

بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر رواناب و فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه نخاب بشرویه)

- ❖ سعیدرضا مؤذنی نقندر*؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ فائزه علیخانی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ ابوذر حاتمی یزد؛ دکتری آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسین مشاور گزین سازه توس، مشهد، ایران

چکیده

بهره‌برداری غیر اصولی از منابع آب و خاک، ضمن تشدید وقوع سیلاب‌ها و افزایش نرخ تولید رسوب، موجبات کاهش تولید و تلفات سرمایه‌های ملی کشور را فراهم نموده است. با توجه به تخریب حوضه نخاب در سال‌های گذشته عملیات آبخیزداری در این حوضه اجرا شده است. هدف از این مطالعه بررسی نقش اقدامات اجرایی در مدیریت رواناب و فرسایش و رسوب است. به این منظور برای تعیین میزان کاهش دبی اوج سیلاب، از مدل HEC-HMS و برای تعیین میزان تغییرات فرسایش و رسوب حوضه از مدل MPSIAC در دو حالت قبل و بعد از اجرای عملیات استفاده شد. با توجه به نتایج، اجرای عملیات آبخیزداری باعث افزایش زمان به اوج رسیدن سیلاب به میزان ۶۰ و ۳۰ دقیقه و همچنین کاهش ۵۴ و ۲۸ درصدی دبی پیک به ترتیب برای دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله شد. علاوه بر این در صورتی که مخزن سازه‌ها از رسوبات پر شوند همچنان تأثیر به‌سزایی در افزایش زمان رسیدن به اوج و کاهش دبی اوج و حجم سیلاب دارند. نتایج ارزیابی فرسایش و رسوب نشان می‌دهد که در اثر اجرای عملیات آبخیزداری فرسایش ویژه از ۱۰/۱۸ به ۹/۸ تن در هکتار در سال و رسوب‌دهی ویژه حوضه نیز از ۳/۱۶ به ۲/۹ تن در هکتار در سال کاهش پیدا کرده است. از آنجایی که حوزه آبخیز سیستمی پیچیده است بنابراین، پیشنهاد می‌شود که به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار، مدیریت جامع کلیه منابع و نیز رویکرد سیاست‌گذاری در حوضه به‌عنوان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در نظر گرفته شود.

کلید واژگان: اثربخشی، حفاظت آب و خاک، مهار سیلاب، فرسایش و رسوب

۱. مقدمه

با توجه رشد روز افزون جمعیت و توجه جوامع بشری به الگوهای مصرف‌گرایانه، در سال‌های اخیر نیاز به آب و مواد غذایی دوجندان شده است که در پی آن از سان‌ها برای تامین نیازهای خود به بهره‌برداری نامعقول و منفعت‌طلبانه از عرصه‌های منابع طبیعی روی آورده‌اند و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی پیامدهایی هرچند قابل پیش‌بینی اما غیر قابل کنترل را به همراه داشته است [۶]. آبخیزداری علاوه بر ارائه راه‌کارهای موثر در استفاده از منابع حوضه، نقش اساسی در پیشگیری از ایجاد رواناب و بروز سیلاب عهده‌دار است. بنابراین، اجرای عملیات آبخیزداری خصوصاً در سرشاخه‌ها، باعث افزایش نفوذ رواناب و کاهش دبی اوج سیلاب خواهد شد. برای این اقدامات هزینه‌های زیادی در نظر گرفته می‌شود و مسلماً پایش و ارزیابی پروژه‌های اجرا شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان کارایی و اثربخشی پروژه‌ها معمولاً با معیارهای مختلفی از جمله نسبت سود به هزینه، میزان کنترل فرسایش و رسوب، تأثیرگذاری در کنترل سیلاب و اثرات اجتماعی ارزیابی می‌شود [۳].

ارزیابی طرح‌های آبخیزداری به منظور بررسی میزان تحقق اهداف، بهبود روش‌ها، بازنگری سیاست‌های کلان و خرد و ابداع شیوه‌های نوین، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. چنانچه عملکرد این طرح‌ها با روش‌های مناسب و از جنبه‌های مختلف فنی و مهندسی مورد ارزیابی قرار گیرد، نتایج حاصله می‌تواند منجر به یافتن علل شکست عملیات پیشنهادی و ارائه راهکارهای مناسب در جهت رفع آنها شود. این عمل از یک‌سو، سبب ارتقای کیفیت اجرای طرح‌ها و از سوی دیگر افزایش بازدهی عملیات خواهد شد [۱۳]. نبود ارزیابی و بازنگری فعالیت‌ها در درازمدت منجر به انحراف از اقدامات اساسی مورد نیاز و در نتیجه اتلاف سرمایه و نیروها می‌گردد [۲۷].

سابقه ارزیابی طرح‌های آبخیزداری در جهان به بیش از

شصت سال می‌رسد و روش‌های متفاوتی برای ارزیابی این طرح‌ها استفاده شده است از جمله تحقیق [۱۲] در زمینه علل موفقیت و شکست طرح‌های حفاظت آب و خاک که بر اساس تکمیل پرسشنامه و تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده‌ای استوار بود. در مطالعه‌ای دیگر [۳۱] با هدف ارزیابی تأثیر اجرای گزینه‌های مدیریتی بر کاهش رسوب در حوزه آبخیز سد کسم (اتیوپی) از مدل SWAT^۱ برای مدل‌سازی رسوب‌دهی و اجرای گزینه‌های مدیریتی استفاده نمودند که نتایج حاکی از تناسب این مدل در تخمین رسوب‌دهی حوضه و تعیین اثرگذاری گزینه‌های مختلف مدیریتی است. در مطالعات مختلفی به منظور برآورد فرسایش و رسوب از مدل RUSLE استفاده نموده‌اند از جمله تحقیق [۲۱] که به منظور بررسی تغییرات اخیر در فرسایش خاک در مناطق مرتفع جنوب ایتالیا از مدل RUSLE استفاده کردند نتایج کلی این مطالعه نشان داد که مدل RUSLE را می‌توان ابزار مفیدی برای مشخص کردن تغییرات نرخ فرسایش و رسوب در نظر گرفت. [۴] مطالعه‌ای را با هدف برآورد فرسایش خاک، شناسایی کانون‌های فرسایش و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی در حوزه آبخیز گومارا در اتیوپی با استفاده از مدل RUSLE و سنجش از دور انجام دادند. نتایج نشان داد که میانگین نرخ فرسایش خاک در این حوضه برابر با ۴۲/۶۷ تن در هکتار در سال است که دامنه آن از تقریباً صفر در شیب ملایم زمین‌های جنگلی تا ۴۴۲ تن در هکتار در سال در زمین‌های زیر کشت با شیب بسیار تند متغیر است.

در ایران نیز همه ساله، پروژه‌های آبخیزداری از جمله عملیات مکانیکی، بیولوژیک و بیومکانیکی در عرصه‌های منابع طبیعی توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، به شکل گسترده‌ای اجرا و بهره‌برداری می‌شود. معمولاً این پروژه‌ها به منظور کنترل سیلاب، احیای عرصه‌های طبیعی، حفاظت منابع آب و خاک، پایداری محیط زیست، ترسیب کربن اتمسفری و غیره به مرحله اجرا درمی‌آیند. در پژوهشی [۲۰] به منظور ارزیابی

^۱ Soil and Water Assessment Tool

است، در نتیجه بررسی اثربخشی این اقدامات در ابعاد مختلف امری ضروری است. حوزه آبخیز نخاب بشرویه نیز یکی از حوضه‌هایی است که در سال‌های گذشته به علت تخریب خاک و تضعیف پوشش گیاهی، مورد اهمیت واقع شده و اقدامات قابل توجهی در این حوضه انجام شده است. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن است تا با ارزیابی کمی خصوصیات سیلاب و فرسایش و رسوب در این حوضه، تأثیر مستقیم اقدامات آبخیزداری در دو دوره قبل و بعد از اجرای عملیات مورد بررسی قرار گیرد.

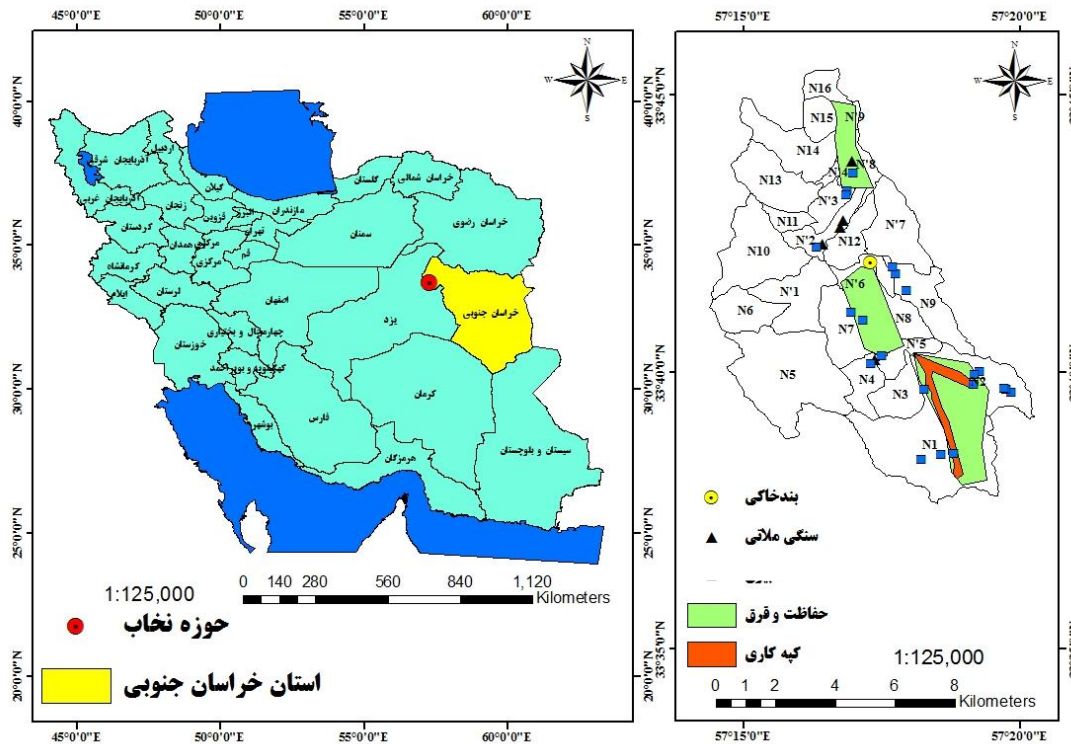
۲. روش‌شناسی

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نخاب در جنوب غربی شهرستان بشرویه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. وسعت کل منطقه مورد مطالعه ۶۶۷۹/۶ هکتار است و از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده طول‌های ۱۰° ۱۳' ۵۷" الی ۱۸° ۲۱' ۵۷" شرقی و عرض‌های ۳۰° ۳۷' ۳۳" الی ۴۵° ۵۹' ۳۳" شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط این حوضه ۱۷۰۹ متر است و از نظر ریخت‌شناسی از نوع کوه، دره و از دیدگاه زمین‌شناسی ناودیسی است که در دو طرف آن صخره‌های توده‌سنگی آهک‌های ریفی اسفندیار و در وسط سازندهای کم ضخامت کرتاسه و ضخیم پالئوژن استقرار یافته‌اند. این حوضه دارای متوسط بارندگی سالانه ۲۱۵ میلی‌متر، تبخیر و تعرق پتانسیل ۲۲۳۳ میلی‌متر، ضریب رواناب ۵۰/۴ درصد، فرسایش و رسوب ویژه به ترتیب ۲/۲ و ۱/۲۷ تن در هکتار در سال است. در حوزه آبخیز نخاب بیشترین کاربری مربوط به رخنمون سنگی (۶۰/۸ درصد) و پس از آن مراتع (۳۶/۵ درصد) است. در این مطالعه حوزه آبخیز نخاب به ۱۶ زیرحوضه هیدرولوژیک با نام‌های N_1 تا N_{16} ، ۹ زیرحوضه غیرهیدرولوژیک با نام‌های N'_1 تا N'_9 تقسیم گردید. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز نخاب را در استان خراسان جنوبی و موقعیت کلی حوزه، زیرحوضه‌ها و شبکه هیدروگرافی و راه‌های ارتباطی را نشان می‌دهد.

اثربخشی اقدامات آبخیزداری، شاخص‌های دبی اوج سیلاب و حجم جریان را با استفاده از مدل HEC-HMS بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عملیات بیولوژیکی و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج و حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف می‌شوند. همچنین با افزایش دوره بازگشت، تأثیر اقدامات آبخیزداری بر دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری [۱۷] اثر عملیات آبخیزداری و قرق را بر رواناب و هدررفت خاک در حوزه آبخیز خام‌سان در استان کردستان با استفاده از داده‌های میدانی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج ایشان نشان داد که متغیرهای حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و رسوب‌دهی پس از اعمال قرق به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. [۷] نیز با مطالعه‌ای در حوزه آبخیز سد سیوند در استان فارس نقش عملیات مکانیکی و بیولوژیکی را در وضعیت سیل‌خیزی حوضه با استفاده از روش SCS بررسی کردند و نتایج ایشان نشان داد که پروژه‌های آبخیزداری منجر به افزایش متغیرهای زمان تمرکز و طول آبراهه اصلی و کاهش حجم سیلاب شده است. [۱۳] در حوزه آبخیز علی‌کندی بوکان کاهش فرسایش و رسوب را به میزان ۴۲ درصد در نتیجه اجرای طرح‌های آبخیزداری دانستند و پیشنهاد کردند که برای تأثیر مثبت و عملکرد بهتر اقدامات اجرایی، تلفیقی از عملیات مکانیکی و عملیات بیولوژیکی در منطقه اجرا شود. [۱۶] در مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی نقش عملیات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب حوضه چهل‌گری سنج، پس از شناسایی عملیات اجرا شده، فرسایش و رسوب حوضه را با بهره‌گیری از پارامترهای مدل پسیاک، تعیین کردند. نتایج ایشان نشان داد که رسوب‌دهی ویژه حوضه از ۲/۷ به ۲/۵ تن در هکتار کاهش یافته است.

با توجه به مشکلات به‌وجود آمده به‌دلیل سیلاب‌های فراوان و در پی آن فرسایش خاک و تخریب سرزمین، تأکید ویژه‌ای توسط اسناد بالادستی به اقدامات آبخیزداری شده و هزینه‌های قابل توجهی به‌منظور اجرا و نگهداری اقدامات آبخیزداری در کشور اختصاص یافته



شکل ۱. الف) موقعیت حوزه آبخیز نخاب در استان خراسان رضوی (ب) موقعیت کلی حوزه، زیرحوضه‌ها و اقدامات آبخیزداری انجام شده

انجام شده است که با موفقیت همراه بوده است. موقعیت سازه‌های مکانیکی و عملیات بیولوژیک اجرا شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲.۲. ارزیابی اثرات اقدامات اجرایی در مدیریت

رواناب حوزه

۱.۲.۲ مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

در این مطالعه، شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با به‌کارگیری مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS با توجه به مفاهیم هیدرولوژی، با ترکیبی از اجزاء زیرحوضه‌ها، رودهای ورودی و خروجی‌ها انجام شد. مدل HEC-HMS یک مدل ریاضی کامپیوتری است که به منظور شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز به کار می‌رود. این مدل توسط گروه مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا برای تهیه هیدروگراف سیل

۱.۱.۲ اقدامات آبخیزداری اجرا شده در حوزه

آبخیز نخاب

با توجه به تخریب حوضه در سال‌های گذشته و تضعیف پوشش گیاهی علاوه بر مسائل و برنامه‌های مدیریتی، ترویجی و آموزشی، یکسری پروژه‌های اجرایی در این بخش اجرا شده است که شامل عملیات بیولوژیک و مکانیکی می‌باشد. در حوضه نخاب در سال‌های ۹۸-۱۳۸۵ تعداد ۲۶ سازه مکانیکی شامل یک بند خاکی، ۵ بند سنگی و ملاتی، و ۲۰ عدد بند گابیونی اجرا شده است که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شده است. از سال ۱۳۸۸ بخش‌هایی از مراتع نخاب به مساحت کل ۱۰۰۰ هکتار قرق شده‌اند و در سال ۱۳۹۴ بخشی از اراضی قرق شده (۵۰ هکتار) به کاشت نهال‌هایی از قبیل ارغوان، بادامشک و بنه اختصاص یافته است که تقریباً تمام این نهال‌ها خشک شده‌اند، همچنین در محدوده‌های قرق مساحتی حدود ۱۲۱ هکتار کپه‌کاری

می‌تواند به صورت یکپارچه و یا توزیعی محاسبه شود. در مدل یکپارچه، بارش و تلفات به صورت میانگین مکانی روی زیر حوضه در نظر گرفته می‌شود. در روش توزیعی بارش مؤثر به صورت نقطه‌ای (سلولی) محاسبه شده و تبدیل بارش مؤثر به رواناب مستقیم بوسیله روش اصلاح شده کلارک (ModClark) صورت می‌گیرد. در بخش تلفات مدل حوضه نیز از روش شماره منحنی (SCS-CN)، استفاده شد.

عرضه شد و دارای چندین زیرمدل در بخش‌های رواناب، جریان سطحی، آب پایه و جریان کلی می‌باشد [۹]. بخش‌های اصلی مدل را سه مجموعه به شرح ذیل تشکیل می‌دهند:

الف) مدل حوضه که شامل پارامترها و داده‌های مرتبط با عناصر هیدرولوژیکی است. این عناصر عبارتند از زیر حوضه‌ها، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه، مخازن، چشمه، منبع و محل انحراف آب. رواناب زیر حوضه‌ها

جدول ۱. خصوصیات عملیات مکانیکی اجرا شده در حوضه آبخیز نخاب در سال ۱۳۹۹

عملیات مکانیکی (مترمکعب)				
مجموع	بند خاکی	بند سنگ و ملاتی	بند گابیونی	نوع عملیات مکانیکی
۲۶	۱	۵	۲۰	تعداد
۱۸۷,۵۵۲	۵۷,۹۹۳	۵۳,۰۷۴	۷۶,۴۸۵	حجم مخازن (مترمکعب)
۲۶,۳۶۸	۳,۷۷۵	۱۰,۴۰۱	۱۲,۱۹۲	حجم رسوب مخازن (مترمکعب)

حوضه‌های معرف و در اقلیم‌های مختلف آمریکا به شکل رابطه (۱) ارائه شده است.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این رابطه Q ارتفاع رواناب، P مقدار بارش و S مقدار تلفات همگی بر حسب اینچ است. در این رابطه مقدار تلفات کل یا S از رابطه (۲) و با در نظر گرفتن یک عامل بدون بعد شماره منحنی (CN) محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{1000}{CN} 10 \quad \text{معادله (۲)}$$

CN نیز از ترکیب ۲ عامل گروه هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی در هر نقطه از حوضه برآورد گردید و CN کل حوضه با میانگین‌گیری وزنی محاسبه شد. نقشه CN برای هر واحد هیدرولوژیکی از طریق محاسبه هیستوگرام و متوسط وزنی و با استفاده از توانایی‌های ArcGIS برآورد گردید. در محاسبه CN شرایط رطوبت قبلی خاک را می‌توان با استفاده از جدول ۲ براساس مجموع بارندگی در طی مدت ۵ روز قبل از روز مورد نظر به‌دست آورد.

ب) مدل بارش شامل مجموعه اطلاعات مورد نیاز برای تعیین بارش تاریخی یا طراحی است که برای اتصال با مدل حوضه به کار می‌رود.

ج) شاخص‌های کنترل شامل تاریخ و زمان شروع و خاتمه بارش و همچنین گام زمان برای محاسبات شبیه‌سازی است. علاوه بر موارد فوق مدل HEC- HMS یک برنامه خودکار برای واسنجی پارامترها دارد که هر یک از پارامترها را با داشتن مقادیر اولیه تا نقطه بهترین تطبیق با داده‌های دبی مشاهده‌ای کنترل نموده و در پایان مناسب‌ترین مقدار را معرفی می‌کند.

۲.۲.۲. روش انجمن حفاظت خاک آمریکا (SCS)

به منظور تعیین میزان حجم سیلاب‌های کنترل شده لازم است حجم سیلاب قبل و بعد از عملیات آبخیزداری محاسبه شود بدین منظور از روش حفاظت آب و خاک آمریکا (SCS) استفاده شده است. سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۷۲ رابطه‌ای برای تخمین ارتفاع رواناب به‌دست آورده است که براساس مشاهدات متعدد در

جدول ۲. تعیین شماره منحنی CN با توجه به کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک

گروه رطوبت خاک	فصل رشد	فصل خواب
I	کمتر از ۳۶ میلیمتر	کمتر از ۱۳ میلیمتر
II	۳۶-۵۳ میلیمتر	۱۳-۲۸ میلیمتر
III	بیش از ۵۳ میلیمتر	بیش از ۲۸ میلیمتر

برای یک میلیمتر رواناب است. A: مساحت حوزه، t_p : زمان اوج هیدروگراف، C: ضریب ثابت که در سیستم SI برابر ۲/۰۸ و در سیستم انگلیسی برابر ۴۸۴ است.

۳.۲.۲. تعیین میزان کاهش دبی اوج سیلاب حوضه

در قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

برای تحلیل بارش حداکثر ۲۴ ساعته منطقه، از آمار بارندگی‌های ۲۴ ساعته ایستگاه کلیماتولوژی ارسک استفاده شد و سری‌های حداکثر ۲۴ ساعته ماهیانه توسط برنامه کامپیوتری Hyfran برازش داده شد. در این ارزیابی توزیع‌های آماری که مورد توجه قرار گرفتند شامل توزیع‌های آماری گامبل، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گاما و پیرسون تیپ سه و لوگ پیرسون تیپ سه بودند و با استفاده از تست‌های آکایی و بایسن توزیع گاما به عنوان بهترین توزیع آماری انتخاب شد. حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته ایستگاه کلیماتولوژی ارسک در جدول ۳ ارائه شده است.

در این مطالعه جهت تبدیل فرآیند بارش مازاد به جریان سطحی در حوضه از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شده است. روش SCS یکی از راه‌های نسبتاً ساده برای ساختن هیدروگراف واحد مصنوعی است. در این روش کافی است زمان رسیدن به اوج و مقدار دبی اوج محاسبه شود. سپس مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول یا نمودار بدون بعدی که برای این منظور تهیه شده است به دست می‌آید.

زمان اوج هیدروگراف (t_p) از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$t_p = 0.6t_c + \sqrt{t_c} \quad \text{معادله (۳)}$$

در این رابطه t_c زمان تمرکز است و D: زمان بارندگی که توصیه شده است از $0.25t_c$ تجاوز نکند.

دبی اوج هیدروگراف (Q_p) از رابطه (۴) محاسبه می‌شود

$$Q_p = \frac{CA}{t_p} \quad \text{معادله (۴)}$$

Q_p : دبی اوج هیدروگراف بر حسب مترمکعب بر ثانیه

جدول ۳. حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته ایستگاه ارسک در دوره بازگشت‌های مختلف (میلیمتر)

دوره					خشکسالی					متوسط					ترسالی									
دوره بازگشت					۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵
مقدار					۶/۸۳	۸/۰۱	۱۰/۲	۱۲/۵		۵/۸۸	۶/۸۳	۸/۰۱	۱۰/۲	۱۲/۵	۴۰/۸	۳۷/۵	۳۴	۲۹/۱	۲۴/۹	۱۸	۵/۸۸	۶/۸۳	۸/۰۱	۱۰/۲

سیلاب محاسبه و نتایج با هم مقایسه شدند [۱]. در صد کاهش دبی پیک و حجم سیلاب حوضه با توجه به روابط (۵) و (۶) محاسبه شدند.

با توجه به حداکثر بارش ۲۴ ساعته و توزیع زمانی بارش منطقه با استفاده از روش SCS برای دو حالت قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری دبی اوج و حجم

فرسایش در قسمت‌هایی که طرح بیولوژیک اجرا شده است مورد بررسی قرار گرفت و نقشه نهایی اشکال فرسایش تهیه شد.

با وجودی که میزان فرسایش و حجم رسوب سالانه در طی زمان متغیر است، ولی محاسبه و برآورد آن جهت برنامه‌ریزی در کاهش و به حداقل رساندن ضررها و خسارات ناشی از فرسایش، تعیین عوامل موثر در فرسایش و احداث سازه‌های کنترل و حفاظت آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، با توجه به شرایط حوضه و در نظر داشتن امکانات و اطلاعات ایستگاه‌های موجود و یا روش‌های تجربی می‌توان اقدام به تعیین میزان فرسایش و رسوب سالانه حوضه نمود. برای محاسبه این تغییرات از مدل MPSIAC استفاده شد، بدین ترتیب که این مدل یک بار برای شرایط گذشته و یک بار برای شرایط حال محاسبه و مقایسه گردید.

۱.۳.۲. استفاده از روش تجربی (MPSIAC) و

بررسی عوامل نه‌گانه آن

این روش در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شده است و با توجه به این که روش MPSIAC در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود بیشترین عامل موثر در فرسایش خاک برای محاسبه فرسایش ویژه و تولید رسوب را در نظر گرفته است، بنابراین برآورد بهتری نسبت به روش‌های دیگر خواهد داشت. در روش MPSIAC تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز ارزیابی می‌گردد. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، امتیازی به آن نسبت داده می‌شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع امتیازات به‌دست آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد می‌شود. بدین منظور لایه‌های مختلف مدل MPSIAC در محیط GIS تهیه شد و به کمک نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات و نقشه‌های خاک شناسی، اطلاعات هوا شناسی،

$$\text{معادله (۵)} = \frac{Q_{\text{Before}} - Q_{\text{After}}}{Q_{\text{Before}}} = \text{درصد کاهش دبی پیک}$$

$$\text{معادله (۶)} = \frac{V_{\text{Before}} - V_{\text{After}}}{V_{\text{Before}}} = \text{درصد کاهش حجم سیلاب}$$

که در آن Q_{Before} و Q_{After} نشان‌دهنده دبی اوج سیلاب و V_{Before} و V_{After} نشان‌دهنده حجم سیلاب به ترتیب قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری است.

۳.۲. ارزیابی اثرات اقدامات اجرایی در کنترل

فرسایش و رسوب

یکی از اهداف اجرای اقدامات آبخیزداری، کاهش میزان فرسایش خاک می‌باشد، در این راستا عملیات مختلفی اعم از احداث سازه جهت کنترل رسوب و سیلاب و اجرای پروژه‌های بیولوژیک جهت کاهش CN و کاهش سیلاب، بهبود وضعیت خاک و در نتیجه کاهش میزان فرسایش می‌باشد. در این مطالعه برای ارزیابی اثر بخشی این اقدامات از مدل MPSIAC استفاده شد، در این راستا، این مدل با داده‌ها و شرایط اولیه و شرایط حوضه پس از اجرای اقدامات اصلاحی حوضه اجرا گردید و سپس نتایج با هم مقایسه گردید.

به منظور انجام مطالعات فرسایش و رسوب حوضه مورد مطالعه ابتدا نقشه‌های مورد نیاز منطقه از قبیل نقشه توپوگرافی، جهت شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی تهیه شد، شایان ذکر است که عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ETM+، google earth و Master side منطقه مورد مطالعه نیز به منظور شناسایی اولیه اشکال فرسایش و واحدهای کاری با استفاده از تفسیر بصری مورد بررسی قرار گرفتند و نقشه اولیه تیپ‌های فرسایشی تهیه شدند. تیپ‌ها و رخساره‌های فرسایشی حوضه پس از اجرای اقدامات آبخیزداری با بررسی اشکال فرسایش در دو مرحله انجام شد، بدین ترتیب که ابتدا مرز تیپ‌ها با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ژئومورفولوژی اصلاح گردید، سپس با توجه به بازدید صحرائی دقیق شد و وضعیت

گردید. در نهایت مقادیر فوق برای هریک از زیرحوضه‌ها، از نقشه‌های رستری خلاصه‌برداری شد. در جدول ۴ خصوصیات هریک از عوامل نه‌گانه روش MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آنها آورده شده است [۲۳].

اطلاعات و نقشه پوشش گیاهی و نقشه رخساره‌های فرسایشی محاسبه و در هر واحد کاری وارد گردید. در نهایت با جمع مقادیر فوق مقادیر نقشه درجه رسوب‌دهی به صورت رستری به دست آمد و نقشه کلاس فرسایش از آن استخراج

جدول ۴. عوامل مؤثر در مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آنها

ردیف	عوامل مؤثر در مدل MPSIAC	نحوه محاسبه امتیاز	شرح پارامترها
۱	زمین‌شناسی	$y_1 = x_1$	x_1 : امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش (۰-۱۰)
۲	خاک	$y_2 = 16.67K$	K: عامل فرسایش خاک در معادله جهانی
۳	آب و هوا	$y_3 = 0.2x_3$	x_3 : بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله
۴	رواناب	$y_4 = 0.0006R + 10$	R: ارتفاع رواناب سالانه (میلیمتر)
۵	پستی و بلندی	$y_5 = 0.33S$	S: درصد شیب
۶	پوشش گیاهی	$y_6 = 0.2P_b$	P_b : درصد اراضی لخت
۷	کاربری اراضی	$y_7 = 20P_c - 0.2$	P_c : درصد تاج پوشش گیاهی
۸	وضعیت فعلی فرسایش	$y_8 = 0.25SSF$	SSF: امتیاز عامل سطحی خاک در مدل BLM
۹	فرسایش رودخانه‌ای	$y_9 = 1.67SS.F.G$	SS.F.G: امتیاز فرسایش خندقی در مدل BLM

واحد کاری وارد گردید. در نهایت با جمع مقادیر فوق مقادیر نقشه درجه رسوب‌دهی به صورت رستری به دست آمد و با توجه به جدول ۵ نقشه کلاس فرسایش از آن استخراج گردید. در نهایت مقادیر فوق برای هریک از زیرحوضه‌ها، از نقشه‌های رستری خلاصه‌برداری شد.

۲.۳.۲. محاسبه درجه رسوب‌دهی (R)

پس از تهیه واحدهای کاری، مقادیر مختلف y_1 تا y_9 به ترتیب به کمک نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات و نقشه‌های خاک‌شناسی، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات و نقشه پوشش گیاهی و نقشه رخساره‌های فرسایشی محاسبه و در هر

جدول ۵. طبقات امتیازدهی شدت رسوب‌دهی

کلاس رسوب‌دهی	نمرات نشان دهنده شدت رسوب‌دهی
I	۰-۲۵
II	۲۵-۵۰
III	۵۰-۷۵
IV	۷۵-۱۰۰
V	۱۰۰ <

شدند. در نهایت برای برآورد فرسایش و تولید رسوب براساس مدل MPSIAC از معادله (۷) استفاده شد [۲۸].

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad \text{معادله (۷)}$$

۳.۳.۲. تعیین میزان تغییرات فرسایش کل و ویژه حوزه

پس از امتیازدهی و ایجاد لایه‌های اطلاعاتی به صورت وزنی، به منظور تهیه نقشه فرسایش حوضه ابتدا این لایه‌ها به صورت رستری درآمده و سپس باهم تلفیق

در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله زمان اوج سیلاب را تنها به میزان ۳۰ دقیقه (۱۷/۷ درصد) افزایش داده است. مقایسه دبی اوج سیلاب در شرایط مختلف نیز نشان داد که اجرای عملیات آبخیزداری در کاهش سیل تأثیر معنی داری دارد و به طور قابل ملاحظه‌ای دبی پیک سیلاب را کاهش می‌دهد و این کاهش در دوره بازگشت‌های پایین شدیدتر بوده به طوری که در دوره بازگشت ۲ ساله دبی پیک را ۵۴ درصد کاهش می‌دهد در حالی که کاهش دبی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۲۶/۸ درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که پس از پر شدن مخزن سازه‌ها نیز دبی اوج سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲ ساله و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۳۳ درصد و ۵ درصد کاهش یافته است.

شکل ۳ نیز حجم سیلاب حوزه آبخیز نخاب را قبل از عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در دو حالت مخزن پر و خالی و در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، حجم سیلاب از ۱۶۳ به ۶۳ هزار مترمکعب در دوره بازگشت ۲ ساله کاهش یافته است در صورتی که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حجم سیلاب از ۱۰۱۸ به ۸۴۲ هزار مترمکعب کاهش یافته است. این بدین معنا است که در دوره بازگشت ۲ ساله ۶۱/۳ درصد و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۱۷/۳ درصد حجم سیلاب در پشت سازه‌های آبخیزداری ذخیره می‌شود. همچنین در صورتی که مخزن سازه‌ها از رسوبات پر شوند در دوره بازگشت ۲ ساله ۳۲/۷ درصد و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۵/۵ درصد حجم سیلاب کاهش می‌یابد.

۲.۳. اثرات اقدامات اجرایی در کنترل فرسایش

و رسوب حوضه

با بررسی‌های انجام گرفته بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در زمینه اشکال فرسایش مشخص شد که در این حوضه ۱۰ رخساره فرسایشی وجود دارد که این رخساره‌ها از یک نوع فرسایش یا ترکیبی از چند

که در آن Q_s : میزان رسوبدهی سالانه بر حسب تن در هکتار در سال، R : درجه رسوبدهی براساس مدل MPSIAC و e : عدد نپین است.

برای تهیه نقشه رسوبدهی با استفاده از امکانات ماژول Spatial Analyst معادله فوق بر روی نقشه امتیاز رسوبدهی (R) اعمال شد و در هر پیکسل میزان رسوبدهی به دست آمد. سپس با در اختیار داشتن امکانات نرم‌افزاری و با معرفی نقشه زیرحوضه‌ها به عنوان لایه زمینه، میزان رسوبدهی در هر یک از زیرحوضه‌ها به دست آمد. سپس برای برآورد فرسایش ویژه ابتدا SDR یا نسبت تحویل رسوب برای هر زیر حوضه به دست آمد. با در دست داشتن SDR مقدار فرسایش ناخالص هر واحد هیدرولوژیکی از رابطه (۸) محاسبه شد:

$$\text{معادله (۸)} \quad \text{SDR} = \frac{\text{تولید رسوب}}{\text{فرسایش}}$$

۳. نتایج

۱.۳. اثرات اقدامات اجرایی در مدیریت رواناب

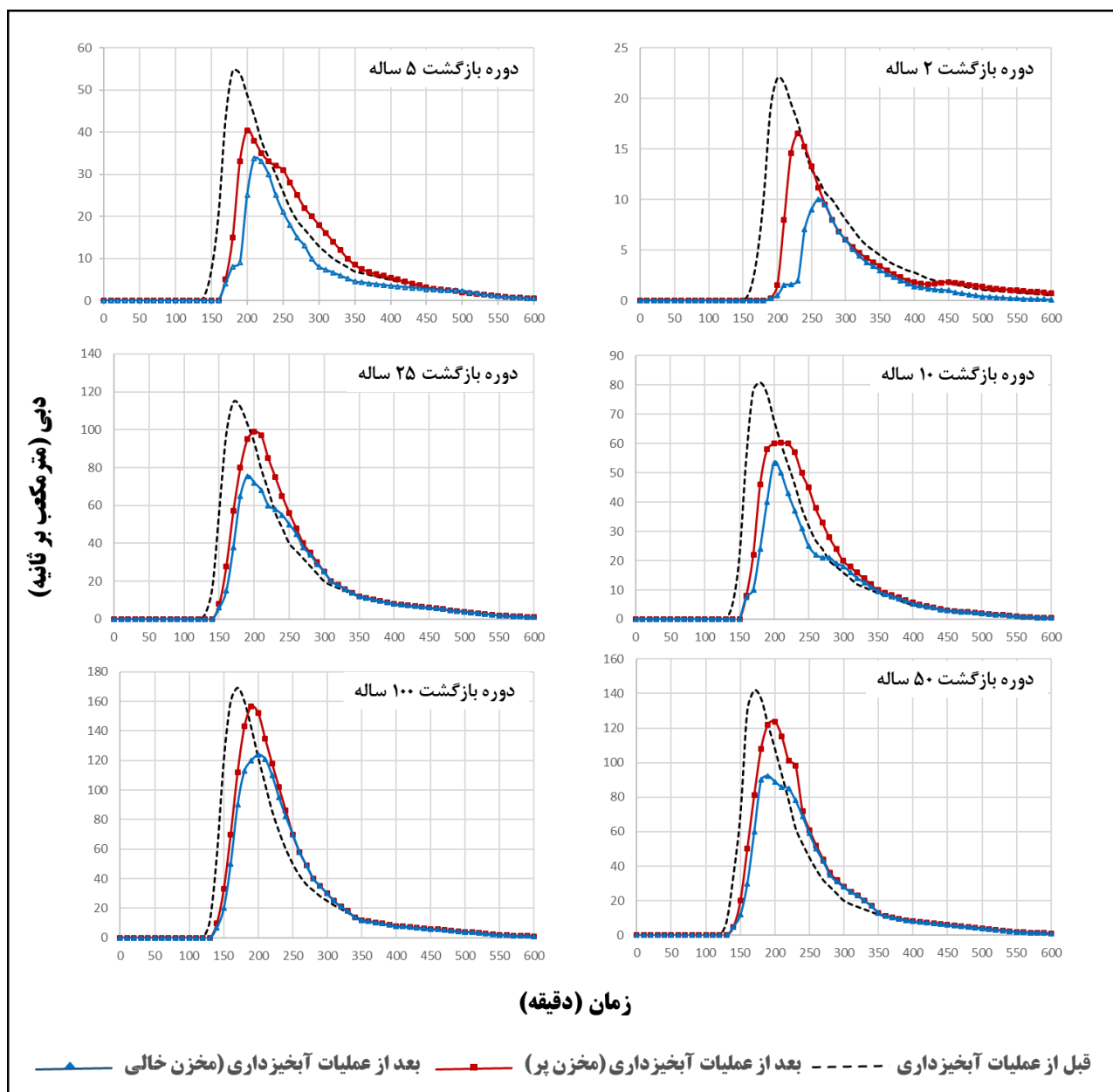
حوضه

شکل ۲ هیدروگراف سیلاب حوزه آبخیز نخاب را قبل از عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در دو حالت مخزن پر و خالی و در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های هیدروگراف شبیه‌سازی شده، با افزایش دوره بازگشت سیلاب مدت زمان رسیدن به اوج سیلاب کاهش می‌یابد به طوری که این مقدار از ۲۰۰ دقیقه در دوره بازگشت ۲ ساله به ۱۷۰ دقیقه در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله کاهش یافته است. این در حالی است که با انجام عملیات آبخیزداری زمان رسیدن به اوج سیل افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که انجام عملیات آبخیزداری موجب گردیده زمان رسیدن به اوج سیل در دوره بازگشت ۲ ساله به مدت ۶۰ دقیقه (۳۰ درصد) افزایش پیدا کند. با این وجود، این عملیات

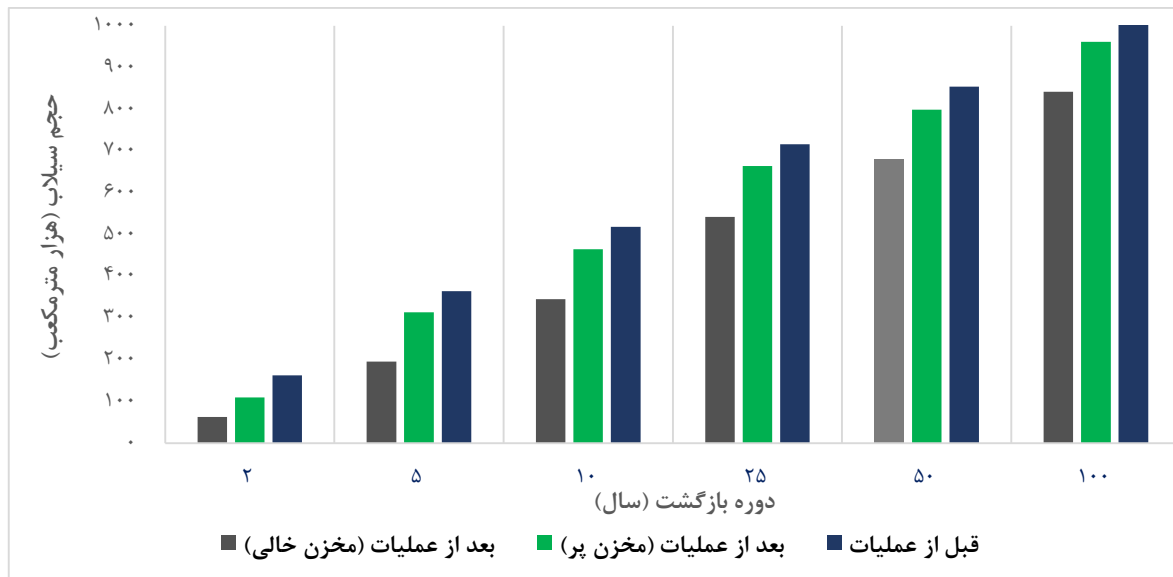
فرسایش در قسمت‌هایی که طرح بیولوژیک اجرا شده بر روی گردید و نقشه نهایی اشکال فرسایش تهیه شد. اشکال فرسایش حوزه آبخیز نخاب در شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در شکل ۴ و درصد مساحت هر یک از اشکال فرسایش در جدول ۷ ارائه شده است.

شکل فرسایش می‌باشند که خصوصیات آنها در جدول ۶ نشان داده شده است.

بررسی اشکال فرسایش در این مطالعه در دو مرحله انجام شد، بدین ترتیب که ابتدا مرز تیپ‌ها با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ژئومورفولوژی اصلاح گردید، سپس با توجه به بازدید صحرائی تدقیق شد و وضعیت



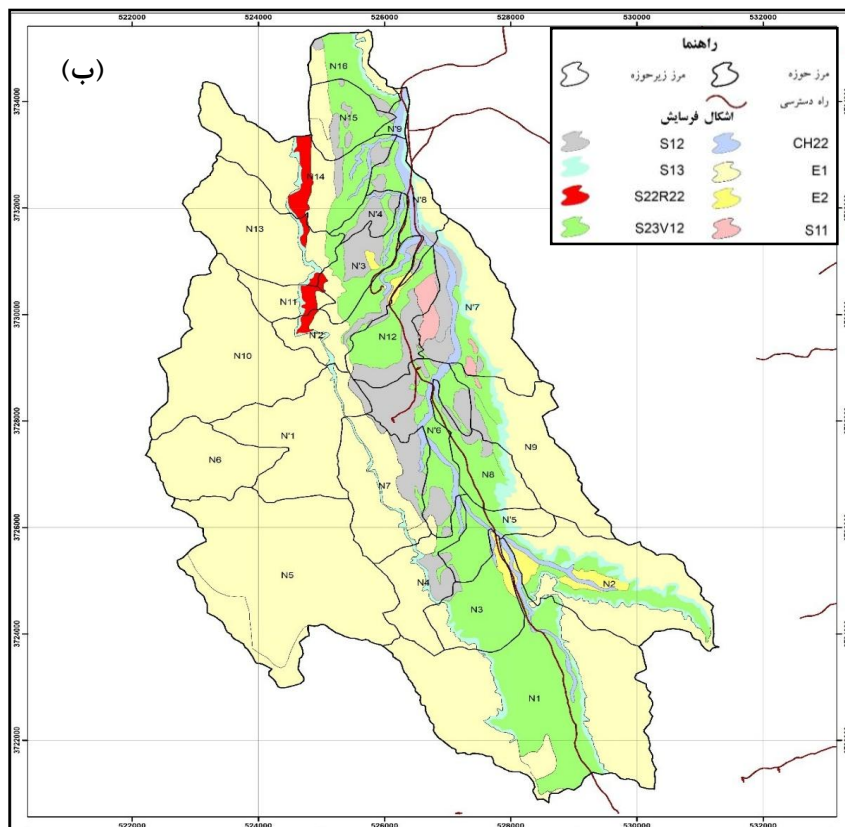
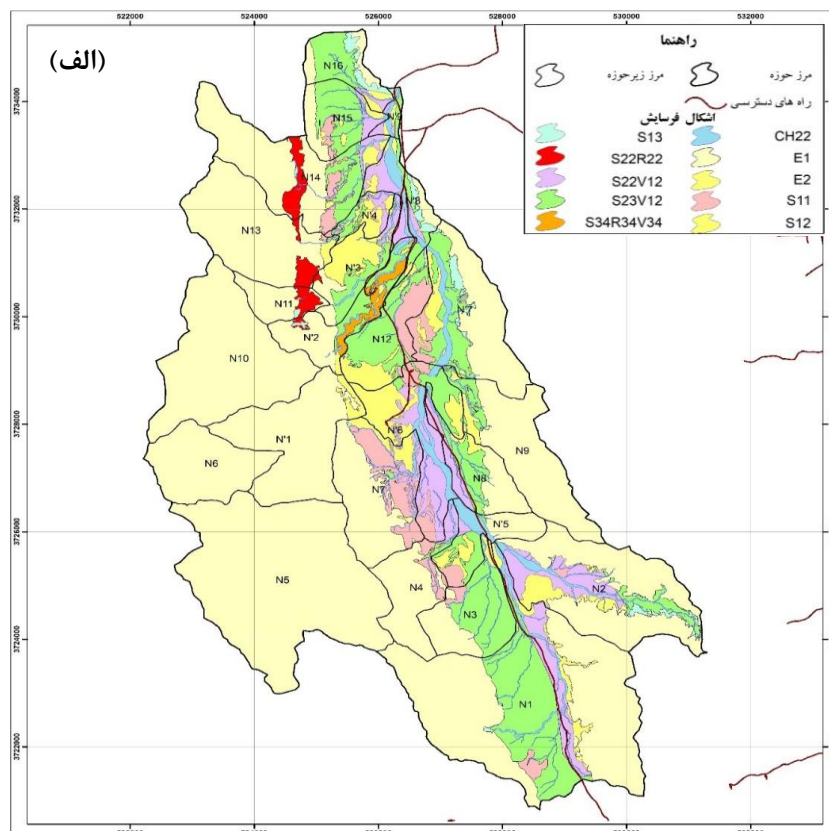
شکل ۲. هیدروگراف سیلاب حوزه آبخیز نخاب قبل از عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در دو حالت مخزن پر و خالی در دوره بازگشت‌های مختلف



شکل ۳. حجم سیلاب حوزه آبخیز نخاب قبل از عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در دو حالت مخزن پر و خالی در دوره بازگشت‌های مختلف

جدول ۶. خصوصیات رخساره‌های فرسایشی در حوزه آبخیز نخاب

توضیحات	رخساره فرسایشی	تیپ فرسایش
بر روی رخساره‌های ژئومورفولوژی توده سنگی و توده سنگی با توسعه کارست و شیب متوسط ۱/۷۶٪ قرار دارد	E1	E
بر روی رخساره‌های اراضی زراعی و پادگانه جدید می‌باشد و به علت شیب کم فاقد فرسایش و یا دارای فرسایش کم می‌باشد.	E2	
فرسایش سطحی کم در ۲۵٪ سطح رخساره مشاهده می‌شود	S11	S
فرسایش سطحی کم در ۲۵ تا ۵۰٪ از سطح رخساره مشاهده می‌گردد	S12	
فرسایش سطحی کم در ۵۰ تا ۷۵٪ از سطح رخساره مشاهده می‌گردد	S13	
فرسایش سطحی متوسط در ۲۵ تا ۵۰٪ از سطح رخساره و شیارهائی با عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر و فاصله ۱ تا ۵ متر که در ۲۵ تا ۵۰٪ از سطح رخساره گسترش دارد مشاهده می‌گردد	S22R22	SR
دارای فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه ای زیاد می‌باشد که در بیش از ۷۵ درصد رخساره مشاهده می‌شود	S34R34V34	SRV
آبراهه‌ها از لحاظ فرسایشی فعال می‌باشند و فاصله آبراهه‌ها از یکدیگر ۱۰ تا ۱۰۰ متر می‌باشد و فرسایش سطحی متوسط در ۲۵ تا ۵۰٪ از سطح رخساره مشاهده می‌گردد.	S22V12	SV
آبراهه‌ها از لحاظ فرسایشی فعال می‌باشند و فاصله آبراهه‌ها از یکدیگر ۱۰ تا ۱۰۰ متر می‌باشد و فرسایش سطحی متوسط در بیشتر از ۵۰٪ از سطح رخساره مشاهده می‌گردد.	S23V12	
در این رخساره، فرسایش کناری در کناره مسیل‌ها و آبراهه‌ها با عمق ۲-۳ متر در سر قوس‌ها و بعضاً به صورت متناوب مشهود است.	CH22	CH



شکل ۴. اشکال فرسایش در حوزه آبخیز نخاب (الف) - قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری و (ب) - بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری

جدول ۷. درصد مساحت رخساره‌های فرسایشی در حوزه آبخیز نخاب (قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری)

درصد مساحت (قبل از عملیات)	درصد مساحت (بعد از عملیات)	رخساره فرسایشی	تیپ فرسایش
۶۴/۱۲	۶۲/۴	E1	E
۰/۸	۰/۰۳	E2	(مناطق فاقد فرسایش تا فرسایش کم)
۱	۳/۸۸	S11	S
۷/۷	۶/۶۵	S12	(مناطق دارای فرسایش سطحی)
۳/۴	۰/۹۲	S13	
۰/۹	۰/۹۵	S22R22	SR (مناطق دارای فرسایش سطحی و شیبی)
۰	۰/۴۴	S34R34V34	SRV (مناطق دارای فرسایش سطحی، شیبی و آبراهه‌ای)
۰	۵/۵	S22V12	SV
۲۲	۱۴/۳۷	S23V12	(مناطق دارای فرسایش سطحی و آبراهه‌ای)
۰/۰۳	۳/۱۵	CH22	CH (فرسایش رودخانه‌ای)
۱۰۰	۱۰۰		مجموع

می‌دهد که با اجرای عملیات آبخیزداری، امتیاز عوامل پوشش گیاهی، کاربری اراضی و وضعیت فعلی فرسایش در مدل MPSIAC تغییر کرد. این تغییرات باعث کاهش درجه رسوبدهی حوضه از ۶۹/۶ به ۶۳/۷ شده است، اما کلاس رسوبدهی حوضه بعد از انجام عملیات آبخیزداری تغییری نداشته است.

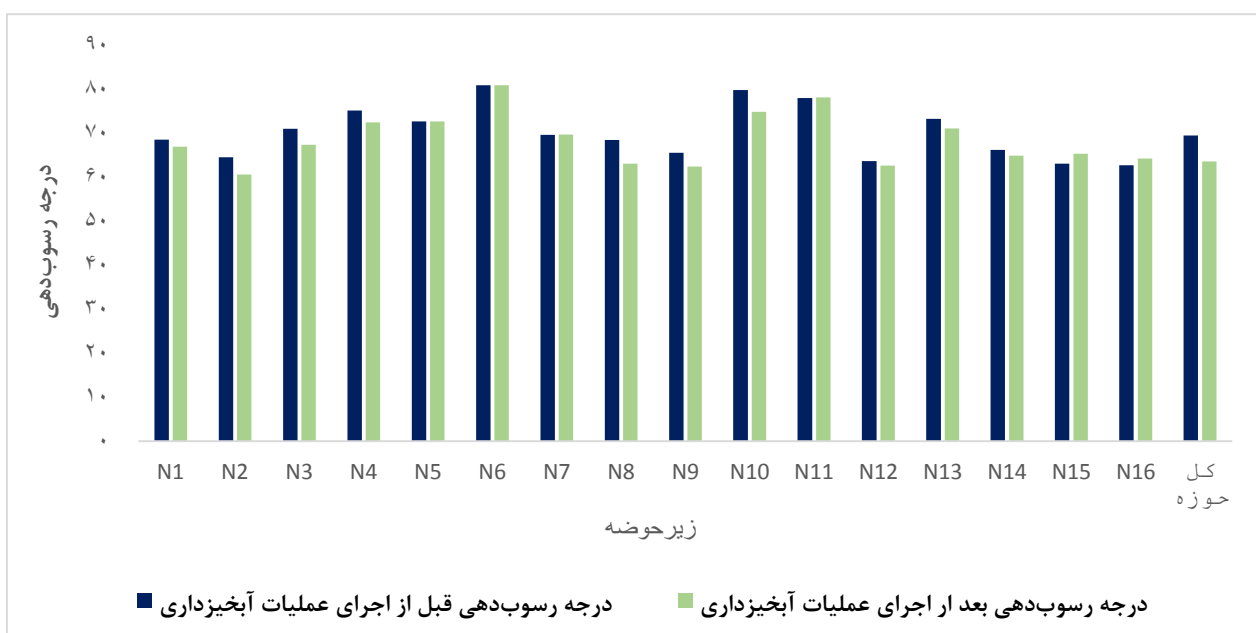
در شکل ۵ نیز متوسط درجه رسوبدهی حوضه و زیرحوضه‌ها، براساس مدل MPSIAC قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به نتایج در اکثر زیرحوضه‌ها، کاهش درجه رسوبدهی پس از انجام عملیات آبخیزداری کاملاً مشهود است، در برخی زیرحوضه‌ها مثل مانند زیرحوضه N5، N6 و N7 درجه رسوبدهی بدون تغییر باقی مانده است در صورتی که در زیرحوضه‌های N15 و N16 درجه رسوبدهی دارای تغییر افزایشی بوده است اما درجه رسوبدهی در کل حوضه از ۶۹/۶ به ۶۳/۴ (۸/۵ درصد) کاهش پیدا کرده است.

نتایج نشان داد که در قسمت‌هایی که اقدامات آبخیزداری انجام نشده است رخساره‌های فرسایشی که غالباً شامل مناطق فاقد فرسایش تا فرسایش کم بوده است، تقریباً بدون تغییر باقی مانده است (رخساره فرسایشی E1). اما در قسمت‌هایی که اقدامات آبخیزداری انجام شده است اشکال فرسایش نیز دارای تغییر شده است که در این بین اشکال S34R34V34 و S22V12 که بیشتر مناطق دارای فرسایش شیبی و آبراهه‌ای هستند به S12 و S13، S23V12 با فرسایش سطحی بیشتر تبدیل شده است. در واقع در بیشتر این قسمت‌ها، شکل فرسایش از آبراهه‌ای و شیبی به فرسایش سطحی تغییر یافته است. همچنین رخساره فرسایشی CH22 که نشان‌دهنده فرسایش رودخانه‌ای است به طور چشم‌گیری کاهش یافته است.

جدول ۸، امتیازات اختصاص داده شده به عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC را قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری نشان داده شده است. نتایج بررسی وضعیت فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC نشان

جدول ۸. محاسبه عوامل نه گانه فرسایش MPSIAC در حوضه آبخیز نخاب (قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری)

عوامل مدل MPSIAC	قبل از عملیات آبخیزداری	بعد از عملیات آبخیزداری
زمین‌شناسی (y_1)	۶/۴۱	۶/۴۱
خاک (y_2)	۳/۶	۳/۶
آب‌وهوا (y_3)	۲/۴۳	۲/۴۳
رواناب (y_4)	۸/۲۲	۸/۲۱
پستی و بلندی (y_5)	۱۹/۳	۱۹/۳
پوشش گیاهی (y_6)	۶/۸۲	۶/۵۵
کاربری اراضی (y_7)	۱۸/۴۲	۱۸/۲۵
وضعیت فعلی فرسایش (y_8)	۴/۵	۴/۳۷
فرسایش رودخانه‌ای (y_9)	۰/۴۲	۰/۴۲
درجه رسوب‌دهی (R)	۶۹/۶	۶۳/۷
کلاس رسوب‌دهی	متوسط	متوسط



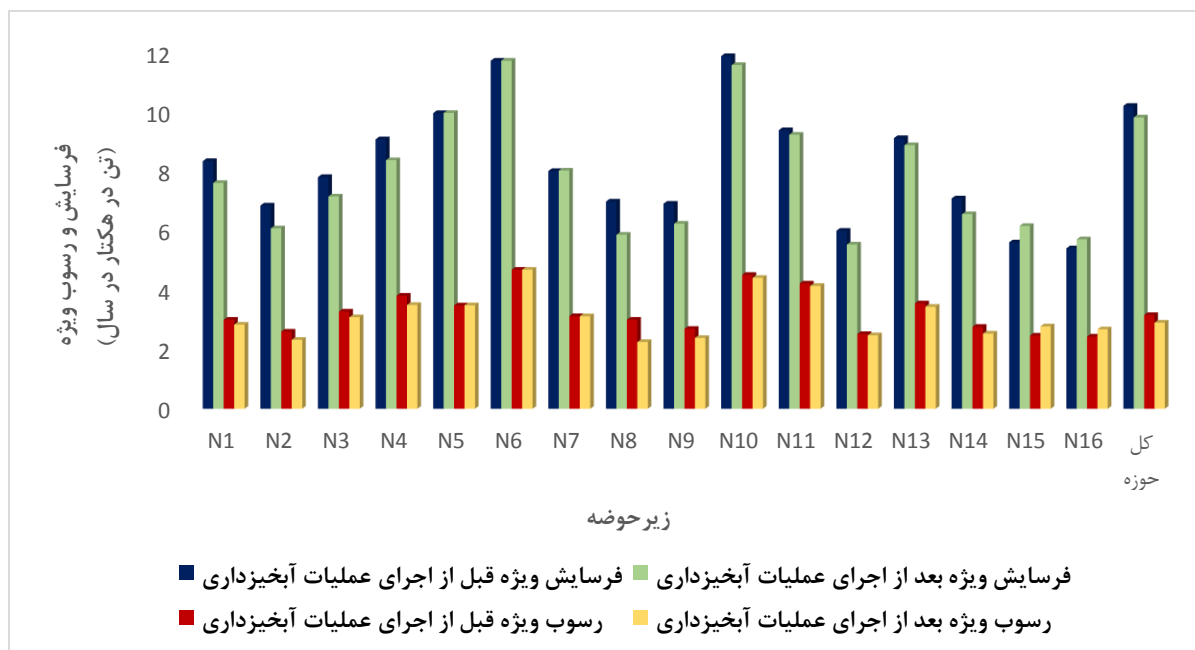
شکل ۵. مقایسه متوسط رسوب‌دهی در حوضه و زیرحوضه‌ها قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

زیر حوضه‌های N6 و N10 می‌باشد در حالی که پایین‌ترین آن با مقادیر ۵/۶ و ۴/۶ مربوط به زیرحوضه‌های N15 و N16 می‌باشد. مقادیر رسوب ویژه نیز همانند فرسایش ویژه در زیرحوضه‌های N6 و N10 دارای بالاترین مقادیر و در زیرحوضه‌های N15 و N16 دارای پایین‌ترین مقادیر بودند. با در نظر گرفتن عملیات آبخیزداری مقایسه نتایج

پس از محاسبه به SDR مقادیر فرسایش برای زیرحوضه‌ها قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری محاسبه شد. شکل ۶ مقادیر فرسایش و رسوب‌دهی ویژه را برای زیرحوضه‌ها و کل حوضه آبخیز نخاب نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های برآورد شده، بالاترین فرسایش ویژه با مقادیر ۱۱/۹ و ۱۱/۷ به ترتیب مربوط به

این نتایج در کل حوزه آبخیز نخاب نشان داد که فرسایش ویژه از ۱۰/۱۸ به ۹/۸ تن در هکتار در سال و رسوبدهی ویژه حوضه نیز از ۳/۱۶ به ۲/۹ تن در هکتار در سال کاهش پیدا کرده است.

نشان داد که در اکثر زیرحوضه‌ها، فرسایش و رسوب ویژه پس از انجام عملیات آبخیزداری کاهش پیدا کرده، در حالی که در زیرحوضه‌های N5، N6 و N7 فرسایش و رسوب ویژه بدون تغییر باقی مانده است حتی در زیرحوضه‌های N15 و N16 مقداری افزایش داشته است.



شکل ۶. مقایسه فرسایش ویژه کل حوضه و زیرحوضه‌ها قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

استفاده از روش حفاظت آب و خاک آمریکا (SCS) قبل از عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات در دو حالت مخزن پر و خالی و در دوره بازگشت‌های مختلف انجام شده بود حاکی از آن بود که با انجام عملیات آبخیزداری، دبی اوج سیلاب به میزان ۵۴ درصد در دوره بازگشت ۲ ساله و ۲۶/۸ درصد در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که انجام عملیات آبخیزداری موجب گردیده زمان رسیدن به اوج سیل در دوره بازگشت ۲ ساله ۱۲ درصد بیشتر از دوره بازگشت ۱۰۰ ساله افزایش پیدا کند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که عملیات آبخیزداری در دوره بازگشت‌های پایین تأثیرگذاری بیشتری در خصوصیات هیدروگراف سیلاب دارد ولی در سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر تأثیر این

۴. بحث و نتیجه‌گیری

طرح‌های آبخیزداری نقطه شروع حفظ منابع طبیعی و استمرار دهنده آنها برای بهره‌برداری بهتر و ممانعت از هدررفت منابع ملی هستند و با ارزیابی کمی آنها می‌توان به دیدگاه روشنی در مورد بازدهی چنین اقداماتی در حوزه‌های آبخیز دست یافت. در حوزه آبخیز نخاب بشرویه به منظور کنترل رواناب سطحی و فرسایش خاک، تقویت بیولوژیکی گیاهان و در نتیجه افزایش درآمد آبخیزنشینان، اقدامات مکانیکی (بند خاکی، بند گابیونی و بند سنگی و ملاتی) و اقدامات بیولوژیکی (قرق، بذرپاشی و نهال کاری) صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب که با به کارگیری مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و

مدل MPSIAC تغییر کند که این تغییرات باعث شد درجه رسوبدهی کل حوضه و اغلب زیرحوضه‌ها کاهش پیدا کند. هرچند که در برخی از زیرحوضه‌ها درجه رسوبدهی بدون تغییر باقی مانده و یا افزایش رسوبدهی در آنها مشاهده شده است که با بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد این زیرحوضه‌ها در محدوده اجرای طرح قرار ندارند.

به طور کلی اجرای این عملیات در حوضه تأثیر مثبتی در کنترل فرسایش و رسوب حوضه داشت و تا حدودی توانست از جدا شدن ذرات خاک از مبدأ خود جلوگیری کند، بنابراین پس از کنترل فرسایش، رسوبدهی حوضه نیز متعاقباً کاهش خواهد یافت. این امر حاکی از اقدامات صورت گرفته در سطح حوضه است که عمده آن ناشی از افزایش سطح تاج پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی و انباشت رسوبات در مخزن سازه‌ها می‌باشد. این نتایج با مطالعات [۸]، [۱۴]، [۲۶]، [۱۶] و [۲۲] مطابقت داشت که همگی نقش عملیات آبخیزداری را بر کنترل فرسایش و رسوب مثبت دانسته‌اند. با این وجود مطالعات [۲۹]، [۵]، [۲۴] و [۱۰] تأثیر عملیات آبخیزداری را بر فرسایش و رسوب حوضه منفی اعلام کردند و علت آن را ناکارآمدی و نامطابق بودن عملیات پیشنهادی با عملیات اجرایی، رعایت نکردن استانداردهای لازم در ساخت سازه‌ها و تخریب سازه‌ها بعد از گذشت زمان، اجرای نامناسب عملیات بیولوژیکی در سطح حوضه اعلام کردند.

از آنجا که یک حوزه آبخیز، سیستمی طبیعی است که عوامل بیرونی غیر طبیعی اعم از عوامل انسانی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی نیز در آن تأثیرگذار می‌باشند، لذا نحوه برخورد و مدیریت این سیستم برای دستیابی به اهداف مورد نظر بسیار پیچیده و حساس است. از این رو تنظیم برنامه‌ها و طرح‌های دقیق بدون در نظر گرفتن مجموعه عوامل اجتماعی و انسانی، با موفقیت چندانی روبرو نخواهد بود. بنابراین، می‌توان بیان نمود که مهمترین ابزار لازم جهت حرکت به سمت توسعه پایدار در یک حوزه آبخیز، مدیریت جامع و همه جانبه کلیه منابع آبخیز و نیز نوع سیاست‌گذاری در حوضه می‌باشد.

عملیات کمتر بوده است. با توجه به هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده می‌توان نتیجه گرفت که عملیات آبخیزداری باعث می‌شود شاخه نزولی هیدروگراف سیل با شیب کمتری اتفاق افتد، به صورتی که سیلاب با سرعت کمتری از خروجی حوضه تخلیه شده است که این امر باعث کاهش انرژی سیلاب شده و به آن فرصت نفوذ به داخل خاک را می‌دهد. همچنین نمودارهای مربوط به حالت مخزن پر نیز نشان می‌دهد حتی با پر شدن این مخزن، همچنان دبی اوج و حجم سیلاب را کاهش می‌دهند که علت این امر می‌تواند تعدیل شیب آبراهه به وسیله این سازه‌ها باشد. تحقیقات انجام شده از سوی [۲]، [۲۰]، [۱۸]، [۳۰]، [۱۱] و [۱۷] تأثیر عملیات آبخیزداری در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب را تأیید می‌کند نتایج ایشان نشان می‌دهد که با افزایش دوره بازگشت سیل نقش اقدامات آبخیزداری در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابد.

با بررسی نقشه اشکال فرسایش در حوزه آبخیز نخاب مشخص شد در قسمت‌هایی که اقدامات آبخیزداری انجام شده است رخساره‌هایی که دارای فرسایش سطحی بالا هستند به رخساره‌های با فرسایش سطحی کمتر تبدیل شده‌اند که علت این امر می‌تواند افزایش تاج پوشش گیاهی در اثر اقدامات بیولوژیکی و کاهش ورود دام به منطقه باشد. علاوه بر اقدامات بیولوژیک و کنترل دام، احداث سازه‌ها نیز مقداری از رسوب را کنترل کرده است. در این مطالعه برای ارزیابی اثر بخشی اقدامات آبخیزداری بر کنترل فرسایش و رسوب حوضه و زیرحوضه‌ها، از مدل MPSIAC استفاده شد و سپس میزان تغییرات فرسایش کل و ویژه حوضه در شرایط قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری تعیین شد و با یکدیگر مقایسه گردید. با توجه به اینکه اجرای عملیات آبخیزداری باعث افزایش پوشش گیاهی شده، این تغییرات روی میزان رواناب گذاشته و انتظار می‌رود درجه رسوبدهی نیز کاهش پیدا کند که نتایج نشان داد که با اجرای عملیات آبخیزداری، امتیاز عوامل پوشش گیاهی، کاربری اراضی و وضعیت فعلی فرسایش در

References

- [1] Alizadeh, A. (2006). Principles of applied Hydrology. 5th edition, Mashhad, University of Imam Reza press. 911 pages. (In Persian).
- [2] Banihabib, M., and Arabi, A. (2010). Evaluation of Watershed Management on Flood Forecast Lead Time in Golabdare-Darband Basin. *Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 77-88 (In Persian).
- [3] Bechmann, M., Stålnacke, P., Kværnø, S., Eggestad, H. O., and Øygarden, L. (2009). Integrated tool for risk assessment in agricultural management of soil erosion and losses of phosphorus and nitrogen. *Science of the Total Environment*, 407(2), 749-759.
- [4] Belayneh, M., Yirgu, T., & Tsegaye, D. (2019). Potential soil erosion estimation and area prioritization for better conservation planning in Gumara watershed using RUSLE and GIS techniques'. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-17.
- [5] Campbell, B., Sayer, J. A., Frost, P., Vermeulen, S., Pérez, M. R., Cunningham, A., and Prabhu, R. (2002). Assessing the performance of natural resource systems. *Conservation ecology*, 5(2) 1-22.
- [6] Chamanpira, R., and Roughani, M. (2018). Evaluating the effects of watershed management operations in flood mitigation of Dadabad watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 350-360 (In Persian).
- [7] Darabi, M., Malekinezhad, H., Talebi, A., & Hidari, M. 2020. Assessment of Watershed Management Performance on Flooding Status in Sivand Dam, Fars Province. *Hydrogeomorphology*, 7 (23), 105-83 (In Persian).
- [8] Eiledmi, A., Norri, H., and Falahi, B. (2006). Evaluate the effect of Watershed Management projects to reduce erosion and sedimentation in Magnavy and Gholi Kandi of Hamadan. In *The first regional conference exploitation of water resources in Karoun and Zayandehrood basin*.
- [9] Feldman, AD. (2000). Hydrologic modelling system HEC-HMS, technical reference manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, 2000; Davis, CA, USA.
- [10] Ghafari, G., Ahmadi, H., Bahmani, O., and Nazari Sammani, A. (2017). Technical Assessment of watershed operating steps in Sologan Aquifers basin. *Journal of Range and Watershed management*, 70(1), 169-180 (In Persian).
- [11] Huang, M., and Zhang, L. (2004). Hydrological responses to conservation practices in a catchment of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, 18(10), 1885-1898.
- [12] Hudson, R. E. (1991). Reasons for success or failure of soil conservation. *FAO Soil Bulletin*, 64 pages.
- [13] Jafari, A., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., 2021. Effects of watershed management practices in reducing the erosion and sedimentation (Case Study: Alikandi Boukan Watershed). *Applied Soil Research*, 8 (4), 57-68 (In Persian).
- [14] Kerr, J. M., Pangare, G., Pangrare, L. V., and George, P. J. (2000). An evaluation of dryland watershed development projects in India (No. 581-2016-39504). 137 pages.
- [15] Kerr, J., and Chung, K. (2002). Evaluating watershed management projects. *Water Policy*, 3(6), 537-554.
- [16] Khaledian, H., and Bayat, R. (2017). The Role of Watershed Management Projects in Reducing Erosion and Sediment of Watersheds. *Journal of Environment and Water Engineering*, 3(3), 200-213 (In Persian).
- [17] Khaledi Darvishan, A. Ghorghi, H., Katebikord, A., Amini, M., Gholami, L., Karamzadeh, A., Bahmani, A., & Saeidi, F. (2018). Effect of enclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots in Khamsan representative watershed of Kurdistan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24 (6), 243-255 (In Persian).

- [18] Khalighi, Sh., Mahdavi, M., and Saghafian, B. (2006). Land use effects on potential flooding, using NRCS model (Case Study: Barandoozchay Basin). *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(4), 733-742 (In Persian).
- [19] Mahdavi, M. (2006). *Applied hydrology*. 1th Volume, 6th Edition, Tehran, Tehran University Press. 342 pages. (In persian).
- [20] Nourali, M., and Ghahraman, B. (2016). Assessment of Watershed Management Projects on Flood Hydrograph using HEC-HMS Model (Case Study: Goosh-Bahreh Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13), 60-71 (In Persian).
- [21] Porto, P., Bacchi, M., Preiti, G., Romeo, M., & Monti, M. (2022). Combining plot measurements and a calibrated RUSLE model to investigate recent changes in soil erosion in upland areas in Southern Italy. *Journal of Soils and Sediments*, 1-13.
- [22] Rahimi, M., soofi, M., and Ahmadi, H. (2012). Evaluation of watershed measure with WOCAT program in Dejkord basin. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 26(1), 1-10 (In Persian).
- [23] Refahi, H. (2015). *Water erosion and conservation*. 7th edition, Tehran, Tehran University Press. 671 pages. (In persian).
- [24] Rey, F. (2004). The role of passive protection played by vegetation and Bioengineering works: an efficient and optimal mean for soil conservation. In 13th International Soil Conservation Organization Conference–Brisbane.
- [25] Rezaei, R., Vadadi, E., Mehrdoost, Kh., and Safa, L. (2014). Identifying and analyzing the impacts of watershed plans implement in rural areas of Zanzan province (Case study: Khomarak village). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development*, 45(1), 115-123 (In Persian).
- [26] Roohanizadeh, S., Kelarestaghi, A., Lajvardi, M., and Servati, M.R. (2019). Effect of watershed management operation in soil conservation in Drainage of Basin of Berenjestanak Dem (Ghaemshahr, Iran). 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. (In Persian).
- [27] Roshani, R. (2003). Evaluating the Effect of Check Dams on Flood Peaks to Optimize the Flood Control Measures (Kan Case Study in Iran). Thesis Submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in Partial Fulfillment of the Requirements. 54 pages (In Persian).
- [28] Safamanesh, R., and Sulaiman, W. N. (2006). Erosion risk assessment using an empirical model of Pacific Southwest Inter Agency's Committee method for the ZARGE watershed. *Journal of Spatial Hydrology*. 6(2), 105-120.
- [29] Suren, A. M., and McMurtrie, S. (2005). Assessing the effectiveness of enhancement activities in urban streams: II. Responses of invertebrate communities. *River research and Applications*, 21(4), 439-453.
- [30] Sutanto, S. J., and Ginting, S. (2009). Use of proposed reservoirs to reduce flood in Semarang City. In International Seminar on Climate Change Impacts on Water Ressources and Coastal Management in Developing Countries (pp. 1-10).
- [31] Tesema, T. A., and Leta, O. T. (2020). Sediment yield estimation and effect of management options on sediment yield of Kesem dam watershed, Awash Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 9, e00425.
- [32] Teymouri, M. Omrani, M. (2010). Evaluation of watershed management projects (Case study: Klidar watershed), Sixth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Noor, <https://civilica.com/doc/87654> (In Persian).

Assessment of the effect of watershed management operations on runoff and soil erosion (Case study: Nakhab Boshrouyeh basin)

- ❖ **S. Moazeni-Noghondar***; PhD Student in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
- ❖ **F. Alikhani**; Master student of Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
- ❖ **A. Hatami Yazd**; PhD in Irrigation and Drainage, Gozin Sazeh Toos Consulting Engineers Co., Mashhad, Iran

Abstract

Unprincipled exploitation of water and soil resources, while increasing the likelihood of floods and increasing the rate of sedimentation, has reduced agricultural products and losses of national capital. Due to the destruction of Nakhab watershed in recent years, watershed management operations have been carried out in this watershed. The purpose of this study is to investigate the role of operations in runoff and soil erosion control. For this purpose, HEC-HMS model was used to determine the rate of reduction of flood peak discharge and MPSIAC model was used to determine the rate of erosion and sediment change in both cases before and after the operation. According to the results, the implementation of operations increased the flood peak time by 60 and 30 minutes and also reduced the peak discharge by 54% and 28% for the return period of 2 and 100 years, respectively. In addition, if the reservoir of structures is filled with sediments, they still have a significant effect on increasing the peak discharge time and reducing the volume and peak discharge of flood. The results of erosion and sedimentation show that due to the implementation of operations, special erosion has decreased from 10.18 to 9.8 tons per hectare per year and special sedimentation of the watershed from 3.16 to 2.9 tons per hectare per year. Since the watershed is a complex system, it is suggested that in order to achieve sustainable development, integrated management of all resources and the policy approach should be considered as an unavoidable necessity.

Keywords: Effectiveness, Water and soil protection, runoff management, erosion and sediment control

