نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال چهاردهم- شماره ۵۲- بهار ۱۴۰۵

Vol. 14, No. 52, Spring 2026

پهنه‌بندی شدت فرسایش در حوزه آبخیز سد فرخی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری SWARA

جواد چزگی*[1] و مسلم رستم پور[1]

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش ۱۴۰۵/۰۳/۲۳

DOI:/ 10.22034/WMJI.2026.2079468.1134

چکیده

فرسایش خاک به‌عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های طبیعت، موجب تخریب اراضی و کاهش ظرفیت سدها می‌شود؛ بنابراین، فرسایش خاک نه‌تنها به نابودی زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی منجر می‌شود، بلکه با پر کردن مخازن سدها، تأثیر مستقیمی بر منابع آبی کشور دارد. مقابله با این پدیده نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، احیای پوشش گیاهی از طریق اجرای طرح‌های مرتع‌داری و آبخیزداری می‌باشد. این مطالعه باهدف پهنه‌بندی شدت فرسایش در حوزه آبخیز سد فرخی در شهرستان قاین استان خراسان جنوبی و با بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA انجام شد. بدین منظور از ده معیار شامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بارش، نفوذپذیری خاک، فاصله از رودخانه و بافت خاک مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از وزن‌دهی به معیارها با استفاده از مدل SWARA، لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تلفیق و نقشه نهایی شدت فرسایش تولید و به سه طبقه کم، متوسط و شدید تقسیم شد. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که معیار شیب و زمین‌شناسی به ترتیب بااهمیت نسبی ۰/۱۵ و ۰/۱۳ بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش منطقه داشته است. هم‌چنین بر اساس نقشه نهایی حدود ۲۹ درصد از حوضه، در کلاس فرسایش شدید قرار دارد که عمدتاً منطبق بر واحدهای شیب‌دار، زمین‌شناسی مارنی و پوشش گیاهی ضعیف هستند، این پهنه‌ها اغلب در مجاورت آبراهه‌های اصلی و در بخش‌های مرکزی حوضه که جمعیت بیش‌تر دارند، تمرکز یافته‌اند.

کلید واژه: پهنه‌بندی، حوزه آبخیز سد فرخی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل تصمیم‌گیری، مدل SWARA

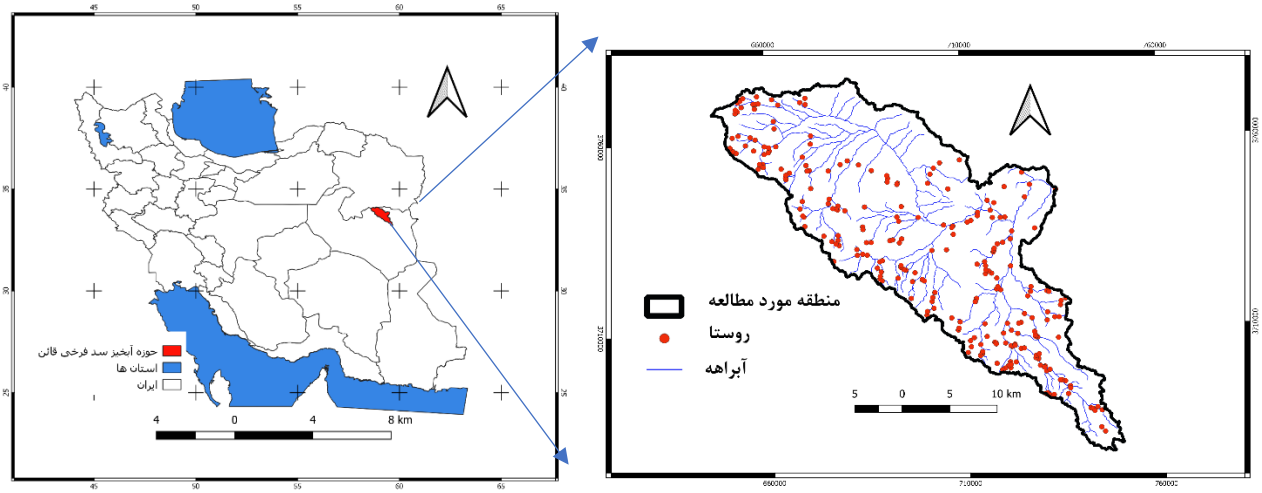
مقدمه

آب‌وخاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است که موجودات زنده روی زمین به آن‌ها وابسته هستند. به دلیل تغییرات آب و هوایی، رشد بیش‌ازحد جمعیت، این منابع به‌طور مداوم در حال کاهش هستند [۱۵ و ۱۸] که باعث خسارت‌های جبران‌ناپذیری شده است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می‌آید. مسئله خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشور مطرح‌شده است. فرسایش خاک به‌عنوان یکی از عوامل مهم در کشاورزی بسیار اهمیت دارد و دلیل اصلی تخریب بسیاری از اراضی حاصلخیز کشاورزی است [۱٤]. فرسایش خاک منجر به انتقال ساله میلیون‌ها تن رسوب به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و سدها می‌شود [۹]. هم‌چنین وقوع سیلاب‌ها و درنتیجه فعالیت‌های انسانی می‌تواند شدت فرسایش را افزایش دهد [٦]. فرسایش خاک پدیده‌ای طبیعی است که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تشدید شده و منجر به کاهش حاصلخیزی خاک، آلودگی منابع آبی و کاهش ظرفیت مخازن سدها می‌گردد [۳].

حوزه‌های آبخیز ایران ازنظر عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی مؤثر بر فرسایش بسیار متفاوت هستند. با توجه به روند رو به افزایش فرسایش خاک، لزوم برنامه‌ریزی صحیح و متناسب با شرایط حوزه‌های آبخیز کشور در جهت حفاظت از منابع آب‌وخاک ضروری است. سالانه بین ۰/۷ تا هفت میلیارد تن از خاک‌های کشور به هدر می‌رود و خسارت زیادی بر جای می‌گذارد [۲۰]. فرسایش مانند بسیاری دیگر از پدیده‌های طبیعی دارای پارامترهای مؤثر گوناگون، غالباً کیفی و پیچیده‌ای است که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها را به دلیل نقش متفاوت و میزان اثربخشی هرکدام از پارامترها، کیفی بودن برخی و یکسان نبودن معیار سنجش، با مشکل مواجه می‌سازد. برای حل مشکل و یا کاهش خطا، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه طراحی‌شده‌اند که دارای مزایا و معایبی هستند [۲۳]؛ بنابراین شناسایی مناطق مستعد فرسایش برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز امری ضروری است. در دهه‌های اخیر، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[2]) در ترکیب با سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک راهکار قدرتمند برای ارزیابی خطر فرسایش موردتوجه قرارگرفته است [۱۲]. مدل‌های مختلفی از تصمیم‌گیری در حوزه منابع طبیعی

۱- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. Email: chezgi@birjand.ac.ir

2. Multicriteria decision making



شکل ۱: منطقه موردمطالعه حوزه آبخیز سد فرخی شهرستان قائن در استان خراسان جنوبی

و مدیریت آب‌وخاک استفاده‌شده است. مدل سوارا (SWARA[1]) به دلیل سادگی، انعطاف‌پذیری و توانایی در تعیین وزن معیارها بر اساس نظرات مستقیم کارشناسان در مطالعات محیطی استفاده می‌شود [۱۳]. این مدل قادر است اولویت‌های پیچیده کارشناسان را به‌صورت کمی درآورده و در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ کند.

حوزه آبخیز سد فرخی، به دلیل موقعیت توپوگرافی، شرایط زمین‌شناسی و فشار فعالیت‌های انسانی، با چالش جدی فرسایش و تولید رسوب مواجه است؛ و تاکنون در حوزه آبخیز سد فرخی شهرستان قاین پهنه‌بندی شدت فرسایش انجام‌نشده است، بنابراین، هدف اصلی این مطالعه، پهنه‌بندی شدت فرسایش در این حوزه با استفاده از مدل سوارا و تلفیق ۱۰ معیار مؤثر است. نتایج این پژوهش می‌تواند نقشه‌ای راهبردی برای مدیران و برنامه‌ریزان در جهت اجرای عملیات حفاظتی در مناطق بحرانی ارائه دهد. از طرفی موضوعاتی که باید در نظر گرفت عدم وجود داده کمی از داده‌های هیدرومتری است که در این تحقیق از تجربیات کارشناسان و مدل تصمیم‌گیری سوارا برای تعیین اهمیت نسبی معیارها و تأثیر آن‌ها در فرسایش خاک استفاده‌شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

محدوده موردمطالعه شهرستان قائنات به مساحت ۳۷۹۸۳۶/٤ هکتار در استان خراسان جنوبی، شهرستان قاین واقع‌شده است. این محدوده شامل دو آبراهه اصلی و انشعابات آن‌ها می‌باشد که در جهات کلی شمالی و جنوبی گسترده شده و با الحاق به یکدیگر در بخش شرقی حوزه، خروجی آن را در محل سد و روستای فرخی تشکیل می‌دهند. حداکثر ارتفاعی در شمال غرب با ارتفاع ۲۸٤۳ متر از سطح دریا، حداقل ارتفاعی به میزان ۱۱۳۹ متر از سطح دریا در خروجی حوضه موردمطالعه می‌باشند. این حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک و ازنظر زمین‌شناسی بخش عمده‌ای از حوزه آبخیز موردمطالعه در زون زمین ساختی بلوک لوت قرار دارد. بلوک لوت، با درازایی حدود ۹۰۰ کیلومتر، خاوری‌ترین بخش خرد ایران مرکزی است. مرز خاوری آن با گسل نهبندان و حوضه فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن با گسل نایبند و بلوک طبس مشخص می‌شود (شکل ۱) [۱۰].

فرآیند تحقیق

این تحقیق در سه مرحله: مرحله ۱. تعیین معیارها و جمع‌آوری اطلاعات مربوطه. ابتدا معیارهای مؤثر بر فرسایش منطقه بر اساس نظرات کارشناسان و مطالعات کتابخانه‌ای تعیین گردید. داده‌های موردنظر از سازمان‌های مربوطه (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی، سازمان زمین‌شناسی و سازمان هواشناسی)، برداشت‌های صحرایی و غیره تهیه شد. مرحله ۲. تعیین اهمیت معیارها با استفاده از مدل SWARA و نظرات کارشناسان. در این مرحله برای تأثیر معیارها بر فرسایش از نظرات متخصصان امر و با استفاده از پرسشنامه‌ها (۱۵ عدد) تکمیل‌شده به دست آمد. مرحله ۳. تلفیق نقشه‌ها و تهیه نقشه نهایی شد فرسایش. پس از تعیین اهمیت نسبی معیارها، نقشه هر معیار در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به دست آمد، سپس نقشه‌ها بر اساس رابطه (۱) تلفیق و نقشه نهایی پهنه‌بندی فرسایش تهیه شد [٤].

رابطه ۱. $Erosion = (w1)*(C1) + (w2)*(C2) + (w3)*(C3) + \ldots + (w10)*(C10)$

W۱= وزن معیار ۱، W۲= وزن معیار ۲ و تا w۱۰ = وزن معیار ۱۰.

معیارهای مورداستفاده

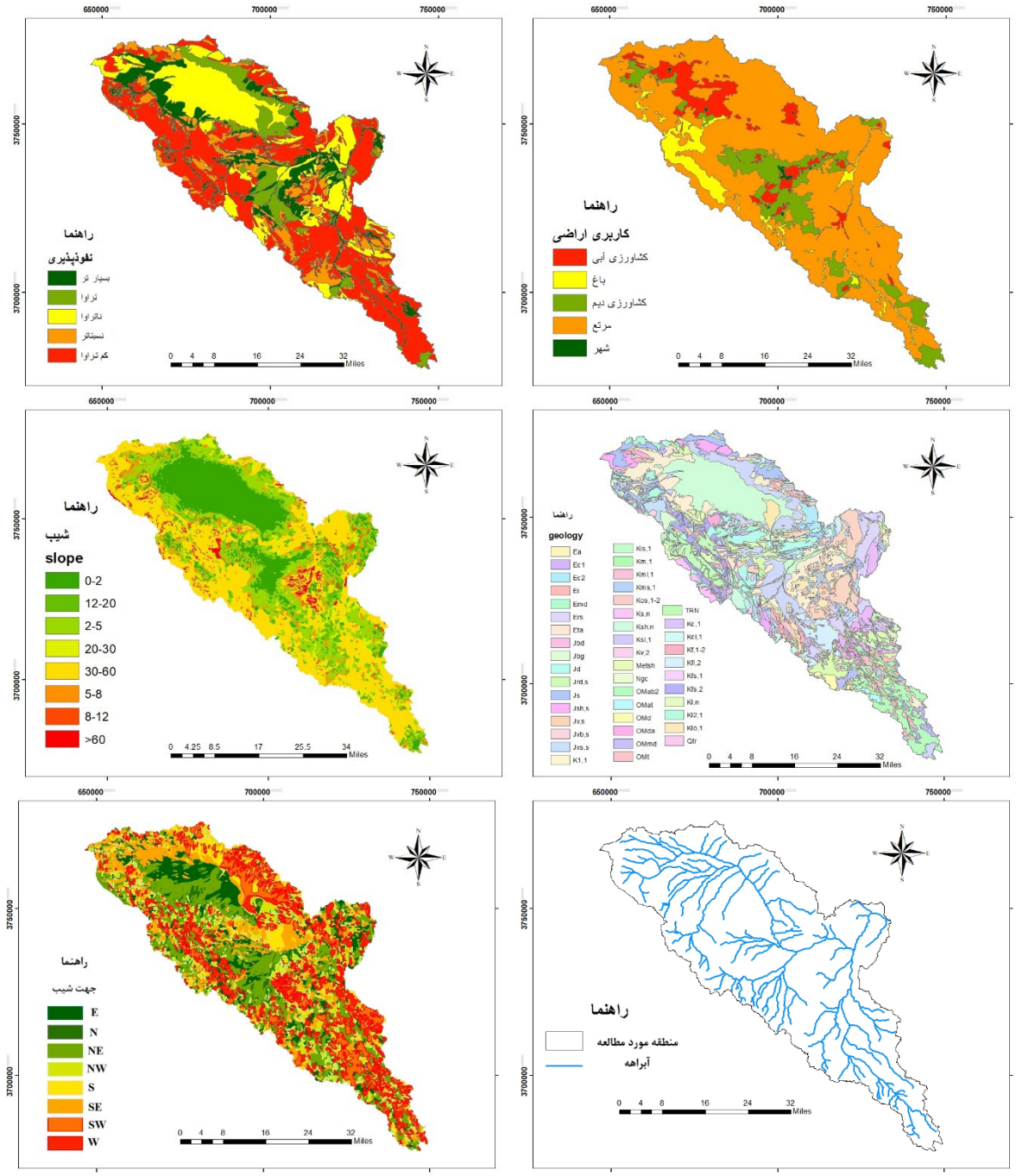
بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، سازمانی و بررسی‌های میدانی، ده معیار مؤثر بر فرسایش در این منطقه انتخاب شدند: شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع (۳۰ متر) استخراج شد. کاربری اراضی

1. Step wise Weight Assessment Ratio Analysis

از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI و پوشش گیاهی با شاخص NDVI استفاده شد (۱۰). نقشه زمین‌شناسی از سازمان زمین‌شناسی تهیه گردید (مقیاس ۱۰۰۰۰۰). داده‌های و نقشه‌های ژئومورفولوژی، نفوذپذیری خاک و بافت خاک از اداره منابع طبیعی استان خراسان جنوبی تهیه گردید. بارش از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه استفاده گردید (۱۰). فاصله از رودخانه از لایه آبراهه تهیه گردید. تمامی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 رستر شده و در یک سیستم مختصات و اندازه سلول یکسان (۳۰ متر) آماده‌سازی شدند (شکل ۲).

مدل SWARA

روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی است که با فرم کوتاه SWARA نمایش داده می‌شود. این روش در سال ۲۰۱۰ توسط کرشالینه و همکاران معرفی شد [۲۲]. در مدل SWARA ابتدا کارشناسان معیارها را به ترتیب اهمیت مرتب می‌کنند. مهم‌ترین معیار ابتدا قرار می‌گیرد و امتیاز یک را می‌گیرد. درنهایت معیارها



شکل ۲: نقشه‌های پایه مورداستفاده در پژوهش حاضر

بر اساس مقادیر متوسط اهمیت نسبی رتبه‌بندی می‌شوند. گام اول: مرتب کردن معیارها، گام دو: تعیین اهمیت نسبی هر معیار (Sj)، گام سه: محاسبه ضریب Kj ، گام چهار: محاسبه وزن اولیه هر معیار و گام پنجم: محاسبه وزن نرمال نهایی [۱۹].

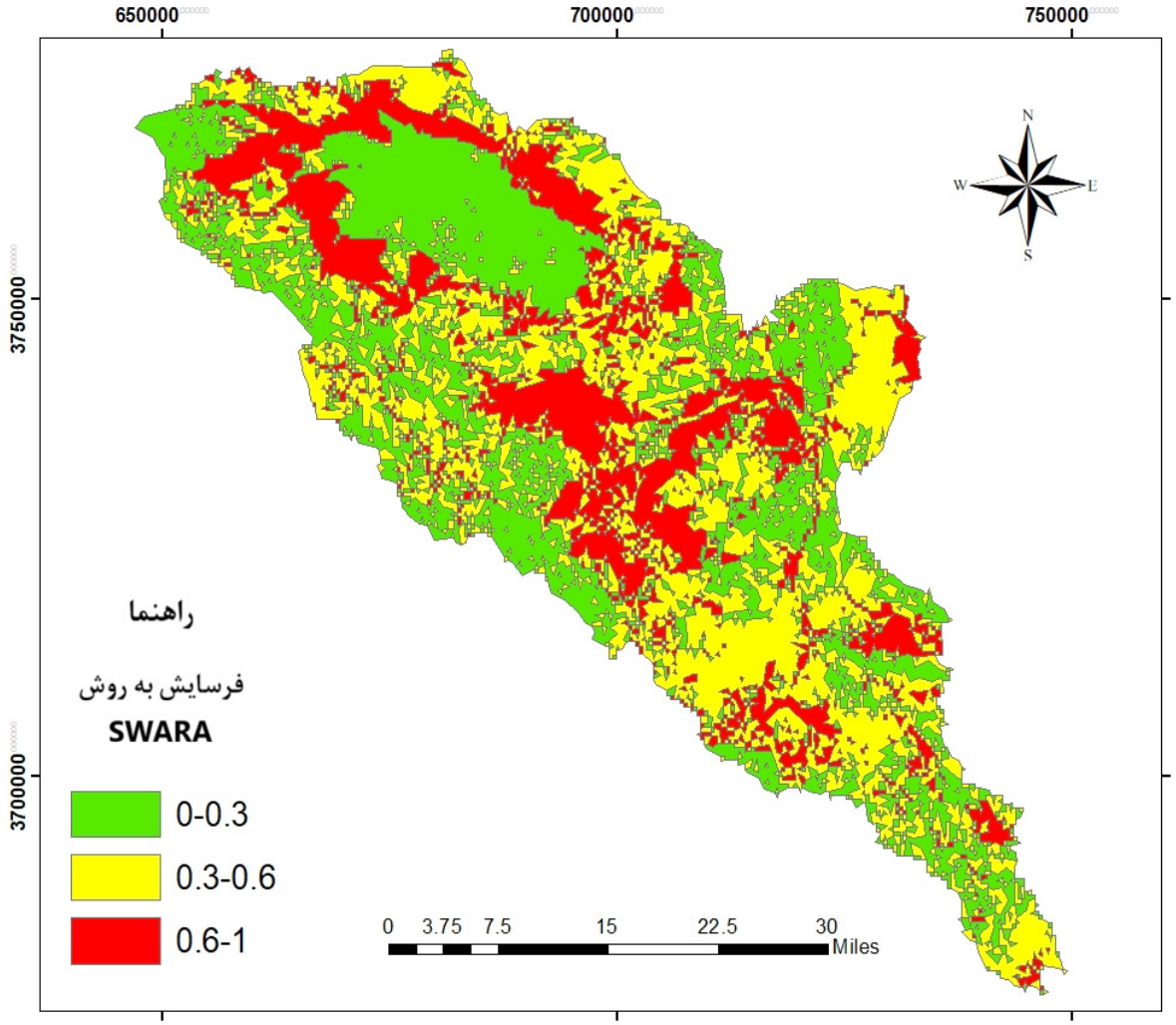
پس از تعیین وزن نهایی هر معیار با مدل SWARA، تمامی لایه‌ها بر اساس وزن خود در محیط GIS تلفیق و نقشه نهایی شدت فرسایش به دست آمد. این نقشه به سه کلاس حساسیت به فرسایش (کم، متوسط، زیاد) طبقه‌بندی شد.

نتایج

در مسائلی مثل فرسایش خاک، عوامل محیطی زیادی تأثیر دارند و تأثیر این معیارها یکسان نیست. ازاین‌رو لازم است برای هر معیار، یک وزن مناسب تعیین شود که نشان دهد آن معیار چقدر در فرآیند فرسایش مؤثر است. برای به دست آوردن تأثیر معیارها روش‌های مختلفی استفاده می‌گردد که در این تحقیق از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: وزن معیارها با مدل SWARA

معیارها	اهمیت نسبی معیارها با روش SWARA
شیب	۰/۱۵
زمین‌شناسی	۰/۱۳
پوشش گیاهی	۰/۱۲
کاربری اراضی	۰/۰۶
آبراهه	۰/۰۹
ژئومورفولوژی	۰/۰۷
بافت خاک	۰/۱۱
نفوذپذیری	۰/۰۸
بارش	۰/۱
جهت شیب	۰/۰۵



شکل ۳: نقشه شدت فرسایش با استفاده از مدل SWARA

نتایج وزن‌دهی با مدل SWARA نشان داد که معیارهای شیب (با وزن ۰/۱۵)، زمین‌شناسی (۰/۱۳) و پوشش گیاهی (۰/۱۲) به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در شدت فرسایش حوضه دارند. در مقابل، معیار جهت شیب (۰/۰۵) کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داد.

پس از تعیین تأثیر هر معیار در فرسایش و تهیه نقشه معیارها بر اساس رابطه (۱) نقشه نهایی شدت فرسایش در منطقه موردمطالعه به دست آمد و در سه طبقه حساسیت کم، حساسیت متوسط و حساسیت بالا طبقه‌بندی شد (شکل ۳).

نقشه نهایی شدت فرسایش نشان داد که حدود ٤٤ درصد از مساحت حوضه در کلاس فرسایش کم، ۲۷درصد در کلاس متوسط و ۲۹درصد در کلاس شدید قرارگرفته است. این نتایج نشان‌دهنده‌ی حساسیت قابل‌توجه بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه به فرسایش آبی است که غالباً دارای شیب‌های زیاد، سنگ‌های مارنی و پوشش گیاهی تنک می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

تهیه نقشه حساسیت به فرسایش از مراحل کلیدی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی حفاظت خاک است، به‌ویژه در مناطقی که داده‌های میدانی محدود بوده و ایستگاه‌های هیدرومتری وجود ندارند. در چنین شرایطی، روش‌های مبتنی بر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کنند، زیرا این مدل‌ها امکان می‌دهند تا با استفاده از داده‌های در دسترس (مانند شیب، پوشش گیاهی، نوع خاک، بارندگی و کاربری اراضی) و دانش کارشناسان محلی و متخصصان منابع طبیعی میزان تأثیر هر معیار بر فرسایش برآورد شود. مدل‌های تصمیم‌گیری مانند SWARA می‌توانند وزن معیارها را بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها محاسبه کرده و نقشه‌ای تولید کنند که نزدیک‌ترین تطابق را با شرایط واقعی منطقه داشته باشد. این روش‌ها به دلیل سادگی، سرعت و هزینه پایین نسبت به روش‌های تجربی و مدل‌های فیزیکی، در مناطقی با کمبود داده بسیار کارآمد هستند. به‌طورکلی، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تهیه نقشه حساسیت به فرسایش، رویکردی علمی و عملی است که بهینه‌ترین ترکیب بین داده‌های محدود و دانش کارشناسی را فراهم کرده و به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا مناطق بحرانی را شناسایی و برنامه‌های کنترلی مؤثرتری طراحی کنند؛ که در این تحقیق از مدل SWARA برای تعیین وزن و میزان اهمیت نسبی معیارهای مؤثر بر فرسایش استفاده شد تا بدین ترتیب نقشه حساسیت به فرسایش با دقت بالاتر و انطباق بیش‌تر با شرایط واقعی منطقه تهیه گردد.

نتایج وزن‌دهی با مدل SWARA نشان داد که معیارهای شیب، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در شدت فرسایش حوضه دارند. در مقابل، معیار جهت شیب کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داد. در تحقیقی به‌منظور تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری با استفاده از روش آنتروپی بیشینه در حوزه آبخیز تالاب کجی استان خراسان جنوبی پرداختند. نتایج شاخص جک‌نایف به‌منظور تعیین اهمیت عامل‌ها نشان داد تندی شیب و حساسیت‌پذیری واحدهای زمین‌شناسی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل و بیش‌ترین تأثیر را در مدل‌سازی داشته‌اند که با نتایج تحقیق همخوانی دارد [۱۰]. در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از دو روش AHP و ANP پرداختند. نتایج نشان داد که معیار شیب بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش در حوضه دشت کهور استان فارس را در هر دو مدل داشته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۲۱] در تحقیقی برای تعیین مناطق مستعد فرسایش از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری AHP و ANP در منطقه باقران بیرجند پرداختند. نتایج نشان داد معیار بارندگی، شیب و زمین‌شناسی بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری منطقه در روش AHP داشته است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد [٤]. در روش ANP بیش‌ترین تأثیر را معیار پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۵۸ در تعیین مناطق مستعد فرسایش داشته است؛ که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد چون معیار پوشش گیاهی و باران به ترتیب در رتبه سوم و چهارم قرار گرفتند [٤]. در پژوهشی در حوضه نکارود (استان مازندران) با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مشخص شد که پوشش گیاهی و فاصله از آبراهه‌ها بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش دارند؛ که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد [۲]. در پژوهشی برای پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه ماملو با استفاده از مدل AHP کردند، نتایج نشان داد که معیار پوشش زمین و پوشش گیاهی بیش‌ترین تأثیر را در فرسایش منطقه داشتند که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد [۱۱]. به‌طورکلی، مقایسه نتایج حاضر با مطالعات اشاره‌شده نشان می‌دهد که در تمامی موارد، معیارهای شیب و پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل کلیدی در کنترل و تشدید فرسایش خاک شناخته می‌شوند، اما وزن نسبی هر معیار تحت تأثیر شرایط اقلیمی، لیتولوژی و نوع کاربری اراضی متفاوت است. در مناطق مرطوب، پوشش گیاهی و بارش نقش تعیین‌کننده‌تری دارند، درحالی‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، زمین‌شناسی و شیب مؤلفه‌های غالب محسوب می‌شوند.

نقشه نهایی شدت فرسایش نشان داد که حدود ٤٤درصد از مساحت حوضه در کلاس فرسایش کم، ۲۷درصد در کلاس متوسط و ۲۹درصد در کلاس شدید قرارگرفته است. کلاس فرسایش کم امتیاز بین (۳-۰/۰): عمدتاً در اراضی مسطح، پوشش گیاهی نسبتاً متراکم و کاربری مرتع دیده می‌شود. مطالعه‌ای در حوضه آبخیز اتیوپی نشان داد که مناطق با شیب کم‌تر از ۱۰ درصد و پوشش گیاهی متراکم، کم‌ترین میزان فرسایش خاک را دارند [۷]. پژوهشی در شمال غرب ایران تأیید کرد که پوشش گیاهی متراکم می‌تواند میزان فرسایش را تا ۹۰ درصد در مقایسه با اراضی بدون پوشش کاهش دهد [۲٤]. تحقیقی در استان مازندران نشان داد که کاربری مرتع با پوشش خوب، یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل فرسایش در مناطق کوهستانی است [۱۲]. همخوانی بالای مناطق با فرسایش

شدید با واحدهای شیب‌دار، زمین‌شناسی حساس و پوشش گیاهی ضعیف، منطبق بر یافته‌های مطالعات مشابه است [۷]. وزن بالای معیار شیب در مدل SWARA نشان می‌دهد که این عامل در منطقه مطالعه، پیش‌ران اصلی فرسایش محسوب می‌شود. هم‌چنین، نقش مؤثر پوشش گیاهی در کاهش فرسایش، اهمیت مدیریت پوشش و جلوگیری از تخریب مراتع را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد [۲٤].

کلاس فرسایش متوسط (۰/۳ – ۰/٦): بیش‌تر این مناطق در سازندهای آهکی که نسبت به فرسایش حساسیت کم‌تری دارند قرار دارد. مطالعه‌ای در اروپا نشان داد که سازندهای کربناته (آهکی) به دلیل مقاومت مکانیکی بالا و نفوذپذیری مناسب، میزان فرسایش متوسطی دارند [۳]. پژوهشی در غرب ایران تأیید کرد که واحدهای آهکی باوجود شیب‌های تند، به دلیل درز و شکاف‌های کارستی، میزان فرسایش کم‌تری نسبت به سازندهای مارنی دارند [۱۷]. تحقیقی در ایتالیا نشان داد که سازندهای آهکی حتی در شرایط بارشی شدید، فرسایش‌پذیری متوسطی از خود نشان می‌دهند [۵].

کلاس فرسایش شدید (۰/٦– ۱): این مناطق که بالاترین رتبه فرسایشی را دارند، عمدتاً در واحدهای شیب‌دار تند، سازندهای مارنی فرسایش‌پذیر (زمین‌شناسی) و مناطقی با تراکم پوشش گیاهی بسیار کم واقع شده‌اند. این پهنه‌ها اغلب در مجاورت آبراهه‌های اصلی و در بخش‌های مرکزی حوضه تمرکز یافته‌اند. مطالعه‌ای در شرق ایران نشان داد که سازندهای مارنی به دلیل سست بودن و حساسیت به فرسایش آبی، بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب دارند [۱]. پژوهشی در شمال ایران تأیید کرد که شیب‌های بالای ۳۰ درصد همراه با پوشش گیاهی ضعیف، می‌توانند میزان فرسایشی بیش از ۵۰ تن در هکتار در سال تولید کنند [۸]. تحقیقی در هند نشان داد که نزدیکی به آبراهه‌های اصلی به دلیل رطوبت بالای خاک و انرژی جنبشی جریان آب، موجب تشدید فرسایش می‌شود [۱٦].

تلفیق مدل تصمیم‌گیری SWARA و سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزاری کارآمد برای شناسایی مناطق بحرانی فرسایش برای تحلیل مکانی شدت فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک و حوضه موردمطالعه می‌باشد. مدل SWARA ضمن سادگی و انعطاف‌پذیری بالا، توانایی مطلوبی در تعیین وزن معیارها و شناسایی مناطق بحرانی فرسایش دارد و می‌تواند جایگزین کارآمدی برای مدل‌های تصمیم‌گیری پیچیده‌تر باشد. این مدل علاوه بر دقت بالا، به پژوهشگران امکان می‌دهد تا با تعداد محدودی معیار، اولویت‌های مدیریتی را مشخص کنند. بر اساس یافته‌ها، مدیریت علمی منابع خاک و پوشش گیاهی می‌تواند سهم فرسایش شدید را در حوضه سد فرخی به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد و پایداری منابع طبیعی، اقتصادی و اجتماعی منطقه را تقویت نماید. تمرکز مناطق با فرسایش شدید در بخش‌های خاصی از حوضه، لزوم اجرای سریع اقدامات حفاظتی و مدیریتی هدفمند در این کانون‌ها را ایجاب می‌کند. ازاین‌رو، کاربرد این مدل در سایر حوضه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک کشور به‌منظور تعیین اولویت اقدامات حفاظتی و مدیریتی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱٤۰۳۹/د/۱٤۰۳/۸/۰۲ مورخه ۱٤۰۳/۸/۰۲ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام‌شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Arabameri, A., Cerda, A., Tiefenbacher, J. P., and Blaschke, T. (2020). Spatial pattern analysis and prediction of gully erosion using novel hybrid model of entropy-weight of evidence. Water, 12(4): 1123.

2. Arabameri, A., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., and Rezaei, K. (2018). Identification of erosion-prone areas using different multi-criteria decision-making techniques and GIS. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9(1): 1129–1155.

3. Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., and Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(36): 21994-22001.

4. Chezgi J, Asiyaei M. (2021). Determination of Erosion-Prone Areas using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Models: A Case Study: Bagheran Birjand Region. Journal of Water and Soil Science, 25 (1): 279-293.

5. Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V., and Märker, M. (2018). Soil erosion susceptibility assessment in a karst landscape: Gorghina Valley case study. Geomorphology, 308, 60-70.

6. Dlamini, P. Orchard, Jewitt, C. G. Lorentz, S. Titshall, L. and Chaplot, V. (2011). Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa, Agricultural Water Management, 98(11): 1711-1718.

7. Gelagay, H. S., & Minale, A. S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. International Soil and Water Conservation Research, 4(2): 126-136.

8. Gholami, V., Booij, M. J., Tehrani, E. N., and Hadian, M. A. (2020). Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network model and GIS. Journal of Hydrology, 34: 100799.

9. Haregeweyn, N. Tsunekawa, A. Nyssen, J. Poesen, J. Tsubo, M. Meshesha, D.T. Schütt, Adgo, B. E. Tegegne, F. (2015). Soil erosion and conservation in Ethiopia: a review Progr. Phys. Progress in Physical Geography, 39 (6): 750-774.

10. Hoseini, H., Chezgi,J. and Tajbakhsh, S. M. (2023). Determining Prone Areas to Rill Erosion Using Maximum Entropy Method (Case Study: Kaji Wetland Sourth Khorasan Province). Desert Management, 11(3): 89-104.

11. Karam, A. Safarian, A. and Hajjeforushnia, Sh. (2010). Estimation and zoning of soil erosion in Mamlu basin (East of Tehran) using modified global soil erosion equation and analytic hierarchy process methods. Earth Science Research, 1(2).

12. Kavian, A., Mohammadi, M., Gholami, L., and Rodrigo-Comino, J. (2017). Assessment of the soil erosion risk in a semi-arid watershed using the SWAT model. Environmental Earth Sciences, 76(8): 1-15.

13. Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., and Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). Journal of business economics and management, 11(2): 243-258.

14. Nawaz, M.F., Bourrié, G. and Trolard, F. (2013). Soil compaction impact and modelling. A review. Agronomy for sustainable development, 33, 291–309.

15. Pande, C.B. and Moharir, K. (2017). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. Applied Water Science, 7 (2): 861-871.

16. Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., and Geetha, N. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. Geoscience Frontiers, 3(2): 209-215.

17. Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R., and Feizizadeh, B. (2019). Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: An integrated framework. Science of the Total Environment, 579, 913-927.

18. Rajesh, J. Pande, C.B. Kadam, S.A. Gorantiwar, S.D. and Shinde, M.G. (2021). Exploration of groundwater potential zones using analytical hierarchical process (AHP) approach in the Godavari river basin of Maharashtra in India. Appl. Water Science, 11 (12): 1-11.

19. Ruzgys, A., Volvačiovas, R., Ignatavičius, Č., and Turskis, Z. 2014. Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method 20 103-10.

20. Sadeghi, S. H. R. (2017). Soil erosion in Iran: state of the art, tendency and solutions. Poljoprivreda i Sumarstvo, 63(3): 33-37.

21. Safari, A. Ahmadi, M. Rahimi Harabadi, S (2015). Comparison of ANP and AHP Models to Assess the Development of Gully Erosion in the Basin Kahor Plains. Researches in Earth Sciences, 6(4): 94-11.

22. Stanujkic, D., Karabasevic, D., and Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. Engineering Economics, 26(2): 181-187.

23. Talebpour, T., and Qanavati, M. (2015) Identification of areas sensitive to soil erosion using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) model in the Mahabad Dam catchment area. Natural Geographic Quarterly. 8(30).

24. Vaezi, A. R., Ahmadi, M., and Cerda, A. (2017). Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. Science of the Total Environment, 583, 382-392.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Management

Vol. 14, No. 52, Spring 2026

سال چهاردهم- شماره ۵۲- بهار ۱۴۰۵

Abstract

Zoning of Erosion Intensity in the Farokhi Dam Watershed Using the SWARA Decision-Making Model

J. Chezgi*[1] and M. Rostampour[1]

Received: 2025/11/30 Accepted: 2026/06/13

Soil erosion, as one of the most serious challenges of nature, causes land degradation and reduces the capacity of dams; therefore, soil erosion not only leads to the destruction of agricultural lands and vegetation, but also has a direct impact on the country's water resources by filling dam reservoirs. Dealing with this phenomenon requires careful planning, revitalization of vegetation through the implementation of rangeland and watershed management plans. This study was conducted with the aim of zoning the erosion intensity in the Farokhi Dam watershed in Qain County, South Khorasan Province, using the SWARA multi-criteria decision-making model. For this purpose, ten criteria including slope, slope direction, land use, vegetation, geology, geomorphology, precipitation, soil permeability, distance from the river, and soil texture were evaluated. After weighting the criteria using the SWARA model, the information layers were integrated in the GIS environment and a final erosion intensity map was produced and divided into three classes: low, medium, and severe. The results of the study showed that the slope and geology criteria had the greatest impact on the erosion of the region with a relative importance of 0.15 and 0.13, respectively. Also, based on the final map, about 29% of the basin is in the severe erosion class, which mainly corresponds to sloping units, marly geology, and poor vegetation. These areas are often concentrated in the vicinity of the main waterways and in the central parts of the basin where the population is higher.

Keywords: Soil erosion, Decision-making model, Ggeographic information system, Zoning, South Khorasan province.

1. Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran. Email: chezgi@birjand.ac.ir