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

نشریه فنی

تحلیل اثربخشی عملیات مهندسی و بیومهندسی آبخیزداری در چارچوب مدیریت جامع حوزه آبخیز دماوند

نویسندگان:
رحمان شریفی، لطیف محمدزاده

شماره ثبت: ۶۹۳۰۵
۱۴۰۵

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

نشریه فنی:

تحلیل اثربخشی عملیات مهندسی و بیومهندسی آبخیزداری در چارچوب مدیریت جامع حوزه آبخیز دماوند

نویسندگان:
رحمان شریفی، لطیف محمدزاده

شماره ثبت: ۶۹۳۰۵

۱۴۰۵

وزارت جهادکشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: تحلیل اثربخشی عملیات مهندسی و بیومهندسی آبخیزداری در چارچوب مدیریت جامع حوزه آبخیز دماوند

نویسندگان: رحمان شریفی، لطیف محمدزاده

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

طراحی جلد و صفحه آرایی: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

این اثر در مورخه **۱۴۰۵/۰۲/۳۰** با شماره **۶۹۳۰۵** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است.

مخاطبان نشریه: کارشناسان معاونت فنی و عمرانی استانداری‌ها، فرمانداری‌ها، بخشداری‌ها، کارشناسان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ادارات کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌ها، مدیریت و جهادکشاورزی شهرستان‌ها، ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان‌ها، ادارات محیط‌زیست و مراکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان‌ها.

اهداف آموزشی: در این نشریه، سعی بر آن است که عملیات آبخیزداری همچون کنترل رسوب، کنترل سیل، کاهش فرسایش خاک و تعیین اثر بخشی عملیات آبخیزداری با بررسی داده‌ها، گزارش‌ها به‌ویژه گزارش‌های تلفیقی و سنتز، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای معرفی شود.

فهرست مطالب

چکیده ۱

مقدمه ۲

محل اجرا و موقعیت محدوده مطالعاتی ۴

موقعیت و شرح عمومی ۴
واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبعلی دماوند (زیرحوضه‌ها) ۵
خاک‌شناسی و تناسب اراضی ۷
زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی ۸
چینه‌شناسی منطقه ۹
هیدرودینامیکی سازندهای منطقه ۹
زمین‌لغزش (واریزه‌ها) در منطقه ۱۰
تحلیل واحدهای سنگی ۱۰
رژیم آبدهی رودخانه‌های منطقه ۱۲
رودخانه آبعلی ۱۲
رودخانه سیاهرود (زردستان) ۱۲
خلاصه گزارش سیلاب منطقه ۱۴
فرسایش و رسوبدهی ۱۵
پارامترهای مختلف فرسایشی در حوضه ۱۶
سازه‌های آبخیزداری از نظر زیرساخت ۱۶
بندهای اصلاحی ۱۶
انواع بندهای اصلاحی ۱۶
الف) براساس مدت کاربرد ۱۷
ب) براساس نوع کاربرد ۱۷
ج) براساس نوع مصالح مورد استفاده ۱۷
انتخاب نوع مصالح بندهای اصلاحی ۱۹
اصول حاکم در انتخاب محل اجرای انواع بندهای اصلاحی ۲۰
معیارها و شاخص های تعیین تعداد و فاصله بندهای اصلاحی ۲۱
شیب حد ۲۱
فاصله بندها ۲۲
ارتفاع بندها ۲۲
تعداد بندها ۲۲

مواد و روش‌ها..... ۲۳
گزارش فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و اقتصادی اجتماعی حوضه ۲۳
بررسی و ارزیابی گزارش تلفیق و سنتز گزارشات و پیشنهاد عملیات آبخیزداری ۲۴
بحث..... ۲۹
نتیجه‌گیری..... ۳۳
توصیه‌های فنی..... ۳۵
فهرست منابع..... ۳۷
ABSTRACT:..... ۳۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز آبعلی دماوند..... ۵
شکل ۲- شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز آبعلی دماوند..... ٦
شکل ۳- محدوده سیل در حوزه آبخیز آبعلی دماوند..... ۱۵
شکل ٤- نمونه‌هایی از تصاویر خشکه‌چینی در منطقه ۲۷
شکل ۵- سازه سنگی و ملاتی و تلفیق با سازه خشکه‌چینی که در مکان مناسب پیشنهاد و اجرا شده... ۲۹
شکل ٦- سازه گابیونی و سنگی و ملاتی اساسی با کارایی مناسب در منطقه..... ۲۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی حوضه آبعلی و واحدهای هیدرولوژیکی آن ۶
جدول ۲- متوسط آبدهی رودخانه‌های حوزه آبخیز دماوند (مترمکعب در ثانیه) ۱۳
جدول ۳- نتایج حاصل از سیلاب منطقه‌ای رودخانه‌های دماوند (مترمکعب در ثانیه)..... ۱۴

چکیده

عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز آبعلی-دماوند با اهداف گوناگونی از جمله کنترل رسوب، مهار سیلاب، کاهش فرسایش خاک و مدیریت جامع حوضه اجرا شده است. ارزیابی این برنامه‌ها، که خود یکی از مهم‌ترین مسائل در کلیه طرح‌های اجرایی (به‌ویژه طرح‌هایی که با محیط طبیعی سروکار داشته و مسائل اقتصادی و اجتماعی در آن‌ها دخیل است) محسوب می‌شود، به‌عنوان محور اصلی این نشریه فنی در نظر گرفته شده است. این ارزیابی در قالب سنجش نقاط قوت و ضعف سازه‌های فنی و مهندسی، بیومهندسی و بیولوژیکی اجراشده در حوزه آبعلی-دماوند صورت پذیرفته تا اثربخشی عملیات آبخیزداری از نظر مهار سیلاب، کنترل فرسایش و کنترل رسوب تعیین شود. این ارزیابی با بررسی داده‌ها، گزارش‌های تلفیقی و سنتزشده، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، همراه با بازدیدهای میدانی، عملیات صحرایی و مشاهدات کارشناسی تهیه شده است. نتایج ارزیابی سازه‌های حوضه نشان داد که محل نامناسب انتخاب‌شده یکی از عوامل اصلی کاهش کارایی و تخریب سازه‌ها است. سازه‌های سنگی و ملاتی در آبراهه‌های اصلی و سازه‌های گابیونی در آبراهه‌های درجه ۲ عملکرد مطلوبی داشتند. بااین‌حال، سازه‌های گابیونی در آبراهه‌های درجه ۳ و ۴ غالباً تخریب شده و کارایی کمتر از ۵۰ درصد از خود نشان دادند. سازه‌های خشکه‌چینی نیز حدود ۴۸ درصد کارایی داشتند و برخی از آن‌ها، با وجود تخریب جزئی، به اهداف موردنظر نزدیک شدند. سازه‌های سنگی‌چین (چپری) به‌دلیل نیاز به مصالح خاص، در این منطقه اجرا نشده‌اند. ارزیابی کلی نشان می‌دهد که سازه‌ها تا حد قابل قبولی به اهداف تعیین‌شده نزدیک هستند، اما در برخی موارد، انحراف کمی از هدف مشاهده شده است که نیازمند بهبود مکان‌یابی و انتخاب مصالح مناسب‌تر است. فعالیت‌های بیولوژیکی اجراشده نیز کارایی قابل قبولی داشته‌اند که جزئیات آن‌ها در ادامه بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: ارزیابی سازه‌های مکانیکی، حوزه آبخیز آبعلی، عملیات آبخیزداری، کنترل رواناب، کنترل فرسایش.

مقدمه

ارزیابی یکی از مهم‌ترین مسائل در تمام برنامه‌های اجرایی است به‌ویژه برنامه‌هایی که با طبیعت سروکار داشته و مسائل اقتصادی و اجتماعی در آن دخیل است. ارزیابی می‌تواند نقاط ضعف‌وقوت طرح‌ها را شناسایی و در پروژه‌های بعدی ترسیم درستی از تمام مسائلی که در طرح دیده شده و یا باید در طرح دیده می‌شد نمایان سازد (Madhu و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی در طرح‌های آبخیزداری که عموماً با عوامل بسیار مختلفی سروکار دارد و جنبه‌های مدیریتی طرح‌ها باید قوی دیده شود، از جایگاه خاصی برخوردار است. طرح‌های آبخیزداری با هدف‌های مختلف، شامل کنترل رسوب، کنترل سیل، کاهش فرسایش خاک، مدیریت حوضه و موارد مشابهی اجرا می‌شود (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف). برای نیل به اهداف مذکور پروژه‌هایی اجرا و برنامه‌هایی تدوین می‌شود که با وجود تلاش مدیریت‌های آبخیزداری، وضعیت مناسبی بین هدف و اجرای پروژه‌ها در سراسر کشور مشاهده نمی‌شود. زیرا بسیاری از ابزار و امکانات در اختیار مسئولین این بخش نبوده و مسائل و مشکلات قانونی، اجتماعی و اقتصادی باعث کم‌رنگ‌شدن اهداف می‌شود. همچنین عملیات اجرایی که در بخش مدیریت‌های آبخیزداری استان‌ها به اجرا در می‌آید نیز مشکلات خاص خود را دارد. کنارگذاشتن نسبی عملیات بیولوژیکی به‌دلیل مشکلات و معضلات اقتصادی و اجتماعی و روآوردن به عملیات مکانیکی خاص و صرف هزینه‌های بسیار سنگین در این خصوص باعث شده، بحث آبخیزداری که بیشتر جنبه مدیریتی دارد، زیر سؤال برود (مهدوی‌وفا، ۱۳۹۹ب). بنابراین، با توجه به کلیه مسائل و مشکلات موجود در آبخیزداری، ارزیابی پروژه‌ها پس از مدت دست‌کم پنج تا ده سال از اجرای آن‌ها، اهمیت زیادی در رسیدن به هدف خواهد داشت. در ارزیابی طرح‌های آبخیزداری مشکلات و تنگناها نمایان شده و هدف اصلی پس از مدتی ظاهر و یا به مرور کم‌رنگ می‌شود. در صورت رسیدن به هدف موردنظر، نوید موفقیت در آبخیزداری است. ولی در صورت عدم دسترسی به هدف موردنظر واقعاً نگران‌کننده است. هر دو مورد را در حوزه‌های آبخیز کشور که عملیات اجرایی آن‌ها به پایان رسیده، می‌توان مشاهده کرد.

سالانه نزدیک به دو میلیارد تن خاک حاصلخیز اراضی کشور در پشت سدها و مخزن‌ها جمع می‌شود که خسارات سنگینی وارد می‌آورند و از طرف دیگر عمدتاً وقوع سیلاب به واسطه عدم انجام عملیات آبخیزداری اتفاق

می‌افتد که خسارات مالی و جانی آن بر هیچ‌کس پوشیده نیست. شایان ذکر است که همین مقدار آب از دسترس خارج می‌شود و موجبات کم آبی را به‌وجود می‌آورد. کاربرد عملیات آبخیزداری در حفظ آب و خاک هم از نظر علمی و هم از نظر اقتصادی به‌ویژه در حل مشکلات اجتماعی و سیاسی نقش اساسی دارد. در ملل مختلف جهان به ویژه در ایالات متحده آمریکا ارزیابی عملکرد طرح‌های آبخیزداری دارای دیرینه بیش از ۶۷ سال است. اما ارزیابی‌های صورت گرفته با اهداف گوناگونی انجام شده است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲ب).

برای تحقق موارد اشاره‌شده و اهداف آن، در آغاز بازدیدهای میدانی، آنالیزهای مربوطه، مطالعات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی، فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و آب‌های زیرزمینی ضروری و متعاقب آن تلفیق و سنتز مورد نیاز است. در ادامه مطالعات سنتر به پیشنهاد ابنیه‌های فنی و مهندسی، بیومهندسی و بیولوژی و خاکی منجر شده و نهایتاً هر یک از سازه‌های اجراشده با هدف زمان ساخت و طول عمر آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

برای حفظ آب، جلوگیری از حرکت هرزآب روی دامنه‌ها حیاتی است تا آب در خاک نفوذ کند، سطح آب زیرزمینی بالا بیاید و از سیل و بهمن جلوگیری شود. برای حفظ خاک، باید از حرکت رسوبات و بهره‌برداری نادرست جلوگیری کرد و بهره‌برداری به سمت شکوفایی سوق داده شود. برنامه‌ها باید منافع مردم منطقه را تأمین کند و باعث رفآبعلی اقتصادی و اجتماعی شود، و مشارکت فعال مردم در طرح‌ها تشویق شود. طرح جامع حوزه آبخیز، همه این موارد را در نظر می‌گیرد (دادرسی سبزواری و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به هزینه‌های فراوان در خصوص اجرا و نگهداری عملیات آبخیزداری، بررسی اثربخشی آن امری اجتناب ناپذیر و از نظر اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mariam و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی نشان می‌دهد که چنانچه انجام عملیات آبخیزداری با اصول فنی و علمی اجرایی شود، حفاظت آب و خاک و پیامدهای مثبت اقتصادی و اجتماعی از اجرای این گونه عملیات حتمی است (جعفری و براتی، ۱۳۹۷). بنابراین، برای پی‌بردن به نتایج این فعالیت‌ها اثر بخشی این طرح‌ها در حوزه‌های متعدد ضروری است. عملیات اجرایی آبخیزداری در حوزه آبخیز شهرستان دماوند در سال ۱۳۷۱ در سطحی بالغ بر ۷۶۰۰۰ هکتار شروع شد که عمده فعالیت‌ها دردوره

۱۳۸۰-۱۳۷۸ متمرکز بوده است (کوشکی، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه مطالعات آبخیزداری به بررسی اثرات کمی و کیفی اقدامات انجام‌شده در حوزه آبخیز می‌پردازد و تأثیر این اقدامات را بر جنبه‌های مختلفی نظیر پوشش گیاهی، میزان سیلاب، رسوب و فرسایش، و همچنین وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنان منطقه تحلیل می‌کند، اهمیت آن در مدیریت جامع منابع طبیعی دوچندان می‌شود (ملکی و مددی، ۱۳۹۷). لذا ارزیابی اثربخشی این عملیات بر روی وضعیت پوشش گیاهی، سیلاب، رسوب و فرسایش، وضعیت اقتصادی – اجتماعی آبخیزنشیان امری ضروری است تا با تجزیه وتحلیل میزان اثر بخشی عملیات آبخیزداری در ابعاد ذکرشده زمینه‌های لازم برای رفع موانع و مشکلات شناخته‌شده و برای اثربخشی مطلوب آن‌ها راهکارهای لازم ارائه شود (Wu وی‌یو، ۲۰۱۷).

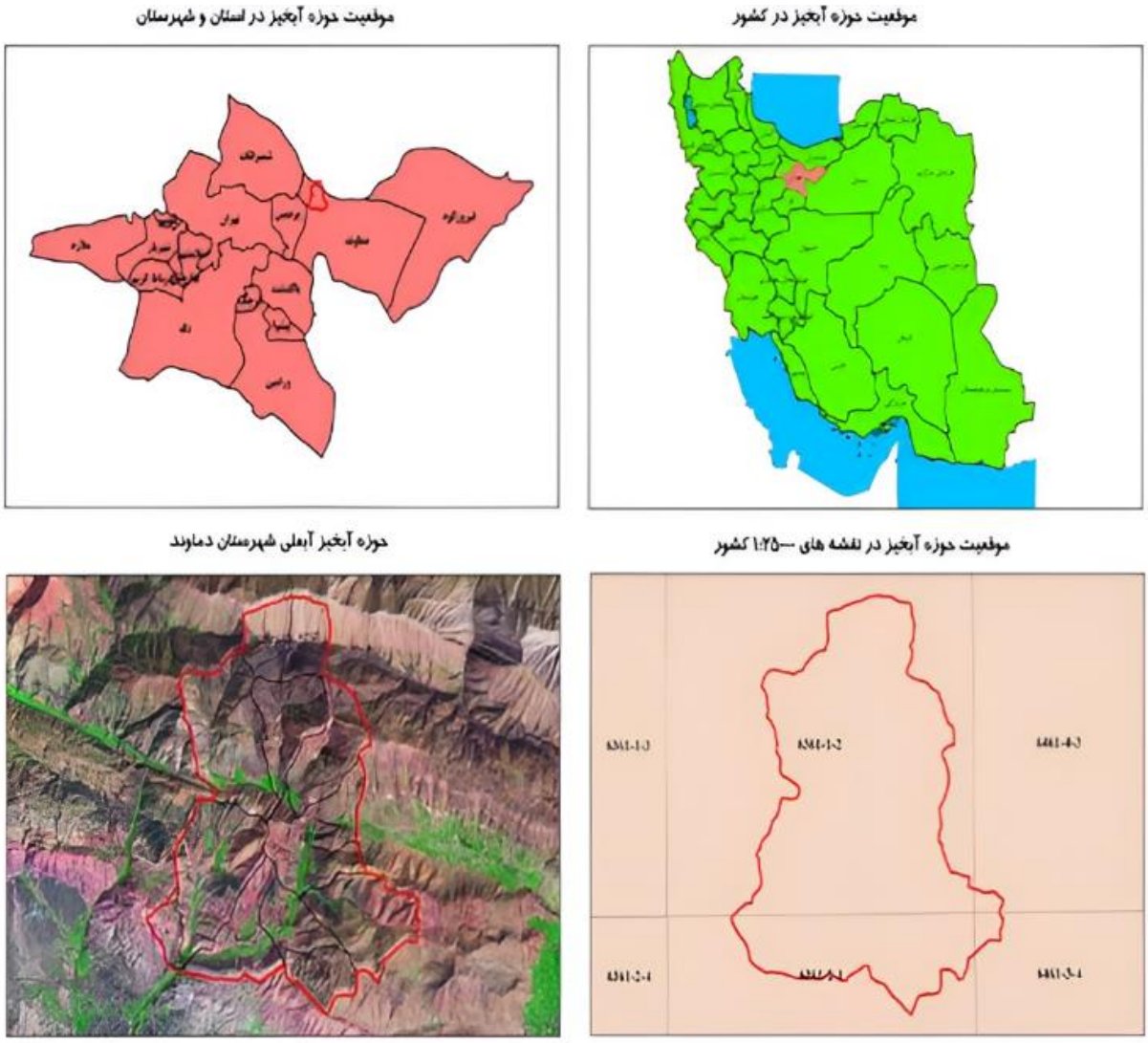
محل اجرا و موقعیت محدوده مطالعاتی

موقعیت و شرح عمومی

حوزه آبخیز آبعلی– دماوند (که گاهی در اسناد با عنوان حوزه آبخیز دماوند– رودهن نیز شناخته می‌شود) بین طول‌های جغرافیایی °۵۱′۵۳″۵۸ تا °۵۲′۳۹″۴۴ شرقی و عرض‌های جغرافیایی °۳۵′۴۳″۲۵ تا °۳۵′۴۹″۵۸ شمالی قرار دارد. مرکز حوزه در مجاورت شهر آبعلی واقع شده و از نظر تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان دماوند، بخش رودهن از توابع استان تهران جای می‌گیرد.

این حوضه بخشی از زیرحوزه‌های اصلی رودخانه جاجرود به شمار می‌رود و نقش مهمی در تأمین حقابه سد لتیان ایفا می‌کند. سطح حوزه عمدتاً از ارتفاعات جنوبی رشته‌کوه البرز تشکیل شده و دارای شیب‌های تند و توپوگرافی کوهستانی است. ارتفاع متوسط دامنه تغییر آن از حدود ۱۸۰۰ متر در خروجی حوزه (در محدوده شرق رودهن) تا بیش از ۳۵۰۰ متر در ارتفاعات شمالی و شمال‌شرقی افزایش می‌یابد.

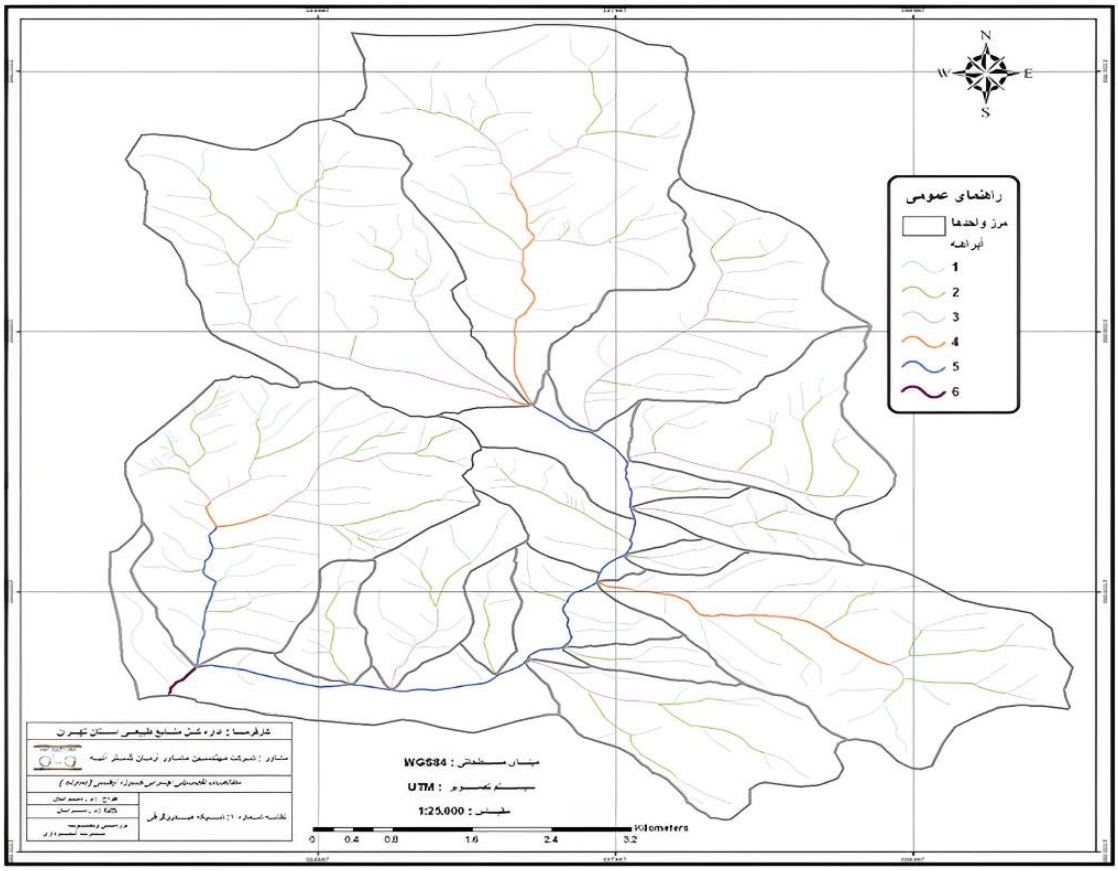
پهنه آبخیز دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد تا مرطوب کوهستانی بوده و میانگین بارندگی سالانه آن (براساس آمار به‌روز ایستگاه‌های سینوپتیک دماوند و آبعلی) حدود ۴۵۰ میلی‌متر است. رواناب‌های سطحی عمدتاً از طریق آبراهه‌های فرعی به رودخانه آبعلی و سپس دماوند منتقل می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز آبعلی دماوند

واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبعلی دماوند (زیرحوضه‌ها)

حوزه آبخیز آبعلی (دماوند) براساس اهمیت دره‌های سیلابی آن، وضعیت آبراهه‌های اصلی و فرعی (شکل ۲)، و وسعت کل حوضه، به ۱۴ واحد هیدرولوژیکی حقیقی و چند واحد جانبی تقسیم شده است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف). همچنین خصوصیات فیزیکی حوضه و هر یک از واحدها مانند مساحت، محیط، طول بلندترین آبراهه، قطر دایره هم‌سطح حوضه مطابق جدول ۱ تعیین شده است.



شکل ۲- شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز آبعلی دماوند

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی حوضه آبعلی و واحدهای هیدرولوژیکی آن

ردیف	نام واحد	کد واحد	مساحت		محیط	طول بلندترین آبراهه	قطردایره هم‌سطح حوضه
			هکتار	کیلومترمربع	کیلومتر	کیلومتر	کیلومتر
۱	سیاهچال	I	۱۲۴۰	۱۲/۴	۱۶/۴	۶/۵	۳/۹۷
۲	سراستخر	II	۵۳۵	۵/۳۵	۱۱/۳۵	¾	۲/۶۱
۳	اوزنه	III	۳۷۲/۵	۳/۷۲۵	۹/۵۵	۳/۴۵	۲/۱۷
۴	حسنعلی آباد	IV	۳۲/۵	۰/۳۲۵	۳/۳	۱/۱	۰/۶۴
۵	شوردره	V	۱۳۵	۱/۳۵	۵/۳	۲/۳	۱/۳۱
۶	دره‌رود	VI	۹۸۷/۵	۹/۸۷۵	۱۴	۶/۳	۳/۵۴
۷	تجرک	VII	۹۸۰	۹/۸۰	۱۳/۷	۵/۶۵	۳/۵۳
۸	لارک	VIII	۷۶۷/۵	۷/۶۷۵	۱۲/۷۵	۵	۳/۱۲
۹	آنا	IX	۲۶۰	۲/۶	۷/۹۵	۳/۳	۱/۸۲

ردیف	نام واحد	کد واحد	مساحت		محیط	طول بلندترین آبراهه	قطردایره هم‌سطح حوضه
			هکتار	کیلومترمربع	کیلومتر	کیلومتر	کیلومتر
۱۰	دره‌حاجی	X	۳۶۲/۵	۳/۶۲۵	۸/۹	۳/۳	۲/۱۵
۱۱	کناری شوردره	XI	۴۰	۰/۴۰	۲/۵	۱	۰/۷۱
۱۲	تبرزین چای	XII	۶۷/۵	۰/۶۷۵	۴/۰۵	۱/۶	۰/۹۳
۱۳	کناری آنا	XIII	۴۰	۰/۴۰	۴/۵	۱/۸	۰/۷۱
۱۴	آبکدره	XIV	۷۵	۰/۷۵	۵/۲۵	۱/۹۵	۰/۹۸
۱۵	واحدهای جانبی	XV	۹۵۵	۹/۵۵	-	-	-
۱۶	کل حوضه آبعلی	-	۶۸۵۰	۶۸/۵	۴۱	۱۵/۲۵	۹/۳۴

خاک‌شناسی و تناسب اراضی

واحد اراضی مرتفع، شمالی‌ترین بخش از منطقه موردمطالعه را در بر می‌گیرد. این قسمت متشکل از کوه‌های بلند با قلل تیز و بریدگی‌های عمیق است که از سنگ‌های آهکی چرت‌دار سازند لار تشکیل شده‌اند. به‌دلیل فرسایش فیزیکی شدید، در امتداد پای‌کوه، واریزه‌های سنگی فراوانی انباشته شده است. از حد پایین این سازند تا خط‌الرأس ارتفاعات، زمین عمدتاً صخره‌ای و فاقد خاک توسعه‌یافته است. در دامنه‌های پایین‌تر نیز خاک‌ها بسیار کم‌عمق بوده و دارای مقدار زیادی سنگ و سنگ‌ریزه هستند. این خاک‌ها به‌صورت غیریکنواخت و با بافت سبک تا نیمه‌سبک تشکیل شده و از نظر ساختمان خاک، انسجام چندانی ندارند (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف).

از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در این واحد می‌توان به شیب‌های بسیار تند، ناپایداری خاک، سنگی‌بودن سطح زمین، کم‌عمقی لایه خاک و پوشش گیاهی فقیر و پراکنده اشاره کرد. این ویژگی‌ها سبب شده که این اراضی از نظر کاربری فاقد قابلیت بهره‌برداری کشاورزی یا مرتعی مؤثر بوده و در زمره اراضی بایر و سنگی (Class VIII پهنه‌بندی اراضی) طبقه‌بندی شوند.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

مطابق با گزارش درویش‌زاده (۱۳۹۴) که به هابر و گانسر (۱۹۶۲) استناد کرده است، البرز مرکزی از دیدگاه چینه‌نگاری-ساختمانی به واحدهای مشخصی از شمال به جنوب تفکیک می‌شود که شامل موارد زیر است:

- بخش شمالی ساحلی بیشتر از رسوب‌های دوران دوم زمین‌شناسی؛
- بخش مرکزی، مرکب از رسوب‌های دوران اول زمین‌شناسی؛
- بخش مرکزی، مرکب از رسوب‌های دوران سوم زمین‌شناسی؛
- بخش جنوبی، مرکب از رسوب‌های دوران اول و دوم زمین‌شناسی؛
- بخش جنوبی مرکب از رسوب‌های دوران سوم زمین‌شناسی؛
- گودال قدامی بخش جنوبی؛
- آنتی البرز.

تطابق چینه‌نگاری در ناحیه جنوبی البرز مرکزی، شامل لایه‌هایی است با ضخامت ۱۳-۱۱ کیلومتر که از کامبرین تا آبرفت‌های دوران چهارم ادامه می‌یابد. در پرکامبرین رسوبات دگرگونی در منطقه به‌وجود آمده که توسط شیل‌ها و توف‌های آهکی و لایه‌های نازک دولومیتی تشکیلات کرج پوشیده شده است. در کامبرین، ماسه‌سنگ قرمز، شیل، دولومیت و مقداری سنگ آهک در منطقه حاصل شد. یک خط بزرگ جابجایی گسل با جهت WNW-ESE به‌عنوان راندگی مشاء رسوبات کامبرین را از رسوبات میوسن دوران سوم جدا می‌سازد. در طول دوران دوم رسوبات ماسه‌سنگ و شیل و لایه‌های زغال (تشکیلات شمشک) و آهک‌های تیره دولومیتی تشکیل شده است که در اواخر دوران سوم طی حرکات کوهزایی شدید در ناحیه البرز اثر گذاشته و نهشته‌های کنگلومرا و تشکیلات هزادره را به‌جای گذاشته است، دوران چهارم آبرفت‌های قدیمی (شمال تهران) و جدید شامل ولکانیک‌های دماوند بوجود آمده است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف).

چینه‌شناسی منطقه

چینه‌شناسی حوزه آبخیز دماوند از قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه آغاز شده و تا آخرین نهشته‌های رسوبی عهد حاضر، یعنی آبرفت‌های جدید، امتداد می‌یابد. این توالی چینه‌شناسی بازتابی از تاریخچه زمین‌ساختی کل رشته‌کوه البرز است. از منظر دیرینه‌شناسی و جغرافیای دیرینه، حوزه دماوند از آنجا که بخشی از البرز مرکزی محسوب می‌شود، از الگوها و فرآیندهای زمین‌ساختی مشابه حاکم بر کل این رشته‌کوه تبعیت می‌کند. بنابراین، شرح جغرافیای دیرینه منطقه البرز، به طور ذاتی، بیانگر تکامل دیرینه و تاریخچه‌ی زمین‌شناسی حوزه مطالعاتی دماوند نیز خواهد بود. این امر نشان می‌دهد که تغییرات بزرگ زمین‌شناسی، مانند حرکات کوه‌زایی، فرونشست‌ها و تغییرات اقلیمی تأثیرگذار بر البرز، در این حوزه آبخیز نیز منعکس شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۹۴).

به عقیده اشتوکلین (۱۹۷۴) شیست‌های دگرگونی گرگان و همچنین شیل‌های سیلتی سبز رنگ که با رس‌های سریست‌دار همراه است (سازند کهر) بخشی از رسوبات حاشیه‌ای پلاتفرم ایران بوده‌اند که در اواخر پرکامبرین بر اثر فاز کوه‌زایی آسینتیک دگرگون شده‌اند و پی سنگ ایران در همان زمان تشکیل و از آن پس تا تریاس رسوبات پلاتفرمی با خاصیت اپی‌کنتینانتال[1] و قاره‌ای رسوبگذاری شده است. طبق نظریه پلیت تکتونیک، ایران در زمان پرکامبرین جزئی از قاره گنداونا بوده است (درویش‌زاده، ۱۳۹۴).

هیدرودینامیکی سازندهای منطقه

با توجه به اختلاف ارتفاع فاحش بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه حوزه، بدیهی است که فرسایش و حمل باید با قدرت و سرعت زیادی صورت گیرد که البته خردشدگی، فعالیت تکتونیکی، جنس لایه‌ها، میزان بارش و ریخت‌شناسی منطقه در مقدار حجم مواد حمل‌شده و سرعت حمل مؤثر خواهد بود (مهدوی‌وفا، ۱۳۹۹الف).

رودخانه‌های تار (شیب عمومی ۵/۸ درصد، عرض متوسط ۶۰-۴۰ متر)، دماوند (شیب عمومی ۳/۱ درصد، عرض متوسط بستر ۱۲۰-۲۰ متر از محل مدخل شهر تا پل فیروزکوه و در جنوب پل فیروزکوه با شیب عمومی

[1]. Epicontinental

۲۰ درجه و عرض متوسط حدود ۱۰ متر) و همچنین رودخانه آبعلی (با شیب عمومی چهار درصد، بافت ریزدانه که در محل پل رودهن تعیین شده)، در مسیر حرکتشان در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند که وضعیت لایه‌های دوپهلوی رودخانه مورد بررسی قرار گرفته که با درنظرگرفتن این موارد و بررسی‌های مهندسی رودخانه و کنترل سیلاب و مطالعات فرسایش و رسوب، پیشنهادات اصلاحی انجام خواهد شد.

زمین‌لغزش (واریزه‌ها) در منطقه

به‌دلیل ماهیت کوهستانی حوزه و گذرگاهی اصلی جاده‌ها (به‌ویژه جاده هراز) از میان رشته‌کوه‌ها، نقاط مستعدی وجود دارند که هرساله منجر به خسارات جانی و مالی قابل توجهی می‌شوند. برای بررسی این مناطق، پیمایش‌های مسیر در طول جاده‌ها انجام شده و پتانسیل ریزشی کوه‌ها در مجموع به سه درجه طبقه‌بندی شده است:

- پتانسیل درجه ۱: به کلیه مناطقی اطلاق می‌شود که سوابق مکرر وقوع پدیده ریزش را داشته‌اند و همواره احتمال تکرار در آن‌ها وجود دارد (مناطق بسیار مستعد).
- پتانسیل درجه ۲ و ۳: به ترتیب به‌عنوان متوسط و کم در نظر گرفته می‌شوند.

تحلیل واحدهای سنگی

- واحد توف[1]: این واحد سنگی که در حاشیه جاده‌ها گسترش زیادی دارد، به‌دلیل درز و شکاف‌های فراوان و با توجه به لیـتولوژی[2] خود، در زمستان و پس از یخ‌زدگی آب محبوس‌شده در درزه‌ها، به‌صورت واریزه‌ای[3] ریزش می‌کند و دوره تناوب ریزش در آن کوتاه است.
- واحد آهکی: این واحدها دارای ابعاد بسیار بزرگ هستند.

1 Tuff
2 Lithology
3 Talus/Colluvial

- واحد سنگی آساراشیل : با توجه به لیتولوژی خاص خود، عمدتاً به‌صورت ریزش‌های دانه‌ریز[1] رخ می‌دهد که با فاصله زمانی بسیار کوتاهی، به‌طور مرتب سطح جاده را می‌پوشاند.

بنابراین، برای تعیین دقیق پتانسیل ریزشی، ۲۰ ایستگاه رصدی در حاشیه جاده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با لحاظ‌کردن فاکتورهای مؤثر مختلف، اقدامات عملیاتی لازم برای مهار و مقابله با ریزش ارائه شده است.

وضعیت هواشناسی منطقه

موقعیت آب‌وهوایی آبخیز دماوند، به طور کلی از وضعیت آب و هوایی البرز متأثر است، به‌طور عمده رژیم بارندگی منطقه مشتق از رژیم مدیترانه‌ای با یک حداکثر اصلی اواخر زمستان و اوائل بهار و یک حداکثر فرعی در پاییز و یک فصل کاملاً خشک و طولانی در تابستان است، رگبارهای تابستانی حوزه، در نتیجه دو عامل، یکی ورود سامانه کم‌فشار دینامیکی (نوع سرد) از شمال و دیگری جریان‌های گرم و مرطوب موسمی اقیانوس هند از جنوب‌شرق بوقوع می‌پیوندند.

منشاء بارندگی‌های حوزه به‌ترتیب اهمیت جبهه‌های مدیترانه‌ای غربی و جبهه‌های حادث بین توده هوای سیبری و مدیترانه‌ای و بالاخره در شرایط نادر، جریان سطحی موسمی اقیانوس هند است. از بین توده‌های هوایی که در بارندگی منطقه نقش دارند، توده هوایی مدیترانه‌ای تأثیر بیشتری دارد.

سازوکار نزولات جوی در منطقه به این ترتیب است که زمستان (فصل مرطوب) با عقب‌نشینی سامانه‌های پرفشار حاره‌ای به عرض‌های پایین، منطقه برای عبور جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای (غربی) مساعد گشته و بیشتر ریزش‌های جوی در این فصل را موجب می‌شوند، بیشترین مقدار بارندگی در اواخر زمستان و اوائل بهار است و سهم بارندگی‌های تابستانی در مقام مقایسه بسیار ناچیز است. همچنین که با توجه به آمار تعداد روزهای خشک ۱۲۲ روز و تعداد روزهای بارانی ۲۴۳ روز مشخص است.

1 Fine-grained rockfalls

رژیم آبدهی رودخانه‌های منطقه

رودخانه آبعلی

این رودخانه از ارتفاعات ۳۰۰۰ متری کوه سیآبعلی‌چال سرچشمه گرفته و به‌علت استفاده از آب این رودخانه در طول مسیر، به‌ویژه در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر آبدهی آن در محل رودهن به صفر می‌رسد. شیب متوسط این رودخانه ۶/۱ درصد و جنس بستر آن شن و ماسه‌سنگ و در بعضی مناطق قلوه‌سنگ درشت است. متوسط آبدهی این رودخانه در محل شهر رودهن ۰/۱۸ متر مکعب در ثانیه و آورد سالانه آن ۵/۷ میلیون مترمکعب است.

رودخانه سیاهرود (زردستان)

خلاصه اطلاعات رودخانه سیاهرود و همچنین آبعلی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- متوسط آبدهی رودخانه‌های حوزه آبخیز دماوند (مترمکعب در ثانیه)

ماه / رودخانه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
آبعلی (دماوند)	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۲	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۶۳	۰/۰۶۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۸
سیاهرود (زردستان)	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۸۵	۱	۱/۰۳	۲/۳۳	۰/۶۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۵۷

خلاصه گزارش سیلاب منطقه

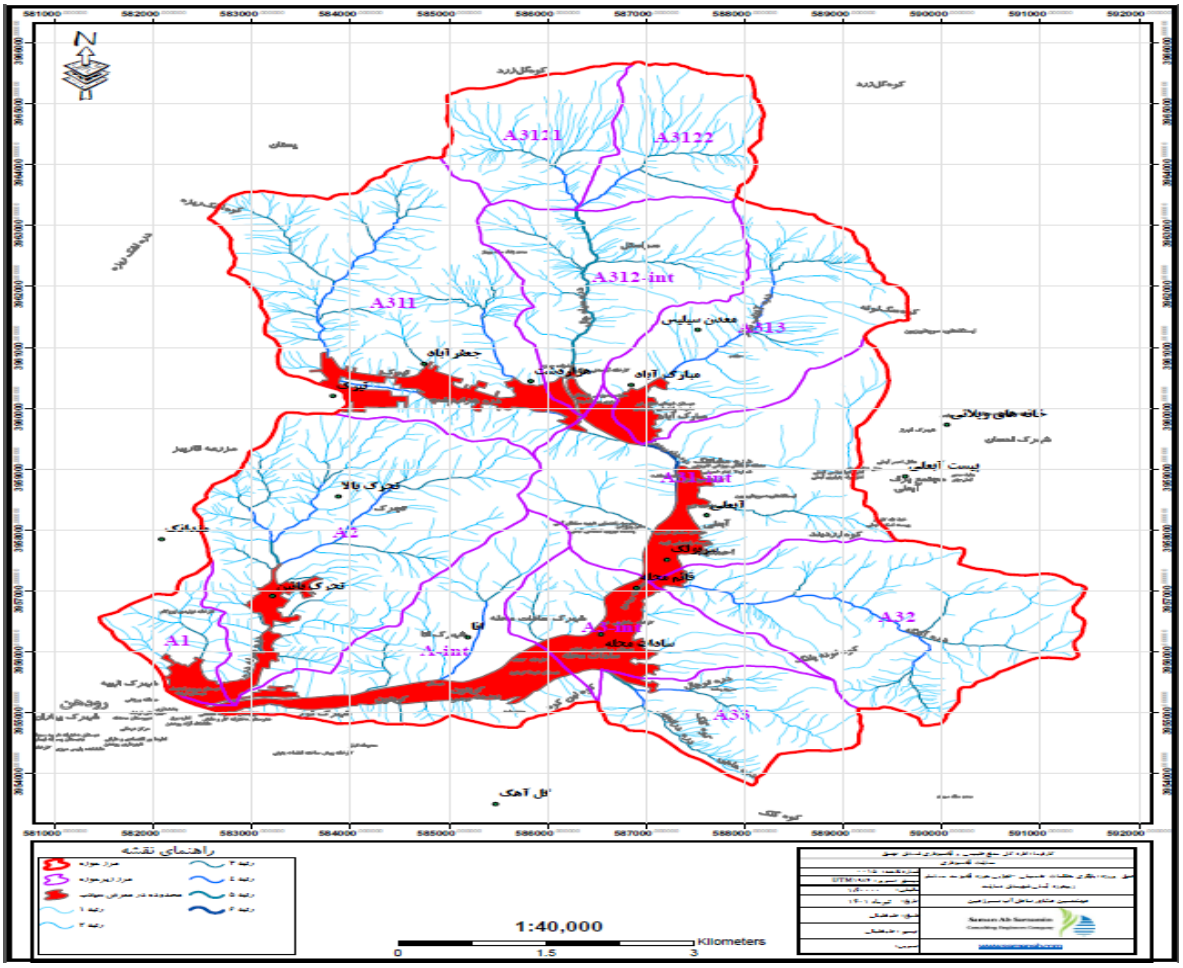
سیلاب‌های ناگهانی با قدرت و سرعت بالا، می‌توانند خاک را از سطح زمین برداشته و به ارزش زمین و زیرساخت‌ها آسیب برسانند. فرسایش خاک ناشی از جریان آب و باد، لایه‌های حاصلخیز را نابود و کیفیت خاک را کاهش می‌دهد، که این روند موجب کاهش تولید و پایداری زمین می‌شود. رسوب‌گذاری آبراهه‌ها و دریاچه‌ها، مسدودکردن مسیرهای آب و کاهش عمق آن‌ها را در پی دارد و خطر سیلاب‌های احتمالی را افزایش می‌دهد. مدیریت هوشمند منابع آب و اجرای رآبعلیکارهای مقاومتی می‌تواند به کنترل این پدیده‌ها و حفظ اکوسیستم کمک کند (Colvin & Restrepo، ۲۰۱۹). به‌طورکلی سیلاب‌هایی که در منطقه دماوند رخ می‌دهد عمدتاً تحت تأثیر دو علت اصلی است.

۱. وقوع رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت در فاصله ماه‌های خرداد تا مهر که به‌دلیل شدت زیاد و زمان وقوع و با توجه به دخالت بی‌رویه انسان در حریم رودخانه، خسارات جانی و مالی بسیار به بار می‌آورد.

۲. ریزش‌های طولانی‌مدت، همزمان با بالارفتن درجه حرارت و ذوب شدید برف که منجر به خسارات زیاد نمی‌شوند (شکل ۳ و جدول ۳).

جدول ۳- نتایج حاصل از سیلاب منطقه‌ای رودخانه‌های دماوند (مترمکعب در ثانیه)

دوره برگشت (سال) حوضه	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
آبعلی (مبارک‌آباد)	۰/۹۲	۱/۵	۲/۱	۲/۸	۳/۴	۴/۱	۴/۸	۵/۸	۶/۷
آبعلی (مبارک‌آباد + سیاهچال)	۲/۲	۳/۶	۴/۹	۶/۶	۸	۹/۶	۱۱/۳	۱۳/۷	۱۵/۹
آبعلی (رودهن)	۹/۷	۱۶/۲	۲۱/۸	۲۹/۵	۳۶/۱	۴۳	۵۰/۷	۷۱/۲	۷۲/۶



شکل ۳- محدوده سیل در حوزه آبخیز آبعلی دماوند

فرسایش و رسوبدهی

در منطقه دماوند، ارزیابی سازه‌های کنترل فرسایش مانند بندهای گابیونی و خشکه‌چین نشان داده که این سازه‌ها نقش مؤثری در کاهش رسوب و حفظ خاک دارند. میزان فرسایش با روش‌هایی مانند EPM برآورد شده و در برخی نقاط از حد مجاز فراتر رفته است. بیومهندسی با استفاده از پوشش گیاهی و تثبیت خاک، راهکاری پایدار برای کاهش فرسایش ارائه می‌دهد. همچنین رویکردهای اجتماعی مانند مشارکت جوامع محلی در اجرای پروژه‌های آبخیزداری، اثربخشی اقدامات حفاظتی را افزایش داده‌اند (جعفری و براتی، ۱۳۹۷). در کل به‌دلیل نبود مطالعات تفصیلی در حوزه آبخیز آبعلی از مطالعات حوزه آبخیز دماوند و قسمت‌های مربوط به حوزه آبعلی استفاده شده است.

پارامترهای مختلف فرسایشی در حوضه

مهم‌ترین پارامترهای عوامل طبیعی که در فرسایش و رسوبدهی حوزه مؤثر هستند، عبارتند از آب‌وهوا، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، جهت، خاک و مهم‌ترین پارامتر فعالیت‌های انسانی مؤثر در فرسایش حوضه عبارتند از اقدامات زراعی، احداث تأسیسات فنی و استفاده مفرط از پوشش گیاهی بوده که در حوضه موردمطالعه به تفکیک بررسی خواهد شد. میزان فرسایش نیز با بررسی میدانی و محاسبات از طریق روابط تجربی قابل محاسبه خواهد بود که براساس شواهد و قرائن منطقه از نظر فرسایش‌پذیری بسیار قابل توجه است (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف).

سازه‌های آبخیزداری از نظر زیرساخت

در این قسمت تعدادی از سازه‌های آبخیزداری از نظر زیرساخت، کاربرد و شرایط منطقه که اغلب در حوضه آبعلی دماوند به‌کار برده شده، به اختصار توصیف شده است.

بندهای اصلاحی

سازه‌های کوچکی هستند که به‌منظور کاهش شیب آبراهه‌ها، کاهش سرعت جریان و مهار فرسایش در آبراهه‌ها ساخته می‌شوند. مصالحی نظیر چوب، سنگ، سنگ و ملات، بتن و توریسنگ در ساخت بندهای اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سازه‌ها در سطح گسترده‌ای در طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری توسط دستگاهی‌های اجرایی در سال‌های اخیر مورد استفاده قرارگرفته و بخش عمده‌ای از هزینه‌ها را به‌خود اختصاص داده است.

انواع بندهای اصلاحی

بندهای اصلاحی براساس اهداف، مدت کاربرد، نوع کاربرد و مصالح مورد استفاده به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف) براساس مدت کاربرد

در این تقسیم‌بندی بندهای اصلاحی موقت یا دائمی هستند بندهای اصلاحی موقت زمانی استفاده می‌شوند که شرایط استقرار و رشد پوشش گیاهی در بستر آبراهه وجود نداشته باشد. پس از احداث این بند، رسوب و مصالح حمل‌شده توسط جریان در پشت این بندها ته‌نشین شده و محیط مناسب برای حفظ رطوبت، استقرار و رشد پوشش گیاهی فراهم می‌شود. بندهای چپری، چوبی، فلزی سبک و خشکه‌چین از جمله این بندها هستند. زمانی‌که بندهای موقتی برای کنترل فرسایش بستر آبراهه یا خندق کافی نباشد، از بندهای دائمی استفاده می‌شود. این بندها برای مهار فرسایش در خندق‌های بزرگ و یا تثبیت شیب آبراهه استفاده می‌شوند. بندهای سنگ و ملاتی، بتنی و توریسنگی ازجمله این بندها هستند. هزینه احداث این بندها از بندهای موقتی بیشتر و هزینه نگهداری آن‌ها کمتر است.

ب) براساس نوع کاربرد

بندهای اصلاحی برای مهار فرسایش یا مهار سیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هر دو مورد شیب آبراهه کاهش یافته و سبب کاهش سرعت جریان می‌شود، کاهش سرعت جریان سبب کاهش فرسایش بستر و یا نشست رسوبات حمل‌شده توسط جریان در پشت بندها می‌شود. از طرفی کاهش شیب و سرعت جریان سبب افزایش زمان تمرکز حوضه و کاهش اوج سیلاب می‌شود.

ج) براساس نوع مصالح مورد استفاده

مهم‌ترین تقسیم‌بندی بندهای اصلاحی براساس نوع مصالح مورد استفاده درساخت آن‌ها است بندهای اصلاحی چپری، فلزی سبک، چوبی، خشکه‌چین، سنگ و ملاتی و توریسنگی در این تقسیم‌بندی قرار می‌گیرند.

- **بندهای چپری:** بندهای اصلاحی چپری سازه‌های موقتی هستند که به منظور نگه‌داشتن مواد ریزدانه‌ای که همراه جریان در داخل آبراهه یا خندق حمل می‌شوند، ساخته می‌شوند. این بندها با فروکردن پایه‌های چوبی در عرض آبراهه و قراردادن چوب‌های نازک در لابلای پایه‌ها (چپربندی) ساخته می‌شوند.

- **بندهای فلزی سبک:** بندهای اصلاحی فلزی سبک، بندهای موقت کوچکی هستند که معمولاً برای نگهداری موارد ریزدانه در داخل آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند. این بندها در آبراهه‌ها و خندق‌های با شیب ملایم و حوزه مساحت کم که جریان نتواند مصالح درشت دانه را حمل کند مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- **بندهای چوبی:** بندهای اصلاحی چوبی از الوار و پایه‌هایی که در عرض آبراهه یا خندق قرار می‌گیرند ساخته می‌شوند. این بندها توانایی نگهداشت مصالح ریزدانه و درشت دانه حمل شده توسط جریان در داخل آبراهه را دارند.
- **بندهای خشکه‌چین:** بندهای اصلاحی خشکه‌چین از چیدن تخته سنگ‌ها روی‌هم و درعرض آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند. این بندها که یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین بندهای اصلاحی هستند معمولاً در سرشاخه‌ها و آبراهه‌ها با مساحت کم ساخته می‌شوند.
- **بندهای سنگ‌وملاتی:** بندهای اصلاحی سنگ و ملاتی با سنگ‌وملات سیمان ساخته می‌شوند و ارتفاع آن‌ها از بندهای چوبی و خشکه‌چین بیشتر است. این بندها بیشتر به منظور اصلاح شیب آبراهه، مهار سیلاب و یا ایجاد یک نقطه ثابت برای تثبیت شیب آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند. هزینه اجرای این بندها بیشتر ولی هزینه نگهداری آن‌ها کمتر است.
- **بندهای توریسنگی:** بندهای اصلاحی توریسنگی از سنگ و تور سیمی در عرض آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند. ارتفاع این بندها نیز از بندهای چوبی و خشکه‌چین بیشتر است و معمولاً به منظور اصلاح شیب آبراهه، مهار سیلاب و با ایجاد یک نقطه ثابت برای تثبیت شیب آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند و هزینه اجرای این بندها از بندهای چوبی و خشکه‌چین بیشتر و هزینه نگهداری آن‌ها کمتر خواهد بود.

انتخاب نوع مصالح بندهای اصلاحی

انتخاب نوع مصالح به‌کاررفته در احداث بندهای اصلاحی[1] نقش تعیین‌کننده‌ای در بهینه‌سازی هزینه‌ها دارد. بااین‌حال، کاربرد مصالح مختلف با محدودیت‌هایی نیز همراه است؛ برای مثال، بندهای سنگ‌چین[2] و بندهای چوبی در بسترهای سنگی کاربرد مناسبی ندارند. همچنین، از نظر ارتفاع سازه، برای بندهای سنگ‌چین، چوبی و خشکه‌چین[3] محدودیت‌هایی در ارتفاع قابل اجرا وجود دارد.

یکی از مهم‌ترین عوامل در انتخاب مصالح، دسترسی و فاصله منابع قرضه[4] است. علاوه‌براین، اثرات زیست‌محیطی[5] نیز باید در فرآیند انتخاب لحاظ شود. دراین‌راستا، بندهای سبک فلزی، سنگ‌چین و چوبی که بستر و محیط مناسبی برای استقرار و رشد پوشش گیاهی فراهم می‌کنند، سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند.

بندهای اصلاحی کوتاهی که معمولاً به تعداد زیاد استفاده می‌شوند، شامل بندهای سنگ‌چین، چوبی و خشکه‌چین هستند. انتخاب بین این گزینه‌ها عمدتاً براساس دسترسی به مصالح محلی، جنس بستر و هزینه‌های احداث، مرمت و نگهداری صورت می‌گیرد.

در مواردی که نیاز به ارتفاع سازه‌ای بیشتر وجود دارد، از بندهای سنگی ملاتی[6] و توریسنگی[7] استفاده می‌شود. در این نوع بندها نیز، دسترسی به مصالح و ملاحظات هزینه‌ای نقش غالب را ایفا می‌کنند. بندهای توریسنگی به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر، در برابر فرسایش و فرسایش کناری[8] مقاومت بیشتری داشته و دیرتر دچار تخریب می‌شوند.

---

1 Check Dams
2 Riprap
3 Dry-stacked Stone
4 Borrow Sources
5 Environmental Impacts
6 Mortared Stone
7 Gabion
8 Toe Scour

اصول حاکم در انتخاب محل اجرای انواع بندهای اصلاحی

عوامل مختلفی در انتخاب محل اجرای بندهای اصلاحی مؤثر است. شیب آبراهه، طول آبراهه، سطح حوضه بالادست و جنس مصالح بستر از جمله این عوامل هستند. برای بندهای اصلاحی کوتاه چپری، فلزی سبک، چوبی و خشکه‌چین محدودیت‌های بیشتری وجود دارد که به تفکیک به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

- **بندهای چپری:** این بندها در آبراهه‌های کوچک که سطح حوزه بالادست آن‌ها کم باشد کاربرد دارند. جنس مصالح بستر باید امکان فروبردن پایه‌های چوبی را در زمین فراهم کند. این بندها در شیب‌های مختلف آبراهه استفاده می‌شوند. طول آبراهه یا کانال خندق باید کمتر از ۱۰۰ متر و مساحت حوضه بالادست محل بند کمتر از یک هکتار باشد.
- **بندهای فلزی سبک:** این بندها سازه‌های کوچکی هستند که معمولاً برای نگهداری مواد ریزدانه داخل آبراهه یا خندق ساخته می‌شوند. این بندها در آبراهه‌ها و خندق‌های با شیب ملایم (کمتر از ۱۰درصد) و سطح حوزه کم که سیلاب‌ها قدرت جابجایی موارد درشت‌دانه را نداشته باشند ساخته می‌شوند.
- **بندهای چوبی:** بندهای اصلاحی چوبی از پایه‌های چوبی و الوارهایی که در بین پایه‌ها قرار می‌گیرند، ساخته می‌شوند. این بندها نیز معمولاً برای آبراهه و خندق‌های کوچک و سطح حوزه کمتر از دو هکتار به‌کار می‌روند. طول کانال خندق باید کمتر از ۱۰۰ متر باشد و جنس بستر امکان فروبردن پایه‌های چوبی را داشته باشد.
- **بندهای خشکه‌چین:** این بندها که یکی از پرکاربردترین بندهای اصلاحی هستند، در آبراهه و خندق‌های کوچک با مساحت حوزه آبخیز کمتر از چهار هکتار و شیب آبراهه کمتر از ۲۰ درصد ساخته می‌شوند.
- **بندهای سنگ‌وملاتی:** بندهای اصلاحی سنگ‌وملاتی با سنگ و ملات سیمان ساخته می‌شوند و معمولاً به‌منظور مهار سیل و یا ایجاد یک نقطه ثابت و مستحکم در کانال خندق ساخته می‌شوند. این بندها در خندق‌هایی با طول کمتر از ۱۰۰۰ متر و سطح حوزه کمتر از ۲۰ هکتار، کاربرد دارند. هزینه این بندها

زیاد بوده و به تعداد زیاد ساخته نمی‌شوند بستر محل احداث این بندها باید مقاومت کافی در مقابل نشست و لغزش را داشته باشد.

- **بندهای توریسنگی:** بندهای اصلاحی توریسنگی با استفاده از توری فلزی و سنگ ساخته می‌شوند. این بندها نیز همانند بندهای سنگ و ملاتی در آبراهه‌ها و خندق‌های بزرگتر که بندهای چوبی و خشکه‌چین کاربرد ندارد، ساخته می‌شوند. این بندها نیز به‌عنوان سازه‌های کاهش شیب با هدف مهار سیل و یا ایجاد یک نقطه مستحکم در بستر خندق ساخته می‌شوند. طول خندق‌ها باید کمتر از ۱۰۰۰ متر و سطح حوزه آن‌ها کمتر ۲۰ متر باشد. بستر محل احداث این بندها باید مقاومت کافی در مقابل نشست و لغزش را داشته باشد در عین حال به دلیل انعطاف‌پذیری این بندها، بستر آنها تا حدی که پایداری سازه با مشکل مواجه نشود، می‌تواند نشست‌پذیر باشد (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲الف).

معیارها و شاخص های تعیین تعداد و فاصله بندهای اصلاحی

شیب حد

تعداد بندهای اصلاحی در یک آبراهه به شیب آبراهه، ارتفاع و فاصله بندها و شیب آبراهه پس از رسوب‌گذاری پشت بندها بستگی دارد. در اغلب موارد بندهای اصلاحی برای کاهش شیب آبراهه، به‌منظور کاهش سرعت جریان و کنترل فرسایش بستر آبراهه ساخته می‌شوند. برای کنترل فرسایش در آبراهه‌ها، کم کردن شیب بستر به گونه‌ای انجام می‌شود که سرعت آب باعث جدا دن ذرات مصالح بستر دیواره آبراهه نشود. این عمل با ساخت شیب‌شکن‌ها و بندهای اصلاحی میسر می‌شود.

از طرفی پس از احداث بندهای اصلاحی متوالی در بین آن‌ها رسوبگذاری انجام می‌شود که این رسوب‌گذاری پس از به‌تعادل‌رسیدن، شیبی پیدا می‌کند که به شیب نهایی معروف است. این شیب زمانی شکل می‌گیرد که پشت بند اصلاحی تا ارتفاع تاج سرریز با مصالح حمل‌شده توسط جریان پر شود. این شیب معمولاً در حد سه درصد است.

فاصله بندها

به‌طورکلی، بهترین و اقتصادی‌ترین فاصله در سامانه بندهای اصلاحی و رسوبگیر، فاصله‌ای است که به موجب آن، هر بند در بالادست پنجه آخرین رسوبات بند پایین دستی قرار گیرد. تعیین این فاصله، نیاز به آگاهی در خصوص ارتباط شیب اولیه بسترآبراهه و شیب رسوبات پشت بندهای احداث‌شده در آبراهه دارد.

ارتفاع بندها

ارتفاع بندهایی که برای اصلاح شیب آبراهه‌ها و خندق‌ها ساخته می‌شوند معمولاً کم بوده و از پنج متر تجاوز نمی‌کند. ارتفاع مؤثر بند در حجم رسوب پشت بند، فاصله و تعداد بندها مؤثر خواهد بود. با توجه به توپوگرافی آبراهه و شیب دیواره‌ها، حجم رسوب‌گیری در پشت چندین بند کوتاه، که مجموع ارتفاع آن‌ها با ارتفاع یک بند بلند برابر است، از حجم رسوب‌گیری در پشت یک بند بلند کمتر است. ازاین‌رو از دیدگاهی تله اندازی رسوبات یک بند بلند بر چند بند کوتاه ارجحیت دارد. درصورتی‌که برای تثبیت شیب چند بند کوتاه همان عملکرد بند بلند را دارد و معمولاً هزینه آنها نیز کمتر است. بااین‌حال ارتفاع، فاصله و تعداد بندها با درنظرگرفتن اهداف طرح و ملاحظات اقتصادی تعیین می‌شود. ارتفاع مؤثر یک بند اصلاحی، بنا به تعریف فاصله قائم تاج سرریز تا بستر آبراهه است. با توجه به ارتفاع مؤثر و فاصله بندهای اصلاحی، تعداد بندها و حجم رسوبات پشت آن‌ها نیز قابل محاسبه است. برای محاسبه دقیق رسوب پشت بند، نیاز به نقشه توپوگرافی آبراهه در بالادست بند است که معمولاً وجود ندارد.

تعداد بندها

تعداد بندها براساس فاصله بندها، طول آبراهه، ارتفاع مؤثر بند، شیب اولیه آبراهه و شیب آبراهه از طریق روابط تجربی تعیین می‌شود.

مواد و روش‌ها

به‌طورکلی، ارزیابی اثربخشی عملیات و فعالیت‌های اجراشده در یک حوزه آبخیز با تمرکز بر اهداف و انتظارات موردنظر، در قالب مراحل مشخصی انجام شده است که به‌صورت خلاصه در ادامه ارائه می‌شود.

- جمع آوری داده‌ها، نقشه‌ها، گزارشات، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و تعیین داده‌های موردنیاز. سپس فعالیت‌های فنی و مهندسی، بیولوژی و بیومهندسی چگونگی انجام کار آن ها مورد بررسی قرار گرفته است.
- پس از تعیین موقعیت مکانی هر یک از اقدامات آبخیزداری، نمونه‌هائی از اقدامات فنی و مهندسی، وضعیت مهار فرسایش، عملیات بیولوژی و وضعیت ظاهری فرسایش و عملکرد آن‌ها انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت به نحوی که در مورد اقدامات فنی مهندسی مشخصات مربوط به ابعاد آن‌ها نیز بررسی شد.
- در این مرحله کلیه اقدامات از لحاظ پایداری و عملکرد آن‌ها و ثبت صدمات و خسارات وارده به سازه‌ها بررسی و یادداشت‌برداری شده و نتایج حاصل از عملکرد طرح آبخیزداری، کارایی یا عدم کارایی با توجه به اهداف تعیین‌شده مشخص شد.
- بررسی و جمع‌بندی داده‌ها و مشخص‌کردن تناقض‌های عملیات پیش‌بینی‌شده و یا اجراشده از طریق تعیین موارد تناقض و تطابق با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها و موفقیت هر یک از عملیات مکانیکی و بیولوژیکی ارزیابی شد.

گزارش فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و اقتصادی اجتماعی حوضه

- از نظر فرسایش و رسوب مهم‌ترین پارامترهای عوامل طبیعی که در فرسایش و رسوبدهی حوزه مؤثر هستند، عبارتند از آب و هوا، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، جهت، خاک و مهم‌ترین پارامتر فعالیت‌ها انسانی مؤثر در فرسایش حوضه عبارتند از: اقدامات زراعی، احداث تأسیسات فنی و استفاده

مفرط از پوشش گیاهی بوده که همه موارد برمبنای روش پسیاک درحوزه آبخیز آبعلی دماوند تقریباً قابل توجه است.

- از نظر پوشش گیاهی (مرتع) حوضه مسیر قهقرایی دارد زیرا مطالعات و برآوردها نشان می‌دهد که این مراتع فاقد مراتع نوع درجه یک و دو است. قسمت اعظم مراتع حوزه وضعیت فقیر تا خیلی فقیر و گرایش آنها عمدتاً منفی و در معدودی از آنها وضعیت ثابت است، و کلاً تعادلی بین دام و مرتع نیست. عوامل تخریبی بیشماری در سطح مراتع حوزه وجود دارد که مانع ایجاد یک مرتع خوب هستند. شواهد زیادی چون چرای درختچه‌ها و درختان پراکنده، دفرمه شدن شاخ و برگ درختچه‌ها، عدم مشاهده گونه‌های خوش‌خوراک و زادآوری آن‌ها و بالعکس افزایش گونه‌های مهاجم و زیادشونده، ظهور گیاهان خاردار، وجود گیاهان سمی و چرای آن ها توسط دام، وجود انواع فرسایش و نیز میکروتراس‌ها، جمع‌شدن خاک در پشت سنگ‌ها و بوته‌ها و ... دلالت بر قهقرایی و تخریب پوشش گیاهی حوضه داشته که باید مورد توجه قرار گیرد.
- ازنظر اقتصادی و اجتماعی بررسی سیمای کلی منطقه و اثرات آن بر عوامل منابع طبیعی و زیست‌محیطی حوزه آبخیز است. محدوده مورد مطالعه در استان تهران واقع شده و قسمت هایی از دو شهرستان دماوند و شمیرانات را در برگرفته است (جعفری و براتی، ۱۳۹۷). از نظر اقتصادی غالبا در بخش کشاورزی (زراعی و باغی)، دامداری و همچنین عده‌ای در بخش صنعت و خدمات مشغول به فعالیت هستند.

بررسی و ارزیابی گزارش تلفیق و سنتز گزارشات و پیشنهاد عملیات آبخیزداری

پس از بررسی گزارشاتی که ذکر آن گذشت عملیات اجرایی آبخیزداری با محوریت کنترل سیل، فرسایش ورسوب برای زیرحوضه آبعلی اجرا شد. اما برای بررسی دقیق و ارزیابی صحیح گزارش تلفیق نیاز به مطالعه دقیق در زمینه‌های مختلف دارد و اینکه آیا گزارش تلفیق با شرح خدمات موجود و سرفصل‌های مربوطه مطابقت دارد و اگر مطابقت دارد از نظر کمی و کیفی تا چه حدی نظرات تدوین‌کنندگان شرح خدمات را موردنظر قرار داده و

یا اینکه به اهداف خود تا چه حدی رسیده است. از سوی دیگر در این مطالعات که مهم‌ترین قسمت آن تلفیق است. آیا شناخت کافی از پتانسیل‌ها، مشکلات، موانع و امکانات حوضه به عمل آمده است. در صورت شناخت کافی از منطقه می‌توان به بهترین نحو مشکلات و معضلات را مرتفع ساخت (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲ب).

برای بررسی دقیق سازه‌ها در تمام زیرحوضه‌ها دست‌کم ۵۰ درصد از کل نمونه‌های اجراشده و در بعضی از زیرحوضه‌ها، تمام سازه‌های مختلف اجراشده، مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار گرفتند و کارایی آن‌ها نیز با توجه به پارامترهای مختلف دخیل شامل (نوع سازه، عرض، طول، پی، دیوارها، مکان‌یابی صحیح، شرایط رودخانه و ....) ارزیابی شد.

از ۲۵ مورد سازه خشکه‌چین بررسی‌شده ۱۲ مورد آن سالم، چهار مورد آن تخریب شده و نه مورد آن نیز در حال تخریب است. از علل اصلی عدم کارایی این سازه‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

- شیب نسبتاً تند آبراهه‌هائی که سازه‌های مربوطه در آن احداث شده‌اند.
- عدم پی مناسب و نداشتن پی برای بعضی از سازه‌های مربوطه.
- عدم چیدمان مناسب سنگ‌ها و حجم سنگ‌های مربوطه بخصوص در زیر خشکه‌چین‌ها که اندازه آن‌ها مناسب نیست،
- سازندهای حساس به فرسایش که عامل مهمی در تخریب بند است،
- فرم و شکل آبراهه‌ها،

برای بررسی کارایی سازه‌های مربوطه از رابطه ۱ استفاده می‌شود که در آن، S مجموع تکرارها با علامت مثبت در هر تیمار و N مجموع کل تکرارها

رابطه ۱

$$\text{کارایی نسبی} = \frac{S}{N}$$

$$\text{کارایی نسبی وضعیت کلی خشکه‌چین‌ها} = \frac{12}{25} \times 100 = \%48$$

در مجموع کارایی نسبی سازهای خشکه‌چین ۴۸ درصد برآورد شده است. لازم به ذکر است که بعضی از بندهای خشکه‌چین در حال تخریب و یا تا حدودی تخریب شده نیز با احتمال بالای ۵۰ درصد به هدف مربوطه رسیده‌اند. درصورتی‌که این سازه‌ها را جزء سازه‌هایی با کارایی نسبی مؤثر در نظر بگیریم. کارایی کلی سازه‌های خشکه‌چین به شرح ذیل محاسبه شده است (یا به‌عبارت‌دیگر امتیاز کلیه سازه‌های بالای پنج را در صورت درنظرگرفتن وضعیت کلی مناسب $\frac{19}{25} \times 100 = \%76$ = کارایی نسبی مؤثر خشکه‌چین‌ها در بحث کارایی نسبی).

این رقم درصورتی‌که مرمت سازه‌ها را به خوبی انجام دهیم قابل اعتماد است. درصورتی‌که مرمت انجام نشود کارایی نسبی همان رقم ۴۸ درصد خواهد بود. چرا که این بندها در نهایت تخریب شده و رسوب پشت آن نیز آزاد خواهد شد.

برای بررسی وضعیت کلی سازه‌ها تعداد سازه‌های خشکه‌چینی که درحال‌حاضر سالم بوده و بیش از ۵۰ درصد از امتیاز مفیدبودن برخوردار است حدود ۱۲ سازه از مجموع ۲۵ سازه مربوطه بوده که در نهایت درصد کارایی آن ۴۸ و امتیاز آن از ۱۰۰ حدود ۴۸ و یا نمره ۹/۶ از ۲۰ را بخود اختصاص داده است. با درنظرگرفتن فقط همین عامل می‌توان اذعان داشت که بیش از ۵۰ درصد از کل هزینه‌های مربوطه برای اجرای این زیرپروژه تلف شده است.

- از نظر وضعیت پی به جز ۱۲ مورد سازه خشکه‌چین بقیه موارد دارای وضعیت پی در کف و دیواره‌ها نبوده یا وضعیت پی نامناسبی دارند. با توجه به بررسی تعداد ۲۵ مورد سازه خشکه‌چین درصد کارایی آن ۴۸ و یا امتیاز آن از ۱۰۰ حدود ۴۸ برآورد شده است. که وضعیت مناسبی نیست. به معنی دیگر بیش از ۵۰ درصد از هزینه‌های مربوطه با درنظرگرفتن فقط همین عامل تلف شده است.
- از نظر مکان‌یابی سازه‌ها، کارایی سازه‌های خشکه‌چین مناسب است. یکی از مهم‌ترین عوامل در مطالعات آبخیزداری مکان‌یابی مناسب با درنظرگرفتن کلیه پارامترهای طبیعی، زیستی، اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی هر حوضه است که در این مورد درست برنامه‌ریزی نشده است. براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده

از ۲۵ مورد سازه خشکه‌چین حدود ۱۸ مورد آن دارای مکان‌یابی نسبی مناسبی بوده و امتیاز ۷۲ از صد را به‌خود اختصاص می‌دهد.

- از نظر حجم سنگ‌ها و نوع سنگ‌های به‌کار برده شده تمام مواد، از ۲۵ مورد وضعیت مناسبی بر سازه‌های اجراشده وجود داشته و کارایی این مسأله نیز در حدود ۱۰۰ درصد برآورد شده است.
- از نظر رسیدن به هدف و کنترل رسوب با توجه به سالم‌بودن ۱۲ مورد از ۲۰ مورد و نیاز به ترمیم نه مورد دیگر خشکه‌چین درصد کارایی آن حدود ۷۶ درصد برآورد شده است.

شکل ۴- نمونه‌هایی از تصاویر خشکه‌چینی در منطقه

سازه‌های گابیونی جزء یکی از سازه‌های نسبتاً مهمی بوده که در سطح وسیعی در حوزه انجام شده است. این نوع بندها در صورت اجرا در مکان مناسب بسیار مفید است، ولی در حوزه آبخیز آبعلی و به‌خصوص آبراهه‌های درجه ۴ به بالا، گابیون موفقیت چندانی با توجه به شرایط هیدرولوژیکی رودخانه نداشته است.

براساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده از ۱۵ گابیون ارزیابی‌شده هفت مورد تخریب شده یا در حال تخریب بوده و هشت مورد آن سالم است. جمع کل رسوب ترسیب شده پشت بندهای گابیونی ۲۳۳ مترمکعب برآورد شده است. عوامل مختلفی در تخریب سازه‌ها تأثیر داشته‌اند که به شرح ذیل ارائه شدند.

- بار بستر سنگی در مواقع سیلابی که ضربات زیادی بر گابیون‌ها زده و عامل بازشدن سیم‌ها و تخریب شده است.
- مکان‌یابی غلط و بخصوص تکیه‌گاههای نامناسب.
- شیب تند در سازه‌های A5 و A6.
- درجه آبراهه‌های بالاتر از حد مجاز در حوزه آبخیز آبعلی که مناسب اجرای سازه‌های گابیونی نیستند.
- برای بررسی از رابطه ۲ استفاده شده است.

رابطه ۲ $$\text{کارایی نسبی} = \frac{S}{N} = \frac{7}{15} \times 100$$

در مجموع، کارایی کلی سازه‌های گابیونی حدود ۴۷ درصد برآورد شده است. این ارزیابی براساس درجه‌بندی آبراهه‌ها صورت گرفته است. با این حال، اگر سازه‌های آسیب‌دیده ناشی از فعالیت‌های معدنی را سالم فرض کنیم که در این بررسی چنین فرضی لحاظ شده، میزان کارایی این سازه‌ها به حدود ۸۷ درصد افزایش می‌یابد. این عدد نشان‌دهنده ارزش قابل‌توجه و اثربخشی بالای سازه‌های گابیونی در منطقه مورد مطالعه است.

شکل ۵- سازه سنگی و ملاتی و تلفیق با سازه خشکه‌چینی که در مکان مناسب پیشنهاد و اجرا شده

شکل ۶- سازه گابیونی و سنگی و ملاتی اساسی با کارایی مناسب در منطقه

بحث

در انتخاب واحدهای برنامه‌ریزی حوزه آبخیز، به‌دلیل تأثیرات متقابلی که فاکتورهای مختلف حوزه، بر روی یکدیگر دارند، همیشه بایستی موارد مهمی را که شامل محافظت خاک در مقابل قدرت فرسایندگی باران، کاهش

رواناب، تقویت پایداری خاک، افزایش زبری سطح خاک، و همچنین کاهش سرعت حرکت هرزآب باشد (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۴)، موردنظر قرار گیرد، در راستای تحقق این امر، آن دسته از فعالیت‌هایی که توجیه اقتصادی بهتری داشته باشد، به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند، غالباً فعالیت‌های بیولوژیکی یا مکانیکی و یا هر دو با هم در حوزه‌های آبخیز به‌کار گرفته می‌شوند (Madhu و همکاران، ۲۰۱۸). هزینه اقدامات مکانیکی بسیار بالاست و هنگامی به‌کار گرفته می‌شود که اهمیت کار بسیار بالا یا مسائل سیاسی و یا اینکه ارزش اقتصادی بیشتری را تأمین کند، گاهی ممکن است یک مسأله سیاسی و یا اجتماعی در این امر به‌عنوان فاکتور تعیین‌کننده باشد، صرفاً جنبه اقتصادی در همه‌جا شرط انتخاب ما در برنامه‌ریزی حوضه نبوده است (Prabhakar و همکاران، ۲۰۱۵).

اقدامات مکانیکی هنگامی در مناطق به‌کار گرفته می‌شود که کاملاً توجیه اقتصادی داشته باشد و یا اینکه از نظر سیاسی، اجتماعی موردنظر باشند، زیرا دارای هزینه بسیار زیاد هستند (Wang و همکاران، ۲۰۱۶). در این برنامه‌ریزی سعی شده که اقدامات مکانیکی عمدتاً به همراه اقدامات بیولوژیکی بکار گرفته شوند، زیرا پس از ازدست‌دادن زمان استهلاک تأسیسات پوشش گیاهی جایگزین آن‌ها شود و نیاز به هزینه مجدد ساخت یا مرمت نباشد (ملکی و مددی، ۱۳۹۷). این برنامه‌ها شامل برنامه ذخیره نزولات آسمانی که هدف آن‌ها عمدتاً نفوذ آب باران در خاک است و در قالب برنامه احداث فارو، احداث بانکت، احداث گرادان، احداث سکو، احداث تراس است.

برنامه احداث سدهای اصلاح آبخیزکه عبارتند از سد سبک فلزی، سد خشکه‌چین بدون ملات و یا ملات‌دار، سد گابیونی و تور سنگی، سد بهمن‌گیر در گذرگاههای بهمنی (شامل دیوار سنگی یا چوبی یا فلزی)، احداث بند خاکی. هر یک از عملیات فوق برای تعادل حوزه یا آبراهه و جلوگیری از حرکت هرزآب‌های سریع و رسوب به کار گرفته می‌شوند.

- **تحلیل پایداری سازه‌ها و رسیدن به هدف:** ارتباط بسیار زیادی بین خصوصیات و ویژگی‌های جریان‌های رودخانه‌ای و مورفولوژی منطقه، با احداث سازه‌های مختلف دارد به طوری‌که هر چه شیب بیشتر باشد، پایداری سازه کمتر و هر چه ارتفاع سازه بیشتر باشد، پایداری به همان نسبت می‌تواند کمتر

باشد. در حوزه آبخیز آبعلی کلیه عملیات اجرایی در سازه‌های مکانیکی خلاصه شده و اغلب سازه‌های مکانیکی نیز در اجرای بندهای گابیونی نمود کرده است.

- **تحلیل ارتباط نوع سازه‌های گابیونی احداثی با کنترل رسوب و سیل:** در زیرحوضه بیشتر سازه‌های گابیونی اجراشده در آبراهه‌های درجه ۳ و درجه ۴ تخریب شده‌اند و یا کارایی کمتر از ۵۰ درصد دارند. کارهای مکانیکی در بالادست زیرحوضه، به‌دلیل عدم وجود محور ارتباطی، شیب تند و صعب‌العبوربودن تقریباً غیرممکن است. این مسأله به‌خصوص در بالادست زیرحوضه‌های تجرک و دره لار کاملاً مشهود است. از سوی دیگر در دامنه‌های این زیرحوزه‌ها می‌توان به نحو مطلوب از برنامه‌های مدیریتی و بیولوژیکی برای کنترل فرسایش استفاده کرد، که مهم‌ترین آن بوته‌کاری و نهال‌کاری در شیب‌های ۱۰ تا ۴۰ درصد است. این امکان برای برنامه‌ریزی وجود داشته که متأسفانه این زیرپروژه در منطقه اجرا نشده است.
- **تحلیل تأثیر سازه‌های گابیونی در کنترل رسوب:** کنترل رسوب در آبراهه‌ها یکی از اهداف تکمیلی در مطالعات آبخیزداری بالادست سدهای احداثی است. لذا باید به‌عنوان یک بحث تکمیلی پس از اجرای برنامه‌های کنترل فرسایش این مسأله دیده شود. متأسفانه چنین برنامه‌هایی در منطقه موردنظر با اولویت‌بندی مناسب در تلفیق ارائه نشده ولی در اجرا به آن تا حدود زیادی عمل شده است. کارفرمای محترم با دید کنترل سیل و رسوب، تمام برنامه‌ها یا به تعبیری، بیشتر توان خود برای کنترل رسوب را در آبراهه‌ها و تا حدودی در دامنه ها صرف کرده است.
- **تحلیل تأثیر مورفولوژی حوزه در کارایی سازه‌ها:** مورفولوژی حوزه یکی از عوامل بسیار مهم در انتخاب نوع سازه است. در مطالعات تلفیق باید تمام جوانب و شرایط حاکم بر سازه به‌صورت کامل بررسی شود. این عامل در منطقه مطالعاتی به‌صورت کامل انجام نشده است و حتی بسیاری از مواردی که باید در طراحی سازه و انتخاب نوع سازه از نظر شرایط حاکم بر منطقه بررسی شود انجام نشده است. بهترین سازه برای کل منطقه، سازه‌های بتنی در آبراهه اصلی (درجه ۴ و ۵) و سنگ و سیمانی در آبراهه درجه

۳ و گابیونی در آبراهه درجه ۲ است. از مهم‌ترین عوامل تخریب سازه‌های گابیونی وضعیت بار کف موجود در منطقه به‌دلیل شیب تند و دبی بالای سیلاب است.

- **تحلیل رتبه‌بندی آبراهه‌ها با کارایی سازه:** در انتخاب نوع سازه عواملی مثل دبی اوج، بار بستر، شیب محل زمین‌شناسی، جنس سنگ، پیچان رودخانه و بسیاری از موارد دیگر مهم محسوب می‌شوند (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۴). در تعدادی از زیرحوضه آبعلی دماوندکه غالباً شیب‌دار بوده، به‌دلیل دبی اوج بالا و به‌خصوص بالابودن شیب رودخانه در بالادست که محل اصلی برای اجرای سازه‌های مکانیکی است. بار بستر سنگی، ریزش سنگی، حساسیت بالای بسیاری از سازندها به فرسایش و شیب بسیار زیاد دامنه‌ها، باعث می‌شود که محدودیت زیادی با افزایش رتبه‌بندی که به طبع آن افزایش دبی اوج است، ایجاد شود. بنابراین از بررسی‌های ارائه‌شده در منطقه می‌توان به این نتیجه رسید که اجرای سازه در آبراهه‌ها با رتبه ۴ و ۵ و ۶ حتماً باید بتنی مصلح باشد. در آبراهه درجه ۳ و ۴ اجرای سازه‌های سنگ و سیمانی که سرریز آن مسلح باشد، بهترین نتیجه را عاید می‌کند. همچنین در آبراهه‌ها درجه ۲ می‌توان از سازه‌های گابیونی استفاده کرد. نتایج حاصل از ارزیابی سازه‌های مختلف در زیرحوضه‌های متفاوت مؤید این مطلب بوده که در صورت اجراشدن این شرایط کارایی سازه‌های اجرایی بالاتر از ۹۰ درصد تخمین زده می‌شد.
- **تحلیل انتخاب محل سازه‌ها در عملکرد آن:** براساس ارزیابی‌های انجام شده در منطقه مطالعاتی یکی از عوامل مهم کاهش کارایی و تخریب سازه‌ها محل نامناسب انتخابی بوده است. به‌خصوص دستک‌های نامناسب و عدم پی ازجمله مهم‌ترین عوامل است. در بررسی‌های صورت‌گرفته از سازه‌های تخریبی به‌ترتیب عوامل مختلف مهم در مکان‌یابی دارای درصدهای مختلف در عدم کارایی سازه‌ها هستند که ذیلاً عنوان می‌شوند.
  - ✓ دستک‌ها و تکیه‌گاهی نامناسب ۲۵ درصد از عوامل تخریب را تشکیل می‌دهد.
  - ✓ پی نامناسب ۲۸ درصد از عوامل تخریب را تشکیل می‌دهد.
  - ✓ جنس سنگ و بافت و ساخت بستر ۱۰ درصد از عوامل تخریب را تشکیل می‌دهد.

- ✓ پرشیب مسیل ۱۷ درصد از عوامل تخریب را تشکیل می‌دهد.
- ✓ شیب دامنه‌های نامناسب محل انتخابی ۲۰ درصد از عوامل تخریب را تشکیل می‌دهد.
- ✓ در مجموع امتیاز محل صحیح انتخاب سازه‌ها در منطقه حدود ۵۵ از ۱۰۰ است.
- ✓ **تحلیل طراحی سازه‌های دینامیکی (مکانیکی):** برای طراحی سازه‌های دینامیکی یا اصطلاح نامناسب مکانیکی براساس بازدیدهای میدانی و اظهارنظر کارشناسی انجام شده موارد ذیل مورد توجه خواهد بود:
- ✓ اجرای سازه‌ها در آبراهه‌های درجه ۴، ۵ و ۶ و در شیب‌های ۵ تا ۱۰ درصد ترجیحاً باید به‌صورت بتنی باشد.
- ✓ اجرای سازه‌های در آبراهه درجه ۶ در شیب‌های کمتر از ۵ درصد نیز باید بتنی باشد.
- ✓ اجرای سازه‌ها در آبراهه درجه ۴ و ۵ در شیب‌های کمتر از ۵ درصد باید سنگ و سیمانی باشد.
- ✓ اجرای سازه‌ها در آبراهه درجه ۳ در شیب های ۵ تا ۱۰ درصد سنگ و سیمانی مورد توجه خواهد بود.
- ✓ اجرای سازه‌ها در آبراهه درجه ۳ در شیب‌های کمتر از ۵ درصد گابیونی مورد توجه خواهد بود.
- ✓ اجرای سازه‌ها در آبراهه درجه ۲ در شیب‌های کمتر از ۵ درصد گابیونی در نظر گرفته می‌شود.

نتیجه‌گیری

مراتع حوضه، همانند اغلب مناطق، به‌دلیل مدیریت ناکارآمد، روند تخریب و فرسایش را طی می‌کنند که نیازمند برنامه‌ریزی اصولی و رآبعلیبردی است. قبل از اجرای اصلاحات، باید عوامل تخریب شناسایی و محدود شوند تا بهره‌برداری بهینه از پتانسیل مراتع تحقق یابد. بیومهندسی و رویکردهای اجتماعی نقش کلیدی در تثبیت خاک، کاهش فرسایش، و جلب مشارکت محلی دارند، به گونه‌ای که هم حفظ محیط زیست و هم تأمین نیازهای اقتصادی جامعه تضمین شود و مسیر توسعه پایدار مراتع هموار شود. به‌طور خلاصه در تعدادی از زیرحوضه آبعلی

دماوند که غالباً شیب‌دار بوده به‌دلیل دبی اوج بالا و به‌خصوص بالابودن شیب رودخانه در بالادست که محل اصلی برای اجرای سازه‌های مکانیکی است بار بستر سنگی، ریزش سنگی، حساسیت بالای بسیاری از سازندها به فرسایش و شیب بسیار زیاد دامنه‌ها، باعث شده که محدودیت زیادی با افزایش رتبه‌بندی که به طبع آن افزایش دبی اوج است، ایجاد شود (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین از بررسی‌های ارائه شده در منطقه می‌توان به این نتیجه رسید که اجرای سازه در آبراهه‌ها با رتبه ۴ و ۵ و ۶ حتماً باید بتنی مسلح باشد. در آبراهه درجه ۳ و ۴ اجرای سازه‌های سنگ و سیمانی که سرریز آن مسلح باشد، بهترین نتیجه را خواهد داد. همچنین در آبراهه‌ها درجه ۲ می‌توان از سازه‌های گابیونی استفاده کرد. نتایج حاصل از ارزیابی سازه‌های مختلف در زیرحوزه‌های متفاوت مؤید این مطلب بوده که در صورت اجرا شدن این شرایط کارایی سازه‌های اجرایی بالاتر از ۹۰ درصد قابل افزایش بوده است. به‌طورکلی نتایج ارزیابی نشان داد در منطقه مطالعاتی یکی از عوامل مهم کاهش کارایی و تخریب سازه‌ها محل نامناسب انتخابی بوده است. بخصوص دستک های نامناسب و عدم پی از جمله مهم‌ترین عوامل است.

با توجه به نتایج، بهترین سازه برای کل منطقه، سازه‌های سنگی و ملاتی در آبراهه اصلی (درجه ۴ و ۵) و همچنین آبراهه درجه ۳ و گابیونی در آبراهه درجه ۲ است. از مهم‌ترین عوامل تخریب سازه‌های گابیونی وضعیت بار کف موجود در منطقه به‌دلیل شیب تند و دبی بالای سیلاب است. سازه مذکور در منطقه اجرا شده و براساس اطلاعات صحرائی و آمار گرفته شده از اداره آبخیزداری شهرستان دماوند این سازه‌ها دارای اثرات مفیدی در منطقه هستند که در نهایت حجم نسبتاً زیادی از سیلاب و رسوب را کنترل کرده است.

براساس عملیات صحرایی انجام‌شده بر روی بیش از ۶۰ درصد سازه‌های موجود، تأثیر سازه‌های گابیونی (توریسنگی) بر کنترل رسوب تا حد زیادی مناسب ارزیابی شده است. با این حال، در زیرحوزه‌های آبراهه‌ای درجه ۳ و درجه ۴، اکثر سازه‌های گابیونی اجرا شده تخریب شده‌اند و یا کارایی آن‌ها کمتر از ۵۰ درصد است. البته، بررسی ارتباط بین سازه‌های اجراشده در دو زیرحوزه مجاور نشان داد که درصد موفقیت سازه‌های گابیونی در کل منطقه، صرف نظر از درجه‌بندی آبراهه، تقریباً حدود ۶۰ درصد بوده است. سازه‌های مذکور، به‌عنوان یکی از سازه‌های نسبتاً مهمی هستند که در سطح وسیعی در این حوزه اجرا شده‌اند. این نوع بندها یا سازه‌ها، در صورت

اجرا در مکان مناسب، بسیار مفید خواهد بود؛ اما در حوزه آبخیز آبعلی و به‌ویژه در آبراهه‌های درجه ۴ و بالاتر، به‌دلیل شرایط هیدرولوژیکی غالب رودخانه، گابیون‌ها موفقیت چشمگیری نداشته‌اند.

برای سازه‌های خشکه‌چینی درمجموع کارایی نسبی حدود ۴۸ درصد برآورد شده است. لازم به ذکر است که حتی بعضی از بندهای خشکه‌چین در حال تخریب و یا تا حدودی تخریب شده نیز با احتمال بالای ۵۰ درصد به هدف مربوطه رسیده‌اند.

توصیه‌های فنی

ارائه توصیه مستلزم وجود مطالعات و ارزیابی دقیق سنترو هماهنگ‌بودن نوع عملیات آبخیزداری پیشنهادی و اجراشده براساس اهداف و بازه زمانی مشخص خواهد بود، اما به طور مختصردر ادامه تحقیق حاضر و انجام تحقیقات مشابه در آینده، موارد زیر در قالب توصیه به کارشناسان حوزه آبخیزداری مطرح است:

- در عملیات آبخیزداری، از روش‌های مکانیکی مانند بانکت‌بندی و تراس‌بندی برای کنترل فرسایش سطحی استفاده شود و در کنار آن، اقدامات بیولوژیکی مانند بذرپاشی و کشت گیاهان مقاوم را اجرا شود.
- برای ارزیابی دقیق سازه‌هایی مانند گابیون، پتانسیل منطقه و پاسخ گیاهان و سازه‌ها را بررسی و براساس نتایج، تصمیم‌گیری شود.
- از نقشه‌های خاک‌شناسی و ارزیابی منابع برای مشخص‌کردن بهره‌برداری مناسب و بهینه اراضی استفاده شود، تا بهره‌وری و پایداری حفظ شود.
- در صورت تمایل به کاهش سطح بایر، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اقداماتی برای احیای خاک و جلوگیری از بایربودن انجام شود.
- به‌علت کمبود مواد اولیه، توسعه سازه‌های چپری را محدود کنید و هدف‌گذاری برای کاهش ساخت این نوع سازه‌ها در منطقه.

- از کشت زراعت دیم در اراضی با شیب بیش از ۱۲ درصد یا خاک‌های کم‌عمق خودداری شود تا فرسایش و فرسودگی خاک کاهش یابد.
- از تبدیل اراضی زراعی و باغی در مناطق مسکونی و در شیب‌های کمتر از ۸ درصد به ساخت‌وسازهای مسکونی و باغات پرهیز شود و باغ‌ها را در اراضی شیب‌دار با رعایت اصول حفاظتی احداث شود.

فهرست منابع

- جعفری، غ.ح. و براتی، ز. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات اجتماعی– اقتصادی و زیست‌محیطی طرح‌های آبخیزداری حوزه آبخیز سپیدرود. *نشریه جغرافیا و آمایش شهری–منطقه‌ای، ۸*(۲۶): ۲–۱۰.
- دادرسی سبزوار، ا.، گزنچیان، ع. و نمکی، م. ۱۳۹۵. تحلیل عاملی اثرات اقتصادی–اجتماعی فعالیت‌های بیومکانیکی آبخیزداری از دید آبخیزنشینان حوزه آبخیز گوش شهرستان مشهد. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸*(۴): ۲۰۹–۳۰۲.
- درویش‌زاد، ع. ۱۳۹۴. زمین شناسی ایران. نشر دانش امروز (وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر)، ص ۲۵۳- ۲۹۶.
- شریفی، ر.، مهدوی‌وفا، ح.ا.، سلطانی، م.ج.، شادمانی، ع. و درویشی، ع. ۱۴۰۲الف. ارزیابی اثرات اقتصادی– اجتماعی فعالیت‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز آبعلی دماوند: گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. *پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور*، ۵–۷۸.
- شریفی، ر.، نوروزی، ع.ا.، سلطانی، م.ج.، درویشی، ع. و حبیبی، ح.ع. ۱۴۰۲ب. بررسی و ارزیابی اثربخشی فعالیت‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز دماوند استان تهران: (گزارش نهایی طرح تحقیقاتی). *پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور*، ۵–۱۰۶.
- مقدسی، ن.، واحدبردی، ش. و نجفی‌نژاد، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی کیفی طرح‌های آبخیزداری به روش توصیفی همبستگی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد بوستان). *نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲*(۲): ۲۱۸–۲۰۵.
- ملکی، م.، و مددی، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات اجتماعی– اقتصادی پروژه‌های منابع طبیعی اجراشده از دید ذی‌نفعان (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اندبیل– شهرستان خلخال). *نشریه جنگل و مرتع، ۱۲*(۳): ۲۶۷–۲۸۰.
- مهدوی‌وفا، ح.، شریفی، ر.، سلطانی، م.، شادمانی، ع.، درویشی، ع. و روستایی، ی. ۱۳۹۹الف. ارزیابی

اقتصادی– اجتماعی فعالیت‌های آبخیزداری انجام‌شده در حوزه آبخیز حبله‌رود: گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۱–۵۹.

- مهدوی‌وفا، ح. شریفی، ر.، سلطانی، م.، شادمانی، ع.، رودگرمی، پ.، مرتضایی فریزهندی، ق. و درویشی، ع. ۱۳۹۹ب. شناسایی و اولویت‌بندی مسائل و مؤلفه‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی حوزه آبخیز سد ماملو استان تهران: گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. *پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور*، ۸۶ صفحه.

- Wu, D. 2017. Successful watershed management: A case study of Wuhua County, Guangdong Province, China. In The status of watershed management in Asia (pp. 7–18). WMTUH/FARM Field Doc1.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L. & Innes, J.L. 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. Journal of Forestry Research, 27:967–994.
- Colvin, J. & Restrepo, C. 2019. Water quality and socio-economic indicators are linked in a tropical watershed: Emerging implications for the sustainable management of waterscapes. Wetlands, 39:1303–1316.
- Madhu, M., Niik, B.S. & Adahikary, P.P. 2018. Livelihood and socio-economic development through watershed management-An impact assessment of Lachhaputraghati tribal catchment. The International Journal of Earth & Environmental Sciences, 3(1): 1–7.
- Prabhakar, K., Lavanya Latha, K., & Papa Rao, A. 2010. Watershed Programme: Impact on socioagricultural and socio-economic spheres of the farmers. Journal of Agricultural Science, 1(1): 31–37.
- Mariam, G., Tesfay, Y.Y. & Assefa, D. 2015. Socio-economic impact assessment of integrated watershed management in Sheka Watershed, Ethiopia. The journal economies and sustainable development, 6(9): 1–7.

Abstract:

Watershed management practices have been implemented in the Abali–Damavand watershed with multiple objectives, including sediment control, flood mitigation, soil erosion reduction, and integrated watershed management. The evaluation of such programs—recognized as one of the most critical aspects of all implementation projects, particularly those interacting with natural environments and involving economic and social dimensions—constitutes the central focus of this technical publication. The evaluation was conducted through an assessment of the strengths and weaknesses of the technical and engineering structures, as well as bioengineering and biological measures implemented in the Abali–Damavand watershed, in order to determine the effectiveness of watershed management operations in flood control, erosion reduction, and sediment control. This assessment was based on the analysis of existing data, integrated and synthesized reports, aerial photographs, and satellite imagery, complemented by field surveys, on-site operations, and expert observations. The results of the structural evaluation indicated that improper site selection was one of the primary factors contributing to reduced efficiency and structural failure. Stone masonry and mortared structures in main channels, as well as gabion structures in second-order streams, exhibited satisfactory performance. However, gabion structures constructed in third- and fourth-order streams were mostly damaged and demonstrated efficiencies of less than 50%. Dry stone masonry structures showed an average efficiency of approximately 48%, and despite partial damage, some achieved performance levels close to the intended objectives. Stone crib (chepari) structures were not implemented in the study area due to the requirement for specific construction materials. Overall, the evaluation indicates that the implemented structures have largely met the predefined objectives to an acceptable degree. Nevertheless, minor deviations from the targets were observed in certain cases, highlighting the need for improved site selection and the use of more suitable construction materials. The biological measures implemented in the watershed also demonstrated acceptable effectiveness, the details of which are discussed in subsequent sections.

Key Words: Abali watershed, Erosion control, Runoff control, Watershed management practices, Watershed structure evaluation.

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

Title: Analysis of the Effectiveness of Engineering and Bioengineering Watershed Management Operations within the Framework of Integrated Watershed Management in the Damavand Basin
Authors: Rahman Sharifi, Latif Mohammadzadeh
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 **69305** at the date of **2026-05-20** the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or translated without the original reference.

Ministry of Agriculture-Jahad
A Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Tehran

Technical Manuscript:

Analysis of the Effectiveness of Engineering and Bioengineering Watershed Management Operations within the Framework of Integrated Watershed Management in the Damavand Basin

Authors:
Rahman Sharifi, Latif Mohammadzadeh

Series Number: 69305

2026

Minstry of Agriculture - Jahad
Agriculture Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Agriculture and Natural Resources Research and Education Center Tehran Province

Technical Report

Analysis of the Effectiveness of Engineering and Bioengineering Watershed Management Operations within the Framework of Integrated Watershed Management in the Damavand Basin

Authors:
Rahman Sharifi, Latif Mohammadzadeh

Series Number: 69305

2026