پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و مدل تراکم سطح (مطالعهٔ موردی حوضه کاکاشرف، جنوب‌شرقی خرم‌آباد)

سیامک بهاروند؛ گروه زمین شناسی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران
سلمان سوری*؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم آباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ: دریافت ۹۲/۳/۲۰ **پذیرش** ۹۳/٦/۲۵

چکیده

یکی از انواع فرآیندهای دامنه‌ای که هرساله در برخی نقاط جهان و ایران رخ داده و باعث خسارت‌های جانی و مالی فراوانی می‌شود، پدیدهٔ زمین لغزش است. به‌منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در حوضهٔ کاکاشرف ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی نقاط لغزشی شناسایی شده و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین لغزش حوضه تهیه شده است. با تلفیق نقشهٔ عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از این عوامل از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه در محیط نرم‌افزار Arc GIS سنجیده شده است. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی این عوامل اولویت‌بندی شدند. در این تحقیق از روش منطق فازی و تراکم سطح به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف استفاده شده است. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های استفاده شده در برآورد خطر لغزش منطقه از شاخص احتمال تجربی استفاده شده است، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل منطق فازی، روش کارآمدتری نسبت به مدل تراکم سطح استفاده شده برای تهیهٔ نقشه خطر لغزش‌های حوضهٔ کاکاشرف است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، حوضهٔ کاکاشرف، منطق فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تراکم سطح

* **نویسنده مسئول** soorisalman@yahoo.com

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

مقدمه

بنا به تعریف انجمن جهانی زمین‌شناسی مهندسی، زمین لغزش عبارت از جابه‌جایی به‌سمت پایین توده‌ای از مواد روی یک شیب است. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، عمده شرایط طبیعی برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها را دارد. بنا بر این به همان نسبت که از امتیاز کوهستانی بودن و تنوع آب و هوایی بهرمند هستیم در معرض خطرات ناشی از آن نیز قرار داریم. بر اساس برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل بازگشت به‌حساب آورده نشوند [۱].

استان لرستان به‌دلیل خصوصیات متنوع زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، تکتونیک، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است. قرار گرفتن روی کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست مارنی شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در سرتاسر این استان شرایط ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی را ایجاد کرده است [۲]. در این تحقیق به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضهٔ کاکاشرف واقع در استان لرستان از روش‌های تراکم سطح و منطق فازی استفاده شده است.

در روش آماری دو متغیر تراکم سطح وقوع زمین لغزش به‌عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی مؤثر بر لغزش به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند بنا بر این مهم‌ترین مرحله برای ارزیابی و تعیین خطر زمین‌لغزش، شناسایی و بررسی زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته و بررسی عواملی است که زمین لغزش‌ها را کنترل می‌کنند.

لطفی‌زاده استاد دانشگاه کالیفرنیا اولین بار مفهوم منطق فازی را در مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی"، در سال ۱۹٦۵ ارائه کرد [۳]. منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. به‌طورکلی هدف از تئوری فازی، ایجاد روشی نوین در بیان عدم

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

قطعیت ها و ابهامات روزمره است [٤].

در سال‌های اخیر این روش‌ها مورد توجه پژوهش‌گران متعددی قرار گرفته که از جمله می‌توان به‌بررسی‌های پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸) [۵] "ارزیابی خطر زمین لغزش در بخشی از حوضهٔ آبخیز هراز با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ فازی"، بهنیافر و همکاران (۱۳۸۹) [٦] "بررسی کاربرد روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آب‌ریز فریزی"، کریمی و همکاران (۱۳۹۰) [۷] "استفاده از مدل‌های تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ چرداول ایلام"، زمانی (۱۳۹۰) [۸] "پهنه‌بندی مخاطرات زمین در حوضهٔ یدک طویل با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و سلسله مراتبی"، سوری (۱۳۹۰) [۹] "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کشوری (نوژیان)" و عبادی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) [۱۰] "ارزیابی کارایی عمل‌گرهای منطق فازی در پهنه‌بندی خطر لغزش‌های حوضهٔ شیرود"؛ در ایران و به پژوهش‌های فانیو[1] (۲۰۰۷) [۱۱] "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری دومتغیره در منطقهٔ لانگنون چین"، یالکین[2] (۲۰۰۸) [۱۲] "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش آماری دومتغیره در ترکیه"، وی دونگ[3] و همکاران (۲۰۰۹) [۱۳] "ارزیابی حساسیت رانش زمین در اطراف استان گوئیژو چین"، بوی[4] و همکاران (۲۰۱۲) [١٤] "پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در استان هوابین ویتنام با استفاده از تئوری فازی" اشاره کرد.

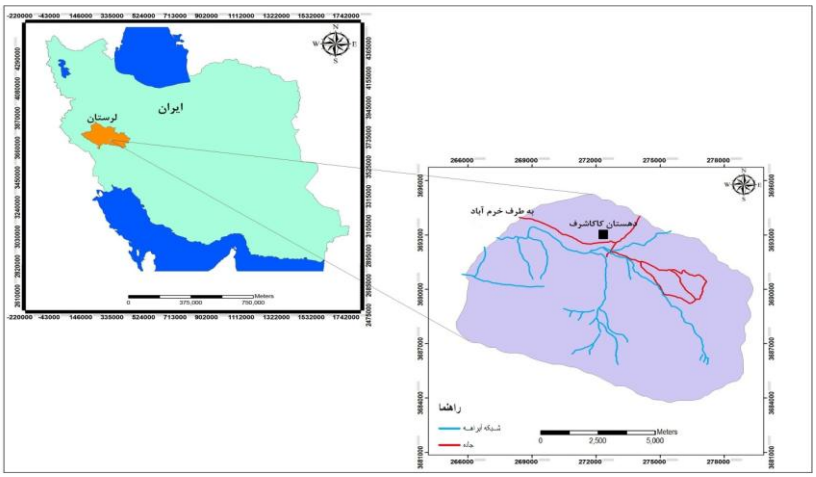
مواد و روش‌ها

ویژگی‌های حوضهٔ بررسی شده

حوضهٔ آبریز کاکاشرف با مساحتی حدود ۱۰۹ کیلومترمربع در ۱۵ کیلومتری جنوب‌شرقی خرم‌آباد در استان لرستان قرار دارد (شکل ۱). بلندترین نقطهٔ ارتفاعی آن ۲۷۲٦ متر و پست‌ترین نقطه ۱۳۹۰ متر از سطح آزاد دریا قرار دارد. و از دیدگاه زمین‌ساختی گسترهٔ بررسی شده در پهنهٔ زاگرس چین‌خورده قرار می‌گیرد.

1. Fanyu 2.Yalcin 3. Wei dong 4. Bui

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضهٔ کاکاشرف

بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش‌های حوضهٔ کاکاشرف

اولین گام در تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده است. در حوضهٔ کاکاشرف ۱۳۹۸ پیکسل لغزشی با ابعاد ۳۰×۳۰ متر شناسایی شده است. با توجه به سازوکار مشابه لغزش‌ها در این تحقیق سه لغزش بزرگ حوضه به نمایندگی از سایر لغزش‌ها بررسی شده است (شکل ۲) (جدول ۱).

در این تحقیق برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش‌های حوضهٔ کاکاشرف ۷ عامل شیب، جهت‌شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه بررسی شده است. برای بررسی ارتباط عوامل تأثیر گذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف بعد از تهیهٔ نقشه این عوامل، با قطع دادن نقشه هر یک از آن‌ها با نقشهٔ نقاط لغزشی منطقه، پراکندگی نقاط لغزشی نسبت به عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS بررسی شده است.

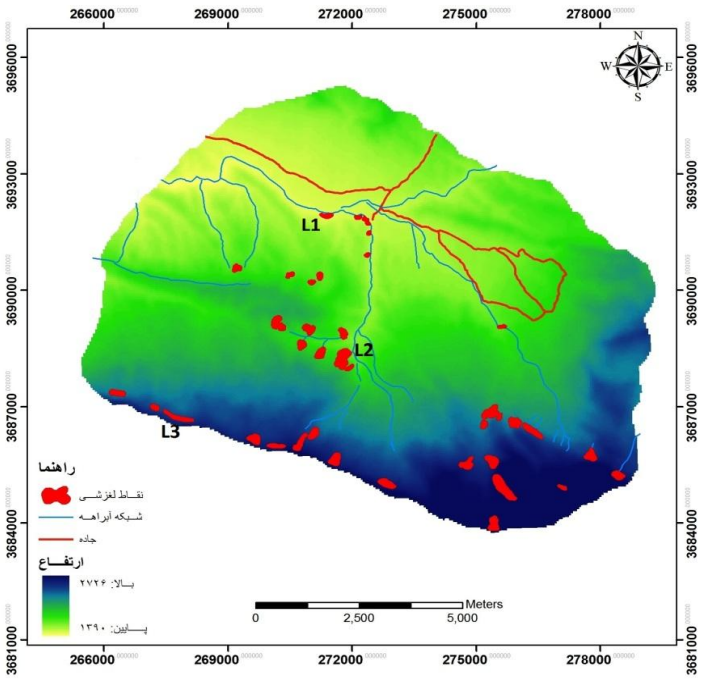
۱. میزان شیب دامنه: شیب یکی از عوامل اصلی ایجاد زمین‌لغزش در مناطق مختلف است و اکثر روش‌ها به این پارامتر تأکید دارند. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ شیب از مدل رقومی ارتفاعی که از خطوط تراز نقشهٔ توپوگرافی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد استفاده شده

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

است. نقشهٔ شیب برای منطقهٔ بررسی شده در ۵ کلاس ۵-۰، ۱۵-۵، ۳۰-۱۵، ٤٥-۳۰ و بیش‌تر از ٤٥ درجه تهیه شده است (شکل ۳).

جدول ۱. بررسی مهم‌ترین زمین لغزش‌های حوضهٔ کاکاشرف

	نوع زمین‌لغزش	نوع مصالح درگیر	مهم‌ترین عامل مؤثر بر زمین‌لغزش	مساحت (مترمربع)
L1	لغزش	خاک	رودخانه	١٦٥٩٤
L2	لغزش	سنگ	زمین‌شناسی	١١١٧٨٥
L3	ریزش	سنگ	شیب	٣٩٧٤٧



شکل ۲. نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف

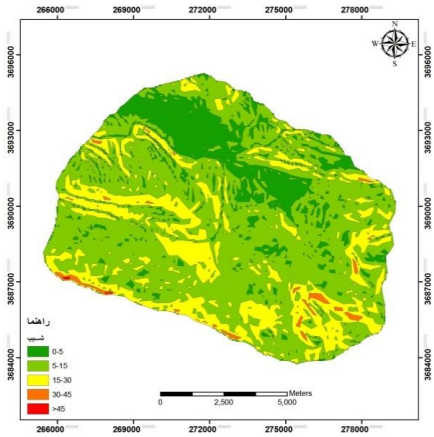
۲. زمین‌شناسی منطقه: خصوصیات لیتولوژیک و زمین‌شناسی منطقه از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در وقوع زمین‌لغزش است. لیتولوژی نوع سنگ، درجهٔ هوازدگی و نوع و مقدار ماده پرکننده را دربر می‌گیرد که هر کدام از این عوامل نقش به‌سزایی در مکانیسم پایداری شیب‌ها دارند. در این تحقیق واحدهای سنگ‌شناسی حوضهٔ کاکاشرف بر اساس جنس و

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

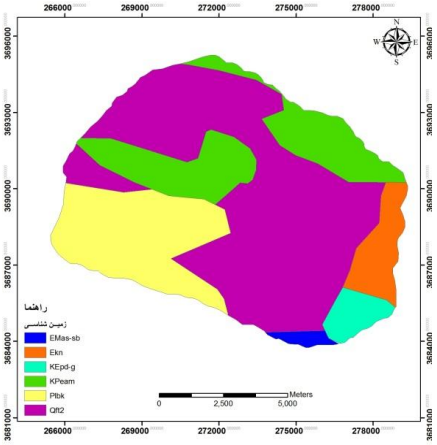
سن مجزا شده است (جدول ۲) (شکل ٤). مبنای این نقشه، نقشهٔ زمین‌شناسی استان لرستان تهیه شده به‌وسیلهٔ سازمان زمین‌شناسی است که مرز واحدها بر اساس بررسی‌های میدانی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده است.

جدول ۲. واحدهای سنگ‌شناسی حوضهٔ کاکاشرف

واحد	ویژگی
Qft2	ذخایر تراستی و مخروطه افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع
Plbk	کنگلومرای توده‌ای سیمانی با دگرسانی شدید و ماسه سنگ کمی هوازده با چینه‌بندی متقاطع (سازند بختیاری)
EMas-sb	سنگ‌های تفکیک نشده سازندهای شهبازان و آسماری
KPeam	سیلتستون کمی هوازده زیتونی تیره و ماسه سنگ با توسعه از کنگلومراهای چرتی و آهک (سازند امیران)
KEpd-g	سنگ‌های تفکیک نشده سازندهای پابده و گورپی
EKn	کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و سیلتستون (سازند کشکان)



شکل ۳. نقشهٔ شیب حوضهٔ کاکاشرف



شکل ٤. نقشهٔ زمین‌شناسی(لیتولوژی) حوضه کاکاشرف

۳. جهت شیب: جهت شیب یکی از عوامل تأثیرگذار در تهیهٔ نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش است. زیرا جهت شیب نشان‌دهندهٔ تأثیر متفاوت نور آفتاب (تشعشعات خورشید)، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است. در این تحقیق به‌منظور ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخداده نقشهٔ جهت شیب به ۹ کلاس ۰-۲۲/۵، ۲۲/۵-٦۷/۵، ٦۷/۵-۱۱۲/۵، ۱۱۲/۵-۱۵۷/۵، ۱۵۷/۵-۲۰۲/۵، ۲۰۲/۵-۲٤۷/۵،

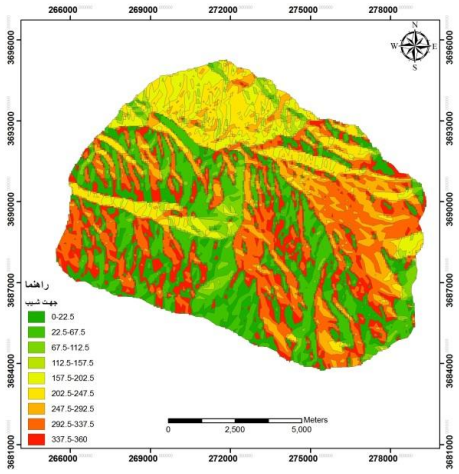
[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

۲۹۲/۵–۲۴۷/۵، ۳۳۷/۵–۲۹۲/۵، ۳۶۰–۳۳۷/۵ درجه طبقه‌بندی شد (شکل ۵).

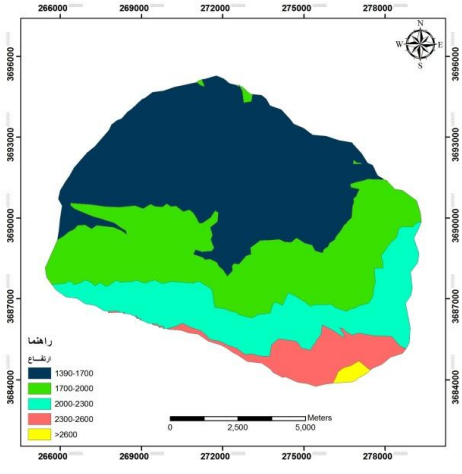
٤. طبقات ارتفاعی: ارتفاع نیز به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش معرفی شده است زیرا در کنترل درجه و نوع فرسایش نقش به‌سزایی دارد [۱۵]. نقشهٔ طبقات ارتفاعی خود از کلاس‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه می‌شود. به‌منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخداده در منطقه، نقشهٔ طبقات ارتفاعی در ۵ کلاس ۱۷۰۰–۱۳۹۰، ۲۰۰۰–۱۷۰۰، ۲۳۰۰–۲۰۰۰، ۲۶۰۰–۲۳۰۰ و بیش‌تر از ۲۶۰۰ متر تهیه شد (شکل ٦).

۵. نقشهٔ فاصله از آبراهه: به‌منظور تهیه نقشهٔ حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه‌ها از روی نقشهٔ توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار GIS رقومی گردید. سپس نقشهٔ مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل ۳۰۰–۰، ۶۰۰–۳۰۰، ۹۰۰–۶۰۰، ۱۲۰۰–۹۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰ متر تقسیم و به‌منظور بیان ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و حریم فاصله از آبراهه‌ها به‌کار گرفته شد (شکل ۷).

٦. فاصله از جاده: بررسی‌ها نشان داده است که جاده‌سازی غیراصولی از عوامل مهم در ایجاد لغزش به‌شمار می‌آید. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ فاصله از جاده، شبکهٔ جاده از روی نقشه توپوگرافی استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. سپس نقشهٔ مورد نظر با فواصل ۳۰۰–۰، ۶۰۰–۳۰۰، ۹۰۰–۶۰۰، ۱۲۰۰–۹۰۰ و بیش‌تر از ۱۲۰۰ متر تقسیم شد (شکل ۹).

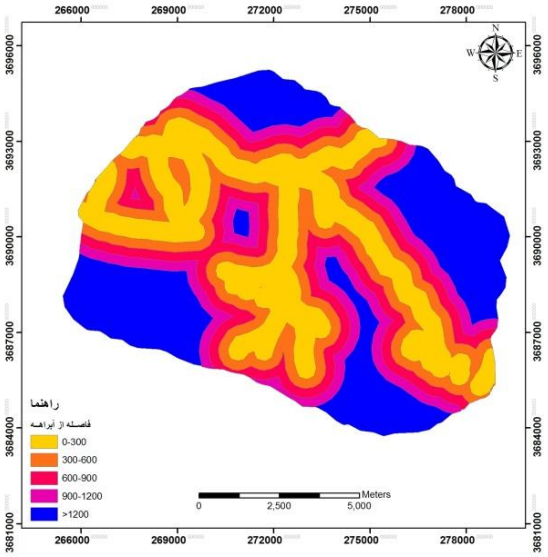


شکل ۵. نقشهٔ جهت شیب حوضهٔ کاکاشرف



شکل ٦. نقشهٔ طبقات ارتفاعی حوضهٔ کاکاشرف

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]



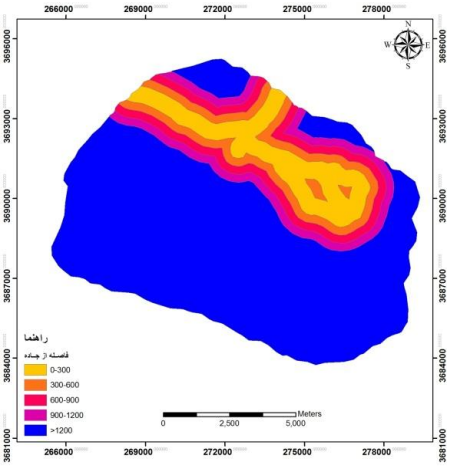
شکل ۷. نقشهٔ فاصله از آبراهه در حوضهٔ کاکاشرف



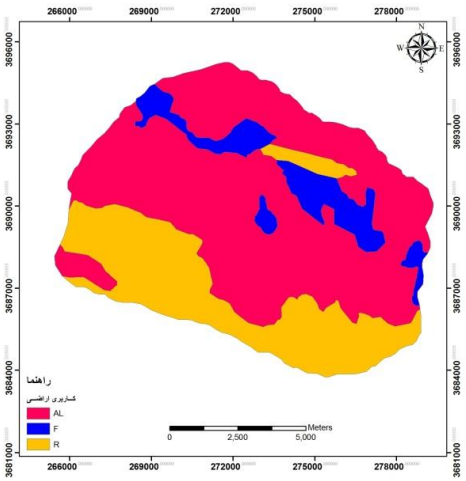
شکل ۸ زمین لغزش در حریم رودخانه واقع در منطقه کاکاشرف

۷. کاربری اراضی: نقشهٔ کاربری اراضی نحوهٔ توزیع پوشش گیاهی و غیرگیاهی و هم‌چنین نوع پوشش گیاهی در نقاط مختلف را نشان می‌دهد. در حوضهٔ کاکاشرف کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM و عملیات میدانی تکمیل شده است. بر اساس بررسی صورت گرفته کاربری‌های اراضی زراعی (Al)، اراضی جنگلی (F) و اراضی صخره‌ای (R) در منطقه شناسایی شد (شکل ۱۰).

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]



شکل ۹. نقشهٔ فاصله از جاده در حوضهٔ کاکاشرف



شکل ۱۰. نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ کاکاشرف

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش در حوضهٔ کاکاشرف

در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که از مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش استفاده شده است. AHP روشی نیمه‌کیفی در بررسی زمین‌لغزش است که شامل ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی بین عوامل است و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند [۱۵]. از مزایای این روش این است که اعمال نظر کارشناسی به‌وسیلهٔ افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. هم‌چنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به‌دست آورد [۱۶].

در تحلیل سلسله مراتبی روش کار بدین صورت است که ابتدا به‌منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسه‌های زوجی استفاده می‌شود، به‌طوری‌که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به‌صورت جدول ۳ در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌کند [۱۷].

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

سپس نتایج این مقایسه‌ها، برای محاسبهٔ شاخص ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه شده کم‌تر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول است و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدید نظر شود.

جدول ۳. طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی

توصیف زبانی ارجحیت طبقات	مقدار عددی وزن‌ها
کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یک‌سان	۱
اولویت بین فواصل	۲، ٤، ٦ و ۸

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تراکم سطح

در این تحقیق تحلیل خطر زمین‌لغزش بر مبنای ۷ عامل مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها شامل شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری ارضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده و آبراهه انجام شده است. در روش تراکم سطح میزان مربوط به هر کلاس از عوامل مؤثر بر لغزش از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید:

$$W_{area} = 1000\left(\frac{A}{B}\right) - 1000\left(\frac{C}{D}\right) \quad (۱)$$

W_{area}= وزن تراکم سطح A= مساحت زمین لغزش در کلاس متغیر
B= مساحت کلاس متغیر C= مساحت کل زمین لغزش‌ها D=مساحت کل حوضه

به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف با استفاده از روش تراکم سطح؛ ابتدا میزان مربوط به هر کلاس با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود. سپس نقشهٔ وزنی هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش بر اساس نرخ‌های به‌دست آمده تهیه و با جمع جبری نقشه‌های این عوامل، نقشه نهایی به‌دست می‌آید.

پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از منطق فازی

در روش منطق‌فازی بعد از تهیهٔ منابع و اطلاعات لازم، همهٔ مراحل تحقیق شامل

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

سامان‌دهی اطلاعات، اجرای مدل ها و ارزیابی نتایج در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10 انجام گرفته است. به‌طورکلی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف با استفاده از منطق فازی شامل این مراحل است:.

۱. ساختن پایگاه داده‌های فضایی و به‌بیانی ورود و سازماندهی داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های مختلف استفاده شده برای پهنه‌بندی و سامان‌دهی آن‌ها در قالب مدل‌های رستری و برداری.
۲. مرحلهٔ پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف است.
٤. تعیین درجهٔ عضویت فازی بر اساس تابع عضویت گوسی
۵. هم‌پوشانی نقشه‌ها بر اساس عمل‌گر جمع فازی و در نهایت تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی منطقه

تابع عضویت: تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. به بیان لطفی‌زاده برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه باید تابع عضویت تعریف شود [۳]. یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. در تعریف تابع عضویت می‌توان گفت که درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌ها آن است و به‌صورت $\mu c(X)$ نمایش داده می‌شود. برای به‌دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. در این تحقیق با استفاده از توابع عضویت خطی و گوسی نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش در حوضهٔ کاکاشرف به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند.

اپراتورهای مدل منطق فازی: اپراتورهای مدل منطق فازی مشتمل بر این موارد‌ند:

الف) عمل‌گر اجتماع فازی[۱]
ب)عمل‌گر اشتراک فازی[۲]
ج)عمل‌گر ضرب جبری فازی[۳]
د)عمل‌گر جمع جبری فازی[٤]
ی) عمل‌گر گاما فازی[۵]

1. Fuzzy OR 2. Fuzzy AND 3. Fuzzy Algebraic Product 4. Fuzzy Algebraic Sum 5. Fuzzy Gamma

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

عمل‌گر جمع فازی: در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی با هم جمع می‌شوند. این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری فازی است. به‌همین دلیل در نقشهٔ خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به‌سمت یک میل می‌کند (رابطه ۲). پژوهش‌*های* عبادی‌نژاد و همکاران [۱۰]، سوری [۹] نشان می‌دهد با توجه به این‌که در عمل‌گر جمع جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به‌سمت یک میل می‌کند از این رو، نتایج به‌دست آمده از این عمل‌گر اغراق‌آمیز است و دقت خیلی کمی در پهنه‌بندی خطر لغزش دارد به‌طوری‌که در دو بررسی صورت گرفته به‌ترتیب ۹۵ و ۹۸/۷٤ درصد از مساحت منطقه در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. در این تحقیق با تأثیر دادن اوزان به‌دست آمده از قضاوت کارشناسی در نقشهٔ وزن فازی هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش؛ به نوعی به اصلاح مدل جمع فازی پرداخته می‌شود.

$$\text{Combination} = \prod_{i=1}^{n} (1-\mu)\mu \qquad (۲)$$

نتایج و بحث

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف بعد از تهیهٔ نقشهٔ عوامل مؤثر بر لغزش، با قطع دادن نقشه هر یک از آن‌ها با نقشهٔ نقاط لغزشی منطقه، پراکندگی نقاط لغزشی نسبت به این عوامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS بررسی شده است و نتایج بدین شرح به‌دست آمده است:

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد لغزش‌ها مربوط به شیب ۱۵–۳۰ درجه است. که نشان‌گر این موضوع است که در شیب‌های کم‌تر از ۱۵ درجه به‌دلیل افزایش نیروی ثقل ضریب پایداری بیش‌تر است و در شیب‌های بالاتر نیز به‌علت کندی فرآیند خاک‌سازی، احتمال وقوع حرکات توده‌ای کاهش می‌یابد.

بررسی نتایج به‌دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که سازند بختیاری به‌دلیل حساسیت جنس لیتولوژی این واحد (شستشوی سیمان واحد کنگلومرایی و هوازدگی در سطح ماسه سنگ‌های آن) به لغزش، بیش‌ترین درصد از مساحت لغزش‌های منطقه را دارد.

نتایج به‌دست آمده از بررسی نقشهٔ پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای و بر هم زدن تعادل شیب، بیش‌ترین حساسیت به لغزش در طبقه

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

۳۰۰-۰ متری وجود دارد.

نتایج به‌دست آمده از بررسی نقشهٔ پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به جاده نشان داد که بیش‌ترین درصد لغزش در طبقه ۳۰۰-۰ متری وجود دارد. در مناطق کوهستانی جاده وضعیت طبیعی منطقه یا به‌عبارت دیگر تعادل شیب منطقه را به‌هم زده و بریدگی‌هایی روی دامنه به‌وجود می‌آورد که این بریدگی‌ها باعث وقوع زمین لغزش می‌شود که همین دلیل باعث افزایش زمین‌لغزش در اطراف جاده‌ها می‌شود.

نتایج حاصل از قطع نقشه کاربری اراضی نشان داد که بیش‌ترین حساسیت به لغزش در واحد مناطق صخره‌ای وجود دارد که این امر تا حدود زیادی می‌تواند ناشی از عدم عامل پوشش گیاهی منطقه باشد.

با توجه به نتایج حاصل از قطع نقشهٔ جهت شیب و زمین‌لغزش‌های منطقه جهت‌های شمال و شمال‌شرق دارای تراکم لغزشی بیش‌تری نسبت به جهت‌های دیگرند. از آن‌جا که دامنه‌های رو به شمال تابش کم‌تری دریافت می‌کنند بنا بر این میزان تبخیر در آن‌ها کم است و رطوبت موجود در این شرایط می‌تواند عاملی برای وقوع حرکات توده‌ای باشد.

بررسی کلاس‌های مختلف طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت لغزش در کلاس ۲۳۰۰-۲۰۰۰ قرار دارد و در ارتفاعات بالاتر به‌علت کمبود شرایط مناسب برای پدیده خاک‌سازی لغزش‌های کم‌تری رخ داده است.

به‌منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش با استفاده از روش AHP؛ نظرات کارشناسانی که به نوعی با حوضهٔ کاکاشرف آشنایی داشتند به‌کار گرفته شد و بر اساس مقادیری که برای مقایسه این عوامل در جدول ۳ آمده است، همهٔ عوامل دو به‌دو با هم مقایسه شده‌اند (شکل ۱۱). نتایج این مقایسه‌ها، برای محاسبهٔ ضریب ناسازگاری به نرم‌افزار Expert choice وارد شد. مقدار این شاخص در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش در حوضهٔ کاکاشرف ۰/۰۳ محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسه عوامل به‌درستی صورت گرفته است و با محاسبه کردن وزن هر یک از عوامل با این نرم‌افزار، عوامل اولویت‌بندی شدند (شکل ۱۲). نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی این عوامل نشان

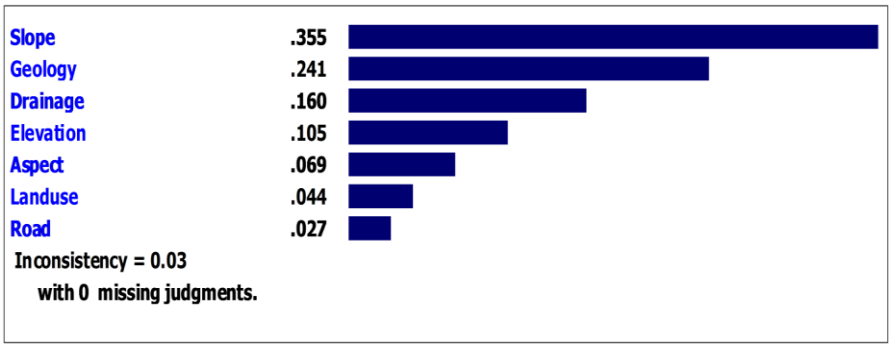
[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

می‌دهد به‌ترتیب اولویت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، ارتفاع، جهت شیب، کاربری اراضی و فاصله از جاده بیش‌ترین تأثیر بر لغزش‌های حوضه را دارند.

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تراکم سطح از نقشهٔ پراکنش لغزش‌ها و نقشهٔ عوامل مؤثر بر لغزش در حوضهٔ کاکاشرف استفاده شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از رابطهٔ ۲ وزن تراکم سطح کلاس‌های هریک از این عوامل محاسبه (جدول ٤) و نقشه‌های وزنی آن‌ها تهیه شد. سپس با جمع جبری نقشه‌های وزنی این عوامل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش صورت گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد به‌ترتیب ۳۷/۲۳، ۳۹/۸۷، ۱۹/۳۱، ۲/۹۷ و ۰/٦۱ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد (شکل ۱۳).

	Slope	Geology	Drainage	Elevation	Aspect	Landuse	Road
Slope		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
Geology			2.0	3.0	4.0	5.0	7.0
Drainage				2.0	3.0	4.0	6.0
Elevation					2.0	3.0	5.0
Aspect						2.0	4.0
Landuse							2.0
Road	Incon: 0.03						

شکل ۱۱. مقایسه‌های زوجی عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف بر اساس قضاوت کارشناسی



شکل ۱۲. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف

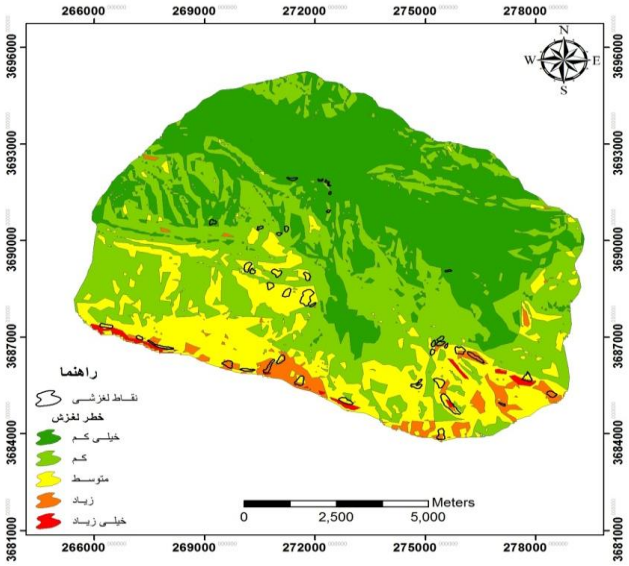
[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

جدول ٤. نتایج اوزان به‌دست آمده کلاس‌های عوامل مؤثر بر لغزش با استفاده از مدل تراکم سطح

عامل مؤثر بر لغزش	رده کلاس	وزن مدل تراکم سطح	عامل مؤثر بر لغزش	رده کلاس	وزن مدل تراکم سطح
شیب	۰–۵	–۱۰/٤	طبقات ارتفاعی	۱۳۹۰–۱۷۰۰	–۷/۹٦
	۵–۱۵	–۷/٤۹		۱۷۰۰–۲۰۰۰	–۲/۸۹
	۱۵–۳۰	۲۲/۲٦		۲۰۰۰–۲۳۰۰	۱٦/۰۵
	۳۰–٤۵	۸۹/۸۳		۲۳۰۰–۲٦۰۰	۱۲/۳٤
	>٤۵	–۱۱/۵۹		>۲٦۰۰	–۱۱/۵۹
زمین‌شناسی	Qft2	–۳/۵۳	فاصله از آبراهه	۰–۳۰۰	–۳۰/٤۷
	Plbk	۱۵/۷۱		۳۰۰–٦۰۰	–۱٦/٤۳
	EMas-sb	۳۳/٤۵		٦۰۰–۹۰۰	–۱۹/۷٤
	KPeam	–۷/۱٦		۹۰۰–۱۲۰۰	–۲۱/۰۳
	KEpd-g	۱۱/۱۷		>۱۲۰۰	–۲۳/٤۲
	EKn	–۱۰/۹۵	فاصله از جاده	۰–۳۰۰	–۱۰/۷۱
جهت شیب	۰–۲۲/۵	۱/۲٦		۳۰۰–٦۰۰	–۸/۹۲
	۲۲/۵–٦۷/۵	۱٤		٦۰۰–۹۰۰	–۹/۸۹
	٦۷/۵–۱۱۲/۵	۳/۱٦		۹۰۰–۱۲۰۰	–۱۱/۰۳
	۱۱۲/۵–۱۵۷/۵	–۱۰/۸۳		>۱۲۰۰	٤/۵۹
	۱۵۷/۵–۲۰۲/۵	۰/۲۵	کاربری اراضی	AL	–۲/۸۲
	۲۰۲/۵–۲٤۷/۵	–۷/٤٤		F	–۱۰/٦٤
	۲٤۷/۵–۲۹۲/۵	–٤/۲۲		R	۱۰/۱٦
	۲۹۲/۵–۳۳۷/۵	–٦/۸۳	–	–	–
	۳۳۷/۵–۳٦۰	–۰/٦٤	–	–	–

در روش منطق فازی بعد از تعیین درجهٔ عضویت هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری ارضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده و آبراهه با استفاده از توابع عضویت گوسی وخطی، نقشهٔ وزن فازی آن‌ها را در وزن‌های به‌دست آمده از قضاوت کارشناسی ضرب شد. در این تحقیق از عمل‌گر جمع فازی برای تلفیق لایه‌های به‌کار رفته در پهنه‌بندی استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی منطقه نشان می‌دهد که به‌ترتیب **۳/٤۵**، **۲٦/۳۲**، **۳۷/۲۹**، **۲۲/۳۷** و **۱۰/۵۵** درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (شکل ۱٤).

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]



شکل ۱۳. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف با استفاده از تراکم سطح

ارزیابی نتایج به‌دست آمده

محققان روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه کرده‌اند. در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی روش‌های استفاده شده در برآورد خطر لغزش از شاخص احتمال تجربی (P) (رابطهٔ ۳) استفاده شده است [۱۸]. بدین منظور با قطع نقشهٔ نقاط لغزشی با نقشه‌های خطر زمین‌لغزش مقدار لغزش‌ها در طبقات مختلف خطر محاسبه و در مرحلهٔ بعد با استفاده از رابطه ۳ میزان دقت مدل محاسبه شده است (جدول ۵).

$$P = KS/S \qquad (۳)$$

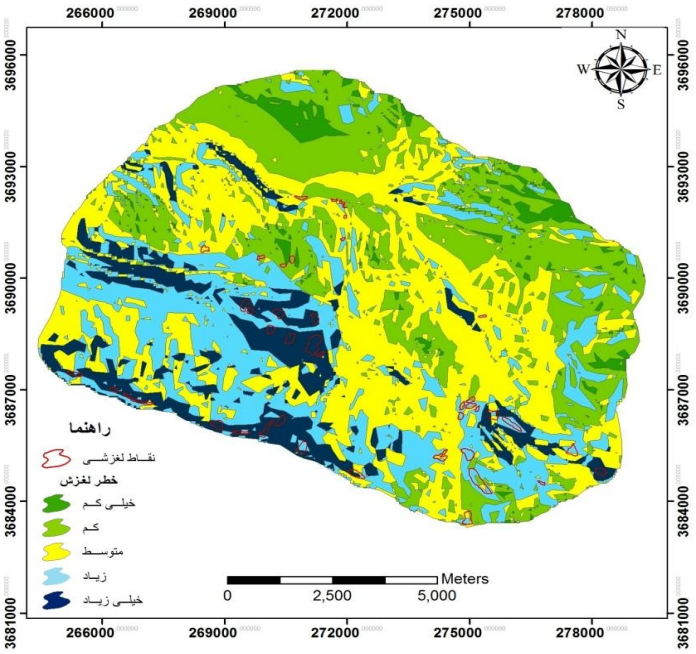
که در آن:

P: احتمال تجربی، KS: مساحت لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به‌بالا 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 به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل جمع جبری فازی اصلاح شده بر اساس اوزان به‌دست آمده از قضاوت کارشناسی

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

دقت بیش‌تری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ‌کاکاشرف دارد.



شکل ١٤. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف با استفاده از منطق فازی (عمل‌گر جمع فازی)

جدول ٥. ارزیابی مدل‌های استفاده شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف

مدل استفاده شده	کلاس خطر	تعداد پیکسل‌های لغزشی با ابعاد (۳۰*۳۰)	p
تراکم سطح	خیلی کم	۷۲	۰/۸٤۹
	کم	۱۳۸	
	متوسط	۸۳۸	
	زیاد	۲۸۷	
	خیلی زیاد	٦۳	
جمع فازی	خیلی کم	۱	۰/۹۲٤
	کم	۱۰٤	
	متوسط	۲۰۱	
	زیاد	٤٤٤	
	خیلی زیاد	٦٤۸	

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

نتیجه‌گیری

با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضهٔ کاکاشرف، نوع سازندهای زمین‌شناسی و وضعیت توپوگرافی، این حوضه پتانسیل لغزشی زیادی دارد به‌طوری‌که با تهیهٔ نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌ها در مجموع ۱۳۹۸ پیکسل لغزشی با ابعاد ۳۰×۳۰ متر در سطح منطقه شناسایی شد. به‌علت متفاوت بودن درجهٔ اهمیت عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی درست عوامل برای جلوگیری از وقوع زمین لغزش امری الزامی است. در این پژوهش از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌عنوان مدلی چندمعیاره تصمیم‌گیری، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش استفاده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده عوامل مؤثر بر وقوع لغزش در حوضهٔ کاکاشرف به‌ترتیب اولویت شامل شیب، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، ارتفاع، جهت شیب، کاربری اراضی و فاصله از جاده است. شیب با تأثیر بیش از ۳۵ درصد بر وقوع لغزش‌های حوضه مهم‌ترین عامل به‌شمار می‌رود، از این رو، پیشنهاد می‌شود برای احداث سازه در منطقه پژوهش‌های پایداری شیب صورت گرفته و سازه‌های متمرکز در مناطقی که با دامنه‌های کم شیب‌تری مواجه هستند احداث گردد. بررسی‌های میدانی و بررسی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین ناپایداری دامنه‌ای از نوع ریزش و در قسمت جنوبی منطقه است که علت آن را می‌توان شرایطی از جمله شیب مساعد برای وقوع زمین‌لغزش و هم‌چنین وجود لیتولوژی حساس سازند بختیاری دانست.

در این تحقیق به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ بررسی شده از عمل‌گر جمع فازی و مدل تراکم سطح استفاده شده است. ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد مدل جمع فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۰/۹۲٤ روش کارآمدتری نسبت به تراکم سطح با مقدار شاخص احتمال تجربی ۰/۸٤۹ در برآورد خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ کاکاشرف است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش جمع جبری فازی به‌ترتیب ۳/٤٥، ۲٦/۳۲، ۳۷/۲۹، ۲۲/۳۷ و ۱۰/۵۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

منابع

۱. نصیری ش.، *نگرشی بر زمین لغزش‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جادهٔ هراز)*، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین (۱۳۸۳).

۲. فرهادی‌نژاد ط.، شریعت جعفری م.، سوری س.، ویس‌کرمی ا.، *ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در زیر حوضهٔ سرخاب از واحدهای هیدرولوژیکی سد دز*، مجلهٔ انجمن زمین‌شناسی ایران، ۳ (۱۳۸۹) ۳۲-۲۳.

۳. تاناکا ک.، *مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن*، ترجمهٔ وحیدیان کامیاد، ع.، طارقیان، ح. ر.، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۳).

٤. اشقلی فراهانی ع.، *ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی*، پایان‌نامهٔ کارشنارسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم (۱۳۸۰).

۵. پورقاسمی ح.، مرادی ح.، فاطمی عقدا م.، مهدوی‌فر م.، محمدی م.، *ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی*، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳ (۸) (۱۳۸۸) ٦۲-۵۱.

٦. بهنیافر ا.، منصوری دانشور م.، کهربائیان پ.، *کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه‌بندی خطرات زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز فریزی)*، جغرافیای طبیعی، ۳ (۹) (۱۳۸۹) ۱۰۰-۸۹.

۷. زمانی ص.، *تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی مخاطرات زمین با تأکید بر زمین‌لغزش در حوضهٔ یدک طویل (شرق قوچان)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۰).

۸. کریمی ح.، نادری ف.، مرشدی ا.، نیک سرشت م.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)*، فصل‌نامهٔ زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، ۷ (٤) (۱۳۹۰) ۳۳۲-۳۱۹.

۹. سوری س.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کشوری (نوژیان)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۰).

۱۰. عبادی‌نژاد ع.، یمانی م.، مقصودی م.، شادفر ص.، *ارزیابی کارایی عمل‌گرهای منطق فازی در تعیین توان‌مندی زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز شیرود)*، مجلهٔ انجمن آبخیزداری ایران، ۱(۲) (۱۳۹۰) ٤٤-۳۹.

11. Fanyu liu Z., "Study on landslide susceptibility mapping based GIS and

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]

with bivariate statistics, a case study in Longnon Area Highway 212", Science paper online (2007).

12. Yalcin A., "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations", Catena, 72 (2008) 1-12.
13. Wei dong W., Cui-ming X., Xiang-gang D., "Landslides susceptibility mapping in Guizhou province based on fuzzy theory", Mining Science and Technology, 19 (2009) 0399–0404.
14. Bui D.T., Pradhan B., Lofman O., Revhaug I., Dick O., "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, 96 (2012) 28-40.
15. Ayalew L., Yamagishi H., Marui H.و Kanno T., "Landslide in Sado Island of Japan part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from to methods and verifications", Engineeing Geology, 81 (2005) 432-445.

۱٦. کلارستاقی ع.، *بررسی نقش عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران (۱۳۸۱).

۱۷. قدسی‌پور س.ح.، *فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*، انتشارات دانشگاه امیر کبیر (۱۳۸۷).

18. Jade S., Sarkar S., "Statistical models for slope instability classification", Engineering Geology, 36 (1993) 91-98.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1394.9.4.2.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.9.4.3093]