

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش SMCE و فن AHP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هفشجان، چهارمحال و بختیاری)

- ❖ پیام ابراهیمی*؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ مهدی اصلاح؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ایران.
- ❖ مریم آذرخشی؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران.

چکیده

یکی از انواع فرآیندهای دامنه‌ای که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی فراوان در بسیاری از نقاط ایران و جهان می‌شود، پدیده زمین‌لغزش است. تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش امکان شناسایی مناطق آسیب‌پذیر را فراهم کرده و در برنامه‌های محیطی مدنظر قرار می‌دهد. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز هفشجان واقع در استان چهارمحال و بختیاری با به‌کارگیری روش ارزیابی چندمعیاره مکانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نرم‌افزار ILWIS و فن AHP است. در این راستا ابتدا با توجه به موقعیت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته، مطالعات تطبیقی و نتایج سایر محققان، هشت لایه اطلاعاتی برای این مهم شناسایی شد. سپس درختواره عوامل و محدودیت‌ها در نرم‌افزار ILWIS طراحی گردید، تمامی لایه‌ها استانداردسازی شده و با استفاده از مدل AHP عوامل مربوطه ارزیابی و تعیین وزن گردید. نهایتاً مدل و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه تهیه و ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که در بین عوامل مؤثر، فاکتورهای فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه به ترتیب با وزن‌های ۰/۴۰۴۷، ۰/۲۲۳۹ و ۰/۱۳۰۲ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی شناسایی شدند. بر اساس مدل ارائه شده، حدود ۱/۳۲ درصد از مساحت حوضه (۱۰۱۳۹۰۰ مترمربع) دارای خطر وقوع بسیار زیاد و ۹ درصد (۶۹۰۹۸۰۰ مترمربع) دارای خطر وقوع زیاد است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت و صحت مدل ارائه شده، روند صعودی شاخص زمین‌لغزش را از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خیلی زیاد ترسیم می‌کند و نشان‌دهنده دقت لازم جهت مدل مذکور است.

واژگان کلیدی: ارزیابی چندمعیاره مکانی، پهنه‌بندی، حوزه آبخیز هفشجان، زمین‌لغزش، GIS.

۱. مقدمه

و بختیاری در بهار ۱۹۹۷ در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ نام برد [۳]. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر از صفر تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند [۱۸]. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی نموده و نتایج این‌گونه مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد [۱۷]. در نهایت با شناسایی مکان‌های با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آن‌ها می‌توان از خطرات احتمالی جلوگیری نمود.

پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حوضه مذکور به لحاظ رخداد این پدیده، با استفاده از مدل AHP و فن GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی با بهره‌گیری از نرم‌افزار ILWIS صورت گرفته است؛ بنابراین انتخاب عوامل مؤثر بر وقوع پدیده زمین‌لغزش، تهیه لایه‌های رقومی عوامل، تعیین وزن نسبی و نهایی، همپوشانی لایه‌ها و در نهایت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در چندین کلاس از محورهای اصلی این پژوهش بوده تا مناطق حساسی که بیشترین احتمال خطر وقوع زمین‌لغزش در آن‌ها وجود دارد تعیین گردد.

از اوایل دهه ۱۹۷۰ بسیاری از دانشمندان با به‌کارگیری روش‌های مختلفی از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش‌های وزنی نسبت به ارزیابی خطرات زمین‌لغزش و تهیه نقشه توزیع مکانی این پدیده اقدام نموده‌اند [۱۵]. به‌طوری‌که بعضی با استفاده از مدل AHP به ارزیابی انطباق پایگاه داده‌های زمین‌لغزش در استرالیا برای مدیریت خطر وقوع آن پرداخته و بیان می‌دارند که در هر دو مدل طبقات انطباقی پایگاه داده‌ها از ۲ تا ۴ فقط با اختلاف طبقاتی یک مرتب می‌شود [۱۶]. برخی پژوهشگران از طریق مدل AHP به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در

آهنگ رو به رشد توسعه و عمران شهری و روستایی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنین کره زمین شده است. حرکات دامنه‌ای و به‌طور اخص زمین‌لغزش‌ها در زمره‌ی پر خسارت‌ترین آن‌هاست که همگام با دست‌کاری بشر در نظام‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است [۵]، به‌گونه‌ای که از آن به‌عنوان یکی از فرآیندهای ژئومورفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود [۱۱]. نحوه حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌ها به سه طبقه لغزشی، جریان‌ی و خزشی تقسیم می‌شود. در لغزش کامل (ویژه) سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان کامل (خالص) سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده جریان‌ی بیشتر از بخش زیرین و از نوع انتقالی است، ولی در خزش (جابجایی) حرکت به‌صورت قائم است [۱۳]. وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد اتفاق می‌افتد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی و حتی تلفات انسانی می‌گردد [۹]. یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین‌دست حوزه‌های آبخیز است [۳]. بر اساس برآوردهای انجام‌شده سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین‌لغزش بر کشور وارد می‌شود. همچنین خسارات ناشی از ۲۵۴۸ مورد زمین‌لغزش، بالغ بر ۱۰۷ کشته و ۳۸۶ میلیارد ریال است [۲]. استان چهارمحال و بختیاری یکی از مستعدترین استان‌های کشور از حیث پدیده زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود. از آن‌جایی که پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زمین‌لغزش مشکل است از این‌رو شناسایی مناطق حساس به این پدیده و پهنه‌بندی آن‌ها بر اساس پتانسیل وقوع، دارای اهمیت است [۱۴]. از جمله خسارات انسانی این پدیده در این استان می‌توان به مدفون شدن روستای آبیکار چهارمحال

بختیاری استفاده شد. این پژوهش با در نظر گرفتن عواملی چون شیب، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی، گسل، شبکه آبراهه، راه‌های ارتباطی و سنگ‌شناسی حوزه‌آبخیز نظیر پژوهشی که در منطقه چالکروود تنکابن با استفاده از روش AHP از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی نموده [۲۰] بیان می‌دارد که روش موجود در این پژوهش به دلیل تأثیر تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد.

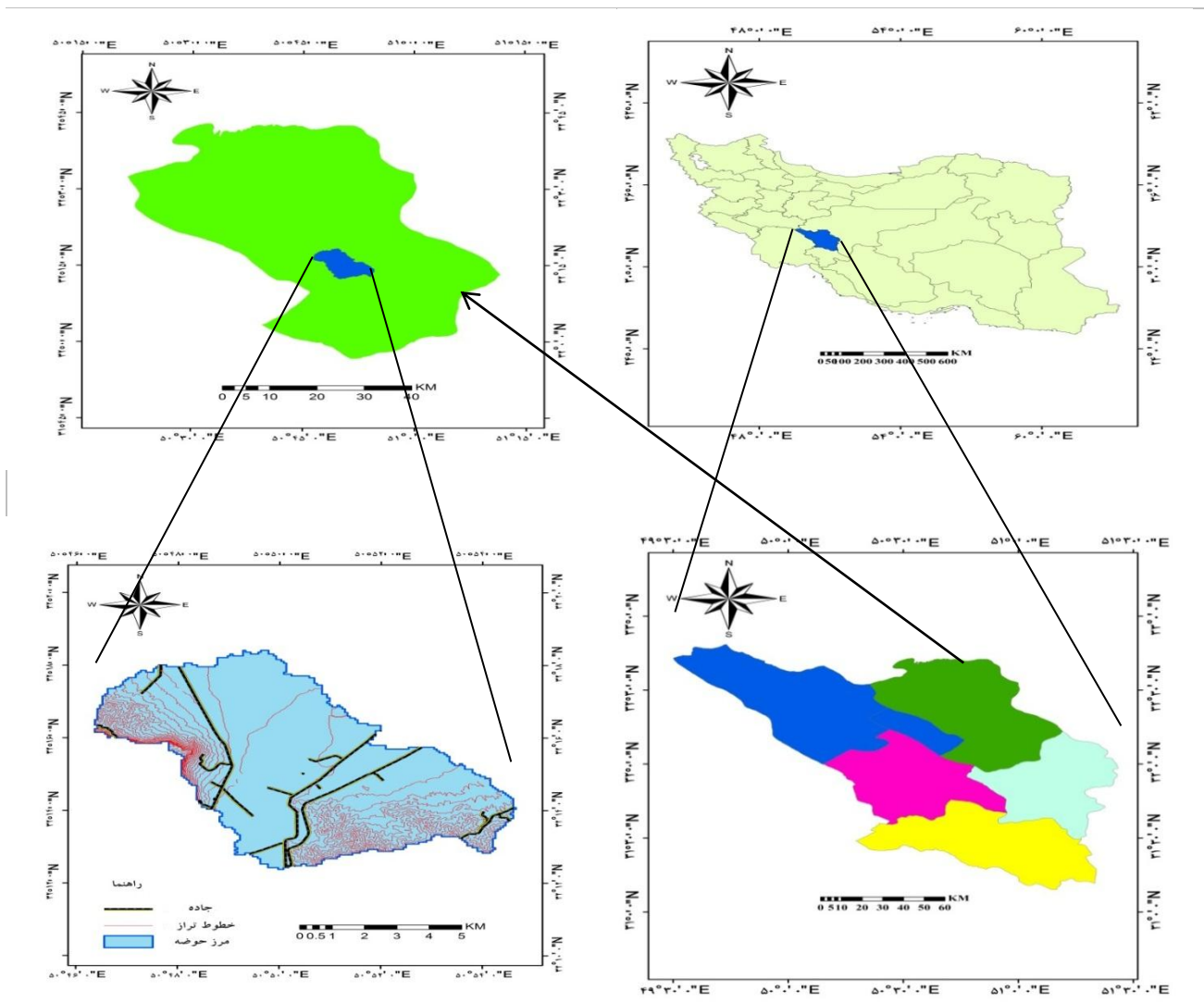
۲. روش‌شناسی تحقیق

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هفشجان از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ی $50^{\circ} 22' 46''$ الی $50^{\circ} 39' 54''$ طول شرقی و $32^{\circ} 22' 12''$ الی $32^{\circ} 25' 18''$ عرض شمالی و از نظر مختصات متریک (UTM) بین طول‌های ۴۷۸۵۹۱ تا ۴۹۱۶۱۲ متر و عرض‌های ۳۵۶۳۳۱۰ تا ۳۵۷۴۴۶۴ متر واقع شده است. مساحت حوزه‌آبخیز موردنظر برابر با $76/80$ کیلومتر مربع معادل 7680 هکتار است که حداکثر ارتفاع قله‌های محدوده مطالعاتی 2347 متر و حداقل ارتفاع در نقطه‌ی خروجی آن برابر 2040 متر است. آب‌وهوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن مرطوب سرد تا بسیار مرطوب فراسرد با متوسط بارش سالانه 815 میلی‌متر بوده که حداقل آن مربوط به تیرماه ($0/11$ میلی‌متر) و حداکثر آن مربوط به دی‌ماه ($159/44$ میلی‌متر) است. سردترین ماه سال دی‌ماه با متوسط حداقل دمای -15 درجه و گرم‌ترین ماه سال نیز تیرماه با متوسط حداکثر دمای $31/2$ درجه سانتی‌گراد بوده است. پوشش گیاهی منطقه نیز خوب تا متوسط و دارای گرایش منفی است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ژاپن پرداخته و نهایتاً روشی برای پیش‌بینی مناطقی که متأثر از رخداد زمین‌لغزش هستند ارائه نمودند [۲۴]. همچنین در پهنه‌بندی و تهیه نقشه مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه آردسن ترکیه نهایتاً این نتیجه به دست آمد که پهنه‌بندی با مدل AHP بیشترین تطابق را با واقعیت‌های موجود دارد [۲۳]. محققان با استفاده از GIS و AHP و WOE (شاخص وزنی) و شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی تعمیمی به بررسی ۱۵۱ مورد زمین‌لغزش در استان مازندران پرداخته و بیان داشتند که دقت تخمینی از ۸۰ تا ۸۸ درصد در نوسان بوده و استفاده از شاخص وزنی در دسته‌بندی نقشه‌های رده‌بندی و شبکه عصبی مصنوعی برای وزن دهی عوامل مؤثر حداکثر دقت را دارند [۲۱].

در حوضه گرمی چای اردبیل نیز پژوهشگران در بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطرات ناشی از آن، به دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله مراتبی عمل کرده و در بررسی‌های به‌عمل آمده از هفت پارامتر استفاده کردند که در نهایت مشخص شد روش تحلیل سلسله مراتبی در مقایسه با رگرسیون چندمتغیره دقت بیشتری دارد [۷]. در پژوهشی دیگر پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوزه‌آبخیز طالقان با در نظر گرفتن شش عامل شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارندگی، جهت دامنه و کاربری اراضی و با استفاده از روش سلسله مراتبی انجام گرفت که نتایج با منطقه مورد مطالعه هم‌خوانی نسبتاً مناسبی را داشته است [۱]. دیگر محققان در بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوزه آبخیز شیرین رود سد تجن با به‌کارگیری GIS و AHP به این نتیجه رسیدند که دو عامل شیب و فاصله از شبکه هیدروگرافی دارای تأثیر کمتری در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند [۸]. با تحقیقات صورت گرفته در این پژوهش نیز از روش پژوهش محققین دیگر در بررسی زمین‌لغزش چهارمحال و



۲.۲. تهیه لایه‌های اطلاعاتی

استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مناسب در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارای اهمیت بسیاری است. لذا بدین منظور در منطقه مطالعاتی با توجه بررسی‌های میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای عوامل مکانی اصلی دخیل در وقوع زمین‌لغزش شناسایی گردید که شامل جهت دامنه، شیب منطقه، نوع کاربری اراضی، واحدهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از چشمه می‌باشند. از طرف دیگر به‌منظور بالا بردن دقت نقشه خروجی نهایی،

با شناسایی عوامل محدوده‌کننده حوضه، عامل شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد که زمین‌لغزش در آن مشاهده نشده به‌عنوان محدودیت در برنامه اعمال گردید.

جهت تهیه نقشه‌های عوامل، ابتدا نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از منطقه مطالعاتی تهیه شدند. سپس کلیه لایه‌های عوارض خطی، نقطه‌ای و پلی‌گونی موردنیاز استخراج شدند. از نقشه توپوگرافی راقومی شده، مدل راقومی ارتفاع^۱ منطقه با اندازه

^۱ DEM

آبخیز هفشجان بر اساس هدف اصلی طرح که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است، در این نرم‌افزار طراحی گردید و کلیه نقشه‌های تهیه‌شده به صورت خطی، نقطه‌ای و پلی-گونی پس از شبکه‌ای شدن^۷ در مدل طراحی شده اعمال گردید. نظر به اینکه نقشه‌های ورودی می‌توانند محتوا و خصوصیات مختلفی داشته باشند و تعدادی ممکن است خصوصیات توصیفی همچون دوری و نزدیکی را شامل شوند و یا تعدادی دیگر ارقامی چون صفر یا یک یا ده و غیره را شامل گردند، لذا نیاز است که نقشه‌ها استانداردسازی شوند. در این سامانه تمامی خصوصیات نقشه‌ها مقادیر بین صفر تا یک استاندارد می‌گردند. برای استاندارد نمودن نقشه‌های ورودی در محیط SMCE نرم‌افزار 3.31 ILWIS می‌توان از برخی روش‌های استانداردسازی شامل روش مقداری^۸، روش بولین^۹ و روش خصوصیات کیفی^{۱۰} استفاده کرد. در این پژوهش برای برخی نقشه‌ها مانند نقشه فاصله از گسل، به دلیل مقداری بودن، با روش استاندارد نمودن مقداری و برخی دیگر از نقشه‌ها به دلیل توصیفی بودن، با روش استاندارد توصیفی استانداردسازی گردیدند (شکل ۳ و ۴). در روش مقداری، استانداردسازی به وسیله یک تابع خطی با استفاده از مقادیر حداقل و حداکثر مورد نظر صورت می‌گیرد. مقادیر بین حداقل و حداکثر مقادیری بین صفر و یک را می‌گیرند. در این رابطه مقدار حداقل برابر با صفر و مقدار حداکثر برابر با یک بوده است. به عنوان مثال برای استانداردسازی نقشه فاصله از گسل از روش مقداری و از روش هدف^{۱۱} استفاده گردید به نحوی که بیشترین خطر در محل گسل و دارای ارزش یک و هرچه فاصله از گسل زیادتر گردد خطر وقوع زمین‌لغزش به صفر نزدیک می‌شود. البته بایستی توجه داشت که در این روش، یک حد نهایی احتمال خطر نیز تعریف می‌شود بدین معنا که بیشتر از حد مذکور دیگر

سلولی ۱۰ متر ساخته شده و با استفاده از آن نقشه شیب با ۵ کلاس و نقشه جهت شیب با ۸ کلاس طبقه‌بندی و تهیه گردید. سپس بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز مطالعاتی تهیه‌شده و مرز واحدها نیز با بازدیدهای صحرایی اصلاح گردید. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه، از تصاویر سنجنده ی ETM⁺ ماهواره‌ی LANDSAT که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور زمین مرجع شده بود و نقشه کاربری اراضی وزارت جهاد کشاورزی استفاده گردید. بدین ترتیب که ابتدا تصویر رنگی کاذب^۱ با ترکیب باندی ۵۴۳ از منطقه تهیه شد، سپس از روی نقشه کاربری اراضی وزارت جهاد کشاورزی نمونه‌هایی از هر کاربری به صورت پلی‌گون تهیه و به عنوان نمونه‌های تعلیمی^۲ به نرم‌افزار معرفی گردید و با استفاده از روش حداکثر شباهت^۳، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. در مرحله بعد نقشه کاربری اراضی با فرمت kml تهیه و به نرم‌افزار گوگل ارث منتقل و مرز کاربری‌ها دقیق گردید. نهایتاً نقشه‌های حریم^۴ گسل، رودخانه، جاده و چشمه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه تهیه شدند. تمامی لایه‌ها و نقشه‌های موردنیاز تا این مرحله در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تولید و آماده‌سازی شد و جهت مراحل بعدی به نرم‌افزار 3.31 ILWIS معرفی گردید. شکل ۲ لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه هفشجان را نشان می‌دهد.

۲.۳. تهیه مدل تحلیل چندمعیاره مکانی و

استانداردسازی لایه‌ها

در مرحله بعد از مدل تحلیل چندمعیاره مکانی^۶ و در نرم‌افزار 3.31 ILWIS جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شد و شکل درختواره‌ی عوامل مکانی برای حوزه

⁷ Rasterize

⁸ Value Input

⁹ Boolean

¹⁰ Class Input

¹¹ Goal Method

¹ False Color Composite

² Training Area

³ Maximum Likelihood

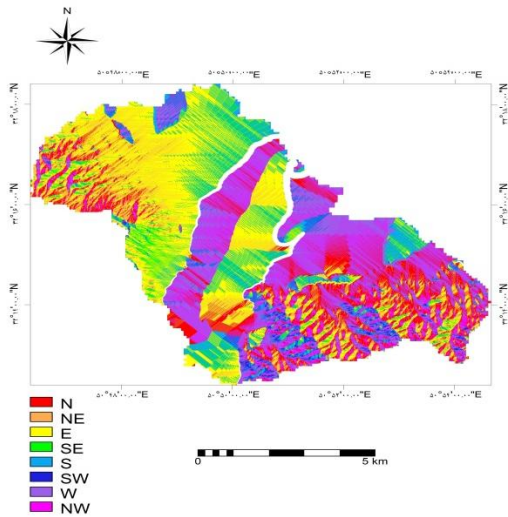
⁴ Buffer

⁵ Integrated Land and Water Information System

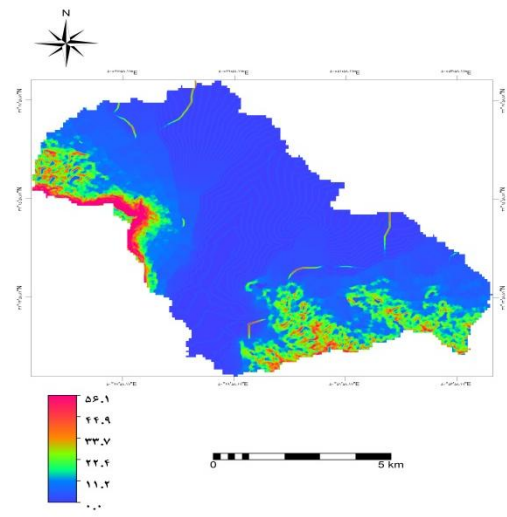
⁶ Spatial Multi Criteria Evaluation

یک کیلومتری و در نهایت برای نقشه فاصله از رودخانه‌ها برابر با مسافت دویست متری در نظر گرفته شده است. در بخش نتایج لایه‌های اطلاعاتی استانداردسازی شده‌ی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان به تفکیک آورده شده است.

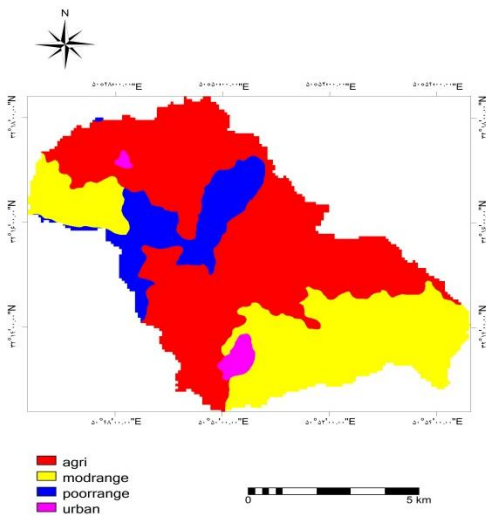
احتمال وقوع زمین‌لغزش برابر با صفر خواهد بود. قابل ذکر است حد مذکور بر اساس مطالعات میدانی و همچنین نظر کارشناسان برای نقشه فاصله از گسل برابر با مسافت دو کیلومتری، برای نقشه فاصله از جاده برابر با مسافت یک کیلومتری، برای نقشه فاصله از چشمه‌ها برابر با مسافت



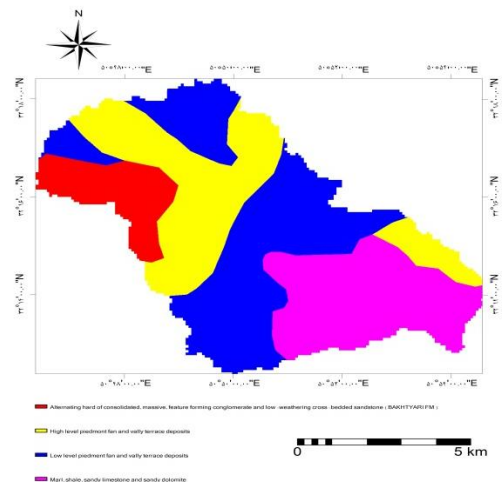
نقشه جهت شیب زمین



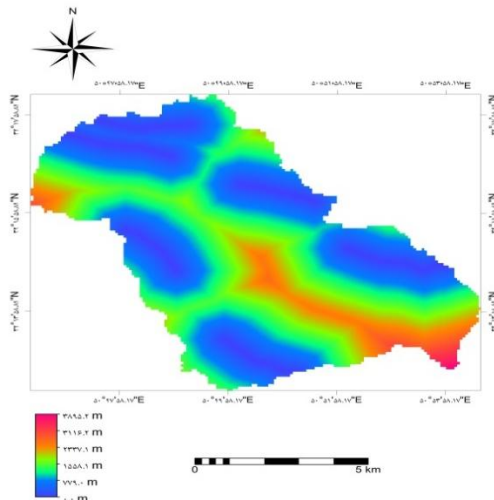
نقشه شیب زمین



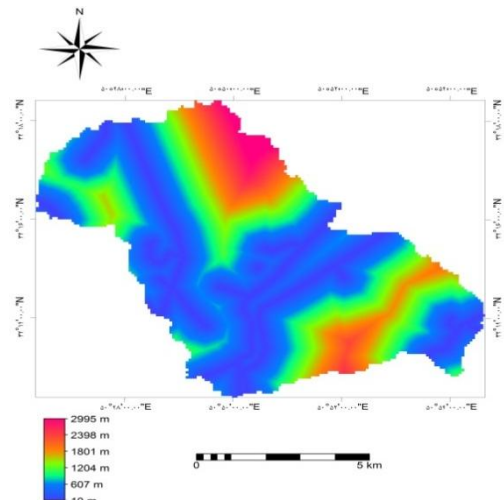
نقشه کاربری اراضی



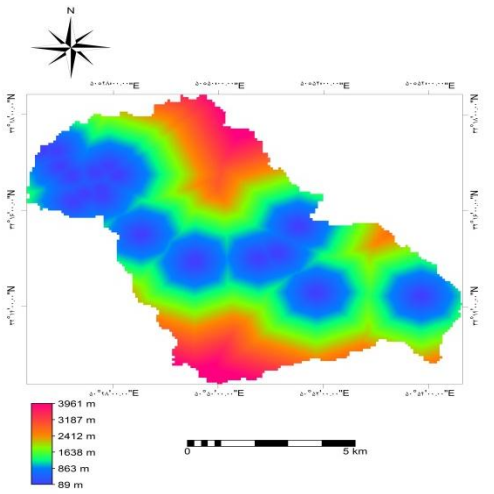
نقشه زمین‌شناسی



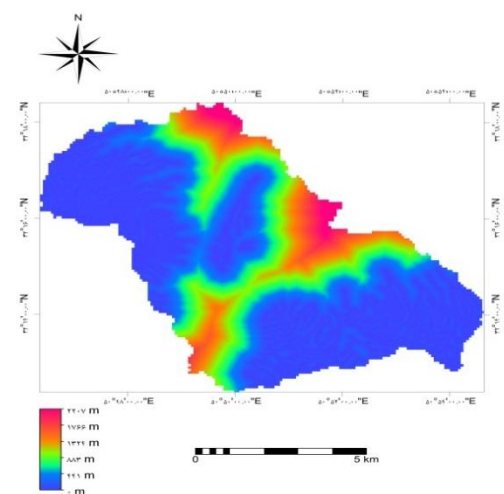
نقشه فاصله از جاده



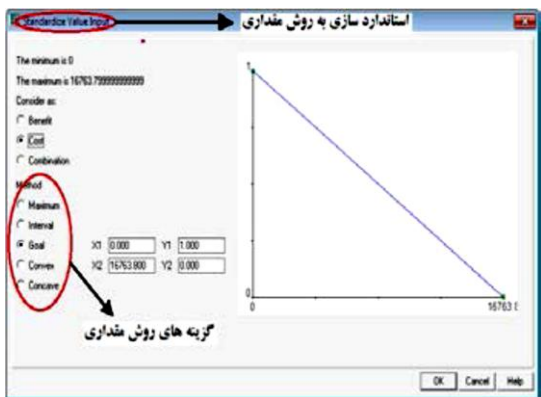
نقشه فاصله از چشمه



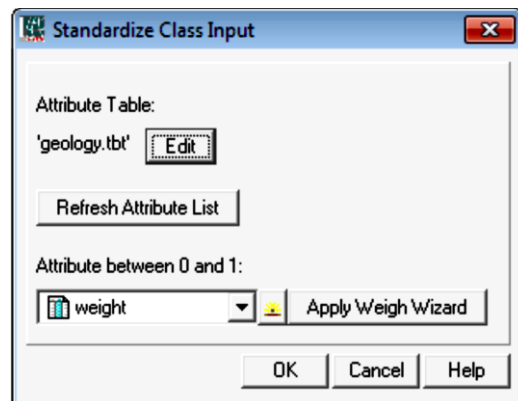
نقشه فاصله از آبراهه



شکل ۲. لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان



شکل ۴. استانداردسازی نقشه گسل به روش مقدری



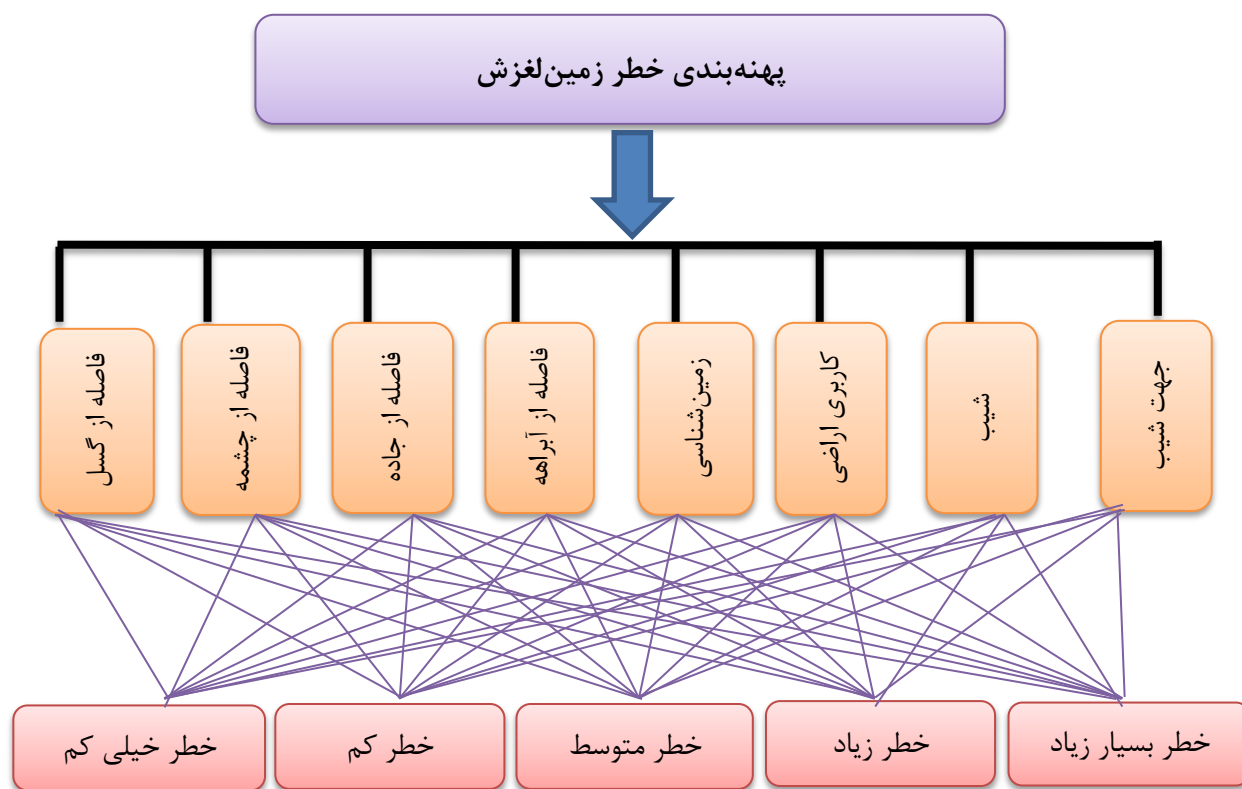
شکل ۳. استانداردسازی نقشه زمین‌شناسی به روش جدول توصیفی

همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارد [۱۹].

اولین مرحله در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تدوین ساختار است. در این قسمت با تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده، می توان آن ها را به شکلی ساده که با طبیعت و ذهن انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل نمود [۴]. ساختار سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسئله پیچیده است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها و گزینه ها قرار دارند. شکل ۵ ساختار سلسله مراتبی پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه هفشجان نشان می دهد.

۴.۲. تشکیل ساختار سلسله مراتبی و وزن دهی لایه ها

به منظور وزن دهی نقشه های استانداردسازی شده از روش مقایسات زوجی که در واقع همان تحلیل سلسله مراتبی است استفاده می گردد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین فن های تصمیم گیری چندمعیاره است که اولین بار در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. این روش بر اساس مقایسات زوجی عوامل بنا نهاده شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به تصمیم گیران می دهد. این فن یکی از جامع ترین الگوریتم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسائل پیچیده طبیعی به صورت سلسله مراتبی را فراهم نموده و



شکل ۵. ساختار سلسله مراتبی پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه هفشجان

به عبارت دیگر معیار وزن دهی به واحدهای اطلاعاتی نیز بر اساس بیشترین نقشی است که عوامل در داخل لایه ایفا می کنند [۱۲]. در وزن دهی معیارها از قضاوت های

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عوامل به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و بیشترین وزن به لایه های تعلق می گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف دارد.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر، a_{ij} : درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و r_{ij} : درایه‌های ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه i ام و شاخص j ام و W_i : وزن گزینه i ام است.

شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین فاکتورها صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. این قضاوت‌ها به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول ۱ ارائه شده است. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها می‌توان وزن نسبی (W_i) آن‌ها را محاسبه نمود. برای انجام این کار بایستی مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی باهم جمع شده و مقدار هر عنصر به جمع ستونی خودش تقسیم گردد تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه گردد (رابطه ۱). سپس میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه محاسبه می‌شود و در نهایت بردار وزن پارامترها ایجاد می‌شود (رابطه ۲).

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل [۱۰]

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب (Extremely Preferred)
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی (Strongly Preferred Very)
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly Preferred)
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب (Moderately Preferred)
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally Preferred)
۸، ۶، ۴، ۲	ترجیحات بین فواصل قوی

ناسازگاری از طریق رابطه ۳ و نرخ ناسازگاری نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد که در آن مقدار I.I.R نیز از جدول ۲ استخراج می‌شود [۱۰].

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \quad \text{رابطه ۴:}$$

۵.۲. محاسبه نرخ ناسازگاری

در نهایت اقدام به محاسبه نرخ ناسازگاری می‌شود. برای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردد تا تخمین مناسبی از $\lambda_{\max} W$ به دست آید، به عبارتی $A \times W = \lambda_{\max} W$ باشد. با تقسیم مقدار $\lambda_{\max} W$ بر W مربوطه، مقدار λ_{\max} محاسبه می‌شود. سپس مقدار شاخص

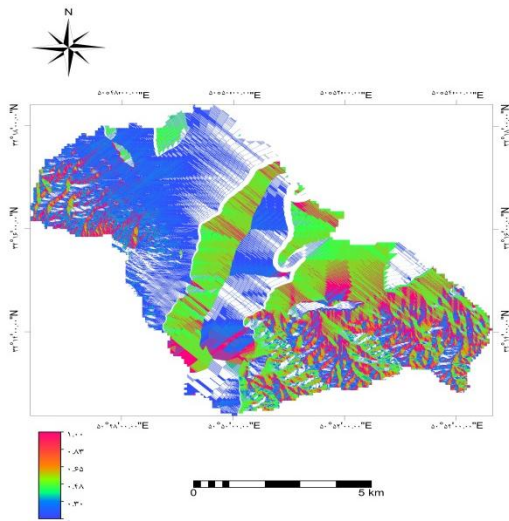
جدول ۲. مقادیر I.I.R ماتریس‌های تصادفی [۱۰]

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

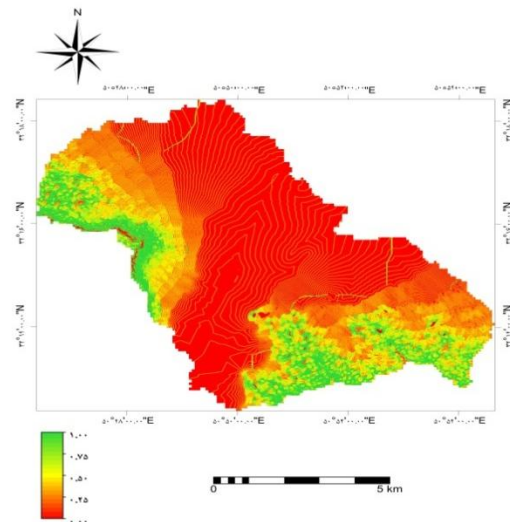
۳. نتایج

لایه‌های اطلاعاتی به کار گرفته شده در این پژوهش شامل نقشه‌های شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از چشمه با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۳ از قسمت روش‌شناسی استانداردسازی شدند که در شکل ۶ آورده شده است.

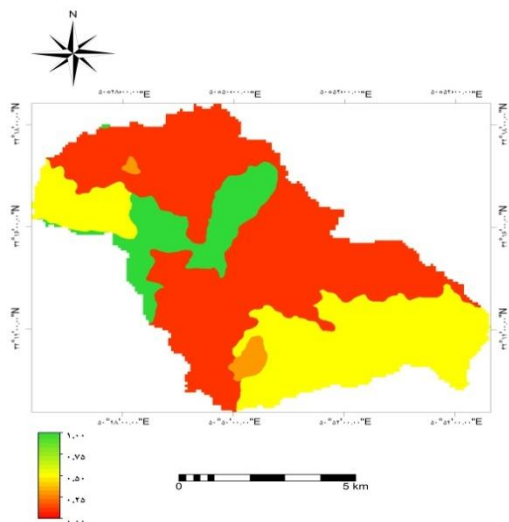
اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کند [۵]. به‌طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی‌داری ماتریس‌های مقایسه زوجی و مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد. به همین منظور نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر به‌صورت جداگانه و با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی محاسبه گردید که در قسمت نتایج ارائه شده است.



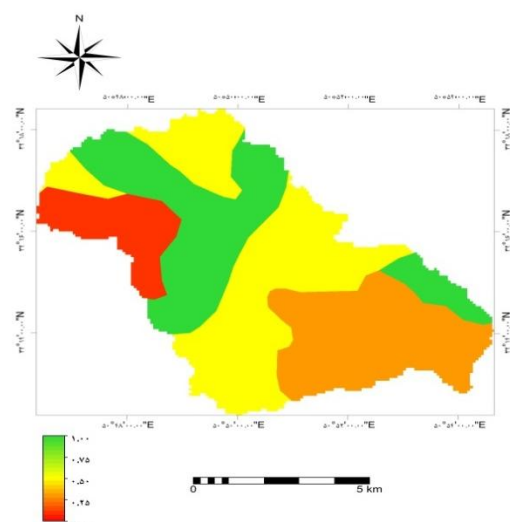
نقشه استانداردسازی شده جهت شیب



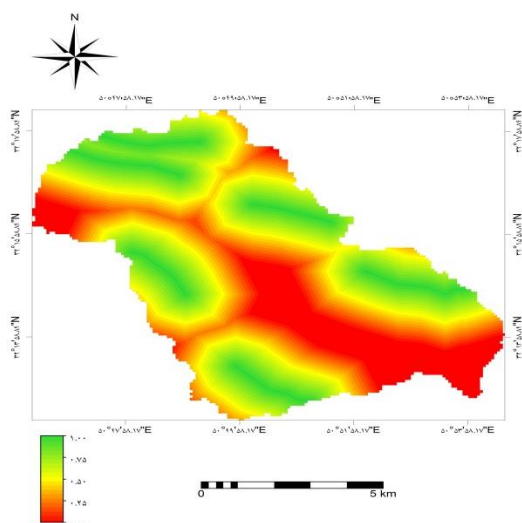
نقشه استانداردسازی شده شیب



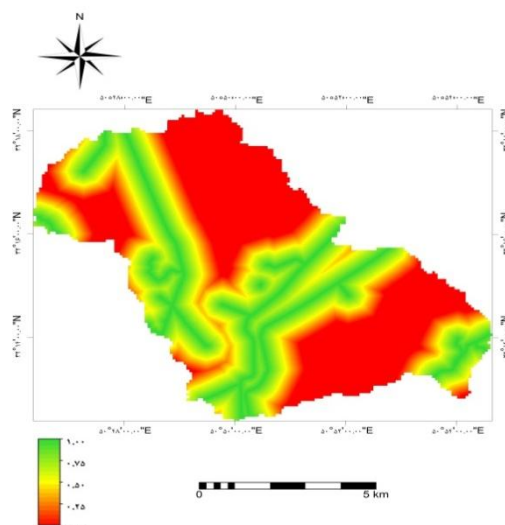
نقشه استانداردسازی شده کاربری اراضی



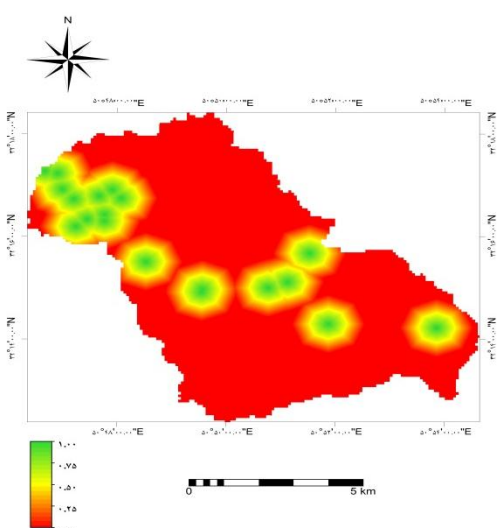
نقشه استانداردسازی شده زمین‌شناسی



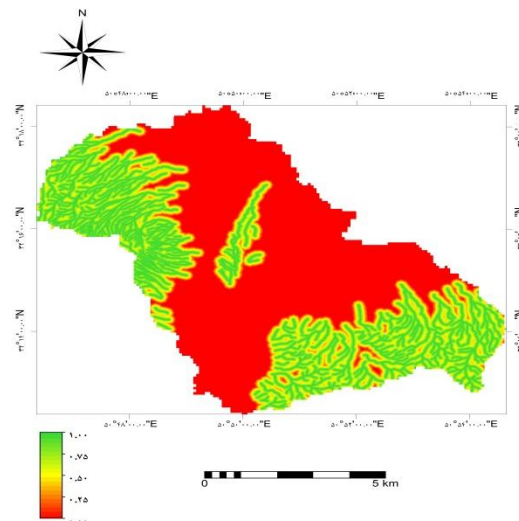
نقشه استانداردسازی شده فاصله از جاده



نقشه استانداردسازی شده فاصله از چشمه



نقشه استانداردسازی شده فاصله از چشمه



نقشه استانداردسازی شده فاصله از آبراهه

شکل ۶. لایه‌های اطلاعاتی استانداردسازی شده عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان

عوامل شکل‌گرفت (جدول ۳). پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی، وزن نسبی پارامترها محاسبه شده که نتایج حاصل از وزن دهی و محاسبه بردار وزن عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی و ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه شده در جدول ۴ آمده است.

پس از تشخیص عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، استانداردسازی لایه‌ها و تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی، وزن‌دهی به فاکتورها برای اولویت‌بندی عوامل نسبت به یکدیگر با در نظر گرفتن رخداد زمین‌لغزش منطقه صورت گرفت و ماتریس مقایسات زوجی بر اساس ویژگی‌های منطقه و مطالعات تطبیقی

جدول ۳. ماتریس مقایسات زوجی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان

عوامل	فاصله از گسل	فاصله از جاده	زمین‌شناسی	فاصله از آبراهه	جهت شیب	شیب	کاربری اراضی	فاصله از چشمه
فاصله از گسل	۱	۰/۱۴۲۹	۵	۵	۷	۶	۷	۷
فاصله از جاده	۷	۱	۶	۷	۸	۷	۸	۸
زمین‌شناسی	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۱	۰/۳۳۳	۵	۳	۴	۴
فاصله از آبراهه	۰/۲	۰/۱۴۲۹	۳	۱	۶	۴	۵	۵
جهت شیب	۰/۱۴۲۹	۰/۱۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۱	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۵
شیب	۰/۱۶۶۷	۰/۱۴۲۹	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۳	۱	۳	۴
کاربری اراضی	۰/۱۴۲۹	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۲	۲	۰/۳۳۳	۱	۰/۵
فاصله از چشمه	۰/۱۴۲۹	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۲	۲	۰/۲۵	۲	۱
جمع	۸/۹۹۵۴	۱/۹۷۰۴	۱۶/۰۳۳	۱۴/۱۴۹۷	۳۴	۲۱/۹۱۶	۳۰/۵	۳۰

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه شده و محاسبه بردار وزن عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان

پوز	فاصله از گسل	فاصله از جاده	زمین‌شناسی	فاصله از آبراهه	جهت شیب	شیب	کاربری اراضی	فاصله از چشمه	بردار وزن
فاصله از گسل	۰/۱۱۱۱۶۷۹۳	۰/۷۲۵۲۳۳۴	۰/۳۱۱۸۵۶۷۹	۰/۳۵۳۳۶۴۳۸	۰/۲۰۵۸۸۲۳۵	۰/۲۷۳۷۷۲۵۸	۰/۲۲۹۵۰۸۱۹	۰/۲۳۳۳۳۳۳۳	۰/۲۲۳۹۲۶۱۱
فاصله از جاده	۰/۷۷۸۱۷۵۵۱	۰/۵۰۷۵۱۱۱۶	۰/۳۷۴۲۲۸۱۵	۰/۴۹۴۷۱۰۱۳	۰/۲۳۵۲۹۴۱۱	۰/۳۱۹۴۰۱۳۵	۰/۳۶۲۲۹۵۰۸	۰/۳۶۶۶۶۶۶۶	۰/۴۰۴۷۸۵۲۷
زمین‌شناسی	۰/۰۲۲۲۳۲۵۸	۰/۰۸۴۶۰۲۱۱	۰/۰۶۲۳۷۱۳۵	۰/۰۲۳۵۳۴۰۶	۰/۱۴۷۰۵۸۸۲	۰/۱۳۶۸۸۶۲۹	۰/۱۳۱۱۴۷۵۴	۰/۱۳۳۳۳۳۳۳	۰/۰۹۲۶۴۵۸۸
فاصله از آبراهه	۰/۰۲۲۲۳۲۵۸	۰/۰۷۲۵۲۳۳۴	۰/۱۸۷۱۱۴۰۷	۰/۰۷۰۶۷۲۸۷	۰/۱۷۶۴۷۰۵۸	۰/۱۸۲۵۱۵۰۵	۰/۱۶۳۹۳۴۴۲	۰/۱۶۶۶۶۶۶۶	۰/۱۳۰۲۶۶۳۲
جهت شیب	۰/۰۱۵۸۸۵۸۹	۰/۰۶۳۴۳۸۸۹	۰/۰۱۲۴۷۴۲۷	۰/۰۱۱۷۸۱۱۶	۰/۰۲۹۴۱۱۷۶	۰/۰۱۵۱۹۴۳۷	۰/۰۱۶۳۹۳۴۴	۰/۰۱۶۶۶۶۶۶۶	۰/۰۲۲۶۵۵۸۱
شیب	۰/۰۱۸۵۳۱۶۹	۰/۰۷۲۵۲۳۳۴	۰/۰۲۰۷۶۹۶۶	۰/۰۱۷۶۶۸۲۱	۰/۰۸۸۲۳۵۲۹	۰/۰۴۵۶۲۸۷۶	۰/۰۹۸۳۶۰۶۵	۰/۰۳۳۳۳۳۳۳	۰/۰۶۱۸۸۱۳۷
کاربری اراضی	۰/۰۱۵۸۸۵۸۹	۰/۰۶۳۴۳۸۸۹	۰/۰۱۵۵۹۲۸۳	۰/۰۱۴۱۳۴۵۷	۰/۰۵۸۸۲۳۵۲	۰/۰۱۵۱۹۴۳۷	۰/۰۳۲۷۸۶۸۸	۰/۰۱۶۶۶۶۶۶۶	۰/۰۲۹۰۶۵۴۵
فاصله از چشمه	۰/۰۱۵۸۸۵۸۹	۰/۰۶۳۴۳۸۸۹	۰/۰۱۵۵۹۲۸۳	۰/۰۱۴۱۳۴۵۷	۰/۰۵۸۸۲۳۵۲	۰/۰۱۱۴۰۷۱۹	۰/۰۶۵۵۷۳۷۷	۰/۰۳۳۳۳۳۳۳	۰/۰۳۴۷۷۳۷۵
جمع	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول مذکور سازگاری ماتریس‌های عوامل را جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه هفشجان در پژوهش حاضر تأیید می‌نماید.

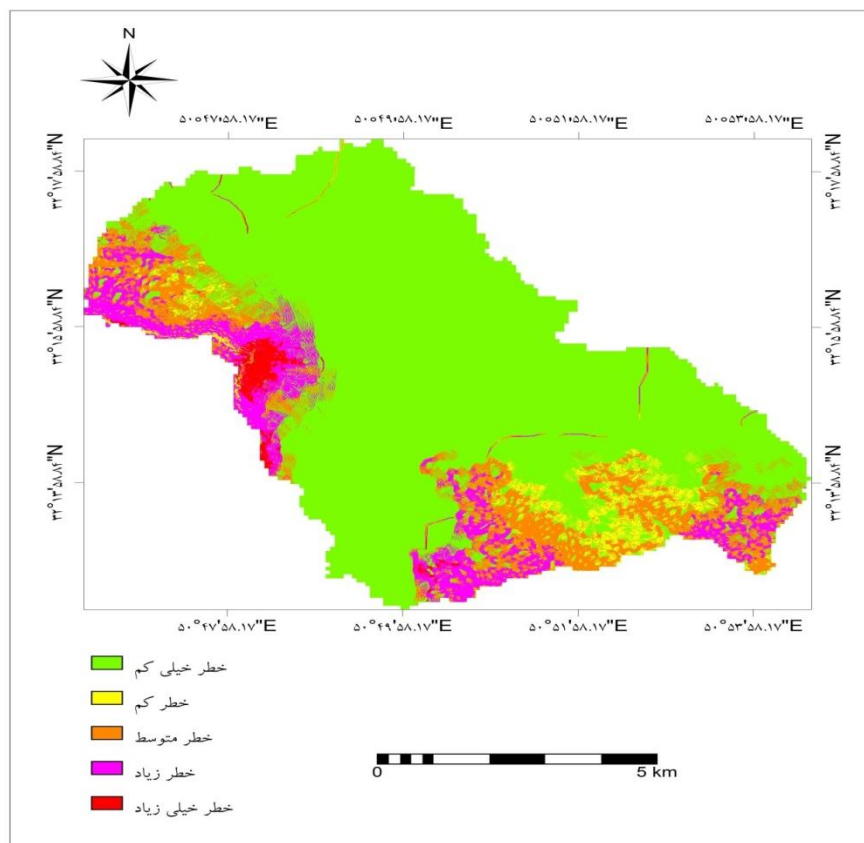
در نهایت نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی محاسبه گردید که در جدول ۵ آورده شده است. نتایج

جدول ۵. نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه هفشجان

ماتریس	شیب	جهت شیب	زمین‌شناسی	کاربری اراضی	فاصله از جاده	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	فاصله از چشمه
نرخ ناسازگاری	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵

پس از تأیید معنی‌داری ماتریس‌های عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش حوضه هفشجان، وزن نهایی معیارها جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه به لایه‌های متناظر اعمال گردید. تمامی نقشه‌ها و عوامل بررسی شده و تأثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که حال استانداردسازی و وزن دهی شده‌اند، ابتدا با استفاده از تابع تعریف مسئله^۱ در محیط نرم‌افزار ILWIS 3.31 به

مدل درختواره تصمیم‌گیری مکانی چندمعیاره (SMCE) تعریف و وارد شدند. سپس با استفاده از تابع آنالیز چندمعیاره^۲ در نرم‌افزار مذکور اقدام به تولید نقشه نهایی حاصل از اعمال تمامی نقشه‌های ورودی با استانداردهای و وزن‌دهی‌ها گردید. نتیجه به دست آمده در شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش حوضه هفشجان را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه هفشجان

¹ Problem Definition

² Multicriteria Analysis Function

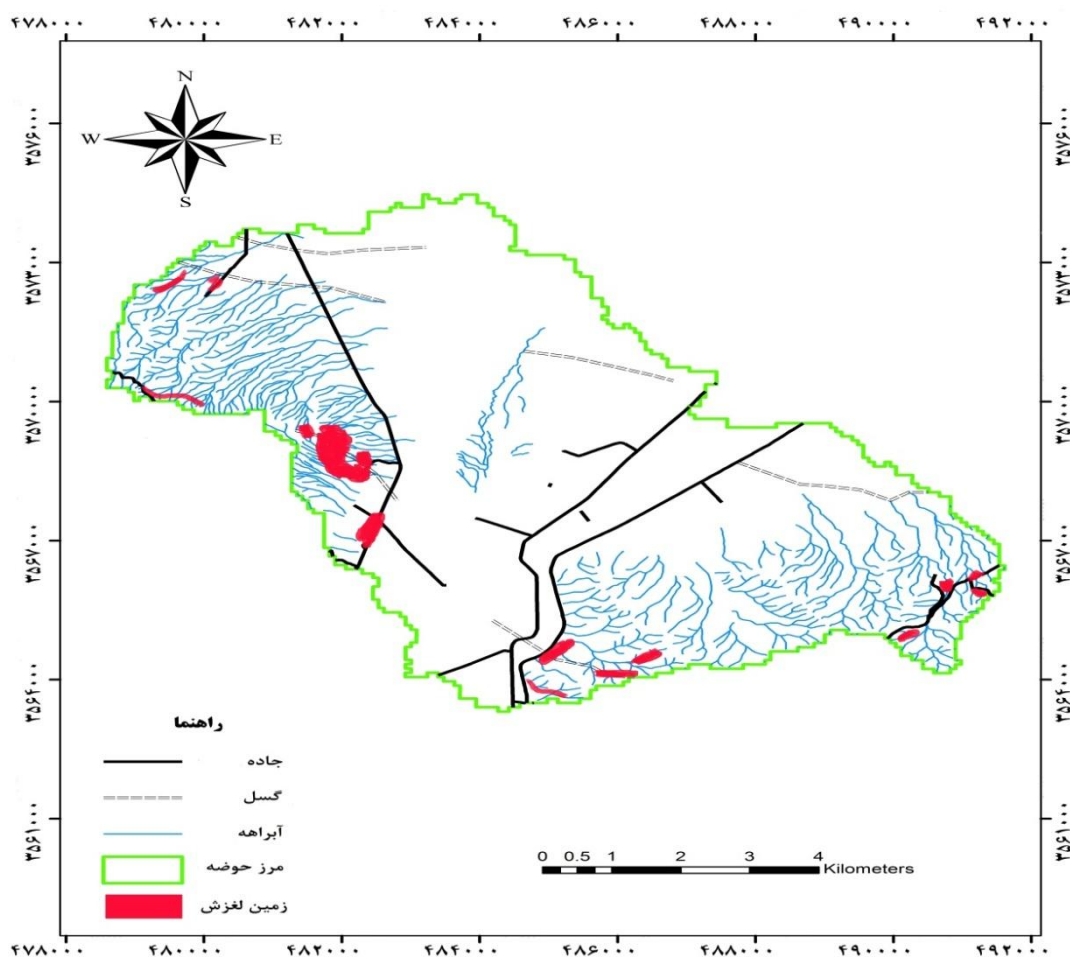
کل پهنه‌ها. رابطه ۵ نشان‌دهنده نحوه محاسبه شاخص زمین لغزش است [۲۲].

$$LI = \frac{Si/Ai}{\sum_{i=1}^n (Si/Ai)} \times 100$$

رابطه ۵:

در این رابطه LI : شاخص خطر رخداد زمین لغزش در هر پهنه به درصد، Si : مساحت سطح لغزش یافته در هر پهنه، Ai : مساحت هر پهنه و n : تعداد پهنه‌ها است.

برای بررسی میزان دقت و صحت مدل پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش منطقه، از شاخص زمین لغزش^۱ استفاده شد. ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی بر اساس نقشه پراکندگی زمین لغزش‌های مشاهده شده (شکل ۸) صورت گرفت. بدین منظور نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه با نقشه پهنه‌بندی ارائه شده تلاقی داده شد و با استفاده از روش ارزیابی شاخص زمین لغزش، دقت و صحت مدل به شرح زیر محاسبه گردید. شاخص زمین لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش یافته در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح



شکل ۸. نقشه پراکنش زمین لغزش‌های مشاهده شده در حوضه هفشجان

^۱ Landslide Index

زمین لغزش مدل تهیه شده در این پژوهش، دقت لازم مدل را تأیید می کند. نتایج جدول ۶ نشان می دهد که پهنه خطر خیلی کم با وجود آنکه ۷۳/۶۸ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده است اما ۶۴/۳۴ درصد سطح لغزش های منطقه را شامل می شود. از طرفی پهنه خطر خیلی زیاد با دارا بودن ۱/۳۲ درصد از مساحت کل منطقه، ۲/۲۳ درصد سطح لغزشی منطقه را در بر گرفته است. سایر نتایج به دست آمده از مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش از منطقه در جدول ارائه شده است.

نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه بندی خطر با نقشه پراکنش و محاسبه شاخص زمین لغزش برای مدل ارائه شده در جدول ۶ آورده شده است. مقادیر شاخص مذکور حاکی از وجود روند صعودی از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خیلی زیاد است. اگر روند شاخص زمین لغزش نزولی و نامنظم باشد و یا به عبارتی درصد این شاخص در پهنه های خطر پایین بیشتر از پهنه های خطر بالا باشد، مدل تهیه شده از دقت کافی برخوردار نخواهد بود [۲۲]؛ بنابراین روند صعودی شاخص

جدول ۶. نتایج حاصل از نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش و محاسبه شاخص زمین لغزش

گستره ی لغزشی	مساحت (متر مربع)	مساحت به درصد	سطح لغزشی (متر مربع)	سطح لغزشی از کل	درصد سطح لغزشی	شاخص زمین لغزش	درصد شاخص زمین لغزش
خیلی کم	۵۶۵۸۸۸۰۰	۷۳/۶۸	۲۶۰۳۰۸۴۸۰۰	۰/۶۴۳۴۲۴۰۶۹۲	۶۴/۳۴۲۴۰۶۹۲	۰/۱۳۳۷۲۰۹۳	۱۳/۳۷۲۰۹۳۰۲
کم	۲۶۳۶۰۰۰	۳/۴۳	۱۶۳۴۳۲۰۰۰	۰/۰۴۰۳۹۶۷۱۷۹۶	۴/۰۳۹۶۷۱۷۹۶	۰/۱۸۰۲۳۲۵۵۸	۱۸/۰۲۳۲۵۵۸۱
متوسط	۹۶۵۸۷۰۰	۱۲/۵۸	۶۰۸۴۹۸۱۰۰	۰/۱۵۰۴۰۷۰۵۶۹	۱۵/۰۴۰۷۰۵۶۹	۰/۱۸۳۱۳۹۵۳۵	۱۸/۳۱۳۹۵۳۴۹
زیاد	۶۹۰۹۸۰۰	۹	۵۸۰۴۲۳۲۰۰	۰/۱۴۳۴۶۷۵۷۲۵	۱۴/۳۴۶۷۵۷۲۵	۰/۲۴۴۱۸۶۰۴۷	۲۴/۴۱۸۶۰۴۶۵
خیلی زیاد	۱۰۱۳۹۰۰	۱/۳۲	۹۰۲۳۷۱۰۰	۰/۰۲۲۳۰۴۵۸۳	۲/۲۳۰۴۵۸۳۴۲	۰/۲۵۸۷۲۰۹۳	۲۵/۸۷۲۰۹۳۰۲
مجموع	۷۶۸۰۷۲۰۰	۱۰۰	۴۰۴۵۶۷۵۲۰۰	۱	۱۰۰	۱	۱۰۰

۴. بحث و نتیجه گیری

دی صلاح نماید. فن GIS به علت توانایی آن در مدیریت حجم زیادی از اطلاعات مکانی، ابزاری نیرومند برای این نوع مطالعات اولیه به شمار می رود. زمانی که این فن به صورت تلفیقی با نرم افزار ILWIS بکار برده شود می تواند ارائه مدل های خوب و قابل اطمینانی را باعث گردد چراکه نرم افزار ILWIS قابلیت های بسیار منحصر به فردی را در ارائه مدل های تصمیم گیری چندمعیاره مکانی دارا است و استفاده از این نرم افزار جهت انجام آنالیزهای چندمعیاره بسیار مفید است. علاوه بر این، مدل AHP توسط برنامه ریزان برای حل معضلات

وقوع پدیده زمین لغزش در مناطق مستعد یکی از معضلات عمده ای است که استان چهارمحال و بختیاری و شهرستان های این استان در اکثر مواقع با آن روبرو است؛ بنابراین ایجاد یک استراتژی منطقه ای برای حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از وقوع آن جهت نیل به اهداف توسعه پایدار بسیار مهم و ضروری بوده و ارائه یک مدل مناسب و تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش می تواند در برنامه ریزی و مدیریت محیط منطقه مطالعاتی کمک شایانی به مراکز

انطباق دارند که در نتیجه اهمیت بسیار زیاد این مناطق را جهت حفاظت و مراقبت نشان می‌دهد؛ بنابراین هرگونه عملیات تخریب و فعالیت‌های نابه‌جا در منطقه می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی را به همراه داشته باشد. در بین عوامل مؤثر، فاکتورهای فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه به ترتیب با اوزان ۰/۴۰۴۷، ۰/۲۲۳۹ و ۰/۱۳۰۲ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند. بر اساس مدل نقشه نهایی پهنه‌بندی، در مجموع ۱/۳۲ درصد (۱۰۱۳۹۰۰ مترمربع) از مساحت حوزه دارای خطر وقوع بسیار زیاد و ۹ درصد (۶۹۰۹۸۰۰ مترمربع) دارای خطر وقوع زیاد است که این وسعت زیاد اهمیت وقوع زمین‌لغزش در آینده را در منطقه نشان داده و پیگیری مسائل مدیریتی آن را دوچندان می‌کند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌لغزش برای مدل تهیه‌شده، روند صعودی این شاخص را از پهنه خیلی کم به سمت پهنه خطر خیلی زیاد نشان داده و نشان‌دهنده دقت لازم برای مدل مذکور است.

پیچیده‌ای که در امر مدیریت با آن روبرو هستند، به کار گرفته می‌شود. با این تفاسیر تلفیق فن GIS و نرم‌افزار ILWIS در کنار مدل پرکاربرد AHP چنان‌که در این پژوهش به‌کار گرفته شد، می‌تواند به‌عنوان روشی قدرتمند جهت ارائه مدل پیش‌بینی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت بایستی گفت که فن GIS و نرم‌افزار ILWIS و مدل AHP برای برنامه‌ریزان این امکان را فراهم می‌آورد که با استفاده از توابع تجزیه‌وتحلیل معیارها و رتبه‌بندی آلترناتیوها، مناسب‌ترین گزینه را که در این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است، انتخاب نمایند. منطقه مطالعاتی حوزه موردنظر بر اساس عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی پهنه‌بندی شد و نهایتاً وقوع پهنه‌های زمین‌لغزشی از ریسک بسیار زیاد تا خیلی کم در قالب پنج کلاس شناسایی گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پهنه‌های خطر بسیار زیاد و زیاد در اکثر موارد با فواصل حریم گسل‌های منطقه و جاده‌های ارتباطی

References

- [1] Ahmadi, H. and Mohamadkhan, S.H. (2001). Investigation of Some Mass Movements in Taleghan Basin, *Natural Resources of Iran*, 4, 455-464.
- [2] Alijani, B., Ghahroodi, M. and Amir Ahmadi, A. (2007). Landslide Hazard Zonation in north Hillside Shah Jahan Using GIS (Case Study: Estarkhi Watershed, Shirvan), *Journal of Geographical Research*, 84, 116-131.
- [3] Alimohamadi, S., Pashaeval, A., Shataee Joybari, Sh. and Parsae, L. (2009). Performance Evaluation of Landslide Hazard Models in Syed Kalate Ramian watershed, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 16(1), 59-78.
- [4] Cimren, E., Catay, B. and Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection system using AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 363-376.
- [5] Dey, P.K. and Ramcharan, E.K. (2000). Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados, *Journal of Environmental Management*. 88, 1384-1395.
- [6] Emami, S. N. and Ghayomian, J. (2003). Research on the Mechanism of Landslides on Hillside Debris (Case Study: Afsarabad Landslide, Chaharmahal-o-Bakhtiari). 3th Conference on Engineering Geology and Environment, Hamedan, Iran, 26-33.
- [7] Esmali, A. and Ahmadi, H. (2003). Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation -A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. Map India Conference Disaster Management. 1-5.

- [8] Feiznia, S., Kalarostaghi, A., Ahmadi, H. and Safaee, M. (2004). Checking effective Factors to the occurrence of landslides and landslide hazard zonation (Case Study: Shirinrood Watershed), *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(1), 3-22.
- [9] Ghanbarzade, H. and Behniafar, A. (2009). Landslide hazard zonation in the Calshoor catchment Heights (Neishaboor City), *Journal of Geographical Space*, 28, 103-123.
- [10] Ghodsipoor, S. H. (2009). *Analytical Hierarchy Process*, 7th Edition, University of AmirKabir press, Tehran. September 9-11. 224 Pages.
- [11] Hattanji, T. and Moriwaki, H. (2009). Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides, *Journal of Geomorphology*, 103, 447-454.
- [12] Lopez H.J. and Zink J.A. (1991). GIS-assisted modelling of soil-induced mass movement hazards: a case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia. *ITC Journal*. 4, 202-220.
- [13] Moghimi, E., Alavi Panah, S.K. and Jafari, T. (2008). Assessment and zonation effective Factors to the occurrence of landslides for Aladagh northern slopes (Case Study: Chenaran watershed, North Khorasan), *Journal of Geographical Research*, 64, 53-75.
- [14] Mosaffae, J., Onagh, M., Mesdaghi, M. and Shariat Jafari, M. (2009). Performance comparison of experimental and statistical modeling of landslide hazard zonation (Case Study: Alamootrood watershed), *Journal of Soil and Water Conservation*, 4, 43-61.
- [15] Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. and Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), *Journal of Geomorphology*, 94, 401-418.
- [16] Ownegh, M. (2004). Assessing the Application of Australian Landslide databases for hazard management, 13th International Soil Conservation Organization Conference - Brisbane, July, 1-5.
- [17] Pradhan, B. (2011). An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, *Journal of Data Science*. 9, 65-81.
- [18] Ramesht, M. S. (1996). Application of Geomorphology in National Regional Economic Planning, 1st Edition, University of Esfahan press. 392 Pages.
- [19] Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of analytical hierarchy process, *Journal of Management science*. 31, 841-855.
- [20] Shadfar, S., Yamani, M., Ghodosi, J. and Ghayomian, J. (2007). Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Process (Case Study: Chalekrood Watershed, Tonekabon), *Journal of Research and Construction in Natural Resources*, 75, 117-126.
- [21] Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A. and Hosseinali, F. (2009). Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS, *International Journal of Civil Engineering*, 7, 176-189.
- [22] Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J., and Soeters, R. (1997). Predication of the Occurrence of slope Instability Phenomena through GIS-Based Zonation, *Journal of Geologisches Rundschau*, 86, 404-414.
- [23] Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Journal of Catena*, 72, 1-12.
- [24] Yoshimatsu, H. and Abe, S. (2006). A review of landslide hazards in Japan and assessment of their Susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method, *Journal of Landslides*, 3, 149-158.

