شرق و غرب آن بصورت مناطق بایر نمایش داده شد. سپس ترکیب باند کاذب بصورت ۳ ۴ ۵ در نتایج نشان داد مناطق دارای پوشش گیاهی بشکل قرمز رنگ و زمین‌های بایر به رنگ روشن و سفید در شمال شباب بوده است. در شاخص MNDVI پهنه های آبی و خشکی به ۴ طبقه۱- خشکی متوسط و غیر آبی۲- خشکی و سطوح غیر آبی۳- سیل و رطوبت آبی بالا ۴- آب‌های سطحی در منطقه مورد مطالعه را کلاس بندی شد که در آن سطوح آبی از غیر آبی و خشک در شمال و اطراف شهر بوده است. در شاخص NDBSI مناطق خشک و برهنه طبقه بندی شد که در آن مناطق خیلی بایر را به قهوه‌ای رنگ و بیشترین آن در جنوب و شمال غرب و شمال شرق شهر بوده است و مناطق دارای خشکی متوسط را به رنگ زرد نمایش داده شد در نتیجه مناطق دارای خاک برهنه به بیشتر ارزش عددی یعنی ۱ نمایش داده شد که حداکثر آن در جنوب و شمال غرب و شمال شرق بوده است. برای صحت سنجی از تصاویر ماهواره در گوگل ارث استفاده گردید.

منابع

- اسلامی هروان ج، عزیزی ز، بایبوردی ا، عالمی صف اول پ، خیرخواه زرکش م.م. ۱۴۰۱. توزیع مکانی عناصر خاک و تاثیر آن بر حاصلخیزی اراضی کشاورزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری. ۱۴۰۱; ۱۲ (۳) :۶۱-۵۱. 10.52547/jgst.12.3.51
- با عقیده م، علیجانی ب. ضیائیان پ ,۱۳۹۰., بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی های استان اصفهان, ۱۳۹۰; 4(1) :16-1.

- فاضل دهکردی ل ,آذرنیوند ح ,زارع چاهوکی م ع ,محمودی کهن ف, خلیقی سیگارودی ش ,1395,پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (مطالعه موردی: مراتع استان ایلام),۱۳۹۵;۶۹ (۱): ۱۴۱-۱۵۴
- نیک پور ن, نگارش ح, فتوحی ص, حسینی ز, بهرام ش ,۱۳۹۷, پایش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی ((NDVI)) یکی از مهمترین شاخص های تخریب سرزمین (در استان ایلام)۱۳۹۷ ;۵(۴),۲۱-۵۴
- اسکندری دامنه ه, اسکندری دامنه ح ,خسروی ح ,غلامی ح ,1398,تحلیل و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (مطالعه موردی: حوضه غرب تالاب جازموریان, ۱۳۹۸; 461-475 ,(3)13
- M. Faramarzi1 ,Z. Heidarizadi1 ,A. Mohamadi, M. Heydari2,2018, International Journal of Agricultural Science and Technology,20(1):51-60
- Y. liu , Q. meng , L .zhang ,.c .Wu,NDBSI:,2022, A normalized difference bare soil index for remot sensing to improve bare soli mapping accuracy in urban and rural areas ,science direct , volume 214
- C.trong,A.chidthaisong , p.kieu diem , L zhi-Huo,2021,a modified Bare soil index to ldentify Bare features during agricuitural fallow –period in southeast Asia using landsat 8,,
- https://www.researchgate.net/figure/Equations-used-for-NDVI-NDWI-NDBI-and-NDBSI calculation_tbl2_346656305

توسعه راهکاری مکان‌مند در انتخاب محل بهینه احداث اسکله تفریحی در سواحل دریای خزر با استفاده از GIS

سحر برازنده[۱]، زهرا عزیزی[۱*]، اکبر رشیدی ابراهیم حصاری[۲]

۱. گروه سنجش از دور و *GIS*، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۲. گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.*zazizi@srbiau.ac.ir*

چکیده

ا سکله های تفریحی و بنادر کوچک از زمان نخ ستین ج ستجوهای ب شر در دریاها وجود دا شته اند. در این تحقیق با ا ستفاده از داده‌هایی چون بزرگراه، بندرگاه، تراکم جمعیت، جنگل، خطوط نیرو، دوری از جاده، رودخانه، شالیزار، فا صله از شهر برای تو سعه راهکاری مکان‌مند برای انتخاب محل بهینه احداث اسکله در ساحل خزر با استفاده از GIS در نقشه‌ای مختلف ارائه شده است. بررسی انجام شده بر اساس ۴ معیار اصلی و ۹ معیار فرعی نشان داد که از میان ۶۹ کیلومتر تقسیم شده کدام مکان‌ها برای ساخت ا سکله تفریحی در سواحل دریای خزر منا سب می‌با شند. بدین منظور روش فرایند تحلیل ANP که در آن ارتباطات پیچیده بین و میان عنا صر ت صمیم، از طریق جایگزینی ساختار شبکه ای، مورد ا ستفاده قرار گرفت. در این روش با در نظر گرفتن سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها، و زیر معیارها، ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عنا صر و خو شه‌ها، همچنین تأثیر هر کدام از عنا صر بر عنا صر دیگر در یک شبکه توسط یک سوپر ماتریس در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب، علاوه بر عناصر، خوشه ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف، دو به دو مورد مقایسه و تصمیم‌گیری قرار گرفتند. در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خو شه‌ای محا سبه و در نهایت از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل گردید.

واژه‌های کلیدی:

اسکله تفریحی، GIS، روش ANP، سواحل دریای خزر

مقدمه

در دهه‌های اخیر گردشگری ساحلی رشد قابل توجهی داشته و مزایای اقتصادی فراوانی را برای جوامع میزبان به همراه آورده است. سواحل با توجه به نزدیکی به کانون‌های جمعیتی، اقلیم مناسب و دسترسی آسان در ایام تعطیلات به خصوص در فصل تابستان می‌توانند گردشگران بسیاری را به خود

جذب کنند[۱]. گسترش صنعت گردشگری در مکان‌هایی که پتانسیل بالقوه جذب گردشگر را دارند می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در جهت رشد و توسعه همه جانبه جوامع میزبان به کار گرفته شود. وجود جاذبه یک عنصر لازم و نه کافی در جهت رشد و توسعه صنعت گردشگری محسوب می‌شود، زیرا توسعه صنعت گردشگری در هر منطقه نیازمند شناسایی دقیق محدوده، ارائه خدمات و تسهیلات مورد نیاز گردشگران و نیز معرفی در جهت جذب گردشگران می‌باشد. رشد و گسترش گردشگری منافع متعددی برای جوامع میزبان به همراه دارد که یکی از آنها منافع اقتصادی است[۲]. امروزه ماهواره‌ها با داشتن پوشش سراسری و دوره‌ای در سطح کره زمین در طی فقط چند روز با دقت بی نظیر، ارتفاع موج، دمای سطح آب، رنگ اقیانوس، سرعت باد و جهت آن را اندازه‌گیری نموده و نیز توپوگرافی سطح آب را برداشت می‌کنند [۳].

در تحقیقی که توسط کتابداری و همکاران [۳] انجام شد، محققان ضمن بیان اهمیت مطالعات، پیش از اجرا در سازه‌های عمرانی، به بیان نحوه رسوب‌گذاری در مجاورت سازه‌های ساحلی پرداخته و در ادامه با مرور وضعیت خلیج گرگان دلایل ناکارآمدی اسکله بندر گز را بیان نمودند. پاد و همکاران [۴] در پژوهشی با موضوع تاثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر لند فرم‌های دلتا و مانداب در سواحل جنوب شرقی خزر (میانکاله)، از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا مربوط به سال ۱۳۹۱ استفاده نمودند. بات درفشی و همکاران [۵] به منظور بررسی تغییرات خطوط ساحلی در منطقه بندر امیرآباد از عکس‌های هوایی چهار دوره‌ای ۱۳۲۴، ۱۳۴۵، ۱۳۶۲، ۱۳۹۱، استفاده کردند. نتایج نشان داد دقت خطوط ساحلی ترسیم شده از روی عکس‌های هوایی، به دلیل ماهیت نوسانی تراز آب دریای خزر در طی سال، همواره با مقداری خطا همراه است. در پژوهشی جهانبازی و همکاران [۶] با استفاده از تکنیک‌های دور سنجی و GIS سامانه‌ای را ایجاد نمودند که با استفاده از زیرساخت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی نقاط و موقعیت های اسکله‌ها را به طور سیستماتیک و کامپیوتری بر روی نقشه‌های رقومی ثبت نمایند. سجادی و همکاران [۷] ضمن آنالیز نمونه‌های آب چاه‌های دشت عسلویه نشان دادند که افزایش میزان برداشت آب از آبخوان عسلویه سبب از بین رفتن تعادل بین آب شور و شیرین و نفوذ آب شور در برخی چاه‌های آب دشت عسلویه شده است. فیاض آذر و همکاران [۸] به ارائه یک روش نوین برای جانمایی بهینه‌ی بنادر از نظر رسوب‌گذاری پرداختند. به این منظور، از روش محاسباتی استالر برای مطالعه پارامترهای مورفومتری حوضه استفاده نمودند. این پارامترها شامل اندازه‌گیری و محاسبه ۲۲ پارامتر بوده و توانایی تخمین مقدار رواناب با شدت سیلاب را در حوضه‌هایی که در آن‌ها آمار اندازه‌گیری دبی وجود نداشته باشد، دارا هستند. پاخیرزن و همکاران [۹] در تحقیق خود نشان دادند که تصاویر سنجنده Aster ماهواره TERRA در صورتی که که از تکنیک‌های پردازش تصویر مناسبی استفاده

گردد، دارای توان تفکیک نسبتا بالایی در زمینه طبقه‌بندی سواحل هستند. آن‌ها از نرم افزارهای سنجش از دور که توان تفکیک و ترسیم مرز واحدها و عوارض ساحلی را داشته باشند مانند نرم افزار ENVI و Arc GIS به منظور پلی‌گون بندی و مشخص نمودن جنس سواحل استفاده نمودند.

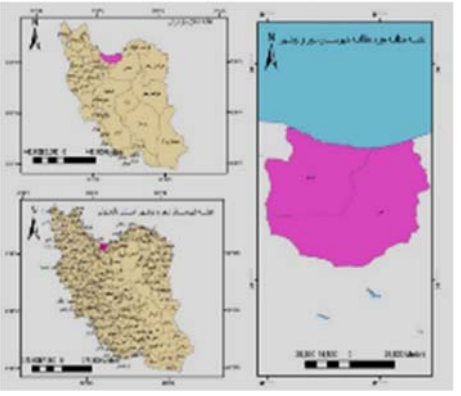
امروزه اهمیت اتکا به سامانه‌های اطلاعاتی به ویژه سامانه اطلاعات جغرافیایی بر کسی پوشیده نیست. تحلیل‌های دقیق و سریع، امکان مطالعات مکان مرجع را فراهم آورده و ضعف عمومی اکثر روش‌های ارزیابی، آمایش و ... یعنی مکان دار نبودن تحلیل‌ها را پوشش می‌دهد. این سامانه‌ها با اصلاح و بررسی داده‌ها به صورت خودکار اشتباه‌های احتمالی کاربر را نیز نمایان ساخته، خروجی‌های دقیقی را برای استفاده در فرآیند تصمیم‌گیری و پیاده‌سازی کاربری‌های مختلف در اختیار قرار می‌دهند. به این ترتیب آشنایی با ظرایف GIS و روند پردازش داده‌ها، آشنایی با مفاهیم مهم این سامانه و در یک کلام، مبانی سامانه اطلاعات جغرافیایی به ویژه برای متخصصین امر بسیار حائز اهمیت می باشد. ضرورت طراحی و ایجاد سیستم اطلاعات مکانی، بر پایه به کارگیری توأمان داده‌های مکان محور و اطلاعات توصیفی آنها می‌باشد. این سیستم امکان ذخیره به روز اطلاعات زمین مرجع و ترکیب آنها با اطلاعات مختلف را به صورت کاربردی جهت طراحی و برنامه‌ریزی شهری فراهم نموده است. این دانش در زمینه‌های مختلفی از جمله برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای یا به اصلاح برنامه‌ریزی محیط زیست، مطالعات زمین شناسی و معادن، کشاورزی و منابع طبیعی، و نظامی و... کاربرد داشته و قادر به بهبود اثر بخشی مدیریت و برنامه‌ریزی می‌باشد. کاربران GIS طیف وسیعی از افراد از جمله مدیران، طراحان، برنامه‌ریزان، کارشناسان و حتی شهروندان عادی را در بر می‌گیرند [۱۰]. از آنجایی که فرآیند تحلیل شبکه‌ای حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن است، بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان، و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده، می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی های متقابل و باز خورد) بین و میان عناصر تصمیم را با به کارگیری ساختار شبکه‌ای به‌جای ساختار سلسه مراتبی در نظر بگیرند. فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) هر موضع و مسئله‌ای را به مثابه "شبکه" ای از معیارها، زیر معیارها و گزینه ها (همه این‌ها عناصرها نامیده می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرند. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند، به هرشکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند[۱۱].

مواد و روش‌ها

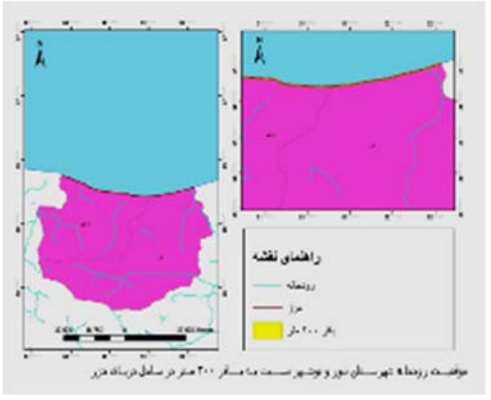
در این پژوهش، منطقه مورد مطالعه، استان مازندران در شمال ایران و در کرانه‌های جنوبی دریای خزر می باشد. این استان هم مرز با استان‌های گلستان، سمنان، تهران، البرز، قزوین و گیلان است. این استان یکی از پرجمعیت‌ترین مناطق ایران از لحاظ تراکم جمعیتی است. استان مازندران از وسعتی

معادل ۱,۴۶ درصد ایران برخوردار است. اما قرار گرفتن آن در ساحل جنوبی بزرگ‌ترین دریاچه جهان به نام دریای خزر یا دریای کاسپین و هم‌جواری با چهار کشور ساحلی این دریا یعنی ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و جمهوری آذربایجان از یک سو، و قرار گرفتن در شمال کلان شهر تهران از موقعیت جغرافیایی استراتژیکی برخوردار است. امتیاز حمل و نقل دریایی با کشورهای همسایه از طریق منطقه ویژه و بندر قدیمی نوشهر، و منطقه ویژه و جدید امیر آباد بهشهر و اسکله نفتی نکا در شرق مازندران، اتصال آن به شبکه سراسری راه آهن کشور و همچنین دو جاده بین المللی هراز و سواد کوه در این استان باعث ترددهای بالایی شده است. شهرستان نور از شمال به دریای خزر، از شرق به شهرستان آمل، از شمال شرق به شهرستان محمود آباد از جنوب به استان تهران، از جنوب غرب به استان البرز و از غرب به شهرستان نوشهر و شهرستان چالوس متصل است. نوشهر یکی دیگر از شهرهای این استان می‌باشد. بخش کجور از توابع شهرستان نوشهر بوده و یک بخش تفریحی است و در گذشته پایتخت شهر کهن رویان که متشکل از نور و نوشهر و چالوس بوده و گاهی مرز غربی آن تا هوسم و رودسر ادامه می‌یافت[۳].

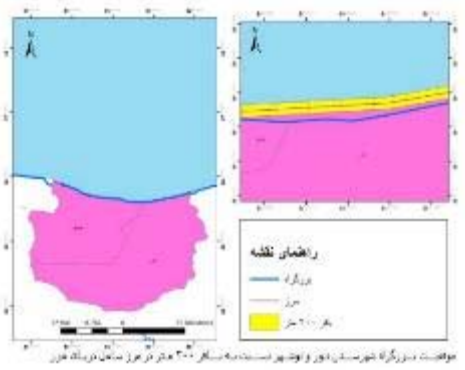
در این مطالعه با استفاده از داده‌هایی مکانی شامل نقشه های شالیزار، جنگل، رودخانه، دوری از جاده، بندرگاه، نیروگاه، تراکم جمعیت، فاصله از شهر، خطوط نیرو، که از سازمان جغرافیایی نیروی مسلح تهیه شد توانستیم موقعیت هر کدام از معیارها را نسبت به بافر ۲۰۰ متر اندازه‌گیری کنیم و با وزن‌گیری معیارها توسط ANP مشخص شد کدام ناحیه خزر بهترین مکان مناسب برای احداث اسکله تفریحی است.



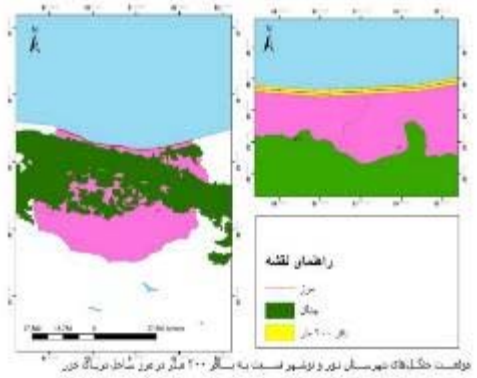
شکل۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



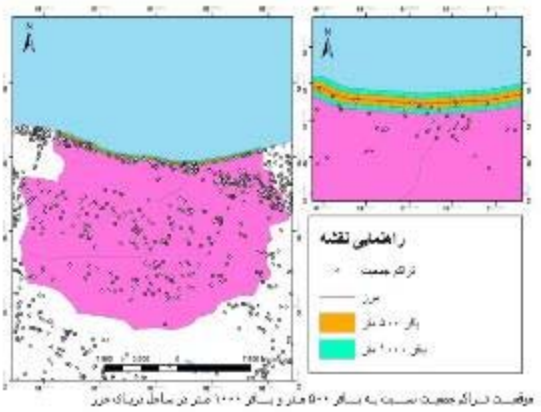
شکل۲. موقعیت رودخانه



شکل۳. موقعیت بزرگراه



شکل۴. موقعیت جنگل



شکل ۵. موقعیت تراکم جمعیت

نتایج

موثرترین عامل در انتخاب مکان مناسب، معیارهایی نظیر جنگل و شالیزار و رودخانه بودند که باعث ایجاد فضای مناسب، تفریحی، سودمند و جذب جمعیت برای تفریح و ساخت اسکله تفریحی به شمار می‌روند. موضوع/مسئله باید به طور آشکار و روشن به یک سیستم منطقی، مثل یک شبکه تبدیل شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق روش هایی همچون دلفی، یا روش گروه اسمی بدست آورد. در این مرحله موضوع/مسئله مورد نظر به یک ساختار شبکه‌ای که در آن گره‌ها به عنوان خوشه‌ها مطرح هستند، تبدیل می شوند. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند (تحت تأثیر آنها بوده یا بر آن‌ها اثر گذار باشند). این ارتباط (وابستگی بیرونی) با

پیکان (فلش) نشان داده می شوند. همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی) که این گونه ارتباط به وسیله یک کمان متصل به آن خوشه نشان داده می‌شود [۱۱].

خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تـــأثیر آنها در دستیابی به هدف، دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم گیران در مورد مقایسه دو به دویی عناصر و یا خود خوشه ها دو به دو باید تصمیم گیری کنند (شکل ۶).

تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل به سوپر ماتریس حد

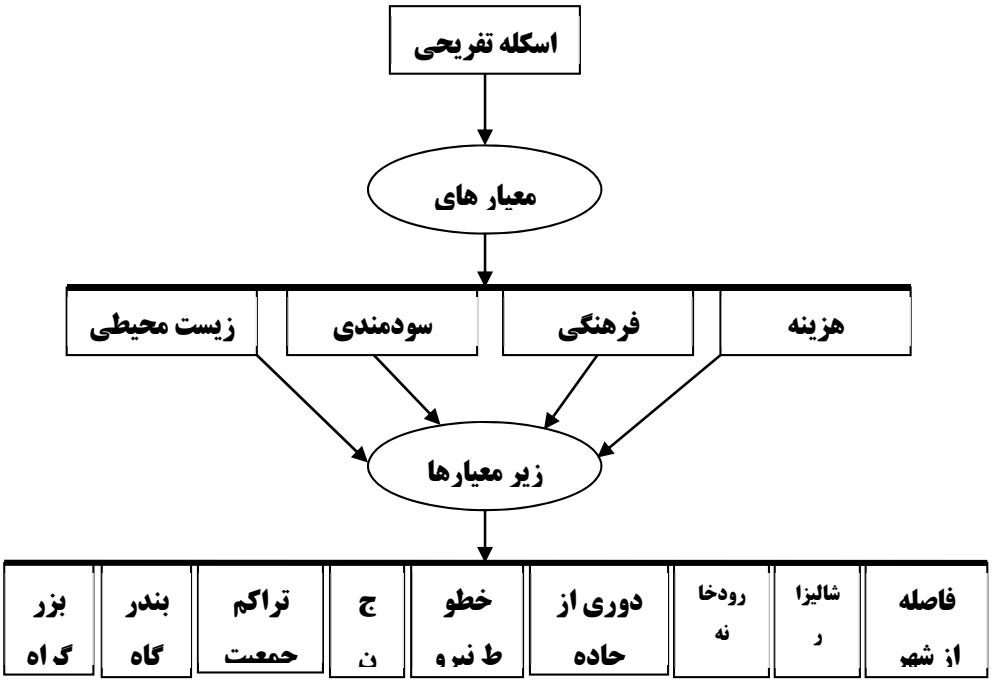
در مرحله بعد، سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می شود. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سـوپر ماتریس ناموزون بدسـت می‌آید. در ادامه، از طریق نرمالیزه کردن سـوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود.

در مرحله سـوم(نهایی)، سـوپر ماتریس حد با به توان رسـاندن تمامی عناصـر سـوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار)، یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپرماتریس همانند هم شوند محاسبه می‌شود[۱۱].

جدول۱. وزن معیارهای به دست آمده

زیر معیارها	سوپر ماتریس حد
بندرگاه	**۰,۰۴۰۱۴۹**
تراکم جمعیت	**۰,۳۰۴۰۱۰**
جنگل	**۰,۱۱۶۱۵۸**
خطوط نیرو	**۰,۰۲۵۱۵۹**
دوری از جاده	**۰,۰۲۵۱۵۹**
رودخانه	**۰,۱۵۷۵۵۳**
شالیزار	**۰,۰۶۱۳۹۳**
دوری از جاده	**۰,۱۵۸۲۷۲**
بزرگراه	**۰,۰۹۹۵۸۹**

در جدول بالا با توجه به وزن معیارهایی که در نظر گرفته شده، محا سبات با فا صله هر کدام از معیارها تا بافر ۲۰۰ متر انجام و وزن نهایی برای هرکدام از تقسیمات ۶۹ کیلومتر بدست آمد. هر کدام از کیلومترها دارای بالاترین عدد باشد بهترین مکان مناسب برای ساخت اسکله تفریحی می باشد. با توجه به محا سبات انجام شده، کیلومتر۶۴ دارای وزن ۵۱۸ بوده و بهترین مکان برای ساخت ا سکله تفریحی ارزیابی می‌گردد. از طرفی دیگر، کیلومتر ۲ که دارای وزن ۱۸۳می‌باشد حائز کمترین امتیاز برای ساخت اسکله تفریحی است.



شکل ۶- ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت

بحث و نتیجه گیری

مساله تفریحی و گردشگری در تمام دنیا حائز اهمیت فراوانی است. برخی مناطق به دلیل فقدان امکانات لازم، از جمله نداشتن مرز ساحلی برای ساخت اسکله تفریحی مناسب ارزیابی نمی‌گردند. مناطقی دیگر با وجود برخورداری از مرز ساحلی، ولی به علت بالا بودن سرمایه ساخت اسکله در آن مناطق از داشتن اسکله تفریحی محروم می شوند.

علاوه بر این مسایل، در کنار داشتن امکانات ساخت اسکله می بایست مزایا و مضرات ساخت چنین سازه هایی را به دقت مورد بررسی قرار داد. در این راستا، مزایایی نظیر جذب جمعیت، ایجاد شغل، ایجاد مکانی تفریحی و گرد شگری، جذب توریست و معایبی نظیر گرانی و افزایش قیمت زمین‌های آن ناحیه، خطرات زیست محیطی و ... از جمله مسائلی هستند که بایستی با حساسیت بالایی مورد ارزیابی قرار بگیرند. با این وجود، ارائه تحلیل‌های مکانی با در نظر داشتن تمامی عناصر موثر، می‌تواند در شکل‌گیری برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر را تسهیل نماید. برنامه‌ریزی که از یک طرف به در ایجاد اشتغال و جذب توریست بیانجامد، از طرفی دیگر با مشخص کردن مناطق حساس و خطرزا، انتخاب مناطق امن‌تر، مناسب‌تر و سالم تر را تمهید نماید.

هرچند این راهکارها راه حل نهایی نیستند، با این وجود، بررسی‌هایی از این دست می‌توانند در راستای مکان‌یابی مناسب و تقلیل مضرات پروژه‌های گردش‌گری بصورت کوتاه مدت یا میان مدت نقش موثری ایفا کنند. درنظر گرفتن مناطق با تغییرات زیاد می‌تواند احتمال در خطر قرار گرفتن پروژه های گردش‌گری را افزایش دهد. بدین جهت، انجام مطالعات مشابه با این پژوهش با بهره‌گیری از تحلیل‌های در مقیاس کوچک‌تر و محلی می‌تواند جزییات بیشتری را از عوامل تأثیرگذار در این پروژه‌ها نشان داده، و کمک موثری در احداث و انجام مطالعات ارزیابی قبل از انجام پروژه‌ها ارائه کند.

در بسیاری از تحقیقات که در زمینه مکان‌یابی انجام شده اند، عمدتا با نگرش برنامه‌ریزی به مساله پرداخته شده است. از این حیث، تحلیل‌های مکانی انجام شده در این مطالعه می‌تواند به عنوان نوآوری در این زمینه مطرح باشد. طبیعتا، در نظر گرفتن چنین رویکردی در موضوع مکان یابی احداث پروژه‌های گرد شگری می‌تواند به عنوان یک روش نوین در بسیاری از برنامه‌ریزی‌ها در شهرهای مرزی واقع در شمال کشور و در راستای نیل به تولید ثروت مورد استفاده و استناد قرار گیرد.

کم بودن داده های به روز در سطح شهر نور و نوشهر باعث می شود اطلاعات در خیلی مناطق تخمینی باشد. همچنین در بسیاری از موارد به علت قدیمی بودن داده ها، اطلاعات دقیق و به روز نیستند.

منابع

- Sajadi Y, Application of GIS to study the mixing and penetration of saline water of Gulf to fresh water resources of Aslooyeh aquifer.2014.
- Mhalati S, Income on Tourism of Shahid Beheshti University Press.2002.
- Ketabdari K, Mirza Zanjani R, The Role and Importance of Optimal Location for the Implementation of Coastal Projects at Bandar Gaz Station.2014.
- Pad KH, Investigating the effect of Caspian Sea water changes on landforms of Miankaleh coastal zone.2014.
- Drafshi M, Monitoring the changes of coastal lines using aerial photographs (studied area: Amir Abad Port). 2014.

- Jahan bazi A, an operational system for recording and analyzing the emergence of marine emergencies and marine search and rescue operations in the GIS.2014.
- Sajadi Y, Application of GIS to study the mixing and penetration of saline water of Gulf to fresh water resources of Aslooyeh aquifer.2014
- Fayaz Azar M, Bergi KH, introducing a new method for determining the optimal location of ports in terms of the important issue of sedimentation. International Conference on Coastal and Ports of Marine Structures.2004;6
- Pakhiz zan M, Balochi S, the classification of the Syric beaches by Shapard and Coardin using satellite imagery. 2014;11.
- Bar R, Information and Encyclopedia in GIS Translation by Ashraf Azimzadeh. Sepehr Journal of the Geographic Organization of the Armed Forces. 1998.
- Jafar Karimi A, Location of educational centers (primary schools) using GIS.200

بررسی فرسایش خاک در سامان‌های عرفی منطقه حفاظت شده سالوک

نادیا کمالی[۱]، احمد صادقی‌پور[۲*]، روشنک دهقان[۳]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲*- استادیار دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان، ایمیل: a.sadeghipour@semnan.ac.ir

۳- کارشناس محقق موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشگاه گیلان

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی انواع فرسایش، وضعیت و کلاس فرسایش، همچنین میزان کمی فرسایش در سامان‌های عرفی منطقه حفاظت شده سالوک خراسان شمالی صورت گرفت. سامان های عرفی یا یورت‌ها به عنوان واحد مدیریتی مرتع تلقی می‌شوند. وضعیت و کلاس فرسایش، همچنین میزان کمی فرسایش در ۱۴ سامانه عرفی موجود در منطقه، با استفاده از مدل تجربی (EPM) مشخص شد. این سامان‌ها به دلیل وجود سازندهای حساس به فرسایش دلیچای و میلا، کنگلومراهای سست و مخروط افکنه ها، ذخایر تراسی با پتانسیل فرسایشی بالا، همچنین شیب زیاد، مستعد فرسایش بوده و با وجود پوشش گیاهی نسبی، آثار سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه ای در این منطقه قابل مشاهده است. سامان عرفی ساره کاش با مساحت ۴/۰۵ کیلومتر مربع دارای فرسایش خیلی شدید می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد، ۶ سامان عرفی دارای فرسایش شدید و ۱ سامان دارای فرسایش خیلی شدید می‌باشد، این مناطق نیازمند به قرق مناطق حساس به فرسایش و عملیات اصلاح و احیا می‌باشند. از طرفی سایر سامان‌ها دارای فرسایش متوسط هستند که نیاز به کاهش تعداد دام، کنترل ورود و خروج دام و در برخی مناطق انجام عملیات اصلاح و احیا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی:

سامان عرفی، فرسایش خاک، EPM، منطقه حفاظت شده سالوک، سازند دلیچای

مقدمه

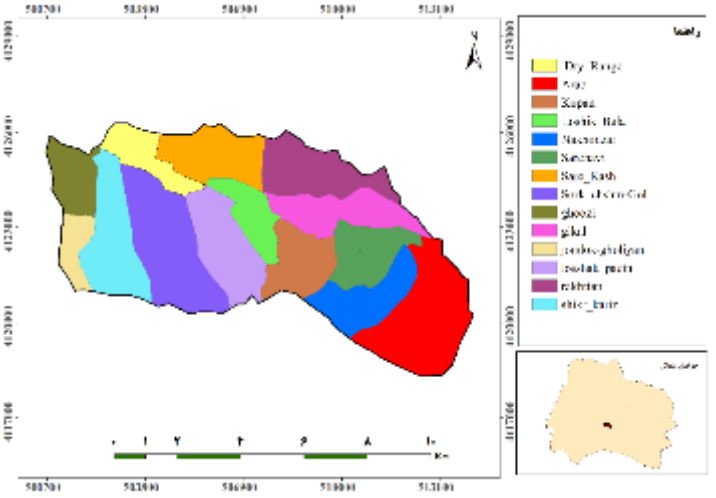
توسعه اقتصادی هر کشوری در گرو برخورداری از منابع طبیعی سالم و پایدار است. از بین انواع منابع طبیعی، مراتع با داشتن وسعتی معادل ۴۳ درصد از خشکی‌های سطح زمین و برخورداری از پوشش‌های متنوع گیاهان مرتعی، کارکردهای متنوعی را داشته و نقش بسزایی در حفظ منابع آب، جلوگیری از ایجاد سیلاب و کنترل فرسایش و رسوب دارند (Parehkar و همکاران، ۲۰۱۳).

یکی از مهمترین علل تخریب این منابع را می‌توان تفکر رایگان بودن این کارکردها و به دنبال آن بهره‌برداری بیرویه آن‌ها دانست (پور اصغر و صالح، ۱۳۸۴). یکی از مشکلات اساسی برای تخمین میزان فرسایش و رسوب به منظور برنامه ریزی‌های مربوط به بهره برداری از منابع آب و خاک، عدم وجود آمار و اطلاعات، به‌ویژه در حوضه‌های آبخیز کوچک است. به‌طوریکه در مدیریت حوضه‌های آبخیز و تدوین برنامه‌های حفاظتی این محدودیت، کار شناسان و بهره‌برداران را با مشکل جدی مواجه می سازد. بدین منظور، برای تخمین و برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌های فاقد آمار، روابط تجربی متعددی ابداع شده است (بایرامی و طلایی، ۱۳۹۷). یکی از روش‌های تجربی برآورد میزان فرسایش و رسوب روش EPM (Erosion Potential Method) می باشد که تقریبا در بعضی از حوزه‌ها با شرایط اندازه‌گیری شده تطابق خوبی نشان داده است. این مدل نسبت به مدل‌های دیگر به دلیل حداقل بودن نظر کارشناسی و اهمیت این امر در ارزیابی های آینده، برای انجام مطالعات فرسایش در مناطق زیادی از کشور استفاده می‌شود (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۶). محل زندگی مرتعدار اصطلاحا سامان عرفی نام دارد. سامان عرفی محدوده معینی از عرصه‌های منابع طبیعی است که به‌طور عرفی توسط یک یا چند مرتعدار مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (امیری، ۱۳۸۷). سامان های عرفی یا یورت‌ها به عنوان واحد مدیریتی مرتع تلقی شوند (بارانی، ۱۳۸۳). نعمتی (۱۳۷۱)، روش EPM را در حوضه آبخیز شاهرود از زیر حوضه‌های سفید رود مورد بررسی قرار داد و بیان نمود که نتایج برآورد با میزان رسوب واقعی انطباق خوبی دارد. نجفی (۱۳۷۳)، مدل تجربی EPM را در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز سد لتیان مورد بررسی قرار داد و نتایج حاصل نشان داد که مدل EPM در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز قابل اعتماد است وبا مقادیر مشاهده شده همخوانی دارد. کمالی (۱۳۸۴)، مدل EPM را به عنوان مدلی مناسب برای اندازه‌گیری میزان فرسایش در منطقه سمیرم معرفی کرده است. رمضانی و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه خود بر روی نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد برنجستانک)، این دو روش را در تعیین میزان فرسایش منطقه مناسب دانستند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه از نظر مختصات جغرافیایی در حد فاصل طول جغرافیایی ″ ۴۳ ′ ۰۰ °۵۷ تا ″۳۴ ′۰۹ °۵۷ شرقی و عرض جغرافیایی ″ ۵۹ ′ ۱۶ °۳۷ تا ″ ۴۰ ′ ۱۲ °۳۷ شمالی قرار گرفته است که شامل سامان‌های الله قلی جندک یانه، چرتمه-سرخ چشمه گل، گیکال، قوزی سالان، ساره کاش، شکر و کاریز، کوپان، لوشک پایین و خیکاب، لوشک بالا، عرب، سرچاوی، نخونزار و سامان رختیان می باشد (شکل شماره ۱ و ۲).

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- سامان‌های عرفی منطقه مورد مطالعه

مدل EPM در سال ۱۹۵۲ برای بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق مورد استفاده قرار گرفته و منجر به ابداع روش طبقه‌بندی خاصی برای فرسایش به نام (M.Q.C.E) شد. برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه، توسط گاوریلویچ ارائه گردیده است. با استفاده

از این مدل علاوه بر تعیین شدت فرسایش در یک حوزه آبخیز می‌توان میزان رسوب را نیز در قسمتهای مختلف یک رودخانه محاسبه نمود. عوامل به کار گرفته شده در این مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در یک حوزه آبخیز عبارتند از: وضعیت توپوگرافی، سنگ شناسی، خاک، نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی.

در این روش چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوزه آبخیز(φ)، ضریب استفاده از زمین (Xa)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه (I) مورد بررسی قرار می گیرد. مقادیر شرایط فرسایش حوزه آبخیز (φ)، ضریب استفاده از زمین (Xa) و حساسیت خاک به فرسایش (Y) به ترتیب در جدول های شماره (۵۹ الی ۶۱) ارائه شده است .

بر اساس این چهار عامل مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$Z = X_a . Y(\varphi . I^{0.5})$$

با قرار دادن مقدار Z در جدول شماره ۱ که بر اساس شدت فرسایش و Z تنظیم شده است کلاس فرسایش تعیین می گردد.

جدول ۱ - ضریب فرسایش (φ) در مدل EPM

شماره	ویژگیهای فرسایش در رخساره یا واحد کاری	ضریب فرسایش
۱	سطح وسیعی از منطقه از هدکت و فرسایشهای خندقی پوشیده شده است.	۱
۲	حدود ۸۰٪ از منقطه دارای فرسایش خندقی و شیاری است.	۰/۹
۳	حدود ۵۰٪ از منطقه شامل خندق و فرسایش شیاری است.	۰/۸
۴	سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی, حرکتهای توده‌ای و به مقدار کم فرسایش خندقی و شیاری و پدیده کارستی است.	۰/۷
۵	سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی است و بدون آثار فرسایش شدید می‌باشد.	۰/۶
۶	۵۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی است (آثار آن به صورت لکه‌های سفید و شیارهای باریک دیده می‌شود.)	۰/۵
۷	۲۰٪ منطقه دارای فرسایش سطحی است.	۰/۴
۸	منطقه بدون فرسایش قابل ذکر است (تخریب مکانیکی, فرسایش رودخانه‌ای)	۰/۳
۹	اراضی کشاورزی با فرسایش ناچیز	۰/۲
۱۰	اراضی به صورت جنگل و مرتع با فرسایش ناچیز	۰/۱

جدول ۲- مقادیر ضریب استفاده از زمین Xa در مدل EPM

شماره	شرایط استفاده از زمین	ضریب استفاده از زمین
۱	مناطق غیر قابل کشت(شامل سازنده‌های حساس به فرسایش آبی), هزار دره	۱
۲	اراضی تپه ماهوری شخم خورده برای کشاورزی (حساس به فرسایش)	۰/۹
۳	باغات میوه, درختان غیر مثمر	۰/۸
۴	باغات ایجاد شده روی بانکت و تراس	۰/۷
۵	جنگلهای مخروبه بوته‌زار و مرتع بر روی خاک فرسایش یافته	۰/۶
۶	مراتع کوهستانی	۰/۵
۷	مزارع دائمی و نباتات علوفه‌ای	۰/۴
۸	مراتع مناطق مرطوب	۰/۳
۹	جنگل مرغوب روی شیب‌های تند	۰/۲
۱۰	جنگل مرغوب روی شیب ملایم	۰/۱

جدول ۳ - مقادیر حساسیت خاک و زمین به فرسایش Y در مدل EPM

شماره	شرایط فرسایش حوزه آبخیز	حساسیت به فرسایش
۱	ماسه، سنگ ریزه، شیست	۲
۲	لس، توف، خاک شور، خاک استپی	۱/۶
۳	سنگ آهک هوازده و مارن	۱/۲
۴	ماسه سنگ قرمز سرپانتین و رسوبات فلیشی	۱/۱
۵	پدزول، پاراپدزول، شیست خرد شده، میکاشیست، گنیس، شیست آرژیلیت دار	۱
۶	سنگ آهک سخت، لاشبرگ، خاکهای هوموسی و سیلیکات دار	۰/۹
۷	خاکهای جنگلی قهوه ای و خاکهای کوهستانی	۰/۸
۸	خاکهای با تلاقی و هیدرومورف سیاه یا خاکستری تیره	۰/۶
۹	چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب	۰/۵
۱۰	سنگهای آذرین سخت	۰/۲۵

جدول ۴ - طبقه بندی شدت فرسایش

طبقه بندی فرسایش	شدت فرسایش	مقادیر حد	مقادیر متوسط Z
I	خیلی شدید	Z > 1	۱/۲۵
II	شدید	1 > Z > 0.71	۰/۸۵
III	متوسط	07 > Z > 0.41	۰/۵۵
IV	کم	0.4 > Z > 0.2	۰/۳
V	خیلی کم	0.19 > Z	۰/۱

فرسایش ویژه عبارت است از میزان فرسایش در واحد سطح (کیلومتر مربع) بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال که به آن تخریب مخصوص نیز گفته می شود. فرمول کلی ارزیابی فرسایش ویژه در مدل EPM به صورت زیر است:

$$WSP@T.H.Z^{.5}.\pi$$

که در آن، WSP میزان فرسایش ویژه سالیانه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال و T ضریب درجه حرارت است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T@(\frac{t\ .\ 0.1}{10})^{0.5}$$

که در آن، t عبارت است از متوسط درجه حرارت سالیانه حوزه آبخیز بر حسب درجه سانتیگراد، H متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر، Z ضریب شدت فرسایش و π معادل ۳/۱۴ (عدد پی) است.

ضریب فرسایش (Z) از این رابطه به دست می آید

$$Z@X_a.Y(\varphi\ .\ I^{0.5})$$

که در آن Z ضریب شدت فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، φ ضریب فرسایش حوزه آبخیز و I شیب متوسط حوزه حسب درصد است.

نتایج و بحث

مقادیر ضرایب مدل EPM در منطقه مورد مطالعه به تفکیک سامان محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵ - مقدار ضرایب مدل EPM در منطقه به تفکیک سامان

منطقه	Y	Xa	φ	I	Z	کلاس فرسایش	
کوپان	۱	۰/۵	۰/۷	۰/۱۹	۰/۵۷	III	متوسط
رختیان	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۲۳	۰/۵۳	III	متوسط
گیکال	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۲۴	۰/۵۴	III	متوسط
قوزی سالان	۱/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۷۵	II	شدید
الله قلی جندک یانه	۱/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۲۴	۰/۷۱	II	شدید
مراتع خشک	۱/۳	۰/۶	۰/۸	۰/۱۷	۰/۹۴	II	شدید
شکر و کاریز	۱/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۲۳	۰/۷۰	III	متوسط
چرتمه-سرخ چشمه گل	۱/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۲۲	۰/۷۰	III	متوسط
لوشک بالا	۱/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۲۲	۰/۷۰	III	متوسط
ساره کاش	۱/۳	۰/۶	۰/۸	۰/۲۴	۱/۰۱	I	خیلی شدید
لوشک پایین و خیکاب	۱/۱	۰/۵	۰/۷	۰/۲۲	۰/۶۴	III	متوسط
عرب	۱/۲	۰/۵	۰/۸	۰/۲۳	۰/۷۶	II	شدید
سرچاوی	۱/۲	۰/۵	۰/۸	۰/۲۲	۰/۷۶	II	شدید
نخونزار	۱/۲	۰/۶	۰/۸	۰/۲۱	۰/۷۵	II	شدید

جدول ۶ - مقادیر فرسایش در منطقه مورد مطالعه به تفکیک سامان عرفی

منطقه	مساحت	دما	ضریب دما	بارندگی	ضریب فرسایش	فرسایش ویژه	فرسایش سالانه
	Km^2	·c	T	mm	Z	$M^3/Km^2/ye$	M^3/ye
کوپان	۴/۶۴	۷/۸۰	۰/۹۴	۲۷۶	۰/۵۷	۳۵۱/۱۷	۱۶۲۹/۴۳
رختیان	۱۳/۹	۷/۹۵	۰/۹۵	۲۵۷	۰/۵۳	۲۹۷/۹۳	۴۱۴۱/۲۲
گیکال	۴/۶	۷/۶۵	۰/۹۳	۳۱۵	۰/۵۴	۳۶۴/۴۵	۱۶۷۶/۴۷
قوزی سالان	۴/۲۹	۱۰/۳۳	۱/۰۶	۲۲۳	۰/۷۵	۴۸۴/۶۹	۲۰۷۹/۳۲
الله قلی جندک یانه	۳/۹۸	۸/۷	۰/۹۹	۲۲۳	۰/۷۱	۴۲۱/۸	۱۶۷۸/۷۶
مراتع خشک	۲/۸۳	۱۰/۵۲	۱/۰۷	۲۲۳	۰/۹۴	۶۹۰/۹۳	۱۹۵۵/۳۳
شکر و کاریز	۵/۶۵	۹/۱۳	۱/۰۱	۲۲۳	۰/۷۰	۴۲۱/۷۲	۲۳۸۲/۷۱
چرتمه-سرخ چشمه گل	۸/۸۱	۹/۰۶	۱/۰۰	۲۲۳	۰/۷۰	۴۱۵/۸۱	۳۶۶۳/۲۸
لوشک بالا	۲/۷۲	۸/۸۱	۰/۹۹	۲۲۳	۰/۷۰	۴۱۲/۱۱	۱۱۲۰/۹۳
ساره کاش	۴/۰۵	۹/۲۹	۱/۰۱	۲۲۳	۱/۰۱	۷۱۹/۳۸	۲۹۱۳/۴۹
لوشک پایین و خیکاب	۶/۱۸	۸/۷۱	۰/۹۹	۲۲۳	۰/۶۴	۳۵۸/۵۷	۲۲۱۵/۹۹
عرب	۸/۶۶	۸/۰۶	۰/۹۷	۲۸۰	۰/۷۶	۵۶۵/۳۳	۴۸۹۵/۷۳
سرچاوی	۳/۸۹	۷/۱۶	۰/۹۰	۳۴۱	۰/۷۶	۶۳۸/۸	۲۴۸۴/۹۴
نخونزار	۴/۲۷	۸/۰۹	۰/۹۹	۳۲۱	۰/۷۵	۶۴۸/۴۶	۲۷۶۸/۹۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج مشخص می شود که پارسل مراتع خشک با قرار گرفتن در کلاس فرسایش شدید بدلیل پوشش بسیار کم و تنک و در دسترس بودن، دارای بیشترین بر هم خوردگی خاک سطحی و فرسایش در منطقه مورد مطالعه است و پارسل رختیان با قرار گیری در کلاس فرسایش متوسط بدلیل پوشش گیاهی مناسب و تراکم کمتر دام، دارای کمترین میزان فرسایش می باشد. سامان عرفی ساره کاش با مساحت ۴/۰۵ کیلومتر مربع دارای فرسایش خیلی شدید می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد، ۶ سامان عرفی دارای فرسایش شدید و ۱ سامان دارای فرسایش خیلی شدید می‌باشد، این مناطق نیازمند به قرق مناطق حساس به فرسایش و عملیات اصلاح و احیا می‌باشند. از طرفی سایر سامان‌ها دارای فرسایش متوسط هستند که نیاز به کاهش تعداد دام، کنترل ورود و خروج دام و در برخی مناطق انجام عملیات اصلاح و احیا می‌باشند.

منابع

- بارانی، ح. ۱۳۸۳. بازشناسی و تحلیل سامانهای عرفی بعنوان واحدهای مدیریت مرتع. سومین همایش ملی مرتع و مرتع داری ایران. ۷۸-۹۰.
- امیری، ف.، ۱۳۸۷ .مدل استفاده چندمنظوره از مرتع با استفاده از GIS (مطالعه موردی حوزه قرهآقاچ سمیرم)، رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسالمی واحد علوم تحقیقات.
- پوراصغر سنگاچین، ف. و ع. صالح. ۱۳۸۴ .تحلیل اقتصادی پیامدهای محیط زیست (چاپ اول). انتشارات سازمان مدیریت و
- برنامهریزی کشور، تهران، ۳۲۴ ص.
- بایرامی، ب. و ر. طلایی. ۱۳۹۷. ارزیابی و پهنهبندی شدت فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه مورد حوضه آبخیزگرمیچای در استان اردبیل). سومین همایش ملی حفاظت خاک و آبخیزداری. ۲۲۷-۲۳۶.
- رمضانی، ب.، ه. ابراهیمی. و ح. حق پرست. ۱۳۹۶. نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد برنجستانک). مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره اول، شماره ۲. ۵۰-۵۹.
- نجفی نژاد، ع. ۱۳۸۳. بررسی کارایی مدل تجربی EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- کمالی، ن. ۱۳۸۴. بررسی فرسایش و رسوب به دو روش ژئومرفولوژی و EPM در حوزه آبخیز سمیرم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

- نعمتی، ن. ۱۳۷۱. برآورد رسوب حوزه آبخیز رودخانه شاهرود حوزه سد سفیدرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- Parehkar, A., N. Behnam and M. Shokrabadi. 2013. An investigation survey on MPSIAC Model to predict sediment yeilad in Iran. Research Journal of Environment and Earth Sciences 5:324-349.