

پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه موردی: (منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه)

دکتر شیرین محمدخان^۱، عبدالکریم ویسی^۲، کیوان باقری^۳

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تهران

چکیده

هدف اصلی از این مطالعه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در کوهستان شیرپناه، با استفاده از مدل آنتروپی و ارزیابی این مدل در پهنه بندی وقوع زمین لغزش‌های کوهستان شیرپناه و شناخت میزان تاثیر هریک از عوامل پنج گانه در وقوع زمین لغزش می‌باشد. در این پژوهش از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و همچنین تحقیقات میدانی به منظور شناخت منطقه و عکسبرداری از لغزش‌های رخ داده استفاده گردید. به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش در منطقه از مدل آنتروپی در محیط GIS استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که عوامل فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، لیتولوژی و جهت شیب، به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه دارند. از مجموع مساحت منطقه، ۲۴۹ کیلومترمربع (۳۲ درصد) در محدوده خطر زیاد و ۳۸۰ کیلومتر مربع (۴۸/۸۴ درصد) در پهنه خطر متوسط قرار دارد. این امر حاکی از آن است که پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش در منطقه بالا است. همچنین نتایج نشان می‌دهد ۶۰ درصد لغزش‌های رخ داده در این منطقه، در پهنه حساس که توسط مدل آنتروپی مشخص شده بود، قرار گرفته‌اند، بنابراین صحت مدل پیشنهادی مورد تأیید قرار گرفته و نقشه حساسیت تهیه شده می‌تواند به عنوان مرجعی در برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی خطر، زمین لغزش، مدل آنتروپی، کوهستان شیرپناه.

مقدمه:

پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق براساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش بر روی شیب دامنه‌هاست (جعفری، ۱۳۷۵، ص ۱۴۲). زمین لغزش همواره در سطح جهان موجب مرگ و میر سالانه هزاران نفر و خسارت‌های سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می‌شود، از دسته مخاطرات زمینی با فراوانی وقوع بالا در ایران است و آثار آن در بسیاری از دامنه‌های نیمه‌خشک تا

مرطوب مستعد کشور دیده می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده توسط شبکه موضوعی ژئوتکنیک اروپا، زمین لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۸۷، وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین لغزه در کشور موجب مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، ایجاد خسارت مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه به حجم ۹۶۳۸۰۷ متر مکعب شده است (سپهر و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۲۰). شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به‌شمار رفته و نقش انکارنکردنی در مدیریت حوضه آبخیز ایفا می‌کند (ساکار^۱، ۱۹۹۵). تهیه نقشه وقوع خطر زمین لغزش، ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (دهال^۲، ۲۰۰۸). پهنه بندی خطر به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد، از جمله آنها مدل آنتروپی است که برای نخستین بار توسط ویلسون^۳ (۱۹۶۷ و ۱۹۷۰) ارائه شد و سپس این مدل توسط سنیر^۴ (۱۹۷۹) مورد تجدیدنظر و اصلاح قرار گرفت روش آنتروپی که در ایران و جهان در موضوعات مختلف علوم ریاضی، اقتصاد و کامپیوتر استفاده شده، در علم ژئومورفولوژی تاکنون کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیک، علوم اجتماعی و تئوری اطلاعات است، به گونه‌ای که نشان دهنده مقدار عدم اطمینان (درجه توزیع نامتعادل پدیده‌ها) موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام است (مقیم و همکار، ۱۳۹۱، ص ۳). شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد. به طور خلاصه، آنتروپی به معنای کمیتی از بی‌نظمی بین علل و نتایج یا تصمیم‌گیری‌ها در موضوع‌های مختلف مورد بحث است (مقیم و نگهبان، ۱۳۹۱، ص ۷۸). در حیطه علم جغرافیا تاکنون مقالات متعددی درباره مدل آنتروپی چاپ شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

فلیسیمو^۵ (۲۰۱۳) با استفاده از چهار تکنیک آماری شامل: رگرسیون لجستیک چندگانه، رگرسیون تطبیقی چندمتغیره، رگرسیون درختی و آنتروپی حداکثر به پهنه‌بندی زمین لغزش در اسپانیا پرداخته است و از بیست متغیر مستقل از جمله لیتولوژی به عنوان یک متغیر طبقه‌ای برای پیش‌بینی استفاده کرده است. نتایج اصلی تحقیق نشان می‌دهد که با افزودن متغیر لیتولوژی عملکرد مدل‌ها قابل قبول تر است و مدل‌های آنتروپی حداکثر و رگرسیون طبقه‌ای قابلیت پیش‌بینی بهتری نسبت به دو مدل دیگر را دارا می‌باشند. دیویس^۶ در رودخانه سن‌پدرو آمریکا به بررسی و ارزیابی مدل‌های آنتروپی حداکثر و فیزیکی در تولید رسوب ناشی از فرسایش خندقی پرداخته است. متغیرهای گنجانده شده در مدل شامل: بارش، زمین‌شناسی، خاک، ارتفاع، کاربری و فاصله از راه ارتباطی می‌باشد.

1. sakar

2. Dahal

3. wilson

4. Senior

5. Felicisimo

6. Davis

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل در افزایش مخاطرات لغزش و خندق، شیب و بارش می‌باشد، همچنین جاده‌سازی نیز در آینده می‌تواند به همان اندازه تأثیرگذار شود. وان^۱ (۲۰۰۹)، با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل موثر اصلی زمین‌لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در تایوان پرداخت و از مدل آنتروپی برای بخش‌بندی و برطرف کردن عدم قطعیت عوامل مختلف زمین‌لغزش استفاده کرد. نتایج نشان داد که این پژوهش رویکرد مهمی برای تهیه نقشه خطرپذیری زمین‌لغزش است. همچنین با استفاده از توزیع دو متغیره آماری، به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی از شاخص آنتروپی استفاده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه را ارائه کردند (بندریک^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). قاسمی و همکاران (۲۰۱۲)، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و مدل احتمال شرطی در حوضه صفارود ایران پرداختند. در مرحله اول اقدام به مطالعات میدانی و شناسایی لغزش‌های منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی کرده‌اند و با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی منطقه و ۱۲ متغیر موثر در وقوع لغزش از جمله: شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، شاخص رطوبت، شاخص شدت جریان، طول نیم‌رخ، کاربری زمین و انحنای زمین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مدل آنتروپی قابلیت بیشتری نسبت به مدل احتمال شرطی دارد و می‌تواند در برنامه‌ریزی استفاده از زمین در حوضه صفارود مفید باشد. زونجی^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به پهنه‌بندی منطقه زمین‌لغزش در گورجس چین پرداختند و نتایج آنها نشان داد که کاربرد زیادی به عنوان یک روش جدید برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش در مقیاس منطقه‌ای دارد. آمیگ و کنل^۴ (۲۰۰۷)، در پژوهشی به بررسی آنتروپی جایگشت توپولوژیکی پرداختند و خاطر نشان کردند که آنتروپی کمی شانون، دارای ارزش‌های بسیار زیادی، به‌خصوص در رابطه با حالت‌های متنوع ارتباطات منابع طبیعی است. معصومی و کراچیان (۱۳۸۷)، در پژوهشی به بررسی بهینه‌سازی مکانیابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی پرداخته‌اند و یک روش جدید پیشنهاد داده‌اند که در روش پیشنهادی، یک منحنی که نشان دهنده شاخص انتقال اطلاعات بر حسب منحنی T-D برای تمامی ایستگاه‌ها است، برای هر متغیر کیفی محاسبه و ترسیم می‌شود. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی رخدادهای زمین‌لغزش در تاقدیس نسا واقع در زاگرس شمال‌غربی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل آنتروپی کارایی مطلوبی در برآورد میزان خطر رخدادهای زمین‌لغزش دارد و ارتفاع، شیب و لیتولوژی به ترتیب بیشترین نقش را در رخدادهای زمین‌لغزش دارند. با توجه به وقوع زمین‌لغزش‌های مخرب در منطقه و قرارگیری روستاها و پادگان‌های نظامی و همچنین تأسیساتی همچون

1. Wan

2. Bednarik

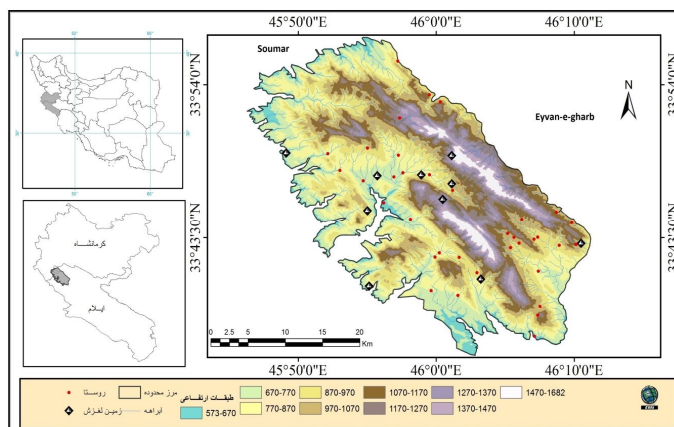
3. Zongji

4. Amig and Kennel

جاده‌های ارتباطی، سد و مزارع کشاورزی در دامنه‌های منطقه، تهیه نقشه خطر زمین لغزش منطقه و ارائه راه کارهای مدیریت لغزش مفید به نظر می‌رسد، بر همین اساس از مدل آتروپی که در این زمینه کارایی مناسبی دارد برای پهنه‌بندی لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه:

منطقه کوهستانی مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده (زاگرس شمال غربی)، در شمال غرب استان ایلام و جنوب استان کرمانشاه واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از چندین تاقدیس در هم شکسته نسبتاً طویل در ۶ کیلومتری جنوب شرق سومار، در شرق تاقدیس شیربیشه و جنوب غرب تاقدیس‌های دیزگران و سیاه کوه و در طول جغرافیایی $33^{\circ} 43' 13''$ تا $33^{\circ} 57' 24''$ شمالی و عرض جغرافیایی $45^{\circ} 12' 02''$ شرقی و $46^{\circ} 10' 00''$ شرقی واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه کوه ۱۶۸۲ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه در دامنه‌های مشرف به دشت بولی است که ۵۷۳ متر ارتفاع دارد. منطقه مطالعاتی دارای آب و هوایی گرم و خشک بوده، به گونه‌ای که متوسط دمای منطقه در طی سال در حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه حدود ۴۷۵ میلی‌متر می‌باشد.

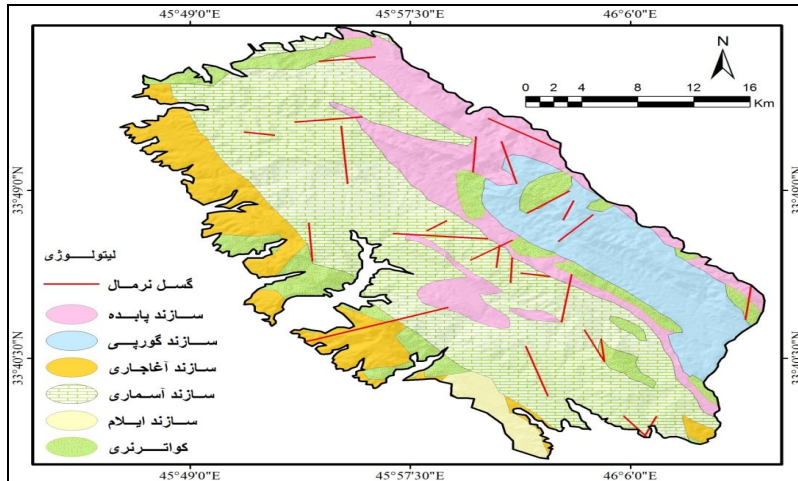


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی منطقه

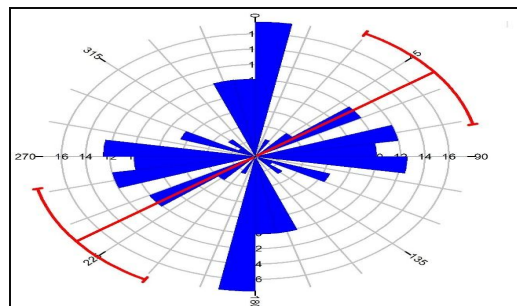
از نظر چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، رخنمون‌هایی از سنگ‌های کرتاسه بالایی تا پلیو - کواترنر دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارت‌اند از: پابده، گورپی، آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه‌ی جدید و قدیم و مخروط‌افکنه‌های قدیمی است (شکل ۲). قدیمی‌ترین آن‌ها سازند ایلام (شامل اهک‌های نازک لایه و گاهی شیلی با سن کرتاسه پسین) (درویش‌زاده، ۱۳۷۰، ص ۳۶) است. سازند گورپی (شامل شیل و شیل آهکی و میان‌لایه‌های آهکی رسی) در قسمت‌های مرکزی منطقه مساحت ناچیزی را در بر می‌گیرد،

سازند آسماری (شامل نهشته‌های آهکی و ماسه‌ای با سن الیگومیوسن) با گسترش متفاوت در یال جنوبی و قسمت‌های مرکزی کوهستان رخمون پیدا کرده است، در یال جنوبی به صورت بخش‌های کوچک و به صورت خطوطی با پهنای کم و در قسمت‌های مرکزی به صورت نواری با ضخامت بیشتر و در منطقه بولی گسترش بیشتری دارد. نهشته‌های کواترنری در برخی نقاط بویژه در یال‌های جنوبی و قسمت‌های شمالغربی منطقه به صورت پادگانه‌ها و مخروط‌های آبرفتی گسترش دارند. اکثر گسل‌های منطقه از نوع گسل‌های عادی هستند.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

اکثر گسل‌های منطقه از نوع گسل‌های عادی هستند. از ۲۵ گسل منطقه ۱۴ گسل بر روی یال‌های تاقدیس‌ها و ۱۱ گسل دیگر بر روی محور رأس تاقدیس‌ها و محل لولای فرسایش یافته آن‌ها قابل مشاهده است. رزدیاگرام گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که جهت بیشتر گسل‌های منطقه دارای روند شمالی جنوبی و غربی شرقی می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳. رزدیاگرام گسل‌های منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

این پژوهش نتیجه‌ی یک پژوهش توسعه‌ای - کاربردی است که در آن از روش‌های کتابخانه‌ای، بازدیدهای میدانی و مدل‌سازی استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده‌ی IRS سال (۲۰۰۲) منطقه، به‌عنوان ابزار اصلی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند و لغزش‌های رخ داده شناسایی شد و سپس از طریق بازدیدهای میدانی و تصاویر Google Earth، نقاط شناسایی شده که ۱۰ نقطه بودند، کنترل و محل لغزش‌ها با استفاده از GPS ثبت شد. از نرم‌افزار ArcGIS 10 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز استفاده شده است. در گام بعدی با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی ۵ عامل تأثیرگذار شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل و زمین‌شناسی که در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه نقش داشتند، در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10 تحلیل شدند. به این صورت که پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و قراردادن موقعیت زمین-لغزش‌های رخ داده روی هر کدام از لایه‌ها اختصاصات هر لغزش از نظر شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل و زمین‌شناسی استخراج شد. با توجه به نقش هر عامل در وقوع لغزش بر اساس جدول (۱) امتیازها داده شد و ماتریس ابتدایی با توجه به روش آنتروپی تشکیل شد. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به‌کار رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل ۵ عامل (Wj)، میزان Hi به عنوان ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش به‌دست می‌آید (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۸۱) در این روش، محتوای اطلاعاتی موجود ماتریس تصمیم‌گیری ابتدا از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه (۱)

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

و سپس مقدار E_j که ارزش آنتروپی است، از تابع زیر (رابطه ۲) تعیین می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

K : ضریب ثابت است و از رابطه (۳) به‌دست می‌آید (در این رابطه m تعداد زمین‌لغزش‌ها است):

$$k = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

درجه انحراف هر معیار (d_j) از کسر مقدار E_j از عدد ۱ حاصل و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad \text{رابطه (۴)}$$

تعیین می‌شود (اصغرپور، ۱۹۶، ۱۳۹۰). پس از محاسبه وزن کل (W_j) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رابطه (۵) ارزیابی می‌شود:

$$H_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه H_i ضریب خطر رخداد زمین‌لغزش، W_j وزن نهایی تمام عوامل و X_{ij} وزن هریک از عوامل است (Zongji Et al., 2010: 13) این رابطه در واقع مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی است.

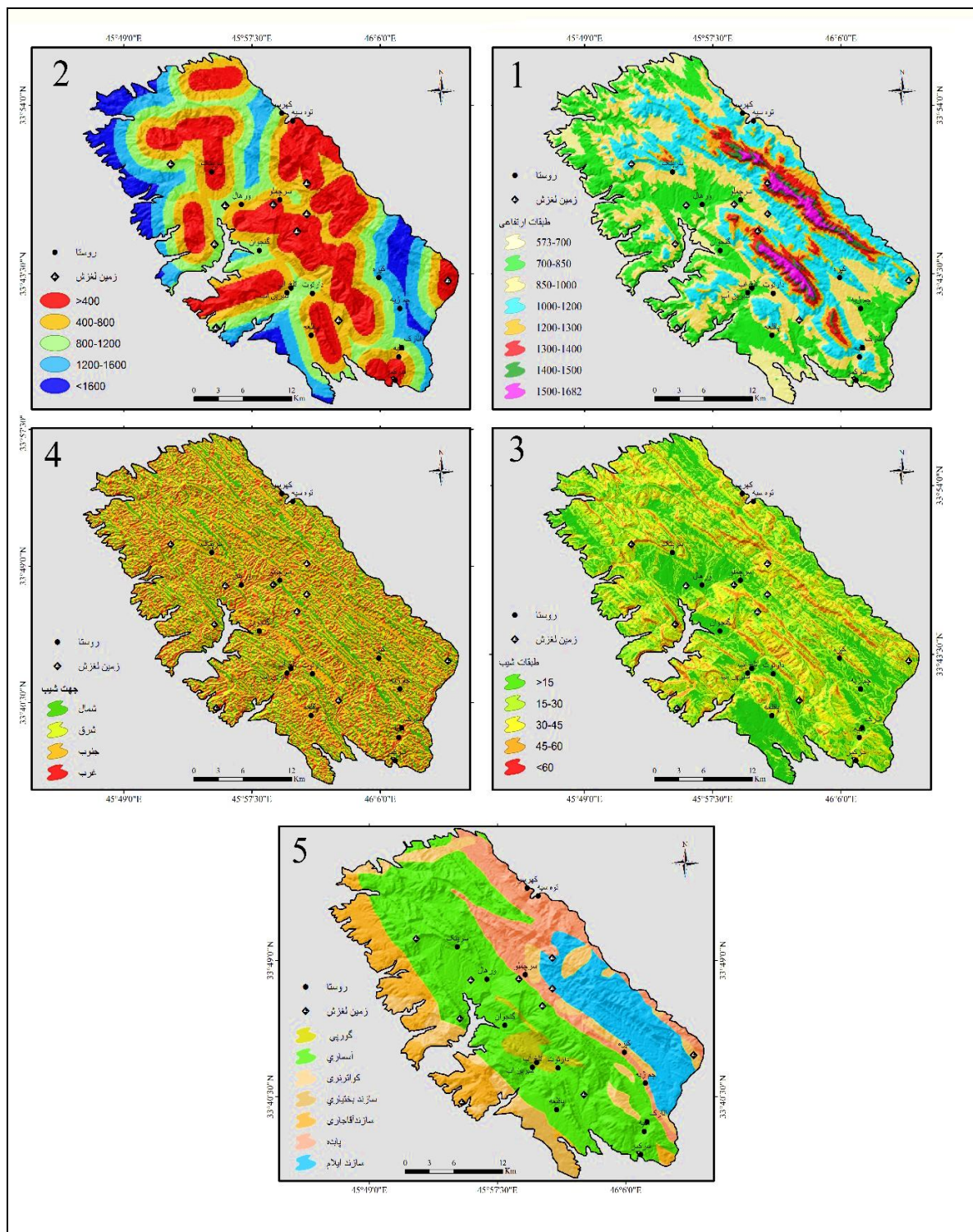
یافته‌های تحقیق

با بررسی‌های صورت گرفته طی دو مرحله بازدید میدانی از منطقه، بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و شناسایی نقش عوامل تأثیرگذار در ایجاد لغزش، در گام اول با توجه به ویژگی‌های لغزش‌های رخ داده به هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی امتیاز داده شد (جدول ۱)، سپس برای اجرای مدل لایه‌های اطلاعاتی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی) به صورت رستر، طبقه‌بندی شده و امتیازدهی شدند (شکل ۳) و به عنوان داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنروپی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱. امتیاز اختصاص یافته به عوامل مؤثر در لغزش (برگرفته از مقیمی و همکاران).

لیتولوژی	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	شیب	امتیاز	فاصله از گسل	امتیاز
آبرفت و رسوبات اخیر (Q_t)	۱	۵۷۳-۷۰۰	۱	شمال	۷	۰-۱۵	۳	۰-۴۰۰	۹
آسماری (OM_{as})	۹	۷۰۰-۸۵۰	۳	جنوب	۳	۱۵-۳۰	۵	۴۰۰-۸۰۰	۷
گورپی (K_{gu})	۵	۸۵۰-۱۰۰۰	۵	غرب	۶	۳۰-۴۵	۷	۸۰۰-۱۲۰۰	۵
پابده (Pd)	۷	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۹	شرق	۴	۴۵-۶۰	۸	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۲
آغاچاری (Mu_{plaj})	۶	۱۲۰۰-۱۳۰۰	۷			۶۰-۷۵	۹	>۱۶۰۰	۱
ایلام (K_{il})	۴	۱۳۰۰-۱۴۰۰	۶						
بختیاری (pl_{bk})	۳	۱۴۰۰-۱۵۰۰	۴						
			۲						
									۱۵۰۰-۱۶۸۲

در این پژوهش از مقیاس دو قطبی برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی استفاده شد، مقیاس دو قطبی فاصله‌ای روشی عمومی در رتبه بندی شاخص‌های کمی و کیفی است. اندازه‌گیری در این روش بر اساس یک مقیاس ده نقطه‌ای است. به طوری که صفر مشخص‌کننده کمترین ارزش ممکن-که عملاً قابل درک باشد و ده نشان دهنده حداکثر ارزش ممکن از شاخص موردنظر است. نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدهاست (اصغرپور، ۱۳۹۱، ص ۱۹۵).



شکل ۳. لایه‌های اطلاعاتی رستر شده: ۱. ارتفاع ۲. فاصله از گسل ۳. شیب ۴. جهت شیب ۵. لیتولوژی

جدول ۲. ماتریس آنتروپی عوامل مؤثر در لغزش

شماره زمین لغزش	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط (درجه)	جهت شیب	سازند
۱	۰	۸۹۳	۴۲	شمال	آسماری
۲	۸۴۰	۸۸۴	۳۴	شمال	آسماری
۳	۱۲۰۰	۷۶۳	۱۸	شمال	آسماری
۴	۰	۱۳۶۹	۴۶	شرق	گورپی
۵	۲۰۰	۱۰۴۰	۳۹	شمال	آسماری
۶	۴۶۰	۸۸۳	۴۶	شمال	آسماری
۷	۲۸۰	۱۰۳۸	۳۸	غرب	گورپی
۸	۰	۱۲۳۷	۴۳	شرق	آسماری
۹	۱۲۶۰	۱۱۵۱	۴۸	شمال	آسماری
۱۰	۱۱۶۰	۱۳۴۵	۴۰	جنوب	آسماری

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در لغزش

شاخص‌های محاسبه شده	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	فاصله از گسل
E_j	۰/۹۹۸۷۹۲	۰/۹۶۶۷۳۰	۰/۹۹۸۹۴۳	۰/۹۷۸۴۴۵	۰/۹۴۵۸۱۲
d_j	۰/۰۰۱۲۰۸	۰/۰۳۳۲۷۱	۰/۰۰۱۰۵۷	۰/۰۲۱۵۵۵	۰/۰۵۴۱۸۸
W_j	۰/۰۷۰۵۶۸	۰/۲۸۱۴۲۳	۰/۰۱۱۰۱۶	۰/۱۶۸۲۴۱	۰/۴۵۱۰۷

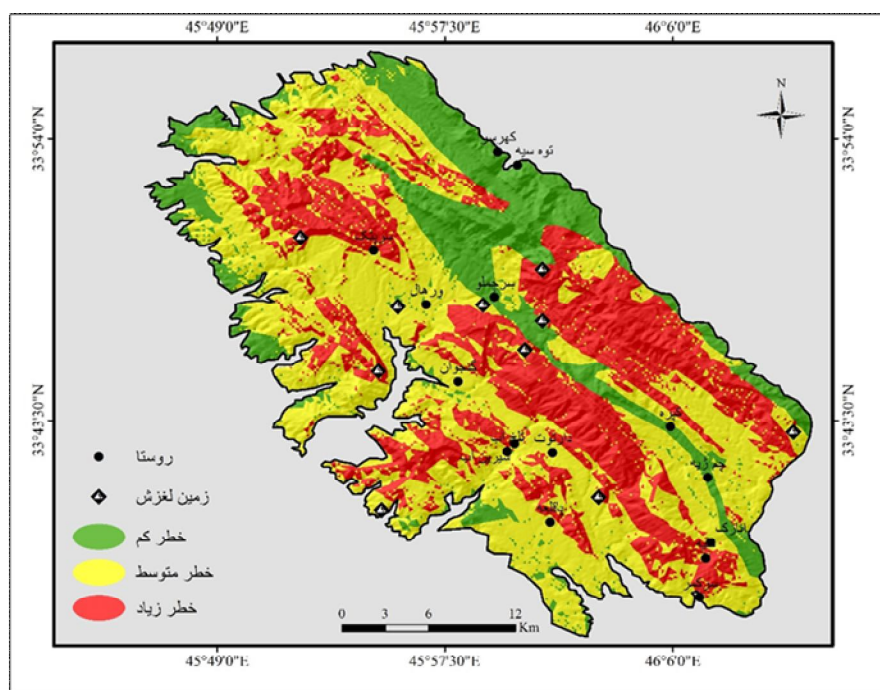
پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه (جدول ۳)، مقدار (p_{ij}) با استفاده از رابطه (۱)، همچنین مقدار (K) با رابطه (۳) بدست آمد و برای محاسبه مقدار (E_j) برای هر عامل با استفاده از رابطه (۲) استفاده شد که مقادیر آن (جدول ۴) برای لیتولوژی (۰/۹۹۸۷۹۲)، ارتفاع (۰/۹۶۶۷۳۰)، جهت شیب (۰/۹۹۸۹۴۳)، شیب (۰/۹۷۸۴۴۵) و فاصله از گسل (۰/۹۴۵۸۱۲) بدست آمد. در این رابطه E از توزیع احتمال p_{ij} بر اساس سازوکار آماري محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی p_{ij} ها با یکدیگر بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (اصغرپور، ۱۹۷، ۱۳۹۱). در گام بعدی عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (d_j) که از کسر مقدار E_j از عدد ۱ حاصل می‌شود، به‌ازای شاخص لیتولوژی (۰/۰۰۱۲۰۸)، ارتفاع (۰/۰۳۳۲۷۱)، جهت شیب (۰/۰۰۱۰۵۷)، شیب (۰/۰۲۱۵۵۵) و فاصله از گسل (۰/۰۵۲۳۰۹) محاسبه شد. سرانجام با استفاده از رابطه (۴) وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنتروپی زمین‌لغزش (W_j) که شامل لیتولوژی (۰/۰۷۰۵۶۸)، ارتفاع (۰/۲۸۱۴۲۳)، جهت شیب (۰/۰۱۱۰۱۶)، شیب (۰/۱۶۸۲۴۱) و فاصله از گسل (۰/۵۴۱۸۸۸) است، حاصل شد.

در نهایت مدل ناحیه‌ای خطر زمین‌لغزش در تاقدیس سیاه‌کوه با رابطه (۵) به صورت زیر به‌دست آمد:

$$H = (L \times ۰.۰۷۰۵۶۸) + (E \times ۰.۲۸۱۴۲۳) + (A \times ۰.۰۱۱۰۱۶) + (S \times ۰.۱۶۸۲۴۱) + (Df \times ۰.۴۵۱۰۷۲)$$

در این رابطه L: لیتولوژی، E: ارتفاع، A: جهت شیب، S: شیب، Df: فاصله از گسل است.

با توجه به رابطه فوق، نقشه نهایی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۴). براساس یافته‌های حاصل از مدل آنتروپی، میزان تأثیر عوامل مؤثر در زمین لغزش متفاوت است؛ به این صورت که فاصله از گسل ۵۰/۰۸ درصد، ارتفاع ۱۷/۱۳ درصد، شیب ۲۳/۶۷ درصد، سازند ۸/۰۶ درصد و جهت شیب ۱/۰۶ درصد در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مؤثر بوده است. امتیازات برابر اکثر لغزش‌ها در دو پارامتر لیتولوژی و جهت شیب به این جهت است که بیشتر لغزش‌ها در یک نوع سازند و در یک جهت شیب مشابه واقع شده‌اند.



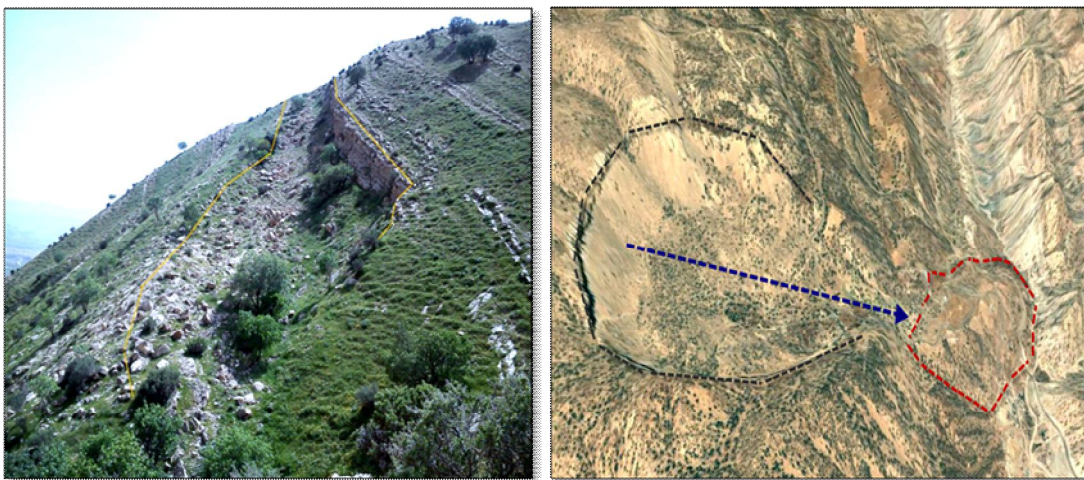
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در کوهستان شیرپناه

به منظور ارزیابی دقت مدل با قرار دادن موقعیت زمین لغزش‌ها بر روی نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، مشخص گردید که از ۱۰ لغزش رخ داده در منطقه ۶ لغزش در پهنه خطر بالا و ۴ لغزش در پهنه خطر متوسط قرار گرفتند.

جدول ۴. مساحت و درصد پهنه‌های خطر زمین لغزش کوهستان شیرپناه

پهنه‌ها	مساحت (Km^2)	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش
کم خطر	۱۴۹	۱۹/۱۶	۰	۰
خطر متوسط	۳۸۰	۴۸/۸۴	۴	۴۰
پرخطر	۲۴۹	۳۲	۶	۶۰
مجموع	۷۷۸	۱۰۰	۱۰	۱۰۰

مساحت پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه حاکی از آسیب‌پذیری بالای منطقه در برابر مخاطره زمین‌لغزش است، به گونه‌ای که پهنه کم خطر تنها ۱۹/۱۶ درصد از منطقه را در برمی‌گیرد، و ۸۰/۸۴ درصد از منطقه در محدوده خطر متوسط و بالا قرار دارد. با توجه به نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش (شکل ۴)، سمت شمالی و محدوده‌هایی با مساحت قابل توجه و پراکنده در سطح منطقه در محدوده خطر زیاد قرار دارد. براین اساس می‌توان گفت که منطقه پرخطر شیب‌های ۳۰ تا ۴۵ درجه را در برمی‌گیرد. بررسی ارتباط عامل ارتفاع و حرکات لغزشی نشان می‌دهد که این حرکات در طبقات ارتفاعی مابین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر دارند و در فاصله کمتر از ۴۰۰ متر از گسل‌ها قرار گرفته‌اند. این پهنه بیشتر جهات شیب شمالی را شامل شده و به لحاظ تشکیلات زمین‌شناسی سازندهای آسماری و در بعضی قسمت‌ها سازند گورپی را در برمی‌گیرد. این پهنه در حریم خطرناک گسل‌ها واقع شده و تمامی گسل‌های منطقه شیرپناه در این پهنه یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند. منطقه خطر متوسط، بیشتر مساحت منطقه را در برمی‌گیرد و به لحاظ ارتفاع در طبقه ارتفاعی ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه قرار دارد. به لحاظ لیتولوژی از سازندهای پاینده و ایلام تشکیل شده و در فاصله تقریبی ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر از خطوط گسلی قرار دارند. پهنه کم‌خطر شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه و در فاصله بیش از ۸۰۰ متر از گسل‌ها قرار دارد که از نظر ارتفاعی کمتر از ۷۰۰ متر و بالاتر از ۱۲۰۰ متر ارتفاع دارند. این پهنه از نظر لیتولوژی بیشتر منطبق بر سازندهای آغاچاری، گچساران و آبرفت‌های کواترنری است. بررسی و اندازه‌گیری مساحت توده‌های لغزشی نشان می‌دهد که مساحت این توده‌ها در حدود ۳۲ کیلومتر مربع می‌باشد. بزرگ‌ترین این توده‌های لغزشی در قسمت‌های شمالی منطقه قرار دارند و به ترتیب ۱۱/۰۴ و ۷/۸۴ کیلومتر مربع مساحت دارند و محدوده سازند آسماری را در بر می‌گیرند. لغزش‌های رخ داده در سازند گورپی مساحتی بسیار کمتر از دیگر زمین‌لغزش‌ها را دارا می‌باشد. بزرگترین توده لغزشی در سازند گورپی مساحتی در حدود ۱ کیلومتر مربع دارد (شکل ۵). براین اساس به مستعد بودن سازند آسماری در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه می‌توان پی برد.



(ب)

(الف)

شکل ۵. توده‌های لغزشی در سازند آسماری (الف) و سازند گورپی (ب)

نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش به دست آمده از مدل آنتروپی نشان می‌دهد که حاشیه شمالی و قسمت‌های مرکزی منطقه که منطبق بر زمین‌های کشاورزی، روستاها، پادگان‌های نظامی و بندهای آب می‌باشد جز مناطق با خطر متوسط و زیاد است. زمین لغزش‌های منطقه در دامنه‌های شمالی ارتباط تنگاتنگی با گسلش و مناطق خرد شده را دارد. نقش عوامل شیب و فعالیت رواناب‌ها در بروز زمین لغزش‌ها در دامنه‌های شرقی بیشتر بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش کاربرد فراوانی در امور زیربنایی احداث و توسعه عملیات سازه‌ای و کشاورزی و منابع طبیعی دارد. با مطالعه زمین لغزش‌های موجود در منطقه شیرپناه چنین بر می‌آید که پتانسیل زمین لغزش در این منطقه بالاست. با توجه به نقشه پهنه‌بندی به دست آمده حاصل از مدل آنتروپی بر اساس پنج عامل موثر بر زمین لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی با ریسک وقوع زمین لغزش زیاد تا کم شناسایی شدند. در منطقه مورد مطالعه که مساحتی در حدود ۷۷۸ کیلومتر مربع را دارا می‌باشد ۱۰ رخداد زمین لغزش به وقوع پیوسته که در نتیجه آن ۳۲ کیلومتر مربع از مواد جابجا شده است. در نقشه پهنه‌بندی نهایی از مجموع مساحت منطقه، ۲۴۹ کیلومتر مربع برابر با ۳۲ درصد از محدوده، در زمره منطقه با خطر زیاد قرار گرفته است که در قسمت‌های شمالی و دیگر مناطق به طور پراکنده مشاهده می‌شود. این پهنه منطبق بر سازندهای آسماری و گورپی است و مناطق با ارتفاع بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر را در برمی‌گیرد، منطبق بر شیب‌های بین ۳۰ تا ۴۰ درجه می‌باشد و در فاصله کمتر از ۴۰۰ متری از خطوط گسلی قرار دارد. از نظر جهت شیب بیشتر شیب‌های شمالی و شرقی را در بر می‌گیرد. محدوده سازندهای آغاچاری، گچساران و آبرفت‌های کواترنری است منطبق بر منطقه با خطر کم زمین لغزش می‌باشد که ۱۴۹ کیلومتر مربع برابر با ۱۹/۱۶ درصد از مساحت منطقه را در بر می‌گیرد. این پهنه در حاشیه شمالی منطقه و منطبق بر زمین‌های کم شیب و کم ارتفاع و با فاصله زیادی از گسل‌ها واقع شده است. بررسی لغزش‌های رخ داده نشان داد که از مجموع ۱۰ لغزش، ۴ لغزش (۴۰ درصد لغزش‌ها) در پهنه خطر متوسط قرار گرفته است. در منطقه با خطر زیاد که عمدتاً قسمت‌های میانی منطقه را در بر گرفته است، ۶ لغزش (۶۰ درصد لغزش‌ها) رخ داده است و این امر نشان از کارایی مطلوب مدل آنتروپی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارد. عامل اصلی لغزش در این منطق گسل‌ها می‌باشد، زیرا عامل فاصله از گسل با ۵۰/۰۸ درصد، مهمترین عامل در بروز لغزش‌های منطقه بوده است. عامل توپوگرافی و شیب تند دامنه نیز نقش مهمی در وقوع لغزش‌ها داشته‌اند. از این رو می‌بایست با توجه به موقعیت استراتژیک منطقه، وجود مخازن نفت و گاز در سازند آسماری و همچنین وفور معادن زغال‌سنگ در منطقه، هرگونه ساخت و ساز تا فاصله ۱ کیلومتری گسل‌ها و مناطق منطبق بر سازند آسماری جلوگیری به عمل آید. به دلیل از بین رفتن پایداری شیب در منطقه احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد. بنابراین از هرگونه عملیات راهسازی و خاک-برداری برای ایجاد معادن زغال سنگ، بدون توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی، اقلیمی و زمین‌شناسی خودداری شود.

بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مشخص می‌شود که حدود ۴۸/۸۴ درصد از منطقه در پهنه خطر زیاد قرار گرفته که این واقعیت بیانگر حساسیت زیاد منطقه نسبت به پدیده لغزش می‌باشد. لذا در این ارتباط راهکارهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، حاصل بازدیدهای متعدد میدانی، و استفاده از مدل آنتروپی و سیستم اطلاعات جغرافیایی است، بنابراین با قبول درصدی از خطا، از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. این نقشه پهنه‌هایی را که نسبت به زمین‌لغزش حساس می‌باشند، ارائه می‌دهد. بنابراین برای فعالیت‌ها و پروژه‌های عمرانی مدنظر در این فضا که قبل از اجرا به دنبال شرایط زمین و مخاطرات آن می‌باشند، می‌تواند راهگشا باشد. فعالیت‌هایی از جمله راه-سازی و حفر ترانشه، احداث مراکز نظامی با توجه به موقعیت استراتژیک منطقه، احداث سد بر روی رودخانه، احداث خطوط لوله آب برق که در این منطقه در حال رواج است.

۲. آموزش روستاییان ساکن در زمینه ایجا سیستم‌های زهکشی سطحی و عمیق، ایجاد دیواره‌های مصنوعی در طرفین رودخانه، نوع کشت و نحوه آبیاری باغات و همچنین تأمین به موقع سوخت ساکنان منطقه که قطع درختان جنگلی را کاهش می‌دهد می‌تواند از وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای و خسارات ناشی از آن‌ها جلوگیری نماید.

۳. با توجه به نتایج حاصله از مدل آنتروپی مشخص گردید که مهمترین عامل در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه عامل فاصله از گسل با ۶/۰۶ درصد تأثیر بوده است. از این رو رعایت فاصله لازم نسبت به خطوط گسلی در سکونت‌یابی و ساخت سازه‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

منابع:

۱. اصغرپور، محمدجواد، ۱۳۹۱، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دهم، ص ۱۹۸-۱۹۵. تهران.
۲. درویش زاده، علی، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات پیام نور. تهران.
۳. سپهر، ع.، بهنیافر، ا. محمدیان، ع.، عبدالهی، ا. ۱۳۹۲، تهیه نقشه حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱، ص ۲۰.
۴. شریعت جعفری، حسن، ۱۳۷۵، زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی ۹، انتشارات سازه، ص ۱۴۸.
۵. معصومی، فریبرز؛ کراچیان رضا. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی مکانیابی ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی. مجله آب و فاضلاب. شماره ۱۹، ص ۱۲-۲.
۶. مقیمی، ابراهیم، باقری، س. صفرراد، ط، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاق‌دیس نسا زاگرس شمال‌غربی)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، ص ۷۷-۹۰.

۷. مقیمی، ابراهیم؛ نگهبان، سعید، ۱۳۹۱، بررسی فرسایش در حوضه آبخیز رودخانه شور فدामी با استفاده از

مدل آنتروپی، مجله پژوهشهای جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۳۳، ص ۱۶-۱.

8. Amig, J.M. & M.B. Kennel, "Topological Permutation Entropy", *Physical D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 231, Pp. 137-142, 2007, Doi: 1016/j.physd.2007.04.010.
9. Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010, Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky Mikulas Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 35, PP.162-171.
10. Dahal, R.K., Hasegava, Sh., Nonoura, A., Yamanka, M., Dhakal, S., Pauudyal, P., 2008, Predictive Modeling of Rainfall-Induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of Evidence, *Geomorphology*, Vol.102, NO.3-4, PP.496-510.
11. Davis, J. D.; Sims, S. M. Physical and maximum entropy models applied to inventories of hillslope sediment sources.(2013), *Journal of Soils and Sediments* .Vol. 13 No. 10 pp. 1784-1801.
12. Felicisimo,A. M.; Cuartero, A.; Remondo, J.; Quirós, E. Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. (2013), *Journal of Landslides* 2013 Vol. 10 No. 2 pp. 175-189.
13. S. sakar, D.P.Kanungo, G.S. Mehrotar, (1995), Landslide zonation: A case study in garhwal Himalaya, India, *Mountain Research and Development*, Vol15, No4,pp.301-30.
14. Pourghasemi, H. R.; Mohammady, M.; Biswajeet Pradhan, (2012), Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena* . Vol. 97 pp. 71-84.
15. Wan, S., 2009, "A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map", *Engineering Geology*, Vol. 108, Pp. 237- 251, 2009, Doi: 10.1016/j.enggeo.2009.06.014.
16. Zongji, Y., et al., 2010, Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China, *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2010).

