

درصد دارای حساسیت متوسط می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، منطق فازی، ROC

#### مقدمه

زمین‌لغزش نوعی حرکت دامنه‌ای است که مواد در امتداد یک سطح مشخص روی دامنه لغزنده به سمت پایین حرکت می‌کنند [۱۶]. موفقیت پروژه‌های عمرانی همچون احداث بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث سدهای خاکی و بتونی، طرح‌های توسعه جنگل و منابع طبیعی و هرگونه توسعه معدنی و مناطق مسکونی در گروه مطالعات پایداری دامنه‌های طبیعی منطقه است [۲]. وقوع حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش، باعث خسارات جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان و تأثیرات منفی بر زندگی و فعالیت‌های اقتصادی بشر می‌شود [۲۶ و ۲۳]. با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی و درباره برنامه‌های موردنظر تصمیم‌گیری کرد. روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش ارائه شده ولی هیچ‌کدام قطعیت لازم را ندارند و کاربرد آن‌ها برای مناطق مختلف با اصلاحات لازم کاربرد دارد [۳۰]. بر پایه وضعیت منطقه مورد مطالعه و عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش، دقت و انعطاف هر یک از این روش‌ها متفاوت خواهد بود. این روش‌ها به‌طور کلی به دو دسته کمی و کیفی طبقه‌بندی می‌شوند [۷، ۲۷ و ۳۴]. به علت پیچیدگی سیستم زمین‌لغزش‌ها، دستورالعمل مشخص و واحدی در بین محققین برای انتخاب عوامل مؤثر در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش وجود ندارد و نیاز به داده‌های مختلف طبیعی و انسانی دارد [۲۶، ۳۳ و ۲۲]. در زمینه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش مطالعات زیادی انجام گرفته که می‌توان به مورد زیر اشاره کرد:

تنگستانی [۳۱] در مطالعه‌ای در کوه‌های زاگرس به مقایسه روش منطق فازی و دمپستر-شفر برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش پرداختند. در این مطالعه از پارامترهای سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، پوشش زمین و عمق خاک استفاده شد. نتایج نشان داد که روش فازی نتایج بهتری نسبت به روش دیگر می‌دهد. لی [۱۸] در کره با استفاده از روش فازی اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کردند. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در منطقه

## ارزیابی پهنه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش در رشته کوه بینالود

علی دسترنج<sup>۱</sup>، فرزانه و کیلی تجربه<sup>۲</sup> و حمزه نور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰

#### چکیده

پژوهش حاضر با هدف تعیین عرصه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های جنوبی و شمالی رشته‌کوه بینالود در استان خراسان رضوی با استفاده از توابع عضویت فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت. بدین منظور ابتدا لایه‌های عوامل مرتبط با وقوع زمین‌لغزش تهیه و برای تحلیل‌های فازی مورد استفاده قرار گرفتند. بعد از فازی سازی لایه‌های موردنظر در محیط ArcGIS، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگرهای ضرب فازی، جمع فازی، گاما ۰/۸ و ۰/۹ صورت پذیرفت. سپس منطقه مورد مطالعه به مناطق با حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد از نظر رخداد خطر زمین‌لغزش طبقه‌بندی شد. در نهایت صحت نقشه‌های به دست آمده با منحنی ROC و نقشه پراکنش زمین‌لغزش مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی نتایج پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با توجه به نتایج منحنی ROC و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها نشان داد عملگرهای گامای ۰/۸ و ۰/۹ بهترین عملکرد را در مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش ایفا کردند و عملگر گامای ۰/۸ با توجه به مساحت زیر منحنی ROC دارای بهترین عملکرد هست. بر اساس نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ حدود ۷۲/۴ درصد سطح منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم، ۹/۸ درصد دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد و ۱۷/۸

۱- نویسنده مسئول و استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. پست الکترونیک: Dastranj66@gmail.com

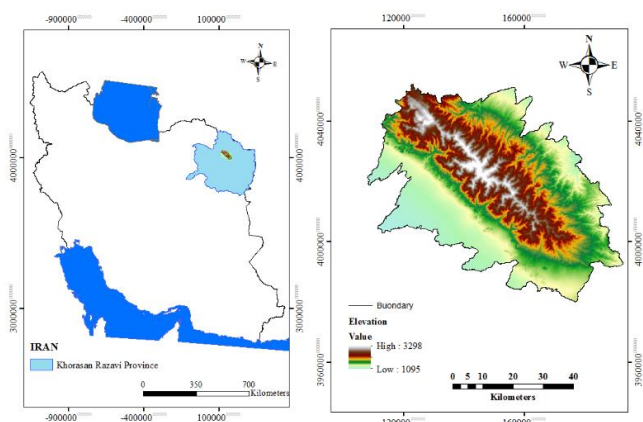
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تعداد پارامترهای مؤثر بر وقوع زمین لغزش از جمله شاخص‌های توپوگرافی و شاخص‌های ژئومورفولوژیک در نظر گرفته شود. بر این اساس اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه با استفاده از روش فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی شد.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۳۵۱۰ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیه شمالی در جنوب غربی مشهد و شرق نیشابور واقع شده است (شکل ۱). کم‌ترین ارتفاع منطقه ۱۰۹۵ متر منطبق بر دشت‌های اطراف نیشابور و بیش‌ترین ارتفاع ۳۲۹۸ متر منطبق بر قله شیرباد است. این منطقه به مانند مرزی بین دو دشت مشهد- چناران و نیشابور واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig1. Geographical location of the study area

### روش تحقیق

در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از روش منطق فازی و سامانه داده‌های مکانی (GIS) استفاده شد. بر این اساس ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شناسایی و سپس اطلاعات مربوط به این عوامل جمع‌آوری و اثر هر یک از این عوامل بر پدیده زمین‌لغزش ارزیابی شد. در ادامه اقدام به تهیه لایه‌های مربوط به این پارامترها شد. سپس با استفاده از ابزارهای مناسب در محیط GIS این لایه‌ها فازی سازی گردید و در نهایت نقشه‌های حاصله با استفاده از عملگرهای فازی روی هم گذاری شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در پایان با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) اقدام به ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه حاصله گردید. در ادامه ابتدا منطق فازی و عملگرهای آن توضیح داده می‌شود، سپس مراحل انجام تحقیق بیان خواهد شد.

از قبیل شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بافت خاک و کاربری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر گاما بیشترین دقت را در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را دارد. آشفته [۴] به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و AHP در منطقه عسلویه پرداختند. در این تحقیق پارامترهای شیب، جهت، ارتفاع، رودخانه، بارش، گسل‌ها، جاده‌ها، واحد زمین‌شناسی، کاربری زمین و حرکات توده‌ای استفاده گردید. نتایج نشان داد که واحدهای زمین‌شناسی مؤثرترین پارامتر بر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. دیمری و همکاران [۱۴] به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در مناطق زلزله‌خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما برای تهیه نقشه زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۹۸ بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین‌لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. دلاسرنا و همکاران [۱۱] به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در فیلیپین با استفاده از منطق فازی و تکنیک GIS پرداختند. در این مطالعه پارامترهای شیب، تراکم زهکش، هوازدگی، سنگ‌شناسی، پایداری زمین، نوع خاک و پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. جیوانی لئوناردی و همکاران [۱۹] در مطالعه‌ای اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان Calabria کشور ایتالیا پرداختند. در این مطالعه پارامترهای شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، بارش و زمین‌شناسی به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۳۶، ۰/۲۰، ۰/۱۷ و ۰/۰۵ منطقه دارای حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم می‌باشد. آکسوی و همکاران [۱] در پژوهشی برای تشخیص مناطق حساس به زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین‌لغزش‌های این ناحیه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که عملگر اشتراک فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد. ارکان اوقلو و همکاران [۱۵] به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در ترکیه از روابط فازی استفاده کردند. نتایج نشان داد که به ترتیب ۶/۹، ۱۰/۳، ۸/۹، ۲۷/۵ و ۴۳/۸ درصد منطقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم دارند. سابویا و همکاران [۲۹] از منطق فازی به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ریودوژانیرو برزیل استفاده نمودند. در این تحقیق فاکتورهای شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی، خاک، بارش، فاصله از آبراهه به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه بررسی شدند.

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش یکی از گام‌های اساسی در جهت شناخت مناطق ناپایدار کشور است تا با استفاده از آن‌ها بتوان برنامه‌ریزی‌های لازم جهت محدودیت کاربری اراضی در این گونه مناطق را اعمال نمود و به این طریق خسارات ناشی از این پدیده را کاهش داد. بنابراین تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش امری ضروری می‌باشد. در این تحقیق سعی شد که بیشترین

**جهت شیب:** جهت شیب از این جنبه مورد توجه در مطالعات زمین لغزش می باشد که نقش تعیین کننده ای در میزان بارندگی و رطوبت، نور خورشید و رژیم باد بازی می کند که این موارد نقش تعیین کننده ای در ایجاد لغزش دارد [۱۷]. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه DEM و نرم افزار ArcGIS تهیه گردید.

**زمین شناسی:** زمین شناسی یکی از مهم ترین پارامترهای مؤثر در مطالعه زمین لغزش ها می باشد زیرا واحدهای سنگی مختلف دارای درجات حساسیت گوناگونی در بروز این پدیده هستند. این نقشه با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان زمین شناسی، تهیه گردید.

**بارش:** به طور کلی بارندگی باعث نفوذ بارش در نتیجه سبب بالا رفتن فشار منفذی، کاهش مکش خاک، و افزایش وزن واحد خاک و کاهش مقاومت برشی خاک می شود و در نهایت دامنه برای وقوع زمین لغزش مستعد می شود [۶]. لایه بارش با استفاده از داده های بلندمدت ایستگاه های باران سنجی منطقه تهیه شد.

**کاربری اراضی و پوشش گیاهی:** حضور یا عدم حضور پوشش گیاهی از عوامل تأثیرگذار در رخداد زمین لغزش محسوب می گردد و نقش بسیار پیچیده و متضادی در حساسیت زمین لغزش ایفا می کند این نقش توسط چهار عامل مختلف تعیین می شود: ثبات مکانیکی ناشی از وجود ریشه، تخلیه رطوبت خاک در اثر تعریق، بار اضافی ناشی از وزن درختان و شکست باد [۶]. نقشه کاربری منطقه از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه گردید سپس با کمک Google Earth و بازدید میدانی اصلاح گردید.

**آبراهه ها (فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه):** آبراهه ها به دلیل وجود زهکشی آب و دیواره های پرشیب معمولاً باعث وقوع زمین لغزش بیشتری می باشند. رودخانه ها تأثیر منفی را بر روی پایداری از طریق فرسایندهای شیب ها یا با انحلال پذیری مواد در هنگام بالا رفتن سطح آب می گذارد. به منظور تهیه نقشه آبراهه های منطقه مدل رقومی ارتفاع در محیط ArcSWAT استفاده شد.

**گسل (فاصله از گسل و تراکم گسل):** تأثیر گسل ها بر حرکات دامنه ای به صورت خردشدگی سنگ های پیرامون، نفوذ بیشتر آب در درون توده های خردشده و ایجاد زمین لرزه می باشد. برای نقشه گسل های منطقه از ژئورفرنس و رقومی کردن نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی منطقه استفاده شد.

**جاده (فاصله از جاده و تراکم جاده):** جاده ها به خصوص در مناطق کوهستانی، به علت سیستم زهکشی نامناسب، بر هم زدن شیب تعادل منطقه و بی ثباتی مکانیکی در دامنه ها یکی از عوامل شناخته شده در افزایش وقوع زمین لغزش می باشند. به منظور تهیه نقشه جاده از رقومی سازی تصاویر Google Earth منطقه استفاده شد.

**شاخص توان آبراهه (SPI):** شاخص توان آبراهه (SPI) از رابطه ۱ و با توجه به دستور raster calculator در نرم افزار GIS محاسبه می گردد [۵].

منطق فازی، شیوه های مرسوم برای طراحی و مدل سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است، با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و باهدف ساده سازی و کارآمد شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می نماید. تأثیر عوامل مؤثر در پهنه بندی زمین لغزش، قطعی و صددرصدی نیست. برای مطالعه چنین شرایط پیچیده و مبهمی، مدل سازی مناسب می باشد، زیرا با استفاده از نظریه فازی، می توان متغیرهای نادقیق و مبهم را، به شکل ریاضی درآورد. در مدل سازی فازی، هر فرد هم زمان در مجموعه های مختلف اما به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و یا خود این دو حد را می پذیرد [۳۶، ۳۲]. در تئوری مجموعه های دقیق، اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست و یا نیست و می توان برای هر مجموعه A تابع زیر را تعریف کرد -

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \in A \\ 0, & \text{If } x \notin A \end{cases}$$

این تابع به هر عضو مجموعه A عدد یک و به هر عضو خارج از مجموعه A عدد صفر نسبت می دهد.

روش فازی با پنج عملگر که هر یک دارای نحوه عمل خاصی هستند، در محیط نرم افزار ArcGIS قابل اجرا می باشد [۹]: اجتماع فازی (Fuzzy OR)، اشتراک فازی (Fuzzy AND)، ضرب فازی (Fuzzy Product)، جمع فازی (Fuzzy SUM) و گاما (Gamma).

### شناسایی و تهیه لایه های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

اولین مرحله مطالعه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش شناخت و جمع آوری اطلاعات مربوط به عواملی است، که در وقوع زمین لغزش ها نقش مؤثری دارند. گردآوری اطلاعات به صورت میدانی، کتابخانه ای و با مراجعه به اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی صورت گرفته است. مهم ترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش بر اساس مرور منابع و شرایط منطقه مورد مطالعه عبارت اند:

**ارتفاع:** ارتفاع عاملی است که به طور غیرمستقیم نقش تعیین کننده در عوامل وقوع زمین لغزش نقش دارد که از جمله این عوامل می توان مقدار بارندگی، تغییرات دمایی، یخبندان و ذوب یخ، هوازدهی فیزیکی و شیمیایی را نام برد [۳۵]. برای تهیه نقشه خطوط ارتفاعی منطقه مورد مطالعه از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تهیه مدل رقومی ارتفاع DEM منطقه در محیط سامانه داده های مکانی (ArcGIS) استفاده شد.

**شیب:** به طور کلی میزان شیب نقش مهمی را در عواملی همچون نفوذپذیری آب در دامنه ها، زاویه شکست و چسبندگی خاک دارد [۱۲]. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه DEM در محیط سامانه داده های مکانی (ArcGIS) تهیه گردید.

جدول ۱- الگوی طبقه‌بندی شاخص موقعیت توپوگرافی (۱۱)

Table 1. Topographic Position Index Classification Pattern

لندفرم	TPI
Valley	$TPI \leq -8$
Low slope	$-8 < TPI \leq 8, Slope < 6^\circ$
High slope	$-8 < TPI \leq 8, Slope \geq 6^\circ$
Summit	$TPI \geq 8$

فازی سازی پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش: به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی، ابتدا لازم است، تک تک لایه‌ها با توجه به هدف مورد نظر بر اساس توابع عضویت، فازی سازی شوند. پارامترهای تراکم و فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، تراکم و فاصله از جاده، شاخص‌های توپوگرافی، شاخص‌های ژئومورفومتریک، بارش، تراکم و فاصله از آبراهه و دما، با توجه به ماهیت رستری آن‌ها با استفاده از دستور Fuzzy Membership موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 فازی سازی گردید. لایه‌های سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و جهت شیب جزء لایه‌های کیفی می‌باشند. عضویت لایه‌های وکتوری بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده زمین لغزش دارد، تعیین گردیده است. به منظور فازی نمودن این لایه‌ها، با توجه به طبقه‌بندی هر یک از لایه‌ها و عملکردی که در پهنه‌بندی زمین لغزش دارند، امتیازی بین ۰ تا ۲۵۵ به آن‌ها داده شده و سپس فازی سازی شدند. سپس با استفاده از عملگر ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی، گاما ۰/۸ و ۰/۹ روی هم گذاری نقشه‌ها انجام شد و نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

#### ارزیابی صحت پهنه‌بندی

به منظور ارزیابی صحت سنجی نقشه پهنه‌بندی از روش منحنی تجمعی (ROC) استفاده شد. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در تعیین خصوصیات، شناسایی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند. در منحنی ROC ایده آل‌ترین مدل، دارای بیشترین سطح زیر منحنی است و مقادیر AUC از ۰/۵ تا یک متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده، است. همبستگی کمی - کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت زیر است [۲۱]:

(۱) ۰/۹ - عالی، ۰/۸ - ۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷ - ۰/۸ خوب، ۰/۷ - ۰/۶ متوسط و ۰/۵ - ۰/۶ ضعیف).

#### نتایج

نقشه‌های فازی شده لایه‌های مؤثر بر پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش بر اساس ارتباط هر یک از پارامترهای مورد بررسی با پدیده

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (۱)$$

$A_s$ : مساحت حوضه (مترمربع) و  $\tan \beta$ : مقدار شیب منطقه در هر پیکسل بر حسب درجه  
**شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI):** شاخص رطوبت توپوگرافی ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه می‌باشد که می‌تواند تأثیر توپوگرافی را بر روی تولید رواناب به صورت کمی بیان کند [۵]. از رابطه ۲ در محیط نرم‌افزار SAGA تهیه گردید.

$$TWI = \ln A_s / \tan \beta \quad (۲)$$

$A_s$ : مساحت ویژه هر سلول و  $\beta$ : شیب منطقه‌ای (درجه)  
**شاخص طول شیب (LS):** شاخص طول شیب (LS) یا حمل رسوب ( $STI$ ) بیانگر توان حمل آبراهه است. در واقع تأثیر توپوگرافی را بر فرسایش مشخص می‌کند [۵]. این شاخص از رابطه ۳ در محیط نرم‌افزار SAGA تهیه گردید:

$$STI = \left( \frac{As}{22/13} \right)^{0/6} \left( \frac{\sin \beta}{0/0896} \right)^{1/3} \quad (۳)$$

$A_s$ : مساحت حوزه آبخیز (مترمربع) و  $\beta$ : گرادیان شیب بر حسب درجه

**شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI):** حالت گودی و برآمدگی را مورد تمایز قرار می‌دهد [۶]. براین اساس شاخص TPI منفی نشان‌دهنده توپوگرافی کم ارتفاع (تعر و گودال‌ها) و TPI مثبت نشان‌دهنده توپوگرافی زیاد (محدب و ستیغ‌ها) می‌باشد. شاخص TPI طبق رابطه ۴ در محیط نرم‌افزار SAGA به دست آمد.

$$TPI = Z_0 - \sum_{n=1}^{n/n} Z_{n/n} \quad (۴)$$

که  $Z_0$  = ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی (متر)،  $Z_n$  = ارتفاع از شبکه (متر) و  $n$  = تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی. **شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI):** از رابطه ۵ در محیط نرم‌افزار SAGA تهیه شد [۸].

$$TRI = \sqrt{\sum_{p=1}^8 Z_{Md}} \quad (۵)$$

$P$  = تعداد پیکسل اطراف،  $Z_{Md}$  = میانگین تفاضل ۸ پیکسل اطراف هر پیکسل

**شاخص انحناى دامنه:** انحناى شیب یکی از عوامل مؤثر بر زمین لغزش می‌باشد. در انحناى شیب، خمیدگی منفی نشان‌دهنده مقعر بودن دامنه، انحناى شیب صفر نشان‌دهنده مسطح بودن دامنه و خمیدگی مثبت نشان‌دهنده محدب بودن دامنه می‌باشد [۲۵].

**نقشه زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه:** نقشه زمین لغزش‌های منطقه از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه گردید. این نقشه توسط اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی از طریق تفسیر عکس‌های هوایی تهیه گردید.

1. Stream Wetness Index
2. Length and Slope
3. Sediment Transport Index
4. Topographic Position Index

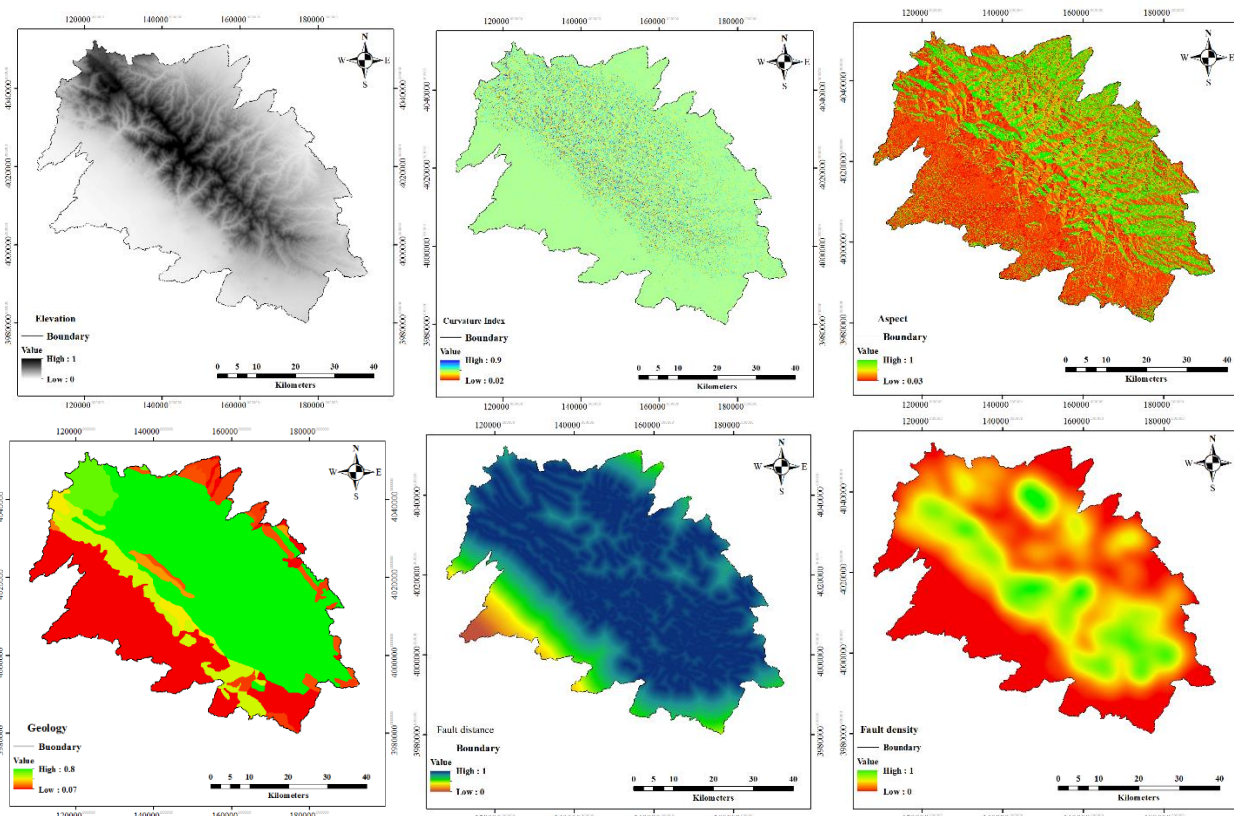


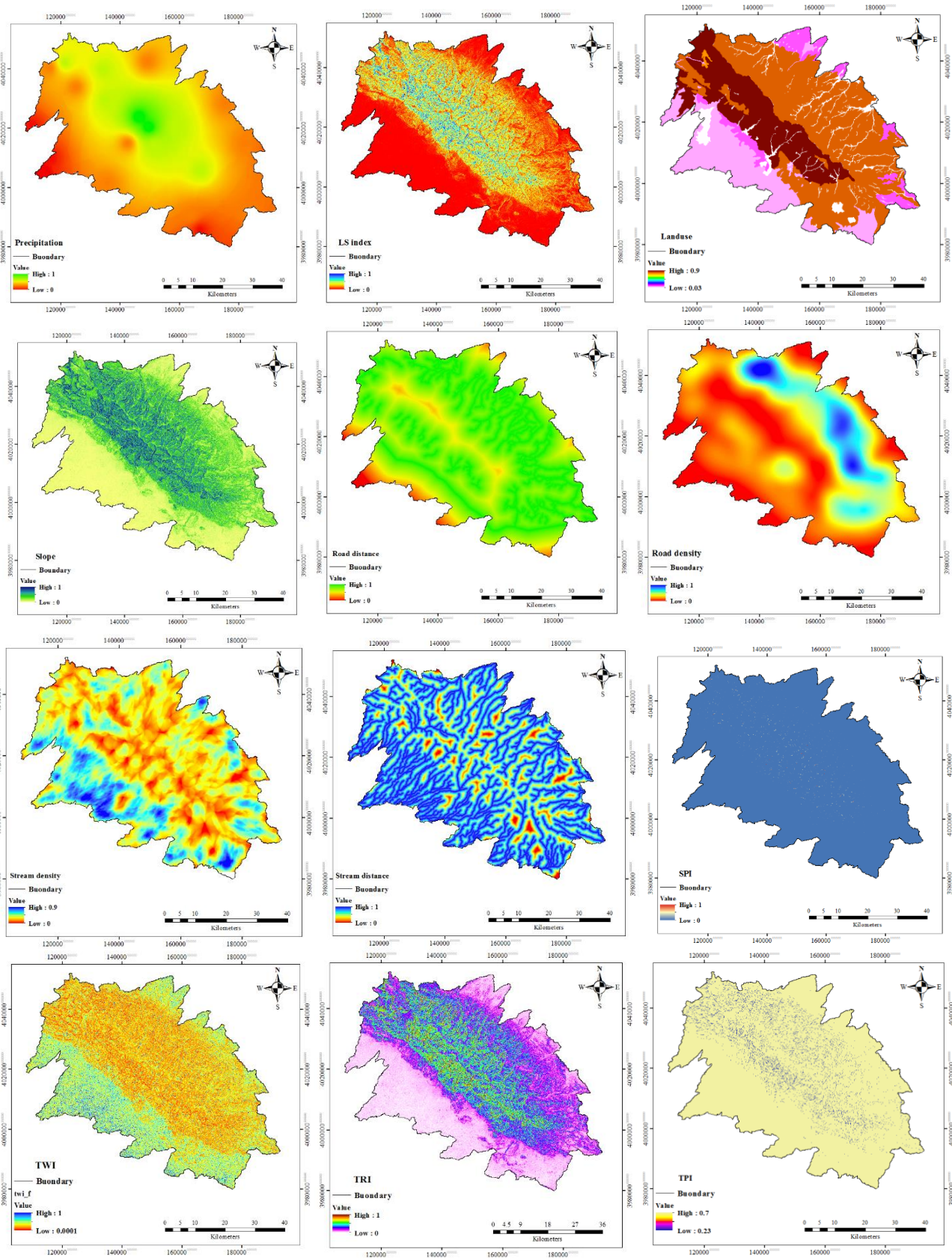
شکل (۴) نقشه تلفیق پهنه‌بندی با استفاده از عملگر فازی ۰/۸ و نقاط لغزشی و جدول (۳) تعداد و درصد پراکنش نقاط لغزشی در طبقات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. نتایج نشان دهنده این است که در عملگر ضرب فازی بیش از ۸۷٪ نقاط لغزشی در کلاس حساسیت کم و خیلی کم قرار گرفتند. در عملگر جمع فازی ۱۰۰٪ نقاط لغزشی در کلاس حساسیت خیلی زیاد واقع شده اند. در نقشه حاصل از عملگر گاما ۰/۸، ۳۵/۴٪ نقاط لغزشی در کلاس کم و خیلی کم و ۲۷/۴٪ نقاط لغزشی در کلاس زیاد و خیلی زیاد واقع شده اند. و در نهایت در نقشه حاصل از عملگر گاما ۰/۹، ۲/۳ درصد نقاط لغزشی در کلاس حساسیت کم و خیلی کم و ۸۰٪ نقاط در کلاس زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

### ارزیابی صحت پهنه‌بندی با روش فازی با استفاده از منحنی ROC

نتایج حاصل از ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مربوط به عملگرهای فازی با روش ROC در شکل ۵ قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عملگر گاما ۰/۸ با مساحت زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۸۷۳ دارای بهترین صحت پهنه‌بندی می‌باشد، که نشان‌دهنده این می‌باشد که نقشه پهنه‌بندی دارای دقت خیلی خوب است. (۱ - ۰/۹ - عالی، ۰/۸ - ۰/۹، خیلی خوب، ۰/۷ - ۰/۸، خوب، ۰/۶ - ۰/۷ متوسط و ۰/۵ - ۰/۶ ضعیف)

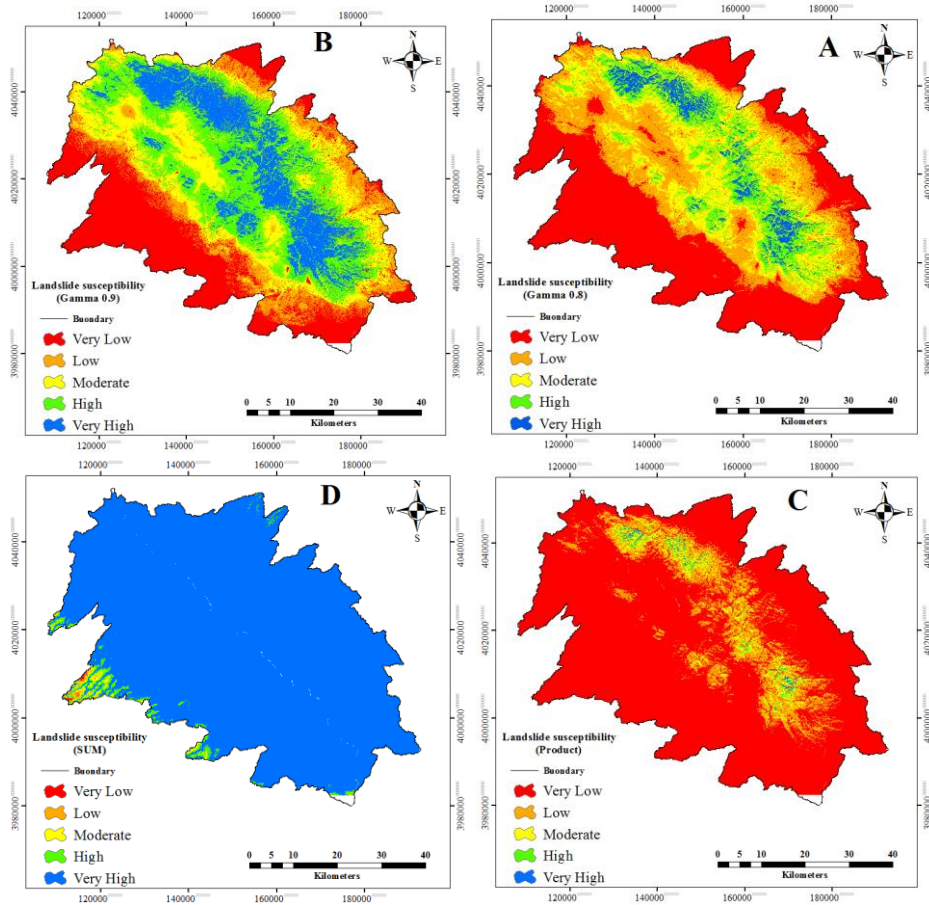
زمین‌لغزش و استفاده از توابع عضویت Fuzzy، Fuzzy Linear، Fuzzy Small و large نقشه عوامل مؤثر فازی سازی شد. و با استفاده از جمع فازی، ضرب فازی و عملگرهای گاما ۰/۸ و ۰/۹ نقشه عوامل مختلف روی هم گذاری شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد. شکل (۲) نقشه فازی شده عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از عملگر گاما ۰/۸، ۰/۹، جمع و ضرب فازی را نشان می‌دهد. همچنین درصد مساحت طبقات خطر زمین‌شناسی با استفاده از عملگرهای مدل فازی در جدول (۲) قابل مشاهده است. بررسی خروجی هر یک از عملگرهای استفاده شده نشان داد که در عملگر ضرب جبری فازی بیش از ۹۵٪ منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم، ۳/۴ درصد منطقه دارای حساسیت متوسط و ۱/۴ درصد کل منطقه دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد است. همچنین نتایج نقشه حاصل از عملگر جمع فازی بیانگر این است که بیش از ۹۹٪ مساحت منطقه دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد هست. همچنین مطابق نقشه حساسیت حاصل از عملگر گاما ۰/۸، کلاس حساسیت کم و خیلی کم بیش از ۷۲٪ مساحت منطقه را در بر گرفته و ۹/۸٪ مساحت منطقه دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد است. و در نهایت مطابق نقشه حساسیت عملگر گاما ۰/۹، حدود ۳۹٪ منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم و ۴۱٪ منطقه دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد است.



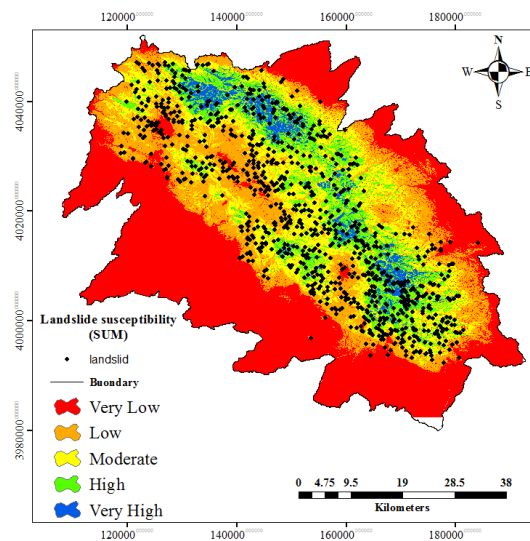


شکل ۲- نقشه فازی شده عوامل مؤثر در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش  
 Fig 2. Fuzzy map of the factors affecting the susceptibility landslides zonation





شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش (A: عملگر گاما ۰/۸)، (B: عملگر گاما ۰/۹)، (C: عملگر ضرب فازی) و (D: جمع فازی)  
 Fig3. Landslide susceptibility zoning map (A: Gamma 0.8), (B: Gamma 0.9), (C: Product) & (D: Sum)



شکل ۴- نقشه تلفیق نقاط لغزشی و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده عملگر گاما ۰/۸  
 Fig 4. combination of landslide map and hazard landslide zonation map

جدول ۲- درصد مساحت طبقات حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگرهای مدل فازی

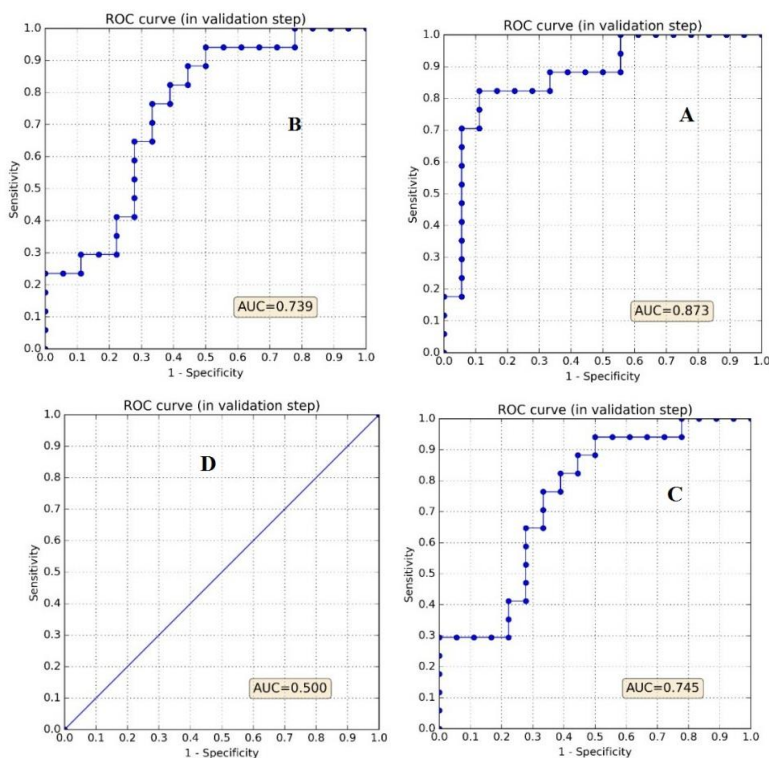
Table 2. Area percentage of landslide susceptibility classes using fuzzy model operators

Area(%)	Landslide sensitivity	Fuzzy operator	Area(%)	Landslide sensitivity	Fuzzy operator
83	Very low	Fuzzy Product	48.2	Very low	Gamma0.8
12.2	Low		24.2	Low	
3.4	Moderate		17.8	Moderate	
1.1	High		8	High	
0.3	Very high		1.8	Very High	
0.06	Very Low	Fuzzy Sum	27.6	Very Low	Gamma0.9
0.2	Low		11.7	Low	
0.62	Moderate		19.4	Moderate	
1.8	High		25	High	
97.32	Very High		16.3	Very High	

جدول ۳- تعداد و درصد پراکنش نقاط لغزشی در طبقات پهنه بندی حساسیت زمین لغزش

Table3. Number and percentage of landslide distribution in landslide susceptibility classes

(%)	Number	Landslide sensitivity	Fuzzy operator	(%)	Number	Landslide sensitivity	Fuzzy operator
59.5	571	Very Low	Fuzzy Product	5.3	51	Very Low	Gamma0.8
28.2	271	Low		30.1	298	Low	
8.8	85	Moderate		37.2	358	Moderate	
3.1	30	High		21.7	209	High	
0.4	3	Very High		5.7	53	Very High	
0	0	Very Low	Fuzzy Sum	0.9	9	Very Low	Gamma0.9
0	0	Low		1.4	14	Low	
0	0	Moderate		17.7	170	Moderate	
0	0	High		41.1	395	High	
100	960	Very High		38.9	372	Very High	



شکل ۵- منحنی ROC مربوط به عملگرهای ۰/۸ (A)، ۰/۹ (C)، ضرب فازی (B) و جمع فازی (D)

Fig 5. ROC curve for 0.8(A), 0.9(C), product(B) and sum(D) operators



چندانی ندارد. ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت با استفاده از عملگر جمع جبری با استفاده از نقشه نقاط لغزشی نشان داد که ۱۰۰ درصد زمین لغزش‌ها در مناطق دارای حساسیت خیلی زیاد واقع شده‌اند که با توجه به این نتایج یعنی کل منطقه حتی شیب‌های پایین و دشت‌ها دارای حساسیت زیاد هستند، منطقی و صحیح به نظر نمی‌رسد. نتایج ارزیابی نقشه پهنه‌بندی با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ به استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها نشان داد که ۳۵/۴ درصد لغزش‌ها در مناطق با حساسیت زیاد و خیلی زیاد و ۳۷/۲ درصد زمین لغزش‌ها در مناطق با حساسیت متوسط و ۲۷/۴ در مناطق با حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند. و در نهایت ارزیابی نقشه پهنه‌بندی عملگر گاما ۰/۹ با استفاده از نقشه پراکنش نقاط لغزشی نشان داد که ۲/۳ نقاط لغزشی در مناطق با حساسیت کم و خیلی کم ۱۷/۷ درصد در مناطق متوسط و ۸۰ درصد در مناطق با حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند. در مجموع به‌عنوان نتیجه کلی ارزیابی پهنه‌بندی می‌توان گفت که عملگرهای ضرب جبری و جمع جبری فازی با توجه به حساسیت خیلی زیاد و خیلی کم دارای مطلوبیت کافی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نمی‌باشند ولی عملگر گاما فازی به علت نقش تعدیلی نسبت عملگر جمع و ضرب فازی دارای مطلوبیت بسیار مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. عملگرهای گاما ۰/۸ و ۰/۹ بهترین عملکرد را در مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ایفا کردند و عملگر گاما ۰/۸ با توجه به منحنی ROC بهترین عملکرد داشته است دارای بهترین عملکرد می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات نادری [۲۲]، سوری [۳۰]، اصغری [۳]، میرنظری [۲۰]، رستمی [۲۸]، بویی [۸]، شامپاتی [۱۰] و لی [۱۸] مطابقت دارد.

#### منابع

1. 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*, 38(1), 87-98.
2. Aminataei, R., Akhavan, S., Nezamivand chegini, A. 2020. Zoning of landslide susceptibility in Rudbar area with LNSF method. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(112), 19-33. (In Persian)
3. Asghari, S., balvasi, I. 2018. A Comparison of Artificial Neural Network Model with Fuzzy logic model In *Landslide Hazard Assessment, quantitative geomorphological researches*, 7(2), 158-182. (In Persian)
4. Ashofteh, A. 2016. *Landslide Hazard Zonation*

در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در دامنه‌های رشته‌کوه‌های بینالود در استان خراسان رضوی با استفاده از عملگرهای منطق فازی و ارزیابی آن‌ها با استفاده از منحنی ROC صورت گرفت. جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل منطق فازی در منطقه مورد مطالعه از عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. بررسی خروجی هر یک از عملگرهای استفاده شده نشان داد که عملگر ضرب جبری فازی به دلیل ضرب عوامل وزنی با یکدیگر باعث می‌شود که در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. به همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در پهنه‌بندی برخوردار است. در نتیجه تعداد پیکسل‌های که در کلاس خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرند کمتر شود. بیشتر زمین لغزش‌ها در طبقات کم و خیلی کم قرار می‌گیرند به‌گونه‌ای که در این مطالعه ۹۵/۲ درصد منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم می‌باشد. در جمع جبری فازی به دلیل جمع شدن عوامل وزنی با یکدیگر ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل نموده، در نتیجه تعداد پیکسل‌های که در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند زیاد خواهد شد؛ در نتیجه دقت خیلی کمی در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش دارد و عرصه‌های وسیعی به‌عنوان مکان‌های دارای استعداد لغزش انتخاب می‌شود. طوری که در این مطالعه بیش از ۹۹ درصد منطقه در کلاس‌های حساسیت خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. عملگر گاما نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. در نتیجه با در نظر گرفتن اختلاف فاحش نتیجه استفاده از عملگر جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی و به منظور دستیابی به نتیجه مناسب‌تر و متعادل‌تر از عملگر فازی با لاندای ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. که با توجه به نتایج ارزیابی صحت پهنه‌بندی با استفاده از منحنی ROC عملگر گاما فازی با لاندای ۰/۸ به لحاظ تفکیک مناسب طبقات خطر از مطلوبیت بیشتری نسبت به دیگر عملگرهای فازی دارد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ حدود ۷۲/۴ درصد سطح منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم، ۹/۸ درصد دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد و ۱۷/۸ درصد دارای حساسیت متوسط می‌باشد. نتایج ارزیابی صحت پهنه‌بندی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که عملگر گاما ۰/۸ دارای صحت خیلی خوبی است. اما ارزیابی نتایج به‌دست آمده بر اساس نقشه پراکنش نقاط لغزشی نشان داد که در نقشه پهنه‌بندی با استفاده از عملگر ضرب فازی ۸۷/۷ درصد زمین لغزش‌ها در مناطق با حساسیت کم و خیلی کم و تنها حدود ۳/۵ درصد زمین لغزش‌ها در مناطق با دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شدند که با توجه به تعداد زمین لغزش‌های برداشت شده و بازدید میدانی به نظر می‌رسد که منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت بالایی از نظر وقوع زمین لغزش می‌باشد، مطابقت

the influence of topographic position on cougar (*Puma concolor*) movement in southern California, USA. *Journal of Zoology*, 271(3), 270-277.

14. Dimri, S., Lakhera, R. C., & Sati, S. 2007. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya. *Landslides*, 4(2), 101.

15. Ercanoglu, M. U. R. A. T., Gokceoglu, C. A. N. D. A. N., & Van Asch, T. W. 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32(1), 1-23.

16. Fallah Zazuli, M., Vafaei Nezhad, A., Alesheikh, A., Modiri, M., Aghamohammadi, H. 2020. Landslide hazard zoning using Shannon Entropy and Information Value models in GIS environment - Case study: East Rudbar-e Alamut District-Qazvin Province. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(112), 123-136. (In Persian)

17. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1-4), 17-28.

18. Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 52(4), 615-623.

19. Leonardi, G., Palamara, R., & Cirianni, F. 2016. Landslide susceptibility mapping using a fuzzy approach. *Procedia engineering*, 161, 380-387.

20. Mirnazari, J., Shahabi, H., Khezri, S. 2015. Assessment and Zoning of Landslide Hazard Using AHP Model and Fuzzy Logic Operators in Posht Tang Watershed of Sar Pole Zahab (Kermanshah Province), *Geography and Development Iranian Journal*, 12(37), 53-70. (In Persian)

21. Mohammadnia, M., Fallah, G. (2018). Landslides susceptibility mapping using fuzzy logic and AHP, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(48),

22. Naderi, F. 2012. Applying fuzzy logic to mapping susceptibility of landslide in Chardavel watershed in Elam province, *Watershed Management Research*, 94, 74. (In Persian)

23. Peng L, Niu R, Huang B, Wu X, Zhao Y, Ye R. 2014. Landslide susceptibility mapping based on rough

in Asaluyeh Region Using AHP and Fuzzy Logic Methods. *Iranian Journal of Business and Economics*. 3(4): 112-124.

5. Azimpoormoghadam, V. 2015. Landslide risk zoning using Bayesian and Dempster-Schiffer theory (Case study: Part of Babolrood watershed). Master Thesis. Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari University.

6. Babolimoakher, H., Shirani, K Taghian, T. (2019). Assessment of Landslide Susceptibility Zoning Map Using Confidence Factor-Logistic Regression Hybrid Method By Means of Geomorphometric Indices, quantitative geomorphological researches, 7(3), 91-116.

7. Bharvand, S., Soori, S. 2015. Landslide hazard zonation using artificial neural network (Case study: Sepiddasht-Lorestan, Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(4), 15-31. (In Persian)

8. Bui DT, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB. 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *CATENA*, 96: 28-40.

9. Carter B, G., 1996. Geomorphic information system for geoscientists (modeling for GIS) peradmen publication USA. Chapter 9.

10. Champati-Ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S. 2007. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in an active seismic zone of Himalaya *Landslides*, 4: 101-111.

11. Dela Cerna, M. A., & Maravillas, E. A. 2016. An Application of Partitive Clustering Algorithm for Landslide Hazard Zonation. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 1)*.

12. Devkota, K. Regmi, A. Pourghasemi, H.R. Yoshida, K. Pradhan, B. Ryu, I. Dhital, M. Althuwaynee, Q. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya, *Nat Hazards*, 65: 135-165.

13. Dickson, B. G., & Beier, P. 2007. Quantifying

31. 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*, 35(1), 66-73.
32. Van Alphen, B. J., & Stoorvogel, J. J. 2000. A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1706-1713.
33. Yalcin A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1): 1-12.
34. Yilmaz I. 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6): 1125-1138.
35. Zare, M., Pourghasemi, H. R., Vafakhah, M., & Pradhan, B. 2013. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8), 2873-2888.
36. Zhu, A. X., & Mackay, D. S. 2001. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. *Journal of Hydrology*, 248(1-4), 54-77.
- set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 204: 287-301.
24. Pourghasemi, H. R., Mohammady, M., & Pradhan, B. 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97, 71-84.
25. Pradhan B. 2011. “Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in Malaysia”, *Environmental Earth Sciences* 63:329–349.
26. Rahmati, M., Zand, F. 2018. Landslide hazard zonation using geographic information System landslide (Case study: Robat-Siahpoush rural district, Lorestan province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(4), 63-75. (In persian)
27. Regmi NR, Giardino JR, Vitek JD. 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1): 172-187.
28. Rostami, Z., Modaresi, A., Jamali, A. 2019. The Zoning of danger of landslide by using the fuzzy region (the case study: the Watershed in Cham Gordlan dam in Elam), *Journal of Natural environment hazards*, 8(22), 1-18. (In Persian)
29. Saboya Jr, F., da Glória Alves, M., & Pinto, W. D. 2006. Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic. *Engineering Geology*, 86(4), 211-224.
30. Soori, S., Bharvand, S., Farhadinejad, T. 2014. Landslide hazard zonation using Fuzzy logic (A case study: ChamSangar watershed). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 4(4), 47-60. (In Persian)



## Evaluation of Hazard Landslide Zonation Using Fuzzy Logic Method in Binalood Mountain

A. Dastranj<sup>1</sup>, F. Vakili Tajareh<sup>2</sup> and H. Noor<sup>3</sup>

Received: 02-06-2020 Accepted: 20-08-2020

### Abstract

Landslides are one of the most destructive phenomena of nature that cause damage to both property and life every year, therefore, landslide susceptibility zonation is necessary for planning future developmental activities. In this study, the operator of fuzzy logic in landslide hazard zonation has been used in ArcGIS software environment in the southern and northern slopes of Binalood mountain range in Khorasan Razavi province. For this purpose, first layers of 20 factors related to the occurrence of landslide phenomenon were prepared. After fuzzyizing the layers in the ArcGIS environment, the landslide risk zoning was performed using fuzzy Product, fuzzy sum, gamma 0.8 and 0.9. Finally, the accuracy of the obtained maps was evaluated using ROC curve and landslide distribution map. Evaluation of landslide zoning results showed that Fuzzy product and fuzzy Sum operators due to their high and very low sensitivity are not suitable for landslide risk zoning. But fuzzy gamma-ray operation is suitable for landslide zonation. According to the results of the ROC curve and the landslide distribution map, the gamma operators (0.8 and 0.9) have the best performance in modeling and zoning the landslide risk. According to the Landslide Risk Zoning Map using Gamma 0.8, about 72.4 percent of the area has low and very low sensitivity, 9.8 percent has high and very high sensitivity and 17.8 percent has moderate sensitivity.

**Keywords:** *Landslide, Zonation, Fuzzy logic, ROC, ArcGIS*

1. Corresponding Author and Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, Email: Dastranj66@gmail.com

2. Ph.D Student in Watershed Science and Engineering, Reclamation of Arid and Mountainous Regions Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran