GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (47), Autumn 2023 https://ges.iaun.iau.ir ISSN: 2008-7845 20.1001.1.20087845.1402.12.47.11.7

Research Article

Effectiveness of Watershed Operations in Controlling Erosion and Sedimentation Using MPSIAC Experimental Model (Case Study: Saqezchi-Chay Watershed, Ardabil Province)

Dabiri, Rouholah
M.Sc., Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran.
Abghari, Hirad (Corresponding Author)
Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran.
E-mail: h.abghari@urmia.ac.ir
Ghorbani, Ardavan
Professor, Department of Range and Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract
During the recent decades, the loss of water and soil resources in watersheds due to their inappropriate exploitation has become increasingly intense, this issue has reduced the production and useful life of reservoirs and increased the amount of sediment production. Today, with the advancement of technology, examining the impact of projects by measuring the effective parameters and studying how to achieve the goals are part of the basic principles of project evaluation. In this study, according to the implemented mechanical and biological operations, the role of watershed operations in controlling erosion and sedimentation in the Saqezchi-chay watershed of Ardabil province was investigated and compared using the MPSIAC method before and after the operation. In this model, 9 effective factors in erosion have been considered, each of which has a score depending on its intensity and weakness, and finally, taking these scores into account, the sedimentation rate of the area is considered. The results of the research show a relative decrease in erosion and sedimentation in the area of watershed operations and, on the other hand, an increase in erosion and sedimentation in other areas without watershed operations, which indicates the positive effect of watershed operations in increasing vegetation and soil protection. Also, the implemented watershed management measures, in addition to increasing the concentration time in the watershed and groundwater feeding, have played an important role in preventing the reduction of the storage volume of the Saqezachi dam. The results indicate the effectiveness of watershed projects in reducing sedimentation in the study area; In such a way that the amount of erosion in the watershed has changed significantly.

Keywords: Watershed management، Sediment production، Soil conservation، GIS، Erosion.

Citation: Dabiri, R.; Abghari, H.; Ghorbani, A. (2023), Effectiveness of Watershed Operations in Controlling Erosion and Sedimentation Using MPSIAC Experimental Model (Case Study: Saqezchi-Chay Watershed, Ardabil Province), Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (47), 184-201. Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.11.7

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20.1001.1.20087845.1402.12.47.11.7

مقاله پژوهشی

اثربخشی عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل)

روح‌الله دبیری

کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

هیراد عبقری*

گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اردوان قربانی

استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

طی دهه‌های اخیر تلفات منابع آب و خاک در حوزه‌های آبخیز در اثر بهره‌برداری غیراصولی از آن‌ها، باعث کاهش تولید و عمر مفید مخازن و افزایش میزان تولید رسوب شده است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، ارزیابی پروژه‌های آبخیزداری نیز با توجه به هدف، حجم کار و هزینه بالای آن ضرورت دارد. در این مطالعه نقش عملیات آبخیزداری در کنترل فرسایش و رسوب حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل به روش MPSIAC قبل و بعد از اجرای عملیات مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در این مدل ۹ عامل موثر در فرسایش براساس شدت و ضعف خود دارای امتیاز هستند و در نهایت میزان رسوب منطقه برآورد می‌شود. میانگین فرسایش و رسوب بر اساس آزمون کولموگروف اسمیرنوف و با استفاده از نرم افزار SPSS، در سطح ۹۵ درصد دارای توزیع نرمال بوده و از تجزیه و تحلیل پارامتریک استفاده شد. قبل از اجرای عملیات آبخیزداری براساس نتایج آزمون t مستقل، میانگین فرسایش و رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز، در سطح ۹۵ درصد برابر است؛ در حالی که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، میانگین فرسایش و رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده و اجراء نشده، برابر نیست. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در زیر حوزه‌های آبخیز فاقد عملیات آبخیزداری، میانگین فرسایش و رسوب به ترتیب ۱/۴۸ و ۰/۶۷ تن در هکتار در سال افزایش دارد. در حالیکه در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده این مقدار میانگین فرسایش و رسوب تقریباً ثابت مانده است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت عملیات آبخیزداری در حفاظت خاک بوده و نقش مهمی در جلوگیری از کاهش حجم مخزن سد سقزچی دارد.

کلمات کلیدی: آبخیزداری، تولید رسوب، حفاظت خاک، GIS، فرسایش.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

نویسنده مسئول: هیراد عبقری، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.. h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های گذشته، گسترش نیازهای انسانی موجب شده که استفاده از منابع زمین به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر شود. این امر از طریق تأثیرات شدید آن بر تغییر کاربری زمین ، آسیب قابل توجهی به ساختار و عملکرد کاربری‌های اراضی مختلف را در پی داشته است (De Montis et al., 2017, 90). خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشور محسوب می‌شود و فرسایش آن به وجود آورنده بسیاری از مشکلات از جمله کاهش حاصل‌خیزی، فقر پوشش گیاهی و بیابان‌زایی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک خواهد بود. امروزه کاهش منابع اراضی ناشی از فرسایش خاک، هرساله خسارات فراوان جانی و مالی را در پی دارد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱، ۱۸)؛ فرسایش از جمله فرآیندهایی است که بر منابع آب و خاک کشور تأثیر نامطلوبی دارد، به طوری که از حدود ۱۰۰ میلیون هکتار اراضی کشور که در معرض پدیده بیابان‌زایی هستند، ۵۷ میلیون هکتار آن در معرض فرسایش آبی است (احمدی، ۱۳۸۶، ۳۵۴). میزان فرسایش سالانه کشور، ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار) برآورد شده است (عرب‌خدری، ۱۳۹۷). فرسایش خاک را می‌توان، از بین رفتن سطح زمین توسط نیروهای فیزیکی مانند بارش، جریان آب، باد، یخ، تغییر دما، نیروی جاذبه و سایر عوامل طبیعی یا انسانی که باعث سقوط، جدا شدن و حذف خاک از یک نقطه بر روی سطح زمین و رسوب آن در بخشی دیگر از زمین تعریف کرد (Spalevic, 2011). فرسایش خاک به‌علت پیامدهای نامطلوب زیست محیطی و اقتصادی، شور شدن تدریجی اراضی، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری، آلودگی شیمیایی خاک و آثار سوء بر مدیریت پایدار اراضی، اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است (Saedi et al., 2005, 201). شیب و پوشش زمین مهم‌ترین عوامل کنترل کننده در رسوب‌گذاری هستند (Daneshfaraz et al., 2017, 35). خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی حیات او به شمار می‌آید (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین، ارزیابی دقیق فرسایش خاک به منظور طراحی و اجرای اقدامات حفاظتی مناسب، هدفمند و مقرون به صرفه با توجه به توزیع فضایی عواقب، شدت مشکل و اثرات اجتماعی- اقتصادی ضروری است (Efthimiou & Lykoudi, 2016). بررسی نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد عدم استفاده صحیح از منابع طبیعی و اراضی کشاورزی و عملیات نادرست نظیر جاده‌سازی در حوزه‌های آبخیز بدون رعایت اصول حفاظت خاک، شخم اراضی شیب‌دار در جهت شیب زمین، چرای بی‌رویه مراتع، قطع درختان جنگلی، تبدیل اراضی مرتع به اراضی کشاورزی و سایر عوامل و اقدامات غیراصولی موجب افزایش مقدار و شدت فرسایش و تولید رسوب می‌شود. اگر چه پیامدهای فرسایش در ظاهر ممکن است برای مردم و حتی مسئولین قابل لمس نباشد ولی این پدیده عامل اصلی و جدی خسارت به کشاورزی و اختلال در امنیت غذایی کشور بوده و در دراز مدت نیز می‌تواند تهدیدکننده استقلال اقتصادی باشد (داوری و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۰۳ و مهندسین مشاور نتپا، ۱۳۸۷). عوامل موثر بر فرسایش و تولید رسوب در یک حوزه‌آبخیز عبارتند از: نوع سازند زمین شناسی، اقلیم، توپوگرافی، فیزیوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از کاربری اراضی به طوری که استفاده از اراضی نقش اصلی را در مقدار و شدت فرسایش ایفاء می‌کند. عدم استفاده صحیح و بهینه اراضی عامل اصلی و یکی از عمده‌ترین عوامل تخریب خاک در اراضی کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشد (مهندسین مشاور نتپا، ۱۳۸۷).

مبانی نظری

تحقیقات Onstad (۱۹۸۴) نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌ها، اغلب برای دستیابی به سه هدف شامل برنامه‌ریزی برای مهار فرسایش، برنامه‌ریزی و طراحی برای منابع آب و برنامه‌ریزی در مورد کنترل کیفی آبهای سطحی بوده است. نکته اساسی در استفاده از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، علاوه بر دستیابی به مقادیر آن‌ها، انتخاب مناسب‌ترین مدل به ویژه در حوزه‌های فاقد آمار رسوب‌سنجی می‌باشد که در این زمینه بتواند پاسخگوی نیاز باشد. ازآنجایی‌که از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب به‌عنوان ابزاری در راستای شناخت اولویت‌های فرسایشی حوزه نیز استفاده می‌شود و بیش‌ترین کاربرد را در مطالعات و تحقیقات آبخیزداری دارند، لذا ارزیابی

نحوه پراکنش طبقات فرسایش و رسوب حاصل از اجرای عملیات آبخیزداری در سطح حوزه می‌تواند کمک موثری در نتیجه‌گیری بهتر از مدل‌ها و به‌کارگیری نتایج آن‌ها در اولویت‌بندی مناطق و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی داشته باشد (Feng et al., 2010, 239). روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای ارزیابی فرسایش در حوزه‌های آبخیز ارائه شده است. در میان آن‌ها مدل‌ها MPSIAC[1] به دلیل لحاظ نمودن فاکتورهای بیشتر نسبت به سایر مدل‌ها برای برآورد رسوب حوزه در نظر گرفته شده است. مدل تجربی MPSIAC به دلیل اینکه از پارامترهای بیشتری در آن استفاده شده است دقیق تر از مدل تجربی EPM می‌باشد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۵۸). رمضانی و همکاران (۱۳۹۶)، معینی و همکاران (۱۳۹۷)، معدنچی و آبکار (۱۳۹۹)، جعفری و همکاران (۱۴۰۰)، باقریان کلات و همکاران (۱۴۰۰)، معدنچی و همکاران (۱۴۰۱) و مؤذنی نقندر و همکاران (۱۴۰۱) اغلب از بین مدل‌های مختلف ارزیابی فرسایش و رسوب، روش MPSIAC را استفاده کرده‌اند. باقریان کلات و همکاران (۱۴۰۰، ص۶۰)، در ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کاخک با استفاده از مدل MPSIAC به این نتیجه رسیدند که میزان کارایی عملیات مکانیکی اجرا شده در حوضه حدود ۷۶ درصد می‌باشد و مقدار فرسایش سالانه خاک از حدود ۲۰ تن در هکتار به حدود ۱۰ تن در هکتار کاهش یافته است. در پژوهشی دیگر، معدنچی و همکاران (۱۴۰۱)، در بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر فرسایش و کلاس رسوب‌دهی، با استفاده از مدل تجربی MPSIAC در مناطق نیمه خشک به این نتیجه رسیدند که میزان تولید رسوب در زیرحوزه‌ها بعد از عملیات حفاظتی کاهش پیدا کرده است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱، ص ۳۶) در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی براساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) در محیط GIS نتیجه‌گیری کردند که اولویت‌بندی انجام شده می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری و مدیریت کنترل فرسایش و تولید رسوب در نظر گرفته شود. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI) مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک را برای کل حوزه بین ۰/۵ تا ۱۴/۲۵ تن در هکتار در سال گزارش دادند. هم‌چنین نتیجه گرفتند که فاکتور توپوگرافی بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به‌وسیله مدل RUSLE دارد. نتایج پژوهش Bai et al., (2020) حاکی از آن است که پس از برآورد میزان فرسایش و منشأیابی رسوبات حاصل از فرسایش اراضی بالادست در فلات لسی چین در ۷ تا ۲۶ رگبار حدی، میزان کل فرسایش، ۴/۲۰ میلیون تن بوده که سازه های اصلاحی در بستر آبراهه به مقدار ۲۶/۳۶ درصد معادل ۱/۱۱ میلیون تن را در مخازن خود حفظ کرده اند. Casabella-Gonzalez et al., (2023) با استفاده از مدل MPSIAC بهبود یافته برای ارزیابی نرخ فرسایش خاک سه ریزحوزه در مناطق نیمه خشک در مکزیک ضریب فرسایش‌پذیری اصلاح‌شده K را محاسبه کردند و تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که پارامترهای رواناب، فرسایش سطحی و فرسایش کانال مهم‌ترین و عامل خاک کمترین پارامتر حساسیت مدل است. در پژوهش حاضر برای ارزیابی اثرات عملیات آبخیزداری در کنترل فرسایش و کاهش رسوب با استفاده از مدل MPSIAC با توجه به عملیات آبخیزداری اجرا شده، در حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای واقع در استان اردبیل استفاده شد.

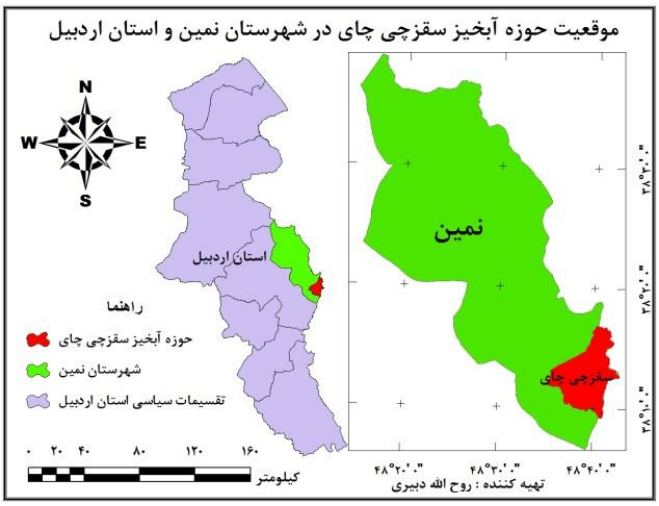
روش‌شناسی پژوهش

• منطقهٔ مورد مطالعه

حوزه آبخیز سقزچی چای با مساحت ۷۵۹۳/۹۹ هکتار در شهرستان نمین و در شرق شهرستان اردبیل قرار دارد. حوزه مورد مطالعه دارای مختصات″۱۴ ′۳۵ °۴۸ تا ″۴۹ ′۴۱ °۴۸ طول شرقی و″۱۱ ′۹ °۳۸ تا ″۲ ′۱۶ °۳۸ عرض شمالی می‌باشد. مناطق مسکونی داخل حوزه عبارتند از: سقزچی چای، حور، رز و تفیه. میانگین بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. پایین‌ترین ارتفاع حوزه ۱۴۰۰ متر و بالاترین ارتفاع حوزه ۲۳۸۰ متر از سطح دریا بوده و از نظر تقسیمات کشور روستاهای حوزه مورد مطالعه در شهرستان نمین، بخش ولیکیج در

1. Modified Pacific South-west Inter Agency Committee

دهستان ویلکیج جنوبی واقع می باشد (مهندسین مشاور نتپا، ۱۳۸۷). از نظر تاریخ انجام این تحقیق در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ صورت گرفت (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای در سطح استان اردبیل

• روش مطالعه

برای ثبت اطلاعات مربوط به پروژه‌های اجرا شده، انواع عملیات آبخیزداری اعم از بیولوژیکی و مکانیکی، سطح حوزه با توجه به دسترسی جاده‌ها و توپوگرافی از طریق پیمایش صحرایی، به‌طور کامل مورد بازدید و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش ابتدا میزان فرسایش و تولید رسوب به توسط روش MPSIAC برآورد گردید، سپس نتایج حاصل آن با نتایج ارزیابی فرسایش و رسوب حوزه قبل از اجرای عملیات آبخیزداری مورد مقایسه و با توجه به خصوصیات حوزه و محل اجرای عملیات آبخیزداری ، مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل MPSIAC در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب و خاک آمریکا، به منظور محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک غرب آمریکا ارائه شد. در این روش برآورد فرسایش و رسوب، نسبت به سایر روش‌ها، بیش‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش ۹ عامل مد نظر قرار گرفته شد (رفاهی، ۱۳۹۴، ۲۳۵). برای استفاده از روش MPSIAC در برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک، ۹ عامل مؤثر در فرسایش و رسوب‌زایی برحسب شدت و ضعف نقش آن‌ها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. فاکتورهای مورد بررسی در این روش شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، استفاده از زمین، فرسایش مناطق بالادست، فرسایش خندقی(گالی)، فرسایش رودخانه‌ای می باشد. حاصل نهائی نمره مربوط به ۹ عامل فوق در هر یک از واحدها بیان‌گر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌زایی در آن واحد می‌باشد (PSIAC, 1968، رفاهی، ۱۳۹۴، ۲۳۰ و Khalili Vavdareh et al., 2022, 3).

برای برآورد فرسایش و رسوب در حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای به روش MPSIAC باید ۹ فاکتور بطور جداگانه بررسی شوند و سپس از جمع ۹ فاکتور درجه رسوبدهی و با توجه به آن کلاس رسوب‌دهی مشخص گردد؛ که به شرح ذیل می‌باشد:

• تهیه نقشه اشکال فرسایشی حوزه و تشریح تیپ‌های فرسایشی

بر اساس جدول امتیاز سطحی خاک S.S.F از روش BLM[1] جهت تهیه نقشه اشکال فرسایشی در حوزه در ابتدا با تفسیر عکس‌های هوایی حوزه نقشه اولیه اشکال فرسایشی تهیه گردید؛ سپس با نقشه ژئومورفولوژی، حساسیت واحدهای سنگی و اجزاء اراضی حوزه

1. Bureau of Land management

تلفیق و پلی گون‌های همگن تهیه و طی عملیات صحرایی اقدام به تکمیل فرم‌های روش BLM در هر یک از واحدهای همگن گردید و شدت‌های متفاوت هر نوع فرسایش در این تیپ‌ها مشخص و تفکیک شد. در این تیپ بندی علایم اختصاری S فرسایش سطحی، R فرسایش شیاری، G فرسایش آبراهه‌ای، M فرسایش مکانیکی و هم‌چنین اندیس‌های ۱ شدت فرسایش کم، ۲ شدت فرسایش متوسط و ۳ شدت فرسایش زیاد را نشان می‌دهد. که در هفت تیپ فرسایشی به شرح ذیل تقسیم شد (رفاهی، ۱۳۹۴، ۲۳۰).

۲-۲-۱-۱- تیپ فرسایشی $E_1: S_3M_3$

۲-۲-۱-۲- تیپ فرسایشی $E_2: S_1R_1$

۲-۲-۱-۳-تیپ فرسایشی $E_3: S_2R_1G_1$

۲-۲-۱-۴-تیپ فرسایشی $E_4: S_2R_2G_1M_1$

۲-۲-۱-۵-تیپ فرسایشی $E_5: S_2R_2G_2M_2$

۲-۲-۱-۶-تیپ فرسایشی $E_6: S_3R_2G_1M_2$

۲-۲-۱-۷-تیپ فرسایشی $E_7: S_3R_3G_2M_3$

- **برآورد رسوب ویژه**

برآورد فرسایش و رسوب ویژه در حوزه و زیر حوزه‌ها

جهت تعیین میزان رسوب‌دهی یک حوزه‌آبخیز بهتر است از آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی استفاده گردد. به دلیل اینکه در حوزه مورد مطالعه هیچ ایستگاه رسوب‌سنجی وجود ندارد از روش‌های تجربی جهت برآورد رسوب استفاده می‌شود.

۱- بررسی عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از روش MPSIAC

مدل تجربی MPSIAC از رابطه (۱) برای محاسبه فرسایش و تولید رسوب حوزه استفاده می کند:

$$Q_S=0/253\ \hat{e}^{(0/036R)} \quad (۱)$$

که در آن Q_S مقدار رسوب ویژه (تن بر هکتار در سال) و R مجموع امتیازات عوامل نه‌گانه است که به‌صورت رابطه (۲) است:

$$R=Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6+Y_7+Y_8+Y_9 \quad (۲)$$

پس از تعیین و محاسبه عوامل ۹ گانه، مجموع امتیازها R را بدست می‌دهد که با رابطه‌ی بالا مقدار تولید رسوب در سطح حوزه و زیرحوزه برآورد می‌شود.

۱- عامل زمین شناسی سطحی (امتیاز ۱۰-۰)

برای محاسبه عامل حساسیت سازند زمین شناسی به فرسایش از رابطه (۳) استفاده شده است و امتیاز آن بین صفر تا ۱۰ در نظر گرفته شده است؛ که Y_1 امتیاز عامل زمین‌شناسی و X_1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی است و بر اساس نوع سنگ، سختی، شکستگی، هوازدگی و ضریب مقاومت تعیین می‌شود (اسمعلی و همکاران، ۱۳۸۶). تعیین ضریب مقاومت برای این عامل از روش فیض‌نیا (۱۳۷۴) برای اقالیم خشک و نیمه خشک انجام می گیرد. در سطح حوزه دو نوع سازند زمین‌شناسی داریم که در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه گردید.

$$Y_1=X_1 \quad (۳)$$

۲- عامل خاک (امتیاز ۱۰-۰)

منظور از عامل خاک، حساسیت ذاتی خاک به فرسایش می‌باشد که برای تعیین مقدار این حساسیت از عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) استفاده می‌شود و عامل خاک در شکل (۳) ارائه گردید. یک روش تخمین عامل فرسایش‌پذیری، روش ترسیمی بوده که در این روش فرسایش‌پذیری خاک به عواملی چون: درصد سیلت (ذرات با قطر۰/۰۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر)، شن خیلی‌ریز (ذرات

با قطر ۰/۱-۰/۰۵ میلی‌متر)، درصد شن (ذرات با قطر ۲-۱ میلی‌متر)، مقدار ماده آلی، ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک بستگی دارد. مهندسین مشاور نتپا (۱۳۸۶) مقدار K را در گزارش تفضیلی اجرایی خاکشناسی و قابلیت اراضی حوزه سقزچی‌چای محاسبه کرده‌اند Y که ابتدا مقدار K برای هر یک از اجزاء واحد اراضی بطور جداگانه محاسبه و سپس با میانگین‌گیری وزنی برای هر یک از واحد هیدرولوژیک (زیرحوزه‌ها) محاسبه گردید. عامل خاک از رابطه زیر محاسبه شده که در آن K عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش است (رابطه ۴).

$$Y_2=16/67K \qquad (۴)$$

با توجه به نقشه اجزاء واحد اراضی و فاکتورهای آنالیز خاک پروفیل از گزارش تفضیلی اجرایی خاک‌شناسی حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای، مقدار حساسیت به فرسایش خاک‌های حوزه (K) تعیین شده است.

جدول (۱): میزان مقاومت و حساسیت سازندهای حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای

نام سازند	نماد سنگ‌شناسی	نوع سازند	ضریب مقاومت	ضریب حساسیت	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
پادگانه آبرفتی جوان	Qt_2	رسوبی	۱/۵	۸/۹۹۹۹۵	۶۵۱/۱۲	۸/۵۷
تراکی آندزیت	Ep	آتشفشانی	۱۳	۱/۳۳۲۹	۶۹۴۲/۸۳	۹۱/۴۳

جدول (۲): میزان ضریب فرسایش‌پذیری هر یک از اجزای واحد اراضی حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای

واحد خاک	Soil Taxonomy (2006)	اجزاء واحد اراضی	ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)
۱	Mesic Lithic Xerorthents، mixed،Loamy-Skeletal	۱،۱،۱	۰/۲۵
		۱،۱،۲	۰/۲۷
۲	Mesic Typic Xerorthents، mixed،Sandy-Skeletal	۲،۱،۲	۰/۱۵
۳	Mesic Typic Haploxerepts، mixed،Loamy-Skeletal	۱،۱،۳	۰/۱۱
		۲،۱،۱	۰/۲۴
		۳،۱،۱	۰/۱۸
۴	Mesic Typic Calcixerepts، mixed،Loamy-Skeletal	۳،۲،۱	۰/۱۹

۳- عامل آب و هوا (امتیاز ۱۰-۰)

میزان بارندگی در حوزه با توجه به شدت زیاد و مدت کم آن و عدم وجود پوشش گیاهی در سطح حوزه باعث تخریب خاک و ایجاد فرسایش و حمل رسوب می‌گردد. اثر این عامل در سازندهای مارنی که حساسیت زیادی به فرسایش دارند بیشتر است. بارندگی هم بطور مستقیم و هم غیرمستقیم در بحث فرسایش دخالت دارد، بطور مستقیم در فرسایش پاشمانی و ایجاد رواناب و بطور غیرمستقیم در تقویت پوشش گیاهی و کنترل فرسایش دخیل است. روش MPSIAC از رابطه (۵) عامل آب و هوا را محاسبه می‌کند که در آن P مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ ساله بر حسب میلی‌متر است.

$$Y_3=0/2P \qquad (۵)$$

۴- عامل رواناب (امتیاز ۱۰-۰)

رواناب شدیدی که به ندرت اتفاق می‌افتد نقش مهمی در تولید رسوب سالانه یک حوزه ایفا می‌نماید و این امر به سرنوشت زمین‌شناسی و خاک منطقه نیز بستگی دارد. برای تعیین عامل رواناب، از متوسط ارتفاع رواناب سالانه و دبی پیک ویژه استفاده شده که از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (اسمعلی و همکاران، ۱۳۸۶).

$Y_4=0/2\ (0/03R+50Qp)$ (۶)

که در آن R ارتفاع متوسط رواناب سالانه به میلی‌متر و Q_p دبی پیک ویژه حوزه‌آبخیز به مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع است.

۵- عامل توپوگرافی (امتیاز ۲۰-۰)

شیب، پستی و بلندی و ارتفاع، جهت و اندازه دامنه‌ها و سایر پارامترهای فیزیکی حوزه‌آبخیز از موارد اساسی هستند که برای توپوگرافی مورد بررسی قرار می‌گیرند. عامل پستی و بلندی با شاخص شیب سنجیده می‌شود که در شیب‌های تند که دارای طول زیادی هم هستند، میزان فرسایش افزایش می‌یابد؛ زیرا مقدار و سرعت رواناب زیاد می‌شود. امتیاز صفر برای مناطق با شیب کم و دشت‌های آبرفتی و دانه‌ای (اراضی با شیب کمتر از ۳ درصد) و امتیاز ۲۰ برای اراضی کوهستانی و با شیب زیاد بیش از ۳۰ درصد می‌باشد (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۲). عامل توپوگرافی از رابطه (۷) محاسبه شده که Y_5 درجه رسوب‌دهی و S شیب متوسط حوزه ی آبخیز بر حسب درصد است.

$Y_5=0/33S$ (۷)

۶- عامل پوشش زمین (امتیاز ۲۰-۰)

منظور از پوشش زمین عبارت از هر گونه پوششی که خاک را در مقابل عوامل فرساینده مانند ضربات قطرات باران، رواناب و باد حفاظت کند. انواع پوشش زمین شامل پوشش گیاهی، پوشش سنگی و لاشبرگ می‌باشد. رابطه (۸) برای عامل پوشش زمین ارائه شده است که در آن P_b درصد اراضی لخت و فاقد پوشش در هر یک از تیپ‌های پوشش گیاهی بوده و از طریق پلات‌گذاری برداشت شده است (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۲).

$Y_6=0/2P_b$ (۸)

۷- عامل نحوه‌ی استفاده از اراضی (امتیاز ۲۰-۰)

نوع بهره‌برداری از زمین و فرسایش رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند، در صورتیکه از زمین استفاده نادرست به عمل آید میزان فرسایش و رسوب به شدت افزایش می‌یابد. با توجه به درصد پوشش تاجی در هر تیپ‌های پوشش گیاهی در مدل MPSIAC از رابطه (۹) محاسبه می‌شود (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۲)؛ که در آن P_C مقدار تاج پوشش به درصد بوده و از طریق پلات‌گذاری برداشت شده است.

$Y_7=20-0/2P_C$ (۹)

۸- عامل وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه‌آبخیز (امتیاز ۲۵-۰)

فرسایش سطحی، لاشبرگ سطحی، پوشش سنگی سطح زمین، آثار تخریب در سطح زمین، فرسایش شیاری، آثار جریان‌های سطحی و فرسایش خندقی یا گالی که برای مطالعه فاکتورهای فوق از جدول BLM استفاده می‌شود (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۲). طی عملیات صحرایی در هر تیپ فرسایشی جدول مربوط تکمیل و فاکتور SSF محاسبه گردید. و بر اساس رابطه (۱۰) عامل وضعیت فعلی فرسایش برآورد گردید؛ که در آن SSF مجموع امتیاز عوامل هفت‌گانه روش BLM است.

$Y_8=0/25SSF$ (۱۰)

۹- عامل فرسایش خندقی (امتیاز ۲۵-۰)

جهت برآورد فرسایش رودخانه‌ای در هر واحد از تیپ فرسایشی بر اساس جدول BLM فاکتور S.S.F.g و طبق رابطه (۱۱) استفاده می‌شود؛ که SSFg نمره گالی در جدول BLM در هر تیپ فرسایشی است.

$Y_9=1/67SSFg$ (۱۱)

۲- تعیین میزان SDR

نرخ تحویل رسوب یا SDR، ضریبی است که نشان می‌دهد چه درصدی از فرسایش صورت گرفته، در نقطه خروجی تبدیل به رسوب شده است و چون همیشه بخشی از مقدار فرسایش به‌صورت رسوب به نقطه خروجی می‌رسد لذا همواره مقدار SDR کوچکتر از یک است. عوامل متعددی در SDR موثرند که از آن جمله می‌توان به شیب حوزه، شیب آبراهه اصلی، وسعت دشت‌های سیلابی و مناطق مسطح موجود در مسیر جریان، وسعت حوزه، بافت خاک و غیره اشاره کرد. در روش MPSIAC میزان SDR از روی نمودار با توجه به مساحت حوزه یا واحدهای هیدرولوژیک و بافت خاک مشخص می گردد. البته این نمودار بطور لگاریتمی به شرح زیر نیز ارایه شده است. با توجه به موقعیت و وضعیت (شیب کم و مساحت زیاد در مسیر عبور جریان) حوزه عامل موثر در میزان SDR مساحت می‌باشد. که از رابطه (۱۲) مساحت استفاده می‌شود (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۲ و علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

$$\text{Log SDR} = 1/8768 - 0/14191 \text{ Log } (10 * A) \qquad (۱۲)$$

A: مساحت حوزه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب کیلومتر مربع

با توجه به نمونه آزمایشات خاک اراضی حوزه سقزچی‌چای، وزن مخصوص رسوبات حدود ۱/۳۶ ton/m^3 برآورد شده است که با استفاده از فرمول $Q_S.P=Q_SW$ میزان رسوب ویژه را برحسب ton/ha.y محاسبه شد (مهندسین مشاور نتپا، ۱۳۸۶)؛ که با استفاده از میزان رسوب‌دهی و SDR طبق رابطه (۱۳)، میزان فرسایش ویژه E_S برحسب (m^3/ha.y) یا (ton/ha.y) برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیک (زیر حوزه‌ها) تعیین شد که در آن Q_S رسوب ویژه و E_S فرسایش ویژه می‌باشد.

$$\%SDR= Q_S/E_S*100 \qquad (۱۳)$$

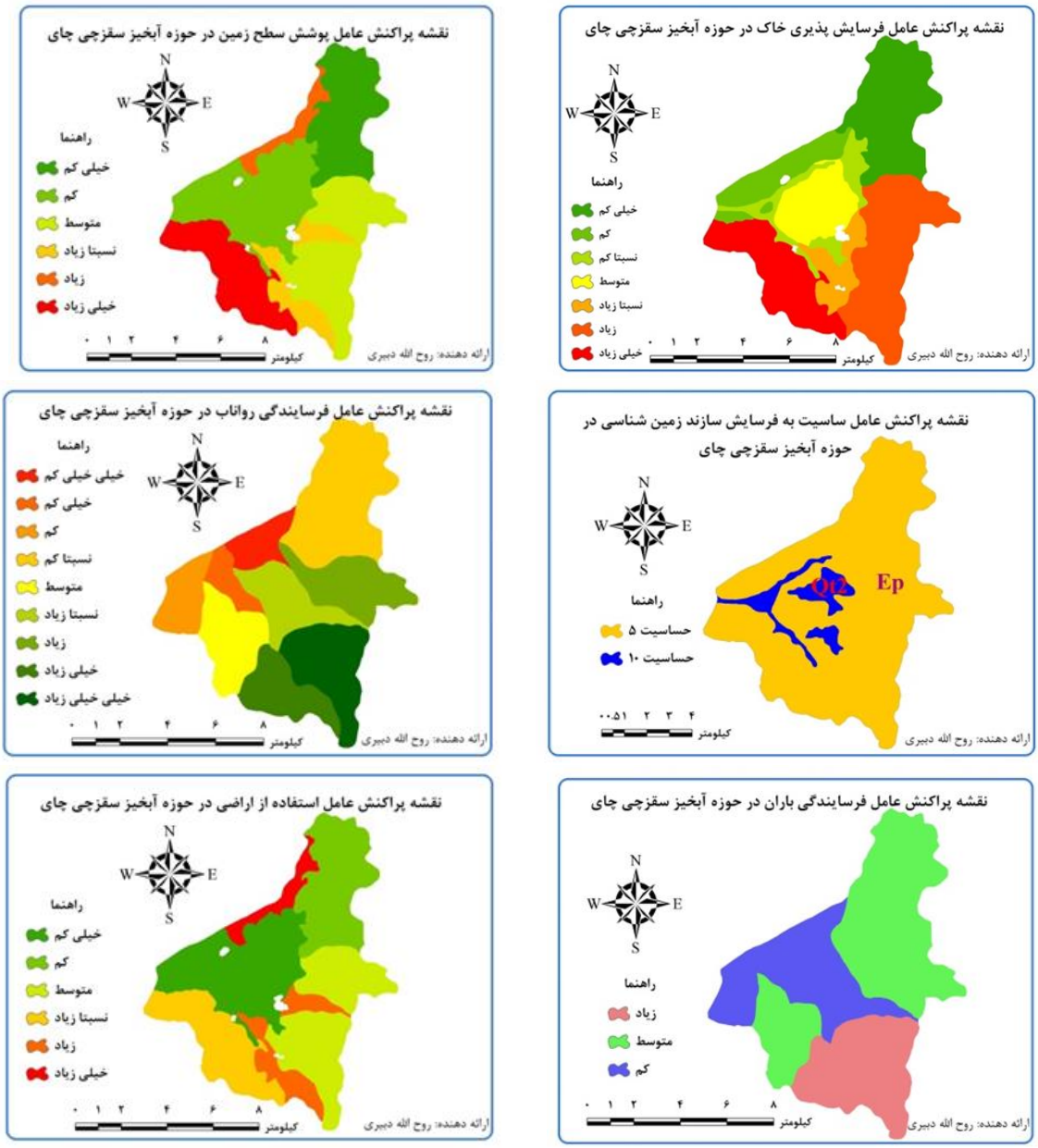
- **عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه**

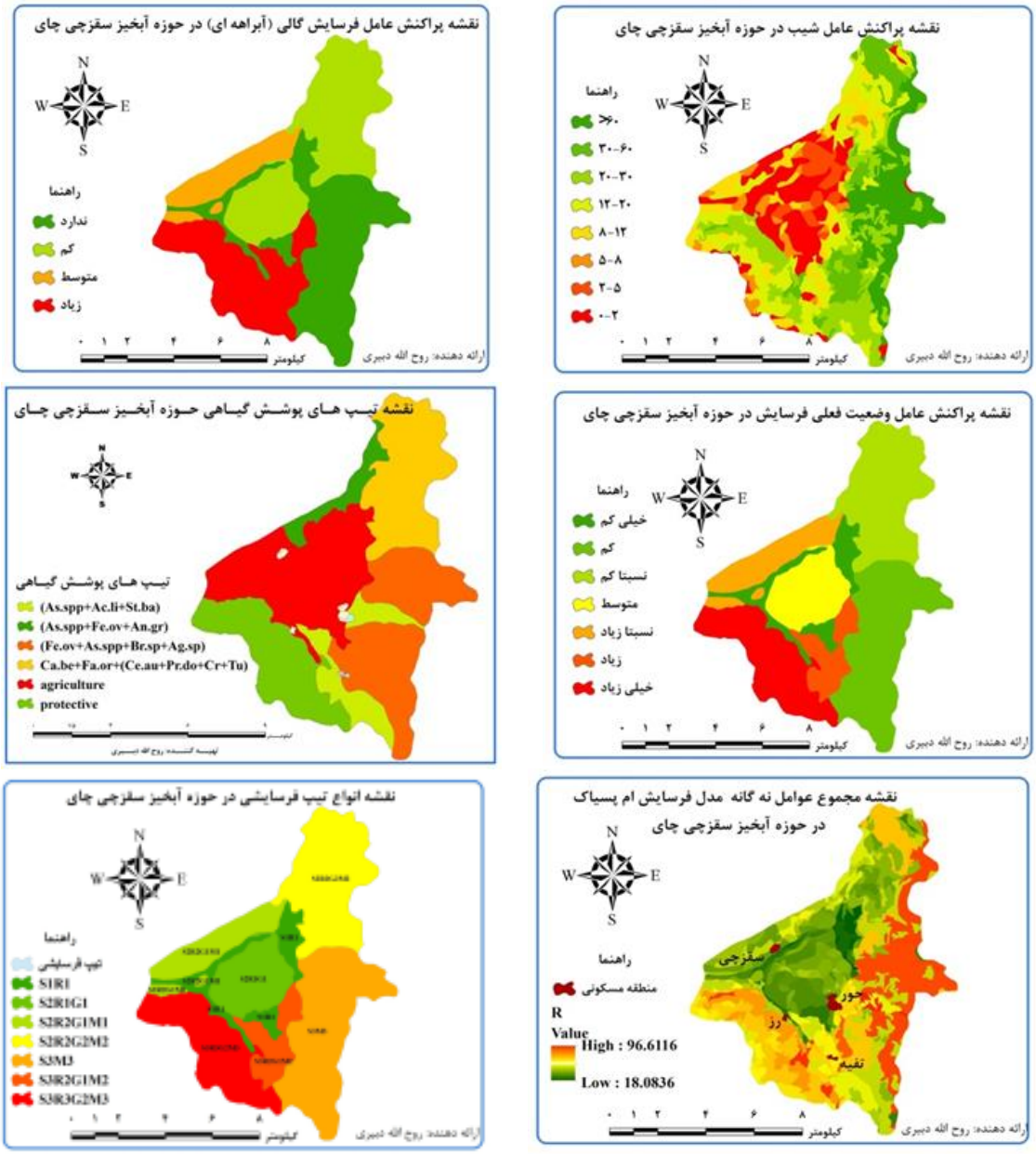
در سطح حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای یک مورد سد خاکی با حجم ذخیره حدود ۲ میلیون مترمکعب است که در نزدیک خروجی حوزه آبخیز قراردارد. حدود ۶۵ هکتار از سطح واحد هیدرولوژیک D_1، D_3 و D_6 عملیات پیتینگ به همراه نهال‌کاری انجام شده است. و همچنین ۹ سازه سنگی ملاتی از نوع بند تاخیری و یک کانال انتقال آب جهت اصلاح مسیر آبریز در سطح یک واحد هیدرولوژیک D_1 (زیر حوزه S_{1-1-1}) در سال ۱۳۸۷ اجرا شده است (شکل ۲)؛ که با استفاده از GPS موقعیت پروژه‌ها بازدید و ثبت گردید. داده ها و مطالعات پایه حوزه آبخیز از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل دریافت شد. داده‌های قبل از اجرای عملیات آبخیزداری با استفتده از مطالعات فرسایش و رسوب حوزه آبخیز که با مدل MPSIAC صورت گرفته بود، استفاده شد. جهت بررسی اثربخشی عملیات آبخیزداری انجام شده و یکسان بودن نوع مدل، بعد از اجرای عملیات آبخیزداری نیز فرسایش و رسوب حوزه آبخیز با مدل MPSIAC برآورد گردید.

شکل (۲):عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای

• یافته‌های پژوهش

نقشه های پایه عوامل ۹ گانه موثر در تولید رسوب به روش MPSIAC از جمع ۹ عامل برای هر پیکسل عدد رسوب‌دهی R بدست آمد و با استفاده از فرمول MPSIAC میزان فرسایش و رسوب حوزه سقزچی‌چای محاسبه شد که نتایج به شرح شکل (۳) می‌باشد:





شکل (۳): نقشه عوامل ۹ گانه موثر در تولید رسوب به روش MPSIAC در حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای

جدول (۳): فرسایش، رسوب، درجه رسوب‌دهی، نرخ تحویل رسوب و مساحت هر یک از زیر حوزه‌ها قبل از اجرای عملیات آبخیزداری

زیر حوزه	واحد	مساحت (ha)	log SDR	SDR	R	رسوب			فرسایش		
						m³/ha.y	ton/ha.y	**ton/y**	m³/ha.y	ton/ha.y	**ton/y**
s ۱-۱-۱	D_1	۱۹۳۰/۵۰	۱/۶۱	۴۰/۸۴	۴۸/۱۸	۱/۰۳	۱/۴۰	۲۷۰۵/۳۵	۲/۵۲	۳/۴۳	۶۶۲۴/۱۷
s ۱-۱-۲	D_2	۹۴۲/۴۳	۱/۶۶	۴۵/۲۲	۶۳/۹۴	۰/۶۵	۰/۸۸	۸۲۹/۲۲	۱/۴۳	۱/۹۵	۱۸۳۳/۹۵
s ۱-۱-int	D_3	۴۰۹/۴۰	۱/۷۱	۵۰/۸۹	۳۷/۰۸	۰/۷۳	۰/۹۹	۴۰۴/۹۱	۱/۴۳	۱/۹۴	۷۹۵/۵۸
s ۱-۲-۱	D_4	۱۰۷۶/۹۴	۱/۶۵	۴۴/۳۷	۵۷/۰۸	۰/۶۶	۰/۹۰	۹۷۳/۵۹	۱/۵۰	۲/۰۴	۲۱۹۴/۳۸
s ۱-۲-int	D_5	۷۸۶/۹۴	۱/۶۷	۴۶/۳۹	۵۷/۰۸	۰/۷۴	۱/۰۱	۷۹۴/۱۷	۱/۶۰	۲/۱۸	۱۷۱۲/۰۴
s۱-int	D_6	۳۰۱/۸۲	۱/۷۳	۵۳/۱۴	۳۳/۹۱	۰/۶۲	۰/۸۴	۲۵۲/۸۸	۱/۱۶	۱/۵۸	۴۷۵/۸۳
s ۲-۱	D_7	۷۴۹/۶۷	۱/۶۷	۴۶/۷۱	۵۶/۲۸	۱/۴۶	۱/۹۹	۱۴۹۳/۵۶	۳/۱۴	۴/۲۷	۳۱۹۷/۶۷
s۲-int	D_8	۸۶۲/۱۴	۱/۶۶	۴۵/۷۹	۵۲/۹۵	۱/۴۶	۱/۹۸	۱۷۰۹/۳۸	۳/۱۸	۴/۳۳	۳۷۳۳/۰۷
s -int	D_9	۵۳۴/۱۵	۱/۶۹	۴۹/۰۱	۴۸/۹۹	۱/۱۱	۱/۵۱	۸۰۶/۸۱	۲/۲۷	۳/۰۸	۱۶۴۶/۲۴

جدول (۴): فرسایش، رسوب، درجه رسوب‌دهی، نرخ تحویل رسوب و مساحت هر یک از زیر حوزه‌ها بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

زیر حوزه	واحد	مساحت (ha)	Log SDR	SDR	R	رسوب			فرسایش		
						m^3/ha.y	ton/ha.y	**ton/y**	m^3/ha.y	ton/ha.y	**ton/y**
s ۱-۱-۱	D_1	۱۹۳۰/۵۰	۱/۶۱	۴۰/۸۴	۴۸/۱۸	۱/۰۵۴	۱/۴۳	۲۷۶۶/۸۲	۲/۵۸	۳/۵۱	۶۷۷۴/۷۸
s ۱-۱-۲	D_2	۹۴۲/۴۳	۱/۶۶	۴۵/۲۲	۶۳/۹۴	۱/۸۵۹	۲/۵۳	۲۳۸۲/۱۷	۴/۱۱	۵/۵۹	۵۲۶۷/۹۶
s ۱-۱-int	D_3	۴۰۹/۴۰	۱/۷۱	۵۰/۸۹	۳۷/۰۸	۰/۷۰۷	۰/۹۶	۳۹۳/۴۸	۱/۳۹	۱/۸۹	۷۷۳/۱۹
s ۱-۲-۱	D_4	۱۰۷۶/۹۴	۱/۶۵	۴۴/۳۷	۵۷/۰۸	۱/۴۵۲	۱/۹۸	۲۱۲۶/۴۳	۳/۲۷	۴/۴۵	۴۷۹۲/۴۹
s ۱-۲-int	D_5	۷۸۶/۹۴	۱/۶۷	۴۶/۳۹	۵۷/۰۸	۱/۴۵۲	۱/۹۸	۱۵۵۳/۹۲	۳/۱۳	۴/۲۶	۳۳۴۹/۶۸
s۱-int	D_6	۳۰۱/۸۲	۱/۷۳	۵۳/۱۴	۳۳/۹۱	۰/۶۳۱	۰/۸۶	۲۵۸/۸۰	۱/۱۹	۱/۶۱	۴۸۷/۰۱
s ۲-۱	D_7	۷۴۹/۶۷	۱/۶۷	۴۶/۷۱	۵۶/۲۸	۱/۴۱۱	۱/۹۲	۱۴۳۸/۱۵	۳/۰۲	۴/۱۱	۳۰۷۸/۸۹
s۲-int	D_8	۸۶۲/۱۴	۱/۶۶	۴۵/۷۹	۵۲/۹۵	۱/۲۵۱	۱/۷۰	۱۴۶۷/۲۳	۲/۷۳	۳/۷۲	۳۲۰۴/۲۵
s -int	D_9	۵۳۴/۱۵	۱/۶۹	۴۹/۰۱	۴۸/۹۹	۱/۰۸۵	۱/۴۸	۷۸۸/۱۶	۲/۲۱	۳/۰۱	۱۶۰۸/۱۶

جدول (۵): مساحت و میزان تغییرات فرسایش و رسوب در دو مقطع قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری در هر یک از زیر حوزه‌ها

زیر حوزه	واحد	مساحت(ha)	قبل اجرا ton/ha.y	بعد اجرا ton/ha.y	تغییرات رسوب	قبل اجرا ton/ha.y	بعد اجرا ton/ha.y	تغییرات فرسایش
s ۱-۱-۱	D_1	۱۹۳۰/۵۰	۱/۴۰	۱/۴۳	+	۳/۴۳	۳/۵۱	+
s ۱-۱-۲	D_2	۹۴۲/۴۳	۰/۸۸	۲/۵۳	+	۱/۹۵	۵/۵۹	+
s ۱-۱-int	D_3	۴۰۹/۴۰	۰/۹۹	۰/۹۶	–	۱/۹۴	۱/۸۹	–
s ۱-۲-۱	D_4	۱۰۷۶/۹۴	۰/۹۰	۱/۹۸	+	۲/۰۴	۴/۴۵	+
s ۱-۲-int	D_5	۷۸۶/۹۴	۱/۰۱	۱/۹۸	+	۲/۱۸	۴/۲۶	+
s۱-int	D_6	۳۰۱/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۶	+	۱/۵۸	۱/۶۱	+
s ۲-۱	D_7	۷۴۹/۶۷	۱/۹۹	۱/۹۲	–	۴/۲۷	۴/۱۱	–
s۲-int	D_8	۸۶۲/۱۴	۱/۹۸	۱/۷۰	–	۴/۳۳	۳/۷۲	–
s -int	D_9	۵۳۴/۱۵	۱/۵۱	۱/۴۸	–	۳/۰۸	۳/۰۱	–

در زیر حوزه‌های D_2، D_4 و D_5 که با رنگ قرمز مشخص شده است، عملیات آبخیزداری انجام نشده و تغییرات فرسایش و رسوب افزایشی ولی در زیرحوزه‌های D_1 و D_6 عملیات آبخیزداری انجام شده و تغییرات فرسایش و رسوب کاهشی و با رنگ زرد مشخص شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۳ واحدهای D_1، D_8، D_7، D_4، D_2 و D_5 به ترتیب بیش‌ترین مقادیر فرسایش و رسوب را قبل از اجرای عملیات آبخیزداری در سطح حوزه داشتند. واحدهای D_1، D_4 و D_2 که بیش‌ترین مساحت و به ترتیب ۲۶، ۱۴ و ۱۲/۵ درصد از سطح حوزه را دارند، بعد از اجرای عملیات آبخیزداری طبق جدول ۴ واحدهای D_1، D_2، D_4 و D_5 بیش‌ترین مقادیر فرسایش و رسوب را دارند. واحدهای D_1، D_2 و D_4 همجوار و چسبیده به هم هستند و در واحد D_1 اقدامات آبخیزداری از جمله بندهای سنگی ملاتی، پیتینگ و نهال‌کاری صورت گرفته ولی در واحدهای D_2 و D_4 هیچ عملیاتی صورت نگرفته است. در جدول ۵ مقدار فرسایش و رسوب در هر یک از زیرحوزه‌ها در دو مقطع زمانی قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری با روش MPSIAC برآورد و مقایسه شد؛ که نتایج نشان داد در ۵ زیرحوزه مشخص شده، بیشترین مساحت از حوزه آبخیز سقزچی چای را دارند و میزان فرسایش اولیه زیاد و نیازمند عملیات آبخیزداری بوده است، در زیر حوزه‌های D_2، D_4 و D_5 که با رنگ قرمز مشخص شده است، عملیات آبخیزداری انجام نشده و تغییرات فرسایش و رسوب افزایشی ولی در زیرحوزه‌های D_1 و D_6 عملیات آبخیزداری انجام شده و تغییرات فرسایش و رسوب کاهشی است و نتایج نشان می‌دهد که اجرای عملیات آبخیزداری موفقیت آمیز بوده است. درواقع در واحد D_1 و همچنین D_3، D_6 و D_9 که تحت تاثیر D_1 هستند، بخاطر اجرای عملیات آبخیزداری مقدار فرسایش و رسوب تقریباً ثابت مانده ولی در واحدهای D_2، D_4 و D_5 ، هیچ اقدامی صورت نگرفته و مقدار فرسایش و رسوب با افزایش بیش از دوبرابری همراه بوده است که نتایج نشان می‌دهد این زیرحوزه‌ها شدیداً نیازمند اجرای اقدامات آبخیزداری می‌باشند.

جدول (۶): بررسی نرمال بودن میزان فرسایش و رسوب در مقطع قبل از اجرای عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

مرحله	متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	Z - کولموگروف اسمیرنوف	P
قبل از اجرای عملیات آبخیزداری	میزان فرسایش	۲/۷۶	۱/۰۵	۰/۷۹۰	۰/۵۶۱
	میزان رسوب	۱/۲۸	۰/۴۶	۰/۸۲۲	۰/۵۰۹
بعد از اجرای عملیات آبخیزداری	میزان فرسایش	۳/۵۷	۱/۲۶	۰/۴۴۱	۰/۹۹۰
	میزان رسوب	۱/۶۵	۰/۵۳	۰/۴۶۵	۰/۹۸۲

با توجه به نتایج جدول ۶ بر مبنای آزمون کولموگروف اسمیرنوف میزان فرسایش قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری (به ترتیب p=۰/۵۶۱ و p=۰/۹۹) در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست و متغیر دارای توزیع نرمال است و همچنین میزان رسوب قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری (به ترتیب p=۰/۵۰۹ و p=۰/۹۸۲) در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست و متغیر دارای توزیع نرمال است بنابراین می توان از تجزیه و تحلیل پارامتریک استفاده کرد.

جدول (۷): بررسی تفاوت میزان فرسایش زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده و اجراء نشده در دو مقطع قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

مرحله	متغیر	میانگین (تن در سال در هکتار)	انحراف استاندارد	Sig - واریانس	F	واریانس‌ها	t	Sig - میانگین
قبل از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه دارای عملیات آبخیزداری	۲/۵۱	۰/۸۸۷	۰/۰۷۸	۴/۲۵۷	برابرند	-۰/۶۰۷	۰/۵۶۳
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۲/۹۵	۱/۲۳۲			نا برابرند	-۰/۶۳۱	۰/۵۴۸
بعد از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه دارای عملیات آبخیزداری	۲/۵۱	۰/۹۰	۰/۳۱۰	۱/۱۹۸	برابرند	-۳/۶۰۱	۰/۰۰۹
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۴/۴۳	۰/۷۰			نا برابرند	-۳/۴۹۱	۰/۰۱۴

با توجه به جدول ۷ قبل از اجرای عملیات آبخیزداری براساس نتایج آزمون t مستقل، میزان فرسایش در زیرحوزه‌های آبخیز معنی‌دار نیست (sig =۰/۰۷۸) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابرند و میانگین فرسایش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (sig =۰/۵۶۳) و برابر است؛ در حالی که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری برمبنای نتایج آزمون t مستقل، میزان فرسایش در زیر حوزه‌های آبخیز معنی‌دار نیست (sig =۰/۳۱۰) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابرند و میانگین فرسایش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است (sig =۰/۰۰۹). همچنین میانگین فرسایش در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده و اجراء نشده برابر نیست و در زیر حوزه‌های آبخیز فاقد عملیات آبخیزداری (D_8, D_7, D_5, D_4, D_2) از ۲/۹۵ تن در هکتار در سال به ۴/۴۳ تن در هکتار در سال رسیده است و ۱/۴۸ تن در هکتار در سال افزایش میانگین فرسایش دارد ولی در زیر حوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری (D_9, D_6, D_3, D_1) این مقدار فرسایش افزایش نیافته و نشان‌دهنده اثربخشی مثبت اجرای عملیات آبخیزداری در زیرحوزه‌های آبخیز سقزچی‌چای است.

جدول (۸): بررسی تفاوت میزان رسوب زیر حوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده و اجراء نشده در دو مقطع قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

مرحله	متغیر	میانگین (تن در سال در هکتار)	انحراف استاندارد	Sig - واریانس	F	واریانس‌ها	t	Sig - میانگین
قبل از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه دارای عملیات آبخیزداری	۱/۱۸	۰/۳۲۱	۰/۰۱۳	۱۰/۷۸۹	برابرند	-۰/۵۱۲	۰/۶۲۴
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۱/۳۵	۰/۵۸۰			نا برابرند	-۰/۵۴۸	۰/۶۰۳
بعد از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه دارای عملیات آبخیزداری	۱/۱۸	۰/۳۱۸	۰/۵۳۵	۰/۴۲۶	برابرند	-۴/۰۱۸	۰/۰۰۵
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۲/۰۲	۰/۳۰۶			نا برابرند	-۴/۰۰۰	۰/۰۰۶

با توجه به جدول ۸ قبل از اجرای عملیات آبخیزداری براساس نتایج آزمون t مستقل برای میزان رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز معنی‌دار است (sig =۰/۰۱۳) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابر نیستند و میانگین رسوب در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست (sig =۰/۶۰۳) و برابر است؛ در حالی که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری برمبنای نتایج آزمون t برای میزان رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز معنی‌دار نیست (sig=۰/۵۳۵) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابرند و میانگین رسوب در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است (sig =۰/۰۰۵) و میانگین رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده و اجراء نشده برابر نیست و در زیرحوزه‌های آبخیز فاقد اجرای عملیات آبخیزداری (D_8, D_7, D_5, D_4, D_2) از ۱/۳۵ تن در هکتار در سال به ۲/۰۲ تن در هکتار در سال رسیده است که به مقدار ۰/۶۷ تن در هکتار در سال افزایش میانگین رسوب دارد که معادل ۵۰ درصد میانگین رسوب قبل از اجرای عملیات آبخیزداری هست. ولی در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده شده (D_9, D_6, D_3, D_1) این مقدار رسوب افزایش ندارد و بیانگر اثربخشی مثبت اجرای عملیات آبخیزداری در زیرحوزه‌های آبخیز سقزچی‌چای است. . که ۵۰ درصد از میزان رسوب وارده بر مخزن سد خاکی سقزچی چای را کاهش داده است.

نتایج پژوهش حاضر حاکی از کارایی پروژه‌های آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب‌دهی در منطقهٔ مورد مطالعه است که با نتایج پژوهش‌های معدنچی و آبکار (۱۳۹۹)، معدنچی و همکاران (۱۴۰۱)، مؤذنی نقندر و همکاران (۱۴۰۱)، Khalili Vavdareh et al., (2022) و کوهدرزی مقدم و همکاران (۱۴۰۱) درمورد کاهش فرسایش و رسوب و حفاظت خاک، بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، هم‌خوانی دارد. طبق مطالعه کوهدرزی مقدم و همکاران (۱۴۰۱) در اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب، حوزه‌آبخیز دهلکوه بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، میزان فرسایش کل کاهش ۴۰ درصدی و مقدار رسوب کل نیز کاهش ۲۱ درصدی داشته است. نتایج عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI) مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک را برای کل حوزه بین ۰/۵ تا ۱۴/۲۵ تن در هکتار در سال گزارش دادند. نتایج بررسی تغییرات فرسایش در مطالعه ایشان نشان داد میزان فرسایش از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ از ۶/۴۹ به ۶/۴۶ تن در هکتار در سال کاهش یافته است. هم‌چنین نتیجه گرفتند که فاکتور توپوگرافی بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک دارد. با این وجود مطالعات Suren & McMurtrie (2005) و غفاری و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر عملیات آبخیزداری را بر فرسایش و رسوب حوزه 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 حوزه اعلام کردند.

• نتیجه‌گیری

برای کاهش سیل و کنترل فرسایش، نمی‌توان در عوامل و عناصر زمین‌شناسی، مورفولوژی و اقلیمی تغییری ایجاد کرد. عملیات آبخیزداری با تأثیر مثبت در مهار سیل و فرسایش، در اغلب حوزه‌ها می‌تواند روش مناسبی باشد؛ هرچند هنوز نیاز به تحقیق در این زمینه وجود دارد. از طرفی، وسعت زیاد حوزه‌های آبخیز کشور و تخریب آن، محدودیت‌های اقتصادی، زمانی و اجرایی، فقدان ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری و رسوب‌سنجی و آمار مناسب احیای آبخیزها و اجرای عملیات آبخیزداری و مهندسی رودخانه را با مشکالت متعدد و پیچیده‌ای همراه ساخته است. فرسایش خاک یکی از عواملی است که زندگی بشر را تهدید می‌کند. اندازه‌گیری فرسایش همواره با مشکلاتی همراه است. کمبود ایستگاه‌های هیدورمتری در بیشتر حوزه‌های‌آبخیز، برآورد فرسایش و رسوب را با مشکل مواجه ساخته است؛ البته محققان زیادی سعی کرده‌اند که روابط تجربی مناسب با هر شرایط آب و هوایی برای برآورد فرسایش و رسوب ارائه دهند. در این میان MPSIAC از جمله مدل‌هایی است که در سرتاسر جهان کاربرد گسترده‌ای دارد و از آن می‌توان در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری جهت ارزیابی و برآورد میزان فرسایش و رسوبدهی استفاده کرده و براساس آن اولویت‌بندی مناسبی را برای طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش طراحی و به اجرا درآورد. در این مطالعه با توجه به عملیات اجرا شده مکانیکی و بیولوژیکی نقش عملیات آبخیزداری در کنترل فرسایش و رسوب حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل به روش MPSIAC قبل و بعد از عملیات مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج تحقیق بیان‌گر کاهش نسبی فرسایش و رسوب در منطقه اجرای عملیات آبخیزداری می‌باشد و در مقابل افزایش بیش از دو برابری فرسایش و رسوب در واحدهای D_2، D_4 و D_5 که فاقد عملیات آبخیزداری هستند، را نشان می‌دهد. در برخی از واحدهای‌کاری که سازه‌ای احداث نشده است، کلیهٔ رسوبات خارج شده از آن‌ها به واحدهای کاری پایین دست منتقل می‌شود. در زیر حوزه‌های آبخیز فاقد عملیات آبخیزداری (D_8, D_7, D_5, D_4, D_2) میانگین فرسایش از ۲/۹۵ تن در هکتار در سال به ۴/۴۳ تن در هکتار در سال رسیده که ۱/۴۸ تن در هکتار در سال افزایش دارد و همچنین در زیرحوزه‌های آبخیز فاقد اجرای عملیات آبخیزداری،میانگین رسوب از ۱/۳۵ تن در هکتار در سال به ۲/۰۲ تن در هکتار در سال رسیده که به مقدار ۰/۶۷ تن در هکتار در سال افزایش میانگین رسوب دارد که معادل ۵۰ درصد میانگین رسوب قبل از اجرای عملیات آبخیزداری هست در حالیکه در زیرحوزه‌های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجراء شده این مقدار میانگین فرسایش و رسوب تقریباً ثابت مانده است. بنابراین عملیات آبخیزداری اجرا شده در کنترل فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سقزچی‌چای موثر بوده که با جلوگیری از فرسایش و هدر رفت خاک، حدود ۵۰ درصد مانع رسیدن رسوب به مخزن سد خاکی شده و مدت زمان بیشتری می‌توان از مخزن سد برای مصارف گوناگون و تولید داخلی استفاده کرد. به‌طور کلی عملیات آبخیزداری موجب افزایش پوشش‌گیاهی و حفاظت خاک حوزه آبخیز شده است. درضمن، اقدامات زیستی از اولویت بیش‌تری نسبت به عملیات مکانیکی برخوردار است؛ چرا که افزایش پوشش‌گیاهی مرحلهٔ اول تخریب خاک (فرسایش) را مهار کرده، اما اقدامات مکانیکی بر رسوب‌دهی تأثیرگذار است. به نظر می‌رسد که به مشخصات فیزیوگرافی حوزهٔ‌آبخیز برای اجرای عملیات آبخیزداری باید بیش‌تر توجه شود. بنابراین، بهتر است در زیرحوزه‌های آبخیز کشیده با شیب زیاد و وسعت کم به ایجاد سازه پرداخته شود؛ چرا که در حوزه‌های آبخیزی با این خصوصیات عملیات زیستی کارایی چندانی ندارد و با توجه به سرعت زیاد خروج رواناب، توانایی نگهداشت ذرات خاک کاهش می‌یابد. درضمن، با انجام عملیات بیولوژیکی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم باتوجه به نقش پوشش گیاهی در کاهش فرسایش خاک و جلوگیری از تولید رسوب در اراضی مرتعی زیر حوزه‌های منطقه شامل قرق،مدیریت چرا،کپه‌کاری،کشت گیاهان مثمر و غیرمثمر در محدوده‌ی پخش سیل و غیره اقدامات آبخیزداری موثری انجام داد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود با توجه به موفقیت عملیات آبخیزداری اجراشده در کنترل فرسایش برای ارزیابی میزان فرسایش و هدررفت خاک در حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای در مطالعات بعدی از مدل‌های به‌روز و پرکاربرد مانند

RUSLE و SWAT و تصاویر ماهواره‌ای که دارای پارامترهای بیش‌تری می‌باشند، استفاده شود. نتایج این مطالعه می‌تواند جهت شناسایی نواحی مستعد فرسایش و اولویت‌بندی آنها به‌منظور انجام عملیات حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرد. از جمله محدودیت ها در این پژوهش میتوان به نبود ایستگاه باران سنجی و هیدرومتری در حوزه آبخیز اشاره کرد که هیچ آماری از میزان رسوب و دبی جریان ورودی به مخزن سد خاکی ثبت نشده است. و همچنین هیچ‌گونه آمار و نقشه دقیق کاربری اراضی و موقعیت اقدامات اجرایی از جمله مدیریتی، بیولوژیکی، بیومکانیکی، مکانیکی و حجم اجرایی این اقدامات، در اداره منابع طبیعی و آبخیزداری وجود ندارد. که طی چندین هفته بازدید میدانی از سطح حوزه آبخیز و با صرف هزینه و به کمک اهالی منطقه و راهنمایی کارشناسان منابع طبیعی، از اقدامات مکانیکی (سنگی ملاتی) و بیومکانیکی (پیتینگ و نهال‌کاری) بازدید و برداشت موقعیت شد.

منابع

۱. احمدی، حسن (۱۳۸۶). *ژئومرفولوژی کاربردی*. چاپ پنجم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۲. اسمعلی، اباذر و دیگران (۱۳۸۶، اسفند). مدلسازی فرسایش و تولید رسوب و تهیه نقشه خطر فرسایش آبی (مطالعه موردی حوزه‌آبخیز بالخلی چای اردبیل). *چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران- مدیریت حوزه‌آبخیز*. کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۳. اسمعلی، اباذر؛ عبدالهی، خدایار (۱۳۹۲). *آبخیزداری و حفاظت خاک*. اردبیل: انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.

۴. باقریان کلات، علی؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد (۱۴۰۰). ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب درحوزه آبخیز کاخک. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*. ۲۳ (۷)، ۶۳-۵۱.

۵. جعفری، ابوذر؛ سرائی تبریزی، مهدی؛ بابازاده، حسین (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز علی کندی بوکان). *تحقیقات کاربردی خاک*. ۸ (۴)، ۶۸-۵۷.

۶. حسنلو، م. (۱۳۸۲). *مقایسه و واسنجی روش MPSIAC با آمار رسوب در حوزه‌آبخیز تهم زنجان*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.

۷. داوری، مسعود؛ بهرامی، حسینعلی؛ قدوسی، جمال (۱۳۸۳). بررسی و مقایسه نتایج برآورد تولید رسوب با استفاده از دو مدل MPSIAC و EPM (مطالعه موردی حوزه‌آبخیز نوژیان). *اولین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک*. دانشگاه کرمان.

۸. رفاهی، حسینقلی (۱۳۹۴). *فرسایش آبی و کنترل آن*. چاپ هفتم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۹. رمضانی، بهمن؛ ابراهیمی، هدی؛ حق پرست مژدهی، لیلا (۱۳۹۶). نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد برنجستانک). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*. ۱ (۲)، ۵۹-۴۹.

۱۰. شرکت مهندسی مشاور نتپا. (۱۳۸۶). *گزارشات تفضیلی-اجرایی خاکشناسی حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای*. اردبیل: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل.

۱۱. شرکت مهندسی مشاور نتپا. (۱۳۸۷). *گزارشات تفضیلی-اجرایی فرسایش و رسوب حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای*. اردبیل: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل.

۱۲. عابدینی، موسی؛ پاسبان، امیر حسام؛ نظافت تکله، بهروز (۱۴۰۱). ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI). *جغرافیا و مطالعات محیطی*. انتشارآنلاین.

۱۳. عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۱). اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی بر اساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) در محیط GIS. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۱۳ (۴۹)، ۳۹-۱۸.

۱۴. علی‌پور، حمید و دیگران (۱۳۹۵). برآورد شدت فرسایش و رسوب حوزه آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی MPSIAC. *جغرافیا و توسعه*. ۱۴ (۴۵)، ۲۶۸-۲۴۳.

۱۵. عرب خدری، محمود و دیگران (۱۳۹۷). تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. *پژوهش‌های آبخیزداری*. ۳۱ (۳)، ۲۷-۱۳.

۱۶. غفاری، گلاله و دیگران (۱۳۹۴). ارزیابی اثر طرح آبخیزداری حوضه آبخیز کن بر میزان فرسایش و رسوب. *مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)*. ۶۸ (۳)، ۶۲۴-۶۰۷.

۱۷. فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۴). مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. *مجله منابع طبیعی ایران*. ۱ (۱)، ۱۱۶-۹۵.

۱۸. کوهدرزی مقدم، مینا؛ تقی‌پور، سید مهدی؛ عرفانی پورقاسمی، وجیهه (۱۴۰۱). اثربخشی اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوزهٔ آبخیز دهلکوه). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. ۲ (۴)، ۱۷-۱.

۱۹. معدنچی، پیمان؛ آبکار، علیجان (۱۳۹۹). عملیات آبخیزداری و تأثیر آن بر فرسایش و رسوب حوضه‌های مناطق نیمه خشک. *حفظ و بهره وری آب*. ۱ (۱)، ۳۷-۳۱.

۲۰. معدنچی، پیمان؛ شاهدی، کاکا؛ سعیدیان، حمزه (۱۴۰۱). بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر فرسایش و کلاس رسوبدهی، با استفاده از مدل تجربی MPSIAC در مناطق نیمه خشک. *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه‌آبخیز*. ۱۳ (۲۵)، ۴۹-۴۰.

۲۱. معینی، ابوالفضل؛ مفیدی، سپیده؛ محمدیان خراسانی، شیوا (۱۳۹۷، آبان). تأثیر عملیات مکانیکی آبخیزداری بر منابع آب و خاک. *هشتمین کنفرانس بین المللی کشاورزی پایدار در غذا، انرژی، محیط‌زیست و صنعت*. تهران.

۲۲. مؤذنی نقندر، سعیدرضا؛ علیخانی، فائزه؛ حاتمی یزد، ابوذر (۱۴۰۱). بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر رواناب و فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه نخاب بشرویه). *مرتع و آبخیزداری*. ۷۵ (۲)، ۳۱۷-۲۹۹.

23. Bai, L. et al (2020). Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the Loess Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*. 35 (4), 408-416.

24. Casabella-Gonzalez, M.J.; Borselli, L. & García-Meza, J.V. (2023) Improved MPSIAC model for soil erosion rate assessment in semiarid zones. *Journal of Arid Environments*, 212, 104946. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104946

25. Daneshfaraz, R.; Rahmati, M. & Akbari Moghanjiq, P. (2017). Soil erosion and sediment mapping in Aidoghmoush watershed appling MPSIAC model and GIS and RS technologies. *Environmental Resources Research*. 5 (1), 35-49.

26. De Montis, A. et al (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*. 64, 83–94. DOI:10.1016/j.landusepol.2017.02.028.

27. Efthimiou, N. & Lykoudi, E. (2016). Soil erosion estimation using the EPM model. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50 (1), 305 -314. DOI:10.12681/bgsg.11731.

28. Feng, X. et al (2010). Modeling soil erosion and response to land use change in hilly catchments of the Chinese loess plateau. *Geomorphology*. 118 (3-4), 239-248. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.01.004.

29. Khalili Vavdare, S.; Shahnazari, A. & Sarraf, A. (2022). Investigating Anzali Wetland Sediment Estimation Using the MPSIAC Model. *Frontiers in Earth Science*. 10, 1-13. 10.3389/feart.2022.736125

30. Onstad, C.A. (1984). *Sediment Yield Modelling in Erosion and Sediment Yield : Some Methods of Measurement and Modelling*. U.K.: GeoBooks, Norwich.

31. PSIAC. (1968). *Report of the Water Management Subcommittee on Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific Southwest Area and Selection and Evaluation of Measures for Reduction of Erosion and Sediment Yield*. PSIAC.

32. Saedi, S.E. et al (2005). Evaluation of processbased soil erosion model, GUEST, or one sample of soils of Khajeh (Tabriz) region. *Agricultural Sciences*. 11 (3), 201-214.

33. Spalevic, V. (2011). *Impact of Land Use on Runoff andS soil Erosion in Polimlje*. Doctoral thesis. Faculty of Agriculture of the University of Belgrade. Serbia.

34. Suren, A.M. & 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.

نحوه ارجاع به مقاله:

دبیری، روح‌الله؛ عبقری، هیراد؛ قربانی، اردوان (۱۴۰۲)، اثربخشی عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۷)، ۲۰۱-۱۸۴، Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.11.7

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.