

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ۱۳، شماره ۴۹، پاییز ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱

صص ۳۹-۱۸

پژوهشی

اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی بر اساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) در محیط GIS

موسی عابدینی*، استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
سجاد جوادی علی‌بابالو، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
رئوف مصطفی‌زاده، دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
امیرحسام پاسبان، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

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؛ بنابراین در این پژوهش به منظور برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از روش تجربی پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) و بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی استان اردبیل پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه شد. پس از گردآوری، آماده‌سازی و ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و تلفیق این لایه‌ها میزان رسوب ویژه سطح حوضه بین ۷/۶۹ تا ۰/۷۶ تن در هکتار در سال محاسبه شد. مقدار کل و متوسط فرسایش سالانه خاک حوضه نیز به ترتیب برابر با ۰ تا ۵۷/۶۲ و ۱۱/۶۶ تن در هکتار در سال به دست آمد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فرسایش در زیرحوزه‌ها بر اساس اولویت‌بندی مربوط به زیرحوزه‌های ۱۵ و ۳۶ است که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۲۸/۵۰ و ۲/۸۳ تن در هکتار در سال محاسبه شد. متوسط رسوب تولیدی برای حوضه مورد مطالعه ۳/۱۶ تن در هکتار در سال برآورد شد. اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها بر اساس میزان فرسایش خاک نشان داد که زیرحوضه ۱۵ و ۳۴، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فرسایش (۲۸/۴۸ و ۲/۸ تن در هکتار در سال) را دارند. بر اساس میزان رسوب، زیرحوضه ۱۶ و ۳۴ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رسوب ۷/۱۶ و ۰/۷۶ تن در هکتار در سال را تولید می‌کنند. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل پارامترهای مربوط به فرسایش در مدل MPSIAC، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اولویت‌بندی انجام شده می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری و مدیریت در کنترل فرسایش و تولید رسوب در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، رسوب‌دهی، شاخص‌ها، اولویت کنترل فرسایش، نسبت رسوب‌دهی

*Email: abedini@uma.ac.ir

۱- مقدمه

حوضه‌های رودخانه‌ای که به حوضه‌های هیدروگرافی نیز مرسوم است، عوامل فرسایشی به صورت سیستماتیک مرتبط به هستند. ارزش و اهمیت مطالعات حوضه‌های رودخانه‌ای به لحاظ افزایش روزافزون جمعیت و بستر برآوردکننده نیازهای کشاورزی، دامداری و گسترش مناطق مسکونی و شبکه ارتباطی و سایر کاربری‌ها روز به روز بیش‌تر معلوم می‌شود (عابدینی، ۱۳۸۸). ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین است (عابدینی و طولابی، ۱۳۹۲). در طول ۴۰ سال گذشته، تقریباً یک‌سوم زمین‌های قابل کشت جهان در اثر فرسایش از بین رفته است و هم‌چنین بیش از ۱۰ میلیون هکتار در سال از بین می‌رود (Pmental et al., 1995). در طول دهه‌های اخیر، بشر همواره با تلاش گسترده به دنبال توسعه و فن‌آوری جدید بوده و در این راه از هیچ کوششی در تغییر شکل طبیعت فروگذار نکرده است (Hill., 1993). بررسی نتایج پژوهش‌های علمی نشان می‌دهد، حدود ۵۸ درصد از تخریب اراضی در جهان به علت فرسایش خاک بوده که بیش‌تر این تخریب، از زمان جنگ جهانی دوم رخ داده است و باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است هم‌چنین اخیراً حدود ۸۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در جهان از فرسایش متوسط تا شدید رنج می‌برند؛ بنابراین، جلوگیری از این پدیده، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حفاظت از منابع طبیعی به‌شمار می‌رود (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). افزون بر این، فرسایش خاک خطری برای رفاه و حیات انسان به‌شمار می‌آید، و نیز یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. در مواردی که فعالیت‌های انسانی تعادل طبیعت را برهم می‌زند، پدیده فرسایش خاک شدت می‌گیرد (عابدینی، ۱۳۸۴، رفاهی، ۱۳۹۶). تاکنون مدل‌های زیادی جهت برآورد فرسایش خاک ارائه شده است، از میان این مدل‌ها می‌توان به مدل پسیاک اصلاح شده^۱ که درصد اعتبار بیش‌تری دارد اشاره کرد. مدل MPSIAC در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور کارایی دارد (خیام و همکاران، ۱۳۹۲). امروزه افزایش شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز و ترسیب رسوبات ناشی از آن در رودخانه‌ها، کانال‌های آب‌رسانی، اراضی زراعی و مخازن سدهای ذخیره آب به یکی از دغدغه‌های کشاورزان و مدیران ذی‌ربط در ایران و جهان تبدیل شده است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ بنابراین برآورد‌های صحیح از خطر فرسایش و مشخص کردن مناطق حساس به فرسایش در بهبود توصیه‌های مدیریت اراضی و مقابله با فرسایش با روش‌های مختلف نقش مهمی دارد (Talebi & khiavi and Mostafazadeh, 2022). آمار موجود که به‌طور تقریبی تنها با رسوب‌سنجی از خروجی حوضه‌های آبخیز کشور برآورد شده است، میزان رسوبدهی را بیش از ۲ میلیارد تن در سال نشان می‌دهد که خود شاهدهی بر تخریب است. لذا به‌همین منظور، ضروری است که در سطح حوضه‌های آبخیز کشور، پژوهش‌هایی در خصوص میزان دقیق فرسایش و روش‌های کاهش آن صورت بگیرد (نیک‌جو، ۱۳۷۴). پژوهش‌ها و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در حوضه‌های آبخیز مختلف صورت گرفته است که از آن جمله سلطانی و همکاران (۱۳۹۶)، مطالعه‌ای را تحت‌عنوان برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوضه کیلک با استفاده از روش‌های ژئومورفومتری مبتنی بر مدل MPSIAC در محیط GIS انجام داده‌اند. آنان پس از تعیین ۵ کلاس فرسایشی، مقدار رسوب و فرسایش در هریک از واحدهای کاری به تفکیک برآورد شده‌اند. بر این اساس مقدار رسوب و فرسایش کل برآورد شده به‌ترتیب برابر با ۱۱/۳۹ تن در سال و ۲۵۷۷/۳۲ تن در سال محاسبه شد.

در مورد پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه رودخانه بالخلوچای عابدینی و یعقوب‌نژاد (۱۳۹۶) پژوهشی انجام داده‌اند که نتایج آن نشان داده که حدود ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه در محدوده با خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ در محدوده با خطر فرسایش کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند. آب و خاک، پایه و اساس حیات بشر به‌شمار

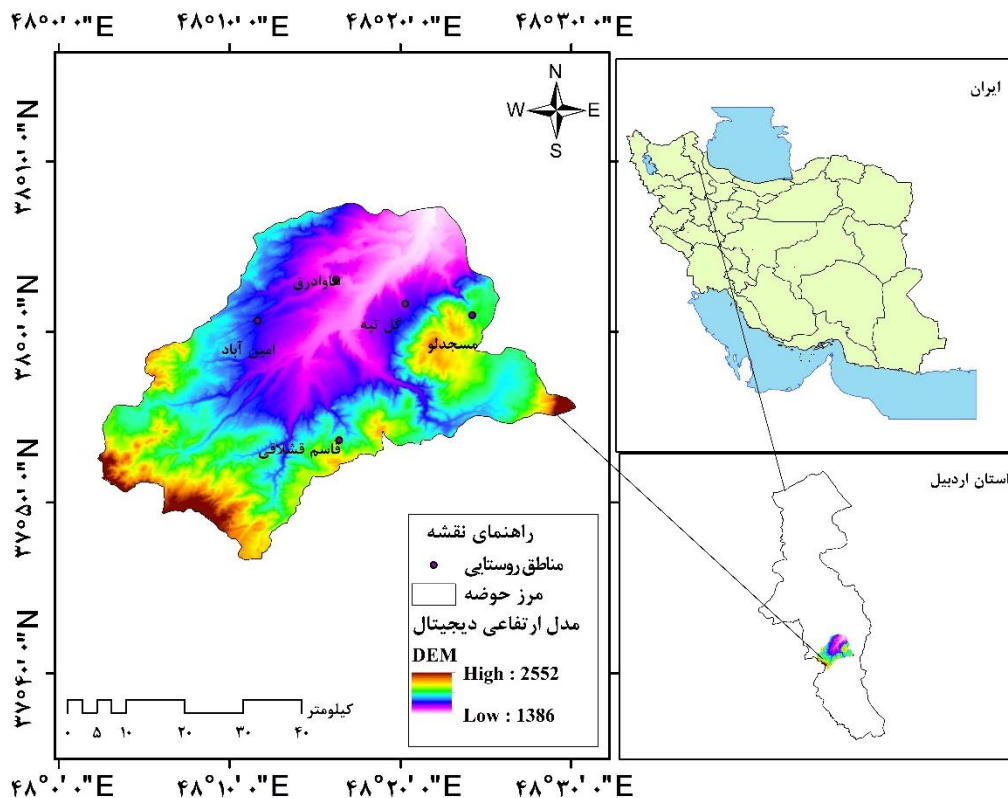
می‌آیند. امروزه فرسایش خاک این منابع بارزش و در نتیجه حیات بشر را تهدید می‌کند؛ بنابراین ارزیابی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری است (عابدینی و طولابی، ۱۳۹۶). به‌علاوه پژوهشگرانی مانند نوری و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تخمین تولید متوسط رسوب سالیانه و نقشه فرسایش شدید در دو زیر حوضه آبخیز دز، جنوب غربی استان لرستان، از جمله آب‌شهر و زیرحوضه‌های خشور با ۱۹/۹۲۰ هکتار، با استفاده از مدل فرسایش خاک اصلاح‌شده (MPSIAC) پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در پردازش داده‌های تصویر از ماهواره IRS-P6، دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۹۰/۳ درصد و ۰/۹۰۱ است. مقدار رسوبات خاص و فرسایش خاک پیش‌بینی شده توسط مدل MPSIAC به ترتیب ۱۳۷۴/۶ و ۲۳۹۶/۵ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال بود. مناطق ناحیه مرکزی و بخش جنوبی حوضه آبخیز به‌علت شکل‌گیری زمین‌شناسی و پوشش زمین تحت‌تاثیر فرسایش شدید قرار گرفته‌اند، درحالی‌که در شمال به‌علت پوشش فشرده زمین، فرسایش نسبتاً کم است. سعدالدین و همکاران (۲۰۱۰) اثرات فیزیکی اجرای سناریوهای مدیریت مبتنی بر پوشش گیاهی در آبخیز رامیان استان گلستان را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SCS و مدل EPM مورد مطالعه قرار دادند. سپس، بهترین سناریوها بر اساس کنترل رواناب و فرسایش با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین شدند. سامان‌تاری و گوس (۲۰۱۸) از روش شبکه عصبی و هوش مصنوعی در برآورد رسوب استفاده نموده‌اند. مشرام و همکاران (۲۰۲۰) به‌منظور اولویت‌بندی منطقه حساس در معرض خطر فرسایش، بیست حوضه آبریز بامانی را با استفاده از مدل VIKOR اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که زیر حوضه ۱۱ در رتبه اول قرار دارد هم‌چنین نتایج نشان دهنده برتری مدل VIKOR نسبت به مدل CF و ELECTRE بود. با توجه به اینکه حوضه کوزه‌توپراقی در استان اردبیل، یک حوضه کوهستانی شیب‌دار است و در اثر دخالت انسان‌ها به روش‌های مختلف نظیر، چرای بی‌رویه مراتع، تبدیل اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی و هم‌چنین توسعه مناطق شهری میزان فرسایش خاک در این حوضه تشدید می‌شود. هدف از این تحقیق اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر فرسایش‌پذیری و تولید رسوب در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی استان اردبیل با استفاده از مدل MPSIAC است. در این راستا، نقشه عوامل مهم موثر بر فرسایش تهیه شده و ضمن ارزیابی تغییرات مکانی آن‌ها، نقشه شدت فرسایش در مقیاس زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه تهیه خواهد شد. علاوه براین، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس شدت فرسایش و رسوبدهی و نیز کلاس فرسایش از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوزه آبخیز کوزه‌توپراقی به‌ترتیب با مساحت و محیط ۸۰۵/۷۰ کیلومتر مربع و ۱۴۸/۹۸ کیلومتر در قسمت جنوبی استان اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر و در مختصات جغرافیایی ۴۸°۰۹'۰۲" تا ۴۸°۳۰'۲۷" طول شرقی و ۳۵°۳۷'۴۶" تا ۳۸°۰۷'۳۰" عرض شمالی واقع شده است. در (شکل ۱) موقعیت حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی ارائه شده است. مناطق مسکونی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی را ۶۵ روستا تشکیل می‌دهد که روستاهای مهم منطقه قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو و مولان هستند. پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع حوضه به ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲۵۴۹ متر نسبت به سطح دریا است. درصد قابل توجهی از اراضی حوضه مورد پژوهش را کشاورزی دیم و مراتع ضعیف پوشانده است و وقوع انواع فرسایش در آن قابل مشاهده بوده، لذا برآورد مقدار فرسایش و رسوب جهت طرح‌های حفاظت آب و خاک ضروری می‌نماید (علایی و همکاران، ۱۳۹۸). رسوبات چین‌خورده این منطقه مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی و دوره نئوژن بوده و به طور متناوب از آهک آب شیرین و یا مارن‌های خاکستری با درون‌لایه کنگلومرایبی است، سنگ‌های مارنی موجود در سطح حوضه در مقابل عوامل فرسایش بسیار ضعیف است. بیش‌ترین ضریب فرسایشی برای سازندهای

موجود در حوضه، به سازند Oms با ضریب فرسایشی (۸/۵) و کم‌ترین ضریب به سازند Qal، با ضریب (۰/۷)، تعلق می‌گیرد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز کوزه توپراقی در سطح کشور و استان اردبیل

۲-۲- روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هم‌چنین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI، DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متر، اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و اطلاعات مربوط به لایه خاک استفاده شد. هم‌چنین به منظور آنالیز و پردازش داده‌های به دست آمده از نرم‌افزارهایی که در (جدول ۱) ارائه شده است استفاده شد. با توجه به وضعیت توپوگرافی و سیستم آبراهه‌ها، حوضه کوزه توپراقی به ۳۶ زیر حوضه جهت الویت بندی مقدار فرسایش خاک طبقه‌بندی شد

جدول ۱: نرم افزارهای به کار رفته و موارد استفاده از آن‌ها

کاربرد	نرم‌افزار
پیش پردازش، پردازش، ارزیابی صحت تصاویر ماهواره‌ای	نرم‌افزار ENVI 5.4
تعیین محیط و مساحت و تهیه خروجی از سایر پارامترهای مورد استفاده	نرم‌افزار ArcGIS 10.1
شناسایی مقدماتی منطقه مورد مطالعه	نرم‌افزار Google Earth

مدل PSIAC در سال ۱۹۶۸ توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبات شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شد و بعدها توسط دانشمندان آمریکایی مورد تجدید نظر قرار گرفت و مدل MPSIAC نام‌گذاری شد. در سال ۱۳۵۲ برای اولین بار در حوضه سد دز ایران به اجرا درآمد که نسبت به دیگر روش‌ها از دقت بالایی برخوردار بود (رفاهی، ۱۳۹۶). بدین ترتیب، تاثیر ۹ عامل مهم و موثر (زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب‌وهوا، جریان‌های سطحی، پستی و بلندی، پوشش زمین، کاربری اراضی، شدت فرسایش سطحی، شدت فرسایش رودخانه‌ای) در فرسایش خاک و تولید رسوب ارزیابی می‌شود. در مدل MPSIAC با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برای هر عامل فرسایش، یک لایه اطلاعاتی تهیه می‌شود و برای هر پیکسل مجموع امتیازها محاسبه می‌شود که این امتیاز بر اساس توصیه و جدول روش MPSIAC تعیین می‌شود (عسگری و همکاران، ۱۳۸۷).

عوامل ۹ گانه مدل MPSIAC: مفهوم فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز همواره مورد بحث بوده و با توجه به معیارهای مربوط به هر منطقه برآورد می‌شود. میزان تاثیرگذاری عوامل ۹ گانه در فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت است. به طوری که زیرمعیارهای آب و هوا مانند بارش و دما و همچنین در بحث زمین‌شناسی جنس و نوع خاک و شرایط توپوگرافی منطقه برای محاسبه شدت فرسایش مورد بحث است (با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، کاربری‌های مختلف حوضه و میزان مساحت کلی حوضه مشخص می‌شود سپس با استفاده از داده‌های رسوب و فرسایش سال‌های اخیر منطقه، میزان فرسایش در حوضه آبخیز تعیین می‌شود). با محاسبه و ارتباط هریک از این معیارها و از همه مهم‌تر شیب آبراهه و مساحت و ارتفاع حوضه می‌توان با استفاده از مدل MPSIAC مقادیری نزدیک به مقادیر واقعی فرسایش حوضه را به دست آورد. در این پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی رقومی سازمان نقشه‌برداری در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی و معادن کشور منتشر شده است، نقشه‌های موضوعی از منطقه شامل نقشه‌های خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. آمار ایستگاه‌های هواشناسی، باران‌سنجی مناطق مجاور حوضه آبخیز، ارتفاع حوضه آبخیز، ارتفاع رواناب سالانه و دبی اوج ویژه از دیگر داده‌های مورد نیاز برای مدل MPSIAC است.

جدول ۲: عوامل موثر در مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن (رفاهی، ۱۳۹۶)

ردیف	تشریح شاخص عوامل	نحوه محاسبه امتیاز در مدل MPSIAC	شرح پارامترها
۱	زمین‌شناسی سطحی	$X_1=Y_1$	X_1 حساسیت سنگ‌ها به فرسایش
۲	خاک‌شناسی	$X_2=16/67K$	K عامل فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش
۳	آب و هوا	$X_3=0/2P_2$	X_3 بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو سال برحسب میلی‌متر
۴	رواناب	$X_4=0/006R+10QP$	R ارتفاع رواناب سالانه و QP دبی ویژه
۵	توپوگرافی	$X_5=0/33S$	S شیب متوسط حوضه (درصد)
۶	پوشش گیاهی	$X_6=0/2P_b$	P_b درصد اراضی لخت
۷	کاربری اراضی	$X_7=20-0/2P_c$	X_7 درصد تاج پوشش گیاهی
۸	فرسایش سطحی	$X_8=0/25SSF$	X_8 مجموع امتیازات مدل BLM
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	$X_9=1/67SSF_g$	X_9 امتیاز عامل هفتم در مدل BLM

عامل زمین‌شناسی: این لایه با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه و بر اساس واحدهای سنگی حوضه استخراج می‌شود. پس از رقومی‌سازی واحدهای سنگی، امتیاز حساسیت به فرسایش هر واحد سنگی بین صفر تا ۱۰ لحاظ می‌شود. برای تعیین این ضرایب از امتیازدهی مربوط به مناطق خشک و نیمه‌خشک و هم‌چنین نوع سنگ و وضعیت سختی و هوا دیدگی استفاده می‌شود (فیض‌نیا، ۱۳۷۴، محمودآبادی و همکاران، ۱۳۸۴). این عامل را با علامت Y_1 نشان می‌دهند. امتیاز آن بین صفر تا ۱۰ در نظر گرفته شده است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی منطقه و نظرات کارشناسی و با توجه به جداول مدل MPSIAC، سنگ‌های مختلف موجود در منطقه از لحاظ ضریب حساسیت به فرسایش‌پذیری و کاهش مقاومتشان در برابر فرسایش، با استناد به جدول فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۱) مرتب شده‌اند و به‌صورت جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۳: میزان مقاومت سنگ‌های حوضه کوزه‌توپراقی در مقابل فرسایش

حساسیت نسبی فرسایش	امتیاز پسیاک	واحد زمین‌شناسی	لیتولوژی
کم	۰/۷	Qal	آبرفت عهدحاضر
کم	۱/۲۵	Qt2	پادگانه‌های جوان
کم	۱/۵	Qt1	پادگانه‌های قدیمی
خیلی زیاد	۸	Ngms	تناوب مارن‌های خاکستری و قرمز ژپس‌دار با ماسه سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌ای کنگلومرای
زیاد	۶/۲۵	Ngc3	کنگلومرا همراه با لایه‌ای از ماسه‌سنگ، مارن، آهک و آب شیرین
کم	۲	Ng1	آهک‌های نازک‌لایه و چین‌خورده صورتی رنگ
متوسط	۵/۲۵	Nga2	آندزی بازالت، تراکی بازالت، پیروکسن، آندزیت، بازالت، تراکیت
متوسط	۴/۲۵	Ngm3	توف، مارن با میان‌لایه‌ای از آهک آب شیرین، کنگلومرا و ماسه‌سنگ
کم	۲/۵	Ngt2	تناوب توف، لاپیلی توف، توف برش، پومیس، لاهار و آهک آب شیرین
کم	۳/۲۵	Ngc2	کنگلومرا همراه با لایه‌ای از آهک اب شیرین، ماسه‌سنگ و توف
زیاد	۶/۵	Ngr.d	گنبد‌های آتش‌فشانی با ترکیب ریولیتی تا ریوداسیتی و گاهی تراکی آندزیتی
زیاد	۶	Ev	پورفیریتیک آندزیت و تراکی آندزیت تا مگاپور فیریتیک
زیاد	۷	Evc	کنگلومرای آتش‌فشانی ضخیم‌لایه همراه با ماسه‌سنگ توفی، توفی آندزیتی و بین‌لایه‌ای شیل و شیل آهکی
متوسط	۵	Ep2	تراکی آندزیت و تراکی بازالت آنالسیم‌دار با بافت پورفیری درشت‌بلور
متوسط	۴/۵	Eba	گدازه بازالتی آفانتیک و حفره‌ای و تراکیت بازالت فوئیددار
کم	۳/۵	Mpt	توف کریستالین، توف شیشه‌ای، لیتیک توف، توف پونسی و خاکستر آتش‌فشانی سفیدرنگ با ترکیب ریوداسیتی
متوسط	۵/۵	Mdt	گدازه داسیتی و تراکیت با بخش‌های توف کریستالین و توف شیشه‌ای
کم	۳	Gb	گابرو
متوسط	۴	Oc	کنگلومرای روشن رنگ با قطعات توفی و آندزیتی و بین‌لایه‌ای ماسه‌سنگ
خیلی زیاد	۸/۵	Oms	مارن‌های قرمز ژپس‌دار و نمک همراه با تناوب‌هایی از مارن‌های ماسه‌ای و ماسه سنگ با رنگ روشن

عامل بافت خاک: با برداشت نمونه خاک سطحی از عمق ۱۰ سانتی‌متری از واحدهای اراضی مختلف و تعیین خصوصیات مورد نظر شامل سیلت و ماسه خیلی ریز، ماسه درشت‌تر از ۰/۱ میلی‌متر، ماده آلی، کلاس ساختمان و نفوذپذیری خاک، مقادیر فرسایش‌پذیری با استفاده از معادله ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)، محاسبه می‌شود (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۸۴). برای عامل خاک امتیاز بین صفر تا ۱۰ اختصاص داده شده است که بر اساس بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، میزان آهک، مواد آلی، قابلیت پخش رس و رطوبت اولیه خاک تغییر می‌نماید. برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک در مدل MPSIAC، از (رابطه ۱) استفاده می‌شود (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

$$Y_1 = 16.67K \quad (1)$$

برای عامل خاک حوضه کوزه‌توپراقی، اطلاعات مورد نیاز همراه با نوع خاک‌های منطقه که شامل چهارنوع خاک (رسی لومی، شنی رسی لومی، شنی لومی، لومی) در حوضه است، به‌دست آمد که در محیط ArcGIS، نقشه بافت خاک این حوضه تهیه شد.

عامل آب و هوا: برآورد دوره بازگشت نظیر بارندگی از موضوعات مهم مطالعات منابع آب است. بررسی روند تغییرات بارندگی می‌تواند در برنامه‌ریزی محیطی، راهگشای بسیاری از مسائل زیست‌محیطی باشد (کمری و نوری، ۱۳۹۵). در هیدرولوژی، اصطلاح دوره بازگشت عموماً به‌صورت متوسط (امید ریاضی) تعداد آزمایشات تا زمان اولین رخداد پدیده بحران ($X > X_0$)، تعریف شده است. تعریف دیگر دوره بازگشت، فاصله زمانی بین دو رخداد متوالی پدیده‌ای بزرگتر از پدیده بحران $X > X_0$ ، است. اگر پدیده مستقل و احتمال عبور p از یک پدیده بحرانی در یک آزمایش (سال) ثابت باقی بماند، هر دو تعریف فوق به رابطه مشابهی برای دوره بازگشت T به‌صورت $T = 1/p$ ، می‌انجامد (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۵).

برای محاسبه این عامل، داده‌های بارش سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲ تهیه شد سپس پر باران‌ترین روزهای هر سال (متوسط حداکثر بارش ۲۴ ساعته میلی‌متر) انتخاب شده و از مجموع آن‌ها میانگین تهیه می‌شود (X_1). متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر محاسبه شده و میانگین به‌دست می‌آید (X_2) اعداد به‌دست آمده در (رابطه ۲) جایگذاری می‌شوند.

$$P60_{10} = e^{0.8153X_1^{1.1374}X_2^{-0.3072}} \quad (2)$$

نیاز به مقدار بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال بر حسب میلی‌متر است، لذا از روش بارش ۲۴ ساعته ($T, 24$)، P ، با استفاده از فرمول تجربی زیر (رابطه ۳) می‌توان حداکثر بارش ۶ ساعته با دوره برگشت T یا $P(6, t)$ ، را تخمین زد.

$$Pt_T = \{0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)\} (0.3710 + 0.6184t^{0.4484}) P60_{10} \quad (3)$$

در این معادله t بر حسب ساعت و T دوره بازگشت بر حسب سال و $P60_{10}$ بر حسب میلی‌متر است (علیزاده، ۱۳۹۰). برای این عامل امتیاز بین صفر تا ۱۰ در نظر گرفته شده است و از رابطه (۴) برای محاسبه آن استفاده می‌شود.

$$Y_3 = 0.2P_2 \quad (4)$$

در رابطه ذکرشده، P_2 مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله بر حسب میلی‌متر است که از داده‌های منحنی شدت، مدت و فراوانی (IDF)، استفاده شده است (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱). عامل رواناب: عامل رواناب به عنوان چهارمین پارامتر مندرج در مدل MPSIAC، عبارت است از بازده یک سیستم

آبخیز که از نتیجه عملکرد ساختمان آبخیز بر روی داده‌های آن (نزولات آسمانی)، پدیدار می‌شود (رفاهی، ۱۳۹۶). یک هرزآب شدید نقش مهمی در تولید رسوب سالانه یک حوضه آبخیز ایفا می‌نماید و این بسته به زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و خاک منطقه متغیر است. در مدل MPSIAC، امتیازات رواناب بین صفر تا ۱۰ متغیر است. برای تعیین امتیاز رواناب و تاثیر آن در تولید رسوب با توجه به نقشه گروه هیدرولوژی خاک، مساحت تحت اشغال هر گروه مشخص و متوسط مقدار آن از طریق میانگین وزنی محاسبه می‌شود (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱).

برای تعیین عامل فرساینده‌گی رواناب از متوسط ارتفاع رواناب سالانه و دبی پیک ویژه استفاده می‌شود و از طریق رابطه (۵) محاسبه شد.

$$Y_4 = 0.2(0.03R + 50Q_{sp}) \quad (5)$$

در رابطه فوق، R ارتفاع متوسط رواناب سالانه به میلی‌متر و Q_{sp} دبی پیک ویژه به مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع است. ابتدا داده سال‌های (۱۳۹۲-۱۳۵۳) تهیه شد. برای به‌دست آوردن R باید اعداد هر سال در تعداد ثانیه‌های سال ضرب شود، حاصل یک عدد بر حسب مترمکعب است که تقسیم بر مساحت حوضه بر حسب مترمربع می‌شود، حاصل یک عدد خواهد بود بر حسب متر که باید تبدیل به میلی‌متر شود. برای Q داده سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۹۴) تهیه شد. از این اعداد میانگین گرفته شد سپس عدد به‌دست آمده بر مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع تقسیم شد.

عامل پستی و بلندی: شیب، پستی و بلندی و ارتفاع، جهت اندازه دامنه‌ها و سایر پارامترهای فیزیکی حوضه آبخیز از موارد اساسی هستند که برای توپوگرافی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در روش MPSIAC، امتیازات آن بین صفر تا ۲۰ در نظر گرفته می‌شود. عدد صفر برای مناطق با شیب کمتر از ۳ درصد و دشت‌های آبرفتی گسترده و عدد ۲۰ برای مناطق با شیب زیاد و بیش از ۳۰ درصد است (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱). برای محاسبه عامل پستی و بلندی از رابطه (۶) استفاده شد.

$$Y_5 = 0.33S \quad (6)$$

S متوسط شیب حوضه آبخیز به درصد است. جهت استخراج پارامتر شیب، ابتدا نقشه توپوگرافی از منطقه تهیه شد و سپس در محیط GIS، به نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) تبدیل شد و نقشه شیب منطقه به‌دست آمد. این لایه با استفاده از نقشه شیب حوضه با توجه به ضریب ۰/۳۳ تهیه شد.

عامل پوشش زمین: عامل پوشش زمین، خود یکی از پارامترهای اساسی در مدل MPSIAC، برای برآورد رسوب و فرسایش است. برای این عامل درجه رسوب‌دهی بین ۱۰- تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. امتیاز عامل پوشش زمین، درصدی از اراضی لخت و بدون پوشش است که با توجه به نقشه و گزارش پوشش گیاهی منطقه و بازدیدهای صحرائی، مساحت تحت اشغال هر گروه مشخص و مقدار متوسط آن از طریق میانگین وزنی محاسبه می‌شود (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱).

مساحت هر بخش از هشت کلاس کاربری و مساحت اراضی بایر که در هر کدام از این زیرحوضه‌ها وجود دارند به‌دست آمد و درصد اراضی لخت در هر زیرحوضه محاسبه شد و در (رابطه ۷) جایگذاری شد.

$$Y_6 = 0.2P_b \quad (7)$$

P_b درصد اراضی لخت و فاقد پوشش است و نقشه اراضی لخت حوضه تهیه شد.

کاربری اراضی: نظام‌های بهره‌برداری کنونی زمین در حوضه، سنتی است و روش‌های کشت و کار و دامپروری و دامداری نیز بدین شکل است که روش‌های کشت نامناسب از اراضی مانند شخم زدن در جهت شیب و به زیر شخم‌بردن اراضی مرتعی و... موجب فرسایش خاک می‌شود (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱). برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای (مانند Quick Bird، IKONOS، ETM، لندست و IRS هند) و عکس‌های هوایی استفاده می‌شود و آن بدین صورت است که عکس‌های هوایی توسط استریوسکوپ مورد تفسیر قرار گرفته و با توجه به اصول تصویر عکس‌های هوایی و در نظر گرفتن عواملی مانند شکل، اندازه، تن، رنگ، نقش، سایه، موقعیت، بافت و عوارض یا شرایط جانبی، تفکیک مناطق مختلف از لحاظ نوع کاربری تعیین می‌شود که مجموع این کارها را می‌توان در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی از طریق قابلیت‌های سنجنش از دور به انجام رساند و یا این‌که با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی در این زمینه شامل ERDAS، ENVI، ER Mapper، و یا OBIA بهره جست (اسمعیلی‌عوری و عبدالهی، ۱۳۸۹، عبدالعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰). عوامل موثر بر فرسایش آبی و تولید رسوب در یک حوضه عبارتند از: نوع سازند زمین‌شناسی، آب و هوا، توپوگرافی، فیزیوگرافی حوضه، خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین (کاربری اراضی). از بین این عوامل، کاربری اراضی نقش اصلی را در شدت و مقدار فرسایش دارد (Talebi khiavi and Mostafazadeh, 2021). استفاده از زمین یکی از عوامل مهمی است که امروزه تقریباً به شکل چشم‌گیری در نقاط مختلف جهان مورد توجه قرار گرفته است زیرا مشخص شده است که عدم استفاده صحیح و بهینه اراضی عامل اصلی و یا حداقل یکی از عمده‌ترین عوامل تخریب و انهدام خاک و در نتیجه اراضی کشاورزی و منابع طبیعی است. در پژوهش حاضر، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای سال ۲۰۱۸ استفاده شده است. پس از انجام تصحیحات رادیومتریک در محیط ENVI، اقدام به کلاسه‌بندی شده است. بر این اساس، حوضه آبخیز مورد مطالعه در هشت طبقه اصلی مناطق مسکونی، اراضی جنگلی، مراتع ضعیف، مراتع خوب، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، دریاچه و اراضی بایر طبقه‌بندی شده است. با استفاده از نقاط نمونه‌برداری و هم‌چنین تفسیر چشمی با دقت بالا نمونه‌های تعلیمی به تعداد کافی برای هر کلاس انتخاب شده و نقشه کاربری اراضی تهیه شد. صحت نقشه کاربری اراضی با تصاویر Google Earth و برداشت نقاط کنترل زمینی بررسی شد. ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی به ترتیب ۰/۹۶ و ۹۷/۴۰ درصد محاسبه شد. نتایج حاصل از ارزیابی نقشه تهیه‌شده، نشان از صحت مورد قبول تصاویر این سنجنده جهت استخراج کاربری اراضی در مقیاس منطقه‌ای را دارد. در مدل MPSIAC درصد تاج پوشش گیاهی از کاربری اراضی از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$Y_7 = 20 - 0.2P_c \quad (8)$$

P_c مقدار تاج پوشش به درصد است.

عامل وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز: در مدل MPSIAC به این عامل اهمیت زیادی داده شده است. ضریب این عامل با استفاده از روش BLM تعیین می‌گردد. برای تعیین این ضریب ۷ عامل دخالت داده شده که عبارت‌اند از فرسایش سطحی، لاشبرگ سطحی، پوشش گیاهی، آثار تخریب خاک و گیاه، فرسایش شیاری و ابعاد آن، جریان‌های سطحی و رسوبات آن، اشکال فرسایش خندقی و درصد آن (قضاوی و همکاران، ۱۳۹۱). امتیاز این عامل بین صفر تا ۲۵ در نظر گرفته شده است و از طریق رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$Y_8 = 0.25SSF \quad (9)$$

SSF مجموع امتیاز عوامل روش BLM است.

جدول ۴: طبقه‌بندی وضعیت فرسایش در روش BLM (اسمعلی عوری و عبدالهی، ۱۳۸۹)

وضعیت فرسایش	جمع امتیازات
جزئی	۲۰-۰
کم	۴۰-۲۱
متوسط	۶۰-۴۱
زیاد	۸۰-۶۱
خیلی زیاد	۱۰۰-۸۱

عامل فرسایش خندقی: فرسایش در رودخانه به دو شکل عمل می‌کند، یکی حفر بستر و گود شدن بستر اصلی رودخانه و دیگری فرسایش کناری در دیواره‌های رودخانه است. امتیاز مربوط به این عامل بین صفر تا ۲۵ در نظر گرفته می‌شود. نتیجه با توجه به بازدیدهای صحرایی از حوضه‌های آبخیز و مساحت آن‌ها از طریق میانگین وزنی محاسبه می‌شود (نوری و همکاران، ۱۳۹۶). بر روی نقشه زیرحوضه، بر اساس مدل^۱ BLM برای هر کلاس کاربری از روی نقشه کاربری اراضی شدت فرسایش‌پذیری مشخص می‌شود و تبدیل به رستر شده و نقشه جدید به‌دست آمده در عدد ۱/۶۷ ضرب می‌شود. تلفیق لایه‌های ۹ گانه مدل MPSIAC و تهیه نقشه رسوب: لایه مربوط به درجه رسوب‌دهی، در مدل MPSIAC از تلفیق عوامل ۹ گانه تهیه می‌شود. پس از تلفیق نقشه‌ها و مطالعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی و تهیه نقشه واحد کاری، هریک از عوامل موثر در فرسایش در واحدهای کاری مورد ارزیابی قرار گرفت و درنهایت با میانگین‌گیری به‌صورت وزنی، امتیاز هریک از عوامل در منطقه و زیرحوضه‌ها با استفاده از معادلات ارائه‌شده در مدل محاسبه شد. در ادامه برای هر واحد کاری درجه رسوب‌دهی از حاصل جمع نمرات عوامل ۹ گانه (R) محاسبه شد و برای هریک از زیرحوضه‌ها میزان تولید رسوب برحسب مترمکعب در هر کیلومترمربع محاسبه می‌شود (قضاوی و همکاران، ۱۳۹۱). هر ساله بالغ بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال می‌یابد و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌شود (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۱). برآورد رسوب رودخانه نیز از جمله مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). در مدل MPSIAC، برای تعیین میزان رسوب ویژه، از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

$$Q_s = 0.253e^{0.036R} \quad (10)$$

Q_s رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار در سال و R مجموع نمرات عوامل است. در رابطه MPSIAC، وزن مخصوص ظاهری رسوبات ۱۳۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب یا ۱/۳۶ تن بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. بنابراین اگر Q_s بر حسب مترمکعب بر کیلومترمربع و در سال نشان داده شود، رابطه (۱۱) به‌دست خواهد آمد.

$$Q_s = 18.6e^{0.036} \quad (11)$$

برای تعیین فرسایش ویژه نیز باید نسبت تحویل رسوب (SDR) را به‌دست آورد که برحسب مساحت حوضه آبخیز به مایل مربع^۲ و بافت خاک به‌دست می‌آید (اسمعلی عوری و عبدالهی، ۱۳۸۹).

$$\text{رسوب} = \text{فرسایش} \times \text{SDR} \quad (12)$$

SDR. در واقع ضریبی است که نشان می‌دهد چه درصدی از فرسایش تبدیل به رسوب می‌شود و چون همیشه تنها بخشی از خاک فرسایش یافته تبدیل به رسوب می‌گردد، لذا همواره مقدار SDR کوچکتر از یک است.

$$\text{Log}(\text{SDR}) = 1.8768 - 0.14191 \log(10A) \quad (۱۳)$$

A: مساحت حوضه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب مایل مربع است.

۳- یافته‌ها

با استفاده از نقشه‌های پایه و با بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز به صورت زیر تهیه شد. **لایه زمین‌شناسی:** جهت استخراج فاکتور زمین‌شناسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین پس از مطالعه در مورد سازندها و امتیازدهی آن‌ها سازندهای مستعد فرسایش و مقاوم در برابر فرسایش در حوضه مورد نظر مشخص شده و بر اساس شکل (۲) طبقه‌بندی شده‌اند.

لایه خاک: ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)، در معادله جهانی برآورد تلفات خاک است. با توجه به اطلاعات موجود و هم‌چنین بررسی خاک منطقه کوزه‌توپراقی، میزان فرسایش نسبی هر نوع خاک موجود در منطقه مشخص شده و بر اساس ضریب واقع در مدل MPSIAC نقشه بافت خاک حوضه تهیه شده است. در نقشه خاک مقادیر کم نشان‌دهنده خاک‌هایی با بافت ریزدانه و مقادیر بالا نشان‌دهنده خاک‌هایی با بافت درشت‌دانه در حوضه مورد مطالعه است. شکل (۳) نقشه بافت خاک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی را نشان می‌دهد.

عامل آب و هوا: مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله که در حوضه آبخیز مورد نظر ۴/۴۲ میلی‌متر برآورد شده است. شکل (۴) نقشه به‌دست آمده برای عامل آب و هوا را برای حوضه کوزه‌توپراقی نشان می‌دهد.

عامل رواناب: با در دست داشتن داده‌های بارندگی و هم‌چنین بررسی عامل Q و R مقادیر رواناب برای حوضه مذکور به‌دست آمده و در شکل (۵) ارائه شده است.

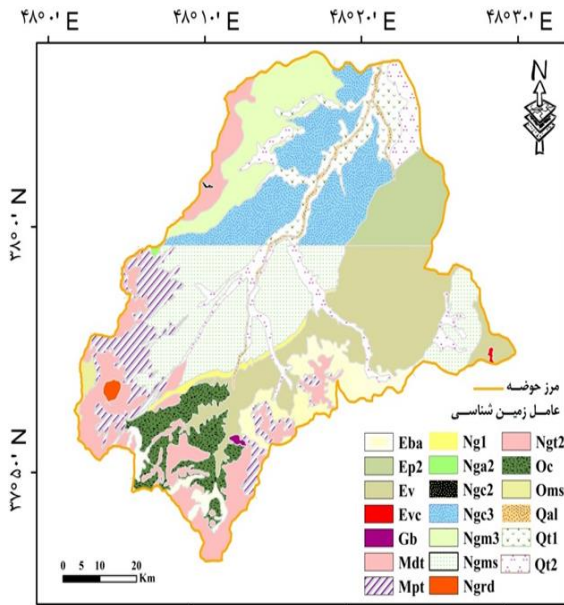
شیب حوضه: میزان شیب حوضه به درصد است. به‌منظور استخراج شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد. با توجه به پژوهش‌های و نتایج به‌دست آمده شیب حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی بین ۰ تا ۱۱۹/۵۰ است. نقشه شیب حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی در شکل (۶) ارائه شده است.

عامل پوشش زمین (درصد اراضی لخت): برابر با درصد خاک لخت است. درصد این اراضی برای تمام زیرحوضه‌های واقع در حوضه استخراج شده و مساحت کل اراضی بایر منطقه به‌دست آمده است. در شکل (۷) نقشه پوشش زمین برای حوضه مورد نظر ارائه شده است.

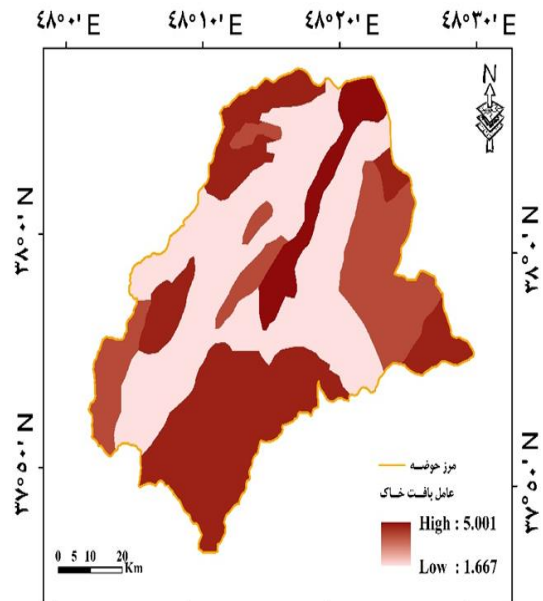
عامل کاربری اراضی (طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی به روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVMG): طبقه‌بندی به روش ماشین‌بردار پشتیبان برای نقشه کاربری اراضی حوضه کوزه‌توپراقی، مساحت زیاد کاربری دیم و مراتع ضعیف را در این حوضه نشان داده است. شکل (۸) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

عامل فرسایش سطحی: برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (SSF)، است که از روش دفتر مدیریت اراضی آمریکا (BLM)، به‌دست می‌آید. شکل (۹) نقشه فرسایش سطحی حوضه را نشان داده است.

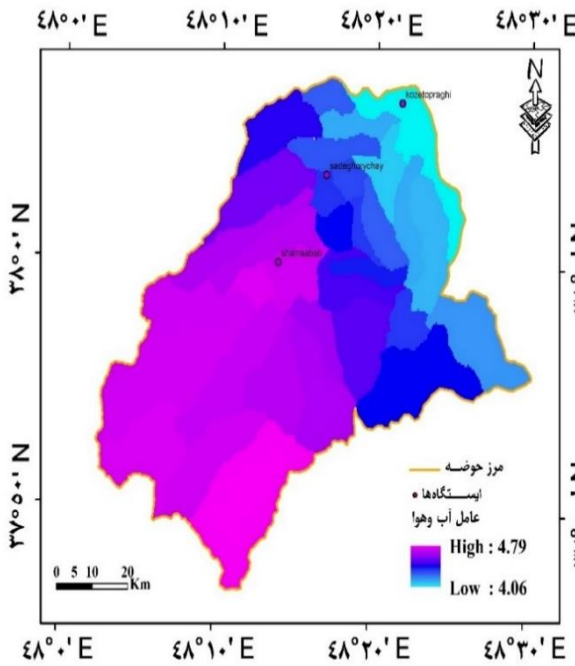
عامل فرسایش خندقی: برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (SSF)، است که از روش دفتر مدیریت اراضی آمریکا (BLM)، به‌دست می‌آید. شکل (۱۰) نقشه فرسایش خندقی حوضه را نشان داده است.



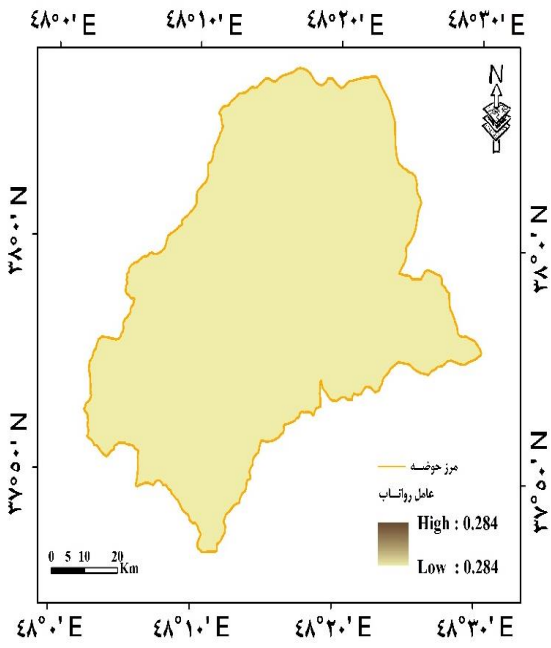
شکل ۲: لایه زمین‌شناسی حوضه آبخیز کوزه توپراقی



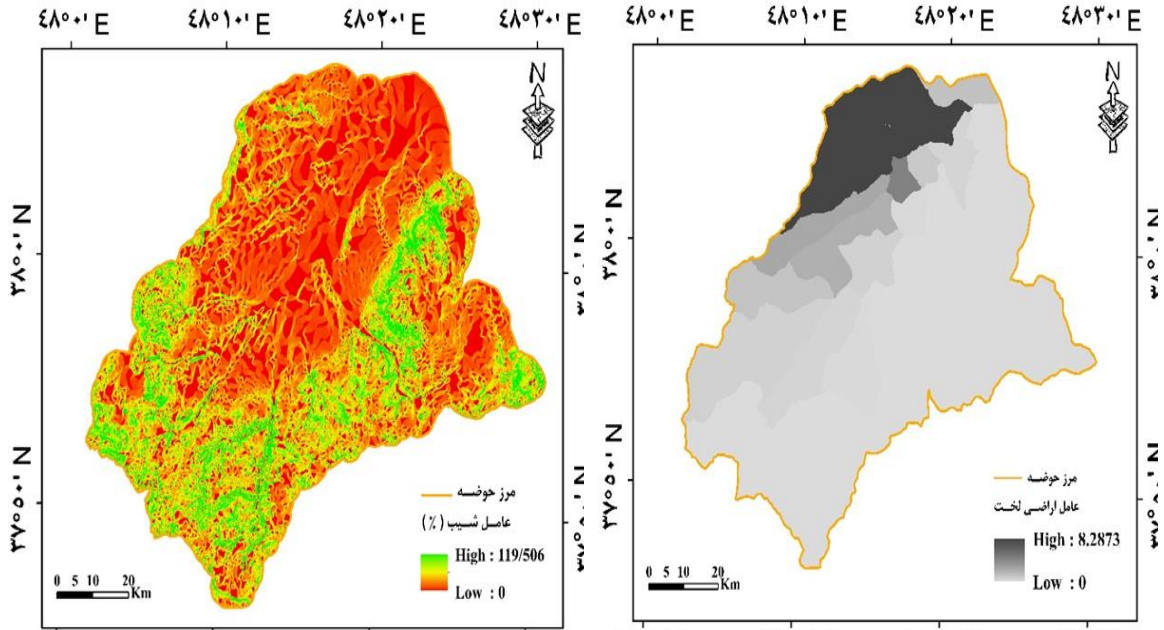
شکل ۳: لایه خاک حوضه آبخیز کوزه توپراقی



شکل ۴: لایه آب و هوا حوضه آبخیز کوزه توپراقی

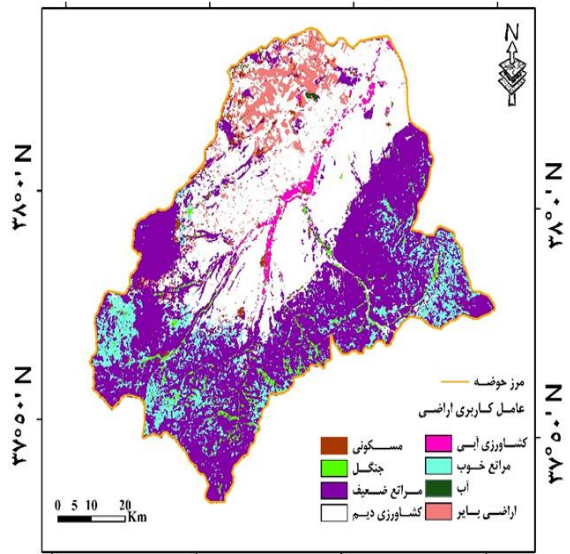


شکل ۵: لایه رواناب حوضه آبخیز کوزه توپراقی

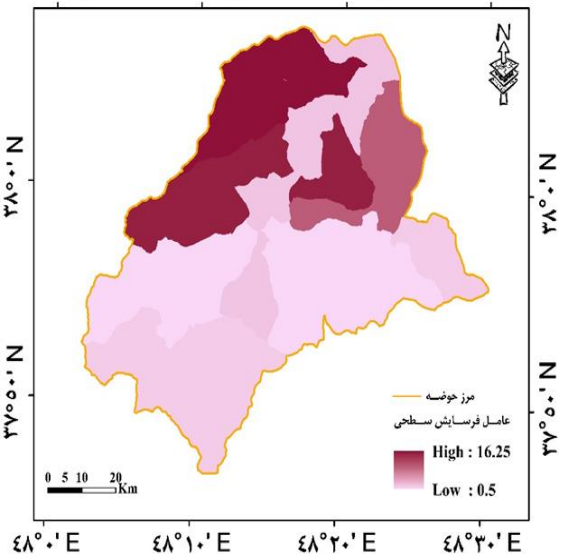


شکل ۶: لایه شیب حوضه آبخیز کوزه توپراقی
 ۴۸°۰' E ۴۸°۱۰' E ۴۸°۲۰' E ۴۸°۳۰' E
 ۳۷°۵۰' N ۳۸°۰۰' N

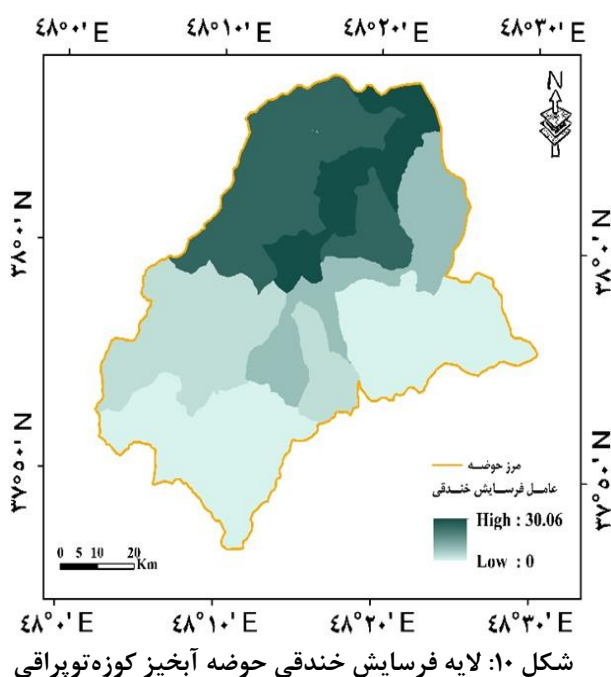
شکل ۷: لایه پوشش زمین حوضه آبخیز کوزه توپراقی
 ۴۸°۰' E ۴۸°۱۰' E ۴۸°۲۰' E ۴۸°۳۰' E
 ۳۷°۵۰' N ۳۸°۰۰' N



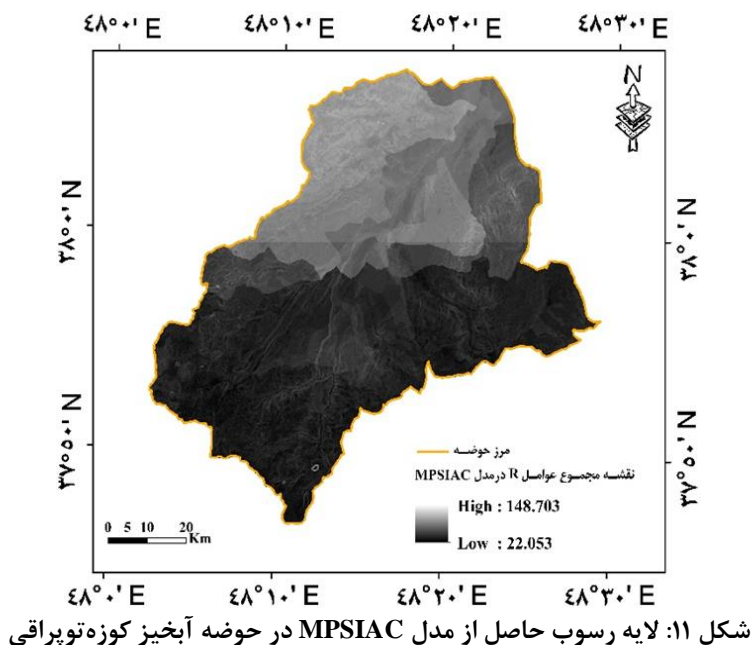
شکل ۸: لایه کاربری اراضی حوضه آبخیز کوزه توپراقی به روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)
 ۴۸°۰' E ۴۸°۱۰' E ۴۸°۲۰' E ۴۸°۳۰' E
 ۳۷°۵۰' N ۳۸°۰۰' N



شکل ۹: نقشه فرسایش سطحی حوضه آبخیز کوزه توپراقی
 ۴۸°۰' E ۴۸°۱۰' E ۴۸°۲۰' E ۴۸°۳۰' E
 ۳۷°۵۰' N ۳۸°۰۰' N



تلفیق لایه‌های ۹ گانه مدل MPSIAC و تهیه نقشه رسوب: پس از اینکه تمامی عوامل ۹ گانه در مدل MPSIAC در محیط ArcGIS تهیه شدند در مرحله بعد با تلفیق این لایه‌های ۹ گانه نقشه رسوب حوضه مورد مطالعه به دست آمد. در شکل (۱۱) نقشه رسوب حاصل از مدل MPSIAC ارائه شده است.



هر ۹ پارامتر موجود در مدل MPSIAC، شامل زمین‌شناسی سطحی، عامل خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، نحوه استفاده از اراضی، فرسایش سطحی و فرسایش خندقی در منطقه کوزه توپراقی محاسبه شد و برای

هریک از این پارامترها میانگین استخراج شده و مجموع نمرات این عوامل با عنوان (R)، تهیه شد که مقادیر کلی این ۹ عامل و همچنین مقادیر کلی (R)، برای هر ۳۶ زیرحوضه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵، مجموع عوامل ۹ گانه (R)، برای حوضه کوزه‌توپراقی

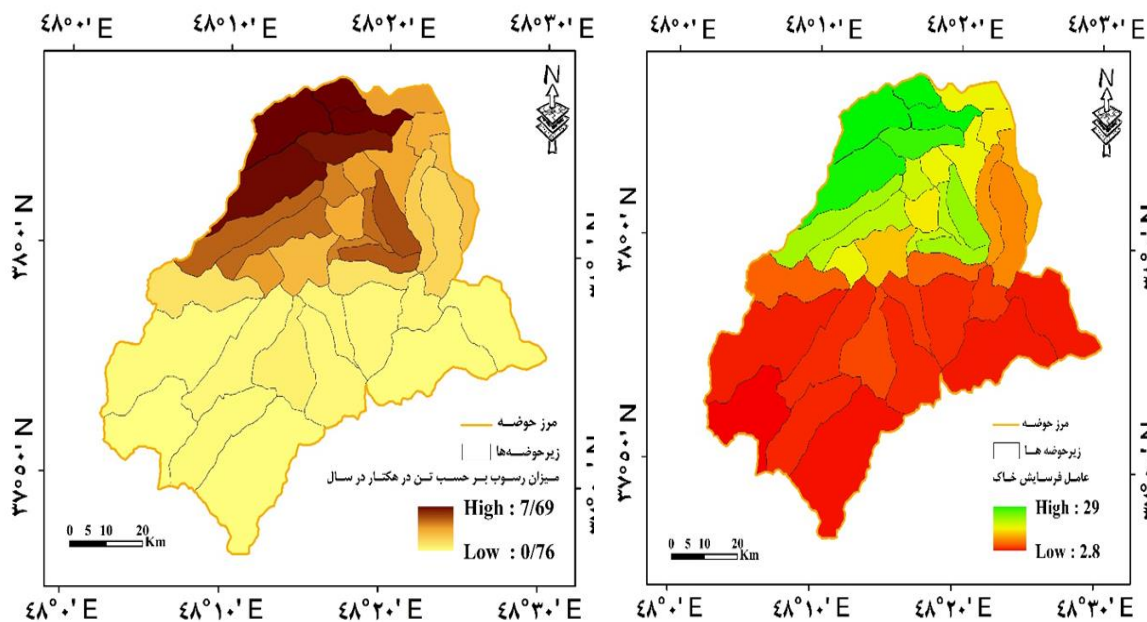
R	Y9	Y8	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	زیر حوضه
۳۲/۴۲۴	۰/۰	۱/۲۴	۱۳/۴۳	۰/۰	۶/۳۵	۰/۲۸۴	۴/۷۹	۴/۱	۲/۶	۱
۳۴/۰۹۴	۰/۰	۱/۲۵	۱۳/۹۸	۰/۰	۳/۴۵	۰/۲۸۴	۴/۲۹	۳/۱۹	۷/۵۲	۲
۳۴/۵۰۴	۰/۰	۰/۵	۱۴/۲۸	۰/۰	۴/۵۳	۰/۲۸۴	۴/۴۸	۳/۶۶	۶/۸۳	۳
۴۰/۸۳۴	۰/۰	۰/۵	۱۴/۲۶	۳/۴۳	۶/۷	۰/۲۸۴	۴/۴۲	۳/۲۴	۸	۴
۳۷/۵۵۴	۰/۰۳	۰/۵	۱۴/۷۹	۰/۰۱	۵/۷۹	۰/۲۸۴	۴/۵۵	۴/۰۸	۷/۶۵	۵
۳۶/۸۵۴	۳/۳۴	۰/۵	۱۴/۲۵	۰/۰	۵/۱۹	۰/۲۸۴	۴/۶۷	۴/۳	۴/۵۷	۶
۴۰/۶۴۴	۸/۳	۰/۵	۱۵/۶۶	۰/۰	۱/۸۷	۰/۲۸۴	۴/۶۵	۳/۱	۶/۵۱	۷
۴۴/۷۶۴	۸/۳۳	۱/۷۴	۱۵/۰۳	۰/۰۶	۳/۳۴	۰/۲۸۴	۴/۶۹	۳/۶۸	۷/۸۸	۸
۵۲/۵۸۴	۸/۳۵	۹/۹۳	۱۵/۷۲	۰/۰	۳/۷۲	۰/۲۸۴	۴/۵۳	۲/۷۳	۷/۴۳	۹
۵۸/۷۶۴	۸/۳۴	۹/۹۹	۱۴/۹۱	۰/۰	۵/۳۳	۰/۲۸۴	۴/۲۵	۱/۹۹	۱۳/۵	۱۰
۶۲/۰۴۴	۸/۵	۹/۹۸	۱۵/۲۶	۰/۰	۵/۱۹	۰/۲۸۴	۴/۲۶	۳/۳۱	۱۵/۱	۱۱
۶۶/۸۴۴	۸/۳۸	۹/۹۸	۱۶/۱۷	۶/۱۹	۲/۶۷	۰/۲۸۴	۴/۱۴	۴/۱	۱۴/۶۵	۱۲
۷۴/۴۰۴	۳۰	۱/۷۷	۱۶/۰۱	۰/۲۶	۱/۳۶	۰/۲۸۴	۴/۲۲	۳/۶۹	۱۶/۶۱	۱۳
۷۵/۰۰۴	۳۰/۰۵	۱/۷۵	۱۶/۲۵	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۲۸۴	۴/۰۸	۴/۶۶	۱۵/۹۱	۱۴
۹۴/۸۶۴	۲۵/۰۵	۱۶/۲۴	۱۶/۵۹	۸/۲۷	۲/۳۷	۰/۲۸۴	۴/۳۷	۴/۶۶	۱۶/۹۸	۱۵
۹۲/۶۵۴	۲۵/۰۴	۱۶/۲۵	۱۶/۳۲	۶/۹۴	۳/۰۴	۰/۲۸۴	۴/۵۰	۲/۷۵	۱۷/۶۱	۱۶
۹۰/۹۳۴	۲۵/۰۵	۱۶/۲۳	۱۶/۷	۷/۷۳	۱/۱۹	۰/۲۸۴	۴/۲۶	۲/۵۴	۱۶/۷۹	۱۷
۸۹/۰۰۴	۲۵/۰۵	۱۶/۲۴	۱۶/۹	۶/۰۱	۱/۳۵	۰/۲۸۴	۴/۳۸	۳/۱۲	۱۵/۶۳	۱۸
۹۰/۰۲۴	۲۵/۰۴	۱۶/۲۵	۱۶/۸	۵/۵۹	۲/۲۲	۰/۲۸۴	۴/۵۹	۲/۶۵	۱۶/۷۷	۱۹
۸۱/۸۶۴	۲۵/۰۴	۱۵/۲۵	۱۵/۹۶	۱/۵۷	۲/۵۹	۰/۲۸۴	۴/۶۸	۱/۹۲	۱۴/۸۳	۲۰
۵۱/۲۸۴	۳/۳۷	۱۵/۲۴	۱۵/۰۳	۰/۶۵	۴/۸۹	۰/۲۸۴	۴/۷۲	۲/۲۱	۵/۱۹	۲۱
۳۴/۵۸۴	۳/۳۳	۰/۵	۱۴/۳۲	۰/۲۸	۴/۶۴	۰/۲۸۴	۴/۷۳	۱/۶۶	۵/۱۵	۲۲
۸۳/۷۱۴	۲۵/۰۴	۱۵/۲۲	۱۶/۲۵	۰/۰	۳/۶۱	۰/۲۸۴	۴/۳۷	۳/۴	۱۵/۴۹	۲۳
۸۰/۸۰۴	۲۵/۱	۱۵/۱	۱۶/۵۳	۰/۰	۱/۹۳	۰/۲۸۴	۴/۴۲	۲/۱۸	۱۵/۲۶	۲۴
۷۵/۴۶۴	۳۰/۰۵	۱/۷۷	۱۶/۲۵	۰/۵۶	۱/۱۱	۰/۲۸۴	۴/۴۰	۴/۱۴	۱۶/۸۸	۲۵
۷۸/۳۲۴	۳۰/۰۴	۱/۷۵	۱۶/۷۹	۲/۸۱	۱/۵۲	۰/۲۸۴	۴/۴۳	۴/۵۹	۱۶/۱۲	۲۶
۷۲/۳۹۴	۳۰/۰۲	۱/۸۳	۱۵/۴۹	۰/۰۷	۱/۸۳	۰/۲۸۴	۴/۴۸	۲/۴۶	۱۵/۹۹	۲۷
۸۱/۰۶۴	۲۵/۰۵	۱۵/۲۳	۱۶/۷۹	۱/۲۸	۱/۳۸	۰/۲۸۴	۴/۶۹	۲/۸۷	۱۳/۷۶	۲۸
۸۲/۵۹۴	۲۴/۹۷	۱۵/۲۲	۱۵/۹	۳/۰۵	۴/۲۲	۰/۲۸۴	۴/۴۶	۲/۵۵	۱۱/۹۸	۲۹
۷۸/۴۳۴	۲۵/۰۷	۱۵/۱۱	۱۵/۴۷	۰/۰۳	۱/۷۹	۰/۲۸۴	۴/۵۳	۱/۶۸	۱۴/۵۸	۳۰
۷۵/۴۵۴	۲۵	۱۵/۱۷	۱۶/۵۵	۱/۲۵	۱/۵۴	۰/۲۸۴	۴/۷۵	۳/۱۷	۸/۰۷	۳۱
۶۸/۸۸۴	۳۰/۰۲	۱/۷۶	۱۵/۳۱	۰/۳۱	۱/۱۹	۰/۲۸۴	۴/۷۳	۳/۳۱	۱۲/۲۸	۳۲
۳۷/۴۴۴	۳/۳۴	۰/۵	۱۵/۳۴	۰/۲	۳/۳۳	۰/۲۸۴	۴/۷۱	۳/۸۵	۶/۱۸	۳۳
۳۰/۷۴۴	۰/۰	۱/۲۴	۱۳	۰/۰	۶/۲۸	۰/۲۸۴	۴/۷۴	۲/۷۵	۲/۷۷	۳۴

R	Y9	Y8	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	زیر حوضه
۳۵/۶۴۴	۰/۰	۱/۲۵	۱۳/۲۳	۳/۷۲	۶/۸۷	۰/۲۸۴	۴/۷۳	۲/۷۲	۳/۱۵	۲۵
۷۲/۱۸۴	۳۰/۰۵	۱/۷۵	۱۶/۱	۰/۰	۰/۸	۰/۲۸۴	۴/۰۶	۲/۴۵	۱۶/۳۳	۲۶

جدول ۶، کلاس رسوب‌دهی و فرسایش خاک در مدل MPSIAC (دیوسالار، ۱۳۹۲)

نمرات نشان دهنده شدت رسوبدهی	تولید رسوب سالانه		شدت رسوبدهی	کلاس رسوب‌دهی و فرسایش
	تن در کیلومتر مربع	متر مکعب در کیلومتر مربع		
>۱۰۰	>۲۱۴۳/۵	>۱۴۲۹	خیلی زیاد	V
۷۵-۱۰۰	۲۱۴۳/۵-۷۳۴	۴۷۶-۱۴۲۹	زیاد	IV
۵۰-۷۵	۷۱۴-۳۵۷	۲۳۸-۴۷۶	متوسط	III
۲۵-۵۰	۳۵۷-۱۴۲/۵	۹۵-۲۳۸	کم	II
۰-۲۵	<۱۴۲/۵	<۹۵	خیلی کم یا جزئی	I

پس از گردآوری، آماده‌سازی و ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و تلفیق این لایه‌ها حداکثر و حداقل میزان رسوب ویژه تولیدی برای حوضه مورد مطالعه بین ۷/۶۹ تا ۰/۷۶ تن در هکتار در سال محاسبه شد. هم‌چنین میزان فرسایش خاک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی ۱۱/۶۶ تن در هکتار در سال محاسبه شد. در ادامه نقشه رسوبدهی ویژه و نقشه فرسایش برای حوضه تهیه شد که به ترتیب در (شکل ۱۲) و (شکل ۱۳) ارائه شده است.



شکل ۱۲: نقشه رسوب ویژه حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

شکل ۱۳: نقشه فرسایش خاک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

سنگ‌های مارنی موجود در سطح حوضه در مقابل عوامل فرسایش بسیار حساس هستند. بر اساس نقشه ارائه شده، مناطق فرسایش‌پذیر غالباً در محدوده‌های مرکزی و جنوب منطقه قرار گرفته‌اند. در این خصوص باید اشاره شود که

سازندهای تشکیل‌دهنده زیرحوزه‌های مذکور از جنس تناوب مارن‌های خاکستری و قرمز ژپس‌دار با ماسه سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌ای کنگلومرایی (Ngms) هستند که در دسته حساسیت نسبی خیلی‌زیاد نسبت به فرسایش قرار می‌گیرند. همچنین در محدوده‌های دارای فرسایش بالا سازندهای مارن‌های قرمز ژپس‌دار و نمک همراه با تناوب‌هایی از مارن‌های ماسه‌ای و ماسه سنگ با رنگ روشن (Oms) وجود دارند که دارای حساسیت خیلی‌زیاد به فرسایش هستند. همچنین کنگلومرای روشن رنگ با قطعات توفی و آندزیتی و بین لایه‌ای ماسه‌سنگ هستند که با علامت Oc در روی نقشه مشخص شده‌اند. که بر اساس مقاومت در برابر فرسایش در طبقه متوسط قرار می‌گیرند. در همین راستا باید اشاره شود که مناطقی با تولید رسوب بالا در محدوده‌هایی واقع شده‌اند که دارای سازندهای توف، مارن با میان‌لایه‌ای از آهک آب شیرین، کنگلومرا و ماسه‌سنگ (Ngm3) هستند.

با توجه به نسبت ارزیابی میزان متوسط فرسایش خاک در مدل MPSIAC، اقدام به برآورد فرسایش متوسط خاک از طریق تقسیم مقادیر رسوب بر نسبت تحویل رسوب (SDR) شد. این مقادیر به‌دست آمده در جدول (۷) ارائه شده است. میزان رسوب در زیرحوزه‌های کوزه‌توپراقی بر حسب تن در هکتار در سال به‌دست آمد، سپس با تبدیل واحد به تن در کیلومتر مربع، مقادیر جدیدی حاصل شد که در جدول (۸) ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که شدت رسوبدهی در حوضه مورد مطالعه بیش‌تر در کلاس رسوبدهی متوسط قرار گرفته است. رسوب ویژه نیز برحسب تن در هکتار در سال در حوضه آبخیز برای هر زیرحوضه به‌دست آمد.

جدول ۷: مقادیر فرسایش برای زیرحوضه‌های کوزه‌توپراقی

اولویت	شدت فرسایش	زیرحوضه‌ها	اولویت	شدت فرسایش	زیرحوضه‌ها
۴	۲۳/۹۴	۱۹	۳۵	۳/۰۱	۱
۸	۱۷/۸۵	۲۰	۳۴	۳/۱۹	۲
۲۴	۵/۹۳	۲۱	۳۳	۳/۲۴	۳
۳۲	۳/۲۵	۲۲	۲۶	۴/۰۷	۴
۶	۱۹/۰۸	۲۳	۲۸	۳/۶۲	۵
۹	۱۷/۱۸	۲۴	۳۰	۳/۵۳	۶
۱۳	۱۴/۱۷	۲۵	۲۷	۴/۰۴	۷
۱۱	۱۵/۷۱	۲۶	۲۵	۴/۶۹	۸
۱۶	۱۲/۶۹	۲۷	۲۳	۶/۲۲	۹
۲۲	۷/۳۴	۲۸	۲۱	۷/۷۷	۱۰
۷	۱۸/۳۲	۲۹	۲۰	۸/۷۴	۱۱
۱۰	۱۵/۷۷	۳۰	۱۹	۱۰/۳۹	۱۲
۱۳	۱۴/۱۷	۳۱	۱۵	۱۳/۶۴	۱۳
۱۸	۱۱/۱۸	۳۲	۱۴	۱۳/۹۴	۱۴
۲۹	۳/۶۰	۳۳	۱	۲۸/۵۰	۱۵
۳۶	۲/۸۳	۳۴	۲	۲۶/۳۲	۱۶
۳۱	۳/۳۸	۳۵	۳	۲۴/۷۴	۱۷
۱۷	۱۲/۵۹	۳۶	۵	۲۳/۰۸	۱۸

جدول ۸: شدت رسوب‌دهی در زیرحوضه‌های کوزه توپراقی (تن در کیلومتر مربع در سال)

تولید رسوب سالانه	شدت رسوب‌دهی	کلاس رسوب‌دهی	زیرحوضه‌ها	تولید رسوب سالانه	شدت رسوب‌دهی	کلاس رسوب‌دهی	زیرحوضه‌ها
۶۴۶/۴۵	متوسط	III	۱۹	۸۱/۲۸	خیلی کم	I	۱
۴۸۱/۹۰	متوسط	III	۲۰	۸۶/۳۱	خیلی کم	I	۲
۱۶۰/۲۷	کم	II	۲۱	۸۷/۶۰	خیلی کم	I	۳
۸۷/۸۵	خیلی کم	I	۲۲	۱۰۲/۰۲	خیلی کم	I	۴
۵۱۵/۰۹	متوسط	III	۲۳	۹۷/۷۶	خیلی کم	I	۵
۴۶۳/۸۶	متوسط	III	۲۴	۹۵/۳۳	خیلی کم	I	۶
۳۸۲/۷۳	متوسط	III	۲۵	۱۰۹/۲۷	خیلی کم	I	۷
۴۲۴/۲۴	متوسط	III	۲۶	۱۲۶/۷۴	خیلی کم	I	۸
۳۴۲/۶۹	کم	II	۲۷	۱۶۷/۹۵	کم	II	۹
۴۶۸/۲۲	متوسط	III	۲۸	۲۰۹/۷۹	کم	II	۱۰
۴۹۴/۷۳	متوسط	III	۲۹	۲۳۶/۰۹	کم	II	۱۱
۴۲۵/۹۲	متوسط	III	۳۰	۲۸۰/۶۲	کم	II	۱۲
۳۸۲/۶۰	متوسط	III	۳۱	۳۶۸/۴۰	متوسط	III	۱۳
۳۰۲/۰۱	کم	II	۳۲	۳۷۶/۴۵	متوسط	III	۱۴
۹۷/۳۸	خیلی کم	I	۳۳	۷۶۹/۵۰	زیاد	IV	۱۵
۷۶/۵۱	خیلی کم	I	۳۴	۷۱۰/۶۵	متوسط	III	۱۶
۹۱/۲۷	خیلی کم	I	۳۵	۶۶۷/۹۸	متوسط	III	۱۷
۳۴۰/۱۱	کم	II	۳۶	۶۲۳/۱۵	متوسط	III	۱۸

هم‌چنین مقادیر رسوب مشاهداتی در جدول ۹ بر اساس رابطه ارائه شده در مدل MPSIAC، برای کل حوضه برآورد شده و برابر ۳/۱۶ تن در هکتار در سال است. هم‌چنین متوسط فرسایش سالانه با در نظر گرفتن مقدار نسبت تحویل رسوب (SDR) حاصل از روش USDA، ۱۱/۶۶ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. رسوب اندازه‌گیری شده برای ایستگاه کوزه توپراقی در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹: مقادیر رسوب و فرسایش اندازه‌گیری شده (تن در هکتار در سال) در ایستگاه کوزه توپراقی

متوسط رسوب سالانه (تن در هکتار در سال)	نسبت تحویل رسوب (SDR)	مساحت (کیلومتر مربع)	متوسط فرسایش (تن در هکتار در سال)
۳/۱۶	۰/۲۷	۸۰۵/۷۰	۱۱/۶۶

نتایج این پژوهش در خصوص کاربرد مدل در برآورد فرسایش با یافته‌های علی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. ایشان جهت برآورد شدت فرسایش در حوضه آبخیز ایور با مساحت ۵۵۰۰ هکتار، با استفاده از مدل MPSIAC پرداختند، و به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش سالیانه خاک در کل محدوده مطالعاتی به میزان ۷/۰۱ تن در هکتار در سال و در زیرحوضه‌های I9 و I10 با داشتن حدود ۱۴ تن فرسایش سالیانه خاک، کم‌ترین مقدار فرسایش را دارا می‌باشند. باید اشاره شود که استفاده از مدل MPSIAC در مناطق مختلف کارائی خود را نشان داده است و با توجه به تنوع پارامترهای مورد استفاده، در شرایط متنوع کشور ایران قابل استفاده است. هم‌چنین در شرایطی که هدف

اولویت‌بندی مناطق از نظر فرسایش و تولید رسوب است، می‌تواند مبنای مقایسه مناطق یا زیرحوزه‌ها از نظر تولید رسوب قرار گیرد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی فرسایش خاک با استفاده از مدل MPSIAC در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به‌کار گرفته شد. نتایج مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی ۱۱/۶۶ تن در هکتار در سال برآورد شد. هم‌چنین مقدار مشاهداتی کل رسوب (تن در هکتار در سال) بر اساس داده‌های دبی-رسوب، برابر با ۳/۱۶ تن در هکتار در سال برآورد شد. هم‌چنین نتایج ارزیابی نقشه میزان فرسایش خاک برای هر زیرحوضه به‌صورت جداگانه محاسبه شد که برای زیرحوضه شماره ۱۵، بیش‌ترین مقدار فرسایش یعنی ۲۸/۴۸ و برای زیر حوضه شماره ۳۴، کم‌ترین مقدار، یعنی ۲/۸ تن در هکتار در سال برآورد شد. متوسط رسوب سالانه حوضه برابر با ۳/۱۶ تن در هکتار در سال است. میزان رسوب تولیدی نیز برای هر زیرحوضه به‌صورت جداگانه محاسبه شد که در زیر حوضه شماره ۱۶، بیش‌ترین مقدار رسوب یعنی ۷/۱۶ و برای زیر حوضه شماره ۳۴، کم‌ترین مقدار رسوب یعنی ۰/۷۶ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. هم‌چنین بر اساس نتایج به‌دست آمده از مدل MPSIAC میزان فرسایش در اراضی دیم و رهاشده به میزان قابل‌توجهی زیاد است. در اراضی بایر در حوضه کوزه‌توپراقی میزان متوسط فرسایش ۲۸/۵۰ و در زمین‌های با کاربری کشاورزی دیم، میزان متوسط فرسایش ۱۹/۰۸ است که نسبت به سایر مناطق حوضه میزان فرسایش در این قسمت‌ها زیاد است. از میان رخساره‌های ژئومورفولوژی نیز رخساره مسیل با داشتن فرسایشی معادل ۴۵/۳۲ تن در هکتار اختلاف فاحشی با سایر رخساره‌ها دارد. زیرحوضه‌های مذکور با مقادیر رسوب‌دهی بالای ۷ تن در هکتار در سال کم‌ترین مقدار تولیدی رسوب را به خود اختصاص داده‌اند. لذا در این مطالعه سعی شد از قابلیت بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ایجاد داده‌های موردنیاز مدل MPSIAC استفاده شود. نتایج این پژوهش قابلیت بالای GIS را برای ایجاد داده‌های موردنیاز مدل MPSIAC را نشان داد. بنابراین فناوری‌های جدید هم‌چون GIS می‌تواند به‌صورت موثرتری در توسعه راهکارهای مدیریتی، حفاظتی و نیز فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مسئولان، جهت حل مسئله فرسایش خاک به‌کار گرفته شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل پارامترهای مربوط به فرسایش در مدل MPSIAC، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اولویت‌بندی انجام شده می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری و مدیریت در کنترل فرسایش و تولید رسوب در نظر گرفته شود.

منابع

۱. احمدی، حسن؛ ملکیان، آرش و عابدی، رقیه (۱۳۹۱). مناسب‌ترین روش آماری برآورد رسوب معلق رودخانه جاجرود (مطالعه موردی: ایستگاه رودک حوزه آبخیز جاجرود)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۱)، ۷۸-۸۸.
۲. آرخی، صالح و نیازی، یعقوب (۱۳۸۹). بررسی کاربرد RS و GIS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE در حوضه بالادست سد ایلام، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۷(۲)، ۱-۲۷.
۳. اسمعیلی، ابادر و عبدالهی، خدایار (۱۳۸۹). آبخیزداری و حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، ۵۷۵ صفحه.
۴. خلیلی، علی و بذرافشان، جواد (۱۳۸۵). ارزیابی دوره بازگشت و ریسک تداوم خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه در ایستگاه‌های قدیمی ایران، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. اصفهان
۵. خیام، مقصود، غنمی‌جابر، مصطفی، صمدزاده، رسول. (۱۳۹۲). مقایسه کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و تولید رسوب‌زایی حوضه آبخیز سقزچی‌چای نمین، ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱(۱)، ۱-۱۳.

۶. دیوسالار، اسداله؛ ذبیحی، علی‌رضا؛ شعبانی، مرتضی؛ ابراهیمی، شاپور و حمیدیان، ساجده (۱۳۹۱). برآورد حجم رسوبات و بررسی عوامل محیطی موثر بر آن با استفاده از مدل MPSIAC، در محیط GIS، مطالعه موردی (حوضه آبخیز سولقان قم). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۴(۷)، ۱۱۳-۱۰۱.
۷. رفاهی، حسینقلی. (۱۳۹۶). فرسایش آبی و کنترل آن، دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
۸. سلطانی، میلاد؛ کله‌هویی، مهین؛ سلطانی، عادل و کاویان، عطاله (۱۳۹۶). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه کیلک مبتنی بر مدل MPSIAC در محیط GIS، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. اصفهان.
۹. عابدینی، موسی. (۱۳۸۴). پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادیشهر شمال غرب آذربایجان شرقی از طریق روشها و تکنیک‌های جدید. جغرافیا و توسعه، ۶، ۱۳۳-۱۳۱.
۱۰. عابدینی، موسی و سوسن طولابی. (۱۳۹۶). مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای- اردبیل)، تحقیقات جغرافیایی، ۱۲۵، ۱۰۵-۹۳.
۱۱. عابدینی، موسی و سوسن طولابی. (۱۳۹۲). مقایسه کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز سولاچای، مجله انجمن ژئومورفولوژی ایران، ۱، ۹۶-۷۹.
۱۲. عابدینی، موسی. (۱۳۸۸). بررسی کمی مسائل هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه لیکوان چای با تاکید بر فرسایش خاک و رسوبدهی (جنوب شرق اردبیل). جغرافیا و توسعه، ۱۵، ۸۸-۷۱.
۱۳. عابدینی، موسی، شبرنگ، شنو، اسمعیلی، اباذر. (۱۳۹۲). بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در حوضه آبخیز مشکین چای به روش EPM. جغرافیا و توسعه، ۱۱(۳۰): ۱۰۰-۸۷.
۱۴. عابدینی، موسی و نازیلا یعقوب نژاد. (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز رودخانه بالیخلو (سد-یامچی) با استفاده از مدل-فازی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، ۱، ۱۳۷-۱۵۵.
۱۵. عسگری، شمس‌اله؛ ثروتی، محمدرضا و جعفری، سیدمحمدرضا (۱۳۸۷). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه سد ایلام با استفاده از مدل MPSIAC، پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰(۶۴)، ۳۵-۲۹.
۱۶. علایی، نازیلا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعیلی‌عوری، اباذر؛ شری، معراج و حزباوی، زینب (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل، بوم‌شناسی کاربردی، ۸(۴)، ۳۴-۱۹.
۱۷. علی‌پور، حمید؛ ملکیان، آرش؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود و قره‌چلو، سعید. (۱۳۹۵). برآورد شدت فرسایش و رسوب حوضه آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی MPSIAC، جغرافیا و توسعه، ۱۴(۴۵)، ۲۶۸-۲۴۳.
۱۸. فیض‌نیا، سادات. (۱۳۷۴). مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، منابع طبیعی ایران، (۱۱)، ۹۵-۱۱۶.
۱۹. فیض‌نیا، سادات؛ مجدآبادی فراهانی، فرهاد؛ محسنی‌ساروی، محسن و عرب‌خداری، محمود. (۱۳۸۱). طول دوره آماری مناسب برای برآورد میانگین سالانه رسوب و رابطه آن با مساحت، تغییرات رسوبدهی سالانه، خصوصیات اقلیمی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی حوزه آبخیز، ۹(۳)، ۱۶-۳.
۲۰. قضاوی، رضا؛ ولی، عباسعلی؛ مقامی، یاسر؛ عبدی، ژاله و شرفی، سیامک (۱۳۹۱). مقایسه مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، جغرافیا و توسعه، ۱۰(۲۷)، ۱۱۷-۱۲۶.
۲۱. کمری، حمزه و نوری، آذر. (۱۳۹۵). ارزیابی و برآورد دوره بازگشت بارندگی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه، مهندسی و فناوری، ۱۱، ۳۵-۲۵.
۲۲. محمودآبادی، مجید؛ چرخابی، امیرحسین؛ رفاهی، حسینقلی و گرجی اناری، منوچهر (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز گل‌آباد اصفهان با استفاده از مدل MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی، علوم کشاورزی ایران، ۳۶(۲)، ۵۲۰-۵۱۱.

۲۳. نوری، حامد، سیادت موسوی، مصطفی، مجردی، برات. (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و فن GIS با استفاده از نمونه‌ی فیزیکی تخمین رسوب EPM (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سد دز). مهندسی منابع آب، ۱۰(۳۲)، ۴۵-۵۴.
۲۴. نیک‌جو، محمدرضا. (۱۳۷۴). ارزیابی کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز دریاچای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
25. Abdolalizadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., & Moameri, M. (2020). Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5150-1>.
26. Hill, J., Mehl, W., & Altherr, M. (1993). Land degradation and soil erosion mapping in a Mediterranean ecosystem. Part of the Eurocourses: Remote Sensing book series (EURS, 4: pp. 237-260).
27. Meshram, S.G., Singh, V.P., Kahya, E., Alvandi, E. Meshram, Ch. & Sharma, S.K. (2020). The feasibility of multi-criteria decision-making approach for prioritization of sensitive area at risk of water erosion. *European Water Resources Association (EWRA)*, 34(15), 4665-4685.
28. Pmental, D., Harvay, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shipritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Bilar, R. (1995). Environmental and economic costs if Soilerosion and conservation benefits. College of Agriculture and life Sciences, Cornell University, Ithaca, USA, 267, 1117-1123.
29. Sadoddin, A., Sheikh, V.B., Mostafazadeh, R., & Halili, M.Gh. (2010). Analysis of Vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran. *International Journal of Plan Production*. 4(1):51-62.
30. Samantaray, S., & Ghose, D. (2018). Evaluation of suspended sediment concentration using descent neural networks. *Procedia Computer Science* 132: 1824-1831.
31. Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08690-z>.
32. Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2022) The spatiotemporal dependencies of terrain indices with soil characteristics in a steep hillslope mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 937 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10220-4>
33. Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning, United States Department of Agriculture - Handbook, Washington DC. 537: 13-27.

Prioritization of Kozetopraghi sub-watersheds based on estimated soil erosion and sediment yield using modified PSIAC model and GIS

Mousa Abedini*, Professor of geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. abedini@uma.ac.ir

Sajad Javadi alibabalo, Dept. of Natural Geography (Geomorphology), Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Raof Mostafazadeh, Dept. of Natural Resources, and member of Water Management center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

AmirHesam Pasban, PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

Soil is one of the most important natural resources in any country, and its erosion will cause many problems, including fertility reduction, vegetation poverty, and desertification, especially in arid and semi-arid areas. Today, the reduction of land resources due to soil erosion causes many human and financial losses every year. Therefore, in this research, in order to estimate soil erosion and sediment production, using the modified PSIAC experimental method (MPSIAC) and the use of geographic information system (GIS) in the Kozetopraghi watershed of Ardabil province. For this purpose, the required information layers were prepared using basic maps and GIS. After collecting, preparing and entering the information layers into the GIS environment and combining these layers, the amount of specific sediment of the basin was calculated between 7.69 and 0.76 tons per hectare per year. The total and average amount of annual soil erosion of the basin was also equal to 0 to 57.62 and 11.66 tons per hectare per year, respectively. Also, the highest and lowest amount of erosion in the sub-basins is based on the prioritization of sub-basins 15 and 36, whose values are respectively It was calculated as 28.50 and 2.83 tons per hectare per year. The average production sediment for the studied basin was estimated to be 3.16 tons per hectare per year. The prioritization of sub-basins based on the amount of soil erosion showed that sub-basins 15 and 34 have the highest and lowest amount of erosion (28.48 and 2.8 tons per hectare per year), respectively. Based on the amount of sediment, sub-basins 16 and 34 produce the highest and lowest amount of sediment respectively (7.16 and 0.76 tons per hectare per year). Based on the results obtained from the analysis of parameters related to erosion in the MPSIAC model, it can be concluded that the prioritization can be considered as the basis for decision-making and management in controlling erosion and sediment production.

Keywords: Soil erosion, sedimentation, indicators, erosion control priority, sedimentation ratio.

1-* Email: abedini@uma.ac.ir