

جغرافیا و توسعه شماره ۵۴ بهار ۱۳۹۸

وصول مقاله: ۹۵/۰۶/۰۱

تأیید نهایی: ۹۷/۰۸/۰۹

صفحات: ۳۷-۵۰

## بررسی زمین لغزش‌های منطقه پشتکوه فریدون‌شهر با استفاده از مدل آنتروپی

دکتر سمیه سادات شاه‌زیدی<sup>۱\*</sup>، رؤیا حیاتی‌زاده<sup>۲</sup>

### چکیده

امروزه شهرها به دلایل متعدد در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسیب‌های جانی و مالی بسیاری با خود به همراه دارند، نیازمند اقدامات فوری و پیشگیرانه می‌باشند. منطقه پشتکوه یکی از شهرستان‌های فریدون‌شهر است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفیک در منطقه پشتکوه شهرستان فریدون‌شهر به وسعت حدود ۵۸۱ کیلومتر مربع واقع در غرب استان اصفهان است. روش انجام این تحقیق به دو صورت توصیفی-تحلیلی است که در بخش توصیفی با استفاده از مطالعات اسنادی و سپس با استفاده از عکس‌های هوایی، گوگل ارث، نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات میدانی، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش منطقه صورت گرفت و از طریق مدل آنتروپی در نرم‌افزار (Arc GIS 10) تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد، فاصله از گسل (۶۰/۸۴) درصد، زمین‌شناسی (۱۲/۴۹) درصد، جهت شیب (۱۱/۳۸) درصد، طبقات ارتفاعی (۷/۰۱) درصد، فاصله از آبراهه (۵/۷۴) درصد، شیب (۲/۵۹) درصد در وقوع زمین لغزش‌های منطقه اثرگذار بوده‌اند. نقشه پهنه‌بندی منطقه نشان می‌دهد که پهنه‌های کم خطر (۳۱) درصد، متوسط (۳۳) درصد و منطقه پرخطر (۳۶) درصد از منطقه را دربرمی‌گیرد. ساخت‌وساز با فاصله از گسل و لایه‌های زمین‌شناسی در نواحی پرشیب، ایمن‌سازی مسیرهای ارتباطی و کنترل اقدامات حفاری و خاک‌برداری در لایه‌های زمین‌شناسی، مهم‌ترین اقدام برای کاهش خسارت‌های حرکات دامنه‌ای در منطقه پشتکوه فریدون‌شهر هستند. واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، پشتکوه، فریدون‌شهر، مدل آنتروپی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## مقدمه

مخاطرات طبیعی به‌عنوان یک عامل زیان‌بار در محیط فیزیکی برای انسان محسوب می‌شود که زمین‌لغزش یکی از این مخاطرات است و در بسیاری از نقاط جهان به‌وقوع می‌پیوندد. در این مخاطره حرکت، توده‌های خاک با حجم‌های مختلف جابه‌جا می‌شود و سازه‌ها و مناطقی که توسط انسان ساخته شده است، چنانچه در محدوده لغزش واقع شده باشند، از این جابه‌جایی متأثر خواهند شد (کمک‌پناه، حافظی مقدس، ۱۳۷۳: ۴۰۵).

در منطقه زاگرس نیز زمین‌لغزش یکی از فراوان‌ترین بلایای طبیعی است که همه‌ساله خسارات جانی و مالی کم‌وبیش فراوانی را در پی دارد. از مؤثرترین عوامل ایجاد لغزش‌ها در زاگرس وجود تناوب‌هایی از آهک‌های خردشده و ضخیم لایه و لایه‌های شیلی و مارنی است و عمده لغزش‌ها در امتداد لایه‌های نرم که در حالت اشباع و نیمه‌اشباع دارای مقاومت برشی پایین بوده، اتفاق افتاده است؛ به‌همین دلیل بارندگی‌ها عامل اصلی تحریک شیب‌ها در این منطقه می‌باشند (عبومیان و شعاعی، ۱۳۷۷: ۲۸۰).

هدف از پهنه‌بندی، تقسیم‌بندی سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آن‌ها برحسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر زمین‌لغزش است. امروزه نیاز مدیریت خطر زمین‌لغزش به‌صورت کمی و نقشه‌های پهنه‌بندی وجود دارد. در این راستا مطالعات بسیاری صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: کرمی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی با‌عنوان «پهنه‌بندی خطر رزه در شهرستان بستان‌آباد» به شناسایی و برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال منطقه پرداختند و نواحی پرخطر تا کم‌خطر را ترسیم کردند و نتایج این پژوهش نشان داد که ۸۱/۴۳ درصد از مساحت این شهرستان در پهنه‌ای با خطر زیاد تا نسبتاً زیاد واقع شده است و ۶۲ درصد از جمعیت شهرستان و ۷۸ روستایی که در اطراف گسل تبریز

زندگی می‌کنند، از خطرپذیری بسیار بالایی برخوردارند (کرمی و همکاران، ۱۳۸۷: ۷۷).

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی خطر زمین با استفاده از منطق فازی در منطقه رودبار پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده از منطقه مورد مطالعه را به‌صورت نقشه پتانسیل خطر زمین‌تهیه و ارائه دادند. نقشه‌های ارائه‌شده شامل نقشه‌های خطر لغزش‌های خاکی و سنگی و ریزش و... است و نتایج به‌دست‌آمده بیانگر وقوع ۶۸/۳۰ درصد از خطرات زمین در سطحی برابر با ۴۴/۷۹ درصد بوده و تراکم آن در رده‌های با خطر بسیار بیشتر از مقدار آن در رده‌های خطر پایین است (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۳).

صفاری و مقیمی (۱۳۸۸) به ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که برخی از محدوده‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران مستعد حرکات لغزشی با خطر متوسط بالا هستند. در زمان حاضر حدود ۸۷۵ هکتار از مناطق مسکونی محدوده‌های کوهستانی شهر در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا توسعه یافته‌اند که در نتیجه آن خساراتی به برخی از واحدهای مسکونی وارد شده است. کامردهال (۲۰۰۸) با تهیه نقشه‌های وقوع خطر زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی (همیالیا)، که ابزاری اساسی برای مدیریت بحران در نواحی کوهستانی محسوب می‌شدند، به این نتیجه رسید که زیان‌های اجتماعی و اقتصادی از مخاطرات زمین (پدیده زمین‌لغزش) را می‌توان با استفاده از برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثر کاهش داد که این رویکردها را محدودیت توسعه در مناطق مستعد، با استفاده از حفاری، درجه‌بندی، محوطه‌سازی و ساخت‌وساز، کدبندی، استفاده از اقدام‌های فیزیکی مانند زهکشی، اصلاح مورفومتری شیب برای جلوگیری از حرکات دامنه‌ای یا کنترل آن و توسعه

سیستم‌های هشداردهنده دانست

(Kumar dahal, 2008:496)

ساخت و ساز با فاصله از گسل و سازند آسماری پرشیب، ایمنی‌سازی مسیرهای ارتباطی، کنترل اقدامات حفاری و خاک برداری در سازند آسماری، مهمترین اقدامات برای کاهش خسارات حرکات دامنه‌ای در تاق‌دیس سیاه‌کوه هستند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۷).

سوری و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، حوضه کسمت» با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی، نقاط مستعد لغزش شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش تهیه شد و با قطع نقشه‌های عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، جاده و آبراهه بر ناپایداری شیب‌ها در محیط نرم‌افزار GIS با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد (سوری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۱).

مقیمي و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از مدل تحلیل شبکه پرداختند و آثار زمین‌لغزش شهری را بر روند الگوی توسعه شهر رودبار بیان داشتند و نتایج آن‌ها با توجه به ترسیم نقشه نهایی زمین‌لغزش نشان‌دهنده سه محدوده به ترتیب درجات کم‌خطر (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد) و خطر بالا (۲۵ درصد) است که نشان‌دهنده فرایندهای مخاطره‌زا در محدوده شهری است. منطقه پشتکوه فریدون‌شهر نیز از مخاطرات طبیعی در امان نبوده است و در مطالعات میدانی و اسنادی و رصد نقشه‌های توپوگرافی و... شناخت عوامل مخاطره‌زا بررسی و تأیید شد و سعی شد این مقاله با روش‌های نوین در نرم‌افزار GIS بررسی شود. در منطقه مورد مطالعه، شناخت تأثیر میزان هریک از عوامل شش‌گانه در رخداد زمین‌لغزش تهیه شد و در نهایت با استفاده از مدل

پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین در بخشی از استان گلستان پرداخت و نتایج مدل نشان داد که دقت مدل احتمالاتی تهیه‌شده با رویکرد دوم مدل‌سازی حذف عامل جهت شیب از تحلیل‌ها در منطقه مورد مطالعه، ۷۱/۳۷ (خوب) برآورد شده است (پورقاسمی، ۱۳۹۱: ۱۰۹).

نوروزی خطیری و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل و بررسی ریسک مخاطرات چندگانه (سیل و زلزله) ساختمان‌های منطقه ۲۰ شهر تهران پرداختند و با توجه به عمر مفید ۵۰ ساله داده‌ها و احتمال خرابی سازه‌ها در سطوح مختلف براساس این مخاطرات ارزیابی شدند و با در نظر گرفتن روش‌های احتمالی تعیین ریسک مخاطرات چندگانه، میزان ریسک خرابی در نرم‌افزار GIS تعیین شد و نتایج به دست آمده نشان داد، ساختمان‌های آسیب‌دیده بنایی، فولادی و بتونی به ترتیب ۱/۱، ۲۶/۲۵ و ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد (نوروزی خطیری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۳).

اکبر و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود با هدف ارزیابی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل فازی دانش‌مبنا و روش ترکیبی فازی- اوزان شاهد در منطقه مسکون جیرفت با دو روش فازی و هیبرید فازی اوزان شاهد، استفاده و به این نتیجه رسیدند روش هیبریدی با احتیاط بیشتر و با توجه به نقاط شاهد، مناطق مستعد لغزش را معرفی می‌کند؛ در نتیجه مناطق معرفی‌شده نسبت به روش فازی مساحت کمتری اشغال می‌کند (اکبر و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۶۰۱).

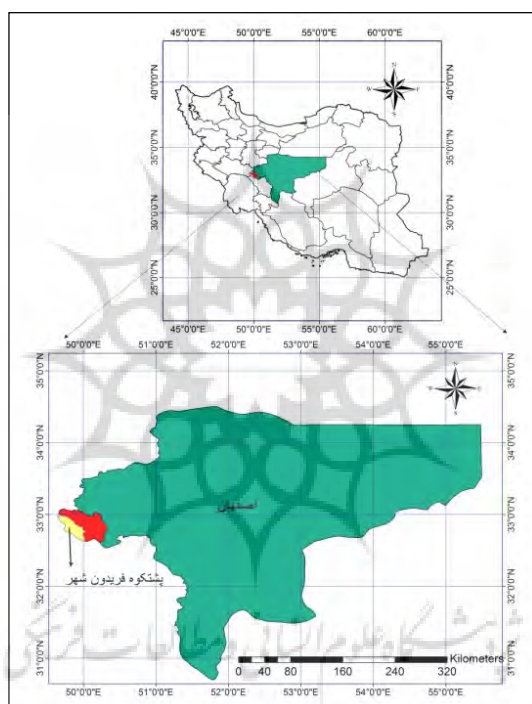
یمانی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی ژئومرفولوژیکی پتانسیل حرکات دامنه‌ای تاق‌دیس سیاه‌کوه در غرب ایران با مدل آنرویی پرداخته و به پهنه بندی خطر زمین لغزش پرداختند و نتایج نشان داد پهنه‌های کم‌خطر ۲۱/۷۶ درصد و ۷۸/۲۳ درصد از منطقه در پهنه‌ای با خطر متوسط و بالا قرار دارد و پتانسیل بالای منطقه در رخ داد زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

تا ۰۵ دقیقه عرض شمالی در رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. این منطقه در فاصله حدود ۱۸۰ کیلومتری غرب اصفهان قرار دارد و میانگین ارتفاع آن ۲۵۰۰ متر است. این شهرستان دارای ۵ دهستان به نام‌های برف انبار، عشایر، پیشکوه موگویی، پشتکوه موگویی و چشمه لنگان است (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۷).

آنتروپی به پهنه‌بندی مخاطرات زمین‌لغزش برای مدیریت هرچه بهتر در منطقه پرداخته شد.

### محدوده منطقه مورد مطالعه

فریدون‌شهر در حدفاصل طول ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و سی‌وهفت دقیقه تا ۳۳ درجه



شکل ۱: موقعیت پشتکوه فریدون‌شهر در غرب استان اصفهان  
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

پدیده زمین‌لغزش در رسوب‌های ریزدانه، سست و شکل‌پذیر مانند رس، مارن از پدیده‌های شناخته شده است؛ ولی لغزش لایه‌های زمین‌شناسی یا چینه‌ای با سطح مقطع پلان، از فرایندهای دامنه‌ای است که در قلمرو زاگرس اتفاق می‌افتد و تقریباً می‌توان آن را از پدیده‌های خاص زاگرس میانی به‌شمار آورد؛ یعنی نوع لغزش که در آن عمل لغزش در سطح چینه‌شناسی سری رسوب‌ها و موازی با شیب دامنه صورت می‌گیرد. تناوب لایه‌های سخت آهک در رو و مارن در زیر،

### زمین‌شناسی و تحلیل ساختاری منطقه

لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ناپایداری شیب است و می‌تواند بیان‌کننده ساخت، بافت و مقاومت و دوام نسبی یک توده‌سنگ باشد. ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها تا حدودی دوام و مقاومت آن‌ها را مشخص می‌کند. علاوه‌بر آن، تخلخل، فراوانی سطوح ضعف، شرایط و زمان تشکیل از جمله عواملی هستند که در مقاومت و پایداری سنگ‌ها مؤثر هستند (جلالی، ۱۳۷۹: ۱).



## مواد و روش‌ها

روش انجام این تحقیق به صورت توصیفی-تحلیلی و نوع پژوهش توسعه‌ای-کاربردی است که با استفاده از مطالعات اسنادی، اطلاعات و داده‌های موردنیاز گردآوری شده است. لایه‌های اطلاعاتی از قبیل شیب، توپوگرافی، پوشش گیاهی، نقشه ارتفاعی کاربری اراضی و... با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ و مدل ارتفاعی رقومی ایران<sup>۱</sup> تهیه شد. این نقشه‌ها به‌عنوان ابزار اصلی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند و از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۳ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌های موردنیاز استفاده شد. با استفاده از عکس‌های هوایی و گوگل ارث زمین لغزش‌های منطقه شناسایی شد. سپس بازدید میدانی برای کنترل لایه‌های اطلاعاتی داده‌های سطح زمین و همچنین تهیه تصویر و عکس‌برداری از زمین لغزش‌ها اقدام شد. در ادامه با بررسی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه ۶، عامل زمین‌شناسی، گسل، آبراهه، شیب توپوگرافی، جهت شیب و طبقات ارتفاعی به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش مشخص شدند. این ۶ لایه اطلاعاتی به صورت رستر درآمده و میزان آن‌ها کمی شد. با توجه به ویژگی‌های برداشت شده از زمین لغزش‌های منطقه، براساس (جدول ۱) به هر لایه وزنی داده و بعد از طبقه‌بندی لایه‌ها ماتریس آنتروپی تشکیل شد (جدول ۲). ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که مدل آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود. هدف از مطالعه ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش‌های منطقه و میزان تأثیر هر یک از عوامل شش‌گانه در رخداد زمین لغزش‌ها و تهیه نقشه زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی است که در نهایت به ارائه راهکارهای علمی برای

مدیریت بهتر منطقه در مقابله با خطر زمین لغزش می‌انجامد و نتایج نشان می‌دهد این پژوهش رویکرد مهمی برای تهیه نقشه خطرپذیری زمین لغزش محسوب می‌شود. برای استفاده از این مدل، ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار می‌رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل شش عامل موردنظر؛ شامل نقشه شیب، جهت شیب، آبراهه، زمین‌شناسی، توپوگرافی، گسل  $W_j$  و میزان (Hi) به‌عنوان ضریب وقوع خطر زمین لغزش به دست می‌آید (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱). در این روش، محتوای اطلاعاتی موجود ماتریس تصمیم‌گیری ابتدا از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$p_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{\sum_{i=1}^m r_{i,j}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

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

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n p_{i,j} \ln p_{i,j} \quad \text{رابطه ۲:}$$

(K) یک ضریب ثابت است و (M) تعداد زمین لغزه‌ها را نشان می‌دهد که از رابطه ۳ به دست می‌آید

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

عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) از کسر مقدار ( $E_j$ ) از عدد یک به دست می‌آید و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر تعیین می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۵). پس از تشکیل ماتریس تقسیم و به دست آوردن مقدار ( $E_j$ ) می‌بایست مقدار ( $V_j$ ) را از رابطه شماره ۴ به دست آورد.

$$V_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه ۴:}$$

( $V_j$ ) نمایگر درجه انحراف عدم اطمینان است. و سرانجام برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل ( $W_j$ ) موجود، از رابطه ۵ استفاده می‌کنیم.

### یافته‌های تحقیق

با توجه به برداشت‌های انجام گرفته طی بازدیدهای میدانی، بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از منطقه و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، به هر یک از عوامل مورد مطالعه وزن کارشناسی اختصاص داده شد (جدول ۱). روش و میزان امتیازدهی به عوامل شش‌گانه را نشان می‌دهد. برای اجرای مدل، شش لایه اطلاعاتی به صورت رستر در آمده و طبقه‌بندی شده (شکل ۳) و سپس این لایه‌ها به عنوان داده‌ای اصلی برای ماتریس آنروپی مورد استفاده قرار گرفتند.

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad \text{رابطه ۵:}$$

پس از محاسبه وزن کلی (Wj)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از رابطه ۶ ارزیابی می‌شود.

$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j \times r_{i,j} \quad \text{رابطه ۶:}$$

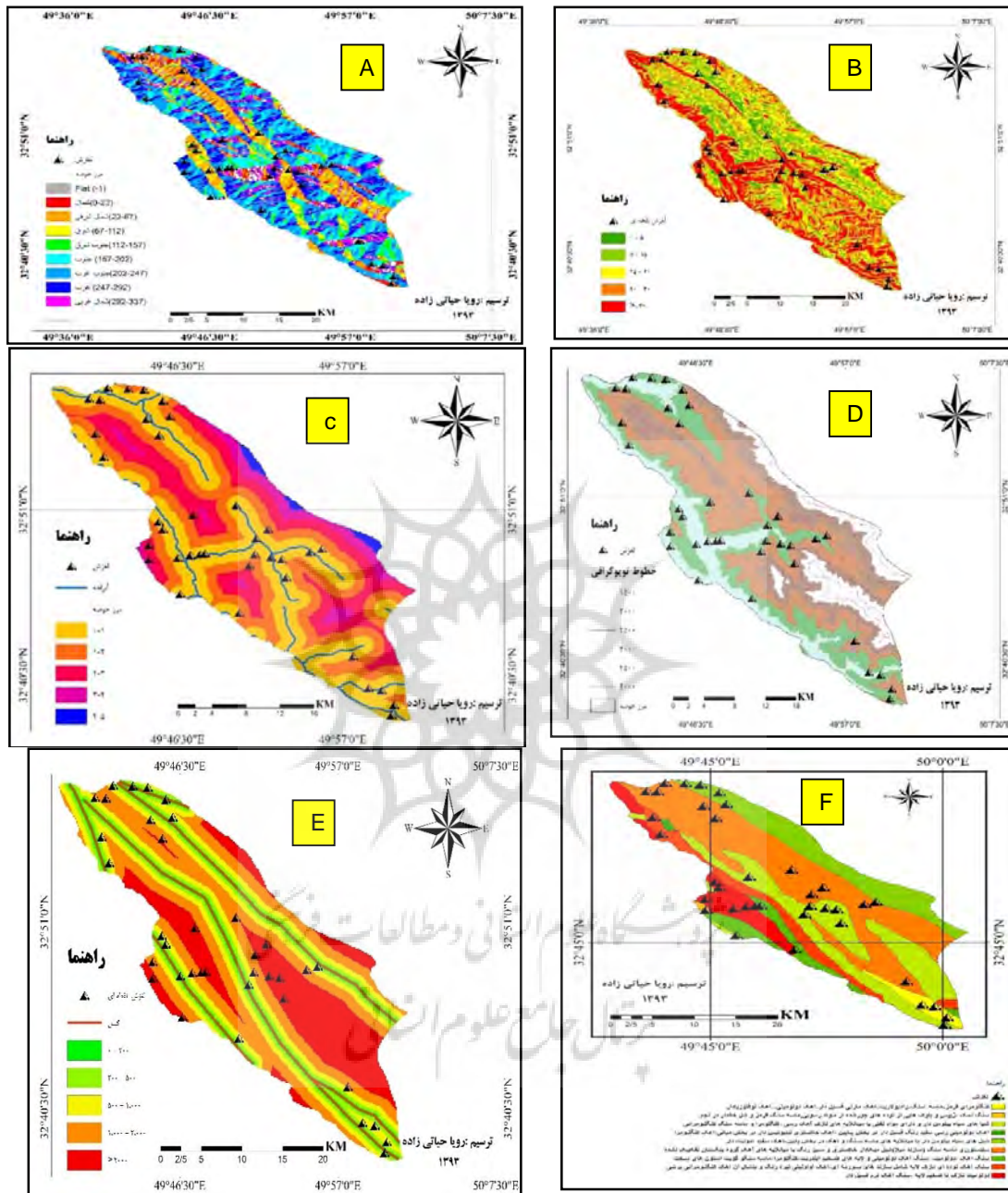
در این رابطه (Hj) ضریب رخداد خطر زمین لغزش، (Wj) وزن نهایی تمام عوامل، (Xij) وزن هریک از عوامل است. این رابطه مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی است (Zongji et al, 2010: 1336)

جدول ۱: امتیاز اختصاص یافته به هریک از عوامل شش‌گانه

گسل	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	جهت شیب	امتیاز
۰-۲۰۰	۵	۱۵۰۰	۱	Falt	۵
۲۰۰-۵۰۰	۴	۲۰۰۰	۷	N	۴
۵۰۰-۱۰۰۰	۹	۲۵۰۰	۹	NE	۶
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳	۳۰۰۰	۳	E	۵
>۲۰۰۰	۷	۳۵۰۰	۱	SE	۹
		۴۰۰۰	۱	S	۱
				SW	۲
				W	۷
				NW	۶
شیب	امتیاز	زمین‌شناسی	امتیاز	آبراهه	امتیاز
۰-۵	۷	EK	۶	۰-۱	۹
۵-۱۵	۵	IEK	۷	۱-۲	۵
۱۵-۲۰	۳	JKK	۹	۲-۳	۳
۲۰-۳۰	۸	JI	۵	۳-۴	۱
>۳۰	۹	Klaml	۱	۴-۵	۱
		Kb	۳		
		Pc	۵		
		Tr	۶		
		e	۳		

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳





شکل ۳: لایه‌های رستر شده شش عامل مؤثر (A) جهت شیب، (B) شیب، (C) آبراهه، (D) طبقات ارتفاعی، (E) گسل، (F) زمین‌شناسی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

۳۸ زمین‌لغزش منطقه، انتخاب و ماتریس آنتروپی برای آن‌ها تشکیل شد (جدول ۲).

در این پژوهش از داده‌های مربوط به ۳۸ زمین‌لغزش رخ داده در پشتکوه فریدون‌شهر استفاده شده است. در همین راستا شش عامل تأثیرگذار در هر



جدول ۲: ماتریس آنتروپی برای عوامل شش‌گانه

زمین‌شناسی	طبقات ارتفاعی	فاصله از آبراهه	فاصله از غسل	جهت شیب	شیب (درصد)	زمین لغزش
شیل سیاه، آهک رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۳۰۰۰	۰/۵	۳۵۰	جنوب شرقی	۱۰	۱
شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه‌سنگ با میان‌لایه آهک	۳۵۰۰		۱۵۰۰	شمال	۳۰	۲
	۳۰۰۰		۱۷/۵	شمال شرقی	۱۷/۵	۳
شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه‌سنگ با میان‌لایه آهک	۳۵۰۰	۱/۵	۲۰۰۰	جنوب شرقی	۱۰	۴
	۲۵۰۰	۱۵۰۰	شمال	۲/۵	۵	
					۶	
					۷	
شیل سیاه بیتومن‌دار، آهک سفید آمولیت ماسه‌سنگ	۲۵۰۰	۰/۵	۱۰۰	جنوب غربی	۳۰	۸
			۷۵۰	شمال	۱۷/۵	۹
			۱۵۰۰			۱۰
شیل سیاه، آهک رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۳۰۰۰	۲/۵	۲۰۰۰	شمال شرقی	۳۰	۱۱
				غرب		۱۲
شیل سیاه بیتومن‌دار، آهک سفید آمولیت ماسه‌سنگ	۳۰۰۰	۱/۵	۷۵۰	جنوب	۱۷/۵	۱۳
شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه‌سنگ با میان‌لایه آهک	۲۰۰۰	۲/۵		جنوب شرقی	۳۰	۱۴
شیل سیاه بیتومن‌دار، آهک سفید آمولیت ماسه‌سنگ	۲۵۰۰		۰/۵	۳۵۰	۲۵	۱۵
شیل سیاه، آهک رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۳۵۰۰	۲۰۰۰		غرب		۳۰
کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ، رادیولاریت، آهک مارنی فسیل‌دار، آهک دولومیت	۳۰۰۰	۲/۵	۲۰۰۰	جنوب غربی	۲۵	
	۲۵۰۰			جنوب		۱۸
کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ، رادیولاریت، آهک مارنی فسیل‌دار، آهک دولومیت	۲۰۰۰	۱/۵	۷۵۰	غرب	۳۰	۱۹
	۲۵۰۰			جنوب شرقی		۲۰
سنگ آهک توده‌ای نازک‌لایه، آهک اولومیتی، آهک کنگلومرا	۳۰۰۰	۱/۵	۱۵۰۰	جنوب غربی	۲۵	۲۱
شیل سیاه، آهک رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ	۲۵۰۰	۰/۵				۲۲
دولومیت نازک‌لایه تا ضخیم‌لایه، سنگ آهک نرم فسیل‌دار	۲۵۰۰	۱/۵	۳۵۰	شمال غربی	۳۰	۲۳
	۳۰۰۰	۲/۵	۱۵۰۰	جنوب		۲۴
سنگ نمک، ژپیس، ماسه‌سنگ قرمز، شیل خالدار	۱۵۰۰			۰/۵	۲۰۰۰	جنوب غربی
سنگ آهک توده‌ای نازک‌لایه، آهک اولومیتی، آهک کنگلومرا	۲۰۰۰	۷۵۰	جنوب شرقی		۲۶	

ادامه جدول ۲: ماتریس آنترویی برای عوامل شش گانه

زمین لغزش	شیب (درصد)	جهت شیب	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	طبقات ارتفاعی	زمین شناسی
۲۷		غرب	۱۵۰۰		۳۵۰۰	شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه سنگ با میان لایه آهک
۲۸		جنوب شرقی	۷۵۰		۲۰۰۰	سنگ آهک نرم فسیل دار، ماسه سنگ، کنگلومرا، دولومیت لایه ضخیم ایندریت
۲۹	۲۰۰۰				۱۵۰۰	
۳۰	۲۵	شمال	۱۰۰		۲۰۰۰	دولومیت نازک لایه تا ضخیم لایه، سنگ آهک نرم فسیل دار
۳۱	۳۰	جنوب شرقی	۲۰۰۰		۱۵۰۰	سنگ آهک نرم فسیل دار، ماسه سنگ، کنگلومرا، دولومیت لایه ضخیم ایندریت
۳۲	۲۵	شرق	۱۵۰۰			
۳۳	۳۰	شمال شرقی	۷۵۰		۲۰۰۰	دولومیت نازک لایه تا ضخیم لایه، سنگ آهک نرم فسیل دار
۳۴	۲۵	شرق				
۳۵	۳۰	جنوب شرقی	۲۰۰۰			شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه سنگ با میان لایه آهک
۳۶			۱۰۰	۱/۵		۲۵۰۰
۳۷		شمال غربی	۷۵۰		۳۰۰۰	شیل میکادار خاکستری و سبز، ماسه سنگ با میان لایه آهک
۳۸	۲۵	جنوب	۲۰۰۰	۰/۱۵	۱۵۰۰	سنگ آهک نرم فسیل دار، ماسه سنگ، کنگلومرا، دولومیت لایه ضخیم ایندریت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه جدول (۲)، مقدار (pij) با استفاده از رابطه ۱ و مقدار (k) با رابطه ۳ به دست آمده و برای محاسبه (Ej) برای هر عامل، از رابطه ۲ استفاده شده است که مقادیر آن در جدول (۳) مشاهده می شود. در این رابطه، (E) از توزیع احتمال (Pi) براساس سازوکار آماري محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی (pi)ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (صغریور، ۱۳۸۵: ۱۹۶). سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) از کسر مقدار (Ej) از عدد یک به دست آمده است. با استفاده از رابطه ۴، وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنترویی زمین لغزش (wj) که شامل شیب

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه جدول (۲)، مقدار (pij) با استفاده از رابطه ۱ و مقدار (k) با رابطه ۳ به دست آمده و برای محاسبه (Ej) برای هر عامل، از رابطه ۲ استفاده شده است که مقادیر آن در جدول (۳) مشاهده می شود. در این رابطه، (E) از توزیع احتمال (Pi) براساس سازوکار آماري محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی (pi)ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (صغریور، ۱۳۸۵: ۱۹۶). سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) از کسر مقدار (Ej) از عدد یک به دست آمده است. با استفاده از رابطه ۴، وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنترویی زمین لغزش (wj) که شامل شیب

درجه عدم اطمینان از اطلاعات ایجاد شده به ازای هر کدام از شاخص ها به قرار زیر است:  
 $V_{ij} = (0/02088)$  ،  $(0/02088)$  ،  $(22/93078)$  ،  $(0/11088)$  ،  
 $(0/32354)$  ،  $(0/10034)$  ،  $(0/1168)$  ،  
و سرانجام برای اوزان (wj) از شاخص های موجود خواهیم داشت:

۵/۷۴ درصد، زمین شناسی ۱۲/۴۹ درصد و طبقات ارتفاعی ۷/۰۱ درصد است که در وقوع زمین لغزش های منطقه اثرگذار بوده است. جدول (۴) درصد تأثیرگذار پایین برای سازند و شیب به سبب امتیازات برابر اکثر زمین لغزش ها در این ۲ پارامتر است؛ یعنی بیشتر زمین لغزش ها در یک نوع سازند و در یک شیب مشابه واقع شده اند. با توجه به رابطه بالا، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴). با قراردادن موقعیت زمین لغزش های منطقه مشخص شد که از ۳۸ زمین لغزش رخ داده در منطقه مورد مطالعه، ۱۷ زمین لغزش در پهنه خطر متوسط و ۱۲ زمین لغزش در پهنه خطر بالا واقع شده اند.

، (۰/۱۱۳۱۰)، (۰/۶۰۸۴۳۶)، (۰/۲۵۹۹۲)  $W_{ij}$ ، (۰/۰۵۷۴۳۱)، (۰/۱۲۴۹)، (۰/۰۷۰۱۳۴) بنابراین مدل ناحیه ای میزان خطر زمین لغزش در منطقه با استفاده از رابطه زیر به دست می آید.

$$H=(S*0/025992)+(A*0/0608436)+(DF*0/113107)+(R*0/57431)+(L*0/12249)+(E*0/070134)$$

در این رابطه، شیب (S)، جهت شیب (A)، گسل (DF)، آبراهه (R)، زمین شناسی (L)، ارتفاعی (E) است. با توجه به ویژگی های طبیعی و جغرافیایی منطقه و روش آنتروپی که برای وزن دهی به کار رفته است، میزان تأثیر عوامل شش گانه مؤثر در زمین لغزش متفاوت است. شیب ۲/۵۹ درصد، جهت شیب ۱۱/۳۱ درصد، فاصله از گسل ۶۰/۸۴ درصد، فاصله از آبراهه

جدول ۴: میزان تأثیر عوامل مؤثر در زمین لغزش های منطقه پشتکوه فریدون شهر

عوامل مؤثر	شیب	جهت شیب	گسل	آبراهه	زمین شناسی	طبقات ارتفاعی	مجموع
درصد تأثیرگذار	۲/۵۹	۱۱/۳۱	۶۰/۸۴	۵/۷۴	۱۲/۴۹	۷/۰۱	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

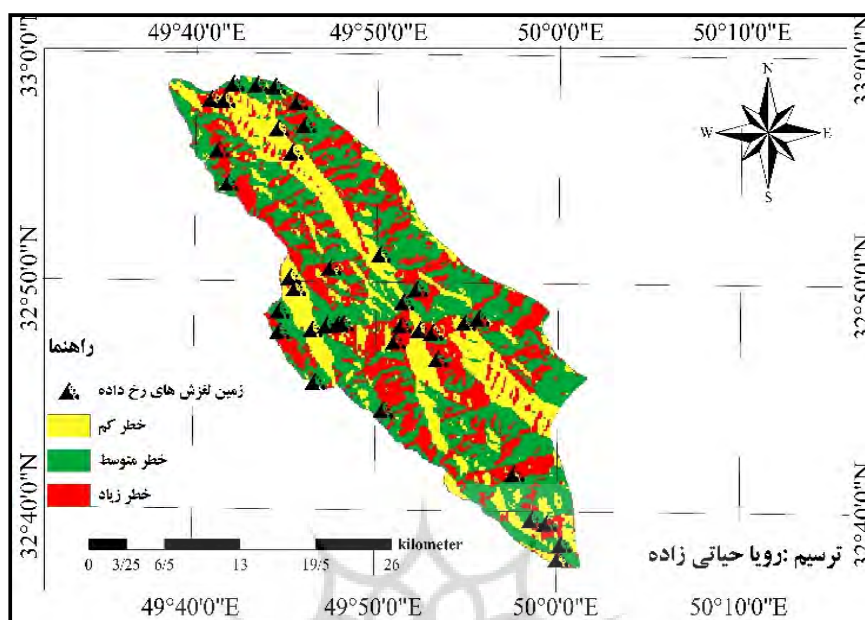
مشخص شده که از ۳۸ تا زمین لغزش رخ داده در منطقه پشتکوه فریدون شهر، ۹ لغزش در پهنه کم خطر و ۱۷ لغزش در پهنه متوسط و ۱۲ لغزش در پهنه پرخطر محاسبه شده است.

در ادامه با استفاده از وزن به دست آمده، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه پشتکوه فریدون شهر شکل (۴) تهیه شده است. با قرار دادن موقعیت زمین لغزش ها بر روی نقشه پهنه بندی

جدول ۵: مساحت و درصد مناطق خطر زیاد، متوسط، کم خطر زمین لغزش

منطقه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش
کم خطر	۱۸۱/۱۱	۳۱	۹	۲۳/۶۸
خطر متوسط	۱۹۱/۷۳	۳۳	۱۷	۴۴/۷۳
پرخطر	۲۰۹/۱۶	۳۶	۱۲	۳۱/۵۸
مجموع	۵۸۱	۱۰۰	۳۸	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پشتکوه فریدون شهر

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

۳۵۰۰ متر است و در فاصله طبق ۲۰۰-۰ متر گسل‌ها دارد. در مجموع این منطقه از نظر زمین لغزش جزء مناطق پرخطر استان اصفهان واقع شده که مساحت آن ۵۸۱/۵ کیلومتر مربع است. منطقه پرخطر در نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد که نواحی مرکزی منطقه که شامل پشتکوه اول می‌شود، از حوالی پل چغاگلی تا پشندگان و روستاهای هومه به صورت خطی در امتداد هم واقع شده است. وجود روستاها و مناطق مسکونی به علت وقوع زمین لغزه‌ها در کوهپایه‌ها واقع شده که حدود ۳۹٪ از روستاها در معرض زمین لغزش واقع شده‌اند.

#### نتیجه

محدوده مورد مطالعه در ۱۳۰ کیلومتری غرب اصفهان واقع شده است. نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به دست آمده نشان می‌دهد که مناطق با خطر رخداد زیاد در قسمت‌های جنوب شرقی واقع شده‌اند. این نواحی شیب زیاد و ارتفاع بالایی دارند و در حریم

با توجه به جدول (۵)، در منطقه پشتکوه فریدون شهر، پهنه‌های کم خطر (۳۱) درصد، محدوده خطر متوسط (۳۳) درصد و منطقه پرخطر (۳۶) درصد را شامل می‌شود که بیانگر پتانسیل بالای منطقه در رخداد زمین لغزش است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی شکل (۴) آشکار می‌شود که منطقه پرخطر در شیب‌های ۳۰ درجه به بالاست که ارتفاعی بین ۲۵۰۰ متر دارد و در فاصله ۲۰۰۰ متر به بالا از گسل‌ها قرار گرفته است. این محدوده بیشتر در سازندهای ماری و رادیولاریت‌ها هوازده رخ داده و از نظر زمین‌شناسی در تقسیم‌بندی لیتولوژی از لحاظ استعداد در برابر لغزش از دو سازند با سن متفاوت در یک گروه قرار دارد و بیشتر در سنگ‌های آهک توده‌ای نازک لایه، آهک‌رسی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، سنگ نمک و ژپس قرار گرفته است. از نظر جهت شیب بیشتر شیب‌های جنوب شرقی را در برمی‌گیرد. پهنه‌های کم خطر شیبی در طبقه ۵-۰ درجه قرار دارند و در سطوح ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر و بالاتر از

حدود ۳۹ درصد روستاها در معرض زمین‌لغزش‌ها واقع شده‌اند؛ بنابراین پرهیز از هرگونه ساخت‌وساز در فاصله نزدیک به گسل‌ها و مناطق دارای سازنده‌های مارنی و رادیولاریت با شیب‌های تند و پهنه‌های پرخطر و خطر متوسط است و به‌کاربردن عملیات ایمنی‌سازی برای مسیرهای ارتباطی که از چنین محدوده‌هایی عبور داده شده‌اند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

### منابع

- اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۵). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران. انتشارات دانشگاه تهران. ۱.
- اکبر، سمیه؛ رنجبر، حجت‌الله؛ کرمی نسب، سعید؛ عبدالملکی، مهدی (۱۳۹۲). ارزیابی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل فازی دانش‌مبنا و روش ترکیبی فازی-اوزان شاهد در منطقه مسکون جیرفت، فصل‌نامه زمین‌شناسی مهندسی. دانشگاه خوارزمی. دوره ۷. شماره ۱.
- اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان (۱۳۷۶). طرح تفصیلی منابع طبیعی تجدیدشونده حوضه پشتکوه فریدون‌شهر، گزارش تلفیق.
- پورقاسمی، حمیدرضا؛ حمیدرضا مرادی؛ مجید محمدی؛ رفوف مصطفی‌زاده؛ عباس گلی‌جیرنده (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بی‌بین، مجموعه علوم و فنون کشاورزی. علوم آب و خاک. سال ۱۶. شماره ۶۲. صفحات ۱۲۱-۱۰۹.
- جلالی، نادر (۱۳۷۹). گزارش نهایی طرح ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌منظور یافتن سازگارترین روش با شرایط کشور، طرح تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ برگه‌های (وهرگان- وستگان- فریدون‌شهر- قلعه‌سرخ).
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰.

گسل‌های منطقه و در قلمرو سازنده‌های مارنی و رادیولاریت‌ها قرار گرفته‌اند. پهنه‌های خطر متوسط و بالا در دامنه‌های جنوب غربی، جنوبی، غربی شیب دارند و لغزش زیادی دارند و منطبق بر ارتفاعی بیشتر از ۲۵۰۰ متر است. از نظر لیتولوژی در سنگ‌های شامل سنگ‌آهک توده‌ای نازک‌لایه، ماسه‌سنگ، سنگ نمک، کنگلومرا و ژئیس قرار دارد. پهنه‌های کم‌خطر در قسمت‌های (شرق، شمال غربی) در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متری و منطبق بر سازنده‌های شیل سیاه بیتومن‌دار یا میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ یا آهک سفید آمولیت‌دار و با شیب ۵-۰ درجه و در گسل‌های ۵۰۰-۲۰۰ متری قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه، مساحتی بالغ بر ۵۸۱ کیلومترمربع است و ۳۸ زمین‌لغزش در آن رخ داده است. دقت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی نهایی با زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد، ۳۶ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در پهنه خطر بالا، ۳۳ درصد خطر متوسط و ۳۳ درصد در پهنه کم‌خطر قرار گرفته است. این مسأله نشان می‌دهد، در پهنه‌بندی لغزش‌های منطقه‌ای، مدل آنتروپی دقت و روایی لازم را از خود نشان می‌دهد و در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه جزء نواحی پرخطر استان اصفهان به‌شمار می‌آید. پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه با مدل آنتروپی نشان داد، مهم‌ترین عامل در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه، گسل‌ها هستند که با ۶۰/۸۴ درصد تأثیرگذاری مهم‌ترین عامل بروز لغزش‌های منطقه بوده است. بارندگی‌ها نقش مهمی در شروع لغزش‌های منطقه دارد، به‌خصوص در زمان بارندگی‌های شدید، تحریک و وقوع حرکات توده‌ای را می‌توان انتظار داشت. بر این اساس حدود ۵۰ درصد از محدوده‌های لغزشی با بارندگی سالیانه ۶۲۰-۵۹۰ میلی‌متر است. وجود روستاها و مناطق مسکونی به علت وقوع زمین‌لغزش‌ها در کوهپایه‌ها واقع شده‌اند و

- سوری، سلمان؛ سیامک بهاروند؛ رضا احمدیان مقدم؛ مریم دهیان (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، فصل‌نامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ششم. شماره ۴. صفحات ۳۱-۱۵.
- صفاری، امیر؛ ابراهیم مقیمی (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی سال ۴۱. شماره ۶۷.
- فاطمی‌عقدا، سید محمود؛ جعفر غیومیان؛ محب تشنه‌لب؛ عقیل اشقلی‌فراهانی (۱۳۸۴). بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از سیستم فازی در منطقه رودبار، مجله علوم دانشگاه تهران. جلد ۳۱. شماره ۱. صفحات ۶۴-۴۳.
- عالی‌طالبانی، محمود (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس.
- غیومیان، جعفر؛ ضیاء‌الدین شعاعی (۱۳۷۷). زمین‌لغزش روستای آبی‌کار استان چهارمحال بختیاری، مجموعه مقالات دومین همایش ملی رانش زمین و راه‌های مقابله تا خطرات آن.
- کمک‌پناه، علی؛ ناصر حافظی‌مقدس (۱۳۷۳). روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزش در کشور.
- کرمی فریبا؛ مریم بیاتی، داوود مختاری کشکی (۱۳۸۷). خطر زمین‌لرزه و تحلیل ریسک‌پذیری مراکز جمعیتی از زلزله شهرستان بستان‌آباد، آذربایجان شرقی. تحقیقات جغرافیایی. دوره ۲۳. شماره ۴. صفحات ۹۶-۷۷.
- مقیمی، ابراهیم؛ مجتبی یمانی؛ سعید رحیمی‌هرآبادی (۱۳۹۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۴. صفحات ۱۱۸-۱۰۳.
- مقیمی، ابراهیم؛ سجاد باقری؛ طاهر صفراد (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۹. صفحات ۹۹-۷۷.
- یمانی، مجتبی، پریسا پیرانی؛ فاطمه مرادی‌پور؛ عارقه شعبانی‌عراقی؛ ابوالقاسم گورابی (۱۳۹۳). ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین‌لغزش تاقدیس سیاه‌کوه، غرب ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۱۸. شماره ۳. پاییز ۱۳۹۳. صفحات ۱۷۰-۱۴۸.
- نوروزی‌خطیری، خدیجه؛ بابک امیدوار؛ بهرام ملک‌محمدی؛ سجاد گنجه‌ای (۱۳۹۲). تحلیل ریسک مخاطرات چندگانه شهری در اثر سیل و زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۲۰ تهران)، فصل‌نامه جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۷. صفحات ۶۸-۵۳.
- Kumar Dahal, R (2008). Predictive Modeling of Rain Fall- induced Landslide Hazrd in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of- evidence, Geomorphology, Vol. 102, PP. 496-510.
- Zongji, Y et al (2010). Regional Landslide zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, chea, seventh In ternational conferenceon Fuzzy systems and knowledge Discovery.