ارزیابی کارایی روش‌های ارزش اطلاعات، تراکم سطح، LNRF و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ پشت‌دربند، کرمانشاه

محمدحسین قبادی*، سیدحسین جلالی، بهمن ساعدی؛
دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، گروه زمین‌شناسی،
نوشین پیروزی‌نژاد؛ دانشگاه تبریز

تاریخ: دریافت ۹۳/۱۲/۵ پذیرش ۹٤/۸/٦

چکیده

زمین‌لغزش به‌سبب امکان رخداد آن در محیط‌های طبیعی مختلف و به‌سبب عوامل طبیعی و مصنوعی متفاوت مؤثر برآن، نسبت به سایر مخاطرات طبیعی جای‌گاه خاصی دارد. زمین‌لغزش‌ها به‌علت فراوانی رخدادشان، هر سال موجب خسارات سنگینی می‌گردند که جبران برخی از آن‌ها هزینه و وقت فراوانی می‌طلبد. به این دلیل بررسی این پدیده مخصوصاً در مناطقی که در مسیر پیشرفت و توسعه قرار دارند، امری ضروری است. از بهترین روش‌های بررسی زمین‌لغزش‌ها پهنه‌بندی خطر آن است، که از دیرباز محققان به آن توجه کرده‌اند. در این روش منطقهٔ بررسی شده با توجه به عوامل مؤثر در بروز پدیدهٔ زمین‌لغزش، به پهنه‌های با خطر کم تا خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی می‌شوند. این پهنه‌بندی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای کمک شایانی داشته باشد. روش‌های متفاوتی برای این منظور ارائه و توسعه داده شده است. در این نوشتار از چهار روش ارزش اطلاعات، تراکم سطح، LNRF و نسبت فراوانی که از روش‌های آماری دو متغیره هستند، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند استفاده شده است. نتایج بیان‌گر آن است که روش تراکم سطح با اختلاف جزئی نسبت به روش نسبت فراوانی از میان روش‌های به‌کار برده شده برای پهنه‌بندی منطقه نتایج مطلوب‌تری به‌دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ارزش اطلاعات، تراکم سطح، LNRF و نسبت فراوانی، روش‌های آماری دو متغیره، پشت‌دربند

* **نویسنده مسئول** amirghobadi@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها از پدیده‌های طبیعی به‌شمار می‌روند که پس از زلزله و سیل بیش‌ترین خسارت را به انسان وارد می‌کند. به‌طوری‌که سالانه میلیاردها تن خاک و سنگ بر اثر این پدیده جابه‌جا می‌شوند. رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را آشکار می‌سازند. زمین‌لغزش‌ها هر سال موجب خسارت‌های سنگینی می‌گردند که بعضاً جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا نیاز به‌وقت و هزینه بسیار زیاد دارد. از این رو، برنامه‌ریزی برای جلوگیری از این خسارت‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد و موجب جلوگیری از هدر رفتن بسیاری از منابع ملی می‌شود [۲٤].

شناسایی خطرات و آگاهی از مکانیزم گسیختگی شیب به ما در انتخاب صحیح روش‌های علاج‌بخشی شیب کمک می‌کند. برای این منظور شناسایی و آشنایی با مواردی مانند رابطهٔ بین شرایط زمین‌شناسی و شکل گسیختگی بالقوه، عوامل مؤثر بر پایداری شیب و ... لازم است [۱٦].

پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق براساس درجهٔ واقعی و یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش روی شیب دامنه‌ها است. شناسایی و طبقه‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به‌شمار رفته و نقش غیرقابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند [۸].

تا کنون روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطرزمین لغزش و برآورد شدت و ارزیابی این پدیده ارائه شده که به‌طورکلی در روش‌های کیفی، نیمه‌کمی و کمی دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های مبتنی بر هم‌بستگی متغیرهای مؤثر در زمین‌لغزش، مانند رگرسیون دومتغیره، چندمتغیره و لجستیک، ازجمله روش‌های کمی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شمرده می‌شوند [۷].

شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک محدوده، باعث می‌شود با اطمینان بیش‌تری به نتایج، برای پیش‌گیری یا بهبود شرایط، اقدامات لازم انجام شود. اهمیت این نقشه‌ها در مراحل برنامه ریزی، فعالیت‌های عمرانی، حفاظت خاک و... باعث شده است تا گروه زیادی از محققان، به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توجه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

کنند. با استفاده از نتایج چنین تحقیقاتی می‌توان نقشه‌های خطر زمین‌لغزش را رسم کرده و از آن‌ها در بررسی و مطالعه راه‌های پیش‌گیری و کنترل زمین‌لغزش استفاده کرد [۱۳].

بنابراین مطالعه و بررسی متغیرهای مؤثر در وقوع لغزش و از سویی تفکیک پهنه‌های مخاطره آمیز اهداف این تحقیق را تشکیل داده‌اند.

یالکین[1] (۲۰۰۸)، با بررسی حساسیت زمین‌لغزش در اردسن ترکیه، نتایج روش‌های AHP و روش‌های دومتغیره را با هم مقایسه کرد.

ناندی و شکور[2] ()۲۰۰۹، ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های دومتغیره و چندمتغیره را در حوضه آبخیز رودخانه کوهایوگا را انجام دادند.

شیرانی و همکاران (۱۳۸۵)، به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی، اعلام کردند که به‌ترتیب روش‌های آماری شامل رگرسیون خطی، آنالیز ممیزی، ارزش اطلاعا تی، تراکم سطح بر ای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر دارای اولویت هستند.

شادفر و همکاران (۱۳۸۷)، با بررسی حوضهٔ جنت رودبار نشان دادند که روش آماری دو متغیره تراکم سطح برای پهنه‌بندی خطر رمین لغزش در حوضهٔ مورد نظر جواب منطقی‌تری به‌دست می‌دهد.

ملکی و قربانپور (۱۳۸۷)، با استفاده از چهار روش تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی خطر زمین‌لغزش حوضه چرمله شهرستان سنقر استان کرمانشاه را برسی کردند.

در پژوهش مصفایی و همکاران (۱۳۸۸)، کارآیی مدل تجربی مور ا- وارسون اصلاح شده به همراه مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزنی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چند متغیره در سطح تفصیلی و مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ در بخشی از آبخیز الموت مقایسه شده است. نتایج مطلوبیت بیش‌تر مدل رگرسیون چند متغیره را نشان داده است.

گرایی و کریمی (۱۳۸۹)، در پژوهشی با عنوان تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز سد ایلام، نشان دادند که در این حوضه بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش روش ارزش اطلاعاتی است.

1. Yalcin
2. Nandi & Shakoor

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

رهنماراد و همکاران (۱۳۸۹)، با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه اسکل‌آباد خاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی بر موفقیت و دقت ارزیابی خطر زمین‌لغزش با روش ارزش اطلاعاتی تأکید کردند.

نتایج پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها در تفکیک کلاسه‌های خطر نتایج بهتری دارد. بنابراین این روش به‌عنوان روش نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای منطقه بررسی شده پیشنهاد شد.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارزیابی آن‌ها (شادفر و همکاران، ۱۳۹۰) با استفاده از زیرحوضهٔ شاهد و اعمال وزن آن به بقیهٔ حوضه، نشان می‌دهد که مدل تراکم سطح، پاسخ منطقی‌تری را داده است و مدل های ارزش اطلاعاتی و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ چالکرود، در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

اکبری و مشایخان (۱۳۹۱)، روش‌های LNRF و WLC را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز اخلمد شهرستان چناران مقایسه کردند.

معرفی منطقه

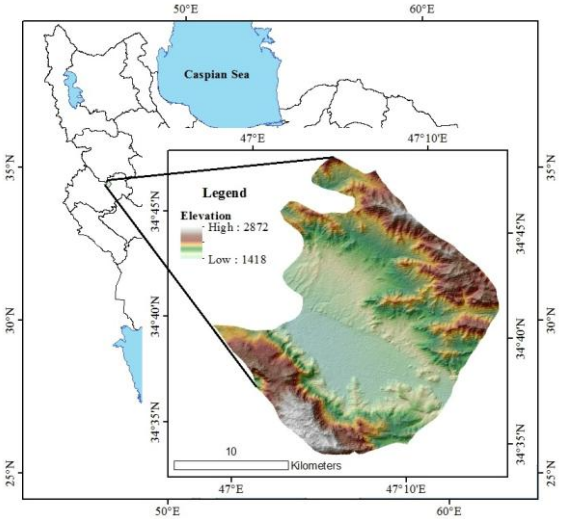
منطقهٔ پشت‌دربند بخشی از شهرستان کرمانشاه است. موقعیت جغرافیایی این منطقه″۰۰′ ٤۸°٣٤ –″۳۰′ ٣٤°٣٤ و″۳۰′ ١٤°٤٧ – ″۰۰′ ۵۸°٤٦ است. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ بررسی شده را در استان کرمانشاه و ایران و نیز نقشه هم ارتفاع آن را نمایش می‌دهد. بر اساس روش دمارتن، منطقه دارای اقلیم مرطوب است [٦].

زمین‌شناسی عمومی

زمین‌شناسی منطقه پشت‌دربند را می‌توان به دو زیرپهنه مجزا تقسیم کرد. بخش شمال شرقی منطقه قسمتی از پهنه دگرگون شده سنندج- سیرجان است. شواهد زمین‌شناسی موجود نشان می‌دهد که در این منطقه فعالیت‌های آتشفشانی در خور توجه بوده است و به‌همین لحاظ بخش بزرگی از سنگ‌ها از نوع روانه‌های آتشفشانی هم‌زمان با رسوب‌گذاری هستند. بخش جنوب‌غربی منطقه، ویژگی‌های رسوبی و ساختاری زیرپهنه زاگرس مرتفع را دارد. در این بخش،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

رسوب‌های نواحی ژرف شامل ردیف‌های رسوبی از نوع رادیولاریت، کربنات‌های آشفته و نیز سنگ‌های افیولیتی (رادیولاریت‌های کرمانشاه، سنگ آهک‌های بیستون، افیولیت‌های صحنه-هرسین) به سن تریاس بالا-کرتاسه رخنمون دارند. الگوی ساختاری این بخش حاصل عملکرد گسل‌های راندگی است، که با جابه‌جایی در خور توجه رخنمون‌های سنگی و ستبر شدن پوسته همراه است. جابه‌جایی حاصل از این کنش فشارشی به‌صورت خردشدگی در سنگ‌ها نمود دارد [۳]. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده را نشان می‌دهد. شرح نقشه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ بررسی شده در ایران و استان کرمانشاه و نقشهٔ هم ارتفاع آن

مواد و روش‌ها

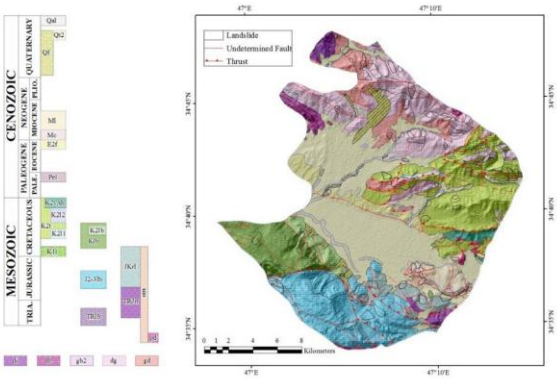
در ابتدا با استفاده از داده‌های زمین‌لغزش‌های رخدادهٔ منطقه، شامل موقعیت و مساحت آن‌ها، که از معاونت آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه دریافت شد، مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر طبقه از عوامل مؤثر، استخراج شد. پس از تعیین مساحت زمین‌لغزش‌ها در طبقات مختلف هر یک از عوامل مؤثر و تعیین نسبت سطح لغزش یافته در هر طبقه از نقشه پارامتر (عامل مؤثر) به‌عنوان معیار وزن‌دهی، اقدام به کمیّ کردن عوامل مؤثر و وزن‌دهی به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

طبقات بر اساس روابط مربوط به‌روش‌های آماری دومتغیره ارزش اطلاعات، LNRF[1]، نسبت فراوانی و تراکم سطح، نقشه‌های وزنی ایجاد می‌شود. به‌منظور تهیهٔ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از این روش‌ها، نقشه‌های وزنی عوامل مؤثر با هم جمع جبری شده و بر اساس نقاط عطف نمودار تجمعی فراوانی وزن ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در هر روش به‌دست آمده است. در پایان با استفاده از شاخص‌های نسبت تراکمی (Dr) اقدام به مقایسهٔ پهنه‌های خطر در هر روش و به‌کمک شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به هم‌دیگر، این چهار روش ارزیابی و مقایسه شدند.

در این پژوهش با استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان، از لایه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، NDMI، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، انحناء مقطع و انحناء سطح برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده شده است.

با توجه به تأثیر نوع و شکل دامنه در تعیین میزان خطر ناپایداری آن در تحقیق حاضر از دو عامل انحناء مقطع و انحناء سطح بدین‌منظور استفاده شده است که در ادامه توضیح می‌دهیم.



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میانراهان (کرکسار) [۵]

انحناء سطح: انحناء در سطوح افقی است و یا خط کنتور تئوری است که از یک سلول ویژه می‌گذرد. انحناء سطح برای سلول‌هایی با کنتور محدب مثبت و برای سلول‌های با کنتور مقعر منفی است. انحناء سطح را می‌توان برای تمایز بین یال و دره استفاده کرد (شکل ۳).

1. Landslide Nominal Risk Factor

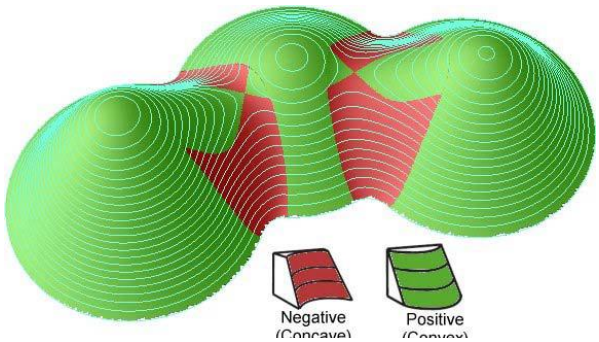
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

جدول ۱. شرح نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه

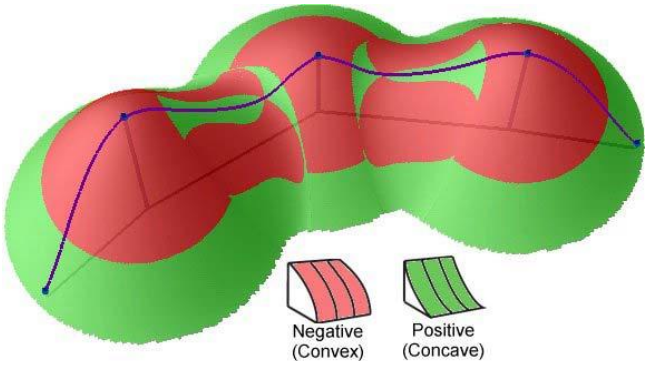
نماد	شرح	نماد	شرح
K2v,sh	شیل و ماسه سنگ سبز تا خاکستری روشن با قطعات پیروکلاستیک	Db	دیاباز
Klb	آهک زرد نخودی تا خاکستری با رگه‌های کلسیتی	Dg	دیوریت گابرو
Mc	کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن پلی‌میگتیک ضخیم لایه	Di	دیوریت
Ml	آهک ریفی، ماسه سنگ و مارن ضخیم تا متوسط لایه زرد	E2f	شیل مدادی سبز زیتونی، ماسه سنگ، آهک و کنگلومرا
Om	افیولیت ملانژ	gb2	گابرو
Pd	پریدوتیت	Gd	گابرو دیوریت
Pel	آهک خاکستری تا خاکستری روشن	J2-3lb	آهک االیتی خاکستری تا قهوه‌ای
Qal	آبرفت	JKrl	چرت رادیولاریت و آهک پلاژیک
Qf	مخروط افکنه‌های شنی قدیم و جدید	K1l	آهک تیره تا خاکستری روشن نازک لایه
Qt2	نهشته‌های تخریبی عهد حاضر	K2l1	آهک خاکستری ضخیم لایه تا توده‌ای با قطعات فراوان پوسته دوکفه‌ای
Sy	سینیت	K2l2	آهک زرد نخودی تا آبی روشن با رگه‌های کلسیتی
TRJrl	رادیولاریت، شیل و آهک بیوکلاستیک صورتی تا خاکستری	K2lb	آهک صورتی تا ارغوانی با رگه‌های کلسیتی
TRlb	آهک فرسایش یافته ضخیم‌لایه خاکستری تا خاکستری روشن	K2t	توف سبز روشن
E2f	شیل مدادی سبز زیتونی، ماسه سنگ، آهک و کنگلومرا		

انحناء مقطع: انحناء سطح در جهت شیب دامنه (در صفحه عمودی خط جریان) است. انحناء مقطع بر سرعت جریان آب زهکشی سطح و فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیر می‌گذارد. در مکان‌هایی که انحناء مقطع محدب (منفی) است، فرسایش و در مکان‌هایی با انحناء مقطع مقعر (مثبت) رسوب‌گذاری رخ می‌دهد. (شکل ٤) (دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]



شکل ۳. نمایش شماتیک انحناء سطح و حالت‌های آن (دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS)



شکل ٤. نمایش شماتیک انحناء مقطع و حالت‌های آن

برای به‌دست آوردن این دو عامل در نرم‌افزار Arc GIS از ابزار **Curvature** از اکستنشن Spatial Analyst استفاده شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش طالبی و دیگران (۱۳۸۹)، علاوه بر شیب کف، خصوصیات توپوگرافی دامنه (مخصوصاً شکل پلان و انحنای کف) نیز جریان‌های زیرسطحی دامنه را کنترل کرده و این فرآیند باعث تغییر رفتار هیدرولوژیکی دامنه‌ها و ایجاد ناپایداری در آن‌ها می‌شود.

رطوبت: رطوبت نشان‌دهندهٔ اطلاعات موجود در مورد انواع مختلف زمین‌لغزش‌ها با توجه به محتوای رطوبتی خاک یا عمق سطح ایستابی است. این متغیر نشان می‌دهد که لایهٔ تجزیه و تحلیل شده نسبت به عمق لایه تا چه درصدی اشباع شده است. لایهٔ داده مکانی معرف میزان رطوبت در منطقه برحسب درصد، با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده رطوبت (NDMI)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

تهیه شده است. این شاخص برای محدودهٔ بررسی شده با استفاده از باند ٤ (باند مادون قرمز نزدیک (NIR)) و باند ٥ (باند مادون قرمز میانی(SWIR) تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ٥ تهیه شده است.

$$NDMI=\frac{NIR(4)-SWIR(5)}{NIR(4)+SWIR(5)} \quad (۱)$$

به‌طوری‌که از رابطهٔ ۱ مشاهده می‌شود، اگر در رابطهٔ ۱، اطلاعات باند ٥ از باند ٤ کم شود، معرف میزان رطوبت خاک است، ولی اگر اطلاعات باند ٤ از باند ٥ کم شود، شاخص معرف میزان رطوبت برگ‌ها و گیاهان است [۱۵]. مقادیر پایین شاخص، نشان‌دهندهٔ رطوبت کم‌تر و مقادیر بالاتر شاخص، رطوبت بالای زمین را نشان می‌دهد.

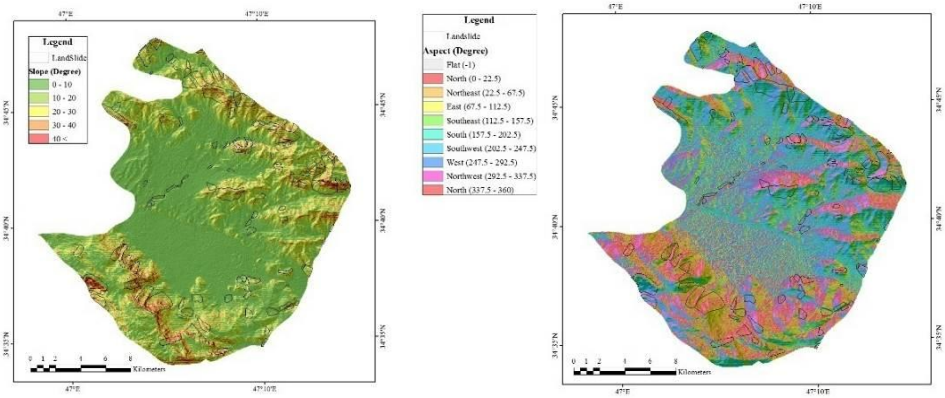
در شکل ٥ نقشه‌های عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش منطقهٔ بررسی شده به‌همراه زمین‌لغزش‌های رخداده درمنطقه نشان داده شده است.

روش آماری دومتغیره[1]: در روش آماری دو متغیره لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، انحناء سطح و انحناء مقطع در نرم‌افزار ArcGIS 10 هر کدام در مقایسه با نقشه پراکنش لغزش‌ها به‌عنوان دو متغیر مستقل (عوامل) و وابسته (نقشه پراکنش لغزش) به‌صورت دوتایی در نظر گرفته شدند. بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط، به‌منظور تعیین نقش هر یک از عوامل در رخداده، زمین‌لغزش، لایه‌های مختلف، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند.

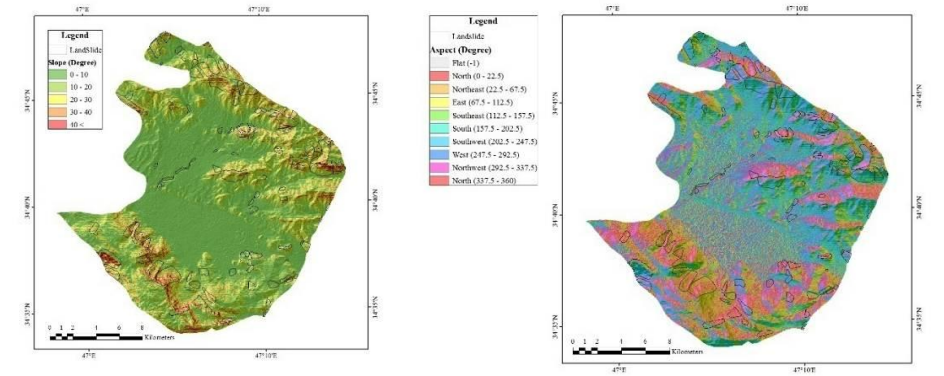
به‌عبارت دیگر هر عامل محیطی، به‌عنوان لایهٔ اطلاعاتی جداگانه نسبت به رخداد لغزش برای همهٔ منطقه، بررسی و تحلیل می‌شود و سپس با جمع جبری، وزن لایه‌های اطلاعاتی احتمال رخداد زمین‌لغزش کلی به‌دست آمده و نقشهٔ پهنه‌بندی خطر تهیه شد. اساس این روش بر این فرض استوار است که زمین‌لغزش‌های آینده در شرایطی مشابه با شرایط زمین‌لغزش‌های رخ داده روی می‌دهند. در صورتی که تعداد عوامل مرتبط با زمین‌لغزش محدود باشد و اطلاعات کامل از نقش این عوامل در رخداد زمین‌لغزش وجود داشته باشد، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شود [۱۳].

1. Bivariate Statistical Method

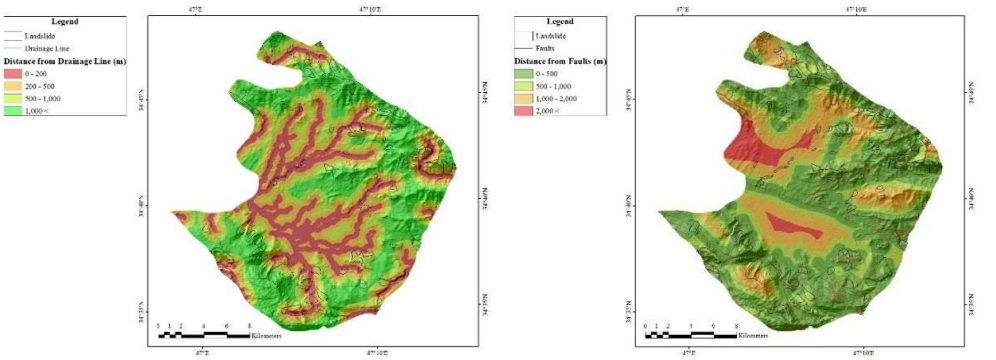
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]



جهت شیب شیب

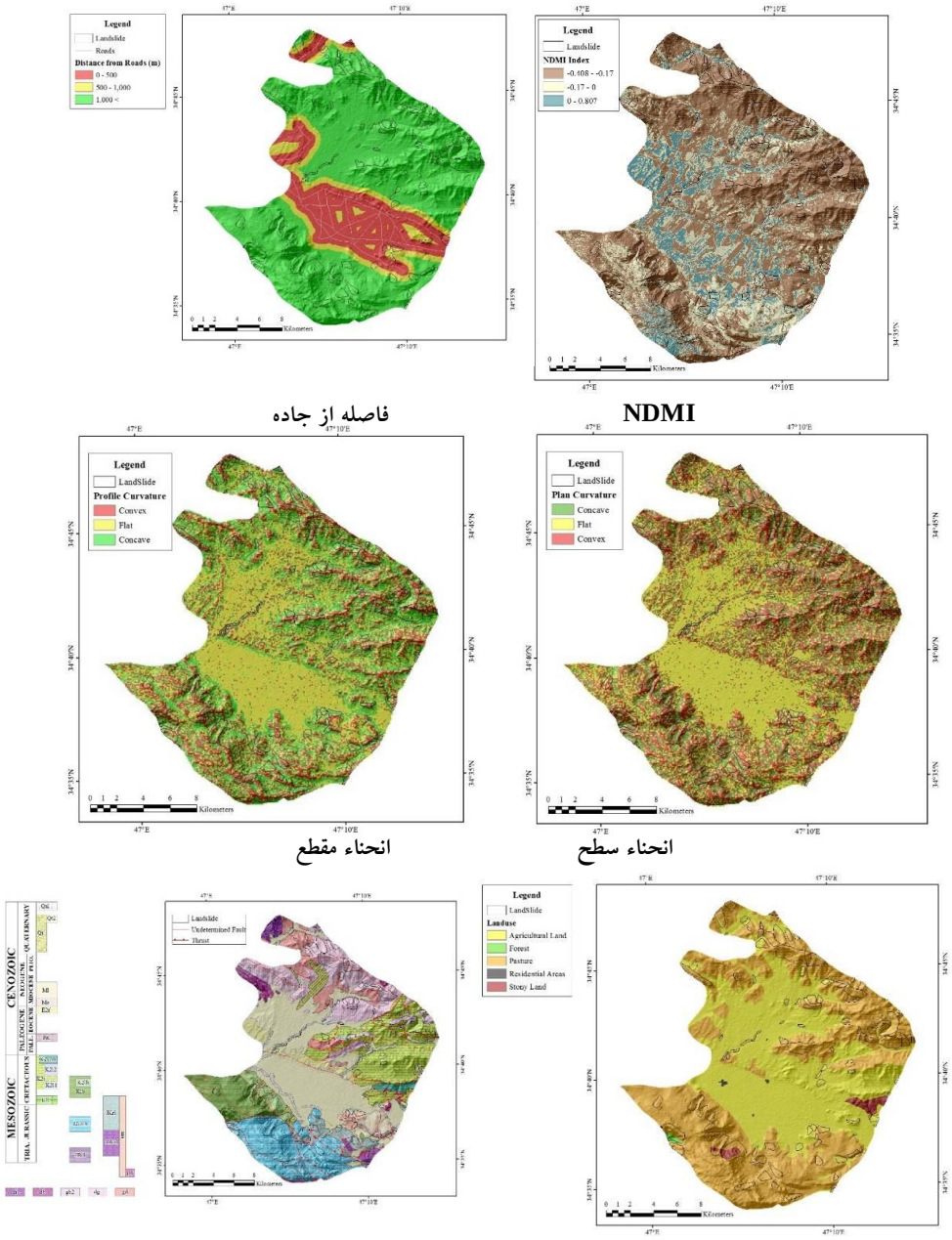


جهت شیب شیب



فاصله از گسل فاصله از آبراهه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]



شکل ۵. نقشهٔ عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و زمین‌لغزش‌های رخداده در منطقه پشت‌دربند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

در این نوشتار برای محاسبهٔ وزن هر عامل و تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از چهار روش ارزش اطلاعات، LNRF، نسبت فراوانی و تراکم سطح استفاده شده است. پس از مقایسه و تجزیه و تحلیل عوامل و ایجاد نقشه‌های وزنی، بهترین روش را با بیش‌ترین میزان دقت و درستی می‌توان معرفی کرد. در ادامه به تشریح این روش‌ها می‌پردازیم.

– **روش آماری ارزش اطلاعات:** ون وستن (۱۹۷۷) روش ارزش اطلاعاتی را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پیشنهاد داد، که احتمال وقوع زمین‌لغزش را در مساحت مشخصی از هر کلاس یک لایه موضوعی بررسی می‌کند و به‌عنوان روش ساده شده‌ای از روش یین و یان[1] (۱۹۸۹) در نظر گرفته می شود.

مدل ارزش اطلاعاتی روشی آماری برای پیش‌بینی فضایی یک رویداد براساس رابطهٔ پارامتر و رویداد است. این روش برای بررسی حساسیت زمین‌لغزش به‌واسطهٔ تعیین تأثیر پارامترهای کنترل‌کننده رخداد زمین‌لغزش در یک منطقه را محققان زیادی استفاده کرده‌اند.

در این روش، ارزش وزنی برای هر کلاس عاملی با لگاریتم طبیعی تراکم زمین‌لغزش در کلاس، تقسیم بر تراکم زمین‌لغزش در کل نقشه تعریف می‌شود. این روش مبتنی بر هم‌بستگی آماری (هم‌پوشانی نقشه) نقشهٔ زمین‌لغزش با نقشه‌های عاملی مختلف است. نقشه‌های موضوعی مختلف برای ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌شوند [۲].

با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی کرد و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی (Ln)، وزن متغیرهای دارای وزن بسیار کم، زیاد و وارد محاسبات می‌شوند [۲۱].

در روش ارزش اطلاعاتی ابتدا باید میزان یا وزن هر طبقه از عوامل مؤثر به‌دست آورده شود که میزان مربوط به هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید:

$$WINF = Ln\left(\frac{\frac{A}{B}}{\frac{C}{D}}\right) \qquad (۲)$$

WINF میزان مربوط به هر طبقه از عوامل، A تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه، B مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع، C تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوضه، D مساحت همهٔ حوضه به کیلومتر مربع است. پس از تعیین میزان مربوط به هر کلاس از عوامل مؤثر و اعمال آن‌ها بر

1. Yin & Yan

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

روی نقشه‌های عوامل نامبرده با رویهم‌اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها ی عوامل مختلف، نقشهٔ پهنه‌بندی به‌روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS در ۵ طبقه تهیه می‌شودد [۲۳].

پس از تهیهٔ نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین‌لغزش، همهٔ آن‌ها با هم جمع شده و نقشه‌ای وزنی تجمعی به‌دست می‌آید. در مورد مقدار عددی وزن ها، هر چه عدد منفی‌تر باشد، نشان دهندهٔ تأثیر کم‌تر پارامتر مربوط در رخداد زمین‌لغزش و عدد مثبت‌تر نشان دهندهٔ بیش‌ترین تأثیر است [۱۳].

– **روش آماری تراکم سطح:** در این روش همانند روش ارزش اطلاعات با استفاده روابط ۲ و ۳ برای هر نقشه عامل یا متغیر، تراکم زمین‌لغزش محاسبه و در مرحله بعد همانند روش ارزش اطلاعات به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداختیم.

$$D=Npix(Sx_i)/Npix(X_i) \quad (۳)$$

$$W=1000\times (D-(\Sigma Npix(Sxi)/\Sigma Npix(Xi)) \quad (٤)$$

D تراکم زمین‌لغزش در هر رده از هر متغیر یا متغیر I ام از عامل J ام

W وزن متغیر در هر رده از هر متغیر

Npix (Sxi) مساحت لغزش‌های رخ داده در هر رده یا متغیر xi

Npix (xi) مساحت هر رده یا متغیر xi

سپس با جمع جبری نقشه‌های وزنی برای ۱۰ عامل، نقشه وزن پایانی تهیه و رده‌بندی انجام شد. بدین‌ترتیب نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر پایهٔ روش آماری تراکم سطح به‌دست می‌آید [۱٤].

– **روش آماری گوپتا و جوشی[1] (LNRF[2])**

در روش گوپتا و جوشی برای به‌دست آوردن میزان هر کلاس از عوامل مختلف از رابطهٔ (٤) استفاده **می**شود.

(۵) LNRF= مساحت زمین‌لغزش در هر طبقه ÷ میانگین زمین‌لغزش در کل حوضه

که با توجه به رابطهٔ (۵) برای هر یک از طبقات عوامل مختلف وزن آن‌ها از جدول ۲، به‌دست می‌آید.

1. Gupta and Joshi
2. Landslide Nominal Risk Factor

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

جدول ۲. وزن مربوط به مقدار LNRF [۲٦]

مقدار LNRF	۰/٦۷>	۰/٦۷ – ۱/۳۳	۱/۳۳<
وزن مربوطه	۰	۱	۲

بعد از پیدا کردن وزن مربوط به هر عامل با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و کلاسه‌بندی آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست می‌آید [۱۸].

– **روش آماری نسبت فراوانی:** برای تهیهٔ نقشه استعداد زمین‌لغزش به‌صورت کمی، روش نسبت فراوانی با استفاده از GIS به‌کار گرفته می‌شود. روش نسبت فراوانی بر اساس ارتباط مشاهده شده بین توزیع زمین‌لغزش‌ها و هر عامل مؤثر زمین‌لغزش است. با استفاده از مدل نسبت فراوانی، ارتباط بین موقعیت زمین‌لغزش‌ها و هر عامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش استخراج می شود. فراوانی از تحلیل ارتباط بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر محاسبه می‌شود [۲۹].

نسبت فراوانی از رابطهٔ (٦) به‌دست می‌آید [۲۵]:

(٦) نسبت فراوانی= درصد لغزش های رخداده در هر کلاس عامل÷ درصد مساحت کلاس عامل

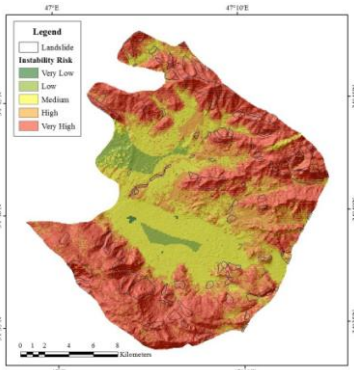
بحث و نتایج

با توجه به این‌که ایجاد ناپایداری و وقوع رانش زمین تابع تأثیر هم‌زمان مجموعه عوامل ذاتی و محیطی در هر واحد نقشه است با فرض وجود هم‌بستگی بین این عوامل، احتمال نهایی وقوع زمین‌لغزش برابر با احتمال وقوع مجموع عوامل خواهد بود. از این رو، وزن نهایی هر پیکسل برابر با جمع جبری وزن مربوط به مجموعه عوامل مؤثر در آن واحد است. این هدف با هم‌پوشانی و ترکیب مجموعه نقشه‌های عامل وزنی حاصل می‌شود [۱۱].

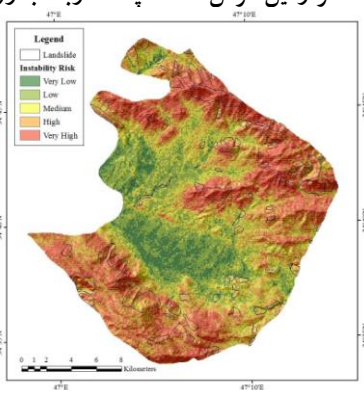
بر این اساس پس از محاسبهٔ وزن لایه‌های عوامل مختلف مؤثر در زمین‌لغزش، با روی‌هم‌اندازی این لایه‌ها نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره استفاده شده در این بررسی به‌دست آمد. اشکال ٦ و ۷ و ۸ و ۹ به‌ترتیب نقشهٔ نهایی خطر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

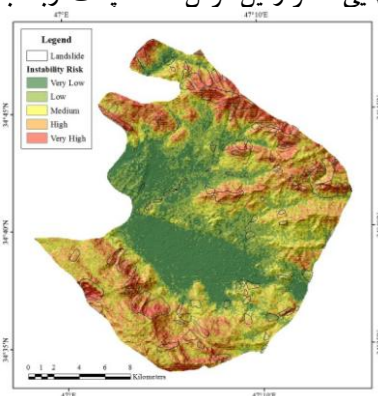
زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند را با روش‌های ارزش اطلاعاتی، LNRF، تراکم سطح و نسبت فراوانی نمایش می‌دهد.



شکل ٦. نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند با روش ارزش اطلاعاتی

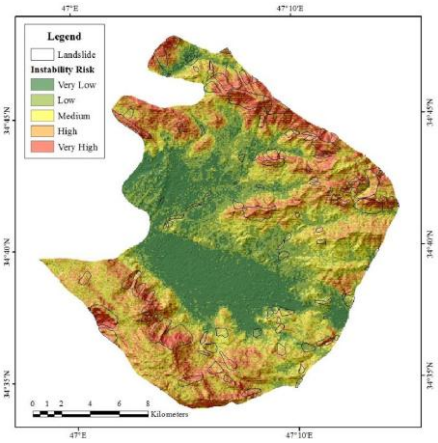


شکل ۷. نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند با روش LNRF



شکل ۸. نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند با روش تراکم سطح

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]



شکل ۹. نقشهٔ نهایی خطر زمین‌لغزش منطقه پشت‌دربند با روش نسبت فراوانی

جدول ۳. طبقه‌بندی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و مقادیر به‌دست آمده از روش‌های دومتغیره برای تعیین خطر زمین‌لغزش در منطقه پشت‌دربند

		مساحت (m2)	زمین‌لغزش (m2)	ارزش اطلاعات	تراکم سطح	LNRF	وزن LNRF	مساحت (%)	مساحت زمین‌لغزش (%)	نسبت فراوانی
جهت شیب	مسطح	٣٣٤٤٥٨,	٣٠٢٢,٩٢٥	-	-	٠,	٠	٠,	٠,٠٢٣٥٠٢	٠,
	شمال	٤٥٩٣٤١٣٩	٦٩٢٠٧٦١	٠,	٢٥,	٠,	٢	٤٤,	٥٣,٨٠٦١٣	١,
	شمال شرق	٤٣٥٤٨١٤٥	٦٣٦٩٠٨٨	٠,	٢١,	٠,	١	٤٢,	٤٩,٥١٧١	١,
	شرق	٣٠٣٨٨٥٩٤	٣١٥٧٧٤٦	-	-	٠,	٠	٢٩,	٢٤,٥٥٠٢١	٠,
	جنوب شرق	٣٥٥٩٠٢٠٥	٢٧٨١٠٤٨	-	-	٠,	٠	٣٤,	٢١,٦٢١٥٣	٠,
	جنوب	٦١٠٢٧٤٩٣	٧٠٧٨١٠٧	-	-	٠,	٢	٥٩,	٥٥,٠٢٩٤٣	٠,
	جنوب	٦٠٠٢٩٣٩٤	٧٤١٩١٣٠	-	-	٠,	٢	٥٨,	٥٧,٦٨٠٧٥	٠,
	غرب	٤٤٤٧٣٥٦٤	٥٠٨٣٩٥١	-٠,٠٨٩٥	-	٠,	١	٤٣,	٣٩,٥٢٥٦٧	٠,
	شمال غرب	٣٧٦٣٣٦٣٢	٤٣٩٧٦١٨	-	-	٠,	١	٣٦,	٣٤,١٨٩٧١	٠,
شیب	٠-١٠	١٧٠٣١٧٨٩	٧٢٣١٩٨٩	-	-	١,	١	٢٨٣,	٩٧,٤٧٧٦	٠,
	١٠-٢٠	١٠٢٨٨٤٨٦	١٢٨٦٢٤٠٣	٠,	١,	٢,	٢	١٧١,	١٧٣,٣٦٨١	١,
	٢٠-٣٠	٥٧٧٨٩٢٤٢	١٢٨٥٤٩٩٣	٠,	٩٨,	٢,	٢	٩٦,	١٧٣,٢٦٨٢	١,
	٣٠-٤٠	٢٢٧٥٨٨٤٣	٧٥٣٠٥٧٨	٠,	٢٠٧,	١,	١	٣٧,	١٠١,٥٠٢٢	٢,
	>٤٠	٥٢٢٥٨٠٥,	٢٧٢٨٠١٩	١,	٣٩٨,	٠,	٠	٨,	٣٦,٧٧٠٠٦	٤,
فاصله از آبراهه	٠-٢٠٠	٦٨٥٧٥٥٦٠	٦٤٦١٤٠١	-	-	٠,	٠	١١٢,	٩١,٢٨٧١٤	٠,
	٢٠٠-٥٠٠	٧٥١٥١٦٥٨	٧٥٨٩١٦١	-	-	١,	١	١٢٣,	١٠٧,٢٢٠٢	٠,
	٥٠٠-١٠٠٠	٩٥٤٢٣٤٩٩	١٠٥٥٤١٤٤	-	-	١,	١	١٥٦,	١٤٩,١٠٩٧	٠,
	>١٠٠٠	١١٩٨٧٠٣٧	١٨٦١١٢٢٥	٠,	٣٩,٢٧٩	٢,	٢	١٩٦,	٢٦٢,٩٤٠٧	١,
فاصله از گسل	٠-٥٠٠	١٩٢٢٥٨٨٢	٢٦٦٩٠٩٤٨	٠,١٧٩٨	٢٢,	٣,	٢	٣١٥,	٣٧٧,٠٩١٦	١,
	٥٠٠-١٠٠٠	٧٥٥٤٦٦٩٨	١٠١٤٧٣٧١	٠,	١٨,	١,	١	١٢٣,	١٤٣,٣٦٢٨	١,
	-٢٠٠٠	٧٤٦٨٨٦٥٧	٦٣٦٦٤٦٢	-	-	٠,	٠	١٢٢,	٨٩,٩٤٥٨٤	٠,
	>٢٠٠٠	١٦٥٧٧١٣١	١١٦٦٤,٠٩	-	-	٠,	٠	٢٧,	٠,١٦٤٧٩١	٠,
فاصله از جاده	٠-٥٠٠	٦٨٣٩٩٧٤٢	٢٠٠٤١٨١	-	-	٠,	٠	١٩٢,	٧٢,٠٦٥٦٦	٠,
	٥٠٠-١٠٠٠	٣٤٤٩٣١٦٢	٢٢٩٢٨١٩	-	-	٠,	٠	٩٦,	٨٢,٤٤٤٤	٠,
	>١٠٠٠	٢٥٦١٨١٨٧	٣٨٩٢٥٢٧٤	٠,	٧٣,	٥,	٢	٧١٩,	١٣٩٩,٦٦٢	١,
زمین‌شناسی	db	٤٦٣٣٨٨٨,	١٤٨٤٥٠٩	-	-	٣,	١	١٥١,	١٢٠,٩٠٤٩	٠,
	dg	٤٣٤٩٥٣٤٤	١٠٩١٩٩٣١	-	-	٢٥,	٢	١٤٢٦,	٨٨٩,٣٦٦٥	٠,
	di	٣٠٥٠١٥٧,	١٢٢٧٨٣٣	٠	٠	٢,	١	١٠٠	١٠٠	١
	E2f	١٠٥٣٨٦١١	٤٣٥٢٩٤,٦	-	-	١	٠	٣٤٥,	٣٥,٤٥٢٢٧	٠,
	gb2	٦٥١٧٦١,	١٥١٤٣٧,١	-	-	٠,	٠	٢١,	١٢,٣٣٣٧	٠,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

	انحناء مقطع	مساحت (m2)	زمین‌لغزش (m2)	ارزش اطلاعات	تراکم سطح	LNRF	وزن LNRF	مساحت (%)	زمین‌لغزش (%)	مساحت	نسبت فراوانی
	Gd	۱۸۹۳۰۶۰۸	۲۳۸۰۵۶٤	-۱,۱٦۳۵	- ۲۷٦, ۷۵۸	۵, ٤٦۸۸۵۷	۲	٦۲۰, ٦٤۳٦	۱۹۳,۸۸۳٤	۰, ۳۱۲۳۹۱
	J2-3lb	٤۸٤۵۹۵۵۹	۸٤۵۸۷۱۱	- ۰,	- ۲۲۷,	۱۹, ٤,۳۷۱۸	۲	۱۵۸۸, ۷۸٦	٦۸۸,۹۱٤۱	۰, ٤,۳۳۳٦۱۵
	JKrl	۱۱۱۱۰۸۸۰	۱٤٦۵۷٦۱	-	-	۳,	۱	۳٦٤,	۱۱۹,۳۷۸	۰,
	K1l	۱۵۲۲٤٦۰,	٤٤۹,۸٦٤۱	-	-	۰,	۰	٤۹,	۰,۰۳٦٦۳۹	۰,
	K2l1	۱٤۰۹۵۵۲,	۳۱۸۸۳۰,۸	-	-	۰,	۰	٤٦,	۲۵,۹٦٦۹٦	۰,
	K2l2	۱۵۳٤۲٦۵,	۸۵۵٤۸,٦۱	-	-	۰,	۰	۵۰,	٦,۹٦۷٤٤۹	۰,
	K2lb	۷۱۷٤۵۸۰,	۳۱۷۷۹۷,۱	-	-	۰,	۰	۲۳۵,۲۲	۲۵,۸۸۲۷۷	۰,
	K2t	۵٤٤۳۰۱۵۹	٦۳٦۲٤۲۵	-	-	۱٤,	۲	۱۷۸٤,	۵۱۸,۱۸۳۵	۰,
	K2v,sh	۳٤۲۰۹۰۲,	۲۱۱۷۳۲,۷	-	-	۰,	۰	۱۱۲,	۱۷,۲٤٤٤۳	۰,
	Klb	۲۲۸۳٤۰۰۲	٤۰۰۳۷۷۱	-	-	۹,	۲	۷٤۸,	۳۲٦,۰۸٤۵	۰,
	Mc	۱۰٤۸٦٦۱,	۲٦۱۲۲۳,٤	-	-	۰,	۰	۳٤,	۲۱,۲۷۵۱٦	۰,
	Ml	۷٦۳۰۸۹۵	۸۹۸۷۱۱,۸	-	-	۲,	۰	۲۵۰,	۷۳,۱۹٤۹۸	۰,
	om	۲۹۱۷۷۳۲,	٦۱۷۱۵۷,٦	-	-	۱,	۰	۹۵,	۵۰,۲٦۳۹۹	۰,
	pd	٦٦٤۹۹٦,	۷۵٦۵۵	-	-	۰,	۰	۲۱,	٦,۱٦۱٦۷۱	۰,
	Pel	۱۹٦۰۷۹۵,	۳۵۷۱۸,۰٦	-	-	۰,	۰	٦٤,	۲,۹۰۹۰۳۳	۰,
	Qal	۵۸۱۵۳۸۱,	۵٦٤٤۹۰,۸	-	-	۱,	۰	۱۹۰,	٤۵,۹۷٤۵۸	۰,
	Qf	٦۸۳۳۹۷۷,	٤٤۲۷٤,۷۷	-٤,۱۲۹۳	-	۰,	۰	۲۲٤,	۳,٦۰۵۹۲۹	۰,
	Qt2	۹۳٦۹۰۸٦۷	۱۹۷۰۱۳٦	-	-	٤,	۱	۳۰۷۱,	۱٦۰,٤۵٦٤	۰,
	Sy	۲٦۲۵۰۱٦,	۷۷۰۰۱۸,۹	-	-	۱,	۰	۸٦,	٦۲,۷۱۳٦۸	۰,
	TRJrl	۲٦۰۰٤٤۱,	۱۹٦۹۹۰,۹	-	-	۰,	۰	۸۵,	۱٦,۰٤۳۷۹	۰,
	TRlb	٦٤۷٤۲,	۰,۱	-	-	۲,۳E-	۰	۲,	۸,۱٤E-۰٦	۳,۸٤E-
کاربری اراضی	زمین های جنگل	۱٦٤۵٤۸۱۱	۷۲۳٦٤۸۵	-	-	۱,	۱	۲۷٤,	۹۷,۵۳۸۱۹	۰,
		۷٤۲۷۰۰,	۵۸۳۲۵۹,۹	۱,	٦٦۱,	۰,	۰	۱,	۷,۸٦۱۵٦۷	٦,
	مرتع	۱۸۹۱٦۳۱۷	۳٤۰۷۰۸٤۳	۰,	۵٦,	٦,	۲	۳۱۵,	٤۵۹,۲۲۹٦	۱,
	نواحی	۳۵۷۱٦۰,	۰	#NU	-	۰	۰	۰,	۰	۰
	زمین های	٤۲۳۳۵۷٤,	۱۳٦٦۲۷٤	۰,	۱۹۹,	۰,	۰	۷,	۱۸,٤۱۵۵٦	۲,
انحناء سطح	مقعر	۱۰٤۸۹۰۸۸	۱٦۸۳٦۷٤۷	۰,	۸۲,	۲,	۱	۲۹٤,	٦۰۵,٤۱۰۱	۲,
	مسطح	۱٤۲۷۵۳۲۷	۸۳۸۹٤٦۵	-۰,۲۸٤۹	-	۱,	۰	٤۰۱,	۳۰۱,٦٦۵٦	۰,
	محدب	۱۱۱٦۱۸۲۷	۱۷۸۳٤۲۰٦	۰,	۸۱,	۲,	۱	۳۱۳,	٦٤۱,۲۷٦٤	۲,
انحناء مقطع	مقعر	۹۲۲۵۱۷۲۸	۱۵۵٦٤۰۸۱	۰,	۹۰,	۲,	۱	۲۵۹,	۵۵۹,٦٤۸	۲,
	مسطح	۱٤۱۸۰۷۵۰	۸٤۸۸۲۲۵	-	-	۱,	۰	۳۹۸,	۳۰۵,۲۱٦۸	۰,
	محدب	۱۲۵۱٤۸۰۸	۱۹۰۱۵۳٦۰	۰,	۷۳,	۲,	۱	۳۵۱,	٦۸۳,۷٤۸	۱,
NDMI	- - ۰,٤۰۸	۲۱۹۲۵۵۹۷	۳۲٦٦۳۵۷۵.۵	۰.۲۱۲۸	۲۸.۵۵۸	۲.۲٦٦۸	۲	٦۱.۰۷۷	۷۵.۵٦۲۳٦	۱.۲۳۷۱
	-۰,۱۷ - ۰	۹۷۵۷۰۲۳۳	۸۵۱۳۹۵۸.٤٦	-	-	۰.۵۹۰۸	۰	۲۷.۱۷۹	۱۹.٦۹۵۷۸	۰.۷۲٤٦
	۰ - ۰,۸۰۷	٤۲۱۵۵۱۳۹	۲۰٤۹۷۷۵.۲۱	-	-	۰.۱٤۲۲	۰	۱۱.۷٤۲	٤.۷٤۱۸۵۲	۰.٤۰۳۸

در روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح و نسبت فراوانی از میان زیرکلاس‌های جهت شیب، جهت شیب شمال و شمال‌شرق، در عامل شیب، زیرکلاس بیش از ٤۰ درجه، در عامل فاصله از آبراهه، زیرکلاس فاصله بیش از ۱۰۰۰ متر، در عامل فاصله از گسل، زیرکلاس کم‌تر از ۵۰۰ متر، در عامل فاصله از جاده، زیرکلاس بیش از ۱۰۰۰متر، زیرکلاس جنگل در عامل کاربری اراضی، در عوامل شکل دامنه نیز انحناء سطح و مقطع مقعر، عامل رطوبت زیرکلاس ۰/۱۷–_ ۰/٤۰۸– بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

در روش LNRF در عوامل مختلف زیرکلاس‌های جهت شیب جنوب و جنوب‌غرب،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

شیب ۲۰-۱۰و ۳۰-۲۰، فاصله از آبراهه بیش از ۱۰۰۰ متر، فاصله از گسل کم‌تر از ۵۰۰ متر، فاصله از جاده بیش از ۱۰۰۰ متر، کاربری اراضی مرتع، انحناسطح و مقطع محدب، زیرکلاس رطوبت ۰/۱۷-_ ۰/۴۰۸- بیش‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده‌اند.

ارزیابی و مقایسه روش‌های آماری دو متغیره استفاده شده: در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌روش‌های آماری دو متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح، در محیط GIS، ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شد (جدول ٤). لازم به‌یادآوری است که استفاده از شاخص‌های نسبت تراکمی (Dr) به‌منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر (طبقات هر عامل) در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به هم‌دیگر، کاربرد دارند.

به‌عبارت دیگر، شاخص مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P)، مدل مناسب منطبق با منطقه بررسی شده و شاخص نسبت تراکم (Dr) دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند.

درستی یا مجموع کیفیت (Qs): برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه شود که در قالب رابطهٔ (٦) محاسبه می‌شود :

$$Dr = \frac{\frac{Si}{Ai}}{\frac{\sum_i^n Si}{\sum_i^n Ai}} \qquad (۷)$$

که در آن Si مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر ردG خطر،Ai مساحت i مین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی، n تعداد رده‌های خطر.

در روش (نقشه) پهنه‌بندی، تراکم لغزش رده با Dr=۱ معادل با میانگین تراکم لغزش در همهٔ منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش(نقشه) دقت یا بیش‌ترین مطلوبیت را دارد.

مقدار مجموع کیفیت (Qs) که با رابطهٔ (۸) محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است.

معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گسترهٔ صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هرچه مقدار مجموع کیفیت (Qs)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

بیش‌تر باشد، روش درستی یا مطلوبیت بیش‌تری در تفکیک دارد. مقدار مجموع کیفیت از رابطهٔ (۸) به‌دست می‌آید:

$$Qs = \sum_{i-1}^{n}((Dr-1)^2 * S) \qquad (۷)$$

Qs مجموع کیفیت، Drنسبت تراکم، S نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه، n تعداد کلاس خطر [۱۳].

جدول ٤. مقادیر نسبت تراکم و مجموع کیفیت به‌دست آمده برای منطقهٔ بررسی شده

روش	رده	Ai	Si	DR	S	(Dr-1)^2*S	Qs
ارزش اطلاعات	خیلی‌کم	۳۷۲۱۳۵.۵۳۹۱	۰	۰	۰.۰۰۱۰٤۲	۰.۰۰۱۰٤۲۳	۰.٤۹۱٦۵۸
	کم	۱۳۷۱٦۱٤۷.۳۹	٦۱۲۳.٤۵	۰.۰۰۳۷۱۵	۰.۰۳۸٤۱۸	۰.۰۳۸۱۳۳۱	
	متوسط	۸۳۹٤۸۷٦٤.٦۵	۱۲٤۷۸۱۵	۰.۱۲۳٦۸۵	۰.۲۳۵۱۳۵	۰.۱۸۰۵٦٦۳	
	زیاد	۸٦۷۷۱۵٤۲.۸	٦٤۵۸۰۳۳	۰.٦۱۹۳۰۵	۰.۲٤۳۰٤۱	۰.۰۳۵۲۲۳٦	
	خیلی‌زیاد	۱۷۲۲۱۵۷۳۹.٦	۳۵۱۹۳۸۲۵	۱.۷۰۰٤۹۵	۰.٤۸۲۳٦٤	۰.۲۳٦٦۹۳۱	
	مجموع	۳۵۷۰۲٤۳۳۰	٤۲۹۰۵۷۹٦				
تراکم سطح	خیلی‌کم	۷۳۰٤۰۳۳۱.۵٤	۷۰۷۹۰۱.٤	۰.۰۸۰۷٤۲	۰.۲۰٤۵۸۲	۰.۱۷۲۸۷۸۷	۰.۸۷۹۸۷۷
	کم	٦۷٦٤۱٦۵۱.٦۹	۳۷۳۲۷٤٦	۰.٤۵۹۷۳۲	۰.۱۸۹٤٦	۰.۰۵۵۳۰۱٤	
	متوسط	۸٦٦۳۳۳۹۲.۰۹	۷۱۵۲۱٤۵	۰.٦۸۷۷٦۸	۰.۲٤۲٦۵۵	۰.۰۲۳٦۵٦۲	
	زیاد	۹۵۱۱۳۷۰۹.۵۵	۱۷۱۱۱٦۷٦	۱.٤۹۸۷۸۸	۰.۲٦٦٤۰۸	۰.۰٦٦۲۷۹٤	
	خیلی‌زیاد	۳٤۵۹۳۷۱٦.۸۲	۱٤۱۵۰۹۰۰	۳.٤۰۷۸۲۷	۰.۰۹٦۸۹۵	۰.۵٦۱۷٦۱٤	
	مجموع	۳۵۷۰۲۲۸۰۱.۷	٤۲۸۵۵۳٦۸				
LNRF	خیلی‌کم	۲۰۲۲۰۱۳۳.٤۱	۲۰۷٤۱۱.۷	۰.۰۸۵٤۰۹	۰.۰۵٦٦۳۳	۰.۰٤۷۳۷۲۳	۰.۳۱۰۹۵۷
	کم	۵۷۱٦۳٦۷۰.۸۵	۱۵۳٦۸٦٤	۰.۲۲۳۸۵٦	۰.۱٦۰۱۰٦	۰.۰۹٦٤٤۷۵	
	متوسط	٦۸۳۸۹۰٤۸.۸۳	۵۳٤۳۸٦۵	۰.٦۵۰٦۱۲	۰.۱۹۱۵٤٦	۰.۰۲۳۳۸۲٤	
	زیاد	۱۰۹۹٤۷۲۳۷.٦	۱۵۱۷۱٦۳۹	۱.۱٤۸۹۵۱	۰.۳۰۷۹٤۳	۰.۰۰٦۸۳۲۱	
	خیلی‌زیاد	۱۰۱۳۱۷٤۳۰.۲	۲۰٦۲۰۷۹۲	۱.٦۹٤٦۲۸	۰.۲۸۳۷۷۳	۰.۱۳٦۹۲۲۷	
	مجموع	۳۵۷۰۳۷۵۲۰.۹	٤۲۸۸۰۵۷۰				
نسبت فراوانی	خیلی‌کم	۷۲۹۲٦۸۸۷.۵۳	۷۰۹۰۰۱.۳	۰.۰۸۰۹۹۳	۰.۲۰٤۲٦۵	۰.۱۷۲۵۱٦۸	۰.۸۷۹۲۵۲
	کم	٦۷٦۲٤۵۸۸.۰۱	۳۷۲۱۰۵۹	۰.٤۵۸٤۰٦	۰.۱۸۹٤۱۳	۰.۰۵۵۵۹۵	
	متوسط	۸٦۵۵۷۷۵۱.٦۹	۷۱۵۹۱۳۲	۰.٦۸۹۰۳۸	۰.۲٤۲٤٤٤	۰.۰۲۳٤٤۳۸	
	زیاد	۹۵۰۸٤۵٤۳.۸۵	۱۷۰٤۲۹۵۸	۱.٤۹۳۲۱۹	۰.۲٦٦۳۲۸	۰.۰٦٤۷۸۸۲	
	خیلی‌زیاد	۳٤۸۲۷۲٦۳.۹	۱٤۲۲۳۲۲۱	۳.٤۰۲۲۵۷	۰.۰۹۷۵۵	۰.۵٦۲۹٤۳۲	
	مجموع	۳۵۷۰۲۱۰۳۵	٤۲۸۵۵۳۷۲				

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

نسبت تراکم برای روش ارزش اطلاعات در ردهٔ خطر خیلی‌زیاد، مقدار ۱/۷۰۰۴۹۵ را به‌دست داده است. این مقدار برای روش‌های تراکم سطح و نسبت فراوانی و LNRF به ترتیب ۳/۴۰۷۸۲۷، ۳/۴۰۲۲۵۷ و ۱/۶۹۴۶۲۸ است.

دقت روش (P): عبارت است از مساحت سطح لغزش‌یافته در پهنه‌های خطرزیاد و خیلی‌زیاد به مساحت آن پهنه‌ها رابطهٔ (۹)

$$P=KS/S \qquad (۹)$$

P دقت روش در پهنه‌های خطرزیاد و خیلی‌زیاد، KS مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطرزیاد و خیلی‌زیاد، S مساحت پهنه‌های خطر مربوط [۱۳]. جدول ۵ دقت روش P را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقادیر P (دقت روش) به‌دست آمده برای منطقه پشت‌دربند

روش	Ks	S	P
ارزش اطلاعات	٤١٦٥١٨٥٨	٢٥٨٩٨٧٢٨٢،٤	٠،١٦٠٨٢٦
تراکم سطح	٣١٢٦٢٥٧٦	١٢٩٧٠٧٤٢٦،٤	٠،٢٤١٠٢٤
LNRF	٣٥٧٩٢٤٣٠	٢١١٢٦٤٦٦٧،٨	٠،١٦٩٤٢
نسبت فراوانی	٣١٢٦٦١٧٩	١٢٩٩١١٨٠٧،٧	٠،٢٤٠٦٧٢

در پژوهش نادری و حاجی‌کریمی، ۱۳۹۰، بر ارجحیت روش ارزش اطلاعات بر LNRF در حوضهٔ آبخیز تلخاب ایلام اذعان شده است. در پژوهش حاضر نیز بقیهٔ روش‌های آماری نتایج مطلوب‌تری نسبت به‌روش LNRF به‌دست داده‌است.

با توجه به شاخص به‌دست آمده و مقایسهٔ نقشهٔ پراکندگی لغزش با نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل هریک از روش‌ها در محیط GIS، در پژوهش شیرانی و همکاران (۱۳۸۵) مشخص شد که به‌ترتیب ابتدا، روش دو متغیره آنالیز ارزش اطلاعاتی و روش دو متغیره تراکم سطح سپس سایر روش‌ها در اولویت قرار می‌گیرند.

در پژوهش شیرانی و همکاران (۱۳۹۲)، نیز نتایج حاصل نشان داد که مناسب‌ترین نقشه پهنه‌بندی خطرلغزش، نقشه حاصل از روش آماری ارزش اطلاعات است که امکان استفاده در کارهای عمرانی و برنامه‌ریزی را دارد.

امیراحمدی و همکاران(۱۳۹۳)، اعلام کردند که روش ارزش اطلاعاتی به‌لحاظ داشتن انطباق بیش‌تر زمین‌لغزش‌ها با پهنه‌های خطر زیاد، کارایی بهتری نسبت به‌روش گوپتا و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

جوشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ بقیع دارد، که این موضوع با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به جدول۳، که طبقه‌بندی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و مقادیر به‌دست آمده از روش‌های دومتغیره برای تعیین خطر زمین‌لغزش در منطقه پشت‌دربند را نشان داده است، در روش‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات، عوامل کاربری اراضی جنگل، شیب و شکل دامنه بیش‌ترین تأثیر را در بروز زمین‌لغزش داشته‌اند. در روش تراکم سطح نیز عوامل کاربری اراضی جنگل، شیب و شکل دامنه به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل در رخداد زمین‌لغزش‌ها بوده‌اند. در روش LNRF، عوامل مؤثر زمین‌شناسی، کاربری اراضی مرتع و فاصله از آبراهه بیش‌ترین نقش را در ایجاد زمین‌لغزش داشته‌اند.

در سه روش نسبت فراوانی، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش مشابه به‌دست آمده‌اند در حالی‌که در روش LNRF سه عاملی که بیش‌ترین تأثیر را بر بروز زمین‌لغزش داشته‌اند به‌طورکلی با سه روش دیگر متفاوت است.

مقادیر نسبت تراکم نشان می‌دهد که روش‌های تراکم سطح و نسبت فراوانی به‌ترتیب در تفکیک بین رده‌های خطر با شاخص نسبت تراکم، دقت یا بیش‌ترین مطلوبیت در بین چهار روش استفاده شده در منطقهٔ بررسی شده، دارند.

مقادیر مجموع کیفیت درج شده در جدول ٤، نشان می‌دهد که روش تراکم سطح و سپس روش نسبت فراوانی با اختلاف بسیارکم، درستی یا مطلوبیت بیش‌تری در تفکیک خطرزمین‌لغزش در منطقه پشت‌دربند را دارند.

نتایج حاصل از شاخص P که در جدول ٥ آورده شده‌است، بیان‌گر آن است که از میان روش‌های استفاده شده در این پژوهش روش تراکم سطح با اختلاف جزئی نسبت به‌روش نسبت فراوانی، مدل مناسب منطبق با منطقهٔ بررسی شده است.

تقدیر و تشکر

از معاونت آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه، به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های زمین‌لغزش‌های رخداده منطقهٔ بررسی شده، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

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

[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

منابع

۱. اکبری مرتضی، مشایخان آرمین. *مقایسه مدل‌های مفهومی LNRF و WLC در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه اخلمد، شهرستان چناران)*، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ششم، شمارهٔ ۱۸، (۱۳۹۱) ۱۰-۱.

۲. امیراحمدی ابوالقاسم، اکبری الهه، پورهاشمی سیما، *انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دومتغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محیط GIS (مطالعهٔ موردی:حوضهٔ آبخیز بقیع)*، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال چهارم، شمارهٔ پانزدهم (۱۳۹۳) ۸۹-۷۱.

۳. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، www.ngdir.ir.

٤. رهنماراد جعفر، یادگارزائی محمدحسن، کنگی عباس، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ اسکل-آباد خاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی*، زمین‌شناسی کاربردی، سال ٦، شمارهٔ ٤ (۱۳۸۹) ۲۷۷-۲۵۷.

۵. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *نقشهٔ زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میانراهان*، استان کرمانشاه.

٦. سازمان هواشناسی کرمانشاه، www.kermanshahmet.ir

۷. سپهر عادل، بهنیافر ابوالفضل، محمدیان عباسعلی، عبدالهی ابوالفضل، *تهیهٔ نقشهٔ حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایهٔ الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شمارهٔ ۱ (۱۳۹۲) ۳٦-۱۹.

۸. شادفر صمد، یمانی مجتبی، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز جلیسان با استفاده ازمدل LNRF*، پژوهش های جغرافیایی، شمارهٔ ٦۲ (۱۳۸٦) ۲۳-۱۱.

۹. شادفر صمد، قدوسی جمال، خلخالی سیدعلی، کلارستاقی عطااله، *بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دو متغیره و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضهٔ جنت رودبار*، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شمارهٔ ۷۸ (۱۳۸۷) ٦٤-٥٦.

۱۰. شادفر صمد، یمانی مجتبی، نمکی محمد، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF درحوضهٔ چالکرود*، مجلهٔ مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۳، شمارهٔ ۱ (۱۳۹۰) ٤۷-٤۰.

۱۱. شریعت جعفری محسن، غیومیان جعفر، *ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین*، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و چهارم، شمارهٔ ۱ (۱۳۸۷) ۱٤۳-۱۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

۱۲. شیرانی کوروش، چاوشی‌بروجنی ستار، غیومیان جعفر، *بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادنای علیای سمیرم*، مجلهٔ پژوهشی علوم‌پایه دانشگاه اصفهان، دورهٔ ۲۳، شمارهٔ ۱ (ویژه‌نامه زمین‌شناسی) (۱۳۸۵) ۳۸-۲۳.

۱۳. شیرانی کوروش، سیف عبدالله، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدونشهر)*، مجله علوم زمین، سال بیست و دوم، شمارهٔ ۸۵ (۱۳۹۱) ۱۵۸-۱٤۹.

۱٤. شیروانی کوروش، سیف عبدالله، نصر احمد، بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای برپایهٔ تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، مجلهٔ علوم‌زمین، سال بیست و سوم، شماره ۸۹ (۱۳۹۲) ۱۰-۳.

۱۵. فاطمی‌عقدا سیدمحمود، مهدوی‌فر محمدرضا، باقری وحید، *پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های سرعین ناشی از زلزله ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ با استفاده از روش کیفی*، نشریهٔ زمین‌شناسی مهندسی، جلد هشتم، شمارهٔ ۳، (۱۳۹۳)۲۳۰۱-۲۳۲۸.

۱٦. قبادی محمدحسین، قبادی آرزو، قبادی صادق، *خطرات زمین‌شناسی (راهنمای صحرایی برای مهندسان ژئوتکنیک)*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، (۱۳۹۱) ۵۸٤.

۱۷. کریمی حاجی، نادری فتح اله، مرشدی ابراهیم، نیک‌سرشت مهدی، *پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)*، زمین‌شناسی‌کاربردی، سال ۷، شماره٤ (۱۳۹۰) ۳۳۲-۳۱۹.

۱۸. گرایی پرویز، کریمی حاجی، *تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز سد ایلام*، دوره ۲۵، شمارهٔ ۹٦ (۱۳۸۹) ۱۲۷-۱۰۱.

۱۹. طالبی علی، دستورانی محمدتقی، نفرزادگان علی‌رضا، *مدل‌سازی زمین‌لغزش‌های سطحی با تاکید بر اثر شکل شیب و پروفیل طولی دامنه*، ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملّی فرسایش و رسوب (اردیبهشت ۱۳۸۹).

۲۰. مصفایی جمال، اونق مجید، مصداقی منصور، شریعت‌جعفری محسن، *مقایسهٔ کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آب خیز الموت رود)*، مجلهٔ پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره چهارم (۱۳۸۸) ٦۱-٤۳.

۲۱. مقیمی ابراهیم، علوی‌پناه سیدکاظم، جعفری تیمور، *ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)*، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ٦٤ (۱۳۷۸) ۷۵-۵۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]

۲۲. ملکی امجد، قربانپور علی، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضهٔ چرمله شهرستان سنقر استان کرمانشاه*، جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۲ (۱۳۸۷) ۱۹۸-۱۸۱.

۲۳. نادری فتح‌الله، کریمی حاجی، *ارزیابی کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی و گویتا و جوشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز تلخاب ایلام*، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۲ (۱۳۹۰) ۱۰۳-۹۵.

۲٤. نوجوان محمدرضا، حیاتی غلامرضا، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضهٔ آبخیز سیاه‌خور اسلام‌آباد غرب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی* (AHP)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دهم، شمارهٔ ۳۸، (۱۳۹۲) ۹۲-۸۱.

25. Teimouri M., Graee P., "Evaluation of AHP and Frequency Ratio Methods in Landslide Hazard Zoning (Case Study: Bojnord Urban Watershed, Iran)", International Research Journal of Applied and Basic Sciences, Vole, 3 (9) (2012) 1978-1984.

26. Gupta R.P., Joshi B.C., "Landslide hazard zoning using the GIS approach-A case study from the Ramganga catchment", Himalayas, Engineering Geology, 28 (1) (1990) 119-131.

27. Nandi A., Shakoor A., "A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses", Engineering Geology 110 (2009) 11-20.

28. 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.

29. Yalcin A.S., Reis A.C., Aydinoglu T., Yomralioglu A., "GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon", NE Turkey, Catena 85 (2011) 274-287.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1396.11.1.7.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.11.1.91]