

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۲۱۸-۱۹۹

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۷

ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبخیزداری بر میزان فرسایش و حمل رسوب در حوضه آبخیز سد سیوند، استان فارس

مراد دارابی^۱

حسین قره‌داغی*^۲

مسعود نجابت^۳

چکیده

هدف از تحقیق حاضر نیز ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری بیولوژیک، مدیریتی و سازه‌ای و تأثیر آن بر روی میزان کاهش فرسایش، رسوب و پارامترهای پوشش حفاظتی زمین در فاصله‌ی سال‌های اجرای ۱۳۸۰-۱۳۸۹ در حوضه آبخیز شهری خرمبید از سرشاخه‌های سد سیوند در استان فارس است. بدین منظور امتیاز عامل‌های مدل تجربی MPSIAC اصلاح شده به کمک نرم‌افزار GIS برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری بر روی دامنه و برداشت مستقیم رسوب پشت سازه‌ها تعیین شد. سپس با مقایسه‌ی تغییر امتیاز عامل‌ها، اثرگذارترین برنامه‌های آبخیزداری مشخص گردید. همچنین با مقایسه‌ی تغییر مساحت کلاس‌های رسوب‌دهی، ارزیابی تغییر کلاس‌ها نیز انجام شده است. نتایج تحقیق نشان داد امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و فرسایش سطحی به ترتیب ۳۰/۷۷ و ۳۰/۵۱ درصد بیشترین تأثیر و عامل پوشش زمین با ۱۵/۰۵ درصد کمترین تأثیر را در کاهش ۲۱/۹۷ درصدی رسوب‌دهی داشته است. همچنین مساحت کلاس درجه‌ی رسوب‌دهی ۷۵-۱۰۰، ۱۳۷۵ هکتار که معادل ۱۵/۷۸ درصد از مساحت حوضه می‌باشد و از نظر توزیع

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری از دانشگاه ارسنجان شیراز، شیراز، ایران.

۲- استادیار دانشگاه ارسنجان شیراز، شیراز، ایران. (نویسنده‌ی مسئول).

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شیراز، شیراز، ایران.

مکانی در خروجی حوضه واقع شده که به کلاس ۵۰-۷۵ تغییر کرده است. کلاس درجه‌ی رسوبدهی ۵۰-۷۵، ۷۳۳۹ هکتار ۸۴/۲۲ درصد بوده است که با ۲۸/۰۹ درصد کاهش داشته و به کلاس پایین‌تر ۲۵-۵۰ تغییر پیدا کرده است. با توجه به معنی‌دار بودن تغییرات رسوبدهی زیرحوضه‌ها در سطح ۰/۰۵، نتایج حاکی از کارا بودن پروژه‌های آبخیزداری در کاهش رسوبدهی است. به منظور مدیریت منابع آب و خاک و اثرگذاری بیشتر عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب و افزایش لایه‌ی پوششی زمین در حوضه‌ی آبخیز خرمبید، از تلفیق برنامه‌های بیولوژیک و سازه‌ای و علاج بخشی عملیات سازه‌ای اجراء شده در حوضه اقدام گردد.

کلمات کلیدی: آبخیزداری، پوشش حفاظتی زمین، فرسایش، رسوبدهی.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به شمار می‌رود (رحمان و همکاران^۱، ۲۰۰۹: ۱۷۲۴). با بررسی تأثیر قرق بر شاخص‌های عملکرد خاک در مراتع فریدون‌شهر استان اصفهان که نتیجه آن افزایش عملکرد اکوسیستم و کاهش فرسایش و تولید رسوب می‌باشد (ملائی رنایی، ۱۳۸۹: ۶). در بررسی پروژه‌های اصلاح مراتع در خوزستان به این نتیجه دست یافتند که بعداز عملیات‌های مدیریتی مثل قرق، پروژه‌های ذخیره‌ی نزولات بهترین بازده به منظور افزایش تولید و درصد پوشش گیاهی داشته‌اند (جوادی و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۲۸۳). با بررسی عملیات اجراء شده مکانیکی و بیولوژیکی که نتایج بیانگر افزایش پوشش گیاهی یا همان لایه‌ی حفاظتی و کاهش مقدار فرسایش و رسوب در خروجی حوضه گردیده است (تیموری، ۱۳۸۹: ۵). با بررسی نقش عملیات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و رسوب خروجی از شبکه در

1- Rahman et al.,

2- Javadi et al.,

حوضه‌ی چهل‌گزی به نتایجی رسیدن که رسوب خروجی قبل از اجرای عملیات آبخیزداری ۶۷ تن در روز و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری ۴۰ تن در روز، کاهش پدید کرده است (خالدیان، ۱۳۸۹: ۱). همچنین نتایج تحقیق نشان داد که اقدامات حفاظت خاک، تلفات خاک درون حوضه‌ای و بار رسوب را کاهش داده است، به طوری که نسبت تحویل رسوب از ۴۵۴/ به ۲۹۵/ کاهش یافته است (شی و همکاران، ۲۰۱۲). با ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری انجام شده در حوضه‌ی آبخیز بارده نتیجه گرفت که میزان رسوب ویژه به طور متوسط ۶/۳ درصد کاهش یافته است (روغنی، ۱۳۹۱: چکیده). در بررسی حاصل از ارزیابی اقدامات بیولوژیک، سبب افزایش تولید علوفه، چوب، افزایش فرصت‌های تفریحی، کاهش واناب سطحی، بهبود پوشش زمین، کاهش تلفات خاک، افزایش تنوع گیاهی و کاهش سرعت باد به مقدار قابل توجه گردیده است (سلمانیپور، ۱۳۹۲: ۱۱). نتایج اثرات آبخیزداری ضمن افزایش نسبی تولید علوفه و پوشش گیاهی مرتع، در کنترل قابل توجه در مقدار فرسایش و رسوب اثرات بسزایی خواهد داشت (اعظمی راد، ۱۳۹۲: ۱۲). از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در رابطه با تغییرات زمین و چگونگی استفاده از آن و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (فنگ و همکاران^۲، ۲۰۱۰: ۲۳۹) و (کاملیودین و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۴۵۶۷). با مطالعه‌ی میکروکچمنت‌ها در آلمان پوشش گیاهی افزایش و رسوب و فرسایش کاهش چشمگیری داشته است (آکرمان و همکارانش^۴، ۲۰۱۲). در بررسی الگوی اصلاحی-تکمیلی برنامه‌های آبخیزداری به منظور کاهش رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز هفتان تفرش در استان اراک به نتایج خوبی دست یافته که عبارتند از: در این تحقیق مشخص شد که میانگین درجه‌ی رسوب‌دهی (جمع عوامل نه گانه) قبل از

1- Shi et al.,

2- Feng et al.,

3- Kamaludin et al.,

4- Achermann et al.,

عملیات آبخیزداری به مقدار ۵۲/۷ است که بعد از عملیات آبخیزداری به مقدار ۵۰/۶ تغییر یافته است. عملیات آبخیزداری در مقیاس خطی و دامنه‌ای در حوضه‌ی منجر به آن شد تا میانگین رسوبدهی ویژه‌ی آبخیز هفتان ۴/۱ درصد کاهش یابد (آقارزی، ۱۳۹۵: ۱۸۷). و افراد دیگری از جمله: (نوحه‌گر، ۱۳۹۵: ۱۱۶) و (نورانی، ۱۳۹۶: ۱۰۱) در این زمینه کار کرده‌اند. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر عملیات مدیریتی، بیولوژیک و سازه‌ای در حوضه‌ی آبخیز خرمی بر خصوصیات لایه‌ی زمین، فرسایش و رسوب خروجی از شبکه‌ی هیدورگرافی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

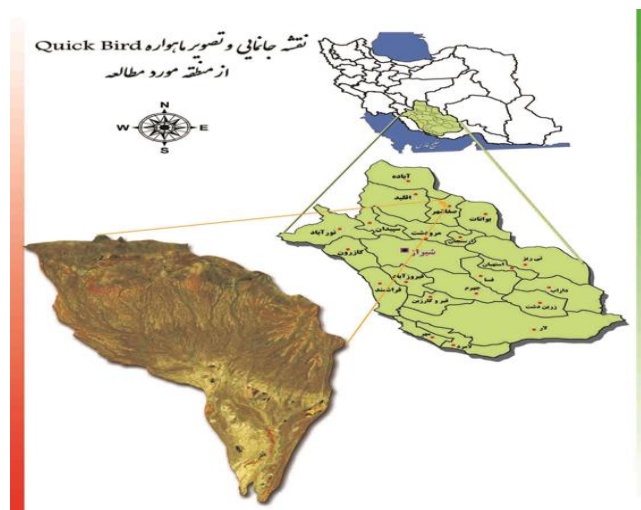
ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی طرح دارای وسعت ۸۸/۷ کیلومتر مربع بوده و بخشی از حوضه‌ی آبخیز سد سیوند است. این محدوده دارای طول جغرافیایی "۵۸ ۵۳°۲' الی "۵۶ ۵۳°۱۰' و عرض جغرافیایی '۳۵°۳۰ و "۸'۴۴°۳۰ است. از نظر تقسیمات کشوری این محدوده در استان فارس، شهرستان خرمبید، بخش مرکزی، دهستان فنقری قرار دارد. در این محدوده ۱۷ آبادی موجود بوده که جزء مزارع موسمی (فصلی) محسوب می‌گردند. این مزارع عمدتاً محل فعالیت‌های کشاورزی بوده و به دلیل عوامل آب و هوایی و عدم استقرار امکانات زیربنایی و رفاهی فاقد جمعیت ساکن دائمی است. متوسط بارندگی منطقه ۲۲۸ میلی‌متر و اقلیم منطقه‌ی نیمه خشک است. حوضه‌ی شهری خرمبید به ۱۲ زیرحوضه کوچک‌تر که در محدوده‌ی مورد مطالعه ۳ آبراهه اصلی به نام‌های A، B و C وجود دارد که در بالادست شهر خرمی به یکدیگر پیوسته و از میان شهر عبور می‌نمایند. از نظر زمین‌شناسی در زون ساختارهای پیچیده همراه با سنگ‌های دگرگونی قرار گرفته است. در حوضه‌ی آبخیز خرمبید در استان فارس می‌باشد تنوعی از کارهای آبخیزداری در فاصله سالهای ۱۳۸۱-۱۳۸۹ به اجرا درآمده است که مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است. شکل (۱) موقعیت حوضه را در

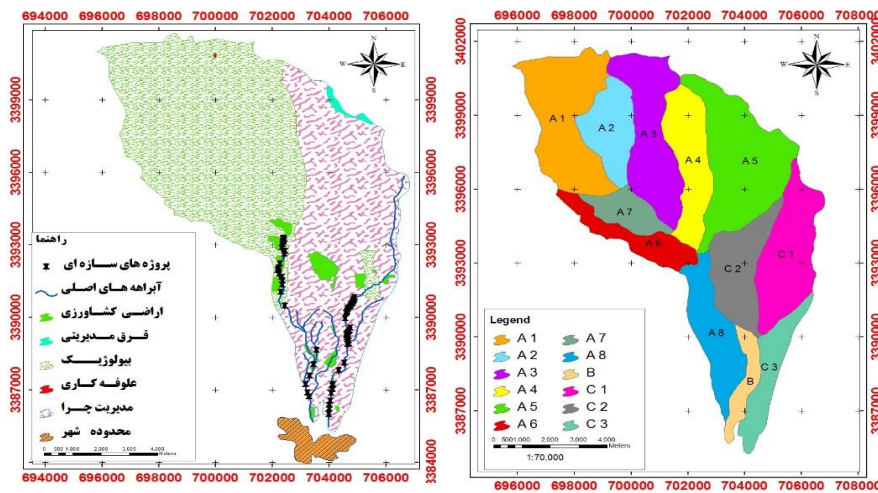
استان و کشور نشان می‌دهد. شکل (۲) تقسیمات زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۳) پروژه‌های مدیریتی و بیولوژیک و سازه‌ای اجرا شده در حوضه را نشان می‌دهد.

جدول (۱) مشخصات عملیات آبخیزداری در حوضه آبخیز خرمبید

ردیف	نوع پروژه	تعداد/مساحت (هکتار)	زیر حوضه های اجزا شده
۱	قرق مدیریتی	۲۵۶۸	A1,A3,A4,A6,A8
۲	بذرپاشی و قرق دوساله	۱۸۰۰	A1,A2
۳	کپه‌کاری و قرق دوساله	۳۶۰	A1,A2,A6,A7
۴	علوفه‌کاری دیم	۶	A2
۵	خشکه چین	۳۳	A8,C1,C3
۶	گابیون توریسنگی	۱۳	A8
۷	گابیون PVC	۵	C3
۸	سنگی و ملاتی	۷	A8,C1,C3
۹	بند خاکی	۳	A8,C3



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبخیز خرمبید در سرشاخه‌ی سد سیوند در استان فارس



شکل (۳) پروژه‌های اجراء شده در حوضه‌ی خرمبید

شکل (۲) زیرحوضه‌های خرمبید

روش

الف- روش جمع‌آوری اولیه

اطلاعات اولیه حوضه‌ی آبخیز شهری خرمبید از سرشاخه‌های سد سیوند از گزارشات تفصیلی اجرایی (اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، ۱۳۸۰) جمع‌آوری شد.

ب- برآورد پارامترهای لایه پوششی زمین، فرسایش و رسوب قبل از اجرای پروژه‌های آبخیزداری

اطلاعات مربوط به پارامترهای پوشش گیاهی و مقادیر فرسایش و رسوب قبل از اجرای پروژه‌های آبخیزداری در گزارشات تفصیلی و اجرایی وجود داشت که برای ارزیابی از همان اطلاعات استفاده شد.

ج- برآورد پارامترهای لایه‌ی پوششی زمین، فرسایش و رسوب بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

در مرحله‌ی نخست نقشه‌ی تیپ‌بندی پوشش گیاهی تهیه شد و برداشت پارامترهای پوشش گیاهی در پلات‌های که مکان جغرافیایی آنها مشخص به عبارت بهتری مختصات و محل پلات‌ها در مطالعات تقضیلی مشخص شده بود. با داشتن مختصات مکانی پلات‌ها اندازه‌گیری پارامترهای پوشش گیاهی بعد از اجرای پروژه‌ها انجام شد. با داشتن مختصات هر پلات، پارامترها، اندازه‌گیری و برداشت شدند که در این برداشت‌ها در داخل هر پلات فهرست گونه‌های موجود، درصد تاج پوشش، تولید، تراکم گونه‌های غالب اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری تولید علوفه از روش قطع و توزین استفاده شد، به طوری که در پلات‌های مستقر شده، گراس‌ها از یک سانتی‌متری سطح خاک، فورب‌ها از یقه و برای بوته‌ای‌ها قسمت‌های رشد همان سال برداشت و در پاکت‌های کاغذی جمع‌آوری شد و در دفترکار وزن تر گونه‌ها به تفکیک اندازه‌گیری و اطلاعات مربوطه ثبت گردید و بعد از خشک شدن علوفه‌ها دوباره علوفه‌ی خشک گونه‌ها اندازه‌گیری و بر اساس فرم رویشی گیاهان، تولید علوفه هر پلات براساس جمع تولید کلیه‌ی گونه‌ها بر حسب گرم در مترمربع و نهایتاً تولید در هکتار محاسبه شد. برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی در بوته‌ای‌ها از روش اندازه‌گیری واقعی و در فورب‌ها و گراس‌ها از روش تخمینی و برای اندازه‌گیری خاک لخت، سنگ و سنگریزه و درصد لاشبرگ از روش تخمینی استفاده شد و برای تعیین تراکم گونه‌های غالب و زادآوری از شمارش گونه‌ها در پلات ۲ متر مربعی و نهایتاً محاسبه در هکتار انجام گردید. ذکر این نکته ضروری است که یکی از آیت‌های تأثیر گذار در برآورد فرسایش و رسوب دانستن پارامترهای پوشش زمین می‌باشد که به روش ذکر شده در بالا اندازه‌گیری و در محاسبات وارد شده است. برای تعیین مقدار فرسایش و رسوب خروجی از شبکه در حوضه‌ی آبخیز

شهری خرمبید بایستی مقدار فرسایش و رسوب بر روی دامنه و رسوب کنترل شده در آبراهه یا در پشت سازه‌ها محاسبه می‌شد. برای مشخص شدن رسوب به تله افتاده شده در پشت سازه‌ها در گام اول تمامی سازه‌های اجرا شده در زیرحوضه‌های مورد نظر با استفاده از دستگاه GPS، جانمایی، نوع، جنس سازه و نقشه‌ی مکانی آنها تهیه شده است. در مرحله‌ی دوم با تهیه‌ی فرم‌های مخصوص با استفاده از دستگاه شیب‌سنج و متر به ترتیب شیب آبراهه، ارتفاع سرریز، طول مخزن، عرض آبراهه، حجم مخزن و حجم پرشده از رسوب برداشت شده است. به منظور برآورد فرسایش و رسوب بر روی دامنه در شرایط بعد از اجرایی عملیات آبخیزداری، از مدل تجربی MPSIAC اصلاح شده استفاده شد (رفاهی، ۱۳۸۸). در این تحقیق، ارزش‌گذاری عوامل نه‌گانه مدل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام گرفت. پس از تلفیق و روی هم‌اندازی لایه‌های نه‌گانه‌ی مدل MPSIAC، نقشه واحدهای همگن تهیه و از طریق برآورد و محاسبه امتیازات عوامل نه‌گانه‌ی درجه‌ی رسوبدهی هر واحد همگن طبق رابطه‌ی (۱) استخراج شد.

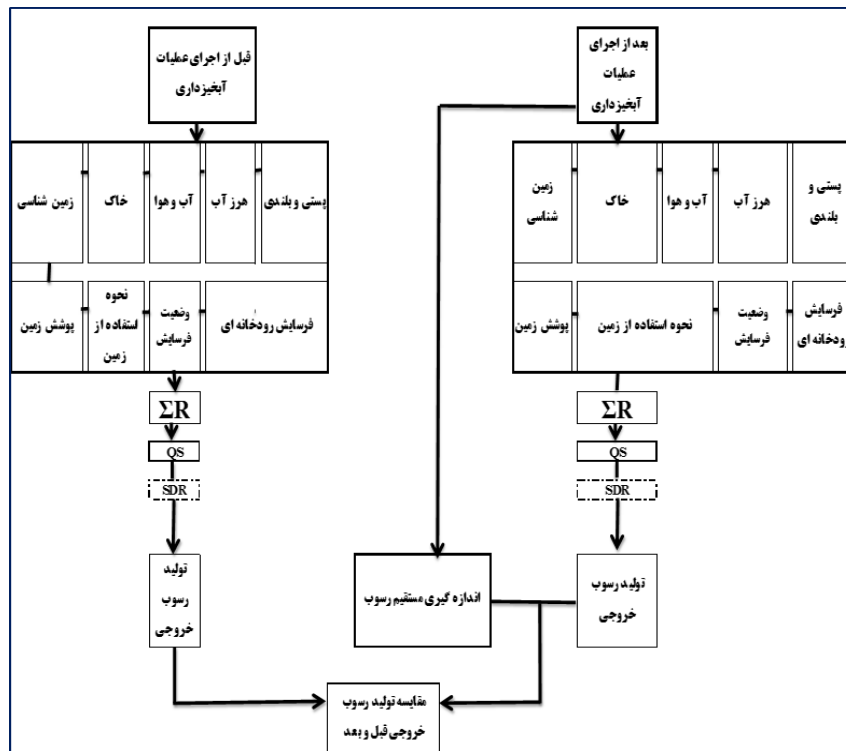
$$Q_s = \frac{e^{0.036R}}{253} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در این معادله Q_s مقدار رسوبدهی حوضه برحسب تن درهکتار، e عدد نپرین و R جمع عوامل نه‌گانه مدل (درجه رسوبدهی) است. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی رسوبدهی، با استفاده از معادله نسبت تحویل رسوب (SDR)، مقدار فرسایش در سطح واحد همگن محاسبه گردید. در اینجا برای تعیین درصد نسبت تحویل رسوب با توجه به عامل مساحت حوضه (A بر حسب مایل مربع) از رابطه (۲) استفاده شد.

$$\text{Log SDR} = 1.8768 - 0.14191 \log(10A) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری تغییرات رسوبدهی زیرحوضه‌ها برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری، در نرم‌افزار spss پس از تست نرمالیت داده‌ها، از

آزمون T-test زوجی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. شکل (۴) نمودار جریان جریانی



شکل (۴) نمودار جریان روش تحقیق

بحث و نتایج

الف) پوشش گیاهی

با توجه به این موضوع که یکی از پارامترهای تأثیرگذار در مدل کردن فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC اصلاح شده تغییرات لایه‌ی پوششی زمین می‌باشد. نتایج پارامترها به تفکیک (۵ تیپ گیاهی) در جداول (۶ تا ۲) ارائه شده

است که در این جداول پارامترهای تاج پوشش زنده، خاک لخت، لاشبرگ، سنگریزه، حفاظت خاک به درصد و تولید به کیلوگرم و تراکم به واحد پایه در هکتار قبل و بعد از اجرای پروژه‌های آبخیزداری مورد ارزیابی قرار گرفت و درصد تغییرات کل در حوضه‌ی مورد تحقیق از نظر درصد تاج پوشش زنده با استفاده از روش میانگین وزنی از $33/8$ به $50/28$ درصد افزایش داشته است که یکی از عوامل تأثیرگذار در فرسایش و رسوب است.

جدول (۲) مقایسه پارامترهای اندازه گیری شده در دو مرحله قبل و بعد از اجراء در تیپ I

شرح پارمترها	واحد	قبل از اجراء	بعد از اجراء	درصد تغییرات
تاج پوشش	درصد	۱۴	۱۲/۶۴	-۹/۷
خاک لخت	درصد	۶۵	۶۶/۵	-۲/۲۵
لاشبرگ	درصد	۴	۲/۶۵	-۳۳/۷۵
سنگ و سنگریزه	درصد	۱۷	۱۸/۲۱	+۷/۱۱
حفاظت خاک	درصد	۳۵	۳۳/۵	-۴/۲۸
تولید بالفعل	کیلوگرم	۷۸	۵۰/۷	-۳۵
تراکم	پایه در هکتار	۴۵۰۰	۴۰۰۰	-۱۱/۱۱

جدول (۳) مقایسه پارامترهای اندازه گیری شده در دو مرحله قبل و بعد از اجراء در تیپ II

شرح پارمترها	واحد	قبل از اجراء	بعد از اجراء	درصد تغییرات
تاج پوشش	درصد	۱۹	۲۶	+۳۶/۸۴
خاک لخت	درصد	۶۸	۶۲	+۹/۶۷
لاشبرگ	درصد	۳	۴	+۳۳/۳۳
سنگ و سنگریزه	درصد	۱۰	۸	-۲۰
حفاظت خاک	درصد	۳۲	۳۸	+۱۸/۷۵
تولید بالفعل	کیلوگرم	۱۰۴	۱۱۵	+۱۰/۵۷
تراکم	پایه در هکتار	۶۸۷۰	۷۹۹۹	۱۶/۴۳

جدول (۴) مقایسه‌ی پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو مرحله‌ی قبل و بعد از اجراء در تیپ III

تغییرات	بعد از اجراء	قبل از اجراء	واحد	شرح پارمترها
+۳۷/۵	۳۳	۲۴	درصد	تاج پوشش
+۹/۸	۵۱	۵۶	درصد	خاک لخت
+۱۰۰	۶	۳	درصد	لاشبرگ
-۴۱/۱۷	۱۰	۱۷	درصد	سنگ و سنگریزه
+۱۱/۳۶	۴۹	۴۴	درصد	حفاظت خاک
+۲۰/۹۳	۱۵۶	۱۲۹	کیلوگرم	تولید بالفعل
+۲۰/۸۳	۷۱۰۵	۵۸۸۰	پایه در هکتار	تراکم

جدول (۵) مقایسه‌ی پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو مرحله‌ی قبل و بعد از اجراء در تیپ IV

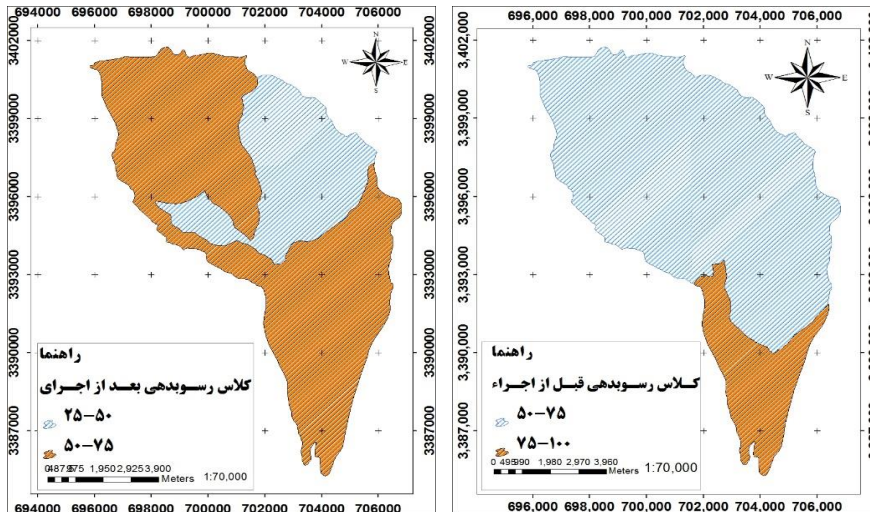
درصد تغییرات	بعد از اجراء	قبل از اجراء	واحد	شرح پارمترها
+۵۲/۹۴	۵۲	۳۴	درصد	تاج پوشش
+۳۱/۲۵	۳۲	۴۲	درصد	خاک لخت
+۲۵	۱۰	۸	درصد	لاشبرگ
-۶۲/۵	۶	۱۶	درصد	سنگ و سنگریزه
+۱۷/۲۴	۶۸	۵۸	درصد	حفاظت خاک
+۲۴	۲۵۸	۲۰۸	کیلوگرم	تولید بالفعل
+۱۵/۵۳	۸۶۶۵	۷۵۰۰	پایه در هکتار	تراکم

جدول (۶) مقایسه‌ی پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو مرحله‌ی قبل و بعد از اجراء در تیپ V

درصد تغییرات	بعد از اجراء	قبل از اجراء	واحد	شرح پارمترها
+۷۰	۱۷	۱۰	درصد	تاج پوشش
+۱۶/۴۳	۷۳	۸۵	درصد	خاک لخت
+۲۵	۲/۵	۲	درصد	لاشبرگ
-۶/۲۵	۷/۵	۸	درصد	سنگ و سنگریزه
+۳۵	۲۷	۲۰	درصد	حفاظت خاک
+۳۲/۵۵	۵۷	۴۳	کیلوگرم	تولید بالفعل
+۳/۱۷	۳۲۵۰	۳۱۵۰	پایه در هکتار	تراکم

ب) فرسایش و رسوب

شکل (۵) نقشه‌ی درجه‌ی رسوبدهی را قبل و بعد از عملیات آبخیزداری و جدول (۷) تغییرات مقادیر عامل‌های مدل MPSIAC را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، امتیاز عامل‌های پوشش زمین و کاربری اراضی به ترتیب ۱۵/۰۵ و ۱۹/۸۶ درصد، تغییرات نسبتاً قابل ملاحظه‌ای را داشتند. این در حالی است که بیشترین تغییرات با ۳۰/۷۷ و ۳۰/۵۱ درصد مربوط به عوامل فرسایش رودخانه‌ای و سطحی است. این نتایج کاملاً با نوع و حجم عملیات آبخیزداری که تلفیقی از بیولوژیک و سازه‌ای است در حوضه‌ی آبخیز خرمبید مطابقت دارد. از طرف دیگر حجم عملیات بیولوژیک تأثیرگذار بر روی دامنه که سبب کاهش فرسایش‌پذیری خاک و رواناب در جدول، شده است ۴۷۳۸ هکتار که ۵۷/۷۹ درصد از کل عملیات بیولوژیک پیش‌بینی شده در مطالعات تفصیلی بوده است.



شکل (۶) کلاس رسوبدهی بعد از عملیات آبخیزداری

شکل (۵) کلاس رسوبدهی قبل از عملیات آبخیزداری

جدول (۷) تغییرات مقادیر پارامترهای برآوردی مدل MPSIAC

پارامتر	قبل از عملیات آبخیزداری			بعد از عملیات آبخیزداری			درجه تغییرات
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	
فرسایش پذیری خاک	۵/۸	۷/۵	۷/۲	۵	۶/۷	۵/۵	۲۳/۶۱
رواناب	۱/۸	۸/۸	۳/۱	۱/۳	۵/۸	۲/۳	۲۵/۸۱
پوشش زمین	۸	۱۳/۱	۹/۳	۶/۳	۱۲/۱	۷/۹	۱۵/۰۵
کاربری اراضی	۱۳/۲	۱۶/۲	۱۴/۱	۹/۶	۱۵/۲	۱۱/۳	۱۹/۸۶
فرسایش سطحی	۱۱/۱	۱۳/۱	۱۱/۸	۷/۸	۹/۱	۸/۲	۳۰/۵۱
فرسایش رودخانه‌ای	۹/۲	۱۴/۵	۱۰/۴	۶/۳	۸/۹	۷/۲	۳۰/۷۷
درجه‌ی رسوبدهی	۸/۳۶	۷۹/۹	۶۶	۴۷/۱	۶۳	۵۱/۵	۲۱/۹۷

در جدول (۸) تغییرات مساحت درجه‌ی رسوبدهی آمده است. در جدول، قبل از عملیات آبخیزداری درجه‌ی رسوبدهی در دو کلاس ۷۵-۱۰۰ و ۵۰-۷۵ به ترتیب با ۱۵/۷۸ و ۸۴/۲۲ درصد قرار گرفته است. با توجه به نقشه‌ی کلاس رسوبدهی، درجه‌ی رسوبدهی ۷۵-۱۰۰ در خروجی حوضه واقع شده است که تمرکز عملیات سازه‌های آبخیزداری گسترش بیشتری نسبت به عملیات آبخیزداری بیولوژیک دارد و در نتیجه این کلاس با کاهش درجه‌ی رسوبدهی با مساحت ۱۳۷۵ هکتار به کلاس ۷۵-۵۰ بعد از عملیات آبخیزداری در حوضه‌ی خرمبید تغییر کرده است. در کلاس ۷۵-۵۰ که قبل از اجرای عملیات آبخیزداری ۷۳۳۹ هکتار را در بر گرفته است با اجرای کارهای بیولوژیک که در این قسمت گسترش و تمرکز داشته است ۲۴۴۷ هکتار از این کلاس به کلاس پایین تر ۲۵-۵۰ تغییر یافته است. به طوری که ۱۵/۷۸ درصد کلاس ۷۵-۱۰۰ قبل از اجرا به صفر درصد بعد از اجرا تقلیل داشته و ۸۴/۲۲ درصد کلاس ۷۵-۵۰ به ۷۱/۹۱ درصد کاهش داشته است. براساس شکل (۵) در کلاس ۷۵-۱۰۰، ۶۱ سازه شامل سازه‌های خشکه‌چین، گابیون توریسنگی، گابیون پلاستیک، سنگی و ملاتی و سه مورد بند خاکی و در کلاس ۷۵-۵۰، ۴۷۳۸ هکتار

عملیات بیولوژیک که پروژه‌های سازه‌ای فرسایش خطی و پروژه‌های بیولوژیک میزان فرسایش و کنترل رسوب را در روی دامنه کنترل و مهار کرده‌اند. با توجه به معادله نسبت تحویل رسوب بر اساس عامل مساحت، مقدار SDR حوضه برابر $33/03$ درصد است. بر این اساس، مقادیر رسوبدهی برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در جدول (۹) آمده است. نتایج مذکور نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری از نوع تلفیقی برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی و بیولوژیک در مقیاس دامنه‌ای و آبراه‌های (سازه‌ای) به خوبی در حوضه به اجرا درآمده‌اند، که منجر به آن شده تا میانگین رسوبدهی ویژه‌ی حوضه‌ی آبخیز خرمبید به میزان $39/42$ درصد کاهش دهد.

جدول (۸) مساحت کلاس‌های رسوبدهی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

کلاس رسوبدهی و فرسایش	نمرات نشان دهنده شدت رسوبدهی	مساحت قبل عملیات آبخیزداری		مساحت بعد عملیات آبخیزداری		تغییرات
		هکتار	درصد	هکتار	درصد	
I	۰-۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
II	۲۵-۵۰	۰	۰	۲۴۴۷	۲۸/۰۹	۲۸/۰۹
III	۵۰-۷۵	۷۳۳۹	۸۴/۲۲	۶۲۶۷	۷۱/۹۱	-۱۲/۳
IV	۷۵-۱۰۰	۱۳۷۵	۱۵/۷۸	۰	۰	-۱۵/۷۸
V	<۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول (۹) مقادیر حد و میانگین رسوبدهی قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در حوضه‌ی آبخیز خرمبید

رسوبدهی	قبل از عملیات آبخیزداری	بعد از عملیات آبخیزداری	درصد تغییرات
حداقل رسوبدهی ویژه (تن در هکتار)	۲/۵۱	۱/۳۸	-۴۵/۰۲
حداکثر رسوبدهی ویژه (تن در هکتار)	۴/۴۸	۲/۴۹	-۴۴/۴۲
میانگین رسوبدهی ویژه (تن در هکتار)	۲/۷۳	۱/۶۵	-۳۹/۵۶
میانگین فرسایش ویژه (تن در هکتار)	۸/۲۵	۴/۹۹	-۳۹/۳۹
رسوبدهی کل (تن)	۲۳۷۵۵	۱۴۳۹۰	-۳۹/۴۲

جدول (۱۰) متوسط رسوبدهی زیرحوضه‌ها قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

درصد تغییرات	رسوبدهی (تن در هکتار)		زیرحوضه‌ها
	بعد از عملیات آبخیزداری	قبل از عملیات آبخیزداری	
-۴۲/۴۵	۱/۶۷	۲/۹۱	A1
-۳۴/۹۷	۱/۶۳	۲/۵۱	A2
-۴۴/۳۰	۱/۶	۲/۸۷	A3
-۵۲/۶۴	۱/۵	۳/۱۶	A4
-۴۶/۷	۱/۴۷	۲/۷۷	A5
-۴۶/۸۳	۱/۳۸	۲/۵۹	A7
-۵۰/۳۳	۲/۲۳	۴/۴۸	A8
-۳۴/۴۴	۱/۹۳	۲/۹۵	C1
-۳۱/۸۴	۱/۹۹	۲/۹۲	C2
-۳۵/۲۲	۲/۵۳	۳/۹	C3
-۳۵/۵۷	۲/۴۹	۴/۰۶	B
-۳۹/۴۲	۱/۶۵	۲/۷۳	Total

جدول (۱۱) مقایسه اختلاف معنی‌داری رسوبدهی زیرحوضه‌ها در شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری

اختلافات زوجی			t	درجه آزادی	معنی داری		
میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای انحراف معیار				فاصله اطمینان ۹۵٪ حداکثر	حداقل
۱/۳	۳۶۲۲	۱۱۰۰۴۶	۱/۵۲	۱/۰۸۶	۱۲/۹۹۴	۱۲	۰/۰۱

جدول (۱۰) متوسط رسوبدهی زیرحوضه‌ها قبل و بعد از عملیات آبخیزداری را نشان می‌دهد. جدول (۱۱) نتایج آزمون T-test زوجی را به منظور مقایسه‌ی اختلاف معنی‌داری رسوبدهی زیرحوضه‌ها برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری بازگو می‌کند. با توجه به این که معنی داری کمتر از ۰/۰۵ است، فرض

دال بر تساوی میانگین‌ها رد می‌شود. بر این اساس، رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها بعد از عملیات آبخیزداری اختلاف معنی‌داری نسبت به شرایط قبل پیدا کرده است که کاهش رسوب‌دهی در محدوده‌ی ۳۱/۸۴ تا ۵۲/۶۴ درصد مشاهده می‌شود. جدول (۱۲) مقایسه‌ی رسوب تولید شده قبل از عملیات آبخیزداری و رسوب کنترل شده را توسط پروژه‌های بیولوژیک و سازه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات این جدول در زیرحوضه‌های اصلی A، C و B به ترتیب ۴۶/۳۳، ۳۵/۴۶ و ۳۴/۷۳ درصد از رسوبات توسط اصلاح و احیاء عملیات بیولوژیک و ۳۷/۳، ۳۵ و ۳۷/۳ درصد توسط عملیات سازه‌ای کنترل شده است. به طور کلی در حوضه ۴۳/۳ درصد از رسوبات توسط عملیات بیولوژیک و مدیریتی و ۳۴/۳ درصد توسط پروژه‌های سازه‌ای کنترل شده است.

جدول (۱۲) مقدار و درصد رسوب تولید شده و کنترل شده توسط عملیات آبخیزداری به تفکیک در زیرحوضه‌ها

زیر حوضه اصلی	رسوب تولید شده (متر مکعب در سال)		رسوب کنترل شده توسط	
	قبل	بعد	عملیات بیولوژیک	عملیات سازه‌ای
			درصد	مترمکعب در سال
A	۱۴۱۲۰	۷۵۷۸	۴۶/۳۳	۴۹۴۲
C	۴۸۸۶	۳۱۳۵	۳۵/۸۴	۱۸۲۳
B	۷۴۰	۴۸۳	۳۴/۷۳	۰
کل حوضه	۱۹۷۴۶	۱۱۱۹۶	۴۳/۳	۶۷۶۵

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور مقایسه‌ی رسوب خروجی در دو مرحله‌ی قبل و بعد از اجرائی پروژه‌های آبخیزداری با اقلیم نیمه‌خشک در استان فارس در سرشاخه‌ی سد

مخزنی سیوند با استفاده از مدل ام پسیاک اصلاح شده و روش اندازه‌گیری مستقیم رسوب در واحد کاری آبراهه انجام شده است و با استناد به نتایج به دست آمده در این تحقیق درصد تاج پوشش زنده از ۳۳/۸ درصد به ۵۰/۲۸ درصد و مقدار تولید علوفه از ۲۰۱/۴۴ کیلوگرم در هکتار به ۲۴۵/۰۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داشته و درصد حفاظت خاک که یکی از پارامترهای بسیار با اهمیت در بحث کنترل سیلاب و فرسایش و رسوب می‌باشد از ۵۸/۵ درصد به ۶۸/۰۴ درصد افزایش داشته که با در نظر گرفتن این موارد، رسوب خروجی از شبکه‌ی هیدروگرافی از ۲/۷۳ تن در هکتار به ۱/۶۵ تن در هکتار کاهش را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق، یافته‌های ملائی رنالی (۱۳۸۹)، جوادی و همکاران (۱۳۹۰)، آقاسی و همکاران (۱۳۸۵)، جعفری و همکاران (۱۳۸۸) و خالدیان و همکاران (۱۳۸۴) تأیید می‌کند. با استناد به نتایج به دست آمده در این پژوهش، قبل از عملیات آبخیزداری درجه‌ی رسوبدهی در دوکلاس ۷۵-۱۰۰ و ۵۰-۷۵ به ترتیب با ۱۵/۷۸ و ۸۴/۲۲ درصد قرارگرفته است. با توجه به نقشه‌ی کلاس رسوبدهی، درجه‌ی رسوبدهی ۷۵-۱۰۰ در خروجی حوضه واقع شده است که تمرکز عملیات سازه‌ای آبخیزداری گسترش بیشتری نسبت به عملیات آبخیزداری بیولوژیک دارد و در نتیجه این کلاس با کاهش درجه‌ی رسوبدهی با مساحت ۱۳۷۵ هکتار به کلاس ۵۰-۷۵ بعد از عملیات آبخیزداری در حوضه تغییر کرده است. در کلاس ۵۰-۷۵ که قبل از اجرای عملیات آبخیزداری ۷۳۳۹ هکتار را در بر گرفته است با اجرای کارهای بیولوژیک که در این قسمت گسترش و تمرکز داشته است ۲۴۴۷ هکتار از این کلاس به کلاس پایین‌تر ۲۵-۵۰ تغییر یافته است. به طوری که ۱۵/۷۸ درصد کلاس ۷۵-۱۰۰ قبل از اجرا به صفر درصد بعد از اجرا تقلیل داشته و ۸۴/۲۲ درصد کلاس ۵۰-۷۵ به ۷۱/۹۱ درصد کاهش داشته است. براساس شکل (۴) در کلاس ۷۵-۱۰۰، ۶۱ سازه شامل سازه‌های خشکه چین، گابیون توریسنگی، گابیون پلاستیک، سنگی و ملاتی و سه

مورد بند خاکی و در کلاس ۵۰-۷۵، ۴۷۳۸ هکتار عملیات بیولوژیک که پروژه‌های سازه‌ای فرسایش خطی و پروژه‌های بیولوژیک میزان فرسایش و کنترل رسوب را در روی دامنه کنترل و مهار کرده‌اند. با توجه به معادله نسبت تحویل رسوب بر اساس عامل مساحت، مقدار SDR حوضه برابر ۳۳/۰۳ درصد است. بر این اساس، مقادیر رسوبدهی برای شرایط قبل و بعد از عملیات آبخیزداری ۲۳۷۵۵ تن و ۱۴۳۹۰ تن که ۳۹/۴۲ درصد کاهش رسوبدهی کل در حوضه داشته‌ایم. نتایج مذکور نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری از نوع تلفیقی برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی و بیولوژیک در مقیاس دامنه‌ای و آبراه‌ای (سازه‌ای) به خوبی در حوضه به اجرا درآمده‌اند، که منجر به آن شده تا میانگین رسوبدهی ویژه‌ی حوضه‌ی آبخیز خرمبید به میزان ۳۹/۴۲ درصد کاهش دهد. این نتایج با یافته‌های به دست آمده توسط روغنی (۱۳۹۱) سلمانپور (۱۳۹۲)، اعظمی‌راد (۱۳۹۲) و آقارزی (۱۳۹۵) همخوانی و مطابق دارد.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۹۱)، ژئومورفولوژی کاربری، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، جلد اول، ص ۶۸۸.
- آقارضی، حشمت‌اله؛ داوودی راد، علی‌اکبر و مهدی مردیان (۱۳۹۵)، ارائه الگوی اصلاحی- تکمیلی برنامه‌های آبخیزداری به منظور کاهش رسوب‌دهی در حوضه‌ی آبخیز هفتان تفرش، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی پیاپی ۶۱، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۹۵، صص ۱۸۷-۱۹۸.
- اعظمی‌راد، محمود؛ اسماعیلی، کاظم و حسن تقوایی (۱۳۹۲)، ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری حوضه‌ی آبخیز ناری شهرستان فریمان، نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد، ص ۱۲.
- تیموری، مهدی و میثم عمرانی (۱۳۸۹)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب در ۸ و ۹ اردیبهشت ۱۳۸۹، گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، صص ۱-۶.
- صادق‌زاده، محمدابراهیم؛ مهرورز مغانلو، کریم و شاهرخ محسنی (۱۳۸۹)، بررسی اثر عملیات مختلف آبخیزداری بر افزایش پوشش گیاهی، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس نور، ص ۱-۸.
- سلمانپور، سیدمسعود؛ شعربافی، آنا و مریم ذوالفقاری (۱۳۹۲)، ارزیابی و مقایسه فعالیت‌های بیولوژیک و سازه‌ای با استفاده از برنامه Wocat (مطالعه‌ی موردی: روستای شیب جدول واقع در جنوب غرب شیراز)، نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد، ص ۱۰.

- ملائی رنایی، مانده؛ بشری، حسین و مهدی بصیری (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر فرق بر شاخص‌های عملکرد خاک در مراتع فریدون شهر استان اصفهان، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس نور، ص ۱-۸.
- نوحه‌گر، احمد؛ کاظمی، محمد؛ احمدی، سیدجواد؛ غلامی، حمید و رسول مهدوی (۱۳۹۵)، بررسی میزان رسوب‌زایی با استفاده از واحدهای همگن روی کاربری‌های اراضی و سازندهای زمین‌شناسی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تنگ بستانک، استان فارس)، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۰، بهار ۱۳۹۶، صص ۹۹-۱۱۹.
- نورانی، وحید و صالح محسن‌زاده (۱۳۹۶)، برآورد بار رسوب ماهانه‌ی ایستگاه‌های حوضه‌ی آبی‌چای یا استفاده از مدل MPSIAC و ریزمقیاس‌نمایی آبخیز، مجله‌ی هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۶، صص ۸۳-۱۰۳.
- Rahman, M.R., Shi, Z.H., Chongf, C. (2009), **Soil Erosion Hazard Evaluation: an Integrated use of Remote Sensing, GIS and management strategies**, Ecol., model, Vol. 220, PP,1724-1734.
- Javadi Seyed akbar, Mosavian S.J, Jafari M, Mosavia, S.M.,(2012), **Determination of Proper Reclamation Method in Rangeland Ecosystem of Khuzestan Province APCBEE Procedia**, 1: PP,283-286.
- Kamaludin, K., Lihan, T., Ali Rahman, Z., Mustapha, M., Idris, W., Rahim, S. (2013), **Integration of remote sensing, Rusie and GIS to model potential Soil loss and Sediment yield (SY).**, Hydrol Earth system Sci., 10: PP,4567-4596.