

## پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش در حوضه آبخیز کن با روش پسیاک اصلاح شده و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### چکیده

فرسایش خاک، فرآیندی است که سالانه باعث هدر رفت میلیون‌ها تن خاک از عرصه‌های طبیعی و زراعی می‌گردد. برآوردهای صحیح از خطر فرسایش در بهبود توصیه‌های مدیریت اراضی نقش مهمی دارد. در این تحقیق، پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز کن با مساحت ۲۰۵۷۱ هکتار با استفاده از مدل تجربی MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه گردید. پس از گردآوری، آماده‌سازی و ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و تلفیق این لایه‌ها حداکثر و حداقل میزان رسوب و ویژه تولیدی سطح حوضه به ترتیب ۱۰/۴۱ و ۰/۹۹ تن در هکتار در سال، میزان رسوبدهی ویژه کل حوضه ۷۸/۷۲ تن در هکتار در سال و رسوبدهی کل حوضه ۵۰۵۴۹ تن در سال به دست آمد که رقم قابل توجهی است و از دلایل آن می‌توان به حساس بودن جنس سازندهای منطقه به فرسایش، نوع خاک منطقه، شیب زیاد حوضه، عدم کاربری مناسب اراضی و ... اشاره کرد؛ به گونه‌ای که مناطق با شدت فرسایش زیاد، منطبق بر سازندهای حساس و شیب‌های تند و زیاد است.

**واژگان کلیدی:** پهنه‌بندی خطر فرسایش، رسوبدهی ویژه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سازندهای حساس به فرسایش، حوضه آبخیز کن.

### مقدمه

یکی از ارزشمندترین سرمایه‌های ملی هر کشور، منابع طبیعی از جمله آب، خاک و گیاه بوده که به‌عنوان عناصر اصلی و بستر تولید و حیات به‌شمار می‌روند (کر و همکاران، ۲۰۰۶، ۶۵). در طول ۴۰ سال گذشته، در حدود ۳۳٪ از اراضی قابل کشت در دنیا به‌واسطه فرسایش خاک تخریب شده‌اند و هم‌اکنون نیز با سرعت ۱۰ میلیون هکتار در سال این تخریب ادامه دارد (هاروی و همکاران، ۱۹۹۵، ۱۲) که تهدیدی اصلی برای کشاورزی پایدار است؛ به‌طوری‌که سازمان‌های ملی و بین‌المللی توجهی ویژه برای تهیه نقشه خطر فرسایش دارند (داروسین، ۲۰۰۱، ۱۳).

براساس گزارش‌های فائو (F.A.O)، میزان فرسایش در ایران بین ۳ تا ۴ میلیارد تن در خاک در سال می‌باشد (ابراهیمی، ۱۳۸۰، ۲۴). علیرغم مقدار پیش‌بینی شده دو میلیون مترمکعبی رسوب سالانه ورودی به سد سفیدرود، حجم سالانه رسوب آن در حدود ۳۸ میلیون مترمکعب می‌باشد (غلامی، ۱۳۷۹، ۱۸۵). برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP)، فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر، نزدیک به ۲۰ تن در هکتار تخمین زده است که نسبت به ۱۰ سال گذشته ۱۰ تن در هکتار افزایش یافته است (UNDP، ۱۹۹۹، ۱۰۹).

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 (ویکتورا و همکاران، ۱۹۹۸، ۱۰). آمار موجود که به‌طور تقریبی تنها با رسوب‌سنجی از خروجی حوزه‌های آبخیز کشور برآورد گردیده است، میزان رسوبدهی را بیش از ۲ میلیارد تن در سال نشان می‌دهد که خود شاهدی بر تخریب است. لذا به‌همین منظور، ضروری است که در سطح حوزه‌های آبخیز کشور، تحقیقاتی در خصوص میزان دقیق فرسایش و روش‌های کاهش آن صورت بگیرد (نیکجو، ۱۳۷۵، ۱۳۵). اکثر حوضه‌های کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به این منظور، دستیابی به مدل‌های مبتنی بر شرایط ویژه حوضه‌های کشور ضروری است (عرب‌خدیری و زرگر، ۱۳۷۴، ۱۰).

همچنین شدت و میزان فرسایش و رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چرا که در این مناطق کمبود رطوبت و بارندگی مانع به‌وجود آمدن پوشش گیاهی مناسب و متراکم جهت حفاظت از اراضی می‌شود. امروزه عمده‌ترین مسأله آبخیزها به‌دست آوردن مناسب‌ترین روش جهت جلوگیری از ایجاد فرسایش، رواناب و رسوب و افزایش ذخیره نروالات آسمانی در خاک، به‌خصوص در شیب‌های کم می‌باشد تا بتوان بدین طریق موجبات احیاء مراتع و حفظ خاک را فراهم آورد (حبیب‌زاده، ۱۳۸۶؛ عبدی، ۱۳۸۴). مشخص نمودن منشأ فرسایش و رسوب در هر حوضه آبخیز این امکان را برای آبخیزداران فراهم می‌نماید که در واحدهای کاری و هیدرولوژیکی و با اهداف بلندمدت و کوتاه مدت چه نوع عملیات مکانیکی و بیولوژیکی انجام گردد.

سدها از دیرباز یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب بوده‌اند. ایجاد مخازن سدها اثرات ژرفی بر محیط زیست بالادست و پایین دست رودخانه‌ها و کیفیت آب دارند. برخی از این اثرات ناشی از فرآیندها و پدیده‌های خاص داخل مخزن می‌باشد. تغییرات کیفیت آب در دریاچه‌ها و مخازن در نتیجه فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی مواد مختلف از قبیل مواد مغذی، رسوبات و مواد سمی در محیطی کاملاً لایه‌بندی شده اتفاق می‌افتد. رسوب‌گذاری در مخزن علاوه بر کاهش میزان ذخیره آب باعث افزایش تبخیر برای یک ظرفیت مشخص، آب‌گرفتگی و تشکیل باتلاق در اراضی بالا دست سد، افزایش قدرت فرسایش رودخانه و در برخی موارد حاد، باعث ایجاد پدیده روگذری در خلال سیل می‌شود.

همچنین تغییرات بار رسوبی در یک رودخانه، معیار مهمی در مدیریت پروژه‌های آبی و شاخصی جهت نشان دادن وضعیت فرسایش خاک و شرایط اکولوژیکی حوضه می‌باشد. تخمین بار رسوبی در محدوده وسیعی از جمله طراحی مخازن و سدها، انتقال رسوب و آلودگی رودخانه‌ها، حفاظت زیستگاه ماهی‌ها، تعیین تأثیرات مدیریت آبخیزها، مقابله با خطرهای ناشی از تجمع رسوب در سازه‌های آبی و مخازن سدها کاربرد دارد. امروزه مسأله رسوب‌گذاری در مخازن سدها در سال‌های اخیر جدی‌تر شده است و با احداث سدهای مخزنی دیگر و مهار آب‌های سطحی نمود بیشتری پیدا کرده است. در چنین شرایطی می‌توان رسوب‌دهی و فرسایش حوضه‌ها را برای به‌دست آوردن چشم‌اندازی از وضعیت

فرسایش و تلفات خاک آبخیز بالادست به کار برد و با استفاده از راهکارهای مدیریتی مناسب از کاهش عمر مفید سدها جلوگیری به عمل آورد.

مدل PSIAC یکی از مدل‌های تخمین فرسایش است که در سال ۱۹۶۸، توسط زیر کمیته مدیریت آب آمریکا برای محاسبه شدت تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایالت متحده ارائه شد. مدل مذکور توسط جانسون و گبهارت مورد تجدید نظر قرار گرفت که تحت عنوان مدل MPSIAC در حوضه‌های مشابه استفاده می‌شود (محمود آبادی و همکاران، ۱۳۸۴، ۹). این مدل اولین بار در ایران در سال ۱۳۵۲، در حوضه آبخیز سد دز استفاده شد (رفاهی، ۱۳۸۲، ۶۷۱).

آل شیخ و همکاران (۱۳۸۳)، اقدام به ارزیابی میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز چیخواب با استفاده از روش پسیاک اصلاح شده و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) کردند و حداکثر و حداقل میزان رسوب تولیدی واحدهای کاری را به ترتیب ۲۷/۳ و ۱/۶ تن در هکتار در سال، میزان رسوب تولیدی حوضه را ۵۰۵۷۳۷ تن در سال و میزان بار رسوبی در حوضه در محل سد را ۳۹۷۲۹۸ تن برآورد نمودند (آل شیخ و همکاران، ۱۳۸۳، ۷۴). محمود آبادی و همکاران (۱۳۸۴)، به پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز گل آباد اصفهان با استفاده از مدل MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام کردند. نتایج مدل نشان داد که تولید رسوب حوضه بین ۲۶۳/۳ تا ۴۹۶/۹ متغیر و به طور متوسط ۳۵۶/۴ تن در کیلومتر مربع در سال است (محمود آبادی و همکاران، ۱۳۸۴، ۹).

عسگری و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کنجانچم با استفاده از روش MPSIAC پرداختند. برای این منظور با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) حداقل و حداکثر میزان رسوب تولیدی را هر کدام از زیرحوضه‌ها محاسبه نمودند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که حداقل و حداکثر میزان رسوب تولیدی در این واحدها ۲/۳ و ۲۶/۷ تن در هکتار در سال و میانگین کل رسوب تولیدی را معادل ۱۴/۹۸ تن در هکتار در سال می‌باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۸۷، ۶). رنگزن و همکاران (۱۳۸۷)، در تحقیقی با هدف مقایسه دو مدل MPSIAC و EPM در جهت برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند از تکنیک‌های GIS و RS استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که اگرچه نتایج این مدل در اکثر نقاط تطابق زیادی با هم دارند، ولی مدل MPSIAC برای شناسایی مناطق دارای فرسایش بالا قابل اطمینان‌تر است (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۳).

تاجگردان و همکاران (۱۳۸۷)، اقدام به برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز زیارت واقع در استان گلستان با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS و مدل MPSIAC نمودند. جهت این امر لایه‌های مربوط به عوامل مدل در محیط GIS تهیه شد و نهایتاً با استفاده از تحلیل‌های مکانی و هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی مقدار رسوب ۲۲۰۴۳/۷۹ تن در سال برآورد گردید. برای محاسبه فرسایش ویژه از ضریب SDR استفاده شد و میزان فرسایش برای حوضه مورد نظر ۶۹۸/۵۸ تن در سال به دست آمد. طبقه‌بندی کیفی حوضه براساس راهنمای مدل MPSIAC نشان داد که بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد. مقدار رسوب ایستگاه هیدرومتری ۱۸۵۸۲/۲۳ تن در سال بوده است. تقارب نتایج حاصل از مدل مورد بررسی با نتایج ضبط شده در ایستگاه هیدرومتری (۸۴/۳ درصد) نشان می‌دهد که با استفاده از برخی مشاهدات صحرائی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان مقدار رسوب را در حوضه مورد مطالعه با دقت بالایی برآورد نمود در راستای برنامه‌های مدیریتی و آبخیزداری مورد استفاده قرار گیرد (تاجگردان و همکاران، ۱۳۸۷).

محسنی و همکاران (۱۳۹۰)، اقدام به ارزیابی روش‌های مختلف برای محاسبه میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کسلیان نمودند و با انتخاب چهار روش دقت و کارایی آنها را مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از مقایسه میزان رسوب برآورد شده با مشاهده شده از طریق مقایسه مقادیر اختلاف مطلق و نسبی نشان داد که مدل ژئومورفولوژی برآورد مناسبی از میزان رسوب حوضه داشته است (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۰).

kokh- Sherstha با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام به پهنه‌بندی فرسایش و کاربری اراضی در حوضه خولا کشور نپال نمود و در نهایت مقدار فرسایش خاک را به میزان ۰/۱ تا ۰/۴ تن در هکتار در سال در اراضی با کاربری کشاورزی و آبی و در نهایت میزان فرسایش خاک را ۱۲/۶ تن در هکتار برآورد کرد (kokh- Sherstha، ۲۰۰۱). Tiwari و همکاران (۲۰۰۰)، مدل WEPP را در ایالات متحده و در ۲۰ مکان مختلف به کمک پلات‌هایی که بر روی دامنه‌های مختلف ایجاد شده بود، اجرا کردند که میزان فرسایش برآورد شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد مورد تأیید قرار گرفت (Tiwari و همکاران، ۲۰۰۰). Elliot (۲۰۰۴)، مدل WEPP را جهت بررسی مقدار فرسایش ایجاد شده در جاده‌های جنگلی و دامنه‌های تخریب شده در ۱۰ منطقه اجرا نمودند که ۹ منطقه در محدوده اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفتند (Elliot، ۲۰۰۴). Safamanesh و همکاران (۲۰۰۶)، از مدل MPSIAC برای محاسبه میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز زرگه استفاده نمودند و از داده‌های ۲۰ سال بار رسوب برای اعتبارسنجی نتایج استفاده نمودند. آنالیز رگرسیون خطی ساده بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داد که رابطه در سطح کوچک‌تر از ۵ درصد معنی‌دار است و این مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی بار رسوب داراست (Safamanesh و همکاران، ۲۰۰۶، ۱۵). Tayario و همکاران (۲۰۰۹)، اقدام به بررسی کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در بررسی میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در حوضه آبخیز مارون نمودند (Tayario و همکاران، ۲۰۰۹، ۹). Gandomkar (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای اقدام به محاسبه میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز موسی آباد با استفاده از GIS نمود (Gandomkar، ۲۰۰۹، ۳). با توجه به مباحث فوق فرضیه مد نظر این تحقیق عبارت است از:

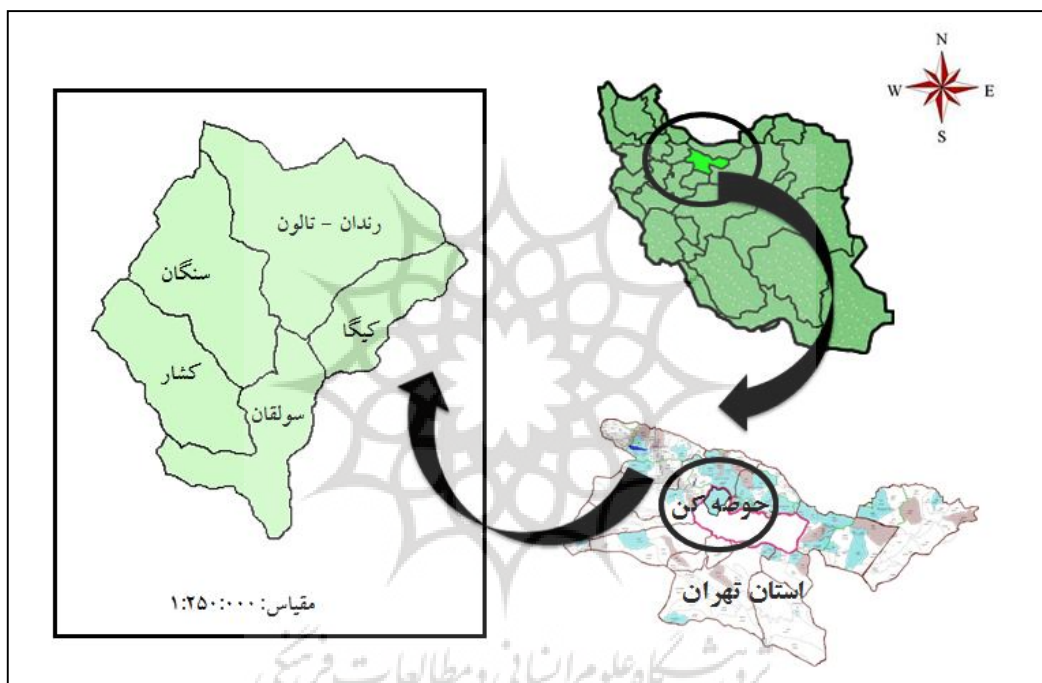
سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) قابلیت بالایی در کمک به برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز دارند و مدل‌سازی فرسایش و تولید رسوب با کمک این تکنیک بسیار مؤثر و کارآمد است و سبب صرفه‌جویی در هزینه، وقت و افزایش دقت و صحت می‌شود. هدف نهایی از این تحقیق، تعیین نقاط حساس به فرسایش در حوضه مورد نظر با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به وسیله مدیریت داده‌ها، تولید لایه‌های اطلاعاتی، تعیین واحدهای همگن در هر یک از لایه‌ها، وزن‌دهی به واحدهای همگن با استفاده از مدل پسیاک اصلاح شده، رستری نمودن لایه‌های وزنی و در نهایت همپوشانی لایه‌های وزنی و استخراج لایه‌های نهایی یعنی نقشه‌های میزان رسوبدهی و شدت فرسایش حوضه آبخیز است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

حوضه آبخیز کن به مساحت ۲۰۵۷۱ هکتار در فاصله بین طول‌های جغرافیایی ۵۱° ۱۰' تا ۵۱° ۲۳' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۴۶' و ۳۵° ۵۸' شمالی واقع گردیده است. این حوضه از شمال به حوضه شهرستانک سد امیرکبیر، از جنوب به حوضه واریش و وردیج و دشت تهران، از غرب به حوضه‌های سیجان و واریش و وردیج و از شرق به حوضه فرحزاد منتهی می‌شود. ارتفاع متوسط حوضه ۲۴۲۸ متر از سطح دریا، شیب متوسط کل حوضه ۴۳/۴ درصد و مهم‌ترین

رودخانه این منطقه کوهستانی رود کن می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوضه در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۷-۱۳۸۷) ۴۱۴/۱۳ میلی‌متر می‌باشد.

گستره مورد مطالعه به لحاظ وضعیت زمین‌شناسی در حاشیه جنوبی البرز مرکزی واقع شده است و ناهمواری‌های فعلی منطقه، حاصل فعالیت‌های تکتونیکی دوران سوم و چهارم می‌باشد. خاک‌ها عمدتاً بدون تحول پروفیلی و اغلب آن‌ها دارای مواد مادری رسوبی و آذرین هستند. عمده‌ترین گونه‌های غالب حوضه انواع *Astragalus*، *Ferula*، برخی گراس‌ها و لگوم‌ها می‌باشد. باغداری اصلی‌ترین فعالیت مردم روستاهای محدوده است و دامداری نیز همانند کشاورزی به صورت سنتی بوده و از مراتع برای تغذیه دام استفاده می‌نمایند. موقعیت منطقه در شکل (۱) مشاهده می‌شود (شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۱۳۷۹، ۱۵۰).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

## داده‌ها و روش‌ها

تاکنون مدل‌های مختلفی به منظور برآورد میزان فرسایش و رسوب ارایه شده است. مدل پسیاک یکی از مدل‌هایی است که هر چند کاربرد آن در عرصه‌های منابع طبیعی با محدودیت‌هایی همراه است، ولی نسبت به سایر مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب کاربرد بیشتری در ایران پیدا کرده است. در این مطالعه، از روش پسیاک اصلاح شده که از جمله بهترین روش‌های برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در ایران می‌باشد، استفاده گردیده است.

در این مدل ۹ عامل مؤثر در فرسایش مد نظر قرار داده شده است که هر کدام از این عوامل ۹ گانه بسته به شدت و ضعف خود امتیازی را به خود اختصاص می‌دهند و در نهایت با در نظر گرفتن این امتیازها میزان رسوبدهی در حوضه مد نظر مشخص خواهد شد. روش محاسبه مقدار عددی هر یک از عوامل مؤثر بر فرسایش در روش اصلاح شده PSIAC به شرح جدول (۱) است.

## جدول (۱) شیوه محاسبه امتیاز هر یک از عوامل در PSIAC اصلاح شده

عامل موثر بر فرسایش و علامت آن	معادله و شرح آن
زمین شناسی سطحی $Y_1$	$Y_1 = X_1$ که در آن $X_1$ شاخص فرسایش زمین شناسی است که بر اساس ویژگی‌هایی از قبیل جنس سنگ، سختی، ترک و شکاف و هواپدگی مقدار آن تعیین می‌شود.
خاک $Y_2$	$Y_2 = 16/67X_2$ که در آن $X_2$ معادل عامل K معادله جهانی تلفات خاک است.
آب و هوا $Y_3$	$Y_3 = 0/2X_3$ که در آن $X_3$ ارتفاع بارش ۶ ساعته (برحسب mm) با دوره بازگشت دو ساله است.
رواناب $Y_4$	$Y_4 = 0/2X_4$ که در آن $X_4$ معادل مجموع حاصل ضرب حجم رواناب سالیانه بر حسب میلی‌متر و $0/۰۳$ و حاصل ضرب دبی ویژه اوج جریان سالیانه بر حسب $m^3 \cdot s \cdot km^2$ و ۵۰ می‌باشد.
پستی و بلندی $Y_5$	$Y_5 = 0/33X_5$ که در آن $X_5$ شیب دامنه‌ها بر حسب درصد است.
پوشش زمین $Y_6$	$Y_6 = 0/2X_6$ که در آن $X_6$ درصد اراضی لخت و فاقد پوشش است.
شیوه استفاده از زمین $Y_7$	$Y_7 = 20 - 0/2X_7$ که در آن $X_7$ درصد تاج پوشش است.
وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه $Y_8$	$Y_8 = 0/25 X_8$ که در آن $X_8$ امتیاز عامل سطح خاک (S. S. F) است و بر اساس دستورالعمل دفتر مدیریت اراضی (B. L. M) آمریکا تعیین می‌شود.
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب $Y_9$	$Y_9 = 1/67X_9$ که در آن $X_9$ امتیاز به دست آمده توسط خندق‌ها در دستورالعمل اشاره شده در بند قبلی می‌باشد.

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۷، ۵۸۰

به‌کارگیری این روش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مستلزم این است که برای هر عامل مؤثر بر فرسایش، یک لایه اطلاعاتی تهیه شود. لذا در این راستا با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه می‌گردد. همچنین برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب، پس از محاسبه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عوامل نه‌گانه مؤثر بر فرسایش با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS روی هم قرار داده می‌شود و برای هر پیکسل مجموع امتیازها محاسبه می‌گردد. همچنین برای محاسبه رسوبدهی زیر حوضه‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Q_s = 0.253e^{(0.036R)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۷، ۵۷۹

که در آن  $Q_s$ : رسوبدهی بر حسب تن بر هکتار با فرض وزن مخصوص ۱۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب،  $e$ : پایه لگاریتم طبیعی و  $R$ : مجموع امتیاز به‌دست آمده از روش MPSIAC است. پس از تعیین امتیاز، نه عامل در نظر گرفته شده در مدل PSIAC اصلاح شده و به‌دست آوردن مجموع نمرات آن‌ها اقدام به تهیه نقشه شدت فرسایش می‌شود، به این صورت که پس از تعیین هر یک از عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش و تولید رسوب در روش MPSIAC، لایه‌های اطلاعاتی هر یک از آن‌ها در محیط GIS بر روی هم قرار داده می‌شوند. هر لایه به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که در محدوده مورد مطالعه به‌ازاء آن عامل خاص، کلیه پیکسل‌های واقع در صفحه دارای ارزش و امتیاز باشند، که این امتیاز بر اساس توصیه روش MPSIAC تعیین می‌شود. به‌طور مثال، برای تهیه لایه اطلاعاتی مربوط به نقشه شیب، با مبنای قرار دادن نقشه شیب تهیه شده، مقدار عددی شیب کلیه نقاط در عدد  $0/۳۳$  ضرب می‌شود، سپس به‌ازاء ارقام تغییر یافته، نقشه جدیدی از الگوی شیب جهت استفاده در برآورد شدت فرسایش و رسوبدهی آماده می‌گردد. این مراحل برای کلیه لایه‌های اطلاعاتی انجام و در نهایت مجموع امتیاز برای هر نقطه مشخص می‌گردد. براساس کلاس‌بندی تعریف شده در

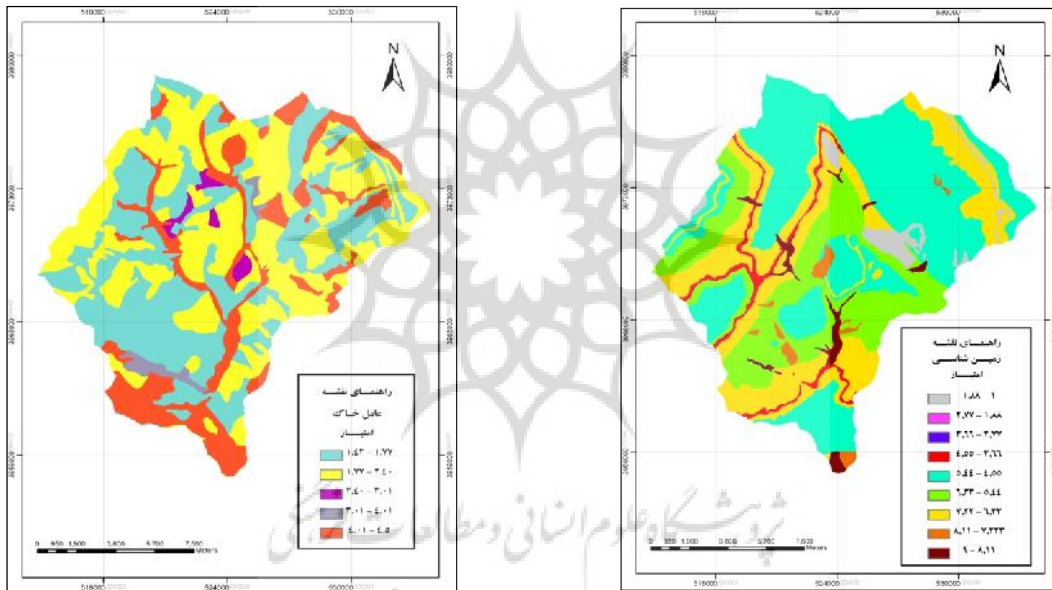
روش MPSIAC، طبقات پنج‌گانه شدت فرسایش و رسوبدهی از هم تفکیک شده و بدین ترتیب نقشه شدت فرسایش و رسوبدهی آماده می‌شود.

### یافته های پژوهش

با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز به‌صورت زیر تهیه شد.

\* لایه زمین‌شناسی: در این تحقیق، ابتدا با استفاده از گزارش زمین‌شناسی، انواع واحدهای سنگی منطقه مشخص شده و با توجه به برخی منابع موجود از قبیل فیض‌نیا (۱۳۷۴)، برای هر یک از واحدهای سنگ‌شناسی، محدوده‌ای از امتیاز در نظر گرفته شد. سپس با توجه به سهم هر یک از سنگ‌ها و حساسیت آنها به فرسایش، امتیاز متوسط برای آن واحد سنگ‌شناسی تعیین شد و نقشه آن تهیه شد (شکل ۲).

\* لایه خاک: برای مشخص کردن این عامل، ابتدا با استفاده از نمودار فرسایش‌پذیری، میزان فرسایش‌پذیری (K) سری‌های خاک موجود در منطقه براساس اطلاعات خاک‌شناسی تعیین شد و مقادیر به‌دست آمده بر اساس میزان سنگلاخ و اراضی صخره‌ای (فاقد خاک) اصلاح شد و نقشه آن تهیه شد (شکل ۳).



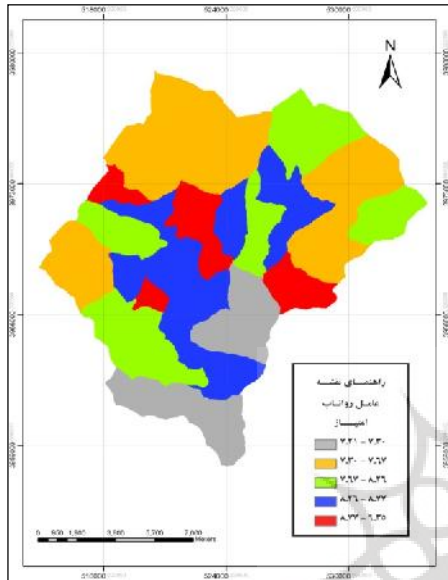
شکل ۲) لایه زمین‌شناسی حوضه آبخیز کن / شکل ۳) لایه خاک‌شناسی حوضه آبخیز کن

\* لایه آب و هوا: برای برآورد این پارامتر در این بخش به کمک تحلیل رگبارهای ایستگاه کن در محل خروجی حوضه کن مقدار بارش ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ ساله ۷/۲ میلی‌متر محاسبه و نقشه آن تهیه شد (شکل ۴).

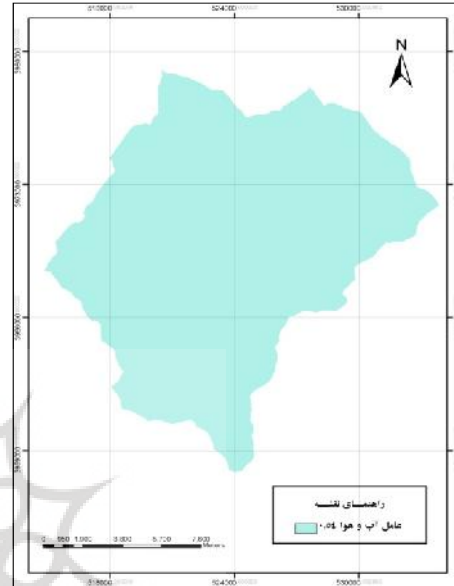
\* لایه رواناب: در مطالعه حاضر، برای به‌دست آوردن دبی حداکثر ویژه سیلاب در ایستگاه سولقان از نتایج دبی‌های پیک ایستگاه هیدرومتری سولقان بهره گرفته شد و پس از انتخاب توزیع مناسب از روی میزان دبی حداکثر لحظه‌ای به‌دست آمده برای ایستگاه سولقان و به‌دست آوردن میزان ضریب کریگر، میزان دبی حداکثر لحظه‌ای برای هر کدام از واحدهای هیدروژئیک به‌دست آمد (مهدوی، ۱۳۸۱). همچنین برای محاسبه میزان رواناب هر کدام از زیرحوضه‌ها از روش جاستین استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۴) و در پایان نقشه آن تهیه گردید (شکل ۵).

\* لایه پستی و بلندی: برای محاسبه این عامل ابتدا نقشه شیب تهیه و سپس برای هر کلاس شیب، میانگینی محاسبه شد و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۶).

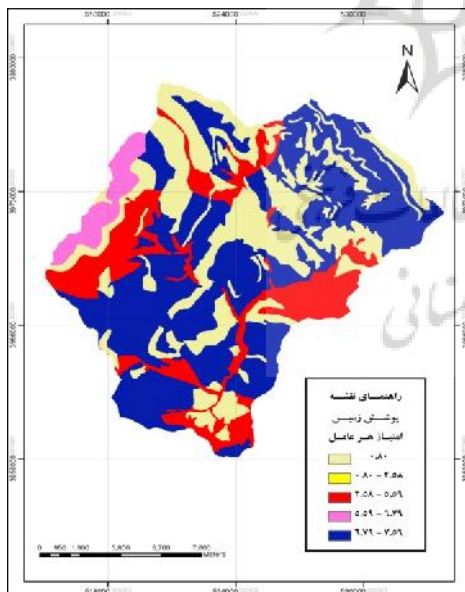
\* لایه پوشش زمین: برای تعیین عامل پوشش زمین از طریق بازدیدهای میدانی اقدام به ترانسکت گذاری و پلات اندازی در تپ‌های مرتعی شاخص کرده و برای محاسبه این عامل ابتدا درصد پوشش گیاهی، درصد خار و خاشاک و درصد سنگریزه سطحی را با هم جمع زده و با کسر آن از ۱۰۰، اراضی لخت محاسبه و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۷).



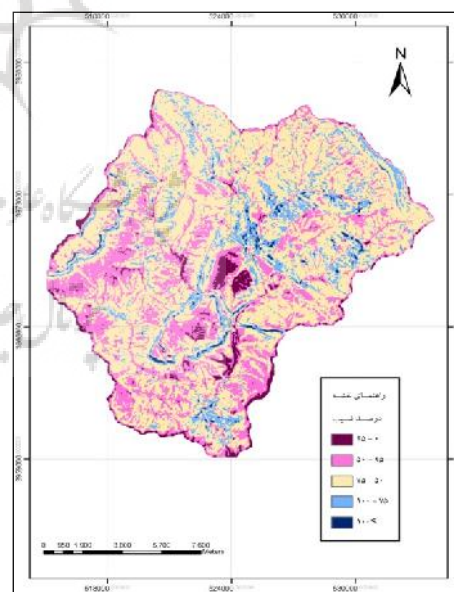
شکل ۵) لایه رواناب حوضه آبخیز کن



شکل ۶) لایه آب و هوای حوضه آبخیز کن



شکل ۷) لایه پوشش زمین در حوضه آبخیز کن



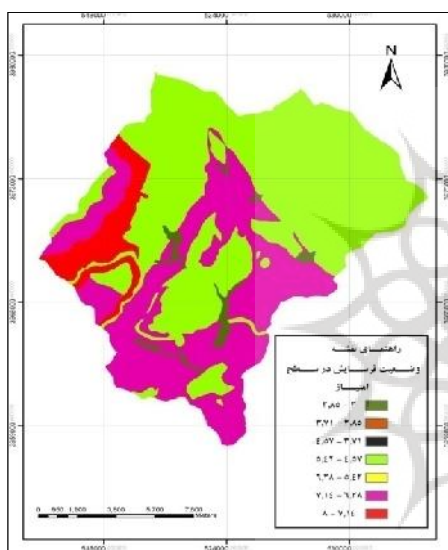
شکل ۸) لایه پستی و بلندی در حوضه آبخیز کن

\* لایه شیوه استفاده از زمین: برای محاسبه این عامل، درصد تاج پوشش در ۰/۲ ضرب شده و حاصل ضرب از ۲۰ کسر شد و در پایان نقشه آن تهیه گردید (شکل ۸).

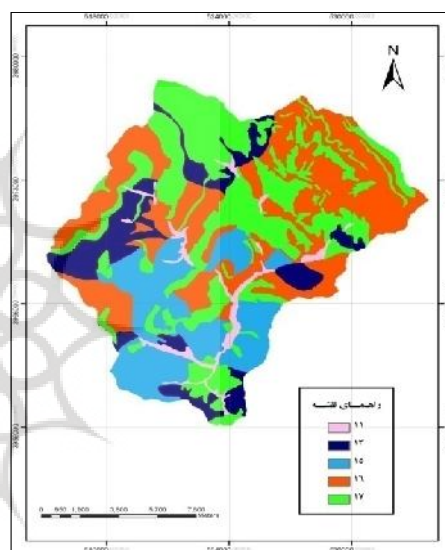


\* عامل وضعیت فرسایش در سطح حوضه آبخیز: برای این منظور، امتیاز عوامل هفت‌گانه BLM در واحدهای نقشه شکل فرسایش و امتیاز نهایی عامل وضعیت فرسایش در سطح حوضه آبخیز محاسبه شد و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۹).  
\* لایه فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب: برای تعیین امتیاز این عامل، امتیاز به‌دست آمده توسط عامل خندق‌ها در دستورالعمل BLM در عدد ۱/۶۷ ضرب و نقشه آن تهیه گردید (شکل ۱۰).

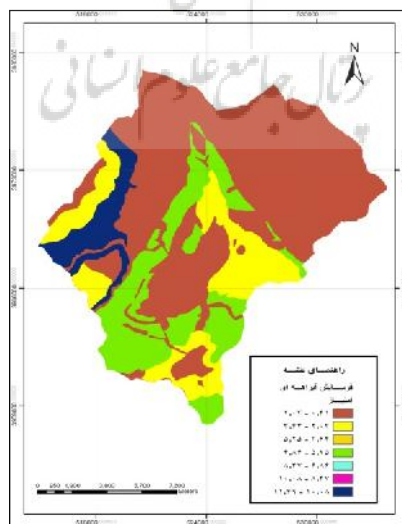
پس از گردآوری، آماده‌سازی و ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و تلفیق این لایه‌ها حداکثر و حداقل میزان رسوب ویژه تولیدی زیرحوضه‌ها را به ترتیب ۲/۸۴ و ۱/۹۶ تن در هکتار در سال، میزان رسوبدهی ویژه کل حوضه ۷۸/۷۲ تن در هکتار در سال و رسوبدهی کل حوضه ۵۰۵۴۹ تن در سال به‌دست آمد. در پایان نقشه رسوبدهی ویژه و نقشه شدت فرسایش برای کل حوضه رسم شد که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود. همچنین در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نقشه کلاس شدت فرسایش و رسوبدهی ویژه در حوضه و در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نمایی از فرسایش‌های موجود در حوضه ارایه شده است.



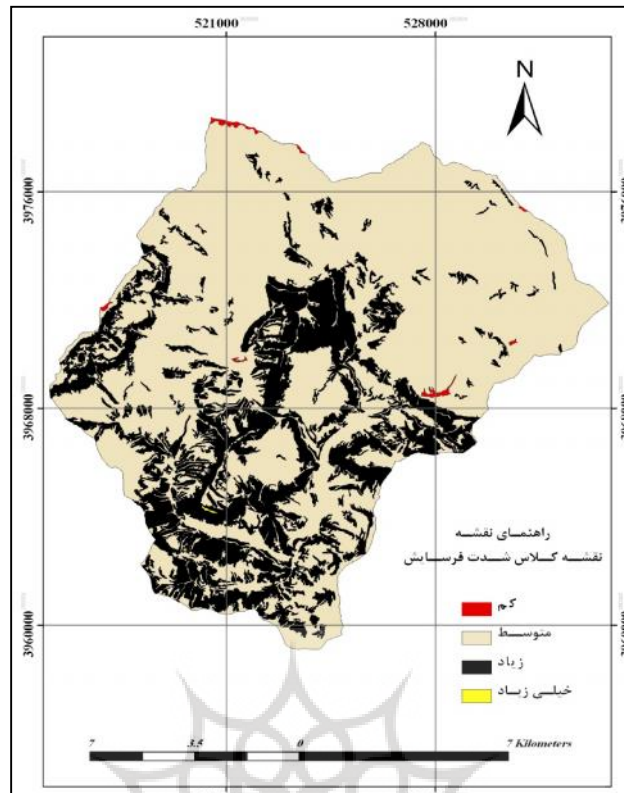
شکل ۹) لایه وضعیت فرسایش در سطح حوضه



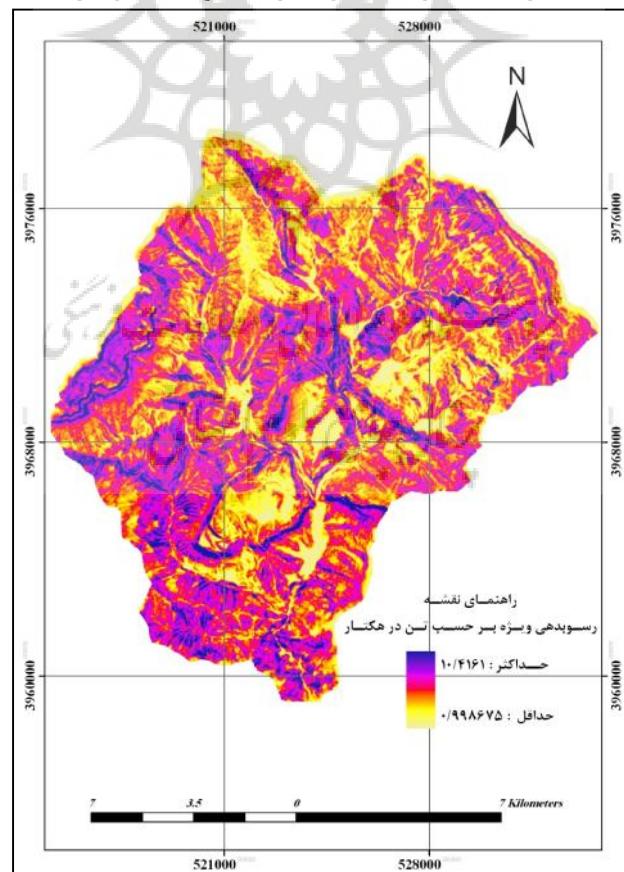
شکل ۸) لایه شیوه استفاده از زمین در حوضه



شکل ۱۰) لایه فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب در حوضه



شکل ۱۱) کلاس شدت فرسایش در حوضه آبخیز کن



شکل ۱۲) رسوبدهی ویژه بر حسب تن در هکتار در حوضه آبخیز کن



شکل ۱۴) نمایی از فرسایش واریزه‌ای در شیب‌های تند



شکل ۱۳) نمایی از فرسایش خندقی بر روی دامنه‌ها

### نتیجه‌گیری

در مطالعات فرسایش خاک، به‌ویژه در روش پسیاک، نیاز به تعیین واحدهای کاری همگن می‌باشد که تعیین این واحدها در روش‌های دستی و سنتی به‌صورت سلیقه‌ای و با روی هم‌گذاری تعدادی از لایه‌های پایه انجام می‌گیرد و متوسط‌گیری وزنی عوامل نه‌گانه مدل پسیاک در این واحدها منشأ بروز خطاهایی در نتیجه می‌شود، از طرفی عدم امکان کار بر روی واحدهای کوچک در مطالعات مختلف و در نتیجه حذف تأثیر این واحدها در نتایج برآورد مورد نظر خطا ایجاد خواهد کرد. در صورتی که به‌کارگیری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، نقش اعمال سلیقه‌های شخصی را (در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای کاری) به‌مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. همچنین سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به‌لحاظ قدرت بالای تجزیه و تحلیل اطلاعات پایه (به‌ویژه در بحث فرسایش و رسوب) مناطق با رسوبدهی مختلف را از یکدیگر تفکیک نموده و نقش واحدهای کوچک نیز در نظر گرفته می‌شود و با تولید نقشه حساسیت به فرسایش، مناطق مختلف فرسایش را از نظر کیفی و کمی طبقه‌بندی و این امکان را فراهم می‌آورد تا با توجه به اهداف مختلف مناطق حساس به فرسایش را از هم تفکیک و به‌ترتیب اهمیت اولویت‌بندی نمود. نتایج حاصل از مطالعات نشان داد که کمتر از ۰/۵ درصد از سطح حوضه در طبقه فرسایش کم، بیشتر از ۷۳ درصد از سطح حوضه معادل مساحتی بالغ بر ۱۴۸۷۳ هکتار از سطح حوضه و منطبق بر قسمت‌های میانی حوضه در طبقه فرسایش متوسط، بیشتر از ۲۶ درصد از سطح حوضه معادل مساحتی بالغ بر ۵۲۸۵ هکتار دارای فرسایش زیاد می‌باشد. همچنین متوسط رسوبدهی ویژه حوضه ۲/۶۳ تن در هکتار و دارای حداقل و حداکثر رسوبدهی ویژه معادل ۰/۹۹ تن در هکتار در نواحی بالادست حوضه و ۱۰/۴۱ تن در هکتار در نواحی میانی حوضه و منطبق بر سازندهای حساس و مناطق با شیب بالا و توپوگرافی تند می‌باشد که با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعات، میزان فرسایش در حوضه نسبتاً بالاست که از دلایل آن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

\* زمین‌شناسی: مناطق با شدت فرسایش خیلی کم، عمدتاً منطبق بر سازندهای زمین‌شناسی Edg شامل توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب مونزودیوریت تا مونزوگابرو هستند که از نظر فرسایش‌پذیری عمدتاً دیرفرسا هستند. این مناطق از نظر تیپ ژئومورفولوژی عمدتاً شامل صخره‌ها و خط‌الرأس‌ها هستند. مناطق با لیتولوژی سنگ‌های گدازه‌ای همراه با توف نسبت به فرسایش نسبتاً مقاوم هستند و عمدتاً شامل فرسایش‌های برونزد سنگی همراه با فرسایش ورقه‌ای و برونزد سنگی همراه با فرسایش خندقی محدود است.

سنگ‌های با شدت فرسایش‌پذیری بالا عموماً منطبق بر اشکال فرسایش ورقه‌ای همراه با فرسایش خندقی، فرسایش خندقی همراه با فرسایش شیاری و فرسایش ورقه‌ای همراه با برونزد سنگی هستند که از نظر زمین‌شناسی شامل واحدهای شیل با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی و سیلتستون، تناوب شیل و سیلتستون است. در کل واحدهای سنگی با قابلیت فرسایش‌پذیری بالا، بیشترین درصد مساحت در حوضه آبخیز کن را تحت پوشش قرار داده است و عمدتاً شامل توف سبز با میان‌لایه‌های سیلتستونی، ماسه سنگ همراه با توف سبز صخره‌ای، کنگلومرا و ... است.

\* عامل خاک: مناطق با شدت فرسایش خیلی کم یا کم در حوضه عملاً منطبق بر خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی B هستند که خود منطبق بر آبراهه‌ها و باغات می‌باشد؛ در حالی که خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی C عمدتاً منطبق بر مناطق با شدت فرسایش متوسط تا زیاد است.

\* پستی و بلندی: به‌طور کلی شیب دامنه‌ها در سطح حوضه مورد مطالعه بسیار تند است، ولی در قسمت‌های مختلف تفاوت‌هایی وجود دارد. در قسمت‌هایی که شیب‌های بسیار تند وجود دارد، اراضی فاقد خاک و فرسایش هستند. در شیب‌های کم حوضه و همچنین اراضی سکوبندی شده، فرسایش کم و قابل اغماض است. در شیب‌های متوسط به بالای حوضه یعنی از حدود ۲۰ تا ۷۰ درصد، بیشترین مقدار فرسایش مشاهده می‌شود. در شیب‌های بسیار تند فقط ریزش سنگ مشاهده می‌شود؛ در حالی که در شیب‌های متوسط فرسایش شیاری و خندقی وجود دارد و در شیب‌های کم فرسایش ورقه‌ای حاکم می‌باشد.

\* نحوه استفاده از اراضی: به‌طور کلی، نظر بر این است که میزان فرسایش در اراضی زراعی بیشتر از مراتع است. زیرا این اراضی در معرض شخم و حذف کامل پوشش گیاهی هستند، ولی این مسأله در حوضه مورد مطالعه حالت عکس دارد. اعمال مدیریت صحیح کشاورزی از دیدگاه فرسایش در اراضی پرشیب منطقه از قبیل ترانس‌بندی و درخت‌کاری در آنها سبب کاهش فرسایش در این زمین‌ها شده است. بالعکس مدیریت غلط در مراتع، پوشش گیاهی را بسیار تنک کرده و خاک را در معرض فرسایش بیشتر قرار داده است.

## منابع و مأخذ

- ۱) ابراهیمی، ن، داوودی، ع، قدرتی، ج (۱۳۸۰)، بررسی تأثیر بهره‌برداری‌های مختلف در فرسایش و رسوب حوضه آبخیز قره تبریز اراک، مجموع مطالعات همایش ملی مدیریت اراضی- فرسایش خاک و توسعه پایدار مرکز تحقیقات فرسایش.
- ۲) احمدی، حسن، محمدی، علی اصغر (۱۳۸۰)، بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM و با تأثیر روش ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ده نمک)، سومین همایش فرسایش و رسوب.
- ۳) آل شیخ، ع و همکاران (۱۳۸۳)، مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز چیتخاب با استفاده از روش پسیاک اصلاح شده و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۳۸، صفحه ۷۴.
- ۴) اوتق، مجید و نهانی، محمد (۱۳۸۳)، رابطه واحدهای ژئومورفولوژی و فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز کاشیدار گرگانرود، مجله علوم و کشاورزی و منابع طبیعی، بهار ۱۳۸۳.
- ۵) بهمنی، ا. (۱۳۸۶)، جایگاه آبخیزداری در مدیریت شهری مطالعه موردی چند حوضه آبخیز شهری، پایان‌نامه دکتری آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۳۸۸ صفحه.
- ۶) تاجگردان، تکتم، ایوبی، شمس...، شتابی جویباری، شعبان (۱۳۸۷)، برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۹، ۳۷-۴۵.
- ۷) رفاهی، ح (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم. ۶۷۱ص.
- ۸) رنگرن، کاظم، زراسوندی، علیرضا، حیدری، ارسلان (۱۳۸۷)، مقایسه دو مدل MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گنوند با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS در خوزستان، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۱۲۳-۱۳۶.
- ۹) شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی (۱۳۷۹)، مطالعات پایه حوضه آبخیز کن، ۱۵ جلد. ۱۵۰ص.
- ۱۰) عرب خدری، م، زرگر، و. (۱۳۷۴)، برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی، پژوهش و سازندگی، ۲۲، ۲۹-۳۹.
- ۱۱) عسگری، شمس...، ثروتی، محمد رضا، جعفری، محمد رضا (۱۳۸۷)، برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه سد ایلام با استفاده از مدل MPSIAC، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۲۹-۳۵.
- ۱۲) علیزاده، ا. (۱۳۸۴)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ هیجدهم.
- ۱۳) غلامی، ش (۱۳۷۹)، مدل شبیه‌سازی رسوب روزانه با استفاده از مدل توزیعی SWAT در حوضه‌های کوهستانی، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۸۵.
- ۱۴) گلبابایی، ح (۱۳۷۵)، تعیین نقاط حساس به فرسایش در زیرحوضه لواریک سد لتیان از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۶۶ صفحه.
- ۱۵) محسنی، بهروز، قدوسی، جمال، احمدی، حسن، طهماسبی، رمضان (۱۳۹۰)، ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC و ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۰۷-۱۲۷.
- ۱۶) محمودآبادی، م و همکاران (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز گل آباد اصفهان با استفاده از مدل MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شماره ۲، سال ۱۳۸۴، ۵۲۰-۵۱۱.
- ۱۷) مهدوی، م. (۱۳۸۱)، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۸) نیکجو، م، ر. (۱۳۷۵)، کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز دریانچای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- 19) Clark, K. B., (1999), An estimate of sediment yield for two small watersheds in Geographic information System. M.Sc. Thesis, Geography, University of New Mexico.
- 20) Daniels, R. C., R. H. Huxford and D. McCandless (1998); Coastline mapping and identification of erosion hazard areas in pacific county, Washington, Department of Ecology, Coastal Monitoring and analysis program, pp:113-142.
- 21) Daroussin, J. & D. King, (2001), Mapping erosion risk for cultivated soil in France. Catena, Vol. 46: 207-220.
- 22) Elliot, W.J. (2004); WEPP internet interfaces for forest erosion prediction. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 40(2):299-309.
- 23) Gandomkar, Amir (2009), Using GIS in Soil Erosion Control (Case study: Mousa Abad Basin, Isfahan, Iran), GIS Ostrava, 1, 25-28.
- 24) Harvey, C and et al (1995), Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits, science, 267:1117-1123. 12PP.
- 25) Kerr, J., Chung, K. (2006), Environment and Production Technology Division International Food Policy, Research Institute, Washington, D. C. 65PP.
- 26) Kokh-Shertha, M. (2001); Soil erosion modeling using Remote Sensing and GIS: A case study of Jhikhu Khola watershed, Nepal, M. Tech. Thesis, Andhra University, 78p.
- 27) Sadiq, A. M., and M. A. Syed (2001); Digital image processing extract information case study state of Qatar, Remote sensing unit, Scientific and Applied Research Center(SARC) University of Qatar.

- 28) Safamanesh, Ramin, Sulaiman, Azmin, Ramli, Mohammad Firuz (2006), Erosion Risk Assessment using an Empirical Model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed, Iran, Journal of Spatial Hydrology, 6(2), 105-120.
- 29) Shrestha, R. P. A. Eiumonoh and S. Baimoung (1996); Soil erosion assessment and its policy implications: A case study of RS and GIS applications in Uthai Thani, Thailand Metrological
- 30) Soil erosion and sedimentation modeling by MPSIAC model and GIS application(case study: Ghareh Aghach watershed, Iran), Fazel, Amiri
- 31) Soil Science Department, Agricultural Faculty, Ankara University (1996); Quantitative determination of erosion by using remote sensing and geographic information in the vicinity of Ankara Cubuk dam lake, Soil and Fertilizer Research Institute, 45p.
- 32) Tayario, Salehi, Kasra, Irani, Doustin, (2009), using the gis/rs analysis to reduce differences of catchment erosion-sediment estimates applying through the mpsiac method-case study: maroun catchment, water engineering, 1(2), 75-84.
- 33) Tiwari, A.K., L.M. Risse, and M.A. Nearing, (2000); Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. T. Am. Soc Agric. Engr. 43(5):1129-1135.
- 34) UNDP.(1999), Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8, PP: 109-121.
- 35) Victora, C., A. Kacevas, & H. Fiori. (1998), Soil credibility assessments with simulated rainfall and with the USLE monograph in soil from Uruguay. Proceeding of 16th World Congress of Soil Science, Montpellier. France.10 PP.

