

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ۱۳، شماره ۴۹، پاییز ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶

صص ۹۸-۱۱۵

پژوهشی

ارزیابی خطر فرسایش بدلندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی مطالعه موردی: حوضه آبریز کلرز گرمسار

عیسی جوکار سرهنگی، دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
قاسم لورستانی*، استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
میثم علیزاده، کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه مازندران

چکیده

از میان اشکال مختلف فرسایش آبی، فرسایش بدلندی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن به شمار می‌آید. هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی میزان حساسیت زیرحوضه‌های کلرز گرمسار به فرسایش بدلندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی است. برای این منظور، عوامل محیطی مؤثر در آن، شامل سازندهای زمین‌شناسی، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت دامنه و پوشش گیاهی با استفاده از نظر کارشناسی به صورت زوجی مقایسه شدند. همچنین مقایسه زوجی بین زیرحوضه‌ها نسبت به هم در هر یک از معیارهای ۵ گانه فوق‌الذکر صورت پذیرفت و در ادامه با محاسبه ضرب مجموع وزن کارشناسی معیارها و زیرحوضه‌ها نسبت به هم، اولویت هر یک از زیرحوضه‌ها نسبت به هم مشخص شدند. به موازات مراحل فوق، نقشه پراکنش بدلندهای منطقه با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و تصاویر Google Earth ترسیم و با کمک بازدیدها و عملیات میدانی کنترل و اصلاح شد تا در نهایت همپوشانی نقشه‌های اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با نقشه وضع موجود فرسایش بدلندی صورت پذیرفت و با استناد به آن میزان دقت مدل ارائه شده، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج روی هم‌اندازی لایه پراکنش بدلندی با لایه شدت فرسایش نشان می‌دهد که زیر حوضه‌های ۲، ۳، ۴ و ۱۲ همخوانی ۱۰۰ درصدی بین رتبه محاسبه شده در پژوهش با رتبه به دست آمده حاصل از نسبت فراوانی دارد. زیر حوضه‌های ۱، ۵، ۹، ۱۰ و ۱۱ با دامنه اختلاف حداکثر ۲ رتبه دلالت بردقت بالای محاسبات دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۱۲ و ۹ دارای بیشترین شدت فرسایش بدلندی هستند و زیرحوضه‌های ۱۱، ۴، ۶ و ۷ با فرسایش زیاد و زیرحوضه ۱۰ با فرسایش متوسط مشخص شده است و بقیه زیرحوضه‌ها با فرسایش کم ارزیابی شده است.

واژگان کلیدی: فرسایش آبی، بدلند، تحلیل سلسله مراتبی فازی، حوضه کلرز

* Email: gh.lorestani@umz.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

۱- مقدمه

به طور کلی فرسایش پدیده‌ای اجتناب ناپذیر بوده و نمی‌توان آن را کاملاً از بین برد ولی فعالیت‌های انسان می‌تواند آن را تشدید نموده و یا کاهش دهد. پدیده فرسایش و آثار سوء آن شاید در کوتاه مدت چندان چشمگیر و محسوس نباشد ولی در بلند مدت محسوس خواهد بود. زیرا فرسایش معمولاً کاهش محصول را در پی دارد. برای جلوگیری از آثار سوء آن یعنی کاهش محصول، باید از زمین طوری استفاده نمود که در آن فرسایش به وجود نیاید. به هر حال فرسایش پدیده‌ای دائمی است و همیشه وجود خواهد داشت (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۳). فرسایش خاک، مشکلی جهانی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. از این نظر، جلوگیری از فرسایش خاک به منظور حفظ ثروت‌های ارزشمند طبیعی، موضوعی مهم به شمار می‌رود. همچنین فرسایش خاک، خطری است که به طور سنتی با کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک همراه است و از نظر تأثیرات طولانی مدت آن بر بهره‌وری خاک و کشاورزی پایدار، بسیار مهم است (مورگان، ۲۰۰۵: ۹). در کشور ما ایران، فرسایش خاک از مسائل و مشکلات جدی حوضه‌های آبریز محسوب می‌شود و می‌توان از آن به عنوان یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی نام برد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳).

عوامل طبیعی زیادی در شدت فرسایش خاک دخالت دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به شیب، توپوگرافی، شدت بارش، پوشش گیاهی، لیتولوژی، عوامل تکتونیکی و ... اشاره کرد. بنابراین مشخص است که آسیب‌پذیری تمام مناطق، به دلیل متفاوت بودن محیط طبیعی، یکسان نیست. به همین منظور اولین قدم در کاهش دادن میزان فرسایش، تهیه و جمع‌آوری آمار و اطلاعات از میزان فرسایش و تخریب اراضی، برآورد حساسیت و استعداد فرسایش اراضی و به عبارت بهتر پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش اراضی در منطقه مورد نظر است. در این راستا سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزار مفیدی برای جمع‌آوری اطلاعات مناسب در زمینه پراکندگی مکانی فرسایش و عوامل مؤثر آن برای پهنه‌بندی مناطق با توجه به درجه و شدت فرسایش است (رفیعی، ۱۳۹۰: ۷).

بدلندها در سراسر جهان رخ می‌دهند و جزء آن دسته از تحولات ژئومورفیک هستند که وابسته به فرایندهای فرسایشی هستند. در بدلندها، شیب دامنه به صورت شیارهایی با شبکه متراکم زهکشی و دره‌های V شکل دیده می‌شوند. توسعه بدلندها مستلزم وجود شیاریهای خطی و فرسایش آبکندی است. عامل اصلی در کنترل شکل بدلند، خصوصیات سنگ بستر است. بدلندها به صورت مشخص در مناطق خشک به وجود می‌آیند. با این وجود، در مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای نیز اتفاق می‌افتد (کاسارینا، ۲۰۰۶: ۵۲). بدلندها در نتیجه نیروی تخریبی آب بر روی دامنه‌ها ایجاد می‌گردند که مورفولوژی آن شامل دره‌های V شکل، کوتاه و برید بریده دارای شیب‌های تند است که اغلب در قسمت‌های پائین دامنه با شیب ملایمی به زمین‌های مسطح ختم می‌گردد. بنابراین مراحل تکاملی فرسایش سطحی، هرز آب، شیاری و آبراهه‌ای به فرسایش بدلندی ختم می‌شود (احمدی، ۱۳۹۱: ۷۵).

در دنیای امروز، به دلیل اهمیت فرسایش آب و خاک، از مدل‌ها و روش‌های گوناگونی جهت حفاظت و مدیریت منابع آب و خاک بهره گرفته می‌شود. مدل کردن فرایندهای فیزیکی و پویا مانند فرسایش خاک با مشکلات و خطاهایی همراه است. در دسترس نبودن منابع، کیفیت داده‌های مورد استفاده، مسئله مقیاس در مدل‌سازی، خطاهای اندازه‌گیری و پیچیدگی خود مدل از جمله مشکلاتی است که در مطالعات فرسایش خاک توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳). در این میان، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری به دلیل سهولت مدل‌سازی و دخیل نمودن پارامترهای متعدد، با اقبال بیشتری همراه بوده است. به دلیل تأثیرگذاری متغیرهای متعدد بر وقوع فرسایش بدلندی، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، جهت ارزیابی و اولویت‌بندی پهنه‌های تحت تأثیر فرسایش آبی، ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته در سطح جهان و ایران، استفاده از مدل تحلیل سلسه مراتبی را با توجه به در نظر گرفتن نقش

عوامل مختلف و اعمال نظرات کارشناسی، به عنوان مدلی مناسب و کارآمد جهت پهنه‌بندی حوضه‌های آبریز مورد تایید قرار داده است. در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اگرچه افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می‌نمایند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را به طور کامل ندارد. استفاده از اعداد فازی، سازگاری بیشتری با عبارات کلامی و گاه مبهم انسانی دارد بنابراین بهتر است که با به کارگیری اعداد فازی، به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. اعداد فازی، اعدادی چند ارزشی محسوب می‌شوند که در آن، به جای صفر یا یک (سیاه یا سفید)، گستره‌ای نامحدود از صفر تا یک را در بر می‌گیرد. از گذشته تاکنون، روش‌های متعددی برای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پیشنهاد شده است. در بهبود منطق فازی، پژوهشگران متعددی، ابداع‌کننده مدل‌های مختلفی جهت تحلیل سلسله مراتبی فازی بوده‌اند. در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه‌ای توسط چانگ ارایه گردید (Chang, 1992: p.352). بعدها به سال ۱۹۹۶ این روش توسط خود چانگ بهبود یافت (Chang, 1996: 649). در کنار چانگ، پژوهشگرانی نظیر باکلی و میخایلوو کمک شایانی در تحلیل سلسله مراتبی فازی داشتند (Buckley, 1985: 233 – Mikhailov, 2000: 341). روش گسترش یافته چانگ، بیش از سایر روش‌ها، برای محاسبات تحلیل سلسله‌مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. چانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی، از مفهوم درجه امکان‌پذیری استفاده کرده است. منظور از درجه امکان‌پذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی، بزرگ‌تر از یک عدد فازی دیگر باشد. تلفیق مدل تحلیل سلسله مراتبی و فضای فازی در گستره مطالعاتی متنوعی به چشم می‌خورد که از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته توسط روستایی و جانانه (۱۳۹۸)، یاریان و کرمی (۱۳۹۸)، غلامی و احمدی (۱۳۹۸)، حیدرا و همکاران (۲۰۱۹)، ساها و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمود.

در ایران و جهان، مطالعات زیادی درباره فرسایش بدلندی و متغیرهای تأثیرگذار بر آن صورت گرفته است. لیبرتی^۱ و همکاران، در سال ۲۰۰۹، در بررسی مناطق بدلندی با استفاده از داده‌های ریخت‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، مؤلفه‌های تجزیه خاک را مورد بررسی قرار داده و دینامیک توسعه لندفرم‌های زمین را با کمک داده‌های چند طیفی در مناطق فرسایش یافته، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نشان دادند که این نوع تجزیه و تحلیل، یک روش با ارزش، برای آنالیز چند گانه فرایندهای فرسایشی در مقیاس متوسط است.

سیکساسی^۲ و همکاران، در سال ۲۰۰۹، تغییرات مورفودینامیک و مورفولوژی بدلند در طی ۵۰ سال را در جنوب توسکای ایتالیا را مورد مطالعه قرار دادند. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات مورفودینامیک بر مبنای نقشه‌برداری میدانی سیستماتیک در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۰۶-۱۹۹۴) و تحلیل عکس‌های زمین‌شناسی، در محدوده‌ای به مساحت ۳۰ کیلومترمربع بوده است. در این پژوهش نقشه‌های ژئومورفولوژی تفصیلی، بین سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۷۶ و ۲۰۰۶ با مقیاس ۱:۵۰۰۰ و سپس عکس‌های هوایی جدید از منطقه تهیه گردید. نقشه‌برداری میدانی نیز در جهت ارزیابی تفاوت‌های مورفولوژی در طی زمان، از منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، اثرات فرایند گرانشی در طول ۱۰ سال افزایش داشته ولی فرسایش ورقه‌ای، دارای شدت کمتری بوده است و میزان متوسط فرسایش ۶ تا ۶/۵ سانتی‌متر در سال بوده است.

انتظاری و همکاران، در پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی فرسایش خندق در حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و به کارگیری مهم‌ترین عوامل فرسایش خندقی مانند شیب، جهت شیب، انحنای افقی و عمودی شیب،

1- Liberti

2- Cicacci

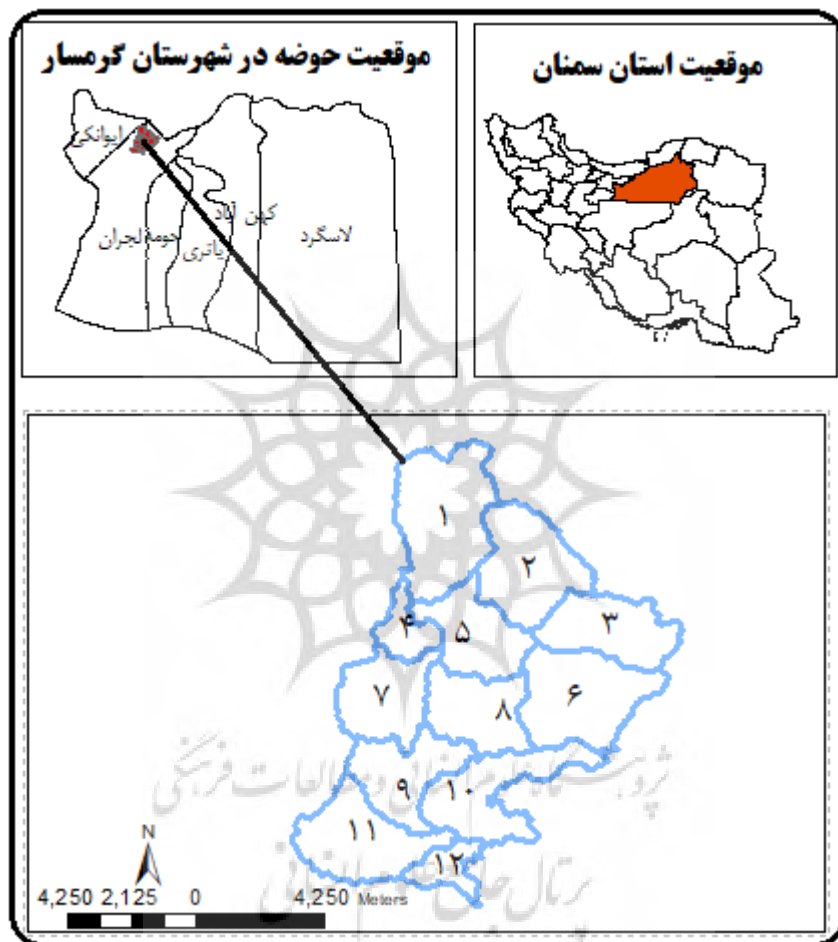
لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی خطر را در شش طبقه بدون خطر، خطر بسیار کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد به دست آوردند که بر پایه نتایج به دست آمده از این تحقیق، ۳۶ درصد از حوضه دیره در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که باعث جابه‌جایی حجم زیادی از خاک می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۴). جوکار و مرتضایی، در پژوهشی به مقایسه مدل‌های نسبت فراوانی و مدل اطمینان، در پهنه‌بندی فرسایش بدلندی در بخشی از حوضه‌ی جاجرود پرداخته و نقش عوامل محیطی بر روی فرسایش بدلندی را مورد بررسی قرار دادند. محاسبه‌ی میزان همبستگی بین متغیرهای کمی مستقل و وابسته در این تحقیق نشان داد که شیب و ارتفاع، به ترتیب بیشترین تأثیر را در فرسایش بدلندی در منطقه مورد مطالعه داشته است (جوکار و مرتضایی، ۱۳۹۵: ۱۶۱). صفاری و همکاران جهت شناسایی عوامل مؤثر در گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن در حوضه دشت کهور استان فارس با روش مقایسه AHP و ANP و فاکتور گرفتن از پارامترهای سنگ‌شناسی و عامل شیب به عنوان مهم‌ترین عامل و کاربری اراضی به عنوان دومین فاکتور به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل با اختلاف ناچیز کارایی مناسبی برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی دارند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۴). جوکار سرهنگی و خلخالی در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره با بررسی ۱۲۳ آبکند در حوضه نمارستاق هراز به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش‌های آماری می‌تواند نقش مؤثری در شناسایی مناطق حساس به فرسایش داشته باشد (جوکار سرهنگی و خلخالی، ۱۳۹۸). به دلیل اهمیت موضوع فرسایش و تأثیر آن در تخریب خاک و با توجه به این که کشور ما در منطقه گرم و خشک واقع است و تشکیل خاک به دلیل شرایط آب و هوایی خاص، بسیار کند صورت می‌گیرد فرسایش خاک باید تحت کنترل باشد. اگر فرسایش خاک از حد مجاز آن پیشی گیرد صدمات جبران‌ناپذیر وارد خواهد آمد که نه تنها بر زندگی ما، بلکه اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو اگر برنامه‌ای تدوین شود که با حمایت‌های گسترده دولتی، بتواند از تمام مناطق حساس به فرسایش، خصوصاً فرسایش خندقی و بدلندی که نمونه پیشرفته فرسایش آبی است نمونه‌برداری شود و میزان کاهش کیفیت خاک مشخص شود و شرایط تخریبی آن بررسی گردد، شاید بتوان با اقدامات حفاظتی مناسب از شدت تخریب خاک کشورمان بکاهیم (چینی‌پرداز، ۱۳۹۳: ۱۲).

حوضه آبریز کلرز در بخش مرکزی شهرستان گرمسار، به دلیل داشتن سازندهای زمین‌شناسی حساس، اقلیم خشک و نیمه خشک و تنوع توپوگرافی، عملکرد شدید آب‌های جاری، با روند رو به رشد گستره بدلندی روبه‌رو است که نه تنها در حوضه مورد مطالعه، بلکه در پایین دست منطقه نیز موجب خسارات می‌شود. مطالعه، ارزیابی و پهنه‌بندی بدلندی و سایر اشکال فرسایش آبی در حوضه‌های آبریز کشور به کرات صورت گرفته است و در اکثر مطالعات صورت گرفته، عمدتاً تأکید بر کلیت حوضه با پهنه‌بندی دامنه خطر کم تا زیاد بوده است و کمتر به زیرحوضه‌ها به عنوان جزئی از کل حوضه توجه شده است. در این تحقیق به جای مطالعه و پهنه‌بندی کل حوضه، تأکید بر مطالعه زیرحوضه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس مدل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی فازی بوده است که در ادامه جهت بررسی میزان صحت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لایه وضع موجود فرسایش بدلندی منطقه بهره گرفته شود تا صحت اولویت‌بندی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه کلرز در سیستم مختصات متریک (UTM) در حداقل طول $608600 = \text{MIN } X$ تا حداکثر طول $621740 = \text{MAX } X$ و حداقل عرض $390141 = \text{MIN } Y$ تا حد اکثر عرض $3917920 = \text{MAX } Y$ واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، در حاشیه‌ی جنوبی منطقه البرز و در حد فاصل منطقه ایران مرکزی و البرز قرار دارد. بیشترین مساحت سازندهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، مربوط به طبقه EOs_a است که شامل سنگ گچ و نمک است و کمترین

مساحت گسترش سازند مربوط به طبقه PIQC است که شامل کنگلومرا با جورشدگی متوسط است. میانگین بارش سالانه حوضه کلرز ۱۷۰/۱ میلیمتر با بیشینه بارش در اسفند و کمینه بارش در اردیبهشت است و میانگین سالانه دما در منطقه مورد مطالعه ۱۴ درجه سانتیگراد با میانگین حداقل دما مربوط به دی ماه به میزان ۶/۲- درجه سانتیگراد و میانگین حداکثر دما مربوط به تیر ماه معادل ۳۴/۸ درجه سانتیگراد گزارش شده است. حوضه کلرز با مساحت حدود ۱۰۰۲۵ هکتار در شمال غرب شهرستان گرمسار در استان سمنان واقع گردیده است. این حوضه از شمال به ارتفاعات کالکو، از شرق به کوه حسین خانی، از غرب به ارتفاعات مشرف به رود خانه شوراب و از جنوب به دشت گرمسار محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر، بر اساس مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی با الگوریتم توسعه یافته چانگ صورت گرفته است. برای انجام این پژوهش، ابتدا با بررسی تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۱۸، حوضه کلرز، به عنوان محدوده‌ای تحت فرسایش بدلندی شناسایی شد. سپس با استفاده از تصاویر آرشویی اسپات در نرم‌افزار گوگل ارث، وجود مناطق تحت فرسایش بدلندی با قدرت تفکیک بالاتری اثبات و محدوده مورد مطالعه با استخراج حوضه آبریز کلرز در الحاقیه آرک هیدرو نرم‌افزار

آرک مپ تهیه شد. به دلیل عاری بودن منطقه از پوشش گیاهی قابل توجه، تشخیص لندفرم‌های بدلندی به سهولت امکان پذیر شد. متغیرهای جنس سنگ، ارتفاع، شیب، جهت شیب و پوشش گیاهی به عنوان عوامل محرک و تأثیرگذار بر وقوع فرسایش بدلندی مورد بررسی قرار گرفتند. انتخاب معیارهای مذکور با توجه به نظرات کارشناسان و پژوهش‌های صورت گرفته در ایران و جهان صورت پذیرفته است (جوکار و مرتضایی، ۱۳۹۵، کومار شیت و همکاران ۲۰۱۵). لایه‌های مرتبط با عوامل مذکور در محیط آرک مپ استخراج گردید. با مشاهدات میدانی نیز صحت نقشه بدلندی مورد کنترل قرار گرفت. از نقشه به دست آمده جهت صحت‌سنجی نتایج پهنه‌بندی استفاده شده است. مدل مورد استفاده جهت انجام پژوهش حاضر، تحلیل سلسله مراتبی فازی با الگوریتم توسعه یافته چانگ است که نخست طیف فازی مورد نظر انتخاب و داده‌های گردآوری شده در ماتریس مقایسه زوجی وارد می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱: طیف فازی معادل مقیاس ۹ درجه ای مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی

| عبارت کلامی وضعیت مقایسه I نسبت به J | معادل فازی | معادل فازی معکوس |
|--------------------------------------|------------|-----------------------|
| ترجیح یکسان | (1,1,1) | (1,1,1) |
| بینابین | (1,2,3) | (0.333, 0.5, 1) |
| کمی مرجح | (2,3,4) | (0.25, 0.333, 0.5) |
| بینابین | (3,4,5) | (0.2, 0.25, 0.333) |
| خیلی مرجح | (4,5,6) | (0.166, 0.2, 0.25) |
| بینابین | (5,6,7) | (0.142, 0.16, 0.2) |
| خیلی زیاد مرجح | (6,7,8) | (0.125, 0.142, 0.166) |
| بینابین | (7,8,9) | (0.111, 0.125, 0.142) |
| کاملاً مرجح | (9,9,9) | (0.111, 0.111, 0.111) |

منبع: (چانگ، ۱۹۹۶)

محاسبه مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی با الگوریتم توسعه یافته چانگ در ۵ مرحله صورت می‌پذیرد:

مرحله ۱- تشکیل مدل سلسله مراتبی پژوهش: که در این مرحله بعد از شناسایی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های پژوهش، باید مدل سلسله مراتبی پژوهش مشخص گردد.

مرحله ۲- تشکیل جداول مقایسات زوجی و پاسخ‌گویی بر اساس طیف ۹ تایی: در این گام همانند روش AHP باید مقایسات زوجی را ایجاد کرد و بر اساس طیف فازی، (جدول ۱) به این مقایسات زوجی پاسخ داد. طیف ۹ تایی، طیفی استاندارد است.

مرحله ۳- محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی: در این گام باید نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی بررسی شود و چنانچه این نرخ کمتر از ۰/۱ باشد یعنی مقایسه زوجی از ثبات و سازگاری مناسب برخوردار است. جهت محاسبه نرخ ناسازگاری در ماتریس‌های فازی، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی فازی را دیفازی کرده و سپس نرخ ناسازگاری آن را به صورت قطعی محاسبه می‌شود.

مرحله ۴- ادغام مقایسات زوجی: به دلیل آن که چندین پاسخ‌دهنده به مقایسات زوجی پاسخ داده‌اند برای ادغام آن‌ها از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود تا یک ماتریس مقایسه زوجی ادغام شده حاصل شود. ادغام ماتریس‌های فازی

به این صورت است که از درایه‌های اول همه مقایسات با هم، درایه‌های دوم نیز با هم و درایه‌های سوم نیز با هم میانگین هندسی گرفته می‌شود.

مرحله ۵- محاسبه اوزان با روش آنالیز توسعه چانگ: در این مرحله با تقسیم وزن خام بر مجموع اوزان خام، وزن نرمال حاصل می‌گردد.

هم‌چنین جهت بررسی صحت دقت نقشه تولیدی شدت فرسایش بدلدنی در زیرحوضه‌های کلرز، از مدل نسبت فراوانی با رابطه (۱) استفاده شده است.

$$FR=A/B$$

رابطه ۱:

که در آن A درصد پراکنش بدلدنی در هر زیر حوضه و B درصد مساحت همان زیرحوضه است. هر چه میزان عدد به دست آمده بیشتر باشد رتبه زیرحوضه هم از نظر میزان فرسایش بدلدنی بالاتر خواهد بود.

۴- نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، پارامترهای جنس سنگ، شیب، پوشش اراضی، ارتفاع و جهت دامنه به عنوان عوامل مؤثر در وقوع فرسایش بدلدنی شناسایی و لایه‌های هریک از عوامل فوق‌الذکر در محیط آرک مپ تهیه شدند. جهت تفکیک سطوح مختلف شیب، حوضه کلرز به هشت طبقه تقسیم شده است. بیشترین مساحت طبقات شیب متعلق به طبقه ۱۰-۰ درصد است که با ۳۱۶۲/۲ هکتار مساحت، ۳۱/۶ درصد کل منطقه را در بر گرفته است. کمترین مساحت متعلق به طبقه ۷۰-۶۰ درصد است که با مساحت ۲۷۶/۶ هکتار، ۲/۸ درصد کل منطقه را شامل می‌شود. حوضه کلرز از نظر پوشش گیاهی مشتمل بر مراتع بسیار فقیر است. قسمت‌هایی از حوضه اکثراً از سنگ گچ و نمک بوده و عاری از هرگونه پوشش گیاهی است. مراتع موجود در حوضه کلرز، به جهت اقلیم منطقه (آب و هوای گرم و خشک، بارندگی کم و درجه حرارت بالا) و جنس زمین (عمدتاً گچ، نمک، ژپس، مخروط افکنه و تراس‌های آب‌رفتی) در وضعیت بسیار بدی به سر می‌برد که با این حال مورد چرا نیز قرار می‌گیرد. در مجموع محدوده مورد بررسی از لحاظ پوشش گیاهی به سه طبقه تقسیم شد که پراکندگی آن‌ها بر اساس طبقات و سطح اشغال در جدول ۲ آمده است. بیشترین مساحت ۳۸۸۱/۸ هکتار، مربوط به مناطق بدون پوشش است که ۳۸/۷ درصد کل منطقه را به خود اختصاص داده است. همچنین کمترین مساحت ۲۷۷۵/۶ هکتار است که مربوط به مناطق با مرتع ضعیف است و ۲۷/۷ درصد کل منطقه را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).



شکل ۳: مناطق فاقد پوشش گیاهی زیر حوضه ۱۰ کلرز



شکل ۲: بدلدنی‌های زیرحوضه ۴ کلرز

با تفکیک ارتفاع منطقه به شش طبقه، مساحت و درصد اشغال هر طبقه محاسبه شده است. بر اساس جدول ۲ بیشترین مساحت ۲۸۳۶/۹۱ هکتار است که متعلق به طبقه ارتفاعی ۱۳۰۰-۱۱۰۰ متر است و ۲۸/۳ درصد مساحت کل منطقه را به

خود اختصاص داده است. همچنین کمترین مساحت ۵۶۰/۹۶ هکتار است که متعلق به طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۹۰۰ متر است و ۵/۶۰ درصد مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده است. ۹ طبقه جهات جغرافیایی، بیشترین مساحت را در جهت جنوبی معادل ۱۹۹۳/۷۵ هکتار نشان می‌دهد که ۱۹/۹ درصد کل منطقه را به خود اختصاص داده است. کمترین مساحت ۲۸/۹ هکتار است که متعلق به قسمت‌های بدون جهت است که ۰/۲۹ درصد کل منطقه را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

جدول ۲: توزیع متغیرهای مورد بررسی بر اساس دامنه طبقاتی در حوضه کلرز

| متغیرها | طبقات | وزن زیر رده‌ها | مساحت (هکتار) | درصد | |
|----------------|----------------------------------|----------------|---------------|----------|-------|
| جنس زمین | (مارن، ژپیس و ماسه سنگ) Murm | ۰.۰۲۱ | ۱۸۸۳/۵۷۲ | ۱۸/۷۹ | |
| | (مارن و ژپیس) Murmg | ۰.۰۰۸ | ۱۵۷۲/۴۷۱ | ۱۵/۶۸ | |
| | (سنگ گچ و نمک) EOsa | ۰.۱۰۱ | ۱۹۹۳/۱۳۶ | ۱۹/۸۸ | |
| | (کنگومرا و ماسه سنگ) Olc,s | ۰.۰۳۳ | ۱۰۳۳/۵۹۵ | ۱۰/۳۱ | |
| | (شیل مارن ژپیس و ماسه) Mursh | ۰.۰۱۴ | ۷۵۳/۵۵۴ | ۷/۵۲ | |
| | (سنگ آهک) OMql | ۰.۰۶۸ | ۹۲۰/۷۴۷ | ۹/۱۸ | |
| | (مخروط افکنه و تراس آبرفتی) Qft2 | ۰.۰۹۳ | ۱۱۱۶/۷۴۴ | ۱۱/۱۴ | |
| | (مخروط افکنه و تراس آبرفتی) PIQc | ۰.۱۱۴ | ۷۵۱/۴۷۲ | ۷/۴۹ | |
| | شیب (درصد) | ۰-۱۰ | ۰.۱۰۶ | ۳۱۶۲/۲۲۹ | ۳۱/۵۹ |
| | | ۱۰-۲۰ | ۰.۰۸۲ | ۲۴۳۱/۵۸۱ | ۲۴/۲۹ |
| ۲۰-۳۰ | | ۰.۰۲۶ | ۱۴۳۹/۱۱۵ | ۱۴/۳۸ | |
| ۳۰-۴۰ | | ۰.۰۱۲ | ۱۰۰۴/۱۷۳ | ۱۰/۰۳ | |
| ۴۰-۵۰ | | ۰.۰۰۶ | ۶۶۷/۴۸۱ | ۶/۶۷ | |
| ۵۰-۶۰ | | ۰.۰۰۴ | ۴۹۵/۵۵۵ | ۴/۹۵ | |
| ۶۰-۷۰ | | ۰.۰۰۱ | ۲۷۶/۶۱۰ | ۲/۷۶ | |
| >۷۰ | | ۰.۰۰۳ | ۵۳۳/۰۲ | ۵/۳۲ | |
| پوشش گیاهی | مرتج ضعیف | ۰.۰۴۵ | ۲۷۷۵/۵۷۵ | ۲۷/۶۸ | |
| | بدون پوشش | ۰.۰۶۵ | ۳۸۸۱/۸۰۴ | ۳۸/۷۲ | |
| | مرتج متوسط | ۰.۰۱۳ | ۳۳۶۷/۹۱۰ | ۳۳/۵۹ | |
| ارتفاع (متر) | کمتر از ۱۱۰۰ | ۰.۰۲۱ | ۲۱۹۵/۶۹ | ۲۱/۹۳ | |
| | ۱۱۰۰-۱۳۰۰ | ۰.۰۲۷ | ۲۸۳۶/۹۰۹ | ۲۸/۳۳ | |
| | ۱۳۰۰-۱۵۰۰ | ۰.۰۰۸ | ۱۶۷۵/۴۹۴ | ۱۶/۷۳ | |
| | ۱۵۰۰-۱۷۰۰ | ۰.۰۰۴ | ۱۴۵۳/۷۴۵ | ۱۴/۵۲ | |
| | ۱۷۰۰-۱۹۰۰ | ۰ | ۱۲۸۹/۱۹۷ | ۱۲/۸۸ | |
| | بیشتر از ۱۹۰۰ | ۰ | ۵۶۰/۹۶۳ | ۵/۶۰ | |
| | | (F) بدون جهت | ۰ | ۲۸/۸۸۲ | ۰/۲۹ |
| (N) شمال | | ۰.۰۰۴ | ۶۳۵/۸۶۴ | ۶/۳۵ | |
| (NE) شمال شرقی | | ۰.۰۰۴ | ۵۸۲/۱۵۴ | ۵/۸۱ | |

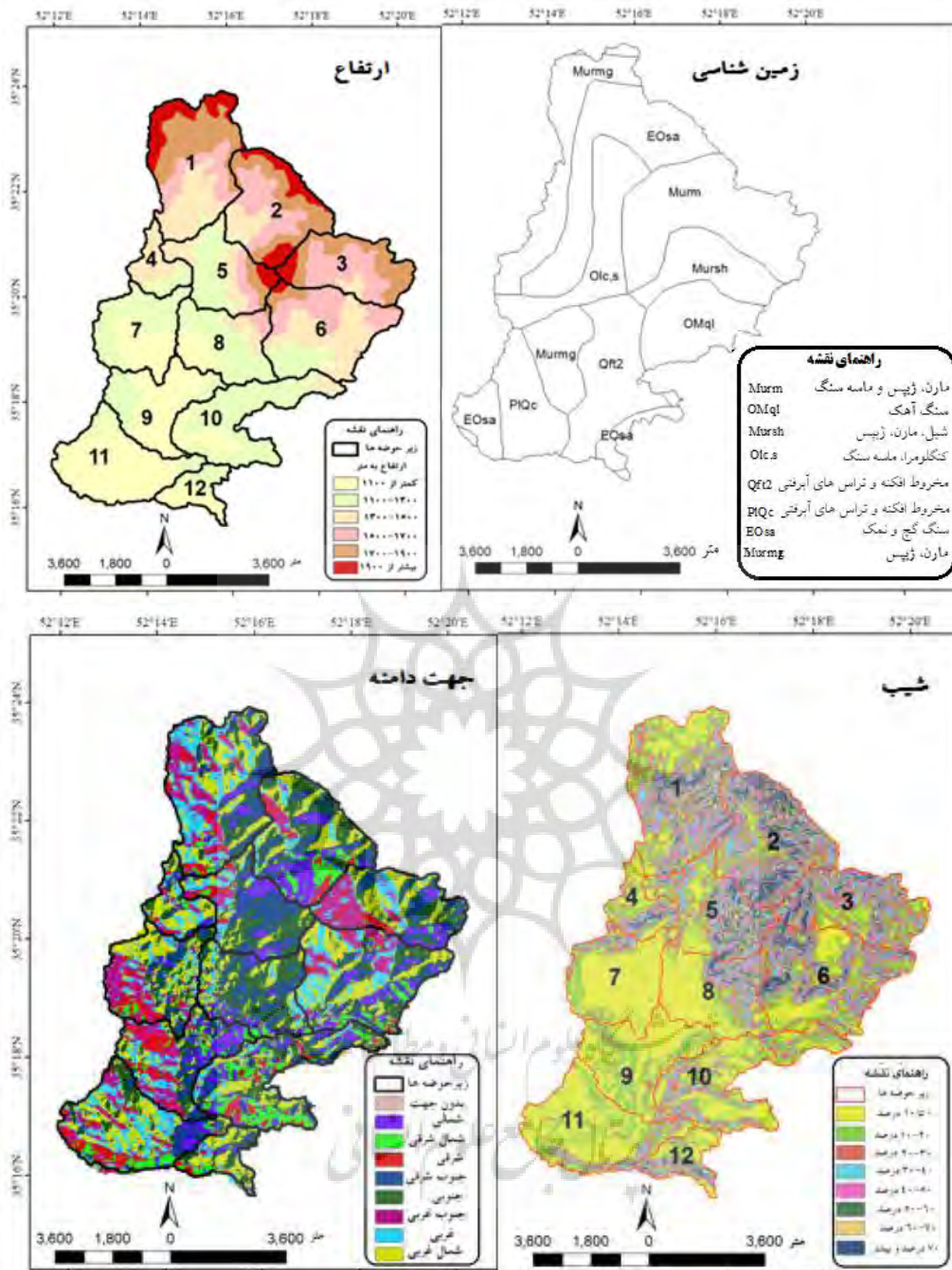
| متغیرها | طبقات | وزن زیر رده‌ها | مساحت (هکتار) | درصد |
|-----------|----------------|----------------|---------------|-------|
| جهت دامنه | (E) شرقی | ۰.۰۰۶ | ۱۱۸۷/۷۷۸ | ۱۱/۸۶ |
| | (SE) جنوب شرقی | ۰.۰۰۹ | ۱۴۲۵/۵۹۱ | ۱۴/۲۴ |
| | (S) جنوب | ۰.۰۰۱ | ۱۹۹۳/۷۵۱ | ۱۹/۹۲ |
| | (SW) جنوب غربی | ۰.۰۰۶ | ۱۷۳۵/۶۰۴ | ۱۷/۳۴ |
| | (W) غربی | ۰.۰۰۵ | ۱۵۰۹/۷۸۲ | ۱۵/۰۸ |
| | (N) شمال غربی | ۰.۰۰۳ | ۹۱۰/۶۳۸ | ۹/۰۹ |

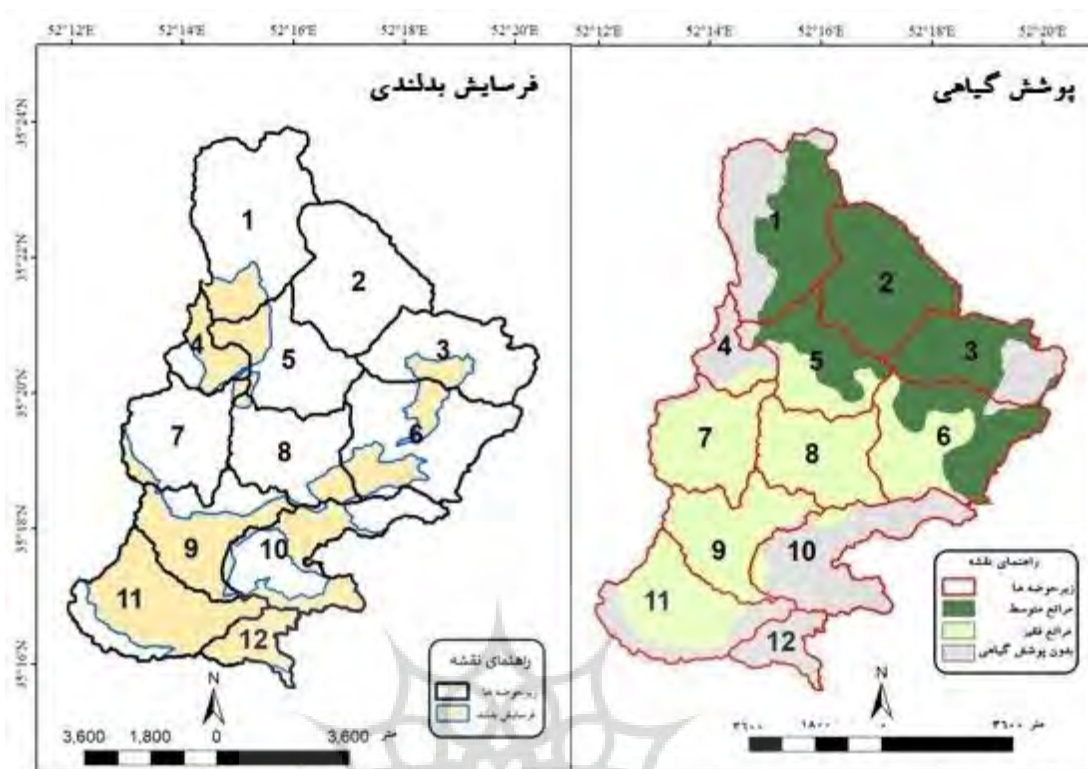
در ادامه، معیارهای پنج‌گانه فوق در ماتریس زوجی با هم مقایسه شدند تا میزان برتری هر عامل نسبت به دیگری سنجیده شود که نحوه انجام این مقایسه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: مقایسه زوجی فازی بین معیارهای تأثیرگذار بر وقوع فرسایش بدندی در حوضه کلرز

| جنس زمین | جنس زمین | شیب | پوشش گیاهی | ارتفاع | جهت | وزن فازی نرمال شده |
|------------|----------------|---------------|---------------|------------|-------|--------------------|
| جنس زمین | ۱،۱،۱ | ۵،۴،۳ | ۶،۵،۴ | ۸،۷،۶ | ۸،۷،۶ | ۰،۵۲۶ |
| شیب | ۰،۳۳،۰،۲۵،۰،۲ | ۱،۱،۱ | ۴،۳،۲ | ۶،۵،۴ | ۶،۵،۴ | ۰،۲۴۱ |
| پوشش گیاهی | ۰،۲۵،۰،۲،۰،۱۷ | ۰،۵،۰،۳۳،۰،۲۵ | ۱،۱،۱ | ۴،۳،۲ | ۴،۳،۲ | ۰،۱۲۳ |
| ارتفاع | ۰،۱۷،۰،۱۴،۰،۱۳ | ۰،۲۵،۰،۲،۰،۱۷ | ۰،۵،۰،۳۳،۰،۲۵ | ۱،۱،۱ | ۳،۲،۱ | ۰،۰۶۱ |
| جهت | ۰،۱۷،۰،۱۴،۰،۱۳ | ۰،۲۵،۰،۲،۰،۱۷ | ۰،۵،۰،۳۳،۰،۲۵ | ۱،۰،۵،۰،۳۳ | ۱،۱،۱ | ۰،۰۴۸ |

به موازات بهره‌مندی از نظرات کارشناسان و انجام مقایسه زوجی معیارها جهت محاسبه وزن فازی معیارها، لایه‌های رستری معیارهای جنس سنگ، شیب، پوشش اراضی، ارتفاع و جهت دامنه در محیط آرک مپ تهیه و بر اساس دامنه طبقاتی جدول ۲، طبقه‌بندی شدند. همچنین لایه پراکنش فرسایش بدندی حوضه کلرز در محیط آرک مپ تهیه و تصویر آن در شکل ۴ به همراه لایه‌های تأثیرگذار بر فرسایش بدندی آمده است.





شکل ۴: متغیرهای مؤثر بر وقوع بدلند و نقشه فرسایش بدلندی وضع موجود

پس از تهیه لایه‌های متغیرهای مؤثر بر وقوع بدلند و لایه فرسایش بدلندی موجود در حوضه کلرز اقدام به تلفیق لایه‌های مذکور شد. نتایج روی هم‌اندازی لایه‌های زمین‌شناسی و بدلندهای موجود نشان می‌دهد که رخنمون سازندهای حوضه کلرز از مارن، ژپیس، ماسه سنگ، گچ، نمک، کنگلومرا، شیل، آهک، مخروط افکنه و تراس‌های آبرفتی است؛ اما عمده فرسایش بدلندی حوضه در مخروط افکنه‌ها و تراس‌های آبرفتی سازندهای PIQC و Qft2 با ۳۹/۴ درصد به همراه سنگ گچ و نمک سازند EOsa با ۱۹/۳ درصد رخ می‌دهد که از حساسیت بالای سازندهای مذکور به فرسایش بدلندی حکایت دارد. میزان شیب یکی از عوامل بسیار مهم در فرسایش بدلندی محسوب می‌شود. تلفیق لایه‌های شیب و فرسایش بدلندی نشان می‌دهد که قسمت اعظم بدلندهای موجود در دامنه شیب ۱۰ - ۰ درصد معادل ۴۳/۹ درصد حوضه و شیب‌های ۲۰ - ۱۰ درصد برابر با ۳۴/۱ درصد از کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. این داده‌ها بر وقوع حداکثر فرسایش بدلندی در شیب‌های کم تأکید می‌کند. شیب‌های هم‌درجه ولی با جهات متفاوت یک منطقه، معمولاً به طور یکسان با خطر فرسایش روبه‌رو نیستند. به عبارتی، جهت دامنه تأثیر به‌سزایی در میزان فرسایش خواهد داشت. روی هم‌اندازی لایه‌های جهت دامنه و بدلندهای موجود حوضه کلرز نشان می‌دهد که بیشتر بدلندهای حوضه مورد بررسی، در دامنه‌های با جهت جنوب معادل ۲۰/۶ درصد و جنوب شرق برابر با ۱۸/۷ درصد پراکنش دارند. روی هم‌اندازی لایه‌های ارتفاع و بدلندهای موجود بر پراکنش بالای بدلندهای منطقه در طبقات ارتفاعی ۱۳۰۰ - ۱۱۰۰ و کمتر از ۱۱۰۰ متر به ترتیب با ۴۴/۳ و ۳۵/۳ درصد دلالت دارد. به عبارتی، با افزایش ارتفاع، شاهد کاهش فرسایش بدلندی هستیم. پوشش گیاهی نیز به عنوان متغیری مهم و تأثیرگذار بر وقوع فرسایش بدلندی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تلفیق لایه‌های پوشش گیاهی و بدلندهای موجود بر توزیع بدلندها عمدتاً در مناطق

بدون پوشش گیاهی با ۵۲/۹ درصد و مراتع ضعیف با ۳۶/۳ درصد دلالت دارد. این مورد نیز با تشدید فرسایش بدلندی در مناطق فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی اندک مطابقت دارد.

پس از تعیین وزن، اولویت‌بندی و مشخص نمودن میزان اثرگذاری معیارهای شیب، جنس زمین، پوشش گیاهی، جهت دامنه و ارتفاع بر وقوع فرسایش بدلندی (جدول ۳)، باید گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) نیز به صورت زوجی به تفکیک هر معیار مقایسه شوند تا هر کدام از زیرحوضه‌ها بر اساس معیارهای پنج‌گانه فوق بررسی شده و اولویت‌بندی آن‌ها تعیین گردد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است و به واسطه آن وزن و رتبه نهایی هر یک از زیرحوضه‌های ۱۲ گانه حوضه کلرز مشخص شده است.

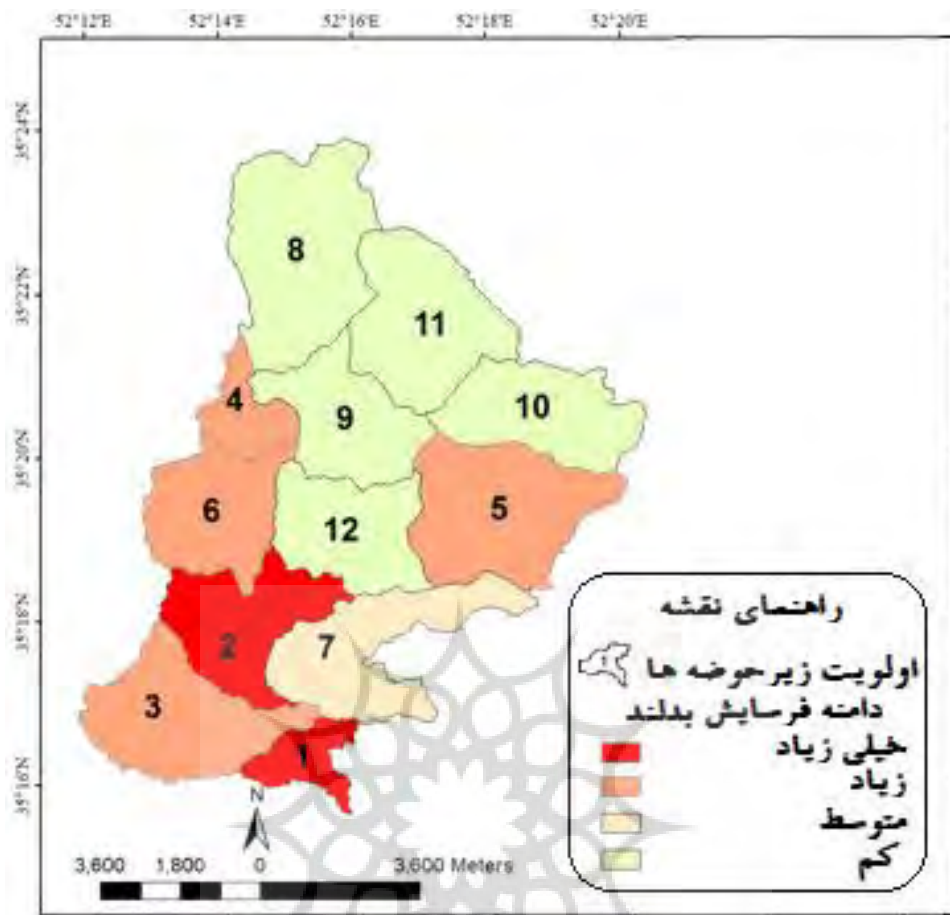
جدول ۴: ماتریس نهایی جهت رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها

| رتبه نهایی | رتبه | زیر حوضه | زمین‌شناسی | ارتفاع | پوشش گیاهی | شیب | جهت شیب | نمره نهایی |
|------------|------|----------|------------|---------|------------|---------|---------|------------|
| ۱ | ۸ | ۱ | 0.08005 | 0.03257 | 0.10408 | 0.08546 | 0.02408 | 0.07865 |
| ۲ | ۱۱ | ۲ | 0.09313 | 0.05943 | 0.04298 | 0.0477 | 0.04983 | 0.07182 |
| ۳ | ۴ | ۳ | 0.13146 | 0.03792 | 0.04249 | 0.05696 | 0.08633 | 0.09462 |
| ۴ | ۱۰ | ۴ | 0.10253 | 0.02432 | 0.0676 | 0.04262 | 0.04983 | 0.07642 |
| ۵ | ۹ | ۵ | 0.08733 | 0.03665 | 0.07568 | 0.07262 | 0.04983 | 0.07741 |
| ۶ | ۵ | ۶ | 0.0832 | 0.09257 | 0.19408 | 0.08191 | 0.03193 | 0.09457 |
| ۷ | ۶ | ۷ | 0.09313 | 0.09943 | 0.08298 | 0.09696 | 0.08633 | 0.09284 |
| ۸ | ۱۲ | ۸ | 0.08146 | 0.0366 | 0.02424 | 0.05696 | 0.08633 | 0.06601 |
| ۹ | ۲ | ۹ | 0.13146 | 0.04792 | 0.06343 | 0.07745 | 0.14428 | 0.10559 |
| ۱۰ | ۷ | ۱۰ | 0.07663 | 0.07943 | 0.1265 | 0.0777 | 0.04983 | 0.08186 |
| ۱۱ | ۳ | ۱۱ | 0.07313 | 0.19943 | 0.17249 | 0.0821 | 0.10013 | 0.09653 |
| ۱۲ | ۱ | ۱۲ | 0.12146 | 0.0566 | 0.05344 | 0.08557 | 0.24126 | 0.10633 |

بر اساس داده‌های استخراج شده از جدول ۴، نقشه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها و شدت فرسایش بدلندی تهیه شده است. نقشه شدت فرسایش بدلندی در زیرحوضه‌ها، بر اساس دامنه کم تا خیلی زیاد، در چهار طبقه بر اساس جدول ۵ تهیه و ترسیم شد (شکل ۵).

جدول ۵: دامنه طبقات ۴ گانه شدت فرسایش بدلندی

| طبقه | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
|-----------------|--------------|-------------|------------|---------------|
| دامنه وزن نهایی | کمتر از ۰.۰۸ | ۰.۰۸ - ۰.۰۹ | ۰.۰۹ - ۰.۱ | بالاتر از ۰.۱ |



شکل ۵: شدت فرسایش بدلندی و رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها

در ادامه، جهت بررسی صحت نقشه شدت فرسایش، از لایه پراکنش بدلندی موجود (شکل ۴) استفاده شده است. با روی هم‌اندازی لایه پراکنش بدلندی بر روی هر یک از زیرحوضه‌ها، درصد اشغال بدلندی با لایه شدت فرسایش بدلندی برآزش داده شد و میزان دقت نقشه تولید شده با توجه به معادله نسبت فراوانی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۶: رتبه به دست آمده با مدل نسبت فراوانی و رتبه محاسبه شده در پژوهش حاضر

| رتبه محاسبه شده در پژوهش | رتبه محاسبه شده با توجه به نسبت فراوانی | ضریب اشغال بدلند در هر زیرحوضه | زیرحوضه‌ها |
|--------------------------|---|--------------------------------|------------|
| ۸ | ۹ | ۰.۱۴ | ۱ |
| ۱۲ | ۱۲ | ۰ | ۲ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۰.۱۳۵ | ۳ |
| ۴ | ۴ | ۰.۶۹۷ | ۴ |
| ۹ | ۷ | ۰.۲۱۹ | ۵ |
| ۵ | ۶ | ۰.۲۶۳ | ۶ |

| رتبه محاسبه شده با توجه به نسبت فراوانی | رتبه محاسبه شده در پژوهش | ضریب اشغال بدلند در هر زیرحوضه | زیرحوضه‌ها |
|---|--------------------------|--------------------------------|------------|
| ۱۱ | ۶ | ۰.۰۹۶ | ۷ |
| ۸ | ۱۲ | ۰.۱۴۲ | ۸ |
| ۳ | ۲ | ۰.۷۱۴ | ۹ |
| ۵ | ۷ | ۰.۴۶۱ | ۱۰ |
| ۲ | ۳ | ۰.۸۲۵ | ۱۱ |
| ۱ | ۱ | ۰.۹۴۴ | ۱۲ |

با بهره‌مندی از نظرات کارشناسان و انجام مقایسه زوجی معیارها، بیشترین وزن فازی معیارها، به عوامل جنس زمین با وزن ۰.۵۲۶ و شیب با وزن ۰.۲۴۱ اختصاص یافت که بر تأثیرگذاری بالای این دو عامل بر وقوع و گسترش فرسایش بدلندی حکایت دارد این یافته با پژوهش صفاری و همکاران (۱۳۹۴) در نقش‌آفرینی بالای عوامل جنس زمین و شیب در وقوع فرسایش همخوانی دارد. بررسی لایه‌های وضع موجود در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ با دامنه شدت فرسایش بدلندی خیلی زیاد، بر وقوع حداکثری فرسایش بدلندی در رخنمون‌های مارن، ژئیس، گچ و نمک، مخروط افکنه و تراس‌های آبرفتی، در ارتفاع کمتر از ۱۳۰۰ متر از سطح دریا در شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد با پوشش گیاهی مرتعی فقیر تا عاری از پوشش گیاهی دلالت دارد. کمترین میزان فرسایش بدلندی در زیرحوضه‌های ۸ تا ۱۲ با جنس زمین عمدتاً مشتمل بر برونزد کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل، آهک، مارن، ژئیس، گچ و نمک در ارتفاع بیش از ۱۳۰۰ متر از سطح دریاها با شیب‌های بالای ۲۰ درصد و پوشش گیاهی مرتعی متوسط تا فقیر است. نتایج پژوهش جوکار و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد رسوبات حساس به فرسایش در ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر با پوشش گیاهی مرتعی در شیب‌های ۱۰-۵ درصد بیشترین حساسیت را به وقوع فرسایش بدلندی دارند.

۵- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری جهت پهنه‌بندی و ارزیابی انواع لندفرم‌های ژئومورفیک، توسعه قابل توجهی پیدا نموده است. در این مطالعه سعی شده است تا علاوه بر بررسی معیارهای تأثیرگذار بر وقوع بدلند و مقایسه زوجی بین معیارها، به مقایسه زوجی بین گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) نسبت به هم و رتبه‌بندی آن‌ها پرداخته شود. در پیشینه مطالعات صورت گرفته با مدل‌های تصمیم‌گیری، عمدتاً به معیارها و وزن‌دهی آن‌ها بسنده شده است. در تحقیق حاضر علاوه بر تعیین وزن معیارها، به وزن‌دهی گزینه‌ها (مقایسه ۱۲ زیرحوضه) نسبت به هم پرداخته شده است.

نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۱۲ و ۹ دارای بیشترین شدت فرسایش بدلندی هستند. همچنین زیرحوضه‌های ۱۱، ۴، ۶ و ۷ با فرسایش زیاد و زیرحوضه ۱۰ با فرسایش متوسط مشخص شده است و بقیه زیرحوضه‌ها با فرسایش کم ارزیابی شده است. لذا توجه به مناطق پایین دست حوضه کلرز بیشتر ضروری به نظر می‌رسد. از مجموع مساحت ۹۸۹۱ هکتاری حوضه کلرز، ۴۶۹۱ هکتار با ۴۷/۴ درصد در دامنه فرسایش کم، ۹۳۷ هکتار با ۹/۵ درصد در دامنه فرسایش متوسط، ۳۲۰۴ هکتار با ۳۲/۴ درصد در دامنه فرسایش بدلندی زیاد و ۱۰۵۸ هکتار با ۱۰/۷ درصد در دامنه فرسایش خیلی زیاد قرار دارد.

نتایج روی هم‌اندازی لایه پراکنش بدلندی با لایه شدت فرسایش نشان می‌دهد که زیر حوضه‌های ۲، ۳، ۴ و ۱۲ همخوانی ۱۰۰ درصدی بین رتبه محاسبه شده در پژوهش با رتبه به دست آمده حاصل از نسبت فراوانی دارد. همچنین زیر حوضه‌های

۱، ۵، ۹، ۱۰ و ۱۱ با دامنه اختلاف حداکثر ۲ رتبه دلالت بر دقت بالای محاسبات دارد. تنها نتایج به دست آمده از زیرحوضه‌های ۷ و ۸ بر وجود اختلاف زیاد در نتایج حاصل از رتبه‌بندی ناشی از محاسبه وزن متغیرهای تأثیرگذار بر زیرحوضه‌ها با رتبه به دست آمده از نسبت فراوانی بدلندها در زیرحوضه‌ها دلالت دارد.

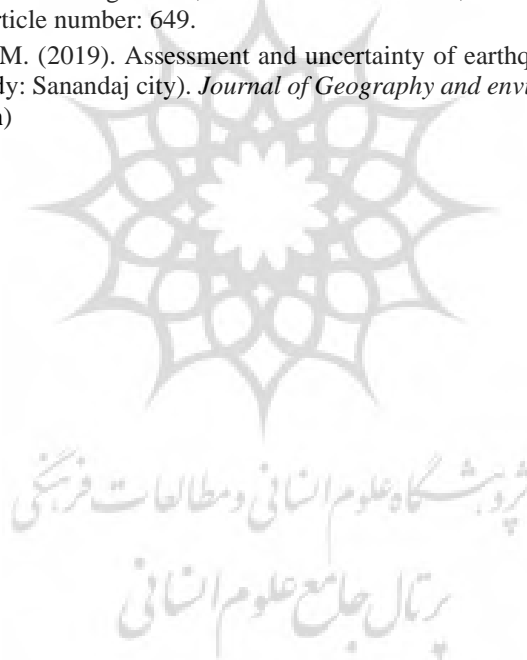
دلیل ناهمخوانی رتبه نسبت فراوانی با رتبه محاسبه شده در پژوهش حاضر در زیرحوضه‌های ۷ و ۸ می‌تواند احتمالاً مرتبط با تأثیر عواملی همچون تغییرات کاربری اراضی یا تراکم زهکشی و مواردی از این قبیل باشد که در پارامترهای تأثیرگذار حوضه مطالعه نشده باشند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد راهکار رفع یا کاهش میزان فرسایش در حوضه آبریز کلرز، در افزایش سطح پوشش گیاهی بر روی رخنمون‌های مخروط افکنه‌ای، تراس‌های آبرفتی، زمین‌های با پوشش گچ، ژئوپس و نمک است تا به تثبیت خاک و رسوبات سطحی مناطق مذکور پرداخته شود و از افزایش فرسایش بدندنی ممانعت به عمل آید. در این میان لازم است تا توجه بیشتری نسبت به زیرحوضه‌های با دامنه خطر بالای فرسایش بدندنی همچون زیرحوضه‌های ۱۲ و ۹ به همراه زیرحوضه‌های ۱۱، ۴، ۶ و ۷ صورت پذیرد.

۶- منابع

۱. احمدی، حسن. (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی کاربردی جلد ۱ فرسایش آبی. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. انتظاری، مژگان؛ ملکی، امجد؛ مرادی، خدیجه؛ الفتی، سعید. (۱۳۹۲). پهنه بندی فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مجله مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره هفده ام، شماره ۴، صص ۶۴-۸۶.
۳. جوکار سرهنگی، عیسی؛ خلخالی، نیلوفر. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی با استفاده از روشهای آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوضه نامرستاق). مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره ۱۹، بهار. صص ۲۰۷-۱۹۵.
۴. جوکار سرهنگی، عیسی. اسماعیلی، رضا و مرتضایی، نرگس. (۱۳۹۶). تحلیل عوامل مؤثر بر تشکیل و گسترش بدلندها در حوضه ماملو، جاجرود. فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۸. زمستان، صص ۹۴-۸۱.
۵. جوکار سرهنگی، عیسی؛ مرتضایی، نرگس. (۱۳۹۵). مقایسه مدل های نسبت فراوانی و عامل اطمینان در پهنه‌بندی فرسایش بدلند (مطالعه موردی: بخشی از حوضه جاجرود). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، پاییز. صص ۱۷۲-۱۶۱.
۶. چینی پرداز، فروغ؛ غلامی، علی؛ پناهپور، ابراهیم. (۱۳۹۳). بررسی اثر فرسایش بدلند بر شاخص های کیفیت خاک در منطقه درب خزینه شهرستان شوشتر. اولین همایش ملی ایده های نوین در کشاورزی پایدار. ۱۴ اسفند، صص ۱۲.
۷. حبیبی، آرش؛ سرافرازی، اعظم؛ ایزدیار، صدیقه. (۱۳۹۳). تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی. تهران، نشر سیمای دانش.
۸. رفیعی، محبوبه. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر فرسایش در شمال غرب سرخس با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی. پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. ۲۴-۲۳ آذر.
۹. روستایی، شهرام و جانانه، کریستینه. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع ناپایداری دامنه ای در حوضه آبریز بالقلو چای اردبیل با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی. جغرافیا و برنامه ریزی. دوره ۲۳، شماره ۷۰، زمستان، صص 169-188.
۱۰. صفاری، امیر؛ احمدی، مهدی؛ رحیمی هرآبادی، سعید. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی فرسایش خندقی به وسیله مدل های ANP و AHP در حوضه دشت کهور استان فارس، پژوهش‌های دانش زمین، سال ششم، شماره ۲۴، صص ۹۴-۱۱۰.

۱۱. عرفانیان؛ مهدی، قهرمانی، پریسا، سعادت، حسین. (۱۳۹۲). تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی در حوضه آبخیز قرناوه گلستان، نشریه علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۲۳ (۷). صص ۴۲-۵۳.
۱۲. غلامی، محمد و احمدی، مهدی. (۱۳۹۸). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر لامرد با استفاده از AHP، GIS و منطق فازی. مخاطرات محیط طبیعی، سال هشتم، تابستان. شماره ۲۰. صص ۱۱۴-۱۰۱.
۱۳. یاریان، پیمان و کرمی، محمدرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی و عدم قطعیت آسیب پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل FAHP (نمونه موردی: شهر سندرگ). جغرافیا و مخاطرات محیطی. پاییز. شماره ۳۱، صص ۲۰۳-۱۸۵.
14. Ahmadi, H. (1391). Applied Geomorphology. Volume 1. Water Erosion. Tehran, Tehran University Press. (in Persian)
15. Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis, Fuzzy Sets and Systems, vol. 17, no. 3, pp. 233-247.
16. Chang, Da-Yong. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research. Volume 95, Issue 3, 20 December, Pages 649-655.
17. Chang, Da-Yong. (1992). extent analysis and synehetic decision. Optimization teshnique and application. volume1, world scientific, Singapore. p. 352.
18. China Pardaz, F.Gholami, A and Panahpour, I. (2015). Investigating the effect of Badland erosion on soil quality indices in Darb-e-Khazineh area of Shushtar city. *The first national conference on new ideas in sustainable agriculture*. March 5, p. 12. (in Persian)
19. Ciccacci, S. Galiano, M. Roma, M. A., and Salvatore, M. C. (2009). Morphodynamics and morphological changes of the last 50 years in a badland sample area of Southern Tuscany (Italy). *ZeitschriftfürGeomorphologie*, 53(3), 273-297.
20. Entezari, M. Maleki, A. Moradi, K and Al-Fati, S. (2014). Zoning of gully erosion in Deira catchment using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Human Sciences MODARES- Planning and Planning of space*. Volume 17, Number 4, pp. 64-86. (in Persian)
21. Erfanian; M. Qahramani, P and Saadat, H. (2014). Preparation of risk map of soil erosion potential using fuzzy logic in Qarnaveh Golestan watershed, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. No. 23 (7). PP 42 - 53. (in Persian)
22. Gholami, M and Ahmadi, M. (2019). Flood risk microzonation in Lamerd using AHP, GIS and fuzzy logic. *Journal of Natural Environmental Hazards*. eighth year, summer, number 20. pp 101-114. (in Persian)
23. Habibi, A.Sarafrazi, A and Izdiar, S. (2015). Fuzzy multi-criteria decision making. Tehran, Simae Danesh Publishing. (in Persian)
24. Haidara, I. Tahri, M. Maanan, M and Hakdaoui, M. (2019). Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. *Geoderma*. Volume 354, 15 November, 113853.
25. Jokar Sarhangi, E and Khalkhali, N. (2019). Evaluation and zoning of gully erosion risk using two-variable statistical methods (Case study: Nemarstagh basin). *Journal of Natural Hazards*. Volume 8, Number 19, Spring. pp. 207-195. (in Persian)
26. Jokar Sarhangi, E. Ismaili, R and Mortezaei, N. (2017). Analysis of Factors Affecting the Formation and Expansion of Badlands in Mamlu Basin, Jajroud. *Journal of Natural Geography*. Year ۱۰, Issue ۳۸. Winter, pp. ۹۴-۸۱. (in Persian)
27. Katharina, A. (2006), Characterisation of badlands and modeling of soil erosion in the isabena watershed NE Spain, PP. ۱-۸۴.
28. Kumar Shit, P. Sankar Bhunia, G and Maiti, R (2015). Assessment of Factors Affecting Ephemeral Gully Development in Badland Topography: A Case Study at Garbheta Badland (Pashchim Medinipur, West Bengal, India). *International Journal of Geosciences*, 4, 461-470.

29. Liberti, M. Simoniello, T. Carone, M. T. Coppola, R. D'Emilio, M. and Macchiato, M. (2009). Mapping badland areas using LANDSAT TM/ETM satellite imagery and morphological data. *Geomorphology*. 106(3), 333-343.
30. Mikhailov, L. (2000). A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process, *Journal of Operational Research Society* 51 ,341-349.
31. Morgan, R.P.,(2005). Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons. 3rd Edition. P.316.
32. Qahroudi, M. (2003). Hazard zoning model due to the spread of gully erosion in basin of Kolocheh Bijar using RS and GIS, *Journal of Research Plan of the Ministry of Energy*, 95 p. (in Persian)
33. Rafii, M. (2010). Erosion risk zoning in northwest of Seraks using GIS and hierarchical analysis method. *15th Conference of Iranian Geological Society*. 24-23 . (in Persian)
34. Rustaei, S and Jananeh, C. (2019). Zoning the risk of slope instability in the catchment area of Balgholochai in Ardabil using the fuzzy hierarchical method. Volume 23, *Journal of Geography and planning*. Number 70, Winter , pp. 169-188. (in Persian)
35. Saffari, A. Ahmadi, M. and Rahimi Harabadi, S. (2016). Zoning of gully erosion by ANP and AHP models in Dasht-e Kahour basin of Fars province, *Journal of Earth knowledge research*. sixth year, number 24, pp. 94-110. (in Persian)
36. Saha, S. Gayen, A. Pourghasemi, H and Tiefenbacher, J. (2019). Environmental Earth Sciences volume 78, Article number: 649.
37. Yarian, P and Karami, M. (2019). Assessment and uncertainty of earthquake vulnerability of cities with FAHP model (Case study: Sanandaj city). *Journal of Geography and environmental hazards*. Fall. No. 31, pp. 203-185. (in Persian)



Evaluation of badland Erosion Risk Using Fuzzy Hierarchical Analysis Model
Case study: kelerz basin in Garmsar

Eisa Jokar Sarhangi, Associate Prof., Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran

Ghasem Lorestani*, Assistant Prof., Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran

maisam Alizadeh, MA. of Hydro-geomorphology, University of Mazandaran

Abstract

Among the various forms of water erosion, badland erosion is one of the most important emerging factors in water resources and its sustainability. The purpose of this study is to zoning of e badland erosion in the kelerz Basin in Garmsar. For this purpose environmental factors including geological formations, elevation classes, slope, slope direction and vegetation were compared using pairwise comparisons. Also, pairwise comparisons between sub-basins were performed in each of the five criteria mentioned above, and by calculating the multiplication of the total weight of the criteria and sub-basins relative to each other, the priority of each sub-basin was determined. In parallel with the above steps, the area distribution map was mapped using Landsat 8 OLI satellite imagery and Google Earth imagery and was monitored and modified with the help of field surveys and operations to eventually overlap sub-basin priority maps with the existing erosion status map. The accuracy of the proposed model was evaluated. The results of the overlap of the badland Distribution layer with the Erosion Intensity Layer show that sub-basins 2, 3, 4 and 12 have a 100% correlation between the rank calculated in the study with the rank obtained from the frequency ratio. Also sub-basins 1, 5, 9, 10 and 11 with amplitude difference of maximum 2 rank imply high accuracy of calculations. The results also show that sub-basins 12 and 9 have the highest intensity of badland erosion. The sub-basins 11, 4, 6 and 7 are characterized by high erosion and sub-basin 10 with moderate erosion and the rest of the sub-basins are evaluated with low erosion.

Keywords: Water Erosion, Badland, Fuzzy Hierarchical Analysis, kelerz Basin.

*Email: gh.lorestani@umz.ac.ir