



پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از GIS و مدل آماری دو متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح در حوضه آبخیز گلورد نکا، مازندران

سیده نجمه عقیلی^۱، غلامرضا لشکری‌پور^{۲*}، ناصر حافظی‌مقدس^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۴

برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله باعث خسارت جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان می‌شود. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها، تشخیص مناطق مستعد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن از طریق تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. در این مطالعه کارایی دو مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گلورد نکا مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه تهیه گردید. سپس ۹ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شناسایی و نقشه‌های مربوطه تهیه و طبقه‌بندی شده است. در مرحله بعد طبقات هر کدام از این لایه‌ها، با استفاده از مدل‌های تراکم سطح و ارزش اطلاعات وزن‌دهی شده، و سپس با تلفیق این لایه‌ها در نرم افزار Arc GIS، نقشه‌های خطر زمین‌لغزش تهیه شده است. نتایج نشان داد که پارامترهای شیب، جهت شیب، وجود گسل، کاربری از نوع کشاورزی و لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. به منظور مقایسه روش‌ها نسبت به یکدیگر و ارزیابی کارایی آن‌ها، شاخص‌های مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار بالاتر این شاخص‌ها برای مدل ارزش اطلاعات کارایی بیشتر آن را نسبت به مدل تراکم سطح جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر، روش ارزش اطلاعات، روش تراکم سطح، زمین‌لغزش، مازندران، نکا، GIS.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران Email:saghili303@yahoo.com

^۲ عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، Lashkaripour@um.ac.ir (نویسنده مسئول)*

^۳ استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد Email:nhafezi@um.ac.ir

مقدمه

یکی از خطرناک‌ترین ناپایداری‌ها، حرکت توده‌ای می‌باشد که به علت جنبش وسیع توده خاک یا سنگ یا ترکیب آن‌ها، از یک شیب به سمت پایین توسط نیروی گرانشی زمین رخ می‌دهد (Mohammadi et al., 2014) و میزان تحرک این مواد با حضور آب موجود در رسوبات افزایش می‌یابد (Pareta et al., 2012). زمین‌لغزش‌ها از پدیده‌های رایج در مناطق کوهستانی و تپه ماهوری در سراسر جهان می‌باشند و در بسیاری از کشورها باعث آسیب‌های مالی و جانی زیادی می‌شوند و به همین دلیل پژوهش‌گران توجه خاصی به این بلایای طبیعی دارند (Alexakis et al., 2013; Hong et al., 2016). این پدیده‌ها اغلب باعث اختلال عمده در ساختارها و زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها، راه‌آهن، خطوط برق و ... می‌شوند و ممکن است تغییرات چشمگیری در مورفولوژی چشم‌انداز ایجاد کنند بنابراین مانع پاسخ سریع خدمات اضطراری می‌شوند (Caccavale et al., 2017). در کشور ایران بخصوص در حوضه‌های آبخیز شمالی کشور، علاوه بر عوامل طبیعی مانند اقلیم، سنگ‌شناسی، توپوگرافی و ...، فعالیت‌های انسانی نظیر تغییر در کاربری اراضی، جاده‌سازی، عملیات کشاورزی غیراصولی و ... نیز باعث وقوع زمین‌لغزش‌های متعددی شده است. بطوریکه سالیانه، خسارت‌های هنگفتی را بوجود می‌آورد (شفقتی و مصلحت‌جو، ۱۳۹۱). به علت این آسیب‌ها سیاست‌مداران توجه زیادی به پژوهش در خصوص زمین‌لغزش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی برای شناسایی مناطق حساس و مناطق باثبات برای توسعه آینده دارند (Yu et al., 2016). از این رو با توجه به اهمیت زمین‌لغزش‌ها در فرسایش خاک و نتایج مخرب آن برای انسان (Chen et al., 2014)، تشخیص مناطق مستعد لغزش، برای به کارگیری روش‌های پیش‌گیری یا مقابله با ناپایداری دامنه‌ها، به منظور کاهش خطر و ریسک حاصل از آن‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش یکی از روش‌های

غیرمستقیم و کارآمد در شناسایی این مناطق می‌باشد (کامران‌زاد و همکاران، ۱۳۹۴). پیشرفت تکنولوژی سبب شده است بشر در جست و جوی ابزار جدید و پیشرفته باشد (Farzin et al., 2017). سیستم اطلاعات جغرافیایی یک فن یا ماشین ابزاری است که می‌توان از آن در برنامه‌ریزی محیط زیست بهره جست. بر این اساس GIS مشارکت گسترده‌ای در آنالیز خطرهای طبیعی پیدا کرده است (Jaafari et al., 2014).

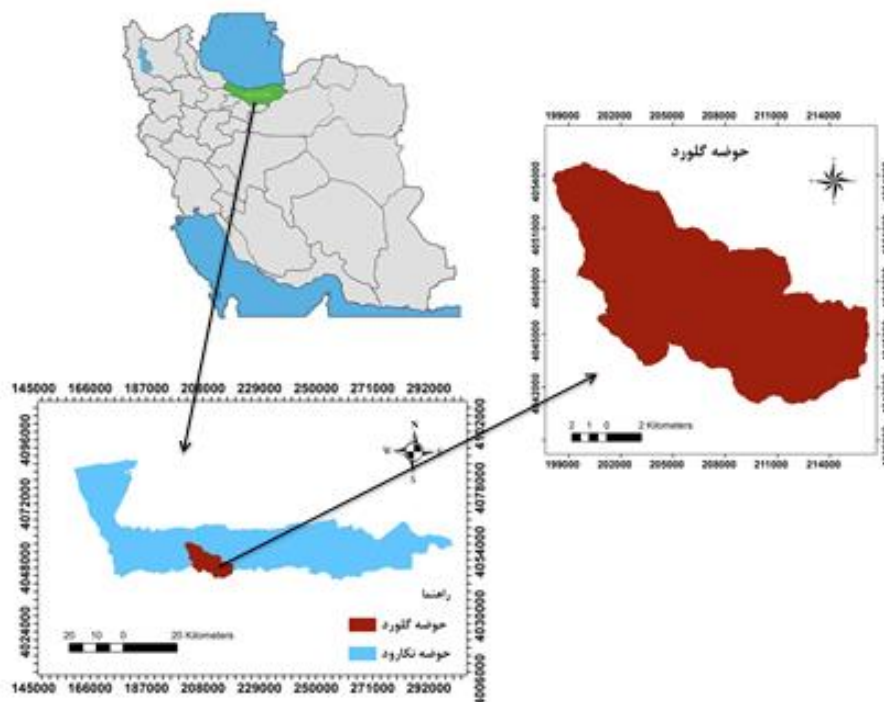
تاکنون پژوهش‌های زیادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کشور صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات پیشین انجام شده به روش آنبالگان (شفقتی و مصلحت‌جو، ۱۳۹۱)، روش تحلیل سلسله مراتبی (کامران‌زاد و همکاران، ۱۳۹۴)، مدل رگرسیون چندمتغیره (رسایی و همکاران، ۱۳۹۴)، مدل‌های فازی چندمعیاره (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵)، مدل Lim (مددی و همکاران، ۱۳۹۲)، مدل‌های دو متغیره ارزش اطلاعاتی (رحمتی و زند، ۱۳۹۶)، مدل LNRF (شادفر و یمانی، ۱۳۸۷)، مدل آنتروپی و منطق فازی (صفاری و هاشمی، ۱۳۹۵)، مدل رگرسیون لجستیک (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۵) اشاره کرد. حوضه آبخیز گلورد به دلیل موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، تکتونیک و لرزه‌خیزی، اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و دخالت انسان همواره با خطر مخاطرات طبیعی مواجه است. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گلورد، در محیط GIS به کمک روش آماری دو متغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعات) می‌باشد. از این رو در این مقاله، در مرحله نخست داده‌های مربوط به ۹ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی سالیانه، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از گسل برای حوضه آبخیز گلورد جمع آوری شده است، و در گام بعد به تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و در آخرین گام به مقایسه

ایستگاه آب‌سنجی آبلو واقع در شهر نکا می‌رسد و از آن‌جا پس از عبور از شهر نکا و دشتهای ساحلی به دریای خزر می‌پیوندد. سمت سفلی رودخانه از محل گلورد تا خروج رود از کوهستان به علت نفوذ هوای بارانی از داخل دره به حوضه آبخیز مقدار بارندگی زیاد بوده و متوسط آن بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در این قسمت از رود حوضه آبخیز پوشیده از جنگل است و مقدار آبدهی آن از سایر مناطق بیشتر است. بخش وسیعی از حوضه نکارود شامل کنگلومرا، سنگ‌های آهکی، مارن و مارن سیلتی، و از لحاظ پوشش گیاهی دارای جنگل نسبتاً متراکم شامل راش، ممرز، بلوط و نارون است. راه‌های دسترسی به حوضه از طریق جاده اصلی بهشهر - گرگان و جاده جنگلی پاسند و دیگری مسیر جاده گلوگاه به سمت نیلا و از آنجا به سمت روستای پارچ در شمال حوضه می‌باشد.

دقت روش‌ها و انتخاب روش منطقی‌تر برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش اقدام شد.

موقعیت منطقه

حوضه آبریز گلورد در محدوده جغرافیایی ۱۵" و ۲۸' و ۳۵" تا ۳۸' و ۳۵" و ۳۶° عرض شمالی و ۳۵" و ۳۷' و ۵۳" تا ۵۵' و ۴۹" و ۵۳° طول شرقی واقع شده است. مساحت حوضه ۱۲۳۵۰/۶ هکتار معادل (۱۲۳/۵۰) کیلومترمربع و ارتفاع آن از سطح دریا ۶۴۰ متر می‌باشد. حوضه آبریز گلورد یکی از زیرحوضه‌های هفتگانه حوضه آبخیز نکارود می‌باشد که در استان مازندران و محدوده شهرستان‌های نکا، بهشهر، گرگان قرار گرفته است (شکل ۱). نکارود از ارتفاعات ۳۴۰۰ متری شاهکوه در جنوب شرقی شهر گرگان سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی حدود ۱۶۵ کیلومتر به



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه



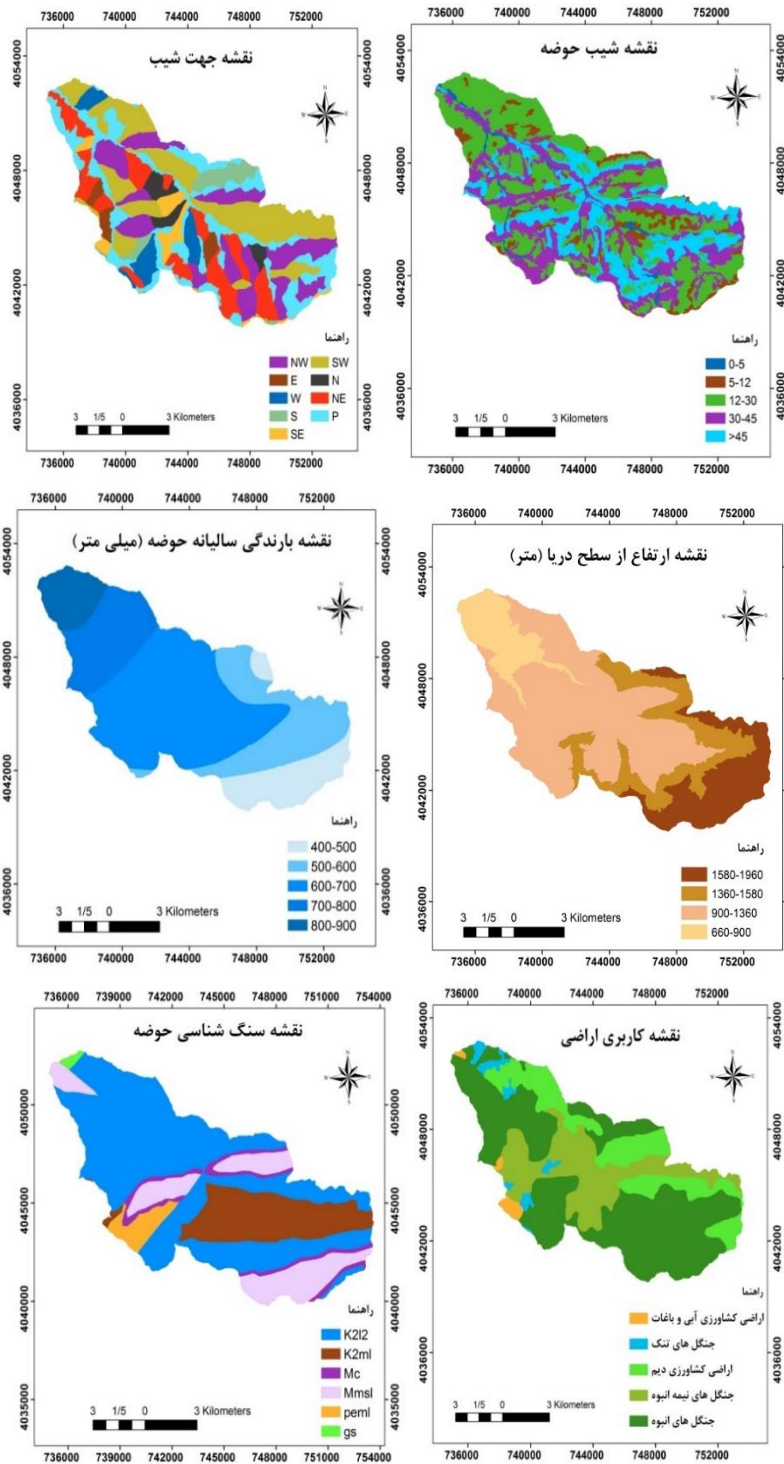
مواد و روش‌ها

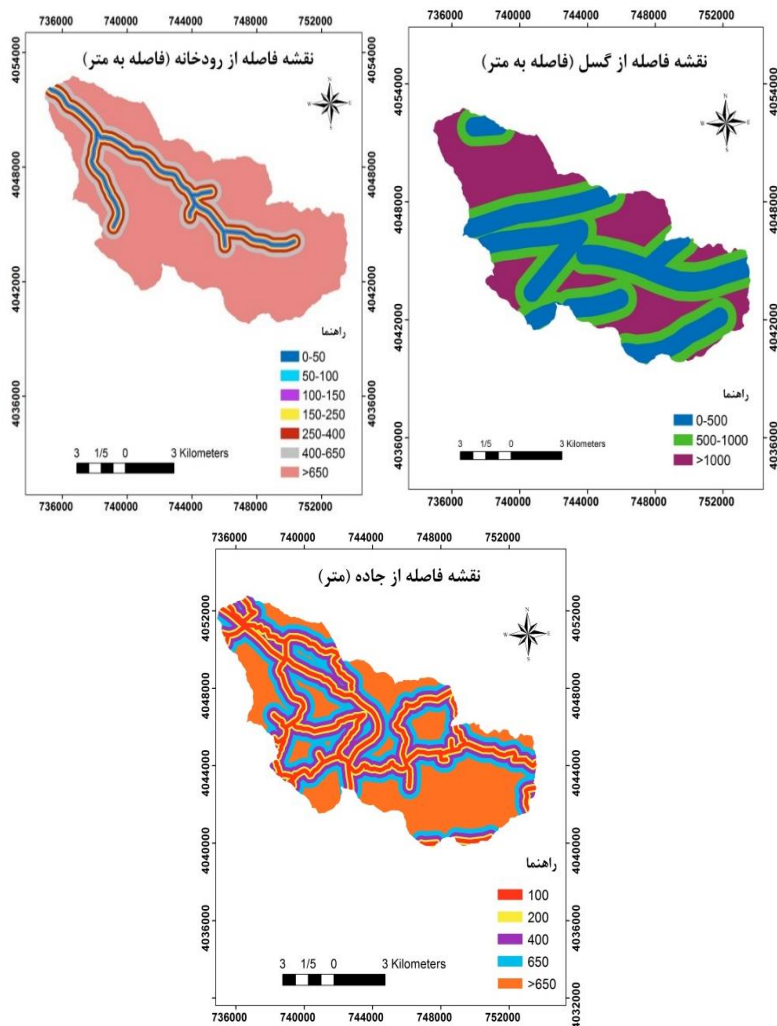
ابتدا اطلاعات زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه از سازمان منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد. همچنین داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل عکس‌ها و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه کاربردی از جمله: نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ از سازمان منابع طبیعی استان مازندران و سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده، و سپس در محیط نرم افزار Arc GIS قرار گرفته و آماده‌سازی شده‌اند.

لایه‌های اطلاعاتی

شناسایی پارامترهای مؤثر در ایجاد ناپایداری‌ها، بعنوان یکی از مهم‌ترین مراحل در انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، باید مورد توجه قرار گیرد (رسایی و همکاران، ۱۳۹۴). توپوگرافی عمدتاً مهم‌ترین فاکتور مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود (Youssef et al., 2015c). همچنین چندین فاکتور از

جمله فعالیت‌های انسان (Pourghasemi & Kerle., 2016)، شرایط آب و هوایی (Peng et al., 2014) و ویژگی‌های حوضه آبخیز مانند رودخانه و گسل (Girma et al., 2015) از مهم‌ترین پارامترها می‌باشند. بدین منظور، در این تحقیق با در اختیار داشتن داده‌ها و اطلاعات مربوط به زمین‌لغزش‌های پیشین رخ داده در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌ها، داده‌ها و اطلاعات موجود در سازمان آبخیزداری، آب منطقه‌ای و سازمان زمین‌شناسی، بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات انجام شده، ۹ عامل شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی سالیانه، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از گسل بعنوان لایه اطلاعاتی انتخاب گردیده و نقشه‌های عوامل مؤثر در محیط GIS آماده‌سازی شده است (شکل ۲). در ادامه با همپوشانی نقشه پراکنش لغزش و هرکدام از لایه‌ها و همچنین با استفاده از روش آماری دو متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح، وزن هر یک از طبقات لایه‌ها محاسبه گردید.



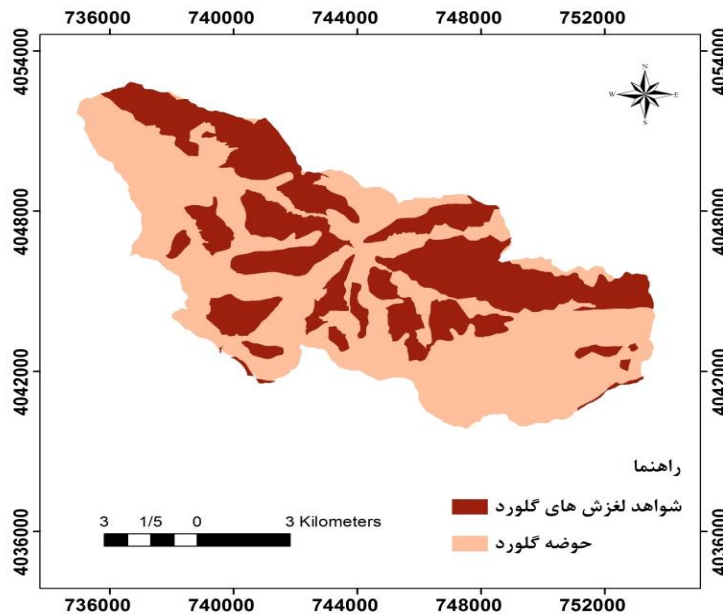


شکل (۲): نقشه پارامترهای مؤثر در وقوع خطر زمین لغزش

موجود (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان)، مقالات و گزارشات پیشین، جمع‌آوری شده و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه در محیط GIS تهیه شده است. طبق این نقشه ۴۶/۷۸ کیلومترمربع معادل ۳۸/۱۸٪ سطح حوضه دارای لغزش می‌باشد (شکل ۳).

نقشه پراکنش زمین لغزش

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه، اولین مرحله در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است (رسایی و همکاران، ۱۳۹۴). به این منظور اطلاعات زمین لغزش‌های حوضه از طریق نقشه زمین لغزش‌های



شکل (۳): نقشه پراکنش زمین لغزش در حوضه آبخیز گلورد

$$\ln w_i = \ln \left(\frac{\text{Densclass}}{\text{Densmap}} \right)$$

$$= \ln \left[\frac{\frac{N_{\text{pix}}(S_i)}{N_{\text{pix}}(N_i)}}{\frac{\sum N_{\text{pix}}(S_i)}{\sum N_{\text{pix}}(N_i)}} \right]$$

معرفی روش‌ها

در این مطالعه، به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز گلورد و باتوجه به نقشه پارامترهای مؤثر تهیه شده، نیاز مدل‌های مختلف پهنه‌بندی به داده‌ها و انعطاف‌پذیری داده‌ها در روش‌های آماری، از مدل آماری دو متغیره (ارزش اطلاعات و تراکم سطح) استفاده شده است.

روش آماری دو متغیره ارزش اطلاعات

این روش توسط Yin & Yan (1988) برای اولین بار ارائه شده است. در این روش، رابطه بین زمین لغزش های موجود (متغیر وابسته) و متغیرهای مؤثر (متغیر مستقل) مورد تحلیل قرار می‌گیرد و اهمیت هر یک از عوامل جداگانه تجزیه و تحلیل می‌شود. بر این اساس وزن و سهم هر یک از پارامترها در رخداد زمین لغزش از رابطه (۱) بدست می‌آید.

(۱)

که در آن W_i وزن مربوط به طبقه مشخص از یک متغیر، Dens class تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر، Dens map تراکم زمین لغزش در کل محدوده، $N_{\text{pix}}(S_i)$ تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر طبقه از پارامتر $N_{\text{pix}}(N_i)$ تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر هستند. پس از مشخص کردن طبقه‌ها، وزن‌ها را برای هر طبقه بر اساس رابطه (۱) به دست آمد. در مورد مقدار عددی وزن‌ها، هر چه عدد منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده تأثیر کمتر پارامتر مربوطه در رخداد زمین لغزش و عدد مثبت‌تر نشان‌دهنده بیشترین تأثیر است. پس از تهیه نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش، همه آن‌ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمد سپس نقشه



حوضه در پهنه خطر خیلی زیاد، ۴۴/۴۹٪ در پهنه خطر زیاد، ۳۲/۳۲٪ در پهنه خطر متوسط و ۹/۶۴٪ در پهنه کم خطر قرار دارد (شکل ۵).
با توجه به هر دو نقشه خطر زمین لغزش با روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح، مناطق جنوب غربی، جنوب شرقی و مناطق مرکزی حوضه را خطر خیلی زیاد تهدید می کند که دلیل آن عوامل تأثیرگذار در وقوع لغزش شامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، گسل و لیتولوژی می باشد.

نهایی به چهار پهنه کم خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد طبقه بندی شد (جدول ۱ و شکل ۴).
در این روش ۱۱/۶۸٪ وسعت حوضه در پهنه خطر خیلی زیاد، ۵۶/۱۵٪ در پهنه خطر زیاد، ۱۸/۲۷٪ در پهنه خطر متوسط و ۱۳/۸۹٪ در پهنه کم خطر قرار گرفت (شکل ۵).

روش آماری دو متغیره تراکم سطح

در این روش از طریق روابط (۲ و ۳) برای هر نقشه عامل یا پارامتر، تراکم زمین لغزش محاسبه می شود و سپس اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش می شود (Lee & Kyungduck., 2001).

$$D_{area} = \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)} \quad (2)$$

(۳)

$$w_{area} = 1000 \left[D_{area} - \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)} \right]$$

که در آن D_{area} تراکم زمین لغزش در هر رده از پارامتر، $Npix(SX_i)$ تعداد پیکسل های زمین لغزش در هر رده از هر پارامتر مشخص، $Npix(X_i)$ تعداد کل پیکسل ها در هر رده از پارامتر مشخص، w_{area} وزن متغیر هر رده از هر پارامتر می باشد. پس از تهیه نقشه های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش، همه آن ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمد سپس نقشه نهایی به چهار پهنه کم خطر، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد طبقه بندی شد (جدول ۱ و شکل ۴). در این روش ۱۳/۳٪ وسعت

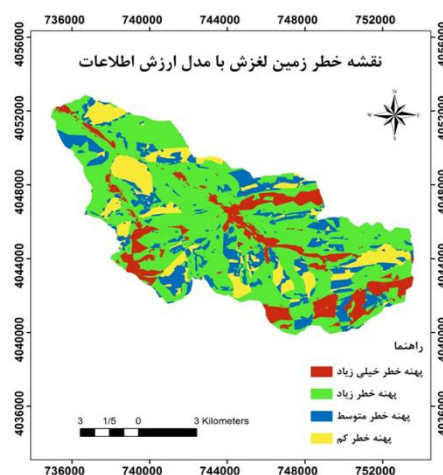
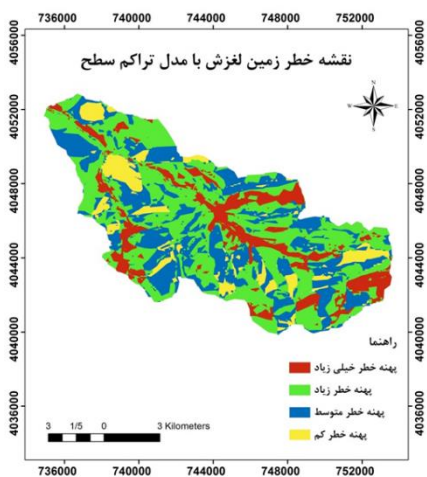


جدول (۱): طبقه‌بندی و وزن‌دهی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش بر اساس مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح

عامل	طبقات	مساحت هر طبقه (km ²)	مساحت سطح لغزش یافته (km ²)	Dens class	وزن ارزش اطلاعات	وزن تراکم سطح
ارتفاع از سطح دریا	۹۰۰-۶۶۰	۱۴/۲۷	۳/۲۶	۰/۳۲	-۰/۵	۵۰۲۲۸/۹۸
	۱۳۶۰-۹۰۰	۶۴/۷۴	۳۲/۲۶	۰/۴۹	۰/۲۶	۵۰۴۹۸/۲۷
	۱۵۸۰-۱۳۶۰	۲۲/۷	۷/۸۱	۰/۳۴	-۰/۱۱	۵۰۳۴۴/۰۴
بازندگی	۱۹۶۰-۱۵۸۰	۲۱/۷۷	۳/۶۴	۰/۱۶	-۰/۸۲	۵۰۱۶۷/۴۶
	۵۰۰-۴۰۰	۱۵/۶۴	۱/۳۹	۰/۰۸	-۱/۴۵	-۲۹۲/۷۲
	۶۰۰-۵۰۰	۲۵/۳۱	۱۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۰۵	۲۲/۳
رودخانه	۷۰۰-۶۰۰	۵۳/۲۶	۲۴/۱۴	۰/۴۵	۰/۱۷	۷۱/۵
	۸۰۰-۷۰۰	۱۸/۹۱	۷/۲۵	۰/۳۸	۰/۰۱	۱/۸۷
	۹۰۰-۸۰۰	۹/۴	۳۷/۶۲	۴/۰۰۲	۰/۰۴	۱۸/۰۴
جهت شیب	۵۰-۰	۲/۷۳	۰/۲۶	۰/۰۹	-۱/۳۵۴	-۲۸۲/۶۱
	۱۰۰-۵۰	۲/۷۲	۰/۲۹	۰/۱۰	-۱/۲۵	-۲۷۲/۹۲
	۱۵۰-۱۰۰	۲/۷۲	۰/۳۸	۰/۱۳	-۰/۹۹	-۲۳۹/۷۶
گسل	۲۵۰-۱۵۰	۵/۶	۱/۳۷	۰/۲۴	-۰/۴۳	-۱۳۵/۰۲
	۴۵۰-۲۵۰	۸/۵۶	۳/۵۱	۰/۴۱	۰/۰۷	۲۸/۸۵
	۶۵۰-۴۵۰	۱۴/۶۷	۷/۹۶	۰/۵۴	۰/۳۵	۱۶۱/۵۷
زمین شناسی	>۶۵۰	۸۸/۴۸	۳۴/۰۲	۰/۳۸	۰/۰۱	۳/۴۶
	NW	۲۲/۷۴	۵/۱۶	۰/۲۲	-۰/۵۱	-۱۵۳/۳۶
	E	۲/۹۳	۱/۴۳	۰/۴۸	۰/۲۴	۱۰۷/۴۳
گسل	W	۶/۰۲	۲/۷۳	۰/۴۵	۰/۱۷	۷۳/۲۹
	S	۴/۹۹	۳/۴۷	۰/۶۹	۰/۰۶	۳۱۵/۰۲
	SE	۴/۷۹	۲/۴۱	۰/۵۰	۰/۲۷	۱۲۲/۴۶
گسل	SW	۳۰/۷۷	۲۴/۱۶	۰/۷۸	۰/۷۲	۴۰۴/۶۲
	N	۴/۰۵	۲/۰۹	۰/۵۱	۰/۳	۱۳۷/۵۳
	NE	۱۸/۵۲	۴/۹۷	۰/۲۶	-۰/۳	-۱۱۲/۱۱
گسل	P	۲۸/۶۴	۰/۵۳	۰/۰۱	-۳/۰۱	-۳۶۱/۱۵
	۱۰۰-۰	۱۷/۲۱	۷/۳۵	۰/۴۲	۰/۱۱	۴۶/۶
	۲۰۰-۱۰۰	۱۴/۲۵	۶/۷۳	۰/۴۷	۰/۲۱	۹۲/۱۴
گسل	۴۰۰-۲۰۰	۲۴/۴۱	۱۲/۱۸	۰/۴۹	۰/۲۷	۱۱۸/۵۷
	۶۵۰-۴۰۰	۲۳/۰۵	۱۰/۰۹	۰/۴۷	۰/۲۱	۹۲/۴۱
	>۶۵۰	۴۵/۰۵	۱۰/۰۱	۰/۲۲	-۰/۵۳	-۱۵۸/۵
گسل	۵۰۰-۰	۴۳/۹۴	۱۷/۳۵	۰/۳۹	۰/۰۹	۳۹/۴۳
	۱۰۰۰-۵۰۰	۳۶/۱۵	۱۵/۱۸	۰/۴۱	۰/۰۳	۱۴/۵۱
	>۱۰۰۰	۴۳/۳۹	۱۴/۴۴	۰/۳۳	-۰/۱۳	-۴۷/۵۴
گسل	Gs	۰/۶۱	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۶۴	۳۴۷
	Peml	۴/۴۴	۱/۸۵	۰/۴۱	۰/۰۸	۳۵
	Mmsl	۱۹/۹۷	۳/۹۱	۰/۱۹	-۰/۶۶	-۱۸۵
گسل	Mc	۶/۳۵	۲/۶۹	۰/۴۲	۰/۱	۴۱
	K2m2	۲۲/۷۶	۱۱/۷۴	۰/۵۱	۰/۳	۱۳۴
	K2L2	۶۸/۳۵	۲۶/۱۲	۰/۳۸	۰/۰۱	۰/۲۹

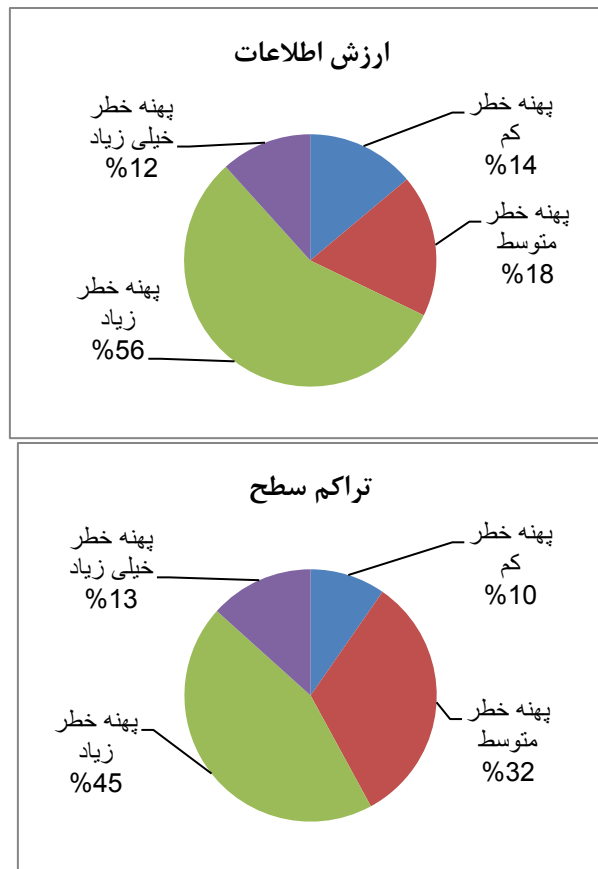
ادامه جدول (۱): طبقه‌بندی و وزن‌دهی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش بر اساس مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح

-۲۴۰/۴۲	-۰/۹۹	۰/۱۳	۰/۳۴	۲/۴۵	۵-۰	طبقه‌بندی
۷۶/۳۳	۰/۱۸	۰/۴۵	۳/۵۹	۷/۸۷	۱۲-۵	
۲۹/۸۳	۰/۰۷	۰/۴۱	۲۳/۲۵	۵۶/۶۸	۳۰-۱۲	
-۳۸/۷۹	-۰/۱	۰/۳۴	۱۰/۹۸	۳۲/۱۶	۴۵-۳۰	
-۱۸/۷۱	-۰/۰۵	۰/۳۶	۸/۷۹	۲۴/۳۲	>۴۵	
۲۷۹/۰۴	۰/۵۴	۰/۶۶	۱۵/۳۲	۲۳/۱۸	دیج	
-۲۴۷/۴	-۱/۰۴	۰/۱۳	۰/۲۱	۱/۶۱	آبی	
۳۷۰/۶۱	۰/۶۷	۰/۷۵	۲/۴۹	۳/۳۲	تنگ	
۱۵۸/۰۸	۰/۳۴	۰/۵۳	۱۴/۸۹	۲۷/۵۸	نیمه انبوه	
-۱۷۴/۵۸	-۰/۶۱	۰/۲۰	۱۳/۸۴	۶۶/۱۸	انبوه	
						کاربری اراضی



شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس مدل ارزش

اطلاعات و تراکم سطح



شکل (۵): نمودار درصد پهنه‌های خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز گلورد به روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح

در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند (Guzzetti et al., 2000; Sarkar et al., 2008). شاخص نسبت تراکم یا Dr بصورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Gee., 1992).

$$Dr = \frac{\sum_i^n \frac{Si}{Ai}}{\sum_i^n Si / \sum_i^n Ai} \quad (4)$$

در این رابطه Dr شاخص نسبت تراکم، Si مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر، Ai مساحت i مین رده خطر و n تعداد رده‌های خطر است در یک نقشه (روش) پهنه‌بندی، تراکم لغزش طبقه با ۱ $Dr =$ معادل با میانگین تراکم لغزش در کل منطقه و طبقه دارای نسبت تراکم ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم

ارزیابی کارایی مدل‌ها

در این مرحله با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش آماری ارزش اطلاعات و تراکم سطح در محیط GIS، ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفت. برای ارزیابی و مقایسه بین پهنه‌بندی‌های ارائه شده

از شاخص نسبت تراکم بین طبقه‌های هر مدل و شاخص‌های مجموع کیفیت و دقت برای مقایسه مدل‌های مختلف استفاده می‌شود (Kumar et al., 2005). به عبارت دیگر شاخص مجموع کیفیت و دقت، مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی و شاخص نسبت تراکم، دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر

مجموع کیفیت (QS) بیشتر باشد، روش از کارایی بیشتری در تفکیک برخوردار است.

دقت روش (P) عبارت است از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه‌ها، که از رابطه (۶) به دست می‌آید (Jade & Sarkar., 1993).

$$P = KS/S \quad (۶)$$

P دقت روش در پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد، KS مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، S مساحت کل پهنه‌های مربوطه می‌باشد. جدول (۲) مقدار شاخص‌های فوق را برای هر مدل نشان می‌دهد. مدل ارزش اطلاعات به دلیل داشتن شاخص مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) بیشتر، دارای کارایی بهتری نسبت به مدل تراکم سطح می‌باشد.

بهبتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است.

برای تعیین مجموع کیفیت یا QS ابتدا باید نسبت تراکم محاسبه شود که در قالب رابطه (۵) محاسبه می‌گردد (Gee., 1992).

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 \times S \quad (۵)$$

QS مجموع کیفیت، Dr نسبت تراکم، S نسبت مساحت هر رده خطر نسبت به مساحت کل منطقه، n تعداد کلاس خطر می‌باشد. مقدار مجموع کیفیت (QS) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای این شاخص وجود ندارد ولی معمولاً مقدار آن برای روش‌های مختلف در محدوده صفر و ۰/۷ متغیر است. در ارزیابی روش‌ها هرچه مقدار

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی تراکم سطح Dr، شاخص کیفیت QS و شاخص دقت P برای روش‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح

مدل	طبقه خطر	مساحت (Km ²)	مساحت لغزش (Km ²)	نسبت مساحت (Km ²)	Dr	Qs	P
ارزش اطلاعات	خطر کم	۱۶/۹۹	۲/۲۲	۰/۱۳۷۵۷۰	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۴۹
	خطر متوسط	۲۲/۳۴	۴/۰۸	۰/۱۸۰۸۹۰	۰/۴۷		
	خطر زیاد	۶۸/۶۵	۳۰/۱۳	۰/۵۵۵۸۷۰	۱/۱۴		
تراکم سطح	خیلی زیاد	۱۴/۲۸	۱۰/۵۲	۰/۱۱۵۶۲۷	۱/۹۱		
	خطر کم	۱۱/۷۵	۲/۵۳	۰/۰۹۵۱۴۱	۰/۵۵	۰/۱۱	۰/۴۸
	خطر متوسط	۳۹/۳۷	۹/۹۸	۰/۳۱۸۷۸۵	۰/۶۵		
	خطر زیاد	۵۴/۱۹	۲۴/۵۱	۰/۴۳۸۷۸۵	۱/۱۷		
	خیلی زیاد	۱۶/۴۹	۹/۹۵	۰/۱۳۳۵۲۲	۱/۵۶		

توانسته‌اند به خوبی پهنه‌های خطر را از یکدیگر تفکیک کنند.

شکل (۶) نشان می‌دهد فراوانی زمین‌لغزش‌ها در روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح با افزایش میزان خطر افزایش می‌یابد. این مسئله بیان می‌کند که هر دو مدل

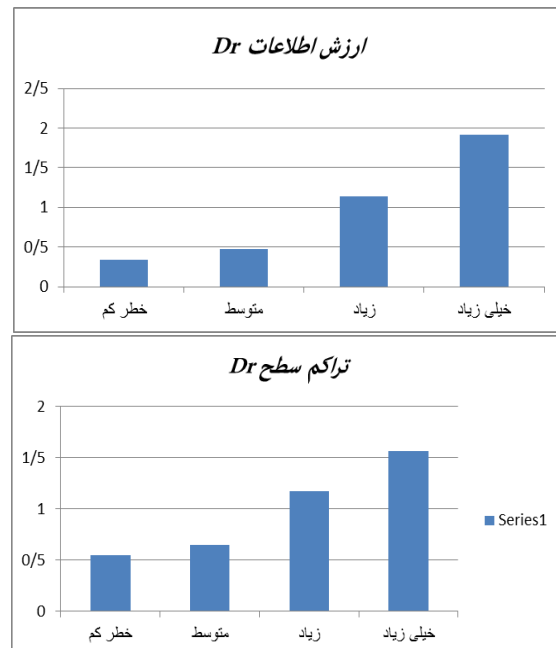


تأثیرگذار در وقوع خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز گلورد می‌باشند که هر دو مدل عمدتاً مناطق مرکزی را به عنوان پهنه‌های مستعد لغزش معرفی می‌کنند. که این موضوع با نتایج حاصل از پژوهش کاظمی گرجی و همکاران (۱۳۹۶) نیز مطابقت دارد.

نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص مجموع کیفیت (QS) نشان داد مدل ارزش اطلاعات مقدار جمع کیفی ۰/۲۲ و مدل تراکم سطح مقدار کیفیت ۰/۱۱ را به خود اختصاص داده‌اند. میزان شاخص دقت (P) برای مدل ارزش اطلاعات ۰/۴۹ و برای مدل تراکم سطح ۰/۴۸ می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از شاخص مجموع کیفیت و شاخص دقت مدل ارزش اطلاعات دارای کارایی بهتری نسبت به مدل تراکم سطح در منطقه بوده است.

شاخص نسبت تراکم (Dr) برای مدل ارزش اطلاعات نشان می‌دهد بیشترین میزان تراکم مربوط به پهنه خطر خیلی زیاد و برابر ۱/۹۱ است. و به تدریج با کاهش میزان خطر به ۱/۱۴ در پهنه خطر زیاد، ۰/۴۷ در پهنه خطر متوسط و به ۰/۳۴ در پهنه کم کاهش یافته است. که این مسئله قدرت تفکیک بالای مدل ارزش اطلاعات را بیان می‌کند. در مورد مدل تراکم سطح بیشترین مقدار نسبت تراکم مربوط به پهنه خطر خیلی زیاد برابر با ۱/۵۶ است. همچنین در این روش نیز، با کاهش میزان خطر مقدار نسبت تراکم به ۱/۱۷ در پهنه خطر زیاد، ۰/۶۵ در پهنه خطر متوسط و به ۰/۵۵ در پهنه کم کاهش یافته است. این نشان می‌دهد مدل تراکم سطح هم به خوبی توانسته است تفکیک پهنه‌های خطر را انجام دهد.

از این رو با توجه به نتایج بدست آمده، هر دو مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح منطبق با حوضه آبخیز گلورد بوده و کارایی مطلوبی را در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این منطقه را نشان داده‌اند. خصوصاً توانسته‌اند به خوبی پهنه‌های خطر را از یکدیگر تفکیک کنند. اما روش ارزش اطلاعات با شاخص مجموع کیفیت و دقت بهتر و داشتن انطباق بیشتر



شکل (۶): نمودار شاخص نسبت تراکم برای پهنه‌های خطر در روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های آماری در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پرداخته شده است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده، منطقه مورد مطالعه به چهار پهنه خطر خیلی زیاد، خطر زیاد، متوسط و کم خطر تقسیم‌بندی شده است. در مدل ارزش اطلاعات ۶۷/۸۳٪ و در مدل تراکم سطح ۵۷/۷۹٪ وسعت منطقه در پهنه‌های خطر خیلی زیاد و خطر زیاد قرار دارند که با توجه به وضعیت توپوگرافی و وجود گسل در منطقه نتایج قابل قبولی است. با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی و نتایج حاصل از بررسی طبقات عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، جهت شیب، تمرکز شیب بین ۴۵-۳۰ و بالای ۴۵ درصد، وجود گسل، کاربری از نوع کشاورزی و لیتولوژی در مناطق مرکزی، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی حوضه از مهم‌ترین عوامل



تقدیر و تشکر

از مدیریت محترم آبخیزداری و آب منطقه‌ای استان مازندران به خاطر راهنمایی‌ها و در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات تقدیر و تشکر می‌شود.

زمین لغزش‌ها با پهنه‌های خطر زیاد از کارایی برتری نسبت به روش تراکم سطح برخوردار است. مقایسه نقشه‌های خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین لغزش نیز نشان‌دهنده قرارگرفتن قسمت اعظم سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد در مناطق مرکزی حوضه می‌باشد که بیانگر کارآمد بودن مدل‌های ارائه شده است.

منابع

رسایی، آ.، خسروی، خ.ب.، حبیب‌نژاد روشن، م.، حیدری، ا.، مشایخان، آ. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آق مشهد، استان مازندران). پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، ص ۲۰۵-۲۱۵.

شفقتی، م.، مصلحت‌جو، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش انبالاگان در محیط Arc GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز چاکرود گیلان. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال نهم، شماره ۳۵، ص ۹۵-۱۰۴.

کامران‌زاد، ف.، محصل افشار، ع.، مجرب، م.، معماریان، ح. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، ص ۱۰۱-۱۱۴.

Alexakis, D.D., Agapiou, A., Tzouvaras, M., Themistocleous, K., Neocleous, K., Michaelides, S., Hadjimitsis, D.G., 2013. Integrated Use of GIS and Remote Sensing for Monitoring Landslides in Transportation Pavements. The Case Study of Pathos area in Cyprus. *Nat. Hazards* 72 (1), 119–141.

Caccavale, M., Matano, F., Sacchi, M., 2017. An integrated approach to earthquake-induced landslide hazard zoning based on probabilistic seismic scenario for Phlegrean Islands (Ischia, Procida and Vivara), Italy. *Geomorphology*, 295, 259-235.

Chen, X.L., Liu, C.G., Yu, L., Lin, C.X. 2014. Critical Acceleration As A Criterion in Seismic Landslide Susceptibility Assessment. *Geomorphology*, 217: 15–22.

Farzin, S., Karami, H., Doostmohammadi, M., Ghanbari, A., Zamiri, E. 2017. The performance of Artificial Neural Network in prediction and analysis of hydrological processes (Case study: Water shortage in Nazloo-chai watershed, West Azerbaijan province). *Ecohydrology*, 4: 631-644. [Persian].

Gee, M.D. 1992. Classification of Landslides Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability, Bell, Davi, H(Ed), *Proceedings 6th International Symposium on Landslide*, 56-48.

Girma, F., Raghuvanshi, T.K., Ayenew, T., Hailemariam, T. 2015. Landslide Hazard Zonation in Ada Berga District, Central Ethiopia – a GIS Based Statistical Approach. *J. Geomatics* 90: 25–38 (i).



Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A. 2000. Comparing Landslide Map: A Case Study in The Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25: PP. 247-263.

Hong, H., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S. 2016. Landslide Susceptibility Assessment in Lianhua County (China): A Comparison Between a Random Forest Data Mining Technique and Bivariate and Multivariate Statistical Models. *Geomorphology*, 259 (2016) 105–118.

Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., Sattarian, A. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Int J Environ Sci Technol*, 11: 909-926.

Jade, S., Sarkar, S. 1993. Statistical Models For Slope Instability Classifications Engineering. *Geology*, 36: PP. 91-98.

Kumar, K., Sati, D., Goyal, N., Mathur, S. 2005. Landslide hazard potential analysis using GIS, patalganga Valley, Garhwal, Western Himalayan region of India. *European Journal of Scientific Research*, 45(3): 346-366.

Lee, S., Kyungduck, M. 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea. *Environmental Geology*, 40: 1095–1113.

Mohammadi Torkashvand, A., Irani, A., Sorur, J. 2014. The preparation of landslide map by Landslide Numerical Risk Factor (LNRF) model and Geographic Information System (GIS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 17: 159–170.

Pareta, K., Kumar, J., Pareta, U. 2012- Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS. *International Journal of Geospatial Engineering and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-9.

Peng, L., Niu, R., Huang, B., Wu, X., Zhao, Y., Ye, R. 2014. Landslide Susceptibility Mapping Based on Rough Set Theory and Support Vector Machines: a Case of The Three Gorges Area, China. *Geomorphology*, 204, 287–301.

Pourghasemi, H.R., Kerle, N. 2016. Random Forest-Evidential Belief Function Based Landslide Susceptibility Assessment in Western Mazandaran Province, Iran. *Environ. Earth Sci*, 75, 185.

Sarkar, S., Kanungo, D.P., Patra, A.K., Kumar, P. 2008. GIS based spatial data analysis for landslide susceptibility mapping. *Journal of Mountain Science*, 1.52-62.

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

Youssef, A.M., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Abdullahi, A. 2015c. Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia Using Two Bivariate Models in GIS. *Geosci. J*, 19 (3), 449–469.

Yu, X., Wang, Y., Niu, R., Hu, Y. 2016. A Combination of Geographically Weighted Regression, Particle Swarm Optimization and Support Vector Machine for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study at Wanzhou in the Three Gorges Area, China. *Int J Environ Res Public Health*, 13 (5), doi: 10.3390/ijerph13050487.



Landslide hazard zonation using GIS and bivariate statistical model Information value and surface density in Neka Gelevard watershed, Mazandaran

Seyede Najme Aghili¹, Gholamreza Lashkaripour^{*2}, Naser Hafezi Moghadas³

Abstract

Landslide is one of the natural disasters which causes the losses of life and property annually all over the world. One of the solution for decreasing the losses of landslides is to determine susceptible zones for landslide and to zoning its risk through preparing risk-based zoning map of landslide. In this paper, the effectiveness of both information value and area density for zoning the risk of landslide have been evaluated in Neka, Gelevard watershed basin. Therefore, at first, we prepared inventory map of landslide in the basin. Then, 9 effective factors in landslide occurrence and related maps have been prepared. The grade of each layers was measured via area density and information value models and then the risk maps of landslide has been prepared by combining these layers in Ar GIS software. The results showed that slope, direction of slope, fault existence, the efficacy of agricultural and lithology are the most important effective factors for landslide occurrence in the studied area. Quality index (Qs) and Preciseness (P) was investigated to compare the methods and evaluate their efficacy. The higher value of these indexes for information value model shows it has more efficacy than area density for zoning landslide.

Keywords: Risk-based zoning, Information value method, Area density method, Landslide, Mazandaran, Neka, GIS.

¹ MSc. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad

² Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Lashkaripour
(* Corresponding Author)

³ Professor of Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad