وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد

نشریه فنی

پهنه‌بندی و بررسی نوسانات کمی آب زیرزمینی دشت ارسنجان واقع در حوزه آبخیز مهارلو - بختگان

نویسندگان:
ایمان صالح، سمیرا زندی‌فر، مجید خزایی

شماره ثبت: ۶۹۴۶۶
۱۴۰۵

وزارت جهادکشاورزی
سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد

نشریه فنی:

پهنه‌بندی و بررسی نوسانات کمی آب زیرزمینی دشت ارسنجان واقع در حوزه آبخیز مهارلو – بختگان

نویسندگان:
ایمان صالح، سمیرا زندی‌فر، مجید خزایی

شماره ثبت: ۶۹۴۶۶

۱۴۰۵

وزارت جهادکشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد

عنوان: پهنه‌بندی و بررسی نوسانات کمی آب زیرزمینی دشت ارسنجان واقع در حوزه آبخیز مهارلو - بختگان

نویسندگان: ایمان صالح، سمیرا زندی‌فر، مجید خزایی

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه‌آرا: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

این اثر در مورخه **۱۴۰۵/۰۳/۲۴** با شماره **۶۹۴۶۶** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصویرها، جدول‌ها، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ، بلامانع است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱
۱- مقدمه ۲
۲- اهمیت، ضرورت و هدف پژوهش ۳
۳- پیشینه پژوهش ۵
۴- مواد و روش‌ها ۸
۴-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ۸
۴-۲- روش پژوهش ۱۰
۴-۲-۱- مطالعه آبخوان ۱۰
۴-۲-۲- بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی ۱۱
۴-۲-۳- بررسی تغییرات حجم مخزن ۱۱
۴-۲-۴- بررسی شاخص‌های خشکسالی ۱۲
۵- نتایج و بحث ۱۳
۵-۱- بررسی منابع بهره‌برداری آب زیرزمینی ۱۳
۵-۲- بررسی نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی ۱۶
۵-۳- آبنمود معرف و تغییرات سطح آب زیرزمینی ۲۰
۵-۵- پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت ارسنجان ۲۴
۶- نتیجه‌گیری ۲۸
۷- پیشنهادها ۲۸
ملاحظات اخلاقی ۳۰
منابع ۳۰
Abstract ۳۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز مهارلو-بختگان و محدوده مطالعاتی ارسنجان ۹
شکل ۲- نمودارهای منابع آب و مصارف محدوده مطالعاتی ارسنجان..... ۱۴
شکل ۳- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۸۷ ..... ۱۷
شکل ۴- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۲ ..... ۱۷
شکل ۵- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۷ ..... ۱۸
شکل ۶- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۸۷ ..... ۱۹
شکل ۷- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۲ ..... ۱۹
شکل ۸- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۷ ..... ۲۰
شکل ۹- آبنمود معرف و میانگین بارش سالانه در محدوده مطالعاتی ارسنجان ۲۱
شکل ۱۰- تغییرات سطح آب زیرزمینی برای دوره زمانی مورد مطالعه در محدوده مطالعاتی ارسنجان ۲۱
شکل ۱۲- رابطه تراز آب زیرزمینی و مصرف کل (کشاورزی، شرب و صنعت)..... ۲۳
شکل ۱۳- نمودار تغییرات سالانه حجم مخزن آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی ارسنجان ۲۴
شکل ۱۴- تغییرات شاخص GRI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷) ۲۵
شکل ۱۵- تغییرات سالانه شاخص SPI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷) ۲۶
شکل ۱۶- تغییرات سالانه شاخص SDI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷)..... ۲۶
شکل ۱۷- نمودار مقایسه تغییرات شاخص‌های GRI و SPI ۲۷
شکل ۱۸- نمودار مقایسه تغییرات شاخص‌های GRI و SDI..... ۲۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱- میزان خطاها و ضریب تعیین برای روش‌های مختلف میان‌یابی ۱۰
جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکسالی با توجه به مقادیر شاخص GRI ۱۲
جدول ۳- وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی ارسنجان (میلیون مترمکعب) ۱۵

چکیده

آب‌های زیرزمینی منابع تجدیدپذیر، محدود و حیاتی برای زندگی انسان، توسعه اجتماعی و اقتصادی و یک جزء باارزش از اکوسیستم و نسبت به اثرات طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر هستند. بخشی از چرخه آب در زیر سطح زمین صورت می‌گیرد که منابع آب‌های زیرزمینی یکی از اجزای آن محسوب می‌شوند و برای آگاهی از وضعیت نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی ضروری است مطالعات دقیقی صورت پذیرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی نوسانات و پتانسیل کمی آب زیرزمینی در دشت ارسنجان در حوزه آبخیز مهارلو- بختگان انجام شده است. بدین‌منظور با استفاده از آمار ۱۵ ساله (۱۳۹۷-۱۳۸۲) منابع آب زیرزمینی و تقسیم آن به سه دوره زمانی پنج ساله، پهنه‌بندی تغییرات سطح و تراز آب زیرزمینی در محیط ArcGIS انجام و آبنمود معرف آبخوان تهیه شد. همچنین شرایط خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه با استفاده از شاخص GRI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطح آب زیرزمینی در طول دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه با افتی برابر ۴۰/۴۱ متر و متوسط افت سالانه ۲/۷ متر روبرو بوده است. بررسی تغییرات حجم مخزن نیز حاکی از این نکته بود که در سال‌های گذشته علاوه بر مصرف کل ذخیره تجدیدشونده، بخش زیادی از ذخیره ثابت نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. روند صعودی شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی و شدت‌گرفتن آن در سال‌های پایانی بازه زمانی مورد مطالعه، از مهم‌ترین نتایج این پژوهش بوده که در پی افزایش جمعیت و برداشت از آب‌های زیرزمینی و تغییر اقلیم رخ داده است.

کلمات کلیدی: آبنمود معرف، حجم مخزن، سطح آب زیرزمینی، **GRI**.

۱- مقدمه

آب مهم‌ترین عامل توسعه پایدار به حساب می‌آید و در جهان امروز مهم‌ترین مؤلفه قدرت سیاسی و اقتصادی محسوب می‌شود (حمامی، ۱۴۰۴). در اغلب نقاط جهان، منابع آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی محسوب می‌شوند. آب‌های زیرزمینی منابع تجدیدپذیر، محدود و حیاتی برای زندگی انسان، توسعه اجتماعی و اقتصادی و یک جزء با ارزش از اکوسیستم و نسبت به اثرات طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر هستند. بخشی از چرخه آب در زیر سطح زمین صورت می‌گیرد که منابع آب‌های زیرزمینی یکی از اجزای آن محسوب می‌شوند و برای آگاهی از وضعیت نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی لازم است مطالعات دقیقی صورت پذیرد. اگرچه منابع آب زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی قابلیت کنترل بیشتری دارد، اما به‌طور فزاینده‌ای در معرض خطر بهره‌برداری بیش از حد، خشکسالی، آلودگی و کمبود بارندگی چندساله قرار دارند که منجر به کاهش کیفیت و کمیت آن می‌شود (Rust و همکاران، ۲۰۱۹). آب زیرزمینی در بسیاری از فرآیندهای زمین‌شناسی نقش مهمی را ایفا می‌کند. تنها سه درصد از کل آب‌های جهان شیرین است که از این مقدار اندک، ۳۰ درصد به‌صورت آب‌های زیرزمینی هستند (European Communities Luxembourg، ۱۹۹۶). افزایش جمعیت و افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌های مداوم باعث افت کمی و کیفی این آب‌ها به‌خصوص در مناطق خشک شده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش شدید حجم آب‌های زیرزمینی، بررسی کیفیت و به تبع آن حفاظت از آن‌ها حائز اهمیت بوده است. طی دهه گذشته روند افت سطح ایستابی و کمیت آب‌های زیرزمینی مسأله اساسی در مدیریت منابع آب بوده است (قره‌چائی و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش ظرفیت ذخیره آبخوان‌ها در نتیجه برداشت بیش از مازاد موجود ناشی از توسعه مناطق شهری، کاربرد صنایع آب‌بر و افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی است که منابع آب زیرزمینی را در معرض تهدید قرار می‌دهد (Krishnamoorthy و همکاران، ۲۰۲۳).

در ایران نیز با توجه به کم‌بودن رشد توسعه منابع آب کشور در مقایسه با رشد جمعیت و نیاز آبی، حفظ و ساماندهی منابع آب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. همچنین به‌دلیل کمبود منابع آب سطحی دائمی (رودخانه‌ها) و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر، آب‌های زیرزمینی بهترین و در برخی موارد تنها راه‌حل مشکل

تأمین آب شرب و کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. در چند دهه گذشته آبخوان‌های آبرفتی به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی در کشور بوده‌اند (واعظی هیر و صفری، ۱۴۰۳). اما برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی پیامدهای ناگواری نظیر تشدید آلودگی آن‌ها را به‌دنبال خواهد داشت.

شناخت جامع از منابع و مصارف و وضعیت بیلان آب در حوزه‌های آبخیز کشور از ملزومات استفاده بهینه از منابع آب و خاک است. این شناخت در صورتی کامل است که نخست، آمار و اطلاعات کافی از منابع در دسترس بوده و به‌صورت پایگاه اطلاعات فنی در اختیار برنامه‌ریزان قرار گیرد. دوم، نتایج تجزیه و تحلیل اطلاعات و تلفیق عوامل مختلف آب و هوایی به‌وجود آورنده منابع آب نیز به‌صورت مطلوب و روزآمد در اختیار باشد. بدون تردید هرگونه کم‌دقتی در کنترل صحت داده‌ها، اثرات نامطلوبی در نتایج بسیاری از تصمیم‌گیری‌های برنامه توسعه منابع آب به‌همراه خواهد داشت.

۲- اهمیت، ضرورت و هدف پژوهش

برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به‌دلیل کمبود بارش موجب افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. افزایش دخالت‌های نابجای انسان در کره زمین و برهم‌زدن چرخه طبیعی محیط، موجب شده تا خشکسالی و بحران آب در دنیای امروز به شکل جدی مورد توجه قرار گیرد (Najafzadeh و Tafarojnoruz، ۲۰۱۶). با توجه به محدودبودن منابع آب زیرزمینی و افزایش نیاز آبی جوامع بشری ذخیره این آب‌ها رو به کاهش است. ازاین‌رو نگهداری این منابع ضروری بوده و جلوگیری از افت کمی و کیفی آن‌ها دارای اهمیت است. برای بررسی تغییرات مکانی آب زیرزمینی نیاز به تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی بوده که از طریق روش‌های میان‌یابی حاصل می‌شود. تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی آب زیرزمینی می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب بوده و نقشی ارزنده را در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا کند.

کـاهش سطح سفره‌های زیرزمینی مشکلاتی همچون خشک‌شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه و آب چاه‌ها، تنزیل کیفیت آب، افزایش هزینـه پمپاژ و استحصال آب و نشست زمین را به‌دنبال دارد که این به نوبه

خود منجر به کـاهش دسترسی به آب و کاهش تولید برای کشاورزان می‌شود. ازآن‌جایی که اقتصاد روستا بر پایه کشاورزی است و کشاورزی نیز وابسته به آب است ایـن اثرات کاهش سطح آب‌های زیرزمینی رفاه کشاورزان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد.

طبق گزارش وزارت نیرو، سالانه حدود هفت میلیارد مترمکعب از مخازن آب زیرزمینی کشور کاسته می‌شود. همچنین از ۶۰۹ دشت کشور، حدود ۴۰۹ دشت به‌عنوان دشت ممنوعه شناخته شده‌اند و روند افزایش تعداد دشت‌های ممنوعه از تعداد ۱۵ دشت در سال ۱۳۴۷ به ۱۹۹ دشت در سال ۱۳۸۰ و ۳۵۰ دشت ممنوعه در سال ۱۳۹۴، نشان‌دهنده وضعیت نامناسب منابع آب کشور است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۷). در کشور ایران با توجه به شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک حاکم در منطقه، استفاده بهینه از منابع محدود آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و دراختیارداشتن آمار و اطلاعات کافی به‌عنوان مؤثرترین گام در جهت شناخت جامع این منابع و رسیدن به پایداری نسبی آن‌ها است. استان فارس یکـی از استان‌هایی است کـه در مقایسه با سایر استان‌های کشور با مشکل بیلان منفی دشت‌ها روبرو است. این استان ۸۰ درصد آب مصرفی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کند که عمدتاً با بیلان منفی روبه‌رو هستند. در ۶۷ دشت از مجموع ۹۰ دشت کشاورزی استان فارس، بیلان آب زیرزمینی منفی است (محسن‌پور و زیبایی، ۱۳۸۹).

در حوزه آبخیز مهارلو- بختگان فشار بر روی منابع آبی به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در وضعیت هشدار قرار دارد (شرکت مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۹۳). این وضعیت به‌واسطه تغییرات اقلیمی که بخش عمده آن نیز به نوبه خود معلول فعالیت‌های انسانی است تشدید شده و تعادل آب‌وهوایی حوضه را برهم زده است. با توجه به این واقعیت که فعالیت عمده در استان فارس و به‌ویژه حوزه آبخیز مهارلو- بختگان عموماً در بخش کشاورزی است، کاهش کیفیت و کمیت آب، معاش بسیاری از کشاورزان را درخطر جدی قرار داده و امنیت غذایی را تهدید می‌کند. به همین دلیل آب زیرزمینی برای بحث کشاورزی و شرب در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند در اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به‌منظور حفظ کیفیت آن‌ها ضروری است. نظر به اینکه دشت ارسنجان یکی از پرچالش‌ترین دشت‌های حوزه آبخیز مهارلو-بختگان به لحاظ افت سطح آب زیرزمینی است (قنواتی و

همکاران، ۱۴۰۲)، ازاین‌رو هدف این مطالعه بررسی نوسانات و پتانسیل کمی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی ارسنجان است.

۳- پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی و مخاطره‌آمیزبودن برداشت بیش از حد از این منابع، وجود مطالعات مختلف و پیش‌بینی نوسانات آب زیرزمینی در سال‌های اخیر ضروری شده است. در این راستا در ایران و جهان مطالعات گوناگونی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Gehreles و همکاران (۱۹۹۴) به تحلیل نوسانات تراز سطحی آب زیرزمینی در کشور هلند پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراز آب در مناطق وسیعی در نتیجه زهکشی آب زیرزمینی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه توسط کشاورزان کاهش یافته است. Scanlon و همکاران (۲۰۱۲) بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان‌های کالیفرنیا و اثرات ناشی از آن را بررسی کردند. بدین‌منظور، سطح آب در هزاران چاه مورد پایش قرار گرفت و کاهش شدید سطح آب زیرزمینی ناشی از تهی‌شدگی شدید آبخوان‌های منطقه مشاهده شد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که تهی‌شدگی آب زیرزمینی در منطقه در دوره‌های خشکسالی شدت یافته است و اگر چه در طول دوره‌های پربارش روند تهی‌شدگی کاهش یافته اما بازیابی نشده است. مطالعات متعدد دیگری در زمینه بررسی نوسانات آب زیرزمینی و خشکسالی مربوط به آن، در کشورهایی نظیر چین (Ling و همکاران، ۲۰۲۴)، کانادا (Tremblay و همکاران، ۲۰۱۱)، شیلی (Taucare و همکاران، ۲۰۲۴) ، بنگلادش (Shahid و Hazarika، ۲۰۱۰) و ایالات متحده آمریکا- کالیفرنیا (Agarwal و همکاران، ۲۰۲۲) به انجام رسیده است. در برخی دشت‌های ایران نیز نوسانات آب زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفته است. از میان آن‌ها می‌توان به مطالعه تغییرات آب زیرزمینی در دشت سمنان (دوست محمدیان و همکاران، ۱۳۹۹)، دشت قروه- دهگلان (یوسفی مبرهن و زندی‌فر، ۱۴۰۲)، دشت جیرفت (انصاری و نادریان‌فر، ۱۳۹۱) و دشت عباس (پایمزد و همکاران، ۱۴۰۱) اشاره کرد.

Janardhanan و همکاران (۲۰۲۳) به برآورد هدررفت و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی برای حوزه آبخیز گانگا هند پرداختند. مطالعه ۲۸۵۱ چاه مشاهداتی، مدل‌سازی و تصاویر ماهواره‌ای تأیید کرد که میزان سطح آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده است. در پژوهشی دیگر، Mohamed و همکاران (۲۰۲۴) در سه بخش مختلف شبه جزیره عربستان جنوبی به پایش ۲۰ ساله منابع آب زیرزمینی به روش ژئوفیزیکی با استفاده از داده‌های گرانشی ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است.

رهنما و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان شهداد با استفاده از نرم‌افزار GMS و مدل Modflow نشان دادند که سطح ایستابی آبخوان در قسمت شمال، شرق، جنوب و قسمتی از نواحی مرکزی آبخوان کاهش یافته است. هم‌چنین، اصغری سرسکانرود و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر میزان سفره‌های آب زیرزمینی حوزه آبخیز خیاو واقع در استان اردبیل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE در یک بازه زمانی ۱۴ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که سطح آب‌های زیرزمینی به‌علت تغییر کاربری افت کرده است. نتایج تحقیقات ضیایی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و افت آبخوان در دشت اردبیل در دو مقطع زمانی در یک بازه زمانی ۲۰ ساله نشان داد که اراضی کشاورزی در افت سطح ایستابی اراضی کشاورزی در دشت اردبیل نقش مؤثری داشته است. در پژوهشی شیخابگم‌قلعه و همکاران (۱۴۰۲) اقدام به مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مهاباد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که آبخوان مهاباد در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و با افزایش برداشت و کاهش بارش‌ها به‌ویژه در سالهای اخیر وضعیت آن بدتر نیز خواهد شد. نتایج پژوهش صالحی شفا و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان داد تغییرات تراز و بیلان بهینه آب زیرزمینی هم‌زمان با کاهش مصارف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی افزایش قابل ملاحظه‌ای به‌ترتیب به اندازه ۱۷ متر و ۳۹۴ میلیون مترمکعب داشته‌اند. همچنین، بیلان حاصل از سناریوی سوم حاصل از سامانه مدل‌سازی آب زیرزمینی (GMS)، ۲۰۳ میلیون مترمکعب برآورد شد که نسبت به بیلان حاصل از این مدل، ۳۱۳ میلیون مترمکعب افزایش یافته و باعث افزایش تغییرات سطح آب زیرزمینی به اندازه ۱۳ متر شده است. همچنین حسین‌زاده کوهی و اردستانی (۱۴۰۳) اقدام به مدل‌سازی و بررسی وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان مهیار جنوبی- دشت آسمان در حوزه آبخیز گاوخونی به‌وسیله

مدل عددی Modflow و نرم افزار GMS کردند. نتایج نشان داد در دوره ۱۲۵ ماهه شبیه‌سازی، روزانه سهم مشخصی از ذخیره ثابت آبخوان کاسته شده است؛ به‌طوری‌که به‌طور متوسط ، ۷/۵ متر اُفت تراز آب زیرزمینی طی این دوره در آبخوان ایجاد شده و بیشترین افت، مربوط به قسمت شرقی آبخوان بوده است. رستمی خلج و همکاران (۱۴۰۳) نیز به بررسی تأثیر اجرای الگوی کشت روی تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در بخشی از آبخوان دشت مشهد- چناران پرداختند. به این منظور از مدل Modflow در بسته نرم‌افزاری GMS استفاده شد و لایه چاه‌های مشاهده‌ای، لایه مقادیر برداشت، لایه تغذیه آبخوان، لایه مرز آبخوان و لایه سنگ کف آبخوان برای مدل تهیه و به‌عنوان پوشش به مدل معرفی شد. سپس مدل واسنجی و ارزیابی شد و مقادیر تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد کاهش شش درصدی آب مصرفی در بخش کشاورزی روی تراز پیزومترها به‌طور متوسط حدود ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر بوده است و باعث بالاآمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های مورد مطالعه شده است. همچنین صیادی شهرکی و همکاران (۱۴۰۳) اقدام به طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی شانون کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنتروپی شانون برای پایش شبکه آب زیرزمینی مناسب است.

مرور مطالعات انجام‌شده بیانگر اهمیت پایش و بررسی مستمر وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت، حفظ و افزایش پتانسیل این منابع ارزشمند به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، به‌طوری که در اغلب دشت‌های ایران این مطالعات انجام شده و همچنان ادامه دارد. همچنین نتایج بسیاری از مطالعات انجام‌شده نشان‌دهنده افت سطح آب زیرزمینی دشت‌ها به‌دلیل سوء مصرف که با رخدادهای خشکسالی همراه شده، است.

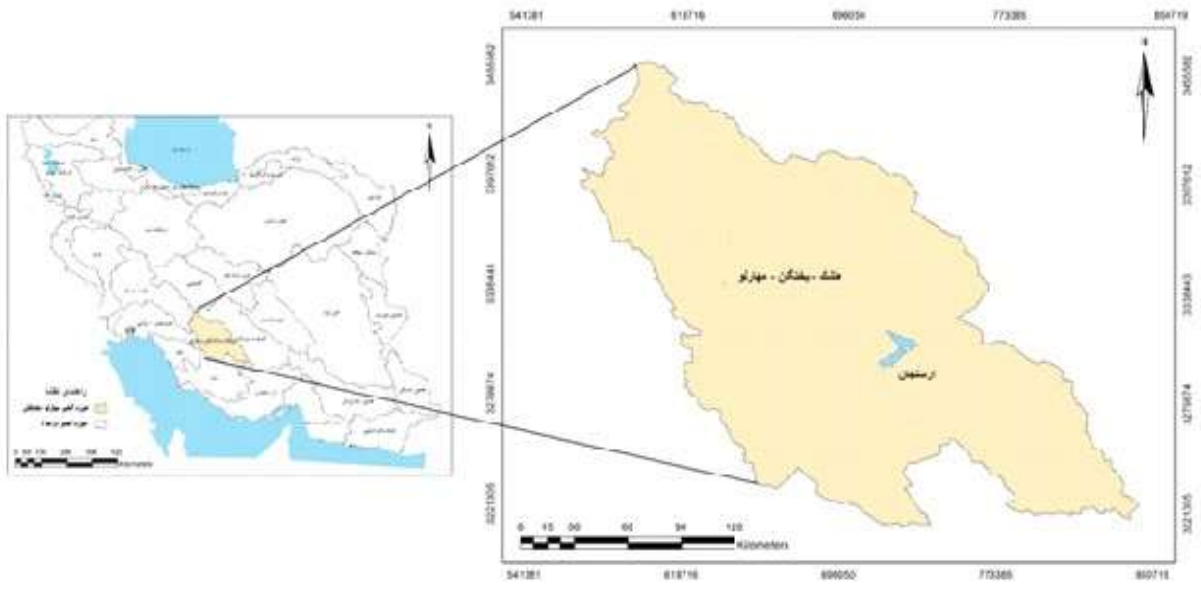
۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

برای انجام مطالعات منابع آب در مقیاس ملی، کل کشور به شش حوزه آبخیز درجه یک، ۳۰ حوزه آبخیز درجه دو و ۶۳۶ محدوده مطالعاتی تقسیم شده است. حوزه آبخیز دریاچه‌های طشک– بختگان و مهارلو با نام اختصاری مهارلو– بختگان یکی از حوضه‌های بسته ایران است که در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز ایران، زیرمجموعه حوزه آبخیز فلات مرکزی و دارای ۲۷ محدوده مطالعاتی است (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). این حوضه شامل رودهایی است که به دریاچه طشک، دریاچه بختگان و دریاچه مهارلو منتهی می‌شوند. حوضه مهارلو– بختگان تقریباً به‌طور کامل در استان فارس قرار دارد و بخش ناچیزی از آن، در محدوده استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد است. دشت ارسنجان در شمال‌شرق استان فارس با وسعت ۱۰۱/۰۶۴ کیلومترمربع است که بین طول‌های شرقی "۵۲ ′۱۲ °۵۳ تا "۵۲ ′۱۲ °۵۳ و عرض‌های شمالی "۲۳ ′۴۶ °۲۹ تا "۱۵ ′۵۶ °۲۹ واقع شده و جزء حوزه آبخیز مهارلو- بختگان محسوب می‌شود. متوسط ارتفاع دشت ارسنجان، ۱۷۵۰ متر، بیشینه ارتفاع ، ۳۲۷۰ متر در قله کوه سیاه و کمینه ارتفاع در نقطه خروجی دشت، معادل ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی ، درجه حرارت و تبخیروتعرق سالانه به‌ترتیب ۳۰۲ میلی‌متر، ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۴۰/۵ میلی‌متر و اقلیم منطقه بر اساس روش دمارتن، از نوع نیمه‌خشک است. دشت ارسنجان فاقد جریان دائمی آب‌های سطحی است و سیلاب‌های حاصل از ریزش باران از دامنه کوه به سوی پهنه میانی دشت در آبراهه‌ها جریان می‌یابد تا بخشی از سفره آب زیرزمینی را تغذیه کند. بر اساس گزارش‌های شرکت مدیریت منابع آب ایران، تعداد ۶۲۸ حلقه چاه با آب‌دهی سالانه ۸۸/۲۹ میلیون مترمکعب، ۱۵ دهنه چشمه با آبدهی سالانه ۲/۸۶ میلیون متر مکعب و نه رشته قنات با آبدهی ۶/۱ میلیون مترمکعب وجود دارد که در مجموع حجم تخلیه کل از منابع آب زیرزمینی، سالانه ۹۷/۲۵ میلیون مترمکعب است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۷). رخساره غالب آب زیرزمینی دشت ارسنجان بر اساس نمودار پایپر از نوع بی‌کربناته است. تغییرات مقدار کلر در نواحی عایشه،گودنظام و خورشید صحرا بین ۳۰/۲ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که نشان‌دهنده کیفیت مناسب آب در این نواحی و وجود جبهه تغذیه‌ای مناسب از ارتفاعات

سازندهای کارستی آهکی اطراف است. تغییرات هدایت الکتریکی در این مناطق بین ۵۹۸ تا ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. متوسط سختی آب دشت ارسنجان ۴۹۹/۶۷ قسمت در میلیون است و آب‌های منطقه بر این اساس به دو دسته آب های سخت و خیلی سخت تقسیم می‌شوند (کواری و همکاران، ۱۴۰۱).

مهم‌ترین واحدهای چینه‌شناسی شامل سازند سورمه (جنوب غربی دشت، آهک دولومیتی توده‌ای)، سازند داریان- فهلیان (آهک ضخیم و توده‌ای همراه با دولومیت بیشتر ارتفاعات را تشکیل داده و نقش مؤثری در تغذیه آبخوان دشت دارد)، گروه بنگستان (سازندهای کژدمی و سروک، آهک همراه با مارن)، رادیوالریت (چرت رادیولاری سبز، قرمز و خاکستری، به علت عدم تخلخل مفید و مؤثر، نقشی در تغذیه آبخوان ندارد)، سازند گورپی (بخش ناچیزی از سطح دشت را پوشانده است) و واحدهای دوره کواترنری (عمدتاً آبرفت‌های سطح دشت و برونزده‌هایی از سازند بختیاری در کناره دشت به‌صورت مخروط افکنه و واریز دامنه‌ای است) (حاتمی و پرویزی، ۱۳۹۴). در شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز مهارلو- بختگان در بین سایر حوزه‌های آبخیز ایران و همچنین محدوده مطالعاتی ارسنجان در حوزه آبخیز مهارلو- بختگان نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز مهارلو- بختگان و محدوده مطالعاتی ارسنجان

۴-۲- روش پژوهش

۴-۲-۱- مطالعه آبخوان

در این بخش به مطالعه و بررسی نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی، تغییرات سطح و تراز آب زیرزمینی و تهیه آبنمود معرف آبخوان پرداخته شد. داده‌های آب‌های زیرزمینی مربوط به یک دوره ۱۵ ساله (سال‌های آبی ۸۳-۱۳۸۲ تا ۹۷-۱۳۹۶) از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس دریافت شد. به‌منظور بررسی و مقایسه دقیق سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف و با توجه به داده‌های در دسترس، داده‌های موردنظر به سه دوره ۵ ساله شامل بازه‌های ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۸-۱۳۸۷، ۸۸-۱۳۸۷ تا ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۳-۱۳۹۲ تا ۹۸-۱۳۹۷ تقسیم شدند. بر این اساس، اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای تهیه و آماده‌سازی شد. پس از کنترل کیفیت و صحت داده‌ها، آزمون همگنی با روش آزمون توالی و آزمون نرمالیته در محیط نرم افزار SPSS انجام شد. با مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی (جدول ۱)، برای محاسبه میانگین داده‌های آب زیرزمینی دشت از روش میان‌یابی IDW که یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های درون‌یابی نقاط پراکنده در مکان است، استفاده شد. اساس روش مذکور بر این فرضیه استوار است که در یک سطح درون‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت‌تاثیر قرار گرفته و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود. به‌منظور تهیه نقشه خطوط هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی از داده‌های ماه کمینه سال آخر دوره آماری (سال آبی ۹۷-۱۳۹۶) برای آبخوان‌های حوزه آبخیز استفاده شد و پهنه‌بندی‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت.

جدول ۱- میزان خطاها و ضریب تعیین برای روش‌های مختلف میان‌یابی

روش	MBE	RMSE	R^2
IDW	-۰/۶۲	۹/۶	۰/۴۵
RBF	۰/۲۷	۱۰/۸	۰/۲۲
KRIGING	۱/۳	۱۰/۳۲	۰/۳۳

تراکم چاه‌های مشاهده‌ای در اغلب دشت‌های دارای شبکه، چندان مناسب نبوده، اما پاسخ‌گوی نیازهای تهیه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی است. نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آماری متفاوت و با استفاده از ارقام متوسط سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای تهیه شده است. مناسب‌ترین دوره آماری جهت بررسی داده‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های ماهانه تغییرات سطح آب زیرزمینی به گونه‌ای انتخاب شد که دربرگیرنده بیشترین تعداد چاه اندازه‌گیری شده در ماه کم آب باشد.

۴-۲-۲- بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی

به‌منظور بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش سطح آب، آبنمود معرف در طول دوره آماری با استفاده از نقشه تیسن کمی برای دشت مورد مطالعه تهیه شده است. هیدروگراف واحد یا آبنمود معرف، هیدروگراف متوسطی است که معرف آبخوان‌های منطقه است و از طریق آن، تغییرات سطح آب در طول دوره‌های مختلف چندین‌ساله و بالارفتن و پایین‌آمدن سطح آب آبخوان مشخص می‌شود. با توجه به هیدروگراف واحد می‌توان دوره‌های بیشینه و کمینه سطح آب در آبخوان را تعیین کرد (یوسفی مبرهن و زندی‌فر، ۱۴۰۲).

۴-۲-۳- بررسی تغییرات حجم مخزن

در این بخش ضمن بررسی ارقام اندازه‌گیری‌شده چاه‌های مشاهده‌ای و رفع خطاهای احتمالی، نهایتاً مجموع داده‌ها در قالب متوسط وزنی سطح آب زیرزمینی با استفاده از نقشه تیسن مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفت. با توجه به اینکه تحلیل نهایی به شکل تغییرات حجم مخزن نیازمند دسترسی به ضریب ذخیره متوسط و معرف آبخوان است، رقم مذکور با استفاده از مطالعات بیلان منابع آب دوره‌های گذشته (وزارت نیرو، ۱۳۹۲) و با تکیه بر تجربیات موجود و شناخت کارشناسی از محیط آب زیرزمینی به میزان چهار درصد برآورد شده است.

۴-۲-۴- بررسی شاخص‌های خشکسالی

همان‌طور که اشاره شد، خشکسالی یکی از زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به‌شمار می‌رود. این پدیده در درازمدت موجب کاهش منابع آب، از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. ازاین‌رو در پژوهش حاضر از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) به‌عنوان الگوی معتبر و کاربردی برای بیان کمی وضعیت خشکسالی، مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین قابلیت این شاخص همبستگی بالای آن با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوضه در پیش‌بینی خشکسالی‌های فصل تابستان است. اما شاخص GRI به مانند دیگر شاخص‌ها و روش‌ها دارای محدودیت نیز است. به‌عنوان مثال این شاخص برخی از عوامل دیگر را که می‌توانند منابع آب زیرزمینی را تحت‌تأثیر قرار دهند (به‌ویژه عوامل انسانی) نادیده می‌گیرد (Van Loon & Van Lanen، ۲۰۱۳). مقدار شاخص GRI با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \qquad (۱)$$

که در آن $D_{y,m}$ مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m، $\mu_{D,m}$ و $\sigma_{D,m}$ به‌ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه m در طول دوره آماری هستند. طبقه‌بندی مقادیر شاخص GRI در جدول ۲ نشان داده شده است (Mendicino و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکسالی با توجه به مقادیر شاخص GRI

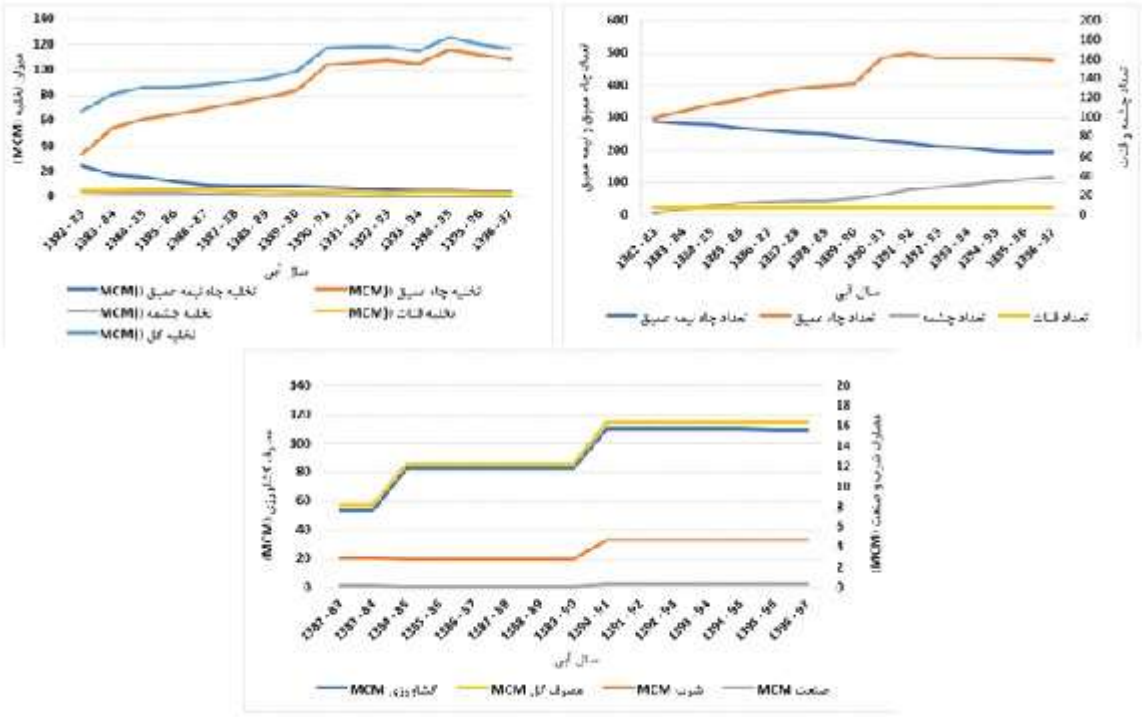
طبقات خشکسالی	GRI
ترسالی بسیار شدید	≤۲
ترسالی شدید	۱/۵ - ۲
ترسالی متوسط	۱ - ۱/۵
ترسالی ملایم	۰/۵ - ۱
نرمال	-۰/۵ - ۰/۵
خشکسالی ملایم	-۱ - -۰/۵
خشکسالی متوسط	-۱/۵ - -۱
خشکسالی شدید	-۲ - -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	≥-۲

در نهایت به‌منظور بررسی تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی و هیدرولوژیک بر کمیت آب‌های زیرزمینی، شاخص GRI با شاخص‌های SPI و SDI که شاخص‌های هواشناسی و هیدرولوژی هستند مورد مقایسه قرار گرفت و روابط بین آن‌ها تبیین شد.

۵- نتایج و بحث

۵-۱- بررسی منابع بهره‌برداری آب زیرزمینی

جدول ۳ و شکل ۲ وضعیت مصارف و بهره‌برداری از محدوده مطالعاتی ارسنجان در طی دوره آماری ۱۵ ساله را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چاه‌های نیمه‌عمیق، عمیق، چشمه‌ها و قنوات متعددی در این محدوده وجود دارند. حجم اصلی تخلیه آب‌های زیرزمینی محدوده از چاه‌های عمیق است و تا سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ روند افزایشی بوده و پس از آن روند کاهشی ملایمی به‌خود گرفته است. بیشترین و کمترین میزان تخلیه آبخوان‌های آبرفتی و سازندهای سخت به‌ترتیب مربوط به سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ به میزان ۱۲۵/۹ میلیون مترمکعب و سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ به میزان ۹۸ میلیون مترمکعب است. روند کاهشی مربوط به مصارف کل و تخلیه کل محدوده از سال ۹۵-۱۳۹۴ نشان‌دهنده کاهش مصرف، هم‌سو با کاهش سطح آب در منطقه است. مصرف عمده از منابع آبی در این منطقه طبق نمودارهای زیر مربوط به بخش کشاورزی است. به‌دلیل کیفیت مناسب آب زیرزمینی در این بخش، از این آب‌ها برای مصرف شرب نیز استفاده می‌شود. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که از سال ۱۳۸۹ تعداد چشمه‌ها با یک شیب ملایم افزایش یافته است. این افزایش می‌تواند عمدتاً ناشی از افزایش بارندگی در سال‌های منتهی به این دوره (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۲) و به‌دنبال آن بالاآمدن سطح آب زیرزمینی در واحدهای کارستی منطقه باشد که موجب فعال‌شدن چشمه‌های فصلی و کم‌دبی شده که در سال‌های خشک قابل مشاهده نبوده‌اند. همچنین بهبود پایش منابع آب در آن مقطع زمانی (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۰) و در نتیجه ثبت چشمه‌های کوچک، فصلی یا کم‌دبی که در گذشته ثبت نشده بودند، می‌تواند دلیل دیگر افزایش تعداد چشمه‌ها از سال ۱۳۸۹ به بعد باشد.



شکل ۲- نمودارهای منابع آب و مصارف محدوده مطالعاتی ارسنجان

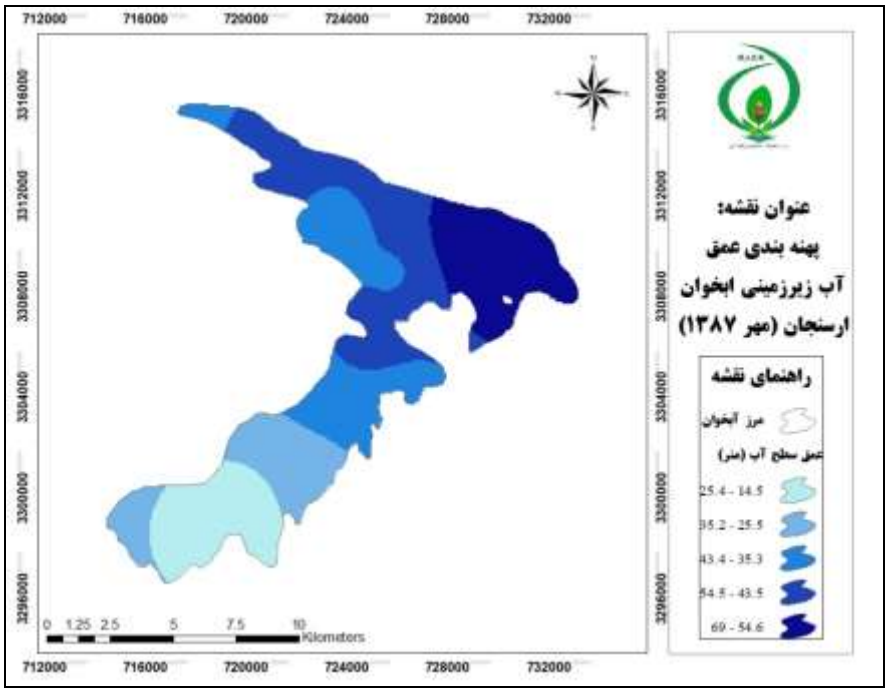
جدول ۳- وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی ارسنجان (میلیون مترمکعب)

سال آمار	چاه نیمه عمیق		چاه عمیق		چشمه		قنات		تخلیه کل	مصرف		
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه		کشاورزی	شرب	صنعت	مصرف کل
۱۳۸۲-۸۳	۲۹۰	۲۵	۳۰۰	۳۴	۲	۴	۸	۵	۶۸	۵۴	۳	۰/۳	۵۷/۳
۱۳۸۳-۸۴	۲۸۳	۱۸	۳۱۹	۵۴	۷	۳/۶	۸	۵/۳	۸۰/۹	۵۵	۳	۰/۳	۵۷/۳
۱۳۸۴-۸۵	۲۷۷	۱۶	۳۴۳	۶۱	۹	۳/۵	۸	۶	۸۶/۵	۸۲/۶۴	۲/۸۳	۰/۱۶	۸۵/۶۲
۱۳۸۵-۸۶	۲۶۹	۱۲	۳۵۵	۶۵	۱۲	۳	۸	۶/۱۱	۸۶/۱۱	۸۱	۲/۸۵	۰/۱۶	۸۵/۶
۱۳۸۶-۸۷	۲۶۰	۱۰	۳۷۶	۶۹	۱۴	۲/۸۶	۸	۵/۹	۸۷/۷۶	۸۴	۲/۸۵	۰/۱۶	۸۵/۵
۱۳۸۷-۸۸	۲۵۵	۹	۳۸۹	۷۳	۱۵	۲/۵	۸	۵/۴	۹۰/۴	۸۳	۲/۸	۰/۱۶	۸۵/۶
۱۳۸۸-۸۹	۲۴۹	۸/۵۸	۳۹۹	۷۸	۱۵	۱/۲	۸	۵/۱	۹۳/۷۸	۸۴	۲/۷۳	۰/۱۶	۸۵/۷
۱۳۸۹-۹۰	۲۴۰	۸/۶	۴۰۶	۸۴	۱۷	۱/۷	۸	۴/۷	۹۸/۹۸	۸۴/۸	۲/۹	۰/۱۶	۸۵/۶۳
۱۳۹۰-۹۱	۲۲۹	۸	۴۸۵	۱۰۴	۲۱	۱/۵	۸	۴/۲	۱۱۷/۷	۱۱۰/۰۷	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۵/۰۸
۱۳۹۱-۹۲	۲۲۱	۷	۴۹۹	۱۰۶	۲۶	۱/۲	۸	۴	۱۱۸/۲	۱۰۹/۸	۴/۸	۰/۳۲	۱۱۵
۱۳۹۲-۹۳	۲۱۱	۶	۴۸۵	۱۰۷	۲۹	۱	۸	۳/۷	۱۱۸/۰۶	۱۰۶/۶	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۵/۱
۱۳۹۳-۹۴	۲۰۸	۵/۵	۴۹۰	۱۰۵	۳۱	۰/۹	۸	۳/۹	۱۱۵/۳	۱۱۰	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۵/۱
۱۳۹۴-۹۵	۱۹۹	۴/۹	۴۸۰	۱۱۶	۳۴	۰/۵	۸	۴/۵	۱۲۵/۹	۱۰۹/۹۵	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۵/۰۵
۱۳۹۵-۹۶	۱۹۵	۴/۰۹	۴۸۲	۱۱۲	۳۷	۰/۳	۸	۳/۵۶	۱۱۹/۹۵	۱۰۹/۶۷	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۴/۹۶
۱۳۹۶-۹۷	۱۹۶	۴/۱	۴۷۸	۱۰۹	۳۹	۰/۲۲	۸	۳/۴	۱۱۶/۷۲	۱۰۹/۵۸	۴/۷	۰/۳۲	۱۱۴/۶۹

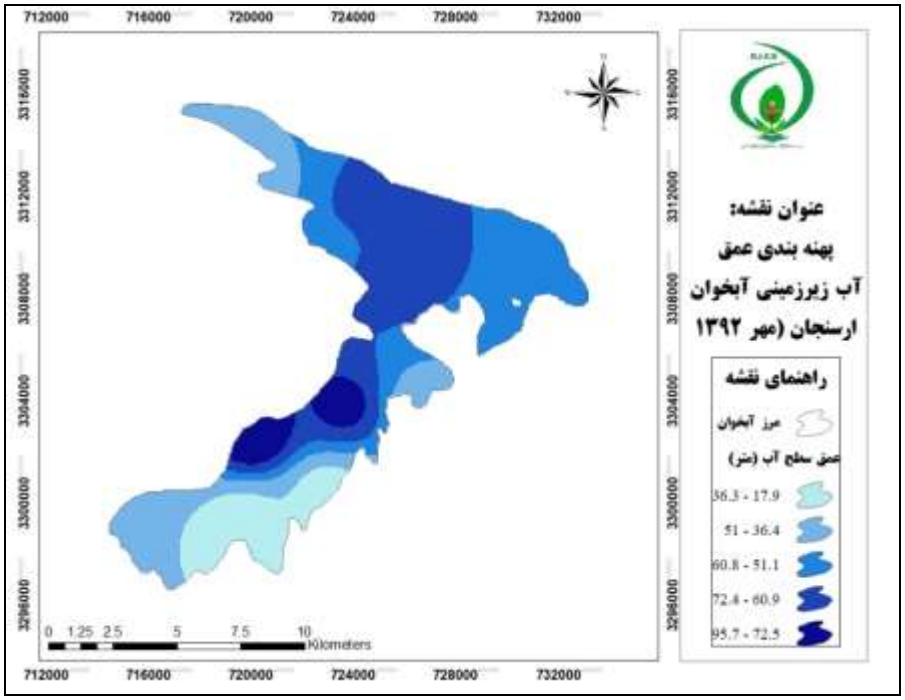
۵-۲- بررسی نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی

نقشه خطوط هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی بر اساس داده‌های ماه کمینه سال آخر دوره آماری (سال آبی ۱۳۹۶-۹۷) برای آبخوان ارسنجان رسم شده است. ابتدا موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای به استناد مختصات نقطه‌ای دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس بر روی نقشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ پیاده شده و سپس با روش درون‌یابی منحنی‌های هم تراز سطح آب زیرزمینی این محدوده مطالعاتی ترسیم شده است.

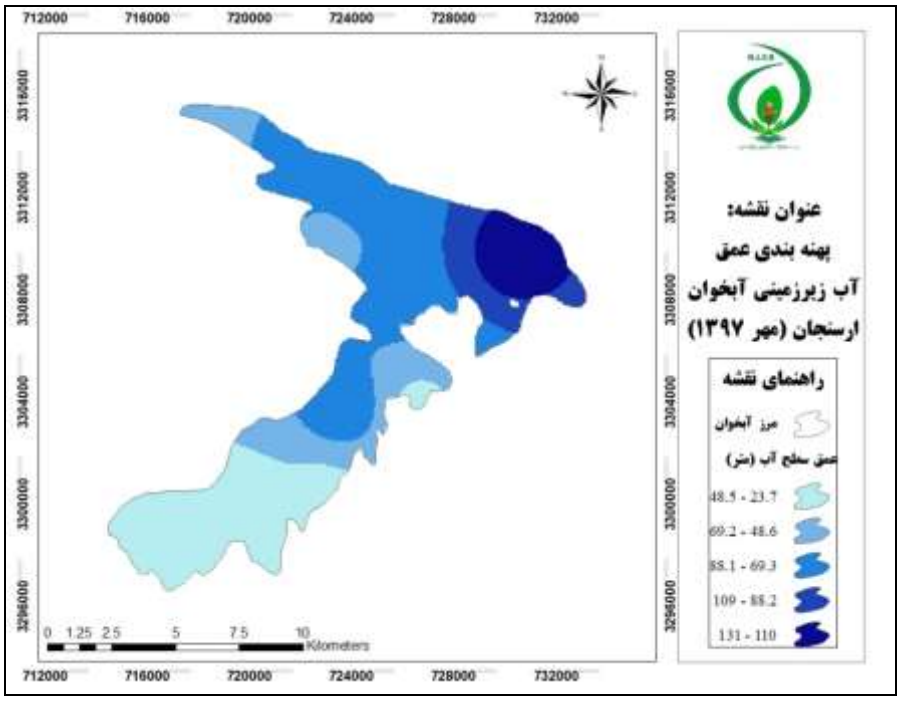
نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در مهرماه سال ۸۷، ۹۲ و ۹۷ به‌ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۵ برای آبخوان محدوده ارسنجان نشان داده شده است. در مهرماه سال ۱۳۸۷ منحنی‌های هم‌عمق نشان‌دهنده عمق ۱۴/۵ تا ۶۹ متری آب زیرزمینی در سفره آبرفتی ارسنجان هستند. عمق آب زیرزمینی در قسمت شمال‌شرقی دشت بیشتر از نواحی جنوبی (خروجی) دشت است، به‌گونه‌ای که در این ناحیه عمق سطح آب زیرزمینی به حدود ۶۹ متر می‌رسد. در سال ۱۳۹۲، کمینه عمق آب زیرزمینی در خروجی دشت مشاهده می‌شود و این در حالی است که عمق آب زیرزمینی در ناحیه شمال و شمال‌غربی که محل تغذیه آبخوان است، کاهش یافته است. دلیل این موضوع می‌تواند وقوع بارش‌های بیشتر در سال‌های منتهی به ۱۳۹۲ باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۲)، که موجب ورود حجم بیشتر آب به آبخوان شده است. در سال ۱۳۹۷ نیز با کاهش بارندگی‌ها روندی مشابه سال ۱۳۸۷ مشاهده می‌شود. اما به‌طور کلی در دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه، شاهد افزایش عمق آب زیرزمینی هستیم که نشان‌دهنده افت سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی مورد اشاره است.



شکل ۳- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۸۷

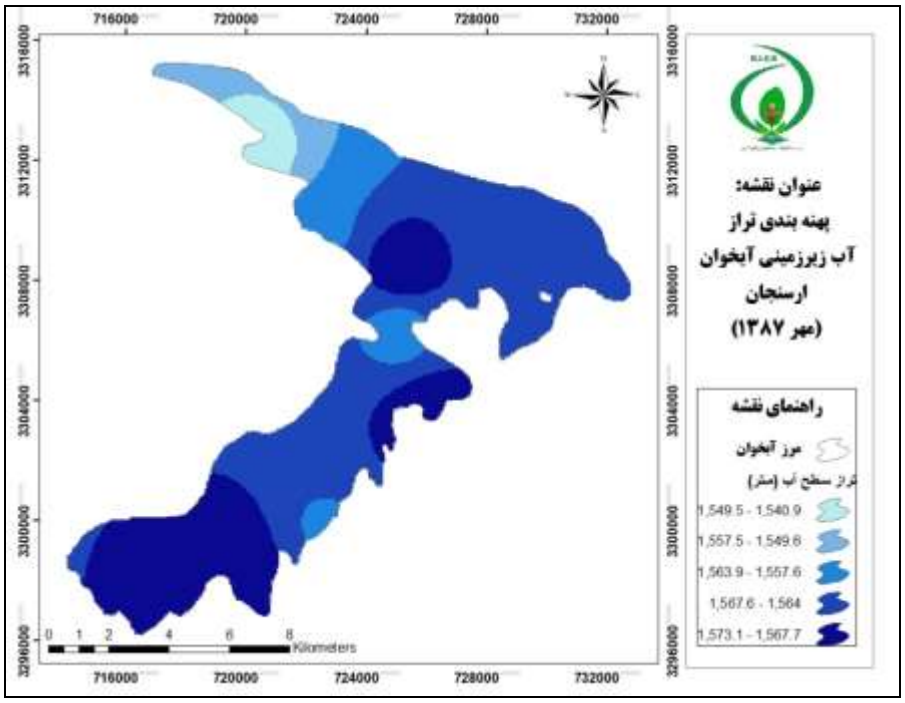


شکل ۴- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۲

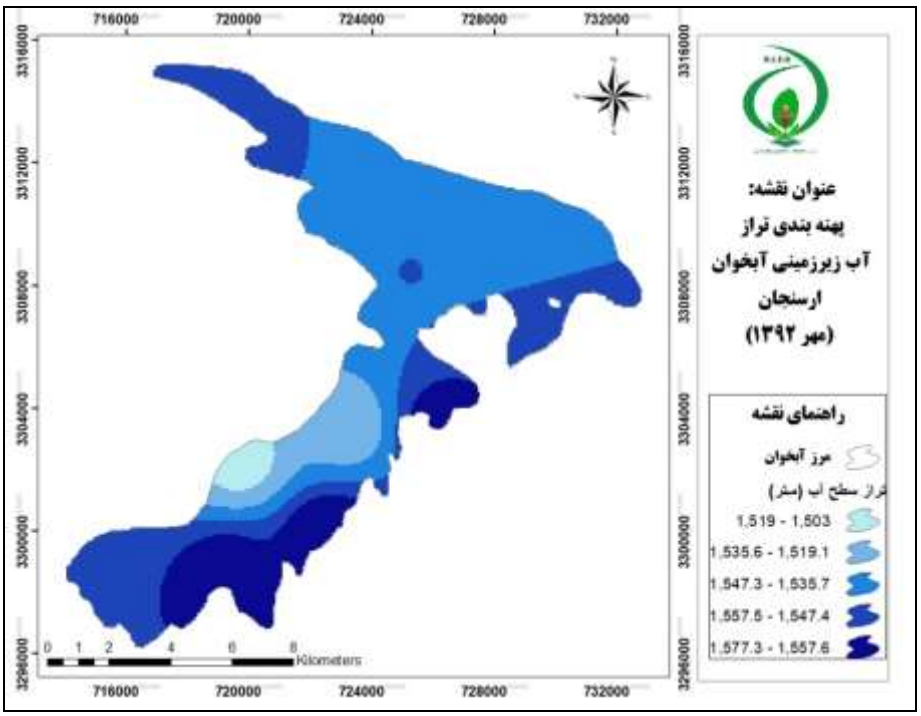


شکل ۵- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۷

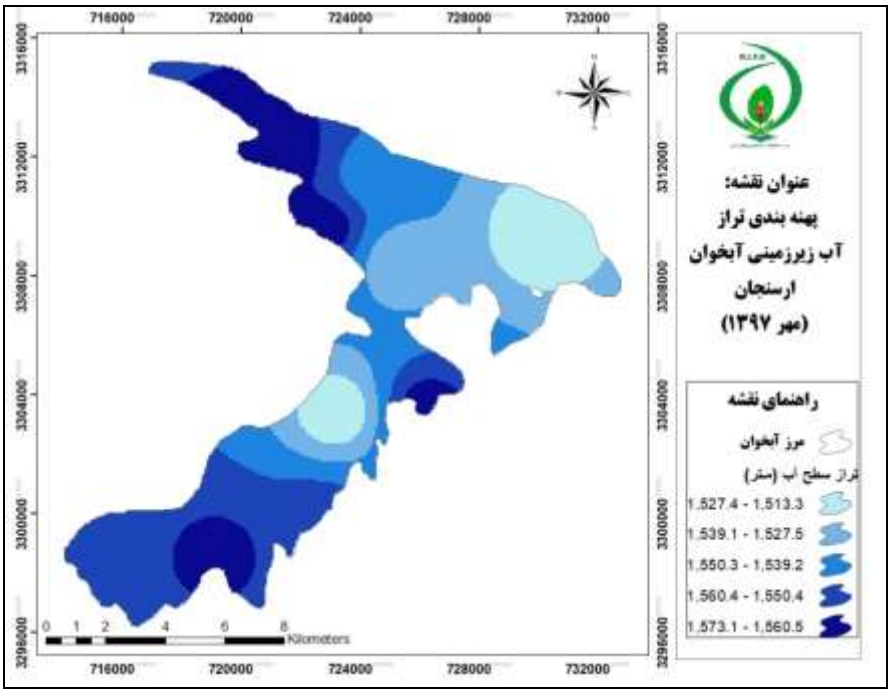
نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان در مهرماه سال‌های ۸۷، ۹۲ و ۹۷ در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها و خطوط همتراز، تراز آب زیرزمینی در آبخوان مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ از کمینه ۱۵۴۰/۹ متر تا بیشینه ۱۵۷۳/۱ متر، در سال ۱۳۹۲ از کمینه ۱۵۰۳ تا بیشینه ۱۵۷۷/۳ و در سال ۱۳۹۷ از کمینه ۱۵۱۳/۳ تا بیشینه ۱۵۷۳/۱ تغییر می‌کند. بیشترین تراز سطح آب زیرزمینی در هر سه‌سال مربوط به جنوب و جنوب‌غرب آبخوان که در واقع خروجی آبخوان است، است. لازم به ذکر است که کمینه میزان تراز سطح آب زیرزمینی در سه دوره مورد مطالعه یک روند نزولی نشان می‌دهد و افت تراز سطح آب مشهود است.



شکل ۶- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۸۷



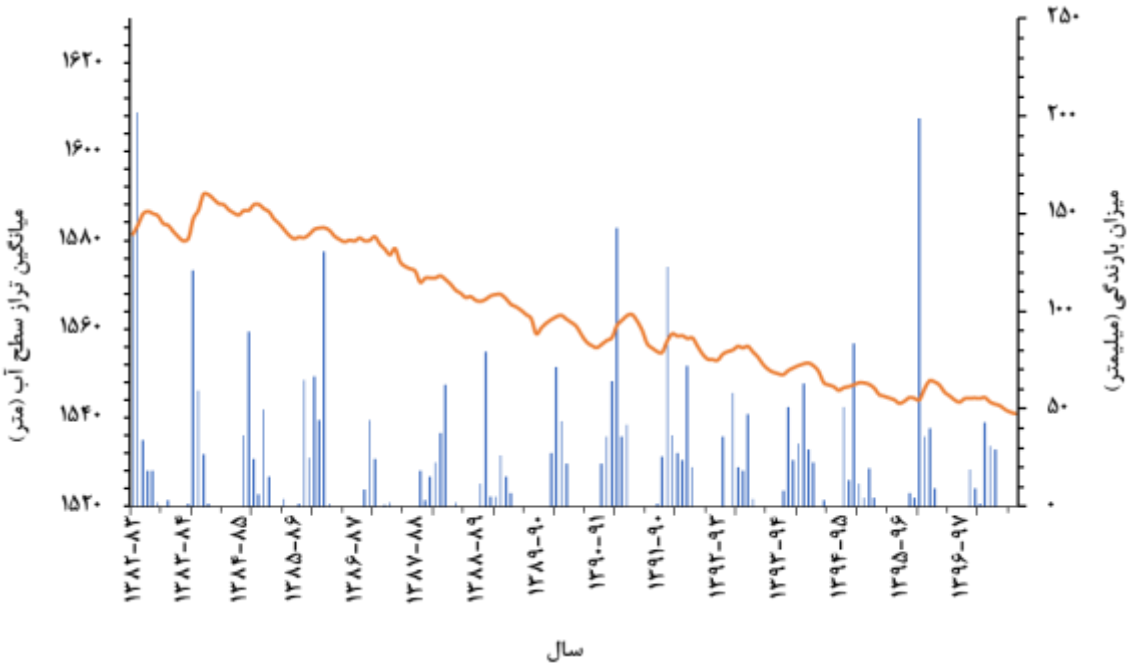
شکل ۷- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۲



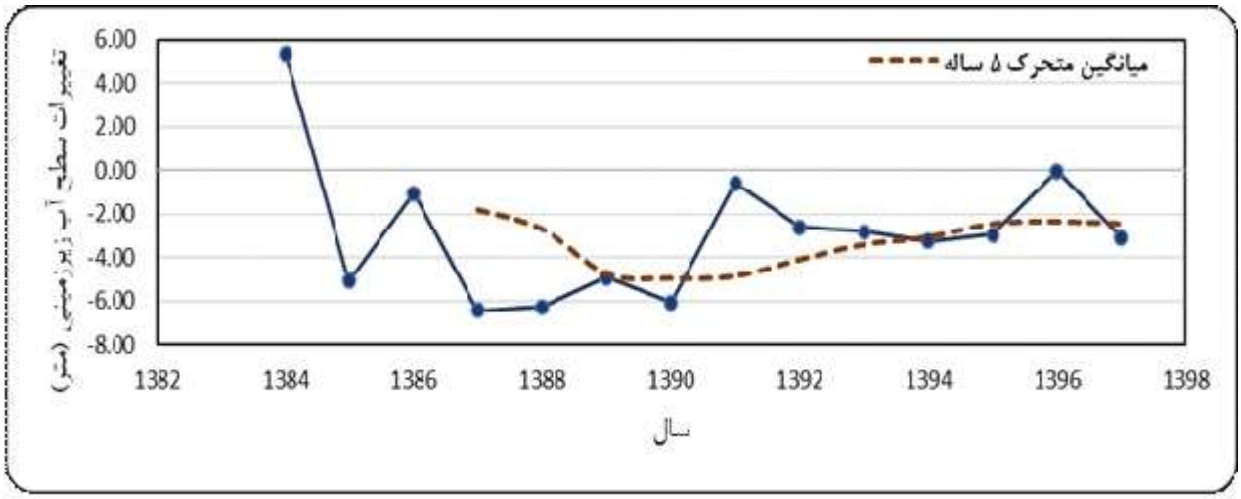
شکل ۸- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان ارسنجان در مهرماه سال ۱۳۹۷

۳-۵- آبنمود معرف و تغییرات سطح آب زیرزمینی

شکل ۹ آبنمود معرف و شکل ۱۰ تغییرات تراز سطح سفره آب زیرزمینی برای یک دوره ۱۵ ساله (۹۷-۱۳۸۲) را نشان می‌دهند. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری مذکور حاکی از آن است که تراز آب زیرزمینی به‌طور کلی روندی نزولی دارد و سطح آب زیرزمینی در طول این دوره با افتی برابر ۴۰/۴۱ متر روبرو بوده است. بنابراین متوسط افت سالیانه سطح سفره آب زیرزمینی برابر ۲/۷ متر محاسبه می‌شود که عدد قابل توجهی است اما به‌دلیل کم‌بودن وسعت آبخوان و تأثیرپذیری زیاد، دور از ذهن نیست. محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن (۰/۱۶) بین تراز آب زیرزمینی و میزان بارش بیان‌گر وجود همبستگی ضعیف بین میزان بارش و تراز آب زیرزمینی است که این همبستگی ضعیف نیز با یک تأخیر سه ماهه همراه است. این نتیجه بدین معنا است که عوامل دیگری مانند برداشت و مصرف آب زیرزمینی توسط انسان، تأثیر بیشتری در افت تراز آب زیرزمینی داشته است که در ادامه مورد به آن پرداخته می‌شود.



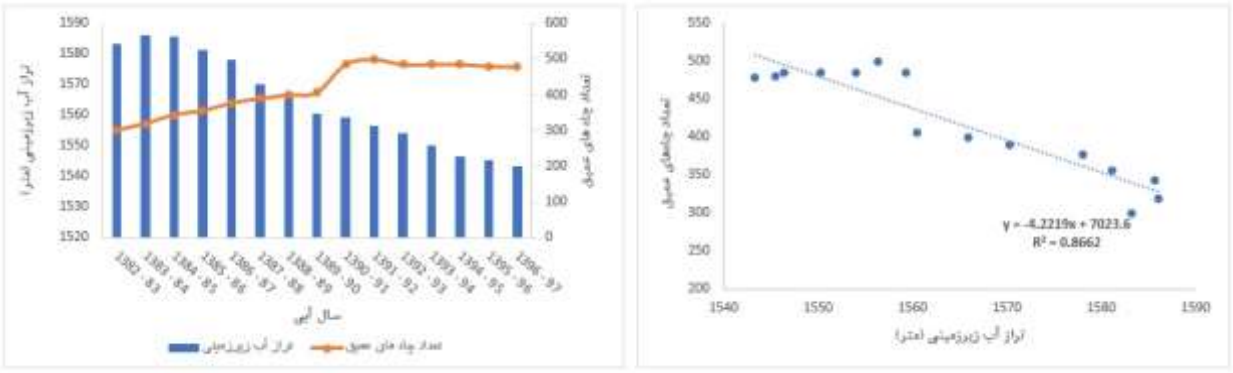
شکل ۹- آبنمود معرف و میانگین بارش سالانه در محدوده مطالعاتی ارسنجان



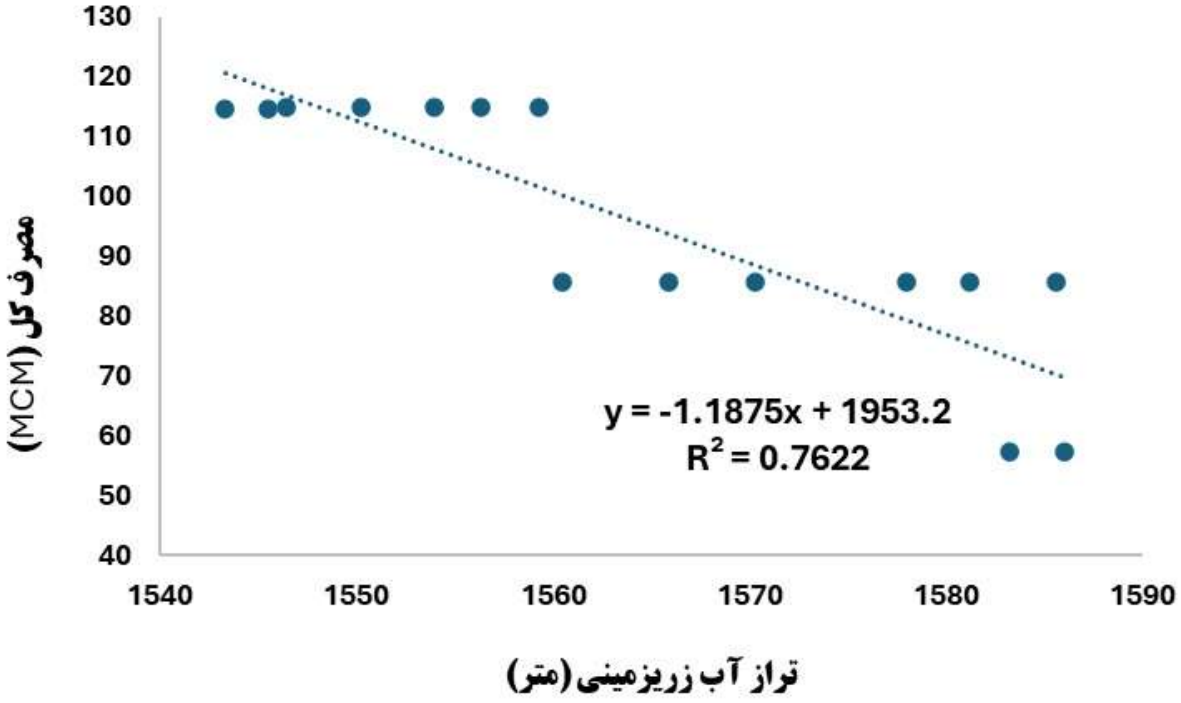
شکل ۱۰- تغییرات سطح آب زیرزمینی برای دوره زمانی مورد مطالعه در محدوده مطالعاتی ارسنجان

با وجود تغییرات نوسانی بارش در طول دوره مطالعه، روند کلی نزولی تراز سطح آب زیرزمینی در دشت ارسنجان نشان‌دهنده روند افزایشی برداشت از منابع آب زیرزمینی در پی کاهش میزان بارندگی و افزایش سطح زیر کشت در منطقه است. بررسی‌ها نشان داد که افزایش تعداد چاه‌های عمیق در طول دوره ۱۵ ساله مطالعه، علت اصلی کاهش تراز آب زیرزمینی در آبخوان ارسنجان بوده است (شکل ۱۱). همان‌طور که مشاهده می‌شود،

یک رابطه همبستگی معکوس قوی بین تراز آب زیرزمینی و تعداد چاه‌های عمیق وجود دارد (R^2=0.86). در تأیید این نتیجه، شکل ۱۲ تأثیر قابل توجه افزایش برداشت و مصارف آب زیرزمینی (کشاورزی، شرب و صنعت) بر افت تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. چنانچه مرادزاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند، در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ میزان بارندگی کاهش چشم‌گیر و معنی‌داری داشته و تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی مذکور سالانه بیش از یک متر افت داشته است که می‌تواند به برداشت بیش از حد آب از این منابع مرتبط باشد. همچنین نتایج پژوهش صفرپور و همکاران (۱۳۹۵) بیان‌گر کاهش قابل توجه سطح آب زیرزمینی است که در برخی نقاط طی ۲۵ سال گذشته (از زمان انجام پژوهش) افت سطح آب به ۶۰ متر رسیده است.



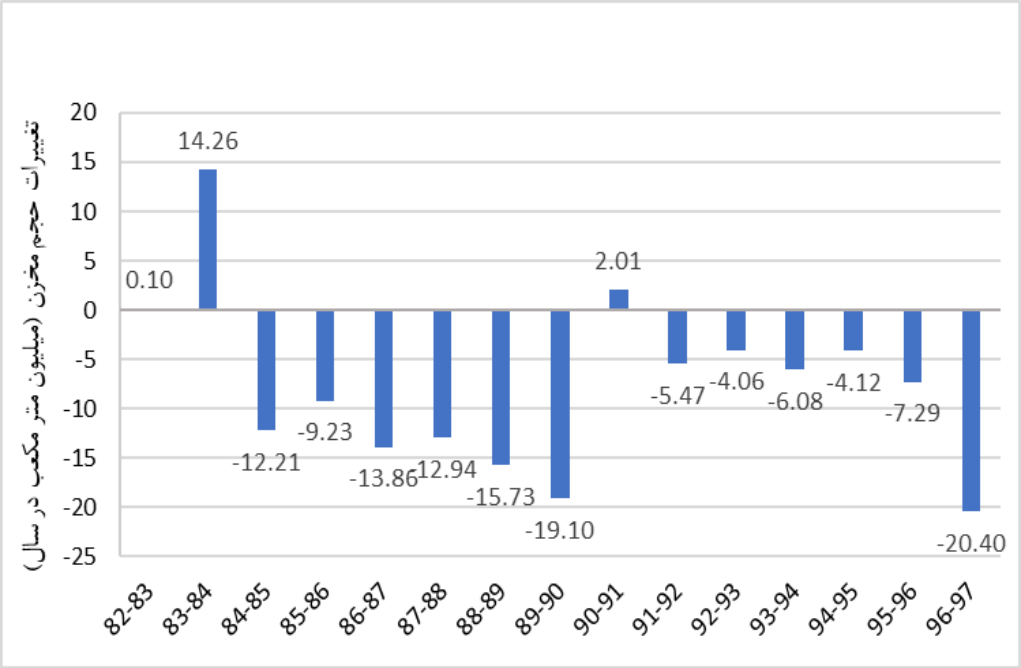
شکل ۱۱- تغییرات و رابطه تراز آب زیرزمینی و تعداد چاه‌های عمیق در طول دوره زمانی ۱۵ ساله مورد مطالعه



شکل ۱۲- رابطه تراز آب زیرزمینی و مصرف کل (کشاورزی، شرب و صنعت)

۵-۴- تغییرات حجم مخزن

در این بخش از گزارش با نگاهی به بیلان منابع آب منتهی به سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷، به تحلیل نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت ارسنجان و محاسبات کسری حجم مخزن آبخوان تا سال آبی ۹۷- ۱۳۹۶ اقدام شده است. شکل ۱۳ روند تغییرات سالانه و تجمعی حجم مخزن آبرفتی را نشان می‌دهد. روند تغییرات در بازه زمانی ۱۵ ساله، کاهشی است.



شکل ۱۳- نمودار تغییرات سالانه حجم مخزن آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی ارسنجان

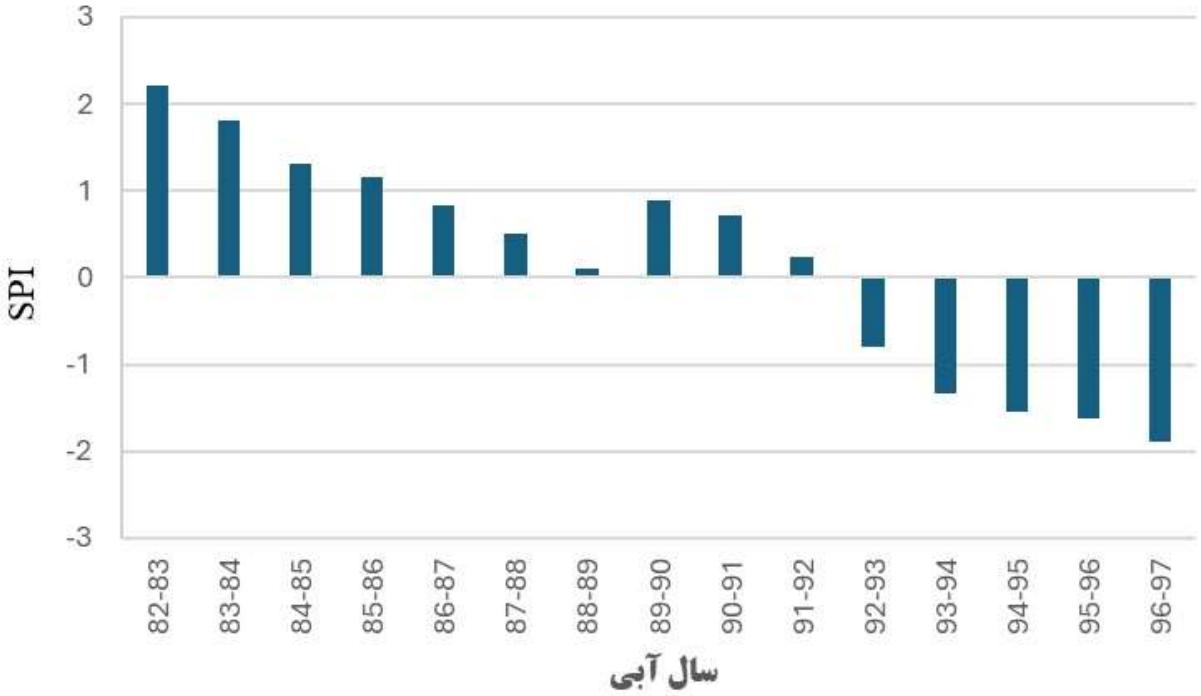
بنابراین می‌توان گفت که در سال‌های گذشته علاوه بر مصرف کل ذخیره تجدید شونده، بخش زیادی از ذخیره ثابت نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این نتیجه توسط نتایج به‌دست آمده توسط یوسفی مبرهن و زندی‌فر (۱۴۰۲) نیز تأیید می‌شود. در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ بیشترین کسری حجم مخزن (۲۰/۴ میلیون مترمکعب) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر کاهش بارندگی و افزایش برداشت آب زیرزمینی بر ذخیره آب زیرزمینی در طول دوره مورد مطالعه است.

۵-۵- پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت ارسنجان

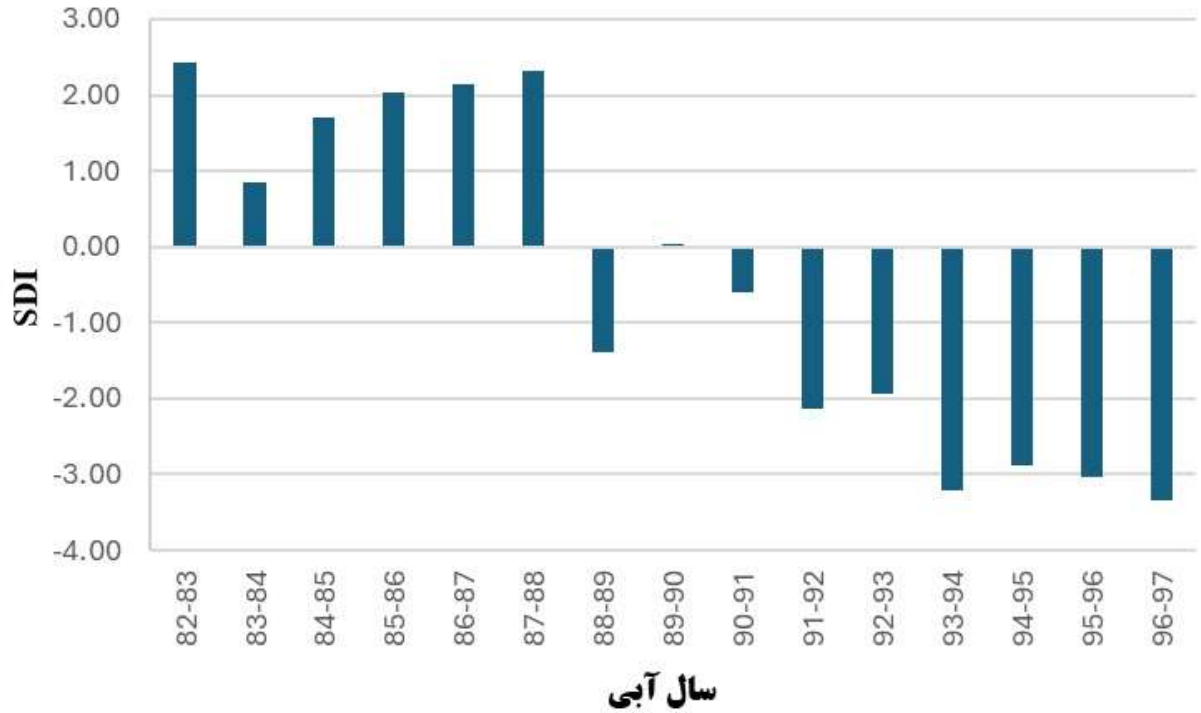
در این مطالعه به‌منظور برآورد و تعیین وضعیت خشکسالی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی ارسنجان از شاخص GRI استفاده شد. شکل ۱۴ نشان می‌دهد که شاخص GRI در طول دوره آماری مورد مطالعه دارای یک روند کاملاً نزولی است که این روند از سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ شدت گرفته است.

شکل ۱۴- تغییرات شاخص GRI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷)

وضعیت خشکسالی تا سال ۸۹-۱۳۸۸ در حد نرمال بوده و پس از آن شدید شده تا این‌که در انتهای دوره آماری مورد مطالعه به وضعیت خشکسالی بسیار شدید رسیده است. شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۹۷ (GRI= -۶/۴۶) مشاهده شد. در این‌جا نیز علی‌رغم وجود روند سینوسی بارش در دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه، یک روند کاملاً نزولی بر میزان شاخص GRI حاکم است که بیان‌گر برداشت روزافزون از منابع آب زیرزمینی دشت ارسنجان است. این نتیجه با نتایج روشان و همکاران (۱۳۹۸) که مهم‌ترین دلیل افزایش شدت خشکسالی را افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی معرفی کرده‌اند، همخوانی دارد. چمن‌پیرا (۱۴۰۱) نیز نتایج مشابهی گزارش کرد. مقادیر شاخص‌های SPI و SDI (شکل‌های ۱۵ و ۱۶) نیز نشان‌دهنده وقوع خشکسالی شدید از ابتدای دهه ۹۰ است که یک تأخیر دو الی سه ساله را نسبت به شاخص GRI نشان می‌دهد. این موضوع نیز می‌تواند دلیلی بر تأثیر قابل توجه برداشت انسانی از چاه‌ها در خشکسالی آب‌های زیرزمینی باشد.

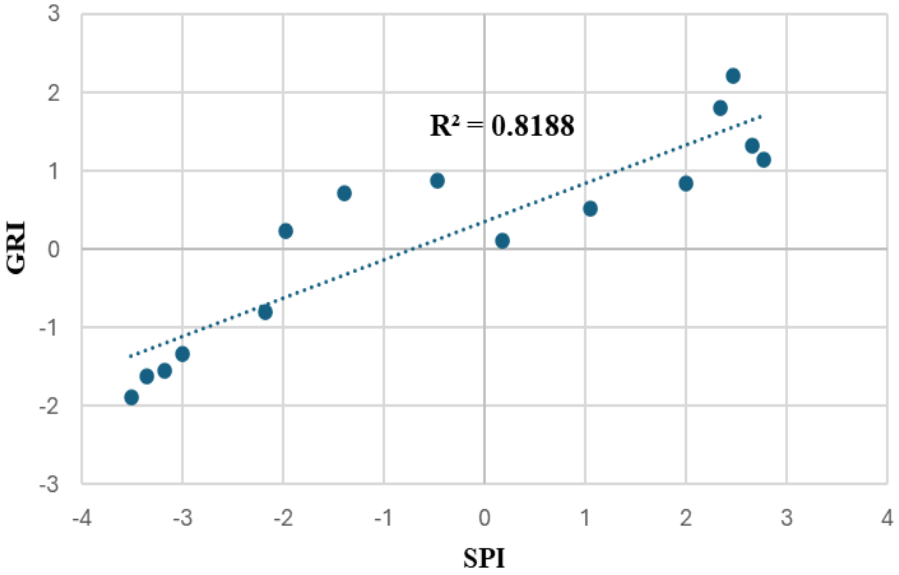


شکل ۱۵- تغییرات سالانه شاخص SPI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷)

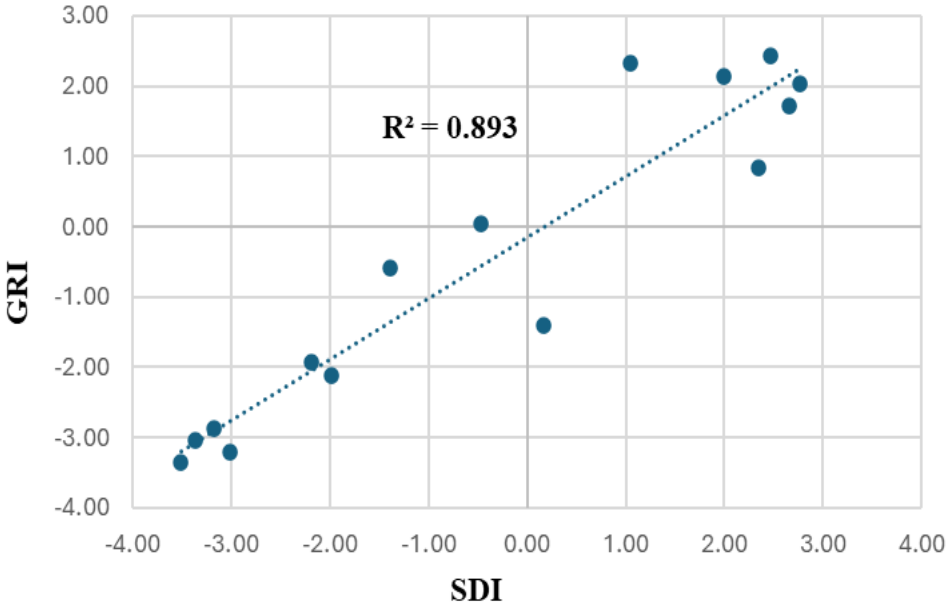


شکل ۱۶- تغییرات سالانه شاخص SDI در آبخوان ارسنجان برای دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۹۷)

همچنین شکل‌های ۱۷ و ۱۸ بیان‌گر وجود یک همبستگی قابل توجه بین خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) با خشکسالی‌های اقلیمی (SPI) و هیدرولوژیک (SDI) هستند.



شکل ۱۷- نمودار مقایسه تغییرات شاخص‌های GRI و SPI



شکل ۱۸- نمودار مقایسه تغییرات شاخص‌های GRI و SDI

۶- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، تراز سطح آب زیرزمینی در سه دوره زمانی مورد مطالعه یک روند نزولی نشان می‌دهد و افت تراز سطح آب مشهود است. بررسی تغییرات حجم مخزن نیز حاکی از این نکته بود که در سال‌های گذشته علاوه بر مصرف کل ذخیره تجدیدشونده، بخش زیادی از ذخیره ثابت نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. روند نزولی شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) و شدت‌گرفتن آن در سال‌های پایانی بازه زمانی مورد مطالعه، از مهم‌ترین نتایج این پژوهش است که در پی افزایش سطح زیرکشت، کاهش نزولات جوی و تغییر اقلیم رخ داده است. افزایش بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به‌دلیل عدم موازنه میان کل برداشت و تغذیه منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی با نرخی سریع‌تر شده است. راه‌کارهای عمده به‌منظور برقراری تعادل بین برداشت و تغذیه، مشتمل بر تقویت مدیریت بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی، به‌کارگیری سیاست‌های مدیریت تقاضا، بهبود راندمان آبیاری و افزایش عرضه آب است که هر یک از این راهکارها می‌توانند بر اساس شرایط محیطی، اجتماعی و اقتصادی حوضه به‌کار گرفته شوند.

۷- پیشنهادها

در این بخش به‌منظور حفظ و احیاء سطح آب زیرزمینی پیشنهادات اجرایی و پژوهشی به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱- توجه ویژه به اجرای پروژه‌های بیولوژیک آبخیزداری در بالادست حوزه‌های آبخیز و نیز پخش سیلاب در دشت‌های کشور که می‌تواند گام مهمی در جهت رفع یا کاهش افت سطح آب‌های زیرزمینی باشد.

۲- پیشنهاد می‌شود با توجه به گستردگی سازندهای سخت در منطقه مورد مطالعه، ارزیابی خواص هیدرودینامیکی این سازندها و محاسبه بیلان منابع آب در اولویت مطالعات وزارت نیرو قرار گیرد.

۳- پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی از ترکیبی از شاخص‌های خشکسالی مانند SPI و PDSI در کنار GRI استفاده شود تا تحلیل جامعی از وضعیت خشکسالی منطقه ارائه شود.

٤- با توجه به عوامل مهم و کلیدی، سه سناریوی مدیریتی را می‌توان متصور بود که پیشنهاد می‌شود مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند:

سناریو ۱: مدیریت فعال و سخت‌گیرانه (هدف: توقف سریع افت و احیای سطح آب در ۱۰ سال)

اقدامات مدیریتی:

- اجرای اجباری سامانه‌های آبیاری تحت فشار در ۷۰ درصد اراضی طی ۵ سال
- اجرای گسترده طرح‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از آب سیلاب و پساب تصفیه‌شده
- ممنوعیت کامل حفر چاه جدید و انسداد چاه‌های غیرمجاز
- تعرفه‌های بسیار سنگین برای برداشت مازاد بر مجاز

سناریو ۲: مدیریت تدریجی و مشارکتی (هدف: کاهش نرخ افت به یک سطح پایدار در ۲۰ سال)

اقدامات مدیریتی:

- تسهیلات تشویقی برای کشاورزانی که به روش‌های کم‌آب‌بر روی می‌آورند.
- اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در مقیاس متوسط
- اصلاح و ارتقاء شبکه توزیع آب شرب برای کاهش تلفات
- فرهنگ‌سازی و آموزش عمومی در مورد صرفه‌جویی در مصرف آب

سناریو ۳: مدیریت مبتنی بر سازگاری (هدف: سازگاری با شرایط متغیر و حفظ حداقل تأمین آب، حتی با ادامه افت)

اقدامات مدیریتی:

- تمرکز بر افزایش بهره‌وری آب در تمام بخش‌ها (کشاورزی، شرب، صنعت) بدون کاهش شدید
- اولویت‌بندی تأمین آب شرب و زیست‌محیطی
- مدیریت انعطاف‌پذیر برداشت بر اساس وضعیت سفره و میزان بارش
- استفاده از منابع آب سطحی و پساب به‌صورت بهینه
- آمادگی برای تأمین کسری از منابع جایگزین (مانند آبخیزداری، انتقال آب)

ملاحظات اخلاقی

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان اعلام می‌دارند که این اثر با رعایت کامل اخلاق نشر تهیه شده و هیچ‌گونه سرقت ادبی، رفتار سوء، جعل داده‌ها، ارسال یا انتشار هم‌زمان در جای دیگر صورت نپذیرفته است. همچنین هیچ منافع تجاری در راستای آن وجود نداشته و وجهی بابت ارائه اثر پیش از این دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان: نویسنده اول تجزیه و تحلیل داده‌ها، تدوین و ویرایش نهایی نشریه؛ نویسنده دوم مرور منابع و گردآوری داده‌ها؛ نویسنده سوم کنترل نهایی، محاسبات آماری.

بیانیه: نویسندگان محتوا را بررسی و ویرایش کردند و مسئولیت کامل محتوای منتشرشده را بر عهده می‌گیرند.

سپاسگزاری: اثر حاضر برگرفته از بخشی از نتایج پروژه پژوهشی با کد مصوب ۹۹۰۵۴۱-۹۹۰۲۵-۰۳۰-۰۹-۰۱-۰۹ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات) است. نویسندگان این مقاله بر خود فرض می‌دانند که از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سرکار خانم‌ها دکتر مریم نعیمی و سکینه لطفی‌نسب و جناب آقای دکتر عادل جلیلی قدردانی به عمل آورند.

منابع:

- ابراهیمی، ع.، ناظم‌السادات، س. م. ج. و قره‌داغی، ح. ۱۳۹۲. بررسی نوسان‌های پوشش خودرو و زراعی شهرستان ارسنجان در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ میلادی با استفاده از نمایه گیاهی EVI. مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، ۲۲۲۶ ص.
- اصغری سرسکانرود، ص.، صفری، ش. و و ملانوری، ا. ۱۴۰۰. تخمین سطح سفره‌های آب زیرزمینی متأثر از تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۲(۴): ۸۶-۶۵.
- انصاری، ح. و نادریان‌فر، م. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص فازی بارندگی و تبخیر- تعرق استانداردشده (SEPI) مدیریت آب و آبیاری،۲(۱): ۴۱-۵۴.
- پایمزد، ش.، رضایی، م. ر.، رضایی، م .ج. و رضایی، ج. ۱۴۰۱. تخمین تغییرات آب زیرزمینی با استفاده از چهار تکنیک متفاوت شبکهٔ عصبی تکاملی و داده‌های آب و هواشناسی (مطالعه موردی دشت‌عباس، استان ایلام. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۸(۲۲): ۴۳-۵۸.

- چمن‌پیرا، ر. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آب‌های زیرزمینی آبخوان کوهدشت در استان لرستان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۸(۱): ۱۷۹-۱۶۶.
- حاتمی، ف. و پرویزی، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر نشست زمین بر ضرایب هیدرودینامیکی خاک (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران، یاسوج، ۱۷۸۹ ص.
- حسین‌زاده کوهی، ح. و اردستانی، م. ۱۴۰۳. مدل‌سازی و بررسی وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان مهیار جنوبی- دشت آسمان با استفاده از مدل MODFLOW مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۱): ۱-۱۷.
- حمامی، ز. ۱۴۰۴. تأثیر کیفیت منابع آب بر توسعه اقتصادی پایدار در ایران. مجموعه مقالات سومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و پنجمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، تهران، ۳۳۷۸ ص.
- دوست‌محمدیان، ا. ح.، محمدی، م.، امیری، م. و کیانیان، م. ک. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات کمی آب‌های زیرزمینی در دشت سمنان. مهندسی منابع آب، ۱۳(۴۷): ۷۰-۶۱.
- رستمی خلج، م.، نور، ح.، رجایی، ح. و باقریان کلات، ع. ۱۴۰۳. بررسی تأثیر الگوی کشت روی تغییرات تراز آب زیرزمینی در بخشی از آبخوان دشت مشهد-چناران. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۵(۱): ۵۶-۴۵.
- روشان، ح.، حبیب نژاد روشن، م، شاهد، ک. ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و شاخص‌های خشکسالی GRI و SWI در دشت ساری – نکا. فضای جغرافیایی. ۱۹(۶۷) :۱۳۱-۱۴۶.
- رهنما، م.ب.، سهرابی‌پور، ن. و بارانی، غ.ع. ۱۳۹۹. بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان شهداد. آبیاری و زهکشی ایران،۱۴(۵) : ۱۶۵۰-۱۶۶۳.
- زندی‌فر، س. ۱۴۰۲. مطالعات کیفی آب‌های زیرزمینی در ایران. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ۲۸۲ ص.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۷. مرکز تحقیقات منابع آب، گروه مطالعات منابع آب زیرزمینی، http://wrbs.wrm.ir.
- شرکت مهندسین مشاور جاماب. ۱۳۹۳. به‌هنگام سازی طرح جامع آب (بسته شماره ۶: تلفیق مطالعات حوزه آبخیز مهارلو و طشک-بختگان). ۳۳۹ صفحه.
- شیخابگم‌قلعه، س، بابازاده، ح، رضایی، ح. و سرایی تبریزی، م. ۱۴۰۲. مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مهاباد. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۲): ۱۷-۱.
- صالحی شفا، ن.، بابازاده، ح.، آقایاری، ف، صارمی، ع، غفوری، م. ر، صفوی، م، و پناهدار، ع. ۱۴۰۲. تدوین الگوی کشت بهینه به‌منظور مدیریت تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت شهریار. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۲): ۲۳۵-۲۱۷.

- صفرپور، ح.، روستا، ح. و عبدالملکی، ن. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر خشکسالی و کاهش بارش بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت ارسنجان با استفاده از سنجش از دور GIS. مجموعه مقالات همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ۱۳۱۱ ص.
- صیادی شهرکی، ع، صیادی شهرکی، ف. و بختیاری چهل چشمه، ش. ۱۴۰۳. پایش شبکه تراز آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۱): ۳۲۶-۳۳۷.
- ضیایی، س.، اسمعیلی عوری، ا.، مصطفی زاده، ر. و قربانی، ا. ۱۴۰۰. بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و افت آبخوان در دشت اردبیل. هیدروژئومورفولوژی ، ۸(۲۸): ۱۲۷-۱۴۳.
- عباسی، ف.، سهراب، ف. عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی، ۱۷(۶۷): ۱۲۰-۱۱۳.
- قره‌چائی، ح. ر.، نظری سامانی، ع. ا.، خلیقی سیگارودی، ش.، فتح آبادی،ا. و احمدآل، خ. ۱۳۹۹. ارزیابی عوامل مؤثر بر خطر شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و آماری در مناطق خشک و نیمه‌خشک. نشریه تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۱(۱) :۶۰-۴۵.
- قنواتی، ا.، زارعی، ح.، رادمنش، ف. و احمدی، ف.۱۴۰۲. بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان)، اولین همایش ملی علوم و مهندسی محیط زیست در افق توسعه، اهواز.
- کواری، ب.، اسماعیل‌پور، ی.، موسوی، ع. ا.، بذرافشان، ا. و حلی‌ساز، ارشک. ۱۴۰۱. تحلیل عاملی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان استان فارس). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۵(۴): ۶۲۶-۶۰۷.
- محسن‌پور، ر. و زیبایی، م. ۱۳۸۹. بررسی پیامدهای خشکسالی در سطح مزرعه: مطالعه موردی منطقه مرودشت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴(۵۲): ۶۲-۴۹.
- مرادزاده، ع.، بوستانی، ف. و استواری، ی. ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت ارسنجان و تاثیر خشکسالی بر آن‌ها. مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد، ۴۱۸۳ ص.
- مردانه، م.، افلاطونی، م، و بوستانی، ف. ۱۳۹۱. بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز. مهندسی منابع آب، ۵(۱۳): ۸۷-۹۶.
- واعظی هیر، ع. و صفری، ف. ۱۴۰۳. بررسی امکان استفاده از آبخوان سازند سخت گویجه‌بل برای تأمین آب شرب شهر اهر. مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۶، شماره ۴، صفحات ۵۰۰ تا ۵۲۲.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۱. دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۳۱۰، ۱۳۴ ص.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۲. مطالعات به‌هنگام‌سازی طرح جامع آب حوزه‌های آبریز: مهارلو- بختگان، ابرقو- سیرجان، کویر لوت، درانجیر- ساغند، هامون- جازموریان. بسته شماره ۱، جلد پنجم: منابع آب زیرزمینی، ۴۸۸ ص.

- یوسفی مبرهن، ا. و زندی‌فر، س. ۱۴۰۲. پهنه‌بندی تغییرات افت سطح آب زیرزمینی و پایش زمانی خشکسالی در دشت قروه-دهگلان. سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۱۱(۱): ۱۷-۳۵.
- Agarwal, V., Akyilmaz, O., Shum, C.K., Feng, W., Yang, T.-Y., Forootan, E., Syed, T.H., Haritashya, U.K., Uz, M., 2022. Machine learning based downscaling of GRACE-estimated groundwater in Central Valley, California. Sci. Total Environ. 865: 161138.
- European Communities Luxembourg (ECL). 1996. officialgazette, No: l229/11, 229/29
- Gehreles, J.C., Van Geer, F.C. and De Vries, J.J. 1994. Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modeling in an area with shallow to deep unsaturated zones. Journal of Hydrology, 157: 105-138.
- Janardhanan, S., Nair, A.S., Indu, J., Pagendam, D. and Kaushika, G.S. 2023. Estimation of groundwater storage loss for the Indian Ganga Basin using multiple lines of evidence. Scientific Reports, 13: 1797.
- Krishnamoorthy, N., Thirumalai, R., Sundar, M.L., Anusuya, M., Kumar, P.M., Hemalatha, E., Mohan Prasad, M. & Munjal, N. 2023. Assessment of underground water quality and water quality index across the Noyyal River basin of Tirupur District in South India. Urban Climate, 49: 101436.
- Ling, Z., Shu, L., Wang, D., Yin, X., Lu, C. and Liu, B. 2024. Characteristics of groundwater drought and its propagation dynamics with meteorological drought in the Sanjiang Plain, China: Irrigated versus nonirrigated areas. Journal of Hydrology: Regional Studies, 54 (101911): 1-18.
- Liu, M., Nie, Z., Liu, X., Wang, L., & Cao, L. 2024. Change in groundwater table depth caused by natural change and human activities during the past 40 years in the Shiyang River Basin, northwest China. Science of the Total Environment, 906: 167722.
- Mendicino, G., Senatore, A. and Versace, P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357(3-4): 282-302.
- Mohamed, A., Alarifi, S.S. and Mohammed, M.A. 2024. Geophysical monitoring of the groundwater resources in the Southern Arabian Peninsula using satellite gravity data. Alexandria Engineering Journal, 86: 311-326.
- Najafzadeh, M. and A. Tafarojnoruz. 2016. Evaluation of neuro-fuzzy GMDH-based particle swarm optimization to predict longitudinal dispersion coefficient in rivers. Environmental Earth Sciences, 75: 157.
- Rust, W., Holman, I., Bloomfield, J., Cuthbert, M. & Corstanje, R. 2019. Understanding the potential of climate teleconnections to project future groundwater drought. Hydrology and Earth System Sciences, 23(8): 3233-3245.
- Scanlon, B.R., Longuevergne, L. and Long, D. 2012. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA. Water Resources Research., 48: W04520, doi:10.1029/2011WR011312.
- Shahid, S. and Hazarika, M.K. 2010. Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. Water Resources Management, 24 (10): 1989–2006.

- Taucare, M., Viguier, B., Figueroa, R. and Daniele, L. 2024. The alarming state of Central Chile's groundwater resources: a paradigmatic case of a lasting overexploitation. Science of The Total Environment, 906: 167723.
- Tremblay, L., Larocque, M., Anctil, F. and Rivard, C. 2011. Teleconnections and interannual variability in Canadian groundwater levels. Journal of Hydrology, 410 (3-4): 178–188.
- Van Loon, A.F. and Van Lanen, H.A.J. 2013. Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework, Water Resources Research, 49: 1483–1502, doi:10.1002/wrcr.20147.

Abstract:

Groundwater is a renewable, limited and vital resource for human life, social and economic development, and a valuable component of the ecosystem which is vulnerable to natural and human impacts. A part of the water-cycle takes place under the ground surface, of which groundwater resources are one of its components; so, it is necessary to conduct detailed studies for understanding the status of groundwater level fluctuations. The present study was conducted with the aim of investigating and zoning the quantitative fluctuations of groundwater in Arsanjan plain in Maharloo-Bakhtegan watershed. For this purpose, the zoning of groundwater table variations was done in ArcGIS environment and a representative hydrograph of the aquifer was prepared using 15-year data (2003-2018) of groundwater resources divided into three five-year time periods. Also, drought of the groundwater resources of the studied plain was investigated using GRI index. According to the results, the highest level of the groundwater table is related to the northeastern area of the plain by 131 m in October 2017, and the lowest water-table was observed in the southern area with the amount of 14.5 m in October 2007. Also, the results showed that the groundwater table has faced a drop of 14.5 m and an average annual drop of 1.87 m during the studied 15-year period. The volume changes of the reservoir also indicated that in addition to consuming the entire renewable reserve, a large part of the fixed reserve has also been exploited in the past years. The descending trend of GRI and its intensification in the last years of the studied time period is one of the most important results of this research, which occurred due to the population growth and increasing cultivated area, decrease in precipitation as well as climate change.

Keywords: GRI, Representative hydrograph, Reservoir volume, Water-table.

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Kohgilooyeh and Booyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Title: Zoning and investigation of quantitative fluctuations of groundwater resources in Arsanjan plain (Maharloo-Bakhtegan watershed)
Authors: Iman Saleh, Samira Zandifar, Majid Khazayi
Editor: Saeed Nabipay Lashkarian
Document Formatting: Abbas Seddigh
Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Circulation: 10 Copies
Date of Publication: Spring 2026
This scientific work has been registered with the series number of **69466** at the date of **2026-06-14** the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may reproduced or translated without the original reference**.**

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Kohgilooyeh and Booyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Technical Manuscript:

Zoning and investigation of quantitative fluctuations of groundwater resources in Arsanjan plain (Maharloo-Bakhtegan watershed)

Authors:
Iman Saleh, Samira Zandifar, Majid Khazayi

Series Number: 69466

2026

Minstry of Agriculture - Jahad
Agriculture Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Agricultural and natural resources research and training center of Kohgilooyeh and Booyerahmad province

Technical Manuscript

Zoning and investigation of quantitative fluctuations of groundwater resources in Arsanjan plain (Maharloo-Bakhtegan watershed)

Authors:
Iman Saleh, Samira Zandifar, Majid Khazayi

Series Number: 69466

2026