

## بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز آبگلال (استان خوزستان) با استفاده از مدل فازی

فریبا همتی\* - دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸      تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

### چکیده

در این پژوهش مناطق مستعد خطر زمین لغزش در حوضه آبریز آبگلال با استفاده از مدل منطق فازی مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از مطالعات میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور مطالعات صورت گرفته در این زمینه و همچنین بررسی شرایط موجود در منطقه هشت عامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و بارش به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش بررسی شد و بعد از مرحله فازی‌سازی، نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از عملگر گامای فازی با مقادیر ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ تهیه شد. نتایج حاصل از جمع کیفی نشان داد که عملگر گامای ۰/۹ فازی در مقایسه با دیگر عملگرهای فازی مناسبتر است. در نهایت نقشه بدست آمده با ۵ کلاس بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم طبقه‌بندی شد. نتایج تحقیق نشان داد که ۰/۱۶ از مساحت منطقه در پهنه با خطر بسیار زیاد و ۹۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه با خطر بسیار کم قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: حوضه آبریز آبگلال، منطق فازی، پهنه‌بندی زمین لغزش، شاخص جمع کیفی.

## مقدمه

ایران با داشتن توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط بسیار متنوع اقلیمی و زمین‌ساختی شرایط مساعدی برای بروز پدیده زمین‌لغزش دارد. اهمیت آن در مناطق نزدیک به سکونتگاه‌ها و تأسیسات انسانی بیشتر احساس می‌شود (عرب عامری و حلبیان، ۱۳۹۴). به منظور کاهش خسارات؛ شناسایی و پهنه‌بندی نواحی حساس به زمین‌لغزش ضروری است. از آنجا که تهیه حساسیت زمین‌لغزش به طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارت‌های جانی و مالی ناشی از زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد. پهنه‌بندی صحیح و اصولی خطر زمین‌لغزش و عوامل مؤثر در آن می‌تواند در تصمیم‌گیری برای مهار و کنترل و کاهش خسارات ناشی از آن مفید و مؤثر باشد (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۳). در راستای اجتناب از خطر، در بین همه خطر‌ها و حوادث طبیعی گسیختگی شیب‌ها، شاید به طور مستقیم قابل سنجش‌ترین نوع خطر باشد. در این پژوهش هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز آگللال است. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های کارون بزرگ می‌باشد که مناطق مسکونی زیادی در آن قرار دارند و همچنین هر ساله در این منطقه شاهد افزایش مناطق مسکونی هستیم. از سوی دیگر این حوضه بواسطه داشتن ویژگی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی، اقلیمی خاص (نظیر: شیب‌های تند، سازندهای متناوب سست و سخت، ساختارهای آهکی، بارش‌های رگباری، رودخانه‌های طغیانی، گسل‌های متعدد، افت سطح آب‌های زیرزمینی) و تغییر در کاربری‌های اراضی از گذشته تا به امروز در معرض مخاطرات طبیعی گوناگونی قرار داشته است، وقوع سیلاب‌های بزرگ، زمین‌لغزش، خندق‌زایی، فرسایش خاک، فرونشست از مهمترین مخاطرات هیدروژئومورفولوژیکی تهدید کننده این حوضه هستند. در این پژوهش خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفته است تا بتواند با ارائه راه حلی مناسب گامی مؤثر در جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی در این محدوده بردارد. بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داد که تا کنون مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره شده است:

سوری و همکاران (۱۳۹۲)، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه چم‌سنگر از عملگرهای منطق فازی استفاده کردند و نتایج مطالعات آنها نشان داد که عملگر گامی ۰/۹ روش کارآمدتری نسبت به عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی برای تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوزه چم‌سنگر می‌باشد. روستایی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نازلوچای با استفاده منطق فازی پرداختند. نتایج حاصل از معادله QS (شاخص جمع کیفیت برای مقایسه کارایی مدل‌ها) نشان می‌دهد که عملگر گامی ۰/۷ در مقایسه با دیگر عملگرهای فازی مناسبتر است. حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۸)، به تهیه نقشه زمین‌لغزش‌ها با استفاده از کارهای میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در کوه باقران پرداختند. براساس نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را با پراکنش زمین‌لرزه در منطقه دارد طوری که ۴۲ درصد منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لرزه قرار دارد. در پایان پس از تلفیق نقشه‌های حاصل از زمین‌لغزش و زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را دارد که به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۱۹، ۰/۲۲، ۰/۲۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۲ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش قرار دارد. نوجوان و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از نقاط لغزشی برداشت شده از حوضه آبخیز، اقدام به شناسایی پهنه‌های لغزش در منطقه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که اپراتور فازی گامی ۰/۸ با ۶/۴۴ بالاترین مقدار QS را در میان سایر اپراتورهای فازی دارد. حجازی و نجف‌وند (۱۳۹۹)، با استفاده از مدل منطق فازی مناطق مستعد لغزش در شهرستان پاره را شناسایی کردند. نتایج به دست آمده بیانگر این است که شهر پاره به دلیل وجود خطوط گسلی، شبکه رودخانه، راه ارتباطی و شیب زیاد داری پتانسیل بالایی در جهت وقوع لغزش هستند. همچنین بخش‌های عمده‌ای از مناطق جنوب و جنوب‌غربی شهرستان نیز پتانسیل بالایی جهت حرکات لغزشی دارند. مجموعه‌ای از عوامل فوق بیانگر پتانسیل منطقه جهت وقوع حرکات دامنه‌ای به‌خصوص لغزش

است. سابویا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن‌دهی نماید بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید. چامپاتی ری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، به ارزیابی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله‌خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما برای تهیه نقشه زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۹۸ بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. اکسوی و ارکانگلو<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای برای تشخیص نواحی حساس به زمین لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین لغزش‌های این ناحیه استفاده نموده‌اند. آنها با استفاده از تکنیک جداسازی و همچنین ۱۰ عامل تأثیرگذار همراه با ۷۰ زمین لغزش رخ داده به بررسی و ترسیم نقشه پهنه‌بندی منطقه پرداختند. زو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۴)، جهت انجام پهنه‌بندی زمین لغزش در چین، از مدل منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره جستند. نتایج مطالعات نشان داد که دقت این مدل در پهنه‌بندی زمین لغزش بسیار بالا بوده و منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین لغزش به ۴ طبقه حساسیت تقسیم شده است. لئوناردی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخش‌هایی از شبکه جاده‌ای در منطقه رگیو کالابریا در ایتالیا با استفاده از منطق فازی در محیط GIS پرداختند و در نهایت منطقه مورد از نظر حساسیت به پنج گروه طبقه‌بندی شد. دیانوفال و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۸) در منطقه رسوبی آتشفشانی در غرب بوگور واقع در اندونزی به بررسی حساسیت به زمین لغزش با استفاده از منطق فازی پرداختند. تقریباً همه زمین لغزش رخ داده در اندونزی، به ویژه در جاوا غربی، در مناطقی با رسوب آتشفشانی بوده است و برخی از آنها در منطقه بوگور رخ داده‌اند. فاکتورهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: لیتولوژی، ساختارهای زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی و با استفاده از روش میدانی به جمع‌آوری ساختار زمین‌شناسی و داده‌های سنگ‌شناسی پرداختند. نتیجه نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه به سه منطقه مستعد لغزش تقسیم شده است.

## روش تحقیق

### معرفی منطقه

حوضه آبریز آبگلال در جنوب غربی ایران در استان خوزستان واقع شده است و یکی از زیرحوضه‌های رود زرد می‌باشد. محدود مود مطالعه در مختصات بین ۵۲° ۴۹ تا ۵۰° ۰۵ درجه طول شرقی و ۳۰° ۳۱ تا ۴۰° ۳۱ درجه عرض شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۵۶/۸۹ کیلومترمربع است و در محدوده ارتفاعی بین ۶۴۷ تا ۲۹۴۷ متر قرار گرفته است. رودخانه اصلی حوضه آبریز آبگلال به نام رودخانه گلال معروف است که این رودخانه پس از عبور از داخل باغملک و پیوستن به رودخانه ابوالعباس، در نهایت به رود زرد می‌ریزد و رودخانه نیز پس از پیوستن به رودخانه اعلا و مارون و تشکیل رودخانه رودخانه مارون - جراحی به خلیج فارس می‌ریزد. قدیمی‌ترین سازند دارای سن تریاس (سازند خانه کت) و جوانترین سازند دارای سن نئوژن و یا جوانتر (سازند بختیاری) می‌باشد. رسوبات دوران چهارم یا کواترنری نیز در نقاط مختلف حوضه دیده می‌شود (سازمان زمین‌شناسی، ۱۹۶۶).

1. Sabuya et al.

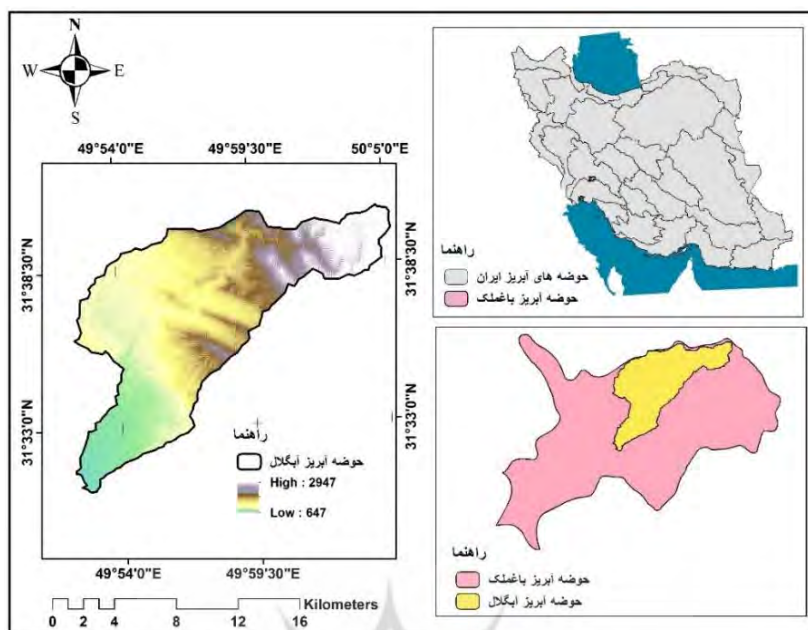
2. Champati-ray et al.

3. Aksoy & Ercanoglu.

4. Zhu et al.

5. Leonardia et al.

6. Dhianaufal et al.



شکل ۱: مختصات و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### منابع داده‌ها و ابزارها

ابزارهای فیزیکی که در این پژوهش مورد استفاده شده قرار گرفتند شامل: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (نقشه‌های ده‌لو و آسماری)، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (II 5953، III 6053)، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، داده‌های بارش سازمان هواشناسی می‌باشد. اندازه‌گیری اشکال و همچنین اندازه‌گیری پارامترهای ژئومورفولوژی در نرم‌افزار GIS صورت گرفت. در نهایت جهت بررسی مخاطره ژئومورفولوژی زمین‌لغزش در گستره مورد تحقیق از نرم‌افزار Erath Google استفاده شده است.

### منطق فازی

نظریه مجموعه فازی ابزارهای مهم فراهم می‌آورد که می‌توان به وسیله آن‌ها نحوه استدلال و تصمیم‌گیری انسانی را صورت‌بندی ریاضی بخشید و از این الگوها در زمینه‌های مختلف علوم استفاده کرد (طاهری، ۱۳۸۱). روش فازی احتمال عضویت یک پیکسل را به مجموعه‌های فازی با توجه به تابع عضویت فازی ارزیابی می‌کند. مجموعه‌های فازی فاقد مرز مشخص هستند و عضویت یا عدم عضویت یک مکان در مجموعه‌ای خاص به صورت تدریجی است (وانگ، ۱۳۹۵). برای تعریف مجموعه‌های فازی دو روش متداول وجود دارد. یکی تعریف تابع عضویت به فرم تابعی و دیگری معرفی عددی تابع عضویت. در تعریف تابعی درجه عضویت به صورت یک تابع ارائه می‌گردد و در تعریف عددی به مقادیر گسسته درجه عضویت خاص نسبت داده می‌شود. انتخاب درجه عضویت بر اساس یک روش ذهنی صورت می‌گیرد (فرجی و آذر، ۱۳۹۵). به طور کلی یک مجموعه فازی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

اگر  $X$  مجموعه‌ای از اشیاء باشد که هر یک از عناصر آن به صورت کلی با  $X_i$  نشان داده شود آنگاه یک مجموعه فازی  $A$  در  $X$  به شکل زوج‌های مرتب به شکل زیر نشان داده می‌شود:

$$A = \{X, \mu_{\tilde{A}}(X) / X \in X\} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن  $X$  را مجموعه مرجع یا عالم می‌نامند و  $\mu_{\tilde{A}}(X)$  نیز تابع عضویت  $X$  نامیده می‌شود که هر عنصری در  $X$  را به یک مجموعه عضویت با مقادیر پیوسته بین صفر و یک می‌برد. توابع عضویت نیز معرف میزان درجه‌ای است که شخص به هر یک از عناصر مجموعه فازی نسبت می‌دهد. تابع عضویت در حقیقت نشان‌دهنده توزیع و پراکندگی اعداد حول یک

عدد خاص یا مورد نظر است. برای مثال، عدد تقریباً B می‌توان از اشکال مختلفی نظیر مثلثی، ذوزنقه، منحنی نرمال برای توزیع اعداد جانبی استفاده نمود (طاهری، ۱۳۸۱).

### ارزیابی روش‌های آماری

در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، از روش‌های آماری جهت ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر استفاده می‌شود. استفاده از شاخص‌های نسبت تراکم (Dr)، به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (QS) برای مقایسه روش‌ها نسبت به هم کاربرد دارند، به عبارت دیگر، شاخص مجموع کیفیت و دقت، مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی و شاخص نسبت تراکم، دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند (گوزتی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰).

برای تعیین مجموع کیفیت ابتدا باید نسبت تراکم (Dr) محاسبه گردد. از شاخص نسبت تراکم برای ارزیابی توانایی مدل در تشخیص طبقه خطر استفاده می‌شود. هر چه تفکیک بین طبقه‌های خطر بهتر باشد، مدل تواناتر است (مرزبانی و همکاران، ۲۰۱۶). پس از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مدل‌های مختلف با نقشه پراکنش زمین لغزش-های منطقه، اگر درصد سطح گسیختگی در طبقه‌های با خطر زیاد بیشتر باشد و روند توزیع درصد گسیختگی، از طبقه‌های کم خطر به سمت طبقه‌ای با خطر زیاد افزایش یابد و روند آن صعودی باشد بیانگر این است که مدل به کار برده شده در پهنه‌بندی خطر مناسب است. اگر این روند نزولی یا تقریباً یکسان باشد، نشان‌دهنده کارایی ضعیف مدل است (مصفايي و همکاران، ۲۰۰۹). شاخص آماری نسبت تراکم در قالب رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (گی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱):

$$Dr = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i}} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این رابطه،  $S_i$ : مجموع مساحت زمین لغزش‌های واقع در هر رده خطر،  $A_i$ : مساحت پهنه خطر هدف در یک نقشه پهنه‌بندی،  $\sum S_i$  مجموع کل مساحت‌های زمین لغزش‌ها در حوضه آبریز،  $\sum A_i$  مساحت کل حوضه آبریز می‌باشد. هر چه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت (QS) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین لغزش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص در روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (QS) بیشتر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از رابطه (۳) بدست می‌آید (گی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱):

$$QS = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{معادله (۳)}$$

QS: مجموع کیفیت، Dr: نسبت تراکم، S: نسبت مساحت هر رده خطر نسبت به مساحت کل منطقه، n: تعداد کلاس خطر.

### بحث و یافته‌ها

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط لغزشی، پراکندگی این نقاط به نه عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی (طبقات ارتفاعی، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، بارش، کاربری اراضی، لیتولوژی) در ۵ کلاس

<sup>1</sup>. Guzzetti et al.

<sup>2</sup>. Gee.

طبقه‌بندی شد و بر اساس درجه حساسیت نسبت به زمین‌لغزش به هر کدام از طبقات امتیاز بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد بدین صورت که امتیاز ۵ به طبقه‌ای داده شد که بیشترین حساسیت را به زمین‌لغزش داشت. برای تعیین ارتباط زمین‌لغزش‌ها با عوامل مؤثر در وقوع آن و نیز تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش زمین‌لغزش تلفیق گردید. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، لایه‌های اطلاعاتی ذیل تشکیل و آماده‌سازی بانک اطلاعاتی به کار گرفته شده است:

### لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در پژوهش

#### • نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، موقعیت‌ها و خصوصیات زمین‌لغزش‌های گذشته را نشان می‌دهند. این دامنه‌های ناپایدار با شرایط زمین‌شناسی، توپوگرافی و اقلیمی در ارتباط است، بنابراین، اغلب می‌تواند پیش‌بینی موقعیت‌ها و شرایط زمین‌لغزش‌های آینده را تسهیل نماید (لی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). اولین مرحله در تجزیه و تحلیل حساسیت به زمین‌لغزش شناسایی صحیح محل نقاط لغزشی می‌باشد. در ناحیه مورد مطالعه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت نقاط لغزشی بر اساس مطالعات میدانی، اطلاعات سازمان منابع طبیعی و تصاویر Google Earth تهیه شد.

#### • طبقات ارتفاعی

برای تهیه نقشه طبقات ارتفاعی مدل رقومی ارتفاع سازمان نقشه‌برداری مورد استفاده قرار گرفت و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. این حوضه دارای اختلاف ارتفاعی ۲۳۰۰ متر است به طوری که ارتفاع زمین در بلندترین منطقه ۲۹۴۷ متر و در خروجی حوضه ۶۴۷ متر می‌باشد. شرایط طبیعی آن از نظر میزان بارش دریافتی، نوع بارش، روزهای یخبندان، درجه شیب و غیره با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند. نقشه (۲) طبقات ارتفاعی در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی پراکنندگی زمین‌لغزش نسبت به نقشه ارتفاع نشان می‌دهد که بیشترین تعداد زمین‌لغزش‌ها در ارتفاع ۱۰۰۰-۶۴۷ متر رخ داده است.

#### • شیب

جهت بررسی رابطه بین عامل شیب با رویداد زمین‌لغزش لایه شیب بر اساس درجه در ۵ کلاس تهیه گردید. نقشه (۳) شیب در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی پراکنندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به نقشه شیب نشان می‌دهد که بیشترین تعداد زمین‌لغزش‌ها در شیب ۱۴-۰ درجه رخ داده است.

#### • جهت شیب

نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در ۸ طبقه تهیه گردید (شکل ۴). بررسی عامل جهات جغرافیایی نسبت به پراکنندگی زمین‌لغزش نشان می‌دهد که این جهات تأثیرات مختلفی بر وقوع زمین‌لغزش‌های دامنه‌ای دارند. در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بیشترین حساسیت زمین‌لغزش در جهت جنوب می‌باشند.

#### • فاصله از رودخانه

آب‌هایی که بر سطح دامنه (رواناب‌ها) و آب‌هایی که در بین مواد نفوذ می‌کنند از عوامل تحریک کننده مواد دامنه‌ای هستند. هر جایی که شیب دامنه‌ها افزایش زیادی داشته باشد و جنس سازندها نیز مناسب باشد، آبراهه‌ها با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد انواع حرکت‌های زمین‌لغزش، مخصوصاً لغزش نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. نقشه فاصله از رودخانه در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌ای ۵ طبقه‌ای جای گرفته است (شکل ۵). نتایج بدست آمده از بررسی نقشه پراکنندگی زمین‌لغزش نسبت به آبراهه نشان می‌دهد که ۹۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۰-۴۴۱ متری از رودخانه قرار گرفته است. چون فرسایش کنار رودخانه‌ای باعث به هم خوردن تعادل شیب است و به هم خوردن این تعادل به شدت باعث زمین‌لغزش شده است.

<sup>۱</sup>. Lee

### • فاصله از گسل

معمولاً با دور شدن از گسل‌های اصلی تأثیر زمین لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع زمین لغزش نیز کمتر می‌شود، لذا می‌توان برحسب فاصله از گسل‌ها انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع زمین لغزش را نشان داد. برای ایجاد نقشه گسل‌های منطقه از فایل رقومی گسل‌های نقشه زمین‌شناسی استفاده شد و گسل‌های منطقه از درون آن استخراج گردیده است. برای این منظور نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۵ کلاس تهیه گردیده است (شکل ۶). بررسی پراکندگی زمین لغزش نسبت به گسل اصلی در منطقه نشان می‌دهد بیشترین زمین لغزش‌ها در فاصله ۵۲۲۰-۸۰۱۹ متری از گسل وجود دارد.

### • بارش

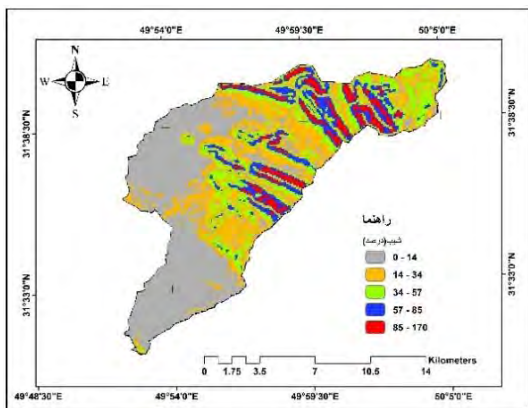
جهت بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی محدوده مورد مطالعه نقشه بارندگی با استفاده از داده‌های بارندگی ۱۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۱۰) ایستگاه‌های ایزده (سینوپتیک)، رامهرمز، دهدز، هفتگل و مال آقا (بارانسنجی) تهیه شد (شکل ۷). محدوده مورد مطالعه با اکتساب ۵ کلاس بارندگی دارای میزان حداکثر ۵۳۸ میلیمتر و حداقل ۵۰۰ میلیمتر بارش سالیانه است. طبق تحلیل‌های انجام گرفته، وقوع زمین لغزش در مناطقی با کلاس بارشی سالیانه ۵۰۵-۵۰۰ میلیمتر، بیشتر از سایر نواحی است.

### • کاربری اراضی

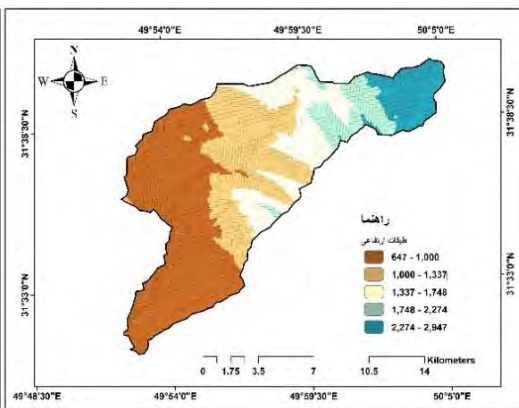
منظور از کاربری نوع و نحوه استفاده از زمین در حال حاضر است به طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات محیطی، به ویژه ایجاد و تشدید حرکت‌های دامنه‌ای ایفا می‌کند و انواع مختلف کاربری‌ها عملکردهای متفاوتی در زمین لغزش دارند. به منظور تعیین کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه از اطلاعات نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری استان خوزستان استفاده شد. یازده نوع کاربری اراضی در منطقه شناسایی شد (شکل ۸). بیشترین حساسیت به زمین لغزش در مرتع با تاج پوشش متوسط وجود دارد.

### • لیتولوژی

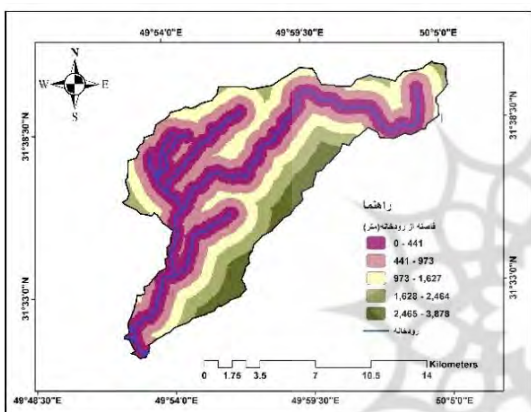
بررسی نوع لیتولوژی هر منطقه یک نوع بستر تشکیل حرکت‌های دامنه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور تهیه نقشه لیتولوژی، از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید و واحدهای لیتولوژی بر این اساس تعریف گردید. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط پیروان و همکاران (۱۳۹۲) مقاومت هر یک از واحدهای سنگی و حساسیت آن‌ها در برابر فرسایش نیز تعیین شد. سنگ‌ها از نظر فرسایش پذیری در رده‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که در محدوده مورد مطالعه، سنگ‌ها در پنج گروه لیتولوژیکی جای گرفته‌اند (شکل ۹). بسیار مقاوم (سازند سروک، سازند کژدمی)، متوسط (سازند بختیاری، سازند فهلیان داریان، سازند سورمه، سازند پابده)، سازند متوسط تا ضعیف (سازند گچساران، سازند آسماری)، سازند بسیار ضعیف (سازند پابده، سازند گورپی، سازند کواترنری). در بسیاری از زمین لغزش‌ها نوع مواد درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع زمین لغزش می‌باشد و تقریباً تمامی روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به نحوی در نظر گرفته‌اند. بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه لیتولوژی با نقشه زمین لغزش منطقه نشان می‌دهد که بیشترین زمین لغزش در رده مقاومتی بسیار ضعیف (۴۵ درصد) رخ داده است.



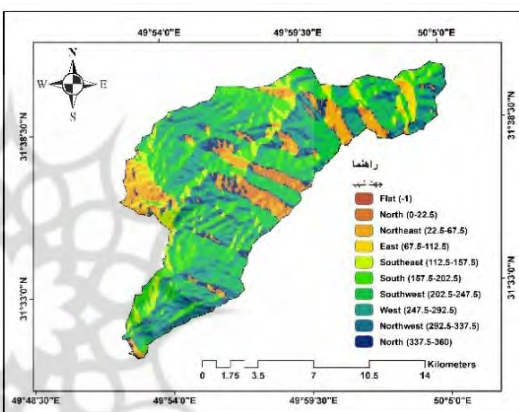
شکل ۳: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



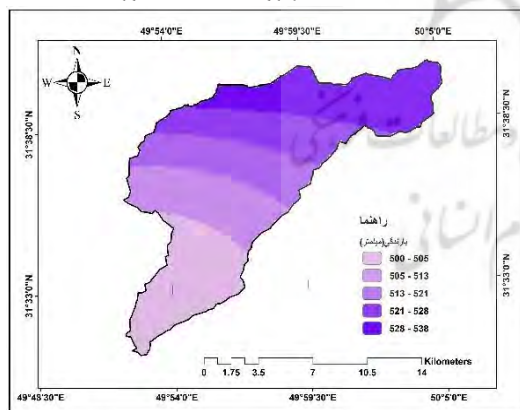
شکل ۲: نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



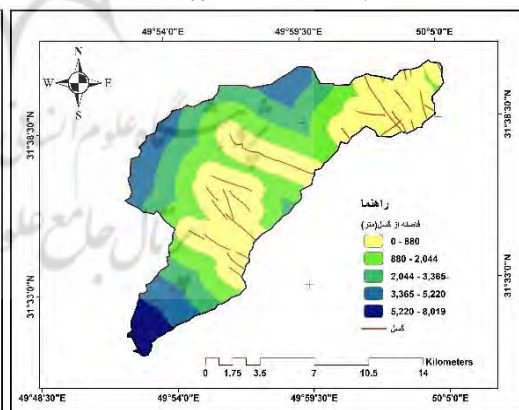
شکل ۵: نقشه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه جهت دامنه منطقه مورد مطالعه

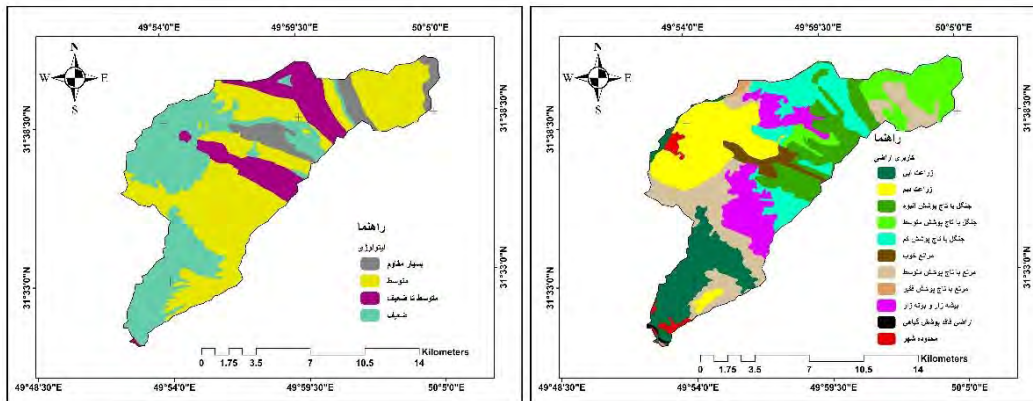


شکل ۷: نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



شکل ۶: نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه





شکل ۹: نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

شکل ۸: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

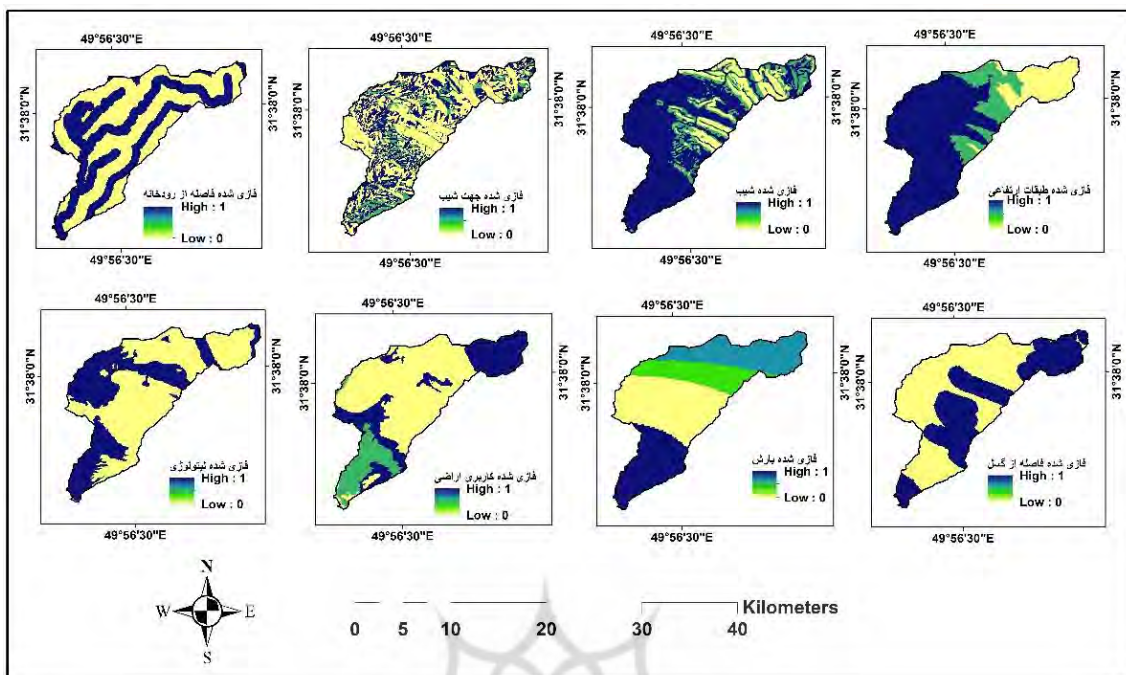
### نقشه پهنه‌بندی

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فازی در محیط GIS نقشه‌های عوامل مختلف به نقشه‌های فازی تبدیل گردید (شکل ۱۰). برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی، عملگر دیگری به نام گامای فازی معرفی شده است که حد فاصل ضرب و جمع جبری فازی می‌باشد. عملگر فازی گاما، حالت کلی عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهش و افزایشی را همزمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی دو عملگر ضرب و جمع فازی باشد. این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum} * \text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از گامای فازی و  $\gamma$  پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است. وقتی  $\gamma$  برابر با ۱ باشد ترکیبی که اعمال می‌شود همان جمع جبری فازی و زمانی که  $\gamma$  برابر صفر باشد ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح  $\gamma$  مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهش‌ی ضرب جبری فازی سازگاری دارد.

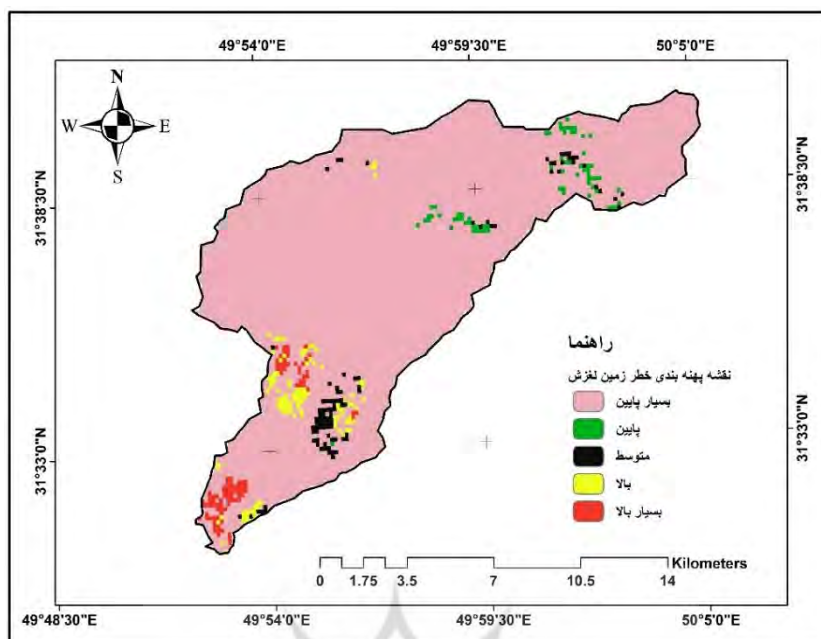
نتیجه حاصله از انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد. در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به فرآیندهای دامنه‌ای به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم شده است. در این پژوهش نقشه‌های خطر زمین لغزش با اپراتور گامای فازی با مقادیر ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ محاسبه شده است، در نهایت باید از میان گاماهای مختلف بهترین گاما را جهت ارزیابی نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش انتخاب نمود. با توجه به نتایج بدست آمده از ارزیابی این نقشه‌ها که با استفاده از روش شاخص جمع کیفی انجام شد (جدول ۱)، نقشه خطر با گامای ۰/۹ که دارای بالاتری میزان شاخص جمع کیفی (۱۴/۸۸۲) است، بیشترین دقت و صحت را در منطقه مورد مطالعه دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱: نقشه فازی مربوط به معیارهای مورد استفاده در پژوهش

جدول ۱: ارزیابی مجموع کیفیت (Qs) روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

مدل پهنه‌بندی	کلاس خطر	مساحت پهنه به کیلومتر مربع (Ai)	سطح لغزش در هر کلاس (Si)	نسبت تراکمی (Dr)	درصد مساحت (S)	Qs در هر رده
گامای ۰/۷	بسیار	۲/۳۷	۴۵	۲۹/۴۳	۰/۰۱۵	۱۲/۱۲
	بالا	۲/۳۰	۰	۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴
	متوسط	۲/۳۸	۰	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
	پایین	۱/۸۳	۱۷	۱۴/۴۰	۰/۰۱۱	۱/۹۷
	بسیار	۱۴۶/۱۰	۳۸	۰/۴۰	۰/۰۹۴	۰/۳۳
	جمع	۱۵۵/۰۱	۱۰۰			۱۴/۴۴۹
گامای ۰/۸	بسیار	۲/۴۱	۴۵	۲۸/۹۴	۰/۰۱۵	۱۱/۷۰
	بالا	۲/۵۴	۰	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶
	متوسط	۲/۰۹	۰	۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳
	پایین	۱/۷۰	۱۷	۱۵/۵۰	۰/۰۱۰	۲/۱۰
	بسیار	۱۴۶/۲۵	۳۸	۰/۴۰	۰/۰۹۴	۰/۳۳
	جمع	۱۵۵/۰۱	۱۰۰			۱۴/۱۵۹
گامای ۰/۹	بسیار	۲/۵۲	۰	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶
	بالا	۲/۵۷	۰	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶
	متوسط	۲/۱۴	۴۵	۳۲/۶۰	۰/۰۱۳	۱۲/۹۸
	پایین	۱/۵۴	۱۴	۱۴/۰۹	۰/۰۰۹	۱/۵۴
	بسیار	۱۴۶/۲۳	۳۸	۰/۴۰	۰/۰۹۴	۰/۳۳
	جمع	۱۵۵/۰۲	۱۰۰			۱۴/۸۸۲



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز رودخانه آبگلال

پس از انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد. نتیجه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند ۰/۰۱۶ از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و ۹۴ درصد از مساحت منطقه دارای استعداد بسیار پایینی جهت وقوع زمین لغزش می‌باشد، شکل (۱۲) نمودار مساحت تحت اشغال کلاس‌های خطر را در منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: نمودار مساحت تحت اشغال کلاس‌های خطر در گامای فازی (۰/۹)

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل فازی و ارزیابی مقایسه‌ای روش آماری در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز آبگلال پرداخته شده است. پهنه‌بندی با استفاده از عملگر گامای ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ فازی صورت گرفت. برای انتخاب مناسب‌ترین پهنه‌بندی از روش جمع کیفی (QS) استفاده شد که در نهایت گامای ۰/۹ فازی با بالاترین میزان QS (۱۴/۸۸۲) برای حوضه مطلوب تشخیص داده شد و از دقت و مطلوبیت بیشتری در مقایسه با عملگر ۰/۸ و ۰/۷ فازی در جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برخوردار است. نقشه پهنه‌بندی آن در

۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین به عنوان نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱۱) و ۰/۰۱۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در پهنه خطر بسیار بالا قرار گرفته است. نتایج پژوهش با نتایج حاصل از تحقیقات مرادی و همکاران (۱۳۸۹)، سوری (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

انطباق نقشه طبقات ارتفاعی با لایه زمین‌لغزش نشان داد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات پایین (۱۰۰۰-۶۴۷ متر) ۴۵ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. چنانچه در ارتفاعات بالا فراوانی زمین‌لغزش کمتر گردد، نشان‌دهنده آن است که در منطقه عوامل دیگری همچون لیتولوژی مقاوم به لغزش می‌باشد. نتایج عامل شیب نشان می‌دهد که کلاس شیب ۱۴-۰ درجه تأثیر بیشتری نسبت به کلاس‌های دیگر شیب در وقوع فرآیندهای دامنه‌ای داشته است که ۴۵ درصد از زمین لغزش‌ها در این مساحت به وقوع پیوسته است. بررسی عامل جهت شیب نشان داده که شیب جنوب ۳۲ درصد بیشترین تراکم زمین‌لغزش را به خود اختصاص داده است. با افزایش فاصله از رودخانه میزان فرآیندهای دامنه‌ای کاهش می‌یابد. علت فرآیندهای دامنه‌ای رخ داده یا در شرف وقوع می‌تواند ناشی از مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها باشد. همچنین جریان رودخانه و شعبات آن می‌تواند باعث سستشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها شود. بررسی عامل فاصله از رودخانه نشان داد که در فاصله ۴۴۱-۰ متری بیشترین زمین‌لغزش‌ها (۹۲ درصد) به وقوع پیوسته است. بررسی ارتباط فاصله از گسل نشان داد که هر چه فاصله از گسل‌ها بیشتر می‌شود از میزان فرآیندهای دامنه‌ای کاسته می‌شود، به طوری که تا فاصله ۸۰۱۹-۵۲۲۰ متری از گسل‌ها، بیشترین میزان زمین‌لغزش (۴۵ درصد) مشاهده می‌گردد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش بارش است. متوسط بارندگی سالیانه حوضه مورد مطالعه طبق اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی ۵۱۰ میلی‌متر است اما انطباق لایه زمین‌لغزش با نقشه بارندگی نشان داد که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در محدوده بارشی ۵۰۵-۵۰۰ میلی‌متری به وقوع پیوسته است (۴۵ درصد). بررسی نقشه کاربری اراضی نشان داد که زمین‌لغزش در این اراضی که به صورت مرتع با تاج پوشش متوسط هستند بیشترین زمین‌لغزش رخ داده است که دلیل آن را می‌توان به وسعت بالای این نوع کاربری (۱۷/۲۴ درصد) در منطقه مورد مطالعه نسبت داد و ۲۹ درصد از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته را به خود اختصاص داده است. اراضی مرتعی به دلیل نقش انسان در تخریب پوشش گیاهی و استفاده نادرست در معرض زمین‌لغزش قرار دارد. انطباق نقشه لیتولوژی با زمین‌لغزش‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش‌های رخ داده در سازندهای بسیار ضعیف (۴۵) بوقوع پیوسته است.

## منابع

- پیروان، ح ر؛ شریعت جعفری، م، ۱۳۹۲، ارائه روشی جامع برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی با نگرشی بر زمین‌شناسی ایران، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۵، شماره ۳، صص ۲۱۳-۱۹۹.
- حجازی، س ا؛ نجف‌وند، س، ۱۳۹۹، پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاره با استفاده از روش منطق Fuzzy، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۸۵-۳۷۶.
- حسین آبادی، م؛ موسوی، س م؛ ناظمی، م، ۱۳۹۸، پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته کوه باقران (جنوب بیرجند)، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۷، شماره ۵۵، صص ۱۷۴-۱۵۳.
- روستائی، ش؛ حجازی، س ا؛ رجبی، م؛ جلالی، ن؛ نجفی ایگدیر، ا، ۱۳۹۷، کاربرد منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نازلوچای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۶، شماره ۴، پیاپی ۲۴، صص ۱۱۹-۱۰۳.
- سازمان زمین‌شناسی، ۱۹۶۶، شرح نقشه‌های زمین‌شناسی چهارگوش هفت گل، دهلر، آسماری.
- سوری، س؛ بهاروند، س؛ فرهادی‌نژاد، ط، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه چم‌سنگر)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۴، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۳، صص ۶۰-۴۷.
- طاهری، س م، ۱۳۸۱، آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم.

- عابدینی، م؛ فتحی، م ح، ۱۳۹۳، پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، پیاپی ۸، صص ۸۵-۷۱.
- عرب عامری، ع؛ حلبیان، ا ح، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آماری دو متغیره وزنی AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی حوضه زرنند، فصلنامه جغرافیایی طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۸، صص ۸۶-۶۵.
- فرجی، ح؛ آذر، ع، ۱۳۹۵، علم مدیریت فازی، ناشر کتاب مهربان، چاپ پنجم.
- مرادی، ح. م؛ پورقاسمی، ح. م؛ محمدی، م؛ مهدوی فر، م. ر. ۱۳۸۹، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوضه آبخیز هراز)، علوم محیطی، دوره ۷، شماره ۴، صص ۱۴۲-۱۲۹.
- نوجوان، م ر؛ شاه زیدی، س س؛ داودی، م؛ امین الرعایی، ۱۳۹۸، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۴ (پیاپی ۲۸)، صص ۱۵۹-۱۴۲.
- وانگ، ل، ۱۳۹۵، سیستم‌های فازی و کنترل فازی، ترجمه داریوش افیونی، نیما صفارپور، محمد تشنه‌لب، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، چاپ اول.
- Aksoy, B., & Ercanoglu, M. (2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey), *Computers & Geosciences, Vol 38, Issue 1, pp : 87-97.*
- Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., & Sati, S.( 2007). Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, *Landslides, Vol. 4, Issue 2, pp:101 - 111.*
- Dhianaufal, D., Kristyanto, T. H. W., Indra, T. L., & Syahputra, R.(2018). Fuzzy Logic Method for Landslide Susceptibility Mapping in Volcanic Sediment Area in Western Bogor, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences 2017 (ISCPMS2017)AIP Conf.*
- Gee, M.D.(1991). Classification of landslide hazard zonation methodes and 3. .a test of predictive capability, *Landslide, Bell(ed), Balkema, Rotterdam.*
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Map: A Case Study in The Upper Tiber River Basin- Central Italy, *Environmental Management, 25, pp: 247- 263.*
- Lee S.(2004). Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS, *The Journal of Environmental Management, 34(66), pp:223-232.*
- Leonardia, G., Palamaraa, Rocco., & Cirianni, F.( 2016). Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach, *Procedia Engineering ,161, pp: 380 – 387.*
- Marzbani, M., Shirzadi, H., & Fathi, M.(2016). Landslide hazard zoning using information value model in geographic information system (GIS) case study (Dareh Shahr watershed-Simakan), *The First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises. Strategies and Challenges. (In Persian).*
- Mosafae, J., Onegh, M., & Shariat Jaffar, IM. (2009). Comparison of the efficiency of the experimental and statistical method of landslide ranger zoning (Case study of Alamoot Roud Watershed), *Journal of Water and Soil Conservation Studies, 6(4), pp: 43-61.*
- Sabuya, F., Alves, M. G., & Pinto, W. D.(2006). Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic, *Engineering Geology, Volume 86, Issue 4 , pp: 211-224.*
- Zhu, A. X., Wang, R., Qiao, J., Qin, C. Z., Chen, Y., Liu, J., Du, F., Lin, y., & Zhu, T.( 2014). An expertknowledge-based approach to landslide susceptibility mapping using GIS and fuzzy logic, *Geomorphology, 7, pp: 128-138.*