

جغرافیا و توسعه شماره ۳۷ زمستان ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۰/۱۰

صفحات: ۵۳-۷۰

## ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)

جواد میرنظری<sup>۱</sup>، دکتر هیمن شهابی<sup>۲</sup>، دکتر سعید خضری<sup>۳</sup>

### چکیده

زمین‌لغزش به دلیل ماهیت خطرناک خود در مناطق کوهستانی، معمولاً مورفولوژی را بطور ناگهانی به هم می‌زند و خسارت‌هایی عمده به مناطق مسکونی، جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره وارد می‌آورد. در این مطالعه با استفاده از مدل AHP در محیط نرم‌افزار Expert Choice و عملگرهای منطق فازی با استفاده از نرم‌افزار IDRISI به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ واقع در شمال شرقی شهرستان سرپل ذهاب واقع در استان کرمانشاه پرداخته شده است. مجموعاً ۹ معیار اصلی (کاربری اراضی، خاک، نهشته‌های سطحی، خطوط همباران، پوشش گیاهی، شیب، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و ارتفاع) مرتبط با وقوع پدیده‌ی زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفتند. از میان عوامل مذکور شش عامل زمین‌شناسی، شیب، بارش، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع به عنوان لایه‌های معنادار شناخته شدند. وزن‌دهی طبقات متغیرها با استفاده از روش نسبت فراوانی، بر اساس درصد لغزش رخ داده در هر طبقه بین ۰ و ۱ تعیین گردید. در این تحقیق به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از تابع عضویت  $\lambda$ -شکل و اپراتور فازی گاما استفاده گردید و از این نظر منطقه‌ی مطالعاتی به صورت پهنه‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، از نظر خطر رخداد زمین‌لغزش طبقه‌بندی شد. همچنین صحت نقشه‌های حاصل با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به وزن نهایی هر عامل در مدل AHP ۳۶٪ از مساحت حوضه از خطر زیاد و خیلی زیاد از لحاظ زمین‌لغزش برخوردار است. در حالی که اپراتور ۰/۷ در مدل فازی گاما حدود ۶۷٪ از مساحت حوضه را در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لغزش نشان داد. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل فازی گاما ۰/۷ از دقت بیشتری نسبت به مدل AHP در تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه برخوردار است. بنابراین مدل فازی گاما بهترین شکل نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه داده است. کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، عملگرهای فازی، حوضه‌ی آبریز پشت تنگ.

## مقدمه

زمین لغزش مانند بسیاری دیگر از پدیده‌های طبیعی از پارامترهای گوناگون، پیچیده و غالباً کیفی تأثیر می‌پذیرد. تصمیم‌گیری در مورد آنها به علت نقش و مقدار اثربخشی متفاوت هر کدام از پارامترها و همچنین یکسان نبودن معیارهای سنجش دشوار است (سفیدگری و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۷۱).

از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که در تبدیل معیارهای کیفی به کمی به کار می‌رود، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی است. در روش تحلیل سلسله مراتبی می‌توان معیارهای مختلف را دو به دو مقایسه کرد و سپس به تلفیق کلی نتایج حاصله در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخت و در نهایت مدلی ارائه داد که می‌توان از آن در مناطق مشابه استفاده کرد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳). همچنین در روش منطق فازی ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) به دست می‌آید (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳؛ مهدویفر و همکاران، ۱۳۷۶: ۱۴۵-۱۳۷). در زمینه‌ی کاربرد این مدل‌ها در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها تحقیقاتی صورت گرفته است. بدین صورت که:

مورات و کاندان<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۳، در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه‌های توانمندی زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیده‌اند که به دلیل پیچیده بودن ماهیت پدیده‌ی زمین‌لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن، استفاده از روابط فازی در تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نسبت به سایر روش‌ها بهتر واقعیت رخداد زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

کومک<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل آماری چندمتغیره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و توزیع آنها در مرکز اسلوانی نمود. نتایج نشان داد که شیب، سنگ‌شناسی و نوع پوشش گیاهی نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش بازی می‌کند.

سابویا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶)، برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریو دوژانیروی 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.

اکسوی و ارکانگلو<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای برای تشخیص نواحی حساس به زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین‌لغزش‌های این ناحیه استفاده نموده‌اند. آنها با استفاده از تکنیک جداسازی و همچنین ۱۰ عامل تأثیرگذار همراه با ۷۰ زمین‌لغزش رخ داده به بررسی و ترسیم نقشه‌ی پهنه‌بندی منطقه با کمک ۵ تابع عضویت فازی برای طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌های رخ داده بر روی تصویر سنجنده ETM<sup>+</sup> پرداختند. نتایج نشان داد که عملگر فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد.

در ایران نیز در زمینه‌ی کاربرد منطق فازی و مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعاتی صورت گرفته است که عبارتند از: بهنیافر و همکاران در سال ۱۳۸۹ با استفاده از مدل AHP و منطق فازی به منطقه‌بندی خطرات زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز فریزی در دامنه‌های شمالی کوه بینالود پرداختند. نتایج نشان داد که ارتباط قوی بین نوع سازندهای زمین‌شناسی حوضه با پهنه‌های خطر زمین‌لغزش وجود

به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیلی دقیق‌تر از نقش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه نموده است و به مراتب دقتی بیشتر در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها دارد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۶).

هدف از این پژوهش، مشخص نمودن مناطق حساس به زمین‌لغزش در حوضه آبریز پشت تنگ کرمانشاه است که به‌عنوان یکی از مستعدترین نواحی زمین‌لغزش در این استان بر اساس زمین‌لغزش‌های ثبت شده می‌باشد. این کار با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شده است. همچنین بررسی عوامل زمین‌لغزش و انتخاب بهترین مدل برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش از میان دو روش منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی هدف دیگر این تحقیق می‌باشد.

### موقعیت جغرافیایی حوضه پشت تنگ

حوضه پشت‌تنگ با مساحت ۱۳۹/۲۶ کیلومتر مربع و محیط ۵۰/۰۴ کیلومتر در قسمت شرقی شهرستان سرپل ذهاب (استان کرمانشاه) بین  $33^{\circ} 34'$  تا  $34^{\circ} 00'$  عرض شمالی و  $43^{\circ} 53'$  تا  $45^{\circ} 24'$  طول شرقی قرار گرفته است. فاصله‌ی حوضه از محل خروجی حوضه تا شهرهای سرپل ذهاب و کرمانشاه به ترتیب ۳۰ و ۱۸۰ کیلومتر می‌باشد. حوضه‌ی پشت‌تنگ از شمال به کوه چناره و کوه گاری از جنوب به حوضه‌ی آبریز پیران و زرده، از شرق به منطقه پالان علیا و از غرب به کوه گاومیشان و دشت ذهاب محدود می‌شود (شکل شماره ۱). ارتفاع متوسط حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه ۱۵۷۵ متر و شیب متوسط آن در حدود ۲۲ درصد می‌باشد. حوضه‌ی پشت تنگ در بخش زاگرس چین‌خورده واقع گردیده است.

دارد. همچنین مشخص گردید که عامل سازند فیلیتی با برخورداری از معناداری بالا همبستگی قوی‌تری با متغیر وابسته خطر زمین‌لغزش دارد.

شادفر در سال ۱۳۸۴، به پهنه‌بندی حوضه‌ی چالکرو در استان مازندران با استفاده از عملگرهای منطق فازی اقدام نمود. صحت نقشه‌ها با استفاده از نمایه جمع کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج نشان داد که عملگر فازی گامای ۰/۸ مناسب‌ترین عملگر جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. تنگستانی<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) در پژوهشی تحت عنوان مقایسه‌ی مدل‌های فازی و دامپستر- شافر برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش در کوهستان‌های جنوب غرب ایران (زاگرس) با استفاده از ۵ عامل سنگ‌شناسی، عمق خاک، پوشش زمین، جهت و زاویه شیب نقشه حساسیت این منطقه را به‌وسیله‌ی سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه کرده است. مدل دامپستر- شافر<sup>۲</sup> نیز تطابق خوبی با پراکندگی زمین‌لغزش‌های کنونی نداشت.

شهابی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی زاب مرکزی در جنوب غربی استان آذربایجان غربی با استفاده از ۸ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و همچنین مجموعه‌های فازی اقدام نمودند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف با توجه به طبقه‌بندی‌های صورت گرفته بر روی این تصاویر به شناسایی زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه‌ی مورد مطالعه اقدام شده است. همچنین از فازی گامای ۰/۸ و ۰/۹ برای نقشه‌های مختلف به‌دست آمده استفاده گردید. نتایج بررسی آنها نشان داد که فازی گامای ۰/۹ از دقت بالایی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز زاب مرکزی برخوردار است. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های انجام شده نشان داد که استفاده از مجموعه‌های فازی و مدل AHP



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی مورد مطالعه در استان و کشور

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

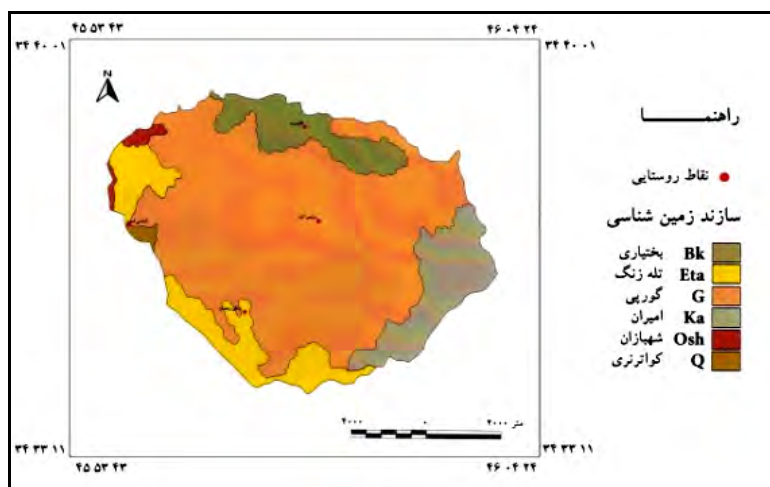
فراوانی به اراضی و مسکن روستاهای واقع در حوضه می‌شود. بدین سبب در صورت تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش حوضه‌ی آبریز پشت تنگ علاوه بر شناخت بهتر پهنه‌های مستعد، می‌توان از بروز آسیب‌های مالی و جانی جلوگیری به عمل آورد و نیز به پروژه‌های اقتصادی نظیر طرح‌های هادی روستایی، سد در حال احداث رودخانه جگیران و احداث خطوط ارتباطی روستاهای حوضه کمک نمود.

فرایندهای تکتونیکی و عوامل فرسایش هر کدام به نحوی در طول زمان و طی روندهای تدریجی و ناگهانی منجر به تولید اشکال متفاوتی در سطح حوضه گشته‌اند. حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی دارای تیپ‌های مذکور به ۷ رخساره توده سنگی، بیرون زدگی سنگی با واریزه، طبقات نامنظم سنگی، بیرون زدگی سنگی، ناحیه‌ای، دامنه منظم، فرسایش بدلندی و فرسایش ورقه‌ای تقسیم می‌شود رخساره‌های سنگی بیان شده حاصل مقاومت سنگ‌های آهکی و دولومیتی سازندهای تله‌زنگ و آسماری است (شکل شماره ۳).

بیشترین مساحت حوضه را سازند امیران در برگرفته است. سازند گورپی نیز که متشکل از مارن، فلیش و سیلت استون می‌باشد، بخش دیگری از حوضه را شامل می‌شود که منجر به ایجاد ناهمواری‌های کم شیب و تپه ماهوری در شمال شرقی حوضه شده است (شکل شماره ۲).

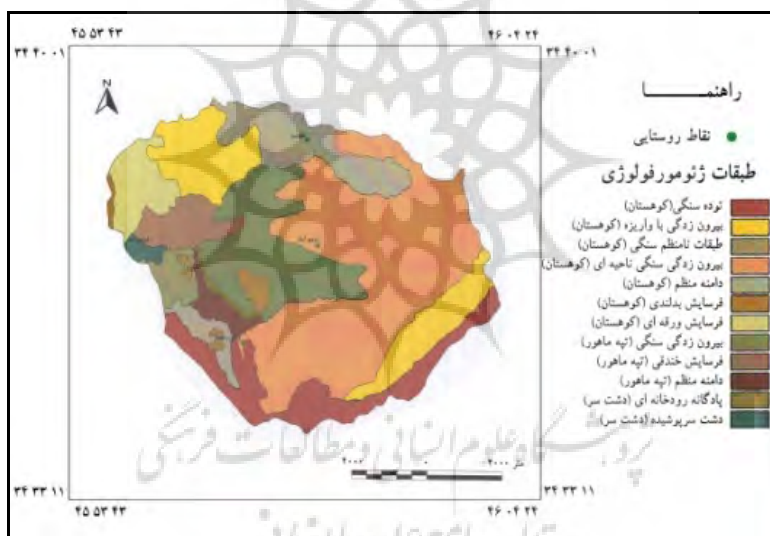
اقلیم حوضه نیمه مرطوب و سرد می‌باشد. متوسط بارش سالیانه آن ۶۰۱/۵ میلیمتر و دمای متوسط سالیانه آن نیز ۱۳/۸ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. تنها بخش‌های جنوبی حوضه از نظر پوشش گیاهی تراکم متوسطی دارند و سایر بخش‌های آن دارای پوشش فقیری است و توان حفاظت از خاک منطقه را ندارند (جباری و میرنظری، ۱۳۸۶: ۴۸).

حوضه‌ی آبریز پشت تنگ شهرستان سرپل ذهاب نیز از جمله مناطق مستعد وقوع زمین لغزش است حوضه‌ی مزبور به دلیل بافت عشایری و نحوه‌ی کاربری اراضی (چرای مفرط دام) و نیز همراهی عوامل مستعد دیگری نظیر سازندهای حساس (امیران، گورپی) شیب زیاد و بارش نسبتاً فراوان هر ساله شاهد ناپایداری دامنه‌ها است که منجر به خسارات و آسیب‌های



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز پشت تنگ

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۳: نقشه طبقات ژئومورفولوژی حوضه آبریز پشت تنگ

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

## مواد و روش‌ها

۶ متر و نرم‌افزارهای مرتبط (ILWIS, Arc GIS, IDRISI و Expert Choice) در راستای ژئورفرنس و رقومی کردن نقشه‌ها، تفسیر عوارض، تطبیق برداشت‌ها و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی و هم‌پوشانی آنها، تعیین محدوده‌های ژئومورفیک و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی نهایی با به‌کارگیری مدل فازی گاما در طول فرایند تحقیق بوده است.

مواد این مطالعه شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی محدوده‌ی مطالعاتی در مقیاس‌های مختلف و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT سال ۲۰۰۲ سنجنده ETM<sup>+</sup> سازمان فضایی ایران با قدرت تفکیک ۳۰ متر به‌علاوه تصاویر ماهواره‌ای IRS-1 باند Pan از سازمان جغرافیایی ارتش با قدرت تفکیک

## روش تحقیق

ابتدا طول و عرض جغرافیایی زمین لغزش‌ها و دامنه‌های دارای پتانسیل زمین لغزش در مطالعات صحرایی به وسیله‌ی GPS مدل Garmin مشخص شده، بطوری که تعدادی از زمین لغزش‌های کوچک و متوسط مقیاس منطقه مطالعاتی موقعیت‌یابی شدند. همچنین پس از تکمیل پرسشنامه‌ها ویژگی‌های هر کدام از زمین لغزش‌ها ثبت شد. نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های حوضه نیز برای دقت کار و مقایسه تهیه شد. در پژوهش حاضر مجموعاً ۹ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده‌ی زمین لغزش مورد مطالعه قرار گرفت. این معیارها به عنوان نقشه‌های عامل، هر کدام جداگانه طبقه‌بندی شده و با استفاده از روش AHP<sup>۱</sup> ارزش‌گذاری شدند. بدین ترتیب، پس از رقوم‌ی کردن نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، در محیط نرم‌افزار ILWIS، نقشه مدل رقوم‌ی ارتفاع (DEM)<sup>۲</sup> از روی آن تهیه شد. همچنین نقشه‌ی سطوح ارتفاعی، شیب و جهت شیب از روی DEM ساخته شد. نقشه‌ی زمین شناسی از روی نقشه‌ی زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مربوط به وزارت نفت ترسیم گردید. لایه‌ی اطلاعاتی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> مربوط به سال ۲۰۰۲ استخراج گردید. لایه‌ی طبقات ژئومورفولوژی نیز از روی تصاویر ماهواره‌ای PAN سال ۲۰۰۳ با قدرت تفکیک ۶ متر استخراج گردید. از آنجایی که روش‌های کمی و نیمه کمی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نتایج مطمئن‌تری را به نسبت سایر روش‌ها ارائه می‌دهند، استفاده از این روش‌ها از اعتبار علمی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشند (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۴؛ کلارستانی، ۱۳۸۱: ۵۹).

این روش‌ها در طی سال‌های اخیر، توسط محققین علوم زمین توسعه زیادی پیدا کرده است، لذا در این تحقیق لایه‌های تهیه شده به منظور پهنه‌بندی خطر

وقوع لغزش با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد و در آنجا وزن‌دهی طبقات عوامل، بر اساس درصد لغزش رخ داده در هر طبقه بین ۰ و ۱ تعیین گردید (روش نسبت فراوانی) و همچنین با استفاده از عملگرهای مختلف فازی مانند اشتراک فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی، فازی گامای ۰/۳ و فازی گامای ۰/۷ پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش در حوضه آبریز مورد مطالعه تجزیه و تحلیل گردیدند. در نهایت نقشه‌های حاصل از مدل AHP و نقشه حاصل از عملگر فازی گامای ۰/۷ تهیه گردید.

## فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

تحلیل سلسله مراتبی یک روش نیمه کیفی در مطالعه‌ی زمین لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین لغزش مشخص می‌کند (Ayalew et al, 2005: 15-31). برای وزن‌دهی به هر عامل، قسمت‌هایی که بطور تقریبی از نظر ویژگی‌های دیگر مشابه بوده و عامل مورد نظر تغییر می‌کند در نظر گرفته می‌شود و با مشاهده‌ی تغییرات این عامل و تأثیر آن بر وقوع زمین لغزش‌ها، عوامل به صورت دو به دو با هم مقایسه و یکی از وزن‌های جدول انتخاب می‌شود که بستگی به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۸-۱۲۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۴-۳). کلیه مقایسه‌ها به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد به گونه‌ای که اگر عنصر a با b مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت a نسبت به b یکی از حالات به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

(پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳؛ مهدوی‌فر و همکاران، ۱۳۷۶: ۱۴۵-۱۳۷). سپس هر یک از وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی، نرمال‌سازی گردیده (بین ۰ و ۱) و وارد نرم‌افزار IDRISI شد.

با انتخاب نوع و شکل تابع عضویت هر یک از نقشه‌های مذکور فازی گردید و به‌منظور استفاده از اپراتورهای فازی Gamma از تابع عضویت J-shape استفاده گردید (Gorsevski et al, 2006: 1-26; Scherthanner, 2005: 81-94).

#### تابع عضویت J-Shaped

این نوع تابع عضویت بسیار متداول بوده و همانند تابع عضویت خطی دارای سه شکل افزایشنده، کاهنده و ترکیبی از افزایشنده و کاهنده است. چنانچه تابع عضویت از نوع خطی و افزایشنده باشد بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌گردد و اگر از نوع خطی و کاهنده باشد از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد. که در آن: C0، C1، C2 و C3 نقاط کنترل در تابع عضویت J- شکل می‌باشد.

#### اپراتور فازی Gamma

با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عملگرهای Product (رابطه ۳) و Sum (رابطه ۴) یا به عبارتی جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای اپراتور Product و حساسیت خیلی کم اپراتور Sum اپراتور دیگری به نام فازی گاما (رابطه ۵) معرفی شده که نتیجه ضرب دو اپراتور فوق می‌باشد و  $\lambda$  متغیری بین صفر و یک است (Zadeh, 1965: 35).

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
۷	ترجیح یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح با مطلوبیت کمتر یا کمی مهم‌تر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

مأخذ: قدسی پور، ۱۳۸۴

#### عملگرهای منطق فازی

منطق فازی نخستین بار در سال ۱۹۶۵ به‌وسیله‌ی لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی" در مجله‌ی اطلاعات و کنترل ارائه گردید. در مجموعه فازی صفر بدین معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به گونه‌ی کامل عضو آن مجموعه است (Zadeh, 1965: 339; Gooijer, 2006: 437-443). تئوری مجموعه‌های فازی یک روش خاص و مستقل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش محسوب نمی‌گردد، بلکه ابزاری است که به واسطه‌ی آن امکان ارتقاء دقت روش‌های گوناگون فراهم می‌گردد (Ayalew et al, 2005: 432-445; Juang et al, 1992: 475-493).

ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) به‌دست می‌آید

$$MJI(Z) = 1 \text{ C}_1 Z \text{ if } MJI(Z) = 1 / (1 + ((Z - C_1) / (C_1 - C_0))^2) \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$MJD(Z) = 1 \text{ C}_1 Z \text{ if } MJD(Z) = 1 / (1 + ((Z - C_2) / (C_3 - C_2))^2) \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$\mu_{\text{combinatio } n} = \prod_{i=1}^n \mu_i, \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\mu_{\text{combinatio } n} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$\mu_{\text{combinatio } n} = (\text{Fuzzya lg ebraicsum})^\lambda * (\text{Fuzzya lg ebraicprod uct})^{1-\lambda} \quad \text{رابطه ۵:}$$

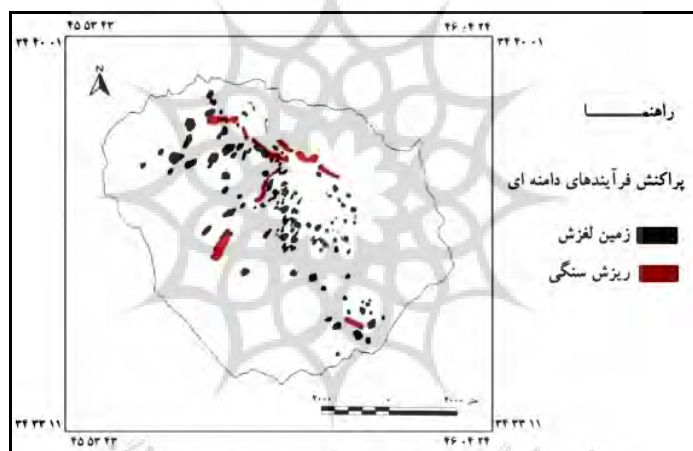
## نتایج و بحث

در این قسمت به بررسی و تشریح برخی از عوامل اصلی تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در محدوده‌ی مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های AHP و منطق فازی پرداخته شد، هریک از لایه‌های اطلاعاتی و همچنین نقشه‌های دخیل در امر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

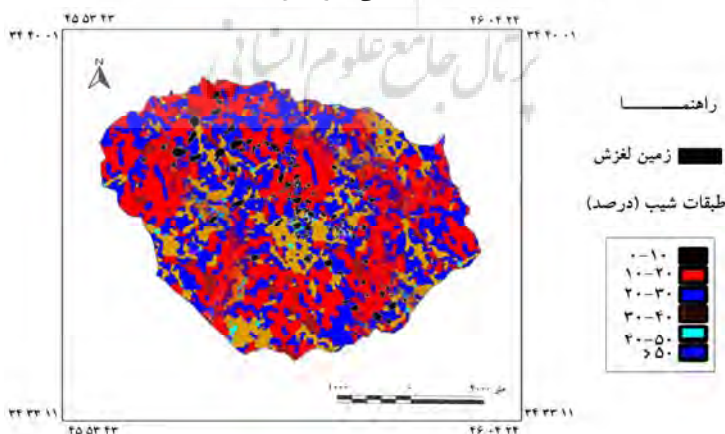
نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها: ابتدا طول و عرض جغرافیایی زمین‌لغزش‌ها و دامنه‌های دارای پتانسیل زمین‌لغزش در مطالعات صحرائی به وسیله‌ی GPS مشخص شده و

موقعیت ریزش‌های سنگی و زمین‌لغزش‌های منطقه‌ی مطالعاتی موقعیت‌یابی شدند (شکل شماره ۴).

شیب: لایه‌ی اطلاعاتی شیب پس از ساختن مدل رقومی ارتفاعی، تهیه و با استفاده از روند تغییرات هیستوگرام که به فراوانی داده‌های مختلف و ارزش پیکسل‌های آن توجه دارد، طبقه‌بندی گردید. از تلفیق متغیر وابسته (پراکنش زمین‌لغزش‌ها) با لایه شیب این نتیجه حاصل شد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۲۰-۳۰ درصد و در جهت‌های شیب شمال و غرب داده‌اند (شکل شماره ۵).



شکل ۴: نقشه‌ی پراکنش لغزش‌های حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

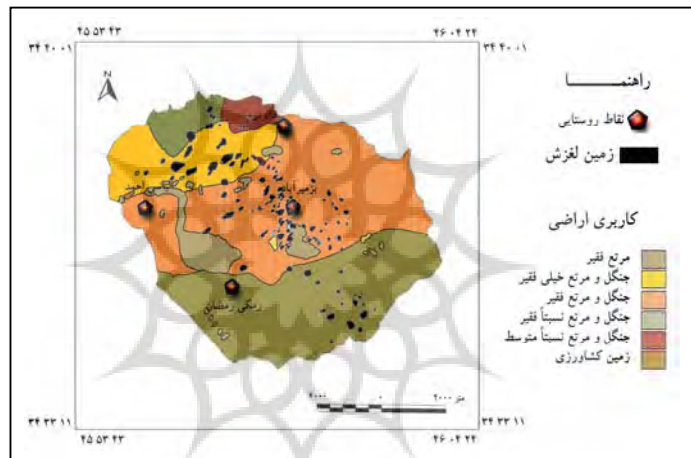


شکل ۵: همپوشانی نقشه‌ی شیب با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ  
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

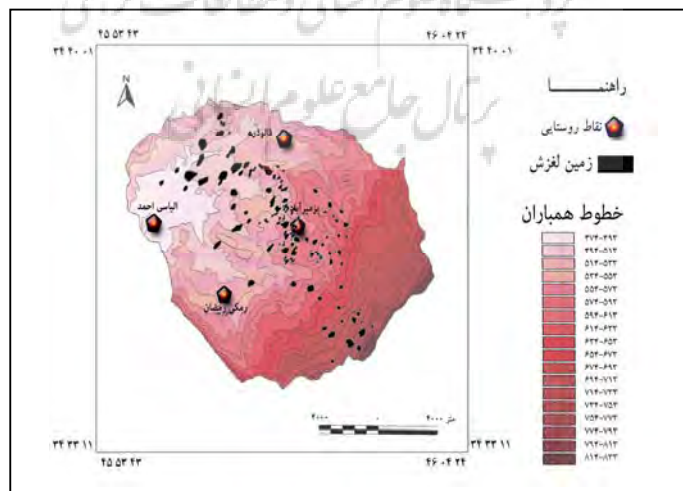


لایه بارش: با استفاده از روش آمبرژه و دمارتن و بر اساس داده‌های ایستگاه توت‌شامی که در قسمت جنوبی شرقی حوضه واقع شده، اقلیم حوضه آبریز پشت‌تنگ مشخص گردیده است. به دلیل اینکه حوضه پشت‌تنگ فاقد ایستگاه هواشناسی است؛ از آمار و اطلاعات ۱۹ ایستگاه دماسنجی در منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن استفاده شده است. هم پوشانی لایه بارشی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه حاکی از رخ دادن بیشتر زمین‌لغزش‌ها در طبقات ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر است (شکل شماره ۷).

کاربری اراضی: نقشه کاربری حوضه از داده‌های رقومی ماهواره‌ی لندست ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲ تهیه شد (شکل شماره ۶). پس از زمین مرجع نمودن تصویر، از ترکیب باندهای ۷، ۴، ۱ تصاویر رنگی مرکب تهیه گردید و با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، لایه‌ی کاربری تهیه شد. توزیع انواع مختلف کاربری و ارتباط آنها با زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های رخ داده در طبقه جنگل و مرتع فقیر و طبقه جنگل و مرتع خیلی فقیر از لحاظ پوشش گیاهی می‌باشد.



شکل ۶: هم‌پوشانی نقشه‌ی کاربری اراضی با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

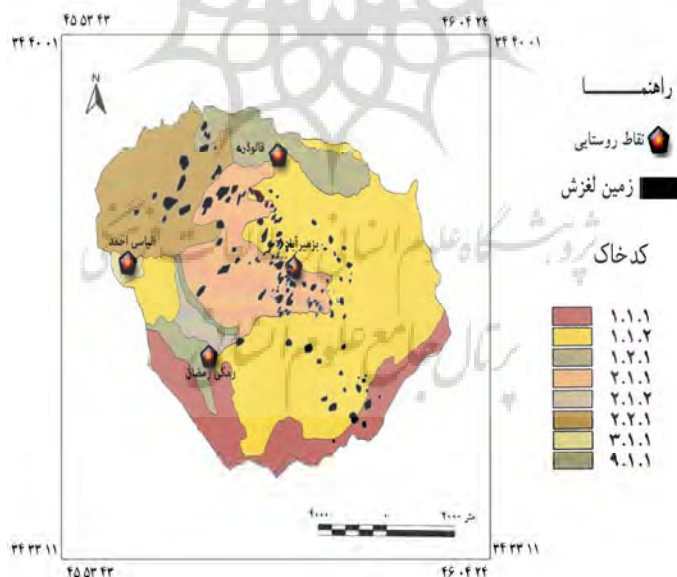


شکل ۷: هم‌پوشانی نقشه‌ی خطوط همباران با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

سانتیمتری به بعد می‌باشد) و ۲,۲,۱ (تپه‌های با فرسایش کم ۱۵ تا ۲۰ درصد همراه با فرسایش آبی است مشخصات پروفیلی A بدین شرح است که افق Ap عمق صفر تا ۱۰ سانتیمتر با بافت لوم می‌باشد افق Bw از عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتیمتر و با بافت کلای لوم و افق C از عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری وجود دارد) رخ داده‌اند (شکل شماره ۸).

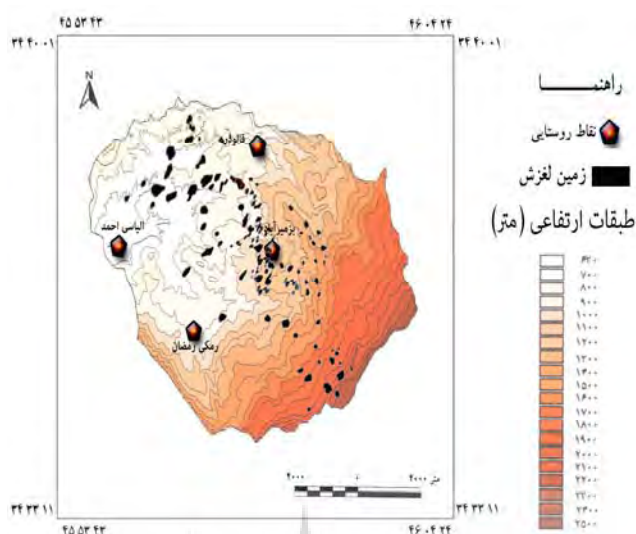
لایه‌ی / ارتفاعی: ارتفاع نیز از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در سطح حوضه‌ی پشت‌تنگ می‌باشد. لایه‌ی مذکور از روی نقشه‌های توپوگرافی حوضه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. معمولاً به جز ارتفاعات بسیار بلند حاشیه‌های حوضه در بقیه سطوح ارتفاعی که خاک و مواد واریزه‌ای تشکیل می‌گردد با افزایش ارتفاع شرایط برای بروز زمین‌لغزش بهتر صورت می‌گیرد (شکل شماره ۹).

لایه خاک: خاک‌های حوضه بر مبنای جداسازی تیپ‌های اصلی فیزیوگرافی و بر اساس استانداردهای مؤسسه تحقیقاتی خاک و آب انجام شده است. این تیپ‌ها شامل تیپ ۱- اراضی کوهها ۲- تیپ تپه‌ها ۳- تیپ اراضی فلات‌ها ۴- تیپ اراضی آبرفت‌های سنگ‌ریزه‌دار می‌باشد. کدهایی برای تیپ‌های فوق در نظر گرفته شده است که اولین عدد از سمت چپ نشانگر تیپ اراضی عدد دوم نماینده واحد اراضی و آخرین عدد علامت اجزاء واحد اراضی می‌باشد. نتیجه‌ی تلفیق نقشه خاک با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها نشان داد که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در کد خاک ۲,۱,۱ (تپه‌های پرشیب با پستی و بلندی فراوان و بیرون‌زدگی سنگی همراه با انواع فرسایش آبی با مشخصات پروفیلی بدین شرح می‌باشند افق A1 از عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری با بافت کلای سنگ بستر R از ۱۰



شکل ۸: هم‌پوشانی نقشه‌ی خاک با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۹: هم‌پوشانی نقشه ارتفاعی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز پشت تنگ  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

ضخیم به خوبی قابل مشاهده می‌باشد هر چند تعدادی از زمین‌لغزش‌ها در مناطقی با بستر واریزه و سنگ‌ریزه قابل مشاهده است که دامنه‌هایی از کوهها و مناطق تپه ماهوری را دربر می‌گیرد. بنا براین زمین‌لغزش‌های بزرگتر حوضه بیشتر در مناطقی که رسوب وجود دارد یا بیشتر می‌باشد رخ می‌دهد (شکل شماره ۱۰).

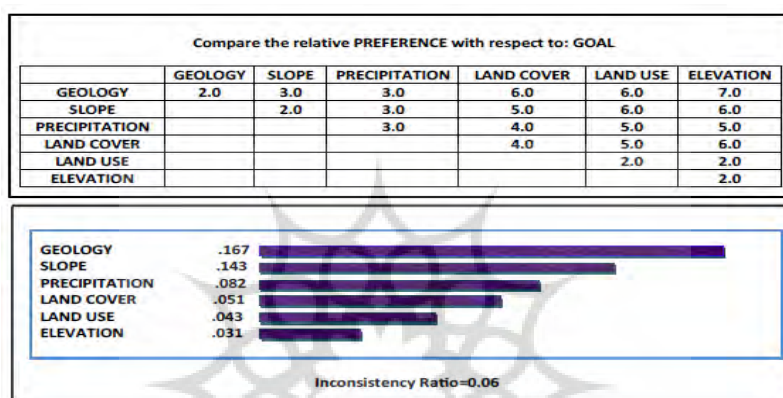
لایه نهشته‌های سطحی: نقشه‌ی مواد سطحی حاصل برداشت میدانی و ملاحظه‌ی نقشه‌های ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی است. طبقات این نقشه به سه کلاس متفاوت بر اساس میزان رسوبات واقع در حوضه تقسیم می‌شود. ارتباط پراکنش زمین‌لغزش‌ها مخصوصاً زمین‌لغزش‌های با مساحت بیشتر در رسوبات نازک و



شکل ۱۰: نقشه‌ی نهشته‌های سطحی حوضه آبریز پشت تنگ  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

اولویت‌بندی شدند. همچنین این نرم‌افزار ضریب ناسازگاری<sup>۱</sup> را محاسبه می‌کند که اگر کمتر از ۰/۱ باشد قابل قبول بوده و در غیر این صورت دوباره در وزندهی تجدید نظر می‌شود (قدسی پور، ۱۳۸۴: ۲۲۰). ضریب ناسازگاری در این تحقیق ۰/۰۶ به دست آمد که قابل قبول است (شکل شماره ۱۱).

در این پژوهش از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که جزو مدل‌های چندمعیاره‌ی تصمیم‌گیری است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر استفاده شد. نتایج این مقایسه به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد. در این نرم‌افزار وزن هر یک از عوامل محاسبه و بر اساس این وزن، عوامل



شکل ۱۱: وزن هر یک از فاکتورهای مؤثر در خروجی نرم‌افزار Expert Choice

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

سپس وزن هر عامل که از ماتریس وزن‌دهی به دست آمده در وزن کلاسه‌های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر کلاسه و معادله نهایی پهنه‌بندی به دست آمد (رابطه ۷).

رابطه ۷:

$$M = 1/167X_1 + 1/143X_2 + 1/82X_3 + 1/51X_4 + 1/43X_5 + 1/31X_6$$

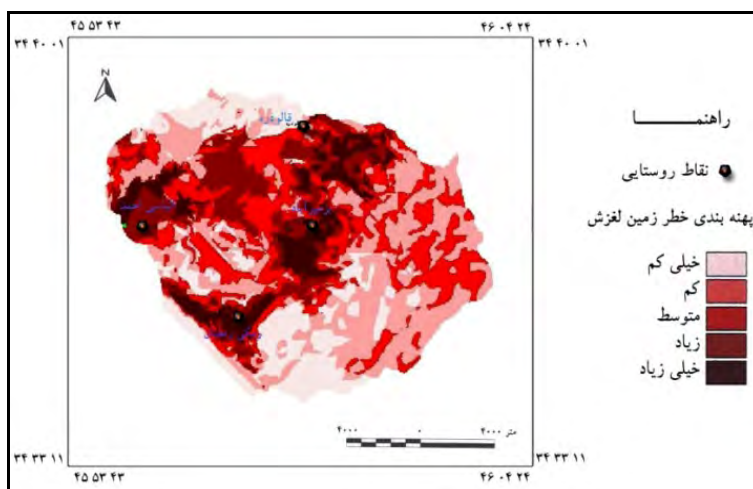
که در آن M: عامل حساسیت و  $X_1$  تا  $X_6$  به ترتیب فاکتورهای زمین‌شناسی، درصد شیب، بارش، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع است. بنابراین با اعمال معادله شماره ۷، معیارهای مورد سنجش و نقشه پهنه‌بندی به دست آمد (شکل شماره ۱۲).

حالا از بین ۹ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه، شش عامل زمین‌شناسی، شیب، بارش، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع به عنوان لایه‌های معنادار شناخته شده و به ترتیب بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه داشته‌اند. در مرحله‌ی بعد هر یک از نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش زمین‌لغزش تلفیق و تراکم لغزش‌ها در هر کلاسه طبق رابطه ۶ محاسبه گردید.

$$W = [(A/B) / (C/D)] \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در آن:

W: وزن هر کلاس، A: مساحت زمین‌لغزش هر کلاسه، B: مساحت هر کلاسه، C: مساحت کل زمین‌لغزش‌ها، D: مساحت کل منطقه.



شکل ۱۲: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نقشه‌ی تهیه شده از روش تراکم سطح حدود ۴۵ درصد از حوضه را از نظر بروز خطر زمین‌لغزش پایین نشان می‌دهد و حدود ۳۶ درصد در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد ولی خطر متوسط فقط ۱۸/۳ درصد از وسعت محدوده را در برمی‌گیرد (جدول ۲).

جدول ۲: مساحت و درصد طبقات خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

ردیف	طبقه	مساحت	درصد
۱	خطر خیلی کم	۳۷۱۱	۲۹/۷
۲	خطر کم	۲۵۶۱	۱۹/۴
۳	خطر متوسط	۳۵۲۳	۱۸/۳
۴	خطر زیاد	۲۳۴۴	۱۷/۸
۵	خطر خیلی زیاد	۱۷۸۸	۱۴/۸
۶	جمع کل	۱۳۹۲۷	۱۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

زمین‌لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین‌لغزش محاسبه می‌گردد (Moreiras, 2005: 345-357; Akgun & Bulut, 2007: 1377-1378)

ارزیابی عملگرها با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه‌ی خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی<sup>۱</sup> (QS) نقشه‌های صحیح‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود (رابطه ۸).

### ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی

با توجه به اینکه برای پهنه‌بندی خطر، از زمین‌لغزش‌های منطقه بهره‌گیری شد لذا نمی‌توان برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی، از همان زمین‌لغزش‌ها بهره‌گیری کرد (Remendo et al, 2003: 437-449). برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها یا نسبت تراکمی<sup>۱</sup> ( $D_r$ ) در هر یک از رده‌های خطر استفاده می‌شود. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین‌لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط

از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۹):

$$D_r = \frac{S_i / A_i}{\sum_i^n S_i / \sum_i^n A_i} \quad \text{رابطه ۹:}$$

بنابراین هر نقشه‌ی پهنه‌بندی که دارای  $Q_s$  بالاتر باشد دارای صحت و دقت بیشتری است ارزیابی عملگرهای مختلف فازی با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) در جداول شماره ۳ و ۴ انجام گرفت (Gee, 1991: 947-952).

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (D_r - 1)^2 \times S \quad \text{رابطه ۸:}$$

$Q_s$ : شاخص تفکیک کلاس‌های خطر؛  
 $D_r$ : نسبت مساحت لغزش در هر کلاس خطر به مساحت هر یک از پهنه‌های خطر به نسبت مساحت کل زمین لغزش به سطح کل حوضه مورد مطالعه؛  
 $S$ : نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه؛  
 $N$ : تعداد کلاس‌های خطر.  
 شاخص بدون بعد نسبت دانسیته ( $D_r$ )، که برای ارزیابی دقت مدل در هر یک از کلاس‌های خطر ارایه شده است،

جدول ۳: درصد و مساحت طبقات نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش به روش فازی گامی ۳/۰

لغزش (درصد)	مساحت لغزش (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقات پهنه‌بندی
۴۱/۷۸	۲۳۱/۱۶	۷۳/۲۱	۱۸۶۳/۱۴	خیلی کم
۲۵/۵۷	۷۴/۴۹	۱۶/۸۰	۸۰۳/۱۱	کم
۱۶/۲۳	۷۹/۶۶	۵/۷۶	۵۲۹/۱۹	متوسط
۹/۹۰	۲۹/۴۷	۳/۱۹	۱۴۸/۵۸	زیاد
۶/۵۲	۳۵/۶۴	۱/۰۴	۲۴۷/۳۶	خیلی زیاد
۱۰۰	۴۵۰/۴۲	۱۰۰	۳۵۹۱/۳۸	جمع

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۴: درصد و مساحت طبقات نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش به روش فازی گامی ۷/۰

لغزش (درصد)	مساحت لغزش (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقات پهنه‌بندی
۰	۰	۵/۲۶	۱۳۸۷/۱۲	خیلی کم
۹/۲۱	۳۱/۸۳	۳۶/۲۱	۱۴۶۸/۲۵	کم
۲۵/۹۱	۱۱۸/۸۲	۲۳/۱	۳۴۷/۱۴	متوسط
۲۹/۵۳	۱۷۳/۶۳	۱۹/۱۳	۴۷۶/۴۹	زیاد
۳۵/۳۵	۱۹۲/۱۴	۱۶/۳۹	۳۹۱/۳۲	خیلی زیاد
۱۰۰	۵۱۶/۴۲	۱۰۰	۴۰۷۰/۳۲	جمع

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم جمع جبری فازی، از فازی گاما (۰/۳ و ۰/۷) که حد فاصل بین این دو عملگر می‌باشد استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای این روش در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ به شرح جداول شماره ۵ و ۶ می‌باشد.

ارزیابی عملگرهای مختلف فازی و انطباق‌پذیری آنها با استفاده از نمایه جمع کیفی (QS) نشان می‌دهد که در عملگرهای اشتراک، جمع و ضرب فازی به دلیل لحاظ شدن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه و همچنین دقت پایین در تعیین توانمندی این عملگرها در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه و به منظور دستیابی به نتیجه‌ی مناسب‌تر و

جدول ۵: نتایج حاصل از ارزیابی عملگرهای مختلف فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ

جمع جبری فازی			گامای ۰/۳		گامای ۰/۷	
طبقات	لغزش	QS	لغزش	QS	لغزش	QS
خیلی کم	۰	۰/۰۰۰۸	۲۵۱/۶۳	۰/۰۷	۰	۰/۰۶۳
کم	۰	۰/۰۰۰۶	۹۱/۴۴۷	۰/۰۵	۳۳/۶۸	۰/۳۳
متوسط	۰	۰/۰۳	۱۰۸/۴۳	۰/۲۷	۱۰۸/۹۹	۰/۰۱۹
زیاد	۰	۰/۰۹	۲۳/۶۴	۰/۱۰	۱۶۴/۵۸	۰/۰۷
خیلی زیاد	۳۸۵/۷۳	۰/۰۲	۲۷/۴۳	۰/۲۹	۱۱۰/۱۵	۰/۴۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

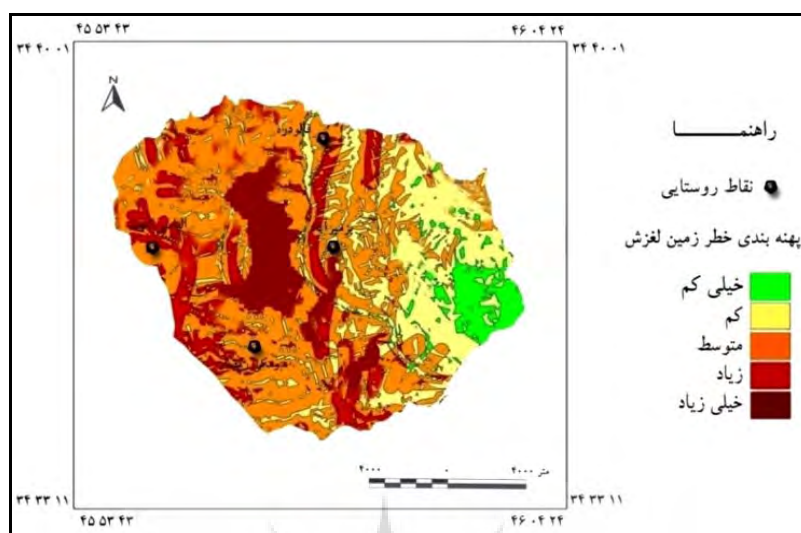
جدول ۶: نتایج حاصل از ارزیابی عملگرهای مختلف فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در حوضه آبریز پشت تنگ

اشتراک فازی			ضرب جبری فازی	
طبقات	لغزش	QS	لغزش	QS
خیلی کم	-	-	۳۱۹/۳۶	۰/۰۹
کم	۳۹۵/۱۳	۰/۱۱	۵۹/۳۶	۰/۰۲
متوسط	۲۳	۰/۴۳	۶۲/۱۴	۰/۱۸
زیاد	۲۹/۵۳	۰/۳۱	۳۱/۷۴	۰/۱۵
خیلی زیاد	۴۱	۰/۲۹	۵۴/۴۸	۰/۳۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ به شمار می‌رود. نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش با ترکیب معیارها و بطور مشخص با عملگر فازی گامای ۰/۷ تهیه شد (شکل شماره ۱۳).

ارزیابی عملگرهای مختلف مدل فازی با استفاده از نمایه جمع کیفی نیز که نشان داد که مدل فازی گامای ۰/۷ به‌علت دقت بالا در ارزیابی خطر زمین‌لغزش‌ها مناسب‌ترین مدل در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در



شکل ۱۳: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر فازی گامی ۰/۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

## نتیجه

می‌روند. طوری که حدود ۸۸٪ زمین‌لغزش‌های موجود، در طبقات فقیر و خیلی فقیر از نظر پوشش گیاهی که نتیجه‌ی دست‌اندازی‌های انسانی بوده‌اند اتفاق افتاده است. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داد که از طبقه ۱۰۰۰ متر به بالا شاهد رخ دادن بیشتر زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌ی مذکور هستیم. در این پژوهش از عملگرهای فازی نیز جهت ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز مذکور استفاده گردید. دقت پهنه‌بندی با به‌کارگیری عملگر اشتراک فازی به دلیل لحاظ شدن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه، همواره، کم و غیرقابل اعتماد است. بطوری‌که حدود ۳۱ درصد از حوضه‌ی مورد مطالعه در طبقه‌ی دارای استعداد کم و حدود ۶۷٪ از حوضه‌ی مورد مطالعه در طبقه‌ی دارای استعداد خیلی کم و کم قرار داده است. در عملگر ضرب جبری فازی نیز به دلیل ضرب عوامل وزنی با یکدیگر، اعداد به سمت صفر میل کرده و حدود ۷۹٪ از زمین‌لغزش‌ها در طبقات خیلی کم و کم قرار می‌گیرد. در جمع جبری فازی، ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل نموده و دقت خیلی کمی در تعیین

در این پژوهش اکثر زمین‌لغزش‌های حوضه در سنگ‌های سست و مستعد مانند شیل، مارن، فلیش که در سازندهای امیران و گورپی وجود دارند اتفاق افتاده اند و همچنین وجود رسوبات کواترنری در سطح حوضه (شن، ماسه، سیلت و رس) که خاصیت سیمان شدگی بالایی ندارند و در مقابل فشار منفذی آب نیز دارای مقاومت کمی هستند از جمله دلایل تشدیدکننده‌ی این عامل می‌باشند. بیش از نیمی از زمین‌لغزش‌های موجود در شیب‌های بین ۲۰-۳۰ درصد اتفاق افتاده‌اند. هرچند در شیب‌های بسیار بالا (۶۰٪ و بیشتر) زمین‌لغزشی ثبت نگردیده است اما تأثیر میزان شیب به وضوح در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه مشاهده می‌گردد. میزان بارش سالانه نسبتاً بالای حوضه (۶۰۱ میلی‌متر) باعث وقوع زمین‌لغزش‌های متعددی در حوضه‌ی آبریز پشت‌تنگ گردیده است بطوری‌که بیش از ۸۰٪ زمین‌لغزش‌های حوضه در بارش‌های بیش از ۵۰۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. تغییر در پوشش گیاهی و کاربری اراضی از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها در سطح حوضه به‌شمار



- بهنیا، ابوالفضل؛ محمدرضا منصور؛ دانشور؛ پروین کهربائیان (۱۳۸۹). کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین لغزش نمونه موردی: حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه های بینالود، جغرافیای طبیعی. شماره ۹.
- پورقاسمی، حمیدرضا؛ مجید محمدی؛ حمیدرضا مرادی؛ سید محمود فاطمی‌عقدا (۱۳۸۶). کاربرد روابط فازی در تحلیل خطر زمین‌لغزش، مجموعه مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی. دانشگاه فنی تهران. ۴-۵ دی‌ماه.
- جباری، ایرج؛ جواد میرنظری (۱۳۸۶). پهنه بندی رویداد زمین لغزش در حوزه آبریز پشت تنگ شهرستان سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۹.
- سفیدگری، رضا؛ جعفر غیومیان؛ سادات فیض‌نیا (۱۳۸۴). ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- شادفر، صمد (۱۳۸۴). ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین‌لغزش به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوزه آبخیز چالکرو، پایان‌نامه دکتری. دانشکده جغرافیا. تهران.
- شادفر، صمد؛ مجتبی یمانی؛ جمال قدوسی؛ جعفر غیومیان (۱۳۸۶). پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکرو تنکابن، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۵.
- شرکت خدمات مهندسی جهاد (۱۳۷۹). مطالعات مرحله اجرایی کنترل سیل حوزه آبخیز پشت تنگ، (تلفیق).
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ هیمن شهابی؛ ممد سالاری؛ محمد عباسی (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مورد: حوضه آبخیز سقر. نشریه محیط جغرافیایی. شماره ۱.

توانمندی مناطق لغزشی دارد و عرصه‌ی وسیعی به عنوان مکان‌های دارای استعداد لغزش انتخاب می‌شود. با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی با ضرب فازی و به منظور دستیابی به نتیجه‌ی مناسب‌تر و جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم جمع جبری فازی، از فازی گاما که حد فاصل بین این دو عملگر می‌باشد استفاده گردید. نتایج بررسی نشان داد که در عملگر فازی گامای ۰/۷، در طبقه خیلی کم پهنه‌بندی هیچ‌گونه لغزشی مشاهده نمی‌شود و در مجموع حدود ۶۷ درصد از زمین‌لغزش‌ها نیز در طبقات دارای خطر زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. مدل AHP به دلیل اینکه اهمیت عامل‌ها را یکسان در نظر نمی‌گیرد و آنها را اولویت‌بندی می‌کند نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه این مدل بر پایه نظر کارشناسی است و ضریب ناسازگاری مدل نیز کمتر از حد مجاز است (۰/۰۶) در نتیجه نقشه‌ی تهیه شده از روش تحلیل سلسله مراتبی حدود ۴۵ درصد از حوضه را از نظر بروز خطر زمین‌لغزش پایین نشان می‌دهد و حدود ۳۶ درصد در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد ولی خطر متوسط فقط ۱۸/۳٪ درصد از وسعت محدوده را در برمی‌گیرد. بنابراین نتیجه‌گیری شد که نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با عملگرهای فازی به خصوص مدل فازی گامای ۰/۷ دارای صحت و دقت زیادی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در حوضه آبریز پشت تنگ است.

### منابع

- احمدی، حسن؛ شیرین محمدخان؛ سادات فیض‌نیا؛ جواد قدوسی (۱۳۸۴). ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان. مجله منابع طبیعی ایران. ۵۸.

- Gooijer, J (2006). Hyndman, R., 25 Years of Time Series Forecasting, International Journal of Forecasting, No. 22, 443-473.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P. Gessler, P.E (2006). Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, Control and Cybernetics, Vol 35, 1-26
- Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C (1992). Mapping slope failure potential using fuzzy sets, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol 118 (3), 475-493.
- Komac, M (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prialpine Slovenia, Geomorphology, 74, 17-28
- Moreiras, S. M (2005). Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza valley, Argentina. geomorphology. 66. 345-357.
- Murat, E. and Candan, G (2003). Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West black sea region, turkey), engineering geology, Vol 75, 24-35.
- Remendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. Chung, C (2003). Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, Natural Hazard, 437-449.
- Sabuya, F, M. G. Alves and Pinto, W. D (2006). Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic, Engineering Geology, Vol 35.
- Schernthanner, H (2005). Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). Msc Thesis, Institute of Geography, NAWI, Paris Lodron University Salzburg, 81- 94.
- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B. B., Allahvirdiasl, H (2012). Application of Satellite images and fuzzy set theory in Landslide hazard Mapping in Central Zab basin, Journal of Applied Physics (IOSRJAP), 1(4): 17-24.
- Tangestani, M, H (2009). A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran, Journal of Asian Earth Sciences, Vol 35, 66-73.
- Zadeh, L.A (1965). Fuzzy Sets, Information and Control, No.8, 339.
- قدسی پور، سیدحسن (۱۳۸۴). مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ چهارم.
- کلارستاقی، عطا... (۱۳۸۱). بررسی نقش عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها: مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی سد تجن‌ساری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- محمدی، مجید؛ حمیدرضا پورقاسمی؛ حمیدرضا مرادی؛ سادات فیض‌نیا (۱۳۸۶). آنالیز خطر زمین‌لغزش در محیط GIS و کاربرد آن در امر حفاظت آب و خاک، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. مدیریت حوزه‌های آبخیز. یکم و دوم اسفندماه، ۳۲۳.
- مهدویفر، محمدرضا؛ سیدمحمود فاطمی‌عقدا (۱۳۷۶). کاربرد تحلیل مجموعه‌های فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شرح سیستم کامپیوتری تهیه شده، دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارت‌های آن، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- Akgun, A, Bulut, F (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, Vol 51(8), 1377-1387.
- 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, 92-97.
- Ayalew, L., Yamagishi, H (2005). The Application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, central Japan. Geomorphology, 65, 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T, (2005), Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, Engineering Geology, V.81, 432- 445.
- Gee, M.D (1991). Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, Landslides, Balkema, Rotterdam, 947- 952.