

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد استان خوزستان از نظر حساسیت به فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

صغری باقری، محمدرضا انصاری* و آذین نوری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۶)

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات حوضه‌های آبخیز در جهان و از موانع اصلی دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و استفاده از منابع طبیعی است. شناسایی و اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش خاک به منظور اجرای عملیات حفاظت آب و خاک و مدیریت منابع طبیعی در حوضه‌های آبخیز ضروری است. در این پژوهش به اولویت‌بندی خطر فرسایش خاک در ۱۲ زیرحوضه آبخیز رود زرد در سال ۱۴۰۰ با استفاده از آنالیز پارامترهای مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته شده است. در این راستا ۱۱ پارامتر مورفومتری محاسبه و وزن آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. عملیات اولویت‌بندی با استفاده از روش‌های VIKOR، TOPSIS و SAW انجام و نتایج آن با استفاده از روش‌های میانگین رتبه‌ای، کاپلند و بردا تلفیق و در نهایت اولویت‌بندی نهایی با مقدار فرسایش ویژه زیرحوضه‌ها در مدل MPSIAC مقایسه و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین آنها برآورد شد. بر اساس نتایج، پارامترهای خطی بافت زهکشی، تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه به ترتیب با وزن ۰/۱۶۱، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۴۶ بیشترین تأثیر و در مقابل پارامترهای شکلی ضریب شکل، نسبت کشیدگی و ضریب گردی به ترتیب با وزن ۰/۰۴۹، ۰/۰۳۶ و ۰/۰۲۶ کمترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها داشتند. ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین اولویت‌بندی نهایی و مدل MPSIAC، به میزان ۰/۸ به دست آمد ($p\text{-value} < 0.01$). نتایج اولویت‌بندی نشان داد که زیرحوضه‌های R11، R12 و R10 با مساحت ۱۹۱/۸۳ کیلومتر مربع، به دلیل مقدار زیاد پارامترهای خطی، مقدار کم پارامترهای شکلی، ساختار زمین‌شناسی حساس به فرسایش و پوشش گیاهی ضعیف در اولویت اول تا سوم و در طبقه خیلی حساس به فرسایش خاک قرار دارند و برای اجرای اقدامات مدیریتی و عملیات آبخیزداری در اولویت هستند. نتایج کلی پژوهش نشان داد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و آنالیز مورفومتری ابزاری مناسب برای شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک هستند.

واژه‌های کلیدی: تاپسیس، ویکور، ساو، فرسایش خاک، مورفومتری

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m_ansari@asnrukh.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تخریب اراضی به یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان تبدیل شده که اثرات نامطلوبی را بر امنیت غذایی و توسعه پایدار گذاشته است (۳۲). فرسایش خاک از عوامل تأثیرگذار بر تخریب اراضی است که پیامدهایی همچون کاهش حاصلخیزی و بهره‌وری خاک، از دست دادن تنوع زیستی جانوران، تشدید لغزش و رانش زمین، رسوبگذاری در دریاها، دریاچه‌ها، مخازن سدها و کاهش کیفیت آب را به همراه دارد و از موانع اصلی دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی است (۵، ۲۵ و ۳۲). کنترل فرسایش خاک برای حفاظت از منابع طبیعی به‌ویژه در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک ضروری است (۲۸ و ۳۲). در این راستا، واحدهای هیدرولوژیک مانند حوضه‌های آبخیز و زیرحوضه‌های آن به‌عنوان یک واحد ایده‌آل برای حفاظت از منابع طبیعی در برابر خطرات مختلف زیست‌محیطی هستند (۲۸). از آنجایی که اجرای عملیات آبخیزداری در کل سطح حوضه آبخیز به‌دلیل کمبود بودجه، زمان و نیروی انسانی میسر نیست؛ بنابراین شناسایی زیرحوضه‌های با وضعیت بحرانی‌تر و اولویت‌بندی آنها برای تمرکز بیشتر اقدامات حفاظتی در این مناطق ضروری است (۲۴ و ۳۰). اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز شامل رده‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس وضعیت و شرایط منابع موجود و شدت فرسایش است که در نهایت منجر به تمرکز بیشتر عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیرحوضه‌های حساس و دارای اولویت بالا می‌شود (۳). آنالیز مورفومتری شامل اندازه‌گیری و آنالیز ریاضی پیکربندی سطح زمین، شکل و ابعاد لندفرم‌ها بوده و ابزاری مناسب برای حفاظت از منابع آب و خاک و مدیریت منابع طبیعی در سطح حوضه آبخیز بوده و اطلاعات مفیدی را در زمینه فرایندهای تشکیل‌دهنده فرم زمین، خواص فیزیکی خاک و ویژگی‌های فرسایشی فراهم می‌کند (۳۴). در دهه‌های اخیر از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی برای برآورد پارامترهای مورفومتری استفاده شده است (۱۴، ۱۷، ۲۷، ۲۹ و ۳۴) و آنالیز مورفومتری و روش‌های

تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند تاپسیس (TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) و ویکور (VIKOR: VlseKriterijumskaoptimizacija I) و ساو (SAW: simple additive Kompromisno Resenje) و سائو (weighting) برای اولویت‌بندی و شناسایی مناطق حساس به فرسایش مورد توجه بوده‌اند (۴، ۵، ۹، ۱۷، ۱۹، ۲۰ و ۲۳). از جمله مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

یمانی و عرب‌عامری (۳۷) به اولویت‌بندی ۱۱ زیرحوضه آبخیز منج در سال ۱۳۹۷ با استفاده از روش VIKOR گزارش کردند که زیرحوضه ۱ به‌علت داشتن مقادیر بالای پارامترهای خطی و توپوگرافی و مقادیر پایین پارامترهای شکلی دارای بیشترین حساسیت به فرسایش خاک است و ۲۷/۲۱ درصد از سطح حوضه در طبقه با حساسیت خیلی زیاد قرار گرفته است و اقدامات حفاظتی در منطقه برای به حداقل رساندن میزان فرسایش خاک، کاهش تولید رسوب در مخازن، تثبیت دامنه‌های شیبدار در برابر زمین لغزش و کاهش پتانسیل سیل‌خیزی را ضروری گزارش کردند. شریفی‌کیا و همکاران (۳۴)، در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز نکارود در سال ۱۳۹۷ با استفاده از ۱۴ پارامتر مورفومتری شکلی، خطی، فضایی و توپوگرافی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW، TOPSIS و VIKOR گزارش کردند که پارامترهای نسبت انشعاب، شیب و تراکم زهکشی بیشترین تأثیر را بر فرسایش و هدررفت منابع طبیعی در منطقه داشته‌اند. عرب‌عامری و همکاران (۶) در مطالعه خود به اولویت‌بندی ۱۱ زیرحوضه آبخیز آسمان‌گر در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از ۱۳ پارامتر مورفومتری شکلی، خطی و توپوگرافی و مدل ترکیبی تاپسیس- رگرسیون خطی پرداختند و گزارش کردند که زیرحوضه‌های ۴، ۶ و ۹ در اولویت اول اجرای طرح‌های حفاظتی و نیازمند توجه ویژه‌ای هستند و اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی تحت نظر افراد متخصص و تجارب بومی در زیرحوضه‌های بحرانی را توصیه کردند. ارگ و عیسیلوی (۴) به

حوضه به‌ترتیب ۳۳۰۵ و ۳۳۹ متر و ارتفاع متوسط آن ۱۱۹۰/۵۵ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی سالانه در این حوضه ۷۴۶/۵۸ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه آن ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. ژئومورفولوژی حوضه شامل واحدهای کوهستانی، تپه ماهور و دشت است. حوضه آبخیز رود زرد به‌دلیل سازندهای زمین‌شناسی حساس، از رسوب‌خیزی زیادی برخوردار است و در پایین‌دست این حوضه، سد مخزنی جره قرار دارد که از اهداف آن تأمین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی شهر رامهرمز، کنترل سیلاب رودخانه رود زرد و تولید انرژی برقی است.

روش پژوهش

در مطالعات آب و خاک به‌منظور شناخت هر چه بهتر خصوصیات هیدرولوژیکی یک حوضه، لازم است که آن حوضه به واحدهای کوچک‌تر تقسیم‌بندی شود. حوضه آبخیز رود زرد با استفاده از اطلاعات اخذ شده از سازمان نقشه‌برداری و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان، شامل نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، داده‌های رقومی ارتفاعی و شبکه آبراهه‌ها با به‌کارگیری الحاقیه Arc Hydro در محیط نرم‌افزار Arc Gis 10.3، به ۱۲ زیرحوضه تقسیم شد. در مرحله بعدی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های رود زرد از آنالیز مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل VIKOR، TOPSIS و SAW استفاده شد که روندنمای مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ ارائه و در ادامه هر کدام از مراحل شرح داده شده است.

محاسبه پارامترهای مورفومتری

در پژوهش حاضر، تعداد ۱۱ پارامتر مورفومتری شامل پارامترهای شکلی: ضریب فشردگی، ضریب گردی، ضریب شکل و ضریب کشیدگی، پارامترهای خطی: تراکم زهکشی، بافت زهکشی، فراوانی آبراهه، نسبت کشیدگی، طول جریان، طول جریان روی زمین و پارامتر توپوگرافی عدد ناهمواری

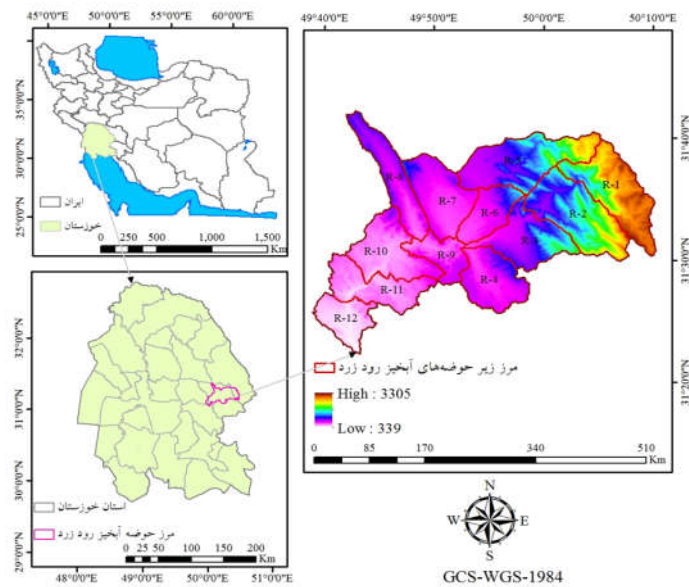
بررسی حساسیت فرسایش خاک در ۱۷ زیرحوضه Oum Er-Rbia مراکش در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل TOPSIS پرداخته و گزارش کردند که زیرحوضه‌های ۲، ۶ و ۴ با کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت به‌ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳۳، ۰/۳۶ و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی به‌ترتیب ۰/۷۴، ۰/۶۹، ۰/۶۴ و کمترین ضریب نزدیکی به‌ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۷، ۰/۶۳ در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. ساداسیوم و همکاران (۳۲) به بررسی حساسیت به فرسایش خاک حوضه آبخیز Dnyanganga هند در سال ۲۰۲۰ با استفاده از ویژگی‌های مورفومتری و مدل TOPSIS پرداختند و گزارش کردند که ۱۴/۵۴، ۴۱/۰۲ و ۴۴/۴۳ درصد از سطح منطقه به‌ترتیب در طبقه فرسایشی زیاد، متوسط و پایین قرار گرفته‌اند و اقدامات مدیریتی از جمله کشت روی خطوط تراز، جنگل‌کاری، احداث سد کنترلی و حوضچه نفوذ برای کاهش میزان فرسایش و رسوب ضروری دانستند.

با توجه به اهمیت اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری و کاهش هزینه‌ها و تسریع در امر شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک، هدف از این پژوهش اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد استان خوزستان از نظر خطر فرسایش خاک با استفاده از آنالیز مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره VIKOR، TOPSIS و SAW است. استفاده از سه روش تلفیق میانگین رتبه‌ای، بردا و کاپلند برای رسیدن به نتیجه نهایی اولویت‌بندی از جنبه‌های نوآوری این پژوهش است.

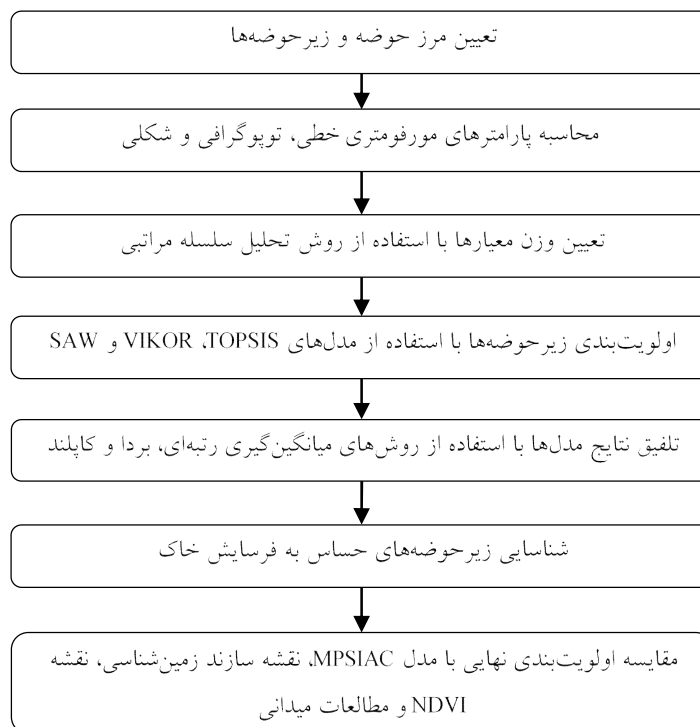
مواد و روش

منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز رود زرد یکی از زیرحوضه‌های آبخیز بزرگ مارون جراحی است که در شرق استان خوزستان و ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهر رامهرمز در موقعیت جغرافیایی در ۴۷° ۳۹' ۴۹" تا ۵۰° ۱۰' ۳۸" طول شرقی و ۳۱° ۲۲' ۷۸" تا ۳۱° ۴۲' ۵۲" عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). شیب متوسط حوضه ۳۳ درصد است و حداکثر و حداقل ارتفاع



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سد جره- رود زرد



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

مورفومتری مذکور برای هر یک از زیرحوضه‌ها با به‌کارگیری الحاقیه Arc Hydro در محیط نرم‌افزار Arc Gis 10.3 بر اساس روابط ارائه شده در جدول ۱ محاسبه شدند.

در نظر گرفته شد؛ این پارامترها کاربرد گسترده‌ای در مطالعات مربوط به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز نسبت به خطر فرسایش خاک دارند (۵، ۶، ۱۰، ۲۸، ۳۲، ۳۴ و ۳۷). پارامترهای

جدول ۱. فرمول‌های به‌کار گرفته شده برای محاسبه پارامترهای مورفومتری

ردیف	پارامترها	فرمول	واحد	منبع
۱	ضریب فشردگی (Cc)	$Cc=0.28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$	-	شیوم (۳۳)
۲	ضریب گردی (Rc)	$Rc=12.56 \times \left(\frac{A}{p^2} \right)$	-	میلر (۲۱)
۳	ضریب شکل (Rf)	$Rf=A/(L^2)$	-	هورتون (۱۶)
۴	ضریب کشیدگی (Re)	$Re=\sqrt{A/\pi}/L$	-	شیوم (۳۳)
۵	تراکم زهکشی (Dd)	$Dd=\frac{\sum L}{A}$	Km/Km ²	هورتون (۱۶)
۶	فراوانی آبراهه (Fs)	$Fs=\frac{\sum Nw}{A}$	no/Km ²	هورتون (۱۶)
۷	نسبت انشعاب (Rb)	$Rb=\frac{Nu}{Nu+1}$	-	شیوم (۳۳)
۸	بافت زهکشی (Rt)	$Rt=\frac{Nu}{p}$	no/Km ²	هورتون (۱۶)
۹	طول جریان (L)	$L=\sum Lw$	Km	هورتون (۱۶)
۱۰	طول جریان روی زمین (Lg)	$Lg=Dd/2$	Km	هورتون (۱۶)
۱۱	عدد ناهمواری (Rn)	$Rn=H \times Dd$	-	میلتون (۱۸)

*در این جدول، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، P محیط حوضه (کیلومتر)، L طول حوضه (کیلومتر)، Nw تعداد آبراهه‌های زیرحوضه، Nu تعداد آبراهه‌های یک رده، Nu+1 تعداد آبراهه‌های رده بعدی، ΔH اختلاف ارتفاع (کیلومتر)

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

در پژوهش حاضر وزن پارامترهای مورفومتری به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP: Analytical Hierarchy Process) با استفاده از نظرات کارشناسان متخصص در زمینه‌های آب و خاک، هیدرولوژی و آبخیزداری و مقایسات زوجی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice 11 به دست آمد. مراحل انجام این روش، شامل انتخاب معیارها، مقایسه زوجی، تعیین نرخ ناسازگاری و تعیین وزن نهایی معیار است. در این روش نرخ ناسازگاری ۰/۱ یا کمتر، سازگاری در مقایسه‌ها را بیان می‌کند (۳۱).

روش تاپسیس (TOPSIS)

روش TOPSIS بر اساس محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های

تصمیم‌گیری از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی عمل می‌کند، اگر مطلوبیت هر معیار به‌طور یکنواخت افزایش (کاهشی) باشد، یعنی معیارها تنها جنبه مثبت یا منفی داشته باشند؛ معیاری که جنبه مثبت دارد سود و معیاری که ارزش منفی دارد هزینه است؛ در این صورت راه حل ایده‌آل مثبت (PIS: Positive Ideal Solution)، راه‌حل یا گزینه‌ای است که از لحاظ معیار سود بیشینه و از لحاظ معیار هزینه کمینه باشد و راه حل ایده‌آل منفی (NIS: Negative Ideal Solution)، راه‌حلی است که از نظر معیار هزینه بیشینه و از لحاظ سود کمینه است؛ در این روش گزینه برتر، گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از راه حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده‌آل منفی داشته باشد؛ برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان

استفاده از فرمول ۷ محاسبه (۳۲) و در نهایت گزینه‌ها بر اساس مقدار C_i^+ رتبه‌بندی شدند، مقدار C_i^+ بین صفر و یک در نوسان است و برای هر گزینه هر چه مقدار عددی آن بزرگ‌تر باشد، در اولویت ارجح‌تری قرار می‌گیرد (۶ و ۳۴):

$$c_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad (۷)$$

روش ویکور (VIKOR)

روش VIKOR بر مبنای روش توافق جمعی و با داشتن معیارهای متضاد تهیه شده و بیشتر برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد. این روش بر رتبه‌بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه‌ها با وجود معیارهای متناقض متمرکز است. در روش VIKOR راه حل سازشی، راه حل امکان‌پذیر و نزدیک به ایده‌آل است؛ سازش به معنای توافق ایجاد شده توسط امتیازهای متقابل است. در واقع در این مدل گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند (۲۳ و ۳۴).

در مرحله اول اجرای روش VIKOR، ماتریس تصمیم به روش خطی با استفاده از فرمول ۸ نرمال (۱۰) و در مرحله دوم مانند روش تاپسیس وزن‌دار شد:

$$p_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m R_{ij}^2}} \quad (۸)$$

در مرحله سوم، ایده‌آل مثبت (X_j^+) و منفی (X_j^-) برای هر گزینه تعیین شد، به این صورت که اگر معیار از نوع سود باشد در این صورت $X_j^+ = \max X_{ij}$ و $X_j^- = \min X_{ij}$ است (۱۰ و ۳۴). سپس در مرحله چهارم شاخص مطلوبیت و شاخص نارضایتی از روابط ۹ و ۱۰ محاسبه شد (۳۴، ۱۰ و ۳۷):

$$s_i = L_{1,i} = \frac{\sum_{j=1}^n w_j (x_j^* - x_{ij})}{(x_j^* - x_j^-)} \quad (۹)$$

$$R_i = L_{\Psi,i} = \max \left[\sum_{j=1}^n w_j (x_j^* - x_{ij}) / (x_j^* - x_j^-) \right] \quad (۱۰)$$

در این فرمول X_j^* بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی

می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگ‌تری داشته باشد، به‌عنوان گزینه برتر شناخته می‌شود (۶، ۸ و ۳۲).

در مرحله اول اجرای روش TOPSIS، ماتریس تصمیم به روش برداری با استفاده از فرمول ۱ نرمال شد (۳۲):

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (۱)$$

در مرحله دوم: ماتریس بی‌مقیاس وزین از فرمول ۲ محاسبه شد (۳۲):

$$u_{ij} = R_{ij} \times W_j \quad (۲)$$

در این رابطه، w_j وزن به‌دست آمده برای هر معیار طی فرایند AHP است.

در مرحله سوم، راه حل ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه شد (۳۲):

$$A^+ = \left\{ (\max_i u_{ij} | j \in I), ((\min_i u_{ij} | j \in I')) | i = 1, \dots, n \right\} \\ = \{u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+\} \quad (۳)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i u_{ij} | j \in I), ((\max_i u_{ij} | j \in I')) | i = 1, \dots, n \right\} \\ = \{u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-\} \quad (۴)$$

در این رابطه، A^+ ایده‌آل مثبت، A^- ایده‌آل منفی، I معیار سود و I' معیار هزینه است.

در مرحله چهارم، فاصله از ایده‌آل مثبت (S_i^+) و منفی (S_i^-) با استفاده از روابط ۵ و ۶ محاسبه شد (۳۲):

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_i^+)^2} \quad i=1, \dots, n \quad (۵)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_i^-)^2} \quad i=1, \dots, n \quad (۶)$$

در مرحله پنجم، نزدیکی نسبی گزینه i (A_i) به راه حل ایده‌آل با

$$A_i = \sum R_{ij} \times w_j \quad (14)$$

تلفیق اولویت بندی زیرحوضه ها در مدل های تصمیم گیری چندمعیاره

تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره ممکن است که جواب های غیریکسانی را برای اولویت بندی گزینه ها ارائه نمایند؛ بنابراین در پژوهش حاضر، برای رسیدن به جواب نهایی از رویکرد تلفیقی استفاده شد. هدف این روش ها دست یافتن به یک رتبه بندی جدید بر اساس نتایج کل روش های به کار برده شده است، به عبارت دیگر با استفاده از روش های تلفیقی از نقاط قوت هر تکنیک در اولویت بندی نهایی استفاده می شود (۱۳). در پژوهش حاضر برای تلفیق نتایج از سه روش تلفیق استفاده شد: ۱- میانگین گیری رتبه های (Rank Mean)، در این روش میانگین حسابی رتبه های حاصل از روش های مختلف تصمیم گیری چندمعیاره محاسبه و بر اساس آن رتبه بندی نهایی صورت می گیرد؛ ۲- روش بردا (Borda)، در این روش رتبه های هر زوج گزینه در روش های مختلف تصمیم گیری چندمعیاره، با یکدیگر مقایسه می شود و اگر تعداد روش هایی که در آن A_k بر A_i ارجح است، بیش از تعداد روش هایی باشد که در آن A_i بر A_k ارجحیت دارد، با w (برد) و اگر تعداد ارجحیت های A_k بر A_i کمتر یا مساوی ارجحیت A_i بر A_k باشد، با d (باخت) نمایش داده می شود؛ در نهایت گزینه ای که تعداد برد بیشتری داشته باشد، ارجح تر است؛ ۳- روش کاپلند (Copland): در این روش علاوه بر تعداد بردها در رتبه بندی نهایی، تعداد باخت ها نیز در نظر گرفته شده و امتیاز نهایی هر گزینه بر اساس تفاضل تعداد بردها از باخت ها به دست می آید (۱۳).

مقایسه نتیجه نهایی اولویت بندی با مدل امپسیاک

در این پژوهش، نتیجه اولویت بندی نهایی زیرحوضه ها با نتیجه برآورد فرسایش ویژه به روش MPSIAC در مطالعه انجام شده

برای هر ستون، X_{ij} عدد گزینه مدنظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی، X_j^- کوچک ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون، w_j وزن i امین معیار است که بیان کننده اهمیت نسبی معیارها است.

در مرحله پنجم، شاخص VIKOR با استفاده از فرمول ۱۱ محاسبه شد (۱۰، ۳۴ و ۳۷). در نهایت رتبه بندی صورت گرفت به این صورت که گزینه ای ارجح است که بهترین رتبه را با کمترین Q دارد (۳۴ و ۳۷):

$$Q_i = V \times \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - V) \times \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (11)$$

در این رابطه، $V=0.5$ ، S^* کوچک ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، S^- بزرگ ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، R^- بزرگ ترین عدد شاخص R برای هر گزینه، R^* کوچک ترین عدد شاخص R برای هر گزینه است.

روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

در روش SAW امتیاز هر گزینه از طریق تجمیع ارزش های آن گزینه با احتساب وزن هر معیار به دست می آید. برای اجرای این روش ابتدا ماتریس تصمیم گیری نرمال شد؛ به این صورت که اگر معیار از نوع سود باشد از فرمول ۱۲ و اگر از نوع هزینه باشد از فرمول ۱۳ استفاده شد (۱۰ و ۳۴):

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij}^{\max}} \quad (12)$$

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}^{\min}}{X_{ij}} \quad (13)$$

در مرحله دوم، ماتریس نرمال وزن از طریق ضرب وزن هر معیار در ماتریس نرمال به دست آمد و در نهایت امتیاز نهایی هر گزینه از حاصل جمع وزن های هر گزینه در معیارهای مختلف با استفاده از فرمول ۱۴ محاسبه شد. در این روش هر چه امتیاز نهایی گزینه بالاتر باشد، در اولویت ارجح تری قرار می گیرد (۱۰):

فرعی با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 10.3 محاسبه شد و نتایج آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. مساحت کل حوضه رود زرد برابر ۸۸۲/۵ کیلومتر مربع و محیط آن برابر ۲۰۷/۰۸ کیلومتر است. بیشترین مساحت زیرحوضه‌ها مربوط به زیرحوضه R5 با مساحت ۱۱۰/۳۲ کیلومتر مربع و کمترین مساحت مربوط به زیرحوضه R9 با مساحت ۳۹/۲۹ کیلومتر مربع است. همچنین تعداد کل آبراهه‌ها ۸۸۵۵ و زیرحوضه R11 با ۱۴۳۷ بیشترین و زیرحوضه R6 با ۲۹۱ کمترین تعداد آبراهه را دارد (جدول ۲).

بررسی و نتایج اوزان پارامترهای مورفومتری حوضه آبخیز رود

زرد

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، وزن پارامترهای مورفومتری و میزان نرخ ناسازگاری تعیین شد. نتایج حاصل از محاسبه و وزن‌دهی پارامترها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۲ در جدول ۳ ارائه شده است. بافت زهکشی با وزن ۰/۱۶۱ بیشترین تأثیر را در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نسبت به خطر فرسایش خاک داشت. این پارامتر بستگی به عوامل طبیعی مانند بارش، نفوذ پذیری، پوشش گیاهی، اقلیم، زمین شناسی و نوع خاک دارد (۳۵). با افزایش مقدار بافت زهکشی ظرفیت نفوذ خاک کاهش یافته و رواناب بیشتری در سطح زمین جاری شده و آبراهه‌های متعددی ایجاد می‌شود، این امر افزایش پارامترهای تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه و طول جریان روی زمین را به همراه دارد. بافت زهکشی از ۵/۶۷ (no/Km²) در زیرحوضه R1 تا ۳۱/۳ (no/Km²) در زیرحوضه R7 متغیر است.

تراکم زهکشی با وزن ۰/۱۵۸ در رتبه دوم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت. تراکم زهکشی کم نشان‌دهنده مناطق با تراکم پوشش گیاهی خوب، مواد زیرسطحی نفوذپذیر و پستی و بلندی کم است و در مقابل مناطقی که مواد زیرسطحی نفوذ ناپذیر، تراکم پوشش گیاهی کم و توپوگرافی تپه ماهوری و کوهستانی دارند، تراکم زهکشی زیاد دارند (۲ و ۳۴). تراکم زهکشی به ترتیب با ۷/۵۳ و ۲/۰۱ را داشتند.

توسط دستی در سال ۱۳۹۶ (۱۱) مقایسه و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین آنها محاسبه شد. این ضریب، همبستگی میان رتبه‌های دو متغیر در جامعه‌های با حجم نمونه کم را نشان می‌دهد و جفت متغیرها به جای اندازه‌های فاصله‌ای یا نسبی، به اندازه‌های ترتیبی (رتبه‌ای) بیان می‌شوند؛ ضریب اسپیرمن از رابطه ۱۵ محاسبه شد (۱۱):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (15)$$

در این رابطه n تعداد جفت مشاهده و d تفاوت بین دو رتبه هر جفت مشاهده است.

نقشه شاخص پوشش گیاهی

به منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی در زمان انجام مطالعه از تصویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۱۳/۰۴/۱۴۰۰ (۲۰۲۱/۰۷/۰۴) به شماره گذر ۱۶۴ و شماره ردیف ۳۹ استفاده شد که با توجه به توان تفکیک زمانی ۱۶ روز ماهواره لندست، به روزترین تصویر موجود از منطقه مطالعاتی در زمان انجام پژوهش بود. در مرحله پیش پردازش داده‌ها، مقادیر ارزش‌های رقومی پیکسل‌های تصویر به رادیانس تبدیل و عملیات تصحیح اتمسفری تصاویر با استفاده از روش تصحیح اتمسفری QUAC انجام شد. سپس شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)، از رابطه ۱۶ محاسبه شد، مقدار NDVI در دامنه بین -۱ و +۱ متغیر و هرچه به +۱ نزدیک‌تر باشد، پوشش گیاهی متراکم‌تر است (۳۶):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (16)$$

در این رابطه ρ_{NIR} مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و ρ_{Red} مقادیر بازتاب در باند قرمز است.

نتایج و بحث

مشخصات شبکه زهکشی زیرحوضه‌های رود زرد شامل: مساحت، محیط، طول حوضه، تعداد آبراهه‌ها، طول آبراهه اصلی و طول آبراهه

جدول ۲. مشخصات زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد

زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	طول حوضه (کیلومتر)	تعداد آبراهه‌ها	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	طول آبراهه فرعی (کیلومتر)
R1	۹۷/۳	۵۶/۲۶	۲۳/۹۲	۳۱۹	۲۰/۹۶	۱۹۹/۴۸
R2	۱۰۶/۱۶	۵۰/۸	۲۰/۲۱	۳۲۲	۲۳/۲۷	۱۹۰/۲
R3	۷۷/۷۸	۵۰/۱۳	۲۱/۳۹	۴۴۵	۲۴/۱۵	۲۳۶/۹
R4	۶۷/۴۷	۳۹/۶۴	۱۵/۵۲	۱۰۶۳	۱۸/۲۷	۳۹۱/۰۵
R5	۱۱۰/۳۲	۵۷/۸۸	۲۴/۷۶	۶۲۱	۲۹	۳۱۰/۹
R6	۴۷/۱۰	۳۲/۳۲	۱۲/۳۳	۲۹۱	۱۶/۸۷	۱۶۹/۱۱
R7	۷۹/۳۴	۴۰/۸۵	۱۵/۲۷	۸۷۰	۱۹/۴	۳۸۰
R8	۶۵/۹۱	۵۰/۹۸	۲۲/۵۲	۶۷۶	۳۰/۰۱	۲۸۲/۸۸
R9	۳۹/۲۹	۳۷/۹۵	۱۶/۷۵	۶۳۸	۱۶/۰۴	۱۹۹/۶۴
R10	۷۹/۳۷	۵۳/۵۱	۲۳/۸۱	۱۲۲۷	۱۷/۴۲	۵۱۲/۸۶
R11	۶۷/۵۰	۵۴/۰۱	۲۱/۲۱	۱۴۳۷	۱۹/۸	۴۸/۶۶
R12	۴۴/۹۶	۳۶/۲۲	۱۵	۹۴۶	۱۵/۱۸	۳۲۳/۴۳
کل	۸۸۲/۵	۲۰۷/۰۸	۹۴/۴۱	۸۸۵۵	۸۴/۰۴	۳۶۸۱/۹۳

جدول ۳. مقدار پارامترهای مورفومتری حوضه آبخیز رود زرد

زیرحوضه	بافت زهکشی	تراکم زهکشی	فراوانی آبراهه	نسبت انشعاب	طول جریان	طول جریان روی زمین	عدد ناهمواری	ضریب فشرده‌گی	ضریب شکل	ضریب کشیدگی	ضریب گردی
R1	۵/۶۷	۲/۲۶	۳/۲۸	۳/۹۳	۲۲۰/۴۴	۱/۱۳	۴/۷۷	۱/۵۸	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۴
R2	۶/۳۴	۲/۰۱	۳/۰۳	۳/۶۹	۲۱۳/۴۷	۱	۴/۸۲	۱/۳۸	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۵
R3	۸/۸۸	۳/۳۶	۵/۷۲	۳/۴۷	۲۶۱/۰۵	۱/۶۸	۶/۰۳	۱/۵۹	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۳۹
R4	۲۶/۸۲	۶/۰۷	۱۵/۷۵	۳/۸۳	۴۰۹/۳۲	۳/۰۳	۳/۵۶	۱/۳۵	۰/۲۸	۰/۶	۰/۵۴
R5	۱۰/۷۳	۳/۰۸	۵/۶۳	۳/۴۹	۳۳۹/۹	۱/۵۴	۶/۷۷	۱/۵۴	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۴۲
R6	۹	۳/۹۵	۶/۱۸	۳/۴۷	۱۸۵/۹۸	۱/۹۷	۵/۱۲	۱/۳۲	۰/۳۱	۰/۶۳	۰/۵۷
R7	۳۱/۳	۵/۰۳	۱۰/۹۶	۳/۸۶	۳۹۹/۴	۲/۵۱	۳/۴۳	۱/۲۸	۰/۳۴	۰/۶۶	۰/۶
R8	۱۳/۲۶	۴/۷۵	۱۰/۲۶	۵/۲۳	۳۱۲/۸۹	۲/۳۷	۳/۵۴	۱/۷۶	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۳۲
R9	۱۶/۸۱	۵/۴۹	۱۶/۲۴	۳/۹۸	۲۱۵/۶۸	۲/۷۴	۳/۱۵	۱/۶۹	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۳۴
R10	۲۲/۹۳	۶/۶۸	۱۵/۴۶	۴/۱۶	۵۳۰/۲۸	۳/۳۴	۴/۲۷	۱/۶۸	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۳۵
R11	۲۶/۶۱	۷/۴۹	۲۱/۲۸	۳/۶۵	۵۰۵/۴۶	۳/۷۴	۳/۱۸	۱/۸۴	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۳
R12	۲۶/۱۲	۷/۵۳	۲۱/۰۴	۴/۵۸	۳۳۸/۶۱	۳/۷۶	۲/۵۹	۱/۵۱	۰/۲	۰/۵	۰/۴۳
وزن معیار	۰/۱۶۱	۰/۱۵۸	۰/۱۴۶	۰/۱۰۸	۰/۱۰۸	۰/۰۸۵	۰/۰۷۵	۰/۰۴۷	۰/۰۴۹	۰/۰۳۶	۰/۰۲۶

زیرحوضه R7 متغیر است.

ضریب فشردگی با وزن ۰/۰۴۷ در رتبه هشتم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت، این پارامتر نشان‌دهنده انحراف شکل آبخیز از حوضه دایره‌ای است و هرچه مقدار آن از عدد یک دورتر باشد، حوضه حالت کشیده‌تر و هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، شکل آبخیز به دایره نزدیک‌تر خواهد بود (۳۴). زیرحوضه‌های دایره‌ای نسبت به کشیده تأثیر بیشتری در تخلیه رواناب از خروجی حوضه دارند. زیرحوضه R11 بیشترین و زیرحوضه R7 کمترین ضریب فشردگی را به ترتیب با ۱/۸۴ و ۱/۲۸ داشتند.

ضریب کشیدگی با وزن ۰/۰۳۶ در رتبه نهم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت. مقدار این پارامتر به نوع اقلیم و شرایط زمین‌شناسی بستگی دارد؛ مقدار این پارامتر در مناطق با پستی و بلندی خیلی کم (نزدیک به ۱)، مناطق با پستی و بلندی زیاد و دامنه‌های شیبدار (۰/۶ تا ۰/۸) است (۵ و ۳۴). زیرحوضه R6 بیشترین و زیرحوضه R11 کمترین ضریب کشیدگی را به ترتیب با ۰/۶۶ و ۰/۳۸ داشتند.

ضریب گردی با وزن ۰/۰۲۶ در رتبه دهم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت. مقدار این پارامتر به طول و تناوب جریان، ساختارهای زمین‌شناسی، زبری و شیب بستگی دارد؛ مقادیر بالای ضریب گردی نشان‌دهنده شکل دایره‌ای حوضه آبخیز، زبری زیاد و نفوذپذیری است، در مقابل مقادیر کم این پارامتر نشان‌دهنده کشیدگی حوضه، زبری کم و نفوذ ناپذیری است (۵). مقدار این ضریب از ۰/۳ در زیرحوضه R11 تا ۰/۶ در زیرحوضه R7 متغیر است.

تعیین فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی، شاخص مطلوبیت و

ناسازگاری

پس از محاسبه وزن پارامترهای مورفومتری، ماتریس تصمیم در روش‌های تصمیم‌گیری نرمال شد. سپس در مدل‌های TOPSIS و VIKOR ایده‌آل مثبت و منفی برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه شد. در این پژوهش پارامترهای شکلی شامل: ضریب

فراوانی آبراهه در رتبه سوم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت؛ فراوانی آبراهه با ظرفیت نفوذ رابطه عکس و با پستی و بلندی حوضه رابطه مستقیم دارد (۵). فراوانی آبراهه حوضه از ۲۱/۲۸ در حوضه R11 تا ۳/۰۳ در حوضه R2 متغیر است. طول جریان و نسبت انشعاب با وزن ۰/۱۰۸ در رتبه چهارم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفتند؛ نسبت انشعاب بیانگر پیچیدگی ساختمان و قابلیت نفوذپذیری سطح زمین است و با نفوذپذیری حوضه رابطه معکوس دارد (۱۴)؛ زیرحوضه R8 بیشترین و زیرحوضه‌های R3 و R6 کمترین نسبت انشعاب را به ترتیب با ۵/۲۳ و ۳/۴۷ داشتند. با افزایش طول جریان، فرسایش‌پذیری در حوضه افزایش می‌یابد، زیرحوضه R10 بیشترین و زیرحوضه R6 کمترین طول جریان را به ترتیب با ۵۳۰/۲۸ و ۱۸۵/۹۸ کیلومتر داشتند.

طول جریان روی زمین با وزن ۰/۰۸۵ در رتبه پنجم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت. این پارامتر از متغیرهای مستقلی است که بر توسعه هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی حوضه تأثیر می‌گذارد و با شیب متوسط کانال رابطه مستقیم دارد؛ مقدار این پارامتر در شیب‌های تند کم و در شیب‌های ملایم زیاد است (۵). زیرحوضه R12 بیشترین و زیرحوضه R1 کمترین طول جریان را به ترتیب برابر با ۳/۷۶ و ۱ کیلومتر داشتند.

پارامتر توپوگرافی عدد ناهمواری با وزن ۰/۰۷۵ در رتبه ششم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت، این پارامتر نشان‌دهنده ویژگی‌های هندسی حوضه آبخیز است و ارتباط مستقیمی با فرسایش‌پذیری دارد (۵). زیرحوضه R5 بیشترین و زیرحوضه R12 کمترین عدد ناهمواری را به ترتیب با ۶/۷۷ و ۲/۵۹ داشتند.

ضریب شکل با وزن ۰/۰۴۹ در رتبه هفتم از لحاظ تأثیر بر فرسایش خاک قرار گرفت، حوضه‌های دارای ضریب شکل زیاد دارای پیک جریان کوتاه‌تری هستند، درحالی که حوضه‌های با ضریب شکل کم دارای پیک جریان طولانی‌تری هستند. این پارامتر از ۰/۱۳ در زیرحوضه R8 تا ۰/۳۴ در

طوری که این زیرحوضه‌ها در روش TOPSIS کمترین مقدار ضریب نزدیکی به ترتیب با ۰/۲۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۱، در روش VIKOR بیشترین مقدار Qi به ترتیب با ۰/۸۱، ۰/۹۵ و ۰/۹۸ و در روش SAW کمترین مقدار Ai به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۴۲ و ۰/۴۸ را شامل شده‌اند (جدول ۵).

بر اساس نتایج هر سه روش تلفیق میانگین رتبه‌ای، بردا و کاپلند نتایج یکسانی را ارائه کردند. بر این اساس، زیرحوضه‌های R11، R12 و R10 در اولویت اول تا سوم و در مقابل زیرحوضه‌های R6، R1 و R2 در اولویت دهم تا دوازدهم از نظر حساسیت به فرسایش قرار گرفته‌اند (جدول ۵).

نتیجه برآورد ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن نشان داد که همبستگی مثبت و معناداری ($\alpha < 0.01$) به میزان ۰/۸ بین اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها با نتیجه برآورد فرسایش ویژه به روش MPSIAC در مطالعه دستی (۱۱) وجود دارد؛ زیرحوضه‌های R11، R12 و R10 با بیشترین مقدار فرسایش ویژه به ترتیب ۱۶/۰۳، ۱۲/۴۸ و ۱۱/۶ تن در هکتار در سال بیشترین حساسیت را به فرسایش خاک داشته‌اند (جدول ۵) که از نظر اولویت زیرحوضه‌های حساس به فرسایش خاک با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

طبقه‌بندی خطر فرسایش خاک حوضه آبخیز رود زرد

بر اساس نتایج تلفیق اولویت‌بندی مدل‌های تصمیم‌گیری (شکل ۳ و جدول ۶)، کلاس خیلی حساس به فرسایش خاک شامل زیرحوضه‌های R11، R12 و R10 بوده که در بخش‌های جنوبی حوضه واقع شده‌اند؛ این طبقه در مجموع ۱۹۱/۸۳ کیلومتر مربع معادل با ۲۱/۷۴ درصد از سطح منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. کلاس با حساسیت زیاد شامل زیرحوضه‌های R4، R9 و R7 واقع در بخش‌های مرکزی حوضه، مساحتی برابر با ۱۸۶/۱ کیلومتر مربع معادل با ۲۱/۰۹ درصد از سطح حوضه را شامل شده است. کلاس با حساسیت متوسط شامل زیرحوضه‌های R3، R5 و R8، بیشترین مساحت را به میزان ۲۵۴/۰۱ کیلومتر مربع معادل با ۲۸/۷۸ درصد حوضه را به

فشرده‌گی، ضریب شکل، ضریب گردی و ضریب کشیدگی رابطه معکوس با فرسایش‌پذیری دارند (۵، ۱۹، ۲۰، ۲۴، ۲۷)؛ بنابراین بزرگ‌ترین مقدار این پارامترها به عنوان ایده‌آل منفی و کمترین مقدار این پارامترها به عنوان ایده‌آل مثبت در نظر گرفته شد. در مقابل، پارامتر توپوگرافی عدد ناهمواری و پارامترهای خطی شامل: تراکم زهکشی، بافت زهکشی، فراوانی آبراهه، نسبت کشیدگی، طول جریان، طول جریان روی زمین با فرسایش‌پذیری رابطه مستقیم دارند (۲۷، ۳۲، ۳۴ و ۳۷)؛ بنابراین بزرگ‌ترین مقدار این پارامترها به عنوان ایده‌آل مثبت و کمترین مقدار این پارامترها به عنوان ایده‌آل منفی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی در مدل TOPSIS و شاخص نارضایتی و شاخص مطلوبیت در مدل VIKOR در جدول ۴ ارائه شده است. در مدل TOPSIS زیرحوضه R11 کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت به میزان ۰/۰۲ و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی به میزان ۰/۱ دارد و در مقابل زیرحوضه R2 بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت به میزان ۰/۱۰۷ و کمترین فاصله از ایده‌آل منفی به میزان ۰/۰۱۳ دارد.

نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل‌های تصمیم‌گیری و روش‌های مختلف تلفیق

بر اساس نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد نسبت به خطر فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، در روش TOPSIS زیرحوضه‌های R11، R12 و R10 بیشترین مقدار ضریب نزدیکی به ترتیب با ۰/۸، ۰/۷۶ و ۰/۷۱ و همچنین در روش SAW بیشترین مقدار Ai برای زیرحوضه‌های مذکور به ترتیب با ۰/۸۷، ۰/۸۳ و ۰/۸۱ به دست آمد که در اولویت‌های اول تا سوم قرار دارند. در روش VIKOR زیرحوضه‌های R10، R12 و R11 کمترین مقدار Qi به ترتیب با ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۱۶ داشته که در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند (جدول ۵).

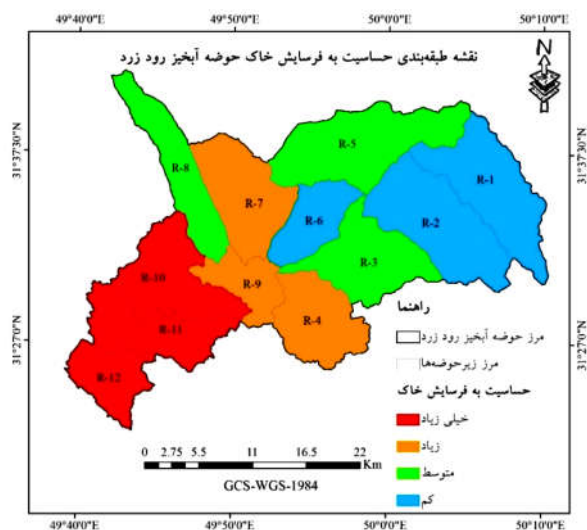
زیرحوضه‌های R6، R1 و R2 در هر ۳ روش تصمیم‌گیری با کسب رتبه مشابه در اولویت دهم تا دوازدهم قرار دارند؛ به

جدول ۴. مقادیر فاصله از ایده آل مثبت و منفی در مدل TOPSIS، شاخص مطلوبیت و ناسازگاری در مدل VIKOR

مدل	زیرحوضه	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
تاپسیس	D_i^+	۰/۱۰۵	۰/۱۰۷	۰/۰۹	۰/۰۳۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۹	۰/۰۵	۰/۰۶۸	۰/۰۵۶	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۰۳
	D_i^-	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۷۶	۰/۰۴۷	۰/۰۶۳	۰/۰۸۳	۰/۱۰۱	۰/۰۹۶
ویکور	S_i	۰/۸۰۳	۰/۸۵۶	۰/۷۰۷	۰/۴۰۸	۰/۶۷۳	۰/۷۶۵	۰/۴۸۸	۰/۴۹۵	۰/۵۰۶	۰/۲۹۳	۰/۲۵۲	۰/۲۷۱
	R_i	۰/۱۶۱	۰/۱۵۸	۰/۱۴	۰/۰۸۵	۰/۱۲۹	۰/۱۴	۰/۰۸۴	۰/۱۱۳	۰/۰۹۸	۰/۰۶۵	۰/۰۹۷	۰/۰۷۵

جدول ۵. اولویت بندی زیرحوضه ها

روش	TOPSIS	VIKOR	SAW	میانگین رتبه ای، بردا و کاپلند	فرسایش ویژه
زیرحوضه	C_i^+ اولویت	Q_i اولویت	A_i اولویت	اولویت نهایی هر ۳ روش	(Ton/ha/year)
R1	۰/۱۴	۱۱	۰/۴۲	۱۱	۶/۶۶
R2	۰/۱۱	۱۲	۰/۳۹	۱۲	۹/۴۹
R3	۰/۲۴	۹	۰/۵۱	۹	۷/۰۵
R4	۰/۶۹	۴	۰/۷۴	۴	۱۰/۰۸
R5	۰/۲۷	۸	۰/۵۳	۸	۸/۳۱
R6	۰/۲۳	۱۰	۰/۴۸	۱۰	۶/۷۲
R7	۰/۶	۵	۰/۶۹	۵	۸/۲۹
R8	۰/۴	۷	۰/۶۴	۷	۱۰/۶۵
R9	۰/۵۳	۶	۰/۶۷	۶	۱۰/۲۶
R10	۰/۷۱	۳	۰/۸۱	۳	۱۱/۶
R11	۰/۸	۱	۰/۸۷	۱	۱۶/۰۳
R12	۰/۷۶	۲	۰/۸۳	۲	۱۲/۴۸



شکل ۳. نقشه تلفیق مدل های تصمیم گیری در اولویت بندی حساسیت به فرسایش خاک بر مبنای پارامترهای مورفومتری (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۶. طبقه‌بندی حساسیت به فرسایش خاک

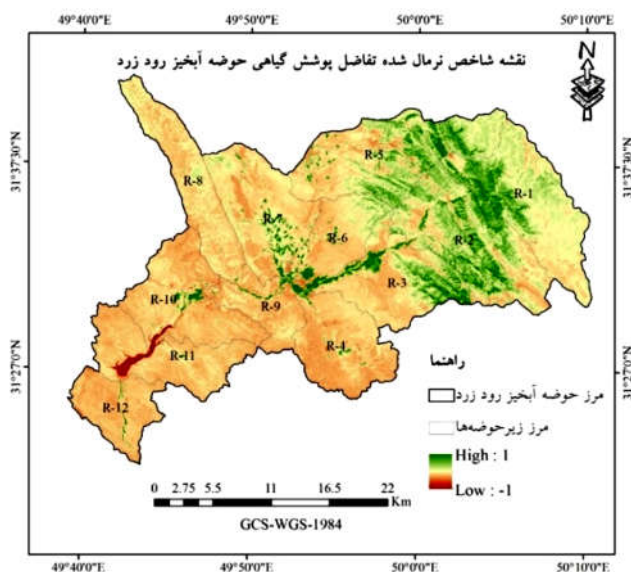
میانگین NDVI	مساحت (کیلومتر مربع)	زیرحوضه	حساسیت به فرسایش خاک
۰/۰۹	۲۱/۷۴	۱۹۱/۸۳	خیلی زیاد
۰/۱۱	۲۱/۰۹	۱۸۶/۱۰	زیاد
۰/۱۶	۲۸/۷۸	۲۵۴/۰۱	متوسط
۰/۱۸	۲۸/۳۹	۲۵۰/۵۶	کم

مشاهده شده که در طبقه خیلی حساس نسبت به فرسایش قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌های خیلی حساس نسبت به خطر فرسایش خاک همچنین بیشترین مقادیر فراوانی آبراهه را به خود اختصاص داده‌اند؛ مناطق با فراوانی آبراهه زیاد دارای پستی و بلندی زیاد و سطوح نفوذناپذیر هستند (۱۴). این نتایج از نظر تأثیرگذاری نوع پارامترهای مورفومتری بر خطر فرسایش خاک با نتایج ارگ و عیسوی (۴)، عرب عامری و همکاران (۵)، بهاتاچاریا و همکاران (۱۰)، نایسنیرمال و همکاران (۲۷)، ساداسیوام و همکاران (۳۲)، شریفی کیا و همکاران (۳۴) و یمانی و عرب‌عامری (۳۷) هم راستا است.

پوشش گیاهی از پارامترهای مهم در تعدیل تأثیر عوامل مؤثر بر فرسایش خاک است و تأثیر مهمی روی الگوی شبکه زهکشی حوضه آبخیز دارد (۱۴). بررسی وضعیت پوشش اراضی حوضه مطالعاتی نشان داد که طبقات با حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به فرسایش، شامل مراتع ضعیف و دیمزارها بوده و میانگین NDVI در این طبقات پایین است؛ در این مناطق به علت عدم حضور پوشش گیاهی، حرکت رواناب حاصل از بارندگی در طول مسیر خود، فرسایش خاک را به همراه دارد (۲۲). از سوی دیگر زیرحوضه‌های با حساسیت کم نسبت به خطر فرسایش خاک، شامل اراضی جنگلی بوده و تراکم بالاتری از پوشش گیاهی نسبت به دیگر طبقات دارند و میانگین NDVI در این زیرحوضه‌ها بالاترین مقدار نسبت به سایر طبقات را داشت؛ در این مناطق وجود پوشش گیاهی مانع از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک و متلاشی شدن خاکدانه‌ها

خود اختصاص داده است. از سوی دیگر ۲۵۰/۵۶ کیلومتر مربع معادل با ۲۸/۳۹ درصد از سطح منطقه مطالعاتی در کلاس با حساسیت کم قرار گرفته که بخش‌های شمالی حوضه را شامل زیرحوضه‌های R1، R2 و R6 را شامل شده است. بررسی نقشه NDVI حوضه آبخیز رود زرد نشان داد که کمترین میانگین NDVI به میزان ۰/۰۹ مربوط به کلاس با حساسیت خیلی زیاد و بیشترین میانگین NDVI به میزان ۰/۱۸ مربوط به کلاس با حساسیت کم نسبت به فرسایش خاک است (شکل ۴ و جدول ۶).

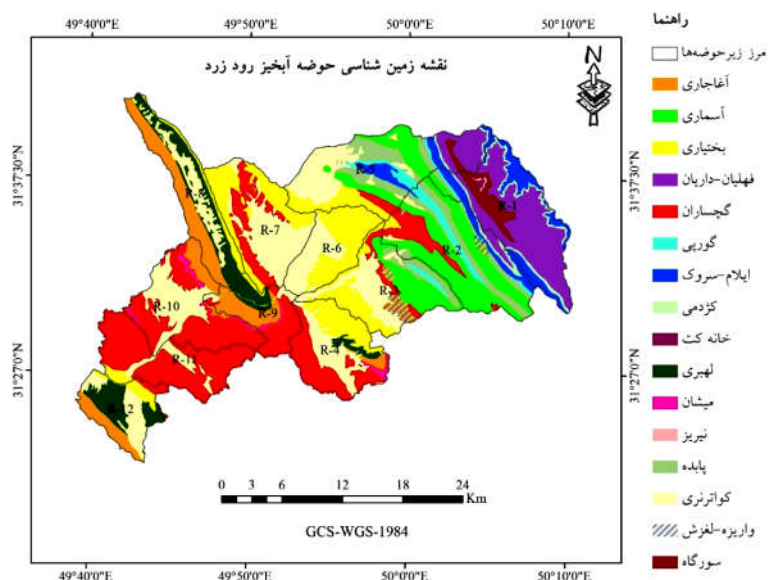
زیرحوضه‌های خیلی حساس نسبت به خطر فرسایش خاک (R11، R12 و R10)، مقادیر زیاد پارامترهای خطی که با فرسایش رابطه مستقیم دارند و مقادیر کم پارامترهای شکلی که با فرسایش رابطه عکس دارند را به خود اختصاص داده‌اند. درحالی که زیرحوضه‌های با حساسیت کم نسبت به خطر فرسایش خاک (R1، R2 و R6)، مقادیر کم پارامترهای خطی و مقادیر زیاد پارامترهای شکلی را به خود اختصاص داده‌اند. پارامترهای خطی بافت زهکشی، تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه بیشترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها داشتند. هر چه تراکم و بافت زهکشی زیرحوضه‌ای بالاتر باشد، تخلیه رواناب در سطح آن به سادگی انجام می‌شود و میزان فرسایش افزایش می‌یابد. بافت زهکشی بالا، نشان‌دهنده پوشش گیاهی کم، نفوذپذیری پایین و پستی و بلندی زیاد است (۱۴)؛ بنابراین زیرحوضه‌هایی که تراکم و بافت زهکشی بیشتری دارند از خطر فرسایش بیشتری برخوردار هستند. بیشترین مقادیر تراکم و بافت زهکشی در زیرحوضه‌های (R11، R12 و R10)،



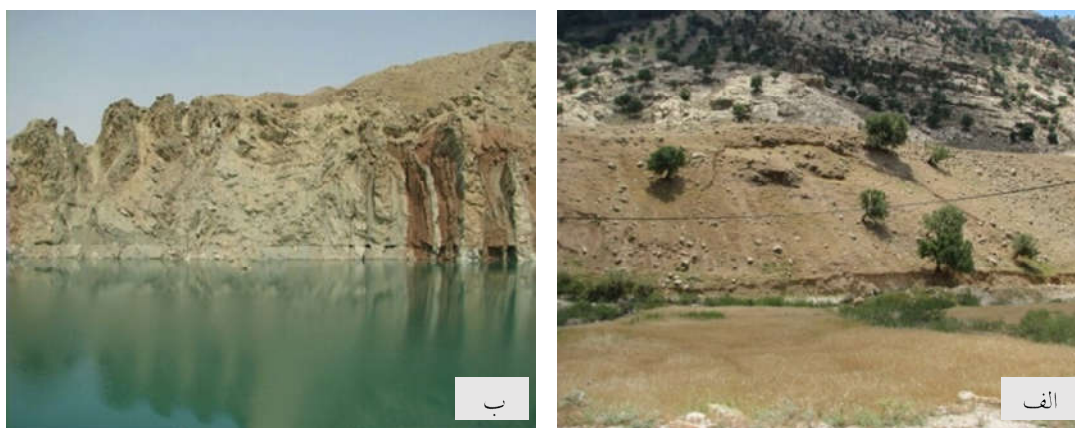
شکل ۴. نقشه NDVI حوضه آبخیز رود زرد

سازندهای زمین‌شناسی حوضه مطالعاتی نشان داد که زیرحوضه‌های با حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به خطر فرسایش خاک در سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش مانند آجاجاری، گچساران، لهبری-ممبر و کواترنر واقع شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶)؛ این سازندها به دلیل حضور تشکیلات گچی-مارنی در ساختار خود، دارای بافت ریز هستند که نشان‌دهنده مستعد بودن این سازندها نسبت به فرسایش خاک است، درحالی که زیرحوضه‌های واقع در طبقه با حساسیت کم نسبت به خطر فرسایش خاک، در سازندهای زمین‌شناسی مقاوم در برابر فرسایش از جنس آهک ضخیم واقع شده‌اند (شکل ۵). نیکجوی و همکاران نیز (۲۶) در اولویت‌بندی نواحی فرسایشی حوضه قورچای رامیان گزارش کردند که بیشترین شدت فرسایش خاک در زیرحوضه ۱۰ به‌علت دارا بودن سازندهای حساس به فرسایش شمشک و سازند رسوبات رودخانه‌ای مشاهده شده است. در پژوهشی دیگر عابدینی و یعقوب نژاد اصل (۱)، گزارش کردند که بیشترین میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز رودخانه بالیخو-سد در واحدهای زمین‌شناسی پادگانه‌های آبرفتی، مارن، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا، سنگ‌های آتشفشانی و بازالت به‌علت سست بودن رسوبات

از طریق ربایش قطرات باران توسط تاج پوشش می‌شود که این امر باعث کاهش انرژی جنبشی باران و کاهش سرعت جریان‌های سطحی و در نتیجه نفوذ بیشتر آب به خاک شده و در نهایت موجب کاهش حجم رواناب و فرسایش آبی می‌شود (۱۴ و ۲۲). پژوهشگران دیگری از جمله آرمین و همکاران (۷)، بهاروند و سوری (۹)، انتظاری و همکاران (۱۲) و نایسنیرمال و همکاران (۲۷)، در نتیجه پژوهش خود به نقش پوشش گیاهی در فرسایش خاک اشاره کرده‌اند. موسوی نژاد و همکاران (۲۵) نقشه تراکم پوشش گیاهی حوضه آبخیز چهل چای را با استفاده از NDVI تهیه و ارتباط آن را با فرسایش‌پذیری خاک بررسی و گزارش کردند که میانگین فرسایش متوسط تا شدید در طبقه پوشش گیاهی کمتر از ۵٪ بحرانی و برابر ۱۴/۱۱ تن در هکتار در سال بوده است. پورقاسمی و همکاران (۲۸)، در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبریز قره آجاج گزارش کردند که پوشش‌های مختلف گیاهی تأثیر متفاوتی بر فرسایش آبی دارند و مناطق با پوشش جنگل نسبت به مراتع، کمتر مستعد فرسایش آبی هستند که با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. جنس سازند زمین‌شناسی عامل مهم دیگر در حساسیت نسبت به خطر فرسایش خاک است (۹ و ۱۰). بررسی نقشه



شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز رود زرد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. الف) آبخویی رسوبات کواترنری (زیرحوضه R10) و ب) انحلال سازند گچساران در مخزن سد جره (زیرحوضه R11)

دیم از دیگر عوامل مؤثر بر فرسایش در حوضه آبخیز مطالعاتی است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، توصیه می‌شود که عملیات بیولوژیک برای احیای پوشش گیاهی در زیرحوضه‌های حساس به خطر فرسایش خاک صورت پذیرد. علاوه بر آن مدیریت چرای دام و کنترل ورود و خروج دام و مدیریت اراضی نیز باید مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد و آموزش‌های لازم به ساکنین منطقه برای صیانت از منابع طبیعی و نحوه بهره‌برداری صحیح از آن داده شود.

مشاهده شده است. قربانی‌نژاد و همکاران (۱۵)، بیان کردند که تراس‌های آبرفتی دارای بالاترین پتانسیل فرسایش در حوضه آبخیز کاکا رضا در استان لرستان هستند؛ این نتایج و نتایج مطالعات بهاروند و سوری (۹)، بهاتاچاریا و همکاران (۱۰)، انتظاری و همکاران (۱۲) و پورقاسمی و همکاران (۲۸) با نتایج این پژوهش از لحاظ تأثیر نوع سازند زمین‌شناسی در فرسایش‌پذیری خاک مطابقت دارد. بهره‌برداری بی‌رویه از اراضی کشاورزی، شخم در اراضی شیبدار، چرای مفرط دام در مراتع و تبدیل مراتع به اراضی

نتیجه گیری

تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل روش‌های تلفیق میانگین رتبه‌ای، بردا و کاپلند امکان استفاده از مزایای هر کدام از روش‌ها را فراهم کرد؛ بنابراین توصیه می‌شود که این روش‌ها در پژوهش‌های آینده توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گیرند تا بدین طریق بتوان نتایج قابل استنادتری را ارائه کرد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و آنالیز مورفومتری ابزاری مناسب برای شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک هستند. بنابراین با توجه به سهل‌الوصول بودن پارامترهای مورد استفاده، می‌توان از آنها به‌عنوان ابزاری مفید برای اولویت‌بندی و شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار در راستای مدیریت حوضه‌های آبخیز و حفاظت منابع خاک و آب استفاده کرد. بنابراین توصیه می‌شود که این روش‌ها در پژوهش‌های آینده توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گیرند تا بدین طریق بتوان نتایج قابل استنادتری را ارائه کرد. پیشنهاد می‌شود که دیگر روش‌های اولویت‌بندی فرسایش خاک زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد بررسی و نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شود.

در این پژوهش، اولویت‌بندی فرسایش خاک در ۱۲ زیرحوضه آبخیز رود زرد با استفاده از آنالیز پارامترهای مورفومتری و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین پارامترهای مورفومتری به‌کار برده شده، پارامترهای خطی بافت زهکشی، تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه بیشترین تأثیر و در مقابل پارامترهای شکلی ضریب شکل، نسبت کشیدگی و ضریب گردی کمترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها داشتند. زیرحوضه‌های R12، R11 و R10 به‌دلیل مقدار زیاد پارامترهای خطی، مقدار کم پارامترهای شکلی، ساختار زمین‌شناسی حساس به فرسایش و پوشش گیاهی ضعیف در اولویت اول تا سوم و در طبقه خیلی حساس به فرسایش خاک قرار دارند و همچنین بیشترین مقدار فرسایش ویژه را به‌خود اختصاص داده‌اند و برای اجرای اقدامات مدیریتی و عملیات آبخیزداری در اولویت هستند. بین اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌های آبخیز رود زرد و نتایج مدل امپسیاک، همبستگی معناداری ($\alpha < 0/01$) به‌میزان ۰/۸ وجود داشت. استفاده از روش‌های تلفیق نتایج اولویت‌بندی مدل‌های

منابع مورد استفاده

1. Abedini, M. and N. Yaghoob Nezhad Asl. 2018. Assessment and zoning of the soil erosion risk in balekhli river watershed of yamci dam, using fuzzy model. *Quantitative Geomorphological Research* 6(1): 137-155. (In Farsi).
2. Altaf, S., M. Goshar and S. A. Romshoo. 2014. Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(12): 8391-8412.
3. Amani, M. and A. Najafinejad. 2014. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis, gis and rs techniques: lohandar watershed, golestan province. *Journal of Watershed Management Research* 5(9): 1-15. (In Farsi).
4. Aouragh, M. H. and A. Essahlaoui. 2018. A TOPSIS approach-based morphometric analysis for sub-watersheds prioritization of high Oum Er-Rbia basin, Morocco. *Spatial Information Research* 26: 187-202.
5. Arabameri, A., H. R. Pourghasemi and A. Cerda. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment* 613-614: 1385-1400.
6. Arabameri, A., H. R. Pourghasemi, K. Rezaei and M. Sohrabi. 2019. Morphometric prioritization of watersheds for optimal water and soil resources management. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 13(45): 87-97. (In Farsi).
7. Armin, M., F. Eskandari Jahmani, S. Alvaninejad and M. Mirzaei. 2020. Prioritization of erosion-sensitive areas using satellite imagery (Case study: part of Bahmei county in Kohgiluyeh and Boyerahmad province). *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research* 10(2): 41-58. (In Farsi).
8. Asadi Nalivan, O., M. Rostami khalaj, M. Mohseni Savari and A. Sour. 2015. Prioritizing of watershed management planning using topsis method in the watershed (case study: zydasth-taleghan). *Journal of Watershed Management Research* 6(12): 98-107. (In Farsi).

9. Baharvand, S. and S. Souri. 2018. Investigating the factors affecting the varak basin erosion and its risk zonation using epm method. *Journal of Environmental Geology* 12(45): 67-77. (In Farsi).
10. Bhattacharya, R. K., N. D. Chatterjee and K. Das. 2020. Sub-basin prioritization for assessment of soil erosion susceptibility in Kangsabati, a plateau basin: A comparison between MCDM and SWAT models. *Science of the Total Environment* 734: 1-21.
11. Dadi, A. 2018. Prioritization of Sub-Watersheds using Morphometric Analysis and GIS to soil conservation treatments (Case study: Roud zard Watershed, Khuzestan Province). Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, IR. Iran. (In Farsi).
12. Entezari Najaf Abadi, M. and M. Gholami. 2013. Evaluation of soil erosion by TOPSIS and SLEMSA method (Case study: Romeshgan, Iran). *Scientific-Research Quarterly on Environmental Erosion Researches* 2(7): 85-96. (In Farsi).
13. Esmaelian, M. and S. Mohammadi. 2017. Multi Attribute Decision Making Techniques (with Software Implementation). University of Esfahan, Esfahan. (In Farsi).
14. Fallah Sourki, M., A. Kavian and E. Omidvar. 2016. Prioritization of haraz sub-watersheds in order to soil and water conservation practices based on morphometric and land use characteristics. *Journal of Water and Soil Science* 20(77): 85-99. (In Farsi).
15. Ghorbani Nejad, S., H. Zeinivand, A. Haghizadeh and N. Tahmasebi. 2018. Performance evaluation of Dempster-Shafer model for erosion potential mapping in Kakareza watershed, Lorestan province. *RS & GIS for Natural Resources* 9(3): 100-114. (In Farsi).
16. Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *The Geological Society of America Bulletin* 56(3): 275-370.
17. Mangan, P., M. A. Haq and P. Baral. 2019. Morphometric analysis of watershed using remote sensing and GIS—a case study of Nanganji River Basin in Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences* 12(202): 1-14.
18. Melton, M. A. 1958. Correlations structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *The Journal of Geology* 66: 442-460.
19. Meshram, S. G., E. Alvandi, C. Meshram, E. Kahya, and F. Al-Quraishi. 2020. Application of SAW and TOPSIS in Prioritizing Watersheds. *Water Resources Management* 34: 715-732.
20. Meshram, S. G., V. P. Singh, E. Kahya, E. Alvandi, C. Mehram and S. K. Sharma. 2020. The Feasibility of Multi-Criteria Decision Making Approach for Prioritization of Sensitive Area at Risk of Water Erosion. *Water Resources Management* 34: 4665-4685.
21. Miller, V. 1957. A Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *The Journal of Geology* 65(1): 389-402.
22. Moghadamirad, M., M. H. Moayeri, E. Abdi and H. Ghorbani Vaghei. 2018. Effect of vegetation cover density on runoff and soil loss of interrill erosion in forest road cut slope (Case study: Koochmian Forest-Azadshahr). *Journal of Water and Soil Conservation* 25(2): 219-233. (In Farsi).
23. Mohamadi, S. 2018. Prioritization of sub-catchments for operation of watershed management projects via multi-criteria decision making techniques (case study: asyabjofeth watershed). *Journal of Watershed Management Research* 10(18): 36-46. (In Farsi).
24. Mostafazadeh, R., K. Haji, A. Esmali-Ouri and H. Nazarnejad. 2017. Prioritization the critical sub-watersheds based on soil erosion and sediment using watershed erosion response model (werm) and morphometric analysis (case study: rozechai watershed, west azerbaijan province). *Journal of Watershed Management Research* 8(16): 142-156. (In Farsi).
25. Mousavinejad, S. H., H. Habashi, F. Kiani, Sh. Shataee and O. Abdi. 2017. Evaluation of soil erosion using imagery SPOT5 satellite in Chehel chichatchment of Golestan Province. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* 24(2): 73-86. (In Farsi).
26. Nikjuy, M., H. Rouhani, A. Mohammadi and O. Asadi Nalivan. 2015. The role of prioritizing erosive areas in soil and water management in the Ramian's Ghoorchay watershed. In: National Conference on Water, Human, Earth, Esfahan, Iran. 1-11.
27. Nitheshnirmal, S., P. Thilagaraj, S. A. Rahaman and R. Jegankumar. 2019. Erosion risk assessment through morphometric indices for prioritisation of Arjuna watershed using ALOS-PALSAR DEM. *Modeling Earth System and Environment* 5: 907-924.
28. Pourghasemi, H. R., F. Honarmandnejad, M. Rezaei and M. S. Tarazkar. 2020. Prioritization of water erosion-prone sub-watersheds using three ensemble methods in Qareaghaj catchment, southern Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 37894-37917.
29. Prakash, K., D. Rawat, S. Singh, K. Chaubey, S. Kanhaiya and T. Mohanty. 2019. Morphometric analysis using SRTM and GIS in synergy with depiction: a case study of the Karmanasa River basin, North Central India. *Applied Water Science* 9(13): 1-10.

30. Rahmati, O., M. Samadi, H. Shahabi, A. Azareh, E. Rafiei-Sardooi, H. Alilou, A. M. Melesse, B. Pradhan, K. Chapi and A. Shirzadi. 2019. SWPT: An automated GIS-based tool for prioritization of sub-watersheds based on morphometric and topo-hydrological factors. *Geoscience Frontiers* 10(6): 2167-2175.
31. Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15 (3): 59-62.
32. Sadhasivam, N., A. Bhardwaj, H. R. Pourghasemi and N. P. Kamaraj. 2020. Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models. *Environmental Earth Science* 79(360): 1-28.
33. Schumm, S. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *The Geological Society of America Bulletin* 67(5): 597- 646.
34. Sharifikia, M., S. Shayan, M. Yamani and A. Arab Ameri. 2018. Morphometric parameter extraction and analysis for watershed periodization over the Naka Roud Catchment. *Iranian Journal of Ecohydrology* 5(1): 69-83. (In Farsi).
35. Smith, K. G. 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science* 248(9): 655-668.
36. Thakur, P. K. and V. E. Gosavi. 2018. Estimation of Temporal Land surface temperature using thermal remote sensing of landsat-8 (oli) and landsat-7 (etm+): a study in Sainj river basin, himachal pradesh, India. *Society for Environment and Development* 13: 29-45.
37. Yamani, M. and A. Arab Ameri. 2018. The Effectiveness of the quantitative analysis of geomorphometric parameters in preparation of soil erosion susceptibility map (Case Study: Monj Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards* 7(2): 1-22. (In Farsi).

Prioritization of Erosion Prone Sub-Watersheds using MCDM Methods in Roudzard Watershed, Khuzestan Province

S. Bagheri, M. R. Ansari* and A. Norouzi¹

(Received: August 24-2021 ; Accepted: November 7-2021)

Abstract

Soil erosion has been one of the most important problems of watersheds in the world and is considered one of the main obstacles to achieving sustainable development in agriculture and natural resources. Identifying and prioritizing regions sensitive to soil erosion is essential for water and soil conservation and natural resource management in watersheds. The present research was performed in 2021 year to prioritize the soil erosion susceptibility in 12 sub-watersheds of the Roudzard watershed in Khuzestan province using morphometric analysis and multiple criteria decision-making (MCDM) methods. In this regard, 11 morphometric parameters including shape parameters such as compactness constant (Cc), circularity ratio (Rc), form factor (Rf), elongation ratio (Re), linear parameters such as drainage density (Dd), stream frequency (Fs), drainage texture (Dt), bifurcation ratio (Rb), Basin length (L), Length of overland flow (Lg), and topographic parameter including Ruggedness number (Rn) were extracted and their relative weights were calculated using Analytic Hierarchy Process (AHP). The prioritization sub-watershed to soil erosion was performed using TOPSIS, VIKOR, and SAW methods, and the results were combined using rank mean, Copeland, and Borda methods. The final prioritization was compared with the amount of specific erosion in the MPSIAC model by determining Spearman's correlation coefficient. The result of the evaluation of morphometric parameters by using the AHP model showed that drainage density (0.161), drainage texture (0.158), and stream frequency (0.146) had the greatest effect on the erodability of the sub-watersheds. In contrast, the form factor (0.049), Elongation Ratio (0.036), and shape factor (0.026) had the least effects on erodability of the study area. In this research, the Spearman correlation coefficient between the final result of prioritizing the sub-watershed and the MPSIAC model was obtained as 0.8 in p-value < 0.01. The results of prioritization of the sub-watersheds in terms of their sensitivity to soil erosion showed that sub-watersheds 11, 12, and 10 with an area of 191.83 km² are categorized as very sensitive to soil erosion due to high value of linear parameters, low value of shape parameters, sensitive geology formation, and poor vegetation cover and located in rank 1 to 3, respectively. According to the results sub-watersheds 11, 12, and 10 have the highest amount of specific erosion equal to 16.03, 12.48, and 11.6 tons per hectare per year, respectively. Therefore, these sub-watersheds are a priority for watershed management operations. The results of the present study showed that MCDM methods and morphometric analysis are suitable tools for identifying areas sensitive to soil erosion and using the combined methods of the results and it is possible to take advantage of each of the different multi-criteria decision-making methods.

Keywords: TOPSIS, VIKOR, SAW, Soil erosion, Morphometry

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.

*: Corresponding author, Email: m_ansari@asnruk.ac.ir