



نسخه از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال دوازدهم / شماره سوم) پاییز ۱۴۰۰

نماینده شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیولیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : <http://girs.iaubushehr.ac.ir>



ارزیابی مقایسه‌ای حساسیت به زمین لغزش با استفاده از روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی

مقاله پژوهشی

علی دسترنج، حمزه نور

دریافت: ۱ آذر ۱۳۹۹ / پذیرش: ۵ اسفند ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱ مهر ۱۴۰۰

چکیده

از آنجاکه پیش‌بینی دقیق وقوع زمین‌لغزش توسط علوم انسانی امکان‌پذیر نیست، بنابراین می‌توانیم با شناسایی مناطق مستعد لغزش و اولویت‌بندی آن‌ها از آسیب این پدیده جلوگیری کنیم. کوه‌های بینالود در استان خراسان رضوی، به دلیل شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، توپوگرافی، آب‌وهوا و پوشش گیاهی، دارای انواع حرکات توده‌ای است. از طریق ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش و شناسایی مناطق پرخطر از نظر زمین‌لغزش، می‌توانیم از خسارات احتمالی مالی و جانی ناشی از زمین‌لغزش در این منطقه را کاهش بدهیم. لذا برای حفظ سرمایه‌های ملی ضروری است تا در برخورد با بلایای طبیعی مدیریتی جامع اعمال گردد که منظور از آن اتخاذ تدابیر و فعالیت‌هایی است که موجب پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارت‌های ایجاد شده می‌گردد. نتایج این مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات بنیادی توسط مدیران و برنامه‌ریزان محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرد. به‌منظور تهیه نقشه‌های منطقه بندی خطر لغزش می‌توان از روش‌های مختلفی مانند منطق فازی، روش‌های آماری و فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) استفاده کرد. از اوایل دهه ۱۹۷۰، بسیاری از دانشمندان تلاش کرده‌اند تا خطرات زمین‌لغزش را ارزیابی کنند و نقشه حساسیت خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش‌های مختلف مبتنی بر GIS تهیه کنند. هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش (LSM)

پیشینه و هدف زمین‌لغزش یکی از گسترده‌ترین و مخرب‌ترین پدیده‌ها در میان بلایای طبیعی است. با توجه به توپوگرافی کوهستانی مرتفع، فعالیت تکتونیکی، لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، اساساً ایران برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌لغزش شرایط طبیعی را دارد و این زمین‌لغزش‌ها سالانه خسارات جانی مالی فراوانی به کشور وارد می‌کنند. با توجه به اینکه پیش‌بینی زمان زمین‌لغزش بسیار دشوار است، از این‌رو شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و منطقه بندی این مناطق بر اساس خطر احتمالی بسیار مهم است. بنابراین باید مناطق مستعد زمین‌لغزش شناسایی شوند تا خسارات ناشی از زمین‌لغزش کاهش یابد. هدف اصلی از تجزیه و تحلیل حساسیت زمین‌لغزش شناسایی مناطق پرخطر و در نتیجه کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش از طریق اقدامات مناسب است.

علی دسترنج (✉)، حمزه نور^۱

۱. 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 الکترونیکی مسئول مکاتبات : Dastranj66@gmail.com
<http://dorl.net/dor.20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

در رشته کوه‌های بینالود، با استفاده از روش‌های فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، است.

مواد و روش‌ها در این مطالعه به منظور ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش در دامنه‌های کوه‌های بینالود از دو روش منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. به این منظور، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه)، جاده (فاصله از جاده، تراکم جاده)، گسل (فاصله از گسل، تراکم گسل)، واحدهای مورفولوژیکی، شاخص‌های توپوگرافی (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب (LS))، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و شاخص انحنای سطح (Curvature Index)، کاربری اراضی، خطوط هم‌دما و خطوط هم بارش به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه تهیه شد. در ادامه وزن هریک از پارامترها و زیر پارامترها در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین گردید. سپس با استفاده از ابزارهای مناسب در محیط GIS این وزن‌ها در نقشه هر پارامتر ضرب و در نهایت نقشه‌های حاصله روی هم گذاری شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در روش فازی، بعد از فازی سازی لایه‌های مورد نظر در محیط ArcGIS، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از عملگر گاما $0/8$ ، در محیط GIS، صورت پذیرفت. و در نهایت صحت نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از منحنی ROC و نسبت عددی NRi، مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث نتایج وزن دهی به پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مبین این است به ترتیب عوامل زمین‌شناسی، شیب و گسل بیشترین تأثیر را در وقوع خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارند.

نتایج تحلیل نقشه حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از AHP نشان داد به $47/8\%$ سطح منطقه در محدوده زیاد و خیلی زیاد واقع شده، همچنین $13/4\%$ در محدوده متوسط و $38/8\%$ در محدوده کم و خیلی کم قرار گرفته است. نتایج تحلیل نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از منطق فازی بیانگر این است $27/7\%$ در محدوده زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین $15/5\%$ در محدوده متوسط و $56/8\%$ در محدوده کم و خیلی کم واقع شده است. همچنین ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش به کمک منحنی ROC، نشان داد که مساحت زیر نمودار (AUC)، در روش AHP و فازی به ترتیب برابر با $81/7\%$ و $75/2\%$ است که گویایی دقت و صحت ارزیابی خیلی خوب هر دو مدل هست. همین‌طور نسبت عددی NRi در روش AHP در طبقات حساسیت زمین لغزش، بیشتر از روش فازی است، زیرا روش AHP در مقایسه با روش فازی، درصد بالایی از زمین لغزش‌ها را در مساحت کوچک‌تری به‌عنوان پهنه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد پوشش داده است.

نتیجه‌گیری در این مطالعه به‌منظور ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از دو روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده و عملکرد آن‌ها با هم مقایسه شد. نقشه حساسیت زمین لغزش به پنج کلاس طبق بندی و عملکرد نتایج هر دو روش با استفاده از منحنی ROC و نسبت عددی NRi مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی عملکرد دو روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از منحنی ROC و نسبت عددی NRi نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش فازی درستی و دقت بیشتری در پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد. نقشه‌های حساسیت به زمین لغزش مانند نقشه تولید شده در این مطالعه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای برنامه ریزان و مهندسان برای سازمان‌دهی مجدد یا برنامه‌ریزی برنامه‌های جدید فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: حساسیت زمین لغزش، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطق فازی، بینالود

مقدمه

زمین لغزش یکی از گسترده ترین و مخرب ترین پدیده‌ها در میان بلایایی طبیعی است (۱۸). بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای به کمک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آبی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی حائز اهمیت بوده و در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه ریزان قرار دارد (۳). بنابراین به منظور کاهش خسارات لازم است مناطق مستعد زمین لغزش شناسایی بشوند. از این رو، ارزیابی حساسیت زمین لغزش اطلاعات بارزشی برای کاهش خسارات فراهم می‌کند (۸). هدف اصلی از آنالیز حساسیت زمین لغزش شناسایی مناطق خطرناک و با ریسک بالا و کاهش خسارت است (۲۳). روش‌های مختلفی برای آماده‌سازی نقشه حساسیت و خطر زمین لغزش با استفاده مدل‌های آماری و ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در دهه گذشته توسعه یافته‌اند. که از آن جمله می‌توان به مدل‌های آماری مانند رگرسیون لجستیک (۷ و ۲۲)، آنالیز دو متغیره و چند متغیره (۱۱ و ۲۷)، مدل‌های احتمالی مانند نسبت فرکانس (FR) و روش شواهد وزنی (WOE) (۱۰ و ۱۴)، مدل شاخص آنتروپی (IOE) (۱۳ و ۱۵)، مدل شبکه عصبی (۲۴ و ۲۵)، روش آنالیز تصمیم‌گیری چند متغیره (۲ و ۷)، روش فازی (۹)، روش تحلیل سلسله مراتبی (۱۷ و ۲۶) و مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) (۵ و ۲۰)، اشاره کرد. روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش ارائه شده است ولی هیچ‌کدام قطعیت لازم را ندارند و در بیشتر موارد برای مناطق خاص با در نظر گرفتن اصلاحات لازم کاربرد دارند. در این مطالعه با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و داده‌های موجود و عدم قطعیت‌ها از دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فازی استفاده گردید. بوی و همکاران (۴) به پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از دو روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. بدین منظور هفت پارامتر

شیب، سنگ‌شناسی، کاربری، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های حساسیت به دست آمده از منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) استفاده کردند. پیثباران و همکاران (۱۷) به ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت مبنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش در بخش‌های از هیمالیا در هند پرداختند. آن‌ها از چهار الگوریتم ماشین یادگیری شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین یادگیری افراطی (ELM) از شبکه عصبی، الگوریتم ML کلاسیک در ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار (ELANFIS) از سیستم فازی-عصبی، استفاده کردند. نقشه‌های حساسیت به دست آمده با کمک نقشه پراکنش زمین لغزش مقایسه شد. نتایج نشان داد که الگوریتم ELANFIS دارای صحت بیشتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد. دمیر (۶) به پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش در قسمت‌های شمالی گسل آنتالین ترکیه با استفاده از روش‌های مبتنی بر GIS پرداختند. برای این منظور از دو مدل شاخص آنتروپی (IOE) و نسبت فرکانس (FR) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل از منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد صحت پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش در مدل FR ($AUC=75/71$) کمی بهتر از مدل IOE ($AUC=75/43$)، است.

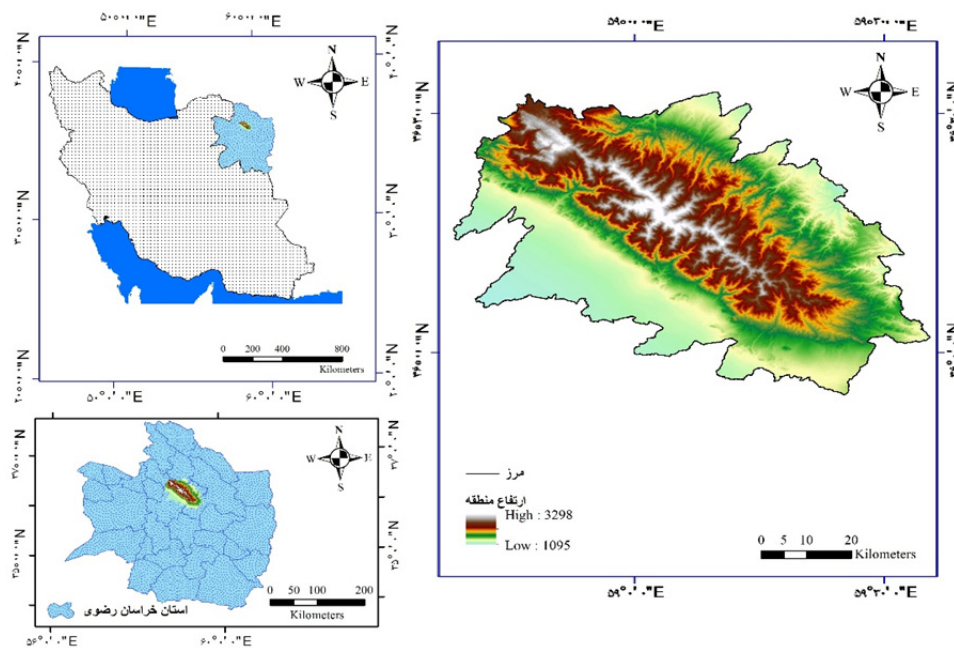
هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه نقشه حساسیت زمین لغزش در دامنه‌های شمالی و جنوبی کوه‌های بینالود در استان خراسان رضوی با استفاده از روش فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است. از این رو در این مقاله، ابتدا داده‌های مربوط به عامل مؤثر بر زمین لغزش شامل؛ شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه)، جاده (فاصله از جاده، تراکم جاده)، گسل (فاصله از گسل، تراکم گسل)، واحدهای مورفولوژیکی، شاخص‌های توپوگرافی

کمترین ارتفاع منطقه به میزان ۱۰۹۵ متر منطبق بر دشت‌های اطراف نیشابور و بیشترین ارتفاع به میزان ۳۲۹۸ متر منطبق بر قله شیرباد است. مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه می‌توان به سنگ‌آهک خاکستری و سیاه، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، توف و شیل توفی، فیلیت، مارن قرمز، مارن گچ دار و تراس‌های کهن کواترنری، اشاره کرد. از دیدگاه اقلیمی، رشته‌کوه بینالود دارای آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک است و متوسط بارندگی و دمای سالانه منطقه به ترتیب ۳۲۰ میلی‌متر و ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه به دلیل داشتن ویژگی‌های گوناگون سنگ‌شناختی، زمین‌ساختی، توپوگرافی، لرزه‌خیزی و شرایط آب و هوایی، مستعد خطر زمین‌لغزش است و به دلیل تراکم روستانشینی، کاربری باغی فراوان و نقش تفرجگاهی، از دید ریسک زمین‌لغزش نیز بسیار اهمیت دارد. مهم‌ترین روستاها و مناطق تفرجگاهی منطقه می‌توان از دررود، بوژان، زشک، طرهبه، خرو، بار و دیزآباد را نام برد که در دامنه رشته‌کوه بینالود از چشم‌اندازهای بی‌مانند و بدیعی برخوردارند.

(شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب (LS))، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و شاخص انحنا سطح (Curvature Index)، کاربری اراضی، خطوط هم‌دما و خطوط هم بارش برای منطقه مورد مطالعه گردآوری شد. سپس با استفاده از روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی این نقشه وزن دهی و با تلفیق لایه‌های وزن‌دار، نقشه حساسیت زمین‌لغزش تهیه و تفسیر شد. در پایان به‌منظور مقایسه دقت دو روش از منحنی ROC و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها استفاده شد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعتی حدود ۳۵۱۰ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۵۸° ۳۸' ۱۲" تا ۵۹° ۳۵' ۲۱" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° ۱۵' ۳۰" تا ۳۶° ۱۱' ۵۸" شمالی در جنوب غربی مشهد و شرق نیشابور واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig1. Location of the study area

روش تحقیق

در این مطالعه به منظور ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش در دامنه‌های کوه‌های بینالود از دو روش منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید. سپس به منظور ارزیابی دقت روش‌ها از منحنی ROC و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه استفاده شد است.

آماده‌سازی داده‌ها

به منظور انتخاب عوامل مؤثر بر زمین لغزش هیچ معیار پذیرفته شده جهانی وجود ندارد، با این حال باید پارامترهای انتخاب شود که به طور ایده‌آل قابل اندازه‌گیری، غیریکنواخت، عملیاتی و غیره اضافی باشد. در انتخاب عوامل مؤثر بر حساسیت زمین لغزش مطالعات گذشته، تجربیات کارشناس و خصوصیات ژئومورفولوژی منطقه مؤثر هستند (۱۶). با بررسی و مطالعه پژوهش‌های انجام گرفته و همچنین بر اساس نظر کارشناسی کارشناسان اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی و بخش حفاظت خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی که آگاهی کاملی از منطقه دارند و نیز داده‌های موجود و بررسی‌های میدانی منطقه مورد مطالعه، پارامترهای را که تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشته‌اند، انتخاب شدند. گردآوری اطلاعات به صورت میدانی، کتابخانه‌ای و با مراجعه به اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی صورت گرفت. در نهایت مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه شامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه)، جاده (فاصله از جاده، تراکم جاده)، گسل (فاصله از گسل، تراکم گسل)، واحدهای مورفولوژیکی، شاخص‌های توپوگرافی (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب (LS))، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و شاخص انحنای سطح (Curvature Index)، کاربری اراضی،

خطوط هم‌دما و خطوط هم بارش به عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نقشه شیب، جهت و ارتفاع منطقه مورد مطالعه با از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تهیه DEM منطقه در محیط نرم افزار GIS تهیه گردید. اطلاعات لایه زمین‌شناختی و گسل‌های منطقه از طریق این نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی شیت مشهد و نیشابور، استخراج شد. لایه اطلاعاتی بارش و دما با استفاده از نقشه خطوط هم باران و هم‌دما منطقه که از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد، آماده گردید. نقشه کاربری منطقه از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد سپس با کمک گوگل ارث Google Earth و بازدید میدانی اصلاح گردید. نقشه آبراهه‌های منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) به کمک ابزار ArcHydro در محیط GIS، تهیه شد. نقشه جاده‌های منطقه از طریق رقومی سازی تصاویر گوگل ارث منطقه به دست آمد. لایه‌های شاخص‌های توپوگرافی و شاخص‌های ژئومورفولوژیک، در محیط نرم افزار SAGA تهیه گردید.

نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه در توصیف رابطه بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و توزیع زمین لغزش حیاتی است (۱۶). در این مطالعه نقشه زمین لغزش‌های موجود در حوضه از طریق نقشه زمین لغزش موجود در اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی و اطلاعات مرکز مطالعات زمین لغزش در سازمان جنگل‌ها و مراتع استخراج شد. سپس از طریق بازدید میدانی و تصاویر گوگل ارث زمین لغزش‌های جدید شناسایی و در نهایت با انتقال اطلاعات به محیط ArcGIS نقشه پراکنش زمین لغزش اصلاح و تهیه گردید.

نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالایی عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. مقدار گاما از طریق قضاوت کارشناسی مبتنی بر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده‌شده یا تجربیات موجود درباره موضوع مورد بررسی تعیین یا از طریق آزمون سعی و خطا، در تطبیق با شواهد، واقعی می‌گردد. در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش نقشه نهایی حساسیت وقوع زمین‌لغزش تهیه گردید.

ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از سیستم‌های تصمیم‌گیری برای معیارهای چندگانه است که بر پایه دانش کارشناسی استوار است و توسط ساعتی (۱۹) طراحی گردید. در ۲۰ سال گذشته به‌طور گسترده و موفق در سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه شاخص ناسازگاری (CR) است که امکان تجدیدنظر در قضاوت‌ها را فراهم می‌کند (۱۶). این نسبت در صورت کوچک‌تر بودن از ۰/۱ دلالت بر سطح قابل قبول پایداری دارد. ابزار گردآوری داده‌ها در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، پرسشنامه است. در پرسشنامه مقایسات زوجی نظرات کارشناسان به صورت شفاهی و بر اساس جدول مقیاس نه درجه ساعتی (جدول ۱)، کسب می‌گردد. و بر اساس آن ماتریکس مقایسه‌ای برای معیارها و زیرمعیارها (قضاوت مقایسه‌ای برای معیارها و زیرمعیارها) شکل گرفته و اولویت هر شاخص مشخص می‌شود (۱۶). پس از شناسایی و مطالعه پارامترهای تأثیرگذار بر پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف بر وقوع زمین‌لغزش و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی، پرسشنامه طراحی و برای کارشناسان خبره فرستاده شد و از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) برای مقایسات زوجی در روش تحلیل سلسله

ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش منطق فازی (FUZZY Logic)

در سال‌های اخیر روش‌های مبتنی بر منطق فازی به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش استفاده شده است (۱۶). تأثیر عوامل مؤثر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش، قطعی و صددرصدی نیست. برای مطالعه چنین شرایط پیچیده و مبهمی، مدل‌سازی فازی مناسب است، زیرا با استفاده از نظریه فازی، می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد. در مدل‌سازی فازی، هر فرد هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف اما به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و یا خود این دو حد را می‌پذیرد. روش فازی با پنج عملگر که هر یک دارای نحوه عمل خاصی هستند، در محیط نرم‌افزار ArcGIS قابل اجرا است (۶). این عملگرها عبارت‌اند: اجتماع فازی (Fuzzy OR)، اشتراک فازی (Fuzzy AND)، ضرب فازی (Fuzzy Product)، جمع فازی (Fuzzy SUM) و گاما (Fuzzy Gamma).

به منظور ارزیابی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی، ابتدا لازم است، تک‌تک 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 نسخه ۱۰/۵ نرم‌افزار ArcGIS فازی سازی گردیدند. لایه‌های لیتولوژی، تیپ اراضی، کاربری اراضی و جهت شیب جزء لایه‌های کیفی می‌باشند. عضویت لایه‌های وکتوری بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده زمین‌لغزش دارد، تعیین گردیده است. به منظور فازی نمودن این لایه‌ها، با توجه به طبقه‌بندی هر یک از لایه‌ها و عملکردی که در پهنه‌بندی زمین‌لغزش دارند، امتیازی بین ۰ تا ۲۵۵ به آن‌ها داده شده و سپس فازی سازی شدند. سپس با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ روی هم‌گذاری نقشه‌ها انجام شد نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. عملگر گاما

این لایه‌ها با استفاده از ابزار Raster Calculator و بر اساس ارزش‌های نسبی به دست آمده برای هر شاخص، نقشه نهایی حساسیت وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به پنج پهنه از رده خیلی کم تا خیلی زیاد تقسیم گردید.

مراتبی (AHP) از محیط نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. وزن هر یک از پارامترها و زیر پارامترها در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. بعد از به دست آوردن ارزش نسبی متغیرهای مؤثر بر وقوع زمین لغزش در محیط Expert choice این ارزش‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، در لایه‌های مورد نظر اعمال گردید. در نهایت از تلفیق

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی (۲۱)

Table 1. The scale of relative importance of AHP method suggested by Saaty

مقدار عددی Value	ترجیحات Definition
۹	Absolute importance اهمیت مطلق
۷	Demonstrated importance اهمیت خیلی قوی
۵	Essential or strong importance اهمیت قوی
۳	Weak importance of one over another کمی مهم تر
۱	Equal importance اهمیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	Intermediate values between the two adjacent judgments ترجیحات میان فواصل فوق

در روش تحلیل نقشه نقاط لغزشی، نقشه حساسیت زمین لغزش به پنج پهنه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تعریف و با تقسیم مساحت هر یک از این پهنه‌ها به مساحت کل منطقه، سهم هر یک از پهنه‌ها در منطقه برحسب درصد به دست آمد ($S_i\%$). در مرحله بعد، تعداد زمین لغزش‌های موجود در هر پهنه شمارش و با تقسیم آن بر کل زمین لغزش‌های شناسایی شده در منطقه، درصد رخداد زمین لغزش در هر پهنه به دست آمد ($L_i\%$). برای مقایسه نتایج حاصل از دو روش، با تقسیم $L_i\%$ به $S_i\%$ ، (رابطه ۱) در هر پهنه نسبت عددی NR_i (Numerical Ratio) محاسبه گردید (۱۲).

$$NR_i = L_i\% / S_i\% \quad [1]$$

هرچه این نسبت عددی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که تعداد بیشتری زمین لغزش در محدوده کوچک‌تری از نقشه پوشش داده شده است.

ارزیابی دقت نقشه حساسیت زمین لغزش

پس از تهیه نقشه‌های حساسیت زمین لغزش، مقایسه میان روش‌ها صورت گرفت. به این منظور از دو روش مساحت زیر نمودار راک ROC و تحلیل نقشه حساسیت زمین لغزش به کمک نقشه پراکنش نقاط لغزشی (محاسبه نسبت عددی NR_i) استفاده گردید. روش 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 ایده‌آل‌ترین مدل، دارای بیشترین سطح زیر منحنی است و مقادیر AUC از ۰/۵ تا یک متغیر است (۱). 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 (۶). همبستگی کمی - کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت زیر 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).

نتایج

تهیه و ارزیابی نقشه حساسیت زمین‌لغزش از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

۰/۰۸ محاسبه شد که بیانگر مقایسه زوجی صحیح عوامل است. این مطلب نشان‌دهنده این است که نمی‌توان گفت فاکتورهای که ارزش کمتری دارند در واقع در وقوع زمین‌لغزش بی‌تأثیر هستند بلکه تأثیر آن‌ها نسبت به فاکتورهای که ارزش بیشتری دارند به مراتب کمتر است و این نتایج بر اساس قضاوت کارشناسان در منطقه مورد مطالعه به دست آمده است. که ممکن است با گذشت زمان این ضرایب تغییر کند (جدول ۲).

بر اساس ارزش‌های نسبی به دست آمده متغیرهای زمین‌شناسی با وزن نسبی، شیب و گسل به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۰۹، ۰/۲۰۲ و ۰/۱۳۳ به عنوان مؤثرترین و معیارهای دما و جاده به ترتیب با وزن نسبی ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۶ به عنوان کم تأثیرترین عامل در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه هستند. میزان نرخ ناسازگاری برای متغیرهای اصلی

جدول ۲. ارزش نسبی متغیرهای مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

Table 2. Relative value of variables affecting landslides using Analytical Hierarchy process (AHP)

متغیر Variable	پارامتر Parameter	ارزش Value	نرخ ناسازگاری Inconsistency Rate
متغیرهای اصلی Main variables	زمین‌شناسی Geology	۰/۲۰۹	۰/۰۸
	شیب Slope	۰/۲۰۲	
	گسل Fault	۰/۱۳۳	
	بارش Precipitation	۰/۱۰۶	
	جهت شیب Aspect	۰/۰۷۴	
	شاخص‌های ژئومورفومتریک Geo Index	۰/۰۵۵	
	شاخص‌های توپوگرافیک Topographic Index	۰/۰۵۰	
	شبکه زهکشی Drainage Network	۰/۰۴۵	
	کاربری اراضی Land use	۰/۰۳۶	
	تیپ اراضی Land Type	۰/۰۳۳	
زمین‌شناسی Geology	ارتفاع Altitude	۰/۰۳۰	۰/۰۱
	جاده Road	۰/۰۱۶	
	دما Temperature	۰/۰۱۲	
	سنگ‌های نرم Soft rocks	۰/۶۶۱	
	خاک (رسوبات سست) Soil	۰/۲۳۱	
	سنگ‌های سخت Hard rocks	۰/۱۰۸	
بارش Precipitation	<۲۵۰ (میلی لیتر) ۲۵۰-۳۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۲
	۳۰۰-۳۵۰	۰/۱۰۱	
	۳۵۰-۴۰۰	۰/۱۶۱	
	۴۰۰-۴۵۰	۰/۲۵۲	
دما Temperature	۴۵۰-۵۰۰	۰/۳۷۶	.
	۸-۱۰ (سانتی‌گراد) ۱۰-۱۲	۰/۶ ۰/۴	

ادامه جدول ۲.

Cont. Table 2.

	۰/۰۴۶	۱۵۰۰-۱۰۰۰ (متر)	
	۰/۱۰۷	۱۵۰۰-۲۰۰۰	
۰/۰۵	۰/۲۰۹	۲۰۰۰-۲۵۰۰	طبقات ارتفاعی
	۰/۳۸۸	۲۵۰۰-۳۰۰۰	Altitude
	۰/۲۵۱	۳۰۰۰-۳۲۹۸	
	۰/۰۵۵	<۵ (درجه)	
۰/۰۵	۰/۱۲۶	۵-۱۵	شیب
	۰/۴۴۷	۱۵-۳۰	Slope
	۰/۳۷۲	>۳۰	
	۰/۲۸۳	شمالی (N)	
	۰/۲۱۳	شمال شرقی (NE)	
	۰/۱۵۶	شمال غرب (NW)	
	۰/۱۰۲	شرق (E)	
۰/۰۶	۰/۰۷۲	جنوب شرق (SE)	جهت شیب
	۰/۰۵۶	جنوب غرب (SW)	Aspect
	۰/۰۵۴	جنوب (S)	
	۰/۰۴۶	غرب (W)	
	۰/۰۱۷	یکنواخت (Flat)	
.	۰/۶۸۸	فاصله از آبراهه Stream distance	شبکه زهکشی
	۰/۳۱۳	تراکم آبراهه Drainage density	Drainage Network
	۰/۵۰۲	<۳۰۰ (متر)	
	۰/۲۳۹	۳۰۰-۶۰۰	
۰/۰۴	۰/۱۲۷	۶۰۰-۹۰۰	فاصله از آبراهه
	۰/۰۷۹	۹۰۰-۱۲۰۰	Stream distance
	۰/۰۵۲	>۱۲۰۰	
	۰/۱۱۰	۰-۰/۵ (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
	۰/۱۶۴	۰/۵-۱	
۰/۰۲	۰/۳۰۱	۱-۱/۵	تراکم آبراهه
	۰/۴۲۵	۱/۵-۲	Drainage density
	۰/۴۰۵	کوهستان Mountain	
	۰/۲۲۸	تپه Hill	
	۰/۰۸۸	فلات و تراس‌های بالایی Plateau & upper Terraces	
۰/۰۳	۰/۰۷۳	واریزه‌های بادبزی شکل Gravelly Alluvial Fan	تیپ اراضی
	۰/۰۵۹	مخلوط (مجموع واحدها) Complex	Land type
	۰/۰۵۳	دشت‌های دامنه‌ای Alluvial Plain	
	۰/۰۵۲	آبرفت‌های بادبزی شکل Alluvial Fan	
	۰/۰۴۲	دشت‌های سیلابی Flood Plain	
.	۰/۶۶۷	فاصله از جاده Road Distance	جاده
	۰/۳۳۳	تراکم جاده Road density	Road

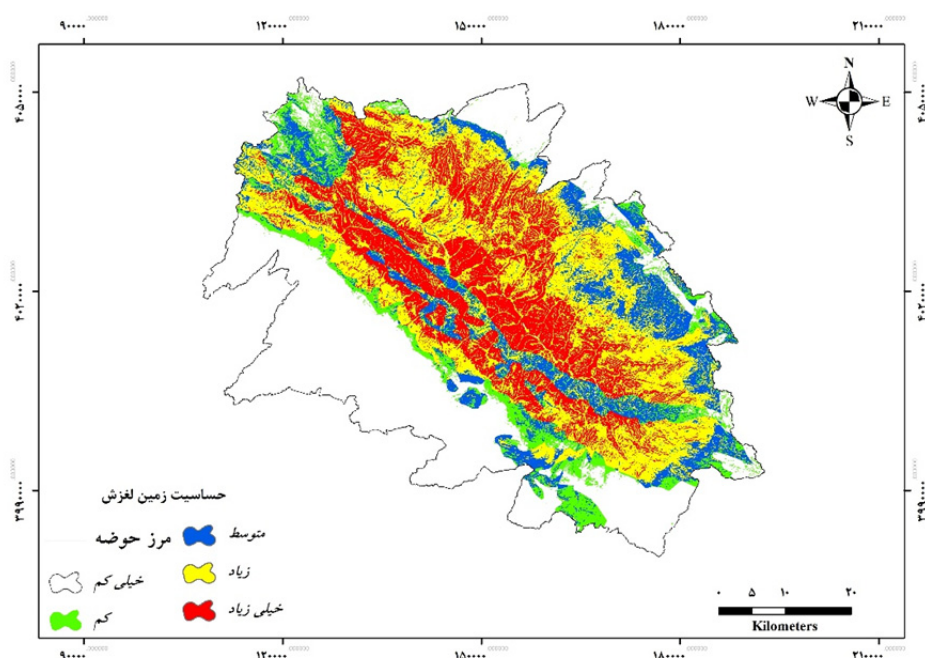
ادامه جدول ۲.
Cont. Table 2.

	۰/۴۴۱	<۱۰۰ (متر)	
	۰/۲۷۲	۱۰۰-۲۰۰	
۰/۰۳	۰/۱۳۸	۲۰۰-۳۰۰	فاصله از جاده Road distance
	۰/۰۹۰	۳۰۰-۴۰۰	
	۰/۰۶	>۴۰۰	
	۰/۲۰۴	<۰/۱ (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
۰/۰۴	۰/۳۰۱	۰/۱-۰/۴۵	تراکم جاده Road density
	۰/۴۹۵	۰/۴۵-۰/۹	
	۰/۲۱۶	Barely بدون پوشش	
	۰/۱۷۵	Woodland(very poor) بوته‌زار(خیلی فقیر)	
	۰/۱۶۸	Very poor forest جنگل خیلی فقیر	
	۰/۱۵۰	Poor range مرتع فقیر	
	۰/۱۳۶	Moderate range مرتع متوسط	
۰/۰۳	۰/۰۳۷	Dry farming کشت دیم	کاربری اراضی Land use
	۰/۰۲۹	Complex مخلوط (کشت دیم باغ)	
	۰/۰۲۷	Orchard باغ	
	۰/۰۲۳	water farming کشت آبی	
	۰/۰۲۰	Rock صخره سنگی	
	۰/۰۱۹	Residential region مناطق مسکونی	
	۰/۴۹۰	Stream Power Index (SPI) شاخص توان آبراهه	
۰/۰۳	۰/۳۲۱	Topography Wetness Index (TWI) رطوبت توپوگرافی	شاخص‌های توپوگرافی Geomorphometric Index
	۰/۱۸۹	Length of Slope (LS) شاخص طول شیب	
	۰/۵۵۰	Topo Ruggedness Index (TRI) ناهمواری توپوگرافی	
۰/۰۲	۰/۲۴۰	Topo position Index (TPI) شاخص موقعیت توپوگرافی	شاخص‌های ژئومورفولوژیک Topographic Index
	۰/۲۱۰	curvature index شاخص انحنای دامنه	
	۰/۶۴۳	Fault distance فاصله از گسل	گسل Fault
	۰/۳۵۷	Fault density تراکم گسل	
	۰/۴۳۰	<۵۰۰ (متر)	
	۰/۲۶۱	۵۰۰-۱۰۰۰	
۰/۰۱	۰/۱۶۳	۱۰۰۰-۱۵۰۰	فاصله از گسل Fault distance
	۰/۰۸۹	۱۵۰۰-۲۰۰۰	
	۰/۰۵۶	>۲۰۰۰	
	۰/۱۰۵	<۰/۲ (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	
۰/۰۴	۰/۲۵۸	۰/۲-۰/۴	تراکم گسل Fault density
	۰/۶۳۷	> ۰/۴	

۳ مساحت و درصد هر یک از طبقات را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد به ترتیب ۱۹/۸٪ و ۲۸٪ از سطح منطقه در محدوده

نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در (شکل ۲) قابل مشاهده است. جدول

خطر خیلی زیاد و زیاد، ۱۳/۴٪ در محدوده متوسط و ۳۷/۹٪ در محدوده کم و خیلی کم قرار گرفته است.



شکل ۲. نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش AHP

Fig. 2. Landslide susceptibility map using AHP

جدول ۳. مساحت و درصد مساحت طبقات حساسیت زمین لغزش با استفاده از AHP

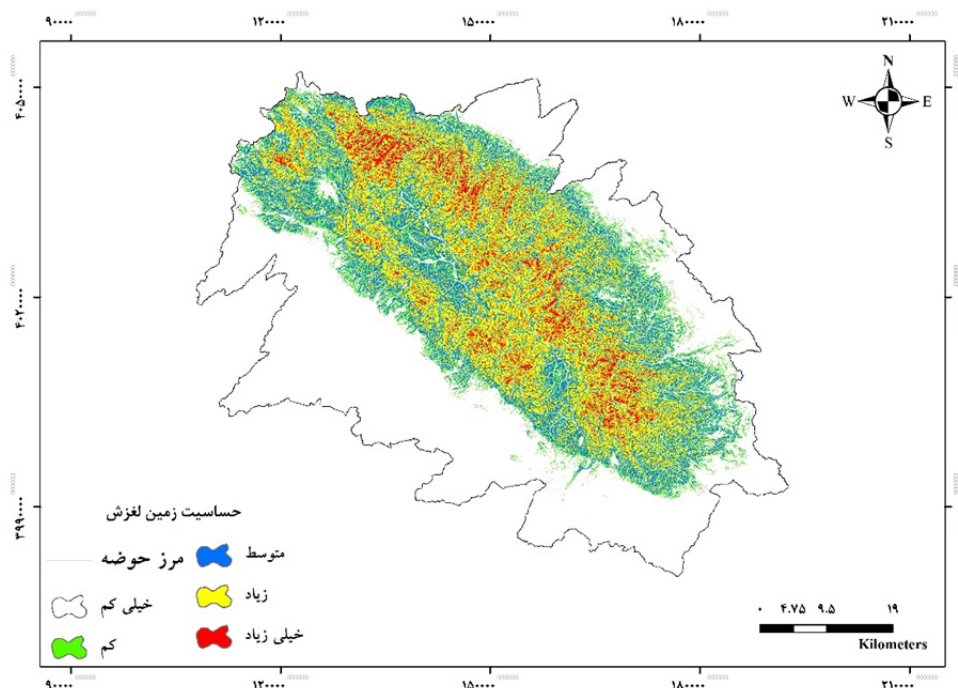
Table 3. Area and area percentage of landslide susceptibility classes using AHP

Area(km ²)	مساحت	درصد Percentage	طبقات Classes
۱۰۷۹/۷		۳۰/۹	Very Low خیلی کم
۲۷۷/۹		۷/۹	Low کم
۴۶۸/۸		۱۳/۴	Moderate متوسط
۹۷۹/۸		۲۸	High زیاد
۶۸۵/۶		۱۹/۸	Very High خیلی زیاد

زمین لغزش با استفاده از مدل فازی در جدول ۴ قابل مشاهده است. نتایج تحلیل نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی بیانگر این است که ۴/۹٪ سطح منطقه مورد مطالعه در محدوده خیلی زیاد و ۲۲/۸٪ سطح منطقه در محدوده زیاد واقع شده است یعنی در مجموع ۲۷/۷٪ در محدوده زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین ۱۵/۵٪ در محدوده متوسط و ۵۶/۸٪ در محدوده کم و خیلی کم واقع شده است.

تهیه و ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش به کمک روش فازی

بر اساس ارتباط هر یک از پارامترهای مورد بررسی با پدیده زمین لغزش، نقشه عوامل مؤثر فازی سازی شد. و با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ نقشه عوامل مختلف روی هم گذاری شد و نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به دست آمد. شکل ۳ نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گاما ۰/۸ را نشان می دهد. همچنین درصد مساحت طبقات حساسیت



شکل ۳. نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش فازی (عملگر گاما ۰/۸)
 Fig. 3. Landslide susceptibility map using FUZZY method (Gamma 0.8)

جدول ۴. درصد مساحت طبقات حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل فازی

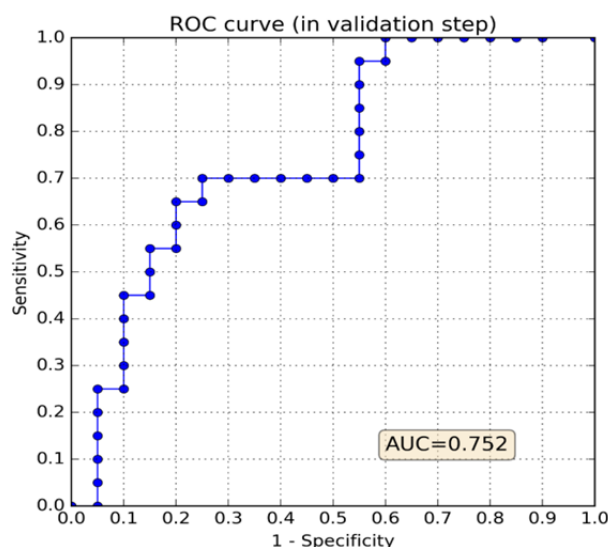
Table 4. Area and percentage area of landslide susceptibility classes using fuzzy model

مساحت Area	درصد percentage	طبقات Classes
۱۶۸۳/۷	۴۸/۲	خیلی کم Very Low
۳۰۲/۷	۸/۶	کم Low
۵۴۲/۱	۱۵/۵	متوسط Moderate
۷۹۶/۴	۲۲/۸	زیاد High
۱۶۶/۵	۴/۹	خیلی زیاد Very High

دارای دقت خوب هست. در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مساحت زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۸۱۷ است. که نشان‌دهنده این است که نقشه پهنه‌بندی دارای دقت خیلی خوب هست (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).

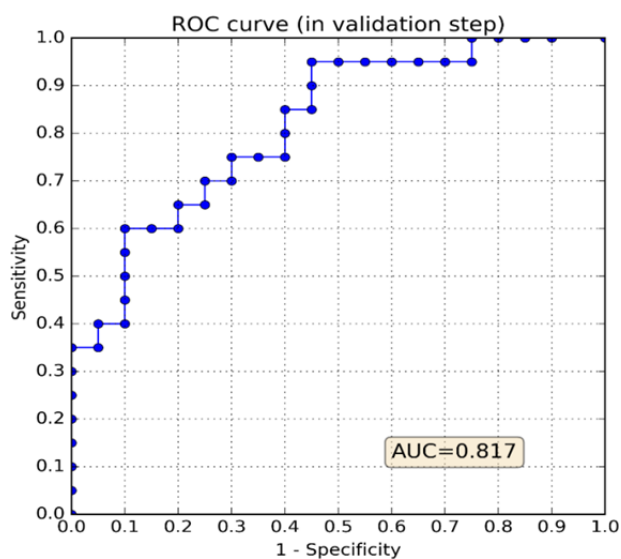
ارزیابی صحت پهنه‌بندی استفاده از منحنی ROC

نتایج حاصل از ارزیابی حساسیت زمین لغزش مربوط به روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک منحنی ROC در شکل‌های ۴ و ۵ قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش فازی مساحت زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۷۵۲ است. که نشان‌دهنده این است که نقشه پهنه‌بندی



شکل ۴. منحنی ROC مربوط به روش فازی

Fig. 4. ROC curve related to fuzzy method



شکل ۵. منحنی ROC مربوط به روش AHP

Fig. 5. ROC curve related to AHP method

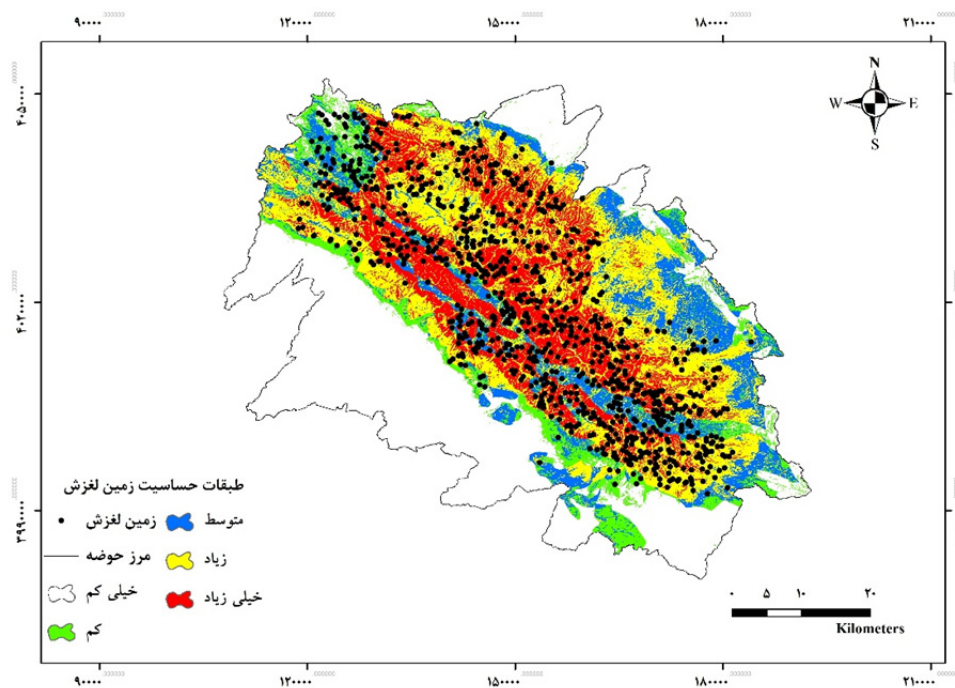
زمین لغزش در روش فازی و تحلیل سلسه مراتبی (AHP) را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشتر نقاط لغزشی در هر دو نقشه حساسیت زمین لغزش منطبق بر پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد منطبق است. جدول ۵ تعداد و درصد پراکنش نقاط لغزشی در طبقات حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش فازی و AHP را نشان می‌دهد. تلفیق نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از روش AHP و نقشه نقاط

ارزیابی صحت نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از نسبت عددی NR_1

بعد از تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به منظور ارزیابی نقشه حساسیت به دست آمده، این نقشه را با نقشه زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تلفیق شد. شکل‌های ۶ و ۷ نقشه تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش و نقشه حساسیت

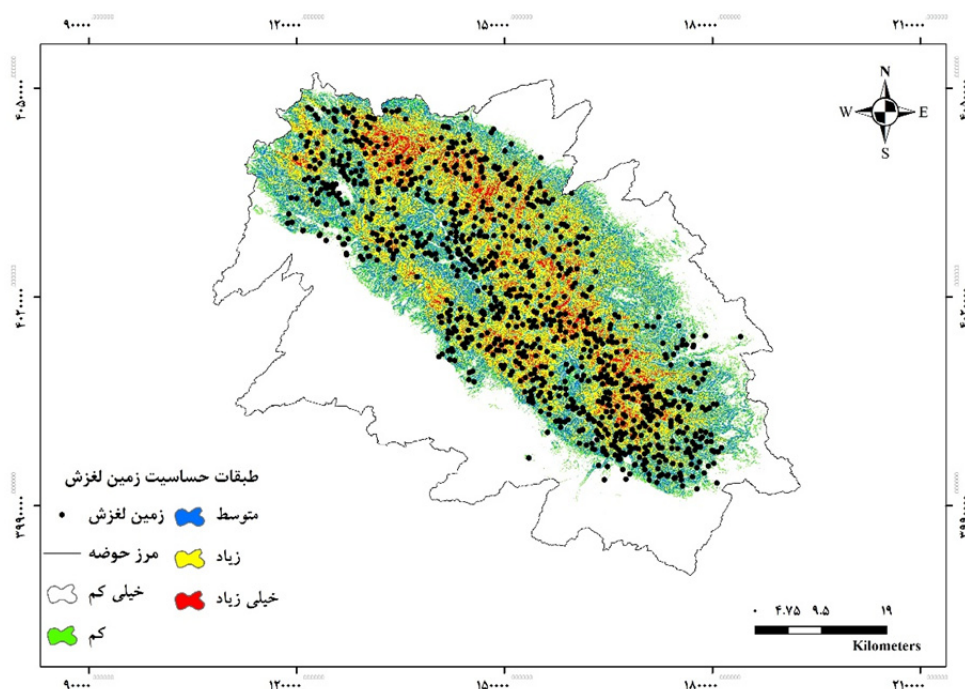
و خیلی زیاد واقع شدند. و ۱۳/۳ درصد نقاط لغزشی در پهنه‌های با حساسیت کم و خیلی کم واقع شده است. مقادیر نسبت عددی NR_i برای هرکدام از طبقات حساسیت زمین‌لغزش در هر دو روش در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمام طبقات حساسیت در هر نقشه حساسیت زمین‌لغزش مقدار عددی NR_i در روش AHP بیشتر از روش فازی است. بر اساس نتایج مقدار عددی NR_i ، در طبقه با حساسیت خیلی زیاد در روش AHP برابر ۳/۹۵ و در روش فازی ۲/۲۴ است، که بیانگر دقت بالای روش AHP نسبت به روش فازی هست.

لغزشی بیانگر این است که به ترتیب ۴۹/۴۴٪ و ۳۸/۳٪ نقاط لغزشی منطبق بر مناطق با محدوده خیلی زیاد و زیاد می‌باشند. یعنی در مجموع ۸۲/۷۹٪ نقاط لغزشی در محدوده با حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شدند. و فقط ۵/۲٪ نقاط لغزشی در پهنه با حساسیت کم و خیلی کم واقع شده است. تلفیق نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش فازی و نقشه نقاط لغزشی بیانگر این است که به ترتیب ۱۶٪ و ۴۸/۸٪ نقاط لغزشی منطبق بر مناطق با محدوده حساسیت خیلی زیاد و زیاد می‌باشند. یعنی در مجموع ۶۴/۸٪ نقاط لغزشی در محدوده زیاد



شکل ۶. نقشه تلفیق نقاط لغزشی و نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از AHP

Fig. 6. Combination of Landslide inventory map and landslide susceptibility map using AHP



شکل ۷. نقشه تلفیق نقاط لغزشی و نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش فازی

Fig. 7. Combination of landslide inventory map and landslide susceptibility map using FUZZY method

جدول ۵. تعداد و درصد پراکنش نقاط لغزشی در طبقات حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش فازی و AHP

Table 5. Number and percentage landslide inventory in landslide susceptibility classes using AHP and Fuzzy models

FUZZY		AHP		طبقات حساسیت Susceptibility classes
تعداد زمین لغزش Number of landslide	درصد Percentage	تعداد زمین لغزش Number of landslide	درصد Percentage	
۵۱	۵/۳	۳	۰/۳۱	خیلی کم Very Low
۷۷	۸	۴۷	۴/۹	کم Low
۲۱۰	۲۱/۹	۱۱۶	۱۲	متوسط Moderate
۴۶۹	۴۸/۸	۳۶۸	۳۸/۳	زیاد High
۱۵۱	۱۶	۴۲۷	۴۴/۴۹	خیلی زیاد Very High

جدول ۶. نسبت عددی NR_i برای طبقات حساسیت زمین لغزش در دو روش فازی و AHP

Table 6. Numerical ratio (NR_i) for landslide susceptibility classes in Fuzzy and AHP methods

NR_i		$L_i\%$		$S_i\%$		مساحت Area (km^2)		تعداد زمین لغزش Number of landslide		طبقات حساسیت Susceptibility classes
FUZZY	AHP	FUZZY	AHP	FUZZY	AHP	FUZZY	AHP	FUZZY	AHP	
۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۵۳	۰/۰۰۳	۰/۴۸	۰/۳	۱۶۸۳/۷	۱۰۷۹/۷	۵۱	۳	خیلی کم Very Low
۰/۸۸	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۰۴۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۳۰۲/۷	۲۷۷/۹	۷۷	۴۷	کم Low
۱/۳۶	۰/۸۵	۰/۲۱۹	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۴	۵۴۲/۱	۴۶۸/۸	۲۱۰	۱۱۶	متوسط Moderate
۲/۱۳	۱/۳۵	۰/۴۹	۰/۳۸	۰/۲۳	۰/۲۸	۷۹۶/۴	۹۷۹/۸	۴۶۹	۳۶۸	زیاد High
۳/۹۵	۲/۲۴	۰/۱۵۸	۰/۴۴۸	۰/۰۴	۰/۲	۱۶۶/۵	۶۸۵/۶	۱۵۱	۴۲۷	خیلی زیاد Very High

بحث و نتیجه‌گیری

همواره به دنبال وقوع بلایای طبیعی بخشی از سرمایه‌های ملی چه انسانی و چه فیزیکی در رویارویی با پدیده‌های مذکور به هدر می‌روند. یکی از مشکلات عمده که غالباً پیامدهای سوء خطرات طبیعی را مضاعف می‌سازد عدم وجود برنامه‌ریزی‌های از پیش تعیین شده است. لذا برای حفظ سرمایه‌های ملی ضروری است تا در برخورد با بلایای طبیعی مدیریتی جامع اعمال گردد که منظور از آن اتخاذ تدابیر و فعالیت‌هایی است که موجب پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارت‌های ایجاد شده می‌گردد. تهیه نقشه‌های حساسیت خطر زمین‌لغزش یکی از گام‌های اساسی در جهت شناخت مناطق ناپایدار است تا با استفاده از آن بتوان برنامه‌ریزی‌های لازم جهت کاهش خسارات ناشی از این پدیده زمین‌لغزش را انجام داد. کوه‌های بینالود در استان خراسان رضوی، دارای مناطق روستایی و گردشگری مهمی است و نقش مهمی در تولیدات دامی، باغی و کشاورزی این استان دارد. در این کوه‌ها موارد متعددی از ناپایداری دامنه‌ای گزارش شده است. بنابراین با توجه به اهمیت این مناطق و خطرات پدیده زمین‌لغزش که بدان اشاره شد، تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در این مناطق لازم است. به این منظور، برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در این مناطق از دو روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده و عملکرد این دو روش در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از منحنی ROC و نسبت عددی NR_i مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

نتایج وزن دهی به پارامترهای مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مبین این است که با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده از میان پارامترهای مورد بررسی زمین‌شناسی و شیب به ترتیب با ارزش نسبی ۰/۲۰۹ و ۰/۲۰۲ مؤثرترین عوامل در وقوع خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد که این با نتایج پژوهش بهاروند و سوری (۲) مطابقت دارد. نتایج تحلیل نقشه حساسیت خطر زمین‌لغزش با استفاده از AHP نشان داد به ۰/۴۷/۸ سطح منطقه

در محدوده زیاد و خیلی زیاد واقع شده، که این بیانگر حساسیت زیاد منطقه مورد نسبت به پدیده زمین‌لغزش است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مناطق با حساسیت زیاد و خیلی زیاد منطبق بر واحدهای زمین‌شناسی سری میانه، شیب‌های با کلاس ۱۵ تا ۳۰ درجه، تا فاصله ۵۰۰ متری از گسل، دامنه‌های شمالی، دامنه‌های مقعر، ارتفاعات بالاتر و مناطق بدون پوشش، هستند. مناطق با حساسیت کم و خیلی کم بر دشت‌های پایین دست منطبق می‌باشند. سازندهای دوره کواترن با توجه به داشتن رسوبات ناپیوسته و عدم سیمان شدگی دارای حساسیت بالایی به زمین‌لغزش می‌باشند اما در منطقه مورد مطالعه چون این سازندها در دشت‌ها و شیب‌های پایین قرار گرفته‌اند دارای خطر پایینی از نظر وقوع زمین‌لغزش هستند. تلفیق نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش AHP و نقشه نقاط لغزشی بیانگر این است ۰/۸۲/۷۹٪ نقاط لغزشی در محدوده زیاد و خیلی زیاد واقع شدند، که این مسئله بیانگر این است که پهنه‌بندی با دقت بسیار خوبی انجام گرفته است. همچنین ارزیابی نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP به کمک منحنی ROC با AUC (مساحت زیر نمودار) برابر با ۰/۸۱/۷٪ گویایی دقت و صحت ارزیابی خیلی خوب مدل است. نتایج تحلیل نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی بیانگر این است ۰/۲۷/۷٪ در محدوده زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین ۰/۱۵/۵٪ در محدوده متوسط و ۰/۵۶/۸٪ در محدوده کم و خیلی کم واقع شده است تلفیق نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش فازی و نقشه نقاط لغزشی نشان داد در مجموع ۰/۶۴/۸٪ نقاط لغزشی در محدوده زیاد و خیلی زیاد واقع شدند که بیانگر این است که پهنه‌بندی با دقت بسیار خوبی انجام گرفته است. همچنین ارزیابی نتایج پهنه‌بندی با استفاده از مدل فازی به کمک منحنی ROC با AUC (مساحت زیر نمودار) برابر با ۰/۷۵/۲٪ گویایی دقت و صحت ارزیابی خوب مدل است. مقایسه روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک منحنی ROC بیانگر این موضوع است که روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با مساحت زیر نمودار (AUC=۰/۸۱۷) و روش فازی (AUC=۰/۷۵۲) عملکرد

References

1. Arca D, Kutoğlu HŞ, Becek K. 2018. Landslide susceptibility mapping in an area of underground mining using the multicriteria decision analysis method. *Environmental monitoring and assessment*, 190(12): 1-14. doi:https://doi.org/10.1007/s10661-018-7085-5.
2. Baharvand 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. https://girs.iaubushehr.ac.ir/article_518870.html?lang=en. (In Persian).
3. Bera A, Mukhopadhyay BP, Das D. 2019. Landslide hazard zonation mapping using multi-criteria analysis with the help of GIS techniques: a case study from Eastern Himalayas, Namchi, South Sikkim. *Natural Hazards*, 96(2): 935-959. doi:https://doi.org/10.1007/s11069-019-03580-w.
4. Bui TD, Shahabi H, Shirzadi A, Chapi K, Alizadeh M, Chen W, Mohammadi A, Ahmad BB, Panahi M, Hong H. 2018. Landslide detection and susceptibility mapping by aircsar data using support vector machine and index of entropy models in cameron highlands, malaysia. *Remote Sensing*, 10(10): 1527. doi:https://doi.org/10.3390/rs10101527.
5. Chen W, Panahi M, Pourghasemi HR. 2017. Performance evaluation of GIS-based new ensemble data mining techniques of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and particle swarm optimization (PSO) for landslide spatial modelling. *Catena*, 157: 310-324. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.034.
6. Demir G. 2019. GIS-based landslide susceptibility mapping for a part of the North Anatolian Fault Zone between Reşadiye and Koyulhisar (Turkey). *Catena*, 183: 104211. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104211.
7. Fatemi SA, Bagheri V, Razifard M. 2018. Landslide susceptibility mapping using fuzzy logic system and its influences on mainlines in lashgarak region, Tehran, Iran. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(2): 915-937. doi:https://doi.org/10.1007/s10706-017-0365-y.
8. Gholami M, Ghachkanlu EN, Khosravi K, Pirasteh S. 2019. Landslide prediction capability by comparison of frequency ratio, fuzzy gamma and landslide index method. *Journal of Earth System Science*, 128(2): 1-22. doi:https://doi.org/10.1007/s12040-018-1047-8.
9. Guerra AJT, Fullen MA, Jorge MdCO, Bezerra JFR, Shokr MS. 2017. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, 27(1): 27-41. doi:https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7.

خوبی در ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش دارند. اما از دیدگاه مقایسه این دو روش با استفاده از منحنی ROC، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عملکرد بالاتری در ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش نسبت به روش فازی دارد. نتایج نشان دهنده این موضوع است که روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نسبت به روش منطق فازی عملکرد بهتری داشته و دقت بالاتری در ارزیابی حساسیت زمین لغزش دارد. این موضوع نیز با استفاده از نسبت عددی NR_i نیز تأیید شد. همان طور که در نتایج نیز اشاره شد در طبقات حساسیت زمین لغزش، نسبت عددی NR_i در روش AHP بیشتر از روش فازی است، زیرا روش AHP در مقایسه با روش فازی، درصد بالایی از زمین لغزش ها را در مساحت کوچک تری به عنوان پهنه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد پوشش داده است. در نتیجه روش AHP نسبت به روش فازی عملکرد بالاتری دارد. دلیل این امر به نحوه قضاوت شفاهی کارشناسان آشنا به منطقه مورد مطالعه که در امتیازدهی به پارامترها خیلی مهم است اشاره کرد. همچنین یکی از مزایای مهم روش AHP محاسبه نرخ ناسازگاری (CR) است که اگر در دامنه عملکرد مناسب قرار نگیرد، امکان بازنگری قضاوت کارشناسی را فراهم می کند، که باعث قضاوت درست و بهتر می شود. همچنین ممکن است در فرایند فازی سازی پارامترها، توابع فازی مورد استفاده (توابع Linear, Gaussian, Small, Large, MSSmal, و MSLarge) به درستی انتخاب نشده باشند که این امر باعث کاهش دقت ارزیابی با استفاده از منطق فازی می شود. به منظور افزایش دقت لازم است نقشه های که با استفاده از نقشه های موجود که معمولاً دقت بالایی ندارند تهیه می شوند، از طریق بازبینی صحرائی کنترل و اصلاح گردد. همچنین به منظور انتخاب پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش فقط به مطالعات اسنادی و کتابخانه ای استناد نشود لازم است علاوه بر مطالعات کتابخانه ای از طریق بازدیدهای میدانی و بررسی شرایط منطقه مورد مطالعه و زمین لغزش های منطقه، پارامترهای که در منطقه مورد مطالعه بر وقوع زمین لغزش اثر بیشتری دارند، انتخاب بشوند.

10. Hou E, Wang J, Chen W. 2018. A comparative study on groundwater spring potential analysis based on statistical index, index of entropy and certainty factors models. *Geocarto International*, 33(7): 754-769. doi:https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1299801.
11. Khan H, Shafique M, Khan MA, Bacha MA, Shah SU, Calligaris C. 2019. Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1): 11-24. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004.
12. Meena SR, Ghorbanzadeh O, Blaschke T. 2019. A comparative study of statistics-based landslide susceptibility models: A case study of the region affected by the gorkha earthquake in nepal. *ISPRS international journal of geo-information*, 8(2): 94. doi:https://doi.org/10.3390/ijgi8020094.
13. Mondal S, Mandal S. 2019. Landslide susceptibility mapping of Darjeeling Himalaya, India using index of entropy (IOE) model. *Applied Geomatics*, 11(2): 129-146. doi:https://doi.org/10.1007/s12518-018-0248-9.
14. Nguyen TTN, Liu C-C. 2019. A new approach using AHP to generate landslide susceptibility maps in the Chen-Yu-Lan Watershed, Taiwan. *Sensors*, 19(3): 505. doi:https://doi.org/10.3390/s19030505.
15. Nicu IC. 2018. Application of analytic hierarchy process, frequency ratio, and statistical index to landslide susceptibility: an approach to endangered cultural heritage. *Environmental Earth Sciences*, 77(3): 1-16. doi:https://doi.org/10.1007/s12665-018-7261-5.
16. Paoletti V, Tarallo D, Matano F, Rapolla A. 2013. Level-2 susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 63: 147-159. doi:https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.02.002.
17. Peethambaran B, Anbalagan R, Kanungo D, Goswami A, Shihabudheen K. 2020. A comparative evaluation of supervised machine learning algorithms for township level landslide susceptibility zonation in parts of Indian Himalayas. *Catena*, 195: 104751. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104751.
18. Rahmati M, Zand F. 2018. Landslide hazard zonation using geographic information System landslide (Case study: Robot-Siahpoush rural district, Lorestan province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(4): 63-75. doi:http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_539092_en.html. (In Persian).
19. Saaty TL. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83-98. doi:https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590.
20. Schlögel R, Marchesini I, Alvioli M, Reichenbach P, Rossi M, Malet J-P. 2018. Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. *Geomorphology*, 301: 10-20. doi:https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.018.
21. Solaimani K, Mousavi SZ, Kavian A. 2013. Landslide susceptibility mapping based on frequency ratio and logistic regression models. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(7): 2557-2569. doi:https://doi.org/10.1007/s12517-012-0526-5.
22. Soma AS, Kubota T, Mizuno H. 2019. Optimization of causative factors using logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility assessment in Ujung Loe Watershed, South Sulawesi Indonesia. *Journal of Mountain Science*, 16(2): 383-401. doi:https://doi.org/10.1007/s11629-018-4884-7.
23. Tian Y, Xu C, Hong H, Zhou Q, Wang D. 2019. Mapping earthquake-triggered landslide susceptibility by use of artificial neural network (ANN) models: an example of the 2013 Minxian (China) Mw 5.9 event. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 1-25. doi:https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1487471.
24. Van Alphen B, Stoorvogel J. 2000. A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5): 1706-1713. doi:https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451706x.
25. Yan F, Zhang Q, Ye S, Ren B. 2019. A novel hybrid approach for landslide susceptibility mapping integrating analytical hierarchy process and normalized frequency ratio methods with the cloud model. *Geomorphology*, 327: 170-187. doi:https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.024.
26. Youssef AM, Pourghasemi HR, El-Haddad BA, Dhahry BK. 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1): 63-87. doi:https://doi.org/10.1007/s10064-015-0734-9.
27. Zhang T, Han L, Chen W, Shahabi H. 2018. Hybrid integration approach of entropy with logistic regression and support vector machine for landslide susceptibility modeling. *Entropy*, 20(11): 884. doi:https://doi.org/10.3390/e20110884.



Comparative evaluation of landslide susceptibility map using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy methods

Ali Dastranj, Hamzeh Noor

Received: 21 November 2021 / Accepted: 23 February 2021
Available online 23 September 2021

Abstract

Background and Objective Among many natural hazards, landslides are one of the most widespread and destructive. Due to the high mountainous topography, tectonic activity, high seismicity, diverse geological and climatic conditions, basically, Iran has a natural condition for creating a wide range of landslides and these landslides annually cause both life loss and financial damage to the country. Since it is difficult to predict the timing of landslides, identifying susceptible areas to landslides, and zoning these areas based on potential risk are highly important. Therefore landslide-prone areas need to be identified in order to reduce such damage. In this respect, landslide susceptibility assessment can provide valuable information essential for hazard mitigation. The main goal of landslide susceptibility analysis is to identify dangerous and high-risk areas and thus reduce landslide damage through suitable mitigation measures.

A. Dastranj¹, H. Noor²

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

e-mail: Dastranj66@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

Since the exact prediction of landslides occurrence isn't possible by human sciences, thus, we can prevent the damages of this phenomenon by identification of landslide susceptible areas and prioritizing them. Binalood Mountain in Khorasan Razavi Province, Due to its geological location, geomorphology, topography, climate, vegetation, has kinds of mass movement. The results of these studies can be used as fundamental information by environmental managers and planners. Landslide hazard zonation was challenged by several researchers in recent years. In order to provide landslide hazard, zonation maps various methods such as Fuzzy logic, statistic methods and Analytic Hierarchy Process (AHP) can be used. Since the early 1970s, many scientists have attempted to assess landslide hazards and produced hazard zonation maps portraying their spatial distribution by applying many different GIS-based methods. Different models and methods have been proposed to produce Landslide hazard zonation. The aim of this study is to develop and compare detailed landslide susceptibility maps (LSM) for Binalood Mountain, using Fuzzy and AHP methods in the framework of the GIS.

Materials and Methods The study area is the northern and southern slopes of the Binalood Mountains that are located in the Khorasan Razavi Province. The present study area falls under 36 ° 1' to 36 ° 15' north latitudes and 58 ° 38' to 59 ° 35' east longitudes.

According to Geological, Geomorphologic, Hydrological, Climatic, Human and Environmental characteristics of the study area and using comparative studies and results of other researchers, 20 criteria and sub-criteria were identified to achieve the goals. The needed Layers of landslide hazard zonation were prepared using ArcGIS software. These layers are slope, aspect, altitude classes, geology, distance from the river, river density, distance from the road, road density, distance from the fault, fault density, morphological units, topographic indexes (stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI) and slope length index (LS)), geomorphological indexes (topographic position index (TPI), topographic roughness index (TRI) and surface curvature index, land use, isothermal lines, and Rainfall lines. Thun, The landslide inventory map has been created in the study area. Subsequently, landslide susceptibility maps were produced using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) models. After preparing the layers, the next step was to assign weight values to the raster layers, and to the classes of each layer, respectively. This step was realized with the use of the AHP method. So, the landslide hazard zonation map of the study area was presented using weight exertion of factors in their layers and integration of them by Arc GIS software. In the Fuzzy method, after fuzzyizing the layers in the ArcGIS environment, the landslide risk zoning was performed using fuzzy gamma 0.8. For verification, the receiver operating characteristic (ROC) curves were drawn and the areas under the curve (AUC) were calculated. Finally, the ratio of the percentage of landslides was in each zone to the percentage of the total area of the zone was calculated.

Results and Discussion The results of weighting the parameters affecting the landslide using the Analytical Hierarchy Process (AHP) showed that geological, slope, and fault factors have the greatest impact on the occurrence of landslide risk in the study area, respectively. The class of very high and high susceptibility covers 47.8% of the total area in the landslide susceptibility map generated with the AHP model. Low and moderate susceptible classes make up 13.4 and 38.8% of the total area, respectively. According to the landslide susceptibility map based on

the Fuzzy Method, 27.7% of the total area was determined to be very high and high susceptibility to landslide. Low and moderate susceptible classes constitute 56.8%, and 15.5% of the area, respectively. The AUC values were 0.817 and 0.752 for AHP and Fuzzy models and the training accuracy was 81.7 and 75.2%, respectively. It can be concluded that both models utilized in this study showed reasonably good accuracy in predicting the landslide susceptibility of the study area. Finally, the ratio of the percentage of landslides was in each zone to the percentage of the total area of zone showed the NR_i values in each susceptible class for the AHP model more than the Fuzzy method. The larger ratio in the AHP method indicates its better consistency than the Fuzzy method, implying more coverage of landslides in a smaller area by the AHP method. This result represents the better accuracy of the AHP method than the Fuzzy method in the landslide susceptibility map.

Conclusion In this study, the most widely accepted models, AHP and Fuzzy were used for producing Landslide Susceptibility Map (LSM) and their performances were compared. The LSMs were divided into five landslide susceptibility classes. The performance of the resulting LSMs was verified by the ROC curves and Numerical Ratio (NR_i). The results show that the AHP and Fuzzy models are successful estimators. The map produced by the AHP model exhibited a slightly better result for landslide susceptibility mapping in the study area. These two techniques may be characterized by incorporating a wide range of conditioning factors. Also, they can discriminate the causative factors for understanding the importance of each factor. The interpretation of the susceptibility map indicates that geological, slope, and fault play major roles in landslide occurrence and distribution in the study area. The landslide susceptibility maps like the one produced in this study should provide a valuable tool for the use of planners and engineers for reorganizing or planning new programs.

Keywords: Landslide Susceptibility, Analytical hierarchy process (AHP), Fuzzy logic, Geographic information system (GIS), Binalood