

ارزیابی خطر فرسایش با استفاده از مدل کورین در حوضه خارستان، استان فارس

فریده تارپناه^۱، ابوالفضل رنجبر فردوئی^{۲*}، عباسعلی ولی^۳، مرضیه مکرّم^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۲

چکیده

فرسایش خاک تأثیرات جدی زیست‌محیطی بر منابع آب و خاک، نظیر رسوب‌زدایی بیش از حد به‌ویژه در اراضی شیب‌دار و خاک‌های فرسایش‌پذیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گذارد. مدل‌های ارزیابی خطر فرسایش خاک مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در برنامه‌ریزی برای حفاظت از خاک دارند. در همین راستا در مطالعه حاضر ریسک پتانسیل و واقعی فرسایش در منطقه خارستان با استفاده از مدل کورین در تلفیق با GIS و RS بررسی شد. از مدل رقومی ارتفاع (DEM) برای استخراج نقشه شیب و از تصاویر لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۱۷ برای تهیه نقشه پوشش زمین در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده شد. در این مطالعه، نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استخراج شد. از اطلاعات ۱۲ پروفیل برای بررسی بافت، عمق و درصد سنگ و سنگریزه خاک استفاده و نقشه آن‌ها در نرم‌افزار ArcGIS10.3 تهیه شد. در ابتدا برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری از خصوصیات فیزیکی خاک (بافت، عمق و سنگ و سنگریزه) و فرساینده‌گی از شاخص‌های رطوبتی فورنیه و خشکی بگنولز-گوسن استفاده شد. سپس از ترکیب نقشه‌های فوق با شیب و پوشش زمین نقشه ریسک پتانسیل و واقعی فرسایش تهیه شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد از نظر ریسک پتانسیل منطقه به‌ترتیب دارای ۲۹/۱۲۵٪، ۲۹/۸٪ و ۴۱/۰۷٪ ریسک کم، متوسط و زیاد بود، درحالی‌که از نظر ریسک واقعی به‌ترتیب ۳۱/۱۴٪، ۳۱/۱۱٪ و ۳۷/۷۸٪ از منطقه در کلاس‌های کم، متوسط و زیاد واقع شده است. در کل، منطقه مورد مطالعه از نظر خطر فرسایش بیشتر در کلاس متوسط تا زیاد قرار گرفته است. مناطق با خطر واقعی فرسایش کم و متوسط در بخش جنوبی، مرکزی و شرقی منطقه و مناطق با خطر واقعی زیاد جنوب شرق، غرب و شمال غربی منطقه واقع شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل کورین، ریسک فرسایش خاک، ریسک پتانسیل فرسایش، اقلیم، خارستان.

۱. دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. استاد گروه علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول، aranjbar@kashanu.ac.ir

۳. دانشیار گروه علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۴. دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه کاشان است.

مقدمه

تجربی متداول در پیش‌بینی خطر فرسایش خاک از RS^۱ و GIS^{۱۱} استفاده می‌کنند. استفاده از تصاویر سنجنش از دور در بررسی تغییرات فرسایش خاک در زمان و مکان موفقیت‌آمیز بوده است (کینگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۵؛ پاناگوس^۳ و همکاران، ۲۰۱۲؛ برگیل^۴ و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین ثابت شده است که سنجنش از دور یک ابزار ساده و ارزان در ارزیابی خطر فرسایش است (پاندی^۵ و همکاران، ۲۰۰۷؛ الکساکیس^۶ و همکاران، ۲۰۱۳؛ پرادهان^۷ و همکاران، ۲۰۱۲؛ اوزسوی^۸ و همکاران، ۲۰۱۲؛ وریلینگ^۹، ۲۰۰۶). تحلیل کیفی تغییرات توزیع مکانی و شدت فرسایش خاک با استفاده از سنجنش از دور و GIS می‌تواند برای ارزیابی فرسایش خاک، کنترل و پیش‌بینی آن ارائه شود. این تجزیه و تحلیل در استفاده پایدار از منابع زمین و ایمنی محیط زیست اهمیت دارد. ارزیابی فرسایش خاک در بلندمدت نیازمند داده‌های طولانی‌مدت است، طی دهه‌های گذشته مدل‌های متعددی از پیش‌بینی فرسایش خاک پیشنهاد و توسعه داده شده است، مدل‌هایی مانند SLEMSA^{۱۱}، USLE^{۱۲}، MUSLE^{۱۳} و... وجود دارند که بیشتر آن‌ها با هدف برآورد فرسایش در اراضی کشاورزی توسعه یافته‌اند و برخی دیگر نیز مانند CORINE^{۱۴}، WEPP^{۱۵}، USLE^{۱۶} در اراضی مرتعی یا حوزه‌های آبخیز نیز کاربرد دارند (روحانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ سیلک^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه و دشواری نمونه‌برداری زمینی و از سوی دیگر اینکه بیشترین سطح منطقه را اراضی مرتعی تشکیل داده‌اند، از این مدل فرسایشی در مطالعه حاضر استفاده شد. مدل کورین یک مدل تجربی است که می‌تواند فرسایش خاک را با

فرسایش خاک مهم‌ترین عاملی است که باعث به خطر افتادن و کاهش بهره‌وری خاک‌های کشاورزی می‌شود (ادوساموان^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، فرسایش خاک به دلیل اثرات نامطلوب اقتصادی و زیست‌محیطی مانند خسارت به منابع زمین و کاهش بهره‌وری اراضی، از طریق انتقال رسوبات غنی از مواد مغذی که باعث فرسایش و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن سدها می‌شود، به مشکلی جدی در سراسر جهان تبدیل شده است (ارگلو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰؛ النادی و شومن^۳، ۲۰۱۷). بنابراین تخمین خطر فرسایش برای حفاظت اراضی کشاورزی و دستیابی به مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز ضروری است. اگر شدت و توزیع مکانی فرسایش خاک شناخته شود، روش‌های مدیریتی که شرایط فرسایش خاک را به حداقل می‌رسانند، می‌توانند به‌طور مؤثر اجرا شوند. با این حال، برای مدت طولانی، ارزیابی فرسایش خاک به روش دقیق برای فرایندهای پیچیده ایجاد شده توسط برهم‌کنش‌های چندعاملی، طبیعی و انسانی ایجاد شده، دشوار است (لو^۴ و همکاران، ۲۰۰۴؛ آناندا و هرات^۵، ۲۰۰۳). عوامل زیادی از جمله فرسایش‌پذیری خاک، شیب، بافت خاک، پوشش گیاهی، مواد آلی، مواد مادری و بارندگی بر فرسایش خاک تأثیر دارد (اموتو و وارگاس^۶، ۲۰۰۹؛ جاخار^۷ و همکاران، ۲۰۱۲). ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از روش‌های کلاسیک بسیار وقت‌گیر و گران است (لاکاد^۸ و همکاران، ۲۰۱۸)، روش‌های تحقیق معمول فرسایش، مانند آزمایش میدانی منظم یا نظارت طولانی مدت، نیاز به بودجه قابل توجه، زمان و نیروی انسانی دارند.

در ارزیابی فرسایش خاک روش‌های مختلفی شامل روش‌های کمی برای اندازه‌گیری مقدار فرسایش و روش‌های کیفی برای تعیین خطر فرسایش وجود دارد (حسن و همکاران، ۱۹۹۹؛ دیویدی^۱ و همکاران، ۱۹۹۷). بسیاری از مدل‌های

- 1 . Remote sensing 0
- 1 . Geographical information system 1
- 1 . King 2
- 1 . Panagos 3
- 1 . Bargiel 4
- 1 . Pandey 5
- 1 . Alexakis 6
- 1 . Pradhan 7
- 1 . Ozsoy 8
- 1 . Vrieling 9
- 2 . Soil Loss Estimation Model for Southern Africa
- 2 . Modified Universal Soil Loos Equation
- 2 . Universal Soil Loos Equation 2
- 2 . Revised Universal Soil Loss Equation
- 2 . Water Erosion Prediction Project 4
- 2 . CoorDination of INformation on the Environment
- 2 . Cilek 6

1. Edosomwan
2. Eroglu
3. El-Nady and Shoman
4. Lu
5. Ananda and Herath
6. Omuto and Vargas
7. Jakhar
8. Lakkad
9. Dwivedi

ریسک واقعی فرسایش کمتر از ریسک پتانسیل فرسایش (۷۰۴۴/۲ هکتار) بود. آن‌ها در مطالعه خود، نقش پوشش زمین در حفاظت سطح خاک از فرسایش را تأیید کردند. گوریبا و همکاران (۲۰۱۸) میزان حساسیت خاک در برابر فرسایش را با استفاده از مدل کورین در حوضه گومارا در اتیوپی ارزیابی کردند و نشان دادند که فقط بخش کوچکی از منطقه مورد مطالعه در کلاس ریسک فرسایش متوسط تا زیاد واقع شده است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که مدل کورین می‌تواند با شناسایی مناطق پرخطر در حفاظت آب و خاک نقش داشته باشد.

انتظاری و حیدری (۱۳۹۳) در تحقیقی، مقایسه مدل‌های SLEMSA و CORINE در تخمین فرسایش خاک حوضه تنگ سرخ شیراز را بررسی کردند. آن‌ها در مقایسه این دو مدل نشان دادند که مدل کورین با توجه به اینکه به جزئیات بیشتری می‌پردازد، از دقت بیشتری برخوردار بوده و عامل شیب مهم‌ترین فاکتور در افزایش میزان فرسایش در حوضه است.

اکبری و همکاران (۲۰۱۶) خطر فرسایش را با استفاده از مدل کورین در استان گلستان بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد بیشترین سطح (۵۴٪) از منطقه مورد مطالعه در کلاس ریسک پتانسیل متوسط و از نظر ریسک واقعی ۵۴٪ در کلاس کم واقع شده بود. تفاوت مساحت کلاس‌های ریسک در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده و از نظر صحت‌سنجی، انطباق زیادی با واقعیت‌های زمینی داشته‌اند. آن‌ها در تحقیق خود همچنین کارایی مدل کورین و GIS را در ارزیابی خطر فرسایش نشان دادند.

صادق کمالی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود، کارایی مدل نیمه کمی کورین در پیش‌بینی فرسایش خاک حوزه آبخیز پروان را بررسی کردند. با استفاده از این مدل، شدت خطر فرسایش محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده از این مدل حاکی از شدت خطر فرسایش زیاد در منطقه بود.

حوضه خارستان به‌عنوان یکی از منابع فرسایش و تولید رسوب در بالادست بزرگ‌ترین سد خاکی خاورمیانه (سد درودزن) است (نیکنامی و همکاران، ۲۰۰۹). منابع خاک و

وضوح مکانی پیش‌بینی کند. این مدل از چندین فاکتور فیزیکی خاک (بافت، عمق، سنگ و سنگریزه) به همراه فاکتورهای اقلیمی، فیزیوگرافی و پوشش استفاده می‌شود. این مدل همچنین در مناطقی که کمبود داده دارند، کاربرد خوبی دارد. این مدل یک روش تجربی و نقشه‌برداری نیمه‌کیفی است که شامل پوشش چند لایه برای نشان دادن ناهمگنی مکانی خطر فرسایش خاک (SER) در محیط Arc-GIS است (کورین، ۱۹۹۲). از مزیت‌های این مدل ساختار ساده آن و همچنین تهیه نقشه‌های آن در GIS آسان است. ترکیبی از مدل RS، GIS و CORINE پتانسیل ارزیابی فرسایش خاک و توزیع مکانی آن با هزینه‌های مناسب و دقت بهتر در مناطق بزرگ‌تر را فراهم می‌کند؛ برای مثال، یوکسل^۳ و همکاران (۲۰۰۸) و آیدین و تسیمن^۴ (۲۰۱۰) توزیع مکانی خطر فرسایش را در ترکیه با استفاده از روش کورین در تلفیق با GIS و RS ارزیابی کرده‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان‌دهنده ۳ کلاس فرسایش کم، متوسط و زیاد در منطقه بود و همچنین آن‌ها گزارش کردند که مدل CORINE با RS و فناوری GIS دارای پتانسیل بسیار زیادی برای تولید دقیق و ارزان نقشه‌های خطر فرسایش است. طیبی و همکاران (۲۰۱۶) ریسک فرسایش خاک در حوضه بنرود در غرب شیراز را با استفاده از مدل کورین بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان‌دهنده ۳۵٪ کلاس فرسایش زیاد و ۳۱٪ فرسایش کم بود. اورست و ازکان^۵ (۲۰۱۷) ارزیابی خطر فرسایش را در حوضه دومرگ ترکیه با استفاده از مدل کورین و GIS انجام دادند. یافته‌ها نشان‌دهنده سه کلاس ریسک پتانسیل فرسایش کم، متوسط و زیاد بود، درحالی‌که ریسک واقعی فرسایش در دو کلاس متوسط و زیاد مشاهده شد. آن‌ها در مطالعه خود مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش فرسایش منطقه مورد مطالعه راه، شیب و پوشش زمین معرفی کردند.

نادی و شومن (۲۰۱۷) خطر فرسایش خاک را در حوضه وادی مگد در ساحل شمال غرب مصر با استفاده از مدل کورین ارزیابی کردند. نتایج ریسک فرسایش واقعی نشان داد که مناطق

1. Soil erosion risk
2. CORINE
3. Yuksel
4. Aydyn and Tecimen
5. Everest and Ozcan

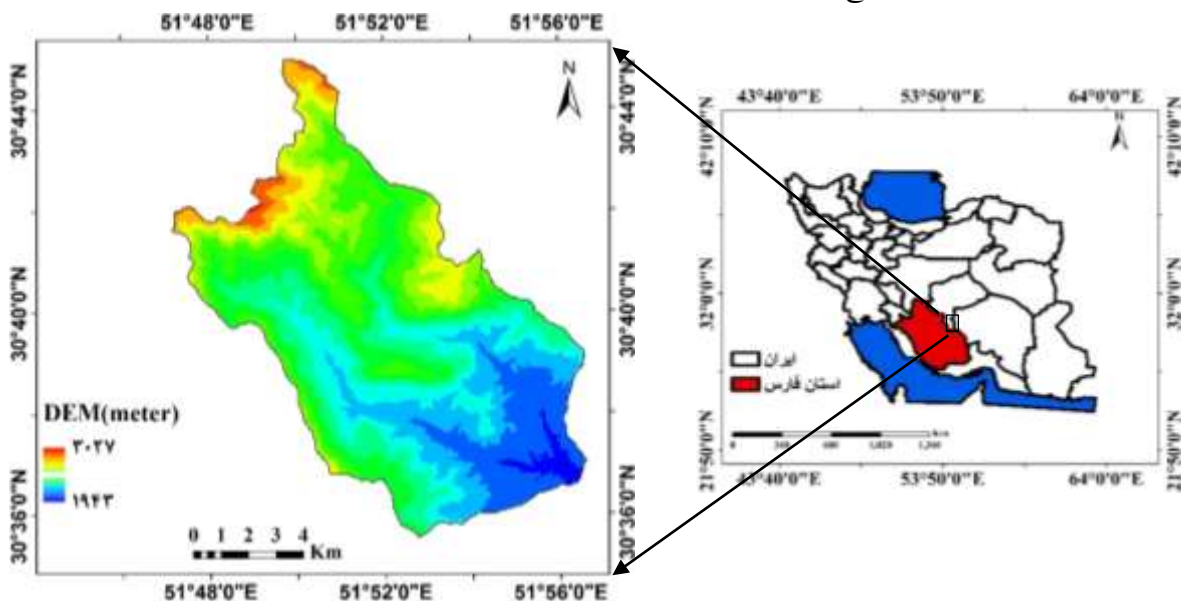
استان فارس برای اولین بار با استفاده از مدل کورین ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوزه آبخیز خارستان، یکی از زیرحوضه‌های سد درودزن است که در دامنه جنوبی رشته کوه‌های زاگرس و در شهرستان اقلید (استان فارس) قرار دارد. زیرحوضه‌های این حوضه، رودخانه شور و تیزآب هستند. این حوضه با خصوصیات کوهستانی خود جزئی از حوضه زاگرس داخلی به شمار می‌رود، وضعیت عمومی توپوگرافی و ارتفاعی در عمده این زیرحوضه‌ها مشابه است. این حوضه در محدوده جغرافیایی $47^{\circ} 51'$ تا $52^{\circ} 00'$ طول شرقی و $30^{\circ} 47'$ عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ۱۲۳۰۰ هکتار است (شکل ۱).

اراضی منطقه خارستان به دلیل واقع شدن در بخش کوهستانی، دارای محدودیت‌هایی از قبیل فرسایش پذیری، تولید رسوب زیاد تا خیلی زیاد، شیب و پستی و بلندی زیاد و وجود خاک‌های کم عمق است. نظر به اینکه حوضه مورد مطالعه از حوضه‌های سد درودزن می‌باشد، فاکتور رسوب در این حوضه پراهمیت است؛ به طوری که بر اساس مطالعات رستگار لاری (۱۳۷۷) میزان رسوب در حوضه سد درودزن ۱۴۷۳۸۰۶۵۸ متر مکعب برآورد شد. در حوضه خارستان نیز به عنوان یکی از زیرحوضه‌ها سد درودزن در مطالعه شعبانی (۱۳۸۸) بر اساس منحنی سنجه رسوب، میانگین رسوب ۷۵ تن در روز و حداکثر مقدار آن ۷۱۴ تن در روز گزارش شد. تاکنون مدل‌های نیمه کمی در تحقیقات فرسایش کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این رو با توجه به اینکه ترکیبی از GIS، RS و مدل CORINE، ارزیابی خطر فرسایش خاک و توزیع مکانی آن را با هزینه‌های مناسب و دقت بهتر در مناطق بزرگ فراهم می‌کند، سعی شده است در این مطالعه خطر فرسایش و توزیع مکانی آن در شمال



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان فارس

Figure (1): Location map of the study area in Iran and Fars province

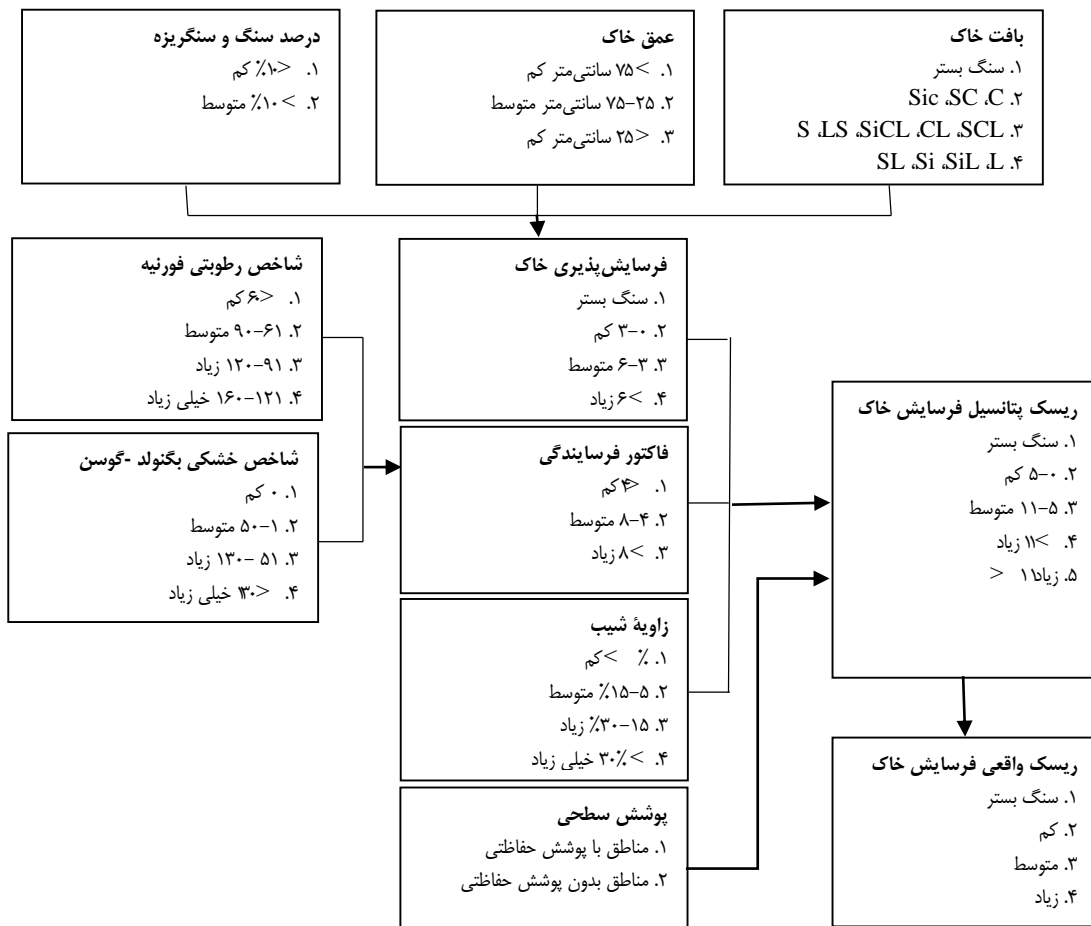
روش دوما رتن اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک است. چینه‌های موجود در آن بر اساس قدمت از سازند هرمز، زون کمپلکس، پابده-گورپی، کشکان، آسماری و رسوب‌های آبرفتی Q₄ تشکیل شده است.

ارتفاع حداقل، حداکثر و متوسط وزنی آن به ترتیب ۱۹۰۰، ۳۰۴۰ و ۲۳۳۷ متر از سطح دریا و شیب متوسط وزنی آن ۲۵/۶۷٪ است. متوسط بارندگی منطقه ۴۳۰ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه، برابر با ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس

– ارزیابی خطر فرسایش خاک با مدل CORINE

بگنولز-گوسن که از داده‌های هواشناسی محاسبه شده است، برای تشکیل لایه فرساینده استفاده می‌شود. مرحله سوم: کلاس‌های شیب از DEM منطقه مورد مطالعه تولید می‌شود. سپس لایه ریسک پتانسیل فرسایش خاک (PSER^۲) به وسیله هم‌پوشانی لایه‌های فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌گی و لایه‌های شیب ایجاد می‌شود. مرحله چهارم: لایه LULC^۳ مشتق شده از تصاویر لندست و لایه ریسک پتانسیل فرسایش خاک به منظور تهیه ریسک واقعی فرسایش خاک ترکیب می‌شوند (زوه، ۲۰۱۲). شکل (۲) نمودار جریان‌ی مورد استفاده در مدل کورین را نشان می‌دهد.

در این تحقیق برای تعیین خطر فرسایش از مدل کورین استفاده شد. شاخص‌های این مدل را (فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌گی، شیب و پوشش سطح) به‌عنوان پایگاه داده‌های ضروری برای ارزیابی ریسک واقعی فرسایش خاک (ASER^۱) در نظر می‌گیرند. پارامترها به‌صورت چهار شاخص جداگانه ارائه می‌شوند. این مدل شامل مراحل زیر است: مرحله اول: لایه‌های بافت خاک، عمق و درصد سنگ و سنگریزه نقشه فرسایش‌پذیری خاک را ایجاد می‌کنند. مرحله دوم: شاخص‌های فورنیر و شاخص خشکی



شکل (۲): نمودار جریان‌ی مدل ارزیابی فرسایش کورین (دنگیز و اکگل، ۲۰۰۴)

Figure (2): Flow diagram of the CORINE soil erosion assessment model (Dengiz and Akgul, 2004)

- 2. Potential Soil Erosion Risk
- 3. Land Use/Land Cover
- 4. Zhu
- 5. Dengiz and Akgul

- 1. Assessment Soil Erosion Risk

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه

Table (1): Characteristics of meteorological stations used in this study

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)
جمال بیگ	باران‌سنجی	۵۹۱۴۲۲	۳۳۸۶۵۸۱	۲۰۱۰	۴۵۶	۱۴/۵۵
دهکده سفید	باران‌سنجی	۵۹۸۰۸۹	۳۱۶۷۵۷۸	۲۱۸۱	۳۳۴	۱۱
منصور آباد	باران‌سنجی	۶۱۶۹۳۵/۱	۳۳۵۸۱۹۷	۱۶۹۰	۲۶۸	۱۳/۴
برغان	باران‌سنجی	۵۹۸۰۸۷	۳۳۴۲۴۶۷	۲۱۲۰	۵۲۱	۱۳
دشتک	باران‌سنجی	۶۴۱۱۱۴	۳۳۵۲۰۷۰	۲۰۴۶	۴۲۲	۱۲
سده	باران‌سنجی	۶۱۱۴۷۰	۳۳۹۹۱۴۱	۲۱۹۲	۴۱۵	۱۳/۴
چمریز	باران‌سنجی	۶۰۵۷۰۳	۳۳۷۰۹۰۲	۱۸۴۰	۳۸۶	۱۵
اقلید	سینوپتیک	۶۵۶۱۰۰	۳۴۱۹۶۶۲	۲۳۰۰	۳۱۵	۱۳
سپیدان	سینوپتیک	۵۹۷۱۷۹	۳۳۴۵۸۱۱	۲۲۰۱	۵۲۱	۱۴/۱۴
درودزن	سینوپتیک	۶۳۹۵۹۹	۳۳۳۹۹۸۹	۱۶۴۲	۴۲۴	۱۷/۵۵
تخت جمشید	سینوپتیک	۶۸۱۴۴۷	۳۳۱۳۶۲۳	۱۶۰۵	۲۹۶	۱۷/۴۶
سی سخت	سینوپتیک	۵۴۵۲۸۹	۳۴۱۱۲۳۷	۲۱۴۰	۵۰۸	۱۴
ایزدخواست	سینوپتیک	۶۰۷۲۶۷	۳۴۹۰۰۰۳	۲۱۸۸	۱۵۲	۱۳/۶۶
خرم‌بید	سینوپتیک	۶۹۹۷۶۸	۳۳۸۵۲۷۲	۲۲۵۱	۲۰۳	۱۱/۹۴
آباده	سینوپتیک	۶۵۸۸۱۵	۳۴۵۱۱۱۶	۲۰۳۰	۱۲۸	۱۴/۴
سمیرم	سینوپتیک	۵۵۶۷۲۲	۳۴۴۶۴۳۷	۲۲۳۷	۴۷۹	۱۳/۳
یاسوج	سینوپتیک	۵۵۸۴۳۵	۳۳۹۳۱۸۹	۱۸۱۶	۵۵۸	۱۴

جدول (۲): مشخصات پروفیل‌های خاک مورد استفاده در حوضه خارستان

Table (2): Characteristics of soil profiles used in Kharestan basin

شماره پروفیل	طول	عرض	عمق (سانتی‌متر)	سنگ و سنگریزه (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
۱	۵۸۷۶۰۳/۰۳	۳۳۸۹۶۰۰/۳۹	۱۱۰	۵	۸	۲۸	۶۴
۲	۵۸۳۹۵۵/۹	۳۳۸۹۶۶۳/۷۰۳	۸۵	۱۰	۳۴	۴۶	۲۰
۳	۵۸۱۳۳۳	۳۳۹۱۵۲۱/۵۶	۹۵	۱۰	۳۳	۳۶	۲۸
۴	۵۸۰۳۷۰/۴	۳۳۹۵۶۷۰/۵۱	۱۵	۳۰	۳۸	۴۴	۱۸
۵	۵۷۹۷۸۹/۴	۳۳۹۹۸۸۳/۸۸	۱۲	۷۰	۴۲	۴۰	۱۸
۶	۵۸۳۱۵۹/۴	۳۳۹۲۸۲۸/۵۶	۸۰	۳۰	۱۵	۴۴	۴۰
۷	۵۸۹۵۶۸/۱	۳۳۹۰۲۶۳/۰۸	۱۰۵	۱۵	۲۶	۳۴	۴۰
۸	۵۷۸۹۰۱/۵	۳۳۹۲۷۹۶/۵	۶۵	۲۵	۲۸	۳۶	۳۶
۹	۵۸۵۷۰۳/۵	۳۳۹۰۸۴۷/۳۶۸	۲۰	۷۰	۴۰	۴۴	۱۶
۱۰	۵۸۶۵۲۴/۳	۳۳۸۸۰۸۳/۱۰۸	۹۰	۴۵	۲۸	۵۲	۲۰
۱۱	۵۸۱۳۲۶/۱	۳۳۹۰۹۸۳/۵۵	۱۱۰	۵	۳۰	۳۸	۳۲
۱۲	۵۸۶۴۶۴/۶	۳۳۹۵۵۰۲/۲۸	۲۵	۷۰	۱۰	۲۴	۶۶

- فرسایش پذیری خاک

انتخاب شد. همه اطلاعات خاک‌شناسی مورد نیاز شامل عمق،

سنگ و سنگریزه و بافت خاک (رس، سیلت و شن) در نقاط مورد مطالعه از اداره منابع طبیعی و آب‌خیزداری کل استان

از عوامل مؤثر بر فرسایش خاک، خصوصیات خاک است. در همین راستا نقاطی که بیانگر ویژگی‌های کل منطقه باشند،

فارس تهیه شد. ویژگی‌های این نقاط در جدول (۲) مشخص شده است. در روش کورین، فرسایش‌پذیری خاک از اطلاعات بافت خاک، عمق خاک و درصد سنگریزه محاسبه می‌شود. بافت خاک در سه کلاس کمی فرسایش‌پذیر، نسبتاً فرسایش‌پذیر و بسیار فرسایش‌پذیر طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۲). به‌طور مشابه، عمق خاک نیز با در نظر گرفتن عمق پروفیل خاک در سه کلاس کمی فرسایش‌پذیر، خاک نسبتاً فرسایش‌پذیر و خاک‌های بسیار فرسایش‌پذیر طبقه‌بندی می‌شود. درصد سنگ و سنگریزه سطحی نیز در دو کلاس خاک‌های کاملاً محافظت‌شده (<0.1%) و خاک‌های کاملاً محافظت‌نشده (>0.1%) طبقه‌بندی می‌شوند. در نهایت فرسایش‌پذیری خاک از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (کاسموس و همکاران، ۲۰۰۳):

میزان قابل توجهی از تغییرپذیری بارندگی را نشان می‌دهد، تنش رطوبت را که به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی ممکن است فرسایش خاک را افزایش دهد، در نظر نمی‌گیرد. بر این اساس BGI به‌عنوان شاخص آب‌وهوایی دوم به‌منظور ارزیابی فرسایش در نظر گرفته شده است. شاخص خشکی به‌وسیله دو پارامتر اقلیمی، میانگین دمای ماهانه (t_i) و میانگین کل بارش ماهانه (P_i) و از رابطه (۳) به دست می‌آید (دنیز و اکگل، ۲۰۰۴):

$$BGI = \sum_{i=1}^{12} (2t_i - p_i) k_i \quad (3)$$

در معادله فوق، k_i نسبتی از ماه که $2t_i - p_i > 0$ باشد و از منحنی‌های آمبروترمیک به دست می‌آید. سرانجام شاخص فرسایش‌دهندگی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$R = MFI \times BGI \quad (4)$$

شاخص رطوبتی و خشکی با استفاده از داده‌های ۱۷ ایستگاه هواشناسی (جدول ۱) و روش درونیابی فاصله معکوس (IDW) در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 طبقه‌بندی شدند. سپس به‌منظور تهیه نقشه فرسایش‌دهندگی دولایه همپوشانی شده و فرسایش‌دهندگی در ۳ کلاس کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد.

توپوگرافی (شیب)

شیب یک عامل مهم در تولید جریان زمینی است و به‌دلیل تأثیر آن بر میزان رواناب و میزان نفوذ آب در خاک، تأثیر مهمی در کنترل میزان فرسایش دارد (دراگوت و ایسانک، ۲۰۱۲). فرسایش فقط زمانی اتفاق می‌افتد که شیب از یک زاویه بحرانی فراتر رود و با نبود پوشش گیاهی افزایش یابد؛ زیرا زاویه شیب سرعت جریان، سرعت رواناب و تنش برشی هیدرولیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحت بارندگی مشابه جریان سطحی در شیب‌های مختلف به‌شدت متفاوت و در نتیجه فرسایش نیز بسیار متفاوت است (وو و همکاران، ۲۰۱۷). برای این مطالعه، لایه شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از DEM (بارگیری شده از <http://srtm.datamirror.csdn.cn>) با وضوح ۳۰ متر تهیه شد.

$$K = S_T \times S_D \times S_S \quad (1)$$

که S_T بافت خاک، S_D عمق خاک و S_S درصد سنگ و سنگریزه است. لایه شاخص فرسایش‌پذیری خاک ناشی از همپوشانی سه لایه در کلاس‌های کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد. هنگامی که هیچ پوشش خاک (مانند مناطق مسکونی و محیط آبی) وجود ندارد، مقدار شاخص فرسایش‌پذیری برابر صفر است که نشان می‌دهد فرسایش در منطقه وجود ندارد (کورین، ۱۹۹۲).

- فرسایش‌دهندگی یا فرسایش‌دهندگی

در این مدل، فرسایش‌دهندگی از ترکیب دو شاخص اقلیمی به دست می‌آید. شاخص رطوبتی فورنیه (MFI) و شاخص خشکی گوسن بگنولد (BGI) برای برآورد فرسایش‌دهندگی ترکیب می‌شوند. شاخص رطوبتی فورنیه به‌وسیله دو پارامتر کل بارش ماهانه (P_i) و میانگین کل بارش سالانه (\bar{P}) محاسبه می‌شود. با توجه به پارامترهای ذکر شده و رابطه (۲) شاخص MFI برآورد می‌شود (دنیز و اکگل، ۲۰۰۴):

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{\bar{P}} \quad (2)$$

در مدل کورین، MFI در پنج طبقه شامل بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شود. اگرچه MFI

با پوشش کاملاً حفاظت شده (مانند جنگل‌های متراکم، مراتع و بوته‌زارها با تراکم زیاد، اراضی مسکونی و شهری، سطوح آبی و دریاچه‌ها) و مناطق بدون پوشش حفاظتی (مانند اراضی کشاورزی، مناطق بدون پوشش، مراتع کم‌تراکم، جنگل‌های کم‌تراکم، اراضی شور و ماندابی) طبقه‌بندی شد.

– ریسک پتانسیل و واقعی فرسایش

ریسک پتانسیل (PSER) بدون توجه به استفاده فعلی از زمین یا پوشش گیاهی، به عنوان ریسک بالقوه فرسایش تعریف شده و بدترین وضعیت ممکن را نشان می‌دهد. ریسک واقعی فرسایش (ASER) تأثیر حفاظتی پوشش فعلی زمین و خطرات ناشی از تغییرات در کاربری اراضی را منعکس می‌کند (کورین، ۱۹۹۲).

در این مرحله، لایه‌های توپوگرافی، فرسایش‌دهندگی و فرسایش‌پذیری همپوشانی شده تا نقشه ریسک پتانسیل فرسایش تشکیل شود. به منظور محاسبه ریسک پتانسیل فرسایش از رابطه (۵) استفاده می‌شود (یوکسل و همکاران، ۲۰۰۸):

$$E_p = K \times R \times S \quad (5)$$

در معادله فوق، E_p ریسک پتانسیل فرسایش، K فرسایش‌پذیری و R فرسایش‌دهندگی باران است. در نهایت لایه پتانسیل خطر فرسایش و لایه پوشش گیاهی همپوشانی شده و نقشه خطر واقعی فرسایش را تشکیل می‌دهند. ترکیب ریاضی داده‌ها در محیط ArcGIS به صورت تلفیق لایه‌ها انجام می‌شود؛ به طوری که هر فاکتور پس از تهیه به صورت ساختار رستری با لایه و فاکتور دیگر ضرب می‌شود.

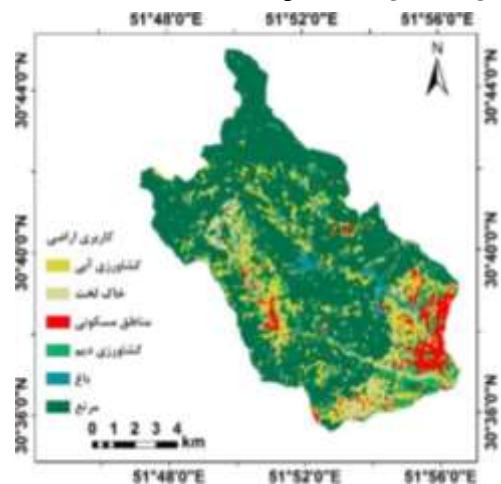
نتایج

نتایج نشان می‌دهد ۵ نوع بافت Silty clay, clay loamy, silty loamy, sandy loamy و loamy در منطقه خارستان وجود دارد که در کلاس‌های بافت خاک با قابلیت فرسایش کم (کلاس ۱)، متوسط (کلاس ۲) و زیاد (کلاس ۳) مشاهده شد. ۷۵/۲۸٪ از منطقه مورد مطالعه خاک سیلتی رسی (۱۴/۳۶٪)، رسی لومی و سیلتی رسی لومی (۶۰٪) و همچنین ۷۱/۲۴٪ از منطقه را بافت ماسه‌لومی و لومی شامل شد (جدول ۳). عمق خاک در منطقه در ۳ کلاس کم، متوسط و زیاد مشاهده شد. بر این اساس، عمق بیشتر از ۷۵ سانتی‌متر

در این روش، شیب در ۴ کلاس خیلی ملایم و صاف (>۵٪)، ملایم (۵-۱۵٪)، شیب‌دار (۲۰-۳۰٪) و خیلی شیب‌دار (<۳۰٪) طبقه‌بندی شد.

پوشش گیاهی

پوشش گیاهی متغیر کنترل فعالیت فرسایش خاک است که بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده؛ لذا یکی از اجزای مهم هر مدل پیش‌بینی‌کننده است (تریمل، ۱۹۹۰). بنابراین، داده‌های پوشش زمین و کاربری اراضی در مدل‌های فرسایش خاک بسیار مهم است. در این تحقیق، داده‌های لندست ۷ (مسیر/ ردیف: ۱۶۳/۳۹) به دست آمده در ۲۶ جولای ۲۰۱۷ استفاده شد. در مرحله پیش‌پردازش، اقدام به کالیبراسیون رادیانس و تصحیح اتمسفری تصاویر اخذ شده با هدف حذف خطاهای ناشی از سنجنده و اتمسفر در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 شد. به منظور تشخیص هرچه بهتر عوارض، با استفاده از سه روش ترکیب رنگی، بسط کنتراست و نسبت‌گیری طیفی، تصاویر آشکارسازی شدند (پنگ و همکاران، ۲۰۱۷). پس از آشکارسازی تصاویر اقدام به طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش نظارت‌شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال (Maximom likhoold) شد. در منطقه خارستان، ۶ نوع کاربری مرتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، باغ، خاک بایر و مسکونی شناسایی شد (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه کاربری اراضی در منطقه خارستان

Figure (3): Land use map in Kharestan region

نقشه پوشش سطحی در مدل کورین در دو کلاس مناطق

1. Trimble
2. Peng

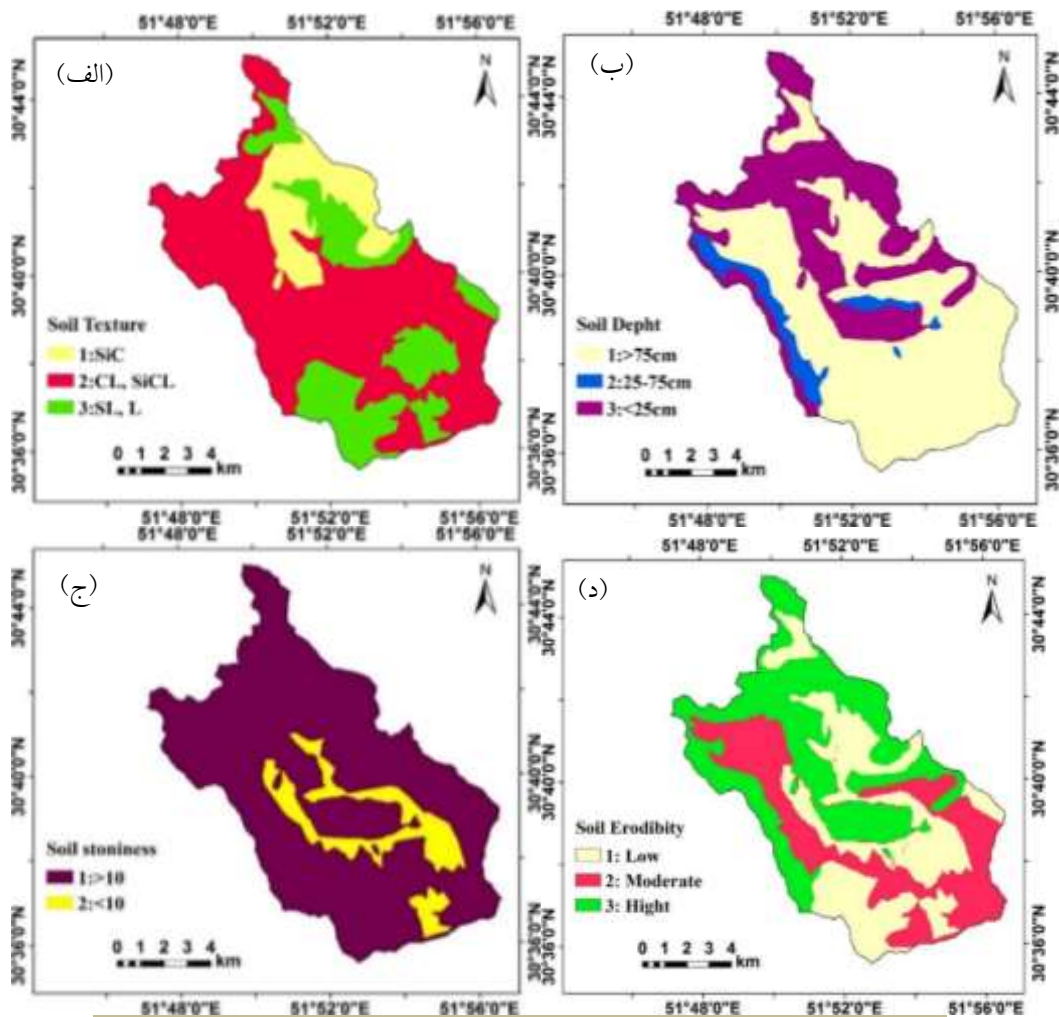
به‌عنوان تابعی از بافت، درصد سنگ و سنگریزه و عمق خاک، از تلفیق این سه نقشه حاصل شد. نتایج حاصل از بررسی فاکتور فوق نشان داد ۳۲/۲۶، ۲۸/۴۸ و ۳۹/۲۴٪ از منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب در کلاس فرسایش‌پذیری کم، متوسط و زیاد واقع شده است. در مجموع حدود ۶۸٪ از منطقه مورد مطالعه با قابلیت فرسایش‌پذیری روبه‌روست (شکل ۴).

۶۰٪/۵۴، عمق خاک بین ۲۵-۷۵ سانتی‌متر ۵/۹۲ و عمق کمتر از ۲۵ سانتی‌متر ۳۳/۵۳٪ منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. درصد سنگ و سنگریزه در اکثر بخش‌ها بیشتر از ۱۰٪ (در اراضی کوهستانی و کوهپایه‌ای) بود. در ۸۸/۴۲٪ از منطقه سنگریزه بیشتر از ۱۰٪ و ۱۱/۵۸٪ منطقه سنگریزه کمتر از ۱۰٪ مشاهده شد (دشت‌ها و تپه‌ها). عامل فرسایش‌پذیری خاک

جدول (۳): توزیع بافت، عمق، سنگ و سنگریزه و فرسایش‌پذیری در منطقه مورد مطالعه

Table (3): Spatial distribution of soil texture, depth, stoniness and erodibility in the study area

فرسایش‌پذیری		سنگ و سنگریزه		عمق		بافت	
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)
۳۲/۲۶۷	۳۰۷۴	۱	۸۸/۴۲	۱۰۸۸۳/۱۸	۱	۶۰/۵۴	۷۶۳۱/۶۴۶
۲۸/۴۸۸	۷۶۹۷/۴۰۴	۲	۱۱/۵۸	۱۴۲۵/۳۶۵	۲	۵/۹۲	۵۵۵/۵۳۷۸
۳۹/۲۴۴	۱۵۴۱/۷۰۳	۳			۳	۳۳/۵۳۳	۳۱۲۱/۳۶۴
۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵	۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵			۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵



شکل (۴): نقشه شاخص‌های بافت (الف)، عمق (ب) سنگ و سنگریزه خاک (ج) و فرسایش‌پذیری خاک

Figure (4): Soil maps for (a) Soil texture, (b) Depth, (c) Stoniness and (d) Soil erodibility

گوسن نیز در دو کلاس طبقه‌بندی شد که بیشترین سطح منطقه مورد مطالعه در کلاس ۳ مشاهده شد که نشان‌دهنده خشک بودن منطقه است. نتایج نشان داد که ۶۰/۴۷٪ منطقه در کلاس فرساینده‌گی متوسط و ۳۹/۵۲۵٪ منطقه در کلاس فرساینده‌گی کم واقع شده است. در شکل (۵)، نقشه‌های فرساینده‌گی باران و شیب منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

شاخص فرساینده‌گی باران، خود تابعی از ضریب رطوبت و خشکی است که از ترکیب ریاضی شاخص‌های رطوبتی فورنیه و خشکی بگنولز-گوسن تهیه شد. با توجه به مقادیر باران و دمای ایستگاه‌های هواشناسی منطقه شاخص فورنیه در ۲ کلاس طبقه‌بندی شد. بر اساس جدول (۴) بیشترین سطح منطقه مورد مطالعه در کلاس ۳ مشاهده شد که نشان‌دهنده بارندگی متوسط بود. علاوه بر این، شاخص خشکی بگنولز-

جدول (۴): توزیع شاخص‌های فورنیه، بگنولز-گوسن، فرساینده‌گی و شیب در منطقه مورد مطالعه

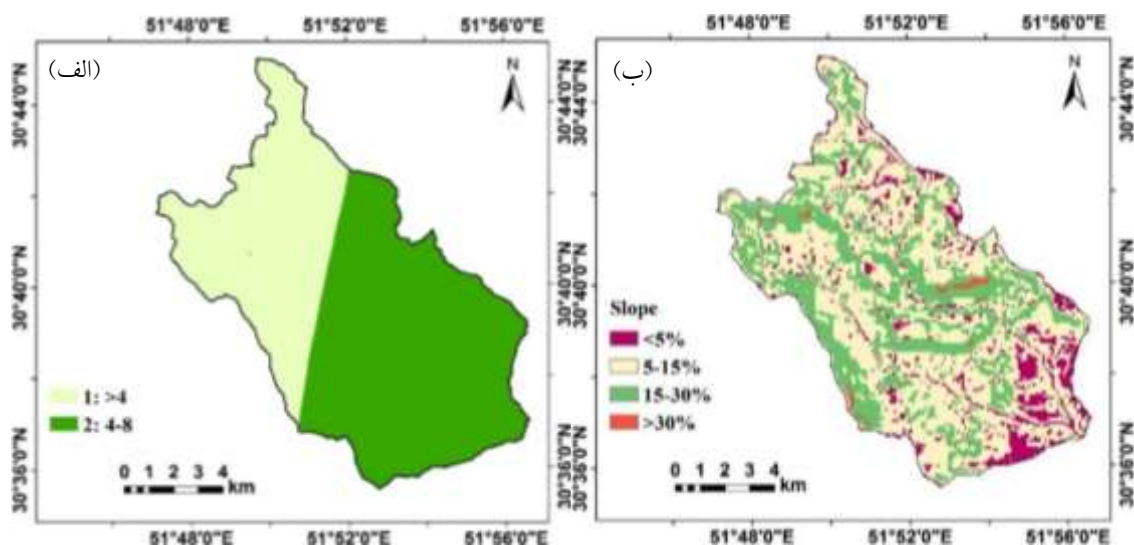
Table (4): Spatial distribution of modified Fournier index, Bagnouls-Gausson aridity index, erosivity and in the study area

شیب		فرساینده‌گی		شاخص بگنولز-گوسن		شاخص فورنیه	
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)
۱۱/۲۱۴	۱۳۸۰/۳۵۱	۱	۳۹/۵۲۵	۱	۴۸۶۹/۱۵۴	۲	۴۵/۴۸ ۵۵۹۷/۷۶۳
۵۷/۱۷	۷۰۳۷/۱۳۴	۲	۶۰/۴۷۵	۲	۷۴۵۰/۰۱	۳	۵۴/۵۲ ۶۷۱۰/۶۸۴
۳۰/۸۸۴	۳۸۰۱/۳۶۴	۳					
۰/۷۲۸	۸۹/۶۹۷۹	۴					
۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵	۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵	۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵	۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵

جدول (۵): توزیع فراوانی کلاس‌های ریسک پتانسیل فرسایش خاک و پوشش سطحی

Table (5): Frequency distribution of potential soil erosion risks and land cover

ریسک پتانسیل فرسایش			پوشش زمین		
درصد	مساحت (هکتار)	کلاس	درصد	مساحت (هکتار)	کلاس
۲۹/۱۲	۳۵۸۲/۴۲	۱	۸/۷۱	۱۰۷۲/۰۳۷	۱
۲۹/۸۰	۳۶۶۵/۹۴	۲	۹۱/۲۹	۱۱۲۳۸/۵۱	۲
۴۱/۰۷	۵۰۵۱/۶۴	۳			
۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵		۱۰۰	۱۲۳۰۸/۵۵	مجموع



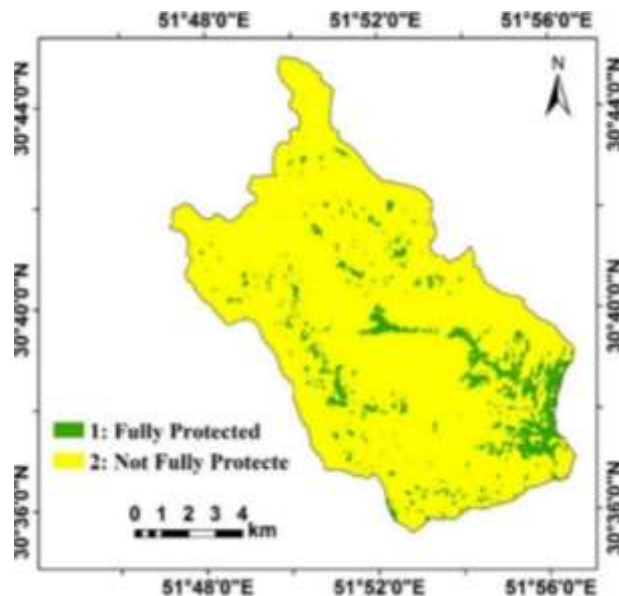
شکل (۵): نقشه فرساینده‌گی باران؛ درصد شیب در منطقه مورد مطالعه (ب)

Figure (5): Generated maps of (a) Soil erosivity and (b) Slope in study area

تعیین ریسک پتانسیل فرسایش

فرسایش پذیری، فرساینده‌گی و کلاس شیب، بیشترین سطح اراضی منطقه از نظر ریسک پتانسیل در کلاس متوسط تا زیاد (۷۰٪/۸۱) قرار گرفته است. مشخص شد که به دلیل تأثیر شیب در فرسایش، کلاس ریسک کم در بخش‌های مرکزی، جنوب و شرقی منطقه مشاهده شد (به دلیل شیب کم). در حالی که کلاس ریسک پتانسیل متوسط در بخش‌های جنوب و شمال و ریسک پتانسیل فرسایش زیاد در جنوب شرق، غرب و شمال غربی توزیع شده‌اند که در این مناطق شیب شامل کلاس شیب متوسط تا زیاد است (شکل ۷ الف).

ریسک پتانسیل فرسایش از ترکیب فرسایش پذیری خاک، فرساینده‌گی و عامل توپوگرافی حاصل شد. با توجه به تأثیر شیب در فرسایش، شیب‌های $> 5\%$ ، $15-5\%$ ، $30-15\%$ و $< 30\%$ به ترتیب ۱۱/۱۷، ۵۷/۱۷، ۳۰/۸۸ و ۰/۷۲۸ منطقه خارستان را به خود اختصاص داده‌اند. بیشتر مساحت (۶۸/۳۸٪) منطقه مورد مطالعه در کلاس کمتر از ۱۵٪ واقع شده است. از نظر ریسک پتانسیل فرسایش، ۲۹/۱۲۵٪ از منطقه مورد مطالعه در کلاس کم، ۲۹/۸٪ کلاس متوسط و ۴۱/۰۷٪ در کلاس زیاد واقع شده است (جدول ۵). با توجه به تأثیر فاکتورهای



شکل (۶): نقشه پوشش سطح زمین در منطقه خارستان

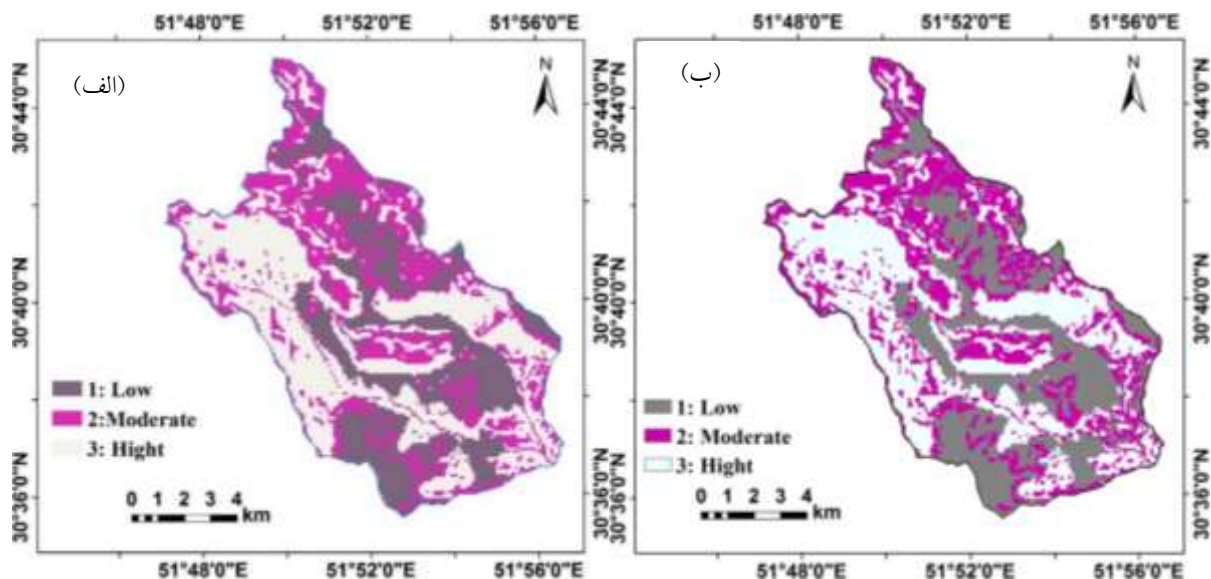
Figure (6): Potential soil erosion risk map (a) and Land cover (b) in Kharestan region

تعیین خطر واقعی فرسایش

شده است، در حالی که ۳۱/۱۱٪ و ۳۷/۷۸٪ از منطقه، به ترتیب در کلاس‌های متوسط و زیاد را نشان داد. مناطق با خطر واقعی فرسایش کم در بخش جنوبی، مرکزی و شرقی منطقه و مناطق با خطر واقعی زیاد جنوب شرق، غرب و شمال غربی منطقه واقع شده است.

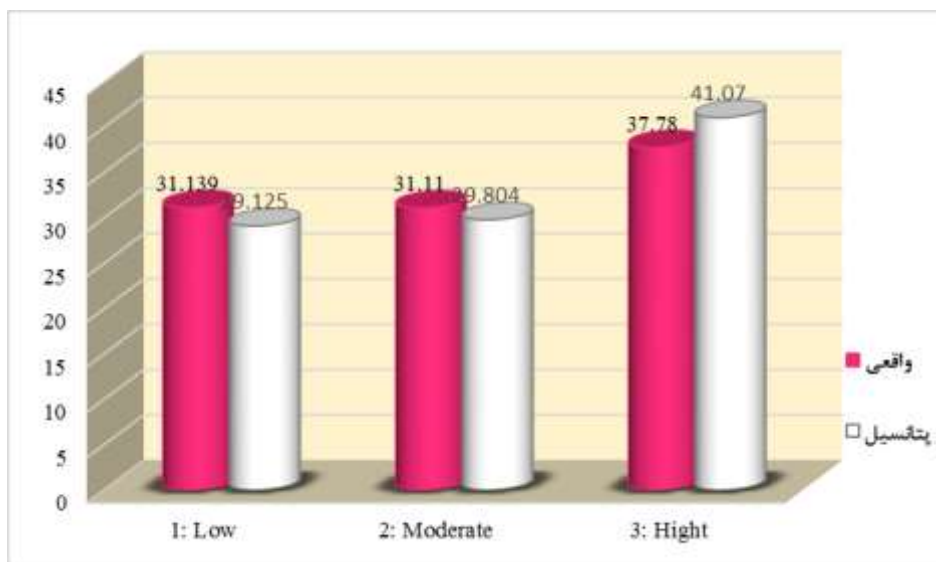
نتایج نشان داد ریسک واقعی نسبت به ریسک پتانسیل فرسایش در کلاس ۳ کاهش و در کلاس ۲ و ۱ افزایش داشته است. مناطق با ریسک فرسایش زیاد در نقشه خطر بالقوه فرسایش ۴۱/۰۷٪ بوده که به ۳۷/۷۸٪ در خطر واقعی فرسایش بعد از همپوشانی با لایه پوشش گیاهی کاهش داشته است (شکل ۸).

نقشه خطر واقعی از همپوشانی نقشه ریسک پتانسیل فرسایش و پوشش زمین به دست آمد (شکل ۷ ب). تصاویر انتخاب شده به منظور طبقه‌بندی نظارت شده دارای دقت کلی و ضریب کاپای ۹۹/۹ و ۹۶/۴٪ بود. در منطقه مورد مطالعه، مناطق مسکونی و اراضی باغی به عنوان مناطق کاملاً حفاظت شده طبقه‌بندی شد، در حالی که اراضی کشاورز، بایر و مراتع به عنوان مناطق کاملاً حفاظت نشده بود (شکل ۶). بدین ترتیب پوشش مناطق کاملاً حفاظت شده که ۸/۷۱٪ کل منطقه را تشکیل می‌دهد، می‌تواند فرسایش خاک را به طور مؤثر کاهش دهد (جدول ۳). با توجه به شکل (۷)، ۳۱/۱۴٪ منطقه مورد مطالعه در کلاس کم واقع



شکل (۷): نقشه خطر پتانسیل (الف) و واقعی فرسایش (ب) در منطقه مورد مطالعه

Figure (7): The potential erosion risk map (a) and actual erosion risk map (b) of the study area



شکل (۸): توزیع کلاس‌های خطر پتانسیل و واقعی فرسایش در منطقه مورد مطالعه

Figure (8): Class distribution Potential soil erosion risk (PSER) and actual soil erosion risk (ASER) areas

بحث و نتیجه گیری

بالتر، فرسایش زیاد حاصل می‌شود (کورین، ۱۹۹۲). شکل (۸) و (۹) نشان می‌دهد که در واقع منطقه مورد مطالعه از نظر خطر فرسایش در وضعیت متوسط تا زیاد قرار دارد. در مطالعات مشابه، طیبی و همکاران (۲۰۱۶) و گوریباو و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند بیشترین سطح از منطقه مورد مطالعه آن‌ها در وضعیت متوسط تا زیاد واقع شده است. مناطق با خطر واقعی متوسط و زیاد در بخش‌های شمال، جنوب شرق، غرب و شمال غربی منطقه واقع شده است؛ جایی که باید شیوه‌های حفاظتی آب و خاک متمرکز شوند (زو و همکاران، ۲۰۱۲).

فرسایش پذیری خاک به پایداری ساختمان خاک در برابر جدا شدن ذرات از طریق رواناب یا باران بستگی دارد (آیدین و همکاران، ۲۰۱۰). خاک‌هایی که دارای بافت متوسط و ریز هستند، میزان نفوذپذیری کمی دارند؛ بنابراین وقتی در معرض سرعت بالای رواناب آب قرار می‌گیرند، کمتر منتقل می‌شوند (فوستر و همکاران، ۱۹۸۵). در خاک‌های کم عمق به دلیل پایین آمدن ظرفیت نگه داشتن آب و افزایش سطح زمین

پتانسیل و واقعی فرسایش و میزان توزیع آن‌ها برخوردار است. خصوصیات خاک نظیر بافت، عمق و درصد سنگریزه نقش مهمی در فرسایش‌پذیری داشته به طوری که ۶۸٪ منطقه در وضعیت فرسایش‌پذیری متوسط تا زیاد واقع شده بود. از سوی دیگر کاربرد فاکتورهای اقلیمی نیز نشان‌دهنده ۶۱٪ فرسایش‌پذیری باران بود. شیب به‌عنوان یک عامل مؤثر بر فرسایش نقش مهمی داشته، به طوری که در مناطق با شیب زیاد خطر فرسایش افزایش داشت. در منطقه مورد مطالعه خطر پتانسیل و واقعی به ترتیب ۷۰/۸۱ و ۶۸/۸۹٪ در کلاس متوسط تا زیاد است.

خطر واقعی فرسایش بعد از همپوشانی با لایه پوشش زمین از ۱/۰۷ به ۳۷/۷۸٪ کاهش داشته که بیانگر اهمیت پوشش گیاهی بر فرسایش است. این مدل نقشه خطر فرسایش را برای تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی و حفاظت‌های زیست‌محیطی فراهم می‌کند. علاوه بر این، این مدل می‌تواند مناطقی با خطر فرسایش در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد تا آن‌ها به‌طور کلی بتوانند برنامه‌های حفاظت از خاک و آب را تهیه کنند و تحقیقات مربوط به فرسایش را برای مناطقی که دارای خطر فرسایش بالایی هستند ایجاد کند. توزیع مکانی فرسایش خاک می‌تواند زمینه‌ای برای مدیریت جامع و استفاده پایدار از اراضی در منطقه مورد مطالعه فراهم کند. این مطالعه نشان می‌دهد که مدل کورین در تلفیق با تکنیک‌های سنجش از دور و GIS از پتانسیل بالایی برای تولید اطلاعات مفید و کم‌هزینه خطر فرسایش در ایران با داده‌ها و زمان نسبتاً کم برخوردار است.

مناطقى که با خطر پتانسیل زیاد شناخته‌اند، در خطر واقعی فرسایش کاهش داشتند که این تفاوت بین خطر پتانسیل و واقعی فرسایش تأثیر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک را نشان می‌دهد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین حفاظت و احیای پوشش گیاهی در منطقه خارستان از اهمیت زیادی برای حفظ آب و منابع آبی برخوردار است. در بخش‌های جنوبی، مرکزی و شرقی شیب عموماً آرام و عمق خاک کم است اما با توجه به کوهستانی بودن منطقه و همچنین دخالت اندک فعالیت‌های انسانی، خطر فرسایش در این قسمت‌ها در کلاس کم واقع شده است.

استفاده از مدل کورین به‌دلیل کاربرد فاکتورهای فرسایش‌پذیری، فرسایش‌پذیری، شیب و پوشش سطحی زمین در تهیه نقشه خطر پتانسیل و واقعی فرسایش به‌خوبی توانست کلاس‌های مختلف فرسایش را در منطقه خارستان نشان دهد؛ به طوری که زو (۲۰۱۲) و السیاح و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعات خود اهمیت کاربرد مدل فوق را در ارزیابی خطر فرسایش خاک را بیان کردند. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق کاربرد مدل کورین در اراضی منابع طبیعی را تأیید می‌کند که با مطالعات اکبری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. برای نتیجه‌گیری می‌توان بیان داشت که:

در این مطالعه به‌دلیل سادگی پارامترها و ساختار مدل، برای ارزیابی خطر فرسایش در منطقه خارستان از مدل کورین در محیط GIS استفاده شد. مدل کورین با توجه به بررسی فرسایش‌پذیری خاک و فرسایش‌پذیری باران به‌عنوان عوامل محیطی مؤثر بر فرسایش از توانایی بالایی برای ارزیابی خطر

منابع

1. Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H. R., Sadoddin, A. and Khosravi, H., 2016. Soil Erosion Risk Assessment Using the CORINE Model (Case Study: Semi-Arid Region in Golestan Province). *Desert Ecosystem Engineering Journal* 5(12), 63-78.
2. Al Sayah, M.J., Nedjai, R., Kaffas, k., Chadi Abdallah, C. and Hourri, M., 2019. Assessing the Impact of Man-Made Ponds on Soil Erosion and Sediment Transport in Limnological Basins. *Water* 11, 2526; doi: 10.3390/w11122526.
3. Alexakis, D.D., Hadjimitsis, D.G. and Agapiou, A., 2013. Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus. *Atmos. Res.* doi: 10.1016/j.atmosres.2013.02.013. 37.
4. Ananda, J. and Herath, G., 2003. Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *J Environ Manage* 68, 343-353.
5. Aydın, A. and Tecimen, H.S., 2010. Temporal soil erosion risk evaluation: a CORINE methodology application at Elmalı dam watershed, Istanbul. *Environ Earth Sci* 61, 1457-1465.

6. Bargiel, D., Herrmann, S. and Jadczyzyn, J. 2013. Using high-resolution radar images to determine vegetation cover for soil erosion assessments. *J. Environ. Manag.* 124, 82–90.
7. Cilek, A., Berberoglu, S., Kirkby, M., Irvine, B., Donmez, C. and Erdogan, M.A., 2015. Erosion modelling in a Mediterranean subcatchment under climate change scenarios using Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA). *ISPRS - Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-7/W3*: 359–365.
8. CORINE, 1992. CORINE: soil erosion risk and important land resources in the Southeastern regions of the European community. EUR 13233, Luxembourg, Belgium, pp. 32–48.
9. Denguz, O. and Akgul, S., 2004. Soil Erosion Risk Assessment of the Golbasi Environmental Protection Area and Its Vicinity Using the CORINE Model, *Turk. J. Agric* 29, 439-448.
10. Drăguț, L. and Eisank, C., 2012. Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology*, 141-142, 21–33
11. Dwivedi, R.S., Ravi Sankar, T., Venkataratnam, L., Karale, R.L., Gawande, S.P., Seshagiri Rao, K.V., Senchaudhary, S., Bhaumik, K.R. and Mukharjee, K.K., 1997. The inventory and monitoring of eroded lands using remote sensing data. *Int. J. Remote Sens* 1, 107–119.
12. Edosomwan, N. L., Obazuaye, E. and Uwa Edosomwan, E., 2013. Impacts of dam on characteristics of tropical rainforest soils and sediments in south central Nigeria. *Indian J. Agric. Res* 47(1), 73-77.
13. El-Nady, M.A. and Shoman, M.M., 2017. Assessment of Soil Erosion Risk in The Basin of Wadi Maged in Northern West Coast of Egypt Using CORINE Model and GIS Techniques. *Egypt. J. Soil Sci* 57(1), 31 – 45.
14. Entezari, M. and Heaydari, H., 2013. Comparison of SLEMSA and KORINE models in soil erosion assessment (Case study: Tang-e-Sorkh, Shiraz). *The Journal of Spatial Planning*, 18(3). 1-28.
15. Eroglu, H., Cakir, G., Sivrikaya, F. and Akay, A. E., 2010. Using high resolution images and elevation data in classifying erosion risks of bare soil areas in the Hatila Valley Natural Protected Area, Turkey. *Stoch Environ Res Risk Assess* 24, 699–704.
16. Everest, T. and Özcan, H., 2017. Determination of soil erosion risk of Dümrek basin downstream with CORINE methodology. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 5(1), 39-47.
17. Foster, G.R., Young, R.A., Ronkens, M.J.M. and Onstad, C.A., 1985. Processes of soil erosion by water. In: Follett FR, Stewart BA (eds) *Soil erosion and crop productivity*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, pp. 137–162.
18. Gurebiyaw, K., Kendie Addis, H. and Teklay, A., 2018. Assessment of Spatial Soil Erosion Susceptibility Based on the CORINE Model in the Gumara-Maksegnit Watershed, Ethiopia. *Journal of natural resources and development* 8, 38-45.
19. Hassan, M.F., Ahmed, A.S., Imad-eldin, A.A. and Shinobu L., 1999. Use of remote sensing to map gully erosion along the Atbara River, Sudan. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf* 3–4, 175–180. 8.
20. Ibraheem A., Yousif, H., el dine, E., Tealab1, M.A., Abdel Hady, A.A. and Aldabaa, A.A., 2020. Spatial soil erosion risk assessment using CORINE Model: A case study in wadl el raml. *Plant Archives* 20(1), 705-714.
21. Jakhhar, P., Barman, D., Home Gowda, C.H. and Madhu, M., 2012. Multitier cropping system for profitable resource conservation and sustainable management of sloping lands of eastern India. *Indian J. Agric. Res*, 46 (4), 309 – 316.
22. King, C., Baghdadi, N., Lecomte, V. and Cerdan, O., 2005. The application of remote-sensing data to monitoring and modelling of soil erosion. *Catena* 2, 79–93.
23. Kosmas, C., Tsara, N., Moustakas, N. and Karavitis. C., 2003. Identification of indicators for desertification. *Ann. Arid Zone* 42, 393-416.
24. Lakkad, A. P., Patel, G. R., Sondarva, K.N. and Shrivastava, P.K., 2018. Estimation of sediment delivery ratio at subwatershed level using revised and modified USLE. *Agric. Sci. Digest* 38 (1), 11-16.
25. Lu, D., Li, G., Valladares, G.S. and Batistella, M., 2004. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RULSE, remote sensing and GIS. *Land Degrad Dev* 15, 499–512.
26. Nikkami, D., Shabani, M. and Ahmadi, H., 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. *J Appl Sci* 9(2):287–295.
27. Omuto, C. T. and Vargas, R.R., 2009. Combining pedometrics, remote sensing and field observations for assessing soil loss in challenging drylands: a case study of northwestern Somalia. *Land Degrad Dev*, 20, 101–115.
28. Ozsoy, G., Aksoy, E., Dirim, M.S. and Tumsavas, Z., 2012. Determination of soil erosion risk in the Mustafakemalpaşa river basin, Turkey, using the revised universal soil loss equation, geographic information system, and remote sensing. *Environ. Manag* 4, 679–694.
29. Panagos, P., Karydas, C.G., Gitas, I.Z. and Montanarella, L., 2012. Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: A case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service. *Int. J. Dig. Earth* 6, 461–487. 34.
30. Pandey, A., Chowdary, V.M. and Mal, B.C., 2007. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resour. Manag.* 21, 729–746. 36.
31. Peng, W., Zhou, J., Wen, L., Xue, S.H. and Dong,

- L., 2017. Land surface temperature and its impact factors in Western Sichuan Plateau, China. *Geocarto International*, 32(8): 919-934.
32. Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J. and Buchroithner, M.F., 2012. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: A case study at Penang Island, Malaysia. *Environ. Monit. Assess* 2, 715-727.
33. Rastegarlar, A., Urmia, A. and Kayhanfard, M., 1998. Zoning of Erosion Risk and Estimation of Sedimentation in Dorodzan Dam Basin, 3rd Conference of Iranian Geological Society, Shiraz.
34. Rohani, M. R., Rangavar, A., Javadi, M. R. and Ziyae, A., 2013. A new mathematical mode for estimation of soil erosion, *Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci* 5 (4), 491-497.
35. Sadegh Kamali, K., Moeini, A. and Ahmadi, H., 2018. Investigating the Efficiency of the Corine Model for Estimating Soil Erosion (Case Study: Parwan Watershed). 13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran and the Third National Conference on the Protection of Natural Resources and the Environment. 10 and 11 October 2018 Mohaghegh Ardabili University.
36. Shabani, M., 2010. The role of optimal land use management in reducing soil erosion and increasing the profitability of watersheds (Case study: Kharestan Fars watershed). National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Natural Disaster Management). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
37. Tayebi, M., Tayebi, M. and Sameni, A., 2016. Soil erosion risk assessment using GIS and CORINE model: A case study from Western Shiraz, Iran, *Archives of Agronomy and Soil Science* 63(8), 1163-1175.
38. Trimble, S.W., 1990. Geomorphic effects of vegetation cover and management: some time and space considerations in prediction of erosion and sediment yield. In: Thornes JB (ed) *Vegetation and erosion*. John Wiley & Sons, Chichester, New York.
39. Vrieling, A., 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 1, 2-18.
40. Wu, S., Yu, M. and Chen, L. 2017. Nonmonotonic and spatial-temporal dynamic slope effects on soil erosion during rainfall-runoff processes. *Water Resources Research*, 53(2), 1369-1389.
41. Yuksel, A., Gundogan, R. E. and Akay, A., 2008. Using the Remote Sensing and GIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaraş, Turkey. *Sensors* 8, 4851-4865.
42. Zhu, M., 2012. Soil erosion risk assessment with CORINE model: case study in the Danjiangkou Reservoir region, China, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 26 (6), 813-822.

Soil Erosion Risk Assessment Using CORINE Model in Kharestan Watershed, Fars Province

Farideh Taripannah¹, Abolfazl Ranjbar Fordoei^{2*}, Abbasali Vali³, Marzieh Mokarram⁴

Received: 26/05/2020

Accepted: 10/02/2021

Extended Abstract

Introduction: Soil erosion is the most important factor in damaging and decreasing the productivity of agricultural soils. Moreover, as the transfer of sediments rich in nutrients through the soil leads to soil erosion and in turn to the decrease in the dams' reservoirs' storage capacity, bringing about adverse economic and environmental consequences such as damage to land resources and decrease in land productivity, soil erosion is regarded as a serious problem in the world. Therefore, estimation of the soil erosion risk is necessary for preserving agricultural lands and achieving sustainable management of watersheds.

Materials and Methods: This study investigated the potential and actual erosion risk in Kharestan region, using CIRINE model together with GIS and RS. The parameters are presented as four separate indices. The model consists of the following steps. First, soil texture, depth, and the percentage of stones and pebbles determine the soil's erodibility map. Second, Fournier and Bagnouls-Gaussen aridity indices which are calculated based on

1. Ph.D. graduate of Desertification Combating, Desert Control and Management Department, University of Kashan

2. Professor at Desert Management Department, University of Kashan; aranjbar@kashanu.ac.ir

3. Associate Professor at Desert Management Department, University of Kashan

4. Associate Professor at Range and Watershed Management Department, Darab Compass, Shiraz University

DOI: 10.22052/deej.2020.9.29.41

meteorological data would be used to form the erosivity layer. Third, slope classes would be identified according to the DEM of the study area, and then the potential soil erosion risk (PSER) layer is produced through the overlaying of soil erodibility, erosivity, and slope layers. Fourth, the LULC layer is formed based on the Landsat ETM7 images. Finally, the LULC and the PSER layers are combined to identify the actual soil erosion risk (ASER).

Results: The study's findings indicated that there existed 5 types of soil textures in Kharestan region, including Silty clay, clay lomy, silty clay lomy, sandy lomy, and lomy. It was also found that 75.28% of the study area included clay silty (14.36%), clay loamy and silty loamy clay (60%), and 24.71% of the region comprised of sandy loam and loamy texture. Moreover, three classes were observed for the soil depth of the area, including over 75 cm (60.54%), 25-75 cm (5.92), and below 25 cm (33.53). The findings also indicated that 88.42% of the area was covered with over 10% pebbles, while the rest of the area comprised of below 10% pebbles (plains and hills). In terms of erodibility as a function of soil texture, depth, and percentage of pebbles, 39.24% of the study area was covered by highly erodible soils, while 32.26% of the area was covered by low and 28.48% of it was covered by moderately erodible soil, respectively. In total, about 68% of the study area was erodible. The Modified Fournier Index (MFI) was classified in two classes, the highest value of which was observed in the study area's class 3, indicating a moderate rainfall. In addition, the Bagnouls-Gaussens Aridity index (BGI) was classified into two classes, with its highest value found in Class 3, suggesting the dryness of the area. Comprised of *MFI* and *BGI*, soil erosivity index showed that 60.47% of the region had been located in medium erosivity class and 39.55% of the area had been located in low erosivity class. In terms of potential soil erosion risk, 29.125% of the study area was located in low class, 29.8% in moderate class, and 41.7% in high class. The slope map extracted from the study areas' DEM showed that 68.38 % of the area was located at slope class of below 15% and 31.62 % of the area was located at slope class of over 15%. The actual soil erosion risk was extracted from the overlap of the potential soil erosion risk and vegetation. Surface vegetation was classified into fully protected (8.71%) and unprotected areas (91.69%). The outcome was a map depicting non-erosion, and, low, moderate, and high actual soil erosion risk in the study area. In terms of actual soil erosion risk, 31.14% of the study area were found to be in low class, 31.11% in medium class, and 37.78% in high class areas. The areas high erosion risk areas within the potential erosion risk map were reduced from 41.07% to 37.78% in actual soil erosion risk map after overlapping the vegetation layer.

Discussion and Conclusion: Soil erodibility depends primarily on the structural stability of the soil (and hence its resistance to particle detachment by rain-splash or runoff) and its ability to absorb rainfall. As soils with medium to fine texture have low infiltration rates, they are less transferred when exposed to high velocity of runoff water. Moreover, in shallow soils, the rate of erosion increases due to lower potentials for water holding water and higher overland flow. The study's findings also indicated that the areas with moderate-high erosion risk are located in northern, southeastern, western, and northwestern parts of the region, where the soil and water preservation practices should be focused. Thus, protection and restoration of vegetation in the Kharestan is highly important for the preservation of water and water resources. In the southern, central, and eastern parts of the region, the slope is generally slight and the soil is shallow. However, due to the mountainous nature of the region and the low involvement of human activities, the erosion risks lie in low-class areas.

Considering the application erodibility, erosivity, slope and surface coverage, the use of CORINE model for determining the potential and actual erosion risk maps could well show different erosion classes in Kharestan region. Moreover, the study's findings confirm the application of the CORINE model in natural resource lands. The study suggested that together with GIS and RS techniques, the CORINE model possesses great potential for producing useful and inexpensive erosion risk information in Iran with low data and in relatively short time.

Keywords: CORINE model, Soil erosion risk (SER), Potential erosion risk, Climate, Kharestan region.