نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۴، بهار ۹۶

ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر

دریافت مقاله: ۹۲/۶/۱۴ پذیرش نهایی: ۹۶/۱/۱۴

صفحات:۶۴-۴۵

سیامک بهاروند: استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران[۱]
Email: sbbaharvand53@gmail.com

سلمان سوری: کارشناس ارشد زمین شناسی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران
Email: soorisalman@yahoo.com

چکیده

پهنه بندی زمین لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را به لحاظ پایداری شیب مشخص کرده و از نقشه‌های پهنه بندی به دست آمده در برنامه‌ریزی‌های توسعه پایدار استفاده کرد. هدف از این مطالعه مقایسه مدل‌های تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش؛ منطق فازی، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح مورد استفاده در حوضه چم‌سنگر در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق خرم‌آباد لرستان بوده، به منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در حوضه چم‌سنگر ابتدا با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی (ثبت نقاط لغزشی با استفاده از GPS) نقاط لغزشی شناسایی و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه تهیه گردیده در این مطالعه، عوامل مرتبط با زمین لغزش مانند شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه در تجزیه و تحلیل لغزش مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه از شاخص جمع مطلوبیت (QS) استفاده شد ، نتایج بدست آمده نشان داد که مدل تراکم سطح، با مقدار QS= ۱/۸۵ روش کار آمدتری نسبت به مدل‌های ارزش اطلاعاتی با QS= ۱/۶۰ و منطق فازی با QS= ۰/۵۵۴، برای تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه چم‌سنگر دارد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل تراکم سطح به ترتیب ۳۶/۳۱، ۴۴/۷۸، ۱۶/۶۲، ۱/۶۵، ۰/۶۳ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت.

کلیدواژگان: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، حوضه چم‌سنگر، لرستان، مدل تراکم سطح

---

[۱]. **نویسنده مسئول:** لرستان، خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه زمین‌شناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

مقدمه

یکی از بلایا و حوادث طبیعی که زیان‌ها و خسارات زیادی به دنبال داشته و افزون بر آن ممکن است تلفات انسانی نیز به همراه داشته باشد، حرکات دامنه‌ای و به ویژه زمین لغزش می‌باشد (رنجبر و روغنی، ۱۳۸۸: ۲۲). این پدیدهٔ طبیعی می تواند باعث تخریب و یا خسارت به انواع سازه های مهندسی و ساخت های بشری از جمله مناطق مسکونی، شریان های حیاتی مانند راهها، لوله های انتقال گاز، آب، خطوط انتقال نیرو، جنگل ها و مراتع، زمین های کشاورزی و معادن شود. افزون بر این، اثرات اجتماعی و زیست محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند اثرهای سوء اجتماعی و افزایش بار رسوبی رودخانه ها را نیز نباید نادیده گرفت (سوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۷۰).

ارزیابی ناپایداری‌های دامنه‌ای مانندبسیاری ازموضوعات زمین‌شناسی محیطی یکی از پیچیده ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل موثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست. وجود عدم قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل بودن و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامتر هایی نظیر زمین‌شناسی، تکتونیکی، بارندگی، هیدرولوژیکی و ... در بروز ناپایداری دامنه‌ای، می‌باشند لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۴).

تشخیص و پهنه بندی مناطق مختلف از نظر حساسیت به وقوع زمین لغزش یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات جهت دوری جستن یا کاهش صدمات زمین لغزش است که از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. در زمینه پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های استفاده شده تاکنون مطالعات زیادی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد.

فرهادی نژاد و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش در زیر حوضه سرخاب پرداختند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که پارامترهای لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل و کاربری اراضی از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌باشند، همچنین بر اساس نتایج به دست آمده مدل ارزش اطلاعاتی از نتایج قابل قبول‌تری نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده برخوردار بوده است؛ شادفر و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و LNRF در حوضه چالکرود پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده مدل تراکم سطح از کارایی بهتری برخوردار بوده است و بر اساس نقشه تهیه شده با استفاده از این مدل حدود ۷۹ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر بالا قرار دارد؛ بهاروند و سوری (۱۳۹۴) با استفاده از مدل‌های منطق فازی و تراکم سطح به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کاکاشرف پرداختند. در این تحقیق که با استفاده از عوامل شیب، جهت‌شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از جاده و آبراهه صورت گرفته است نتایج نشان داد که مدل منطق فازی ار کارایی بالاتری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های حوضه مورد مطالعه برخوردار است؛ لی و کیونگ‌داچ (۲۰۰۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش آماری چند متغیره اقدام به پهنه‌بندی و ایجاد نقشه حساسیت خطر زمین‌لغزش در منطقه یانگین نموده‌اند. در این مطالعه که از لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی استفاده شده است، نتایج نشان می‌دهد که روش آماری از دقت بالایی برخوردار است؛ بوی و همکاران (۲۰۱۲) به پیش بینی خطر زمین لغزش در استان هوابین ویتنام با استفاده از عملگرهای منطق فازی پرداختند. در این تحقیق از عواملی مانند شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، نوع خاک و فاصله از عوامل خطی جاده، گسل و رودخانه استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که تمام عملگرها نتایج معقولی در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش ارائه می‌دهند که از این میان عملگر جمع فازی کمترین دقت و عملگر ضرب و گاما از بیشترین دقت برخوردار بوده است؛ آنبالاگان و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از نسبت فراوانی و منطق فازی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دره لاچونگ واقع در منطقه سیکیم هیمالیا پرداختند. در این تحقیق آن‌ها با استفاده از مدل آماری نسبت فراوانی تابع عضویت فازی را استخراج و با استفاده از منطق فازی نقشه هریک از عوامل را همپوشانی دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، منطق فازی از کارایی بالایی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برخوردار بوده است.

استان لرستان به دلیل خصوصیات متنوع زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، تکتونیک، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است. با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضه چم سنگر تاکنون زمین لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده است و این لغزش‌ها می‌تواند باعث ایجاد خسارت‌هایی در سطح حوضه شود. از جمله این خسارت‌ها که ضرورت این مطالعه را نمایان می سازد می توان به از بین رفتن زمین های زراعی، تخریب اراضی جنگلی و مرتعی، افزایش بار رسوبی رودخانه منطقه، فرسایش خاک و ... اشاره کرد؛ لذا این تحقیق با هدف ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شامل مدل منطق فازی، تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی، در حوضه چم‌سنگر صورت گرفته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

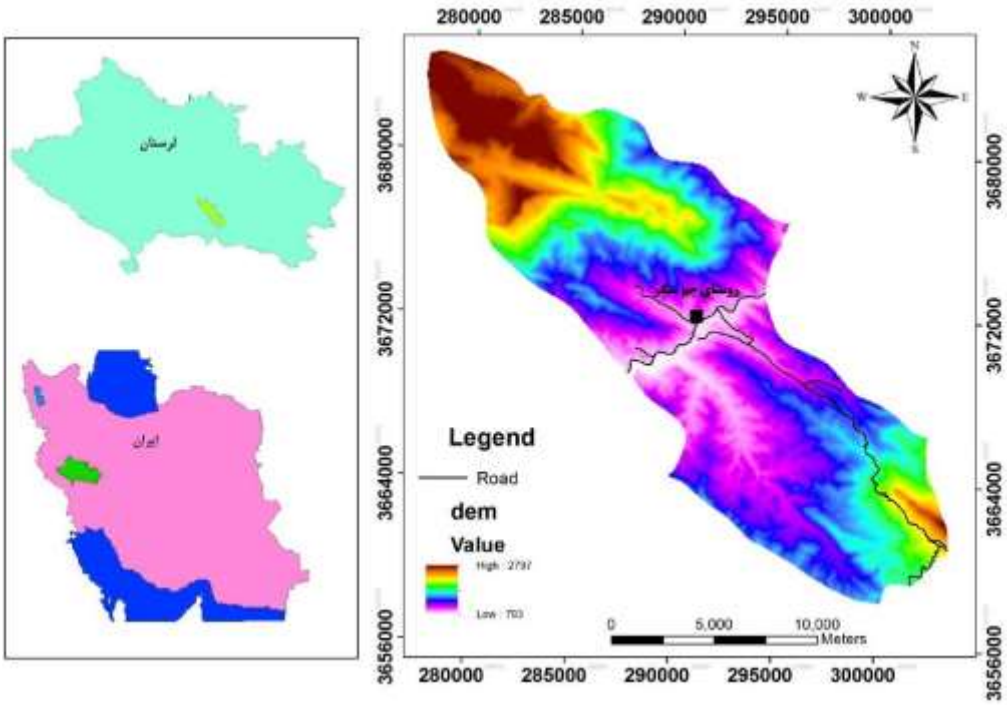
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

داده ها و روش کار

موقعیت جغرافیایی

حوضه چم سنگر از توابع بخش پاپی با مساحت ۲۶۲/۸۱ کیلومترمربع در جنوب شرق شهر خرم آباد واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی این حوضه از سطح دریا ۲۷۰۷ متر و پست‌ترین نقطه ۷۹۳ متر می‌باشد و از دیدگاه زمین‌ساختی گسترهٔ مورد بررسی در پهنه زاگرس چین‌خورده قرار می‌گیرد.

بطور کلی حوضه چم‌سنگر از لیتولوژی متنوعی برخوردار بوده که تاثیر بسزایی در ایجاد لغزش‌های منطقه دارا می‌باشد. از نظر لیتولوژی منطقه مورد مطالعه از واحدهای ذخایر تراستی و مخروطه افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع (Qft2)، سنگ های تفکیک نشده سازندهای شهبازان و آسماری (EMas-sb)، سنگ آهک و مارن سازند پابده (pd)، کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و سیلتستون سازند کشکان (EKn)، سنگ‌های تفکیک نشده سازندهای پابده و گورپی (KEpd-gu) و گروه بنگستان شامل آهک و شیل (Kbgp)؛ تشکیل شده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی حوضه چم سنگر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

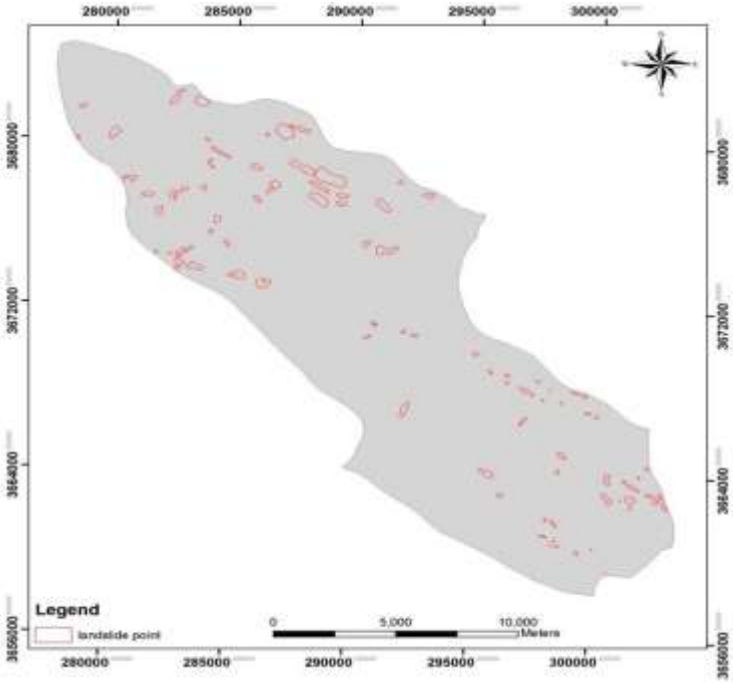
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

روش کار

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده

اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه می‌باشد. این نقشه مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی است. برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای منطقه، تصاویر گوگل ارث لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شدند و برای تکمیل اطلاعات و ثبت لغزش‌های جدید، بازدید صحرایی انجام شده و تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و نقشه پراکنش لغزش‌ها تهیه گردید (شکل ۲).

فرآیند پهنه‌بندی در محیط (GIS) شامل پیش عملیات و عملیات متعددی است. نخست باید معیارها و محدودیت‌های مورد نظر به صورت لایه‌های نقشه؛ انتخاب و آماده‌سازی شده و سپس در محیط نرم‌افزار GIS پردازش گردند. در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از ۸ عامل استفاده شده است. این عوامل شامل لایه های شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه می‌باشند.



شکل (۲). نقشه پراکنش لغزش های حوضه چم سنگر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم سنگر

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فازی

در این تحقیق به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم سنگر بعد از مرحله پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف است برای تعیین نسبت فراوانی هر یک از طبقات عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، ابتدا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه‌های عوامل از تقسیم نسبت درصد پیکسل‌های لغزشی به درصد پیکسل‌های غیر لغزشی محاسبه گردید. جهت تولید نقشه‌های فازی با نرمال سازی نسبت‌های فراوانی محاسبه شده، با استفاده از تابع عضویت Fuzzy Gaussian، Fuzzy large و Fuzzy Small در محیط نرم افزار ArcGIS 10، نقشه‌های عوامل مختلف به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند موثر باشد. بدیهی است چنانچه تابع عضویت سازگار و مطابق با واقعیت‌های حاکم بر سیستم تحت بررسی تعریف نشود و عوامل اصلی موثر را نادیده بگیرد مدل حاصل از آن؛ فاقد توانایی‌های لازم برای انعکاس همه واقعیت‌ها خواهد بود. بعد از تعریف تابع عضویت با استفاده از عملگر گاما نقشه‌های فازی تهیه شده همپوشانی داده شده‌اند و نقشه خطر لغزش در منطقه چم سنگر با استفاده از این عملگر تهیه شده است.

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی

در روش ارزش اطلاعاتی نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل موثر از رابطه ۱ به دست می‌آید (Yin and Yan, 1988؛ شیرانی و سیف، ۱۳۹۱: ۱۵۰).

$$W_{Inf} = ln\left[\left(\frac{A}{B}\right)/\left(\frac{C}{D}\right)\right]$$ رابطه (۱)

W_{Inf}= وزن ارزش اطلاعاتی؛ A= مساحت زمین لغزش در کلاس متغیر؛ B = مساحت کلاس متغیر؛ C= مساحت کل زمین لغزش‌ها؛ D= مساحت کل حوضه؛ پس از تعیین وزن مربوط به هر کلاس از عوامل موثر بر لغزش، با روی هم انداختن و جمع ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی تهیه می‌گردد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تراکم سطح

نرخ مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه ۲ به دست می‌آید (Lee and kyungduck, 2001؛ شیرانی و سیف، ۱۳۹۱: ۱۵۱).

$$W_{area} = 1000(\frac{A}{B}) - 1000\left(\frac{C}{D}\right)$$ رابطه (۲)

W_{area}= وزن تراکم سطح؛ در این روش نیز بعد از تهیه نرخ‌های مربوط به کلاسه‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی با جمع بستن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه می‌گردد.

نتایج

به منظور ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر ابتدا پراکندگی نقاط لغزشی نسبت به ۸ عامل موثر در وقوع زمین لغزش در محیط نرم افزار Arc GIS مورد بررسی قرار گرفته است. سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه‌های عوامل از تقسیم نسبت درصد پیکسل‌های لغزشی به درصد پیکسل‌های غیر لغزشی محاسبه گردید (جدول ۱) (در این تحقیق سطح منطقه به پیکسل‌هایی با ابعاد ۵۰*۵۰ متر تقسیم شده است). برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر با استفاده از منطق فازی از عملگر گامای فازی استفاده شده است. این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود (Tanaka, 1996):

رابطه (۳)

$$\mu Combination = (\text{Fuzzy A lg . Sum})^{y} * (\text{Fuzzy A lg . Pr oduct})^{1-y}$$

که درآن y پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی y=0 باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه y بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می باشد. در این تحقیق از عملگر گامای ۰/۹ به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه استفاده شده است (شکل ۳) (جدول ۲). نقشه تهیه شده با استفاده از مدل منطق فازی نشان می دهد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در جنوب شرق منطقه واقع گردیده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

جدول (۱). نسبت فراوانی هر یک از عوامل موثر بر لغزش در حوضه چم سنگر

عامل	کلاس	درصد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل غیر لغزشی	نسبت فراوانی	مقدار نرمال سازی شده
شیب	۰-۵	۰/۵۱۳	۳/۶۳	۰/۱۴۱	۰/۰۱۳
	۵-۱۵	۹/۴	۳۴/۹	۰/۲۶۹	۰/۰۲۵
	۱۵-۲۵	۳۴/۸۴	۴۳/۹۹	۰/۷۹۲	۰/۰۷۴
	۲۵-۳۵	۳۸/۳۲	۱۵/۲۷	۲/۵	۰/۲۳۵
	۳۵-۴۵	۱۴/۹۷	۲/۰۱	۷/۴۴	۰/۶۹۹
	>۴۵	۱/۹۳	۰/۱۸۲	۱۰/۶۴	۱
جهت شیب	۰-۲۲/۵	۱۴/۸۵	۸/۲۱	۱/۸	۱
	۲۲/۵-۶۷/۵	۲۸/۰۹	۱۵/۹۲	۱/۷۶	۰/۹۷۵
	۶۷/۵-۱۱۲/۵	۱۲/۹۹	۹/۷۲	۱/۳۳	۰/۷۴
	۱۱۲/۵-۱۵۷/۵	۱۱/۷۳	۹/۷۱	۱/۲	۰/۶۶۷
	۱۵۷/۵-۲۰۲/۵	۱۳/۱۹	۱۵/۳۶	۰/۸۶	۰/۴۷۵
	۲۰۲/۵-۲۴۷/۵	۱۱/۴۵	۱۸/۵۸	۰/۶۱	۰/۳۴
	۲۴۷/۵-۲۹۲/۵	۳/۰۰۲	۹/۶۲	۰/۳۱	۰/۱۷۲
	۲۹۲/۵-۳۳۷/۵	۱/۷۷	۷/۷۴	۰/۲۳	۰/۱۲۶
	۳۳۷/۵-۳۶۰	۲/۸۸	۵/۱	۰/۵۶	۰/۳۱۲
زمین شناسی	Qft2	۱۶/۲۸	۱۲/۶۱	۱/۲۹	۰/۸۴۲
	EMas-sb	۴۲/۶۷	۳۳/۲۵	۱/۲۸	۰/۸۳۷
	pd	۱۶/۲۸	۱۰/۶۲	۱/۵۳	۱
	EKn	۲۴/۷۶	۳۹/۰۳	۰/۶۳	۰/۴۱۳
	KEpd-gu	۰	۰/۰۱	۰	۰
	Kbgp	۰	۴/۴۶	۰	۰
ارتفاع	۷۹۳-۱۱۰۰	۴/۷	۲۱/۱۱	۰/۲۲	۰/۰۹۱
	۱۱۰۰-۱۴۰۰	۱۴/۸۹	۳۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۱۹۴
	۱۴۰۰-۱۷۰۰	۲۵/۴۴	۱۷/۴۳	۱/۴۶	۰/۶۰۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

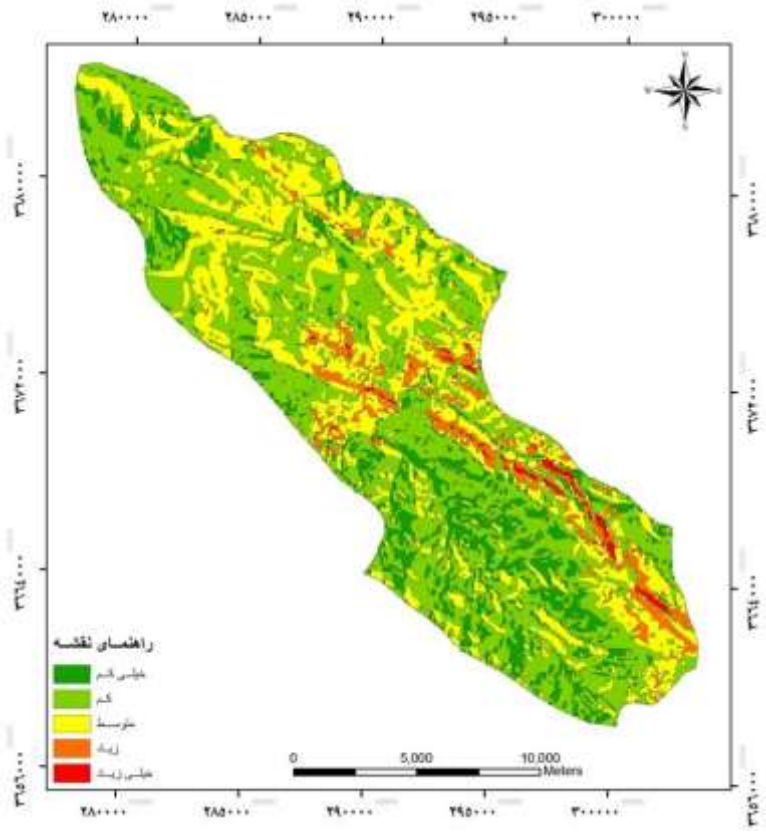
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

	۱۷۰۰-۲۰۰۰	۲۲/۴۴	۹/۹۶	۲/۲۵	۰/۹۲۷
	۲۰۰۰-۲۳۰۰	۲۰/۹۸	۸/۴	۲/۴۲	۱
	۲۳۰۰-۲۶۰۰	۱۱/۵۳	۹/۰۳	۱/۲۷	۰/۵۲۵
	>۲۶۰۰	۰	۲/۲۸	۰	۰
کاربری اراضی	اراضی زراعی	۰/۶۵	۲/۰۲	۰/۳۲	۰/۲۷۱
	اراضی جنگلی	۱۵/۴۱	۲۱/۸۶	۰/۷	۰/۵۹۵
	فاقد پوشش گیاهی	۴/۳۴	۳/۶۶	۱/۱۸	۱
	اراضی مرتعی	۷۹/۵۸	۷۲/۴۴	۱/۰۹	۰/۹۲۷
آبراهه	۰-۳۰۰	۳۷/۵۳	۳۶/۴۹	۱/۰۲	۰/۸۷۷
	۳۰۰-۶۰۰	۲۸/۴۴	۲۴/۲۷	۱/۱۷	۱
	۶۰۰-۹۰۰	۱۶/۲۴	۱۷/۶۶	۰/۹۲	۰/۷۸۵
	۹۰۰-۱۲۰۰	۹/۵۶	۱۰/۶۷	۰/۸۹	۰/۷۶۴
	>۱۲۰۰	۸/۲۲	۱۰/۹	۰/۷۵	۰/۶۴۳
جاده	۰-۳۰۰	۵/۸۲	۹/۳۳	۰/۶۲	۰/۵۳۷
	۳۰۰-۶۰۰	۳/۳۸	۶/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۴۶
	۶۰۰-۹۰۰	۲/۶۷	۶/۲۳	۰/۴۲	۰/۳۶۹
	۹۰۰-۱۲۰۰	۴/۰۱	۵/۴۴	۰/۷۳	۰/۶۳۴
	>۱۲۰۰	۸۴/۱	۷۲/۴۵	۱/۱۶	۱
بارندگی	۳۸۳-۴۰۳	۱۰/۳۹	۱۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۴۱۳
	۴۰۳-۴۲۳	۳۳/۱۰	۱۴/۲۰	۲/۳۳	۱
	۴۲۳-۴۴۳	۳۹/۳۹	۲۶/۲۲	۱/۵۰	۰/۶۴۴
	۴۴۳-۴۴۶	۱۷/۱۰	۴۸/۷۸	۰/۳۵	۰/۱۵۰

ادامه جدول(۱)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]



شکل (۳). نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس عملگر گامای فازی

جدول (۲). نتایج به دست آمده از پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم سنگر با استفاده از عملگر گامای فازی

مدل استفاده شده	کلاس خطر	درصد مساحت
گامای فازی	خیلی کم	۱۳/۳۹
	کم	۴۷/۵۸
	متوسط	۳۲/۷
	زیاد	۵/۴۴
	خیلی زیاد	۰/۸۸۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

در روش های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل به ترتیب از روابط ۱ و ۲ به دست می‌آید. نتایج مربوط به کلاسه‌های عوامل مختلف در جداول ۳ تا ۱۰ آورده شده است.

نتایج بررسی کلاس‌های شیب منطقه بر اساس مدل ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح نشان می‌دهد بیشترین حساسیت نسبت به زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب بیشتر از ۴۵ درجه اتفاق افتاده است (جدول ۳). این امر حاکی از آن است که در شیب‌های بالا به دلیل افزایش نیروی ثقل شاهد زمین‌لغزش‌هایی از نوع ریزش سنگی هستیم.

جدول (۳). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل شیب

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۵-۰	۳۷۲۶	۱۳	-۱/۹۳	-۲۰/۶۶
۱۵-۵	۳۵۹۳۵	۲۳۸	-۱/۲۹	-۱۷/۵۳
۲۵-۱۵	۴۵۸۶۸	۸۸۲	-۰/۲۲	-۴/۹۲
۳۵-۲۵	۱۶۵۹۲	۹۷۰	۰/۸۸	۳۴/۳
۴۵-۳۵	۲۴۳۵	۳۷۹	۱/۸۶	۱۳۱/۴۹
۴۵<	۲۳۵	۴۹	۲/۱۵	۱۸۴/۳۵

بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که سازند پابده به دلیل استعداد بالای لیتولوژی مارن به جذب آب و منبسط شدن از بیشترین حساسیت در مقابل لغزش برخوردار است (جدول ۴).

جدول (۴). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل زمین‌شناسی(لیتولوژی)

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
EMas-sb	۱۳۳۲۳	۴۱۲	۰/۲۴	۶/۷۷
EKn	۳۵۰۵۶	۱۰۸۰	۰/۲۴	۶/۶۵
pd	۱۱۲۶۲	۴۱۲	۰/۴۱	۱۲/۴۳
KEpd-gu	۴۰۵۸۴	۶۲۷	-۰/۴۴	-۸/۷
Kbgp	۱۰۲۳	۰	invalid	-۲۴/۱۵
Qft2	۳۵۴۳	۰	invalid	-۲۴/۱۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای و بر هم زدن تعادل شیب، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقات نزدیک به شبکه آبراهه وجود دارد (جدول ۵).

جدول (۵). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل فاصله از آبراهه

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۳۰۰-۰	۳۸۲۸۰	۹۵۰	۰/۰۲۷	۰/۶۶
۶۰۰-۳۰۰	۲۵۵۴۲	۷۲۰	۰/۱۵	۴/۰۳
۹۰۰-۶۰۰	۱۸۴۳۵	۴۱۱	-۰/۰۸	-۱/۸۶
۱۲۰۰-۹۰۰	۱۱۱۴۱	۲۴۲	-۰/۱	-۲/۴۳
۱۲۰۰<	۱۱۳۹۳	۲۰۸	-۰/۲۸	-۵/۸۹

نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی فاقد پوشش گیاهی و اراضی مرتعی وجود دارد (جدول ۶). در مورد اراضی مرتعی با توجه به چرای دام‌ها در سطح این کاربری این موضوع قابل تفسیر می‌باشد.

جدول (۶). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل کاربری اراضی

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
اراضی زراعی	۲۱۲۷	۱۶	-۱/۱۶	-۱۶/۶۳
اراضی جنگلی	۲۲۷۵۳	۳۹۰	-۰/۳۴	-۷/۰۱
فاقد پوشش گیاهی	۳۸۴۴	۱۱۰	۰/۱۷	۴/۴۶
اراضی مرتعی	۷۶۰۶۷	۲۰۱۵	۰/۰۹	۲/۳۳

در بررسی عامل بارش نتایج دور از انتظار بود و در کلاس با بیشترین بارندگی کمترین حساسیت نسبت به لغزش وجود داشت (جدول ۷) که علت آن را می‌توان به کمرنگ بودن نقش سایر عوامل در ایجاد لغزش‌های منطقه در این واحد نسبت داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

جدول (۷). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل بارندگی

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۴۰۳-۳۸۳	۱۱۲۹۰	۲۶۳	-۰/۰۳۶	-۰/۸۵
۴۲۳-۴۰۳	۱۵۳۵۹	۸۳۸	۰/۸۱	۳۰/۴
۴۴۳-۴۲۳	۲۷۸۱۸	۹۹۷	۰/۳۹	۱۱/۶۸
۴۶۶-۴۴۳	۵۰۳۲۴	۴۳۳	-۱/۰۳	-۱۵/۵۴

مطالعات جهت شیب بیشترین تاثیر را در جهت شمال نشان می‌دهد (جدول ۸) که نشان دهنده تاثیر رطوبت و حرارت خاک در ایجاد لغزش در این حوضه می‌باشد. زیرا در جهت‌های شمالی به دلیل آفتاب‌گیری کمتر، حرارت و تبخیر کمتری داشته و عامل رطوبت خود به فرسایش بیشتر و افزایش فشار منفذی که زمینه‌ساز لغزش هستند کمک می‌نماید.

جدول (۸). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل جهت شیب دامنه

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۲۲/۵-۰	۸۷۷۶	۳۷۶	۰/۵۷	۱۸/۶۹
۶۷/۵-۲۲/۵	۱۶۹۹۶	۷۱۱	۰/۵۵	۱۷/۶۸
۱۱۲/۵-۶۷/۵	۱۰۲۷۱	۳۲۹	۰/۲۸	۷/۸۸
۱۵۷/۵-۱۱۲/۵	۱۰۲۳۱	۲۹۷	۰/۱۸	۴/۸۷
۲۰۲/۵-۱۵۷/۵	۱۶۰۴۲	۳۳۴	-۰/۱۴	-۳/۳۳
۲۴۷/۵-۲۰۲/۵	۱۹۲۹۵	۲۹۰	-۰/۴۷	-۹/۱۲
۲۹۲/۵-۲۴۷/۵	۹۹۲۱	۷۶	-۱/۱۴	-۱۶/۴۹
۳۳۷/۵-۲۹۲/۵	۷۹۶۸	۴۵	-۱/۴۵	-۱۸/۵
۳۶۰-۳۳۷/۵	۵۲۹۱	۷۳	-۰/۵۶	-۱۰/۳۵

بررسی طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که که بیشترین وزن به کلاس ۲۳۰۰-۲۰۰۰ متر تعلق دارد (جدول ۹) و با افزایش ارتفاع به دلیل مقاوم بودن لیتولوژی منطقه به لغزش، این مقدار کاهش می‌یابد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

جدول (۹). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل طبقات ارتفاعی

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۱۱۰۰-۷۹۳	۲۱۷۱۱	۱۱۹	-۱/۴۸	-۱۸/۶۷
۱۴۰۰-۱۱۰۰	۳۲۶۲۸	۳۷۷	-۰/۷۳	-۱۲/۵۹
۱۷۰۰-۱۴۰۰	۱۸۴۶۷	۶۴۴	۰/۳۶	۱۰/۷۲
۲۰۰۰-۱۷۰۰	۱۰۷۵۴	۵۶۸	۰/۷۸	۲۸/۶۶
۲۳۰۰-۲۰۰۰	۹۳۶۶	۵۳۱	۰/۸۵	۳۲/۵۴
۲۶۰۰-۲۳۰۰	۹۵۳۱	۲۹۲	۰/۲۳	۶/۴۸
۲۶۰۰<	۲۳۳۴	۰	invalid	-۲۴/۱۵

نتایج به دست آمده از پراکندگی لغزش‌ها نسبت به جاده نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در دورترین فاصله نسبت به جاده قرار دارد (جدول ۱۰). که تا حدودی نشان دهنده جاده‌سازی اصولی در سطح منطقه می‌باشد.

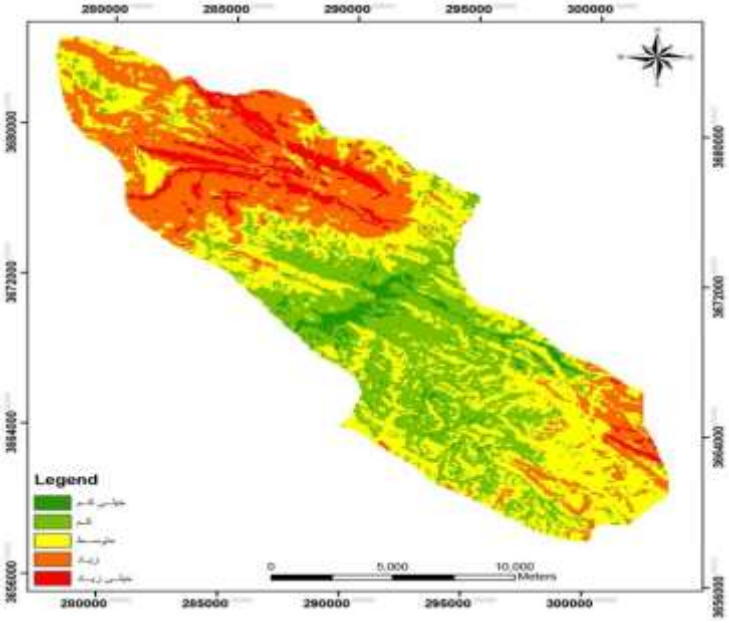
جدول (۱۰). نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل فاصله از جاده

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل ارزش اطلاعاتی	وزن مدل تراکم سطح
۳۰۰-۰	۹۶۹۳	۱۴۸	-۰/۴۵	-۸/۸۸
۶۰۰-۳۰۰	۶۷۶۲	۸۶	-۰/۶۴	-۱۱/۴۳
۹۰۰-۶۰۰	۶۴۳۱	۶۸	-۰/۸۲	-۱۳/۵۸
۱۲۰۰-۹۰۰	۵۶۷۹	۱۰۲	-۰/۲۹	-۶/۱۹
۱۲۰۰<	۷۶۲۲۶	۲۱۲۷	۰/۱۴	۳/۷۵

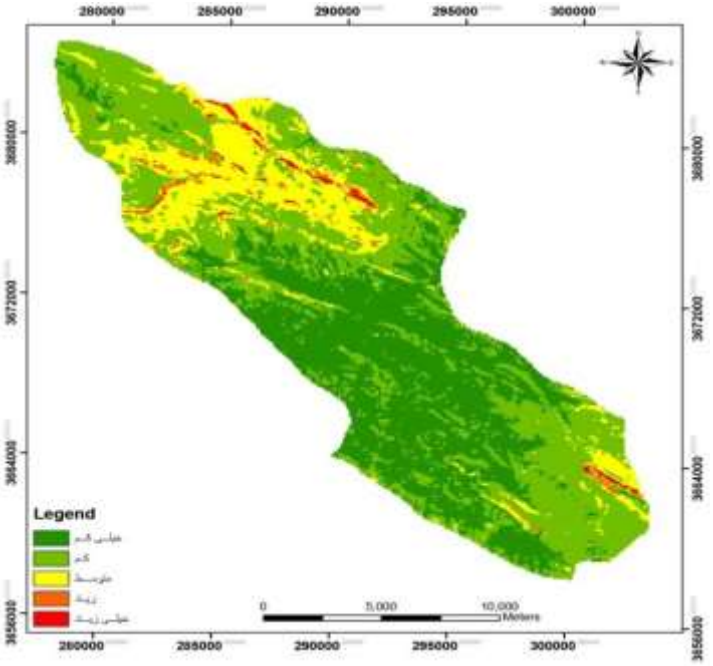
پس از بررسی لایه‌های اطلاعاتی موثر بر زمین‌لغزش‌های منطقه در نهایت بر اساس نرخ‌های به دست آمده از کلاسه‌های این عوامل، لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده؛ و با هم‌پوشانی و جمع کردن ارزش پیکسل‌های برای عوامل مختلف، نقشه نهایی برای مدل ارزش اطلاعاتی (شکل ۴) (جدول ۱۱) و تراکم سطح (شکل ۵) (جدول۱۱) به دست آمده است. بررسی نقشه‌های به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین مساحت منطقه با خطر لغزش بالا در قسمت شمال و شمال شرق حوضه واقع گردیده است و بیشترین مساحت منطقه با خطر لغزش پایین در قسمت‌های جنوبی و مرکزی حوضه قرار دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]



شکل (۴). نقشه خطر زمین لغزش بر اساس مدل ارزش اطلاعاتی



شکل (۵). نقشه خطر زمین لغزش بر اساس مدل تراکم سطح

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

جدول (۱۱). نتایج به دست آمده از پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم سنگر بر اساس مدل‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح

مدل استفاده شده	کلاس خطر	درصد مساحت
ارزش اطلاعاتی	خیلی کم	۳/۰۴
	کم	۲۶/۹۳
	متوسط	۳۶/۳۷
	زیاد	۲۷/۸۷
	خیلی زیاد	۵/۷۹
تراکم سطح	خیلی کم	۳۶/۳۱
	کم	۴۴/۷۸
	متوسط	۱۶/۶۲
	زیاد	۱/۶۵
	خیلی زیاد	۰/۶۳

ارزیابی نتایج

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) (رابطه ۴) استفاده شده است (Gee,1992). نتایج نشان می‌دهد که مدل های آماری (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی) از کارآمدی بیشتری نسبت به مدل گامای فازی برخوردارند (جدول ۱۲).

رابطه (۴)
$$Qs=\sum_{i=1}^{n}(Dr-1)^2 * \%Area$$

رابطه (۵)
$$Dr = \frac{S_i}{A_i} \Big/ \frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i}$$

Si: مساحت لغزش ها در هر کلاس خطر

Ai: مساحت کلاس i ام

n: تعداد کلاس‌ها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

جدول (۱۲). نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل‌های استفاده شده در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر

مدل استفاده شده	کلاس خطر	Dr	Qs
گامای فازی	خیلی کم	۰/۱۵۶	۰/۵۵۴
	کم	۰/۵۰۹	
	متوسط	۱/۷۷	
	زیاد	۲/۶۴	
	خیلی زیاد	۱/۵۲	
ارزش اطلاعاتی	خیلی کم	۰/۲۲۲	۱/۶۰
	کم	۰/۱۳۸	
	متوسط	۰/۴۹۹	
	زیاد	۱/۶۴	
	خیلی زیاد	۵/۵۵	
تراکم سطح	خیلی کم	۰/۱۷۷	۱/۸۵
	کم	۰/۷۳۷	
	متوسط	۲/۶۲	
	زیاد	۶/۸۷	
	خیلی زیاد	۱۰/۸	

نتیجه‌گیری

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه چم سنگر از مدل‌های فازی، تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی استفاده گردید. بر این اساس ۸ عامل موثر در وقوع زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارندگی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه مورد بررسی و وزن‌دهی قرار داده شد.

درتهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل فازی در منطقه مورد مطالعه از توابع عضویت Fuzzy Gaussian، Fuzzy large و Fuzzy Small در محیط نرم افزار ArcGIS 10 استفاده گردید و به منظور تلفیق لایه‌های به دست آمده از عملگر گامای فازی ۰/۹ استفاده شده است، این امر به این سبب می‌باشد که اپراتور فازی AND تقریباً تمام سطح منطقه را در کلاس کم خطر قرار داده و در مقابل اپراتور فازی OR منجر می‌شد که قسمت اعظم منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار بگیرند و این به دلیل ماهیت و تشابه نوع عملکرد این عملگرهای فازی با منطق بولین است که در حالت بدبینانه (۰) و در حالت کاملاً خوش بینانه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

(۱) ظاهر می‌گردد. اپراتور جمع به دلیل اینکه در آن ارزش پیکسل ها به سمت ۱ میل می‌کند و اپراتور ضرب به دلیل ضرب تمام لایه‌ها و میل کردن اعداد خروجی به سمت صفر، به ترتیب باعث قرار گیری وسعت زیادی از منطقه در کلاس‌های بی خطر و خطر زیاد شده و نتایجی به دور از واقعیت و غیر قابل قبول ارائه می‌کنند. بنابراین در این پژوهش تنها از اپراتور گامای فازی استفاده شده است که تعادلی بین حساسیت بالای اپراتور ضرب و حساسیت پایین اپراتور جمع ایجاد می‌کند و نتایج حاصل، کلاس‌های مختلف خطر را با جدایش بهتری نشان می‌دهد و دقت نقشه خروجی بالاتر می رود.

درروش‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح؛ رابطه‌ی پارامترهای موثر در وقوع لغزش با پراکندگی زمین‌لغزش‌ها مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است و با توجه به اینکه تمام تجزیه و تحلیل‌ها بر مبنای نقشه پراکنش لغزش‌ها صورت می‌گیرد این مدل‌ها از دقت بالایی برای پهنه‌بندی خطر لغزش برخوردارند.

ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل‌های استفاده شده در حوضه چم‌سنگر با استفاده از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) به ترتیب نشان دهنده مطلوبیت عملکرد مدل‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و مدل گامای فازی در پیش‌بینی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. این نتایج با نتایج به دست آمده از مطالعات شادفر و همکاران (۱۳۸۷ و ۱۳۹۰) هماهنگ بوده و با مطالعات فانیو (۲۰۰۷) و بهاروند و سوری (۱۳۹۴) که به ترتیب مدل ارزش اطلاعاتی و منطق فازی از کارایی بالاتری برخوردار بودند در تضاد می‌باشد. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته با مدل تراکم سطح به ترتیب ۳۶/۳۱، ۴۴/۷۸، ۱۶/۶۲، ۱/۶۵، ۰/۶۳ درصد از مساحت منطقه در کلاس های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های صمیمانه باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد خرم‌آباد تقدیر و تشکر می‌نمایند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

منابع و ماخذ

۱.بهاروند، سیامک و سوری، سلمان (۱۳۹۴). **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و مدل تراکم سطح (مطالعه موردی حوضه کاکاشرف، جنوب شرقی خرم‌آباد)**، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، سال نهم، شماره چهار، صص ۳۱۱۲-۳۰۹۳.

۲.رنجبر، محسن و روغنی، پریسا (۱۳۸۸). **پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)**، فصل نامه جغرافیای چشم انداز زاگرس، سال اول، شماره دو، صص ۳۰-۲۱.

۳.سوری، سلمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد و فرهادی نژاد، طاهر (۱۳۹۰). **پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی حوضه کشوری(نوژیان)**، نشریه زمین شناسی مهندسی، سال پنجم، شماره دو، صص ۱۲۸۶-۱۲۶۹.

۴.شادفر، صمد؛ قدوسی، جمال؛ خلخالی، علی و کلارستاقی، عطااله (۱۳۸۷). **بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آبخیز جنت رودبار**، نشریه پژوهش و سازندگی، سال بیست و یک، شماره هفتادو هشت، صص ۶۴-۵۶.

۵.شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی و نمکی، محمد (۱۳۹۰). **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرود**، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، سال سوم، شماره یک، ۴۷-۴۰.

۶.شیرانی، کورش و سیف، عبداله (۱۳۹۱). **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون‌شهر)**، نشریه علوم زمین، سال بیست و دو، شماره هشتاد و پنج، صص ۱۵۸-۱۴۹.

۷.فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه لب، محمد و اشقلی فراهانی، عقیل (۱۳۸۴). **بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)**، مجله علوم دانشگاه تهران، سال سی و یک، شماره یک، صص ۶۴-۴۳.

۸.فرهادی نژاد، طاهر؛ شریعت جعفری، محسن؛ سوری، سلمان و ویسکرمی، ایرج (۱۳۸۹). **ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش در زیر حوضه سرخاب از واحدهای هیدرولوژیکی سد دز**، مجله انجمن زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره سه و چهار، صص۳۲-۲۳.

Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S. & Neethu, S. (2015). ***Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim***, Geoenvironmental Disasters, Vol. 2(6), pp 1-17.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]

Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I. & Dick, O. (2012). ***Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models***, CATENA, Vol. 96, pp 28–40.

Fanyu liu, Z. (2007). ***Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics, a case study in Longnon Area Highway 212***, Science paper online.

Gee, M.D. (1992). ***Classification of landslhde hazard zoning methods and a test of predictive capability***, Bell, Davi H.(ed), Proceedings 6 th International Symposium on Landslids, pp 110-121.

Lee, S. & kyungduck, M. (2001). ***Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea***, Enviromented geology, Vol. 40, pp 1095–1113.

Tanaka, K. (1996). ***An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications***, Springer New York, 148p.

Yin, K.J. & Yan, T.Z. (1988). ***Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks***, Proceedings 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switserland, Vol. 2, pp 1269-1272.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.3.9]