



ارائه الگوی اصلاحی - تکمیلی برنامه‌های آبخیزداری به منظور کاهش رسوب‌دهی در حوزه آبخیز هفتان تفرش

حشمت‌اله آقارضی: عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران

علی اکبر داوودی‌راد: دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، اراک، ایران

مهدی مردیان: دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران*

رضا بیات: عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳، صص: ۱۹۸-۱۸۷

چکیده

فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز باعث تضعیف پوشش اراضی و کاهش کمیت و کیفیت منابع آبی می‌شود. بنابراین ضرورت دارد که با شناسایی منابع تولید رسوب در مقیاس سطحی (دامنه) و خطی (آبراهه و رودخانه)، نوع و حجم عملیات آبخیزداری اصلاحی - تکمیلی به منظور کاهش فرسایش و رسوب‌دهی در مکان‌های بحران‌زا مشخص شود. هدف از تحقیق حاضر نیز ارزیابی توزیع مکانی برنامه‌های آبخیزداری اجرایی سال‌های ۷۴-۱۳۷۱ در حوزه آبخیز هفتان تفرش به منظور ارائه الگوی اصلاحی - تکمیلی این برنامه‌ها است. بدین منظور امتیاز عامل‌های مدل تجربی MPSIAC به کمک GIS برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری تعیین شد. سپس با مقایسه تغییر امتیاز عامل‌ها، اثرگذارترین برنامه‌های آبخیزداری مشخص گردید. همچنین با مقایسه تغییر مساحت کلاس‌های درجه رسوب‌دهی، ارزیابی از توزیع مکانی عملیات آبخیزداری انجام شد تا با تعیین نقاط ضعف پروژه، عملیات اصلاحی - تکمیلی پیشنهاد شود. نتایج تحقیق نشان داد امتیاز عامل فرسایش رودخانه-ای با ۳۰/۸ درصد، بیشترین تأثیر را در کاهش ۴/۱ درصدی رسوب‌دهی داشته است. همچنین از مساحت کلاس درجه رسوب‌دهی ۵۰-۷۵، مقدار ۸/۴ درصد کم شده است که عمدتاً این شدت رسوب‌دهی مربوط به اراضی بالادست حوضه است. با توجه به معنی‌دار بودن تغییرات رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها در سطح ۰/۰۵، نتایج حاکی از کارا بودن برنامه‌های آبخیزداری در کاهش رسوب‌دهی است. به منظور مدیریت منابع آب و خاک و اثرگذاری بیشتر برنامه‌های آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب حوزه آبخیز هفتان، الگوی اصلاحی - تکمیلی برنامه‌ها شامل بانکت توأم با بادامکاری در دامنه‌های بحرانی، بذرپاشی و کپه کاری در دامنه‌های با شیب تند و عمق کم خاک، تقویت پوشش گیاهی دامنه‌های مارنی و همچنین پایدارسازی کناره رودخانه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌های حفاظت خاک، ارزیابی توزیع مکانی، کاهش رسوب‌دهی، MPSIAC، حوزه آبخیز هفتان

مقدمه

زیست بوم‌های طبیعی تحت مدیریت انسان دارد. هر چند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته است،

فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی و تولید غذا در جهان است که اثر مخربی بر

عامل متناسب بودن سازه‌ها با ویژگی‌های آبخیز و تأثیر آنها در استقرار پوشش گیاهی بستگی دارد. Shieh و همکاران (۲۰۰۷) به منظور بررسی اثر احداث بندهای اصلاحی، نتیجه گرفتند که تأثیر احداث سازه بر ویژگی‌های جریان در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. Chekol و همکاران (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که برنامه‌های حفاظتی در مقیاس آبخیز می‌تواند منجر به کاهش رسوب در حدود ۱۰ تا ۷۲٪ شود که بیشترین تأثیر در مورد تراس‌های موازی است. همچنین نتایج تحقیقات Shi و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که اقدامات حفاظت خاک، تلفات خاک درون حوضه‌ای و بار رسوب را کاهش داده است، به طوری که نسبت تحویل رسوب از ۰/۴۵۴ به ۰/۲۹۵ کاهش یافته است. در ایران نیز در ۵۰ سال اخیر تنوع عملیات آبخیزداری در مقیاس سطحی (دامنه) و خطی (آبراهه و رودخانه) انجام گرفته است؛ اما غالباً به موضوع ارزیابی توزیع مکانی آنها کمتر توجه شده است. نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (۱۳۸۲) نشان داد که وضعیت پیشنهادی برنامه و نبود ارزیابی اقتصادی، از مهم‌ترین عوامل موثر در عمل‌کرد پروژه هستند. صادقی و همکاران (۱۳۸۴) با ارزیابی عمل‌کرد اقدامات آبخیزداری در منطقه کشار در حوزه آبخیز کن نشان دادند که تقلیل فراوانی سیل و گل‌آلودگی آب به ترتیب ۳/۹۰٪ و ۹۶٪ موثر بوده است. پاره‌کار (۱۳۹۱) با ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری انجام شده در سال ۱۳۷۰ شمسی در حوزه آبخیز بارده نتیجه گرفت که میزان رسوب ویژه به طور متوسط ۶/۳ درصد کاهش یافته است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۱) با ارزیابی اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز دژکرد استان فارس نتیجه گرفتند که با ایجاد تعاونی آبخیزداری و

ولی در سال‌های اخیر به دلیل کاربری نامناسب اراضی شدت یافته است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ به‌ویژه اینکه تغییرات اقلیمی و کاهش پیشرونده در نسبت منابع طبیعی به جمعیت انسانی بر این امر تأثیر گذاشته است. رسوبات معلق رودخانه به عنوان مهم‌ترین پیامد فرسایش خاک و انتقال مواد فرساینده به آبراهه‌ها محسوب می‌شود (قورقی و همکاران، ۱۳۹۱) که تغییرات آن در اکثر رودخانه‌ها در ارتباط با تغییرات زیست محیطی نظیر دخل و تصرف اراضی برای توسعه کشاورزی، احداث سدها، تغییر در مسیر رودخانه‌ها و سایر سیستم‌های انتقال آب است (نصری و همکاران، ۱۳۹۰؛ James، ۲۰۰۴؛ Walling، ۲۰۰۸). افزایش غلظت رسوب معلق می‌تواند بر جوامع و محیط زیست تأثیر منفی داشته باشد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کاهش تولیدات کشاورزی، کیفیت پایین‌تر آب، کاهش سطح آب مخازن، سیلاب و تخریب زیست بوم‌ها اشاره کرد (Mouri و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین با توجه به خسارات وارده ناشی از افزایش رسوب‌دهی رودخانه‌ها، برنامه‌های آبخیزداری در مقیاس سطحی (دامنه) و خطی (آبراهه) قابل اجرا هستند. در این میان، ارزیابی پروژه در قبل، حین و بعد از اجرا، با توجه به اهداف و اثرات محیطی طرح بر حوزه آبخیز و خارج از آن به منظور بررسی کارایی برنامه‌های آبخیزداری ضروری است (قدرتی، ۱۳۸۳). در کشورهای مختلف به ویژه در ایالات متحده آمریکا، ارزیابی عملکرد طرح‌های آبخیزداری در نیم قرن اخیر مورد توجه مدیران آبخیز بوده است. Satterland (۱۹۶۲)، Noble (۱۹۶۳)، Doty (۱۹۷۱) و Hall و Sworth (۱۹۸۷) در تحقیقات خود به این نکته اشاره دارند که موفقیت اقدامات آبخیزداری به دو

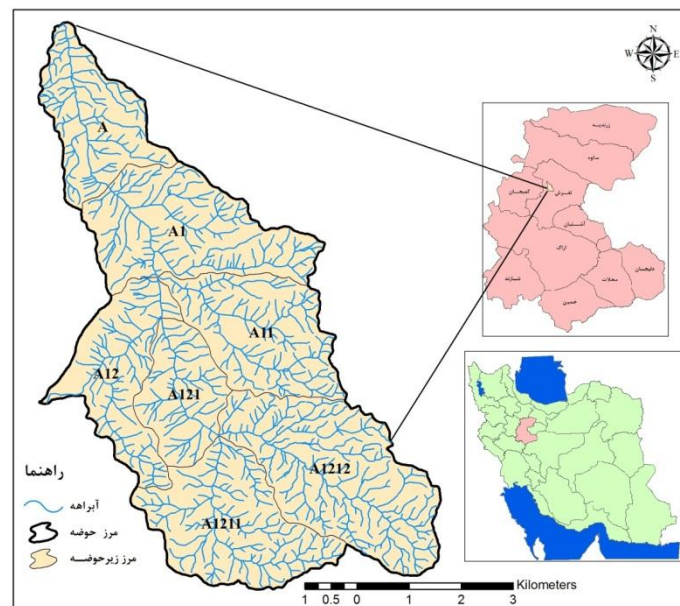
روش‌شناسی

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هفتان با مساحت ۴۰/۶۷ کیلومتر مربع، از نظر مختصات جغرافیایی در استان مرکزی و از لحاظ تقسیمات استانی در بخش مرکزی شهرستان تفرش قرار دارد. این حوضه یکی از سرشاخه‌های رودخانه قره‌چای است که با توجه به اتصال شبکه‌های جریان به هفت زیرحوضه تجمعی تقسیم شده است (شکل ۱). با توجه به داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تفرش (۲۰۱۰-۲۰۰۰)، متوسط بارندگی سالانه ۳۰۴ میلیمتر و دمای متوسط سالانه ۱۰/۶ درجه سانتیگراد است. بیشتر سطح حوضه از شیب بالای ۲۰ درصد برخوردار است که با توجه به نوع اقلیم، یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود. بیش از ۸۴ درصد حوضه مرتعی بوده که ۳۵ درصد آن توده سنگی و پر شیب است. با توجه به ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ فرمپین (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۸۵)، سنگ‌های مربوط به ائوسن بیشترین رخنمون را در منطقه مورد مطالعه دارند و بخش کمی نیز شامل مارن همراه با سنگ آهک ماسه‌ای، سنگ آهک مارنی، ماسه‌سنگ و شیل و همچنین آبرفت‌های کنار رودخانه‌ای است. در حوزه آبخیز هفتان تفرش در سال‌های ۷۴-۱۳۷۱ تنوعی از عملیات بیومکانیکی به اجرا در آمده است که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است.

اجرای فن‌آوری‌های متنوع حفاظت آب و خاک نظیر کشت درختان مثمر بادام و سیب به جای کشت دیم گندم و جو بر روی تپه‌های با شیب ۸ تا ۳۰ درصد، کنترل انواع فرسایش با روش‌های بیولوژیک و سازه-ای و همچنین توانمندسازی مردم روستایی از سال ۱۳۷۷، پروژه آبخیزداری از موفقیت قابل قبولی برخوردار شده است. از نظر پادیاب و فیض‌نیا (۱۳۹۱) نیز بایستی با شناسایی مناطق با واحدهای زمین‌شناسی حساس، عملیات حفاظتی را در این مناطق به اجرا در آورد.

با توجه به نتایج سوابق تحقیق، هدف بیشتر محققین بررسی اثر اقدامات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب و پتانسیل سیل‌خیزی در خروجی حوزه آبخیز بوده است. این در حالی است که ارزیابی توزیع مکانی عملیات آبخیزداری در بیشتر این تحقیقات نادیده گرفته شده است. با توجه به اینکه اجرای طرح‌های آبخیزداری مستلزم صرف مبالغ قابل توجهی اعتبار است، لذا بایستی این عملیات بر اساس اولویت‌بندی مناطق بحرانی از نظر شدت فرسایش به اجرا در آید. این شناسایی و اولویت‌بندی، ضمن تعیین ارائه الگوی اصلاحی - تکمیلی برنامه‌های آبخیزداری، منجر به مدیریت در هزینه و همچنین افزایش کارایی پروژه خواهد شد. در این تحقیق به منظور بررسی دقیق‌تر ارزیابی توزیع مکانی عملیات آبخیزداری، حوزه آبخیز هفتان انتخاب شد که به دلیل تنوع و تعدد عملیات اصلاحی در مقیاس دامنه و آبراهه و نیز عمر ۱۸ ساله پروژه، شرایط انجام تحقیق وجود دارد.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز هفتان و زیرحوضه‌های آن

جدول ۱. مشخصات عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز هفتان

نوع عملیات	تعداد/مساحت (هکتار)	زیرحوضه‌های اجرا شده
گابیون	۴۸	A1211-A1212-A121-A1-A
خشکه چین	۸۴	A1-A
بند خاکی	۸	A1211-A1212
سنگ و سیمان	۱۰	A121 -A
بانکت توأم با بادامکاری	۱۰۱	A1211-A1212-A1

جمع‌آوری داده‌های اولیه

اطلاعات اولیه حوزه آبخیز هفتان از گزارشات تفصیلی- اجرایی (مدیریت جهاد سازندگی استان مرکزی، ۱۳۷۱) و لایه‌های رقومی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی جمع‌آوری شد. با شناخت اجمالی از وضعیت برنامه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز هفتان، با بازدیدهای صحرائی و به کمک GPS، موقعیت عملیات آبخیزداری مورد بازبینی قرار گرفت.

برآورد فرسایش و رسوب قبل از عملیات

آبخیزداری

با توجه به اینکه هیچگونه داده مشاهده‌ای رسوب در منطقه ثبت نشده بود، به منظور برآورد فرسایش و رسوب در شرایط قبل از عملیات آبخیزداری، از مدل تجربی MPSIAC استفاده شد (رفاهی، ۱۳۷۸). در این تحقیق، ارزش‌گذاری عوامل نه‌گانه مدل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام گرفت. پس از رویهم‌گذاری لایه‌های نه‌گانه مدل MPSIAC، نقشه رسوب‌دهی

مقایسه برآوردهای مدل MPSIAC

با تهیه نقشه عامل‌های مدل MPSIAC و رسوب-دهی، مقایسه برآوردها در چند مرحله به شرح ذیل انجام شد:

- مقادیر توصیفی نقشه توزیعی هر یک از عامل‌ها در شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری استخراج شد و درصد اختلاف‌ها مقایسه گردید.

- مقادیر توصیفی نقشه رسوب‌دهی حوضه در شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری استخراج گردید و درصد اختلاف‌ها مقایسه شد.

- به منظور ارزیابی توزیع مکانی پروژه‌های آبخیزداری از نظر نوع و حجم عملیات، درصد تغییرات مساحت کلاس‌های مختلف درجه رسوب-دهی می‌تواند معیار خوبی باشد. بنابراین نقشه توزیعی مساحت کلاس‌های درجه رسوب‌دهی در شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری تهیه شد و با مقایسه درصد اختلاف‌ها مشخص شد که عملیات آبخیزداری در چه نواحی با چه مقدار از درجه رسوب‌دهی به اجرا درآمده‌اند.

- به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری تغییرات رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری، در نرم‌افزار SPSS پس از تست نرمالیتیه داده‌ها، از آزمون T-test زوجی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

در نهایت با توجه به مورفولوژی مناطق بحرانی از نظر شدت فرسایش، الگوهای اصلاحی - تکمیلی (مکانیکی، بیولوژیکی، مدیریتی و تلفیقی) به منظور کاهش فرسایش و رسوب‌دهی حوزه آبخیز هفتان ارائه گردید.

حوضه از طریق محاسبه درجه رسوب‌دهی هر پیکسل، طبق رابطه زیر تهیه شد.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad (1)$$

در این معادله Q_s مقدار رسوب‌دهی حوضه بر حسب تن بر هکتار، e عدد نپرین و R جمع عوامل نه گانه مدل (درجه رسوب‌دهی) است. پس از تهیه نقشه رسوب‌دهی، با استفاده از معادله نسبت تحویل رسوب (SDR)، مقدار فرسایش در سطح پیکسل‌های یک هکتاری محاسبه گردید. در اینجا برای تعیین درصد نسبت تحویل رسوب با توجه به عامل مساحت حوضه (A بر حسب مایل مربع) از رابطه زیر استفاده شد.

$$\text{Log (SDR)} = 1.8768 - 0.14191\log(10A) \quad (2)$$

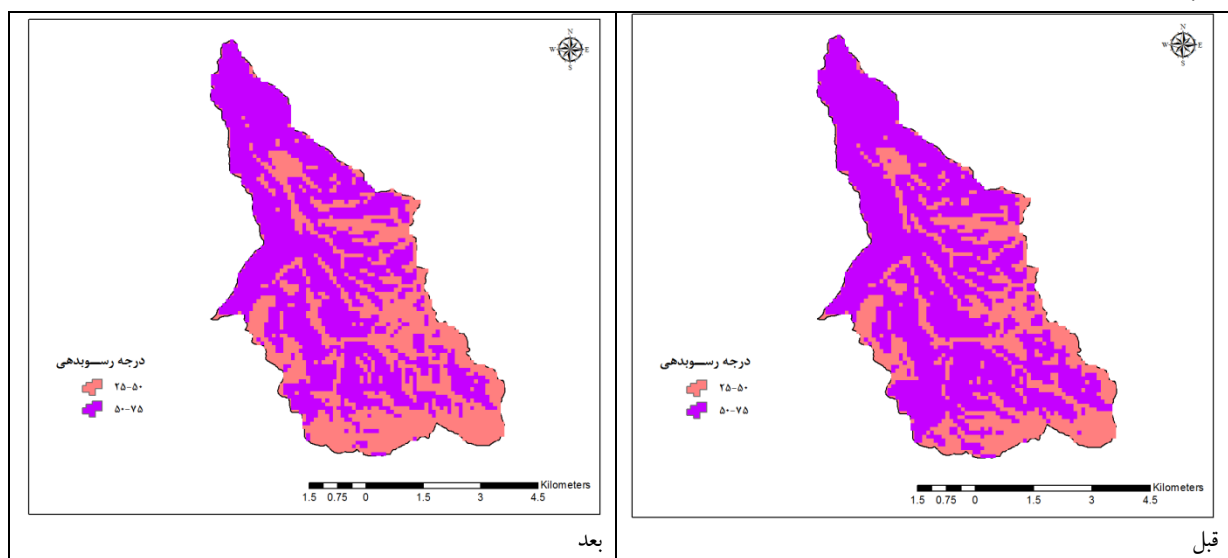
برآورد فرسایش و رسوب بعد از عملیات آبخیزداری

به منظور ارزیابی توزیع مکانی عملیات آبخیزداری بر تغییرات فرسایش و رسوب حوزه آبخیز هفتان، مقادیر فرسایش و رسوب برای شرایط بعد از عملیات آبخیزداری نیز برآورد شد. از آنجا که با اجرای عملیات آبخیزداری، وضعیت رواناب، پوشش زمین، کاربری اراضی، فرسایش سطحی و خندقی تغییر خواهند کرد، بنابراین لازم است تا امتیاز این عامل‌ها برای شرایط جدید به‌روز شوند. بدین منظور با بازدیدهای صحرائی و به کمک GPS و یادداشت موارد فنی، وضعیت پوشش گیاهی و شدت و اشکال فرسایش بازنگری شد و نقشه توزیعی عوامل مذکور در شرایط به‌روز شده تهیه گردید. سپس با تأثیر نقشه‌های به‌روز شده به‌جای نقشه‌های قبلی، مجدداً فرسایش و رسوب برآورد شد.

نتایج و بحث

مطابقت دارد. به‌طوری‌که عملیات بیومکانیکی تأثیرگذار بر دامنه، تنها در سطح ۱۰۱ هکتار از حوضه به اجرا در آمده است. با توجه به جدول ۲، مشخص شد که میانگین درجه رسوب‌دهی (جمع عوامل نه گانه) قبل از عملیات آبخیزداری برابر ۵۲/۷ است که بعد از عملیات آبخیزداری به مقدار ۵۱/۶ تغییر یافته است. این نتیجه نشان می‌دهد که در اثر اجرای عملیات آبخیزداری، میانگین امتیاز درجه رسوب‌دهی حوزه آبخیز هفتان ۲/۱ درصد کاهش یافته است

شکل ۲ نقشه درجه رسوب‌دهی و جدول ۲ تغییرات مقادیر عامل‌های مدل MPSIAC را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲، امتیاز عامل‌های پوشش زمین و کاربری اراضی به ترتیب با ۱/۱ و ۱/۸ درصد، کمترین تغییرات را داشتند. این در حالی است که بیشترین تغییرات با ۳۰/۸ درصد مربوط به عامل فرسایش رودخانه‌ای است. این نتایج کاملاً با نوع و حجم عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز هفتان



شکل ۲. نقشه توزیعی درجه رسوب‌دهی مدل MPSIAC قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

جدول ۲. تغییرات مقادیر پارامترهای برآوردی مدل MPSIAC

درصد تغییرات	بعد از عملیات آبخیزداری			قبل از عملیات آبخیزداری			پارامتر
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	
۶/۹	۲/۷	۹/۴	۱/۲	۲/۹	۱۰/۲	۱/۳	رواناب
۱/۱	۸/۶	۹/۶	۴/۱	۸/۷	۹/۶	۸/۲	پوشش زمین
۱/۶	۱۲/۳	۱۳	۶/۲	۱۲/۵	۱۳	۱۱/۸	کاربری اراضی
۸/۴	۶/۵	۹/۹	۵/۵	۷/۱	۹/۹	۹/۱	فرسایش سطحی
۳۰/۸	۰/۰۹	۴/۹	۰	۰/۱۳	۷	۰	فرسایش رودخانه‌ای
۲/۱	۵۱/۶	۷۰/۵	۳۲/۸	۵۲/۷	۷۴/۳	۴۱/۷	درجه رسوب‌دهی

از سطح این کلاس کم شود. با بررسی مقایسه‌ای این موضوع مشخص شد که درجه رسوبدهی حوزه آبخیز هفتان همچنان بر روی این دو کلاس متمرکز شده است؛ اما مساحت آنها تغییر کرده است. به طوری که از مساحت کلاس ۵۰-۷۵ به میزان ۸/۴ درصد کم شده است و سطح کلاس ۵۰-۲۵ از ۳۰/۹ درصد به ۳۹/۳ درصد افزایش یافته است.

در جدول ۳ تغییرات مساحت کلاس‌های درجه رسوبدهی آمده است. با توجه به جدول ۳ مشخص شد که قبل از عملیات آبخیزداری، حوزه آبخیز هفتان از نظر درجه رسوبدهی در دو کلاس ۵۰-۲۵ و ۷۵-۵۰ به ترتیب با ۳۰/۹ و ۶۹/۱ درصد قرار گرفته است. لذا با توجه به شدت و سطح فرسایش بالاتر در کلاس ۷۵-۵۰، بایستی عملیات آبخیزداری در مناطقی که این کلاس گسترش دارند، متمرکز شده باشد و در نهایت

جدول ۳. مساحت کلاس‌های رسوبدهی قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

تغییرات	مساحت		مساحت		درجه رسوبدهی
	بعد از عملیات آبخیزداری	مساحت	قبل از عملیات آبخیزداری	مساحت	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
-	-	-	-	-	<۲۵
+۸/۴	+۳۴۰	۳۹/۳	۱۵۹۷	۳۰/۹	۲۵-۵۰
-۸/۴	-۳۴۰	۶۰/۷	۲۴۷۰	۶۹/۱	۵۰-۷۵ کلاس
-	-	-	-	-	۷۵-۱۰۰
-	-	-	-	-	>۱۰۰

با توجه به معادله نسبت تحویل رسوب بر اساس عامل مساحت، مقدار SDR حوضه برابر ۳۶/۷ درصد است. بر این اساس، مقادیر رسوبدهی برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در جدول ۴ آمده است. نتایج مذکور نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری از نوع برنامه‌های حفاظتی در مقیاس‌های دامنه‌ای و خطی به‌خوبی در مناطق با خطر فرسایش‌پذیری بالا به اجرا درآمده‌اند، که منجر به آن شده تا میانگین رسوبدهی ویژه حوزه آبخیز هفتان ۴/۱ درصد کاهش یابد.

با توجه به جدول ۳، مساحت درجه رسوبدهی ۷۵-۵۰ قبل از عملیات آبخیزداری برابر ۲۸۱۰ هکتار است که فقط ۳/۶ درصد آن (۱۰۱ هکتار)، تحت عملیات بیومکانیکی قرار گرفته است. در این حال، بیشتر عملیات آبخیزداری حوضه مربوط به کنترل فرسایش‌های نوع خطی (آبراه‌های و رودخانه‌ای) است که در مجموع ۱۵۰ سازه از نوع گابیون، خشکه-چین، بندخاکی و سنگ و سیمان به اجرا در آمده است.

جدول ۴. مقادیر حد و میانگین رسوب‌دهی قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز هفتان

درصد تغییرات	بعد از عملیات آبخیزداری	قبل از عملیات آبخیزداری	رسوب‌دهی
-۲۸	۰/۸۲	۱/۱۴	حداقل رسوب‌دهی ویژه (تن بر هکتار)
-۱۲/۸	۳/۲۱	۳/۶۸	حداکثر رسوب‌دهی ویژه (تن بر هکتار)
-۴/۱	۱/۶۵	۱/۷۲	میانگین رسوب‌دهی ویژه (تن بر هکتار)
-۳/۶	۴/۵۱	۴/۶۸	میانگین فرسایش ویژه (تن بر هکتار)
-۴/۱	۶۷۱۰	۶۹۹۵	رسوب‌دهی کل (تن)

فرض دال بر تساوی میانگین‌ها رد می‌شود. بر این اساس، رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها بعد از عملیات آبخیزداری اختلاف معنی‌دار نسبت به شرایط قبل پیدا کرده است که کاهش رسوب‌دهی در محدوده ۰/۷۳۷ تا ۷/۸۱۵ درصد مشاهده می‌شود.

جدول ۵ متوسط رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها قبل و بعد از عملیات آبخیزداری را نشان می‌دهد. جدول ۶ نتایج آزمون T-test زوجی را به منظور مقایسه اختلاف معنی‌داری رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری بازگو می‌کند. با توجه به این که معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ است،

جدول ۵. متوسط رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

درصد تغییرات	رسوب‌دهی (تن در هکتار)		زیرحوضه
	بعد از عملیات آبخیزداری	قبل از عملیات آبخیزداری	
-۷/۸۱۵	۱/۴۹۸	۱/۶۲۵	A1211
-۳/۳۸۹	۱/۵۱۱	۱/۵۶۴	A1212
-۳/۴۴۴	۱/۷۳۸	۱/۸۰۰	A121
-۰/۷۳۷	۱/۷۵۱	۱/۷۶۴	A12
-۰/۷۴۲	۱/۶۰۵	۱/۶۱۷	A11
-۳/۸۶۱	۱/۷۱۸	۱/۷۸۷	A1
-۵/۱۳۸	۱/۹۵۷	۲/۰۶۳	A

جدول ۶. مقایسه اختلاف معنی‌داری رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها در شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

اختلافات زوجی		فاصله اطمینان ۹۵٪	آماره t	درجه آزادی	معنی‌داری		
میانگین	انحراف معیار					میانگین خطای انحراف معیار	حداکثر حداقل
۰/۰۶۳	۰/۰۴۳	۰/۰۱۶	۰/۰۲۳	۰/۱۰۳	۳/۸۷۰	۶	۰/۰۰۸

است اجرای پروژه‌های مکانیکی که هزینه‌بر نیز هستند، فقط در دامنه‌های با پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا انجام گیرد و در سایر دامنه‌ها برنامه‌ها معطوف به عملیات بیولوژیکی نظیر بذرپاشی و کپه‌کاری با مشارکت آبخیزنشینان باشد.

با توجه به اینکه بیشترین پتانسیل فرسایش‌پذیری واحدهای زمین‌شناسی مربوط به مارن مابین لایه‌ای شیل و آهک است، بایستی عملیات حفاظتی در سطح این دامنه‌ها فقط معطوف به کارهای بیولوژیکی و مدیریتی باشد و از اجرای برنامه‌هایی که منجر به تمرکز جریان - انحلال - خندق می‌شود، خودداری شود.

با توجه به تأثیر ۳۰/۸ درصدی بندهای اصلاحی، حفاظت و تعمیر آنها ضروری است. کما این که عملیات بیولوژیکی و مدیریتی نظیر تغییر الگوی کاربری از زراعی به باغی در اراضی مجاور رودخانه می‌تواند ضمن کاهش فرسایش کناری واحد آبرفتی و پایداری کناره رودخانه، به عنوان بافر برای سایر اهداف برنامه‌های زیست‌محیطی تلفی شود.

نتایج این تحقیق بیانگر کارایی قابل قبول برنامه‌های آبخیزداری در کاهش رسوب‌دهی حوزه آبخیز هفتان است، اما باید در نظر داشت که به دلیل ساختار سنگی ائوسن آذرین، پتانسیل رسوب‌دهی ذاتی اکثر واحدهای زمین‌شناسی حوضه بالا نیست و عوامل دیگر از جمله فعالیت‌های انسانی در تشدید فرسایش نقش دارند. بنابراین با توجه به نقش کلیدی آبخیزنشینان در برنامه‌های مدیریت اراضی، پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتر با در نظر گرفتن اهداف

با توجه به اینکه کاهش معنی‌دار رسوب‌دهی حوزه آبخیز هفتان بعد از عملیات آبخیزداری مشاهده می‌شود، می‌توان به کارایی قابل قبول برنامه‌های حفاظتی موجود اذعان داشت. کما اینکه در تحقیقات صادقی و همکاران (۱۳۸۴)، رحیمی و همکاران (۱۳۹۱)، Shieh و همکاران (۲۰۰۷) و Shi و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتیجه مذکور حاصل شده است. با این حال میانگین رسوب‌دهی ویژه حوزه آبخیز هفتان در حدود ۱/۴ درصد کاهش داشته است که با ارائه برنامه‌های تکمیلی، می‌توان فرسایش و رسوب‌دهی را به میزان بیشتری کاهش داد. تحقیقات Satterland (۱۹۶۲)، Noble (۱۹۶۳)، Doty (۱۹۷۱) و Hall و Sworth (۱۹۸۷) نیز به دقت و توجه در بررسی و انتخاب نوع برنامه‌های حفاظتی اشاره دارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج و مباحث، ارائه الگوی اصلاحی تکمیلی برنامه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز هفتان به منظور کاهش رسوب‌دهی در چند بند قابل بیان است.

از آنجا که عملیات بیومکانیکی اجرایی به‌خوبی در دامنه‌های با درجه رسوب‌دهی ۷۵-۵۰ به اجرا در آمده‌اند، اما این نوع برنامه‌ها فقط ۳/۶ درصد از دامنه‌های این کلاس را پوشش داده است. بنابراین لازم است عملیات حفاظتی همانند بانکت توأم با بادمکاری با حجم بیشتری به منظور کاهش فرسایش خاک بر روی دامنه‌های این کلاس از رسوب‌دهی انجام گیرد.

از آنجا که بیشتر سطح حوضه متعلق به واحدهای ائوسن آتشفشانی با رده مقاومتی متوسط است، لازم

صادقی، س ح ر، نور، ح، فضلی، س و ریسی، م ب. ۱۳۹۰. تخمین رسوب رگبار بر اساس متغیرهای بارش و رواناب در حوزه آبخیز آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس. مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه ۱۵۸-۱۴۹.

قدرتی، ع ر. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ارزیابی نتایج عملیات آبخیزداری در پشت سد سفیدرود. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۷۹ صفحه.

قورقی، ج ه، حبیب‌نژاد، م، وهاب‌زاده، ق، و خالدی درویشان، ع. ۱۳۹۱. کارآیی روش‌های مختلف تفکیک داده در افزایش دقت و صحت منحنی سنج رسوب؛ مطالعه موردی بخشی از حوزه آبخیز سفید رود. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۲، شماره ۷، صفحه ۹۷-۱۱۱.

محمدی گلرنگ، ب، مشایخی م و حبیبی، م. ۱۳۸۶. ارزیابی اقتصادی آبشکن‌های احداث شده بر روی رودخانه لار (استان تهران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۵، صفحه ۱۳۸-۱۱۴.

مدیریت آبخیزداری جهاد سازندگی استان مرکزی، ۱۳۷۱، گزارشات تفصیلی - اجرایی حوزه آبخیز هفتان.

نصری، م، فیض‌نیا، س، جعفری، م، احمدی، ح و سلطانی، س. ۱۳۹۰. بررسی آماری تغییرات رسوب معلق و تحلیل عوامل موثر (مطالعه موردی: ایستگاه مندرجان)، نشریه مرتع و

چندگانه در مدیریت جامع و یکپارچه حوزه آبخیز هفتان انجام گیرد.

منابع

احمدی، ح، نظری سامانی، ع ا، قدوسی، ج و اختصاصی، م ر. ۱۳۸۲. ارایه مدلی برای ارزیابی طرح‌های آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، شماره ۴، صفحه ۳۵۱-۳۳۷.

پادیاب، م و فیض‌نیا، س. ۱۳۹۱. تعیین نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوزه آبخیز بالادست عرصه پخش سیلاب گچساران در تولید رسوب. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، شماره ۴، صفحه ۴۸۲-۴۷۳.

پاره‌کار، م. ۱۳۹۱. ارزیابی تاثیر عملیات آبخیزداری در حوضه آبخیز بارده (چکیده). پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ثبت: ۴۱۹۸.

رحیمی، م، صوفی، م و احمدی، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی اقدامات آبخیزداری با استفاده از برنامه WOCAT در حوزه آبخیز دژکرد استان فارس، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۱، صفحه ۱۰-۱.

رفاهی، ح. ۱۳۷۸. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی. ۱۳۸۵. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، پهنه فرمپین.

صادقی، س ح ر، فروتن، ا و شریفی، ف. ۱۳۸۴. ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری به روش کیفی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز کن). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، صفحه ۴۷-۳۷.

- general circulation model climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 102:1-9.
- Noble, E. L. 1963. Sediment reduction through watershed rehabilitation. Interagency Sedimentation Conf. 29 P.U.S. Forest and Game.
- Satterland, J.B. 1962. Soil Conservation Service. 1962. Engineering field manual for conservation practices. Section 2-10.
- Shi, Z.H., Ai, L., Fang b, N.F. and Zhu, H.D. 2012. Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China. *Journal of Hydrology* 438-439:156-167.
- Shieh, Ch. L., Guh, Y.R., Wang, Sh. O. 2007. The application of range of variability approach to the assessment of a check dam on river in habitat alteration. *Environ Geol.* 52:427- 435.
- Walling, D. E. 2008. The changing sediment loads of the world's rivers. *Land Reclamation*, 39: 3-20.
- آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۴، شماره ۱، صفحه ۹۵-۱۰۶.
- Chekol, D.A., Tischbein, B., Eggers, H. and Vlek, P. 2007. Application of SWAT for assessment of spatial distribution of water resources and analyzing impact of different land management practices on soil erosion in Upper Awash River Basin watershed. *Catchment and Lake Research*, 110-117.
- Doty, R.D. 1971. Contour trenching effects on stream flow from a Utah watershed, USDA. Forest Service Res. Paper INT, 98. Int. Forest and Range Exp. Sta.
- Hall, E. and sworth, G. 1987. Anatomy, physiology and physiology of erosion. John Wiley & Sons. New York, N.V
- James, L.A. 2004. Decreasing sediment yields in northern California: vestiges of hydraulic gold-mining and reservoir trapping. *Sediment Transfer through the Fluvial System (Proceedings of the Moscow Symposium)*, IAHS Publ. 288, 10 p.
- Mouri, G., Golosov, V., Chalov, S., Takizawa, S., Oguma, K., Yoshimura, K., Shiiba, M., Hori, T. and Oki, T. 2013. Assessment of potential suspended sediment yield in Japan in the 21st century with reference to the

