پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

امیر صفاری
دانشیار دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
معصومه هاشمی*
دانشجوی دکتری دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۳/۱۲

چکیده
ارزیابی زمین به‌منظور شناخت و پهنه‌بندی عرصه‌های حساس به حرکت‌های دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش از پژوهش‌های مربوط به جغرافیدانان طبیعی به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌ها است. شناسایی و تعیین مناطق حساس و مستعد لغزش می‌تواند ضمن جلوگیری از بروز آسیب‌ها، زمینه را برای اجرای طرح‌های پایدار سازی دامنه‌ها فراهم آورد. در پژوهش حاضر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از دو روش مدل آنتروپی و روش منطق فازی انجام شده است بر اساس مطالعات، نه پارامتر لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و بارش مهم‌ترین پارامترهای احتمالی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه، تشخیص داده شدند، با انطباق لایه‌های اطلاعاتی این عوامل بر نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه بررسی شده در محیط GIS، اثر هر یک آر عوامل در رخداد زمین‌لغزش‌ها ارزیابی شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از نه پارامتر تهیه شد. ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد که مدل فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۹۰٪ روش کارامد تری نسبت به مدل آنتروپی با مقدار شاخص ۵۰٪ در برآورد خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، مدل آنتروپی، فازی، کرمانشاه.

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ای مخاطرات مهمی برای فعالیت‌های انسانی هستند که اغلب سبب از دست رفتن منابع اقتصادی، آسیب به اموال و تأسیسات می‌شوند. این مخاطرات در شیب‌های طبیعی و یا شیب‌های که به دست انسان تغییر یافته‌اند اتفاق می‌افتد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳). زمین‌لغزش‌ها در دنیا هرساله آسیب‌های زیادی به مناطق مسکوتی، جاده‌ها، تأسیسات، زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها، مراتع و غیره وارد می‌کند (بلادپس، ۱۳۸۸: ۵۲). زمین‌لغزش به حرکت نسبتاً سریع مواد دامنه اعم از خاک و سنگ اطلاق می‌شود که تحت تأثیر مستقیم نیروی ثقل به‌طرف پایین

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۸۳۱۸۲۳۹ E-mail: Masoomehhashemi66@gmail.com

صورت می‌گیرد. طبق این تعریف، خزش (به علت کند بودن)، فرونشست (به علت دامنه‌ای بودن آن) پدیده‌های مرتبط با یخ‌زدگی و توده‌های حرکت کرده توسط آب یا باد (به علت مستقیم نبودن تأثیر ثقل در حرکت آن‌ها) زمین‌لغزش محسوب نمی‌شوند (Coates,1977:6).

سابقه‌ی مطالعات و پژوهش‌ها در مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در کشورهای توسعه‌یافته به دهه ۶۰ میلادی باز می‌گردد (کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۲) لغزش جزو آن دسته از پدیده‌های ژئومورفولوژی است که اکثراً یکی از بزرگ‌ترین عوامل مزاحم برنامه‌های عمرانی در کلیه زمینه‌ها به شمار می‌آید (رجایی،۱۳۸۷) این پدیده ژئومورفولوژیکی تحت تأثیر باران شدید، فعالیت‌های آتش‌فشانی و زلزله است و عوامل ذکر شده اهرم تشدید کننده عمل می‌نمایند (Dai Blochl Braun, et al, 2002, 2005) زمین‌لغزش یکی از فرایندهای اصلی زمین ریختی و حرکت‌های دامنه‌ای است که تکامل چشم انداز مناطق کوهستانی را تحت تأثیر قرار داده است (Roering et al.2005).

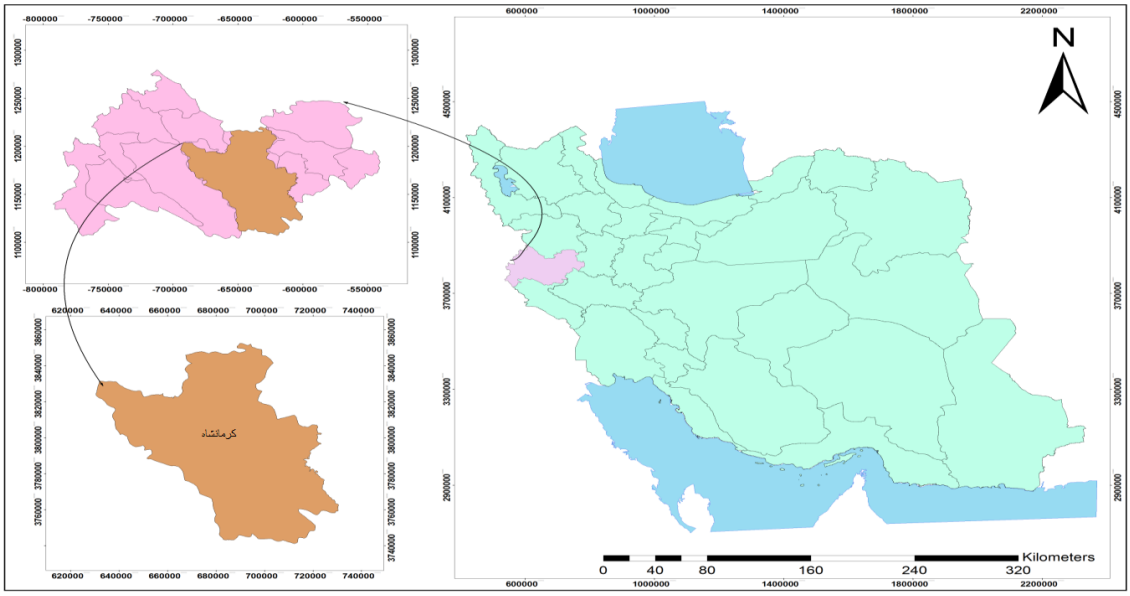
در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل‌های تجربی، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجه‌های بالفعل و یا بالقوه خطر، از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کنند (نادری و کریمی، ۱۳۹۰ :۹۷)، این فرایند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌توان مبنایی برای اقدام‌های بعدی و برنامه‌ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای، ناحیه‌ای و ملی محسوب شود (سیار پور، ۱۳۷۸ :۳۲). بررسی پدیده زمین‌لغزش جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از یک‌سو به‌منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین‌لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سویی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌ها و سکونتگاه‌های جدید و سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده، مسیرهای انتقال نیرو، نیروگاه و غیره در مقیاس‌های مختلف موردتوجه برنامه ریزان قرار دارد (سفیدگری و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۸۰-۵۷۴).

با توجه به این‌که از بین انواع مخاطرات طبیعی، پدیده زمین‌لغزش مدیریت پذیر تر است. لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن و همچنین برای استفاده از تأسیسات اقتصادی و زیر بنایی، شناخت کامل از محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن نسبت به تشدید و تسهیل لغزش‌ها جلوگیری نمود و لذا برنامه‌ریزی دقیق و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط به ساخت و ایجاد تأسیسات زیر بنایی اقدام کرد (امیر احمدی، ۱۳۸۹: ۱۸۳). همچنین تفکیک مناطق از لحاظ پایداری و ناپایداری و استعداد اراضی به زمین‌لغزش در اجرای پروژه‌های عمرانی به‌ویژه برای ساخت و سازهای شهری مهم است (عابدینی، ۱۳۹۰، ۶۹). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها، اراضی زراعی و حتی مرگ و میرهای انسانی می‌شود (قنبر زاده و بهنیافر، ۱۳۸۸: ۱۰۴) ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، از عمده شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها برخوردار است (علیجانی، قهرودی و امیر احمدی، ۱۳۸۶، ۱۱۷). شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به شمار می‌رود و در مدیریت حوضه آبخیز نقش انکار نشدنی دارد (,kanungo sakar &

Mehrotar,1995:302). تا به امروز روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه‌شده است. به‌طور کلی تمام روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را می‌توان در سه رهیافت کلی در نظر گرفت رهیافت کمی، رهیافت کیفی و هوش مصنوعی، رهیافت کیفی بر پایه قضاوت‌های متخصص و یا گروهی از متخصصان قرار دارد در حال که رهیافت کمی بر پایه ریاضیاتی و به دور از قضاوت‌های متخصصان است. در روش کیفی، برای تخمین خطر از ارزیابی‌های متخصص استفاده می‌شود. در ساده‌ترین شکل متخصصان روش‌های کیفی، پهنه‌بندی خطر به شکل مستقیم در صحرا را انجام می‌دهند. این روش طی دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ به شکل گسترده‌ای استفاده شده است. در یکی دیگر از روش‌های آنالیز کیفی، متخصصان عوامل کنترل کننده زمین‌لغزش را در نظر می‌گیرند. این عوامل با توجه به پژوهش‌ها و تجربه‌های متخصصین، اولویت‌بندی، امتیاز دهی و وزن‌دار می‌شوند. در این صورت سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند برای هم‌پوشانی نقشه‌های وزن‌دار استفاده شود (عطاپور و همکاران، ۱۳۹۳). پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌ها است (جعفری، ۱۳۷۵، ۱۴۲). زمین‌لغزش همواره در سطح جهان موجب مرگ‌ومیر سالانه هزاران نفر و آسیب‌های سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می‌شود آنچه مشخص است وضعیت استان کرمانشاه به خصوص در مناطق کوهستانی و تشکیل شده از سازندهای سست و تکتونیزه طوری است که امکان حرکت‌های بزرگ دامنه‌ای دور از انتظار نیست به همین لحاظ بایستی از اکنون سعی در بررسی دقیق سطح استان و شناسایی لغزش‌های موجود و پتانسیل‌های لغزشی کرد تا بتوان شاهرگ‌های حیاتی را از مناطقی با کمترین خطر لغزش عبور داد تا از آسیب‌های که در آینده ممکن است حاصل شود و جبران ناپذیر هم باشند جلوگیری به عمل آورد. در این راستا ضرورت دارد با انجام پهنه‌بندی و ارزیابی پتانسیل خطر لغزش و تعیین مدل مناسب برای پهنه‌بندی با استفاده از مدل فازی و آنتروپی در منطقه کرمانشاه، ضمن ارائه راهکارهایی به‌منظور کاهش آسیب، تمهیدات مناسبی برای برنامه‌ریزی محیطی و منطقه‌ای در شهرستان کرمانشاه فراهم شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه در غرب ایران در منطقه کوهستانی زاگرس و در میان رشته کوهه‌ای کشیده و موازی زاگرس در ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهر در ارتفاع متوسط ۱۳۲۲ متر از سطح دریا بر کنار رود قره سو قرار گرفته است. از مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر شکل‌گیری و تکامل شهر کرمانشاه قرار گیری شهر در یک دشت حاصل‌خیز است. این دشت دارای یک مرکزیت برای دشت‌های حاصل‌خیز اطراف چون ماهی دشت، سنجابی، میان دربند و بالا بند است. دشت کرمانشاه علاوه بر این بر سر راه ارتباطی فلات ایران و بین‌النهرین قرار گرفته و همواره به آن اهمیت ارتباطی ویژه‌ای بخشیده است در مجموع ویژگی‌های محیطی مساعد و مناسب دشت کرمانشاه در شکل‌گیری و تکوین شهر مؤثر بوده است (پیشگاهی فرد و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه منبع: نگارندگان

داده‌ها و روش‌ها

با توجه به موضوع و هدف پژوهش که پهنه‌بندی خطر لغزش در سطح شهرستان کرمانشاه است داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، بارش، زمین‌شناسی، شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، جهت شیب، کاربری اراضی پارامترهایی هستند که بر پهنه‌بندی لغزش در شهرستان کرمانشاه مؤثر بوده و برای انجام این پژوهش انتخاب شده‌اند. برای تهیه این لایه‌ها از داده‌ها و اطلاعات اولیه، بر اساس پژوهش‌های پایه و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه، اطلاعات لازم برای ادامه پژوهش‌های از طریق نقشه‌های پایه‌ای موجود از جمله نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه ۱:۲۵۰۰۰ شامل توپوگرافی، آبراهه‌ها، پراکنش سطحی زمین‌لغزش و همچنین نقشه ۱:۲۵۰۰۰ عوارض نو زمین‌ساخت ارائه‌شده به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شامل اطلاعات توپوگرافی، کاربری اراضی، جاده‌ها، آبراهه‌ها و مناطق مسکونی و سایر نقشه‌های موجود استفاده شده است. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و اجرای مدل‌ها از نرم‌افزار ARCGIS با توجه به قابلیت آن در تحلیل داده‌های مکانی، کمک گرفته‌شده است.

– داده‌ها و لایه‌های مورد استفاده

فاصله از گسل: وجود گسل عامل ثانویه و متغیر مستقل، در ایجاد حرکت‌های توده‌ای بسیار قابل‌توجه است. با توجه به این‌که مسیر گسل‌های بالقوه بر نقاط پایدار زمین می‌باشند و همچنین به دلیل گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خرد شدن توده‌های سنگی عموماً در مسیر سیستمی از درزها و شکاف‌ها ایجاد می‌شود و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردد (روز بهانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۵). از آن نظر که میان فاصله

از گسل و تأثیر آن در وقوع زمین‌لغزش، رابطه معکوسی وجود دارد. لذا با افزایش فاصله از گسل دامنه ارزش اختصاص داده شده به این معیار کاهش داده می‌شود و برعکس با نزدیک شدن به گسل دامنه ارزش فازی به تدریج افزایش داده شد.

لیتولوژی: بررسی نوع لیتولوژی هر منطقه یک نوع بستر تشکیل حرکت‌های دامنه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از نظر چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، رخنمون‌های از سنگ‌های کرتاسه تا پلیو کواترنر دیده می‌شوند که عبارت‌اند از سازند امیران، سازند تله زنگ، سازند شهبازان، سازند آسماری، سازند آقاجاری، سازند بختیاری و دوران چهارم است نهشته‌های این دوران بیشتر شامل پادگانه‌های آبرفتی، مواد منفصل جدید سطح دشت‌ها و نیز مواد کوه رفتی می‌باشد.

کاربری اراضی: منظور از کاربری نوع و نحوه‌ی استفاده از زمین در حال حاضر است به‌طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات محیطی، به‌ویژه ایجاد و تشدید حرکت‌های دامنه‌ای ایفا می‌کند و انواع مختلف کاربری‌ها عملکردهای متفاوتی در ناپایداری دامنه‌ها دارند. نوع کاربری اراضی در سطح شهرستان به ۸ نوع مناطق مسکونی، اراضی آبی، اراضی دیم، اراضی دیم پراکنده، اراضی آبی دیم، اراضی مرتعی، اراضی جنگلی، برون‌زدگی سنگی، اراضی زهدار و بایر تقسیم می‌شود. به ترتیب کاربری دیم، زراعی، مرتع، مسکونی، جنگلی و رخنمون‌های سنگی دامنه ارزشی بالا تا کم را دریافت کردند.

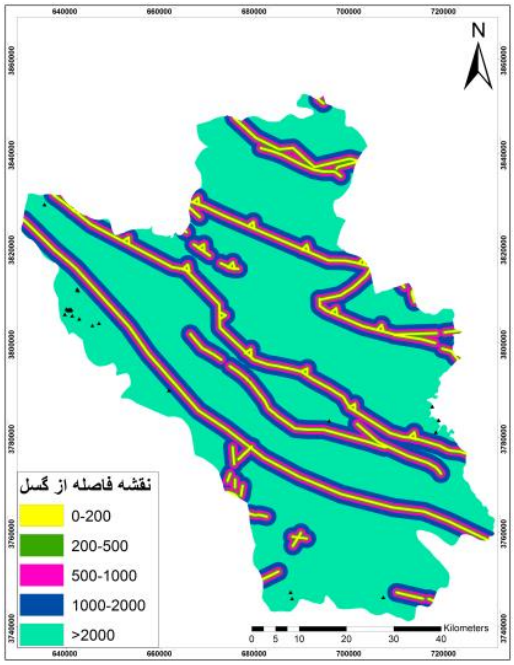
فاصله از جاده: در حالت کلی بررسی عامل فاصله از جاده، به دلیل زیری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در مطالعه‌ی وقوع حرکت‌های دامنه‌ای نقش بسیار مهمی دارد. در شهرستان کرمانشاه احداث راه‌ها یکی از مهم‌ترین عواملی است که منجر به ایجاد زمین‌لغزش می‌شود.

شیب: وجود شیب در دامنه‌ها، اساس حرکت‌های توده‌ای مطرح است. وجود این عامل به‌صورت بحرانی، نقش تأثیرگذار عوامل دیگر، در حرکت‌های توده‌ای را تشدید می‌نماید. در حوضه مورد مطالعه، میزان شیب در قسمت کم ارتفاع و دشت، بین ۰–۱۵ درصد، در نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف بر دره‌ها بین ۴۵–۶۰ درصد و در برخی نقاط کوهستانی حتی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز می‌باشد.

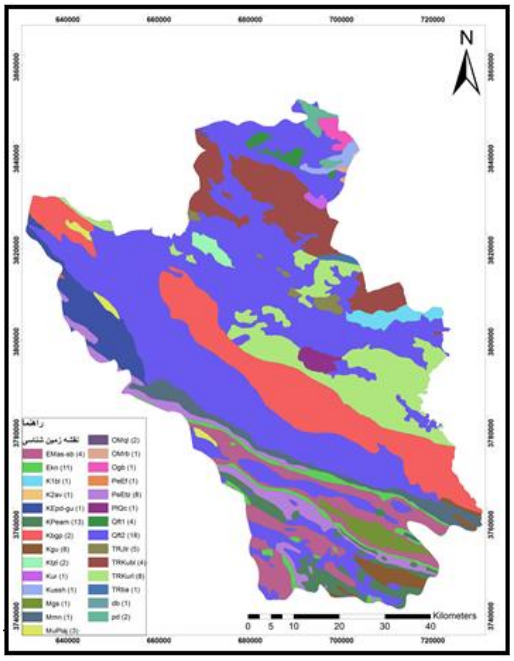
جهت شیب: جهت شیب نقش غیر قابل انکاری را در میزان و نوع هوازدگی سنگ‌ها، جذب و دریافت انرژی خورشیدی، تراکم پوشش گیاهی و میزان رطوبت ایفا می‌کند. این عامل یکی از عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای مد نظر قرار گرفته می‌شود.

بارش: در میان عوامل هیدرو اقلیم، بارش از اهمیت فراوانی بر خوردار است. بارش با تأثیر بر روی فشار آب منفذی و سطح آب زیر زمینی، افزایش بار دامنه و زیر شویی و از بین بردن تکیه گاه‌های جانبی که یک عامل محرک در وقوع حرکت‌های توده‌ایاست عمل می‌کنند (کورکی نژاد، ۱۳۸۴: ۲۸). جهت پهنه‌بندی لغزش با توجه به نقش بارش و شکل‌گیری لغزش مناطق با بارش زیاد عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع حوضه گسترده شده‌اند ارزش زیاد و مناطق با بارش کم دامنه ارزشی کمی دریافت می‌کنند.

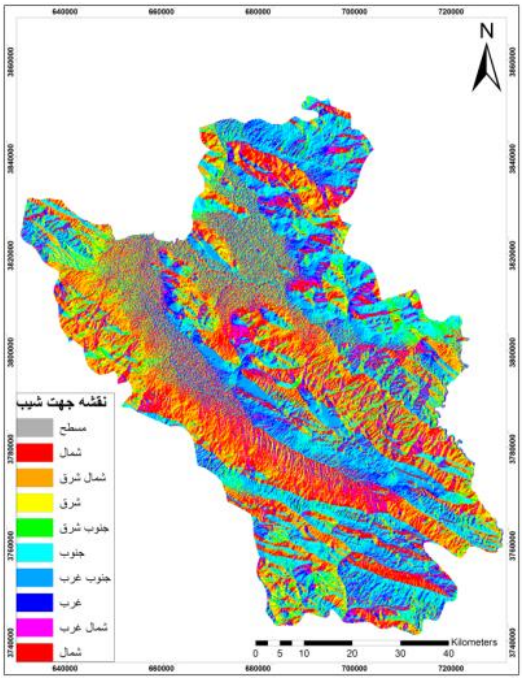
فاصله از شبکه آبراهه: آب‌هایی که بر سطح دامنه (رواناب‌ها) و آب‌هایی که در بین مواد نفوذ می‌کنند از عوامل تحریک‌کننده مواد دامنه‌ای هستند. هرجایی که شیب دامنه‌ها افزایش زیادی داشته باشد و جنس سازندها نیز مناسب باشد، آبراهه‌ها با زیر شویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد انواع حرکت‌های توده‌ای، مخصوصاً لغزش نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند نواحی مستعد جهت ایجاد زمین‌لغزش که منطبق بر فواصل نزدیک به شبکه آبراهه حوضه مورد مطالعه است دامنه ارزشی بالایی دارند



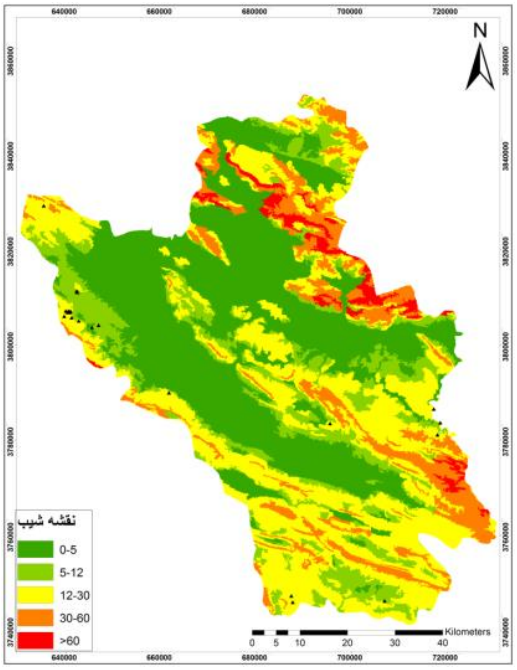
شکل ۲: نقشه فاصله از گسل محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



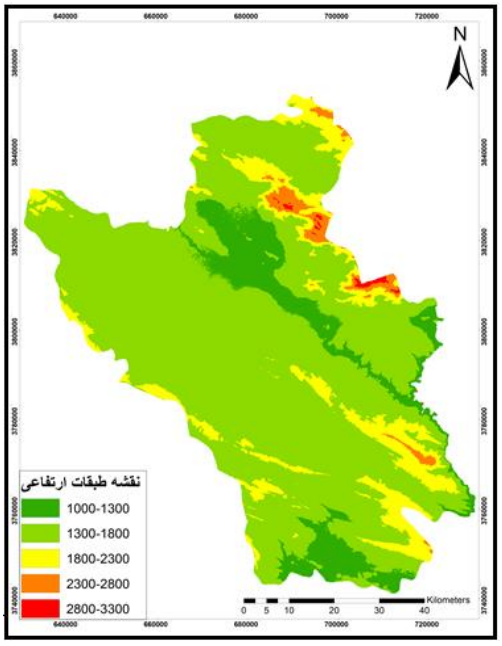
شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



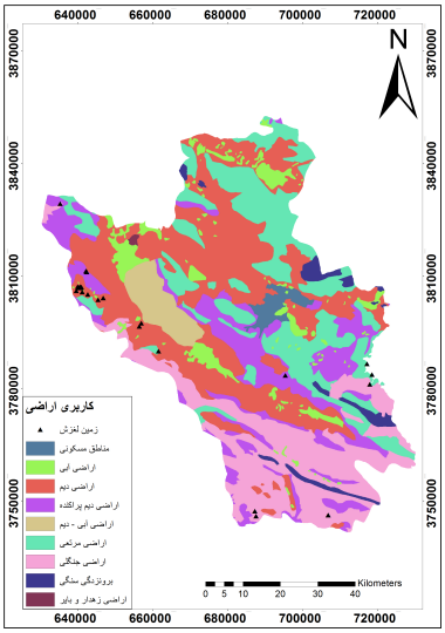
شکل ۴: نقشه جهت شیب محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



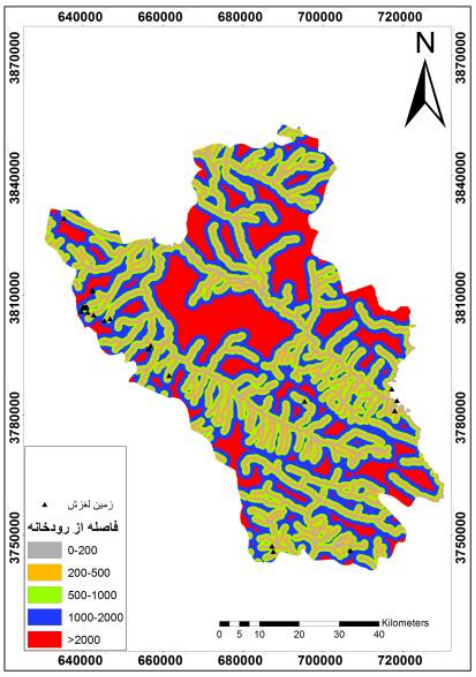
شکل ۵: نقشه شیب محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



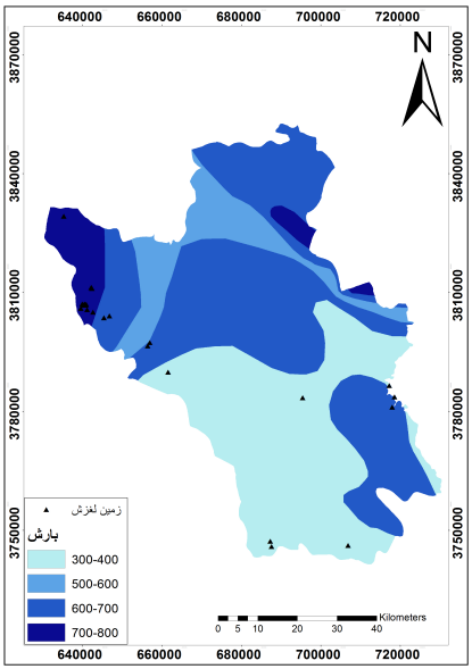
شکل ۶: نقشه طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه. منبع: نگارندگان



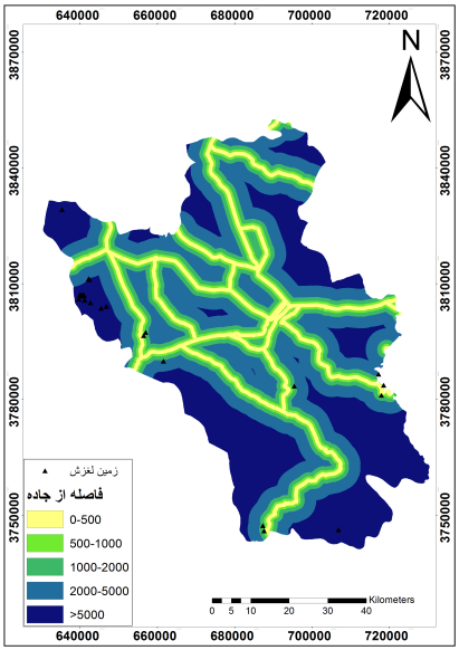
شکل ۷: نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



شکل ۸: نقشه فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



شکل ۹: نقشه بارش محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان



شکل ۱۰: نقشه فاصله از جاده محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان

روش‌شناسی پژوهش

مدل فازی

فازی: نظریه فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پرفسور لطفی عسگر زاده دانشمند ایرانی‌تبار و استاد دانشگاه برکلی آمریکا عرضه شد. نظریه فازی، نظریه‌ای است برای اقدام در شرایط عدم اطمینان این نظریه مفاهیم و متغیرهای نادقیق و مبهم به شکل ریاضی در می‌آورد (مؤمنی، ۱۳۸۷: ۱۸۷) این نظریه در برابر منطق کلاسیک مطرح‌شده است منطق کلاسیک هر چیزی را بر اساس یک سیستم دودویی نشان می‌دهد (درست یا غلط، صفر و یک، سیاه‌وسفید)، ولی منطق فازی هر چیزی را با یک عددی که مقدار آن بین صفر و یک است را نشان می‌دهد. برای اجرای تکنیک فازی نیاز به عملگرهای نظیر OR,AND,PRODUCT,SUM,GAMMA می‌باشد.

ملاک امتیاز دهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخداده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) به دست می‌آید. برای اجرای این مدل ابتدا برای هریک از لایه‌های به کار رفته با توجه به نوع رابطه و تأثیرشان روی لغزش، توابع عضویت تعیین شد و پس از شناخت پارامترهای نه گانه مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و بررسی ارتباط این عوامل با زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده، جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از اپراتورهای چهار گانه منطق فازی استفاده گردید که این اپراتورها به شرح ذیل می‌باشند:

اپراتور اشتراک فازی

این عملگر از تابع مینیمم در همپوشانی استفاده می‌کند و معادل اشتراک است و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$\mu_c(X) = \min\{\mu_1(X), \mu_2(X), \ldots, \mu_n(X)\}$$

رابطه (۱)

اپراتور جمع جبری فازی

این عملگر از تابع ماکزیمم در ترکیب استفاده می‌کند و معادل اجتماع است و به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد:

$$\mu_c(X) = \max\{\mu_1(X), \mu_2(X), \ldots, \mu_n(X)\}$$

رابطه (۲)

اپراتور ضرب جبری فازی

در این عملگر تابع عضویت فازی به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$\mu_c(X) = \prod_{i=1}^{n} \mu i(X)$$

رابطه (۳)

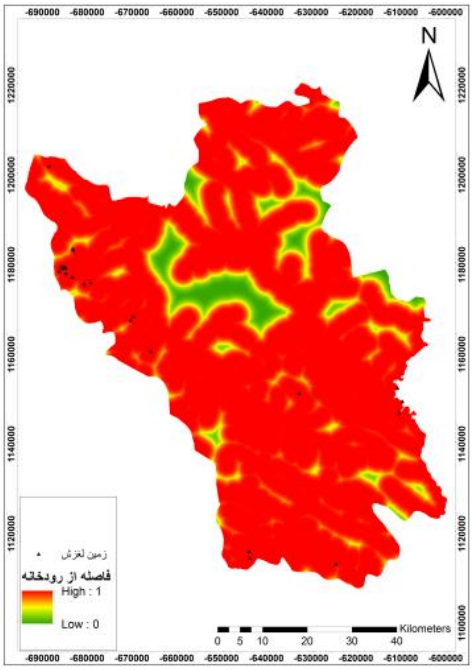
اپراتور فازی گاما

این عملگر برحسب حاصل‌ضرب جمع جبری و حاصل جمع جبری فازی و بر اساس رابطه (۴)تعریف می‌گردد:

$$\mu_c = \left(\prod_{i=1}^{n} \mu i(X)\right)^{\gamma} \times \left(1 - \mu(x)\right)^{1-\gamma}$$

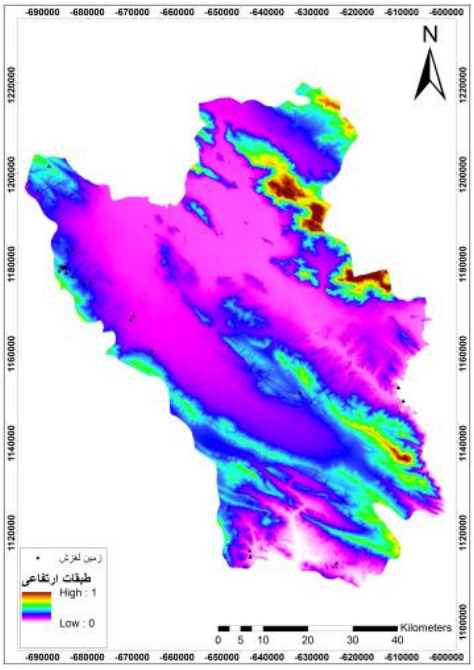
رابطه(۴)

در این رابطه، پارامتر تعیین‌شده در محدوده صفر و یک است.



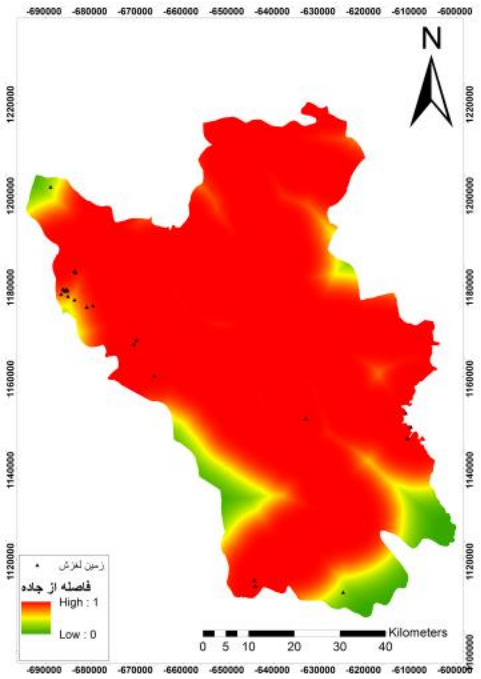
شکل ۱۱: نقشه فازی شده فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه.

منبع: نگارندگان



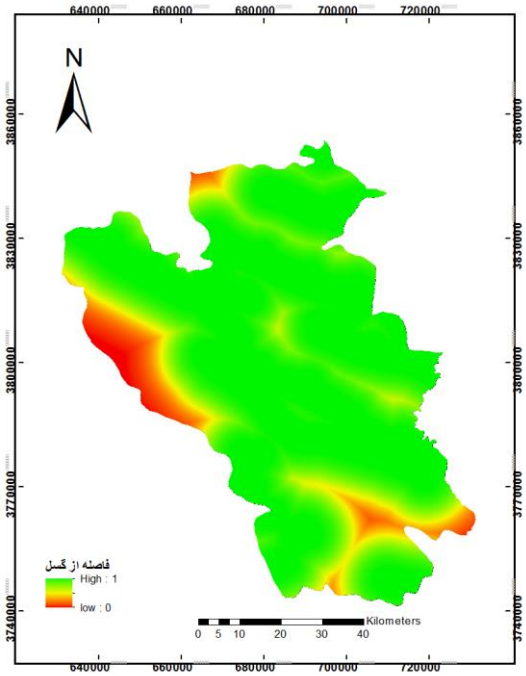
شکل ۱۲: نقشه فازی شده طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



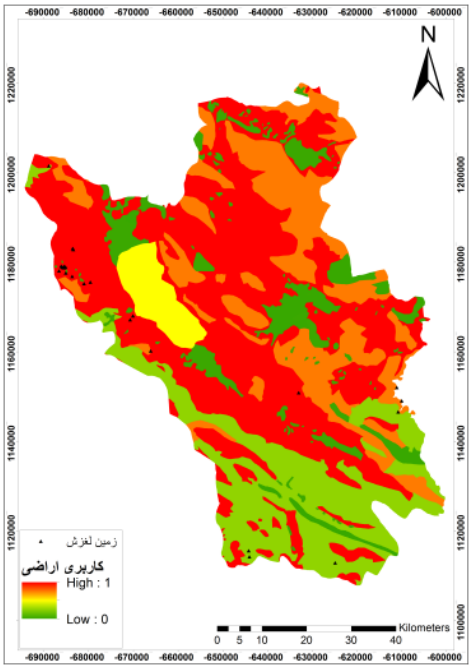
شکل ۱۳: نقشه فازی شده فاصله از جاده محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



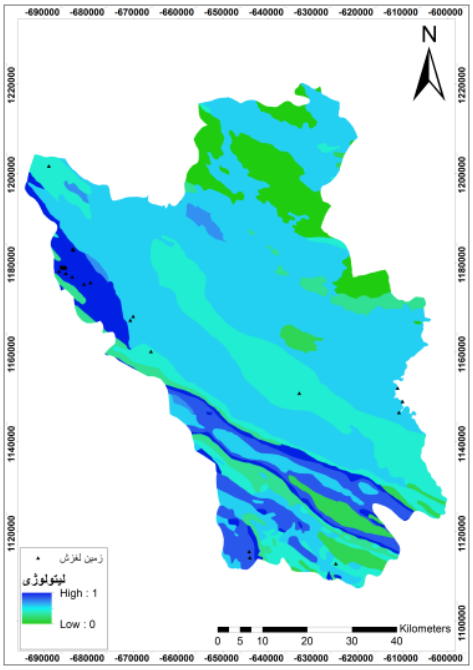
شکل ۱۴: نقشه فازی شده فاصله از گسل محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



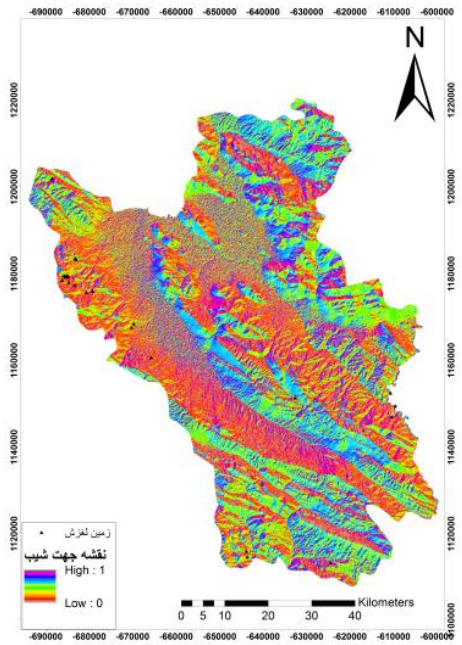
شکل ۱۵: نقشه فازی شده کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



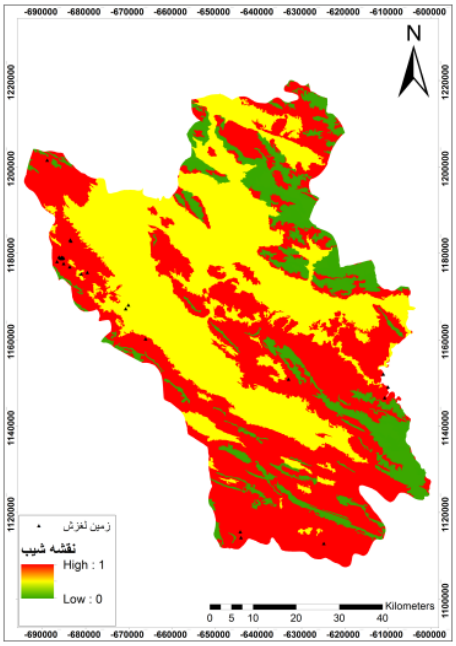
شکل ۱۶: نقشه فازی شده لیتولوژی محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



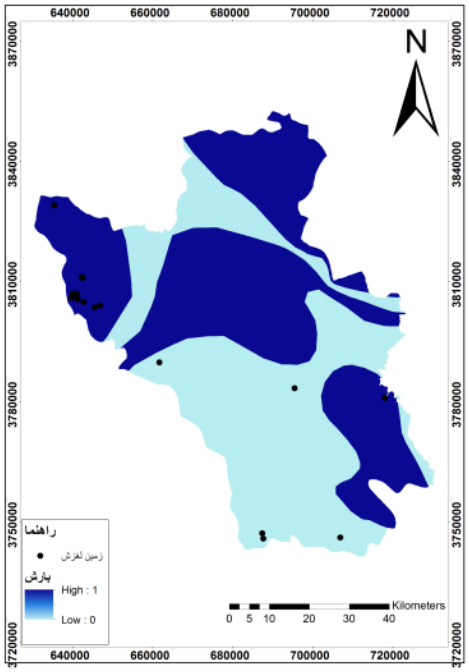
شکل ۱۷: نقشه فازی شده جهت شیب محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



شکل ۱۸: نقشه فازی شده شیب محدوده مورد مطالعه

منبع: نگارندگان



شکل ۱۹: نقشه فازی شده بارش محدوده مورد مطالعه منبع: نگارندگان

مدل آنتروپی

آنتروپی مفهومی برجسته در علم فیزیک، علوم اجتماعی و نظریه اطلاعات است به‌گونه‌ای که مقدار عدم اطمینان (درجه توزیع نامتعادل پدیده‌ها) از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام را نشان می‌دهد (مقیمی و نگهبان، ۱۳۹۱: ۲) آنتروپی رفتار توزیع انرژی است (لونا و همکاران، ۱۹۶۳ :۱) به هر گونه توزیع احتمالی آنتروپی گفته می‌شود (توماس کاور و همکار، ۱۹۹۱ :۱) آنتروپی در تمام سیستم‌های زنده و غیر زنده وجود دارد. شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد (بدنریک و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۷) برای استفاده از این مدل باید ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکار رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل پنج عامل (wj)، میزان hi، ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش به دست می‌آید (مقیمی، باقری سید لشکری و صفر زاده، ۱۳۹۱: ۸۱) فرایند کار با مدل آنتروپی به شرح زیر است:

رابطه(۵) $$pij = \frac{xij}{\sum_{i=1}^{m} xij}$$

و سپس مقدار EJ که ارزش آنتروپی است، از تابع زیر (رابطه ۶) تعیین می‌شود:

رابطه(۶) $$EJ = -K \sum_{I=1}^{M} PIJ\ LN(PIJ)$$

K یک ضریب ثابت است که از رابطه ۳ به دست می‌آید (در این رابطه M تعداد زمین‌لغزش‌ها است).

رابطه (۷) $$K = (LN\ M)^{-1}$$

عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) از کسر مقدار Ej از عدد یک به دست می‌آید و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر تعیین می‌شود (اصغر پور، ۱۳۸۵: ۱۹۷).

رابطه (۸)
$$wj = \frac{dj}{\sum_{i=1}^{n} dj}$$

پس از محاسبه وزن کل (wj) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رابطه ۹ ارزیابی می‌شود:

رابطه (۹)
$$hi = \sum_{i=1}^{m} xij$$

در این رابطه، Hi ضریب خطر رخ داد زمین‌لغزش، wi وزن نهایی تمام عوامل و xij وزن هر یک از عوامل است (Zongji et al. 2010:1336).

یافته‌های پژوهش

لایه‌های اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، بارش به‌صورت نقشه رستری در آمده و امتیاز دهی شده‌اند، به‌این‌ترتیب که برحسب اهمیت هرکدام در وقوع یا تشدید لغزش امتیازی بین ۱ تا ۹ بر اساس نظر کارشناس داده‌شده است. جدول (۱) امتیاز عوامل مؤثر در لغزش را نشان می‌دهد که با استفاده از نظر کارشناسان به‌صورت اعداد ۱ تا ۹ امتیاز دهی شده‌اند، به این صورت که با افزایش نقش عامل مورد نظر در وقوع لغزش، امتیاز بالاتری به آن اختصاص داده شده و در نهایت داده‌های اصلی در تشکیل ماتریس آنتروپی به کار رفته‌اند.

جدول ۱: امتیاز اختصاص یافته به عوامل مؤثر در لغزش

سازندها	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	فاصله از گسل	امتیاز	شیب به درصد	امتیاز	بارش	امتیاز	کاربری اراضی	امتیاز	فاصله از رودخانه	امتیاز	فاصله از جاده	امتیاز
کژدمی	۹	۱۳۰۰- ۱۵۰۰	۸	شمال	۸	۰-۲۰۰	۹	۰-۵	۳	۷۰۰-۸۰۰	۹	اراضی دیم	۹	۰-۲۰۰	۹	۰-۵۰۰	۹
آسماری	۸	۱۵۰۰- ۱۷۰۰	۹	جنوب	۴	۲۰۰-۵۰۰	۸	۵-۱۲	۵	۷۰۰-۶۰۰	۸	اراضی دیم پراکنده	۸	۲۰۰-۵۰۰	۸	۵۰۰- ۱۰۰۰	۸
امیران	۷	۱۷۰۰- ۱۹۰۰	۷	شرق	۶	۵۰۰-۱۰۰۰	۷	۱۲-۳۰	۷	۶۰۰-۵۰۰	۷	اراضی آبی دیم	۶	۵۰۰-۱۰۰۰	۷	۱۰۰۰- ۲۰۰۰	۷
کواترنری	۴	۱۹۰۰- ۲۱۰۰	۶	غرب	۷	۱۰۰۰- ۲۰۰۰	۶	۳۰-۶۰	۸	۵۰۰-۴۰۰	۶	اراضی مرتعی	۷	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۶	۲۰۰۰- ۳۰۰۰	۶
آذرین	۲	۲۱۰۰- ۲۳۰۰	۵	جنوب غرب	۵	۲۰۰۰<	۵	۶۰<	۹	۳۰۰-۴۰۰	۵	اراضی جنگلی	۵	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۵	۳۰۰۰- ۴۰۰۰	۵
		۲۳۰۰- ۲۵۰۰	۴	شمال غرب	۳					۲۰۰-۳۰۰	۴	اراضی بایر	۳	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۴	۴۰۰۰- ۶۰۰۰	۴
		۲۵۰۰- ۲۷۰۰	۳	جنوب شرق	۵					۱۰۰-۲۰۰	۳	اراضی آبی	۴	۳۰۰۰<	۳	< ۶۰۰۰	۳
		۲۷۰۰- ۲۹۰۰	۳	شمال شرق	۲							مناطق مسکونی	۱				
		۲۹۰۰- ۳۱۰۰	۲														
		۳۱۰۰- ۳۳۰۰	۱														

منبع: نگارندگان

جدول ۲: ماتریس آنتروپی عوامل مؤثر در لغزش

لغزش	سازند	گسل متوسط(متر)	ارتفاع متوسط(متر)	درصد شیب	جهت شیب	بارش	فاصله از جاده	فاصله از رود	کاربری اراضی
۱	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۷۷۶	۱۲–۳۰	جنوب غرب	۸۰۰–۹۰۰	۱۰۵۰۰	۱۰۶۰	اراضی دیم پراکنده
۲	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۱۳	۵–۱۲	جنوب شرق	۸۰۰–۹۰۰	۵۳۰۰	۱۸۹۰	اراضی دیم پراکنده
۳	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۱۱	۵–۱۲	جنوب شرق	۸۰۰–۹۰۰	۵۳۰۰	۱۷۰۰	اراضی دیم پراکنده
۴	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۴۹۳	۵–۱۲	جنوب شرق	۸۰۰–۹۰۰	۵۳۰۰	۲۱۰۰	اراضی دیم پراکنده
۵	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۶۶۰	۱۲–۳۰	جنوب	۷۰۰–۸۰۰	۷۴۴۰	۵۳۰	اراضی دیم
۶	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۶۴۵	۱۲–۳۰	جنوب شرق	۷۰۰–۸۰۰	۷۶۰۰	۳۳۰	اراضی دیم
۷	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۶۱۰	۱۲–۳۰	جنوب	۷۰۰–۸۰۰	۷۶۰۰	۲۲۰	اراضی دیم
۸	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۹۸	۱۲–۳۰	جنوب	۷۰۰–۸۰۰	۷۹۰۰	۲۱۰	اراضی دیم
۹	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۹۰	۱۲–۳۰	جنوب	۷۰۰–۸۰۰	۸۰۰۰	۱۲۰	اراضی دیم
۱۰	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۹۶	۱۲–۳۰	جنوب شرق	۷۰۰–۸۰۰	۸۰۰۰	۳۰	اراضی دیم
۱۱	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۶۲۰	۱۲–۳۰	جنوب	۷۰۰–۸۰۰	۸۴۰۰	۳۰	اراضی دیم
۱۲	سازند کژدمی	۲۰۰۰<	۱۵۰۰	۱۲–۳۰	جنوب شرق	۷۰۰–۸۰۰	۹۲۰۰	۸۰	اراضی دیم
۱۳	سازند امیران	۱۸۰۰	۱۵۹۰	۱۲–۳۰	شمال شرق	۷۰۰–۸۰۰	۷۶۰	۹۷۶	اراضی دیم
۱۴	سازند ایلام	۲۰۰۰	۱۵۸۷	۱۲–۳۰	جنوب غرب	۷۰۰–۸۰۰	۸۳۰۰	۹۶۰	اراضی دیم
۱۵	سازند ایلام	۲۰۰۰<	۱۳۰۰	۱۲–۳۰	جنوب غرب	۷۰۰–۸۰۰	۲۴۰۰	۵۹۰	اراضی جنگلی
۱۶	سازند آسماری	۲۰۰۰<	۱۲۸۴	۱۲–۳۰	جنوب	۶۰۰–۷۰۰	۶۷۰	۳۸۰	اراضی جنگلی
۱۷	سازند آسماری	۲۰۰۰<	۱۳۰۰	۱۲–۳۰	شرق	۶۰۰–۷۰۰	۸۷۳	۶۳۰	اراضی جنگلی
۱۸	سازند امیران	۲۰۰۰<	۱۳۰۶	۵–۱۲	شمال غرب	۶۰۰–۷۰۰	۱۲۹۰	۳۰	اراضی جنگلی
۱۹	رادیولاریت	۲۰۰۰<	۱۳۶۱	۱۲–۳۰	شمال شرق	۳۰۰–۴۰۰	۸۵۰	۳۴۰	اراضی مرتعی
۲۰	کواترنری (آبرفت)	۲۰۰۰<	۱۳۰۰	۱۲–۳۰	غرب	۴۰۰–۵۰۰	۱۳۵۰	۱۳۴	اراضی مرتعی
۲۱	کواترنری (آبرفت)	۲۰۰۰<	۱۲۷۱	۱۲–۳۰	غرب	۴۰۰–۵۰۰	۲۵۰۰	۶۰	اراضی مرتعی

منبع: نگارندگان

جدول ۳: ماتریس آنتروپی کمی شده عوامل مؤثر در زمین‌لغزش (xij)

شماره لغزش	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	فاصله از گسل	بارش	فاصله از جاده	فاصله از رود	کاربری اراضی
۱	۹	۷	۵	۷	۵	۹	۳	۶	۸
۲	۹	۹	۷	۵	۵	۹	۴	۵	۸
۳	۹	۹	۷	۵	۵	۹	۴	۵	۸
۴	۹	۸	۷	۵	۵	۹	۴	۴	۸
۵	۹	۹	۴	۷	۵	۸	۳	۷	۹
۶	۹	۹	۷	۷	۵	۸	۳	۸	۹
۷	۹	۹	۴	۷	۵	۸	۳	۸	۹
۸	۹	۹	۴	۷	۵	۸	۳	۸	۹
۹	۹	۹	۴	۷	۵	۸	۳	۹	۹
۱۰	۹	۹	۷	۷	۵	۸	۳	۹	۹
۱۱	۹	۹	۴	۷	۵	۸	۳	۹	۹
۱۲	۹	۹	۷	۷	۵	۸	۳	۹	۹
۱۳	۷	۸	۲	۷	۵	۸	۸	۷	۹
۱۴	۶	۹	۵	۷	۶	۸	۳	۷	۹
۱۵	۶	۹	۵	۷	۶	۸	۶	۷	۵
۱۶	۸	۸	۴	۷	۵	۷	۸	۸	۵
۱۷	۸	۸	۶	۷	۵	۷	۸	۷	۵
۱۸	۷	۸	۳	۵	۵	۷	۷	۹	۵
۱۹	۲	۸	۲	۷	۵	۵	۸	۸	۷
۲۰	۴	۸	۷	۷	۵	۶	۷	۹	۷
۲۱	۴	۸	۷	۷	۵	۶	۶	۹	۷

منبع: نگارندگان

جدول ۴: شاخص‌های محاسبه‌شده برای عوامل مؤثر در لغزش

شاخص‌های محاسبه‌شده	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	فاصله از گسل	بارش	فاصله از جاده	فاصله از رود	کاربری اراضی
EJ	۰,۹۶۸۵۴	۰,۹۷۱۹۴۳	۰,۹۸۶۷۳	۰,۹۷۵۸۲۰	۰,۹۹۸۴	۰,۹۹۱۲۵	۰,۹۸۳۲۱	۰,۹۷	۰,۹۸۷۴
dj	۰,۰۳۱۴	۰,۰۲۸۰	۰,۰۱۳۲	۰,۰۲۴۱	۰,۰۰۱۶	۰,۰۰۸۷	۰,۰۱۶۷	۰,۰۳	۰,۰۱۲۶
wj	۰,۱۸	۰,۱۶	۰,۰۷	۰,۱۴	۰,۰۰۹	۰,۰۵۲	۰,۱۰	۰,۱۸	۰,۰۷

منبع: نگارندگان

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه (جدول ۳)، مقدار (pij) با استفاده از رابطه یک و مقدار (k) با رابطه سه به‌دست‌آمده و برای محاسبه مقدار (Ej) برای هر عامل، از رابطه دو استفاده شده است که مقادیر آن در جدول شماره پنج مشاهده می‌شود. در این رابطه، E از توزیع احتمال Pi بر اساس ساز کار آماری محاسبه‌شده است و مقدار آن در صورت تساوی pi ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود(اصغر پور، ۱۳۸۵: ۱۹۶).

در گام بعدی عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) که از کسر مقدار Ej از عدد ۱ حاصل می‌شود، سرانجام با استفاده از رابطه (۸) وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنتروپی زمین‌لغزش (Wj) که حاصل شد. در نهایت مدل ناحیه‌ای خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه با رابطه (۹) به‌صورت زیر به دست آمد:

H= (L*0.18)+(E*0.16)+(A*0.07)+(S*0.14)+(DF*0.009)+(p*0.052)+(dr*0.10)+(dri*0.18)+(la*0.07)

در این رابطه L: لیتولوژی، E: ارتفاع، A: جهت شیب،S : شیب، DF: فاصله از گسل، p بارش،DR فاصله از جاده، DRi فاصله از رودخانه، LA کاربری اراضی است، با توجه به رابطه فوق، نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۴) میزان تأثیر عوامل نه‌گانه مؤثر در زمین‌لغزش متفاوت است. ارتفاع ۱۸درصد، شیب ۱۴ درصد، سازند ۱۸درصد، جهت شیب ۷درصد، فاصله از گسل ۹ درصد، فاصله از رودخانه ۱۸ درصد، بارش ۵ درصد، کاربری اراضی ۷ درصد و فاصله از جاده ۱۰ درصد در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه اثرگذار بوده است (جدول ۶) در صد تأثیر پایین برای فاصله از گسل و جهت شیب است یعنی بیشتر زمین‌لغزش‌ها تقریباً در یک‌جهت شیب و در فاصله‌ای دور از گسل واقع‌شده‌اند.

جدول ۵: در صد تأثیر عوامل مؤثر در لغزش

عوامل مؤثر	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارش	مجموع
درصد تأثیر	۱۸	۱۸	۷	۱۴	۹	۱۸	۱۰	۷	۵	۱۰۰

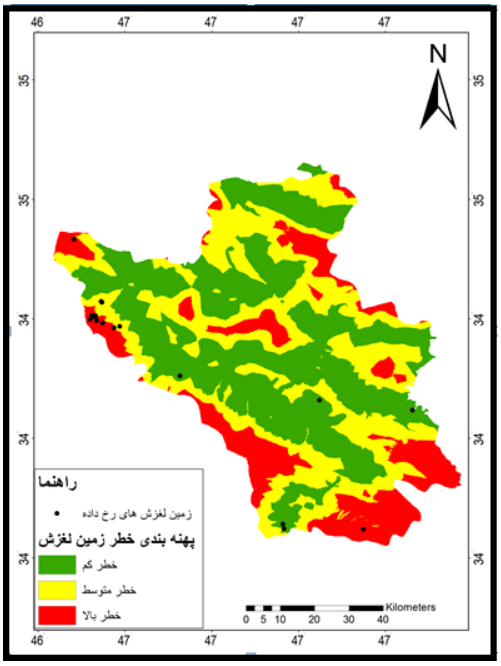
منبع: نگارندگان

در ادامه، با استفاده از وزن به‌دست‌آمده نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کرمانشاه (شکل ۲۰) تهیه شد. با قرار دادن موقعیت زمین‌لغزش‌ها روی نقشه پهنه‌بندی، مشخص شد که از ۲۱ زمین‌لغزش رخداده در کرمانشاه ۵ زمین‌لغزش در پهنه خطر کم، دو زمین‌لغزش در پهنه خطر متوسط و ۱۴ زمین‌لغزش در پهنه خطر بالا قرار داشته‌اند.

جدول ۶: پهنه‌بندی میزان خطر

پهنه‌ها	مساحت	درصد مساحت	تعداد زمین‌لغزش‌ها	درصد زمین‌لغزش
کم خطر	۲۴۴۸	۴۴	۵	۲۳
خطر متوسط	۲۰۱۳	۳۶	۲	۹
پر خطر	۱۰۹۰	۲۰	۱۴	۶۶
مجموع	۵۵۵۰	۱۰۰	۲۱	۱۰۰

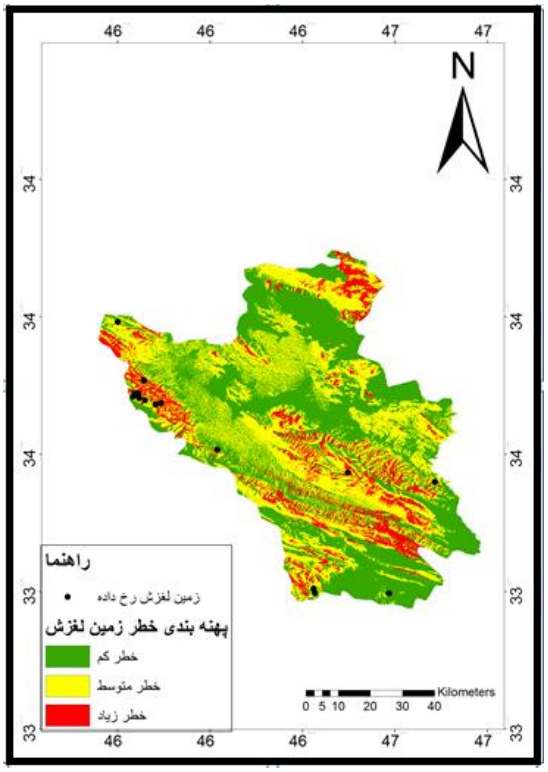
منبع: نگارندگان



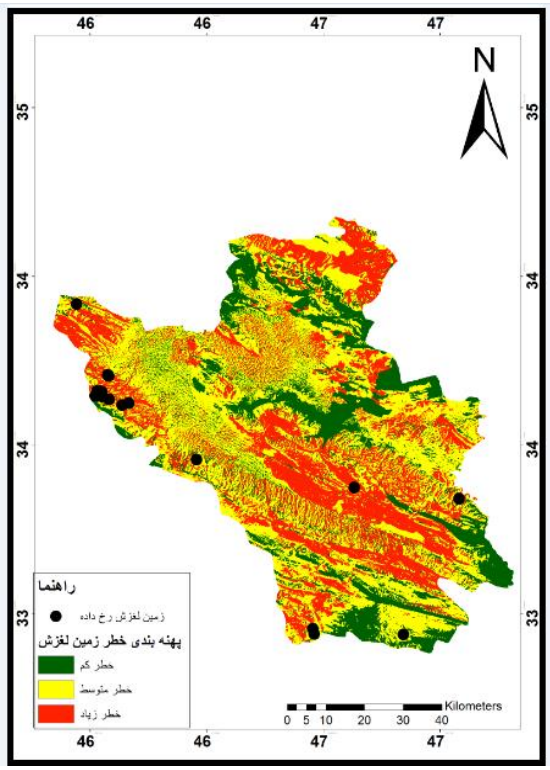
شکل ۲۰: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کرمانشاه با مدل آنتروپی محدوده مورد مطالعه. منبع: نگارندگان

به‌منظور ارزیابی مدل با قرار دادن موقعیت زمین‌لغزش‌ها بر روی نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، مشخص گردید که از ۲۱ لغزش رخ داده در منطقه ۱۴ لغزش درپهنه خطر بالا و ۲ لغزش در پهنه خطر متوسط و ۵ لغزش در پهنه با خطر کم قرار گرفته‌اند. با توجه به جدول (۶) در کرمانشاه پهنه کم‌خطر ۴۴ در صد از منطقه را در برگرفته است و بقیه در منطقه با خطر متوسط و بالا قرار گرفته است.

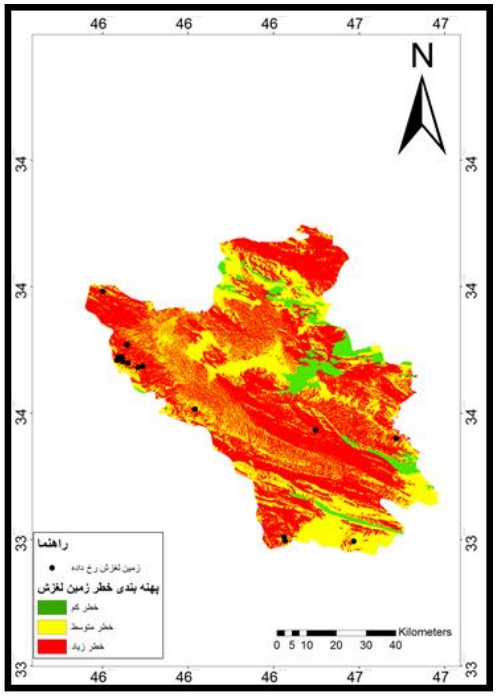
در مدل فازی نیز پس از اعمال توابع به هر یک از لایه‌ها، مقدار ارزش هر یک از لایه‌ها در بازه‌ای بین صفر و یک قرار گرفته است؛ یعنی سطوحی که بیشترین تأثیر در لغزش را داشتند، بالاترین مقدار عددی یا یک و سطوحی که کمترین تأثیر در وقوع لغزش داشته‌اند پایین‌ترین مقدار عددی یعنی صفر را پذیرفته‌اند. سپس در نرم‌افزار ARCGIS عملگرهای جمع جبری و ضرب جبری بر لایه‌ها اعمال شدند؛ بنابراین بر اساس مدل تلفیقی، در نهایت برای هم‌پوشانی و به دست آوردن یک نقشه نهایی برای نشان دادن پتانسیل حساسیت و خطر زمین‌لغزش در محدوده مورد پژوهش، نقشه‌های ایجاد شده را در محیط Fuzzy overlay با ضریب گامای ۵٪، ۷٪، ۹٪، تلفیق کرده و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش حاصل شد.



شکل ۲۱: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با گاما ۰,۷



شکل ۲۲: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش باگ اما ۰,۵



شکل ۲۳: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با گاما ۰,۹ محدوده مورد مطالعه. منبع: نگارندگان

در نهایت جهت محاسبه طبقه‌بندی و مشخص شدن مساحت هر یک از کلاس‌های زمین‌لغزش اقدام به طبقه‌بندی نهایی زمین‌لغزش در سه کلاس با ضریب اهمیت زیاد، متوسط، کم اقدام کردیم.

جدول ۷: طبقه‌بندی زمین‌لغزش

پهنه‌ها	مساحت	درصد مساحت	تعداد زمین‌لغزش	درصد زمین‌لغزش
کم‌خطر	۶۳۹	۱۲	۰	۰
خطر متوسط	۲۷۶۵	۴۹	۳	۱۴
پرخطر	۲۱۵۰	۳۸	۱۸	۸۶
مجموع	**۵۵۵۰**	**۱۰۰**	**۲۱**	**۱۰۰**

منبع: نگارندگان

ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده

پژوهشگران روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه کرده‌اند. در این پژوهش برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی روش‌های استفاده شده در برآورد خطر لغزش از شاخص احتمال تجربی (p) استفاده شده است. به لین منظور با قطع نقشه نقاط لغزشی با نقشه‌های خطر زمین‌لغزش مقدار لغزش‌ها در طبقه‌های مختلف خطر محاسبه و در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۱۰ میزان دقت مدل محاسبه شده است:

$$P=ks/s \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن:

P: احتمال تجربی، ks: مساحت لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا و S: مساحت کل لغزش‌های منطقه.

هرچه احتمال تجربی مدل استفاده شده به یک نزدیک‌تر باشد برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مناسب‌تر و دارای دقت بیش‌تری است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل گاما ۰,۹ فازی دقت بیشتری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه دارد.

جدول ۸: ارزیابی مدل‌ها

مدل استفاده شده	کلاس خطر	تعداد پیکسل‌های لغزشی با ابعاد ۳۰*۳۰	p
مدل آنتروپی	کم	۳۵۶۱۰۹	۰,۵۵
	متوسط	۳۳۲۳۰۵	
	زیاد	۸۹۴۲۰	
مدل فازی (گاما ۰,۹)	کم	۷۴۷۹۵	۰,۹۰
	متوسط	۴۱۱۱۳۱	
	زیاد	۲۹۷۱۲۹	

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کاربرد فراوانی در امور زیر بنایی احداث و توسعه عملیات سازه‌ای و کشاورزی و منابع طبیعی دارد. با مطالعه زمین‌لغزش‌های موجود در کرمانشاه چنین بر می‌آید که پتانسیل زمین‌لغزش در این منطقه بالاست، شناخت نواحی مستعد پدیده زمین‌لغزش و رتبه‌بندی آن‌ها یک مخاطره عمده که یکی از گام‌های اولیه در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی دانست؛ نقشه‌های پهن بندی زمین‌لغزش به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مناطق با

خطر زیاد، در قسمت‌های مرتفع واقع‌شده‌اند. این نواحی شیب زیاد و ارتفاع بالایی دارند و در قلمرو سازند کژدمی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه بررسی‌شده از عملگر گاما فازی و مدل آنتروپی استفاده شده است ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد که مدل فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۹۰٪ روش کارآمدتری نسبت به مدل آنتروپی با مقدار شاخص ۵۰٪ در برآورد خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه است. از دو مدل بررسی‌شده در زمینه‌ی پهنه‌بندی، مدل آنتروپی دارای صحت لازم برای بررسی پهنه‌بندی خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه نیست با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی لغزش پهنه‌های با خطر زیاد اکثراً قسمت غرب و شمال منطقه واقع‌شده‌اند که این مناطق منطبق با سطوح ارتفاعی هستند.

منابع

۱- امیر احمدی، ابوالقاسم (۱۳۸۹): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز چل او آمل، فصل‌نامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۷.

بلاد پس علی (۱۳۸۸): پژوهشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ماکو تا دشت بازرگان، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران.

۲- پیشگاهی فرد، زهرا؛ محسن کلانتری، فریاد پرهیز، احسان حق پناه (۱۳۹۰): تحلیل جغرافیایی کانون‌های جرم خیز جرائم مرتبط با مواد مخدر در شهر کرمانشاه، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره یازدهم، ۷۵-۹۶.

۳- سفیدگری، رحیم (۱۳۸۴): ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند؛ مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۵۷۴-۵۸۰.

۴- سیار پور، محسن (۱۳۷۸): پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۵- عابدینی، موسی؛ بهاره قاسمیان، عطار شیرزادی (۱۳۹۳): مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک: مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار. مجله جغرافیا و توسعه شماره ۳۷، ۸۵-۱۰۲.

۶- عابدینی، موسی (۱۳۹۱): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های حوضه گیوی چای بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) طرح پژوهشی گروه جغرافیای دانشگاه محقق اردبیلی.

۷- علیجانی، ب .قهرودی تالی، م؛ و امیر احمدی، ا... (۱۳۸۱): پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS مطالعه موردی حوضه اسطرخی شیروان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۴.

۸- کریمی، حاجی، نادری، فتح اله، مرشدی، ابراهیم و مهدی نیک‌سرشت، (۱۳۹۰): پهنه‌بندی خطر، زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چرد اول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۷، شماره ۳۳۲-۳۱۹.

۹- کرم، عبدالامیر؛ فرج ا... محمودی (۱۳۸۴): مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (حوضه‌ی آبریز سر خون، استان چهارمحال و بختیاری) پژوهش‌های جغرافیایی .شماره ۵.

۱۰- مقیمی، ابراهیم؛ نگهبان، سعید (۱۳۹۱): بررسی فرسایش در حوضه آبخیز رودخانه شور فدایمی با استفاده از مدل آنتروپی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۳۳، ص۶ .

۱۱- روز بهانی، حبیبه. ایلدرمی، علی‌رضا. دشتی، مریم (۱۳۸۹): بررسی عوامل وقوع حرکات توده‌ای با مدل inrf (مطالعه موردی؛ حوضه سد کلان ملایر). همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی خرم‌آباد.

12- Blochl, A & B, Braun (2005): “Economic Assessment of Landslide Risks in The Swabia Alba, Germany Research Framework and First Results of Homeowners and Experts Surveys”, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 5, PP: 389-396.
13- Bednarik, M. Magulova, B. Matys, M. Marschalko, M. (2010): Landslide Susceptibility Assessment of The Kralˇ Ovany – Liptovsky Mikulas Railway Case Study, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 35, PP.162-171.
14- Coates, D.R (1977): Landslide Perspectives, In: Landslides, Coates (Ed.) Geological Society of America.
15- Cover, M.T. Joy, A.T. (1991): "Entropy, Relative Entropy and Mutual Information", Element Information Heory.
16- Luna, B. et al. (1963): "The Concept of Entropy in Landscape Evolution", Geological survey professional paper 500-A Assembly. Nice. France.
17- Roering, J. J. Kirchner, J.W. Dietrich, W. E. (2005): Characterizing Structural and Lithological Controls on Deep-Seated Land Sliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in The Oregon Coast Range, USA. Geological Society of America Bulletin 117, 654–668.
18- 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, (FSKD).