

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, Hiran (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 Saqezchi 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 granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access 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.



اثربخشی عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی چای 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 حوزه آبخیز سقزچی چای 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 زیرحوزه‌های 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، هر ساله 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 به علت 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 کنترل‌کننده 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 به‌شمار 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 نپا، ۱۳۸۷). عوامل موثر بر فرسایش و تولید رسوب در یک حوزه آبخیز عبارتند از: نوع سازند زمین‌شناسی، 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 نپا، 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. از آنجایی که 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

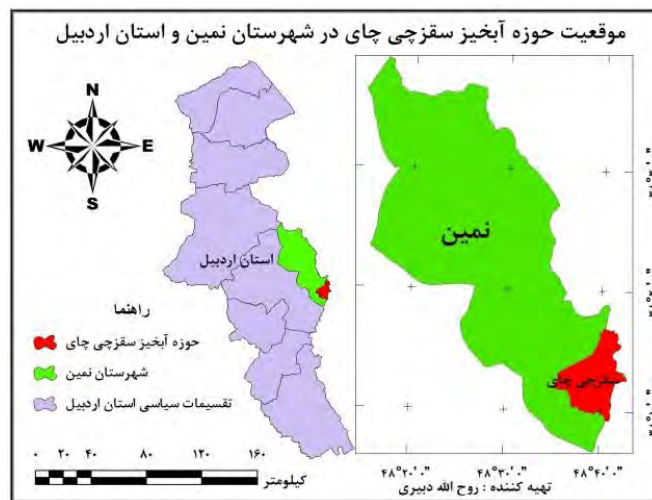
نحوه پراکنش طبقات فرسایش و رسوب حاصل از اجرای عملیات آبخیزداری در سطح حوزه می‌تواند کمک موثری در نتیجه‌گیری بهتر از مدل‌ها و به‌کارگیری نتایج آن‌ها در اولویت‌بندی مناطق و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی داشته باشد (Feng et al., 2010, 239). روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای ارزیابی فرسایش در حوزه‌های آبخیز ارائه شده است. در میان آن‌ها مدل‌ها MPSIAC¹ 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 دقیق‌تر 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، ص ۶۰)، 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 زیرحوضه‌ها بعد از عملیات حفاظتی کاهش پیدا کرده است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱، ص ۳۶) در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی براساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح شده (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 سازه‌های اصلاحی در بستر آبراهه به مقدار ۲۶/۳۶ درصد معادل ۱/۱۱ میلیون تن را در مخازن خود حفظ کرده‌اند. (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 اصلاح شده K را محاسبه کردند و تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که پارامترهای رواناب، فرسایش سطحی و فرسایش کانال مهم‌ترین و عامل خاک کمترین 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 حوزه آبخیز سقرچی چای واقع در استان اردبیل استفاده شد.

روش‌شناسی پژوهش

• منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سقرچی چای با مساحت ۷۵۹۳/۹۹ هکتار در شهرستان نمین و در شرق شهرستان اردبیل قرار دارد. حوزه مورد مطالعه دارای مختصات ۳۵' ۱۴" تا ۳۸° ۴۱' ۴۹" طول شرقی و ۹' ۱۱" تا ۳۸° ۱۶' ۲۲" عرض شمالی می‌باشد. مناطق مسکونی داخل حوزه عبارتند از: سقرچی چای، حور، رز و تفیة. 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

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



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز سقزچی چای در سطح استان اردبیل

• روش مطالعه

برای ثبت اطلاعات مربوط به پروژه‌های اجرا شده، انواع عملیات آبخیزداری اعم از بیولوژیکی و مکانیکی، سطح حوزه به دسترسی جاده‌ها و توپوگرافی از طریق پیمایش صحرائی، به طور 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 بیان گر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌زایی در آن واحد می باشد (PSIAC, 1968, رفاهی، ۱۳۹۴، ۲۳۰ و Khalili Vavdareh et al., 2022, 3).

برای برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سقزچی چای 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 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

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).

E₁: S₃M₃ تیپ فرسایشی ۱-۱-۲-۲

E₂: S₁R₁ تیپ فرسایشی ۲-۱-۲-۲

E₃: S₂R₁G₁ تیپ فرسایشی ۳-۱-۲-۲

E₄: S₂R₂G₁M₁ تیپ فرسایشی ۴-۱-۲-۲

E₅: S₂R₂G₂M₂ تیپ فرسایشی ۵-۱-۲-۲

E₆: S₃R₂G₁M₂ تیپ فرسایشی ۶-۱-۲-۲

E₇: S₃R₃G₂M₃ تیپ فرسایشی ۷-۱-۲-۲

• برآورد رسوب ویژه

برآورد فرسایش و رسوب ویژه در حوزه و زیر حوزه‌ها

جهت تعیین میزان رسوب‌دهی یک حوزه آبخیز 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 می‌کند:

$$Q_s = 0/253 \hat{c}^{(0/036R)} \quad (1)$$

که در آن Q_s مقدار رسوب ویژه (تن بر هکتار در سال) و R مجموع امتیازات عوامل نه گانه است که به صورت رابطه (۲) است:

$$R = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 \quad (2)$$

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 زمین‌شناسی سطحی (امتیاز ۱۰-۰)

برای محاسبه عامل حساسیت سازند زمین‌شناسی 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، هوازگی و ضریب مقاومت تعیین می‌شود (اسمعی و همکاران، ۱۳۸۶). تعیین ضریب مقاومت برای این عامل از روش فیض‌نیا (۱۳۷۴) برای اقالیم خشک و نیمه خشک انجام می‌گیرد. در سطح حوزه دو نوع سازند زمین‌شناسی داریم که در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه گردید.

$$Y_1 = X_1 \quad (3)$$

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 قطر ۰/۰۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر)، شن خیلی ریز (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 تفصیلی اجرایی خاکشناسی و قابلیت اراضی حوزه سقزچی چای 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).

$$Y_2 = 16/67K \quad (4)$$

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

جدول (۱): میزان مقاومت و حساسیت سازندهای حوزه آبخیز سقزچی چای

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 حوزه آبخیز سقزچی چای

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
		۱،۱،۳	۰/۱۱
۳	Mesic Typic Haploxerepts, mixed, Loamy-Skeletal	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.

$$Y_3 = 0/2P \quad (5)$$

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 (اسمعی و همکاران، ۱۳۸۶).

$$Y_4=0/2 (0/03R+50Qp) \quad (6)$$

که در آن R ارتفاع متوسط رواناب سالانه به میلی متر و Q_p دبی پیک و ویژه حوزه آبخیز به مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع است.

۵- عامل توپوگرافی (امتیاز ۲۰-۰)

شیب، پستی و بلندی و ارتفاع، جهت و اندازه دامنه‌ها و سایر پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز 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 (اسمعی و عبدالمهی، ۱۳۹۲). عامل توپوگرافی از رابطه (۷) محاسبه شده که Y_5 درجه رسوب‌دهی و S شیب متوسط حوزه آبخیز بر حسب درصد است.

$$Y_5=0/33S \quad (7)$$

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 پلات گذاری برداشت شده است (اسمعی و عبدالمهی، ۱۳۹۲).

$$Y_6=0/2P_b \quad (8)$$

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 (اسمعی و عبدالمهی، ۱۳۹۲)؛ که در آن P_c مقدار تاج پوشش به درصد بوده و از طریق پلات گذاری برداشت شده است.

$$Y_7=20-0/2P_c \quad (9)$$

۸- عامل وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه آبخیز (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 (اسمعی و عبدالمهی، ۱۳۹۲). طی عملیات صحرائی 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 هفت گانه روش BLM است.

$$Y_8=0/25SSF \quad (10)$$

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.

$$Y_9=1/67SSFg \quad (11)$$

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 به صورت 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 می‌گردد. البته این نمودار بطور لگاریتمی به شرح زیر نیز ارائه 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 (اسمعیلی و عبدالهی، ۱۳۹۲ و علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

$$\text{Log SDR} = 1/8768 - 0/14191 \text{ Log} (10 * A) \quad (12)$$

A: مساحت حوزه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب کیلومتر مربع

با توجه به نمونه آزمایشات خاک اراضی حوزه سقزچی چای، وزن مخصوص رسوبات حدود $1/36 \text{ ton/m}^3$ برآورد شده است که با استفاده از فرمول $Q_s.P=Q_s.W$ میزان رسوب ویژه را بر حسب ton/ha.y محاسبه شد (مهندسین مشاور نپتا، ۱۳۸۶)؛ که با استفاده از میزان رسوب‌دهی و SDR طبق رابطه (۱۳)، میزان فرسایش ویژه E_s بر حسب $(\text{m}^3/\text{ha.y})$ 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.

$$\% \text{SDR} = Q_s / E_s * 100 \quad (13)$$

• عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه

در سطح حوزه آبخیز سقزچی چای یک مورد سد خاکی با حجم ذخیره حدود ۲ میلیون مترمکعب است که در نزدیک خروجی حوزه آبخیز قرارداد. حدود ۶۵ هکتار از سطح واحد هیدرولوژیک D_1 ، D_3 و D_6 عملیات پیتینگ به همراه نهال کاری 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. داده‌ها و مطالعات پایه حوزه آبخیز از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل دریافت شد. داده‌های قبل از اجرای عملیات آبخیزداری با استفاده 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.

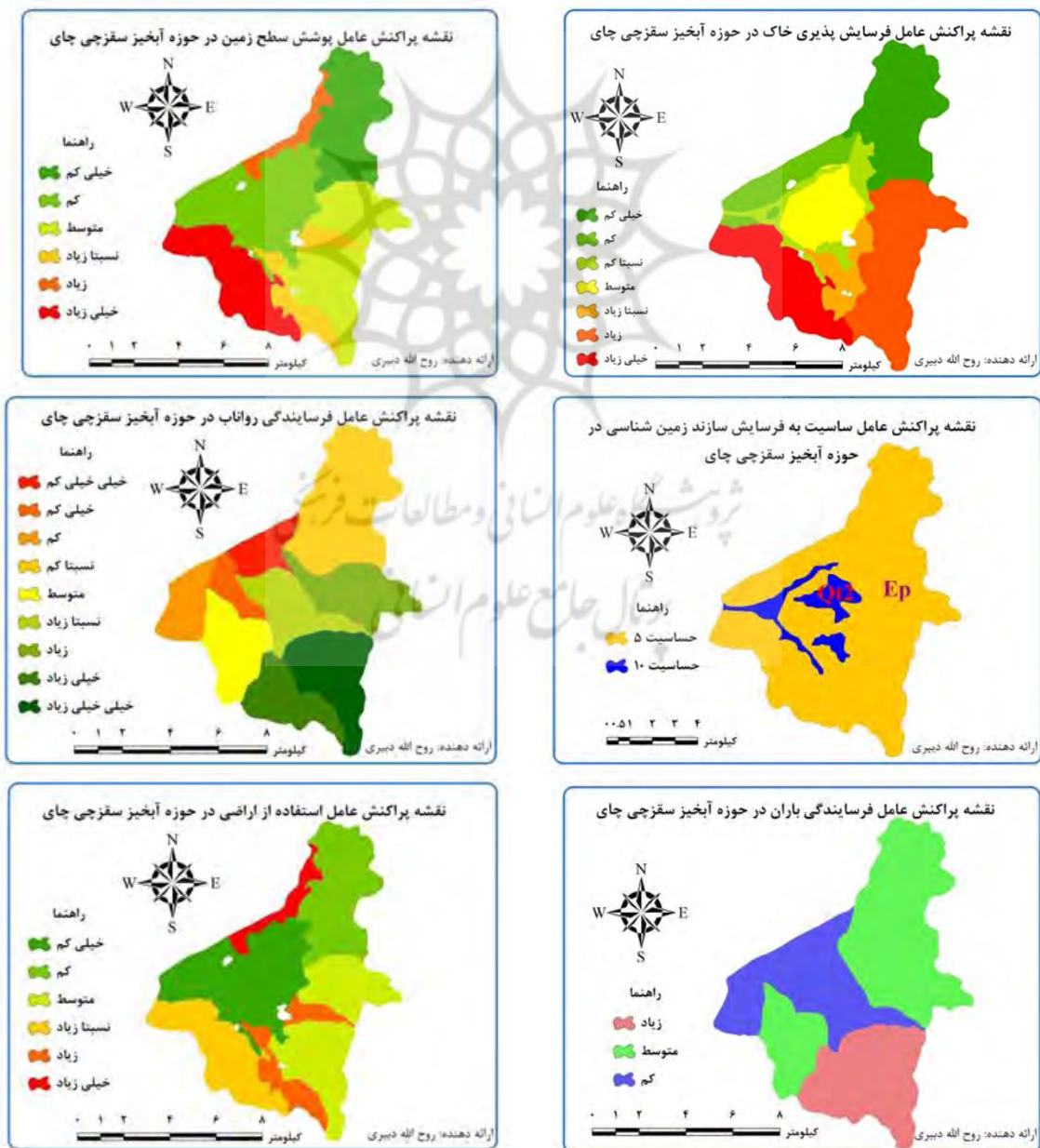


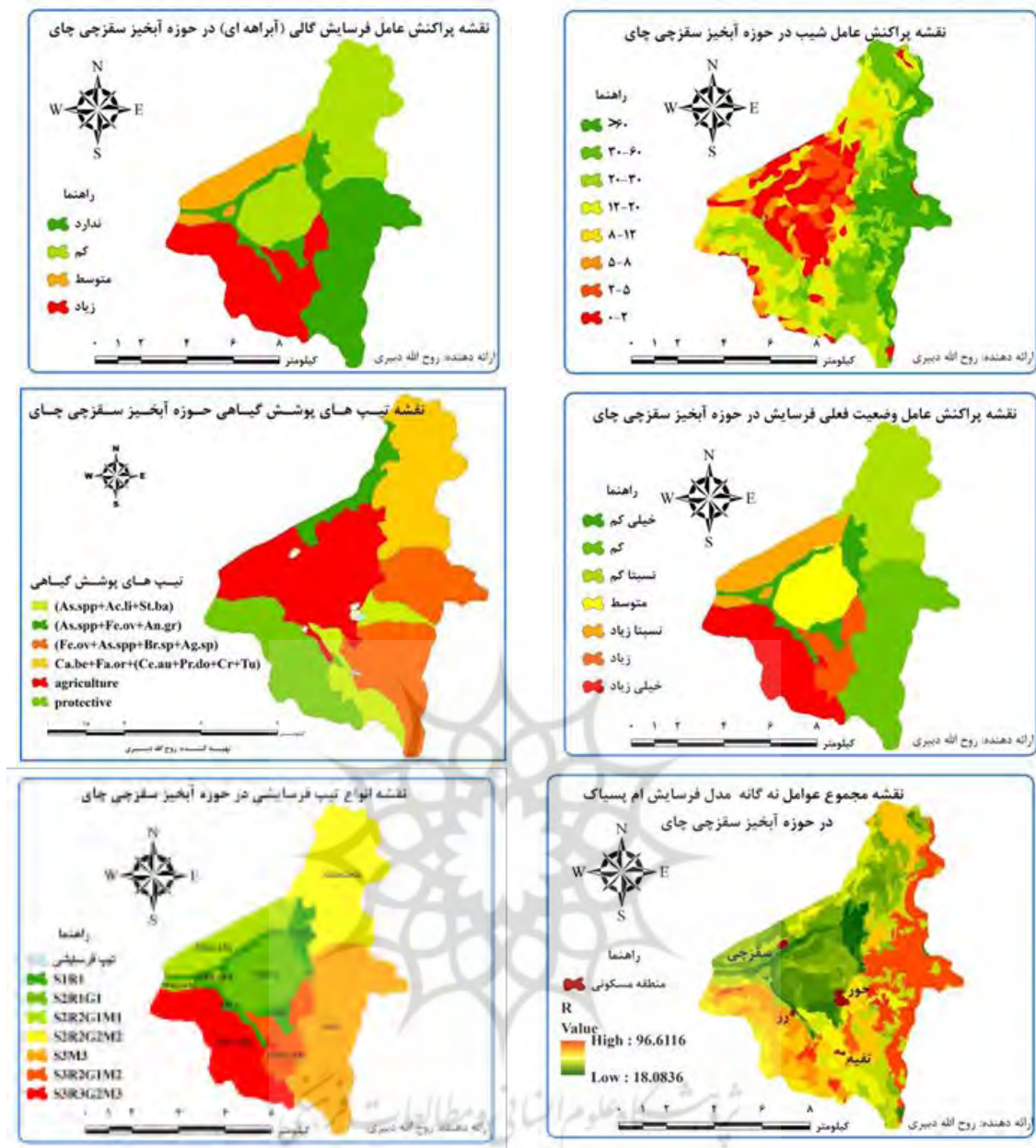


شکل (۲): عملیات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه آبخیز سقزچی چای

• یافته‌های پژوهش

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





شکل (۳): نقشه عوامل ۹ گانه موثر در تولید رسوب به روش MPSIAC در حوزه آبخیز سقزچی چای

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		
						m ³ /ha.y	ton/ha.y	ton/y	m ³ /ha.y	ton/ha.y	ton/y
s 1-1-1	D ₁	۱۹۳۰/۵۰	۱/۶۱	۴۰/۸۴	۴۸/۱۸	۱/۰۳	۱/۴۰	۲۷۰۵/۳۵	۲/۵۲	۳/۴۳	۶۶۲۴/۱۷
s 1-1-2	D ₂	۹۴۲/۴۳	۱/۶۶	۴۵/۲۲	۶۳/۹۴	۰/۶۵	۰/۸۸	۸۲۹/۲۲	۱/۴۳	۱/۹۵	۱۸۳۳/۹۵
s 1-1-int	D ₃	۴۰۹/۴۰	۱/۷۱	۵۰/۸۹	۳۷/۰۸	۰/۷۳	۰/۹۹	۴۰۴/۹۱	۱/۴۳	۱/۹۴	۷۹۵/۵۸
s 1-2-1	D ₄	۱۰۷۶/۹۴	۱/۶۵	۴۴/۳۷	۵۷/۰۸	۰/۶۶	۰/۹۰	۹۷۳/۵۹	۱/۵۰	۲/۰۴	۲۱۹۴/۳۸
s 1-2-int	D ₅	۷۸۶/۹۴	۱/۶۷	۴۶/۳۹	۵۷/۰۸	۰/۷۴	۱/۰۱	۷۹۴/۱۷	۱/۶۰	۲/۱۸	۱۷۱۲/۰۴
s1-int	D ₆	۳۰۱/۸۲	۱/۷۳	۵۳/۱۴	۳۳/۹۱	۰/۶۲	۰/۸۴	۲۵۲/۸۸	۱/۱۶	۱/۵۸	۴۷۵/۸۳
s 2-1	D ₇	۷۴۹/۶۷	۱/۶۷	۴۶/۷۱	۵۶/۲۸	۱/۴۶	۱/۹۹	۱۴۹۳/۵۶	۳/۱۴	۴/۲۷	۳۱۹۷/۶۷
s2-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)	تغییرات			تغییرات		
			قبل اجرا	بعد اجرا	تغییرات رسوب	قبل اجرا	بعد اجرا	
			ton/ha.y	ton/ha.y	رسوب	ton/ha.y	ton/ha.y	
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 D₂، D₄ و D₅ که با رنگ قرمز مشخص شده است، عملیات آبخیزداری انجام نشده و تغییرات فرسایش و رسوب افزایشی ولی در زیرحوزه‌های D₁ و D₆ 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 D₁، D₈، D₇، D₄ و D₅ به ترتیب بیشترین مقادیر فرسایش و رسوب را قبل از اجرای عملیات آبخیزداری در سطح حوزه داشتند. واحدهای D₁، D₄ و D₂ 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 D₁، D₂، D₄ و D₅ بیشترین مقادیر فرسایش و رسوب را دارند. واحدهای D₁، D₂ و D₄ هم‌جوار و چسبیده به هم هستند و در واحد D₁ اقدامات آبخیزداری از جمله بندهای سنگی ملاتی، پتینگ و نهال کاری صورت گرفته ولی در واحدهای D₂ و D₄ 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 D₂، D₄ و D₅ که با رنگ قرمز مشخص شده است، عملیات آبخیزداری انجام نشده و تغییرات فرسایش و رسوب افزایشی ولی در زیرحوزه‌های D₁ و D₆ عملیات آبخیزداری انجام شده و تغییرات فرسایش و رسوب کاهش‌ی است و نتایج نشان می‌دهد که اجرای عملیات آبخیزداری موفقیت آمیز بوده است. در واقع در واحد D₁ و همچنین D₃، D₆ و D₉ که تحت تاثیر D₁ هستند، بخاطر اجرای عملیات آبخیزداری مقدار فرسایش و رسوب تقریباً ثابت مانده ولی در واحدهای D₂، D₄ و D₅، 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 $p=0/561$ و $p=0/99$) در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیست و متغیر دارای توزیع نرمال است و همچنین میزان رسوب قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری (به ترتیب $p=0/509$ و $p=0/982$) در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیست و متغیر دارای توزیع نرمال است بنابراین می توان از تجزیه و تحلیل پارامتریک استفاده کرد.

جدول (۷): بررسی تفاوت میزان فرسایش زیرحوزه های آبخیز داری عملیات آبخیزداری اجرا شده و اجرا نشده در دو مقطع قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری

مرحله	متغیر	میانگین (تن در سال در هکتار)	انحراف استاندارد	Sig - واریانس	F	واریانس ها	t	Sig - میانگین
قبل از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه داری 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 داری 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 زیرحوزه های آبخیز معنی دار نیست ($sig = 0/078$) که نشان می دهد واریانس زیرحوزه های آبخیز برابرند و میانگین فرسایش در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیست ($sig = 0/563$) و برابر است؛ در حالی که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری بر مبنای نتایج آزمون t مستقل، میزان فرسایش در زیر حوزه های آبخیز معنی دار نیست ($sig = 0/310$) که نشان می دهد واریانس زیرحوزه های آبخیز برابرند و میانگین فرسایش در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ($sig = 0/009$). همچنین میانگین فرسایش در زیرحوزه های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری اجرا شده و اجرا نشده برابر نیست و در زیر حوزه های 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 حوزه های آبخیز دارای عملیات آبخیزداری (D_9, D_6, D_3, D_1) این مقدار فرسایش افزایش نیافته و نشان دهنده اثربخشی مثبت اجرای عملیات آبخیزداری در زیرحوزه های آبخیز سقزچی جای 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	برابرنند	-۰/۵۱۲	۰/۶۲۴
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۱/۳۵	۰/۵۸۰			نا برابرنند	-۰/۵۴۸	
بعد از اجرای عملیات آبخیزداری	زیر حوزه دارای عملیات آبخیزداری	۱/۱۸	۰/۳۱۸	۰/۵۳۵	۰/۴۲۶	برابرنند	-۴/۰۱۸	۰/۰۰۵
	زیر حوزه فاقد عملیات آبخیزداری	۲/۰۲	۰/۳۰۶			نا برابرنند	-۴/۰۰۰	

با توجه به جدول ۸ قبل از اجرای عملیات آبخیزداری براساس نتایج آزمون t مستقل برای میزان رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز معنی دار است ($sig = 0/013$) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابر نیستند و میانگین رسوب در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیست ($sig = 0/603$) و برابر است؛ در حالی که بعد از اجرای عملیات آبخیزداری بر مبنای نتایج آزمون t برای میزان رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز معنی دار نیست ($sig = 0/535$) که نشان می‌دهد واریانس زیرحوزه‌های آبخیز برابرند و میانگین رسوب در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ($sig = 0/005$) 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 است. 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 سقزچی چای 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 منطقه 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) در مورد 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، حوزه آبخیز 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 مشکلات 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 هیدرومتری در بیشتر حوزه‌های آبخیز، 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 حوزه آبخیز سقزچی چای 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 واحدهای کاری که سازه‌ای احداث نشده است، کلیه 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 $2/95$ تن در هکتار در سال به $4/43$ تن در هکتار در سال رسیده که $1/48$ تن در هکتار در سال افزایش دارد و همچنین در زیر حوزه‌های آبخیز فاقد اجرای عملیات آبخیزداری، میانگین رسوب از $1/35$ تن در هکتار در سال به $2/02$ تن در هکتار در سال رسیده که به مقدار $0/67$ تن در هکتار در سال افزایش میانگین رسوب دارد که معادل 50 درصد میانگین رسوب قبل از اجرای عملیات آبخیزداری هست در حالیکه در زیر حوزه‌های 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 سقزچی چای موثر بوده که با جلوگیری از فرسایش و هدر رفت خاک، حدود 50 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 پوشش گیاهی و حفاظت خاک حوزه آبخیز شده است. درضمن، اقدامات زیستی از اولویت بیش‌تری نسبت به عملیات مکانیکی برخوردار است؛ چرا که افزایش پوشش گیاهی مرحله اول تخریب خاک (فرسایش) را مهار کرده، اما اقدامات مکانیکی بر رسوب‌دهی تأثیرگذار است. به نظر می‌رسد که به مشخصات فیزیوگرافی حوزه آبخیز برای اجرای عملیات آبخیزداری باید بیش‌تر توجه شود. بنابراین، بهتر است در زیر حوزه‌های 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 با توجه 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 اجرا شده در کنترل فرسایش برای ارزیابی میزان فرسایش و هدررفت خاک در حوزه آبخیز سقزچی چای 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 محدودیت‌ها 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). ژئومورفولوژی کاربردی. چاپ پنجم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۲. اسمعیلی، ابازر و دیگران (۱۳۸۶)، اسفند). مدلسازی فرسایش و تولید رسوب و تهیه نقشه خطر فرسایش آبی (مطالعه موردی حوزه آبخیز بالخلی چای اردبیل). چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران- مدیریت حوزه آبخیز. کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۳. اسمعیلی، ابازر؛ عبدالهی، خدایار (۱۳۹۲). آبخیزداری و حفاظت خاک. اردبیل: انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.
۴. باقریان کلات، علی؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر پوشش گیاهی و میزان فرسایش و رسوب درحوزه آبخیز کاخک. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۳ (۷)، ۶۳-۵۱.
۵. جعفری، ابوزر؛ سرائی تبریزی، مهدی؛ بابازاده، حسین (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز علی‌کندی بوکان). تحقیقات کاربردی خاک. ۸ (۴)، ۶۸-۵۷.
۶. حسنلو، م. (۱۳۸۲). مقایسه و واسنجی روش MPSIAC با آمار رسوب در حوزه آبخیز 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 حوزه آبخیز 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. رضایی، بهمن؛ ابراهیمی، هدی؛ حق پرست مؤدبی، لیلیا (۱۳۹۶). نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد برنجستانک). مهندسی جغرافیایی سرزمین. ۱ (۲)، ۵۹-۴۹.
۱۰. شرکت مهندسی مشاور نپیا. (۱۳۸۶). گزارشات تفصیلی-اجرایی خاکشناسی حوزه آبخیز سفزچی چای. اردبیل: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل.
۱۱. شرکت مهندسی مشاور نپیا. (۱۳۸۷). گزارشات تفصیلی-اجرایی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سفزچی چای. اردبیل: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل.
۱۲. عابدینی، موسی؛ پاسبان، امیر حسام؛ نظافت تکل، 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. انتشار آنلاین.
۱۳. عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۱). اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تورپراقی 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)، ۲۴۳-۲۶۸.
۱۵. عرب خدیری، محمود و دیگران (۱۳۹۷). تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. *پژوهش‌های آبخیزداری*. ۳۱ (۳)، ۲۷-۱۳.
۱۶. غفاری، گلاره و دیگران (۱۳۹۴). ارزیابی اثر طرح آبخیزداری حوضه آبخیز کن بر میزان فرسایش و رسوب. *مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)*. ۶۸ (۳)، ۶۰۷-۶۲۴.
۱۷. فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۴). مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقلیم 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: حوزه 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 بهره‌وری 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 حوزه آبخیز*. 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 بین‌المللی کشاورزی پایدار در غذا، انرژی، محیط‌زیست و صنعت*. تهران.
۲۲. مؤذنی نقدر، 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 Moghanjjiq, P. (2017). Soil erosion and sediment mapping in Aidoghmouth watershed applying 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 and 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: حوزه آبخیز سقزچی چای استان اردبیل)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۷)، ۱۸۴-۲۰۱، Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.11.7

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access 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.

