

واژه‌های کلیدی: استان کردستان، پهنه‌بندی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرسایش آبی.

مقدمه

خاک یکی از باارزش‌ترین ثروت‌های ملی هر کشور است. اگر استفاده از خاک بر اساس استعداد و قدرت تولیدی آن و مبتنی بر رعایت اصول صحیح و علمی باشد، میزان هدررفت خاک به حداقل می‌رسد. فرسایش عبارت است از فرسودگی مداوم خاک سطح زمین توسط آب یا باد. به‌طور کلی می‌توان گفت فرسایش یعنی کنده شدن و انتقال ذرات خاک به محل دیگر که این عمل ممکن است به‌وسیله فرسایش آب یا باد و یا نیروی ثقل صورت گیرد. فرسایش خاک یکی از عوامل مهم تخریب خاک در دنیاست که اثرات منفی شدیدی روی خاک‌ها دارد. این فرآیند اثرات غیرقابل بازگشتی در طول زمان بر روی خاک‌ها باقی می‌گذارد [۱۱].

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تأثیر زیادی بر کیفیت، کمیت و بهره‌وری خاک و درنهایت فرآیندهای بیابان‌زایی دارد [۸]. فرسایش خاک یک مسئله محیطی جهانی است که از حاصلخیزی و کیفیت خاک کاسته، رسوب‌زدایی و احتمال ایجاد فرسایش را افزایش می‌دهد. فرسایش خاک علل زیادی دارد که از جمله می‌توان به تغییر ارضی، چرای بی‌رویه، فعالیت‌های نامناسب کشاورزی و عمق خاک اشاره کرد [۱۶]. در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، فرسایش خاک با فراوانی زیاد و در مکانی گسترده اتفاق می‌افتد [۶]. بررسی آمار و اطلاعات خسارات ناشی از وقوع در ایران و جهان، بیانگر گستردگی صدمات ناشی از فرسایش به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد. در کل کره زمین سالانه ۷۵ میلیارد تن خاک زمین‌های مطلوب کشاورزی در اثر فرسایش بادی و آبی از دسترس خارج می‌شود [۱۵] و بیش از ۸۰ درصد از اراضی جهان تحت فرسایش قرار دارند.

در دهه‌های اخیر فرسایش خاک توسط آب، با تغییر آب‌وهوا و کاهش تدریجی منابع طبیعی نسبت به جمعیت‌های انسانی به یک مسئله جهانی تبدیل شده است. فعالیت‌های انسانی و استفاده نامناسب از ارضی باعث تسریع در فرسایش خاک در بسیاری از مناطق سطح زمین شده است [۲۰]. با فرسایش خاک میلیون‌ها تن رسوبات وارد مخازن و دریاچه‌ها می‌شود که باعث آسیب به سدها، کاهش عمر مفید آن‌ها، تغییری در کیفیت آب و خسارت‌های زیادی

ارزیابی و تخمین روند خطر فرسایش آبی با کاربست ارزیابی مدل ICONA (مطالعه موردی: استان کردستان)

احمد حجاریان^۱

تاریخ دریافت ۱۸/۱۲/۱۴۰۳ تاریخ پذیرش ۲۶/۰۲/۱۴۰۴

DOI: 10.22034/WMJ.2025.2055357.1104

چکیده

در حال حاضر فرسایش یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی حوزه‌های آبخیز ایران به شمار می‌رود. فرسایش آبی یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی و تخریب اراضی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. لذا ارزیابی میزان و شدت این نوع هدررفت خاک در مدیریت آب و خاک جهت برنامه‌ریزی‌های مناسب بسیار ضروری است. هدف این تحقیق بررسی روند و شدت فرسایش آبی با استفاده از مدل ICONA داده‌های سنجش‌ازدور و (GIS) در استان کردستان می‌باشد. برای اجرای مدل ICONA ابتدا با تلفیق دولاچه شیب و زمین‌شناسی، لایه فرسایش‌پذیری خاک تهیه شد. سپس لایه حفاظت خاک نیز با روی هم‌گذاری لایه‌های کاربری زمین و پوشش گیاهی تهیه گردید. درنهایت با ادغام دولاچه فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک نقشه خطر فرسایش آبی برای حوزه مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کلاس خطر فرسایش خیلی زیاد و زیاد ۳۳ درصد می‌باشد. کلاس‌های خطر خیلی زیاد نشان از شدت بالای روند فرسایشی در منطقه مورد مطالعه داشته که این مناطق بیش‌تر در شرق و جنوب شرق می‌باشند. لذا نیاز ضروری است که مدیران و برنامه‌ریزان با در نظر گرفتن اولویت گرفتن مناطق پرخطر با انجام اقدامات حفاظتی بیولوژیکی و مکانیکی از جمله درخت‌کاری و نهال‌کاری و هم‌چنین عملیات آبخیزداری در جهت کنترل و جلوگیری از پیشروی مناطق حساس در جهت حفاظت خاک اقدام نمایند.

۱- پسا دکتر جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
Email: A.hajarian@ltr.ui.ac.ir

۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی

از نظر اقتصادی می‌شود [۱۴]. در نتیجه پیشگیری و مهار فرسایش خاک در گستره حوزه‌های آبخیز و سایر نقاط و در چهارچوب طرح‌های بهره‌برداری آب‌و خاک و آبخیزداری یک نیاز اساسی است. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی ضرورت دارد که نقاط مستعد در معرض فرسایش شناسایی گردد [۲۳].

اما فرسایش خاک یک فرآیند پیچیده و خطر ژئومورفولوژیکی بالقوه است و مقدار آن بازتابی از نحوه مدیریت زمین و شاخص‌های محیطی تخریب به شمار می‌رود. اگرچه برای پیش‌بینی فرسایش خاک از مدل‌های تجربی از قبیل معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود، اما این گونه مدل‌ها بر مبنای داده‌های تجربی به دست می‌آیند و دقت آن‌ها تابع ضرایب مورد استفاده و شرایط منطقه است [۷]. میزان فرسایش خاک شاخص جامع برای ارزیابی درجه توسعه‌یافتگی و پایداری برنامه‌های مدیریتی سرزمینی کشورها است و از طرفی داشتن اطلاعات مکانی در ارتباط با پدیده‌ها این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی بین پدیده‌ها و الگوی مکانی بین آن‌ها شناسایی شود. در نتیجه شناخت الگوی مکانی بین فرسایش خاک، یک کلید برای درک دینامیک و شناسایی دلایل زیستی و غیر زیستی فرسایش خاک است و تعیین الگوی پراکنش شدت فرسایش و رسوب می‌تواند به ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش و مقابله با فرسایش و رسوب در مناطق کمک کند [۲۱].

آرخی و همکاران [۲] به ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی فرسایش و رسوب با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS پرداختند. نتایج نشان داد که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در حوزه آبخیز کال‌آجی از بین رفتن پوشش گیاهی مرتعی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی می‌باشد. با توجه به فرضیه مطرح‌شده، نقش تغییرات کاربری اراضی گیاهی در میزان و افزایش فرسایش و رسوب به صورت معناداری مشخص گردید، یعنی با تغییر کاربری به طبع فرسایش و رسوب نیز افزایش یافته است. علل افزایش مقدار رسوب در منطقه کال‌آجی توسعه سطوح کاربری اراضی کشاورزی و کاهش سطوح مرتعی در بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸ به میزان ۱۶/۸۳ درصد نسبت به سال ۱۳۶۶ می‌باشد. این تغییرات نقش مهم مراتع و پوشش گیاهی حوزه آبخیز کال‌آجی کاسته و موجب افزایش میزان رسوب خروجی زیر حوضه‌ها گردیده است. بر اساس نتایج به دست آمده مجموع مقادیر رسوب ویژه مربوط به بازه زمانی ۱۳۶۶ (۴۳۵۳ مترمکعب) بوده که این میزان در سال ۱۳۹۸ به ۵۱۶۴ مترمکعب افزایش داشته است که نشان از تغییرات کاربری اراضی رخ داده در حوضه است. زنگنه اسدی و همکاران [۲۱] به بررسی پتانسیل فرسایش مناطق مستعد فرسایش با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه گناباد) پرداختند. با توجه به مطالعه عوامل مؤثر در مدل فرسایش خاک این نتیجه به دست می‌آید که پارامترهای شیب، سازند زمین‌شناسی، کاربری اراضی، خاک،

فاصله از آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) حساسیت بیش‌تری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیش‌تری دارند. بخش اعظم منطقه مورد مطالعه، جزو طبقه فرسایشی خیلی زیاد تا زیاد قرار دارد که به طور عمده این کلاس‌ها در مرکز منطقه قرار گرفته‌اند. بیش‌ترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در واحد توپوگرافی با شیب زیاد واقع شده‌اند. مزبانی و همکاران [۱۳] به ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک پرداختند. نتایج نشان داد میزان کل فرسایش در حوضه برابر با ۱۲۸۱۱۰۰۴ تن در سال و میانگین فرسایش برابر ۱۷/۶۲ تن در هکتار در سال است. در بین کاربری‌ها، مراتع متوسط با میانگین فرسایش ۲۷/۹۸ تن در هکتار در سال بیش‌ترین و مناطق کشاورزی آبی و مسکونی به ترتیب با میانگین فرسایش ۰/۴۳ و ۰/۴۴ تن در هکتار در سال کم‌ترین فرسایش را نشان دادند. در بین عوامل تأثیرگذار در هدررفت خاک حوضه، عامل LS با همبستگی $R = 0/9$ بیش‌ترین سهم به خود اختصاص داد. بر اساس طبقه‌بندی هدررفت خاک، ۴۲ درصد از حوضه با مقادیر بالاتر از ۱۶ تن در هکتار در سال در وضعیت شدیدی از لحاظ هدررفت خاک قرار دارند که اجرای عملیات حفاظت خاک و آبخیزداری به منظور جلوگیری از تخریب خاک و تقویت پوشش گیاهی به‌ویژه در بالادست حوضه بیش‌ازپیش ضرورت و اهمیت می‌یابد. زنگی‌آبادی و همکاران [۲۲] به بررسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرآیند فرسایش خاک در مراتع نیمه‌خشک کلات پرداختند. رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که سه عامل درصد تراکم پوشش گیاهی، درصد سنگریزه درشت (۷۵-۱۳ میلی‌متر) در لایه سطحی خاک و هم‌چنین درصد شیب زمین به ترتیب مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده میزان فرسایش خاک می‌باشند؛ بنابراین مدیریت پوشش گیاهی و هم‌چنین مدیریت شیب مرتع مورد مطالعه که از مراتع شاخص منطقه به حساب می‌آید. وین‌رایت^۱ و همکاران [۱۸] درصد تراکم پوشش گیاهی را به عنوان اصلی‌ترین فاکتور محدودکننده میزان فرسایش خاک اعلام کرده‌اند. کریستو^۲ و همکاران [۵] بر اساس ویژگی‌های زمین فضایی مدل‌های برآورد فرسایش را طبقه‌بندی نمودند و نتیجه گرفتند که برای دست‌کاری مقیاس جهت افزایش کارایی مدل تخمین فرسایش، دو نظریه فضایی سلسله مراتبی و فراکتال برای بهره‌برداری بیش‌تر در آینده پیشنهاد می‌شود. در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی خطر فرسایش خاک در شرایط مختلف کاربری اراضی و بارندگی در حوضه رودخانه سان به این نتایج دست‌یافت که عوامل تأثیرگذار منجر به میزان فرسایش بالاتر تحت سناریوهای متغیر تغییر محیطی است. ریس^۳ و همکاران [۱۷] خطر فرسایش را با استفاده از GIS و مدل ICONA و با استفاده از پارامترهای اقلیمی و زمین‌شناختی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۵۳/۶۷ درصد منطقه دارای

1- Wainwright
2- Christos
3- Reis

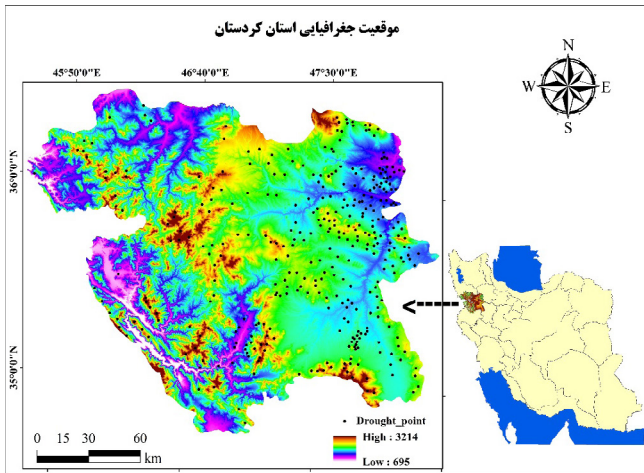
فرسایش بسیار زیاد، ۳۸/۱ درصد دارای خطر زیاد، ۶/۹۴ درصد دارای خطر متوسط و ۰/۱۲ درصد دارای خطر پایین می‌باشند. نتایج بررسی نشان داد که مدل‌سازی عامل مینا سهم بالقوه‌ای در مدیریت ریسک در آینده و کاربرد عملی آن در تصمیم‌گیری در سیاست انطباق و برنامه‌ریزی استراتژی داراست [۹]. با توجه به ادبیات موضوع و پیشینه عملی وجه تمایز این تحقیق با پژوهش‌های قبلی در نوع مدل به کار گرفته‌شده در این پژوهش و مقایسه تطبیقی آن می‌باشد. ایران از جمله کشورهایی است که فرسایش خاک در آن بسیار زیاد است. فرسایش خاک در کشور ۲ تا ۲/۵ میلیارد تن گزارش شده است؛ درحالی‌که طبق پیش‌بینی‌های سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی طی ۱۰ الی ۲۰ سال آینده میزان فرسایش خاک کشور به ۴/۵ میلیارد در سال خواهد رسید و در صورت به وقوع پیوستن این مقدار بسیار نگران‌کننده و فاجعه‌آمیز است و نیاز به چاره‌اندیشی بسیار اصولی دارد [۱۰]. کشور ایران از جمله کشورهایی است که به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک، دارای فرسایش شدید خاک می‌باشد. بررسی سطح مناطق تحت تأثیر فرسایش خاک نشان می‌دهد که فرسایش خاک دارای روندی افزایشی می‌باشد. به‌طوری‌که بررسی مساحت اراضی، نشان‌دهنده روند افزایشی در این نواحی بوده است. استان کردستان به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب، وضعیت لیتولوژی (وجود سازندهایی با نفوذپذیری کم) و شرایط اقلیمی (خشک و نیمه‌خشک) از پتانسیل بالایی برای فرسایش خاک برخوردار است [۴]؛ بنابراین از آنجاکه فرسایش خاک همراه با خسارات متعدد است، بررسی نقاط مستعد خطر فرسایش بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به نکات مذکور، پدیده فرسایش علی‌رغم همه پیچیدگی‌هایش قابل‌بررسی و مطالعه می‌باشد. یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه با فرسایش خاک، تعیین نقاط مستعد فرسایش می‌باشد. از این‌رو هدف از انجام این تحقیق ارزیابی و تعیین مناطق مستعد به فرسایش با استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی در استان کردستان می‌باشد. در این راستا، به بررسی برخی مطالعات انجام‌شده در این زمینه پرداخته‌شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

استان کردستان با مساحت ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع در غرب ایران در مجاورت کشور عراق بین مختصات ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان به لحاظ وسعت از ۵۰ درصد استان‌های کشور ایران بزرگ‌تر است. جمعیت کل این استان از یک میلیون و ۶۰۰ هزار نفر بر اساس مرکز آمار این کشور در سال ۲۰۲۱ فراتر رفته است. به لحاظ وضعیت توپوگرافی کردستان منطقه‌ای کوهستانی است که در کنار آن دشت‌های مرتفع با دره‌های U و V زیادی گسترده شده‌اند. اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقطه ۲۴۰۰ متر

در بازه ۳۳۱۰-۹۰۰ متر می‌باشد. وجود چنین اختلاف ارتفاعی منجر به وجود آمدن اقلیم‌های مختلف می‌شود. تعداد روزهای یخبندان ۱۰۹ روز و میزان بارندگی سالانه در شرایط عادی اقلیمی برای تمام استان معادل ۵۰۰ میلی‌متر است. رشته‌کوه‌های غرب کشور به‌صورت رشته‌هایی موازی، تمامی پهنه‌های استان را دربر گرفته و محدوده‌های طبیعی آن را تشکیل می‌دهند. برخی از این مناطق کوهستانی در جنوب استان دارای پوشش وسیع جنگلی و مرتعی هستند. بخش بیش‌تر استان کردستان در پایانه شمال باختری با قلمروی ساختاری - رسوبی در زون سندج - سیرجان قرار دارد (شکل ۱).



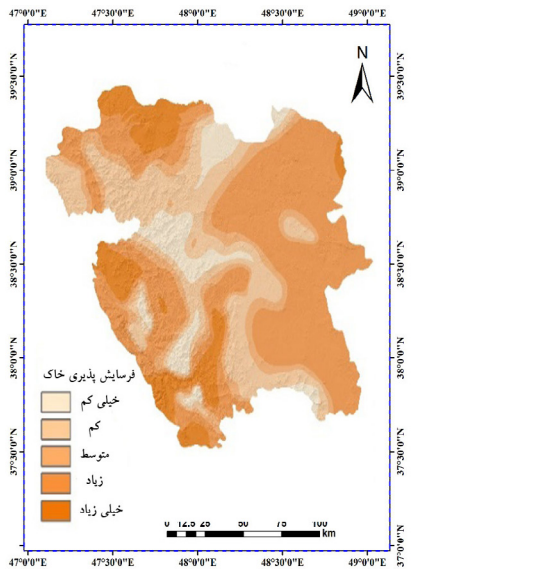
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان کردستان در تقسیمات کشوری

نتایج و بحث

در این تحقیق به ارزیابی روند خطر فرسایش آبی با استفاده از داده‌های سنجنش دور و مدل ICONA در استان کردستان پرداخته شد. مدل ICONA توسط موسسه‌ی حفاظت طبیعی اسپانیا پیشنهاد و تکامل یافته است و نام خود را نیز از همین موسسه گرفته است. این مدل برای تخمین درجه‌ی ریسک فرسایش ارائه شده است. در این پژوهش، ابتدا نقشه‌ی کاربری اراضی و شاخص NDVI بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی TM و ETM+ تهیه شدند. پس از آن، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش آبی منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس مدل فرسایشی ICONA تهیه گردید. مدل ICONA شامل هفت مرحله [۱۵] به شرح ذیل است:

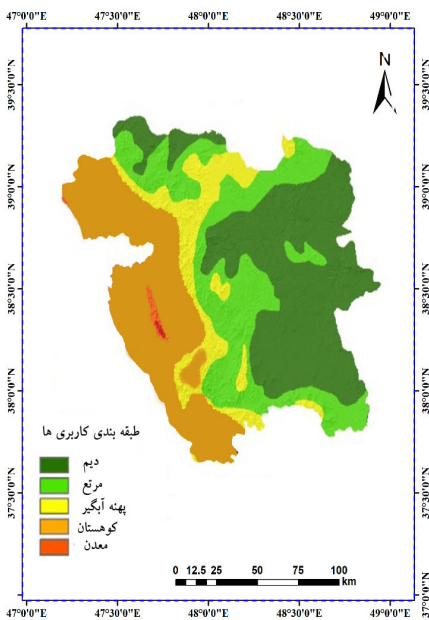
مرحله ۱: تهیه لایه شیب منطقه: در این مرحله ابتدا لایه شیب حوضه مورد مطالعه را با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی SRTM با دقت مکانی ۳۰ متر و با استفاده از تابع Slope در محیط ArcMap 10.8 تهیه گردید.

مرحله ۳: تهیه لایه فرسایش پذیری خاک: برای مشخص کردن نقشه فرسایش پذیری خاک، لایه شیب و سنگ شناسی همپوشانی می شوند و نقشه پتانسیل خطر فرسایش و سطح فرسایش پذیری از ترکیب این دو به دست می آید. این نقشه به نام فرسایش پذیری^۱ شناخته می شود و در واقع بیان گر پتانسیل (ریسک) فرسایش^۲ حوضه می باشد.

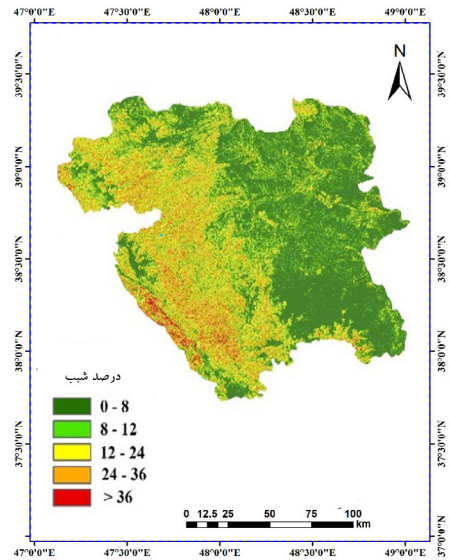


شکل ۴. نقشه فرسایش پذیری خاک مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

مرحله ۴: تهیه لایه تعیین کاربری: برای تهیه نقشه کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه از نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۱ ماهواره‌ای سنتیل استفاده گردید.

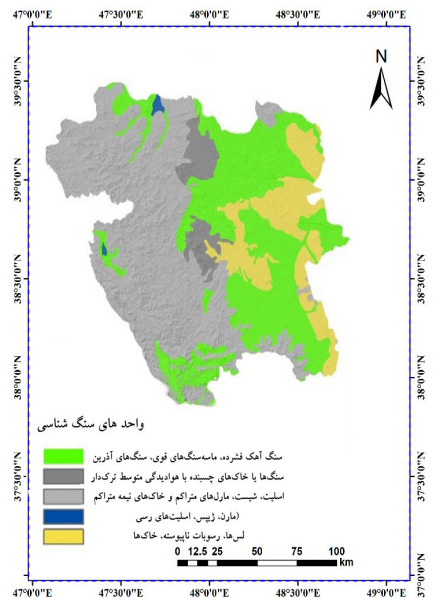


شکل ۵: نقشه طبقه بندی کاربری‌ها مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه شیب مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

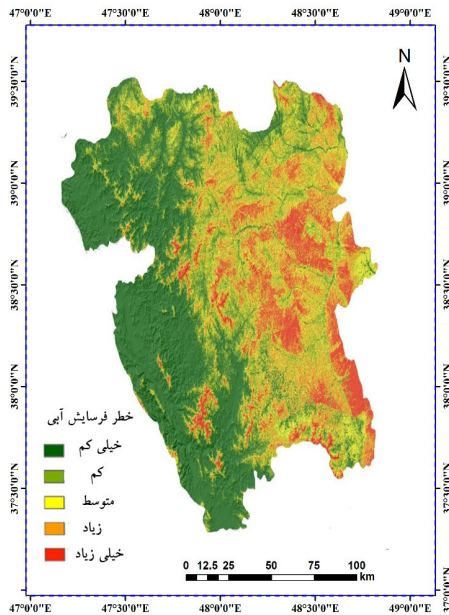
مرحله ۲: تهیه لایه زمین شناسی (سنگ شناسی): در این مرحله جهت تهیه لایه سنگ شناسی از نقشه زمین شناسی رقومی شده سازمان زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید. امتیازدهی به سنگ‌ها بر اساس سازندها از نظر مقاومت به هوازدگی به پنج کلاس تقسیم بندی می شوند. در واقع می توان بیان داشت که نقشه سنگ شناسی بیانگر نوع سنگ، مواد مادری یا رسوب سطحی یا خاک با تأکید بر مقاومت نسبت به فرسایش شیمیایی و مکانیکی است.



شکل ۳: لایه سنگ شناسی مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

- 1- Soil Erodibility
- 2- Potential Erosion Risk Map

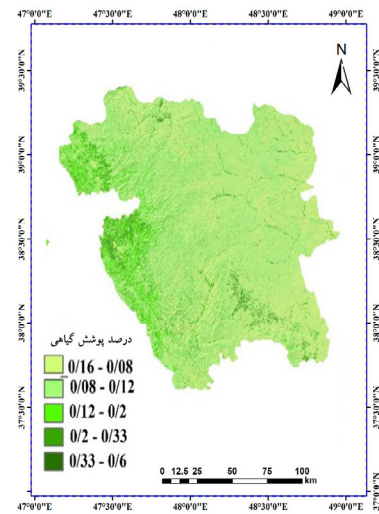
مرحله ۷: نقشه خطر فرسایش خاک ICONA: در آخرین مرحله مدل ICONA، برای به وجود آوردن نقشه‌ی خطر فرسایش خاک، نقشه‌ی حفاظت خاک و نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک برای به وجود آوردن نقشه‌ی خطر فرسایش ICONA در محیط GIS تلفیق و هم‌پوشانی می‌شوند. یکی از اهداف مهم این تحقیق ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌ی مکانی از پهنه‌های خطر فرسایش بر اساس درجه‌ی کیفی یا سطح خطر می‌باشد. در این مرحله که به‌عنوان آخرین مرحله‌ی مدل ICONA شناخته می‌شود، نقشه‌ی خطر فرسایش به دست می‌آید.



شکل ۸: نقشه خطر فرسایش حاصل از کاربست مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

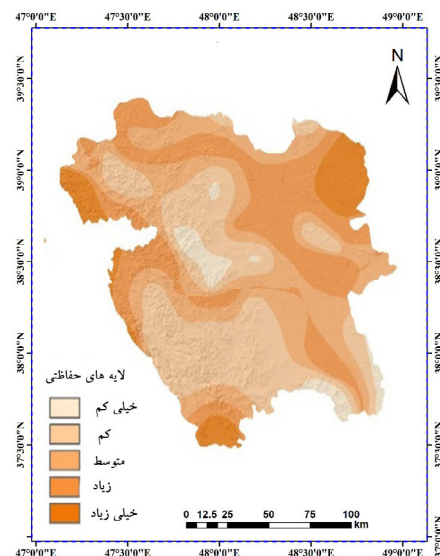
نقشه فرسایش‌پذیری خاک: همان‌طور که در قسمت روش تحقیق ذکر شد، جهت اجرای مدل ICONA در ابتدا از هم‌پوشانی دولایه شیب و سنگ‌شناسی، نقشه فرسایش‌پذیری خاک به دست آمد. این نقشه از تلفیق و روی هم‌گذاری دولایه‌ی سنگ‌شناسی و شیب بر اساس جدول فرسایش‌پذیری خاک مدل ICONA تهیه می‌شود که به نام فرسایش‌پذیری شناخته می‌شود که در واقع بیانگر پتانسیل فرسایش حوضه می‌باشد. به‌طورکلی، تلفیق و روی هم اندازی دو نقشه‌ی شیب و زمین‌شناسی، با توجه به ویژگی کلاس‌های هر یک از نقشه‌ها، ماتریکس 5×5 را تشکیل می‌دهند که در مجموع در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قابل تقسیم می‌باشند. همان‌طور که در نقشه نهایی فرسایش‌پذیری خاک مشاهده می‌گردد، مناطق شرق و جنوب شرق مورد مطالعه در کلاس فرسایش‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند. این نتیجه با بسیاری از پژوهش‌ها از جمله آرخ‌ی و همکاران [۲] و زنگی‌آبادی و همکاران [۲۲] مطابقت دارد.

مرحله ۵: تهیه لایه تعیین پوشش گیاهی: برای تهیه این نقشه از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز سنجنده TM و ETM+ و با استفاده از رابطه (۱) تهیه گردید.
رابطه (۱)
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



شکل ۶: نقشه پوشش گیاهی مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

مرحله ۶: تهیه لایه تعیین وضعیت حفاظت خاک: در مطالعات فرسایش آبی یکی از پارامترهای اصلی که باید بررسی و در نظر گرفته شود، شرایط حفاظت خاک است. شرایط حفاظت خاک در هر زمانی متغیر است و با توجه به پوشش محافظ خاک و نوع کاربری همان زمان مورد نظر بیان می‌شود. در این مطالعه برای به دست آوردن نقشه‌ی حفاظت خاک، لایه‌ی پوشش گیاهی و لایه‌ی کاربری در محیط GIS تلفیق می‌شوند.



شکل ۷: نقشه لایه‌های حفاظتی مبتنی بر مدل ICONA در منطقه مورد مطالعه

کلاس‌های خیلی شدید فرسایشی به صورت پراکنده بیش‌تر در شرق و شمال شرق می‌باشند (شکل ۳). با توجه به جدول ۱، کلاس‌های خیلی کم و متوسط حدود ۶۶ درصد کل حوضه را شامل می‌شود، در حالی که بیش از ۳۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه دارای کلاس فرسایش‌پذیری خیلی زیاد است. نوحه‌گر و کاظمی [۱۵] نیز نشان دادند نتایج مدل ICONA با بررسی‌های میدانی مطابقت دارد.

جدول ۱: کلاس‌های خطر فرسایش بر اساس مدل ICONA

کلاس	مساحت	درصد
خیلی کم	۹۸۷۳	۸/۳۳
کم	۱۶۵۴	۲/۵
متوسط	۷۶۵۴	۲/۲۷
زیاد	۷۴۵۲	۲۵
خیلی زیاد	۲۵۰۴	۸/۸

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این مطالعه به ارزیابی روند فرسایش خاک استان کردستان با استفاده از مدل ICONA و داده‌های سنجش‌ازدور و به‌کارگیری GIS پرداخته است. لذا جهت این امر ابتدا اقدام به جمع‌آوری لایه‌های ورودی به این مدل گردید. نتایج نهایی شاخص‌های ورودی نشان داد که لایه مناطق با حساسیت بالا از لحاظ لایه شیب، بیش‌تر در شرق حوضه مورد مطالعه واقع شده‌اند (دارای شیب کم‌تر از ۵ درصد) و نواحی مرتفع در قسمت‌های جنوب شرقی آن واقع شده‌اند، در واقع می‌توان بیان داشت که عامل شیب یکی از شاخص‌های توپوگرافی بسیار تأثیرگذار بر میزان حساسیت حوضه نسبت به هدررفت خاک می‌باشند، زیرا که با افزایش میزان شیب میزان انرژی و قدرت فرساینده‌گی آبراهه نیز افزایش یافته که می‌تواند منجر به برداشت و هدررفت بیش‌تر فرسایش خاک گردد. از لحاظ شاخص زمین‌شناسی نیز در حوضه مورد مطالعه بیش‌ترین حساسیت مرتبط به سازنده‌های اسلیت، شیست متراکم می‌باشند. از لحاظ شاخص کاربری اراضی و پوشش گیاهی که در نهایت لایه حفاظت خاک را شامل می‌شوند، در منطقه مورد مطالعه میزان کلاس کاربری مرتعی و جنگلی می‌باشد. با توجه به نقشه فرسایش‌پذیری در مکان‌هایی با خطر فرسایش‌پذیری در محدوده زیاد و خیلی زیاد، شرایط تشکیلات زمین‌شناسی حساس به فرسایش و شیب در آن قسمت‌ها زیاد بوده است. از سوی دیگر افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن کمبود منابع مهم از جمله خاک و آب، مشکلات اقتصادی و افزایش تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی باعث شده که ساکنین منطقه مورد مطالعه بدون توجه به اصول حفاظت خاک و پتانسیل تولید سرزمین، ملزومات تغییر و تبدیل انواع کاربری‌ها را فراهم کنند. اراضی با کاربری دیم بر اثر تغییر کاربری‌ها، کم‌آبی و عدم رعایت اصول کشت و زرع به مرور فقیر و غیرقابل کشت شده که در نهایت به اراضی بایر تبدیل شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که نقشه پتانسیل خطر فرسایش با مدل ICONA با بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS در حوضه

مورد مطالعه از دقت کافی برخوردار است. این مدل می‌تواند به‌عنوان چهارچوب قابل‌اعتمادی برای ارزیابی خطر فرسایش باشد و امکان شناسایی مناطق مستعد فرسایش را فراهم سازد. هم‌چنین به‌عنوان یک روش سریع، کاربردی با کاهش در هزینه و زمان، دارا بودن دقت و قابلیت انعطاف‌پذیری خوب می‌باشد. با توجه به نتایج بالا پیشنهاد می‌گردد مدیریت جامع و همه‌جانبه حوضه مورد مطالعه و بهره‌برداری شایسته از آن‌ها بر اساس قابلیت و استعداد آن‌ها و بر طبق الگوی آمایش سرزمین که از اصولی‌ترین رویکردهای تعامل با پدیده فرسایش خاک تلقی می‌شود باید در سرلوحه برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی استان قرار گیرد و طبعاً پیامدهای ماندگار این اقدامات، حیات را در سامانه‌های آبخیز استان احیا خواهد نمود.

منابع

- Ashraf, A., 2020. Risk modeling of soil erosion under different land use and rainfall conditions in Soan river basin. Sub-Himalayan region and mitigation options. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 417–428.
- Arekhi, S. 2022. Assessing effect of land use and rainfall changes on Soil Erosion and Sediment Yield using RS and GIS (Case study: Lower part of Ilam Dam Watershed, Iran). *Quantitative Geomorphological Research*, 11(1): 62-81.
- Arekhi, S., Salmani, S., and Emadodin, S. 2023. Assessing the Impact of Land Use Changes on Erosion and Sediment Using Remote Sensing and GIS (Case Study: Kala aji Watershed, Golestan Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3): 45-54.
- Bagio, B., Bertol, I., Wolschick, N. H., Schneiders, D., and Santos, M. A. D. N. D. 2017. Water erosion in different slope lengths on bare soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41: e0160132.
- Karydas, C. G., Panagos, P., and Gitas, I. Z. 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. *International Journal of Digital Earth*, 7(3): 229-250.
- Green, C., Dieperink, C., Ek, K., Hegger, D. L. T., Pettersson, M., Priest, M., and Tapsell, S. 2013. Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions.
- Guo, Y., and Xion, Y. 2017. Comparison of the implementation of three common types of coupled CFD-DEM model for simulating soil surface erosion.

17. Poesen, J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43: 64-84.
18. Reis, m., Dutal, H., Bolat, N., and Savac, G. 2017. Soil Erosion Risk Assessment Using GIS and ICONA: A Case Study in Kahramanmaras, Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 34(1): 64-75.
19. Wainwright, J., Parsons, A. J., and Abrahams, A. D. 2000. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: Case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrological Processes*, 14(16-17): 2921-2943.
20. Wu, Y., Zhong, P. A., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., and Yan, K. 2015. Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78: 635-651.
21. Zhang, W., Zhou, J., Feng, G., Weindorf, D.C., Hu, G., and Sheng J. 2015. Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. *Int. Soil Water Conservation. Research*, 3(2): 97-102
22. Zangeneh Asadi, M. A., Naemi Tabar, M., and Zandi, R. 2022. Investigating the Potential of Erosion-Prone Areas with ICONA Models, Support Vector Machine, Chaid and Random Forest (Case Study: Gonabad Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4): 93-112.
23. Zangiabadi, M., Rang Avar, A. S., Refahi, H., Sharfa, M., and Bi Hamta, M. 2019. Investigating the most important factors influencing the soil erosion process in the semi-arid pastures of Kalat. *Water and soil*, 24(4): 23-34.
24. Zerihun, M., Mohammedyasin, M.S., Sewnet, D., Adem, A.A., and Lakew, M. 2018. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. *Geoderma Reg.* 12: 83-90.
25. Zhu, S., Li, D., Huang, G., Chhipi-Shrestha, G., Nahiduzzaman, K.M., Hewage, K., and Sadiq, R. 2020. Enhancing urban flood resilience: a holistic framework incorporating historic worst flood to Yangtze River Delta, China, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61: 1-52.
- International Journal of Multiphase Flow, 91: 89-100.
8. 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.
9. Khalife, E., Kavianpour, M. R., Pakparvar, M., and Mottaghi, A. 2010. Application of geographical information systems and remote sensing in qualitative and quantitative assessment of wind erosion, Case study: Shoorjestan plain. *Watershed Engineering and Management*, 2(1): 44-55.
10. Khaleghi, S., Nosrati, K., and abbaspour, R. 2020. Estimation of Soil Erosion and Sediment Transport by SWAT model (Case Study: Upstream of Badavar Basin, Lorestan). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(3): 186-202.
11. Khosraviqdam, K., Momtaz, H. R., and Asadzadeh, F. 2019. Estimation of Soil erodibility factor of USLE model and its relationship with landscape features in some parts of Nazzlo-Chay basin, Iran. *Applied Soil Research*, 7(1): 31-43.
12. Jahun, B, G., Ibrahim, R. Dlamini, N, S., and Musa, S.M., 2015. Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9): 36-47.
13. Mez bani, M., Rezaei Moghadam, M., and Hejazi, A. 2021. Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(1): 41-63.
14. Motamedirad, M., Zangane Asadi, M. A., and Ajam, H. 2023. Investigating the rate of soil erosion and sediment production using the RUSLE model and the modified method PSIAC (case study: Kal basin of Ismail, Shahrood city, Semnan province). *Quantitative Geomorphological Research*, 11(4): 147-165.
15. Nohegar, A. and Kazemi, M. 2014. Evaluation of Water Erosion with ICONA Model. *GeoRes*, 28 (4): 1-14 URL: <http://georesearch.ir/article-1-428-fa.html>
16. Pimentel, D., Harman, R., Pacenza, M., Pecarsky, J., and Pimentel, M. 1994. Natural resources and an optimum human population. *Population and environment*, 15: 347-369.



Abstract

Assessment and Estimation of Water Erosion Risk Trend by Applying and Evaluating the ICONA Model (Case Study: Kurdistan Province)A. Hajarian¹

Received: 2025/03/08 Accepted: 2025/05/16

Abstract

Currently, erosion is considered one of the critical environmental problems of Iranian watersheds. Water erosion is one of the main factors of desertification and land degradation in many arid and semi-arid regions. Thus, assessing the rate and intensity of this type of soil loss in water and soil management is very necessary for appropriate planning. This research aims to investigate the trend and intensity of water erosion using the ICONA model, remote sensing data, and geographic information system (GIS) in Kurdistan Province. To implement the ICONA model, first, the soil erodibility layer was prepared by combining two layers of slope and geology. Then, the soil protection layer was prepared by superimposing the land use and vegetation layers. Finally, by combining the two layers of erodibility and soil protection, a water erosion risk map was prepared for the studied basin. The results of this study show that the erosion risk class is very high, at 33%. Very high-risk classes indicate the high intensity of the erosion process in the study area, which is mainly in the east and southeast. Therefore, it is essential that managers and planners, by considering the priority of the high-risk regions, take biological and mechanical protection measures, including tree planting and sapling planting, as well as watershed management operations, to control and prevent the advance of sensitive areas to protect the soil.

Keywords: Geographic information system (GIS), ICONA Model, Kurdistan province, Water erosion.

1. Postdoctoral Fellow in Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: A.hajarian@ltr.ui.ac.ir