دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوبدهی آبخیز قرناوه استان گلستان

مریم تاجیکی[۱]، علی نجفی‌نژاد[۲]، مصطفی قلی‌پور[۳]، حمید سیروسی[۴]، امیر سعدالدین[۵]، واحد بردی شیخ[۵]، آرش زارع گاریزی[۶] و ارشک حلی‌ساز[۶]

۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: najafinejad@gau.ac.ir)
۳- دکتری محیط زیست- ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۶- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۷
صفحه: ۱۶۳ تا ۱۷۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر مولفه‌های مختلف آبخیز در بهبود عملکرد اقدامات مذکور حائز اهمیت فراوان است. ارزیابی دقیق اقدامات نیازمند پایش پیوسته و دقیق شرایط آبخیز در طول زمان می باشد. اما متاسفانه در کشورهای در حال توسعه، در بسیاری موارد پایش به دلیل نیاز به صرف هزینه زیاد مورد توجه قرار نمی‌گیرد. لذا در ارزیابی اقدامات آبخیزداری با آبخیزهای فاقد اطلاعات کافی مواجه می‌باشیم. در ارزیابی اقدامات باید از روش‌هایی استفاده کرد که با اطلاعات موجود، قادر به ارائه نتایج مناسب باشد. در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اقدامات آبخیزداری (سازه‌ای، زیستی) که از اوایل دهه ۱۳۸۰ در آبخیز قرناوه حوضه رودخانه گرگانرود اجرا شده، تلاش شد از تحلیل داده های در دسترس با روش‌های مختلف استفاده شود.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تاثیر عوامل اقلیمی و محیطی بر فرسایش و رسوب، تغییر کاربری اراضی و تغییرات زمانی بارش در طول دوره آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نظر به اهمیت بررسی اثر منطقه‌ای سازه‌های آبخیزداری، تاثیر آن‌ها بر فرسایش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از احداث سازه‌ها بررسی شد. سپس با استفاده از آمار ایستگاه رسوب سنجی تمر و روش من کندال رتبه‌ای، سال‌های دارای تغییر معنی دار در میزان رسوبدهی مشخص شدند. سپس مقدار فرسایش و رسوبدهی برای دوره‌های آماری مشخص شده با استفاده از روش RUSLE و منحنی سنجه رسوب تخمین زده شد.

یافته‌ها: بررسی سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای موجود از محل سازه‌ها در آبخیز قرناوه، در بیشتر موارد نشان‌دهنده کنترل فرسایش در محل سازه‌ها بود. این در حالی است که محاسبه و مقایسه میزان فرسایش با روش RUSLE و میزان رسوبدهی با تحلیل داده‌های بار معلق در دوره‌های زمانی مشخص شده توسط روش من کندال رتبه‌ای نشان داد که در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۷ در مقایسه با دوره آماری ۸۶-۱۳۷۸ متوسط فرسایش آبخیز قرناوه حدود ۲ تن در هکتار در سال افزایش یافته است. مقایسه رسوب ایستگاه رسوب سنجی تمر در دو دوره زمانی مذکور نیز حاکی از افزایش رسوبدهی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با وجود اینکه اقدامات آبخیزداری اثرات مثبت محلی بر کاهش میزان رسوبدهی آبخیز داشته است، اثرات توام عوامل دیگری نظیر تغییر کاربری اراضی و شرایط آب و هواشناسی موجب افزایش نسبی میزان فرسایش و رسوبدهی آبخیز قرناوه شده است. هرچند نتایج پژوهش حاضر حاکی از تاثیر مثبت اقدامات آبخیزداری نیست، باید توجه داشت که در ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری هم بایستی به مقیاس مکانی اثرات توجه کرد و هم به اثرات توام و متقابل تمامی عوامل تغییر در آبخیز پرداخته شود.

واژه‌های کلیدی: اقدامات بیولوژیکی، اقدامات مکانیکی، مدل جهانی فرسایش خاک، منحنی سنجه رسوب، من کندال

مقدمه

رشد جمعیت موجب افزایش بهره‌برداری از اراضی و تغییر کاربری اراضی از وضعیت طبیعی به انسان ساخت در سطح آبخیز شده است. توسعه اراضی کشاورزی و صنعتی، معدن کاوی و ساختمان‌سازی علاوه بر کاهش نفوذپذیری و مصرف منابع آب سطحی و زیرزمینی، موجب افزایش فرسایش پاشمانی، شیاری، خندقی و حتی لغزش و درنتیجه افزایش رسوبدهی آبخیزها شده است. علاوه بر عوامل انسانی، عوامل فیزیکی مانند مشخصات زمین شناسی و شیب آبخیز، و عوامل اقلیمی مانند شدت بارش بر رسوبدهی آبخیز اثرگذار هستند. این مسائل در طول زمان منجر به کاهش حاصلخیزی و باروری اراضی کشاورزی شده که اثر مستقیم بر اقتصاد جوامع انسانی گذاشته است. تاثیر عوامل مختلف بر رسوبدهی در طول زمان و مکان تغییر می‌نماید. مسئله‌ای که امروزه مطرح است آن است که آیا اقدامات آبخیزداری در طول سالیان متمادی که از اجرای اقدامات می‌گذرد بر کاهش رسوبدهی اثر گذاشته است.

فرسایش خاک و رسوب یکی از عوامل ایجاد کننده مسائل و مشکلات مختلف از جمله آلودگی آب و پر شدن مخازن سدها از رسوب می‌باشد. بنابراین بررسی تاثیر اقدامات انسانی بر فرسایش و رسوبدهی یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب و خاک است. به منظور ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب از روش‌های کمی یا کیفی استفاده می‌شود (۱۶). در روش‌های کمی میزان اثربخشی اقدامات با مقایسه مقدار فرسایش و رسوب قبل و بعد از انجام اقدامات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تخمین بار رسوب رودخانه از تحلیل داده‌های بارمعلق و مدل‌های فیزیکی و برای تخمین بار رسوب حوضه از مدل‌های تجربی استفاده می‌شود. برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی وضعیت فرسایش نیز از پایش فرسایش و رسوب و یا سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. اثرات اقدامات آبخیزداری بر وضعیت آبخیزها با روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

یکی از روش‌های ارزیابی، استفاده از مدل‌های ریاضی و تجربی تخمین فرسایش و رسوب می‌باشد. کاربرد مدل‌های فرسایش زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که پایش مقدار فرسایش در طول زمان انجام نشده باشد و در نتیجه اطلاعاتی از میزان فرسایش از زمان شروع اقدامات تا زمان ارزیابی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

وجود نداشته باشد. در صورت در دسترس بودن داده‌های رسوب‌سنجی، از تحلیل داده‌های بارمعلق ثبت شده نیز استفاده می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای نیز در صورت در دسترس بودن می‌توانند تاحدی کمبود پایش را جبران نمایند. ورستراتن و همکاران (۲۷) به منظور ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری در بلژیک از مدل توزیعی SEDEM/WaTEM استفاده نمودند. تلفات خاک در مدل مذکور با روش RUSLE به صورت دو بعدی محاسبه شد، بنابراین تلفات خاک سطحی ورودی به آبراهه‌ها را محاسبه نموده، اما میزان رسوب حمل شده توسط آبراهه‌ها و رسوب‌گذاری در سیلابدشت را محاسبه نکردند. طوریکه تاثیر احداث حوضچه آبگیر، ایجاد پوشش علفی در آبراهه‌ها، و اقدامات حفاظتی در قسمت‌های مختلف آبخیز را با طراحی ۱۵ سناریو بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اقدامات حفاظت خاک و کنترل رسوب به مقدار زیادی رسوبدهی آبخیز را کاهش داده است. علاوه بر مدل SEDEM/WaTEM، در مدل‌های هیدرولوژیکی SWAT، AGNPS و CLSE از روش USLE/RUSLE در تخمین فرسایش خاک استفاده شده است. یکی از دلایل کاربرد گسترده روش‌های تخمین فرسایش براساس معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) شامل RUSLE انعطاف پذیری آن و قابلیت استفاده از داده‌های در دسترس می‌باشد (۲). پرویزی و همکاران (۲۱) با استفاده از مدل PSIAC اصلاح شده و حجم‌سنجی رسوبات پشت مخازن رسوبگیر، تاثیر اقدامات آبخیزداری را مثبت ارزیابی نمودند. خالدیان و بیات (۱۷) به منظور بررسی اثربخشی اقدامات آبخیزداری از مدل PSIAC و تصاویر ماهواره لندست استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که فرسایش خاک پس از اجرای اقدامات از ۲/۷ به ۲/۵ تن در هکتار در سال کاهش یافته است.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی، تحلیل آمار ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی، آب سنجی و رسوب‌سنجی است. غفاری و همکاران (۱۱) به منظور بررسی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر رسوبدهی، بارش‌های مشابه دوره قبل و بعد از اجرای طرح که باعث ایجاد سیل شده‌اند را در نظر گرفته و با مشخص نمودن دبی آب در آن روز و جایگزینی آن در معادله منحنی سنجه رسوب، میزان رسوب را برای دو بارش مشابه بدست آورده و با مقایسه میزان رسوب در دو دوره قبل و بعد از طرح در مورد کارایی طرح اظهار نظر نمودند. نتایج آنها نشان داد که دبی و رسوب حوضه پس از انجام اقدامات آبخیزداری کاهش یافته است. مردیان و همکاران (۱۹) تاثیر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تغییر رسوبدهی در طول زمان را بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که رسوبدهی و رواناب طی دوره آماری ۸۲-۱۳۵۴ روند کاهنده داشته است اما بارش سالیانه روند معنی‌داری را نشان نداد. لذا علت روند کاهنده رواناب و رسوبدهی را افزایش سطح زیرکشت، بالا رفتن جذب و رباش ناشی از تغییر کاربری اراضی، افت سفره‌های آب زیرزمینی و عملیات بیومکانیکی حفاظت آب و خاک در دامنه‌ها و آبراهه‌ها تشخیص دادند. محققین مختلف (۹،۱۲،۲۴،۲۶) اثر اقدامات انسانی بر کاهش رسوبدهی حوضه مورد مطالعه خود را مثبت ارزیابی کردند. طوریکه گائو و همکاران (۹) روند تغییرات دبی و رسوب را بررسی کرده و با تعیین سال بروز تغییر (نقاط تغییر) در روند دبی و رسوب تاثیر اقدامات انسانی و تغییرات اقلیمی بر کاهش دبی و رسوب را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که از اواخر دهه ۱۹۵۰ و سال ۱۹۸۵روند رسوبدهی ثبت شده در سه ایستگاه رسوب سنجی کاهنده شده است. این در حالی است که اقدامات حفاظتی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ اجرا شده اند. در شرایطی که بارش کاهش معنادار نداشته است، نتیجه گرفتند که کاهش رسوبدهی ناشی از مداخلات انسانی بوده است. گوسارو و همکاران (۱۲) روند تغییرات دبی جریان، رسوب و شدت فرسایش را برای ۲۱ رودخانه و طی دو دوره آماری ۸۰-۱۹۶۳ و ۱۷-۲۰۰۸ بررسی نمودند. نتایج آنها بیانگر افزایش دبی جریان به میزان ۲ تا ۹۷ درصد بود. اما روند تغییرات رسوب و شدت فرسایش در بیشتر رودخانه‌ها به صورت کاهنده مشاهده شد. طوریکه مشاهده نمودند که در بالادست استاورپول که طی دهه‌های گذشته به‌عنوان یکی از محدوده‌های تحت خطر فرسایش شناخته شده بود، رسوبدهی بین ۴۷ تا ۹۴ درصد کاهش یافته است. آنها علت کاهش رسوبدهی را تغییر اقلیم (کاهش عمق یخ زدگی خاک و رواناب ناشی از ذوب) و تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی (کاهش فشار ماشین آلات کشاورزی به خاک، کاهش چرای دام، انتقال آب بین حوضه‌ای) دانستند. تای و موگز (۲۴) به منظور بررسی تاثیر مداخلات انسانی بر رسوبدهی از تحلیل تصاویر ماهواره لندست و آمار دبی و رسوب استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ سطح اراضی جنگلی از ۲۰,۹ درصد به ۳۹,۲ درصد افزایش یافته و سطح اراضی مسکونی نیز از ۹,۲ درصد به ۲۲,۶ درصد افزایش یافته است. در مقابل، سطح اراضی کشاورزی و مراتع کاهش یافته است. بدین ترتیب دبی و رسوب تحت تاثیر تغییرات کاربری اراضی در طول زمان کاهش یافته اند. سگای و بارتی (۲۶) با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) اثربخشی احداث دیواره سنگی/خاکی و نوارهای پوشش گیاهی را بر کاهش فرسایش و رسوب بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که نوارهای پوشش گیاهی با عرض یک و پنج متر رسوبدهی را به میزان ۳۰ و ۴۸/۷ درصد کاهش می‌دهند. به علاوه احداث دیواره سنگی/خاکی موجب کاهش رسوبدهی به میزان ۷۷ درصد خواهد شد.

تاثیر سدهای احداث شده در حوضه گوداواری هندوستان بر رسوبدهی با روش های رگرسیون خطی، آزمون من کندال، پتیت توسط داس و همکاران (۷) مثبت ارزیابی شد. بوکی و همکاران (۳) با استفاده از روش‌های رگرسیونی نتیجه گرفتند که در کشور غنا رسوبدهی با بارش، رواناب و مساحت آبخیز ارتباط دارد ولی ارتباط تغییر کاربری اراضی و رسوبدهی را نتوانستند تشخیص دهند. الوز وارگاز و همکاران (۱) نیز با برقراری ارتباط بین سری زمانی بار معلق و دبی جریان و کاربری اراضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی روند تغییرات رسوبدهی در طول زمان پرداختند. آن‌ها برای تهیه نقشه کاربری اراضی از افزونه dzetsaka در نرم‌افزار QGIS و برای تحلیل آمار بارمعلق از روش‌های ناپارامتریک استفاده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

نمودند. نتایج بررسی آنها نشان داد که تغییرات رسوبدهی و کاربری اراضی با هم ارتباط دارند، به علاوه نشان دادند که رسوبدهی پس از احداث سد کاهش یافته است. داس (۵) نتیجه گرفت که روند تغیرات رسوبدهی در پنج ایستگاه رسوب سنجی مورد بررسی طی چهار دهه اخیر کاهنده بوده است. به علاوه با بررسی سال‌های بروز تغییر در میزان رسوبدهی با استفاده از آزمون من کندال و پتیت مشخص نمودند که در یکی از ایستگاه‌ها کاهش رسوبدهی همزمان با احداث سد بوده است، اما درخصوص سایر ایستگاه‌ها علت کاهش رسوبدهی را اقدامات انسانی (پروژه‌های حفاظت آب و خاک شامل احداث سد و مخازن) و تغییر اقلیم عنوان نمودند. واریک (۲۸) به منظور بررسی تغییرات رسوبدهی در طول زمان از روش تحلیل منحنی سنجه رسوب و داس و همکاران (۶) و دو و همکاران (۸) روند تغییرات رسوبدهی را با دو روش من کندال و پتیت بررسی کردند. مانولویک و همکاران (۱۸) علاوه بر بررسی روند تغییرات رسوبدهی با دو روش من کندال و پتیت، با روش جرم مضاعف سهم عوامل تولید رسوب را نیز تعیین نمودند و نتیجه گرفتند که روند تغییرات رسوبدهی کاهشی بوده طوریکه ۸۹ درصد آن تحت تاثیر اقدامات انسانی بوده و ۱۱ درصد آن تحت تاثیر تغییر اقلیم بوده است. آن‌ها با آزمون پیتیت دوره‌های پایه برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و اقدامات انسانی را مشخص نمودند. علاوه بر روش‌های مذکور، برای بررسی وضعیت فرسایش از تصاویر ماهواره‌ای نیز استفاده شده است. محققین مختلف نرم افزار گوگل ارث را به عنوان ابزاری قدرتمند برای مطالعه فرسایش معرفی نموده‌اند (۴،۱۴).

ارزیابی اثرات اقدامات انسانی بر وضعیت آبخیزها عمدتاً حاکی از کاهش رسوبدهی آبخیز پس از اجرای اقدامات آبخیزداری بوده است. این ارزیابی همراه با در نظر گرفتن سایر مولفه‌های محیطی یکی از مراحل مهم مدیریت جامع می‌باشد. طوریکه با بررسی موفقیت یا شکست اقدامات در کنترل فرسایش، می‌توان لزوم اصلاح اقدامات صورت گرفته را مورد بررسی قرار داد. باید به این نکته توجه داشت که فرسایش خاک و تولید رسوب یک فرآیند آرام است، لذا آثار اقدامات حفاظتی و مبارزه با فرسایش در کوتاه مدت قابل مشاهده نیست (۱۶). هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات فرسایش و رسوبدهی در طول زمان به منظور بررسی اثربخشی اقدامات آبخیزداری صورت گرفته در آبخیز قرناوه می‌باشد. در آبخیز قرناوه که یکی از آبخیزهای واقع در شرق استان گلستان می‌باشد، حساسیت خاک‌های لسی منجر به بروز و توسعه فرسایش خندقی شده است. لذا اقدامات آبخیزداری جهت تثبیت خندق و بهبود پوشش گیاهی شامل بندهای خاکی و سنگی ملاتی و جنگلکاری از اوایل دهه ۱۳۸۰ آغاز شده است. در این پژوهش با ترکیب روش‌های مختلف به ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری در حوضه قرناوه پرداخته شد. به منظور بررسی تغییرات فرسایش خاک از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، برای تخمین فرسایش خاک از مدل فرسایش خاک RUSLE، و برای تخمین رسوب از تحلیل آمار بار معلق ایستگاه رسوب‌سنجی، و تخمین رسوبدهی استفاده شد. در تحلیل نتایج، همزمان با بررسی تغییرات رسوبدهی، تغییرات آب و هواشناسی آبخیز قرناوه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

آبخیز قرناوه بزرگ با مساحت حدود ۷۸۵۰۰ هکتار در شرق استان گلستان (شهرستان مراوه تپه) واقع شده و یکی از زیرحوضه‌های گرگانرود می‌باشد که مهمترین رودخانه‌های آن، قرناوه و شوردره است. ارتفاع متوسط وزنی آبخیز قرناوه حدود ۵۱۸ متر و شیب متوسط آن حدود ۲۶ درصد است که به سمت پایین دست آبخیز از شیب آن کاسته شده و به ۲ تا ۳ درصد می‌رسد. کاربری اراضی عمدتا زراعت و مرتع است. از نظر زمین شناسی، عمدتاً به وسیلهٔ رسوبات بادی یخچالی مثل لس و رسوبات جدید و قدیم آبرفتی پوشیده شده است. نهشته‌های رسوبی لسی بیشترین حساسیت به فرسایش خندقی را دارد که دلیل این امر به انحلال‌پذیری زیاد آن بر می‌گردد. فراوانی زیاد لس در منطقه (بیش از ۷۰ درصد)، آن را جزء عوامل عمده ایجاد فرسایش خندقی در قرناوه قرار می‌دهد. در شکل ۱ نقشه اقدامات آبخیزداری صورت گرفته در محدوده قرناوه و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری داخل و اطراف در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. شش ایستگاه هواشناسی (پیشکمر، کریم‌ایشان، قرناق، گلی‌داغ، قویجیق، تمر) و یک ایستگاه هیدرومتری (تمر) در نزدیکی محدوده مورد مطالعه واقع شده است. علیرغم گسترگی مساحت حوضه قرناوه بزرگ، ایستگاه هیدرومتری در داخل این آبخیز وجود ندارد. بنابراین برای تحلیل اثرات هیدرولوژیک، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری تمر در پائین دست آن استفاده شد. این ایستگاه، یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های هیدرومتری آبخیز گرگانرود و استان گلستان می‌باشد و دارای طول دوره آماری و پیوستگی داده‌برداری مناسبی می‌باشد. با توجه به اینکه بخش قابل ملاحظه‌ای از مساحت آبخیز بالادست این ایستگاه را حوضه قرناوه تشکیل می‌دهد فرض بر این است که تغییرات شرایط هیدرولوژیکی رخ داده در این حوضه در اثر تغییرات طبیعی یا اقدامات آبخیزداری بر وضعیت دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری تمر تاثیرگذار است.

از بین ایستگاه‌های هواشناسی نیز ایستگاه‌های پیشکمر و کریم ایشان تعطیل و برای دهه‌های اخیر فاقد اطلاعات می‌باشند. ایستگاه‌های قرناق و گلی داغ از سال ۱۳۷۵، ایستگاه قویجیق از سال ۱۳۸۵ و ایستگاه تمر از سال ۱۳۴۵دارای آمار بارش ثبت شده هستند. لذا آمار بارش ایستگاه تمر و قرناق طی سال‌های آماری ۹۵-۱۳۷۵ با استفاده از منحنی جرم مضاعف (شکل ۲) مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص گردید که تغییرات بارش طی دوره آماری مذکور در دو ایستگاه همسان می‌باشد. لذا ایستگاه تمر به عنوان طولانی‌ترین دوره آماری موجود مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۳ تغییرات زمانی بارش متوسط سالانه ایستگاه باران‌سنجی تمر طی دوره آماری مورد مطالعه توسط

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

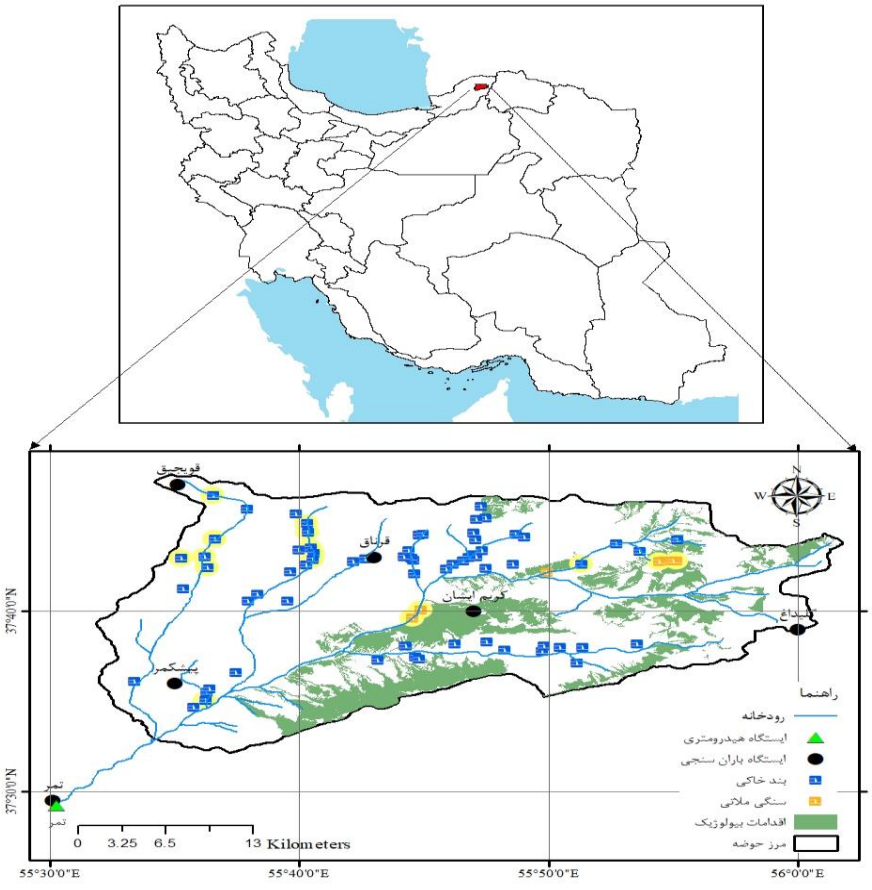
میانگین متحرک نشان داده شده است. موقعیت مکانی و نوع اقدامات آبخیزداری صورت گرفته در حوضه قرناوه در شکل ۱ و تعداد بندهای احداث شده در سه دوره زمانی در جدول ۱ آورده شده است. این اقدامات آبخیزداری شامل اقدامات زیستی (جنگلکاری) و اقدامات مکانیکی (بند خاکی، بند سنگی ملاتی) از سال ۱۳۷۹ آغاز شده و تا کنون ۷۸ بند احداث شده است. یکی از خلاهای موجود در پایش اقدامات آبخیزداری حوضه قرناوه همانند سایر آبخیزها، ثبت مشخصات اقدامات صورت گرفته به صورت قابل استناد می‌باشد. در حوضه قرناوه اطلاعات مکانی سازه ها به صورت منظم وجود دارد اما مشخصات هر سازه مانند حجم رسوبگیری به صورت یکپارچه و منظم برای تمامی سازه‌ها قابل دسترس نمی‌باشد و امکان ارائه سایر مشخصات سازه‌ها در این پژوهش فراهم نیست. به همین دلیل در ارزیابی وضعیت سازه‌ها و تغییرات صورت گرفته در منطقه بایستی از روشی استفاده نمود که با اطلاعات در دسترس بتوان ارزیابی اثربخشی اقدامات را انجام داد. لذا در این پژوهش برای بررسی تاثیر سازه‌ها بر فرسایش از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. در شکل شماره ۱ سازه‌هایی که دارای سری زمانی تصاویر ماهواره ای در نرم افزار گوگل ارث هستند به صورت هایلایت شده نمایش داده شده‌اند.

بررسی وضعیت کاربری اراضی آبخیز قرناوه طی دوره آماری ۹۹-۱۳۶۴ حاکی از روند کاهنده پوشش گیاهی در بیشترین بخش محدوده مورد مطالعه می‌باشد. تنها بخشی از آبخیز که در آن اقدامات بیولوژیک صورت گرفته، دارای روند افزاینده پوشش گیاهی بوده است (۲۳).

جدول ۱- تعداد بندهای احداث شده از سال ۱۳۷۹ تا کنون

Table 1. Mechanical measures from 2000 up to now

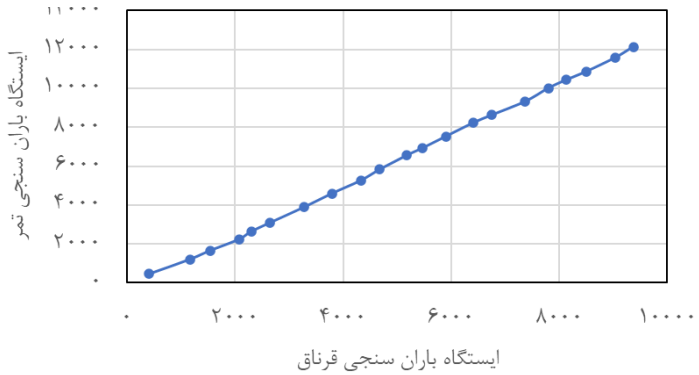
نوع سازه	سال احداث		
	۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵	۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵	۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰
بند خاکی	۳۷	۱۹	۸
بند سنگی ملاتی	۰	۵	۹



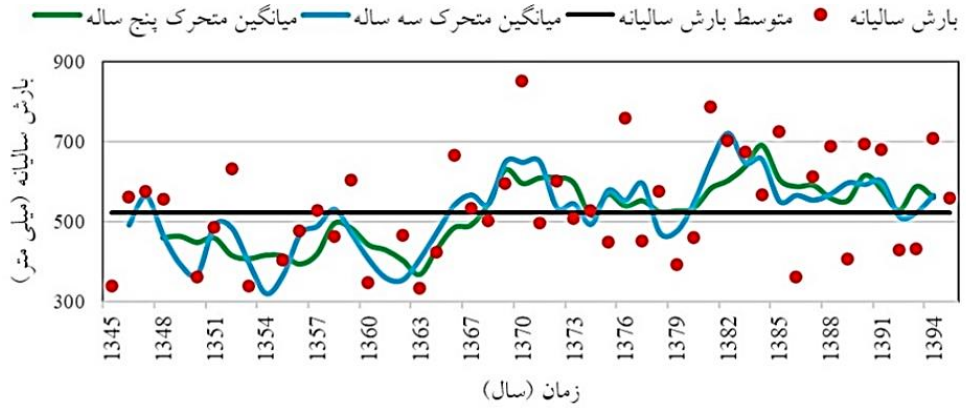
شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی و هیدرومتری و اقدامات آبخیزداری (مکانیکی و زیستی) در آبخیز قرناوه

Figure 1. Location of meteorologic and hydrometric stations and watershed management measures (biological and mechanical) in Qarnaveh watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]



شکل ۲- منحنی جرم مضاعف ایستگاه های باران‌سنجی تمر و قرناق
Figure 2. Double mass curve of Tamar and Ghernagh rain stations



شکل ۳- تغییرات زمانی میانگین بارش سالیانه در ایستگاه باران سنجی تمر
Figure 3. Temporal variation of annual precipitation in Tamar meteological station

بررسی تاثیر بندهای رسوبگیر بر فرسایش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت گسترده‌ای برای بررسی اشکال فرسایش استفاده می‌شوند. طوریکه در انگلستان و ولز از دهه ۱۹۸۰ فرسایش خاک با استفاده از عکس‌های هوایی شناسایی شده و سپس با مشاهدات میدانی مورد بررسی دقیق قرار می‌گرفته است. گوگل ارث از سال ۲۰۰۵ در مطالعه فرسایش خاک نقش مهمی ایفا نموده و زمان و هزینه مطالعه و بررسی فرسایش را کاهش داده است (۴). در آبخیز مورد مطالعه تاکنون بیش از ۷۰ بند خاکی و سد سنگی ملاتی به منظور کنترل فرسایش احداث شده است. موقعیت مکانی و نوع اقدامات آبخیزداری صورت گرفته در شکل ۱ و تعداد بندهای احداث شده در سال های مختلف در جدول ۱ آورده شده است. برای بررسی تاثیر بندهای رسوبگیر، ابتدا موقعیت آن‌ها در نرم افزار گوگل ارث وارد شد. سپس با استفاده از قابلیت مشاهده تصاویر ماهواره‌ای سال‌های گذشته در گوگل ارث، سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای موجود برای هر یک از سازه‌ها به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی بندها مشخص شد که برای زمان پیش از احداث برخی از سازه‌ها تصویر ماهواره‌ای وجود ندارد. لذا آن دسته از بندها که دارای تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از احداث بودند جدا شدند و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. برای بررسی وضعیت فرسایش پس از احداث هر یک از بندها، حداقل دو تصویر ماهواره‌ای برای زمان قبل و بعد از احداث سازه اخذ و با تفسیر چشمی مورد مقایسه قرار گرفت. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، سازه‌هایی که پس از احداث آن‌ها فرسایش کنترل شده و یا توسعه یافته مشخص گردیدند.

بررسی تغییرات زمانی بار رسوب رودخانه و تعیین نقطه تغییر

رسوبدهی مقدار رسوبی است که در یک بازه زمانی معین از نقطه مشخصی از مقطع آبراهه می گذرد و بیانگر وضعیت فرسایش آبخیز می‌باشد (۱۴) و تحت تاثیر عوامل طبیعی (مانند شدت بارش، توپوگرافی) و عوامل انسانی (مانند اقدامات آبخیزداری) است. تخمین دقیق رسوبدهی و تفکیک تاثیر عوامل مختلف در طول زمان در سطح آبخیزهای فاقد پایش کافی، همواره با مشکل و عدم قطعیت همراه بوده است (۲۵). لذا در پژوهش حاضر ضمن بررسی روند تغییرات بارش، روند تغییرات زمانی بار معلق با استفاده از آزمون ناپارامتریک من کندال بررسی شد. لازم به ذکر است که در آزمون من-کندال چنانچه نتیجه بیانگر عدم وجود روند در داده‌های بار معلق در طول دوره آماری باشد، وجود روند رد نمی‌شود بلکه بدین معنی است که شواهد کافی برای اثبات روند وجود ندارد. زمانی فرض صفر (فرض عدم وجود روند) رد می‌شود که براساس مقدار pvalue نتیجه آزمون معنی‌دار باشد. کاهشی یا

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

افزایشی بودن روند تغییرات با علامت مثبت یا منفی آماره tau مشخص می‌شود. بزرگی میزان روند تغییرات نیز با استفاده از مقدار آماره senslope (شیب روند) مشخص می‌شود. پس از بررسی روند تغییرات بارش، بار معلق و دبی جریان، نقاط تغییر معنادار مشخص شد. در واقع در بررسی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر بارمعلق به منظور حداقل نمودن قضاوت کارشناسی در تعیین زمان تاثیرگذاری اقدامات بر رسوبدهی، نقاط تغییر معنادار در سری‌های زمانی بارمعلق از روش‌های آماری استاندارد، همچون آزمون روند من-کندال، آزمون پتیت یا روش منحنی جرم مضاعف استفاده می‌شود طوریکه دوره قبل از تغییر به عنوان یک دوره پایه یا دوره جریان طبیعی در نظر گرفته می‌شود و دوره بعد از نقطه شروع تغییرات از دوره پایه جدا می‌شود. با تعیین نقاط تغییر معنادار، زمان بروز تغییر در روند رسوبدهی مشخص شد. در این مطالعه نقاط تغییر معنادار در روند تغییرات بار معلق با استفاده از آزمون آماری Sequential Mann Kendall مشخص شد. در این روش، محل نقطه تغییر معنادار جائی است که منحنی پسرونده (Retrograde) منحنی پیش رونده (Prograde) را از پائین به بالا قطع می‌کند. پس از تعیین نقاط تغییر، دوره آماری مورد مطالعه به دو دوره قبل و بعد از تغییر دسته بندی و مابقی تحلیل‌ها طی دوره‌های زمانی مشخص شده صورت گرفت.

برآورد رسوب ایستگاه رسوب سنجی تمر

به‌منظور تخمین رسوبدهی آبخیز در دوره‌های آماری مشخص شده در مرحله قبل، از منحنی سنجه رسوب و دبی متوسط سالانه استفاده شد. بدین منظور آمار بار معلق (C) و گذر حجمی متناظر آن (Qw) در دوره آماری ۹۵-۱۳۶۵ مورد استفاده قرار گرفت. در دوره آماری مورد مطالعه آمار ۳۲۶ نمونه بارمعلق و دبی همزمان آن ثبت شده است. طوریکه در هر سال بین ۳ تا ۱۹ داده بارمعلق و دبی همزمان ثبت شده است. بررسی داده های ثبت شده نشان داد که آمار بارمعلق ثبت شده در ایستگاه تمر معیارهای کامل بودن، طول کافی داده ها و ثبت داده بار معلق تا پایان دوره آماری مورد مطالعه را تامین می نماید. طوریکه منحنی سنجه رسوب برای دوره زمانی قبل و بعد از بروز تغییر در روند رسوبدهی حوضه بدست آمد و مقدار رسوب برای دبی جریان متوسط سالانه در دوره‌های آماری مشخص شده تخمین زده شد. مقایسه مقادیر رسوب حاصل در بررسی تغییرات رسوبدهی محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

تخمین فرسایش آبخیز قرناوه با مدل RUSLE

مدل RUSLE با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS10.7) و سنجش از دور برای بررسی توزیع مکانی فرسایش خاک و تخمین فرسایش خاک سالانه مورد استفاده قرار گرفته است (۱۵). مدل تجربی RUSLE که اصلاح شده رابطه USLE می‌باشد، با تخمین ۶ پارامتر (R، K، L، S، C وP) مقدار فرسایش را محاسبه می‌نماید. در این پژوهش به منظور تخمین پارامترهای مدلRUSLE از مدل رقومی ارتفاع (DEM ماهواره SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر)، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، نقشه خاک (نقشه جهانی خاک فائو-یونسکو با مقیاس یک به پنج میلیون) و مشخصات اقلیمی آبخیز قرناوه (آمار ثبت شده در ایستگاه باران سنجی تمر) استفاده شده است. به طوریکه فاکتور فرسایندگی باران (R) با استفاده از رابطه آرنولدوس (۲۲) و داده‌های بارندگی ماهانه، فاکتور فرسایش پذیری خاک (K) با استفاده از رابطه ارائه شده توسط ویلیامز و همکاران (۲۹)، فاکتور طول شیب و درجه شیب (LS) توسط رابطه ارائه شده توسط گریفن و همکاران (۱۱)، فاکتور عملیات حفاظتی (P) با استفاده از لایه‌های اقدامات مکانیکی، و فاکتور مدیریت پوشش (C) با استفاده از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال محاسبه شد. شاخص تفاضل پوشش گیاهی یا NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سری ۵، ۷ و ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در سامانه گوگل ارث انجین برای دو دوره زمانی قبل و بعد از نقطه تغییر بدست آمد. محاسبات مربوط به فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در دوره‌های آماری مشخص شده توسط نقطه تغییر انجام گرفت و نقشه‌های شدت فرسایش براساس جدول ۲ در پنج کلاس طبقه‌بندی شدند. طبقه بندی مذکور با استفاده از قابلیت Natural break در نرم افزار ArcGIS انجام گرفت.

جدول ۲- طبقه‌بندی میزان فرسایش خاک در آبخیز قرناوه

Table 2. Classification of soil erosion in Qarnaveh watershed

ردیف	شدت فرسایش	میزان فرسایش (تن در هکتار در سال)
۱	خیلی کم	۰-۶
۲	کم	۶-۱۲
۳	متوسط	۱۲-۲۵
۴	زیاد	۲۵-۴۰
۵	خیلی زیاد	>۴۰

نتایج و بحث

بررسی تاثیر بندهای رسوبگیر بر فرسایش با استفاده از تصاویر ماهواره ای

در آبخیز قرناوه با توجه به شرایط زمین‌شناسی و خاکشناسی منطقه، فرسایش خندقی حائز اهمیت فراوان است. در آبخیز مورد مطالعه تاکنون اقدامات سازه‌ای متعددی به منظور کنترل فرسایش خندقی صورت گرفته است. به‌منظور بررسی عملکرد اقدامات مخصوصا تاثیر آنها در کنترل فرسایش خندقی، آن دسته از سازه‌ها که دارای تصویر ماهواره‌ای در زمان قبل از احداث سازه نیز بوده‌اند مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. طوریکه به‌منظور بررسی وضعیت فرسایش پس از احداث هر یک از سازه‌ها، حداقل دو تصویر ماهواره‌ای برای زمان قبل و بعد از احداث سازه تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. به طوریکه با بررسی وضعیت تصاویر

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

موجود گوگل ارث برای تمامی سازه‌ها مشخص شد که از بین ۷۸ بند خاکی و سنگی ملاتی، ۱۵ مورد دارای تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد احداث سازه بوده‌اند. با توجه به اینکه ارائه تصاویر ماهواره‌ای کلیه سازه‌ها در این مقاله میسر نیست، خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است، به طوریکه در جدول مذکور شماره هر بند، موقعیت جغرافیایی و تاثیر احداث بند بر فرسایش و رسوب ارائه شده است.

بررسی تصاویر ماهواره ای حاکی از تثبیت پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خندقی توسط بند ۱ (بند سنگی ملاتی در مجاورت روستای آلتی آقاج بزرگ) و بند ۲ (بند سنگی ملاتی در مجاورت روستای آلتی آقاج کوچک) است. در شکل ۳ بند ۲ نشان داده شده است.

براساس تفسیر چشمی تصاویر ماهواره، بندهای شماره ۳، ۴ و ۵ (بندهای خاکی قرناق ۴، قرناق ۵ و قرناق ۶) از لحاظ رسوبگیری و کنترل سیل و فرسایش حائز اهمیت هستند. در شکل ۴ وضعیت بالادست بند خاکی قرناق ۵ نشان داده شده است. بررسی تصاویر ماهواره ای نشان داد که بندهای ۶ ، ۷ ، ۸ و ۹ (بند خاکی قرناق ۸ و بندخاکی چنارلی و دو بند خاکی دیگر) علاوه بر کنترل فرسایش، با ذخیره آب در کنترل سیل نیز اثرگذار هستند. وضعیت بالادست بند خاکی چنارلی در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج بررسی ها نشان داد که در مواردی احداث بند منجر به تشدید فرسایش شده است. طوریکه در ساحل چپ بالادست بند ۱۰ (بند سنگی ملاتی پالچقلی) فرسایش و تخریب پوشش گیاهی مشاهده شد (شکل ۶). در ساحل چپ بالادست بند ۱۱ (بند سنگی ملاتی کریم‌ایشان) نیز فرسایش دامنه‌ای و تخریب پوشش گیاهی مشاهده شد.

بند ۱۲ (بند قرناق ۷) نیز علی‌رغم اینکه با رسوب‌گیری و ذخیره آب عملکرد خوبی داشته است، اما در تصاویر مشخص شد که هد خندق در بالاتر از محل بند توسعه یافته است. البته انتظار می‌رود پس از رسوب‌گیری و ایجاد شیب تعادل در پشت بند، پیشانی خندق تثبیت و کنترل گردد. در بندهای شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نیز توسعه خندق در بالادست سازه مشاهده شد. البته به دلیل در اختیار نداشتن شواهد کافی، تعمیم فرسایش صورت گرفته به بندها نیازمند ارزیابی و بررسی بیشتر می‌باشد.

جدول ۳- مشخصات بندهای احداثی مورد بررسی توسط تصاویر ماهواره ای گوگل ارث

Table 3- Specifications of the studied constructed dams using Google Earth satellite images

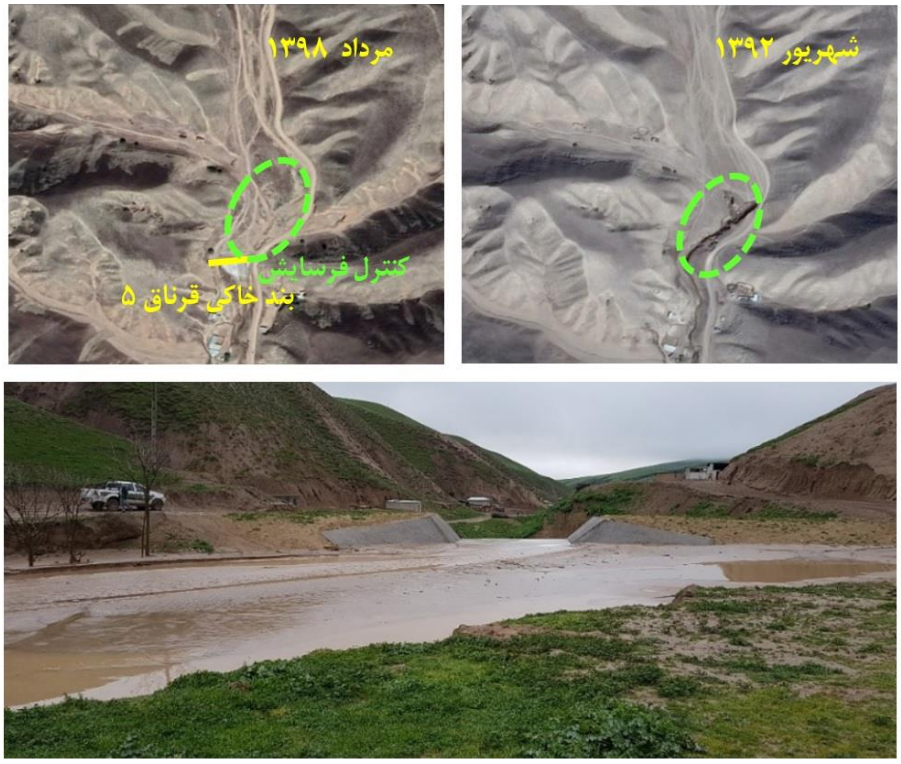
شماره بند	نام بند	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال احداث	تاثیر سازه بر فرسایش
۱	بند سنگی ملاتی	۴۰۴۷۴۶	۴۱۷۴۵۸۰	۱۳۹۳	تثبیت پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خندقی
۲	بند سنگی ملاتی	۴۰۳۷۳۴	۴۱۷۴۴۹۷	۱۳۹۳	تثبیت پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خندقی
۳	بند خاکی	۳۸۳۰۲۰	۴۱۷۸۶۷۰	۱۳۹۷	کنترل فرسایش خندقی
۴	بند خاکی	۳۸۳۰۶۷	۴۱۷۷۷۷۹	۱۳۹۷	کنترل فرسایش خندقی
۵	بند خاکی	۳۸۳۱۹۶	۴۱۷۶۱۸۶	۱۳۹۷	کنترل فرسایش خندقی
۶	بند خاکی	۳۸۳۲۹۰	۴۱۷۴۹۳۵	۱۳۹۶	کنترل فرسایش، کنترل سیل با ذخیره آب
۷	بند خاکی	۳۹۹۱۰۵	۴۱۷۴۲۴۳	۱۳۹۷	کنترل فرسایش، کنترل سیل با ذخیره آب
۸	بند خاکی	۳۷۵۵۳۰	۴۱۷۵۱۹۳	۱۳۸۹	توسعه پیشانی خندق
۹	بند خاکی	۳۷۶۸۰۹	۴۱۶۰۶۳۱	۱۳۹۷	توسعه پیشانی خندق
۱۰	بند سنگی ملاتی	۳۸۹۵۶۶	۴۱۶۹۷۵۵	۱۳۹۷	فرسایش و تخریب پوشش گیاهی
۱۱	بند سنگی ملاتی	۳۸۹۰۷۶	۴۱۶۸۹۱۱	۱۳۹۴	فرسایش دامنه ای و تخریب پوشش گیاهی
۱۲	بند خاکی	۳۸۳۳۵۱	۴۱۷۵۵۸۴	۱۳۹۶	رسوبگیری و ذخیره آب- توسعه پیشانی خندق
۱۳	بند خاکی	۳۷۷۰۸۱	۴۱۷۴۲۱۴	۱۳۸۷	رسوبگیری و ذخیره آب و کنترل سیل
۱۴	بند خاکی	۳۷۷۵۳۲	۴۱۸۱۵۹۵	۱۳۸۹	رسوبگیری و ذخیره آب و کنترل سیل
۱۵	بند خاکی	۳۷۷۵۶۷	۴۱۷۷۱۶۸	۱۳۸۷	رسوبگیری و ذخیره آب و کنترل سیل



شکل ۳- بند سنگی ملاتی مجاور روستای التی اقاج کوچک احداث شده در سال ۱۳۹۳

Figure 3. A masonry checkdam near Altiaghaj koochak village that constructed gain 2014

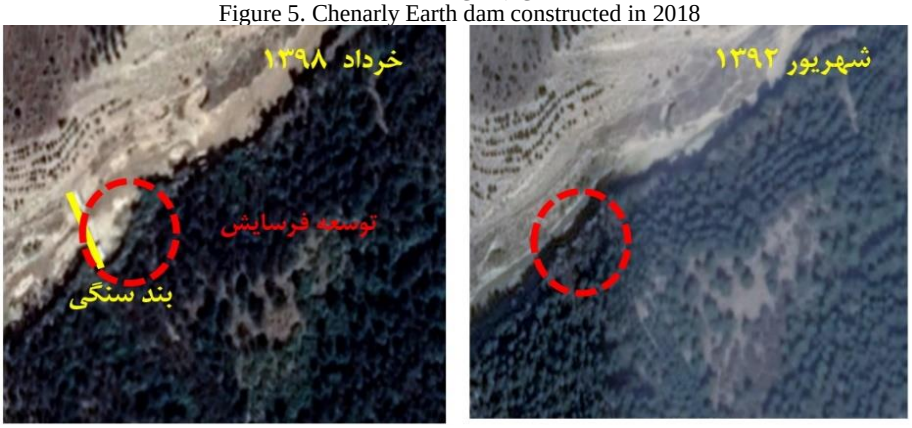
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]



شکل ۴- بند خاکی قرناق۵ احداث شده در سال ۱۳۹۷
Figure 4. Ghernagh5 Earth dam constructed in 2018



شکل ۵- بند خاکی چنارلی احداث شده در سال ۱۳۹۷
Figure 5. Chenarly Earth dam constructed in 2018



شکل ۶- بند سنگی ملاتی پالچقلی احداث شده در سال ۱۳۹۷
Figure 6. Palechegheli checkdam constructed in 2018

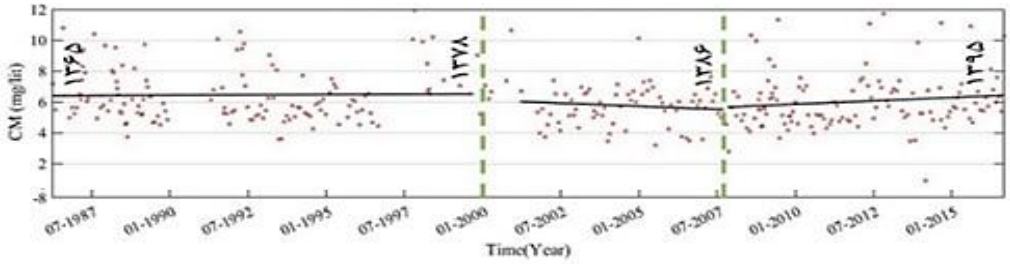
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

بررسی تغییرات زمانی بار رسوب رودخانه و تعیین نقاط تغییر

نتایج آزمون من–کندال بر روی داده های بار معلق و دبی جریان همزمان ایستگاه رسوب سنجی تمر در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به تاثیر دبی جریان بر بارمعلق، علاوه بر بررسی تغییرات مقادیر نمونه‌های بار معلق، تغییرات دبی جریان همزمان با هر نمونه بارمعلق در طول دوره آماری مورد مطالعه بررسی شد. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، با توجه به کاهنده بودن آماره sen slope، بار معلق و دبی همزمان نمونه های بارمعلق در طول دوره آماری مورد مطالعه کاهش یافته‌اند. برای بررسی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر بارمعلق بایستی نقاط تغییر در روند تغییرات به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد. به منظور یافتن زمان هایی که تغییر در روند بارمعلق در طول زمان رخ می‌دهد از روش من کندال رتبه ای (Sequential Mann Kendall) استفاده شد که نتیجه آن در شکل ۷ ارائه شده است.

جدول ۴– روند بار معلق و دبی همزمان آن در طول دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه رسوب سنجی تمر
Table 4. Trend of suspended load and it's coincided streamflow in study period for Tamar station

پارامتر	ضریب tau	شیب روند (sen slope)	معنی‌داری (pvalue)
بار معلق	−۰/۰۶	−۰/۲۸۷	۰/۰۹
دبی هم زمان	−۰/۲۰	−۰/۰۰۳	۰/۰۰



شکل ۷– تعیین سال شروع تغییر در روند بار معلق در طول دوره اماری مورد مطالعه در ایستگاه رسوب‌سنجی تمر
Figure 7. Determining the changing points of the trend of recorded suspended load during the study period studied at the Tamar sedimentation station

بررسی تغییرات بار معلق با جدا کردن مقاطع زمانی دارای روند مشابه از یکدیگر با روش Sequential Mann Kendall نشان می‌دهد که روند بار معلق تا سال ۱۳۷۸ بدون تغییر بوده، ولی از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۶ روند تغییر بارمعلق به صورت کاهشی می‌باشد. در پژوهش حاضر که به منظور ارزیابی اقدامات آبخیزداری انجام شده از دهه ۱۳۸۰ انجام می‌شود، دو دوره زمانی ۸۶–۱۳۷۸ و ۹۵–۱۳۸۷ به عنوان دوره آماری مورد مطالعه در نظر گرفته شد.

کاهنده بودن بارمعلق در دوره آماری ۸۶–۱۳۷۸ همزمان با کاهش دبی جریان همزمان نمونه برداری بار معلق در طول دوره آماری مذکور می‌باشد. به علاوه بررسی تغییرات زمانی بارش با روش میانگین متحرک در طول دوره آماری مورد مطالعه در شکل ۲ نشان می‌دهد که در سه سال اول دوره آماری ۸۶–۱۳۷۸ خشکسالی و پس از آن ترسالی رخ داده است. این مسئله گویای آن است که کاهش بارمعلق با افزایش بارش مقارن بوده است. احتمال می‌رود افزایش بارش منجر به بهبود وضعیت پوشش گیاهی شده و به همراه اقدامات آبخیزداری منجر به کاهش رسوبدهی شده باشند.

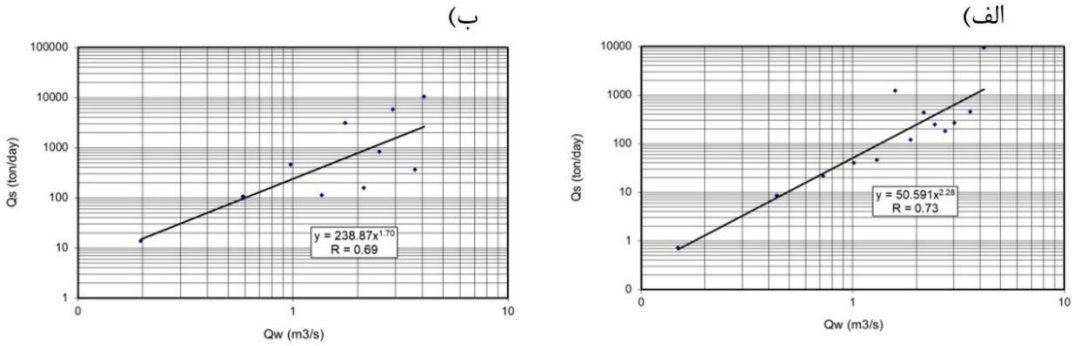
روند تغییر بار معلق در دوره آماری ۹۵–۱۳۸۶ به صورت افزاینده می‌باشد، اما دبی جریان همزمان با نمونه‌های بار معلق فاقد روند است. به علاوه در این دوره آماری روند تغییرات بارش سالیانه به صورت کاهنده می‌باشد. با توجه به اینکه افزایش بار معلق مقارن با افزایش بارش سالیانه و یا افزایش دبی جریان همزمان نمونه‌های بار معلق نبوده است، افزایش بار معلق می تواند تحت تاثیر افزایش شدت بارش‌ها، کاهش پوشش گیاهی، و تغییر کاربری اراضی (توسعه مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی) در سطح آبخیز رخ داده باشد. گوسارو و همکاران (۱۲) و تای و موگز (۲۴) نیز نشان دادند تغییر کاربری اراضی بر فرسایش و رسوبدهی اثرگذار است. بنابراین انجام اقدامات سازه‌ای محدود نه تنها جبران فرسایش طبیعی خاک را نکرده بلکه تاثیر مداخلات انسانی مانند تغییر کاربری اراضی حاکی از افزایش فرسایش و رسوب می‌باشد. به‌علاوه بیشترین حجم اقدامات سازه‌ای پیش از سال ۱۳۸۶ صورت گرفته و امکان دارد پر شدن مخازن سازه‌ها منجر به کاهش رسوبگیری توسط آنها شده باشد.

برآورد رسوب ایستگاه رسوب سنجی تمر

رابطه دبی–رسوب ایستگاه تمر برای دو دوره آماری ۸۶–۱۳۷۸، ۹۵–۱۳۸۶ بدست آمد (شکل ۸). بار بستر به روش مادوک (۲۱) با استفاده از غلظت مواد معلق در آب، ترکیب مواد آنها و همچنین بافت مواد بستر رودخانه به طور متوسط ۲۰ درصد بار معلق فرض شد. با استفاده از روابط دبی–رسوب و با افزودن بار کف، مقدار رسوب روزانه متناظر با دبی متوسط سالانه دوره آماری (معادل ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه) برای هر یک از دوره‌های آماری بدست آمد. مقدار رسوب روزانه متناظر با دبی متوسط روزانه برای دوره آماری ۸۶–۱۳۷۸ معادل ۱۵۲ تن در روز، و برای دوره آماری ۹۵–۱۳۸۶ معادل ۵۷۲ تن در روز بدست آمد. همانطور که ملاحظه می‌شود، مقدار رسوبدهی برای دبی متوسط سالانه آبخیز قرناوه در دوره آماری ۹۵–۱۳۸۶ نسبت به دوره قبل (یعنی ۸۶–۱۳۷۸)، به بیشترین مقدار خود رسیده است. برای بررسی بیشتر روند

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

تغییرات فرسایش و رسوب، میزان فرسایش با مدل تجربی بررسی می‌شود و نهایتا همه نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۸- منحنی سنجه رسوب در ایستگاه هیدرومتری تمر برای دوره آماری الف) ۸۶-۱۳۷۸ ب) ۹۵-۱۳۸۷
Figure 8. Sediment rating curve of Tamar hydrometric station for the study periods: a) 1999-2008 b) 2008-2016

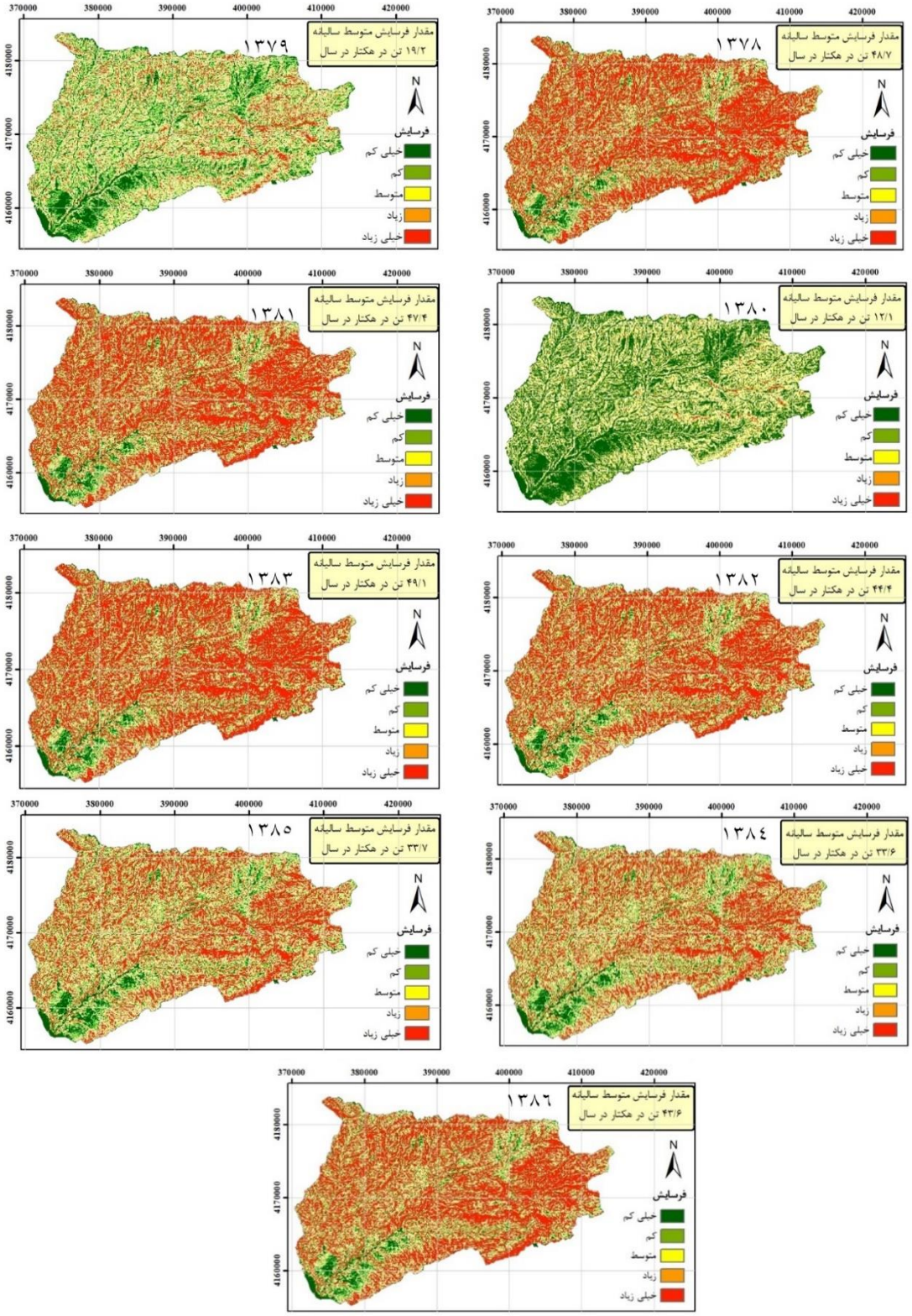
تخمین فرسایش آبخیز قرناوه با مدل RUSLE

با استفاده از مدل RUSLE میزان فرسایش خاک برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه تخمین زده شد. فرسایش خاک متوسط سالیانه طی دوره آماری ۸۶-۱۳۷۸ معادل ۳۶/۹ تن در هکتار در سال بدست آمد. طوریکه میزان فرسایش خاک در سطح آبخیز قرناوه از ۱۲/۱ تا ۴۹/۱ تن در هکتار در سال متغیر بوده است. طی دوره آماری ۹۵-۱۳۸۷ نیز فرسایش خاک متوسط سالیانه معادل ۳۸/۸ تن در هکتار در سال بدست آمد. طوریکه در این دوره آماری میزان فرسایش خاک در سطح آبخیز قرناوه از ۲۹/۱ تا ۵۰/۹ تن در هکتار در سال متغیر بوده است.

نقشه‌های فرسایش خاک در دو دوره آماری مورد مطالعه در شکل ۹ و شکل ۱۰ ارائه شده است. نقشه‌های شدت فرسایش براساس جدول ۱ در پنج کلاس طبقه‌بندی شدند.

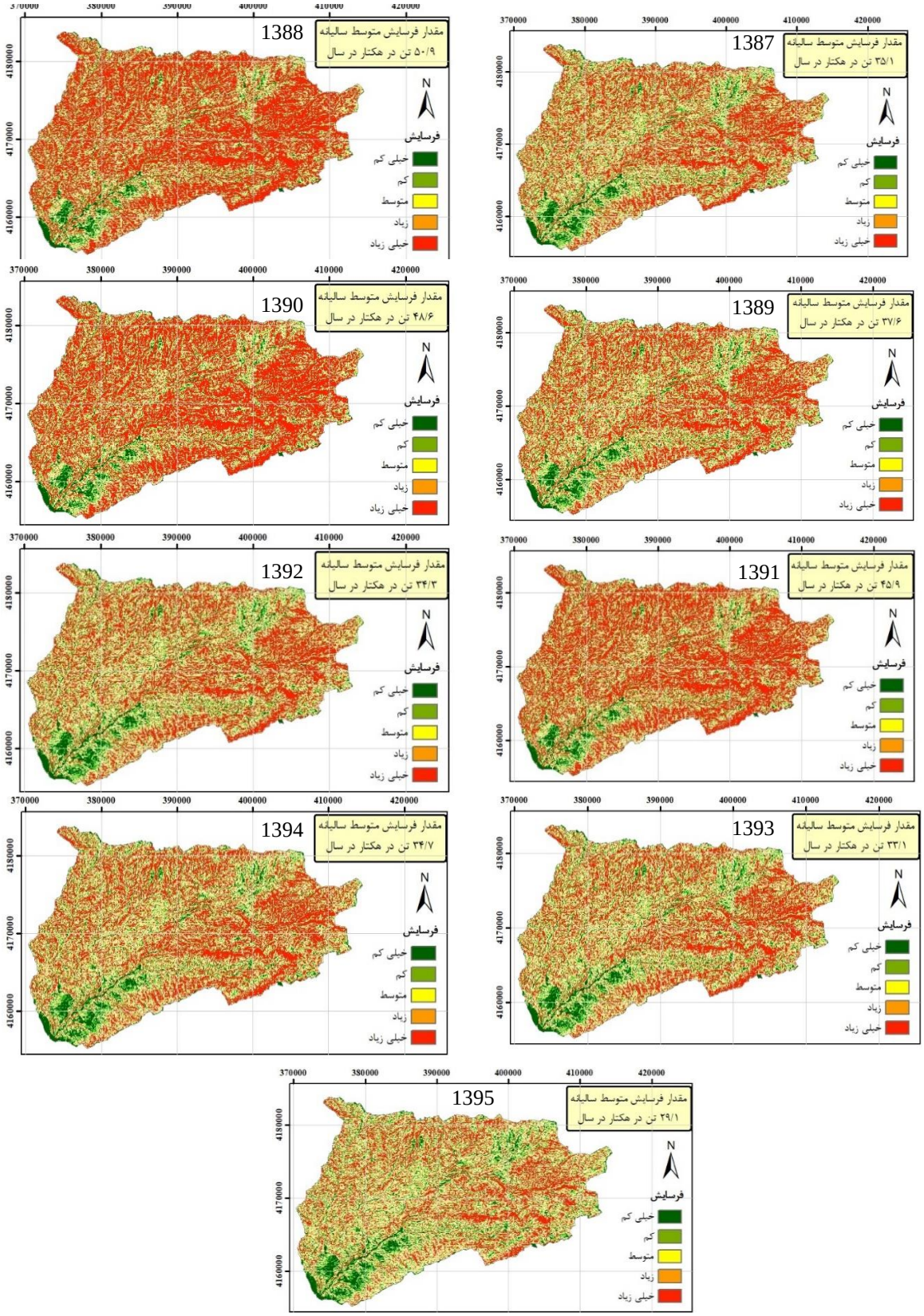
تحلیل آمار بار معلق ایستگاه تمر و نتایج محاسبه فرسایش با مدل RUSLE علی‌رغم اینکه بیانگر تاثیر مثبت اقدامات آبخیزداری در دوره آماری ۸۶-۱۳۷۸ می‌باشد، نشان‌دهنده افزایش فرسایش و رسوبدهی آبخیز قرناوه در دوره آماری اخیر (۹۵-۱۳۸۶) نسبت به دوره آماری گذشته (۸۶-۱۳۷۸) می‌باشد. به این معنی که انجام اقدامات آبخیزداری در دوره آماری ۸۶-۱۳۷۸ برای کنترل و کاهش رسوبدهی کافی بوده، اما در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۶ تاثیر سایر عوامل موثر بر رسوبدهی اعم از تغییرات اقلیمی مانند افزایش شدت بارش‌ها و مداخلات انسانی مانند تغییر کاربری اراضی نسبت به اقدامات آبخیزداری بیشتر بوده است. بیان مثبت بودن تاثیر اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری توسط ورستراتن و همکاران (۲۷)، پرویزی و همکاران (۲۱)، خالدیان و بیات (۱۷)، غفاری و همکاران (۱۱)، گائو و همکاران (۹)، سگای و بارتی (۲۶)، داس و همکاران (۷)، الوز وارگاز و همکاران (۱)، داس (۵) می‌تواند موید نتایج این پژوهش در دوره آماری ۸۶-۱۳۷۸ باشد اما با نتایج کلی پژوهش که مربوط به مقایسه دو دوره آماری قبل و بعد از سال ۱۳۸۶ است مغایرت دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]



شکل ۹- نقشه‌های شدت فرسایش خاک در دوره زمانی ۸۶-۱۳۷۸ در آبخیز قرناوه
Figure 9. Soil erosion maps for the period 1999-2008 in Qarnaveh watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]



شکل ۱۰- نقشه‌های شدت فرسایش خاک در دوره زمانی ۹۵-۱۳۸۷ در آبخیز قرناوه

Figure 10. Soil erosion maps for the period of 2008-2016 in Qarnaveh watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی اثربخشی اقدامات آبخیزداری بر رسوبدهی رودخانه با تحلیل داده‌های بارمعلق و بر فرسایش با مدل تجربی RUSLE انجام شد. در تخمین رسوبدهی میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه و در تخمین فرسایش میزان خاک فرسایش یافته از سطح دامنه‌های آبخیز بررسی می‌شود. به طور معمول انتظار می‌رود که نتایج ارزیابی اثربخشی اقدامات بر فرسایش و رسوبدهی همسان باشد، چون کنترل فرسایش منجر به کنترل رسوبدهی می‌شود. اما به دو دلیل همسان بودن نتایج در حوضه قرناوه اهمیت بیشتری دارد. اول اینکه ایستگاه رسوب سنجی تمر بخشی از آبخیز مجاور قرناوه را نیز پوشش می‌دهد. علت انتخاب ایستگاه رسوب‌سنجی تمر آن است که حوضه قرناوه فاقد اطلاعات مربوط به پایش وضعیت فرسایش و رسوبدهی می‌باشد لذا از اطلاعات مشاهداتی موجود و قابل دسترس ایستگاه تمر استفاده شد. دوم اینکه روش‌های مورد استفاده در تخمین فرسایش (روش RUSLE) و رسوب (آنالیز آماری و روش حد وسط دسته‌ها) از اطلاعات ورودی متفاوتی استفاده می‌کنند. این مسئله به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در هر یک از ورودی‌ها می‌تواند در نتایج تخمین فرسایش و رسوب اثرگذار باشد. نتایج پژوهش حاکی از همسان بودن تاثیر اقدامات آبخیزداری بر فرسایش و رسوبدهی می‌باشد. نتایج بررسی اثربخشی اقدامات سازه‌ای در کنترل فرسایش بالادست سازه ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث حاکی از آن است که از بین ۱۵ سازه مورد بررسی، فرسایش در بالادست ۱۰ بند کنترل شده اما ۵ بند احداثی موجب تشدید فرسایش در بالادست خود شده‌اند. هرچند انتظار می‌رود پس از تکمیل رسوبگیری و تثبیت سازه فرسایش کنترل شود، پیشنهاد می‌شود در آبخیز لسی قرناوه در انتخاب محل احداث بند دقت بیشتری مبذول گردد. در نهایت توصیه می‌شود در مدیریت آبخیز قرناوه به منظور کاهش رسوبدهی، از دیدگاه مدیریت جامع آبخیز استفاده شود تا با در نظر گرفتن و مدیریت تمامی عوامل موثر بر فرسایش و رسوب میزان اثربخشی اقدامات آبخیزداری افزایش یابد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از نتایج مطالعات ارزیابی اثربخشی پروژه‌های آبخیزداری در حوضه قرناوه بزرگ است که در قالب طرح مشترک بین دانشگاه علوم کشاورزی گرگان و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان انجام شده است. بدین وسیله از کارشناسان محترم آن اداره کل که در انجام این طرح همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Alavez-Vargas, M., C. Birkel, A. Corona and J. Breña-Naranjo. 2021. Land cover change induced sediment transport behaviour in a large tropical Mexican catchment. Hydrological Sciences Journal, 66(6): 1069-1082.
2. Alewell, C., P. Borrelli, K. Meusburger and P. Panagos. 2019. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. International Soil and Water Conservation Research, 7(3): 203-225.
3. Boakye, E., G. Anornu, J. Quaye-Ballard and E. Donkor. 2018. Land use change and sediment yield studies in Ghana: Review. Journal of Geography and Regional Planning, 11(9): 122-133.
4. Boardman, J. 2016. The value of Google Earth for erosion mapping. Catena, 143(2016): 123-127.
5. Das, S. 2019. Four decades of water and sediment discharge records in Subarnarekha and Burhabalang basins: an approach towards trend analysis and abrupt change detection. Sustainable Water Resources Management, 5(4): 1665-1676.
6. Das, S. and S. Banerjee. 2021. Investigation of changes in seasonal streamflow and sediment load in the Subarnarekha-Burhabalang basins using Mann-Kendall and Pettitt tests. Arabian Journal of Geosciences, 14(11): 1-14.
7. Das, S., S.J. Sangode and A.M. Kandekar. 2021. Recent decline in streamflow and sediment discharge in the Godavari basin, India (1965–2015). Catena, 206: 1-20.
8. Du, M., X. Mu, G. Zhao, P. Gao and W. Sun. 2021. Changes in Runoff and Sediment Load and Potential Causes in the Malian River Basin on the Loess Plateau. Sustainability, 13(2):1-15.
9. Gao, P., X. Zhang, X. Mu, F. Wang, R. Li and X. Zhang. 2010. Trend and change-point analyses of streamflow and sediment discharge in the Yellow River during 1950-2005. Hydrological Sciences Journal, 55(2): 275-285
10. Griffin, M., D. Beasley, J. Fletcher and G. Foster. 1988. Estimating soil loss on topographically non-uniform field and farm units. Journal of Soil and Water Conservation, 43(4): 326-331.
11. Ghaffari, G., H. Ahmadi, O. Bahmani and A.A. Nazari Samani. 2017. Technical assessment of watershed operating steps in sologan aquifers basin. Range and Watershed Management Journal, 70(1): 169-180.
12. Gusarov, A.V., A.G. Sharifullin and M.A. Komissarov. 2021. Contemporary long-term trends in water discharge, suspended sediment load, and erosion intensity in river basins of the North Caucasus region, SW Russia. Hydrology, 8(1): 1-31.
13. Jain, M.K., S.K. Mishra and R.B. Shah. 2010. Estimation of Sediment Yield and Areas Vulnerable to Soil Erosion and Deposition in a Himalayan Watershed Using GIS. Current Science, 98(2): 213-221.
14. Karydas, C. and P. Panagos. 2020. Towards an assessment of the ephemeral gully erosion potential in Greece using Google Earth. Water, 12(2): 1-17.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

15. Kayet, N., K. Pathak, A. Chakrabarty and S. Sahoo. 2018. Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas. International Soil and Water Conservation Research, 6(1): 31-42.
16. Kerr, J. and K. Chung. 2002. Evaluating watershed management projects. Water Policy, 3(6): 537-554.
17. Khaledian, H. and R. Baiat. 2017. The Role of watershed management projects in reducing erosion and sediment of watersheds. Journal of Environment and Water Engineering, 3(3): 200-213.
18. Manojlović, S., M. Sibinović, T. Srejić, A. Hadud and I. Sabri. 2021. Agriculture land use change and demographic change in response to decline suspended sediment in Južna Morava River basin (Serbia). Sustainability, 13(6): 1-20.
19. Mardian M., V.B. Sheikh, A. Najafinejad and J. Varvani. 2013. Trend analysis of sediment yields in relation with annual precipitation and discharge in the main tributaries of the tireh river, Lorestan province, Iran. Iran Water Resources Research, 9(2): 84-87.
20. Vanoni, V.A. ed. 2006. Sedimentation engineering. American Society of Civil Engineers.
21. Parvizi1, Y., R. Bayat, M. Heshmati and M. Gheituri. 2018. Quantitative Comparison of the Effects of Mechanical and Biological Watershed Management Operation on Soil Erosion and Sediment Yield Control of Hajiabad Watershed in Kermanshah Province. Iran-Watershed Management Science & Engineering, 12(42): 52-59.
22. Renard, K.G. and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology, 157(1-4): 287-306.
23. Sheikh, V.B., A. Zare Garizi, A. Najafinejad, A. Sadodin. A. Holisaz, M. Tajiki, H. Siroosi and M. Gholipour. 2022. Evaluation of watershed management measure effects in Large Qarnaveh catchment. Natural resources administration of Golestan.
24. Taye, T.A. Moges. 2021. Implication of long-term watershed development on land use/land cover change and sediment loss in Maybar Sub-Watershed, South Wello Zone, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture, 7(1): 1-17.
25. Thompson, J., C.E. Pelc and T.E. Jordan. 2021. Water quality sampling methods may bias evaluations of watershed management practices. Science of the Total Environment, 765: 1-8.
26. Tsegaye, L. and R. Bharti. 2022. Assessment of the effects of agricultural management practices on soil erosion and sediment yield in Rib watershed, Ethiopia. International Journal of Environmental Science and Technology, 19(4): 1-18.
27. Verstraeten, G., A. Van Rompaey, J. Poesen, K. Van Oost and G. Govers. 2003. Evaluating the impact of watershed management scenarios on changes in sediment delivery to rivers? Hydrobiologia, 494(1): 153-158.
28. Warrick, J.A. 2015. Trend analyses with river sediment rating curves. Hydrological processes, 29(6): 936-949.
29. Williams, J.R., K.G. Renard. 1984. A new method for assessing erosion's effects on soil productivity. Journal of Soil and Water Conservation, 38(5): 381-383.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]

Efficiency of Watershed Management Measures on Erosion and Sedimentation of Qarnaveh watershed, Golestan Province

Maryam Tajiki[1], Ali Najafinejad[2], Mostafa Gholipour[3], Hamid Siroosi[4], Amir Sadodin[5], Vahed Bardi Sheikh[5], Arash Zare Garizi[6] and Arashk Holisaz[6]

1- Ph.D. In Watershed Management Sciences and Engineering, Gorgan university of Agricultural Science and Natural Resources
2- Associated Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural,
(Corresponding author: najafinejad@gmail.com)
3- Ph.D. In Environment-Land Assessment and Planning, Gorgan University of agricultural science and Natural Resources
4- Ph.D. In Rangeland Sciences, Gorgan university of agricultural science and Natural Resources
5- Associated Professor Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
6- Assistant Professor Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
Received: 1 April 2022 Accepted: 19 October 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Evaluating the effects of watershed management measures on various components of watersheds is very important for improving the performance of actions. Accurate evaluation requires continuous and correct monitoring. While monitoring is not mostly considered in developing countries due to the high cost of its implementation. Therefore, sufficient data are not available for evaluating watershed management measures. So, the methods should be selected based on available data to achieve appropriate results. Current research is conducted to evaluate the implemented watershed management measures (mechanical, biological) since the early 2001s in Qarnaveh watershed which is one of the subbasins of Gorganrood river great catchment using analysis of available data by different approaches.

Material and Methods: In order to investigate the effect of climatic and environmental components on erosion and sedimentation, temporal changes of land use and precipitation were assessed in the study period. Due to the importance of investigating local effects of measures, their impact on erosion was investigated using satellite images before and after construction of checkdams. Then, the changing points were identified using recorded suspended load in Tamar station and sequential Mann Kendall approach. Then the amount of erosion and sedimentation for defined study periods was estimated using RUSLE and sediment rating curve approaches.

Results: Satellite image time series mostly showed local erosion control for upstream of checkdams. While, estimated erosion using RUSLE and sedimentation using sediment rating curve for determined study periods using sequential Mann Kendall showed increase in erosion from 36.9 to 38.8 ton per hectare per year from period of 1999-2008 to 2009-2016. Comparison of estimated sediment of Tamar station for two study periods also showed an increase in sedimentation.

Conclusion: Although watershed management operation has had positive local effects on reducing sedimentation, the combined effects of other components such as land use and meteorological conditions resulted a relative increase in erosion and sedimentation of Qarnaveh watershed. Therefore, to evaluate the effects of watershed management measures, the spatial scale of the effects and the interaction between different components should be considered.

Keywords: Biological measures, Mann kendall test, Mechanical measures, Sediment rating curve, Universal soil loss model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.15.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.163]