فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال نهم، شماره ۳۱، تابستان ۱۳۹٤

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه صوفیان با استفاده از مدلAHP در محیط GIS

حمید شهین‌فر[۱]

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد تبریز. hshahinfar@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۷ تاریخ تصویب: ۹۳/۱۰/۲۱

چکیده

وقوع حرکات توده‌ای دارای ساز و کار پیچیده‌ای است و عوامل و متغیرهای زیادی در وقوع آن می‌توانند نقش داشته باشند. در این مقاله فراوانی و پراکنش زمین‌لغزش‌های بزرگ صوفیان از توابع استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی عوامل موثر در زمین‌لغزش‌های منطقه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (**AHP**) و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این منطقه می‌باشد. برای این منظور شش عامل مهم زمین‌لغزش که شامل: ۱- سنگ‌شناسی، ۲- شیب دامنه، ۳- فاصله از گسل، ٤- طبقات ارتفاعی، ٥- فاصله از چشمه و ٦- کاربری اراضی به عنوان عوامل مهم و موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های این منطقه تشخیص داده شده است. هر یک از عوامل به صورت لایه‌های اطلاعاتی، وارد محیط **GIS** گردید و وزن هر کدام از آنها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص شد. در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط **GIS** نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ٥ گروه بسیار پر خطر ، پر خطر، با خطر متوسط، کم خطر و بسیارکم خطر تهیه گرده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین مساحت منطقه در گروه بسیارکم خطر و پایدار (٤۳٪) قرار دارد و گروه کم خطر ۲۲٪، با خطر متوسط۱۷٪، پر خطر ۹٪ و گروه بسیار پر خطر ۹٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود نسبت داده است و از بین متغیرهای یاد شده در ناپایداری دامنه‌ها سنگ‌شناسی و شیب دامنه و فاصله از گسل بیشترین اثر را به ترتیب در حرکات دامنه‌ای این منطقه بر عهده دارند.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، GIS، صوفیان.

مقدمه

بلایای طبیعی جزئی از مشکلات انسان‌ها می‌باشد و مخاطرات طبیعی سالانه موجب کشته و مجروح شدن صدها هزارتن و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر درسراسر جهان می‌شوند. زمین‌لغزش‌ها یکی از مخاطرات طبیعی است که فشارجدی بر توسعه اقتصادی کشورها، به ویژه کشورهای جهان سوم دارد و بعضا جبران این خسارات امکان‌پذیر نیست و یا نیاز به زمان و هزینه زیاد است (خسرو زاده، ۱۳۸۷). کشور ایران، به عنوان یکی از ۱۰ کشور در معرض تهدید مخاطرات طبیعی، تقریبا همه ساله شاهد وقوع انواع مخاطرات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها است (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۰). براساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور سهم خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد برآورد شده است (خسروزاده، ۱۳۸۷). لذا تدوین برنامه‌های برای جلوگیری از این خسارت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و موجب جلوگیری از هدر رفت بسیاری از منابع ملی کشور می‌شود. بنابراین هدف نهایی از بررسی و مطالعه زمین‌لغزش‌ها، کاهش خسارت‌های ناشی از آنها می‌باشد. این کار با روش‌های مختلف مانند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای تعیین مناطق خطرناک و تهیه دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌ها برای استفاده مناسب یا پرهیز از این مناطق به وسیله مطالعه موردی یک زمین‌لغزش و ارائه راه حل برای کنترل آن یا هر روش دیگر صورت می‌پذیرد (سفیدگری، ۱۳۷۲).

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به زبان ساده تقسیم‌بندی ناحیه مطالعاتی به محدوده‌های با خطر تقریبا یکسان اطلاق می‌شود (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۸). در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تحقیقات زیادی در سطح جهان و ایران انجام شده است برای مثال (Khullar et al, ۲۰۰۰). با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال هند را تهیه کرده‌اند. (Komac, ۲۰۰۶) در تحقیقی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره در اسلونی نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش را تهیه کرد. (Ainon et al, ۲۰۱۱ Nisa) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مالزی را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تهیه نموده است. (Zhang, 2012) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق ساحلی جنوب خاور چین پرداختند. در ایران نیز تحقیقات مشابه زیادی برای پهنه‌بندی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به تحقیق محمدخان در سال ۱۳۸۰ اشاره نمود که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز طالقان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی را انجام داده است و در نهایت به این نتیجه رسیدند که از بین عوامل تأثیر گذار در وقوع حرکت‌های توده‌ایی عامل زمین‌شناسی دارای بیشترین تأثیر بوده است. نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش‌های پس از احداث سدهای بزرگ کارون ۱ و ۲ و ۳ با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تهیه شده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). شیرانی در سال ۱۳۹۲ در طی تحقیقی لغزش‌های حوضه کهردان، در جنوب شهرستان سمیرم را مورد بررسی قرار داده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر پایه شش عامل را با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و چند متغیره تهیه نموده است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال باختر ایران در استان آذربایجان شرقی و بین دو شهرستان شبستر و مرند واقع شده است. محدوده مختصات جغرافیایی "۳۸°۱۵′۰٤ تا "۳۸°۲۷′٤۸ عرض شمالی و "٤۵°٤۹′۰٤ تا "٤٦°۰٤′۳۱ طول خاوری قرار گرفته است و دارای مساحتی در حدود ۵۲۹/۳٦ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱). این منطقه در حدود ۲ کیلومتری خاور مرند و ۲۹ کیلومتری شمال باختر تبریز واقع شده است. و از شمال باختر به شهرستان مرند و شمال خاور به شهرستان ورزقان و از جنوب باختر به شهرستان شبستر و از جنوب خاور به شهرستان تبریز محدود می شود. ارتفاع از سطح دریا در این محدوده بین ۱۳۸۹ تا ۲۵۲۰ متر است و شامل روستاهای از جمله مرودیزج، کلاش، قره‌آغاج، اندبیل، شوردرق، باغ وزیر، هارون، .... می‌باشد. این منطقه در محدوده کوهستانی میشوداغ، با امتداد شرقی غربی و در حد فاصل دشت مرند و جلگه شبستر قرار گرفته و دامنه شمالی آن سرچشمه رودخانه‌هایی دائمی است که در جهت جنوب به شمال جریان دارند.

روش تحقیق

پهنه‌بندی منطقه از لحاظ خطر زمین‌لغزش در ۵ مرحله انجام می‌شود که شامل گردآوری اطلاعات اولیه، تهیه لایه‌های اطلاعاتی، آماده‌سازی و طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی، امتیازدهی و تلفیق داده‌ها می‌باشد

جمع‌آوری و تهیه اطلاعات اولیه

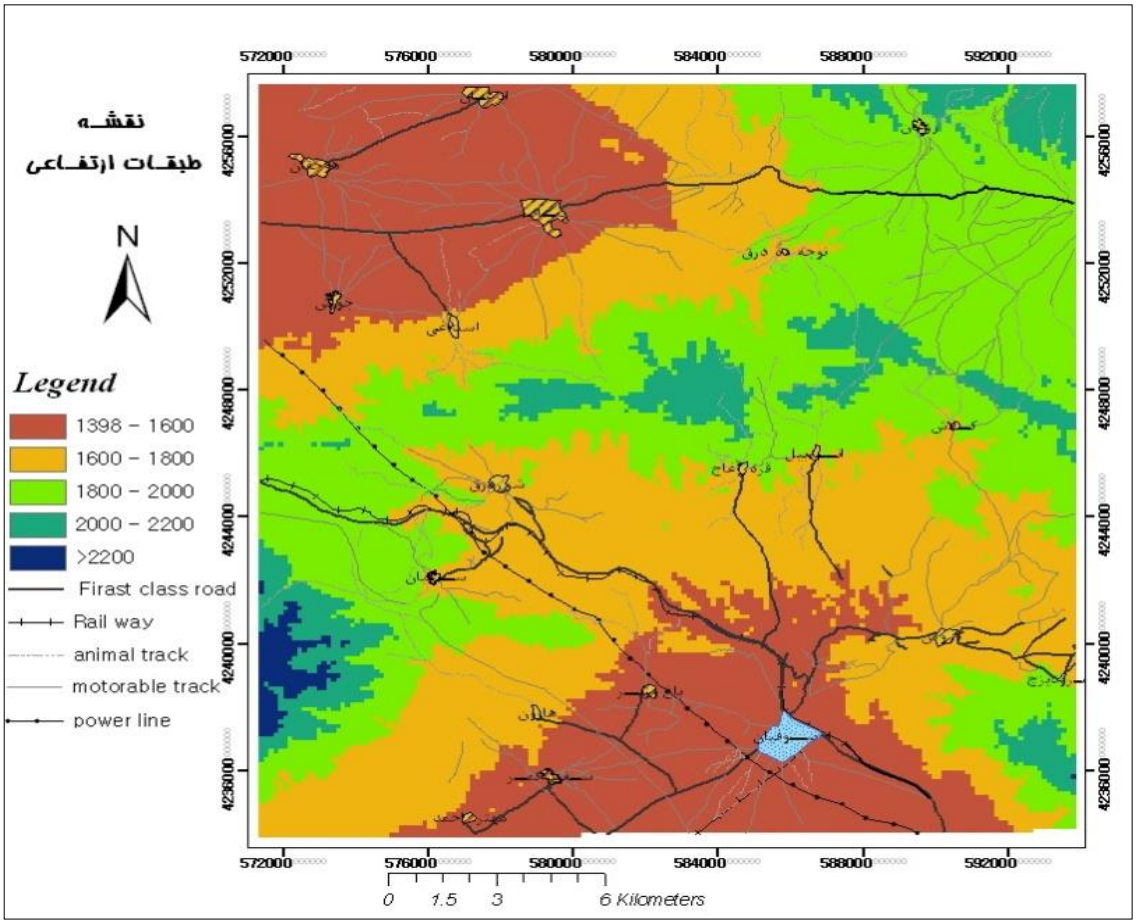
از بررسی و مطالعات انجام شده در مناطق مشابه و با استفاده از تجربیات کارشناسان عوامل موثر اولیه جهت بررسی زمین‌لغزش منطقه شناسایی و تشخیص داده شدند. روش جمع‌آوری داده‌ها در این تحقیق، در ابتدا مبتنی بر شناسایی و مطالعه عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه مانند (سنگ شناسی، شیب، فاصله از گسل‌ها، فاصله از چشمه‌ها، طبقات ارتفاعی و کاربری اراضی) می‌باشد. برای تهیه نقشه‌های اولیه، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS عملیات زمین‌مرجع و تبدیل به لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفت. برای این منظور از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (تبریز و مرند) جهت تهیه نقشه

سنگ‌شناسی و نقشه فاصله از گسل، از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری برای تهیه نقشه DEM و شیب و فاصله از چشمه استفاده شده است و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

تجزیه و تحلیل عوامل موثر

با توجه به مبانی نظری تحقیق از آنجا که در وقوع پدیدهٔ لغزش، متغیرهای بسیار زیادی نقش دارند، بنابراین برای سهولت تجزیه و تحلیل و از طرفی محدود نمودن عرصهٔ تحقیق، از بین متغیرهای موثر شش پارامتر سنگ‌شناسی، شیب، فاصله ازگسل، فاصله از چشمه، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی به عنوان مهمترین عوامل تاثیرگذار انتخاب شده است. سنگ‌شناسی یکی از مهمترین عوامل کنترل کننده زمین‌لغزه به شمار می روند(Lan & et al, 2004).

به علت وجود تنوع ترکیب سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین‌لغزش، به نظر می‌رسد، که عامل سنگ‌شناسی نقش بسیار مؤثری در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در این منطقه داشته باشد. در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی M^{mg} و M_2^{ms} دوره میوسن قابل مشاهده است که از مارن و شیل تشکیل شده‌اند و در حدود ۱۵٪ از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند و این واحدهای سنگی دارای قابلیت بالای ناپایداری هستند و اکثر زمین‌لغزش‌های رخ داده در این محدوده مربوط به این واحدهای سنگی است. بقیه واحدهای سنگی که در این منطقه قابل مشاهده است (شکل ۲). براساس پایداری و مقاومت‌شان در گروه‌هایی با امتیازات کمتر نسبت به مارن و شیل رده‌بندی شده‌اند در جدول ۳ گروه‌بندی آنها به صورت طبقه‌بندی نشان داده شده است.



شکل۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه، غرب استان آذربایجان شرقی (برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور)

شیب دامنه

شیب و مورفولوژی دامنه‌ها تاثیر بسیار زیادی در وقوع پدیدهٔ زمین‌لغزش دارند(Dai & et al, 2002).

با بررسی روش‌های مختلف پهنه‌بندی و بازدیدهای صحرایی به این نتیجه دست یافتیم که شیب توپوگرافی یکی از عوامل مهم در ایجاد ناپایداری و حرکات توده‌ای است (شکل ۳) چنانکه مناطقی با شیب بین ۰-۷ درصد با وجود این که ٤۱٪ از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است اما زمین‌لغزش در این محدوده قابل مشاهده نمی‌باشد.

فاصله ازگسل

گسل یکی از عوامل محرک بروز حرکات دامنه‌ای است (Cruzier ,1986).

بنابراین شکستگی‌ها و خردشدگی نقش مؤثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها دارد. نقشه گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه تهیه گردید. مهم‌ترین گسل‌های که در منطقه وجود دارد می‌توان گسل شمال تبریز، گسل شمال و گسل جنوب میشو را نام برد. یکی از روش‌های تاثیر دادن گسل‌ها در وقوع زمین‌لغزش ایجاد حائل در اطراف گسل‌ها می‌باشد. برای این هدف حائل ۵۰۰mt، ۱۰۰۰ mt، ۱۵۰۰ mt و ۲۰۰۰ mt ایجاد شده که در شکل ٤ قابل مشاهده است.

تمام زمین‌لغزش‌های موجود در این منطقه به علت وجود درز و شکاف ناشی در محدوده ۵۰۰ متر از گسل‌ها قرار دارند.

فاصله از چشمه

وجود چشمه در پای دامنه‌ی لغزش، می‌تواند حاکی از آن باشد که سطح آب زیرزمینی در این محدوده نزدیک سطح زمین بوده که این عامل نیز در تسریع لغزش‌ها نقش بسزایی دارد. چنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود چشمه‌های زیادی قابل مشاهده است این خود حاکی از تاثیر این پارامتر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه است.

طبقات ارتفاعی

این عامل به طور غیر مستقیم، تعیین کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین‌لغزش مانند بارش سالانه، بارش‌های شدید و رگباری، نوع بارش، تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ، تخریب فیزیکی و هوازدگی شیمیایی است (جعفری و همکاران، ۱۳۸۷). با این وجود این عامل در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌تواند بسیار مهم و اثر گذار باشد. بررسی ارتباط عامل ارتفاع و حرکات لغزشی نشان می‌دهد، که بیشتر زمین لغزش‌ها در اختلاف ارتفاعی زیاد روی داده‌اند اختلاف ارتفاع در این محدوده بین۱۳۹۸ تا ۲۵۲۰ متر است. در شکل ۱ طبقات ارتفاعی مدل رقومی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است.

کاربری اراضی

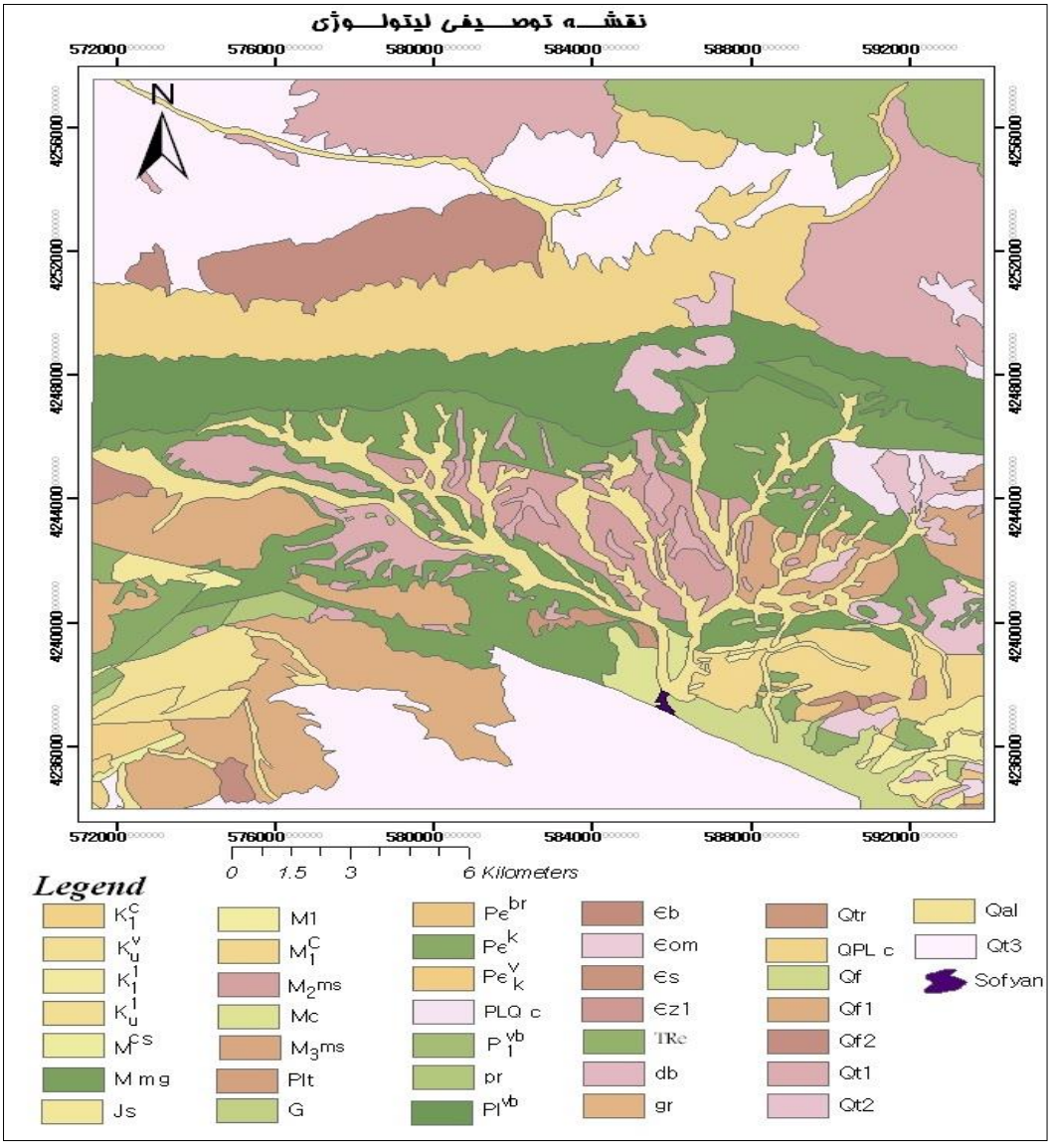
کاربری اراضی یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آنها در یک منطقه می‌باشد کاربری زمین ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار داده و سبب تغییر رفتار آن در مقابل فرایندهای زمین‌شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازدگی و فرسایش می‌شود در نتیجه ویژگی‌های ذاتی زمین از نظر خواص مهندسی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (ارومیه‌ای و همکاران، ۱۳۷۷) واحدهای مختلف کاربری اراضی این منطقه که شامل منطقه مسکونی، مزارع، باغات، مراتع و لم یزرع است در شکل ٦ نشان داده شده است. و در بین کاربری‌های فوق لم‌یزرع بیشترین امتیاز را جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به خود اختصاص داده است.

طبقه‌بندی و تلفیق لایه‌ها در مدل AHP

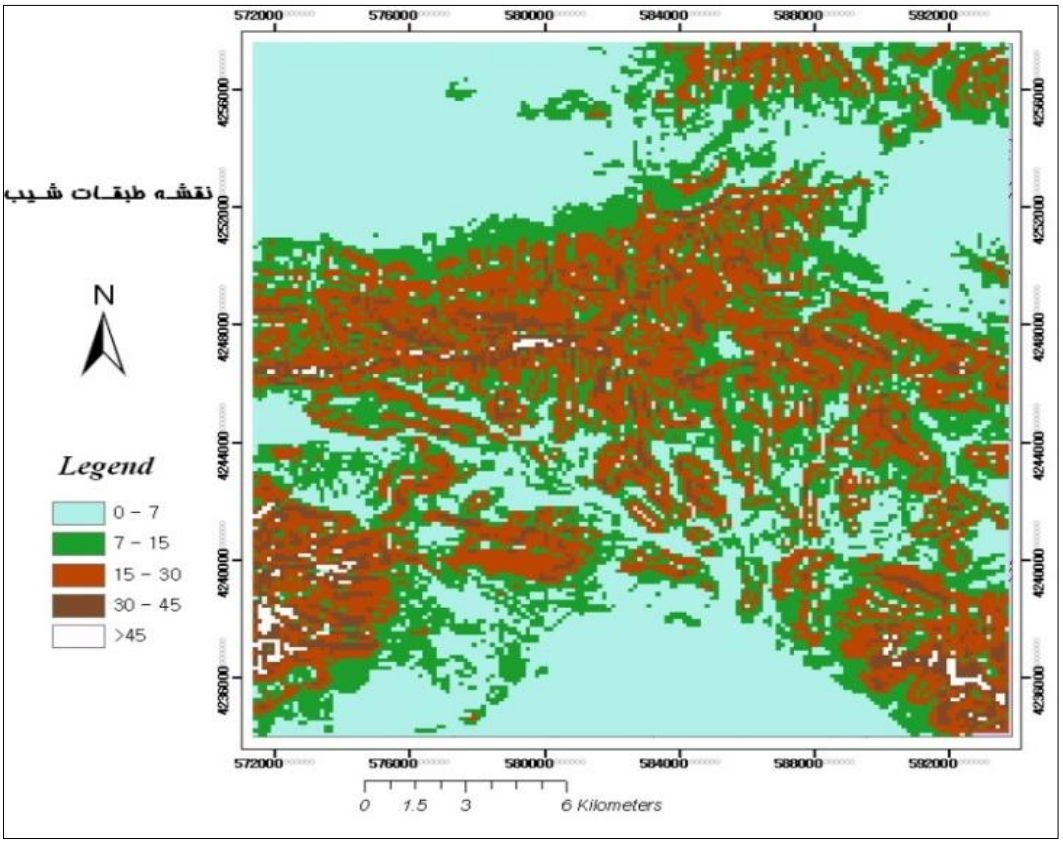
نقشه‌های مورد استفاده در این تحقیق بعد از آنکه به کمک نرم افزار Arc GIS زمین مرجع و رقومی گردید وزن لایه‌های اطلاعاتی و روی هم‌گذاری آنها، تعیین محدوده‌های ژئومورفیک و تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی زمین‌لغزش و تفسیر آنها با به کارگیری مدل تحلیل سلسله مراتبی در طول فرایند تحقیق با استفاده از نرم افزارGIS

صورت گرفته است. روش تحلیل سلسله مراتبی، یکی از ابزارهای قدرتمند تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط محققی به‌نام توماس ساعتی ارائه شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های معیارهای چند متغیره است، زیرا با این روش امکان فرموله کردن مسأله به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌شود. از مزایای ممتاز این روش تصمیم‌گیری چند معیاره، تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم می‌باشد.این روش بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است. به طور کلی روند این روش به این صورت است، که ابتدا به منظور رتبه‌بندی عوامل مختلف و متغیرها و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوتهای شفاهی (پرسش‌نامه‌های نظر سنجی کارشناسان) استفاده می‌شود تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص، براساس جدول۱ صورت می‌گیرد (عطایی، ۱۳۸۹).

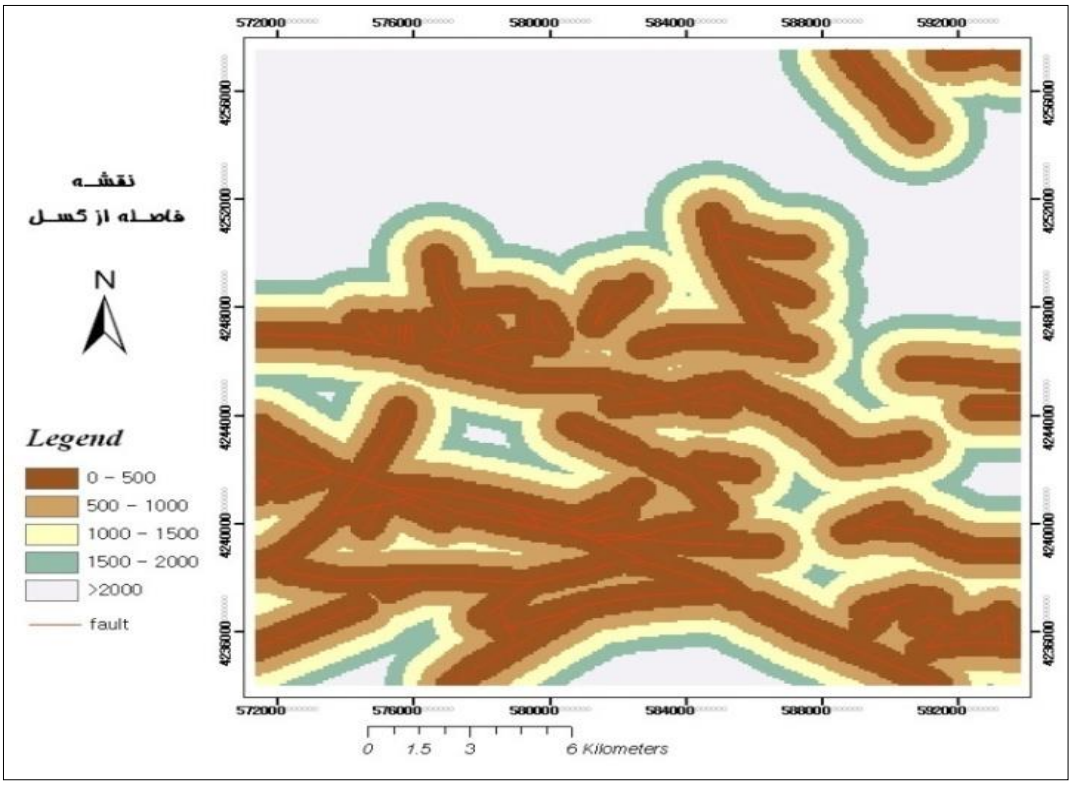
در این تحقیق وزن نسبی هر کدام از معیارها با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی ٦*٦ و مقایسه با متغیرهای سطح بالاتر محاسبه شد (جدول۲)، و سپس هر کدام ازمعیارها به پنج کلاس براساس درجه اهمیت تقسیم‌بندی گردید و وزن نسبی هرکدام از این کلاس ها نیز با استفاده ماتریس مقایسه زوجی ۵*۵ محاسبه شده است (جدول ۳).



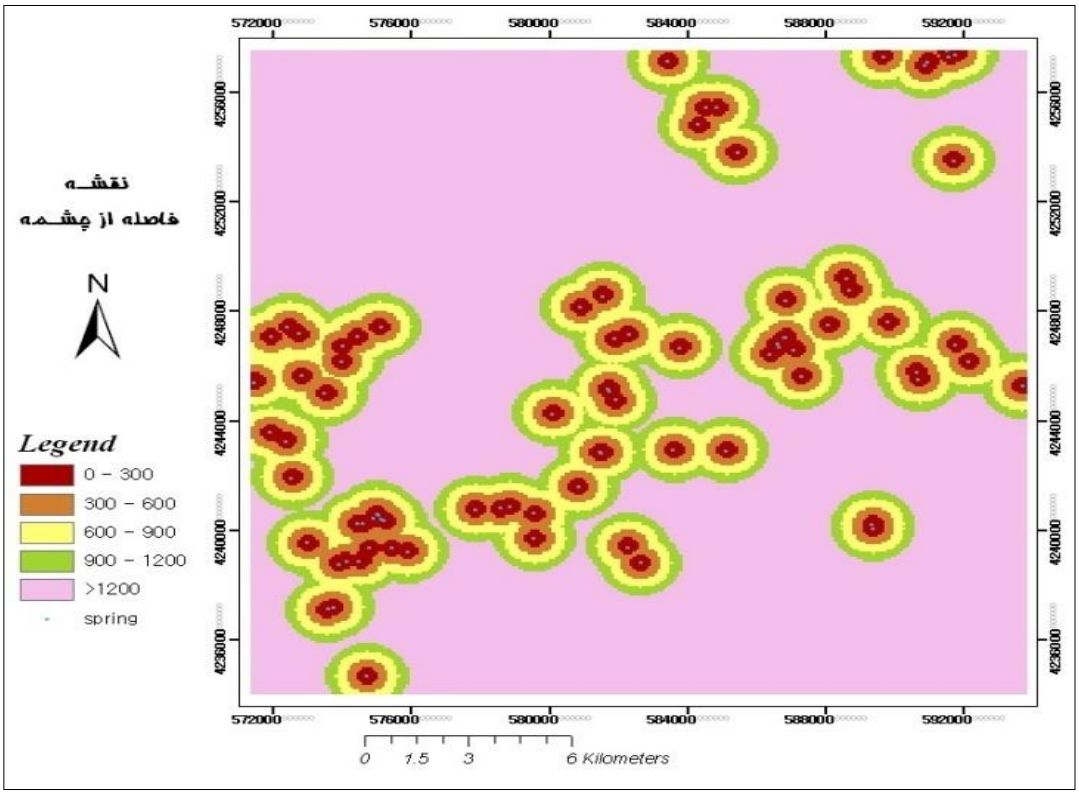
شکل۲ – نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه



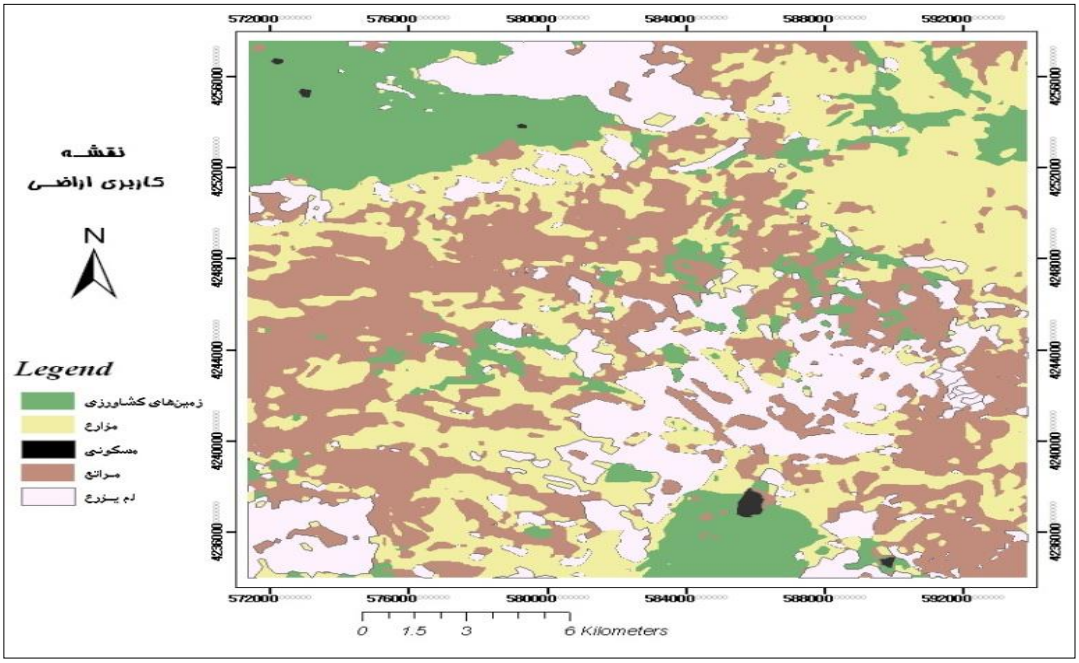
شکل۳ – نقشه طبقات شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ٤– نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه



شکل۵- فاصله از چشمه منطقه مورد مطالعه



شکل٦ – نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

جدول۱- طبقه‌بندی کمی وکیفی معیارها (Saaty, 1980)

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحا بین فاصله‌های بالا	۲، ٤، ٦، ۸

بعد از تشکیل ماتریس، نیاز به محاسبه وزن هر کدام از عوامل می‌باشد که روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد و در این تحقیق از روش میانگین حسابی استفاده شده است. در روش مذکور ابتدا هر ستون نرمال شده و سپس میانگین سطری عناصر محاسبه می‌گردد تا بردار وزن به دست آید. علاوه برمحاسبه وزن مقدار ناسازگاری نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد. اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانکه نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد در قضاوت‌ها تجدید نظر گردد (Saaty, 2001).

$$I.R = \frac{\overline{I.I}}{\overline{R.I.I}} \qquad (۱)$$

(I.R) : شاخص ناسازگاری تصادفی ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوطه

$(\overline{I.I})$: ضرب شاخص ناسازگاری هر ماتریس در وزن عنصری که در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل‌جمع آنها

(R.I.I): ضرب شاخص ناسازگاری تصادفی هر ماتریس در وزن عنصری که در مقایسه با آن ساخته شده است و محاسبه حاصل‌جمع آنها (عطایی، ۱۳۸۹).

جدول۲ – ماتریس مقایسه زوجی برای بدست آوردن اهمیت نسبی

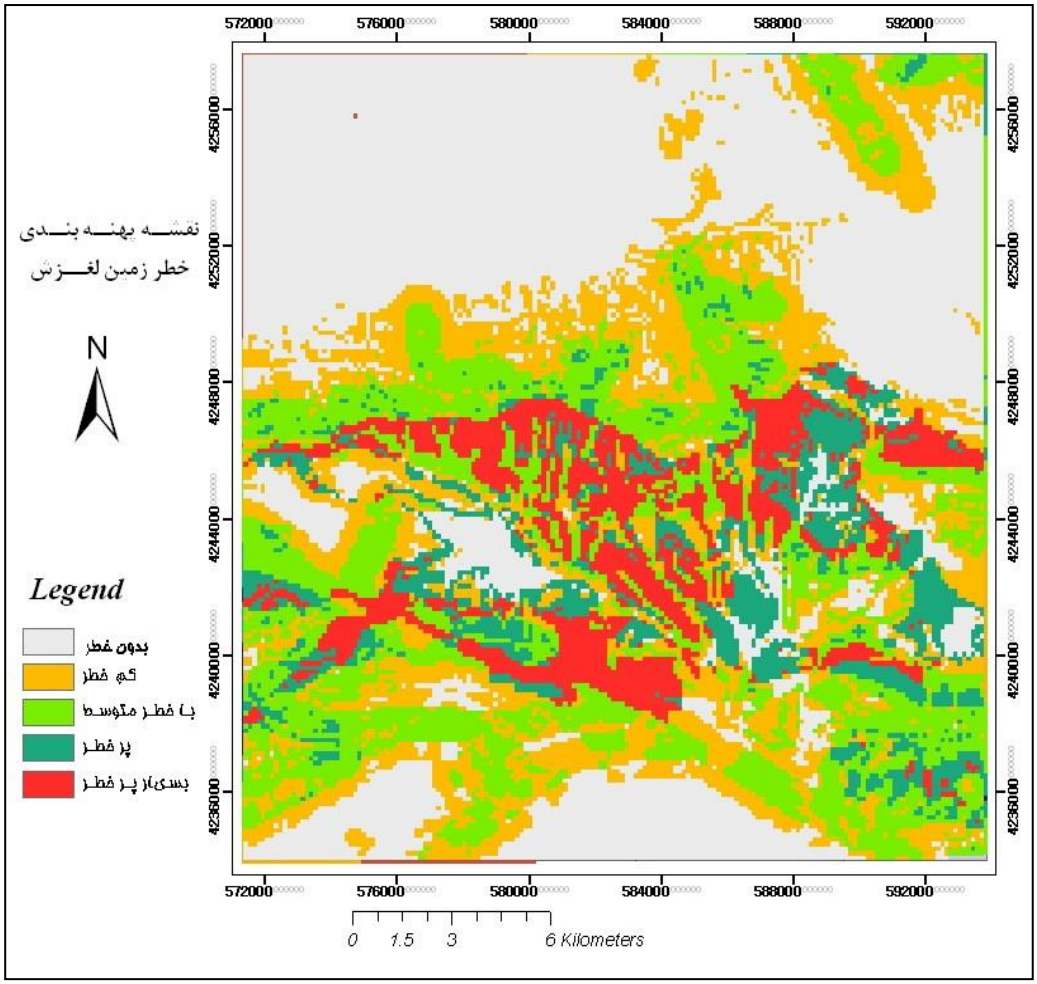
متغیرها	سنگ‌شناسی	شیب	فاصله از گسل	فاصله از چشمه	طبقات ارتفاعی	کاربری اراضی	اهمیت نسبی
سنگ‌شناسی	۱	۲	۳	٤	٤	٦	۰/۳۵
شیب	۰/۵	۱	۳	٤	۵	٦	۰/۲۸
فاصله از گسل	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	٤	۵	۰/۱۷
فاصله از چشمه	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۳	٤	۰/۱۰
طبقات ارتفاعی	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۲	۰/۰٦
کاربری اراضی	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۰٤

جدول۳ – کلاس بندی متغیرها موثر در ایجاد زمین‌لغزش و نرخ ناسازگاری هر کدام از متغیرها در منطقه

کلاس	A	B	C	D	E	نرخ ناسازگاری
سنگ‌شناسی	مارن و شیل	واحدهای سنگی با میان لایه‌ای از مارن و شیل	نهشته‌های کواترنری	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	آهک	۰/۱۰
شیب	>٤۵	٤۵–۳۰	۳۰–۱۵	۱۵–۷	۷–۰	۰/۰۵
فاصله از گسل	۵۰۰–۰	۱۰۰۰–۵۰۰	۱۵۰۰–۱۰۰۰	۲۰۰۰–۱۵۰۰	>۲۰۰۰	۰/۱۰
فاصله از چشمه	۳۰۰–۰	٦۰۰–۳۰۰	۹۰۰–٦۰۰	۱۲۰۰–۹۰۰	>۱۲۰۰	۰/۱۰
کاربری اراضی	بایر	مراتع	باغات	مزارع	مسکونی	۰/۰۸

جدول٤ – کلاس‌بندی تمام متغیرها و امتیازهای مربوطه

کلاس	سنگ‌شناسی	شیب	فاصله از گسل	فاصله از چشمه	طبقات ارتفاعی	کاربری اراضی	وزن نهایی
بسیار پر خطر	۰/٥٤	۰/٤۰	۰/٥٤	۰/٤۸	۰/٤۲	۰/٤۹	۰/٤۹
پر خطر	۰/۲۷	۰/۲٦	۰/۲٦	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۸
با خطر متوسط	۰/۱۰	۰/۱٦	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۳
کم خطر	۰/۰٦	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰٦	۰/۰۷
بسیار کم خطر	۰/۰۳	۰/۰٥	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۰٦	۰/۰٤	۰/۰٤



شکل۷- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش سلسه مراتبی در صوفیان

میزان نرخ ناسازگاری هر کدام از متغیرها در جدول ۳ مشخص شده است و چنانکه مشاهده می‌شود در همه موارد کمتر از ۰/۱ و امتیازات در حد قابل قبولی می‌باشد پس از ارزیابی متغیرها بایستی تمام لایه‌ها را با هم تلفیق کرد تا نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه گردد. محاسبه وزن نهایی در روش تحلیل سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در امتیاز گزینه مورد نظربدست می‌آید. مجموع امتیازات هر گزینه از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$i = 1,2,...,m \qquad (۲)$$

که در آن aij بیانگر اهمیت نسبی گزینه i به ازای معیار Cj و Wi نشانگر اهمیت معیار Cj می‌باشد. هم چنین لازم است که مقادیر گزینه‌ها و وزن معیارها با استفاده از روابط زیر نرمال شوند (عطائی ۱۳۸۹).

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} = 1 \qquad (۳)$$

$$j = 1,2,..., n$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1 \qquad (٤)$$

$$A_{AHP_{Score}} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j$$

شش لایه اطلاعاتی، در محیط GIS با توجه به وزن نهایی خود بر روی یکدیگر قرار گرفته و تلفیق شده‌اند در جدول ٤ وزن نهای هر کدام یک از گروه‌ها نشان داده شده است. پس از به‌دست آوردن اهمیت نسبی متغیرها و زیر متغیرها، بر اساس ماتریس‌های ارائه شده جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، شش لایه اطلاعاتی، در محیط GIS با توجه به امتیاز نهایی خود بر روی یکدیگر قرار گرفته و تلفیق شده‌اند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه (شکل ۷) به‌دست آمده و بر اساس مجموع امتیازات حاصل از تلفیق، منطقه مورد مطالعه به پنج پهنه بسیار کم خطر، گروه کم خطر، با خطر متوسط، پر خطر و گروه بسیار پر خطر تقسیم شده است. با استفاده از زمین‌لغزش‌های که در منطقه برداشت شده‌اند نقشه پراکنش زمین‌لغزش ایجاد شده که منطبق با مناطق پر خطر و ناپایدار هستند و این موضوع عنوان کننده صحت ارزیابی انجام شده از منطقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش در منطقه صوفیان انجام گردیده است. براساس نقشه به دست آمده، مساحت پهنه‌های محاسبه شده که در آن پهنه‌پایدار توانسته بود، بیشترین مساحت (٤۳٪) را به خود اختصاص دهند و گروه کم خطر ۲۲٪، با خطر متوسط۱۷٪، پر خطر ۹٪ و گروه بسیار پر خطر ۹٪ از منطقه مورد مطالعه را به خود نسبت داده است (جدول ۵). براساس تحقیقات انجام شده، عوامل متعددی سبب بروز این پدیده در این منطقه شده است، از مهم‌ترین این عوامل سنگ شناسی مارنی می‌باشد. بیشترین تراکم زمین‌لغزش‌های این منطقه در واحدهای سنگی M_{mg} و M_2^{ms} قابل مشاهده است.

این نوع واحد سنگی به دلیل دارا بودن کانی‌های رسی و زهکشی ضعیف آب (با توجه به بالا بودن بارش در منطقه) باعث بالا رفتن فشار آب منفذی و ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد.

جدول ۵- مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر

کلاس‌های خطر	مساحت (km^2)	درصد مساحت
خیلی کم	۲۲٦	٤۳
کم	۱۱۹	۲۲
متوسط	۸۹	۱۷
زیاد	٤۹	۹
بسیار زیاد	٤٦	۹
مجموع	۵۲۹	۱۰۰

براساس بررسی لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در تحقیق، مهم‌ترین عوامل وقوع زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب شامل سنگ شناسی، شیب، فاصله از گسل، فاصله از چشمه، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی می‌باشد.

بیشترین تراکم زمین‌لغزشها در این منطقه در کلاس‌های نزدیک‌ترین فاصله به گسل و چشمه است. شیب موثر در وقوع اکثر زمین‌لغزش‌ها ۱۵ تا ۳۰ درصد بوده است. در منطقه مورد مطالعه، مؤثرترین اراضی کاربری در وقوع رخدادهای لغزشی نیز مناطق لم‌یزرع تشخیص داده شد.

منابع

- **ارومیه‌ای، ع و صفایی، م.، (۱۳۷۷)**، "کاربری زمین و تأثیرآن در ناپایداری دامنه‌ها در حوضهٔ نکارود"، خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، وزارت معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور،ص۲۲-۳۷.

- **جعفری، ت. و مقیمی، ا. و علوی پناه، ک.، (۱۳۸۷)**، "ارزیابی و پهنه بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش دامنه های شمالی آلاداغ "، پژوهش های جغرافیایی، شماره ٦٤، ص. ۵۳ - ۷۵.

- **جلیلیان، م. و افشارزاده، ع،م.، (۱۳۷۲)**، "نقشه زمین‌شناسی تبریز"، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، برگ شماره ٥٢٦٦، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- **جمشیدی، خ.، افشاریانزاده، ع، م. و ده‌حقی، ف.، (۱۳۷۳)**، "نقشه زمین‌شناسی مرند"، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، برگ شماره ٥١٦٦، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- **حافظی مقدس، ن. و غفوری، م.، (۱۳۸۸)**، "زمین‌شناسی زیست محیطی"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۲۵۵ ص.

- **خسروزاده، ا، (۱۳۸۷)**، "مطالعه حرکت‌های توده‌ای از لحاظ شکل زمین، مطالعه موردی، سری ارزفون"، صنایع چوب و کاغذ مازندران، اولین کنفرانس بین المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری، دانشگاه مازندران، بابلسر،۱۳ص.

- **سازمان فضایی ایران، (۲۰۰۹)** ، تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM منطقه مورد مطالعه.

- **سازمان نقشه‌برداری کشور**، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تبریز و مرند

- **سفیدگری، ر.، (۱۳۷۲)**، "مجموعه سخنرانی‌های نخستین گردهمایی کارشناسان معاونت آبخیزداری پیرامون پدیده زمین لغزش"، معاونت آبخیزداری جهاد سازندگی، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها ، ص ۹۲

- **شیرانی، ک.، سیف، ع. و نصر، ا.،(۱۳۹۲)**، "بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای برپایه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)"، فصلنامه پاییز ۹۲ ، سال بیست و سوم، شماره ۸۹ ، ص ۳ – ۱۰.

- **عطایی، م.، (۱۳۸۹)**، "تصمیم‌گیری چند معیاره"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۳۳ص.

- **فیض‌نیا، س. و احمدی، ح.، (۱۳۸۰)**، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حوضه آبریز شلمانرود در استان گیلان)"، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۳، ص ۲-۱۸.

- **محمد خان، ش.، (۱۳۸۰)**، "ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکات توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های سیستم‌ها، کیفی،تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی حوضه آبخیزطالقان" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱٤۲ ص.

- **یمانی، م.، حسن‌پور، س.، مصطفایی، ا. و شادمان، م.، (۱۳۹۱)**، "نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳ ، پیاپی ٤٨ ، شما ره ٤،ص۲۳-۳۹.

- **Ainon Nisa, O., Wan Mohd, N. & Noraini, S., (2011)**, "GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation, Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies", Salamis Bay Conti Resort Hotel, Famagusta, North Cyprus,pp 595 – 602

- **Cruzier, M.J., (1986),**" Landslides: Causes, Consequences & Environment", Routledge, London & New York

- **Lan, H.X, C. H. Zhou, L. J. Wang, H. Y. Zhang and R. H. Li , (2004),** "Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed", Yunnan, China,Engineering geology, Elsevier, vol76, issue 1-2, pp109-128.

- **Dai, F.C. & Lee, C. F., (2002),**" Landslide Characteristic and Slope Instability Modeling Using GIS,Lantau Island, Hongkong", Geomorphology, Vol42, pp213-228.

- **Komac , M., (2006)** ," A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy process method and multivariate statistic in per alpine Slovenia, Geomorphology ,vol. 24. pp 17 –28.
- **Khullar, V.K, Sharam, R.P, Parmanik, K, (2000)**, "A GIS Approach in The Landslide Zone of Lawngthlia in Southern Mizoran. Landslide: Proceeding of The 8th International Symposium on landslide, Vol. 3, pp1461-1472.
- **Saaty ,T.L.,(2001),** "Decision Making for leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World", New Edition, Vol2, 2001, Publisher: RWS Publications, ISBN-13 , 323P.
- **Zhang , W. , Wang , W. & Xia , Q. ,(2012),** "Landslide Risk Zoning Based on contribution of rate stack Method ", Energy procedia , vol . 16 . pp 178 – 183.