



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۴، صص ۸۳۱-۸۱۱

## شناسایی محل‌های مناسب اجرای عملیات کنترل و کاهش فرسایش سطحی و شیاری با استفاده از مدل ارزیابی خطر فرسایش

مسعود عشقی زاده<sup>۱\*</sup>، مهدی حیات زاده<sup>۲</sup>

\*<sup>۱</sup> استادیار، مجتمع آموزش عالی گناباد، دانشکده علوم، گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، گناباد،

ایران. [m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir](mailto:m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir)

<sup>۲</sup> استادیار، دانشگاه اردکان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی طبیعت، اردکان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

### چکیده

یکی از مهم‌ترین نیازهای لازم برای اجرای کارآمد عملیات حفاظت خاک، تعیین مناطقی است که از نظر فرسایش بیشترین حساسیت را داشته و مقادیر فرسایش در آنها بالا است. در این پژوهش برای تعیین محل‌های مناسب اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش، خطر فرسایش خاک در یک بازه زمانی ۳۰ ساله در دو سال ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ در حوزه آبخیز کلات شهرستان گناباد، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی خطر فرسایش خاک از مدل SL190-96 استفاده شد. در این مدل سه فاکتور پوشش گیاهی، شیب و کاربری اراضی به عنوان ورودی‌های اصلی برای ارزیابی خطر فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج حاصل نشان داد ۹/۴ درصد از سطح حوضه مورد مطالعه دارای اولویت خیلی بالا و ۴۵/۶ درصد دارای اولویت بالا برای اجرای این عملیات هستند. بطور کلی وضعیت خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ حادث شده و از وسعت مناطق با خطر فرسایش ناچیز، کم و متوسط کاسته شده و به کلاس‌های خطر زیاد، خیلی زیاد و بسیار زیاد اضافه شده است. بیشترین کاهش در خطر فرسایش مربوط به کلاس خطر فرسایش متوسط در سال ۱۳۷۰ بود. بیشترین افزایش نیز مربوط به کلاس خطر فرسایش خیلی زیاد در سال ۱۴۰۰ بوده است. بر اساس نتایج ارزیابی حاصل، تنها ۰/۱۳ درصد از منطقه مورد مطالعه وضعیت فرسایش آنها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ بهبود یافته و ۶۵/۱۴ درصد از آنها از نظر وضعیت خطر فرسایش حادث شده است.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی؛ حفاظت خاک؛ پوشش گیاهی؛ سامانه اطلاعات جغرافیایی

## ۱- مقدمه

فرسایش آبی مهم‌ترین مسئله تخریب خاک در سطح کره زمین بشمار می‌رود (دنگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). فرسایش خاک اثرات نامطلوب محیطی بویژه در بحث تولیدات کشاورزی و علوفه‌ای و در نتیجه امنیت غذایی در کره زمین ایجاد می‌نماید. افزایش هزینه‌های تولید و کاهش کیفیت و کمیت منابع آبی در دسترس و حتی تاثیر بر روی گرمایش جهانی از تاثیرات دیگر فرسایش خاک است که خود می‌تواند سبب بروز مسائل و مشکلات بسیار زیادی شده و حتی حیات را در کره زمین به خطر اندازد (روکساجای<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳؛ بهادرا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). مقدار فرسایش خاک بطور مستقیمی به عوامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، بافت خاک، بارش و کاربری سطح زمین وابسته است. فرسایش آبی که سبب هدر رفت خاک با ارزش سطحی طی وقایع بارشی می‌شود شدت آن معمولاً بر اساس مقدار خاک هدر رفته در واحد سطح در مقیاس زمانی پیوسته سالانه یا تک رخداد بیان می‌شود (اسلام<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲؛ بسکو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای کاهش و کنترل فرسایش خاک، اقدامات حفاظت خاک در چهارچوب عملیات آبخیزداری است. تاثیر اجرای این عملیات رابطه مستقیمی با توزیع مکانی آنها در سطح حوزه آبخیز دارد (فوآ و مینووا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵). یکی از مهم‌ترین نیازهای لازم برای اجرای کارآمد عملیات حفاظت خاک، تعیین مناطقی است که از نظر فرسایش بیشترین حساسیت را داشته و مقادیر فرسایش در آنها بالا است. از طرف دیگر به دلیل پرهزینه بودن و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم فرسایش، تعیین آنها برای سطح وسیع دشوار است (وریلینگ<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸). بنابراین با توجه به سطح وسیع حوزه‌های آبخیز و مناطق درگیر فرسایش خاک، برای جلوگیری از هدر رفت منابع انسانی و مالی و از طرف دیگر تاثیر سریع‌تر و موثرتر اقدامات کنترل و کاهش فرسایش خاک، لازم است روش مناسبی برای اولویت‌بندی و انتخاب مناطق مختلف سطح یک حوزه آبخیز برای اجرای این اقدامات تعیین شود.

---

1 - Deng

2 - Ruksajai

3 - Bhadra

4 - Aslam

5 - Beskow

6 - Phua & Minowa

7 - Vrieling

روش‌های موجود ارزیابی و اولویت‌بندی شدت فرسایش خاک شامل روش‌های کیفی شناسایی خطر فرسایش و روش‌های کمی اندازه‌گیری دقیق مقدار فرسایش هستند (عبادی و همکاران، ۲۰۲۴). با توسعه تکنولوژی و مطالعات فرآیندی فرسایش، روش‌های جدیدی از قبیل روش‌ها ردیابی (گرین وود<sup>۸</sup>، ۲۰۱۷)، تغییرات زمانی مدل رقومی ارتفاع (میچالوپولوو<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۲) و شبکه عصبی (سمارین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) در حال توسعه هستند. با این وجود برای اهدافی از قبیل اولویت‌بندی و اجرای عملیات حفاظت خاک، اطلاع از توزیع مکانی فرسایش و پتانسیل سطح منطقه برای وقوع فرسایش خاک کافی بوده و نیاز به نرخ دقیق فرسایش خاک در سطح حوزه آبخیز وجود ندارد (وریلینگ، ۲۰۰۶). بر این اساس یکی از روش‌هایی که می‌توان برای تعیین محل‌های مناسب و موثر در کنترل فرسایش استفاده نمود، تعیین خطر فرسایش خاک است. خطر فرسایش احتمال نسبی وقوع فرسایش را در یک محل مشخص در مقایسه با سایر مناطق موجود در سطح یک حوزه آبخیز نشان می‌دهد (ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). خطر فرسایش خاک و روند آینده آن به عنوان یک معیار ارزیابی برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای اجرای عملیات حفاظت خاک به‌شمار می‌رود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). ارزیابی خطر فرسایش خاک بر اساس دو پارامتر اصلی فرسایش‌پذیری آن و اطلاعات پوشش گیاهی محاسبه می‌شود (رئیس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). در ارزیابی خطر فرسایش، خطر فرسایش برای یک محل می‌تواند بر اساس فاکتورهای موثر و بصورت کیفی بیان شود. به عنوان مثال خطر فرسایش بالا برای مناطقی است که دارای شیب زیاد دامنه بوده و از پوشش گیاهی اندکی برخوردار هستند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین نقشه‌بندی خطر فرسایش و ارزیابی آن یک ابزار مهم برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع طبیعی و حفاظت خاک است. این کار کمک می‌کند تا تغییرات احتمالی در کاربری اراضی و پوشش سطح زمین بررسی شده و استراتژی‌های مدیریتی پایدارتر برای بلندمدت در نظر گرفته شود (بسکوو و همکاران، ۲۰۰۹). در ارزیابی خطر فرسایش، در مرحله اول بر اساس استانداردهای خاص، برخی از فاکتورهای اصلی طبقه‌بندی می‌شوند. سپس بر اساس یک معادله مشخص برای ایجاد نقشه خطر فرسایش، این فاکتورها با هم تلفیق می‌شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ چن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). تهیه نقشه‌های حفاظتی منابع طبیعی بویژه برای اهداف کنترل فرسایش خاک، منابع آب و منابع جنگلی، معمولاً از طریق اولویت‌بندی مناطق

<sup>8</sup> - Greenwood

<sup>9</sup> - Michalopoulou

<sup>1</sup> - Samarin 0

<sup>1</sup> - Zhang 1

<sup>1</sup> - Reis 2

<sup>1</sup> - Chen 3

برای هدف مورد نظر انجام می‌شود. تعامل اطلاعات مختلف در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> (GIS) یکی از موثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها در مدیریت اهداف حفاظت منابع طبیعی است که امکان دستیابی به نقشه‌های اولویت‌بندی را در زمان کوتاه و با دقت بالا امکان‌پذیر می‌سازد (والینت و وتورازی، ۲۰۰۹).

اولویت‌بندی مناطق برای اهداف حفاظتی منابع طبیعی و بویژه ارزیابی خطر فرسایش می‌باشد لذا به دلیل قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی و تایید کارایی آن در زمینه تهیه نقشه خطر فرسایش، در حوزه‌های آبخیز مختلف مورد استفاده و پایش قرار گرفته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ تيام<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). انطباق اطلاعات مختلف ورودی به محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در این مطالعات معمولاً از طریق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است (سیلوا<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). از جمله این مطالعات می‌توان به اولویت‌بندی مناطق مناسب برای حفاظت جنگل را با استفاده از روش میانگین وزنی رتبه‌بندی شده در یکی از حوزه‌های آبخیز رودخانه برزیل که توسط والینت و وتورازی (۲۰۰۸) انجام شده است، اشاره نمود. آنها معیارهای از قبیل نزدیکی به لکه‌های جنگلی، وسعت لکه‌های جنگلی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق شهری، فاصله از آب‌های سطحی و آسب‌پذیری در برابر فرسایش خاک را در نظر گرفتند. در مورد آسب‌پذیری در برابر فرسایش، از سه عامل پوشش گیاهی، شیب و کاربری اراضی برای تهیه نقشه خطر فرسایش استفاده شد. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و محاسبه میانگین وزنی اهمیت معیارهای در نظر گرفته شده با استفاده از مقایسات زوجی، این وزن‌ها به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد شده و نقشه‌های خطر فرسایش تهیه شد. نتایج آنها نشان داد، در نظر گرفتن عوامل مختلف در مباحث مدیریتی حفاظت منابع طبیعی بویژه جنگل‌ها لازم است و با توجه به پیاده‌سازی ساده و در دسترس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، استفاده از میانگین وزنی، اولویت‌بندی مناطق برای اهداف حفاظتی را می‌تواند تسهیل و کارآمد گرداند. هم‌چنین ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) اولویت‌بندی مناطق حفاظت خاک را با استفاده از روش ارزیابی خطر فرسایش درحوزه آبخیز رودخانه یوندینگ<sup>۸</sup> چین مورد بررسی قرار دادند. آنها از سه فاکتور پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شیب با کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تهیه نقشه‌های خطر فرسایش استفاده کردند. سپس بر اساس تغییرات آن طی دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ روند خطر فرسایش مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنها دو سطح از شش سطح اولویت‌بندی مناطق که بالاترین خطر و تغییرات روند فرسایش

<sup>۱</sup> - Geographic Information System 4  
<sup>۱</sup> - Valente & Vettorazzi 5  
<sup>۱</sup> - Tiam 6  
<sup>۱</sup> - Silva 7  
<sup>۱</sup> -Yongding 8

را داشتند به عنوان مهم‌ترین اولویت‌ها برای اهداف حفاظت خاک و کنترل فرسایش معرفی شدند. در مطالعه رئیس و همکاران (۲۰۱۶) خطر فرسایش خاک را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و روش یکپارچگی اطلاعات در محیط زیست<sup>۱</sup> در حوزه آبخیز سد گوز واقع در جنوب ترکیه مورد مطالعه قرار گرفت. آنها با هدف تهیه نقشه خطر فرسایش به منظور توسعه اقدامات کنترل فرسایش و حفاظت خاک انجام شد. نتایج آنها نشان داد، مهم‌ترین عوامل خطر فرسایش در منطقه تحت مطالعه، شیب زیاد و کمبود پوشش گیاهی است که سبب شده بیش از نیمی از منطقه در معرض خطر فرسایش بالا قرار داشته باشد. نتایج آنها تایید نمود روش بکار گرفته شده در این تحقیق از نظر اقتصادی و دقت قابل قبول بوده است. در مطالعه روکساجای و همکاران (۲۰۲۳) خطر فرسایش خاک را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و برآورد انجام شده توسط مدل اصلاح شده معادله جهانی فرسایش خاک<sup>۲</sup> RUSLE<sup>۱</sup> در یکی از حوزه‌های آبخیز شمال شرقی تایلند مورد بررسی قرار دادند. آنها برای تعیین مناطق مستعد فرسایش از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> (AHP) و با در نظر گرفتن متغیرهای زمین محیطی شامل کاربری اراضی، پوشش سطح زمین، شیب و طول شیب، تراکم زهکشی، مدل رقومی ارتفاع، عمق و بافت خاک و بارش پس از وزندهی و کلاس‌بندی بصورت کیفی تعیین نمودند. نتایج آنها نشان داد بیش از ۴۰ درصد مساحت منطقه تحت مطالعه به شدت در معرض فرسایش خاک است. از جدیدترین مطالعه انجام شده در این خصوص می‌توان به تلفیق شاخص‌های ژئومورفومتری و پوشش گیاهی برای برآورد خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز سامیان، استان اردبیل توسط مددی و شریفی (۲۰۲۴) اشاره نمود. آنها شدت فرسایش خاک را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی با کمک تصاویر ماهواره‌ای برآورد نمودند. نتایج آنها نشان داد شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده و توپوگرافی بیشترین همبستگی را با فرسایش خاک داشته است.

بررسی تحقیقات گذشته نشان داد، امکان تعیین نقشه خطر فرسایش برای اولویت‌بندی مناطق از نظر اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش وجود دارد. بطوری که ارزیابی و پایش خطر فرسایش، به عنوان یک راهنما، اطلاعات مناسبی برای اولویت‌بندی اجرای پروژه‌های حفاظت خاک و عملیات آبخیزداری را مشخص می‌سازد. هدف از این تحقیق معرفی یک روش مناسب و سریع برای تهیه نقشه خطر فرسایش است که با کمک آن امکان

<sup>1</sup> - Coordination of information on the<sup>0</sup> environment

<sup>2</sup> - Goz

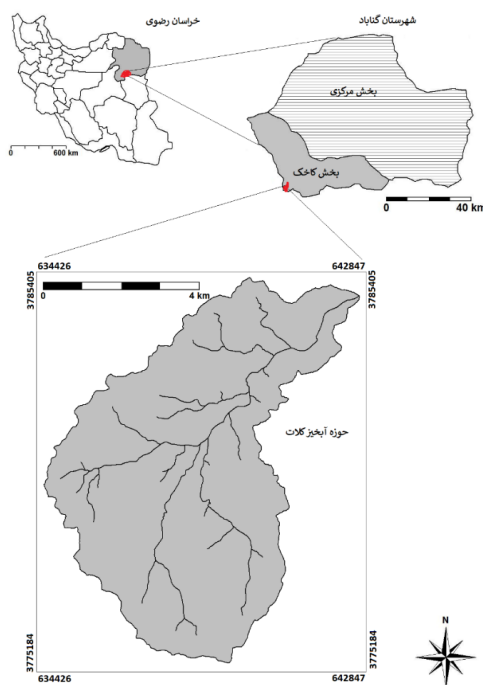
<sup>2</sup> - Revised Universal Soil Loss Equation

<sup>2</sup> - Analytic Hierarchy Process

شناسایی و تعیین محل‌های مناسب و دارای اولویت برای اجرای اقدامات حفاظت خاک در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک فراهم شود. برای این منظور خطر فرسایش بر اساس یک روش ارزیابی چند معیاره و به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصاویر سنجش از دور با مقایسه سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ در یک حوزه آبخیز واقع در منطقه نیمه خشک در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کلات با مساحت ۴۱۰۶ هکتار واقع در بخش کاخک شهرستان گناباد در جنوبی‌ترین نقطه خراسان رضوی و در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر گناباد در منطقه کوهستانی رشته کوه سیاه کوه جنوب خراسان قرار دارد. متوسط بارندگی این منطقه ۲۹۲ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد بوده و از نظر اقلیمی بر اساس روش طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش

در این تحقیق برای تعیین محل‌های مناسب اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش، روند خطر فرسایش خاک با مقایسه نتایج بررسی خطر فرسایش بین دو سال ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ در حوزه آبخیز مورد مطالعه، ارزیابی شد. برای این منظور از دستورالعمل مدل SL190-96 استفاده شد. در این مدل سه فاکتور پوشش گیاهی، شیب و کاربری اراضی به عنوان ورودی‌های اصلی برای ارزیابی خطر فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

داده‌های پوشش گیاهی بر اساس از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ دانلود شده از سایت (USGS (U.S. Geological Survey, 2021) برای هر یک از سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ با محاسبه مقادیر شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده<sup>۲۳</sup> (NDVI) مطابق رابطه ۱ در نرم‌افزار ENVI 5.3 تهیه شد (جدول ۱). برای این منظور قبل از محاسبه این شاخص‌ها، تصاویر دانلود شده از نظر خطای هندسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و خطی‌جاده‌ها و تقاطع‌ها به عنوان نقاط کنترل زمینی مورد بررسی و تطابق هندسی قرار گرفت و با مقدار خطای کمتر از ۰/۵ پیکسل تایید شد. سپس تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری با استفاده از عملگرهای مربوط به تصحیح رادیومتریک و مدول تصحیح اتمسفریک با استفاده از جعبه‌ابزار نرم‌افزار ENVI 5.3 بر روی تصاویر انجام شد (عبدلعلی زاده و همکاران، ۲۰۲۰).

$$NDVI = \frac{|NIR-R|}{|NIR+R|} \quad (1)$$

NDVI = مقدار شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده

NIR = باند مادون قرمز نزدیک

R = باند قرمز

نقشه شیب منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی حوضه و از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ در محیط نرم افزار الویس تهیه شد. نقشه کاربری‌ها در محیط نرم افزار الویس و با استفاده از داده‌های طرح مطالعاتی و بازنگری شده

<sup>2</sup> - Normalized Difference Vegetation Index

حوضه مورد مطالعه (طرح آبخیزداری ۴ سد، ۱۳۷۱؛ طرح بازنگری حوزه آبخیز سد کلات، ۱۳۹۱)، بانک اطلاعاتی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان گناباد، کنترل میدانی، گوگل ارتس و تصاویر ماهواره لندست تهیه شد.

جدول ۱: تصاویر ماهواره‌های مورد استفاده از برای تهیه شاخص NDVI

نوع	سنجنده	تاریخ تصویر	قدرت تفکیک مکانی (متر)
لندست ۵	TM	۱۳۷۰/۳/۳۰	۳۰
لندست ۸	OI/TIRS	۱۴۰۰/۴/۱	۳۰

در مدل SL190-96، درجات خطر فرسایش به شش کلاس ناچیز، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد و بسیار زیاد تقسیم می‌شود (وزارت منابع آب چین؛<sup>۲</sup> ۱۹۹۷). جدول ۲ درجات خطر فرسایش برای سه عامل شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی را در این مدل نشان می‌دهد. سپس هر یک از لایه‌های شیب، کاربری اراضی و مقادیر NDVI در هر یک از سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰، بر اساس طبقات این جدول، بصورت نقشه درجات خطر فرسایش در محیط نرم افزار الویس<sup>۵</sup> تهیه شد (ابهینا و<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ بیسرات و برهانو<sup>۷</sup>؛ ۲۰۱۸؛ دینگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ تورات<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

<sup>2</sup> - Ministry of Water Resources

<sup>5</sup> - ILWIS

<sup>6</sup> - Abhinav

<sup>7</sup> - Bisrat and Berhanu

<sup>8</sup> - Ding

<sup>9</sup> - Thorat

جدول ۲: درجات خطر فرسایش برای سه عامل شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در مدل SL190-96 - درجات شدت خطر فرسایش ۱: ناچیز، ۲: کم، ۳: متوسط، ۴: زیاد، ۵: خیلی زیاد، ۶: بسیار زیاد

شیب (درجه)						مقادیر NDVI	
>۳۵	۳۵-۲۵	۲۵-۱۵	۱۵-۸	۸-۵	<۵		
۱	۱	۱	۱	۱	۱	>۰/۶	کاربری مرتع
۲	۲	۲	۲	۲	۱	۰/۴۵ - ۰/۶	
۴	۳	۳	۲	۲	۱	۰/۳ - ۰/۴۵	
۵	۴	۳	۳	۲	۱	۰/۱۵ - ۰/۳	
۶	۵	۴	۳	۳	۱	۰ - ۰/۱۵	
۶	۶	۵	۴	۳	۲	<۰	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	>۰/۶	اراضی زراعی و باغی دیم
۲	۲	۲	۲	۲	۱	۰/۴۵ - ۰/۶	
۴	۳	۳	۲	۲	۱	۰/۳ - ۰/۴۵	
۵	۴	۳	۳	۲	۱	۰/۱۵ - ۰/۳	
۶	۵	۴	۳	۳	۱	۰ - ۰/۱۵	
۶	۶	۵	۴	۳	۲	<۰	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	>۰/۶	اراضی بایر و رها شده
۲	۲	۲	۲	۲	۱	۰/۴۵ - ۰/۶	
۴	۳	۳	۲	۲	۱	۰/۳ - ۰/۴۵	
۵	۴	۳	۳	۲	۱	۰/۱۵ - ۰/۳	
۶	۵	۴	۳	۳	۱	۰ - ۰/۱۵	
۶	۶	۵	۴	۳	۲	<۰	
					۱	>۰/۶	اراضی زراعی و باغی آبی
					۱	۰/۴۵ - ۰/۶	
					۱	۰/۳ - ۰/۴۵	
					۱	۰/۱۵ - ۰/۳	
					۱	۰ - ۰/۱۵	
					۲	<۰	

تغییرات مکانی و زمانی خطر فرسایش با مقایسه نتایج خطر فرسایش در دو نقشه تهیه شده از آن برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ با مدل روند T-model تعیین شد. در این مدل روند تغییرات بصورت یک کد دو رقمی نشان داده می‌شود. رقم اول نشان دهنده وضعیت اولیه و رقم دوم نشان دهنده مقدار تغییر نسبت به وضعیت اولیه است. اختلاف زیاد بین رقم اول و دوم در این مدل نشان‌دهنده روند تغییرات سریع و شدید است. برای محاسبه روند تغییرات خطر فرسایش با استفاده از مدل روند T-model، نقشه‌های خطر فرسایش سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ با یکدیگر تلفیق شدند. بر اساس روش SL190-96، نقشه خطر فرسایش به صورت کدهای ۱ تا ۶ شامل کلاس خطر ناچیز (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴)، خیلی زیاد (۵) و بسیار زیاد (۶) نشان داده شد در نتیجه نقشه نهایی تلفیق شده بصورت یک نقشه با کدهای دو رقمی است که کلاس‌های طبقات آن دامنه بین ۱۱ تا ۶۶ می‌تواند داشته باشند (جدول ۳).

در نهایت، نقشه اولویت بندی عملیات اجرایی حفاظت خاک و کنترل فرسایش بر اساس تعداد درجات افزایش یا کاهش مطابق با جدول ۳ و بر اساس در روش SL190-96، برای حوزه آبخیز مورد مطالعه تهیه شد. در این روش اولویت‌های حفاظت مناطق به شش گروه شامل خیلی بالا (۱)، بالا (۲)، متوسط (۳)، کم (۴)، خیلی کم (۵) و بسیار ناچیز (۶) تقسیم بندی شد.

جدول ۳: اولویت بندی مناطق اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش بر اساس تغییر خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ در مدل SL190-96 - مقادیر اولویت ۱: خیلی بالا، ۲: بالا، ۳: متوسط، ۴: کم، ۵: خیلی کم، ۶: بسیار ناچیز

اولویت اجرا	درجه خطر فرسایش تلفیقی	اولویت اجرا	درجه خطر فرسایش تلفیقی	اولویت اجرا	درجه خطر فرسایش تلفیقی
۶	۳۱	۶	۲۱	۶	۱۱
۵	۳۲	۴	۲۲	۴	۱۲
۳	۳۳	۳	۲۳	۲	۱۳
۲	۳۴	۲	۲۴	۱	۱۴
۲	۳۵	۱	۲۵	۱	۱۵
۱	۳۶	۱	۲۶	۱	۱۶

۶	۶۱	۶	۵۱	۶	۴۱
۶	۶۲	۵	۵۲	۵	۴۲
۵	۶۳	۴	۵۳	۴	۴۳
۴	۶۴	۳	۵۴	۳	۴۴
۳	۶۵	۲	۵۵	۲	۴۵
۱	۶۶	۱	۵۶	۱	۴۶

به منظور اعتبارسنجی، دقت نتایج نقشه اولویت‌بندی مناطق اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش با انتخاب ۵۰ نقطه بصورت تصادفی و کنترل میدانی آنها با GPS انجام شد. برای این منظور با کنترل میدانی در مختصات مکانی این نقاط، و در نظر گرفتن سه عامل شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر اساس استاندارد تعیین شده در مدل SL190-96، درجات خطر فرسایش در این نقاط تعیین شد. بر اساس درجات خطر فرسایش، بالاترین درجه خطر فرسایش (کلاس ۶) از بالاترین اولویت (کلاس ۱) برای اجرای عملیات کنترل فرسایش برخوردار خواهد بود. تمامی نقاط کنترلی بصورت میدانی مورد بررسی قرار گرفت و در شش گروه اولویت اجرایی عملیات کنترل فرسایش شامل خیلی بالا (۱)، بالا (۲)، متوسط (۳)، کم (۴)، خیلی کم (۵) و بسیار ناچیز (۶) طبقه‌بندی گردید. در نهایت صحت‌سنجی نتایج با مقایسه تعداد نقاط درست اولویت‌بندی شده، بین خروجی نقشه و مشاهده میدانی، با استفاده از شاخص صحت، انجام شد.

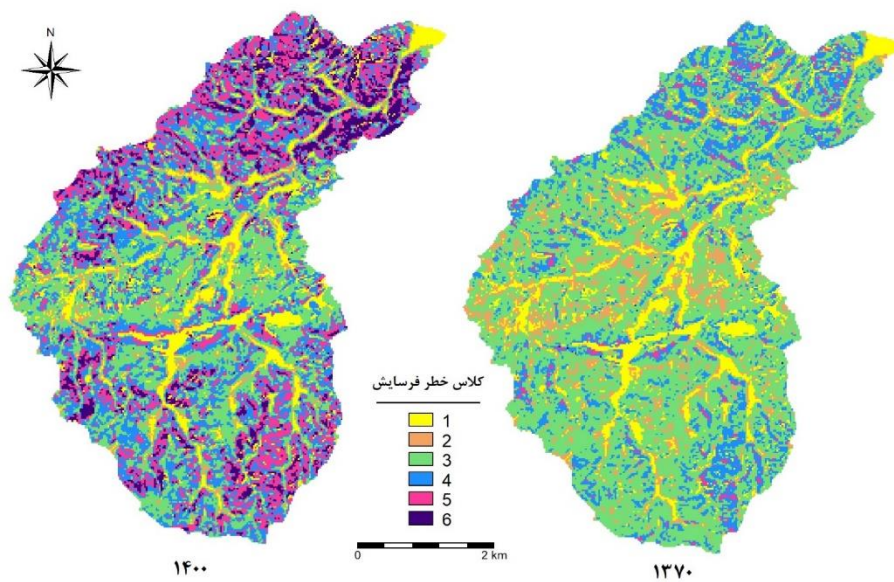
#### ۴- یافته‌ها (نتایج)

نقشه خطر فرسایش برای هر یک از سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ بر اساس دستورالعمل مدل SL190-96 و با استفاده از داده‌های سه لایه شیب، کاربری اراضی و پوشش گیاهی برای حوضه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۲). جدول ۳ ماتریس تغییرات خطر فرسایش بین دو سال ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰، درصد تغییر مساحت هر یک از درجات خطر فرسایش را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل، در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ مقدار ۱/۶ درصد از وسعت مناطق دارای کلاس خطر فرسایش ناچیز کاسته شده و به کلاس‌های دارای درجه خطر حادث‌تر تبدیل شده است. کلاس خطر فرسایش کم در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ مقدار ۹/۷۴ درصد از وسعت آن تبدیل شده که تنها ۰/۰۵ درصد آن بهبود وضعیت پیدا کرده و الباقی از نظر وضعیت خطر فرسایش حادث‌تر شده است. از این مقدار ۹/۳ درصد تبدیل به مناطق با وضعیت خطر فرسایش متوسط شده است. نتایج حاصل نشان داد بیشترین تبدیل وضعیت

خطر فرسایش مربوط به کلاس خطر متوسط بوده است. بطوری که در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ تنها ۱۹ درصد اراضی منطقه مورد مطالعه در وضعیت خطر فرسایش متوسط باقی مانده‌اند و ۳۶/۴ درصد از وسعت این مناطق وضعیت خطر فرسایش آنها تغییر کرده است که از این مقدار تنها ۰/۰۷۴ درصد این مناطق وضعیت خطر فرسایش آنها بهبود یافته و الباقی حادث شده‌اند. وسعت مناطق دارای خطر زیاد فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ به مقدار ۱۵/۳۴ درصد تغییر یافته که از این مقدار تنها ۰/۰۶ درصد آنها بهبود وضعیت داشته‌اند و الباقی وضعیت خطر فرسایش آنها حادث شده است. هم‌چنین از ۲/۶ درصد مناطق دارای خطر فرسایش خیلی زیاد در سال ۱۳۷۰، مقدار ۲/۱ درصد آنها وضعیت خطر فرسایش آنها تبدیل به بسیار زیاد شده است (جدول ۴).

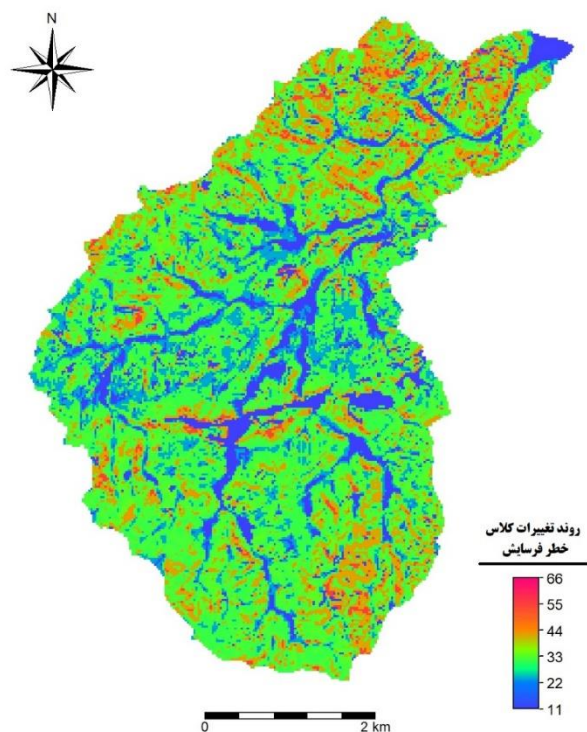
جدول ۴: ماتریس تغییرات مساحت کلاس‌های خطر فرسایش بین دو سال ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ بر حسب درصد

جمع	درجات خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰						ناچیز	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	بسیار زیاد
	جمع	ناچیز	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد						
۱۱/۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۰/۰۲۲	۰/۳	۱/۳۷	۱۰	ناچیز	۱۳۷۰				
۱۲/۸	۰/۰۲۲	۰	۰/۳۳	۹/۳	۳/۰۶	۰/۰۵	کم					
۵۵/۴	۲/۹۲	۱۰/۱۱	۲۳/۲۸	۱۹	۰/۰۲۸	۰/۰۴۶	متوسط					
۱۷/۵	۴/۳۱	۱۱/۰۱	۲/۱۶	۰/۰۰۶	۰	۰	زیاد					
۲/۶	۲/۱	۰/۵۴	۰	۰	۰	۰	خیلی زیاد					
۰/۰۳	۰/۰۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	بسیار زیاد					
۱۰۰	۹/۴	۲۱/۷	۲۵/۸	۲۸/۶	۴/۵	۱۰/۱	جمع					



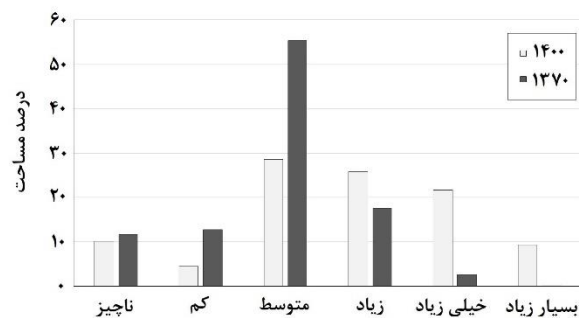
شکل ۲: نقشه خطر فرسایش سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ حوضه مورد مطالعه. درجات شدت خطر فرسایش ۱: ناچیز، ۲: کم، ۳: متوسط، ۴: زیاد، ۵: خیلی زیاد، ۶: بسیار زیاد

نتایج حاصل از بررسی روند خطر فرسایش با استفاده از مدل روند T-model در شکل ۳ نشان داده شده است. در نقشه حاصل مقدار عددی هر پیکسل بصورت یک کد عددی دو رقمی بیان شد. رقم اول (سمت چپ) درجه خطر فرسایش در سال ۱۳۷۰ و رقم دوم (سمت راست) درجه خطر فرسایش را در سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد.



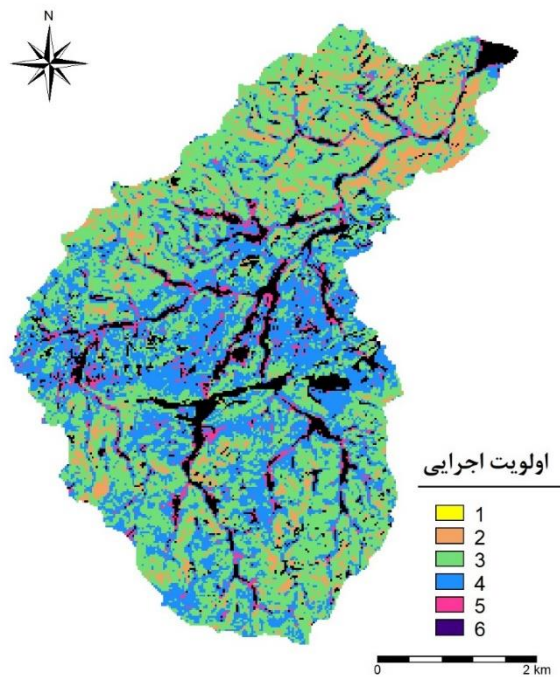
شکل ۳: نقشه روند خطر فرسایش با استفاده از مدل روند T-model

بر اساس نتایج حاصل، در سال ۱۳۷۰ بیشتر سطح حوضه به مقدار ۵۵/۳ درصد دارای وضعیت خطر فرسایش متوسط بوده و درجه خطر بسیار زیاد در حوضه وجود نداشته است. اما در سال ۱۴۰۰ وضعیت متوسط در خطر فرسایش خاک به ۲۸/۶ درصد رسیده است و ۲۵/۸ درصد از سطح حوضه دارای وضعیت خطر فرسایش زیاد و ۲۱/۷ درصد آن وضعیت خطر فرسایش خیلی زیاد شده است. هم‌چنین وضعیت خطر بسیار زیاد نیز در ۹/۴ درصد از سطح حوضه دیده می‌شود. در کل وضعیت خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ حادث‌تر شده و از وسعت مناطق با خطر فرسایش ناچیز، کم و متوسط کاسته شده و به کلاس‌های خطر زیاد، خیلی زیاد و بسیار زیاد اضافه شده است (شکل ۴). بر اساس نتایج ارزیابی حاصل، تنها ۰/۱۳ درصد از منطقه مورد مطالعه وضعیت فرسایش آنها در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ بهبود یافته و ۶۵/۱۴ درصد از آنها از نظر وضعیت خطر فرسایش حادث‌تر شده است.



شکل ۴: تغییرات خطر فرسایش در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ در حوزه مورد مطالعه

بر اساس نتایج حاصل از نقشه‌های خطر فرسایش، اولویت مناطق برای عملیات اجرایی حفاظت خاک برای مناطقی که خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ افزایش داشته بر اساس دستورالعمل مدل SL190-96 از انجام شد. نتایج حاصل نشان داد ۹/۴ درصد از سطح حوزه مورد مطالعه دارای اولویت خیلی بالا و ۴۵/۶ درصد دارای اولویت بالا برای اجرای این عملیات هستند (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه اولویت‌بندی عملیات اجرایی حفاظت خاک برای حوزه مورد مطالعه. مقادیر اولویت ۱: خیلی بالا، ۲:

بالا، ۳: متوسط، ۴: کم، ۵: خیلی کم، ۶: بسیار ناچیز

برای ارزیابی و صحت‌سنجی ۵۰ نقطه بصورت تصادفی از نقشه خروجی انتخاب شدند و اولویت اجرایی آنها بصورت میدانی بر اساس استاندارد مدل SL190-96 با استفاده از شاخص صحت تعیین شد. نتایج حاصل دقت اولویت‌بندی مناطق را از نظر اجرای عملیات حفاظت خاک و کنترل فرسایش ۸۸ درصد نشان داد. جدول ۵ نتایج حاصل از اولویت‌های اجرایی برآورد شده توسط مدل SL190-96 و مشاهداتی را نشان می‌دهد.

جدول ۵: نتایج ارزیابی اولویت‌های اجرایی برآورد شده توسط مدل SL190-96 و مشاهداتی

نقطه	مختصات*	اولویت مدل	اولویت مشاهداتی	نقطه	مختصات	اولویت مدل	اولویت مشاهداتی
۱	۶۴۱۶۶۲ ۳۷۸۴۶۲۲	۳	۲	۲۶	۶۳۸۴۶۸ ۳۷۸۲۲۴۲	۵	۵
۲	۶۴۰۳۵۵ ۳۷۸۴۵۳۷	۲	۲	۲۷	۶۳۹۹۹۷ ۳۷۸۱۶۰۳	۴	۴
۳	۶۳۷۹۳۲ ۳۷۸۳۴۱۶	۳	۳	۲۸	۶۳۹۸۱۵ ۳۷۸۱۳۸۵	۴	۳
۴	۶۳۸۳۴۰ ۳۷۸۲۷۷۷	۴	۴	۲۹	۶۳۸۹۰۵ ۳۷۸۰۳۳۵	۴	۴
۵	۶۳۹۳۴۸ ۳۷۸۲۸۹۴	۳	۳	۳۰	۶۳۷۷۰۸ ۳۷۷۸۳۶۷	۲	۲
۶	۶۳۸۷۴۱ ۳۷۸۰۹۱۵	۵	۵	۳۱	۶۳۷۱۸۲ ۳۷۷۹۱۴۳	۲	۳
۷	۶۳۸۷۵۳ ۳۷۸۱۰۷۳	۶	۶	۳۲	۶۳۷۷۲۴ ۳۷۷۹۱۶۴	۶	۶
۸	۶۳۹۶۴۳ ۳۷۷۹۵۶۸	۶	۶	۳۳	۶۳۸۴۴۰ ۳۷۷۶۶۱۵	۳	۳
۹	۶۳۹۴۶۵ ۳۷۷۷۴۳۲	۳	۳	۳۴	۶۳۷۸۱۷ ۳۷۸۰۵۷۶	۴	۴
۱۰	۶۳۸۴۹۰ ۳۷۷۶۴۸۵	۵	۵	۳۵	۶۳۹۱۲۸ ۳۷۸۱۸۰۱	۳	۳
۱۱	۶۳۹۴۵۳ ۳۷۷۶۹۶۲	۳	۳	۳۶	۶۳۸۱۴۶ ۳۷۷۷۰۳۸	۶	۶
۱۲	۶۳۷۴۵۰ ۳۷۷۶۲۰۶	۴	۴	۳۷	۶۳۹۱۰۵ ۳۷۷۷۴۹۵	۲	۲
۱۳	۶۳۷۰۲۹ ۳۷۷۶۵۳۴	۲	۲	۳۸	۶۴۰۵۰۹ ۳۷۷۸۵۰۳	۲	۲
۱۴	۶۳۶۰۹۳ ۳۷۷۷۹۳۰	۱	۱	۳۹	۶۳۹۷۹۷ ۳۷۷۶۸۶۰	۲	۲
۱۵	۶۳۶۴۴۹ ۳۷۷۸۰۹۵	۳	۳	۴۰	۶۳۶۷۰۶ ۳۷۷۶۸۶۰	۳	۳
۱۶	۶۳۷۸۴۹ ۳۷۷۸۷۳۵	۵	۵	۴۱	۶۳۷۹۹۲ ۳۷۷۸۰۷۸	۳	۳
۱۷	۶۳۷۳۸۴ ۳۷۷۹۳۷۰	۳	۳	۴۲	۶۳۷۸۳۸ ۳۷۷۸۷۳۷	۵	۵
۱۸	۶۳۶۹۳۹ ۳۷۷۹۶۳۳	۴	۴	۴۳	۶۳۸۶۳۱ ۳۷۷۷۵۳۲	۴	۴
۱۹	۶۳۶۰۰۸ ۳۷۷۸۸۱۶	۲	۲	۴۴	۶۳۸۲۱۱ ۳۷۷۶۶۷۸	۶	۶
۲۰	۶۳۶۱۰۵ ۳۷۸۰۶۶۹	۲	۲	۴۵	۶۳۹۶۴۷ ۳۷۷۹۵۷۱	۶	۶
۲۱	۶۳۷۳۱۱ ۳۷۸۱۳۱۲	۳	۳	۴۶	۶۳۸۲۸۸ ۳۷۷۹۱۵۸	۴	۳
۲۲	۶۳۷۵۲۶ ۳۷۸۱۰۳۷	۵	۵	۴۷	۶۳۶۶۹۸ ۳۷۷۹۴۴۹	۳	۳
۲۳	۶۳۶۸۵۰ ۳۷۸۱۱۰۶	۳	۳	۴۸	۶۳۶۱۳۹ ۳۷۷۷۹۰۸	۲	۲
۲۴	۶۳۸۴۸۰ ۳۷۸۱۹۶۳	۴	۴	۴۹	۶۴۵۲۴۲ ۳۷۸۳۵۸۰	۲	۲
۲۵	۶۳۵۸۳۴ ۳۷۸۱۹۰۷	۳	۲	۵۰	۶۳۸۷۱۲ ۳۷۸۴۰۹۲	۲	۲

\* سیستم مختصات UTM زون 40S

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با تهیه نقشه خطر فرسایش و بررسی روند تغییرات آن، روشی را برای ارزیابی سریع مناطق از نظر خطر فرسایش و اولویت‌بندی مناطق حفاظت خاک نشان داد. تلفیق عوامل کیفی پوشش گیاهی، شیب و کاربری اراضی می‌تواند بطور گسترده‌ای برای پایش خطر فرسایش خاک بکار گرفته شود زیرا با تعیین دامنه تعیین شده برای این عوامل، برخلاف سایر روش‌های کیفی، کمتر تحت تاثیر نظرات شخصی کارشناسان قرار گرفته و می‌تواند با GIS تلفیق گردد. بنابراین این روش به عنوان یک روش ارزیابی کیفی ساده می‌تواند نتایج خوبی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظت خاک نشان دهد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

در مطالعات فرسایش و ارزیابی آن، عوامل پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شیب از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر فرسایش بشمار رفته و اغلب برای اولویت‌بندی ارزیابی‌ها بکار برده می‌شوند. استفاده از سه فاکتور درصد تاج پوشش گیاهی، شیب و کاربری اراضی برای تعیین خطر فرسایش در بسیاری از مطالعات مشابه مورد استفاده و تایید قرار گرفته است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج رئیس و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی و ارزیابی خطر فرسایش در منطقه مدیترانه دو عامل شیب و پوشش گیاهی را از مهم‌ترین عوامل موثر بر خطر فرسایش معرفی نموده‌اند. نتایج املاح و مرابیتی<sup>۳</sup> (۲۰۲۱) نیز نشان داد که شیب مهم‌ترین عامل در پتانسیل مناطق فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز بوده بطوری که کلاس‌های با درجه فرسایش متوسط به بالا تحت تاثیر مستقیم شیب قرار دارند. همچنین مطالعه مددی و شریفی (۲۰۲۴) نیز نشان داد پوشش گیاهی و توپوگرافی بیشترین همبستگی را با مقدار فرسایش دارد.

کلاس‌های اولویت حفاظت خاک و پراکنش آنها در این تحقیق نشان داد بیشترین اقدامات اجرایی مورد نیاز حفاظت خاک بر اساس خطر فرسایش خاک می‌تواند مکان‌یابی شده و برای اجرا در آینده برنامه‌ریزی شود. بر اساس نتایج سایر مطالعات نیز اولویت‌بندی مناطق برای حفاظت خاک امری ضروری است (بکله<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در این مطالعه تغییرات کلاس‌های خطر فرسایش در یک فاصله زمانی ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۴۰۰ ارزیابی شد. بکله و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه مشابهی در یک بازه زمانی ۳۰ ساله خطر فرسایش را در یکی از حوزه‌های آبخیز اتیوپی مورد بررسی قرار دادند و اهمیت اولویت‌بندی خطر فرسایش را نشان دادند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز

<sup>3</sup> - Amellah, O., Morabiti 0

<sup>3</sup> - Bekele 1

تغییرات خطر فرسایش را در یک بازه زمانی ۶ ساله مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج آنها کارایی استفاده از شاخص تغییرات خطر فرسایش جهت اولویت بندی مناطق حفاظت خاک درون حوزه آبخیز را تایید نمود.

با وجود اجرای عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک از سال ۱۳۷۱ در حوضه مورد مطالعه، وضعیت خطر فرسایش در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۷۰ حادث شده و از وسعت مناطق با خطر فرسایش ناچیز، کم و متوسط کاسته شده و به کلاس های خطر زیاد، خیلی زیاد و بسیار زیاد اضافه شده است. این امر لزوم توجه و برنامه ریزی، تخصیص اعتبار و مکان یابی درست اجرای عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک را برای کنترل و کاهش فرسایش در سطح حوضه مورد مطالعه را نشان می دهد. روش ارزیابی کیفی ارائه شده در این تحقیق نشان داد که بر اساس تغییرات خطر فرسایش عوامل اصلی موثر بر فرسایش خاک بدون نیاز به روش های کمی پیچیده می توان مناطق لازم جهت حفاظت خاک درون یک حوزه آبخیز را اولویت بندی نمود. روش پیشنهاد شده می تواند در اجرای موثرتر اقدامات حفاظت خاک بکار گرفته شود. تعیین مناطق دارای پتانسیل خطر فرسایش بیشتر می تواند باعث هدایت طرح های حفاظت خاک به مناطق دارای اولویت بالاتر و حادثر شود. با اجرای این طرح ها در محل های مناسب، میزان تاثیر این اقدامات در کنترل و کاهش فرسایش و موفقیت آنها و به تبع آن مشارکت و مقبولیت عمومی آنها افزایش خواهد یافت.

#### فهرست منابع

- Abdolalizadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., and Moameri, M. 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 13(6): 1-13. DOI: 10.1007/s12517-020-5150-1
- Abhinav, M., Shital, Sh., and Shrey, R. 2021. Vegetation Change Analysis using Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature in Greater Gir Landscape. *Journal of Scientific Research*. 65(3): 1-7. DOI: 10.37398/JSR.2021.650301
- Amellah, O., Morabiti, K. 2021. Assessment of soil erosion risk severity using GIS, remote sensing and RUSLE model in Oued Laou Basin (north Morocco). *Soil Science Annual*. 72(3): 142530. <https://doi.org/10.37501/soilsa/142530>
- Aslam, B., Maqsoom, A., Shahzaib, Kazmi, Z.A., Sodangi, M., Anwarf, F., Bakri, M.H., Tufail, R.F., Farooq, D. 2020. Effects of landscape changes on soil erosion in the built

environment: application of geospatial- based RUSLE technique. Sustainability. 12(15): 5898.

- Bekele, D.A., Gella, G.W., Ejigu, M.A. 2022. Erosion risk assessment: A contribution for conservation priority area identification in the sub-basin of Lake Tana, north-western Ethiopia. International Soil and Water Conservation Research. 10(1): 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.010>

- Bhadra, A., Lalramnghaki, H., Kiba, L.G., Bandyopadhyay, A. 2018. Temporal variation in water induced soil erosion by RUSLE model using RS and GIS. EPiC series in engineering. 3: 236.

- Beskow, S., Mello, C.R., Norton, L.D., Curi, N., Viola, M.R., Avanzi, J.C. 2009. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. Catena. 79(1): 49–59.

- Bisrat, E., Berhanu, B. 2018. Identification of Surface Water Storing Sites Using Topographic Wetness Index (TWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Journal of Natural Resources and Development 8, 91–100. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v8i0.09>

- Chen, W.H., Liu, L.Y., Zhang, C., Pan, Y.C., Wang, J.H., Wang, J.D., 2005. The fast method of soil erosion investigation based on remote sensing (in Chinese, with English abstract). Research of Soil and Water Conservation. 12(6): 8–10.

- Deng, Z.Q., Lima, J., Jung, H.S., 2009. Sediment transport rate-based model for rainfall-induced soil erosion. Catena. 76(1): 54–62.

- Ding, Y., Zheng, X., Zhao, K., Xin, X., Liu, H. 2016. Quantifying the impact of NDVI soil determination methods and NDVI soil variability on the estimation of fractional vegetation cover in Northeast China. Remote Sensing. 8(1): 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs8010029>

- Ebadi, E., Esfandyari, F., Asgari, S., Mostafazadeh, R. 2024. Evaluation of Soil Erosion Potential in the Firouzabadchay Catchment Area using Geomorphic Indicators and Fuzzy Logic. Geography and Human Relationships, 7(1): 178-185. DOI: 10.22034/gahr.2024.430119.2005

- Greenwood, Philip. 2017. A Review of the Radionuclide, Cobalt-60, as a Fine-Sediment Tracer. Cobalt. InTech. DOI:10.5772/intechopen.71304.

- Jahad Sazandegee. 1992. Watershed studies of the four Gonabad dams, implementation justification stage. Third part. geomorphology. 26 p.

- Madadi, A., and Sharifi, Z. 2024. Integration of Geomorphometric and Vegetation Indices for Soil Erosion Hazard Assessment in Samian Watershed, Ardabil Province. *Geography and Human Relationships*, (). DOI: 10.22034/gahr.2024.451130.2083
  
- Michalopoulou, M., Depountis, N., Nikolakopoulos, K., Boumpoulis, V. 2022. The Significance of Digital Elevation Models in the Calculation of LS Factor and Soil Erosion. *Land*. 11(9): 1592. <https://doi.org/10.3390/land11091592>
  
- MWR (Ministry of Water Resources, China). 1997. National professional standards for classification and gradation of soil erosion, SL 190-1996 (in Chinese). Beijing, the People's Republic of China.
  
- Phua, M., Minowa, M. 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning*. 71: 207–222.
  
- Reis, M., Akay, A.E., Savaci, G. 2016. Erosion Risk Mapping Using CORINE Methodology for Goz Watershed in Kahramanmaraş Region, Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 18: 695-706
  
- Ruksajai, N., Konyai, S., Sriboonlue, V. 2023. Forecasting Soil Erosion Risk Using GIS and Remote Sensing for the Nam Un Basin, Sakon Nakhon Province, Thailand. *Polish Journal of Environmental Studies*. 32(2): 1767-1780. DOI: 10.15244/pjoes/156791
  
- Samarin, M., Zweifel, L., Roth, V., Alewell, C. 2020. Identifying Soil Erosion Processes in Alpine Grasslands on Aerial Imagery with a U-Net Convolutional Neural Network. *Remote Sensing*. 12(24): 4149. <https://doi.org/10.3390/rs12244149>
  
- Silva, V.A.M., Mello, K., Vettorazzi, C.A., Costa, D.R.de., Valente, R.A. 2017. Priority Areas for Forest Conservation, Aiming at the Maintenance of Water Resources, through the Multicriteria Evaluation. *Revista Árvore*. 41(1): e410119. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000100019>
  
- Thorat, S.S., Rajendra, Y.D., Kale, K.V., Mehrotra, S.C. 2015. Estimation of Crop and Forest Areas using expert system-based knowledge classifier approach for Aurangabad District. *International Journal of Computer Applications*. 121(23): 43–46. <https://doi.org/10.5120/21845-5153>
  
- U.S. Geological Survey. 2021. Earth Resources Observation and Science: U.S. Geological Survey database, Earth Explorer, <http://earthexplorer.usgs.gov>.

- Valente, R.O.A., Vettorazzi, C.A., 2008. Definition of priority area for forest conservation through the ordered weighted averaging method. *Forest Ecology and Management*. 256(6): 1408–1417.
- Vrieling, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. *Catena*. 65(1): 2–18.
- Vrieling, A., De Jong, S.M., Sterk, G., Rodrigues, S.C. 2008. Timing of erosion and satellite data: a multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 10(3): 267–281.
- Zhang, X., Wu, B., Ling, F., Zeng, Y., Yan, N., Yuan, Ch. 2010. Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena*. 83: 76–86