



سال بیست و چهارم، شماره ۸۷
پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۱۱-۱۷۹

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

موسی عابدینی^{۱*}

ایمانعلی بلوایی^۲

بهرروز نظافت تکلہ^۳

مقایسه مدل‌های ام پسیاک، ای پی ام (EPM) و بی ال ام (BLM) جهت ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از ضریب آماری کاپا (مطالعه موردی حوضه آبریز سیمره چنار)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

چکیده

فرسایش خاک یکی از مسائل و مشکلات مهم حوضه‌های آبریز ایران محسوب می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی نام برد. این مطالعه به‌منظور مقایسه مدل‌های ام پسیاک، ای پی ام و بی ال ام، با استفاده از ضریب آماری کاپا جهت ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبریز سیمره چنار انجام شد. بدین منظور موقعیت ۹۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش در بررسی میدانی بوسیله دستگاه GPS مشخص و این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش انطباق داده شد. ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل‌های مورد استفاده، با بکارگیری ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که مدل ام پسیاک با ضریب آماری کاپا ۰/۹۱ نسبت به مدل‌های ای پی ام و بی ال ام با ضریب آماری کاپا ۰/۷۶ و ۰/۷۱ از دقت بیشتری در ارزیابی خطر فرسایش در حوضه آبریز سیمره چنار برخوردار است. همچنین نتایج حاصل از رویهم‌گذاری نقشه‌های نهایی فرسایش با نقاط فرسایش یافته، نشان داد که در مدل ای پی ام ۸۱ درصد نقاط در منطقه خطر متوسط، مدل بی ال

Email: abedini@uma.ac.ir

^{۱*} گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،

^۲ دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،

^۳ دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،

ام ۳۷ درصد این نقاط در منطقه خطر متوسط و در مدل ام پسیاک ۹۰ درصد نقاط مشخص شده در منطقه خطر متوسط قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه در کلاس فرسایش متوسط قرار دارد و مدل ام پسیاک برای ارزیابی فرسایش در این حوضه نتایج دقیق‌تری را نشان می‌دهد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل ام پسیاک به ترتیب ۷/۹۳، ۱۴/۴۵، ۷۷/۶۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته است. همچنین بر اساس مدل ای پی ام به ترتیب ۲۷/۵۴، ۳۲/۱۶، ۴۰/۳۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط قرار گرفته است. نتایج این مدل ضریب شدت فرسایش را ۰/۵۸ و رسوب کل تولید شده در مدت یک سال را ۱۹۲۱۱۸۳/۶ متر مکعب برآورد نمود.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، ام پسیاک، ای ام پی، بی ال ام، حوضه آبریز سیمره چنار، سنجش از دور و GIS

مقدمه

بشر در طی تاریخ تکامل خود، همواره از خاک به عنوان بستری برای کشت و کار محصولات کشاورزی و تامین نیازهای غذایی استفاده نموده است تا ادامه حیات خود را تضمین سازد. از بین رفتن مداوم خاک سطح زمین (انتقال یا حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر در سطح زمین) توسط آب یا باد فرسایش گفته می‌شود (Kardovani, 2008:264). فرسایش فرآیندی است که طی آن ذرات از بستر خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شوند. در صورتی که عامل جدا شدن ذرات از بستر و انتقال آن‌ها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می‌شود (Alizadeh, 2010:870). شناخت مناطق مختلف یک حوضه آبریز از نظر وقوع فرسایش و شدت آن همواره یکی از مهمترین اهداف کارشناسان منابع طبیعی بوده است (Nojavan et al., 2012:121). برای رسیدن به این مهم مدل‌هایی به صورت تجربی ارائه شده‌اند که هرکدام دارای نقاط قوت و ضعفی می‌باشند. اخیراً محققین زیادی در سراسر جهان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از این مدل‌ها اقدام به برآورد فرسایش و رسوب به صورت کمی می‌کنند (Hashemi et al., 2010: 31). از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در رابطه با تغییرات زمین و چگونگی استفاده از آن و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (Feng et al., 2010:118). خاک در زندگی انسان و موجودات دیگر بقدری اهمیت دارد که می‌توان آن را گوهر گرانبه‌ای طبیعت نام گذاشت. اگر خاک منطقه‌ای در معرض فرسایش قرار گیرد اولین تأثیر منفی را بر روی آب و گیاه می‌گذارد. به طور کلی دو عامل طبیعی و انسانی در فرسایش و تولید رسوب موثر هستند، این دو عامل بر یکدیگر اثر می‌گذارند به طوری که عوامل انسانی باعث تشدید فرسایش در مناطقی شده که عوامل طبیعی شرایط مناسبی را برای بروز آن فراهم ساخته‌اند و یا برعکس عوامل انسانی وضعیت فرسایشی منطقه را مستعد نموده و عوامل طبیعی فرسایش آن را تشدید کرده است. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب زایی و نیز محاسبه دقیق حجم سد در احداث سد‌های مخزنی، می‌بایست حجم کل رسوب تولیدی سالانه در حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد. عدم وجود یا

کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و رسوب زایی را الزامی می‌نماید. فرسایش خاک یکی از مشکلات عمده‌ای است که سالانه صدمات جبران‌ناپذیری به اقتصاد کشورها وارد می‌کند. فرسایش خاک نه تنها موجب از بین رفتن خاک حاصل‌خیز داخل حوضه می‌گردد، بلکه در خارج از حوضه (مناطق نظیر کانال‌های انتقال آب و سدهای مخزنی و...) نیز تاثیر منفی دارد (Khodabakhsh et al., 2009). 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 (Refahi, 2000). تاکنون مدل‌های زیادی جهت برآورد فرسایش خاک ارائه شده است، از میان این مدل‌ها می‌توان به مدل MPSIAC که درصد اعتبار بیش‌تری دارد اشاره کرد. مدل MPSIAC در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور کارایی دارد (Khayyam et al., 2013). 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 جهان و ایران تبدیل شده است (Mehregan, 2006). فرسایش خاک، فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر خود جدا شده و به‌کمک یک عامل انتقال‌دهنده مانند آب، باد، یخچال به مکانی دیگر منتقل می‌شود و در نهایت رسوب حاصل باعث بروز مشکلات محیطی می‌شود. فرسایش خاک تحت تاثیر عوامل گوناگون از جمله زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی، سنگ‌شناسی (کانی‌شناسی، بافت و ساخت سنگ‌ها) و اثرات متقابل بین این عوامل است (Mahboubi et al., 2013). فرسایش خاک یک مشکل جدی در جهان است. در سطح جهانی، ۱۹۶۴/۴ میلیون هکتار تحت تاثیر تخریب ناشی از انسان قرار دارد، از این مقدار، ۱۹۰۳ میلیون هکتار با فرسایش خاک با آب و ۵۴۸/۳ میلیون هکتار با فرسایش باد مواجه است (Untited Nations, 1997). خاک یک منبع زنده، دینامیک و تجدیدناپذیر در طول عمر انسان است که برای تولید غذا و همچنین توازن جهانی اکوسیستم‌ها ضروری و حیاتی است. سطح زمین عموماً به وسیله خاک، پوشش گیاهی و دیگر نهشته‌های سطحی پوشیده شده است. فرسایش خاک، نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد بلکه با رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بنادر و کاهش ظرفیت آن‌ها، زیان‌های فراوانی را موجب می‌شود (Ansari- Lari and Ansari, 2016). اطلاعات زمانی و مکانی از میزان هدررفت خاک و تاثیرگذاری فرسایش خاک بر سرزمین در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش خاک و مدیریت حوضه‌های آبخیز نقش موثری دارد. (Mohammadi et al, 2018). آگاهی از میزان خطر فرسایش در حوضه‌های آبخیز و همچنین تهیه نقشه فرسایش، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌سازد. چون اطلاعات صحیح و قابل قبول از میزان کمی فرسایش در حوضه‌های آبخیز وجود ندارد، لذا قبل از تهیه نقشه کمی فرسایش، اغلب نیاز به برآورد حساسیت یا پتانسیل مناطق مختلف حوضه از نظر شدت فرسایش خاک و به عبارتی دیگر پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک می‌باشد (Erfanian et al., 2014). حوضه مورد مطالعه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس مرتفع است. تشکیلات زمین‌شناسی حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد

حاضر بوده و عمدتاً از سنگ آهک تشکیل شده است. منطقه مورد مطالعه از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است. از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان به کوه‌های سیاه کمر و زرین‌کوه اشاره نمود که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال‌غربی-جنوب‌شرقی جزء رشته‌کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۱۷۵ متر حداقل آن ۱۱۹۰ متر است. از جمله این روش‌ها PSIAC، EPM، BLM، FAO می‌باشد. با توجه به اهمیت فرسایش خاک، مطالعات فراوانی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

پیشینه تحقیق

Refahi et al, (2000) با استفاده از مدل ام پسیاک و فن آوری سنجش از دور و GIS میزان رسوب سالانه حوضه آبخیز طالقان تهران را با دقت ۹۸.۳ درصد رسوب مشاهده ای برآورد نموده‌اند. (Gobadi et al, (2011 در مطالعه ای که در حوضه آبخیز باغ ملک در خوزستان، برای برآورد مقدار فرسایش و رسوب انجام دادند، روش‌های MPSIAC و EPM را همراه با نقشه‌های فرسایشی که با استفاده از تکنیک GIS ایجاد شده بودند به کار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل MPSIAC با تکنیک‌های GIS و RS پیوستگی بیشتری با نرخ فرسایش دارد. در نهایت نتایج حاصل از رگرسیون خطی نیز نشان داد که در مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM گراف رسوب دارای بیشترین همبستگی است. (Eisazadeh et al (2012 در مطالعه‌ای که در حوضه‌های آبخیز کوچک انجام دادند، از دو روش RUSLE و MPSIAC برای اندازه‌گیری فرسایش و رسوب استفاده نمودند، سپس دقت و صحت هر یک از این مدل‌ها با استفاده از مدل‌های آماری مثل MAD تعیین گردید. نتایج نشان داد که روش MPSIAC با مقدار حداقل MAD در اولویت اول برای برآورد رسوب قرار گرفت. (Abedini and Toolabi (2013 در تحقیق خود درباره فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای مقادیر رسوب را با سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان به ترتیب ۰/۲۳۱، ۰/۱۷۸ و ۰/۷۸۵ و با مدل EPM ۰/۰۳۳ و برای رسوب مشاهده‌ای ۰/۲۴۱ تن در هکتار در سال محاسبه کرده که مقادیر عددی مدل WEPP به رسوب مشاهده‌ای نزدیک است. (Abedini et al (2015 میزان رسوبدهی حوضه آبخیز عنبران را با استفاده از مدل WEPP مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت ۴ نوع مدیریت، ۲ نوع خاک و ۵ نوع آبراهه توسط مدل WEPP در حوضه آبخیز عنبران تشخیص داده شد. میزان رسوب برآوردی توسط روش دامنه و حوضه آبخیز مدل WEPP به ترتیب ۰/۱۱۶ و ۰/۰۸۲ تن در هکتار به دست آمد که روش دامنه با ۰/۱۱۶ تن در هکتار در سال به رسوب مشاهده‌ای ایستگاه عنبران با ۰/۱۳۸ تن در هکتار در سال نزدیک است. بدین ترتیب نتایج نشان داد که روش دامنه مدل WEPP نسبت به روش حوضه آبخیز کارایی بیشتری دارد. در این پژوهش از مدل‌های ام پسیاک، بی ال ام و ای پی ام برای برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبریز سیمره چنار استفاده شده است و مقایسه موردی بین این مدل‌ها با استفاده از ضریب آماری کاپا مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. (Sohjaei et al, 2018) به منظور ارزیابی فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز گابریک با استفاده از دو مدل تجربی MPSIAC و FSM اقدام کرده‌اند. بر اساس این نتایج، میزان رسوب کل حوضه با اعمال ضریب مربوط با استفاده از دو مدل MPSIAC و

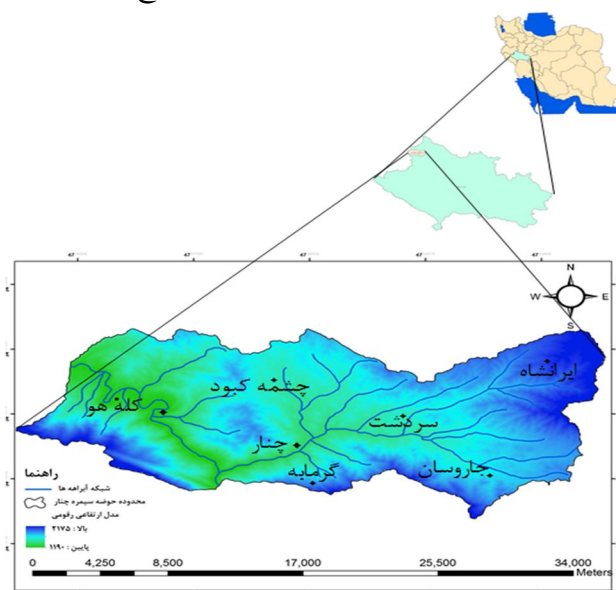
FSM، به‌ترتیب ۴ و ۳/۶ تن درهکتار در سال برآورد شد و براساس ضریب رسوب‌دهی حوضه (R)، از لحاظ کیفی بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایش متوسط قرار گرفت. (Noori et al (2018) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تخمین تولید متوسط رسوب سالیانه و نقشه فرسایش شدید در دو زیر حوضه آبخیز 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 به‌ترتیب ۹۰/۳ درصد و ۰/۹۰۱ می‌باشد. (Nezadafzali et al(2019) در پژوهشی به تحلیل پارامترهای موثر فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز دهکهان با مساحت ۲/۹۹۲۳ هکتار در جنوب استان کرمان، پرداخته‌اند. نتایج مطالعات ایشان نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر در برآورد فرسایش خاک، فاکتور توپوگرافی با بالاترین مقدار ضریب یعنی ۹۲/۶ داشته است. (Hada et al (2005) در تحقیقی در منطقه پنجاب هند، نقشه خطر فرسایش خاک را با استفاده از شاخص‌های فرسایش‌دهی، قدرت تخریبی باران، فرسایش‌پذیری خاک و نقشه‌های فرسایش تهیه کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مناطق دارای خطر فرسایش زیاد در شیب‌های تند و فاقد پوشش گیاهی هستند. (Das, (2014) مطالعه‌ای را در مورد اصلاح حوضه‌های اولیاتی برای حفاظت از منابع طبیعی زیرحوضه‌های حاهره در حوضه دامودار کشور هند، با مساحت ۵۶۵ کیلومترمربع شامل چهار حوضه در استان جرخند، در شرق هند، با استفاده از تحلیل مورفومتری و استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ برای تحلیل با کمک ابزارهای GIS انجام داد. نتایج نشان داد که در میان چهار حوضه مورد مطالعه، حوضه ۴/۴ بالاترین سطح اولویت بود که در آن ابتدا باید اقدامات حفاظت صورت گیرد و سپس حفاظت در حوضه آبخیز ۴/۳ انجام شود. حوضه آبخیز ۴/۱ نیز در محدوده اولویت متوسط و حوضه آبخیز ۴/۲ در منطقه کم‌ترین اولویت بود. (Deolia and Pande (2014) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص مورفومتری در حوضه آبخیز پارخا، هیمالیای مرکزی را براساس نظرسنجی از هندوستان به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ ارزیابی کرده‌اند. شاخص‌های توزیع (زبری سطح زمین) نسبت بین برجستگی مطلق و برجستگی نسبی است، در نتیجه دامنه آن یک نتیجه ترکیبی از عوامل مختلف ژئومورفیک است. ضریب همبستگی بین شاخص‌های توزیع و فاکتورهای مذکور نشان می‌دهد که برجستگی نسبی، برجستگی مطلق، شیب متوسط و تراکم زهکشی تاثیر مثبتی بر رشد و توسعه درجه‌بندی متفاوت در حوضه آبخیز پارخا دارد. (Geach et al (2017) در مطالعه‌ای به استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در کنار روش‌های تفسیر عکس‌های هوایی و سنجش از دور، در مطالعه زمین‌های مهندسی برای شناسایی تغییرات چشم‌اندازهای جغرافیایی و تاثیر فعالیت‌های تکنیکی و تغییرات اقلیمی بر شکل‌گیری سیستم‌های تپه‌ای و رودخانه‌ای در حوضه (Sorbas جنوب شرق اسپانیا) پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و تفسیر عکس‌های هوایی در شناسایی محدوده مهندسی و زیستگاه‌های زیست‌محیطی در ارتباط با توسعه مناطق کوهستانی، یک نقشه محدوده جغرافیایی برای پیش‌بینی خطرات مربوط به زمین و روش‌ها و محدودیت‌های ساخت و ساز به‌دست آمده است (Anees et al(2018) در مطالعه‌ای به برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل RUSLE و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، و تکنیک‌های سنجش از دور در حوضه

آبخیز ایالت کلانتان، در شبه جزیره مالزی پرداخته‌اند. نتایج کلی نشان می‌دهد که بارندگی زیاد و فعالیت‌های کشاورزی باعث افزایش میزان فرسایش در شیب‌های تند در حوضه آبخیز می‌شود. (Coleman et al., 2018) به بررسی عملکرد پنج مدل SDR پرکاربرد، (SDREST) برای برآورد مقادیر عملکرد رسوب (SYEST) بر اساس داده‌های موجود در یک حوضه استوایی پرداخته‌اند. آنها از ارزش عملکرد رسوب موجود (SYOBS)، در طی سپتامبر ۲۰۱۱ تا ژوئیه ۲۰۱۷، در سه زیرحوضه گواریروبا، میانه غربی برزیل استفاده کرده‌اند. برای تخمین میانگین فرسایش سالانه خاک، از معادله تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE)، استفاده شده است SDROBS و SYOBS، به ترتیب از ۵/۵۶ تا ۱۰/۵۴٪ و ۹۴۰/۷۶ تا ۵۴۰۰/۳۲ تن در سال بود. روش ویلیامز و برنندت (۱۹۷۲)، با برآورد SDR، از ۲/۳۴- تا ۳/۳۰٪ بهترین عملکرد را داشته است. بنابراین این مدل، برآورد SDR و SY مناسبی را ارائه می‌دهد و ممکن است برای تخمین SY، در سایر حوضه‌های با کمبود داده و حوضه‌های گرمسیری مفید باشد. (Chiang et al 2019) به بررسی رابطه بین سرعت جریان، بار رسوب، غلظت رسوب و مشخصات طوفان (مسیر و میزان بارندگی)، طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ برای ۹ ایستگاه سنجش در ۵ حوضه (حوضه آبخیز Thamshui، حوضه آبخیز Zhuoshui، حوضه آبخیز Zengwen، حوضه آبخیز Gaoping و حوضه آبخیز Hualien) پرداخته‌اند که این شرایط نشان‌دهنده شرایط مختلف ژئومورفولوژی در تایوان است. نتایج نشان داد که، سرعت جریان و بار رسوب رابطه مثبت داشتند و وقتی داده‌های رسوب بر اساس غلظت رسوب گروه‌بندی شد، همبستگی بهبود یافت. در میان این حوضه‌ها، حوضه آبخیز Zhuoshui بیش‌ترین بار رسوب واحد تخلیه و بار رسوب واحد سطح را دارد. خاک موجود در بالادست، در شرایط تخلیه طبیعی، فرسایش‌پذیرتر از خاک پایین‌دست بود، این نشان‌دهنده ویژگی‌های زمین‌شناسی منحصر به فرد آن و نحوه بیشتر شدن رسوب از طوفان است. تنوع زمانی و مکانی در بارهای رسوبی، برای حوضه‌های مختلف، بیشتر توسط طوفان‌های مسیرهای مختلف طبقه‌بندی شد. اگرچه انواع مسیرهای طوفان مهم هستند، اما حوضه‌های آبخیز Zhuoshui و Hualien، معمولاً تحت تاثیر طوفان‌های همه مسیرها قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که غلظت رسوب، خصوصیات خاک حوضه آبخیز و مسیرهای طوفان، از عوامل اصلی بارهای رسوبی بودند. (Rajabanshi and Bahatacharya 2020) در مطالعه‌ای، اثرات پارامترهای حوضه رودخانه (مورفولوژی حوضه، شبکه زهکشی، توپوگرافی، آب و هوا، ترکیب و الگوی پوشش‌زمین، کاربری‌اراضی (LULC)، و خصوصیات خاک بر فرسایش خاک (SE)، و عملکرد خاص رسوب (SSY)، در حوضه رودخانه گرمسیری کنار، هند، را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که اراضی بایر، سالانه از حد متوسط تا بسیار زیاد (۰/۴-۵ تن در هکتار در سال)، در کلاس SE در مقایسه با سایر کلاس‌های LULC، تقویت می‌شوند. در نهایت نتایج حاصل نشان داد که میانگین سطوح شیب دار (S)، آرامش حوضه (HD)، نسبت تحویل رسوب (SDR)، تراکم ناهمگن (PD)، تراکم لبه (ED)، انتگرال هایپسومتریک (H)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، در SE (16/0- =1/0b)، بسیار تاثیرگذار بودند. بر همین اساس می‌توان اقداماتی را برای حفاظت از فرسایش خاک در حوضه رودخانه و اطراف آن در هند انجام داد.

هدف از این پژوهش، مقایسه مدل‌های ام‌پسیاک، ای‌پی‌ام و بی‌ال‌ام جهت ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از ضریب آماری کاپا در حوضه آبریز سیمره چنار می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سیمره چنار جزئی از شهرستان دلفان محسوب می‌شود که با مساحت ۲۸۵/۴۲۲ کیلومتر مربع، در شمال‌غربی استان لرستان، در طول جغرافیایی ۱۲°، ۱۹'، ۴۷" تا ۳۶°، ۳۹'، ۴۷" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴°، ۴'، ۲" تا ۳۴°، ۱۲'، ۷" شمالی قرار گرفته است. این حوضه از شمال به شهرستان هرسین، از شرق و جنوب شرقی به شهرستان دلفان و از غرب و جنوب غربی به کرمانشاه محدود شده است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس مرتفع است. تشکیلات زمین‌شناسی حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد حاضر بوده و عمدتاً از سنگ‌آهک تشکیل شده است. منطقه مورد مطالعه از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است. از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان به کوه‌های سیاه کمر و زرین‌کوه اشاره نمود که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال‌غربی-جنوب شرقی جزء رشته‌کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۱۷۵ متر حداقل آن ۱۱۹۰ متر است. این حوضه از زیر حوضه‌های فرعی رودخانه سیمره است که خود از شاخه‌های رودخانه کرخه به شمار می‌رود. آب و هوای منطقه مورد مطالعه از نوع مدیترانه‌ای با زمستان‌های نسبتاً سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. اکثر بارندگی‌های منطقه ناشی از ورود جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای است که از سمت غرب و شمال غرب وارد ایران شده و در برخورد با ارتفاعات زاگرس صعود می‌نماید و موجب بارندگی می‌شوند. بارندگی متوسط سالانه این حوضه ۵۴۱ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۸۶ درصد ریزش سالانه در ماه‌های آذر لغایت اردیبهشت ماه مشاهده می‌گردد. بارش برف در اواخر دی‌ماه و اوایل بهمن ماه در حوضه حداکثر می‌باشد. ریزش‌های ارتفاع بیشتر از ۱۶۵۰ متر عموماً به صورت برف است. دمای متوسط سالانه در محدوده ۱۳/۶۲ درجه سانتی‌گراد و افت دمای متوسط سالانه به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع، ۹/۶ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز سیمره چنار در استان لرستان

Figure 1: The location of Simre Chenar watershed in Lorestan province

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ گذر ۱۶۶ ردیف ۳۶ تاریخ ۱۶ آوریل ۲۰۱۷، داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما و بارش که از سازمان هواشناسی استان لرستان تهیه شد و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه شیب، جهت شیب و استخراج آبراهه‌ها استفاده شده است. از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی - فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل و از نرم‌افزار ENVI جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

در مدل پسیاک تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز سنجد می‌شود. روش اخیر را فرمول اصلاح شده پسیاک یا MPSIAC نامیدند (۱). در روش MPSIAC امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V1 = X1 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن V1 امتیاز عامل زمین‌شناسی و X1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است که بر اساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌شود. هم‌چنین در این مدل برای تعیین عامل خاک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X2 = 16.67k \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن X2 امتیاز رسوبدهی خاک و K عامل فرسایش پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش می‌باشد. فرسایش و رسوب‌زایی تا حد زیادی از اقلیم منطقه تبعیت می‌کند. در این بین به نزولات آسمانی باید توجه ویژه داشت. در این روش و در رابطه با عامل آب و هوا، فراوانی بارش، دوره ریزش بارش، برف، یخبندان و ذوب شدن مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تعیین عامل آب و هوا از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X3 = 0.2P2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن X3 امتیاز عامل و هوا و P2 مقدار بارندگی ۶ ساعته با دروه بازگشت ۲ سال بر حسب میلی‌متر می‌باشد که با استفاده از اطلاعات آمار هواشناسی محاسبه می‌گردد. در این روش برای برآورد امتیاز عامل روان آب رابطه زیر ارائه شده است:

$$X4 = 0.2(0.03R + 50QP) = 0.006R + 10QP \quad \text{رابطه (۴)}$$

X4 امتیاز عامل روان آب، R ارتفاع روان آب سالانه بر حسب میلی‌متر، QP دبی ویژه پیک بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع می‌باشد. دبی ویژه هر یک از واحدهای هیدرولوژیک از تقسیم دبی پیک سیلاب به مساحت آن به دست می‌آید. اهمیت شیب و توپوگرافی اراضی در فرسایش خاک باعث شده است که در روش MPSIAC امتیاز این عامل مهم بین صفر تا بیست در نظر گرفته شود. عدد صفر برای مناطقی که دارای شیب کم بوده و دشت

های آبرفتی و دامنه ای که دارای شیب کمتر از ۳۰ درصد می‌باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز توپوگرافی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X5 = 0.33S \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن X5 درجه رسوبدهی و S شیب متوسط بر حسب درصد می باشد. برای تعیین امتیاز عامل پوشش گیاهی در این روش از رابطه زیر استفاده می کنند:

$$X6 = 0.2pb \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن X6 عامل پوشش زمین و pb درصد اراضی لخت و فاقد پوشش می باشد. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که به‌طور وسیع در مطالعات سنجش از دور بکار گرفته می‌شود. شاخص NDVI اساساً بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده‌شده به‌وسیله اختلاف در طول موج‌های الکترومغناطیس گسیل‌شده از گیاهان می‌باشد (۱۸) شاخص NDVI برای تصاویر ماهواره لندست به صورت زیر بیان می‌شود (۱۷).

$$NDVI = \frac{\text{Band4} - \text{Band3}}{\text{Band4} + \text{Band3}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

برای تعیین عامل پوشش زمین در مدل MPSIAC از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$X7 = 20 - 0.2pc \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن منظور از X7 امتیاز میزان درجه رسوبدهی و Pc مقدار تاج پوشش بر حسب درصد است. جهت تعیین اراضی فاقد پوشش روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال به کار گرفته شد. در روش MPSIAC برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$X8 = 0.25S . S . F \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن X8 امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش و S . S . F امتیاز عامل سطحی خاک می باشد که با استفاده از روشی که توسط اداره مدیریت اراضی آمریکا پیشنهاد گردیده است (روش BLM) بدست می آید. برای تعیین امتیاز عامل فرسایش رودخانه ای و انتقال رسوب در روش MPSIAC از رابطه زیر استفاده می شود.

$$X9 = 1.67S . S fg \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن منظور از X9 امتیاز مقدار فرسایش رودخانه ای و S . S fg نمره نهایی فرسایش خندقی در روش BLM می‌باشد. جهت تعیین این فاکتور نیز از مطالعات کارشناسان اداره آبخیزداری استفاده شد. پس از تعیین امتیاز ۹ عامل در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC جهت برآورد فرسایش و تولید رسوب از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب به شرح زیر استفاده به عمل می آید:

$$Qs = 38.77e^{0.0353R} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن : Qs = میزان رسوبدهی سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و R = درجه رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مختلف در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC است. باید در نظر داشت که میزان فرسایش خاک و

تولید رسوب محاسبه شده در روش MPSIAC مجموع رسوبدهی هر واحد مطالعاتی مورد نظر می‌باشد. زیرا در این روش فرسایش خاک و رسوب زایی هر واحد تحت عنوان بار رسوب نامیده شده که مجموع بار معلق و بار کف است. با در دست داشتن وزن مخصوص متوسط رسوبات معلق و بارکف می‌توان وزن رسوبات سالانه را بر حسب تن در کیلومتر مربع برآورد نمود.

جدول ۱- عوامل موثر بر مدل MPSIAC

Table 1- Factors affecting the MPSIAC model

| ردیف | عامل موثر در فرسایش | امتیاز در مدل MPSIAC | شرح پارامتر |
|------|---------------------|-----------------------|--|
| ۱ | زمین شناسی سطحی | $Y1=X1$ | X1 حساسیت سنگ به فرسایش |
| ۲ | خاک | $Y2 = 16.67k$ | K عامل فرسایش پذیری خاک |
| ۳ | آب و هوا | $Y3 = 0.2X3$ | X3 بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال |
| ۴ | رواناب | $Y4 = 0.006R + 10 QP$ | R ارتفاع رواناب سالانه QP دبی اوج سالانه |
| ۵ | توپوگرافی | $Y5 = 0.33 S$ | S شیب متوسط حوضه |
| ۶ | پوشش گیاهی | $Y6 = 0.2 X6$ | X6 سطح اراضی لخت |
| ۷ | کاربری اراضی | $Y7 = 20 - 0.2 X7$ | X7 درصد تاج پوشش |
| ۸ | وضعیت فعلی فرسایش | $Y8 = 0.25 X8$ | X8 مجموع امتیازات مدل BLM |
| ۹ | فرسایش رودخانه ای | $Y9 = 1.67 X9$ | X9 امتیاز فرسایش خندقی در مدل BLM |

جهت تعیین کلاس‌های فرسایش خاک و شدت رسوب‌دهی از جدول (۲) استفاده می‌شود.

جدول ۲- تعیین کلاس فرسایش خاک و میزان تولید رسوب سالانه در روش MPSIAC

Table 2- Determining the class of soil erosion and the amount of annual sediment production in the MPSIAC method

| کلاس رسوب دهی و فرسایش خاک | شدت رسوبدهی | رسوب ویژه (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال) | درجه رسوبدهی |
|----------------------------|-------------|---|--------------|
| I | خیلی کم | کمتر از ۹۵ | ۰-۲۵ |
| II | کم | ۹۵-۲۳۸ | ۲۵-۵۰ |
| III | متوسط | ۲۳۸-۴۷۶ | ۵۰-۷۵ |
| IV | زیاد | ۴۷۶-۱۴۲۹ | ۷۵-۱۰۰ |

اگر مدل ای بی ام با بازدیدهای صحرائی کنترل گردد می‌تواند نتایج قابل قبولی را در برداشته باشد. مدل ای بی ام قادر است به عنوان ابزاری در جهت بدست آوردن یک برآورد اولیه از میزان بار رسوب آبراه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه‌هایی که به نحوی به این گونه دادها نیازمندند، به کار گرفته شود. در این روش، چهار عامل در برآورد میزان رسوب موثر هستند که عبارت است از ضریب فرسایش حوضه آبخیز، (ϕ) ، ضریب استفاده از زمین (Xa) ، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) ، شیب متوسط حوضه

(I) که در هر کدام از واحدهای کاری مورد بررسی قرار می‌گیرید. سپس برای تعیین شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از مدل ای پی ام به صورت زیر به دست آمد.

$$Z = Xa.Y. (\phi + I^{1/2})$$

رابطه ۱۲)

جدول ۳- کلاس شیب و امتیاز آن در مدل EPM (Refahi, 2000)

Table 3-Slope class and its score in the EPM model (Refahi, 2000)

| امتیاز در مدل EPM | شیب | کلاس شیب |
|-------------------|-------|----------|
| ۰/۰۲۵ | ۰-۵ | ۱ |
| ۰/۰۷۵ | ۵-۱۰ | ۲ |
| ۰/۱۵ | ۱۰-۲۰ | ۳ |
| ۰/۲۵ | ۲۰-۳۰ | ۴ |
| ۰/۳۵ | ۳۰-۴۰ | ۵ |
| ۰/۴۵ | ۴۰-۵۰ | ۶ |
| ۰/۶ | >۵۰ | ۷ |

جدول ۴- ویژگی‌های فرسایش در واحدهای کاربری (Refahi, 2000)

Table 4-Characteristics of erosion in user units (Refahi, 2000)

| فرسایش | ویژگی‌های فرسایش در واحد کاری | ردیف |
|--------|--|------|
| ۱ | سطح وسیعی از منطقه از هدکت و فرسایش خندقی پوشیده شده باشد | ۱ |
| ۰/۹ | حدود ۸۰٪ منطقه دارای فرسایش خندقی و شیباری باشد | ۲ |
| ۰/۸ | حدود ۵۰٪ از منطقه دارای فرسایش خندقی و شیباری باشد | ۳ |
| ۰/۷ | سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی و حرکات توده ای و به مقدار کم فرسایش خندقی و خندقی و شیباری و پدیده کارستی باشد | ۴ |
| ۰/۶ | سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی دارای بدون آثار فرسایش شدید باشد | ۵ |
| ۰/۵ | ۵۰ درصد از منطقه دارای فرسایش سطحی باشد | ۶ |
| ۰/۴ | ۲۰ درصد از منطقه دارای فرسایش سطحی باشد | ۷ |
| ۰/۳ | منطقه بدون فرسایش سطحی قابل ذکر باشد | ۸ |
| ۰/۲ | اراضی کشاورزی با فرسایش ناچیز | ۹ |
| ۰/۱ | اراضی به صورت جنگل و مرتع و با فرسایش ناچیز | ۱۰ |

جدول ۵- ضریب حساسیت فرسایش به واحدهای سنگ شناسی و خاک شناسی (Refahi, 2000)

Table 5-Erosion sensitivity coefficient to lithological and soil geological units (Refahi, 2000)

| ردیف | شرایط سنگ شناسی و خاک شناسی | ضریب حساسیت |
|------|--|-------------|
| ۱ | ماسه، سنگ ریزه، شیست، مارن دارای املاح گچ و نمک | ۲ |
| ۲ | لس، توف، خاک شور و قلیایی، خاک استپی | ۱/۶ |
| ۳ | آهک تخریب شده، رس و مارن بدون املاح | ۱/۲ |
| ۴ | ماسه سنگ قرمز و رسوبات فلیشی | ۱/۱ |
| ۵ | شیست خرد شده، میکا شیست، گنیس، شیست آرژیلایت دار | ۱ |
| ۶ | سنگ آهک سخت، خاک های هوموس دار | ۰/۹ |
| ۷ | خاک های قهوه ای جنگلی و خاک های کوهستانی | ۰/۸ |
| ۸ | خاک های هیدرو مرف سیاه و یا خاکستری | ۰/۶ |
| ۹ | خاک های چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت مناسب | ۰/۵ |
| ۱۰ | سنگ های آذرین سخت، دگرگونی و متبلور | ۰/۲۵ |

جدول ۶- طبقه بندی شدت فرسایش در مدل EPM (Refahi, 2000)

Table 6- Erosion intensity classification in the EPM model (Refahi, 2000)

| مقادیر متوسط Z | مقادیر حد Z | شدت فرسایش | طبقه بندی فرسایش |
|----------------|------------------|------------|------------------|
| ۱/۲۵ | $z > 1$ | خیلی شدید | I |
| ۰/۸۵ | $1 > z > 0.71$ | شدید | II |
| ۰/۵۵ | $0.7 > z > 0.41$ | متوسط | III |
| ۰/۳ | $0.4 > z > 0.2$ | کم | IV |
| ۰/۱ | $0.19 > z$ | خیلی کم | V |

مرحله دوم محاسبه میزان حمل رسوب است که با استفاده از رابطه ۱۳، می توان مقدار فرسایش را در طول یک سال در واحد سطح حوضه آبخیز (کیلومتر مربع) بر حسب مترمکعب در کیلومتر در سال برآورد نمود.

$$WSP = T.H.Z^{1.5} \cdot \pi \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

در این رابطه WSP میزان فرسایش ویژه سالیانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و T ضریب درجه حرارت است.

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

t متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه آبخیز بر حسب درجه سانتیگراد، H متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلی متر، Z ضریب شدت فرسایش و π معادل $3/14$ است (Ahmadi et al., 2007). مرحله سوم محاسبه دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال است که از طریق رابطه ۱۴، به دست می‌آید، سپس از طریق رابطه ۱۶، ضریب رسوبدهی محاسبه می‌شود که در این رابطه p محیط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع بر حسب متر و L طول حوضه یا بزرگترین آبراهه بر حسب کیلومتر می‌باشد. مقدار D نیز از رابطه ۱۷ بدست می‌آید. که در آن D_{av} ارتفاع متوسط حوضه بر حسب کیلومتر و D_0 ارتفاع نقطه خروجی حوضه بر حسب کیلومتر است.

$$GSP = WSP \cdot RU \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

GSP - دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، WSP - مقدار فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، RU - ضریب رسوبدهی.

$$RU = \frac{4(P \cdot D)^{0.5}}{L + 10} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

$$D = D_{av} - D_0 \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

مراحل اجرای بی‌ال‌ام به شرح زیر است :

- تهیه نقشه تیپ فرسایش با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی طبق جدول تعیین امتیاز سطحی خاک ($S.S.F^2$) جدول (۷).
- تعیین امتیاز عامل فرسایش سطحی (توسط آب، باد، نیروی ثقل و...) با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل وجود لاشبرگ سطحی در خاک با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل پوشش سنگی سطح زمین با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل آثار تخریب در سطح زمین با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش شیاری با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل آثار رسوب گذاری جریان با دامنه عددی ۰-۱۵ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی.
- تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش خندقی با دامنه عددی ۰-۱۵ با توجه به جدول ۷ و بازدیدهای صحرایی. سازمان مدیریت اراضی آمریکا (B.L.M) وضعیت فرسایش را بر حسب جمع نمرات عوامل هفت گانه عرضه کرده است (جدول ۸). طبق این جدول وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص می‌شود.

جدول ۷- امتیاز دهی عوامل بر اساس مدل مدل (Refahi, 2000) BLM

Table 7- Scoring factors based on the BLM model (Refahi, 2000)

| شرح | حدود امتیاز | ویژگی ظاهری |
|------------------------|-------------|---|
| حرکت توده خاک | ۰-۳ | حرکت قابل ملاحظه ای دیده نمی شود. |
| | ۴-۵ | حرکت مختصر ذرات خاک |
| | ۶-۸ | حرکت متوسط و تازه ذرات خاک قابل مشاهده است. |
| | ۹-۱۱ | آثار تجمع خاک و ذرات مختلف در مقابل موانع کوچک که با هر رواناب، این عمل اتفاق می افتد. |
| | ۱۲-۱۴ | خاک تحت الارضی در بیشتر مناطق ظاهر گشته و به وضوح دیده می شود. |
| پوشش لاشبرگ | ۰-۳ | تجمع بقایای گیاهی در یک منطقه |
| | ۴-۶ | بقایای گیاهی دارای حرکت کمی می باشند. |
| | ۷-۸ | حرکت متوسط لاشبرگ آشکار است و در مقابل موانع رسوب کرده است. |
| | ۹-۱۱ | حرکت زیاد لاشبرگ آشکار است و مقادیر زیاد و بزرگ در مقابل موانع رسوب کرده است. |
| | ۱۲-۱۴ | لاشبرگ سطحی خیلی کم است. |
| پوشش سطحی سنگ زمین | ۰-۲ | بخوبی توسعه یافته و به صورت یکسان پراکنده است. |
| | ۳-۵ | به صورت لکه لکه پراکنده است. |
| | ۶-۸ | مقدار سنگ های کوچک و بزرگ با پراکنش خیلی ضعیف |
| | ۹-۱۱ | به صورت سطوح منفرد است و حرکت کمی را نشان میدهد. |
| | ۱۲-۱۴ | به میزان زیاد وجود دارند اما به وسیله شیارها و خندقها از هم جدا می شوند. |
| قطعات سنگی تحکیم یافته | ۰-۳ | شواهد قابل ملاحظه ای دیده نمی شود. |
| | ۴-۶ | در مسیرهای جریان به میزان کم وجود دارد. |
| | ۷-۹ | وجود سنگهای کوچک و گیاهان در شبکه جریان |
| | ۱۰-۱۲ | سنگهای کوچک و گیاهان بصورت برجستگی ها در آمده و عموماً ریشه گیاهان دیده می شود. |
| | ۱۳-۱۴ | گسترش خیلی زیاد سنگ ها و گیاهان به صورت تحکیم یافته |
| شیارهای سطحی | ۰-۳ | شیارها در سطح زمین بر اثر فرسایش آبی دیده نمی شوند. |
| | ۴-۶ | شیارها در سطح زمین مشهود است ولی این شیارها عمقی کمتر از ۱/۵ سانتی متر دارند. |
| | ۷-۹ | شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی متر در سطح خاک به فواصل حدود ۳ متر از یکدیگر دیده می شوند. |
| | ۱۰-۱۲ | شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتیمتر در سطح خاک دیده میشوند که فواصل بین آنها حدود ۳ متر است. |
| | ۱۳-۱۴ | شیارهایی با عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتیمتر با فاصله کمتر از ۱/۵ متر در سطح خاک دیده می شود. |

| ادامه جدول ۷ - | | Conyinue of table 7- |
|----------------|---|----------------------|
| ۰-۳ | کمتر آبراهه ای در سطح زمین دیده می شود. | شکل آبراهه |
| ۴-۶ | مواد برجای مانده در کف آبراهه تا حدودی مشهود می باشد. | |
| ۷-۹ | ذرات موجود در کف آبراهه به ترتیب اندازه ته نشین شده اند. | |
| ۱۰-۱۲ | در کف آبراهه ذرات لای شن و مواد کوهرفتی دیده میشود. | |
| ۱۳-۱۵ | تراکم آبراهه در سطح زمین زیاد و اراضی غیرقابل کشت در محل ته نشست مواد کوهرفتی به چشم می خورد. | |
| ۰-۳ | ممکن است در شرایط پایداری باشند و پوشش گیاهی کف آبراهه و شیب های جانبی مستقر باشند. | توسعه فرسایش خندقی |
| ۴-۶ | تعدادی خندق با فرسایش بستر و شیب کناری کم، مقداری پوشش گیاهی روی شیب ها وجود دارد. | |
| ۷-۹ | تعدادی از خندقها کاملاً توسعه یافته دارای فرسایش فعال در طول کمتر از ۹۱ درصد طول آن | |
| ۱۰-۱۲ | خندقها به تعداد زیاد ۵۵-۱۰ درصد فعالیت فرسایشی دارند. | |
| ۱۳-۱۵ | خندقهای فعال که بیشتر از ۵۰ درصد منطقه را می پوشانند و از نظر فرسایشی فعال می باشند. | |

جدول ۸- وضعیت فرسایش بر حسب جمع نمرات هفت عامل (Refahi, 2000)

Table 8- Erosion status according to the sum of scores of seven factors (Refahi, 2000)

| وضعیت فرسایش | جمع نمرات عوامل هفت گانه |
|--------------|--------------------------|
| جزئی | ۰-۲۰ |
| کم | ۲۱-۴۰ |
| متوسط | ۴۱-۶۰ |
| زیاد | ۶۱-۸۰ |
| خیلی زیاد | ۸۱-۱۰۰ |

ضریب آماری کاپا

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های ارزیابی خطر فرسایش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر فرسایش از ضریب آماری کاپا که یک تکنیک ناپیوسته چند متغیری برای ارزیابی صحت می‌باشد، استفاده شده است. بدین منظور ابتدا ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مربوط به هر کدام از مدل‌های مورد استفاده تشکیل شد. سپس با استفاده از روابط (۱۸، ۱۹ و ۲۰) زیر مقدار ضریب آماری کاپا را محاسبه گردید.

جدول ۹- ماتریس مشاهده‌ای و پیش‌بینی

Table 9-Observation and prediction matrix

| | Positive | Negative |
|----------|----------|----------|
| Positive | a | b |
| Negative | c | d |

a: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی بعنوان نقاط فرسایشی هستند. b: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط فرسایشی و در پیش‌بینی به عنوان نقاط غیر فرسایشی هستند. c: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط غیر فرسایشی و در پیش‌بینی بعنوان نقاط فرسایشی هستند. d: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی بعنوان نقاط غیر فرسایشی هستند. مقدار ضریب کاپا از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{KAPPA Coefficient} = \frac{\text{Observed Agreement} - \text{Expected Agreement}}{1 - \text{Expected Agreement}} \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

$$\text{observed Agreement} = \frac{a + d}{a + b + c + d} \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

$$\text{Expected Agreement} = \left(\frac{a + c}{N} * \frac{a + b}{N} \right) + \left(\frac{b + d}{N} * \frac{c + d}{N} \right) \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

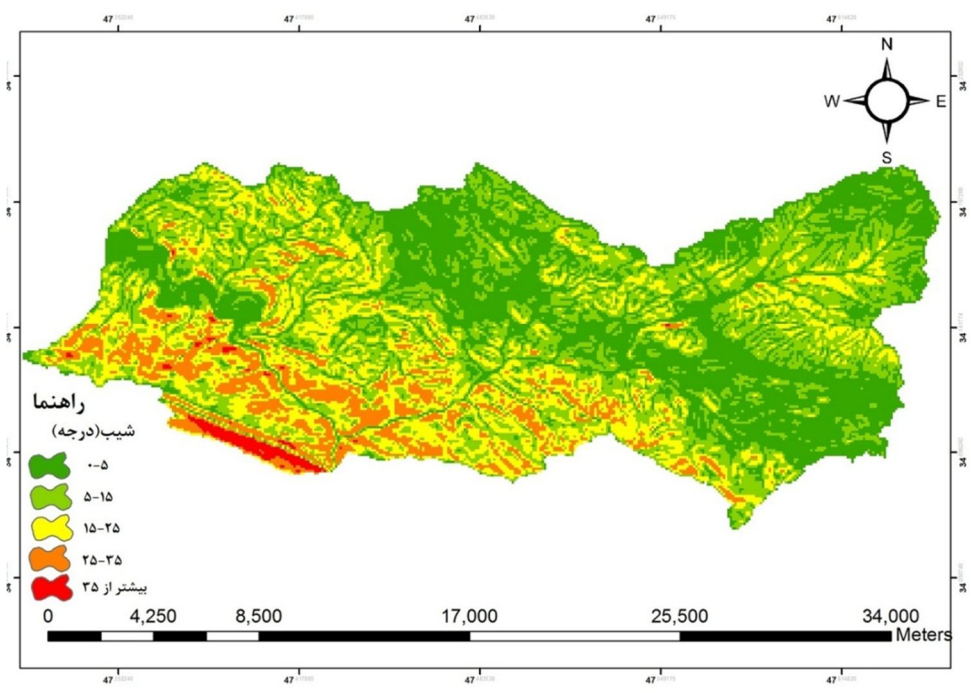
پس از محاسبه ضریب کاپا اگر مقدار آن بین ۰ تا ۲۰ درصد باشد بین مشاهده و پیش‌بینی توافقی وجود ندارد، بین ۲۰ تا ۴۰ درصد توافق ناچیز، بین ۴۰ تا ۶۰ درصد توافق متوسط، بین ۶۰ تا ۸۰ درصد توافق خوب و اگر ضریب کاپا بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد باشد توافق بین مشاهده و پیش‌بینی عالی خواهد بود.

بحث و نتایج

جهت انجام این مطالعه ابتدا پایگاه داده شامل لایه‌های شیب، جهت‌شیب، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری‌ارضی، پوشش گیاهی، بارش، خاک و آبراهه تشکیل و سپس داده‌ها در قالب مدل‌های رستری و برداری تولید شد. سپس با پردازش داده‌ها نقشه‌های مورد نیاز بدست آمد.

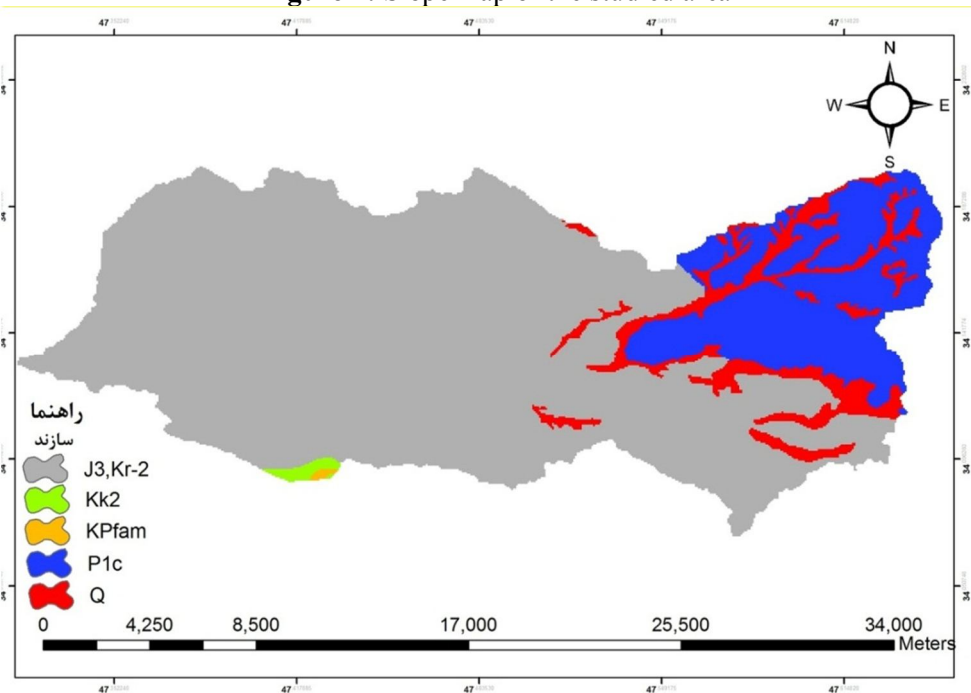
شیب: در این پژوهش برای تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. (شکل ۲).

زمین‌شناسی جهت تهیه لایه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استان لرستان استفاده شد. (شکل ۳).



شکل ۲: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

Figure 2: Slope map of the studied area



شکل ۳: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

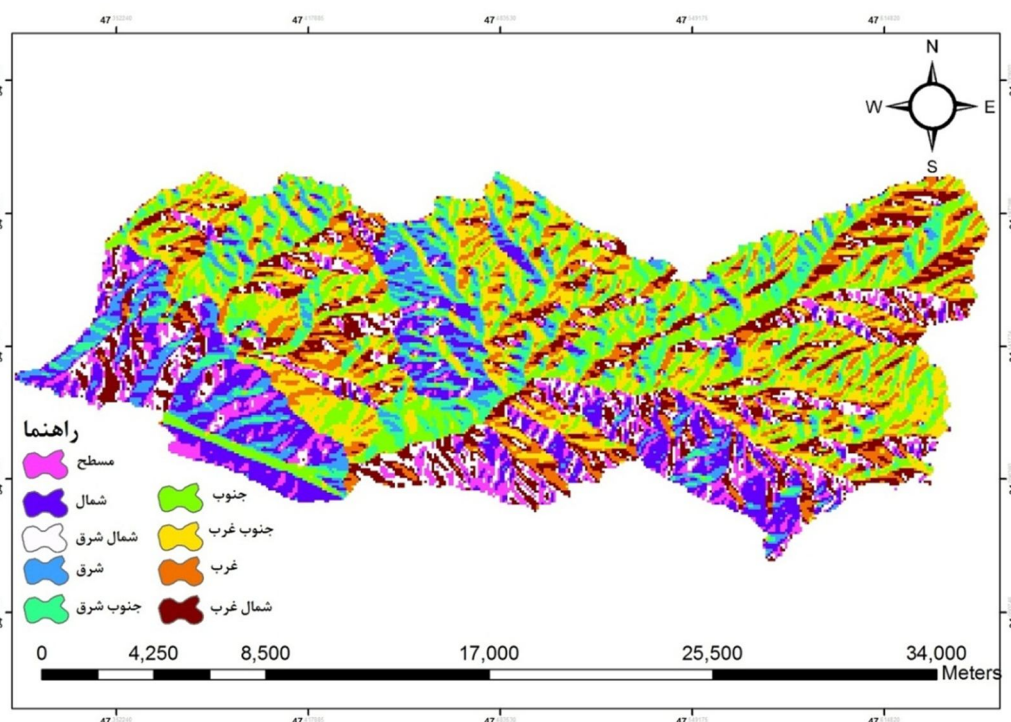
Figure 3: Geological map of the studied area

جهت شیب دامنه: جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است. در این پژوهش به منظور نشان‌دادن ارتباط بین جهت شیب و فرسایش‌های رخ داده، و با توجه به اهمیت این موضوع در پدیده فرسایش نقشه جهت شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۹ کلاس شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب، شمال غرب و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۴).

کاربری اراضی: به طور کلی هر استفاده‌ای که موجب کاهش درصد پوشش زمین بر روی یک شیب شود به شدت بر روی فرسایش و تولید رسوب اثر می‌گذارد. با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری، زمین‌های حوضه آبریز سیمره چنار طبقه‌بندی شدند. مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان منابع طبیعی استان لرستان انجام گرفته است (شکل ۵).

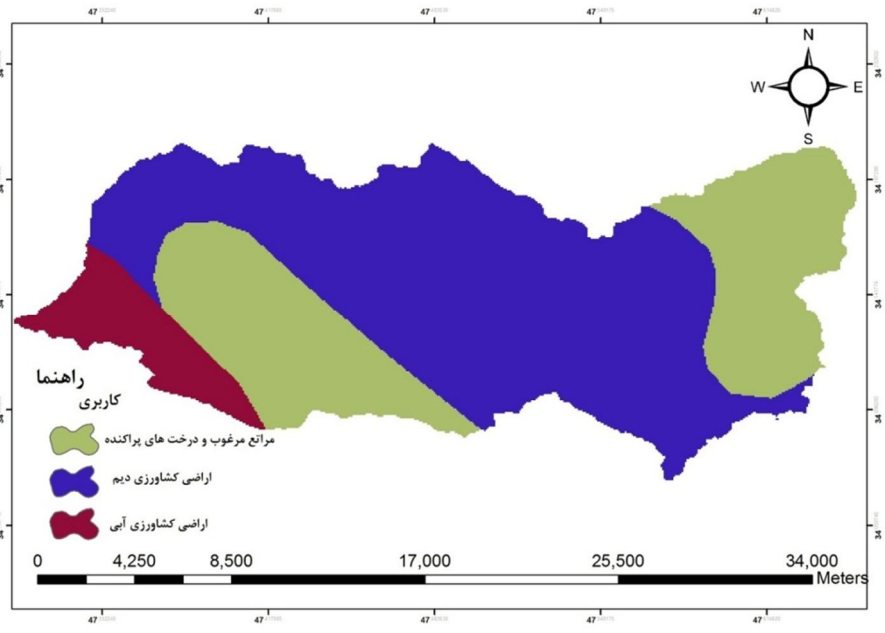
خاک: برای تهیه لایه خاک در منطقه مورد مطالعه، از مطالعات سازمان زمین شناسی استان لرستان استفاده شد. (شکل ۶).

فاصله از آبراهه: برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد. آنگاه نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس تقسیم و جهت ارتباط بین فرسایش خاک و فاصله از آبراهه به کار برده شد (شکل ۷).



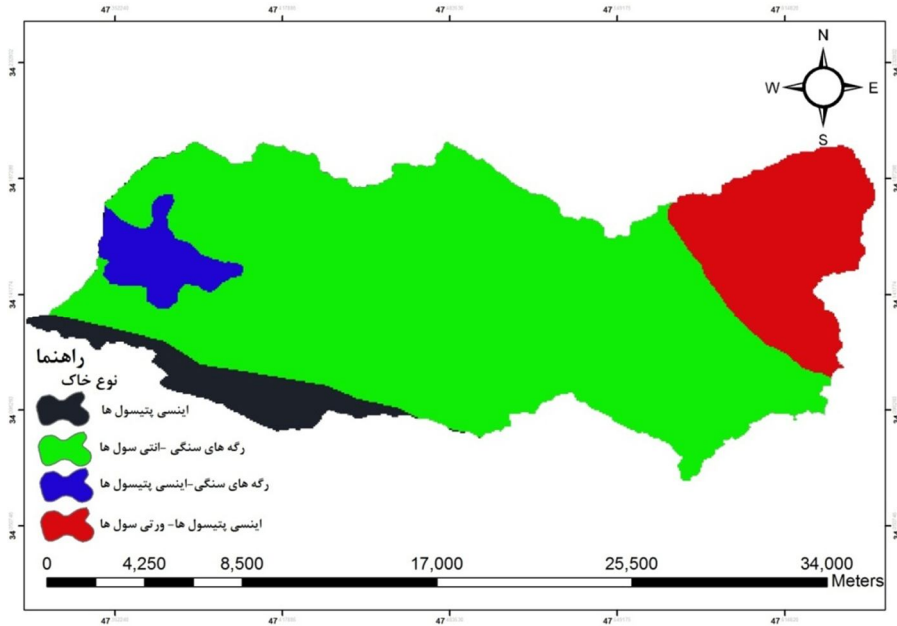
شکل ۴: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

Figure 4: Slope direction map of the studied area



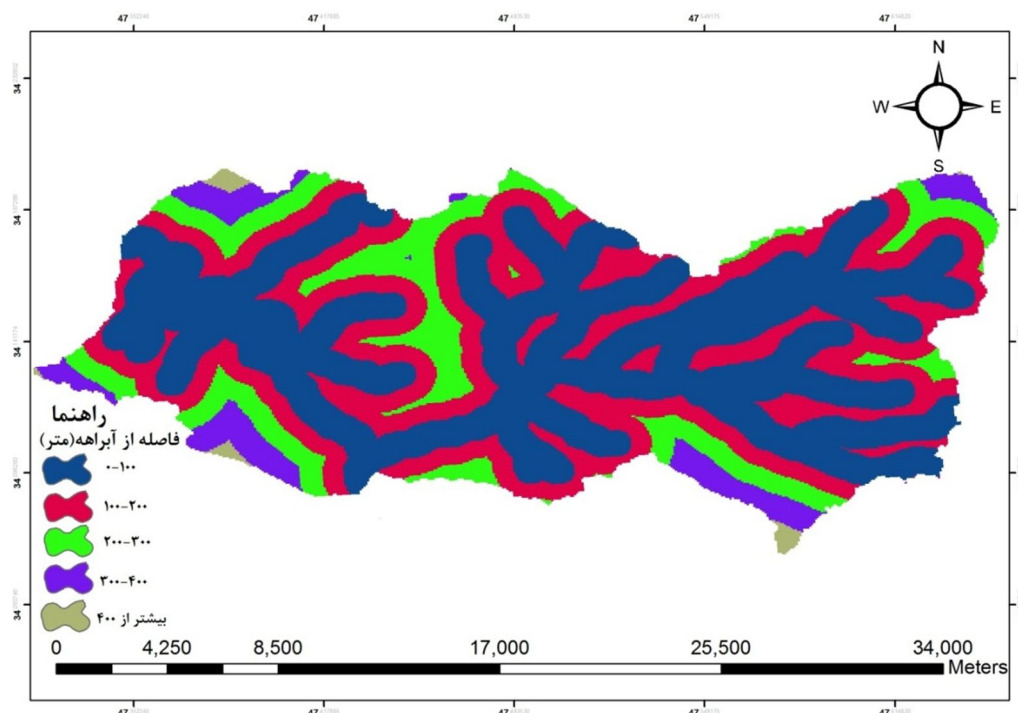
شکل ۵: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

Figure 5: Land use map of the study area



شکل ۶: نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

Figure 6: Soil map of the study area



شکل ۷: نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه

Figure 7: Map of the distance from the waterway of the studied area

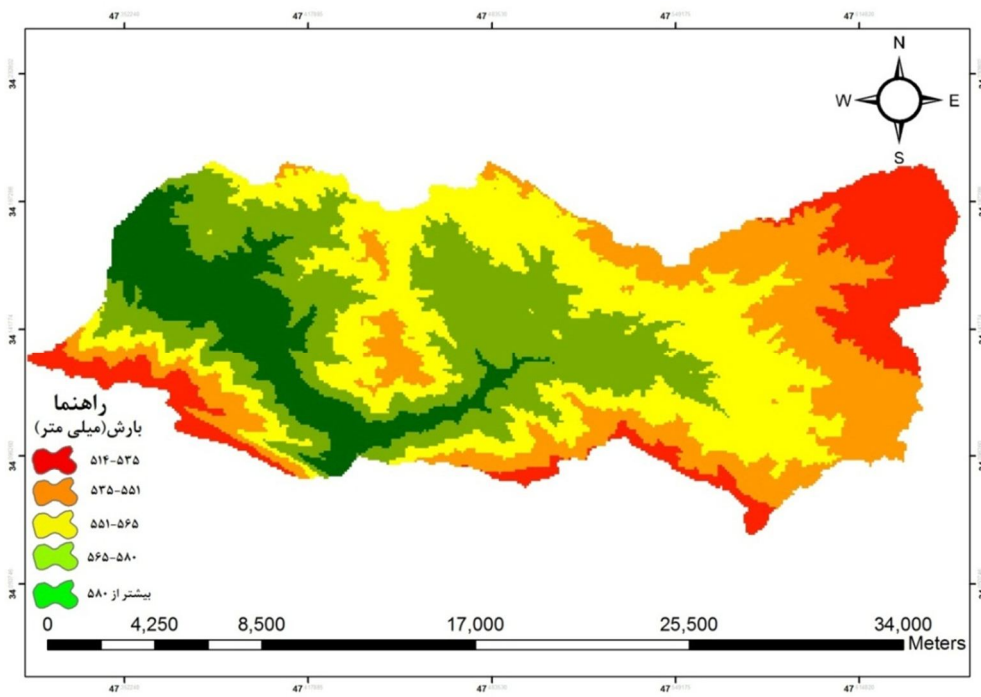
بارش: از میان عناصر تشکیل دهنده آب و هوا، بارش و درجه حرارت بیشترین تأثیر را بر روی فرسایش دارند. برای بررسی بارش، داده‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی‌های استان لرستان، از اداره هواشناسی استان لرستان تهیه شد. سپس جهت تهیه لایه هم‌بارش، تجزیه و تحلیل این داده‌ها در نرم‌افزار Excel صورت گرفت. در مناطق کوهستانی بارش از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد. در منطقه مورد مطالعه نیز به علت کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ای بین ارتفاع و میزان بارندگی در ایستگاه‌های موجود به دست آمد که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه آبریز سیمره چنار تهیه شد (شکل ۸).

$$p = 0.1025 \times h + 502.32$$

رابطه (۲۱)

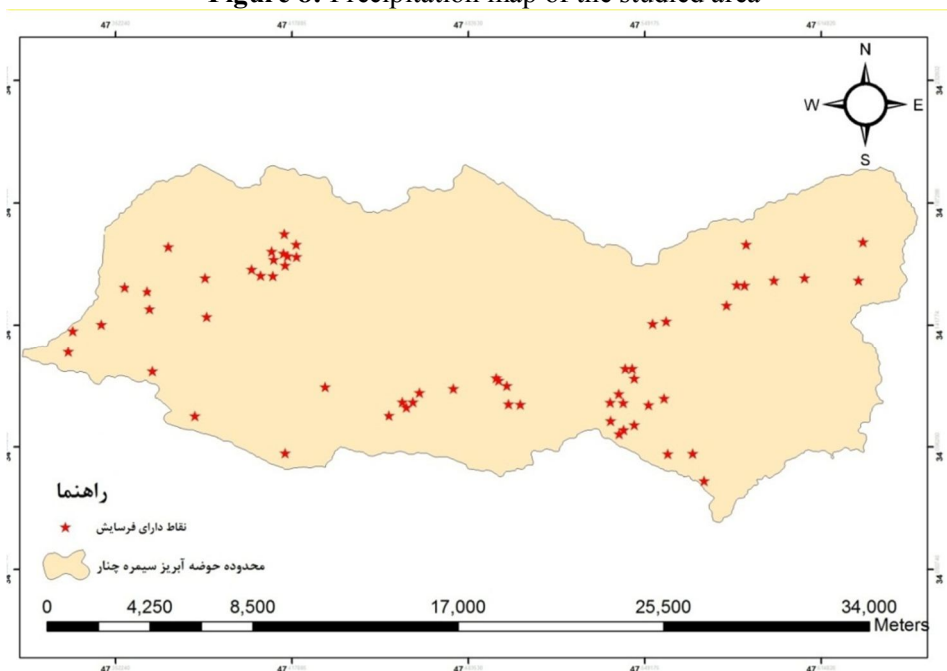
p مقدار بارندگی برحسب میلی‌متر، h ارتفاع از سطح دریا برحسب متر است.

نقاط دارای فرسایش: برای اعتبارسنجی نتایج، موقعیت ۹۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش، در بررسی‌های میدانی، با استفاده از دستگاه GPS مشخص و این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش انطباق داده شد (شکل ۹).



شکل ۸: نقشه بارش منطقه مورد مطالعه

Figure 8: Precipitation map of the studied area



شکل ۹: نقشه پراکنش نقاط دارای فرسایش منطقه مورد مطالعه (برداشت با GPS)

Figure 9: Distribution map of erosion points in the study area (taken with GPS)

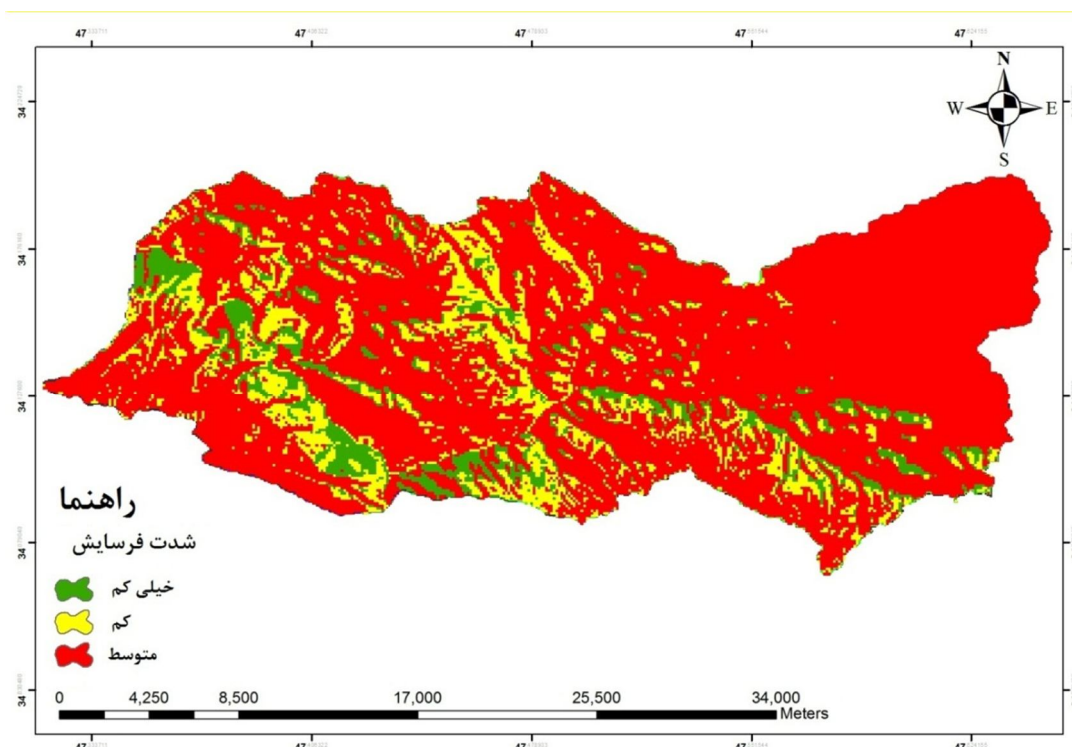
جهت تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از مدل ام‌پسیاک، ابتدا نقشه لایه‌های عوامل مورد نیاز تهیه و سپس با استفاده از روابط ۱ تا ۱۱ میانگین ضرایب این عوامل محاسبه شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- میانگین ضرایب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل MPSIAC

Table 10- Average coefficients in the study area by using the MPSIAC model

| عامل | زمین شناسی | خاک | آب و هوا | رواناب | توپوگرافی | پوشش گیاهی | کاربری اراضی | فرسایش فعلی | فرسایش رودخانه ای |
|--------|------------|------|----------|--------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------------|
| امتیاز | ۶/۲۱ | ۴/۴۴ | ۵/۴۷ | ۵/۶۲ | ۱۵/۸۱ | ۴/۶۹ | ۷/۸۲ | ۸/۲۵ | ۸/۳۱ |

از هم پوشانی لایه‌های عوامل تاثیرگذار بر مدل MPSIAC و با توجه به میانگین ضرایب (جدول ۱۰) نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبریز سیمره چنار با استفاده از مدل ام پسیاک

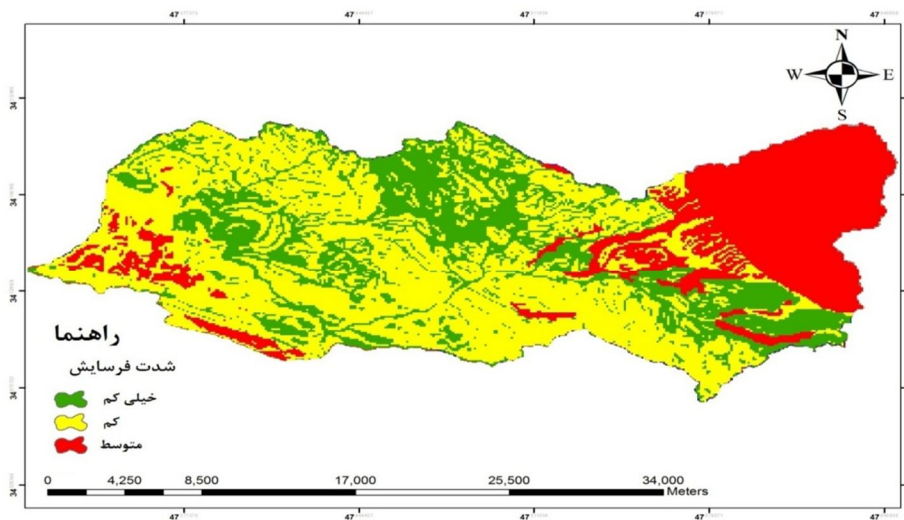
Figure 10: Erosion zoning map in the Simre Chenar catchment area by using M Psiak model

جدول ۱۱- مقادیر پارامترهای برآورد شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ام پسیاک

Table 11- Values of estimated parameters in the study area by using MPSIAK model

| زیر حوضه | درجه رسوب دهی | رسوب ویژه (متر مکعب در سال) | رسوب کل (متر مکعب در سال) | فرسایش ویژه (متر مکعب در سال) | فرسایش کل (متر مکعب در سال) |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ۱ | ۶۷/۲۵ | ۴۱۲/۷۱ | ۴۱۱۵/۹ | ۱۱۸۸/۷ | ۱۱۹۷۶۵/۹ |
| ۲ | ۶۶/۵۸ | ۴۰۵/۱۲ | ۴۱۴۱۴/۶ | ۱۱۲۵/۴ | ۱۱۹۰۴۰/۴ |
| ۳ | ۶۵/۸۰ | ۴۰۰/۳۱ | ۴۸۷/۴۸ | ۱۰۷۸/۳ | ۱۲۶۸۹۶ |
| کل حوضه | ۶۶/۷۲ | ۴۰۴/۹۱ | ۱۳۲۷۷۴/۵ | ۱۱۶۷/۲ | ۳۶۵۵۳۲/۳ |

پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز مدل ای پی ام شامل لایه کاربری زمین، شیب متوسط حوضه و تهیه لایه‌های فرسایش حوضه آبریز و حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، با استفاده از جداول مربوط به مدل EPM، به هر یک از لایه‌های مورد نیاز امتیاز داده شد و نقشه پهنه‌بندی فرسایش به دست آمد. جهت محاسبه ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و کمک گرفتن از اطلاعات جدول (۵) ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در منطقه مورد مطالعه بدست آمد (جدول ۱۲). ضریب فرسایش سطحی حوضه آبریز (φ) در واقع وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه را نشان می‌دهد. نقشه این لایه از سازمان منابع طبیعی استان لرستان تهیه شد. نقشه کاربری اراضی (Xa) منطقه مورد مطالعه نیز از اداره منابع طبیعی استان لرستان تهیه و به کار گرفته شد. ضرایب مدل EPM از جداول ۳، ۴ و ۵ مربوط به مدل EPM بدست آمد و سپس فرسایش منطقه مورد مطالعه با توجه به جدول (۶) در سه دسته خطر متوسط، کم و خیلی کم طبقه بندی شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ای پی ام

Figure 11: Zoning map of erosion in the study area by using the EPM model

جدول ۱۲ - مقادیر رسوب برآورد شده با استفاده از مدل EPM در حوضه آبریز سیمره چنار

Table 12- Sediment values estimated by using EPM model in Simre Chenar watershed

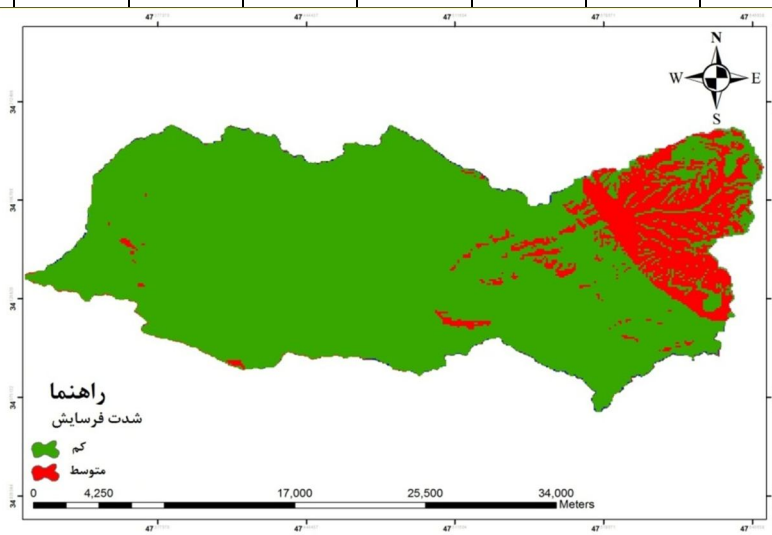
| حوضه | متوسط بارندگی سالانه mm | دمای سالانه c | ضریب درجه حرارت سالانه T | محیط حوضه Km | ارتفاع متوسط حوضه Km | حد اقل ارتفاع حوضه Km | اختلاف ارتفاع حوضه Km | ضریب رسوب دهی | فرسایش ویژه | رسوب ویژه | ضریب شدت فرسایش | رسوب کل |
|------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-------------|-----------|-----------------|-----------|
| سیمره چنار | ۴۲۵/۷۷ | ۱۳/۶۲ | ۱/۲۵ | ۳۰۰۳/۳ | ۱/۶۸ | ۱/۱۹ | ۰/۹۸ | ۰/۵۴ | ۱۱۸۲/۷ | ۶۱۷/۹ | ۰/۵۸ | ۱۹۲۱۱۸۳/۶ |

نتایج حاصل از بررسی عوامل هفت گانه جهت تعیین شدت فرسایش حوضه آبریز سیمره چنار با استفاده از روش بی ال ام در جدول (۱۳) و شکل (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۳- نتایج حاصل از اجرای مدل بی ال ام

Table 13- The results of the implementation of the BLM model

| تیب فرسایشی | امتیاز ۱ عامل | امتیاز ۲ عامل | امتیاز ۳ عامل | امتیاز ۴ عامل | امتیاز ۵ عامل | امتیاز ۶ عامل | امتیاز ۷ عامل | امتیاز شدت فرسایش | شدت فرسایش |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|------------|
| E1 | ۶ | ۹ | ۹ | ۶ | ۵ | ۱ | ۰ | ۳۶ | کم |
| E2 | ۸ | ۸ | ۸ | ۷ | ۶ | ۴ | ۱ | ۴۲ | متوسط |
| E3 | ۸ | ۶ | ۷ | ۶ | ۲ | ۱ | ۱ | ۳۰ | کم |
| E4 | ۶ | ۸ | ۸ | ۶ | ۷ | ۷ | ۲ | ۴۴ | متوسط |
| E5 | ۵ | ۷ | ۶ | ۶ | ۷ | ۲ | ۱ | ۳۴ | کم |
| E6 | ۷ | ۸ | ۷ | ۴ | ۶ | ۱ | ۰ | ۳۳ | کم |



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل بی ال ام

Figure 12: Zoning map of erosion in the study area by using the BLM model

جدول ۱۴- درصد مساحت هر یک از پهنه‌های فرسایشی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از ام پسیاک، ای پی ام و بال ام

Table 14- The percentage of the area of each of the erosion zones in the study area by using MPSIAK, EPM and BLM

| کلاس‌های فرسایش | درصد مساحت با مدل گامای ام پسیاک | درصد مساحت با مدل ای پی ام | درصد مساحت با مدل بی ال ام |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| خیلی کم | ۷/۹۳ | ۲۷/۵۴ | ----- |
| کم | ۱۴/۴۵ | ۳۲/۱۶ | ۶۲/۷۳ |
| متوسط | ۷۷/۶۲ | ۴۰/۳۰ | ۳۶/۲۷ |
| زیاد | ----- | ----- | ----- |
| خیلی زیاد | ----- | ----- | ----- |

نتایج حاصل از مدل ام پسیاک نشان می‌دهد که به ترتیب $۷/۹۳$ ، $۱۴/۴۵$ ، $۷۷/۶۲$ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته است. هم‌چنین مدل‌های ای پی ام و بی ال ام به ترتیب $۲۷/۵۴$ ، $۳۲/۱۶$ ، $۴۰/۳۰$ درصد از مساحت منطقه را در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط و $۶۲/۷۳$ و $۳۶/۲۷$ درصد از حوضه آبریز سیمره چنار را در کلاس‌های خطر کم و متوسط نشان می‌دهد (جدول ۱۴).

برای ارزیابی و طبقه بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر فرسایش، در حوضه آبریز سیمره چنار از ضریب آماری کاپا استفاده شد. بدین منظور ابتدا موقعیت ۹۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش در بررسی‌های میدانی با استفاده از دستگاه GPS مشخص گردید و این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش حاصل از مدل‌های مورد استفاده انطباق داده شد. سپس ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مربوط به هر کدام از این مدل‌ها تشکیل و با استفاده از روابط ۱۸ تا ۲۰ توافق مشاهده‌ای و توافق پیش‌بینی و ضریب کاپا محاسبه گردید (جدول‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷).

جدول ۱۵- ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل ام پسیاک

Table 15- M Psiak model observation and prediction matrix

| | تعداد نقاط فرسایشی | تعداد نقاط بدون فرسایش |
|------------------------|--------------------|------------------------|
| تعداد نقاط فرسایشی | ۸۴ | ۶ |
| تعداد نقاط بدون فرسایش | ۱۱ | ۷۹ |

توافق مشاهده‌ای برای مدل ام پسیاک $۰/۹۱$ ، توافق پیش‌بینی شده $۰/۴۸$ و ضریب کاپا $۰/۸۳$ بدست آمد.

جدول ۱۶- ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل ای پی ام

Table 16- EPM model observation and prediction matrix

| | تعداد نقاط فرسایشی | تعداد نقاط بدون فرسایش |
|------------------------|--------------------|------------------------|
| تعداد نقاط فرسایشی | ۸۱ | ۹ |
| تعداد نقاط بدون فرسایش | ۱۳ | ۷۷ |

توافق مشاهده‌ای برای مدل ای پی ام $۰/۸۸$ ، توافق پیش‌بینی شده $۰/۵۰$ و ضریب کاپا $۰/۷۶$ بدست آمد.

جدول ۱۷- ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل بی ال ام

Table 17- BLM model observation and prediction matrix

| | تعداد نقاط فرسایشی | تعداد نقاط بدون فرسایش |
|------------------------|--------------------|------------------------|
| تعداد نقاط فرسایشی | ۷۹ | ۱۱ |
| تعداد نقاط بدون فرسایش | ۱۴ | ۷۶ |

توافق مشاهده‌ای برای مدل بی ال ام $۰/۸۶$ ، توافق پیش‌بینی شده $۰/۵۱$ و ضریب کاپا $۰/۷۱$ بدست آمد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور مقایسه مدل‌های ام‌پسیاک، ای‌پی‌ام و بی‌ال‌ام، با استفاده از ضریب آماری کاپا جهت ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبریز سیمره چنار انجام شد. بدین منظور موقعیت ۹۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش در بررسی میدانی با استفاده از دستگاه GPS مشخص شد (شکل ۹). ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل‌های مورد استفاده، با بکارگیری ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که مدل ام‌پسیاک با ضریب آماری کاپا ۰/۹۱ نسبت به مدل‌های ای‌پی‌ام با ضریب کاپای ۰/۷۶ و بی‌ال‌ام با کاپای ۰/۷۱ از دقت بیشتری در پیش‌بینی خطر فرسایش در حوضه سیمره چنار برخوردار است (جدول ۱۵، ۱۶ و ۱۷). بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل ام‌پسیاک به ترتیب ۷/۹۳، ۱۴/۴۵، ۷۷/۶۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته است. هم‌چنین از رویهم‌گذاری نقاط فرسایش بدست آمده از دستگاه GPS با نقشه‌های نهایی فرسایش (نقشه‌های بدست آمده از مدل‌های مورد استفاده) و با استفاده از توابع ArcGIS مشخص شد که در مدل ای‌پی‌ام ۸۱ درصد نقاط در منطقه خطر متوسط، ۱۳ درصد در خطر کم خطر و ۶ درصد در منطقه خطر بسیار کم و در مدل بی‌ال‌ام ۶۳ درصد این نقاط در منطقه خطر کم و ۳۷ درصد در منطقه خطر متوسط قرار گرفتند. هم‌چنین در مدل ام‌پسیاک ۹۰ درصد نقاط در منطقه خطر متوسط، ۸ درصد در خطر کم خطر و ۲ درصد در منطقه خطر بسیار کم قرار گرفتند. مقایسه نتایج بدست آمده از مدل ام‌پسیاک در منطقه مورد مطالعه (جدول ۱۱) با جدول تعیین کلاس فرسایش خاک (جدول ۲) حاکی از آن است که کلاس فرسایش حوضه در گروه متوسط قرار می‌گیرد. هم‌چنین بازدیدهای صحرائی انجام شده صحت این مطلب را تایید می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت که مدل ام‌پسیاک برای ارزیابی فرسایش در منطقه مورد مطالعه نتایج دقیق‌تری را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد. مناطقی که دارای شیب تند، پوشش گیاهی ضعیف، اراضی بایر، وجود سنگ‌های آهکی و دولومیتی هستند دارای فرسایش بسیار بیشتری می‌باشند. این تیپ از فرسایش در شمال غرب، جنوب و جنوب غرب حوضه مورد مطالعه قرار دارد (شکل ۱۰). در قسمت جنوب و جنوب غرب منطقه به علت شیب زیاد، کم بودن عمق خاک، چرای بی‌رویه دام‌ها، تخریب پوشش گیاهی و جنگل توسط اهالی منطقه و شخم زدن زمین‌ها در جهت شیب، باعث فرسایش بیشتر شده است. در قسمت غرب، جنوب و مرکز حوضه به علت توپوگرافی ناهموار و در بعضی قسمت‌ها عمق کم خاک، دیم‌کاری غلات، گیاهان استپی، در بعضی موارد زراعت آبی و شیب کمتر از نقاط دیگر منطقه، فرسایش کمتر است. در قسمت مرکز حوضه به علت وجود گیاهان زراعتی آبی و دیم‌کاری غلات، بافت سنگین خاک و شیب کم، باعث شده که این مناطق، فرسایش ضعیف داشته باشد. شرق و شمال شرق حوضه به سبب بافت سنگین خاک، کاشتن گیاهان زراعتی آبی و دیم، اختلاف ارتفاع کم و شیب کم باعث شده که فرسایش در این منطقه بسیار ضعیف باشد. زیرا پوشش گیاهی و شیب کم تا ملایم فعالیت مؤثر در فرسایش را محدود کرده است. در بعضی از قسمت‌های حوضه مورد مطالعه کوهستان‌ها از سازندهای آهکی و دولومیتی سخت تشکیل شده‌اند اما

شیب تند آنها (بیش از ۳۰ درجه) بستری مناسب برای فعالیت فرسایش شبکه آب ایجاد کرده است. به طوری که اغلب سازندهای سخت را به شدت فرسایش داده است.

پیشنهادات

بنابر نتایج حاصل از این پژوهش، هم‌چنین مشاهدات میدانی و عدم توجه اهالی منطقه به تخریب خاک و از بین بردن پوشش گیاهی غالب منطقه، به نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه نیاز مبرم به جلوگیری از چرای بیرویه دام در قسمت شمال غرب، جنوب و جنوب غرب لازم است. هم‌چنین در اراضی دیم در دامنه‌ها و سراشیب‌ها، شخم زمین در جهت عمود بر شیب منطقه پیشنهاد می‌شود، زیرا این کار باعث نفوذ آب در زمین و جلوگیری از تمرکز آب سطحی می‌شود.



شکل ۱۳: تصاویری از فرسایش در منطقه مورد مطالعه

Figure 13: Pictures of erosion in the study area

References

- Abedini, M., Daneshvar Gabloo, H.; & Esmali Oori, A. (2015), Estimation of soil erosion and sediment production in Anbaran watershed using WEPP and GIS models. Tabriz International Conference on Agricultural Development, Environment and Tourism. Pp.1-14. https://iar.shirazu.ac.ir/article_4035_68ae382ce037d41e204a1668b91c7a82.pdf
- Abedini, M.; & Toolabi, S. (2013). Comparison of the efficiency of WEPP and EPM models in estimating soil erosion and sedimentation rate of Solachai watershed, **Quantitative Geomorphological Research**, 1, 79-96. No. 1, , pp. 96-79. https://www.jess.ir/article_183017.html?lang=e
- Ahmadi, H.; Tharwati, M.; R., Noor Mohammadi, A, M. (2007), Estimation of sediment and erosion with EPM and MPSIAC models using geomorphology and GIS methods in Baghreh watershed (Torbat Heydariyeh) **Journal of Geographical Sciences**, 8-7, 52-35. <https://www.researchgate.net/publication/234153755>
- Alizadeh, A., (2010), **Principles of applied hydrology**, Mashhad Astan Quds Razavi Publications, <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1784258>
- Anees, MT., Abdullah, K., Nawawi, Mnm., Norulaini, Nan., Syakir, Mi., and Omar, Akm. (2018). Soil erosion analysis by RUSLE and sediment yield Models using remote sensing and GIS in Kelantan state, Peninsular Malaysia. **Soil research** 56 (4), 356-372. <https://www.publish.csiro.au/sr/SR17193>
- Ansarilari, A., & Ansari, M. (2016). Estimation of soil erosion in Marvdasht plain (Fars province) using RUSLE experimental model. **Quantitative Geomorphological Research**, https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78023.html?lang=en
- Chiang, LCH., Wang, YCH., and Liao, CJ. (2019). **Spatiotemporal variation of sediment export from multiple Taiwan watersheds**. Department of Civil and Disaster Prevention Engineering, National United University, Pub: Miaoli City, Taiwan. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31071953/>
- Colman, BC., PinheiroGarsia, KM., BahiaPereira, R., Shinma, EA., Elylima, F., OrtizGomez, Ariel., and SanchesOliveira, PT. (2018). **Different approaches to estimate the sediment yield in a tropical watershed**. Universidade federal do mato Grosso do sul, Campo Grande, MS, Brasil. <https://www.researchgate.net/publication/328031327>
- Das, D. 2014. Identification of erosion prone areas by Morfometric analysis using GIS. **J.Inst. Eng. India ser. A**, 95(1), 61-74. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40030-014-0069-8>
- Denis, M. K., Parameshgouda, and Edwin ,J. J. M, (2014), Soil erosion mapping in Singhanhalli-Bogur Microwatershed in Northern Transition zone of Karnataka using Universal soil loss equation and geographic information systems, **International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJIMS)**, 10(1), 137-146. https://www.researchgate.net/publication/267980838_Soil_Erosion_Mapping_in_Singhanhalli
- Deolia, R., and Pande, A. (2014). Spatial distribution of dissection index (Erosion Intensity) versus geomorphological environment in Parkha watershed, central Himalaya. **Indian Journal of Geography and Environment**, 13:10-22. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7X2wqkrl/>
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homae, M. and Pazira, E. (2012). Comparison of empirical models to estimate soil erosion and sediment yield in micro catchments. **Eurasian Journal of Soil Science**. 1-6 <https://www.researchgate.net/publication/274312375>
- Erfanian, M., Ghahremani, P., & Saadat, H. (2014). Preparation of risk map of soil erosion potential using fuzzy logic in Qarnaveh Golestan watershed. **Iranian Watershed Management Association**, Year 7, No. 23. <https://www.magiran.com/paper/1257642>

- Feng, X., Wang, Y., Cheng, L., Fu, B., & Bai, G. (2010). Modeling soil erosion and response to land – use change in hilly catchments of the Chinese loss plateau, 118. <https://www.researchgate.net/publication/222244986>
- Geach, M.R., Stoke, M., and Hart, A. (2017). The application of geomorphic indices in terrain analysis for ground Engineering practice. *Engineering Geology* 217, 122-140. <https://www.researchgate.net/publication/312263997>
- Ghobadi, Y., Pirasteh, S., Pradhan, B., Ahmad, N. B., Shafri, Z. B. M., Sayyad, Gh. A. and Kabiri, K. (2011). Determine of correlation coefficient between EPM and MPSIAC models and Generation of Erosion Maps by GIS techniques in Baghmalek Watershed, Khuzestan, Iran. 5th Symposium on Advances in Science & Technology, Mashhad. Iran. pp 1-12. https://gdij.usb.ac.ir/article_7002.html
- Hada, M.S., Bhardwaj, D. D. and Kukal, S. S., (2005). Assessment of erosion risk a catchment using information on rainfall erosivity, aggressiveness, soil erosion survey and soil erodibility. **Water and Resource Research**, 46, 265-273. <https://www.researchgate.net/publication/291074299>
- Hashemi, S. A. A., & Arabkhodari, Mahmoud (2010). Evaluation of EPM model through sediment measurement of small dam reservoirs, *Agricultural science and technology and natural resources*. Issue 42. <https://www.researchgate.net/publication/264495900>
- Khayyam, M; Ghanmi Jaber, M., & Samadzadeh, R (2013), Comparison of the efficiency of MPSIAC and EPM models in estimating erosion and sedimentation of Saqezchi Chay Namin watershed. **Bi-Quarterly Journal of Applied Geomorphology of Iran**, 1,1-15. https://gdij.usb.ac.ir/article_7002.html11111
- Khodabakhsh, S.; Mohammadi, A., Rafiei, B., & Issa, Bozorgzadeh (2009), Comparison of estimation of erosion and sedimentation under Cesar Basin (Dez Dam catchment) using experimental EPM and M Psiac models with the help of fuzzy knowledge. *Iranian Geological Quarterly*, 12, 51-61. https://gdij.usb.ac.ir/artieecle_7002.html11111
- Kardavoni, P (2008), Soil conservation, University of Tehran pub. Ninth Edition, <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7X2wqakrl/>
- Mahboubi, A., Pasban, A., Mahmoudi-Qaraei, M., Khanehbad, M., Taqdisi-e-Nikbakht, S. 2013. Application of MPSIAC and GIS model in estimating erosion rate: an example of Sarghayeh-Sarnish watershed (south of Mashhad). **Applied Sedimentology**, 1, <https://www.sid.ir/paper/410705/en>
- Mehregan, A, (2006). Evaluation of erosion risk mapping methods using remote sensing and geographic information system (Case Study in Latian watershed), M.Sc. Thesis, Soil Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran. <https://www.sid.ir/paper/410705/en11>
- Mohammadi, Sh., Karimzadeh, H., Pourmanafi, S., & Soltanikopaei, S. (2018). Spatial and temporal estimation of soil erosion using RUSLE model and Landsat satellite time series (Case study: Mandarjan, Isfahan). 71, (3), 759-774. https://jrwm.ut.ac.ir/article_68888.html?lang=en
- Nejad Afzali, K., Shahrokhi, M., & Bayatani, F. (2019). Estimation of soil erosion using RUSLE model and identification of its most effective factor in Dehkahan watershed (south of Kerman). **Journal of Environmental Hazards**, 21-37. https://jneh.usb.ac.ir/article_3943.html?lang=en
- Nojavan, M; Mohammadi, A.As., & Gholami, V. (2012). Determining the severity of erosion using BLM and Fargas models in Bandareh watershed, **Journal of Geography and Development**. 29 ,119-130. https://jneh.usb.ac.ir/article_3943.html?lang=enmm
- Noori, H., Karami, H., Farzin, S., Siadatmousavi, M., Mogaradi, B., and Kisi, O. (2018). Investigation of RS and GIS techniques on MPSIAC Model to estimate soil erosion. **Journal of the Prevention and Mitigation of Natural Hazards**, 91(1),221-238. https://ideas.repec.org/a/spr/nathaz/v91y2018i1d10.1007_s11069-017-3123-9.html

- Rajbanshi, J., and Bhattacharya, S. 2020. Assessment of soil erosion, sediment yield and basin specific controlling factors using RUSLE-SDR and PLSR approach in konar river basin, India. Volum (587).<https://www.researchgate.net/publication/340544853>
- Refahi, H.(2000) **Water erosion and its control**.Tehran:University of Tehran Press Third edition.University of Tehran Press. Third edition. <https://georesearch.ir/article-1-244-en.html>
- Shojaei, Sh., Nora, M., Habibimood, Sh.(2018). Estimation of sedimentation and erosion using MPSIAC and FSM experimental models and direct measurement method (Case study: Gabrik watershed, southeast of Iran). **Scientific Research Quarterly**,4,82-100. https://magazine.hormozgan.ac.ir/browse.php?a_id=471&slc_lang=en&sid=1&printcase=1&hbnr=1&hmb=1
- United Nation. (1997). **Dryland degradation keeping hundreds of millions in proverty**, press Release: secretariat of the United Nations Convention to combat Desertiucation Geneva:switzerland.https://catalogue.unccd.int/357_Article_The%20Internaification_%20Drawin g%20a.pdf

Comparison of MPSIC, EPM, and BLM Models for Assessing Soil Erosion Using Kappa Statistical Coefficient (Case Study: Seymareh Chenar Watershed)

Mousa Abedini*, Iman Ali Belvasi, Behrouz Nezafat Teklhe

Department of Physical Geography (Geomorphology), Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

Ph.D. Student, Department of Physical Geography (Geomorphology), Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

Ph.D. Student, Department of Physical Geography (Geomorphology), Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Email: abedini@uma.ac.ir (Corresponding Author)

Abstract

Soil erosion is one of the important issues in the watersheds of Iran and can be considered as one of the most important barriers to achieving sustainable agriculture and natural resources. This study was conducted to compare the MPSYAK, EPM and BLM models using kappa statistical coefficient to assess soil erosion and sediment production in the Seymareh-e-Charnar catchment area. For this purpose, the position of 90 points of erosion points was determined in a field survey by a GPS device and these points were adapted to the final erosion maps. The evaluation of the results obtained from the models used by the Kappa statistical coefficient shows that the MPSYAK model with Kappa statistical coefficient is 0.91 compared to the APM and BLM models with a kappa statistical coefficient of 0.76 and 0.71 of greater accuracy. In assessing the risk of erosion in the Seymareh Chenar catchment area. Also, the results of the overlaying of the final erosion map with erosion points showed that in the AP model, 81% of the points in the medium-risk zone, the BBL model had 37% of these points in the medium-risk zone and in the M-PSYAK model 90% of the specified points in the middle danger area. Therefore, it can be said that the studied area is in the middle erosion class and the M-PSIAC model shows more accurate results for erosion evaluation in this basin. Based on the zoning done using the M-PSYAK model, 7.93, 14.45, 77.62% of the area of the area is located in very low, medium and low risk classes. Also, based on the APM model, 27.44%, 32.16%, 40.40% of the area of the area were in low, moderate, high risk classes, respectively. The results of this model estimated the coefficient of erosion intensity of 0.58 and the total sediment produced during one year was 1921183.6 cubic meters.

Introduction

Throughout its evolutionary history, humans have always used soil as a substrate for growing crops and meeting food needs to ensure its survival. The continuous loss of soil from the earth's surface (transfer or movement from one point to another on the earth's surface) by water or wind is called erosion. (Kardovani, 2008:264) Erosion is a process in which particles are separated from their substrate and transported to another place with the help of a transport agent. If the agent separating particles from the substrate and transporting them is water, it is called water erosion. (Alizadeh, 2010:870) Identifying different areas of a watershed in terms of erosion occurrence and intensity has always been one of the most important goals of natural resource experts. (Nojavan et al, 2012:121).

Materials and Methods

In this study, geological maps at a scale of 1:100,000 from the Geological Survey of Iran, digital topographic maps at a scale of 1:50,000 from the Geographical Organization of the Armed Forces, Landsat 8 satellite images, pass 166, row 36, dated April 16, 2017, climatic data of the study area, including temperature and precipitation, which were obtained from the Meteorological Organization of Lorestan Province, and a 30-meter digital elevation model of the study area were used to prepare a map of slope, slope direction, and extraction of waterways. ArcGIS software was used to create a database, perform spatial-geographical analyses, and finally implement the model, and ENVI software was used to process satellite images. The Psiak model was proposed in 1968 by the US Water Management Committee to calculate the intensity of soil erosion and sediment production in arid and semi-arid regions of the United States. In this model, the impact and role of 9 important and effective factors in soil erosion and sediment production in the watershed are measured. The latter method is called the modified Psiak formula or MPSIAC (1). In the MPSIAC method, the surface geology factor score is obtained from the following equation. Where V1 is the geology factor score and X1 is the surface geology erosion index determined based on rock type, hardness, fracture, and weathering. Also, in this model, the following equation is used to determine the soil factor: Where X2 is the soil sedimentation score and K is the soil erodibility factor in the global erosion formula. Erosion and sedimentation largely depend on the climate of the region. In this regard, special attention should be paid to precipitation. In this method, and in relation to the weather factor, the frequency of precipitation, the period of precipitation, snow, freezing and melting are examined. The following equation is used to determine the weather factor.

Results

In order to conduct this study, a database was first created, including layers of slope, slope direction, lithology, land use, vegetation, precipitation, soil, and watercourse, and then the data was produced in the form of raster and vector models. Then, the required maps were obtained by processing the data.

Slope: One of the main factors in soil erosion and sediment production in each watershed is the slope of the land. On steep slopes with a long length, erosion usually increases due to the increase in the speed and amount of runoff and also the increase in the role of raindrops. In this study, a digital elevation model of the study area was used in the ArcGIS software environment to prepare a slope map. (Figure 2). **Geology:** Understanding the surface geological characteristics of the watershed is of particular importance for assessing erosion and sedimentation. Loose and soft rocks are usually easily eroded and play an important role in sediment production. To prepare the lithology layer of the study area, a geological map at a scale of 1:100,000 of the Geological Organization of Lorestan Province was used. **Land use:** Studying the type of vegetation cover on the land and its type of use in agricultural, industrial and construction purposes is very important in studying slope erosion. Human activities have been intensifying erosion since they began to exploit the land, and the rate of this erosion will increase with further exploitation. In general, any use that reduces the percentage of land cover on a slope has a strong effect on erosion and sediment production. According to the vegetation cover and type of use, the lands of the Seymareh-Chenar watershed were classified. The basis for this was studies conducted at the Natural Resources Organization of Lorestan Province (Figure 5). **Rainfall:** Among the elements that make up the climate, rainfall and temperature have the greatest effect on erosion. Reducing the soil resistance parameters themselves increase soil erosion. The amount and intensity of rainfall affect the amount of runoff and, consequently, the amount of erosion.

To study rainfall, climatic data related to synoptic and rain gauge stations in Lorestan Province were obtained from the Meteorological Department of Lorestan Province. Then, to prepare the precipitation layer, these data were analyzed in Excel software. In mountainous areas, precipitation is affected by altitude. In the study area, due to the mountainous nature and the lack of rain gauge stations, a relationship between altitude and rainfall in the existing stations was obtained, and using this relationship, a precipitation map of the Seymareh-Chenar watershed was prepared (Figure 8).

Conclusion

This study was conducted to compare the MPSIAC, APM, and BLM models using the Kappa coefficient to assess soil erosion and sediment production in the Seymareh Chenar watershed. For this purpose, the location of 90 erosion points was determined in a field survey using a GPS device (Figure 9). Evaluation of the results obtained from the models used using the Kappa coefficient shows that the MPSIAC model with a Kappa coefficient of 0.91 is more accurate in predicting erosion risk in the Seymareh Chenar watershed than the APM models with a Kappa coefficient of 0.76 and the BLM with a Kappa of 0.71 (Tables 15, 16, and 17). Based on the zoning made using the MPSIAC model, 7.93, 14.45, and 77.62 percent of the area of the region are in the very low, low, and medium risk classes, respectively. Also, by combining the erosion points obtained from the GPS device with the final erosion maps (maps obtained from the models used) and using ArcGIS functions, it was determined that in the APM model, 81% of the points were in the medium risk zone, 13% in the low risk zone, and 6% in the very low risk zone, and in the BLM model, 63% of these points were in the low risk zone and 37% in the medium risk zone.

Keywords: erosion, MPSIAC, EPM, BLM, Seymareh Chenar watershed, remote sensing and GIS