

## مقایسه مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان در پهنه‌بندی فرسایش بدلند (مطالعه موردی: بخشی از حوضه جاجرود)

عیسی جوکار سرهنگی\* - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران  
نرگس مرتضایی - کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

### چکیده

بدلند شکل نهایی فرسایش آبی است که آثار تخریبی زیادی در محیط طبیعی دارد. دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در منطقه‌ی مورد مطالعه به خاطر شرایط خاص ژئومورفولوژیکی در معرض اشکال مختلف فرسایش، به‌ویژه فرسایش بدلند قرار دارد. با این وجود، تاکنون مطالعات کمی در این زمینه انجام شده است. هدف از این تحقیق مقایسه کارایی مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان در پهنه‌بندی بخشی از حوضه جاجرود است. برای این منظور نقشه‌های عوامل مؤثر شامل جنس زمین، ارتفاع، شیب، جهت دامنه و پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله بعد، سطح فرسایش بدلند موجود در هر طبقه از عوامل با همپوشانی نقشه پراکنش بدلند در محیط ArcGIS محاسبه شد و ضریب نسبت فراوانی به دست آمد. با اعمال این ضرایب در لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق آن‌ها، نقشه پهنه‌بندی منطقه با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان تهیه گردید. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از رابطه‌ی احتمال تجربی نشان داد که مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان به ترتیب با احتمال تجربی ۰/۹۳ و ۰/۹۹ برای پهنه‌بندی فرسایش بدلند در منطقه مناسب هستند. اما در مقایسه، مدل عامل اطمینان کارایی بالاتری در جداسازی و شناسایی مناطق حساس به فرسایش بدلند دارد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، فرسایش بدلند، نسبت فراوانی، عامل اطمینان، جاجرود

## مقدمه

بدلندها در سراسر جهان اتفاق می‌افتند و جزء آن دسته از تحولات ژئومورفولوژیکی هستند که وابسته به فرآیندهای فرسایشی می‌باشند. در بدلندها شیب دامنه‌ها به صورت شیاری با شبکه متراکم زهکشی و دره‌های V شکل دیده می‌شوند. توسعه بدلندها مستلزم شیاریهای خطی و فرسایش آبکندی است. عامل اصلی در کنترل شکل بدلند خصوصیات سنگ‌بستر می‌باشد. بدلندها به صورت مشخص در مناطق خشک به وجود می‌آیند؛ با این وجود، در مناطق آب‌وهوایی مثل مدیترانه نیز اتفاق می‌افتند (کاسارینا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶، ۵۲). توسعه بدلندها بر روی لاتریت‌های حوضه بیربهام<sup>۲</sup> یک شاخصی از فرسایش بیش‌ازحد خاک در آب‌وهوای نوع مرطوب و خشک موسمی می‌باشد (قوش و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲، ۱۴۴۱). چشم‌انداز بدلندها ممکن است به طور سطحی شبیه یکدیگر باشند، اما این احتمال وجود دارد که فرآیندهای مختلفی در تشکیل آن‌ها مؤثر باشند و در جزئیات مورفولوژیکی تفاوت‌های بسیاری با یکدیگر نشان دهند (گروبین و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷، ۶۹). بیشتر بدلندها در زمین‌های مارن، شیل، سیلت و رس واقع شده‌اند. اگرچه ممکن است در ماسه‌های غیر یکپارچه نیز دیده شوند. بدلندها در سنگ‌های نسبتاً غیرقابل نفوذ توسعه می‌یابند (بالستروس و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۲، ۲).

اولین قدم در تهیه و جمع‌آوری آمار و اطلاعات از میزان تخریب اراضی، برآورد حساسیت و استعداد به فرسایش و به عبارت بهتر پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش اراضی در منطقه موردنظر می‌باشد (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱). برای دستیابی به این مهم، بررسی‌های زیادی در سطح جهان و ایران انجام شده است. رومرو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی تحولات بدلندها، با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست در منطقه پری پرنس<sup>۷</sup> ایتالیا با تشخیص مناطق بدلندی، مقدار و سرعت فرآیند فرسایش و فاکتورهای جغرافیایی مؤثر بر آن را بررسی نمود. اطلاعات تصاویر ETM<sup>+</sup> و TM ماهواره لندست برای دوره زمانی ۲۰۰۶ - ۱۹۸۴ با تلفیق عکس‌های هوایی در منطقه‌ای که استعداد فراوانی به فرسایش دارد به دست آمده است. شاخص‌های طیفی گوناگون برای ارزیابی و آشکارسازی تحولات بدلند مورد بررسی قرار گرفت که اختلاف خیلی کمی بین نتایج آن‌ها نشان داده شد. به همین دلیل استفاده از ساده‌ترین و گسترده‌ترین شاخص طیفی که عبارت است از شاخص نرمال‌سازی پوشش گیاهی مختلف (NDVI) در این مقاله توصیه شده است. همچنین نقشه احتمال خطر فرسایش به منظور بررسی شرایط محیطی اولیه و سیر تکاملی ۱۲ ساله تهیه شد. اعظم<sup>۸</sup> (۲۰۱۳) در بررسی بدلندهای آونلی<sup>۹</sup> در کانادا به این نتیجه رسید که زمین‌شناسی و نوسانات فصلی آب‌وهوا بر روی خصوصیات ژئوهیدرولوژی بدلندها مؤثر هستند.

در ایران اسدی و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز ناورود" خطر فرسایش را در قالب مدل Rusle<sup>۱۰</sup> و تعیین پارامترهای شش‌گانه‌ی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS) ارزیابی نمودند. فاکتور فرسایشی، پس از استخراج یک رابطه رگرسیونی، در ایستگاه‌های باران‌سنج ثابت، در همه ایستگاه‌های استان محاسبه و با روش کریجینگ پهنه‌بندی گردید. عرب قشقایی

<sup>1</sup> Katharina

<sup>2</sup> Birbhum

<sup>3</sup> Ghosh et al

<sup>4</sup> Grubin et al

<sup>5</sup> Balesteros et al

<sup>6</sup> Romero et al

<sup>7</sup> Pre-Pyrenees

<sup>8</sup> Azam

<sup>9</sup> Avonlea

<sup>10</sup> Revised universal soil loss equation

(۱۳۹۰) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز طرود فیروزکوه" به شناسایی عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش و پهنه‌بندی آن اقدام نمود. مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی چون شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از شبکه راه‌های ارتباطی، مدیریت اراضی و تاج پوشش انتخاب و سپس این لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. به کمک روش  $MCM^1$  وزن دهی عوامل و طبقات صورت گرفت. باقرزاده و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای تحت عنوان "پهنه‌بندی خطر فرسایش و درجه رسوب‌دهی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک" میزان رسوب‌دهی در حوضه آبریز طرود را با مدل PSIAC در برنامه GIS مورد ارزیابی قرار داده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده مورد مطالعه در پنج کلاس فرسایشی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و ناچیز طبقه‌بندی شد. همچنین نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی نشان داد که پهنه‌های با رسوب‌دهی زیاد در یک پراکنش معنادار در جنوب و شمال حوضه در بخش‌هایی که نوع لیتولوژی را واحدهای آبرفتی و پوشش زمین را کاربری زراعی تشکیل داده مشاهده می‌شود. محاسبات آماری نیز نشان داد که کلاس‌های درجه رسوب‌دهی متوسط و بالا در مجموع ۶۰٪ مساحت کل حوضه و همین‌طور ۸۴٪ از تولید رسوب کل حوضه آبریز طرود را تشکیل می‌دهد. رفیعی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان "پهنه‌بندی خطر فرسایش در شمال غرب سرخس با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی" به بررسی پتانسیل فرسایش و تعیین مناطق با حساسیت بالا به فرسایش در منطقه مورد مطالعه پرداخته‌اند. وقوع فرسایش شدید در منطقه مشکلاتی را برای تأسیسات استحصال گاز و نیز جاده سرویس چاه‌ها ایجاد کرده است. در اولین قدم برای مقابله با این پدیده نیاز به تعیین مناطق با فرسایش‌پذیری بالا می‌باشد. برای این منظور نقشه پهنه‌بندی استعداد فرسایش در منطقه تهیه گردید و از ۵ عامل شیب، سنگ‌شناسی، به‌هم‌ریختگی مصنوعی، تراکم آبراهه و پوشش گیاهی استفاده شد. پس از تهیه نقشه عوامل ذکر شده و کلاس‌بندی آن‌ها به روش سلسله مراتبی بر اساس وزن نسبی به‌دست‌آمده برای هر عامل در محیط GIS نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و در نهایت نقشه پهنه‌بندی فرسایش منطقه تهیه شد. یمانی و همکار (۱۳۹۲) تأثیر ویژگی‌های رسوب‌شناسی در توسعه فرسایش تونلی در سازند فلیش مکران را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق نشان داد که اسیدیتته گل اشباع، هدایت الکتریکی، درصد رس، سیلت و ماسه رسوب، یون‌های کلسیم، پتاسیم، سدیم و درصد آهک به ترتیب مؤثرترین عوامل رسوب‌شناسی بر ایجاد فرسایش تونلی در منطقه مورد تحقیق می‌باشند.

اما بیشتر روش‌هایی که برای پهنه‌بندی مناطق از مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان استفاده کرده‌اند، برای شناسایی مناطق حساس به خطر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن به کار گرفته شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲؛ کرمی و همکاران، ۱۳۸۶، مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Lee, 2004؛ Lee & Sambath, 2006؛ Pradhan & lee, 2010؛ Yalcin et al, 2011. منطقه‌ی مورد مطالعه که در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی قرار دارد، با شرایط متنوع زمین‌شناسی، آب‌وهوایی و توپوگرافی عمده کوهستانی، بیشتر شرایط طبیعی برای ایجاد فرسایش بدلند را داراست و از این رو شناسایی اراضی حساس به فرسایش به‌ویژه فرسایش بدلند، جهت اجتناب از مخاطرات طبیعی آن ضروری می‌باشد. یکی از اصلی‌ترین اقدام‌ها در این رابطه تعیین میزان حساسیت به فرسایش و تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه با استفاده از مدل‌های مناسب است. هدف از این تحقیق مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده از مدل نسبت فراوانی با مدل عامل اطمینان در ارزیابی حساسیت منطقه به فرسایش بدلند است.

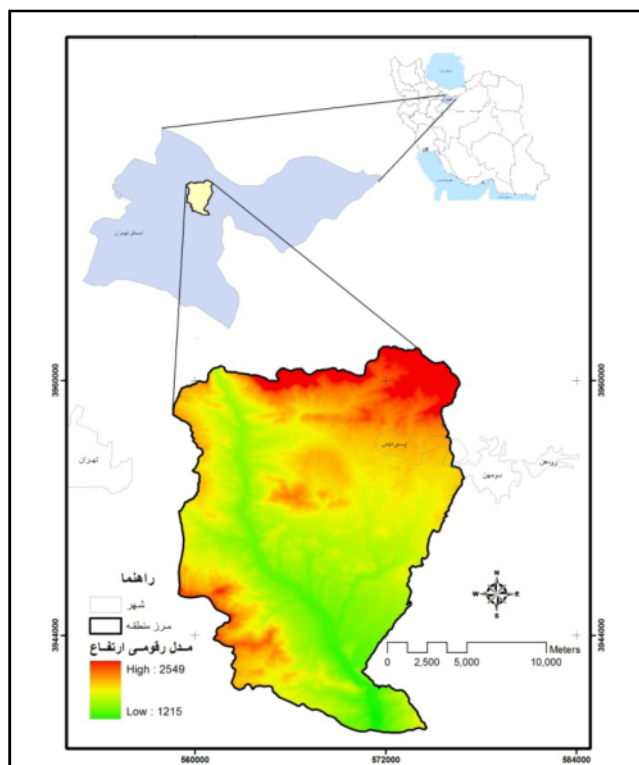
## مواد و روش‌ها

<sup>1</sup> Multi Class Maps

### موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۳۰۶۴۷/۷۱ هکتار در عرض جغرافیایی ۳۵° ۳۵' تا ۳۵° ۴۸' ۰۶" شمالی و طول جغرافیایی ۵۱° ۳۸' ۵۳" تا ۵۱° ۵۰' ۵۰" شرقی واقع شده است. این منطقه در دامنه جنوبی البرز مرکزی و در قسمت شمال شرقی استان تهران در حوضه جاجرود و در حدفاصل سد لتیان تا سد ماملو قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوضه را در استان تهران و ایران نشان می‌دهد. فرسایش بدلند که در سراسر حوضه مورد مطالعه پراکنده می‌باشد، ۳۸۱۷/۵۷ هکتار از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. بیشترین پراکنش بدلند در قسمت‌های جنوب، جنوب شرقی و مرکز آن می‌باشد.

با توجه به اینکه حوضه جاجرود بخشی از البرز مرکزی را شامل می‌شود، به تبعیت از ساختمان و نظام چین خوردگی کوه‌های البرز، شیب تندی دارد. جهت کوه‌ها به موازات هم و به صورت غربی - شرقی است. ارتفاع حداقل و حداکثر در منطقه به ترتیب ۱۲۱۵ و ۲۵۴۹ متر و ارتفاع میانگین منطقه ۱۶۷۲ متر از سطح دریا می‌باشد. همچنین میانگین شیب در منطقه ۲۱/۷۲ درصد و میانگین بارندگی منطقه ۲۶۵/۴ میلی‌متر است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه در استان تهران و ایران

### روش‌ها

در این تحقیق برای تعیین حساسیت به فرسایش بدلند و پهنه‌بندی منطقه از مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان استفاده شده است. به منظور اجرای مدل‌های مذکور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نخست لایه‌های هر یک از عوامل مدل در محیط ArcGIS تهیه شدند. لایه‌های اطلاعاتی که در این تحقیق برای پهنه‌بندی استفاده شده‌اند، عبارت‌اند از جنس زمین، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه و پوشش گیاهی و کاربری اراضی. لایه جنس زمین از نقشه زمین‌شناسی شرق تهران با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه گردید. لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت دامنه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۳۰ متر به دست آمد و از تصویر گوگل ارث سال ۲۰۱۴ و

عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ جهت تهیه لایه پوشش گیاهی و کاربری اراضی و همچنین پراکنش بدلندهای منطقه استفاده شد. برای کنترل و تکمیل لایه پراکنش فرسایش بدلند در منطقه از مشاهدات میدانی و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) بهره گرفته و در موارد مغایرت با واقعیت زمینی اصلاح شده است. لایه‌های یادشده در چندطبقه تقسیم‌بندی و برای اجرای مدل به فرمت شبکه‌ای تبدیل شدند. در مرحله‌ی بعد، این لایه‌ها مطابق با مدل‌های موردنظر وزن دهی شد. با تلفیق و جمع جبری لایه‌های ساخته‌شده در محیط ArcGIS نقشه‌های حساسیت به فرسایش بدلند در منطقه با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان به دست آمد.

### مدل نسبت فراوانی<sup>۱</sup>

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در فرسایش بدلند و طبقه‌بندی آن‌ها، سطح هر طبقه از عامل با استفاده از نرم‌افزار تعیین شد. سپس فراوانی سطوح بدلند موجود در هر طبقه با استفاده از همپوشانی نقشه پراکنش بدلند با هر کدام از لایه‌های عوامل به دست آمد. ضریب نسبت فراوانی طبقات عوامل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{FR} = A / B \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A درصد پراکنش بدلند در هر طبقه، B درصد مساحت همان طبقه از لایه و FR نسبت فراوانی می‌باشد. چنانچه این ضریب برای هر طبقه بیشتر از یک باشد، حساسیت آن طبقه برای تشکیل و گسترش فرسایش بدلند بالا می‌باشد. در نهایت ضریب نسبت فراوانی هر طبقه از عوامل در محیط ArcGIS باهم جمع و بر پایه‌ی رابطه (۲)، نقشه پهنه‌بندی و حساسیت منطقه به فرسایش بدلند با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی به دست آمد.

$$\text{رابطه (۲)} \quad (\text{ضریب نسبت فراوانی} \times \text{هر لایه اطلاعاتی}) = \text{شاخص پهنه‌بندی}$$

### مدل عامل اطمینان<sup>۲</sup>

از این مدل برای نخستین بار توسط محمدی و همکاران (۱۳۸۸) در ایران برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه آبخیز هراز استفاده شده است. تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل‌های دومتغیره، چگونگی تلفیق نقشه‌ها می‌باشد. بدین‌سان که در آغاز نقشه‌ها کلاسه‌بندی شده، سپس با بهره‌گیری از رابطه (۳) وزن هر واحد کاری به دست می‌آید که برای وضعیت‌های مختلف PPa و PPs دو رابطه مختلف وجود دارد. حال برای ترکیب نقشه‌ها یکی X و دیگری Y در نظر گرفته می‌شود. سپس از رابطه (۴) برای ترکیب وزن‌ها بهره‌گیری می‌شود که برای حالت‌های مختلف X و Y سه فرمول وجود دارد.

$$\text{CF} = \quad = \quad \text{رابطه (۳)}$$

<sup>۱</sup> Frequency Ratio

<sup>۲</sup> Certainty Factor

$$X, Z = \frac{X+Y}{1-\min(X|Y)} \quad \text{If} \quad X, Y \text{ opposite sign} \quad \text{Y رابطه (۴)}$$

که در آن PPa نسبت بدلدها در یک واحد کاری به مساحت آن واحد و PPS نسبت بدلدهای منطقه به مساحت منطقه می‌باشد. نقشه ترکیبی دوباره به‌عنوان X و نقشه سوم Y در نظر گرفته می‌شود. دوباره نقشه X و Y جدید بر پایه رابطه (۴) ترکیب می‌شوند. به‌این ترتیب تا آخرین نقشه این تلفیق انجام شده و وزن نهایی محاسبه می‌شود که میزان آن بین -۱ تا ۱ است (بیناچی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸ و لن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴).

### ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها

نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش بدلند در منطقه که با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و مدل عامل اطمینان تهیه شده‌اند، با روش احتمال تجربی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور از رابطه‌ی (۵) استفاده شده است. با توجه به این که برای وزن‌دهی لایه‌های مختلف اطلاعاتی در مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان از نقشه پراکنش بدلدهای منطقه استفاده شده است، از این رو نمی‌توان برای ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی از نقشه توزیع بدلدهای منطقه استفاده کرد. برای رفع این مشکل، حدود یک‌سوم از سطوح بدلندی منطقه در پهنه‌بندی استفاده نشد و برای ارزیابی نقشه‌ها از این مناطق استفاده شد. به این صورت که یک‌سوم از بدلدهای منطقه که در پهنه‌بندی استفاده نشده‌اند را روی نقشه‌های پهنه‌بندی انداخته و پراکنش بدلدها در رده‌های مختلف نقشه‌های پهنه‌بندی محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۵) میزان دقت مدل‌ها محاسبه شد.

$$P = ks / s \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن p احتمال تجربی، ks سطح بدلدها در طبقه متوسط به بالا و S سطح کل بدلدهای منطقه است. مدلی که میزان p آن بیشتر باشد، برای پهنه‌بندی منطقه مناسب‌تر است.

### بحث و یافته‌ها

در این تحقیق، عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی و پوشش گیاهی و کاربری اراضی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بخشی از حوضه جاجرود مورد استفاده قرار گرفت. بیشتر این عوامل در تحقیقاتی که در زمینه‌ی فرسایش خاک انجام شد، از قبیل کاسارینا (۲۰۰۶)، عرب قشقایی (۱۳۹۰) و رفیعی و همکاران (۱۳۹۰) مورد توجه و تأیید قرار گرفته است. نقشه هر یک از لایه‌های مؤثر در پهنه‌بندی و پراکنش بدلند در شکل‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. جدول ۱ طبقات عوامل مؤثر در فرسایش بدلند، مساحت آن‌ها، سطح بدلند، ضرایب نسبت فراوانی و وزن عامل اطمینان را به تفکیک طبقات عوامل مؤثر در پهنه‌بندی نشان می‌دهد. همچنین نتایج اجرای مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان و تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت به فرسایش بدلند و پهنه‌بندی منطقه که در محیط ArcGIS به دست آمد، در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، از نظر سازندهای زمین‌شناسی، بیشترین تراکم بدلند با ضریب نسبت فراوانی ۰/۹۹۴ در گل‌سنگ، مارن و گچ، کنگلومرای قرمز، لاتریت و شن و قلوه‌سنگ مشاهده شد. این سنگ‌ها حساسیت بیشتری به فرسایش بدلند دارند که با نتایج تحقیقات بالستروس و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت نشان می‌دهد. در مقابل، در

<sup>۱</sup> Binaghi et al

<sup>۲</sup> Lan et al

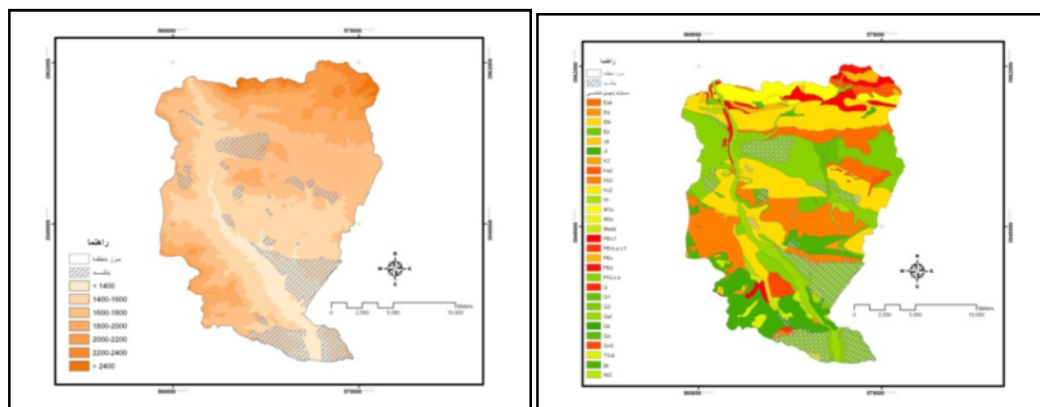
طبقات مقاوم که جنس غالب سنگ در آن‌ها کوارتزیت سفید با درون لایه ماسه‌سنگ، کنگلومرای ضخیم لایه، ماسه‌سنگ و آهک می‌باشد، فرسایش بدند ثبت نشده است. از نظر طبقات ارتفاعی، بیشترین تراکم بدند با ضریب ۲/۸۰۶ در ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر وجود دارد و از ارتفاعات ۲۰۰۰ متر فرسایش بدند مشاهده نشده است. به این ترتیب، تراکم بدند در منطقه مورد مطالعه با ارتفاع، رابطه معکوس دارد؛ به طوری که هرچه ارتفاع افزایش پیدا کند از تراکم بدندها در منطقه کاسته می‌شود. در ارتفاعات پایین، دما و تبخیر بیشتر بوده و بارندگی کمتر است که با کاهش پوشش گیاهی می‌تواند حساسیت به فرسایش بدند را افزایش دهد. از نظر شیب، بیشترین تراکم بدند در طبقات ۱۰-۵ درصد و کمترین تراکم بدند در طبقات بالاتر از ۵۰ درصد مشاهده شد، یعنی در ابتدا با افزایش شیب (تا ۱۰ درصد) تراکم بدندها بیشتر شده و سپس از تراکم بدندها در شیب‌های بالاتر کاسته می‌شود. در شیب‌های بالاتر، خاک زیادی وجود ندارد که منجر به فرسایش بدند شود. همچنین در منطقه مورد مطالعه، بیشترین تراکم بدند با ضریب نسبت فراوانی ۱/۵۷ در جهت‌های غربی و کمترین تراکم بدند در مناطق بدون جهت و شمال شرقی مشاهده گردید به این ترتیب از نظر جهت دامنه، پراکنش بدندها در جهت‌های مختلف متناسب بوده و اختلاف زیادی وجود ندارد. در بین پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف، پارک خجیر که قدمت آن نسبت به عملکرد فرسایش در گذشته ناچیز است و همچنین مراتع بالاترین حساسیت را به فرسایش بدند نشان می‌دهند. در مناطق با رخنمون توده‌ی سنگی و همچنین مناطق حفاظتی، پراکنش بدندها ناچیز است.

جدول ۱- پراکنش بدند در طبقات مختلف عوامل مؤثر و محاسبه ضرایب نسبت فراوانی و عامل اطمینان

عامل مؤثر	طبقات	مساحت طبقات	مساحت بدند	نسبت فراوانی	عامل اطمینان
جنس زمین	A*	۴۷۴۳/۹۱۷	۱۲۰/۹۵۳۳	۰/۲۳۳۲۸	-۰/۷۸۶۷۸
	B	۷۴۰۳/۱۶۴	۱۰۷/۵۷۵	۰/۱۳۲۹۵	-۰/۸۷۹۸۳
	C	۱۳۳۷/۷۰۸	.	.	.
	D	۴۶۴۹/۲۹۴	۷۸/۱۰۲۲	۰/۱۵۳۷	-۰/۸۶۰۷۶
	E	۱۳۵۸/۶۵۷	.	.	.
	F	۴۵/۱۹۳	۱/۶۱۳۳	۰/۳۲۶۶۲	-۰/۶۹۸۳۱
	G	۸۱۳۰/۳۴۱	۲۶۶۰/۵۴۵۰	۰/۹۹۴۰۵	۰/۷۴۷۷۲
	H	۲۹۷۹/۴۲۵	۸۶/۱۶۸۱	۰/۲۶۴۶۱	-۰/۷۵۷۲۹
ارتفاع (متر)	< ۱۴۰۰	۳۲۲۶/۳۹۸	۹۹۶/۷۶۰۹	۲/۸۰۶۵	۰/۷۲۳۳۱
	۱۴۰۰-۱۶۰۰	۹۶۳۸/۱۴۹	۱۲۵۷/۲۳۵۹	۱/۱۸۴۹۹	۰/۱۷۵۴۲
	۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۰۴۶۵/۰۰۸	۷۵۱/۹۱۴۰	۰/۶۵۲۷۱	-۰/۵۹۷۸۸
	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۴۴۲۲/۵۷۰	۴۹/۰۳۴۷	۰/۱۰۰۷۲	-۰/۹۰۹۳۶
	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۱۷۹۵/۲۸۱	.	.	.
	۲۲۰۰-۲۴۰۰	۸۶۱/۳۱۸	.	.	.
	> ۲۴۰۰	۲۳۸/۱۷۹	.	.	.
شیب (درصد)	۰-۵	۲۰۷۲/۳۲۳	۲۴۳/۱۹۸۴	۱/۱۷۷۱۸	۰/۱۶۷۱۸
	۵-۱۰	۴۷۵۳/۴۰۲	۶۴۲/۸۷۰۵	۱/۳۵۶۶۲	۰/۲۹۱۹۸
	۱۰-۲۰	۱۰۵۳۶/۰۷۳	۱۱۹۷/۵۴۰۳	۱/۱۴۰۱۲	۰/۱۳۶۵۱
	۲۰-۳۰	۶۱۲۴/۴۴۲	۶۳۲/۵۱۳۹	۱/۰۳۵۹۶	۰/۰۳۸۵۵

-۰/۴۵۷۱۳	۰/۷۰۸۴۴	۲۴۶/۸۹۳۵	۳۴۹۵/۷۹۲	۳۰-۴۰	
-۰/۶۲۸۸۵	۰/۳۹۵۹۸	۶۶/۷۷۸۷	۱۶۹۱/۶۲۷	۴۰-۵۰	
-۰/۸۸۳۴۵	۰/۱۲۷۸۰	۲۵/۰۹۳۳	۱۹۶۹/۵۱۲	> ۵۰	
-۰/۵۶۳۸۲	۰/۶۶۳۳۰	۱/۳۷۶۹	۲۰/۸۲۲	بدون جهت	جهت دامنه
۰/۰۳۲۹۰	۱/۰۳۰۵۲	۲۹۵/۶۵۴۸	۲۸۷۷/۶۳۵	شمالی	
-۰/۳۰۲۲۷	۰/۷۸۶۰۸	۲۵۵/۸۰۵۸	۳۲۶۴/۰۱۴	شمال شرقی	
-۰/۲۶۶۲۱	۰/۸۰۶۶۷	۲۹۷/۳۳۷۶	۳۶۹۷/۱۱۸	شرقی	
-۰/۰۷۶۱۸	۰/۹۳۵۸۱	۳۵۱/۳۹۰۰	۳۷۶۶/۲۴۴	جنوب شرقی	
-۰/۲۳۳۹۶	۰/۸۲۶۰۱	۴۹۸/۳۳۵۳	۶۰۵۱/۲۳۷	جنوبی	
-۰/۱۲۱۴۳	۰/۹۰۱۴۵	۴۴۲/۷۶۸۰	۴۹۲۶/۵۳۴	جنوب غربی	
۰/۴۰۳۴۰	۱/۵۷۰۳۲	۵۳۲/۲۴۷۹	۳۳۹۹/۶۶۰	غربی	
۰/۳۴۱۹۵	۱/۴۴۴۸۰	۳۷۹/۹۹۲۸	۲۶۳۸/۰۱۲	شمال غربی	
۰	۰	۰	۱۶۸۷/۷۱	مسکونی و باغ	
۰	۰	۰	۷۸۲/۲۲۴	دریاچه سد	
۰	۰	۰	۱۹۱۹/۵۸۵	توده سنگی	
-۰/۶۴۰۶۸	۰/۳۸۸۲۶	۱۱۷/۶۴۲۲	۲۶۰۴/۳۳۷	جنگل کاری مصنوعی	
-۰/۹۸۵۶۲	۰/۰۱۶۲۴	۲/۷۸۷۰	۱۴۷۴/۴۳۴	حفاظتی	
-۰/۰۸۰۱۸	۰/۹۳۳۸۴	۱۴۷۵/۷۵۷۹	۱۳۵۸۳/۲۴۳	مرتع	
۰/۳۵۵۸۱	۱/۴۵۸۶۱	۱۴۵۸/۷۶۱۹	۸۵۹۶/۱۷۳	پارک خجیر	

A\*: آهک با لایه‌های نازک مارن، آهک نازک لایه و توده‌ای، آندزیت، دایک و دیوریت، آهک اوربیتولین دار، گابرو و دیوریت، سیل، B: آهک، مارن و دولومیت، آندزیت، دایت، آلگومرا همراه با توف، C: کوارتزیت سفید با درون لایه ماسه‌سنگ، کنگلومرای ضخیم لایه، ماسه‌سنگ و آهک، کنگلومرا و گچ، توف و شیل D: سیلتستون و شیل دولومیت‌دار، سیلتسون، شیل و ماسه‌سنگ، شیل، رس، ماسه‌سنگ و آهک، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، آهک ماسه‌ای و مارنی، E: ماسه‌سنگ و مارن قرمز، ماسه‌سنگ و کنگلومرا، سیلتستون، F: ماسه‌سنگ و گل‌سنگ و سیلت، کنگلومرا، گل‌سنگ و مارن، G: گل‌سنگ، مارن و گچ، کنگلومرای قرمز، لاتریت و شن و قلوه‌سنگ، H: گچ، مخروط افکنه کنگلومرایی، رسوبات آبرفتی.

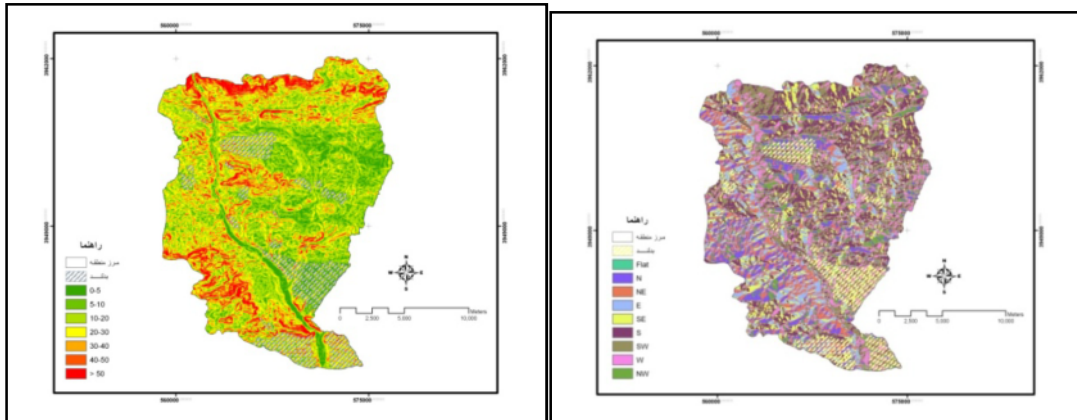


شکل ۳:

شکل ۱: پراکنش بدلند در طبقات ارتفاع منطقه

پراکنش بدلند در سازندهای زمین‌شناسی

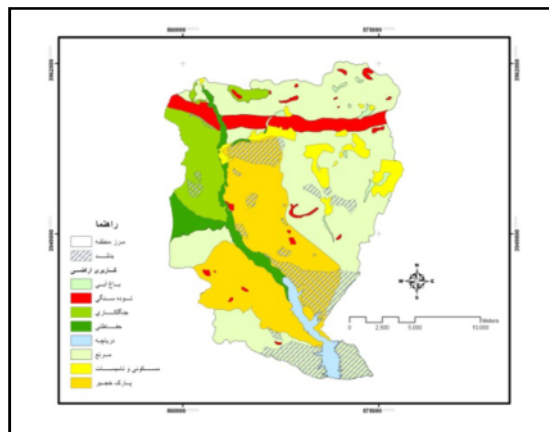




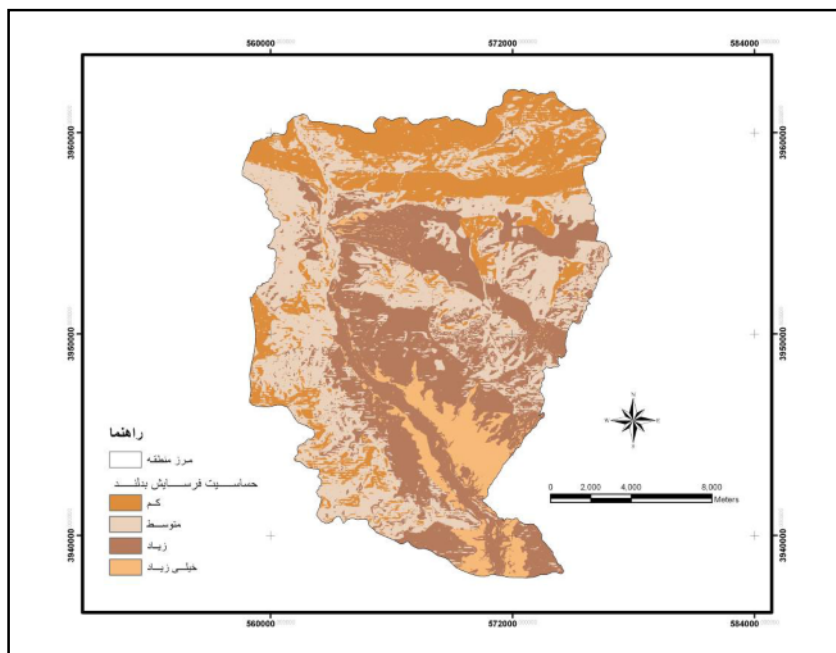
شکل ۳: نقشه پراکنش بدلدند در طبقات شیب منطقه

شکل ۴: پراکنش بدلدند در طبقات شیب منطقه

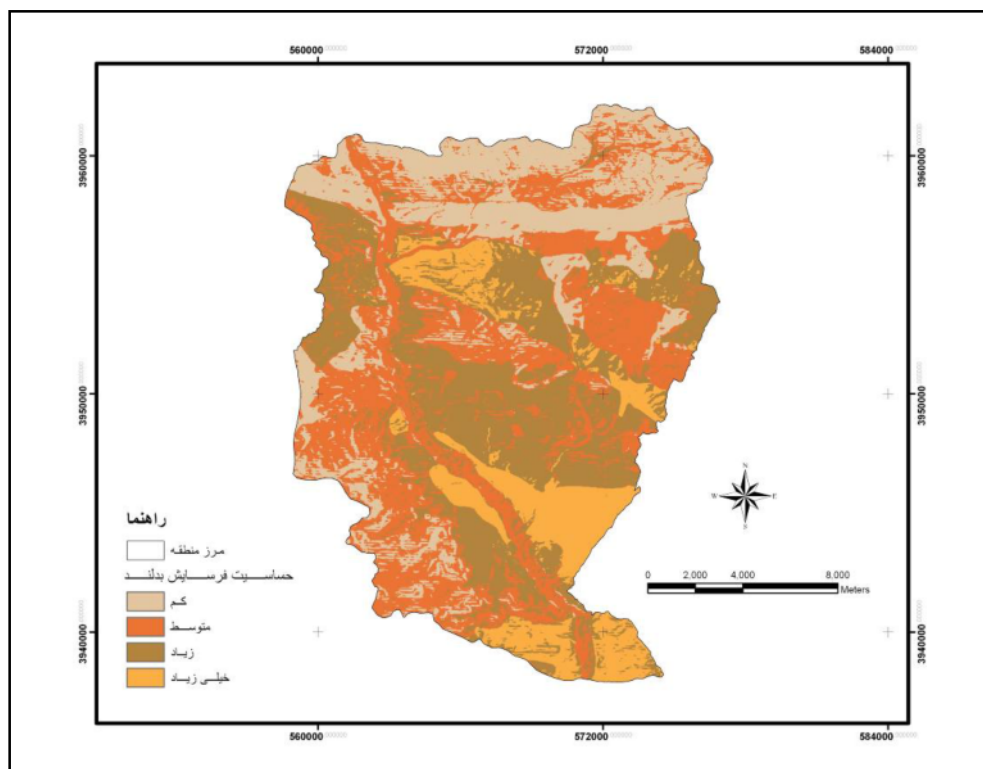
شکل ۵: پراکنش بدلدند در جهت‌های مختلف



شکل ۶: پراکنش بدلدند در کاربری‌ها و پوشش گیاهی منطقه



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی فرسایش بدلدند در منطقه با استفاده از مدل نسبت فراوانی



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی فرسایش بداند در منطقه با استفاده از مدل عامل اطمینان

### نتیجه‌گیری

بررسی پیشینه‌ی تحقیق در زمینه فرسایش نشان داد که در ایران بیشتر به فرسایش آب‌کندی (خندقی) اهمیت داده شده و به اشکال دیگر آن مانند فرسایش بداند به صورت جداگانه توجهی نشده است. در این تحقیق ارتباط عوامل سازنده‌ی زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت دامنه و پوشش گیاهی و کاربری اراضی با فرسایش بداند در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همپوشانی نقشه پراکنش بداندها با لایه‌های عوامل مؤثر در منطقه و استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان نشان داد که سازنده‌های زمین‌شناسی گل‌سنگ، مارن و گچ، کنگلومرای قرمز، لاتریت و شن و قلوه‌سنگ با طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۴۰۰ متر، شیب ۱۰-۵ درصد، جهت دامنه‌ی غربی و پوشش گیاهی و کاربری پارک خجیر دارای ضریب فراوانی بالاتری بوده و در نتیجه بیشتر از دیگر طبقه‌های عوامل مؤثر هستند، به طوری که بیشترین حساسیت را به فرسایش بداند دارند.

ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش بداند و مقایسه‌ی مدل‌ها با استفاده از روش احتمال تجربی و رابطه (۵) صورت گرفته است. در این رابطه یک‌سوم از بداندهای منطقه که در مدل‌سازی و پهنه‌بندی استفاده نشده را با نقشه‌های پهنه‌بندی قطع داده و پراکنش بداندها در رده‌های مختلف حساسیت فرسایش محاسبه گردید و با استفاده از رابطه (۵) میزان دقت مدل‌ها محاسبه شد. میزان احتمال تجربی (P) برای مدل نسبت فراوانی ۰/۹۳ و برای مدل عامل اطمینان ۰/۹۹ به دست آمد که حاکی از مناسب بودن مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق برای پهنه‌بندی فرسایش بداند در منطقه است. اما در مقایسه، با توجه به این که ۹۹ درصد از پراکنش بداندهای مورد نظر برای ارزیابی در مدل عامل اطمینان در مناطق با حساسیت خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند، این روش پهنه‌بندی مناسب‌تر است. این نتیجه با نتایج تحقیقات محمدی و همکاران (۱۳۸۸) مبنی بر دقت بیشتر مدل عامل اطمینان از مدل‌های دیگر پهنه‌بندی همخوانی دارد.

با توجه به وجود محدودیت‌ها و تنگناهای بستر توسعه در مناطق با فرسایش بدند پیشنهاد می‌شود که بیشترین اقدامات حفاظتی و قرق مراتع در مناطقی صورت گیرد که در نقشه‌ی پهنه‌بندی حاصل از این تحقیق با استفاده از مدل عامل اطمینان به‌عنوان پهنه‌های با خطر حساسیت خیلی زیاد تعیین و مشخص شده است.

## منابع

- اسدی، حسین، مجید وظیفه دوست، سیدعلی موسوی و محدثه هنرمند، ۱۳۸۹، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح‌شده، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در حوزه آبخیز ناورد، ارائه دستاوردهای پژوهشی شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان، صص. ۱۳-۱.
- باقرزاده، علی، محمدرضا منصورى دانشور و پرویز منصورى دانشور، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی خطر فرسایش و درجه رسوب‌دهی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، دومین همایش ملی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، فضای جغرافیایی، رویکرد آمایشی و مدیریت محیط. اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.
- رفیعی، محبوبه، مجتبی رحیمی، ناصر حافظی مقدس و غلامحسین کرمی، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی خطر فرسایش در شمال غرب سرخس با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- عرب قشقای، زهرا، داود نیک کامی و شادفر، صمد، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز طرود فیروزکوه، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال هشتم، شماره ۳۱، صص. ۱۱۹-۱۰۷.
- فاطمی عقدا، محمود، جعفر غیومیان و عقیل اشقلی فراهانی، ۱۳۸۲، ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، شماره ۱۲، صص. ۴۷-۲۸.
- کرمی، فریبا، مریم بیاتی خطیبی و داود مختاری، ۱۳۸۶، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای مواد در حوضه آبریز اوجان چای، جغرافیا و توسعه، شماره ۹، صص. ۱۲۴-۱۰۷.
- محمدی، مجید، حمیدرضا مرادی، سادات فیض نیا و حمیدرضا پورقاسمی، ۱۳۸۸، ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (بررسی موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۲، شماره ۴، صص. ۵۵۱-۵۳۹.
- مقیمی، ابراهیم، سیدکاظم علوی پناه و تیمور جعفری، ۱۳۸۷، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص. ۷۵-۵۳.
- یمانی، مجتبی و محمد اکبریان، ۱۳۹۲، تأثیر ویژگی‌های رسوب‌شناسی در توسعه فرسایش تونلی در سازند فلیش مکران، (مطالعه موردی: محدوده شهرستان جاسک)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۷، صص. ۱۷-۱.
- Azam, Sh., Khan, F., 2013, *Geohydrological properties of selected badland sediment in Saskatchewan, Canada*, *Bulletin of Engineering Geology and the Environmental (Springer linke)*.
- Ballesteros, J.A., Bodoque, J.M, Lucia, A., 2012, *Dendrogeomorphology in badland: methods case studies and prospects*, (Elsevier), PP. 1-10.
- Binaghi, E., Luzi, L., Maadella, P., Pergalani F., Rampini, A., 1998, *Slope instability donation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster-shafer approaches*, *Natural Hazard*, No. 17, PP. 77-97.
- Ghosh, S., Bhattachrya, K., 2012, *Multivariate erosion risk assessment of lateritic badlands of Birbhum (A case study: West Bengal, India)*. *J. Earth Syst. Sci.* 121, No. 6, PP. 1441-1454.
- Grubin, M. K., Bryan, R., 2006, *Lithological properties and weathering response on badland hillslopes*. (Elsevier), PP. 68 – 78.
- Katharina, A., 2006, *Characterisation of badlands and modeling of soil erosion in the isabena watershed NE Spain*, PP. 1-84.

- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., Li, R. H., 2004, **Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China**. *Engineering Geology*, No. 76, PP. 109-128.
- Lee, S., Sambath, T., 2006, **Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models**. *Environmental Geology*, No. 50, PP. 847-855.
- Lee, S., 2004, **Application of frequency ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS**. *Environmental Management*, 34(2), PP. 223-232.
- Pradhan, b., Lee, s., 2010, **Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling**, *Environmental Modelling*, No. 25, PP. 747-759.
- [Romero](#), E. N., Serrano, Sergio M. V., Jimenez, I., 2012, **Assessment of badland dynamics using multi-temporal Landsat imagery: An example from the Spanish Pre-Pyrenees**. *Elsivier, Catena*, PP. 1-11.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu, T., 2011, **A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey**, *Catena*, No. 85, PP. 274-287.