

استفاده از تئوری انتروپی در ارزیابی عوامل کنترل‌کننده زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در حوضه احمدآباد، استان لرستان

سیامک بهاروند*: گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

وهاب امیری: استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سلمان سوری: کارشناس ارشد، زمین‌شناسی مهندسی، شرکت زمین‌کاوان جنوب، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.6.7

چکیده

زمین‌لغزش از جمله مهم‌ترین خطرهای طبیعی است که هر ساله علاوه بر از بین بردن جان انسان‌ها، به خسارت‌های اقتصادی منجر می‌شود. بنابراین، تهیه مدل‌های مناسب برای ارزیابی حساسیت ناپایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آنها امری ضروری است. در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و بررسی عوامل مؤثر بر آن در حوضه احمدآباد واقع در استان لرستان، از روش انتروپی استفاده شد. بدین منظور ابتدا با بررسی منابع پژوهشی مرتبط با موضوع، برخی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع این پدیده مانند لیتولوژی، شیب، بارندگی، کاربری اراضی، ارتفاع، فاصله از آبراهه، جاده و چشمه به عنوان متغیرهای مستقل تهیه شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، نقاط لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه تهیه شد. در مرحله بعد، ماتریس انتروپی برای عوامل مؤثر بر لغزش محاسبه و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های منطقه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. نتایج نشان داد که به ترتیب عوامل لیتولوژی، کاربری اراضی و شیب، بیشترین تأثیرگذاری را در رخداد لغزش‌های منطقه دارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، به ترتیب ۱۴/۶، ۲۸/۸، ۲۸/۸، ۲۰/۰ و ۷/۸ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. اعتبارسنجی روش استفاده شده، با استفاده از شاخص جمع مطلوبیت انجام شده که نتایج بیانگر مطلوبیت عملکرد روش انتروپی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه است.

واژگان کلیدی: استان لرستان، پهنه‌بندی، حوضه احمدآباد، روش انتروپی، زمین‌لغزش.

۱- مقدمه

وقوع زمین‌لغزش به عنوان خطری بالقوه، می‌تواند به محیط زندگی و دارایی انسان‌ها خسارت‌های جبران‌ناپذیری وارد کند (Lan et al, 2004 & Vineetha et al, 2019). این پدیده طبیعی می‌تواند به تخریب یا خسارت به انواع سازه‌های مهندسی و ساخت‌های بشری از جمله مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی مانند راه‌ها، لوله‌های انتقال گاز، آب، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها و مراتع، زمین‌های کشاورزی و معادن منجر شود. افزون بر این، اثرات اجتماعی و زیست

محیطی ناشی از وقوع این پدیده مانند اثرهای سوء اجتماعی و افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها را نیز نباید نادیده گرفت (Soori et al, 2012).

ایران به دلیل عمده شرایط طبیعی مانند توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، دارای انواع گسترده‌ای از لغزش‌ها است (Nojavan et al, 2019). بنابراین، به همان نسبت که از موهبت کوهستانی بودن و تنوع آب و هوایی بهره‌مند هستیم، در معرض خطرات ناشی از آن نیز قرار داریم. عبور گسل‌های بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست مارنی شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ، شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های زیادی از دامنه‌های طبیعی در سرتاسر استان لرستان فراهم ساخته است. این تحقیق با هدف اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن در حوضه احمدآباد واقع در استان لرستان، با استفاده از روش انتروپی صورت گرفت.

در مورد بررسی خطر لغزش‌ها و حرکات توده‌ای، تاکنون کارها و مطالعاتی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است و محققان مختلف با استفاده از روش انتروپی، طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه کرده‌اند که همگی بر عملکرد مطلوب این روش در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تأکید داشتند؛ از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

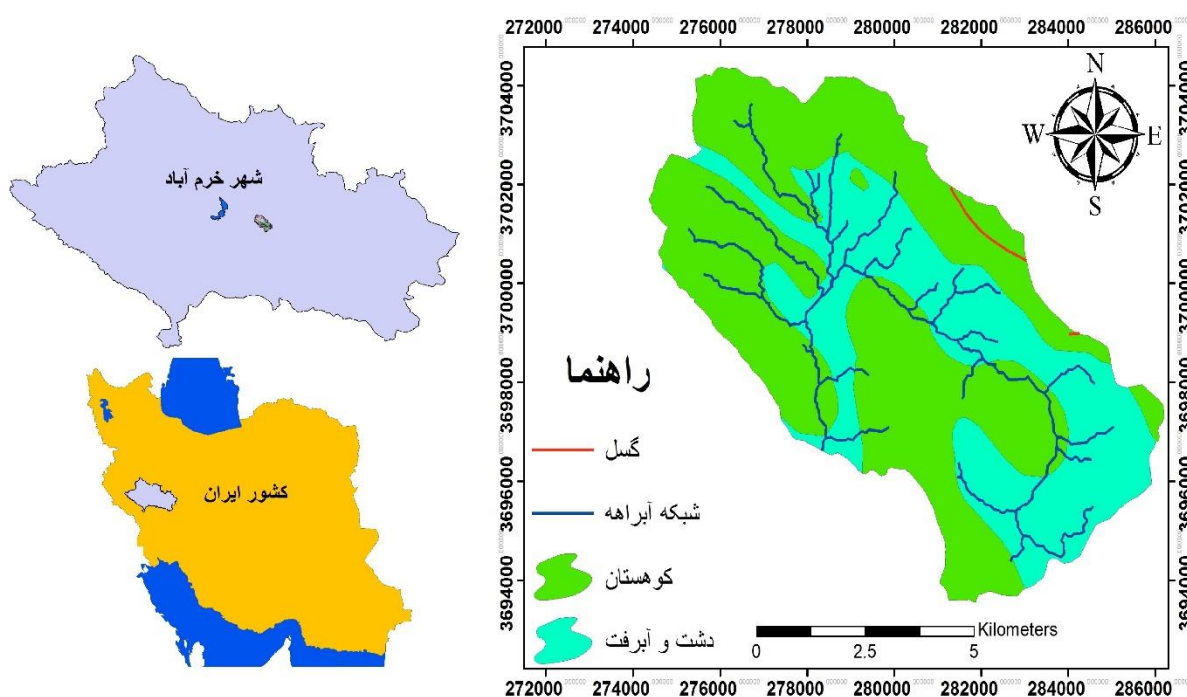
Moghimی و همکاران (2012) پهنه‌بندی و بررسی زمین‌لغزش‌های تاقدیس نثار در زاگرس، Devkota و همکاران (2013) ارزیابی حساسیت لغزش در جاده ماگلینگ واقع در کشور نپال، Mohammadkhan و همکاران (2014) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه کوهستانی شیرپناه واقع در جنوب غرب استان کرمانشاه، Wang و همکاران (2016) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه گونگلیو چین، Razavi Termeh و همکاران (2018) بررسی خطر زمین‌لغزش در حوضه فهلان فارس، Kerekes و همکاران (2018) اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش و پهنه‌بندی خطر آن در منطقه کلوژ - ناپوکا رومانی، Shahzeidi و همکاران (2019) بررسی زمین‌لغزش‌های منطقه پشتکوه فریدون‌شهر، Roustae و همکاران (2020) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان و Pandey و همکاران (2021) نیز به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جنوب غرب منطقه چمبا واقع در کشور هندوستان پرداختند.

به طور کلی می‌توان گفت هدف نهایی بررسی و مطالعه زمین‌لغزش‌ها، یافتن راه‌های کاهش خسارت ناشی از آنها است که این امر بر لزوم تهیه نقشه حساسیت خطر تأکید دارد (Komac, 2006 & Wang et al, 2016). با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضه احمدآباد، تاکنون زمین‌لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده و به خسارت‌هایی منجر شده است؛ از جمله این خسارت‌ها - که ضرورت این مطالعه را نمایان می‌سازد - می‌توان به موارد فرسایش خاک، افزایش بار رسوبی رودخانه، تخریب اراضی کشاورزی و جنگلی و تهدید مناطق مسکونی اشاره کرد. مطالعه انجام شده از این جهت اهمیت دارد که لغزش‌های منطقه در این مطالعه برای نخستین بار بررسی شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز احمدآباد با مساحت ۶۶۹۶/۷ هکتار، در جنوب شرق شهر خرم‌آباد واقع است (شکل ۱). در محدوده این حوضه، چهارده روستا قرار دارد و کم‌ترین ارتفاع آن، ۱۶۰۰ متر و بالاترین ارتفاع، ۲۳۶۳ متر از سطح دریا است. محدوده مطالعه شده، بخشی از زون ساختاری زاگرس چین‌خورده است که از نظر زمین‌شناسی از قدیم به جدید

سازندهای سروک، گورپی، امیران، کشکان، آسماری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر را در خود جای داده است. سازندهای موجود عموماً از جنس آهک، مارن، کنگلومرا و رسوبات آبرفتی است. حوضه احمدآباد، مورفولوژی ناهموار و متنوعی دارد که شامل دشت‌های آبرفتی و مناطق کوهستانی است. مناطق کوهستانی با گستره قابل ملاحظه با سازندهای مختلف زمین‌شناسی، عموماً پوشیده از جنگل است که در سال‌های گذشته تغییر کاربری آنها به اراضی کشاورزی، شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم کرده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۳- مواد و روش

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده: عوامل مختلف در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، با توجه به نکاتی از قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تأثیرگذاری هر عامل و کافی و در دسترس بودن اطلاعات تعیین می‌شود. بر این اساس علاوه بر نقشه نقاط لغزشی، هشت عامل دیگر نیز بررسی شد. این عوامل که شامل شیب، لیتولوژی، بارش، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از لایه‌های چشمه، جاده و آبراهه است، به شرح زیر تهیه شد:

شیب: شیب یکی از اصلی‌ترین پارامترهای بررسی پایداری دامنه‌ها است و به صورت مستقیم بر وقوع زمین‌لغزش تأثیر می‌گذارد (El Bchari et al, 2019). به منظور تهیه نقشه شیب، از نقشه DEM 12.5 متر منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

لیتولوژی: یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در بیشتر روش‌های خطر زمین‌لغزش به کار می‌رود، اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی و واحدهای لیتولوژی است. لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب و به طور کلی بیانگر

ساخت، بافت، مقاومت و دوام نسبی یک توده سنگ است. ویژگی و جنس سنگ‌ها در پایداری و ناپایداری دامنه‌ها نقش زیادی دارد (Shahzeidi and Ghanbari, 2019). نقشه لیتولوژی محدوده مورد مطالعه نیز بر مبنای نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد و مطالعات میدانی تهیه شد.

فاصله از جاده: بررسی عامل فاصله از جاده به دلیل از بین بردن پاشنه دامنه‌ها و تغییر در شیب آنها، در مطالعه وقوع حرکت‌های دامنه‌ای نقش بسیار مهمی دارد (Safari and Hashemi, 2017). به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده، شبکه جاده از نقشه توپوگرافی و تصاویر گوگل ارث استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد.

ارتفاع: تغییرات ارتفاعی می‌تواند بر سه عامل دما، بارش و رطوبت تأثیر به‌سزایی بگذارد که این عوامل، بر رخداد زمین‌لغزش تأثیر به‌سزایی دارد (Ildoromi and Rouzbahani, 2014). در محدوده مطالعه شده، نقشه طبقات ارتفاعی از طبقه‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه شد.

فاصله از چشمه: آب‌های خروجی از چشمه‌ها نیز می‌تواند با نفوذ در رسوبات اطراف به کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی شیب‌ها منجر شود. در این تحقیق به منظور تهیه نقشه فاصله از چشمه‌های منطقه، موقعیت چشمه‌ها از طریق بازدید صحرایی استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد.

فاصله از آبراهه: تأثیر فعالیت و عملکرد آبراهه‌ها به صورت مجموعه‌ای از عملکردهای دینامیکی بیرونی و فعالیت‌های مکانیکی نظیر اشباع مواد، افزایش جرم حجمی، کاهش مقاومت مکانیکی توده‌های خاکی و سنگی، افزایش سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش بارهای استاتیکی و دینامیکی مشاهده می‌شود. بنابراین، مجموعه‌ای از عوامل از طریق آبراهه‌ها تحریک می‌شود و دامنه را مستعد لغزش می‌سازد (Mirsanjari Mirsanjar et al, 2019). به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از نقشه توپوگرافی استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد.

بارش: شدت تأثیر بارش در ناپایداری دامنه‌ها، به شرایط آب و هوایی، توپوگرافی منطقه، ساختار زمین‌شناسی دامنه‌ها، نفوذپذیری و سایر خواص توده‌های خاکی و سنگی بستگی دارد (Entezari and Jalilian, 2019 & Arabameri and Shirani, 2016). برای ترسیم نقشه بارندگی سالیانه با ایجاد یک رگرسیون خطی بین دو پارامتر ارتفاع و میانگین بارندگی سالیانه، معادله گرادیان بارندگی در حوضه احمدآباد به دست آمد. در این مطالعه از آمار بیست ساله بارندگی به دست آمده از ایستگاه‌های شهر خرم‌آباد و سپیددشت واقع در استان لرستان تا سال ۲۰۲۱ استفاده شد.

کاربری اراضی: نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی، در تغییرات محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. در بسیاری از موارد، مکان‌گزینی این کاربری‌ها نامناسب است و به ایجاد نابسامانی و اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی منجر می‌شود. در محدوده مطالعه شده نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و تفسیر شاخص NDVI استخراج و با عملیات میدانی تکمیل شد.

روش اتنروپی: تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش شامل تهیه لایه‌های اطلاعاتی، وزن‌دهی و همپوشانی لایه‌ها است که مراحل آن در جدول ۱ آمده‌است. در مطالعه انجام شده هشت عامل به عنوان عوامل مؤثر بر لغزش، مشخص و لایه‌های اطلاعاتی یاد شده به صورت رستری آماده و کمی شد. با توجه به ویژگی‌های برداشت شده از زمین‌لغزش‌های حوضه احمدآباد و نظر کارشناسی، به هر لایه بر مبنای اهمیت آن در وقوع یا تشدید لغزش امتیازی بین اعداد ۱ تا ۹ داده شد و

پس از طبقه‌بندی لایه‌ها، ماتریس انتروپی برای آنها تشکیل شد. با محاسبه ماتریس انتروپی و وزن کل عوامل (w_j)، میزان ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش (H_i) به دست آمد. مدل انتروپی به صورت روابط زیر بیان می‌شود (Zongji et al, 2010). در این روابط E_j ارزش انتروپی، pi_{ij} ماتریس تصمیم‌گیری و ri_{ij} مقدار وزن هر یک از لایه‌ها است.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n pi_{ij} \ln pi_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$pi_{ij} = \frac{ri_{ij}}{\sum_{i=1}^m ri_{ij}} \quad \text{رابطه ۲}$$

(M) نشان‌دهنده تعداد زمین‌لغزش‌ها و (K) یک ضریب ثابت است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و به دست آوردن مقدار E_j ، مقدار V_j از رابطه ۴ به دست می‌آید.

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

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

V_j درجه انحراف فقدان اطمینان است. برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل (w_j) موجود از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

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

پس از محاسبه وزن کل (w_j)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۶ ارزیابی می‌شود.

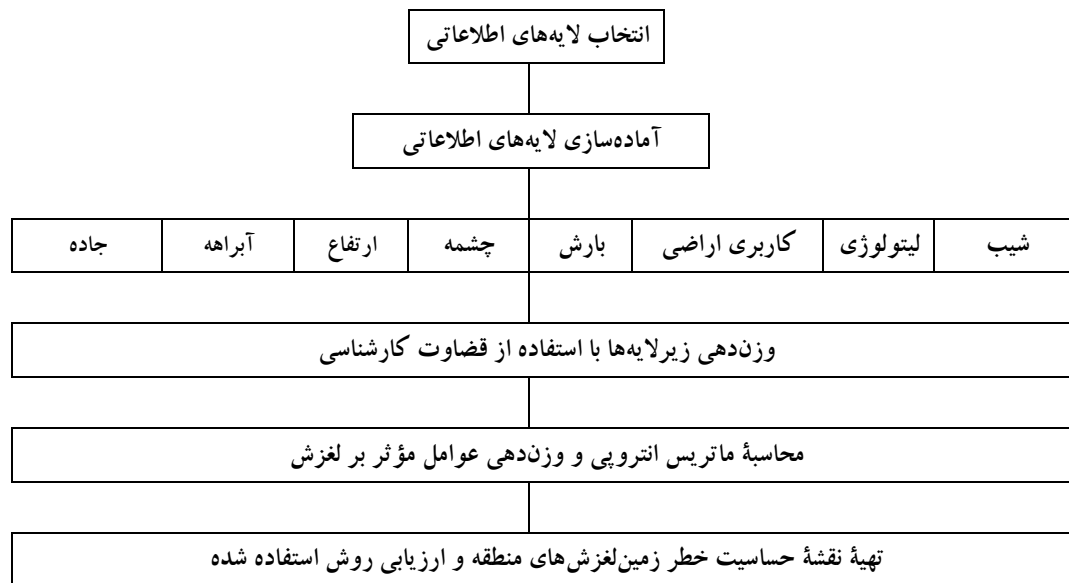
$$H_i = \sum_{j=0}^n W_j * ri_{ij} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه H_i ضریب رخداد خطر زمین‌لغزش، W_j وزن نهایی تمام عوامل و ri_{ij} وزن هر یک از عوامل است. **ارزیابی روش استفاده شده:** برای ارزیابی نقشه تهیه شده بر اساس روش انتروپی، از شاخص احتمال تجربی استفاده شد. بدین منظور پس از تهیه نقشه نقاط لغزشی با قطع نقشه این نقاط با نقشه خطر زمین‌لغزش، مقدار لغزش‌ها در طبقات مختلف خطر محاسبه شد. در مرحله بعد نیز میزان دقت مدل بر حسب درصد، با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{KS}{S} \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه P احتمال تجربی، KS مساحت لغزش‌یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا و S مساحت کل لغزش‌های منطقه است. هر چه احتمال تجربی مدل مورد استفاده به صد درصد نزدیک‌تر باشد، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مناسب‌تر است.

جدول ۱: روش تهیه نقشه خطر زمین لغزش در حوضه احمدآباد با استفاده از روش انتروپی



۴- یافته‌ها (نتایج)

تحلیل لغزش‌های منطقه: اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های اتفاق افتاده است. بدین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شد و از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نیستند؛ بنابراین برای تکمیل اطلاعات، از تمامی لغزش‌های قابل دسترس بازدید صحرائی انجام شد (شکل ۲ و ۳). بررسی منطقه نشان داد که چهارده زمین لغزش با مساحت ۸۹/۱۸۳ هکتار در سطح حوضه مورد مطالعه صورت گرفته است. برای درک بهتر شرایط منطقه، زمین لغزش‌ها از لحاظ کمی مطالعه شد؛ بدین منظور، لغزش‌ها بر اساس مساحت در پنج پهنه تقسیم شد (جدول ۲). بیشترین فراوانی زمین لغزش‌ها در پهنه لغزشی دوم (۵۰ درصد) و کمترین فراوانی آنها در پهنه لغزشی اول و چهارم (۷/۱۴ درصد) قرار داشت. به لحاظ مساحت، به ترتیب بیشترین مساحت مربوط به پهنه پنجم (۷۱/۳۹ درصد) و کمترین مساحت مربوط به پهنه اول (۰/۶۹ درصد) بود.

جدول ۲: خصوصیات آماری زمین لغزش‌های حوضه احمدآباد

پهنه لغزشی	مساحت پهنه لغزشی (هکتار)	تعداد لغزش در پهنه	مساحت کل	درصد تعداد لغزش	درصد مساحت لغزش
۱	کمتر از ۱	۱	۰/۶۱۸	۷/۱۴	۰/۶۹
۲	۱-۳	۷	۱۱/۳۷۳	۵۰	۱۲/۷۵
۳	۳-۵	۲	۷/۸۶۸	۱۴/۲۸	۸/۸۲
۴	۵-۷	۱	۵/۶۵۹	۷/۱۴	۶/۳۴
۵	بیش از ۷	۳	۶۳/۶۶۵	۲۱/۴۳	۷۱/۳۹



شکل ۲: وقوع زمین لغزش در اراضی کشاورزی واقع در حوضه احمدآباد (عرض جغرافیایی $33^{\circ} 23/6'$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ} 37'$ شرقی)



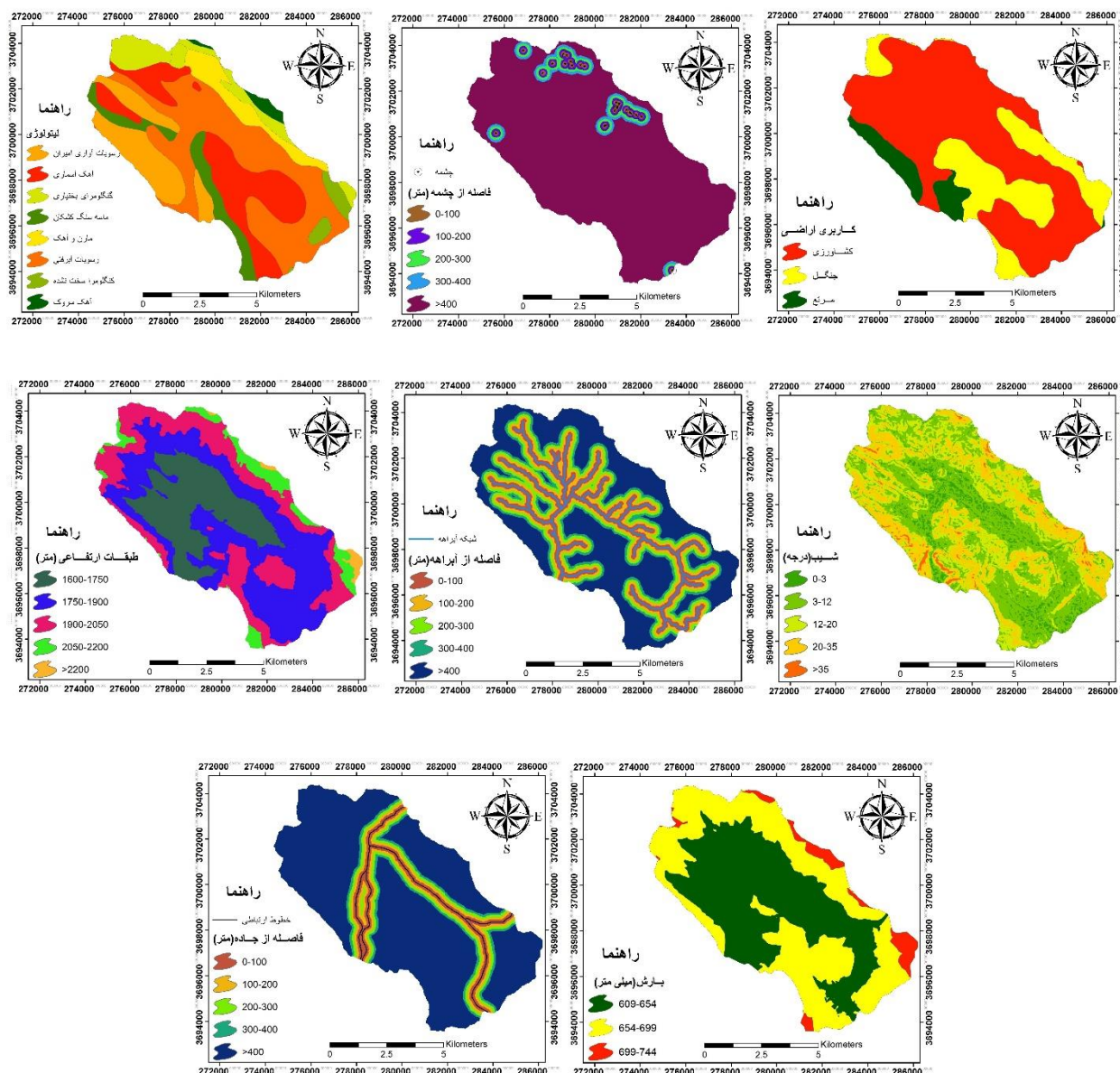
شکل ۳: وقوع زمین لغزش بر اثر زیرشویی رودخانه واقع در حوضه احمدآباد (عرض جغرافیایی $33^{\circ} 24/4'$ شمالی و طول جغرافیایی $48^{\circ} 36/9'$ شرقی)

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه احمدآباد: با توجه به بررسی تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های انجام شده طی بازدیدهای میدانی، عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی شد و به زیر لایه‌های هر یک از عوامل، وزن کارشناسی به شرح زیر اختصاص یافت (جدول ۳).

جدول ۳: امتیاز اختصاص یافته برای زیرمعیارهای هر یک از عوامل نه گانه

امتیاز	عامل	امتیاز	عامل	امتیاز	عامل
	فاصله از آبراهه (متر)		فاصله از چشمه (متر)		بارش (میلی‌متر)
۱۰۰-۰	۹	۱۰۰-۰	۹	۶۵۴-۶۰۹	۶
۲۰۰-۱۰۰	۸	۲۰۰-۱۰۰	۸	۶۹۹-۶۵۴	۸
۳۰۰-۲۰۰	۷	۳۰۰-۲۰۰	۷	۷۴۴-۶۹۹	۹
۴۰۰-۳۰۰	۶	۴۰۰-۳۰۰	۶	لیتولوژی	
>۴۰۰	۵	>۴۰۰	۵	رسوبات آواری امیران	۷
				آهک آسماری	۵
	فاصله از جاده (متر)		شیب (درجه)		
۱۰۰-۰	۹	۳-۰	۱	کنگلومرای بختیاری	۶
۲۰۰-۱۰۰	۸	۱۲-۳	۵	ماسه‌سنگ کشکان	۶
۳۰۰-۲۰۰	۷	۲۰-۱۲	۹	مارن و آهک	۹
۴۰۰-۳۰۰	۶	۳۵-۲۰	۶	رسوبات آبرفتی	۳
>۴۰۰	۵	۳۵<	۳	کنگلومر	۳
				آهک سروک	۵
	ارتفاع (متر)		کاربری اراضی		
۱۷۵۰-۱۶۰۰	۶	کشاورزی	۹		
۱۹۰۰-۱۷۵۰	۷	جنگل	۴		
۲۰۵۰-۱۹۰۰	۹	مرتفع	۵		
۲۲۰۰-۲۰۵۰	۷				
>۲۲۰۰	۵				

پس از وزن‌دهی به روش کارشناسی، نقشه عوامل به صورت رستری تهیه و طبقه‌بندی (شکل ۴)، سپس به‌عنوان داده‌های اصلی برای تشکیل ماتریس انتروپی استفاده شد. بدین‌منظور، از داده‌های مرتبط با چهارده زمین‌لغزش رخ داده در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. در همین راستا، ماتریس انتروپی برای عوامل تأثیرگذار در لغزش‌های رخ داده تشکیل شد (جدول ۴).



شکل ۴: نقشه عوامل مؤثر بر خطر زمین لغزش در حوضه احمدآباد

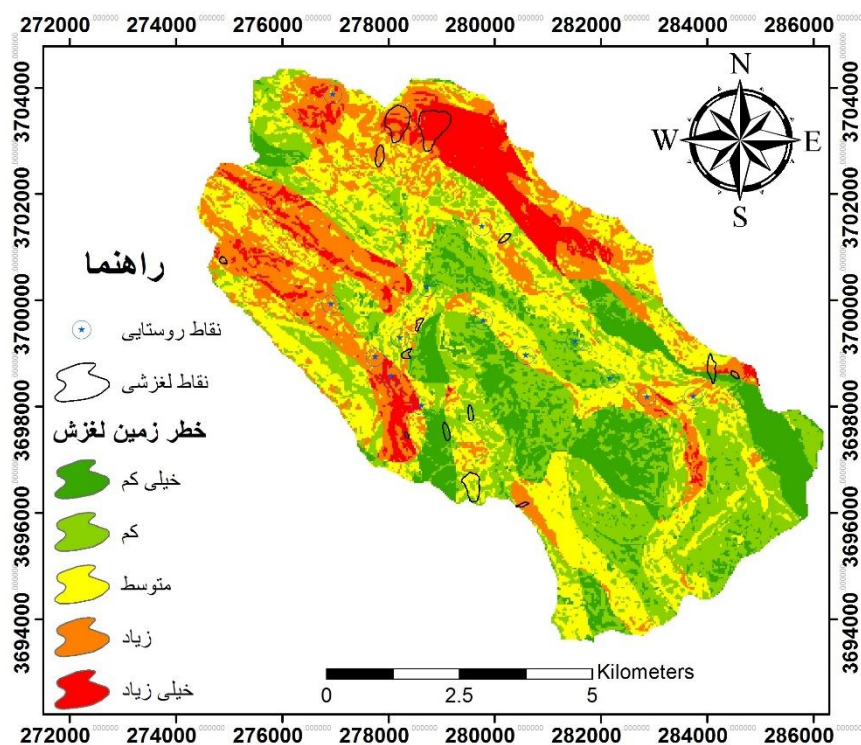
جدول ۴: ماتریس انتروپی برای عوامل نه گانه

شماره زمین لغزش	لیتولوژی	شیب	آبراهه	ارتفاع	گسل	کاربری اراضی	بارش	جاده	چشمه
۱	۹	۹	۹	۹	۵	۹	۸	۵	۹
۲	۶	۵	۵	۹	۵	۹	۸	۵	۹
۳	۵	۹	۶	۷	۵	۹	۸	۵	۸
۴	۷	۳	۵	۹	۵	۹	۸	۵	۵
۵	۳	۵	۹	۷	۵	۹	۶	۷	۵
۶	۳	۶	۷	۶	۵	۹	۶	۹	۵
۷	۳	۵	۷	۶	۵	۹	۶	۸	۵
۸	۷	۹	۹	۶	۵	۹	۶	۹	۵
۹	۳	۹	۵	۶	۵	۵	۶	۵	۵
۱۰	۶	۶	۷	۷	۵	۴	۸	۵	۵
۱۱	۹	۶	۷	۹	۸	۴	۸	۷	۵
۱۲	۹	۶	۶	۷	۵	۴	۸	۹	۵
۱۳	۷	۶	۶	۷	۵	۵	۸	۵	۵
۱۴	۶	۶	۵	۹	۵	۹	۸	۵	۵

در این پژوهش، از مقیاس دوقطبی برای تبدیل مقادیر کیفی و کمی استفاده شد. پس از تشکیل ماتریس انتروپی (r_i, j) و تبدیل شدن این معیارها به عدد صحیح، در گام بعدی با محاسبه روابط و تبدیل مقادیر کیفی به کمی، محتوای اطلاعاتی موجود در ماتریس ابتدا به صورت (p_i, j) به دست آمد و مقدار E_j برای هر کدام از عوامل محاسبه شد. مقدار V_j و W_j نیز با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد (جدول ۵) و در نهایت، مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین لغزش بر اساس رابطه ۶ به دست آمد.

با توجه به رابطه ضریب رخداد خطر زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی این خطر در حوضه مطالعه شده تهیه شد (شکل ۵). بر اساس نتایج به دست آمده به ترتیب $۱۴/۶$ ، $۲۸/۸$ ، $۲۸/۸$ ، $۲۰/۰$ و $۷/۸$ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده با استفاده از روش انتروپی، پس از تهیه نقشه نقاط لغزشی با قطع دادن آن با نقشه خطر لغزش‌های منطقه (شکل ۵)، مساحت لغزش در هر کلاس خطر تعیین و با استفاده از رابطه ۷ دقت روش استفاده شده برآورد شد (جدول ۶). نتایج به دست آمده نشان داد که روش استفاده شده با دقت بیش از ۸۶ درصد، در پیش‌بینی پهنه‌های خطر زمین لغزش دقت بالایی دارد.



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه احمدآباد

جدول ۵: شاخص‌های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در لغزش

شاخص‌های محاسبه شده	آبراهه	ارتفاع	کاربری اراضی	لیتولوژی	بارش	جاده	شیب	چشمه
EJ	۰/۹۹۱۲۲	۰/۹۹۴۷۸	۰/۹۸۱۰۴	۰/۹۷۲۸۳	۰/۹۹۶۶۱	۰/۹۸۷۳۵	۰/۹۸۴۷۹	۰/۹۸۸۲۱
Vj	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۵۲	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۷۱	۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۱۷
wj	۰/۰۷۸	۰/۰۴۶	۰/۱۶۸	۰/۲۴۱	۰/۰۳	۰/۱۱۲	۰/۱۳۵	۰/۱۰۴

جدول ۶: نتایج به دست آمده از ارزیابی روش انتروپی در حوضه احمدآباد

کلاس خطر	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس (ابعاد ۳۰*۳۰ متر)	تعداد پیکسل هر کلاس خطر (ابعاد ۳۰*۳۰ متر)	دقت مدل استفاده شده (درصد)
خیلی کم	۴۸	۱۰۸۲۸	۸۶/۴۱
کم	۸۷	۲۱۲۷۶	
متوسط	۱۵۳	۲۱۲۹۹	
زیاد	۳۲۸	۱۴۷۸۱	
خیلی زیاد	۳۷۸	۵۷۷۸	

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ۹ عامل بررسی شد. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش با استفاده از روش انتروپی نشان داد که عامل لیتولوژی با ۲۴/۱ درصد تأثیرگذاری، در رخداد لغزش‌های منطقه مهم‌ترین نقش را داشت که این امر با مطالعه Safari and Hashemi (2017) مطابقت دارد. نتایج به دست آمده از بررسی هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش در محدوده مطالعه شده به شرح زیر است:

بررسی شیب منطقه نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش، در کلاس ۱۲-۲۰ درجه قرار دارد. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل کاهش نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل تضعیف فرایند خاک‌زایی و در پی آن فقدان مواد مستعد برای وقوع لغزش بر روی دامنه‌ها، احتمال آن کاهش می‌یابد. عامل فاصله از آبراهه نیز با وقوع حرکات توده‌ای رابطه معکوسی دارد. این امر خود بیانگر تأثیر رودخانه‌ها به صورت برداشت تکیه‌گاه جانبی و زیرین دامنه‌ها بر اثر فرسایش و زیرشویی است که در نهایت، به تغییر در هندسه شیب دامنه، برهم خوردن تعادل نیروی مقاوم و افزایش تنش منجر می‌شود. بنابراین بیشترین وزن در محاسبات، به کلاس ۱۰۰-۰ متر اختصاص دارد که با نظرات Pourqasemi و همکاران (2011) و Devkota و همکاران (2013) مطابق است.

نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش، در واحد کشاورزی است که این امر از نقش انسان در تغییر اکوسیستم سرچشمه می‌گیرد.

نتایج به دست آمده از پراکندگی لغزش‌ها نسبت به جاده نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در فاصله ۱۰۰-۰ متری است که این امر، به بالا رفتن حساسیت دامنه‌ها در برابر جاده‌سازی بازمی‌گردد و با مطالعات Pourqasemi و همکاران (2011) و Silakhori و همکاران (2021) مطابقت دارد.

بررسی ارتباط بین طبقات ارتفاعی و نقشه پراکنش لغزش‌ها نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش در طبقات ۱۹۰۰-۲۰۵۰ متر است و در ارتفاعات بالاتر به علت کمبود شرایط مناسب برای پدیده خاک‌سازی، لغزش‌های کمتری رخ داده که با مطالعات Moradi و همکاران (2010) و Silakhori و همکاران (2021) مطابقت دارد.

نتایج به دست آمده از بررسی پراکندگی لغزش‌ها نسبت به فاصله از چشمه نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش، در فاصله ۱۰۰-۰ متری است که علت آن، کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی شیب‌ها به دلیل نفوذ آب چشمه‌ها در رسوبات اطراف است.

نتایج به دست آمده از بررسی عامل بارندگی نشان داد که با افزایش مقدار باران، حساسیت نسبت به لغزش افزایش می‌یابد و می‌توان گفت که علت آن، جذب آب بیشتر توسط خاک‌های رسی و کاهش مقاومت برشی خاک است.

بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان داد که به دلیل حساسیت لایه‌های ماری و آهکی در برابر لغزش - به دلیل جذب آب بالا و تغییر حجم - این واحد در برابر زمین‌لغزش حساسیت بیشتری داشت.

بر اساس نتایج به دست آمده، بیش از ۵۶ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه در پهنه‌های خطر متوسط به بالا واقع است که بر پرمخاطره بودن منطقه از نظر خطر زمین‌لغزش حکایت دارد. این پهنه‌ها بیشتر منطبق با مناطقی در شمال و غرب حوضه است که علت آن به لیتولوژی حساس و مستعد بودن شیب این مناطق برای رخداد زمین‌لغزش بازمی‌گردد.

نتایج حاصل از انطباق نقشه مناطق روستایی و راه‌های ارتباطی منطقه نشان داد که ده روستا در پهنه‌های خطر متوسط به بالا قرار دارد و بخش زیادی از طول راه‌های ارتباطی نیز در مناطق خطر واقع شده‌اند. بنابراین، پرهیز از هر گونه ساخت و ساز در این نواحی و به کار بردن عملیات ایمن‌سازی برای روستاها و مسیرهای ارتباطی ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج حاصل از ارزیابی مطالعه انجام شده با استفاده از شاخص جمع مطلوبیت نشان داد که روش انتروپی در شناسایی مناطق خطر زمین‌لغزش عملکرد مناسبی دارد. پس پیشنهاد می‌شود از نتایج به دست آمده در تصمیم‌گیری و مدیریت کاربری زمین و برنامه‌ریزی منطقه‌ای استفاده شود.

منابع

1. Arabameri, A., & K. Shirani., (2016). Identification of effective factors on landslide occurrence and its hazard zonation using Dempster-Shafer theory, case study: Vanak basin, Isfahan province. *Watershed Engineering and Management*. 8(1), 93-106. (In Persion).
2. Devkota, K.; Chandra, R.; Amar, D.; Pourghasemi, H. R.; Y.Kohki Pradhan, R.; & R. Biswajeet, 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya, *Natural Hazards*, 65(1), 135-165.
3. El Bchari, F.; Theilen-Willige, B.; & H. Ait Malek, 2019. Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at the coastal area of Safi (Morocco), *29th International Cartographic Conference*, Tokyo, Japan, pp. 1-7.
4. Entezari, M., & T. Jalilian., (2019). Ranking sub watersheds based on landside hazard in Kermanshah province (Iran) using ELECTRE I, *Hydrogeomorphology*, 6(18), 19-38. (In Persion).
5. Ildoromi, A., & H. Rouzbahani., (2014). Zoning slope instability risk by using LNRF modeling (in Kalan basin of Malayer). *Geography and Planning*. 18(48), 37-60. (In Persion).
6. Kerekes, A. H.; Poszet, S. L.; & A. Gal, 2018. Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj–Napoca Municipality, Romania, *Revista de Geomorphology*, 20, pp. 130-146.
7. Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.
8. Lan, H. X.; Zhou, C. H.; & L. J. Wang, 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China, *Engineering Geology*, 76(1-2), 109-128.
9. Mirsanjari Mirsanjar, M. M.; Ildoromi, A.; Abedian, S.; & A. Alimohamadi, 2019. Landslide hazard zonation using LNRF model (case study: Ghomroud- Aligudarz basin), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 109-130. (In Persion).
10. Moghimi, E.; Bagheri seyedshokeri, S.; & T. Safarrad, 2012. Zoning of landslide hazard using Entropy model, (case study: Nesar Anticline at northwest Zagros), *Physical Geography Research Quarterly*, 44(1), 77-90. (In Persion).
11. Mohammadkhan, Sh.; Veisi, A.; & K. Bagheri, 2014. Feasibility of landslide risk using Entropy model, case study: (Shirpnah mountainous region in South West Kermanshah Province), *Quarterly Geographical Journal of Territory*, 11(44), 89-103. (In Persion).
12. Moradi, H. R.; Mohammadi, M.; Poorghsemi, H. R.; & R. Mostafazade, 2010. Landslide risk analysis in Golestan province using Dempster-Schiffer theory, *Journal of Earth Sciences Research*, 1(3), 1-14.(In Persion).

13. Nojavan, M. R.; Shahzeidi, S. S.; davudi, M.; & H. Aminroaya, 2019. Zonation of landslide risk using Fuzzy and AHP model (case study: Komeh Basin, Isfahan province), *Quantitative Geomorphological Research*, 7(4), 142-159. (In Persion).
14. Pandey, D. D.; Banshtu, R. S.; Mahajan, A. K.; & D. D. Laxmi, 2021. The comparison between certainty factor method and index of Entropy method for landslide hazard assessment: south western Chamba district, Himachal Pradesh, India, *Research Square*, <https://orcid.org/0000-0002-1085-729X>.
15. Pourqasemi, H. R.; Mohammadi, M.; Mostafazadeh, R.; & A. Golijirand, 2011. Landslide risk zoning using Bayesian theory, *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 16(4), 109-120. (In Persion).
16. Razavi Termeh, V.; & K. Shirani., (2018). Landslide hazard zoning using frequency ratio, entropy methods and TOPSIS decision-making methods (Case study: Fahliyan basin, Fars). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 9(4), 119-138. (In Persion).
17. Roustaie, Sh.; Mokhtari, D.; & Z. Ashrafi Fini, 2020. Landslide hazard zonation in Taleghan watershed using Shannon Entropy index, *Geography and Planning*, 24(71), 125-150. (In Persion).
18. Safari, A., & M. Hashemi., (2017). Sensitivity mapping of landslide occurrence by entropy and fuzzy logic models case study: Kermanshah city. *Physical Geography Quarterly*. 9(34), 43-62. (In Persion).
19. Shahzeidi, S., & M. Ghanbari., (2019). A survey of landslides in central zagros using entropy model case study (Aradal-Naghan region). *Geography and Environmental Planning*. 29(4), 51-68. (In Persion).
20. Silakhori, Z.; Vahabzadekebriya, G., & H. R. Poorghasemi, 2021. Landslide Hazard Assessment Using Dempster-Shafer Model (Case study; part of Talar watershed), *Environmental Erosion Research Journal*, 11(3), 82-98. (In Persion).
21. Soori, S.; Lashkaripour, K. H.; Ghafoori, M.; & T. Farhadynejad, 2012. Landslide hazard zonation using artificial neural networks A case study: Keshvari watershed (Nozhiyan), *Journal of Engineering Geology*, 5(2), 1269-1286. (In Persion).
22. Vineetha, P.; Sarun, S.; & A. M. Sheela, 2019. Landslide Susceptibility Analysis Using Frequency Ratio Model in a Tropical Region, South East Asia, *Environment and Earth Science International*, 22(2), 1-13.
23. Wang, Q.; Li, W.; Wu, Y.; Pei, Y.; & P. Xie, 2016. Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China), *Environmental Earth Sciences*, 75(7), 599.
24. Zongji, Y.; Jianping, Q.; & Z. Xiaogang, 2010. Regional landslide zonation based on entropy method in Three Gorges area, China. In *Proceedings of the Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, Yantai, China, 10-12, pp. 1336-1339.

Use of Entropy Theory in Analysis of Landslide Controlling Factors and Zoning of its Occurrence Hazard in Ahmadabad Basin, Lorestan Province

Siamak Baharvand¹: Associate Professor, Department of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Vahab Amiri: Assistant Professor, Department of Geology, Yazd University, Yazd, Iran

Salman Soori: MS.c, Engineering Geology, Zamin Kavan South Company, Tehran, Iran

Article History (Received: 2021/12/21

Accepted: 2022/04/29)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.6.7

Extended abstract

1- Introduction

Landslides are one of the most alarming disasters that can cause severe damages to human lives and properties each year. This natural phenomenon can destroy or damage a variety of engineering and human structures, including residential areas, roads, gas pipelines, water and power lines, forests and pastures, agricultural lands and mines. In addition, the social and environmental impacts of this phenomenon such as adverse social effects and increase in the sediment load of rivers should not be overlooked. Due to its mainly mountainous topography, high tectonic activity and seismicity, diverse climatic, and geological conditions, Iran has mainly natural conditions to create a wide range of landslides. So, along with the many natural benefits that exist, the risks involved should not be ignored. The existence of large Zagros faults, alternation of calcareous hard layers and loose marl shale layers in the large anticlines have created favorable conditions for instability of natural slopes throughout Lorestan province. Therefore, this study aimed to prioritize the factors affecting landslide and its risk zonation by using the entropy method in the Ahmadabad basin, Lorestan province.

2- Methodology

In this study, 8 factors including slope, lithology, precipitation, land use, elevation, and distance from springs, roads and streams were prepared and quantified as factors affecting landslides. According to the characteristics of the landslides of Ahmadabad basin and expert opinion, each layer was given a score of 1 to 9 based on its importance in occurrence or intensification of landslides. After the classification of layers, the entropy matrix was created. Calculating the entropy matrix and the total weight of the factors (w_j) gives the coefficient of occurrence of landslide risk (H_i). The entropy model is expressed as follows.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n p_{i,j} \ln p_{i,j} \quad (1)$$

$$p_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{\sum_{i=1}^m r_{i,j}} \quad (2)$$

where, E_j is the entropy value, p_{ij} is the decision matrix, and r_{ji} is the weight value of each layer, M is the number of landslides, and K is a constant coefficient.

After providing the decision matrix and obtaining the value of E_j , the value of V_j is obtained from Eq. 4.

$$k = (\ln m)^{-1} \quad (3)$$

$$V_j = 1 - E_j \quad (4)$$

V_j is the degree of uncertainty deviation. The Eq. 5 is used to calculate the final weight of all factors (w_j).

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (5)$$

¹ Corresponding Author: Sbbaharvand53@gmail.com

After that, the landslide hazard zonation in the studied basin is evaluated using Eq. 6.

$$H_i = \sum_{j=0}^n W_j * r_{i,j} \quad (6)$$

3- Results

In this research, a bipolar scale is used to convert quantitative and qualitative values. After providing the entropy matrix and converting these criteria to an integer, by calculating the relationships and converting the quantitative values to quantitative ones, the information content in the matrix was first obtained as (p_i, j) and, then, the value of E_j is calculated for each factor. The values of V_j and W_j were also calculated using Eqs 4 and 5, and, finally, the regional model of the landslide hazard rate was obtained based on Eq. 6.

Based on the relationship of the landslide risk coefficient, a landslide hazard zonation map has been prepared for the studied basin. Based on the results and in respect with 14.6%, 28.8%, 28.8%, 20.0% and 7.8% of the area were classified as very low, low, medium, high and very high, respectively. Then, the landslide area in each hazard class was determined and the accuracy of the entropy method was estimated using the additive utility method (AUM). The results showed that the accuracy of the method used in predicting landslide hazard zones is about 86%.

4- Discussion & Conclusions

In this study, 8 factors have been investigated for zoning landslide risk. Prioritizing the factors affecting landslide using the entropy method shows that three factors including lithology, land use and slope with 24.1, 16.8 and 13.5% of impact have the most important role in landslide occurrence.

Based on the results, more than 56% of the study area is located in medium to high-risk zones, indicating a significant potential for landslide hazards. These zones are mainly located to the north and west of the region, which can be attributed to the sensitive lithology and slope susceptibility of these areas to landslide events. Also, according to the results, 10 villages are located in high to medium risk zones and most of the roads are located in these risk zones.

Therefore, it is necessary to avoid any constructions and increase safety of the existing structures in these areas. The results of the present study showed that the entropy method is suitable for identifying hazardous areas, so it is recommended to use the obtained results in land use decision making and management and regional planning.

Key Words: Lorestan Province, Zoning, Ahmadabad Basin, Entropy Method, Landslide.