تعیین مناطق مستعد فرسایش با استفاده از مدل‌های MADM و GIS در منطقه باقران بیرجند

جواد چزگی[1*] و مجید آسیایی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰)

چکیده

فرسایش باعث هدر رفتن و کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود، که یکی از پیامدهای آن به خطر افتادن امنیت غذایی ساکنین منطقه است. لذا برای کاهش فرسایش نیاز به کنترل و مدیریت آن با استفاده از روش‌های حفاظت خاک است. برای مدیریت و کنترل فرسایش ابتدا لازم است که یک بررسی جامع از عوامل مؤثر در فرسایش خاک به‌عمل آید. چنانچه در مناطقی از یک حوزه آبخیز، از نظر فرسایش خاک حالت بحرانی وجود داشته باشد، با استفاده از عوامل مؤثر شناسایی محل دقیق فرسایش سریع‌تر و کم‌هزینه خواهد بود و در ادامه عملیات کنترل و مبارزه با فرسایش مقدور و معقول خواهد شد. در این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد فرسایش از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری AHP و ANP در منطقه باقران بیرجند استفاده شد. ابتدا ۱۰ معیار مؤثر شامل معیارهای باران، شیب، جهت شیب، خاکشناسی، زمین‌شناسی، نفوذپذیری، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و روستا بر فرسایش در منطقه بر اساس نظرات کارشناسان امر و مطالعات کتابخانه‌ای تعیین شد. در مرحله بعد پرسشنامه‌هایی برای تأثیر معیارها بر فرسایش برای متخصصان امر ارسال شد و پس از تکمیل پرسشنامه‌ها بر اساس نرم‌افزار Supper Decision اهمیت نسبی معیارها به‌دست آمد. در ادامه بر اساس اهمیت نسبی معیارها نقشه‌ها تهیه و با هم تلفیق شدند. عامل بارندگی بیشترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری منطقه در روش AHP با اهمیت نسبی ۰/۲۱ و معیار پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۵۸ در روش ANP بیشترین تأثیر را در تعیین مناطق مستعد فرسایش داشته است. درنهایت نقشه فرسایش‌پذیری منطقه بر اساس مدل‌های ارائه شده به‌دست آمد. در ادامه منطقه از نظر حساسیت به فرسایش در پنج کلاس طبقه‌بندی شد که مناطق با حساسیت متوسط در هر دو مدل بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در کلاس‌های کم و زیاد روش ANP نتایج بهتر، و در کلاس‌های متوسط روش AHP نتایج بهتری ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، AHP، ANP، GIS و منطقه باقران بیرجند

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند
۲. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: chezgi@birjand.ac.ir

مقدمه

نخستین گام در جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ و احیای اراضی و توسعه آنها شناسایی نقاط فرسایش‌پذیر و اولویت‌بندی آنها برای اجرای برنامه‌ها و عملیات حفاظت خاک و آبخیزداری است. اجرای اقدامات آبخیزداری با درنظر گرفتن توزیع مکانی فرسایش و شناسایی نواحی با خطر فرسایش بحرانی کم‌هزینه و به‌صرفه است (۱). به‌طور کلی عوامل طبیعی زیادی در شدت فرسایش خاک دخالت دارند که از جمله آنها می‌توان به شیب، توپوگرافی، شدت بارش‌ها، پوشش گیاهی، لیتولوژی و... اشاره کرد (۱۱ و ۱۸). لذا آسیب‌پذیری تمام مناطق به‌دلیل متفاوت بودن ساختارهای محیط طبیعی یکسان نیست. فرسایش خاک یک فرایند پیچیده بوده که عوامل بسیار زیادی در آن دخیل هستند (۹). این عوامل روی یکدیگر اثر گذاشته و با ایجاد تعاملاتی با یکدیگر منجر به ایجاد فرسایش می‌شوند (۸). اغلب این عوامل کیفی و پیچیده است که تصمیم‌گیری در مورد آنها را به‌دلیل نقش متفاوت و میزان اثربخشی هر کدام از پارامترها و یکسان نبودن معیار سنجش، با مشکل مواجه می‌سازد (۲۶). به این منظور، اولین قدم در کاهش میزان فرسایش، برآورد میزان حساسیت اراضی به آن است. در این راستا سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار مفیدی برای جمع‌آوری داده در زمینه پراکندگی مکانی فرسایش و عوامل مؤثر در آن، با توجه به شدت فرسایش‌پذیری است (۱۶). برای حل مشکل و یا کاهش خطا، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه طراحی شده‌اند (۲۰). تعیین مناطق فرسایش‌پذیر در حوزه آبخیز با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سال‌های اخیر به‌خاطر کارایی و هزینه کم در بسیاری از پژوهش‌ها ارائه شده است (۲۳). این فرایند یکی از جامع‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا به کمک آن می‌توان درخت سلسله مراتبی (هدف، معیارها و گزینه‌ها)، نرمال‌سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد. پژوهشگران زیادی برای شناسایی مناطق فرسایش‌پذیر و اولویت‌بندی آنها از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه استفاده کرده‌اند (۲۶)، که در ادامه به اختصار مواردی توضیح داده می‌شود.

عرفانیان و همکاران (۶) در پژوهشی برای تهیه نقشه خطر فرسایش خاک از روش منطق فازی و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز قرناوه گلستان پرداختند. برای تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک از سه عامل اصلی مؤثر در فرسایش آبی خاک شامل شیب، فرسایندگی باران و فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان لایه‌های ورودی مدل فازی استفاده شد. نقشه نهایی منطق فازی بر اساس نقشه نهایی روش RUSLE برای اعتبارسنجی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج ضریب کاپا با ۰/۷۶ نشان‌دهنده توانایی بالای این روش برای تهیه نقشه خطر فرسایش است. طالب‌پور اصل و قنواتی (۲۶) در مطالعه‌ای به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تولید رسوب در حوضه سد مهاباد با استفاده از روش FAHP پرداختند. به این منظور از میان عوامل طبیعی مؤثر در وقوع فرسایش هفت عامل شیب، کاربری اراضی، زمان تمرکز زیر حوضه‌ها، ارتفاع، بارش، لیتولوژی و فاصله از رود را انتخاب کرده و با استفاده از داده های حاصل از مدل‌سازی معیارهای مؤثر در فرسایش با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و طبقه‌بندی با روش منطق فازی نواحی با حساسیت بالا در برابر فرسایش شناسایی و نقش نهایی پهنه‌بندی نواحی حساس به فرسایش در پنج کلاس استخراج شد. داوودپور و قنواتی (۴) به شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) در حوضه آبریز سد مهاباد پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد در حدود ۱۰۲/۱۲ کیلومتر مربع معادل ۱۳/۱۵ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل "خیلی زیاد" در وقوع فرسایش و تولید رسوب است که در این میان زیرحوضه‌های ده بکر، بنگوین، قزلجه، مرانه، میرسه و سیاهقل دارای پتانسیل بیشتری هستند. اسماعیلیان و همکاران (۸) اولویت‌بندی عوامل مؤثر در فرسایش سطحی با استفاده از مدل تلفیقی USLE-M و پویایی سیستم در پایگاه تحقیقاتی سنگانه-

خراسان رضوی پرداختنـــــد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل، نشان‌دهنده حساسیت مدل به شیب‌های زیاد و کم بوده است.

ساها و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ای به شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی و مدل‌سازی فرایند سلسله مراتبی تحلیلی در یک آبخیز کشاورزی منطقه بوردوان در کشور هند پرداختند. برای این منظور از ۱۵ معیار در محیط GIS و با تلفیق RS استفاده کردند. نتایج نشان داد معیارهای پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، فرسایندگی باران و خاک مهم‌ترین معیارهای مؤثر در فرسایش منطقه بوده‌اند. نتایج هر دو مدل نشان داد که منطقه مورد مطالعه حاوی مناطقی از حساسیت به فرسایش خاک زیاد تا شدید است. با وجود این مدل منطق فازی از دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار است.

هدف این تحقیق تعیین مناطق مستعد فرسایش در منطقه باقران بیرجند است، این منطقه در جنوب شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده و از دیرباز محل تفریحی و گردشگری منطقه بوده است. فرسایش یک پدیده طبیعی است که عوامل زیادی روی آن تأثیر می‌گذارند و باعث کاهش و یا تشدید آن می‌شوند. تعیین تأثیر عوامل مختلف بر فرسایش به داده کمی و کیفی (اطلاعات کارشناسان) بسیاری نیاز است، به‌دلیل نبود ایستگاه‌های رسوب‌سنجی از اطلاعات کارشناسان استفاده شد. برای این امر از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل های تصمیم‌گیری AHP و ANP استفاده شد. مدل‌های تصمیم‌گیری برای رسیدن به مطلوب‌ترین هدف بر اساس نظرات کارشناسان در موقعیت‌های که عوامل زیاد و پیچیده هستند کاربرد فراوانی دارد. در روش سلسله مراتبی معیارها مستقل از همدیگر محاسبه شده و تأثیر معیار بر هدف به‌صورت جداگانه است ولی فرایند تحلیل شبکه‌ای معیارها و زیرمعیارها با هم در ارتباط هستند و می‌تواند روی هم تأثیر بگذارند. در طبیعت پارامترها روی هم تأثیر دارند، به‌طور مثال معیارهای شیب و زمین‌شناسی بر معیار نفوذپذیری تأثیر دارند که باید در مدل تعیین شود، برای تعیین روابط بین معیارها از روش ANP استفاده شد. پژوهش‌های زیادی در مورد اولویت-بندی مناطق مستعد فرسایش با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری و روش‌های فرسایش و رسوب انجام گرفته است، ولی کمتر تحقیقی روابط بین عوامل مؤثر در فرسایش را در طبیعت را بر اساس نظر کارشناسان مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است، در این تحقیق سعی بر آن است تا با تعیین این روابط و تأثیر آنها بر فرسایش مناطق مستعد فرسایش تعیین و سپس با استفاده از بازدید صحرایی و روش پسیاک اصلاح شده ارزیابی شود.

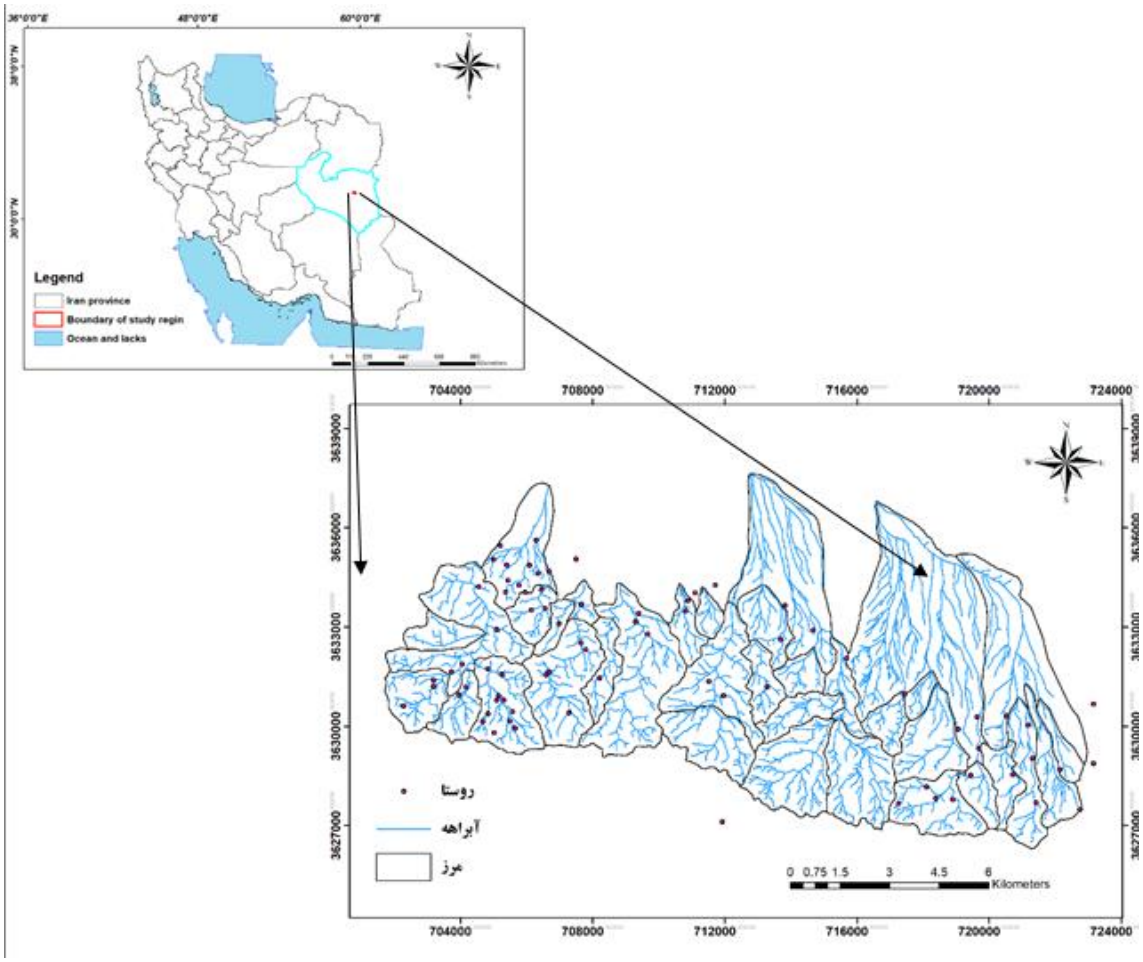
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

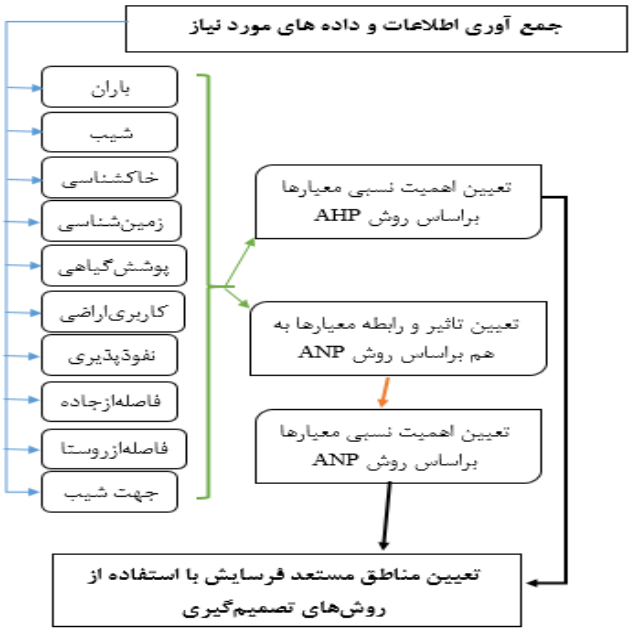
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه منطقه کوه باقران با مساحت ۱۱۹۰۰ هکتار در "۵ °۵۸ تا "۱۱ °۵۹ طول جغرافیایی و "۴۳ °۳۲ تا "۵۱ °۳۲ عرض جغرافیایی و در جنوب غربی شهرستان بیرجند واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز باقران ۱۸۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۵ درجه است. از نظر گسترش و تنوع سنگ‌شناسی، واحدهای زمین‌شناسی متعلق به دوره کرتاسه فوقانی به‌طور وسیعی رخنمون یافته‌اند. بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۲۷۰۶ متر ارتفاع از سطح دریا و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۴۸۰ متر در دشت بیرجند قرار گرفته است (شکل ۱).

داده‌های جمع‌آوری شده

بدین منظور در این تحقیق برای تعیین مناطق فرسایش‌پذیر از روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسه مراتبی و فرایند تحلیل شبکه استفاده شد (شکل ۲). ابتدا عوامل مؤثر بر فرسایش منطقه بر اساس نظرات کارشناسان و مطالعات کتابخانه‌ای تعیین شد. داده‌های مورد نظر از سازمان‌های مربوطه (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی، سازمان زمین‌شناسی و سازمان هواشناسی)، برداشت‌های صحرایی و غیره تهیه شد. در مرحله بعد پرسشنامه‌هایی (۲۵ عدد) برای تأثیر معیارها بر



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز باقران



شکل ۲. مراحل روش کار

فرسایش برای متخصصان امر ارسال شد و سپس پرسشنامه‌ها (۲۱ عدد) تکمیل شده با استفاده از میانگین هندسی، وارد نرم‌افزار Supper Decision شد، وزن نهایی معیارها و در ادامه تأثیر آنها بر فرسایش به‌دست آمد. نقشه‌های پایه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و در ادامه با اعمال اهمیت نسبی هر معیار نقشه‌ها با هم تلفیق شدند، به‌طوری که نقشه نهایی پهنه‌بندی فرسایش برای هر دو روش بر اساس رابطه (۱) تهیه شد:

رابطه ۱.

$$Erosion= (w_1) \times(C_1) + (w_2)\times(C_2) + (w_3)\times(C_3) + \ldots + (w_{10}) \times(C_{10})$$

w_1= وزن معیار ۱، w_2= وزن معیار ۲ و تا w_{10} = وزن معیار ۱۰.

C_1= معیار ۱، C_2= معیار ۲، C_3= معیار ۳ و تا C_{10}= معیار ۱۰.

برای ارزیابی و بررسی نتایج از روش پسیاک اصلاح شده که یک روش میدانی تخمین مقدار فرسایش است، استفاده شد.

معیارهای مورد استفاده

۱- معیار باران: عامل فرسایندگی باران پارامتری است که نشان دهنده توان فرسایش‌زایی خاک توسط باران است، همچنین رسوب حوزه تحت تأثیر میزان و شدت بارش است و مناطق پربارش در مقایسه با مناطق کم‌بارش، از حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش خاک برخوردار است (۶).

۲- معیار شیب: عامل شیب یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر فرسایش خاک است (۱۴)، که رابطه مستقیمی با فرسایش دارد به‌طوری که با افزایش شیب درصورت وجود خاک مقدار فرسایش نیز افزایش پیدا می‌کند.

۳- معیار جهت شیب: عامل جهت شیب از پارامترهای مؤثر در فرسایش خاک است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقم در مقدار فرسایش تأثیرگذار است (۵).

۴- معیار خاکشناسی: خاک‌های مختلف با توجه به میزان شیب و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تشکیل‌دهنده آن، حساسیت متفاوتی به فرسایش دارند (۱۷).

۵- معیار زمین‌شناسی: ویژگی‌های سنگ‌شناسی در حوضه‌های آبخیز، از عوامل کنترل کننده فرسایش به‌شمار می‌رود. با تعیین مقاومت سنگ‌ها و سازندها می‌توان منطقه‌های مختلف را از نظر حساسیت به فرسایش به‌گونه‌ای مناسب طبقه‌بندی کرد (۱۳).

۶- معیار نفوذپذیری: نفوذپذیری از عوامل مؤثر در کنترل رواناب است که رابطه معکوس با فرسایش خاک دارد، بدین صورت که با افزایش نفوذپذیری مقدار فرسایش آبی کاهش پیدا می‌کند.

۷- معیار پوشش گیاهی: عامل پوشش گیاهی به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم بر مقدار فرسایش خاک تأثیر می‌گذارد، به‌طوری که زمین تحت پوشش گیاهی نسبت به زمین آیش و بایر کمتر آسیب‌پذیر است، و جنگل انبوه و علفزار هم مانع از فرسایش خاک می‌شود (۲۲).

۸- معیار کاربری اراضی: کاربری اراضی از معیارهای مهم در تعیین مقدار فرسایش است، که تغییر کاربری اراضی به‌خصوص کاهش وسعت اراضی جنگلی و مرتعی و تبدیل آنها به کاربری‌های کشاورزی، تجاری و مسکونی و به‌تبع آن تشدید سیلاب و افزایش میزان تولید رسوب سالانه دلالت بر این امر دارد (۱۲).

۹- معیار فاصله از جاده: فاصله از جاده یکی از زیرمعیارهای بخش اقتصادی و اجتماعی است. درصورتی که محل احداث سازه، فاصله زیادی از جاده داشته باشد به افزایش هزینه‌ها منجر می‌شود (۱۰).

۱۰- معیار فاصله از روستا: فاصله از روستا باعث می‌شود نیروی کار به‌راحتی در دسترس باشد و هزینه‌ها کمتر شود (۱۰).

تکنیک‌های استفاده شده در این تحقیق

۱-مراحل مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (Analytical Hierarchy process)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی

جدول ۱. شاخص تصادفی (۱۵)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

در دهه ۱۹۷۰ ابداع شد. این روش، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آنها مورد بررسی قرار می‌دهد و آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده، و به حل آن می‌پردازد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌رو است می‌تواند استفاده شود. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند (۱۵). که مراحل انجام آن به‌صورت زیر است:

۱-تعیین معیارها و شاخص‌ها، ۲- مقایسات زوجی در نرم‌افزار Super Decision ۳- تعیین نرخ ناسازگاری ۴- تعیین وزن نهایی معیارها و شاخص‌ها.

تعیین نرخ ناسازگاری

تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به‌دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد (۱۵). بنابراین تعیین نرخ ناسازگاری ضروری است، که شامل مراحل زیر است:

گام ۱. محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی «وزن نسبی» ضرب کرده بردار جدیدی را که به این طریق به‌دست می‌آید، بردار مجموع وزنی (Weighted sum Vector=WSV) نامیده می‌شود.

گام ۲. محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم کرده و بردار حاصل بردار سازگاری (Consistency Index = CI) نامیده می‌شود.

گام ۳. به‌دست آوردن λmax، میانگین عناصر برداری سازگاری λmax را به‌دست می‌دهد.

گام ۴. محاسبه شاخص سازگاری: شاخص سازگاری به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

n عبارت است از تعداد گزینه‌های موجود در مسئله

$$CR = \frac{CI}{CR}$$

گام ۵. محاسبه نسبت سازگاری: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی (Random Index = RI) به‌دست می‌آید.

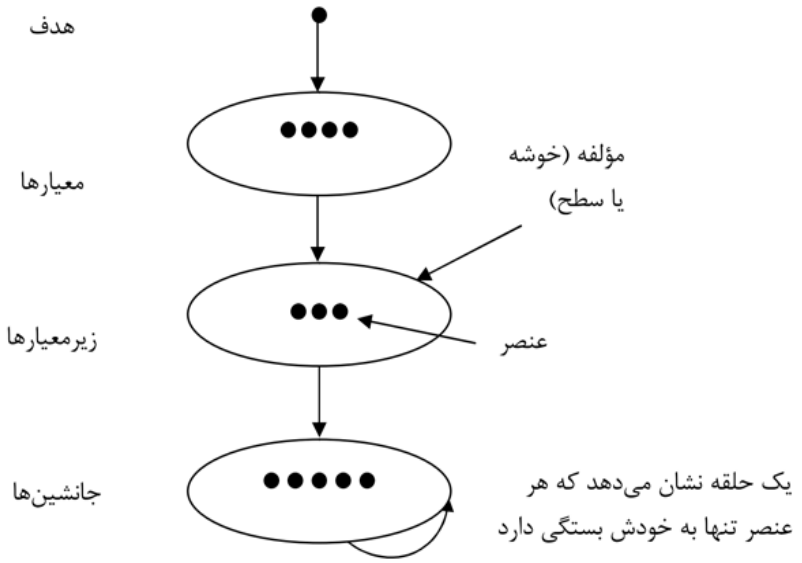
نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر سازگاری در مقایسه‌ها را بیان می‌کند (۱۵).

شاخص تصادفی از جدول (۱) استخراج می‌شود.

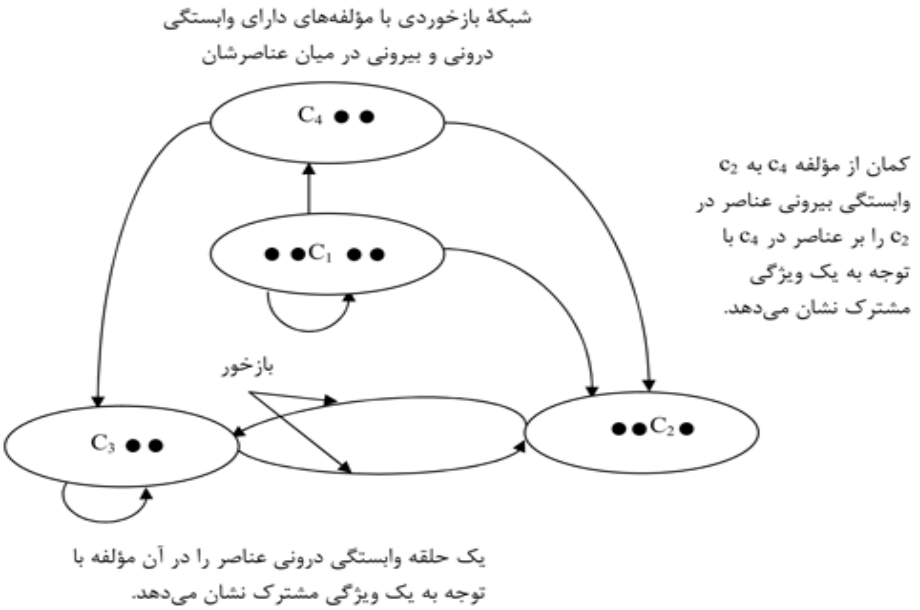
مراحل کار بر مبنای فرایند تحلیل شبکه (ANP) (Analytical Network Process)

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) توسط توماس ال. ساعتی برای رفع محدودیت AHP معرفی شده است. در این روش ارتباطات پیچیده میان عناصر تصمیم از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای درنظر گرفته می‌شود. این روش در واقع حالت عمومی AHP و شکل گسترده‌تر آن است که در آن مسائل با وابستگی متقابل و بازخورد را نیز می‌توان درنظر گرفت (شکل‌های ۳ و ۴) (۲۱).

۱-تعیین معیارها و شاخص‌ها، مشخص کردن خوشه‌ها و عناصر، ۲- تعیین روابط و وابستگی‌های بین عناصر اعمال ارتباط‌های فوق در خوشه‌ها و عناصر (جدول ۲) در نرم‌افزار Super Decisions، ۳- وزن‌دهی و مقایسات زوجی عناصر با استفاده از پرسشنامه، ۴- ضریب و وزن نهایی معیارها از طریق فرایند ابرماتریس و نرمال‌سازی (۲۳).



شکل ۳. معیارها به‌طور مستقل و خطی با رعایت سلسله مراتب (۳ و ۲۷)



شکل ۴. تعیین روابط بین معیارها در روش ANP (۳ و ۲۷)

جدول ۲. ارتباط بین معیارها در طبیعت بر اساس نظرات کارشناسان در روش ANP

معیار تأثیرگذار	معیار تأثیرپذیر
باران	پوشش گیاهی
خاکشناسی	پوشش گیاهی، نفوذپذیری و کاربری اراضی
شیب	نفوذپذیری
زمین‌شناسی	پوشش گیاهی، نفوذپذیری و کاربری اراضی

جدول ۳. شیوه محاسبه امتیاز هر یک از عوامل در MPSIAC (۲)

عامل مؤثر بر فرسایش و علامت آن	معادله و شرح آن
زمین‌شناسی سطحی Y1	Y1=X1 که در آن X1 شاخص فرسایش زمین‌شناسی است که بر اساس ویژگی‌هایی از قبیل جنس سنگ، سختی، ترک و شکاف و هوادیدگی مقدار آن تعیین می شود.
خاک Y2	Y2=16/67X2 که در آن X2 معادل عامل K معادله جهانی تلفات خاک است.
آب و هوا Y3	Y3=0/2X3 که در آن X3 ارتفاع بارش ۶ ساعته (mm) با دوره بازگشت دو ساله است.
رواناب Y4	Y4=0/2X4 که در آن X4 معادل مجموع حاصل‌ضرب حجم رواناب سالیانه برحسب میلی‌متر است.
پستی و بلندی Y5	Y5=0/33X5 که در آن X5 شیب دامنه ها برحسب درصد است.
پوشش زمین Y6	Y6=0/2X6 که در آن X6 درصد اراضی لخت و فاقد پوشش است.
شیوه استفاده از زمین Y7	Y7=20-0/2X7 که در آن X7 درصد تاج پوشش است.
وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه Y8	Y8=0/25X8 که در آن X8 امتیاز عامل سطح خاک است.
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب Y9	Y9=1/6X9 که در آن X9 امتیاز داده شده به خندق‌ها است

ارزیابی روش‌ها

برای ارزیابی روش‌های استفاده شده (AHP, ANP) از روش پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) که یک روشی میدانی و بر اساس ۹ پارامتر تعیین می‌شود استفاده شد (جدول ۳) (۲).

نتایج

با استفاده از نظرات کارشناسان و مطالعات انجام شده در این مورد ۱۰ معیار مهم در فرسایش خاک تعیین و به‌صورت پرسشنامه (جدول ۴) در اختیار کارشناسان امر قرار گرفت، که نتایج آن در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

نتایج جدول ۵ نشان داد معیار باران با اهمیت نسبی ۰/۲۱ مؤثرترین معیار در تعیین مناطق مستعد فرسایش و معیار جهت شیب با اهمیت نسبی ۰/۰۴۴ کمترین تأثیر را از نظر کارشناسان در فرسایش در روش AHP داشته است. نتایج جدول ۶ نشان داد معیار پوشش گیاهی با اهمیت نسبی ۰/۱۵۸ بیشترین تأثیر را در تعیین مناطق مستعد فرسایش و معیار زمین‌شناسی با اهمیت نسبی ۰/۰۵۴ کمترین تأثیر را از نظر کارشناسان در فرسایش در روش ANP داشته است. چون در روش ANP روابط بین معیارها تعیین شد و تأثیر روی هم اعمال شد، اهمیت نسبی معیارها بسیار متغیر از روش AHP که معیارها به‌صورت مستقل عمل می‌کنند، است.

با تلفیق نقشه‌های پایه و فرمول‌نویسی بر اساس رابطه (۱) و تأثیر اهمیت نسبی معیارها نقشه نهایی برای روش‌های AHP و ANP تهیه شد (شکل‌های ۵ و ۶). در ادامه برای ارزیابی نتایج این دو روش از روش پسیاک اصلاح شده استفاده شد (شکل ۷). به‌طوری که نتایج ارزیابی در جدول (۷) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج طبقه‌بندی نقشه نهایی مناطق مستعد فرسایش در هر دو روش نشان داد که در کلاس‌های حداکثر و حداقل روش ANP به‌روش ارزیابی پسیاک نزدیک‌تر است، و در کلاس‌های متوسط روش AHP به‌روش ارزیابی پسیاک نزدیک‌تر است. ضریب همبستگی نشان داد که روش AHP با همبستگی ۸۷ درصدی مناطق مستعد فرسایش را نسبت به روش ANP بهتر پهنه‌بندی کرده است. با وجود این هر سه روش کلاس متوسط مساحت بیشتری را به‌خود اختصاص داده است.

جدول ۴. مقایسه‌های زوجی بر اساس نظرات کارشناسان

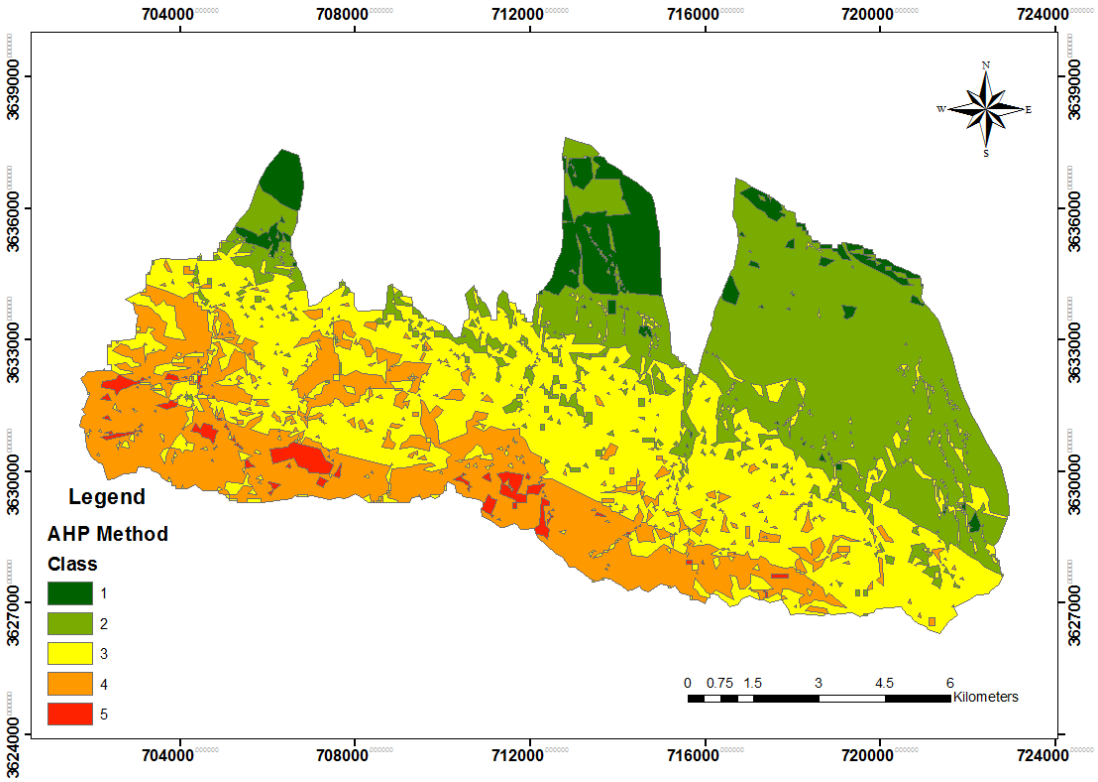
	باران (mm)	جهت	خاکشناسی	زمین شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	فاصله از روستا	نفوذپذیری	پوشش گیاهی	کاربری اراضی
باران	۱	۵	۲	۳	۱	۴	۴	۲	۳	۳
جهت	۰/۲	۱	۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳
خاکشناسی	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۲	۲	۱	۱	۱
زمین‌شناسی	۰/۳۳	۳	۱	۱	۰/۵	۳	۳	۱	۲	۲
شیب	۱	۴	۲	۲	۱	۳	۳	۲	۲	۲
فاصله از جاده	۰/۲۵	۲	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵
فاصله از روستا	۰/۲۵	۲	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵
نفوذپذیری	۰/۵	۴	۱	۱	۰/۵	۲	۲	۱	۱	۱
پوشش گیاهی	۰/۳۳	۳	۱	۰/۵	۰/۵	۲	۲	۱	۱	۱
کاربری اراضی	۰/۳۳	۳	۱	۰/۵	۰/۵	۲	۲	۱	۱	۱

جدول ۵. اهمیت نسبی معیارها بر اساس نظر کارشناسان در روش AHP

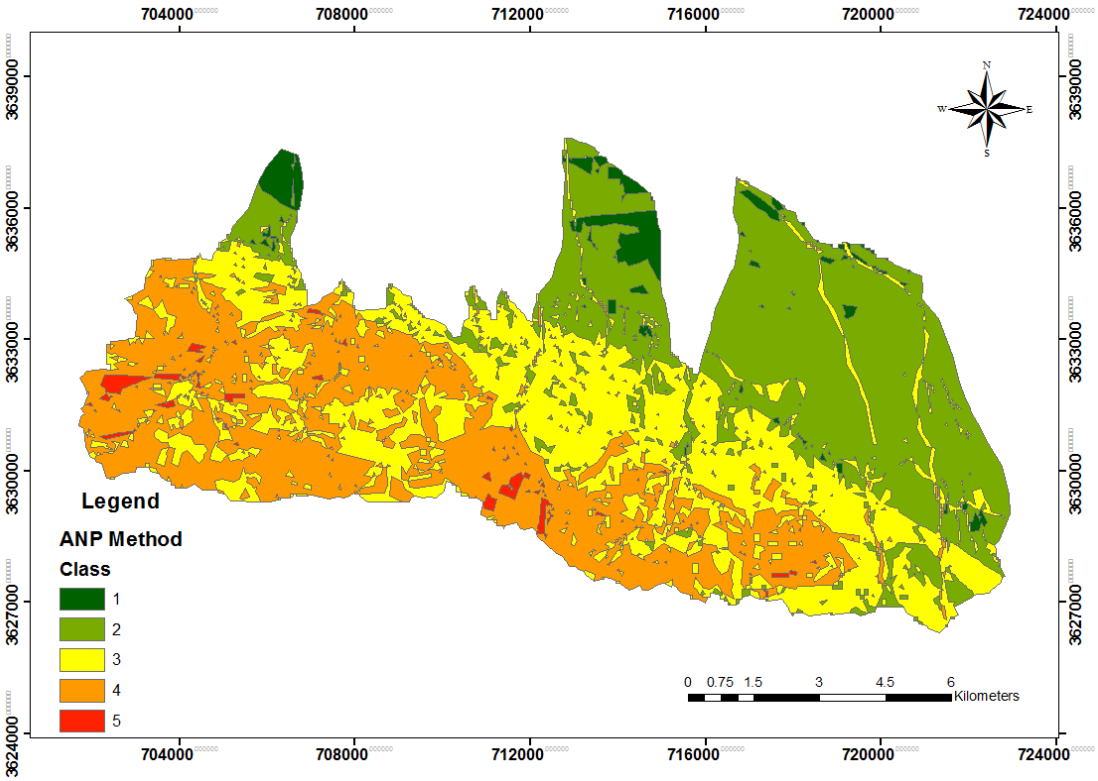
معیار	اهمیت نسبی
باران	۰/۲۱
شیب	۰/۱۷
زمین‌شناسی	۰/۱۱۷
نفوذپذیری	۰/۰۹۹
پوشش گیاهی	۰/۰۸۶
کاربری اراضی	۰/۰۸۵
خاکشناسی	۰/۰۸۴
فاصله از روستا	۰/۰۵
فاصله از جاده	۰/۰۴۹
جهت	۰/۰۴۴

جدول ۶. اهمیت نسبی معیارها بر اساس نظر کارشناسان در روش ANP

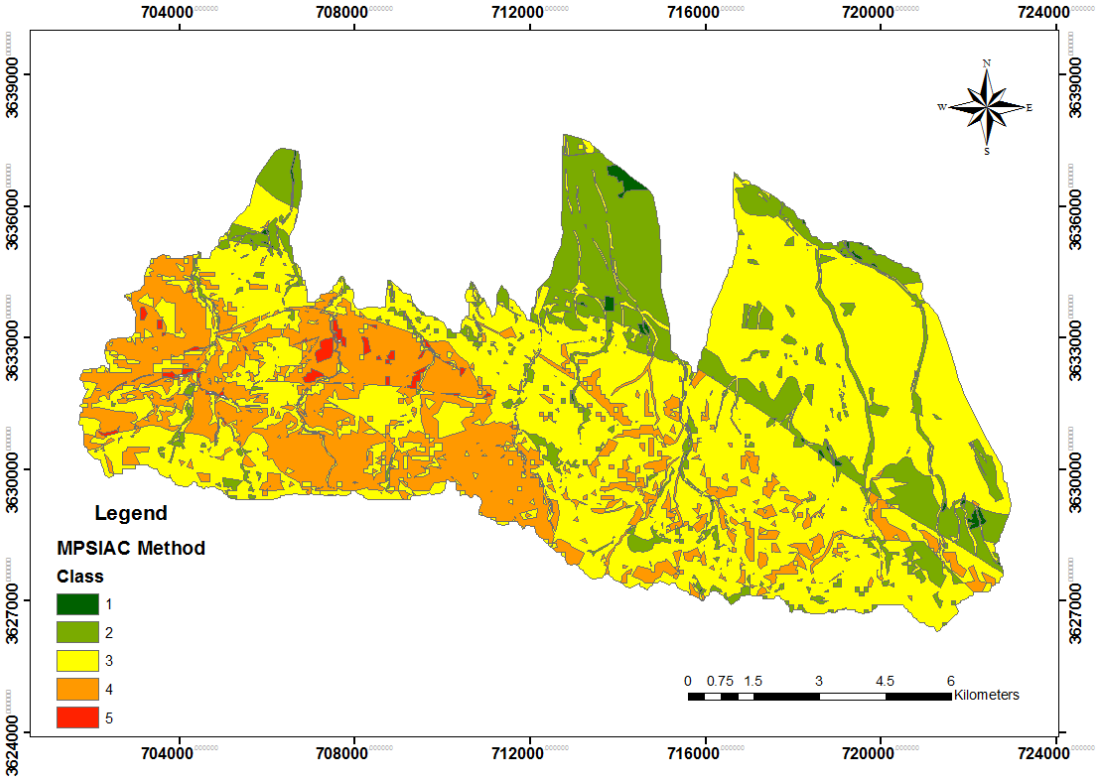
معیار	اهمیت نسبی
پوشش گیاهی	۰/۱۵۸
کاربری اراضی	۰/۱۳۴
نفوذپذیری	۰/۱۳۱
خاکشناسی	۰/۱۱۹
فاصله از روستا	۰/۱۱۷
فاصله از جاده	۰/۱۰۷
جهت	۰/۰۶۲
باران	۰/۰۶
شیب	۰/۰۵۷
زمین‌شناسی	۰/۰۵۴



شکل ۵. نقشه حساسیت به فرسایش در روش AHP



شکل ۶. نقشه حساسیت به فرسایش در روش ANP



شکل ۷. نقشه حساسیت به فرسایش در روش پسیاک اصلاح شده

جدول ۷. مساحت هر کلاس (طبقه) فرسایش و مقایسه با روش پسیاک اصلاح شده

طبقه‌بندی فرسایش	مساحت (h) روش ANP	مساحت (h) روش AHP	مساحت (h) روش پسیاک
خیلی کم	۲۷۳	۷۹۵	۷۱
کم	۴۰۵۸	۴۰۳۱	۲۱۹۹
متوسط	۴۴۰۲	۵۰۷۰	۷۷۳۶
زیاد	۴۲۹۸	۳۰۵۷	۳۰۵۹
خیلی زیاد	۱۲۱	۱۹۹	۸۸
ضریب همبستگی با روش پسیاک اصلاح شده	۰/۷۷	۰/۸۷	۱

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج روش AHP در جدول (۱) نشان داد که باران، شیب و زمین‌شناسی با اهمیت نسبی به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۸ و ۰/۱۱۷ بیشترین تأثیر را از نظر کارشناسان در فرسایش‌پذیر بودن خاک یک منطقه داشته‌اند، که با نتایج صفاری و همکاران (۲۳) که زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) و طالب‌پور اصل و قنواتی (۲۶) که شیب را مؤثرترین معیار در فرسایش به‌دست آورده بودند مطابقت دارد، و با نتایج رضایی (۱۹) که پوشش گیاهی را عامل مؤثر بر کنترل فرسایش دانسته و مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف است را در معرض فرسایش شدید

قرار داده است همخوانی ندارد. شیب‌های زیر ۱۰ درصد کمترین تأثیر را در فرسایش دارند که با تحقیقات صوفی و امامی (۲۵) که شیب‌های زیر ۱۰ درصد با اختلاف معناداری با کلاس‌های دیگر شیب کمترین تأثیر را داشته، همسو است. جهت شیب یکی از معیارهایی است که کمتر در تعیین مقدار فرسایش مورد نظر قرار می‌گیرد که در این تحقیق بر اساس نظر کارشناسان بیشترین اهمیت نسبی به‌ترتیب به جهت‌های جنوبی، شرقی، غربی و شمالی داده شد که با نتایج صوفی و امامی (۲۵) که جهت‌های شمالی بیشترین حساسیت به فرسایش به‌خاطر وجود رس در آنها است، مطابقت ندارد. همچنین کمترین تأثیر را از نظر کارشناسان در فرسایش پذیری معیارهای فاصله از جاده و روستا با اهمیت نسبی ۰/۰۵ و ۰/۰۴۹ است، این معیارها تاکنون در تعیین فرسایش‌پذیری یک منطقه مورد استفاده قرار نگرفته است. نقشه نهایی حساسیت به فرسایش نشان داد که کلاس حساسیت متوسط با ۷۷۳۵ هکتار بیشترین وسعت و حساسیت خیلی کم با ۷۰ هکتار کمترین وسعت را داشته است. نتایج شکل ۲ نشان داد که مناطق کوهستانی منطقه که در قسمت جنوب و جنوب غربی حوضه قرار دارند بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش دارند که دلیل آن می‌تواند بالا بودن شیب باشد.

نتایج روش ANP در جدول (۲) نشان داد که در طبیعت پارامترها روی همدیگر تأثیر دارند، روش ANP یکی از روش‌هایی است که می‌تواند این ارتباط را مورد بررسی قرار دهد و نتایج آن را در خروجی اعمال کند. تاکنون در تحقیقات، روابط بین معیارها درنظر گرفته نمی‌شد و هر معیار به‌طور مستقل تأثیر داشت. به‌علت ارتباط داشتن معیارها در طبیعت، بهتر است تأثیر معیارها بر همدیگر درنظر گرفته شود (۷). به‌طور مثال در جدول ۲ معیار باران بر پوشش گیاهی تأثیر دارد که در طبیعت نیز این گونه بوده و با افزایش و یا کاهش بارندگی پوشش گیاهی بخصوص پوشش گیاهی یک ساله تحت تأثیر قرار می‌دهد، پس تعیین ارتباط این معیارها می‌تواند در نتایج تأثیر بسزایی داشته باشد. در این تحقیق بیشترین ارتباط بین معیارها در معیارهای زمین‌شناسی و خاکشناسی دیده می‌شود. این معیار با بیشتر معیارهای مورد استفاده در این تحقیق از جمله نفوذپذیری، پوشش گیاهی و کاربری اراضی ارتباط دارد که با نتایج اشتیاقی و همکاران (۷) همخوانی دارد.

نتایج روش ANP در جدول (۶) نشان داد که معیارهای پوشش گیاهی و کاربری اراضی با اهمیت نسبی به‌ترتیب ۰/۱۵۸ و ۰/۱۳۴ بیشترین تأثیر را در فرسایش بر اساس نظر کارشناسان در روش ANP داشته‌اند، با نتایج رضایی (۱۹) و Saha و همکاران (۲۴) که پوشش گیاهی را عامل مؤثر بر کنترل فرسایش همخوانی دارد. نتایج جدول (۷) نشان داد که در روش پسیاک اصلاح شده نزدیک به ۶۰ درصد حوزه در طبقه متوسط قرار دارد، ولی در روش AHP ۳۸ درصد و در روش ANP ۳۳ درصد در این طبقه قرار دارند. این نشان دهنده این است که مدل‌های تصمیم‌گیری در طبقات متوسط کم‌بینی و در طبقات خیلی زیاد و خیلی کم حالت بیش‌بینی دارند. روش ANP در پیش‌بینی طبقات کم و زیاد بهتر بوده درصورتی که در طبقات متوسط روش AHP بهتر است.

بالا بودن کلاس حساسیت متوسط در نقشه نهایی که تقریباً ۵۰ درصد مساحت حوزه را شامل می‌شود، این حساسیت متوسط در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار شکننده بوده و درصورت عدم مدیریت این کلاس حساسیت متوسط به کلاس با حساسیت زیاد تبدیل شود و منطقه را بحرانی کند. همچنین این را باید درنظر داشت چنانچه مدیریت صحیح برای منطقه درنظر گرفته شود و این کلاس حساسیت متوسط به حساسیت کم تبدیل شود، بیش از ۷۰ درصد منطقه در حساسیت کم یا خیلی کم قرار می‌گیرند.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل نبود ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و داده‌های کمی مدل‌های فرسایش و رسوب فرایند محور کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر از روش‌های تجربی، بازدید و استفاده از نظر کارشناسان

استفاده می‌شود. در این تحقیق با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره که بر اساس نظرات کارشناسان است، استفاده شد و برای ارزیابی این روش‌ها از روش پسیاک اصلاح شده که بر اساس بازید صحرایی و تجربی استفاده شد (به‌دلیل نبود ایستگاه رسوب‌سنجی). نتایج نشان داد که هر دو روش توانایی بالایی در تعیین مناطق مستعد فرسایش را دارند. روش AHP با ضریب همبستگی ۸۷ درصد نسب به روش ANP با ضریب همبستگی ۷۷ درصد نتایج بهتری داشته است.

پیشنهادات

بهتر است روش‌های دیگر تصمیم‌گیری برای این امر مورد استفاده قرار گیرد تا نتایج بهتر مورد بررسی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۸۱۸۲/د/۱۳۹۸ مورخه ۲۲/۸/۱۳۹۸ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahmad Abadi, A., A. Karam and M. Porshire. 2015. Prioritization of hydrological response units in need of watershed management operations in Latian Watershed. *Geosciences Applied Research Journal* 99: 57-74. (In Farsi).
2. Ahmadi, H. 2011. Applied Geomorphology. University of Tehran Publications. (In Farsi).
3. Chung, S. H., A. H. L. Lee and W. L. Pearn. 2005. Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. *International Journal of Production Economics* 96: 15-36.
4. Davoodpur, A. and H. Ghanavati. 2015. Identification of Soil Erosion-Sensitive Areas Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) Model in Mahabad Dam Basin. *Journal of Physical Geography* 30: 53-70. (In Farsi).
5. Dehghani, M., H. Qasemi and A. Malekian. 2013. Spatial prioritization of flood reduction and erosion control using fuzzy logic method (case study: Forg watershed*). Journal of Range and Watershed Management, Journal of Natural Resources* 66(1): 73-88. (In Farsi).
6. Erfaniyan, M., P. Ghahremani and H. Saadat. 2013. Mapping of soil erosion potential hazard using fuzzy logic in Golestan Gharnaveh watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 7(23): 43-52. (In Farsi).
7. Eshtiyaghijo, A., H. Malekinezhad, M. R. Ekhtesasi and J. Chezgi. 2018. Feasibility of artificial recharge in Taibad plain using Analytic Network Process (ANP). *Arid Biome Scientific and Research Journal* 8(2): 1-13. (In Farsi).
8. Esmaeiliyan, S., A. Talebi and M. Esmaeiliyan. 2018. Advancing factors influenced by the USLE-M integrated model and dynamic (case study: Sanganeh, Khorasan Razavi province). *Water and Soil Science Journal* 23:71-85. (In Farsi).
9. Feiznia, S. and P. Zare Khosheghbal. 2002. Final report of the study of the sensitivity of geological formations to erosion in the Latian watershed. Department of Erosion and Sediment, Office of Watershed Studies and Evaluation, Department of Forests, Rangeland and Watershed Management. (In Farsi).
10. Forzieri, G., M. Gardentim, F. Caparrini and F. Castelli. 2008. A methodology for the preselection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth Journal* 33(1): 74-85.
11. Karam, A., A. Saffarian and S. Hojjah Salehnia. 2010. Estimation and zoning of soil erosion in Mamloo Basin (East of Tehran) using modified global soil erosion equation methods and hierarchical analysis process. *Earth Knowledge Research* 1(2): 73-86. (In Farsi).
12. Kashki, M. 2001. Water erosion and its role in desertification of arid regions, a case study of desert basin of Bejestan, Khorasan. Proceedings of the National Conference on Land Management - Soil Erosion and Sustainable Development. (In Farsi).
13. Mohammadi Khashui, M. and M. R. Ekhtesasi. 2019. Comparison of fractal dimension and geomorphological features in Aghda watershed management. *Journal of Environmental Erosion Research* 33(1): 23. (In Farsi).

14. Mostafazadeh, R., Kh. Haji, A. Esmali Uori and H. Nazarnejad. 2017. Prioritization of erosion and sediment-critical sub-basins using the Basin Erosion Response Model (WERM) and morphometric analysis (case study: Rozhachai Watershed, West Azerbaijan province). Journal of Watershed Management 8(16): 142-156. (In Farsi).
15. Qodsi Pur, H. 2006. Analytical Hierarchy Process (AHP). Tehran: Amir Kabir University of Technology. (In Farsi).
16. Rafiei, M., M. Rahimi, N. Hafezi and G. Karami. 2011. Erosion risk zoning in northwestern Sarakhs using GIS and hierarchical analysis method. 15th Iranian Geological Society Conference, Teacher Training University. Tehran. (In Farsi).
17. Rahimi, A., M. Seydian, H. Rouhani and R. Ahmadi. 2019. Locating breeding bays to control erosion using a hierarchical analysis process. *Journal of Environmental Erosion Research* 33(1): 1-26. (In Farsi).
18. Refahi, H. 2006. Water erosion and Its Control. Tehran Publications. Tehran. (In Farsi).
19. Rezai, S. 2018. Evaluation of erosion susceptibility map based on tree decision making method (case study: Semnan Watershed). *Journal of Stratigraphy and Obstetrics Research* 70: 47-66. (In Farsi).
20. Saaty, T. L. 1977. Scaling method for priorities in hierarchic strictures. *Journal of Mathematical Psychology* 15: 234-281.
21. Saaty, T. L. 1999. Fundamentals of the Analytic Network Process. International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kobe.
22. Sadoddin, A., V. B. Sheikh, R. Mostafazadeh and M. Halili. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran. *International Journal of Plan Production* 4(1): 51-62.
23. Saffari A, M. P. Ahmadi and Q. Rahimi Herabadi. 2015. Zoning of gully erosion by ANP and AHP models in Kohor plain - Fars province. Journal of Earth Science Research. 6(24): 94-110. (In Farsi).
24. Saha, S., A. Gayen, H. R. Pourghasemi and J. P. Tiefenbacher. 2019. Identification of soil erosion□susceptible areas using fuzzy logic and analytical hierarchy process modeling in an agricultural watershed of Burdwan district, India. *Environmental Earth Sciences* 78: 1-18.
25. Sufi, M. B. and H. Emami. 2017. Evaluation of soil erodibility in Mashhad Torigh Dam basin. *Journal of Environmental Erosion Research* 25-38. (In Farsi).
26. Talebpour Asel, D. and A. A. Ghanavati. 2015. Identification of Soil Erosion-Sensitive Areas Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) (Case Study: Mahabad Dam Basin). *Journal of Natural Geography* 8(30): 53-70. (In Farsi).
27. Zbardast, E. 2010. Application of Network Analysis Process (ANP) in urban and regional planning. *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning* 41: 79-90.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 1, Spring 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Determination of Erosion-Prone Areas using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Models: A Case Study: Bagheran Birjand Region

J. Chezgi [1]* and M. Asiaye[2]

(Received: December 31-2019 ; Accepted: September 20-2020)

Abstract

Erosion causes the reduction and degradation and the soil fertility; one of its most important consequences, endangering the food security of the inhabitants of the area. Therefore, to reduce erosion, it needs to be controlled and managed using good soil conservation methods. It is only necessary to manage and control the full impact of the factors affecting the soil first. If there is a critical state of erosion in the four watersheds, identifying the precise location of erosion will be done quickly and with less cost; thus, further erosion control and counter-operation will be feasible. In this study, geographic information system and decision making models of AHP and ANP in Bagheran region of Birjand were used to determine the erosion prone areas. First, 10 effective criteria including rain, slope, slope direction, soil, geology, permeability, vegetation, land use, distance from road and village, were determined on the erosion in the area based on the expert opinion and library studies. Next, the questionnaires were sent to experts to explore g the impact of the criteria on erosion; after completing the questionnaires based on Expert Choice and Supper Decision software, the relative importance of the criteria was obtained. The maps were then compiled and integrated according to the relative importance of the criteria. Rainfall factor had the greatest impact on the erodibility of the area in the AHP method with the relative importance of 0.21 and the vegetation criterion with the weight of 0.158 in the ANP method had the most impact on the determination of erosion prone areas. Finally, the erodibility map of the area was obtained based on the presented models. Subsequently, the region was classified into five classes of erosion susceptibility, with areas of moderate sensitivity having the most area in both models. In the lower and upper classes, the ANP method performed better; in the middle classes the AHP method performed better.

Keywords: Erosion, AHP, ANP, GIS and Bagheran area of Birjand

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Natural Resource and Environment Faculty, University of Birjand.
2. Watershed Management, Department of Natural Resources and Watershed Management, South Khorasan Province.
Corresponding author, Email: chezgi@birjand.ac.ir