

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در جهان و به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و تأثیر زیادی بر کیفیت، کمیت و بهره‌وری خاک و درنهایت فرآیندهای بیابان‌زایی دارد [۱۲]. در اثر فرسایش، خاک سطح بالایی (مرغوب یا حاوی مواد آلی) خود را ازدست‌داده و دیگر برای فعالیت‌های کشاورزی مناسب نخواهد بود؛ تخریب زمین از طریق فرسایش موجب بروز مشکلات دیگری از جمله سیلاب، آسیب به تأسیسات آبی، کاهش حجم مفید سدها، آلودگی اکوسیستم و غیره می‌شود از این جهت، مقابله با این پدیده در سطح جهان موردتوجه قرار گرفته است [۱۹]. طبق نظریه بنت، معمولاً در شرایط دست‌نخورده حدود ۳۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲۵ میلی‌متر خاک سطحی تشکیل شود که نشان از اهمیت نگهداری و استفاده صحیح از این منبع طبیعی دارد؛ مقدار مجاز فرسایش که موجب تخریب در درازمدت نشود و یک حد تعادلی در تشکیل و تخریب خاک برقرار باشد، برابر است با ۱۲/۵ تن در هکتار در سال که این مقدار تقریباً برابر با سرعت تشکیل ۲۵ میلی‌متر خاک در طی ۳۰ سال است؛ لذا نگهداری از منابع آب و خاک برای جلوگیری از تولید و حمل رسوب در حوزه‌های آبخیز ضروری است که با برنامه‌ریزی دقیق می‌توان شدت فرسایش و تولید رسوب را تا حد قابل‌قبولی کاهش داد [۱].

کشور ما ایران، در منطقه آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارد لذا، تأمین و حفظ منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است؛ از جمله برنامه‌های تأمین آب در کشور ما که توجه خاصی به آن شده، مهار آب‌های سطحی با ایجاد سد و مخازن آن‌هاست؛ اما مسئله مهمی که پس از ساختن سدها مسئولین مربوطه به‌عنوان یک عامل تهدیدکننده عمر مفید و حیات مخازن با آن مواجه هستند، مسئله رسوب حمل شده ناشی از فرسایش حوضه به داخل دریاچه سدها است، به‌طوری‌که نه‌تنها باعث کاهش عمر مفید سدها می‌شود، بلکه بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها را دچار مشکل می‌کند [۱۰]. رسوب‌گذاری و افزایش رسوبات در رودخانه باعث تغییر مسیر جریان آب‌شده و حتی عمق آن را کاهش می‌دهد. تجمع این رسوبات در پشت سد از اثرات و پیامدهای ناسازگار زیست‌محیطی برخوردار است؛ نمونه پیامدها مسائل اقتصادی-اجتماعی، شوری اراضی، اتلاف آب و مشکلات تأمین آب شرب به جهت کاهش کیفیت آب سدها است؛ با گذر زمان و رسوب‌گذاری، از ظرفیت اولیه مخازن سدها کاسته شده و درصدی از مخازن توسط رسوب

ارزیابی و تخمین شدت فرسایش خاک در زیر حوضه
چهل گزی استان کردستانسید پدرام نی‌نوا^۱ و عاطفه ستاروند^۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

DOR: 20.1001.1.26454777.1401.10.39.8.8

چکیده

فرسایش خاک و تخریب اراضی از مشکلات جدی تلقی می‌شود، به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی ضروری است که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در حوزه‌های آبخیز مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس هدف اصلی این مطالعه ارزیابی میزان فرسایش خاک با استفاده از یک مدل تجربی یعنی مدل پتانسیل فرسایش (EPM) است. منطقه مورد مطالعه زیر حوضه چهل‌گزی استان کردستان به‌عنوان یکی از زیر حوضه‌های تأمین آب سد قشلاق است. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به ترتیب به تهیه نقشه ضرایب فرسایش خاک (مشاهده‌ای)، حساسیت سنگ و خاک، شیب حوضه، کاربری اراضی و شدت فرسایش پرداخته شد و در ادامه با استفاده از ضرایب موجود و هم‌چنین ضرایب دما و بارندگی منطقه، نقشه فرسایش کل حوضه بر اساس دستورالعمل مدل تهیه شد. نتایج مطالعه گویای این بود که طبقه‌بندی خطر فرسایش در حوضه دارای چهار وضعیت کم، متوسط، شدید و بسیار شدید می‌باشد که ۶۳/۴۹ درصد زیر حوضه در وضعیت خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. درنهایت، نقشه خطر فرسایش پیشنهادی با مدل مذکور، می‌تواند علاوه بر غنای مطالعاتی زیر حوضه، محققان و تصمیم‌گیران را در طراحی و اجرای مداخلات مؤثر مدیریت آب و خاک در منطقه مورد مطالعه کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی فرسایش، هدررفت خاک، سد وحدت (قشلاق)، میزان فرسایش، مدل کمی EPM.

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران * نویسنده مسئول: pedram.nainava@gmail.com

پر می‌شوند و چنین پیش‌بینی می‌شود که عمر مفید سدها زودتر از زمان مقرر به پایان برسد [۱۳].

به‌منظور برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی و نیز محاسبه دقیق حجم سد در سدهای مخزنی، می‌بایست حجم کل رسوب تولیدی سالانه در حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد شود؛ عدم وجود یا کمبود داده در زمینه فرسایش و رسوب در بسیاری از حوضه‌های کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و رسوب‌زایی را الزامی می‌کند؛ از جمله این روش‌ها EPM^1 , $MPSIAC^2$, $USLE^3$, BLM^4 می‌باشند. ماهیت فرسایش و فرآیندهای همراه با آن و وابستگی آن به عواملی هم‌چون نوع خاک، پوشش زمین، کاربری زمین و عوامل مدیریتی، موجب گوناگونی مکانی و زمانی فرسایش شده است [۱۰]. دیونت و پوسن [۲۲] با مطالعه برای پیش‌بینی تولید رسوب در مقیاس حوضه به این نتیجه رسیدند که برای برآورد نزدیک به واقعیت تولید رسوب در هر حوزه آبخیزی، علاوه بر استفاده از مدل‌های شبه کمی باید در استفاده از این مدل‌ها از داده‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت اجرایی‌تر شدن نتایج استفاده کرد. محسنی و همکاران [۱۴] ارزیابی دقت و کارایی ۴ مدل EPM , $MPSIAC$ ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را برای برآورد فرسایش و رسوب انجام دادند که مدل ژئومورفولوژی را با اختلاف نسبی ۳۳/۶ درصد (۷۱۱/۲۵ تن در سال) به‌عنوان مناسب‌ترین مدل ارائه دادند.

ارزیابی خطر فرسایش خاک و پتانسیل رسوب در حوزه‌ی آبریز گابریک استان هرمزگان با استفاده از مدل EPM نشان داد که رسوب ویژه و کل در این حوزه آبریز به ترتیب ۴۰/۶ مترمکعب در سال و ۲۲۷۷۲۵/۸ مترمکعب در سال و شدت فرسایش در حوضه شدید است [۲].

از جمله مطالعات دیگری که با استفاده از مدل EPM به ارزیابی فرسایش خاک در مناطق مختلف پرداخته‌اند می‌توان به [۴، ۱۸، ۱۱ و ۳] اشاره کرد.

برآورد میزان فرسایش و رسوب، دارای ماهیت زمانی و مکانی است و به‌موجب عدم دسترسی به تمام نواحی حوضه‌ها به دلیل وسعت زیاد و صعوبت‌العبور بودن، به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری مناسب برای دستیابی به داده‌های موردنیاز احساس می‌شود [۵]. استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی نیز به‌عنوان ابزاری توانمند در ذخیره، مدیریت و تحلیل داده‌های مکانی گسترش یافته است؛ با به‌کارگیری این تکنیک‌ها که در سرعت بخشیدن و کاهش هزینه‌های فرآیند ارزیابی مؤثرند و یا استفاده از ابزارهایی که تحلیل مکانی را در کم‌ترین زمان امکان‌پذیر می‌کند، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها، افزایش دقت و موفقیت در مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه می‌شود؛ هم‌چنین با به کار بردن این سیستم

1. Erosion Potential Method
2. Modified Pacific Southwest inter Agency Committee
3. Universal Soil Loss Equation
4. Bureau of Land Management

و تلفیق آن با مدل‌های تجربی تخمین فرسایش و تولید رسوب، می‌توان دقت مدل‌های تجربی را در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب تا حد بالایی افزایش داد [۲۳].

با توجه به اهمیت مسئله فرسایش خاک و اینکه حوزه آبخیز چهل‌گزی در استان کردستان، یک زیر حوضه تأمین آب سد قشلاق (وحدت) می‌باشد و هم‌چنین مطالعات محدودی در این حوزه جهت بررسی عملکرد فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های مربوطه انجام شده است، لذا هدف از این مطالعه ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیر حوضه چهل‌گزی سد قشلاق (وحدت) سنندج با استفاده از مدل EPM ، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور به جهت غنای مطالعاتی منطقه و ارائه الگوهای برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی در راستای کاهش میزان فرسایش و هدررفت خاک می‌باشد.

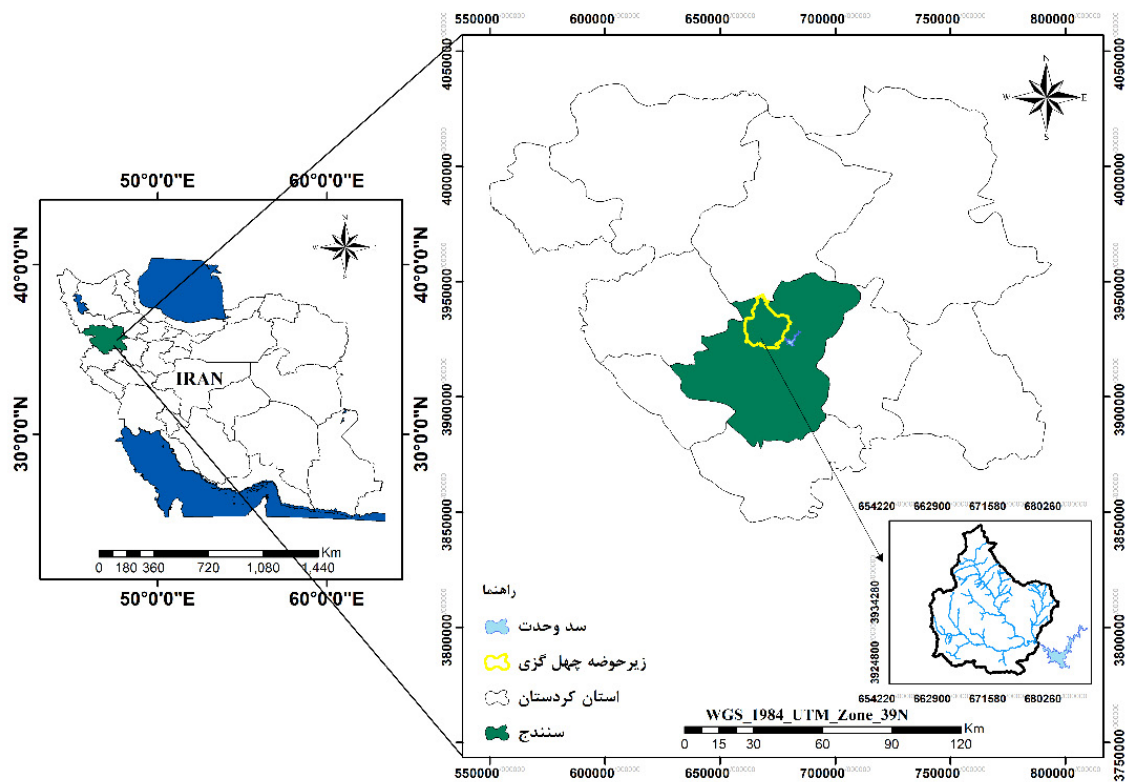
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه چهل‌گزی به‌عنوان یکی از زیر حوضه‌ها سد قشلاق سنندج در استان کردستان (پارسل A سد قشلاق)، در موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ} 25' 03''$ تا $35^{\circ} 37' 43''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 24' 24''$ تا $46^{\circ} 09' 32''$ طول شرقی واقع شده است [۱۷]. با توجه به شرایط طبیعی و آب‌وهوایی، معرف مناطق کوهستانی در نظر گرفته می‌شود (مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار و مجهز به یک ایستگاه هیدرومتری). ارتفاع متوسط زیر حوضه مذکور حدود ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است و هم‌چنین متوسط بارندگی نیز در این زیر حوضه ۲۹۴/۲ میلی‌متر، مساحت مراتع ۲۳۴۶۵ و مجموع زراعت آبی و دیم ۳۷۶۸ هکتار می‌باشد. این زیر حوضه وجود ۱۵ روستا، هم‌چنین وجود شیل با بیش‌ترین فرسایش و آهک‌های می‌کروفسیل دار با کم‌ترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته، به خود اختصاص داده است. علاوه بر این نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها بیش‌ترین حساسیت را دارند [۲۰]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

داده‌ها و اطلاعات موردنیاز

این پژوهش باهدف، ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک در زیر حوضه چهل‌گزی سد قشلاق (وحدت) سنندج، با بهره‌گیری از مدل EPM و سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور انجام شده است؛ که با توجه به مدل مورد استفاده در این پژوهش، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز شامل: نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، کاربری اراضی (طرح تفصیلی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان)، زمین‌شناسی (۱:۵۰۰۰۰۰ فائو)، داده‌های بارش و دما می‌باشد که با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه‌ای، ماهواره‌ای، کتابخانه‌ای و آرشیوی، جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مدل EPM

مدل EPM یا مدل پتانسیل فرسایش برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ توسط Gavrilovic در یوگسلاوی معرفی شد [۲۲]. این مدل را می‌توان برای تخمین رسوب سالانه و تعیین شدت فرسایش کل یک حوضه استفاده کرد [۸]. مدل EPM با استفاده از متغیرها و ضرایبی که نشان‌دهنده ویژگی‌های فیزیکی خاک، کاربری و مدیریت زمین، دما، بارندگی، شیب، مقاومت به فرسایش و فرسایش مشاهده‌شده در حوضه است، متوسط از هدررفت خاک را تخمین می‌زند [۲۱]. از ضرایب و متغیرهای مذکور، سه عامل (سنگ و خاک، توپوگرافی و آب‌وهوا) به‌طور طبیعی توسعه فرسایش را کنترل می‌کنند، درحالی‌که کاربری زمین کاملاً وابسته به انسان است [۲۵]. ساختار اجرایی مدل شامل چند مرحله و گام است که چهار مرحله اصلی و هشت گام مدل به شرح ذیل می‌باشد:

مرحله اول

- گام اول: تهیه نقشه ضریب فرسایش خاک (مشاهده‌ای)
- گام دوم: تهیه نقشه ضریب حساسیت سنگ و خاک
- گام سوم: تهیه نقشه ضریب شیب حوضه
- گام چهارم: تهیه نقشه ضریب کاربری اراضی

گام پنجم: تهیه نقشه ضریب شدت فرسایش

- مرحله دوم
 - گام ششم: تهیه ضریب دما
 - مرحله سوم
 - گام هفتم: تهیه نقشه متوسط سالانه فرسایش
 - مرحله چهارم
 - گام هشتم: تهیه نقشه فرسایش کل حوضه
- بر اساس راهنمای مدل مراحل نحوه تهیه هر ضریب به شرح ذیل می‌باشد:

ضریب حساسیت سنگ و خاک (Y)

برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در روش EPM لازم است حساسیت سنگ‌ها در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شود [۱۵]. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگی منطقه، مطابق جدول (۱) هر واحد سنگی ارزش‌گذاری و ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش مطابق نوع آن تهیه می‌شود.

جدول ۱: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل

EPM [۱۵]

مقادیر میانگین	شرایط سنگ و خاک
۲	ماسه، سنگریزه، شیبست
۱/۶	لس، توف، خاک شور و خاک استپی
۱/۲	سنگ هوازده و مارن
۱/۱	ماسه سنگ قرمز سرپانتین و رسوبات فلیشی
۱	پدزول، پاراپدزول، شیبست خردشده، میکاشیبست، گنیس، شیبست آرژیلیت دار
۰/۹	سنگ آهک سخت، لاشبرگ، خاکهای هوموسی و سیلیکات دار
۰/۸	خاکهای جنگلی قهوه‌ای و خاکهای کوهستانی
۰/۶	خاکهای باتلاقی و هیدرومورف سیاه یا خاکستری تیره
۰/۵	چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب
۰/۲۵	سنگهای آذرین سخت

ضریب کاربری اراضی (Xa)

جهت تهیه ضریب کاربری اراضی، پس از تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه، با توجه به جدول (۲) ارزش‌گذاری و ضریب شرایط استفاده از زمین با توجه به نوع کاربری تعیین می‌گردد.

جدول ۲: ضریب استفاده از زمین در مدل EPM [۱۵]

مقادیر میانگین	شرایط استفاده از زمین
۱	اراضی غیرقابل کشت و زرع و بدلندها
۰/۹	اراضی تپه‌ماهوری و شخم‌خورده برای زراعت
۰/۸	باغات میوه، تاکستان‌های بدون پوشش گیاهی مرتعی
۰/۷	کشتزارهای شخم‌خورده بر روی خطوط تراز
۰/۶	جنگل‌های مخروطه و فرسایش یافته و بوته‌زارهای ایجادشده بر روی خاکهای فرسوده
۰/۵	مراعات کوهستانی خشک
۰/۴	مزارع دائمی و یونجه‌زارها
۰/۳	مراعات زهکشی شده و پوشیده از گراس‌ها
۰/۲	جنگل‌های خوب بر روی شیب‌های تند
۰/۱	جنگل‌های خوب بر روی شیب‌های ملایم

ضریب فرسایش خاک (مشاهده‌ای) (Ψ)

ضریب فرسایش مشاهده‌ای، نشان‌دهنده وضعیت ظاهری فرسایش در حوضه است [۱۵]. تعیین این ضریب از طریق بازدید میدانی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و با توجه به جدول (۳) صورت می‌گردد.

جدول ۳: ضریب فرسایش مشاهده‌ای در مدل EPM [۱۵]

مقادیر میانگین	شرایط فرسایش حوضه
۱	منطقه دارای خندق‌های زیاد و فرسایش شدید می‌باشد.
۰/۹	در حدود ۸۰ درصد منطقه دارای فرسایش خندقی و شیب‌های می‌باشد.
۰/۸	در حدود ۵۰ درصد منطقه دارای فرسایش خندقی و شیب‌های می‌باشد.
۰/۷	کل منطقه دارای فرسایش سطحی، رسوبات و واریزه‌ها و به مقدار کم فرسایش خندقی و شیب‌های می‌باشد.
۰/۶	کل منطقه دارای فرسایش سطحی ولی بدن آثار فرسایش عمیق (خندق‌ها، شیارها و واریزه‌ها)
۰/۵	۵۰ درصد منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش
۰/۴	۲۰ درصد منطقه دارای فرسایش سطحی و بقیه بدون فرسایش
۰/۳	سطح زمین فاقد فرسایش قابل‌رؤیت بوده ولی در کنار رودخانه‌ها، واریزه و لغزش مشاهده می‌شود
۰/۲	سطح زمین فاقد فرسایش قابل‌رؤیت بوده و اغلب دارای پوشش زراعی است
۰/۱	سطح زمین فاقد فرسایش قابل‌رؤیت بوده و غالباً تحت پوشش جنگل و گیاهان دائمی است

ضریب شیب (I)

جهت تهیه نقشه ضریب شیب، ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، نقشه شیب منطقه تهیه می‌گردد و سپس با توجه به جدول (۴) هر طبقه از شیب منطقه ارزش‌گذاری می‌شود [۲۲].

جدول ۴: ضریب شیب در مدل EPM [۲۲]

ضریب	طبقه شیب (درصد)
۰/۰۵۰	۱۰ تا ۰
۰/۰۷۵	۲۰ تا ۱۰
۰/۱۵۰	۳۰ تا ۲۰
۰/۲۰۰	۴۰ تا ۳۰
۰/۳۵۰	۵۰ تا ۴۰
۰/۴۰۰	بیش‌تر از ۵۰

ضریب شدت فرسایش (Z)

جهت تهیه ضریب شدت فرسایش (مرحله اول) پس از تهیه ضریب حساسیت سنگ و خاک، ضریب کاربری اراضی و ضریب فرسایش مشاهده‌ای از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$Z = Y \times Xa \times (\Psi + I^{0.5}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق: Z ضریب شدت فرسایش، Y ضریب حساسیت

سنگ و خاک، X_a ضریب کاربری اراضی، Ψ ضریب فرسایش خاک حوضه (مشاهده‌ای) و I شیب متوسط حوضه است. بر اساس راهنمای مدل مراحل نحوه تهیه هر ضریب به شرح ذیل می‌باشد: هم‌چنین جهت تهیه نقشه طبقه‌بندی شده شدت فرسایش، پس تعیین ضریب فرسایش با توجه به جدول (۵) ضرایب به دست آمده طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۵: طبقه‌بندی شدت فرسایش در مدل EPM [۸]

کلاس فرسایش	شدت فرسایش	محدوده Z	مقدار متوسط Z
V	خیلی شدید	$1 <$	۱/۲۵
IV	شدید	$1 < Z < 0.71$	۰/۸۵
III	متوسط	$< Z < 0.41$	۰/۵۵
II	کم	0.7	۰/۳
I	خیلی کم	$0.4 < Z < 0.2$	۰/۱
		$Z > 0.19$	

ضریب دما (T)

جهت تهیه ضریب دما از رابطه (۲) استفاده می‌شود [۲۴]:

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق: T ضریب دما و t میانگین دما (سانتی‌گراد) است.

تهیه نقشه متوسط سالانه فرسایش ویژه (W_{sp})

جهت تهیه نقشه متوسط سالانه فرسایش ویژه از رابطه (۳) استفاده می‌شود [۲۴]:

$$W_{sp} = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق: W_{sp} متوسط سالانه فرسایش ویژه (مترمکعب در کیلومتر مربع در سال)، T ضریب دما، H میانگین بارش (میلی‌متر) π عدد ۳/۱۴ و Z ضریب شدت فرسایش است.

روش کلی انجام پژوهش

طی این پژوهش در مرحله اول ابتدا بازدید میدانی از حوضه انجام می‌گیرد و سپس با توجه به دستورالعمل شرایط فرسایش مدل، برای هر بخش از حوضه ضریب فرسایش خاک (مشاهده‌ای) متناسب با آن مشخص می‌گردد (گام اول). در گام دوم با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه واحدهای سنگی منطقه استخراج و با توجه به دستورالعمل موجود ارزش‌گذاری می‌گردد و نقشه حساسیت خاک و سنگ (گام دوم) تهیه می‌گردد. در گام سوم با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، نقشه شیب حوضه تهیه و مطابق دستورالعمل مدل طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری (گام سوم) می‌گردد. در گام چهارم نقشه کاربری اراضی حوضه تهیه و متناسب با دستورالعمل شرایط استفاده از زمین ارزش‌گذاری می‌گردد (گام چهارم). در نهایت در گام پنجم به جهت تهیه نقشه ضریب شدت فرسایش خاک منطقه، نقشه‌های

ضریب حساسیت خاک مشاهده‌ای، ضریب حساسیت خاک و سنگ، ضریب کاربری اراضی و ضریب شیب مطابق رابطه (۱) در همدیگر ضرب می‌شوند (گام پنجم). در مرحله دوم ضریب دما با توجه به میانگین دمایی منطقه و رابطه (۲) تهیه می‌گردد (گام ششم). در مرحله سوم نقشه متوسط سالانه فرسایش با توجه به ضریب دما، ضریب بارش و رابطه (۳) ایجاد می‌گردد (گام هفتم). در نهایت به جهت تهیه نقشه فرسایش کل حوضه، از ضرب نقشه متوسط سالانه فرسایش در مساحت کل حوضه ایجاد می‌گردد که شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را نمایش می‌دهد.

نتایج و بحث

نقشه ضریب حساسیت سنگ و خاک

در طبقه‌بندی واحدهای سنگی زیر حوضه چهل‌گزی، این زیر حوضه دارای شش واحد سنگی کلی (آندزیت، گلوبوترونکا، شیل خاکستری، ماسه‌سنگ، گل‌سنگ آهکی، کنگلومرا، فلیش توریدیت و سنگ‌آهک با بستر متوسط تا ضخیم) می‌باشد که به جهت تهیه نقشه ضریب حساسیت سنگ و خاک با توجه به جدول (۱) دستورالعمل مدل، واحدهای سنگی زیر حوضه دسته‌بندی و متناسب با مقاومت آنان نسبت به فرسایش، ارزش‌گذاری شد. شکل (۳) واحدهای سنگی زیر حوضه چهل‌گزی را ارائه می‌دهد. هم‌چنین اطلاعات جدول (۶) نیز ضریب هر واحد سنگی را به تفکیک نشان می‌دهد.

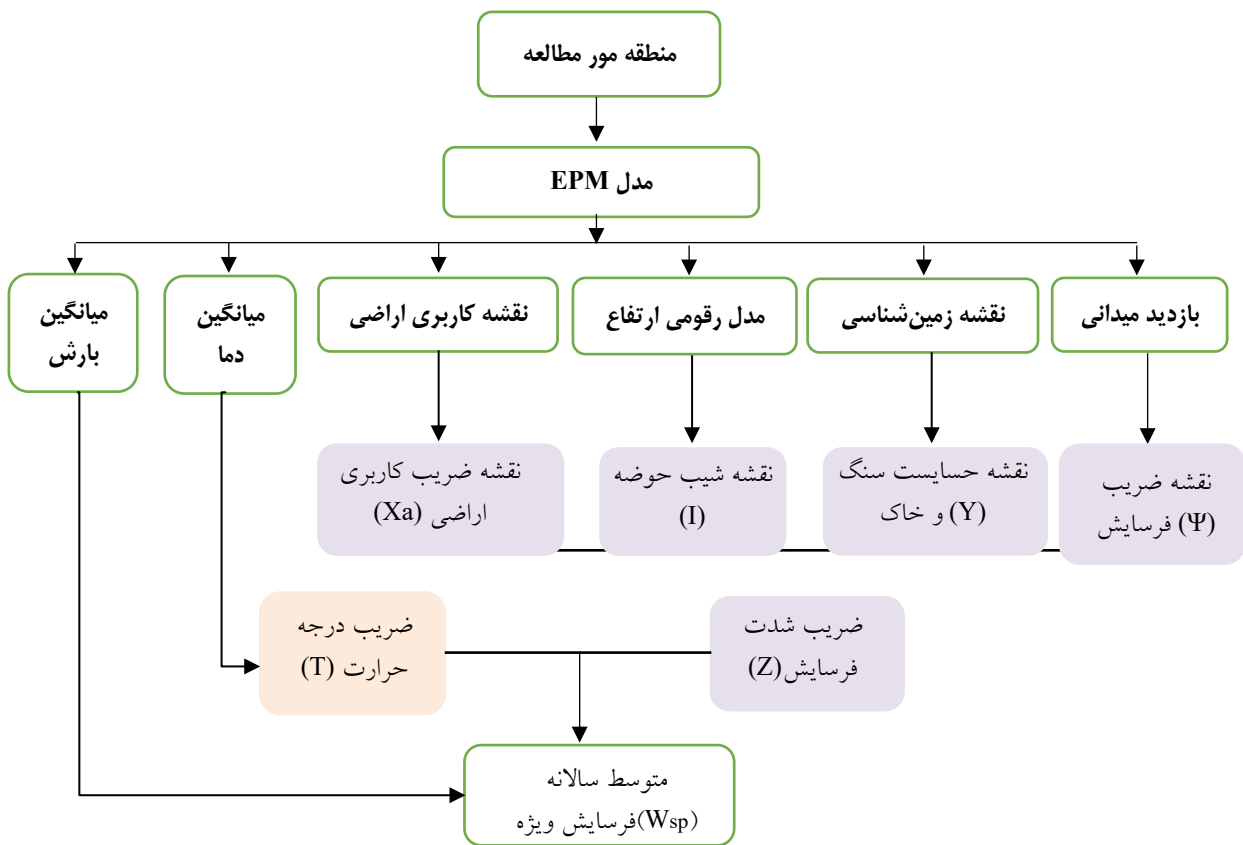
جدول ۶: ارزش‌گذاری مقاومت به فرسایش واحدهای سنگی زیر حوضه چهل‌گزی

نام واحد سنگی	ضریب*
Andesitic volcanic	۰/۹
Globotrunca limestone	۱
Dark grey shale (Sanandaj shale) (Schist and phyllite)	۲
Thinly bedded sandstone and shale with siltstone, mudstone limestone and conglomerate	۱/۱
Flysch turbidite, sandstone and calcareous mudstone	۱/۱
Medium to thick - bedded limestone	۰/۹

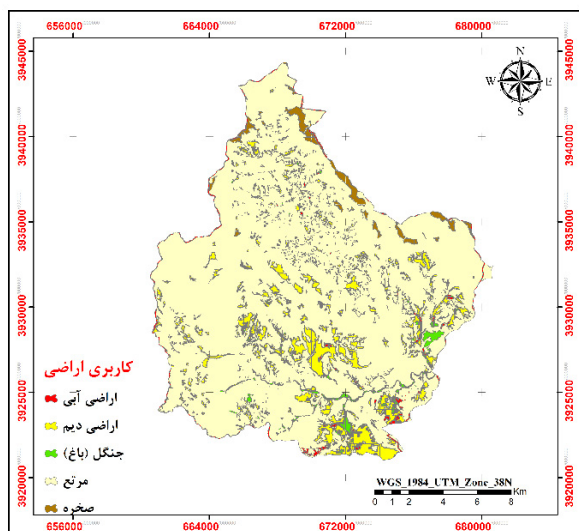
* قابل‌ذکر است ترکیب واحدهای سنگی زیر حوضه موجب شد که میانگینی از ارزش هر واحد سنگی در نظر گرفته شود.

نقشه ضریب کاربری اراضی

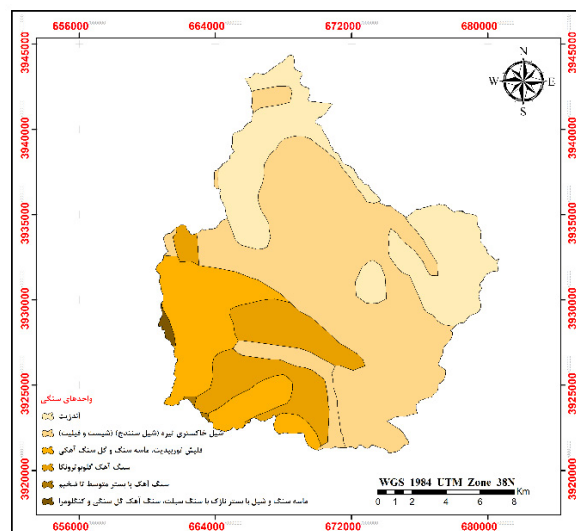
زیر حوضه چهل‌گزی دارای کاربری‌های اراضی: زراعت دیم، زراعت آبی، باغات توأم با زراعت، مراتع، مسکونی و صنعتی می‌باشد (شرکت مهندسی مشاور آب شفق، ۱۳۹۳). شکل (۴) نقشه



شکل ۲: روش کلی انجام پژوهش



شکل ۴: کاربری اراضی زیر حوضه چهل گزی



شکل ۳: واحدهای سنگی زیر حوضه چهل گزی

(برحسب درصد) زیر حوضه چهل گزی را نشان می دهد.

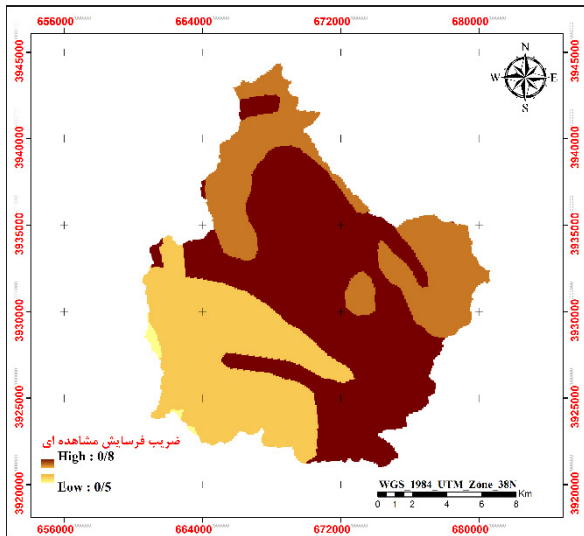
نقشه ضریب فرسایش خاک (مشاهده ای)

ضریب فرسایش مشاهده ای، نشان دهنده وضعیت ظاهری فرسایش در حوضه است [۱۵]. تعیین این ضریب از طریق بازدید میدانی، تصاویر ماهواره ای گوگل ارث و با توجه به دستورالعمل جدول (۳) صورت گرفت. شکل (۶) نقشه ضریب فرسایش خاک مشاهده ای زیر حوضه چهل گزی را نشان می دهد. مطابق شکل (۶)

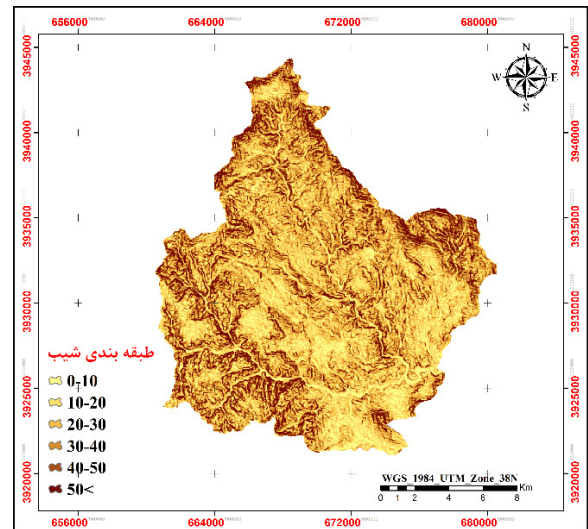
کاربری اراضی زیر حوضه چهل گزی را نشان می دهد که جهت تهیه نقشه ضریب کاربری اراضی، هر کاربری مطابق با جدول (۲) ارزش گذاری شد.

نقشه ضریب شیب

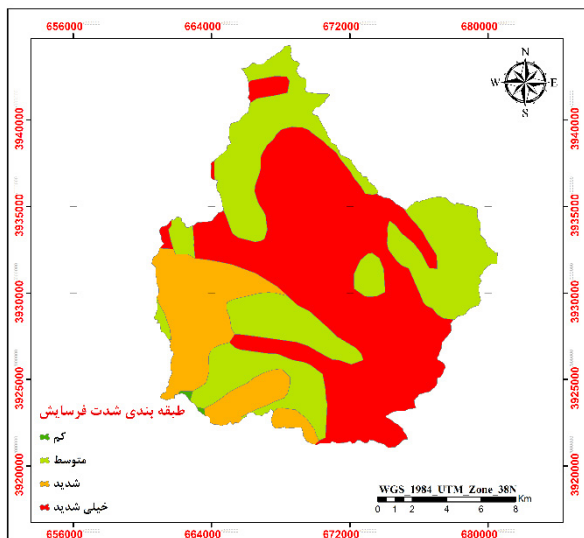
پس از تهیه شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، جهت تهیه نقشه ضریب شیب، مطابق جدول (۴) شیب زیر حوضه در شش طبقه، دسته بندی و ارزش گذاری شد. شکل (۵) نقشه شیب



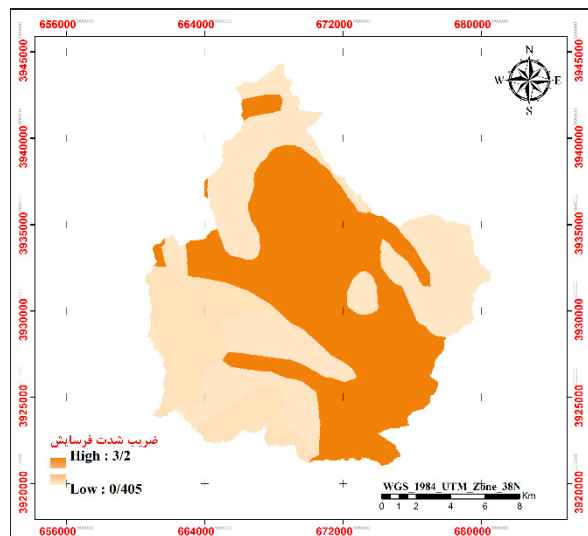
شکل ۶: ضریب فرسایش مشاهده‌ای زیر حوضه چهل‌گزی



شکل ۵: شیب زیر حوضه چهل‌گزی



شکل ۸: طبقه‌بندی شدت فرسایش زیر حوضه چهل‌گزی



شکل ۷: ضریب شدت فرسایش زیر حوضه چهل‌گزی

شدید می‌باشد.

حداقل و حداکثر ضریب فرسایش مشاهده‌ای، به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۸ می‌باشد.

نقشه ضریب شدت فرسایش

پس از تهیه ضریب‌های شیب، فرسایش مشاهده‌ای، کاربری اراضی و حساسیت سنگ و خاک با استفاده از رابطه (۱) نقشه ضریب شدت فرسایش تهیه شد که با توجه به جدول (۵) ضرایب به‌دست‌آمده طبقه‌بندی گردید. شکل (۸) نقشه ضریب شدت فرسایش طبقه‌بندی‌شده را نشان می‌دهد و جدول (۷) اطلاعات سهم هر طبقه را در حوضه ارائه می‌دهد.

مطابق شکل (۷) حداقل و حداکثر ضریب شدت فرسایش در زیر حوضه چهل‌گزی به ترتیب برابر ۰/۴۰۵ و ۳/۲ می‌باشد و مطابق جدول (۷) که ۰/۱۱، ۳۶/۳۸، ۱۵/۳۳ و ۴۸/۱۶ درصد از زیر حوضه به ترتیب در وضعیت خطر فرسایش کم، متوسط، شدید و بسیار

جدول ۷: مساحت طبقه‌بندی‌های شدت فرسایش زیر حوضه چهل‌گزی

مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه‌بندی
۱۲۸/۰۶۴	خیلی شدید
۴۰/۷۸۵	شدید
۹۶/۷۳۹	متوسط
۰/۳۰۸	کم

ضریب دما و میانگین بارش

جهت تهیه ضریب دما از رابطه (۲) استفاده شد. میانگین بارش

می‌باشد. به عبارت دیگر ۶۳/۴۹ درصد زیر حوضه در وضعیت خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از مدل با توجه به مطالعه غفاری [۹] گویای برآورد بیش تر نسبت به نتایج آنان می‌باشد چراکه نتایج استفاده ایشان از مدل SWAT در حوضه سد قشلاق، دارای نتایج طبقه‌بندی کم تا متوسط می‌باشد. ایشان مقدار فرسایش را صفر تا ۱۰۵ تن در هکتار در سال گزارش نموده‌اند که مطابق مطالعه ایشان بیش تر مساحت حوضه در محدوده فرسایشی ۰ تا ۳۰ تن در هکتار در سال (کم تا متوسط) می‌باشد؛ اما از یک سو وجود شیل و حساسیت بالای آن مجدداً می‌تواند تأییدی بر کارایی نتایج مدل باشد. هم‌چنین مطابق گزارش تیموری و بدرافشان [۲۶] کارایی مدل EPM نسبت به RUSLE کم تر اعلام شده است؛ اما مطالعه البادوی و همکاران [۷]، کارایی مدل EPM را تأیید و پیشنهاد استفاده از مدل برای طراحی اقدامات مؤثر کنترل فرسایش گزارش داده شد. لذا با توجه به موارد ذکر شده، استفاده از مدل‌های دیگر و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با این مدل و داده‌های مشاهداتی می‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی منطقه مؤثر واقع شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک زیر حوضه چهل‌گزی سد قشلاق (وحدت) سندج با بهره‌گیری از مدل EPM و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. نتایج مطالعه بیانگر پتانسیل بالای این زیر حوضه در فرسایش و هدررفت خاک می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت فرسایش و هم‌چنین موقعیت زیر حوضه در تأمین آب سد قشلاق و اهمیت مخزن سد، پیشنهاد می‌شود، با توجه به تعداد

زیر حوضه با توجه به آمار سال ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۴ (۲۹ سال) ایستگاه سراب قامیش (مربوط به شرکت آب منطقه‌ای) در نزدیکی حوضه، تخمین زده شد [۱۶]. میانگین دما نیز با توجه به اطلاعات همین ایستگاه تهیه شد. جدول (۸) اطلاعات ضریب دما، میانگین بارش و دمای زیر حوضه چهل‌گزی را نشان می‌دهد.

جدول ۸: اطلاعات ضریب دما، میانگین دما و بارش زیر حوضه

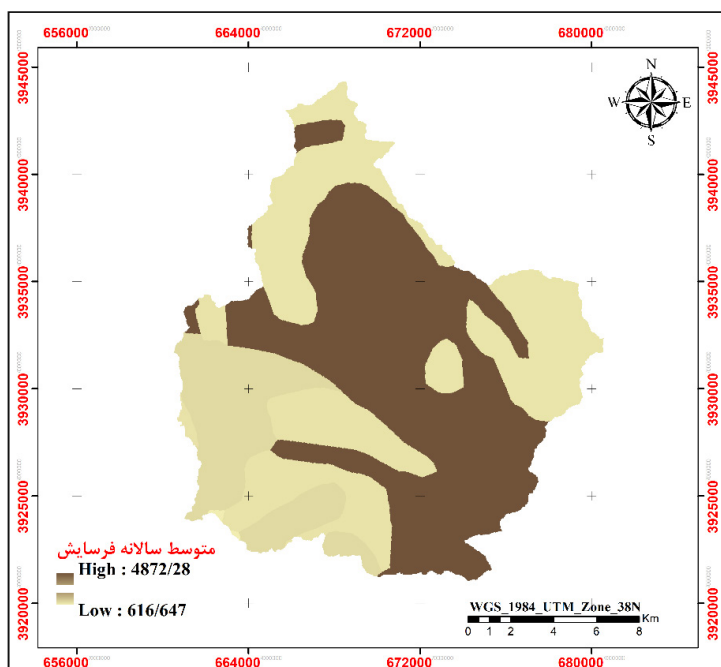
چهل‌گزی		
میانگین بارش (میلی‌متر)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	ضریب دما
۳۷۳	۱۶	۱/۳۰

نقشه متوسط سالانه فرسایش ویژه

پس از تهیه ضریب‌های شدت فرسایش، دما و میانگین بارش با استفاده از رابطه (۳) نقشه متوسط فرسایش ویژه حوضه تهیه شد؛ که شکل (۹) نقشه متوسط سالانه فرسایش را نشان می‌دهد مطابق شکل (۹) حداقل و حداکثر متوسط فرسایش سالانه در زیر حوضه چهل‌گزی به ترتیب برابر ۶۱۶/۶۴ و ۴۸۷۲/۲۸ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال می‌باشد.

مقایسه نتایج

بررسی نتایج مطالعه ارزیابی خطر، پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش آبی و تعیین میزان هدررفت خاک زیر حوضه چهل‌گزی گویای این می‌باشد که ۰/۱۱، ۳۶/۳۸، ۱۵/۳۳ و ۴۸/۱۶ درصد از زیر حوضه به ترتیب در وضعیت خطر فرسایش کم، متوسط، شدید و بسیار شدید



شکل ۹: نقشه متوسط سالانه فرسایش زیر حوضه چهل‌گزی

and sediment yield at the basin scale. Scale issues and semi-quantitation Model, Earth Science. 20:1-31.

7. Elbadaoui, K., Mansour, S., Ikirri, M., Abdelrahman, K., Abu-Alam, T., and Abioui, M. 2023. Integrating Erosion Potential Model (EPM) and PAP/RAC Guidelines for Water Erosion Mapping and Detection of Vulnerable Areas in the Toudgha River Watershed of the Central High Atlas. Morocco. Land. 12(4): 837.

8. Gavrilovic, Z. 1988. Use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. International Conference on River Regime. Hydraulics Research Limited. Wallingford, Oxon UK. 411-422.

9. Ghafari, G. 2018. Erosion intensity zoning by using SWAT model in Gheshlagh Dam Basin. Geography and Development. 50: 55-74. (In Persian)

10. Hassanzadeh, H., Akbari, G. 2021. Estimation of erosion and destruction of the catchment area of Bidovaz dam using EPM model and GIS software, Master's thesis. Bojnord University. (In Persian)

11. Jafari, T., Naimi Tabar, M., Zakarian, S.A. 2018. Quantitative evaluation of water soil erosion with EPM model (case study: Badranlu watershed). Journal of Geography and Environmental Planning, 70(2):

12. Kairis, O., Karavitis, C., Kounalaki, A., Salvati, L., and Kosmas, C. 2013. The effect of land management practices on soil erosion and land desertification in an olive grove. Soil Use and Management, 29(4): 597-606.

13. Mazaheri, H.A. 1996. A study on swimming and zoning of areas sensitive to erosion in the Abshinch River catchment, Master's thesis. Faculty of Humanities. Tarbiat Modares University. (In Persian)

14. Mohseni, B., Qudosi, J., Ahmadi, H., and Tahmasabi, R. 2019. Evaluation of the accuracy and efficiency of EPM, MPSIAC. geomorphological and hydrophysical models in estimating erosion and sedimentation, Geography and Development, 22: 107- 127. (In Persian)

15. Moradi, S, Mohammadi Limaei, S, Khanmohammadi, M, and Lohmander, P. 2014. Estimation of erosion and sediment production with EPM model in Zamkan watershed using GIS, Environmental Erosion Research, 5(1): 13-26. (In Persian)

16. Nainiva, S.P, and Jalilian, S. 2020. Determining the Capability of Agricultural Lands and the Degree of Compliance with the Principles of Environmental

محدود مطالعات در منطقه، بایستی به جهت حصول اطمینان بیشتر مطالعات دیگری نیز در منطقه با توجه به مدل‌های دیگر، همراه با اعتبار سنجی نتایج آنان انجام گیرد و بر اساس نتایج آنان الگوهای ارزیابی و برنامه‌ریزی، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای پروژه‌های سودمند در ارتباط با کاهش میزان جابجایی و هدررفت خاک در سطح حوضه با جدیت مورد توجه قرار گیرد تا قدمی کوچک در راستای کاهش میزان فرسایش و هدررفت خاک باشد.

توصیه‌های ترویجی

با توجه به اهمیت فرسایش خاک توصیه‌های کلی زیر به‌عنوان دستاورد مطالعه حاضر در راستای واقعیت‌های حاکم بر زیر حوضه چهل‌گزی پیشنهاد می‌گردد:

الف- ارائه مطالعات بنیادی در حوضه‌های تأمین آب سدها به‌منظور پایش و کنترل وضعیت فرسایش.

ب- ترغیب، ترویج و آموزش کشاورزان به عملیات کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در اراضی زراعی.

د- متناسب‌سازی الگوهای کشت با پتانسیل هر منطقه به‌منظور بهره‌برداری از پتانسیل واقعی هر منطقه.

ه- ترغیب کشاورزان به اهمیت راهکارهای حفاظتی در اراضی زراعی از قبیل احداث نوارهای بافر و...

منابع

1. Ahmadi, H. 2007. Applied geomorphology. first volume (water erosion). Tehran University Press. (In Persian)

2. Ansari Lari, A., and Ansari. M. 2017. Evaluation of soil erosion risk and sedimentation potential of Gabrik catchment area of Hormozgan province using EPM model. Journal of Natural Environmental Hazards, 6(11): 1-14 (In Persian).

3. Bayat, R., Arab Khedri, M., Behnam, N., Dear, Z. 2020. Investigating the effectiveness of EPM and MPSIAC models in determining the erosion status of Shahriari watershed. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 7(3): 1-16. (In Persian)

4. Dastranj Asadi Nelivan, O., Falah Saleh Nasab, A., and Jafari, Sh. 2015. Estimation of annual erosion and sedimentation using EPM and GIS model (case study: Zaydasht area, Taleghan). Hydrogeomorphology, 2(4): 39-55. (In Persian)

5. Dengiz, O., Bayramin, İ., and Yüksel, M. 2003. Geographic information system and remote sensing based land evaluation of Bepazarı area soils by ILSSEN model. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27(3): 145-153.

6. Devent, J., and Poesen, J. 2005. Prediction of Soil erosion

22. Shahabi, H., Salari, M., Ahmad, B. B., and Mohammadi, A. 2016. Soil erosion hazard mapping in central Zab Basin using EPM model in gis environment. *International Journal of Geography and Geology*, 5(11): 224-235.
23. Shersta, M.K. 2001. Soil erosion modeling using remote sensing and GIS, Case study of Jhikhu Khola watershed, Nepal.
24. Stefanidis, S., Chatzichristaki, C., and Stefanidis, P. 2021. An ArcGIS toolbox for estimation and mapping soil erosion. *J. Environ. Prot. Ecol*, 22:689-696.
25. Tangestani, M.H. 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar catchment, Fars Province. *Iran Journal of Asian Earth Sciences*, 27(5): 585-597.
26. Timuri, F, and Bazarafshan, A, 2017. Comparing the efficiency of RUSLE and EPM models in estimating soil erosion and sedimentation rate based on the sediment gauge curve (case study: Jask-Gabrik watershed). *New Applied Geology Findings*. 12(23): 50-62. (In Persian)
- Management (Case Study: the Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province), comprehensive management of watersheds, 1(2): 83-94. (In Persian)
17. Nainiva, S.P., Shahidi, K., Zahedi, S., and Entezami, H. 2019. Estimation of snowmelt runoff in water requirement of farmland in Chehelgazi Sub-basin, Kurdistan Province, scientific-research journal of watershed engineering and management, 12(4): 962-976. (In Persian)
18. Rajabi, M.A, Yavari, A, and Seluki, H. 2018. Application of EPM model in soil erosion evaluation (case study, Shazand area). *Iranian Geology Quarterly*, pp. 89-98. (In Persian)
19. Refahi, H.Gh. 2009. Water erosion and its control, 6th edition. Tehran University Press. Tehran. (In Persian)
20. Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., and Khalidi-Darvishan, A. 2007. Comparison of methods of estimation of sediment delivery ratio of storm surge in the Chehlgezi watershed of Qashlaq Dam, Kurdistan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Industries. Special for Water and Soil*, 22(1): 150-141. (In Persian)
21. Sakuno, N. R. R., Guiçardi, A. C. F., Spalevic, V., Avanzi, J. C., Silva, M. L. N., and Mincato, R. L. 2020. Adaptation and application of the erosion potential method for tropical soils. *Revista Ciência Agronômica*, 51.



Abstract

Evaluation and Estimation of the Intensity of Soil Erosion Under Chehelgazi Sub-Watershed of Kurdistan Province

S. P. Nainiva¹ and A. Satarvand¹

Received: 2022/12/26 Accepted: 2023/03/11

Soil erosion and land degradation are considered serious problems, in order to implement soil erosion protection and control programs and reduce sedimentation, it is necessary to evaluate the total volume of sediment load and the intensity of erodibility in watersheds. according to this, the main goal of this study is to evaluate the amount of soil erosion using an experimental model, the Erosion Potential Model (EPM). The studied area is Chehlgezi subbasin of Kurdistan province as one of the water supply sub-basins of Qeshlaq Dam. In this research, by using ArcGIS software, a map of soil erosion coefficients (observation), rock and soil sensitivity, basin slope, land use and erosion intensity was prepared respectively, and then using the existing coefficients as well as the temperature and rainfall coefficients of the region. , the erosion map of the entire basin was prepared based on the instructions of the model. The results of the study showed that the classification of erosion risk in the basin has four conditions: low, medium, severe and very severe, and 63.49% of the sub-basin is in the state of high and very high erosion risk. Finally, the proposed erosion risk map with the mentioned model can help researchers and decision makers in designing and implementing effective soil and water management interventions in the study area, in addition to the wealth of studies in the sub-basin.

Keywords: Erosion zoning, EPM, Soil loss, Vahdat dam (Qeshlaq)

1. PhD student of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

* Corresponding Author: pedram.nainava@gmail.com