

پهنه‌بندی خطر رانش زمین با استفاده از روش‌های همپوشانی وزنی و تحلیل شبکه

مطالعه موردی: منطقه نصر آباد استان گلستان

سعید حمزه^۱

افشین امیری^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۰۶

چکیده

یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها، شناسایی این مناطق به منظور رعایت فاصله مجاز از آنها است. به این منظور باید نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دقیقی برای این مناطق تهیه شود. برای انجام این پژوهش، به وسیله نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه نصرآباد استان گلستان تهیه شد. در تحقیق حاضر از ترکیب روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش وزنی، پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش و شناسایی عوامل مؤثر بر آن انجام گرفت. بدین منظور از معیارهای اصلی شامل شیب، جهت شیب، انحنای زمین، ارتفاع، سنگ شناسی، خاک‌شناسی، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از جاده، فاصله از سکونت‌گاه‌ها، تراکم رودخانه و آبراهه، بارش برای تعیین مناطق دارای پتانسیل لغزش استفاده گردید. با مقایسه زوجی میان خوشه‌ها و عناصر آن، وزن هر یک از عناصر محاسبه شد. سپس با اعمال وزن و ضرایب هر عنصر در لایه مربوط به خودش و همپوشانی لایه‌ها، نقشه نهایی پتانسیل زمین لغزش تهیه گردید. نتایج نشان داد که عامل توپوگرافی (با وزن ۰/۶۶۲) بیشترین تأثیر، و عامل هیدروگرافی (با وزن ۰/۰۰۹) کمترین تأثیر را در میان سایر عوامل دارند. نتایج مدل نشان داد حدود ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل بالای زمین‌لغزه است و بیشتر زمین‌لغزش‌ها در مناطق با دامنه‌های پرشیب یا واحدهای سنگی نفوذناپذیر نزدیک به سطح زمین رخ داده است. همچنین به کارگیری روش همپوشانی وزنی به همراه تحلیل شبکه توانسته است به عنوان ابزاری کارآمد در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه مورد استفاده قرار گیرد و به خوبی قابلیت و توانایی مدل تحلیلی پژوهش را به اثبات برساند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، استان گلستان.

۱- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) saeid.hamzeh@ut.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران afshinamirri@yahoo.com

۱- مقدمه

معرض لغزش و ایجاد نقشه‌های حساس به لغزش ارائه شده است که می‌تواند به پنج گروه دسته‌بندی شوند شامل: نقشه خطرات ژئومورفولوژیکی، تجزیه و تحلیل لغزش‌های موجود، روش‌های مبتنی بر شاخص، روش‌های آماری و روش‌های ژئوتکنیک (Guzzetti et al., 1999). در طبقه‌بندی عمومی‌تر، این دسته‌ها را می‌توان به دو روش تقسیم کرد: کیفی و کمی (Aleotti and Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 1999).

شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک محدوده، باعث می‌شود با اطمینان بالاتری به نتایج، برای پیشگیری یا بهبود شرایط، اقدامات لازم انجام شود (شیرانی و سیف، ۱۳۹۱). ANP^۱ یکی از روش‌ها تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ است که با موفقیت به بسیاری از سیستم‌های تصمیم‌گیرنده اعمال شده است. تصمیم‌گیری چند معیاره شامل یک سری از تکنیک‌ها از جمله وزن‌دهی یا تحلیل‌های همگرایی است که اجازه می‌دهد، طیفی از معیارهای وابسته به مبحث امتیازدهی و سپس به وسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی شوند. به عبارتی در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مسائل مبتنی بر رابطه مجموعه گزینه‌ها است که بر پایه معیارهای ناسازگاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (غفاری گیلانده، ۱۳۹۰).

قشلاقی و فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، اثر ترکیب دو مدل از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آذرشهرچای در شمال غربی ایران را بررسی کردند. عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش شامل: شیب، جهت‌شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و همچنین نقشه توزیع زمین‌لغزه‌های رخ داده در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که با تلفیق منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی می‌توان نقشه حساسیت زمین‌لغزش را با قابلیت اطمینان بالا تولید کرد. همچنین نتایج نشان داد که رویکرد ادغام فازی-

زمین‌لغزش به‌عنوان نوعی حرکت توده‌ای شامل حرکت آهسته یا سریع خاک و مواد سنگی یا هر دو در دامنه‌های پایین، تحت نیروی جاذبه است (Crosta and Clague, 2009). زمین لغزش شامل کلیه حرکات و گسیختگی‌های دامنه‌ای نسبتاً سریع است که در اثر کاهش ضریب اطمینان، تحت تأثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک بر نیروی مقاوم در سطوح شیب‌دار بوقوع می‌پیوندد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). زمین‌لغزه به‌عنوان یکی از شایع‌ترین بلایای زمین‌شناسی شناخته شده است که موجب آسیب و تلفات در سراسر جهان می‌شود (Atkinson and Massari, 2011; Bui et al., 2012; Shahabi et al., 2014; Bianchini et al., 2016; Wang et al., 2016; Zhao and Lu, 2018). در حالی که رخدادهای لغزش شامل ۹ درصد از همه بلایای طبیعی در دهه گذشته است، انتظار می‌رود که این روند در سال‌های آتی به دلیل توسعه شهرنشینی، جنگل‌زدایی و تغییرات آب و هوایی افزایش یابد (Yilmaz, 2009; Zare et al., 2013; Chen et al., 2018). پهنه‌بندی و تهیه نقشه حساسیت به لغزش یک فرایند پیچیده است (Chen et al., 2016). نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش اطلاعات مهم و ارزشمندی را برای پیش‌بینی خطرات زمین‌لغزش ارائه می‌دهند و شامل نشانه‌ای از مقیاس زمانی زمین‌لغزش‌ها است که ممکن است در آینده رخ دهد (Gheshlaghi and Feizizadeh, 2017).

از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین‌لغزش‌ها از توان علم و دانش خارج است، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی آن می‌توان تا حدود زیادی خسارات ناشی از بروز زمین‌لغزش را محدود نمود (Erener et al., 2019). خسارات زمین‌لغزش در دهه‌های گذشته، در نواحی مختلف جهان یکی از مشکلاتی بوده است که به بشر تحمیل شده است (غفاری و دیگران، ۱۳۹۶). از این رو شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و پر خطر ابزار اساسی بررسی و کمک به برنامه‌ریزان جهت برنامه‌ریزی و اقدامات مورد نیاز است (Anbalagan, 1992). روش‌های مختلفی برای ارزیابی مناطق در

1 - Analytic Network Process

2 - Multiple-criteria decision-making (MCDA)

ژئومورفیک در استان گیلان از فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی استفاده کردند. در این پژوهش عوامل مؤثر در پهنه‌بندی مخاطرات شناسایی شد و سپس با روش تحلیل شبکه اهمیت هر یک از عوامل مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از آن با روش منطق فازی ضرایب اهمیت آن‌ها مشخص شد. نتایج این تحقیق نشان داد که به کارگیری منطق فازی به همراه تحلیل فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی توانسته به عنوان ابزاری کارآمد در پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفیک مورد استفاده قرار گیرد و به خوبی قابلیت مدل تحلیل پژوهش را به اثبات برساند.

میراحمدی و همکاران (۳۹۴۱) با استفاده از مدل تحلیل شبکه به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه جنوبی بینالود پرداختند. آن‌ها از ده عامل ارتفاع، بارش، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل را به عنوان فاکتورهای مهم در زمین‌لغزه در نظر گرفتند. آن‌ها دریافتند که عوامل فاصله از رودخانه و فاصله از جاده بیشترین امتیاز وزنی و شیب و جهت شیب کمترین امتیاز وزنی را داشته‌اند. همچنین نشان دادند که مدل تحلیل شبکه می‌تواند به عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی پدیده زمین‌لغزش به کار گرفته شود.

روستایی و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزه روش‌های تحلیل شبکه و چند معیاره مکانی را ارزیابی کردند. هشت فاکتور مؤثر بر زمین‌لغزه شامل شیب، جهت دامنه، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و طبقات ارتفاعی را انتخاب کردند. نتایج نشان داد که در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش فرآیند تحلیل چند معیاره مکانی در شناسایی مناطق خطر و پهنه‌بندی آن نسبت به تحلیل شبکه عملکرد بهتری دارد.

عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از مدل AHP به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در حوضه آبریز اهرچای پرداختند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که

تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند احتمال خطا را به حداقل برساند و دقت تحقیق را بهبود بخشد.

جمالی و فلاحی (۱۳۹۶) با تلفیق مدل سلسله مراتبی و مدل آماری وزن‌های شاهد، خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود را بررسی کردند. برای انجام این کار از نه معیار اصلی مرتبط با وقوع زمین‌لغزش شامل: لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله تا جاده، کاربری اراضی و بارندگی استفاده کردند و نقشه حساسیت زمین‌لغزش را با هم‌پوشانی لایه‌های وزن طبقات و اعمال وزن اهمیت هر لایه ایجاد کردند. نتایج تحقیق نشان داد که شیب و بارندگی به ترتیب بیشترین کمترین تاثیر را در میان عوامل زمین‌لغزش دارند. همچنین مدل اجرا شده به میزان بالایی کارآمد است و توانسته است بیشتر زمین‌لغزه‌های رخ داده را پیش‌بینی کند.

شعبانی و همکاران (۱۳۹۳) با به کارگیری دو مدل رگرسیون دو متغیره و تحلیل سلسله مراتبی خطر زمین‌لغزش را پهنه‌بندی کردند. لایه‌های رقومی استفاده شده در این تحقیق شامل کاربری اراضی، طبقات شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل بوده است. نتایج نشان داد که مدل ارزش اطلاعات نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی روش مناسب‌تری می‌باشد. همچنین در وقوع زمین‌لغزش عوامل کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و شیب نسبت به سایر عوامل تأثیر قابل توجهی دارند.

نوجوان و همکاران (۱۳۹۸) به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کمه در استان اصفهان از ترکیب دو مدل سلسله‌مراتبی و فازی استفاده کردند. متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و مقدار بارش به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش بررسی شدند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین روش هم‌پوشانی منطق فازی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزه گامای ۰/۸ است. جعفری و شاه‌زیدی (۱۳۹۵) برای پهنه‌بندی مخاطرات

در این مطالعه، زیرحوضه نصرآباد واقع در استان گلستان به صورت موردی انتخاب شده است. هدف تحقیق حاضر ارزیابی خطر زمین لغزش و دستیابی به نقشه پهنه‌بندی زیرحوضه مورد مطالعه با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش وزنی می‌باشد که در نهایت با شناسایی و پهنه‌بندی مناطق پرمخاطره می‌توان تا حدی از خطر وقوع و خسارات زمین لغزش کاست.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان گلستان واقع شده است که بین عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 41' 33''$ تا $42^{\circ} 33' 42''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $56^{\circ} 30' 54''$ تا $54^{\circ} 40' 43''$ شرقی قرار دارد. این منطقه به‌عنوان زیر حوضه‌ای از حوضه آبخیز رود قره‌سو می‌باشد. این حوضه با مساحت 332 کیلومترمربع و ارتفاع متوسط $1235/66$ متر از سطح آب‌های آزاد در اقلیم سرد و مرطوب قرار گرفته است. همچنین شیب متوسط حوضه $38/29$ درصد می‌باشد.

۳- داده‌های استفاده شده

۳-۱- شیب

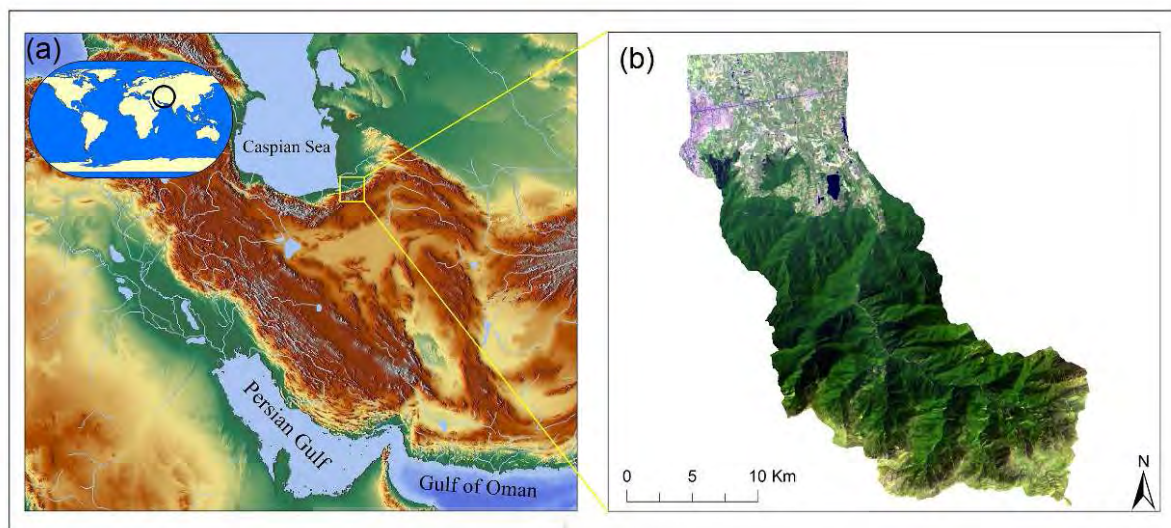
زمین لغزه حرکت رو به پایین سنگ و خاک تحت اثر نیروی گرانش زمین است. بر اساس این تعریف، هر اندازه زاویه شیب افزایش یابد، نیروی گرانش در ارتباط با تنش‌های برشی و نیروهای محرک افزایش می‌یابد و احتمال وقوع زمین لغزش نیز بیشتر خواهد شد. در نتیجه، این عامل یکی از مهمترین و تأثیرگذارترین عوامل در ارزیابی ثبات شیب است و نقش مهمی در نقشه حساسیت به لغزش دارد (Conforti et al., 2014; Dai et al., 2001; Oh and Pradhan, 2011; Xu et al., 2012b) از آنجا که خطر زمین لغزش با افزایش زاویه شیب افزایش می‌یابد، انتظار می‌رود که میزان وقوع زمین لغزش در دامنه‌های تند بیشتر از دامنه‌های ملایم باشد. لازم به ذکر است که زاویه شیب برای انواع مختلف زمین لغزش‌ها متفاوت است. به عنوان مثال، حرکات توده‌ای آهسته و با

عوامل زمین‌شناسی نظیر سنگ شناسی، شیب و گسل (به ترتیب) بیشترین نقش و عوامل انسانی کمترین نقش (وزن) را در وقوع زمین لغزش‌ها داشته‌اند. نامبرده همچنین نقشه خطر زمین لغزش را در سه گروه زیاد، متوسط و کم تهیه کرده است.

در مطالعات صورت گرفته پیشین، ترکیب روش‌های چند معیاره تصمیم‌گیری و سایر مدل‌های ارزیابی اطلاعات به کار رفته است. بررسی‌های متعددی از تلفیق روش‌های همپوشانی و روش‌های چند معیاره تصمیم‌گیری در مطالعات پهنه‌بندی صورت گرفته است و نتایج مناسبی نیز به دست داده‌اند، اما هنوز کمبودی در استفاده از سایر روش‌های همپوشانی و بررسی دقت آن‌ها وجود دارد. در زمینه پهنه‌بندی زمین لغزه توجهی به روش همپوشانی وزنی نشده است و از این نظر وجود یک خلاء تحقیقاتی احساس می‌شود. در نتیجه در این تحقیق به بررسی اهمیت و قابلیت ترکیب دو روش همپوشانی وزنی و تحلیل شبکه در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پرداخته شده است.

یکی دیگر از نقاط ضعف در مطالعات صورت گرفته در نظر گرفتن شش تا ده عامل برای بررسی خطر زمین لغزش است. در نظر نگرفتن بعضی از فاکتورهای مهم در رخداد زمین لغزش باعث کاهش دقت در نتایج به دست آمده در این پژوهش‌ها می‌شود. در تحقیق حاضر تعداد سیزده معیار تأثیر گذار بر زمین لغزه انتخاب شده است و تا حد زیادی دقت نتایج مدل را افزایش می‌دهد.

چارچوب کلی این تحقیق شامل تعیین شاخص‌ها، معیارها و گزینه‌ها و سپس بررسی ارتباطات میان آن‌ها است. پس از آن مقایسات زوجی میان خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها انجام شد و وزن نهایی عناصر و گزینه‌ها محاسبه شد. در مرحله بعد زیرمعیارهای هر معیار اصلی با لحاظ کردن وزن مربوط به آن زیرمعیار، همپوشانی داده شده است. پس از اعمال ضرایب بر روی عوامل، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش بر اساس مدل تحلیل شبکه تولید و در پنج کلاس از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم طبقه‌بندی شده است.



نگاره ۱: (a) نقشه توپوگرافی کشور ایران، (b) ترکیب رنگی کاذب (باندهای ۷،۵،۱) لندست ۵ از منطقه مورد مطالعه (تاریخ اخذ تصویر ۶/۱۰/۲۰۱۱).

عامل قرار دارند (Sidle and Ochiai, 2006). جهت شیب می‌تواند با کنترل پارامترهای مرتبط از قبیل میزان رطوبت خاک، خطر زمین لغزش را تحت تأثیر قرار دهد (Ayalew et al., 2005). قرار گرفتن در معرض نور خورشید، باد، بارندگی (درجه اشباع) و ناپیوستگی نیز عوامل مؤثر در ارزیابی خطر زمین لغزش در نیم کره شمالی، در نظر گرفته می‌شوند (Yalcin et al., 2011). به دلیل اینکه دامنه‌های شمالی دارای رطوبت بالاتری نسبت به دامنه‌های جنوبی هستند، تحت هوازگی بیشتری قرار می‌گیرند و از این رو انتظار می‌رود که دامنه‌های شمالی میزان لغزش بالاتری در مقایسه با دامنه‌های جنوبی داشته باشند. در این مطالعه نقشه جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن ۲۰ متر تولید شد.

عمق زیاد در مقایسه با حرکات توده‌ای سریع و با عمق کم، معمولاً در دامنه‌های ملایم رخ می‌دهد (Sidle and Ochiai, 2006). با وجود اینکه زمین لغزش‌های کم عمق در دامنه‌های شیب‌دار رخ می‌دهد، اما فراوانی آن‌ها اغلب در دامنه‌های با شیب بیشتر از ۴۵ درجه کمتر است (Ercanoglu et al., 2004; Sidle and Ochiai, 2006). این گونه زمین لغزش‌ها معمولاً در شیب‌های بیشتر از ۳۴ درجه اتفاق می‌افتد. با این حال فعالیت‌های انسانی مانند ساخت جاده‌ها و از بین بردن گیاهان می‌تواند این عدد را کاهش دهد (Sidle and Ochiai, 2006). در این تحقیق نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن مکانی ۲۰ متر ساخته شد و به ۵ طبقه شیب تقسیم شد.

۲-۳- جهت شیب^۱

جهت بیشترین شیب جهت شیب (aspect) نامیده می‌شود (Kayastha et al., 2013; Xu et al., 2012b). فرایندهای هیدرولوژیکی به واسطه تبخیر و تعرق به شدت تحت تأثیر جهت شیب قرار می‌گیرند و به همین دلیل فاکتورهای هوازگی و پوشش گیاهی و رشد ریشه نیز تحت تأثیر این

۳-۳- انحنا^۲ زمین

دو انحنا^۲ که اغلب مورد بررسی قرار می‌گیرند انحنا^۲ سطح و انحنا^۲ نیمرخ است. انحنا^۲ سطح به صورت انحنا^۲ یک خط تراز که از تقاطع سطح زمین با یک صفحه افقی شکل گرفته، تعریف شده است (Oh and Pradhan, 2011).

با مقاومت برشی زیاد درست شده‌اند و ارتفاعات پایین دارای مقاومت برشی ملایم‌تری هستند. در حالی که در ارتفاعات متوسط بی‌ثباتی شیب محتمل‌تر است و دامنه برای زمین‌لغزش مستعدتر است (Dai and Lee, 2002; Dai et al., 2001). در این بررسی برای نقشه ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن ۲۰ متر استفاده شد و لایه ارتفاع به پنج طبقه ارتفاعی تقسیم شد.

۳-۵- کاربری زمین

کاربری زمین می‌تواند بر میزان، فراوانی و نوع لغزش‌ها تأثیر بگذارد و همچنین می‌تواند آستانه شروع و شتاب‌گیری زمین‌لغزه‌ها را تغییر دهد. پوشش کاربری زمین، بویژه پوشش‌های گیاهی چوبی، می‌تواند ثبات دامنه‌ها را با مکانیسم‌های مختلف مکانیکی تقویت کند، مانند حفاظت از سطح و تقویت خاک که باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود، همچنین از طریق سازوکارهای هیدرولوژی مانند کاهش رطوبت خاک از طریق تبخیر و تعرق و جلوگیری از برخورد مستقیم باران و برف و تبخیر آن و مانع شدن از نفوذ آب. تقویت ریشه که باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود تأثیر بسیار بیشتری در تثبیت دامنه‌های تپه‌ای نسبت به تبخیر و تعرق دارد.

به طور کلی، تقویت ریشه می‌تواند ثبات شیب را افزایش داده و حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را کاهش دهد. و به همین دلیل مناطق با پوشش گیاهی کم در مقایسه با مناطق با پوشش گیاهی متراکم مانند جنگل، استعداد بیشتری در بی‌ثباتی دامنه دارند.

۳-۶- آبراهه و رودخانه

نزدیکی به جریان یکی دیگر از عوامل مهم در ارزیابی خطر لغزش است. رودها می‌توانند با فرسایش پایداری دامنه‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. به عنوان یک قانون، تعداد لغزش‌ها با کاهش فاصله از جریان افزایش می‌یابد. نقشه آبراهه در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع استخراج شد.

انحنای نیم‌رخ نیز به صورت انحنای یک خط جریان که از تقاطع یک صفحه عمودی با سطح ایجاد شده توصیف شده است (Pourghasemi et al., 2013). اولی نشان‌دهنده میزان تغییر جهت شیب در طول یک خط است، در حالی که دومی نشان‌دهنده میزان تغییر شیب در یک خط جریان است. به دلیل اینکه شیب‌های محدب آب سطحی و زیرسطحی را پراکنده می‌کند، نسبت به دیگر انواع شیب‌ها فشار آب منفذی کمتری تولید می‌کند. اما در شیب‌های مقعر آب سطحی و زیرسطحی در یک ناحیه کوچک در شیب متمرکز می‌شود که منجر به افزایش سریع فشار آب منفذی در زمان طوفان یا دوره‌های ذوب برف می‌شود. بنابراین، دامنه‌های مقعر، دارای پتانسیل بی‌ثباتی بیشتری هستند (Kayastha et al., 2013). از طرف دیگر انحنای پروفیل چون سرعت جریان و فرآیند حمل رسوب را کنترل می‌کند، معمولاً در ارزیابی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود. مقادیر منفی انحنای سطح نشان‌دهنده دامنه‌هایی است که از پهلو مقعر هستند، در حالی که مقادیر مثبت نشان‌دهنده دامنه‌هایی است که از پهلو محدب‌اند. ارزش‌های نزدیک به صفر دامنه‌های مسطح را نشان می‌دهد. در این تحقیق نقشه انحنای از مدل رقومی ارتفاع مشابه با نقشه شیب و جهت شیب به دست آمد.

۳-۴- ارتفاع

ارتفاع توسط بسیاری از محققان به عنوان یک عامل مستعد برای تهیه نقشه خطر لغزش استفاده شده است به عنوان مثال: (Ayalew and Yamagishi, 2005; Conforti et al., 2014; Lineback Gritzner et al., 2001; Nefeslioglu et al., 2012; Ozdemir and Altural, 2013; Peng et al., 2014; Schicker and Moon, 2012; Yao et al., 2008). از آنجایی که درجه و نوع فرسایش و تمرکز فعالیت‌های انسانی از ارتفاع تأثیر می‌گیرد، به عنوان یک عامل مؤثر در ارزیابی خطر لغزش در نظر گرفته می‌شود (Ayalew et al., 2005). به طور کلی، تعداد کمتری زمین‌لغزش در ارتفاعات بسیار زیاد و بسیار کم به وقوع می‌پیوندد، چرا که در ارتفاعات بسیار بالا دامنه‌ها معمولاً از سنگ‌هایی

زمین لغزش شناخته شده است زیرا حساسیت سنگ‌شناسی‌های مختلف به زمین لغزش متفاوت است. خواص مواد تشکیل دهنده یک شیب مانند طول و نفوذ پذیری، نقش مهمی در ثبات شیب دارند. این خواص اغلب برای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی متفاوت است. بنابراین، این عامل به احتمال زیاد بر احتمال وقوع زمین لغزش تأثیر می‌گذارد.

۳-۱۰- پراکنش زمین لغزش‌ها

نقشه پراکنش زمین لغزش، مجموعه‌ای از زمین لغزش‌های رخ داده در یک ناحیه مشخص می‌باشد که سبب نوعی آگاهی و بصیرت، در مورد مکان‌های وقوع زمین لغزش، اطلاعات، نوع و خسارت‌های آنها می‌شود (Van Western et al, 2008). معمولاً زمین لغزش‌ها به صورت ناحیه‌ای و یا اشکال نقطه‌ای ظاهر می‌شوند. در صورت وجود عکس هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا، زمین لغزش‌ها می‌توانند به صورت مناطق پهنه‌ای شکل بگیرند. نگاره (۲) پراکنش زمین لغزش‌های منطقه را تا سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. داده‌های واقعی زمین لغزش‌های منطقه مورد نظر (تا سال ۲۰۱۶) از سازمان زمین‌شناسی ایران تهیه شد. نقشه پراکنش زمین لغزه‌ها نیز از این داده‌ها تولید شد.

۳-۴- مواد و روش‌ها

با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اعم از مطالعه متون مرتبط با موضوع، بررسی تحقیقات پیشین و طرح‌های انجام شده و نیز استفاده از نظرات متخصصان در این زمینه، معیارهای مؤثر در آسیب پذیری محدوده مورد مطالعه در برابر زمین لغزش شناسایی شد و ۵ معیار اصلی شامل توپوگرافی، کاربری زمین و پوشش زمین، زمین‌شناسی، هیدرومتری و تأسیسات زیربنایی انتخاب شد. هر کدام از این معیارها نیز شامل زیرمعیارهایی است که شامل: شیب، جهت شیب، انحنای زمین، ارتفاع، سنگ‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از جاده، فاصله از سکونت‌گاه، تراکم رودخانه و آبراهه و بارش

۳-۷- بارش

بارش به عنوان یکی دیگر از عوامل تحریک‌کننده در این مطالعه در نظر گرفته شده است، زیرا می‌تواند زمین لغزش را آغاز کند. به طور کلی، لغزش‌های ناشی از بارش بسیار بیشتر از زمین لغزه‌های ناشی از زلزله است (Conforti et al., 2014) ویژگی‌های مختلف بارندگی با احتمال وقوع انواع مختلف زمین لغزش‌ها ارتباط دارد. چهار ویژگی در میان آن‌ها بیشترین تأثیر را در شروع زمین لغزش‌ها دارند: مقدار کل بارش، شدت بارش، رطوبت بارندگی پیشین و مدت طوفان (Sidle and Ochiai, 2006). به طور کلی، احتمال وقوع زمین لغزش در طول دوره‌های شدید بارندگی افزایش می‌یابد زیرا فشار منفذی آب‌زیرزمینی منجر به کاهش مقاومت برشی مواد دامنه می‌شود (Ozdemir and Altural, 2013). علاوه بر این، پیامد افزایش وزن مواد دامنه، نیروهای بی ثبات‌کننده نیز افزایش می‌یابد (Jia et al., 2012). در این مطالعه از میانگین بارش سالیانه استفاده شد.

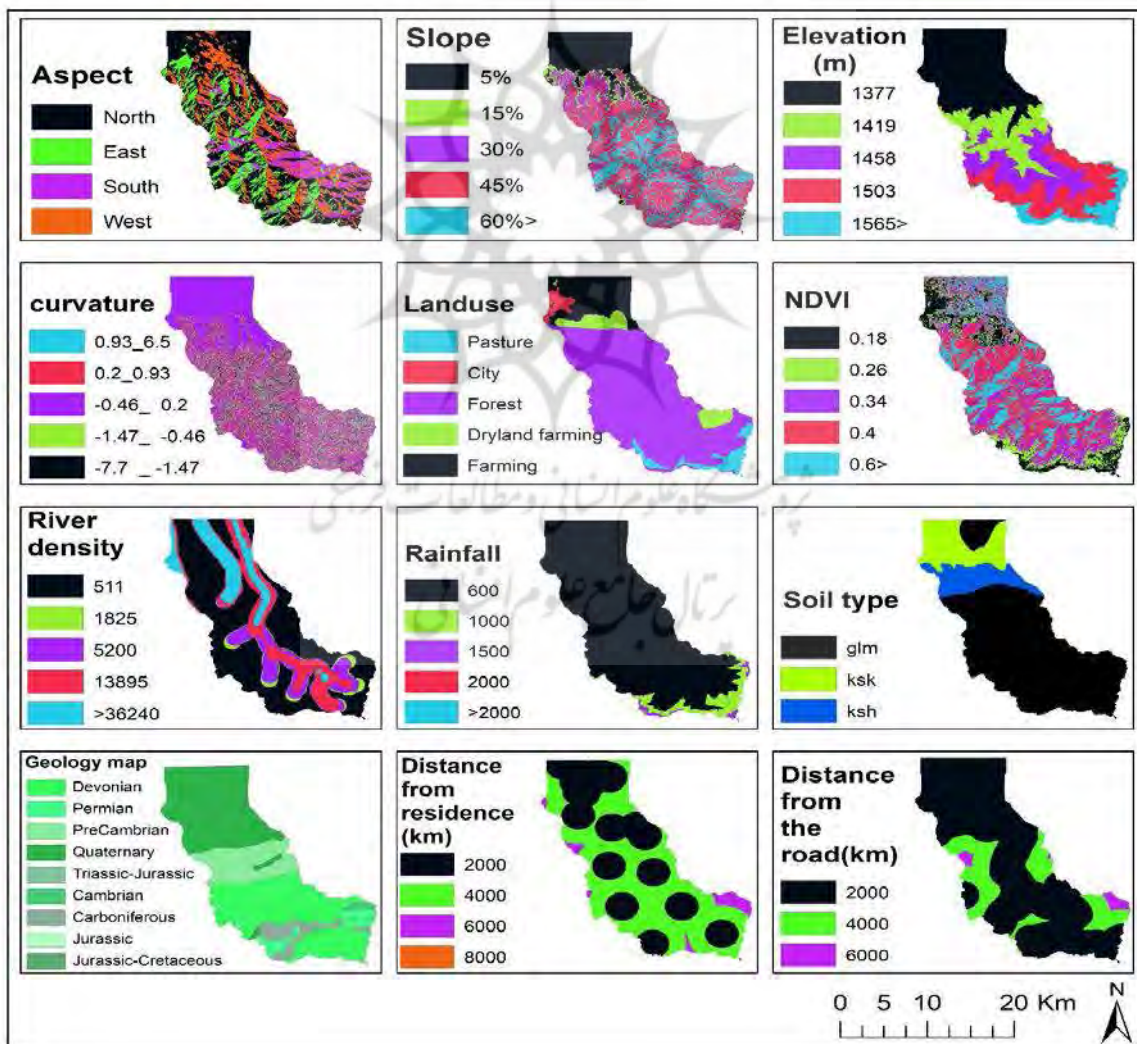
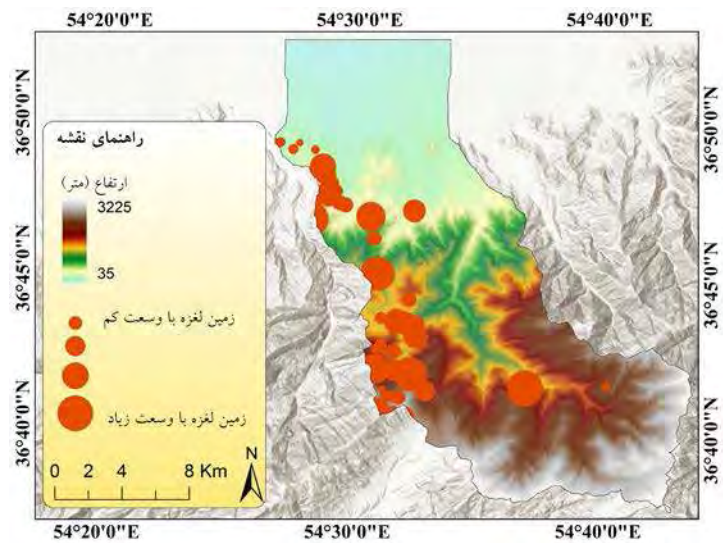
۳-۸- فاصله از جاده

علاوه بر موارد قبلی، فاصله از جاده‌ها نیز تأثیر قابل توجهی بر حساسیت زمین لغزش دارد. ساخت و ساز جاده در نزدیکی دامنه‌ها ممکن است شرایط شیب یا تپه را تغییر دهد. ممکن است قبل از شروع ساخت و ساز دامنه کاملاً متعادل باشد. به دلیل افزایش استرس در پشت شیب و به علت تغییر توپوگرافی، شرایط شیب تغییر می‌کند. این امر منجر به ایجاد شکاف‌های تنشی و فراهم شدن راه دسترسی و نفوذ آب و بی‌ثباتی می‌شود. غالباً ترانشه‌های جاده یا دیگر آسیب‌های وارده به شیب‌های طبیعی ممکن است احتمال رخداد زمین لغزش را به ویژه در مناطق کوهستانی افزایش دهد. بنابراین، فاصله از جاده‌ها به عنوان یک عامل مهم در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۹- سنگ شناسی

سنگ‌شناسی به عنوان یکی از عوامل مهم در پدیده

نگاره ۲: نقشه پراکنش زمین لغزه‌های وقوع یافته در منطقه مورد مطالعه. دایره‌های قرمز رنگ وسعت منطقه لغزشی را نمایش می‌دهند.



نگاره ۳: نقشه‌های زیرمعیارهای مورد استفاده در تحقیق

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)
پهنه‌بندی خطر رانش زمین با استفاده از روش‌های ... / ۱۲۵

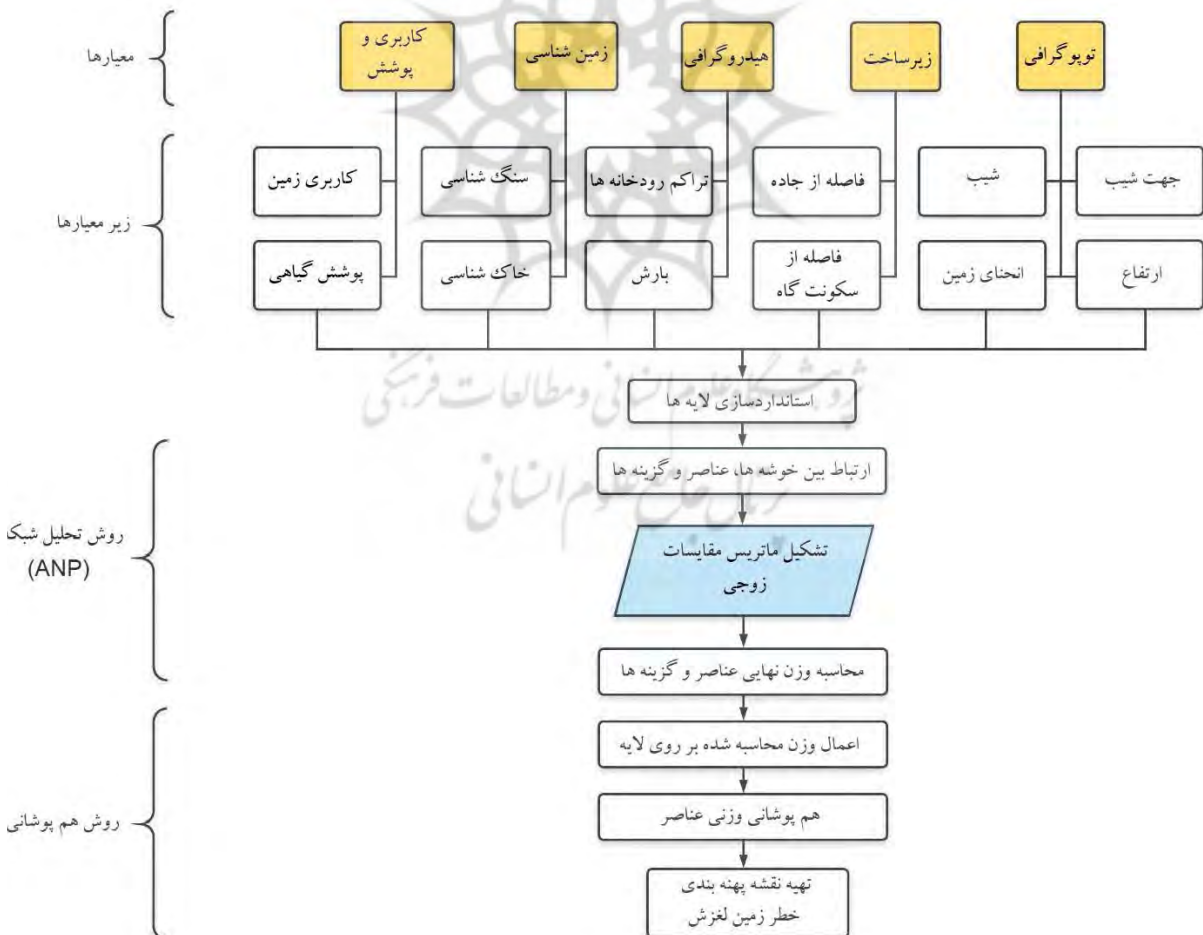
جدول ۱: معیارها و زیر معیارها

معیارها	زیر معیارها
توپوگرافی	شیب
	جهت شیب
	انحنای زمین
	ارتفاع
کاربری و تراکم پوشش گیاهی	کاربری زمین
	تراکم و پوشش گیاهی
هیدروگرافی	تراکم رودخانه
	بارش
زمین و خاک	زمین‌شناسی
	خاک‌شناسی
	فاصله از جاده
تأسیسات زیر بنایی	فاصله از سکونت‌گاه

می‌باشد (جدول ۱). با توجه به تعداد زیاد زیر معیارها، ابتدا لایه‌های مربوط به فاکتورهای تأثیرگذار استاندارد شده و مقیاس مشخصی برای واحدهای آن‌ها تعریف شد. سپس با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) که بر پایه مقایسه زوجی عوامل استوار است، به هر کدام از آن‌ها بر اساس نقش و اهمیت‌شان وزنی اختصاص یافت. سپس این عناصر با روش همپوشانی وزنی، با ضریب مربوط به خود ترکیب شد و نقشه نهایی خطر وقوع زمین‌لغزش بدست آمد (نگاره ۴).

۴-۱- روش ANP

روش ANP براساس تحلیل مغز انسان برای مسایل پیچیده و فازی با ساختار غیررده‌ای و به منظور اصلاح روش AHP ارایه شده است.



نگاره ۴: نمودار جریان کار تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه

نام در رابطه با عناصر موجود از زیر گروه زام به صورت

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{j1} & w_{i1}^{j2} & \dots & w_{i1}^{jnj} \\ w_{i2}^{j1} & w_{i2}^{j2} & \dots & w_{i2}^{jnj} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{ini}^{j1} & w_{ini}^{j2} & \dots & w_{ini}^{jnj} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۴) است:}$$

ماتریس نهایی برای مقایسات از کلیه زیر مجموعه‌ها، با هر یک از زیر مجموعه‌های دیگر معروف به سوپر ماتریس به صورت رابطه (۵) است:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & w_{NN} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۵)}$$

ارجحیت نهایی برای هر عنصر از هر زیر گروه بر طبق استدلال Saaty که بر اساس پروسه‌های مارکوف استوار است از طریق حد رابطه (۶) قابل بیان می‌باشد:

$$w_c = \lim_{l \rightarrow \infty} w^{2l+1} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این صورت عناصر سوپر ماتریس به سمت یک مقدار واحد همگرا شده که مقادیر آنها در هر سطر از سوپر ماتریس برابر خواهد بود. بدین ترتیب اولویت‌بندی گزینه‌ها از مقایسه و مرتب سازی مقادیر ماتریس w_c در هر ستون مقدور می‌باشد (Saaty and Luis, 2006).

مراحل کلی فرایند تحلیل شبکه‌ای به این ترتیب است: تعیین شاخص‌ها و معیارها و گزینه‌ها، دسته‌بندی معیارها در خوشه‌ها و عناصر، تعیین ارتباطات بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها، مقایسات زوجی بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها، محاسبه وزن نهایی عناصر و گزینه‌ها. در این تحقیق یک مدل شبکه‌ای سه لایه متشکل از لایه هدف، لایه معیارها و لایه گزینه‌ها با توجه به مسأله تحقیق طراحی و سازماندهی شده است. طراحی شبکه مورد نظر از چندین مرحله تشکیل شده است:

مرحله اول: هدف و موضوع مورد مطالعه است. یعنی باید یک موضوع و هدف تعیین شود تا فرآیند ارزش‌یابی و انتخاب بهترین گزینه برای این هدف صورت گیرد. بررسی

در این روش پس از برپایی یک ساختار غیر رده‌ای و تعیین ارتباطات منطقی بین سطوح مختلف تصمیم، ساختار موجود به N زیرمجموعه تقسیم شده و سپس از طریق مقایسات زوجی، ماتریس قضاوت برای سیستم بازخور تشکیل می‌شود. بدین منظور ابتدا با مقایسه دو به دو معیارها و زیر معیارها، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شد. سپس به منظور بررسی سازگاری و قابلیت اعتماد تصمیم‌ها، نسبت سازگاری (CR) هر ماتریس با توجه به رابطه ارایه شده توسط Saaty (۲۰۰۵) به صورت رابطه (۱) محاسبه شد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن CI شاخص سازگاری ماتریس مقایسه زوجی است و با استفاده از بزرگترین مقدار بردار ویژه (λ_{max})، و بعد آن (n)، توسط رابطه (۲) برآورد می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

بنابراین در صورتی که $CR \leq 10\%$ باشد، معیار سازگاری حاصل شده است، در غیر این صورت لازم است که در مقایسه زوجی معیارها بازنگری شود.

پس از اطمینان از سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی، وزن هر عنصر در هر زیر گروه تعیین می‌شود. تکنیک بردار ویژه از جمله روش‌های مناسب در این زمینه می‌باشد که در این صورت وزن هر عنصر از طریق معادله (۳) تعیین می‌شود:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i=1,2, \dots, n \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن λ_{max} بزرگترین مقدار بردار ویژه و a_{ij} درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی است.

بدین ترتیب در صورتی که n_i نشان‌دهنده تعداد عناصر مجموعه Si بوده و w_{ik}^{j1} بیانگر وزن عنصر kام از زیر مجموعه i ام در مقایسه با عنصر یکم از زیر مجموعه زام باشد آنگاه ماتریس قضاوت برای عناصر زیر مجموعه

با خوشه اصلی مقایسه شده‌اند. در تحقیق حاضر مقایسه زوجی به سبک پرسش‌نامه‌ای صورت گرفته است. پس از انجام مقایسه، میزان نرخ ناسازگاری آن‌ها بررسی شد. نرخ ناسازگاری قضاوت انجام شده برای نمونه برابر با ۰/۰۹۸۱۶ است که کمتر از ۰/۱ می‌باشد. در این روش میزان نرخ ناسازگاری نباید بیشتر از ۰/۱ باشد که این میزان از خطا با توجه به تعداد زیاد قضاوت‌ها قابل قبول می‌باشد.

۴-۳- مقایسه زوجی درون خوشه‌ها

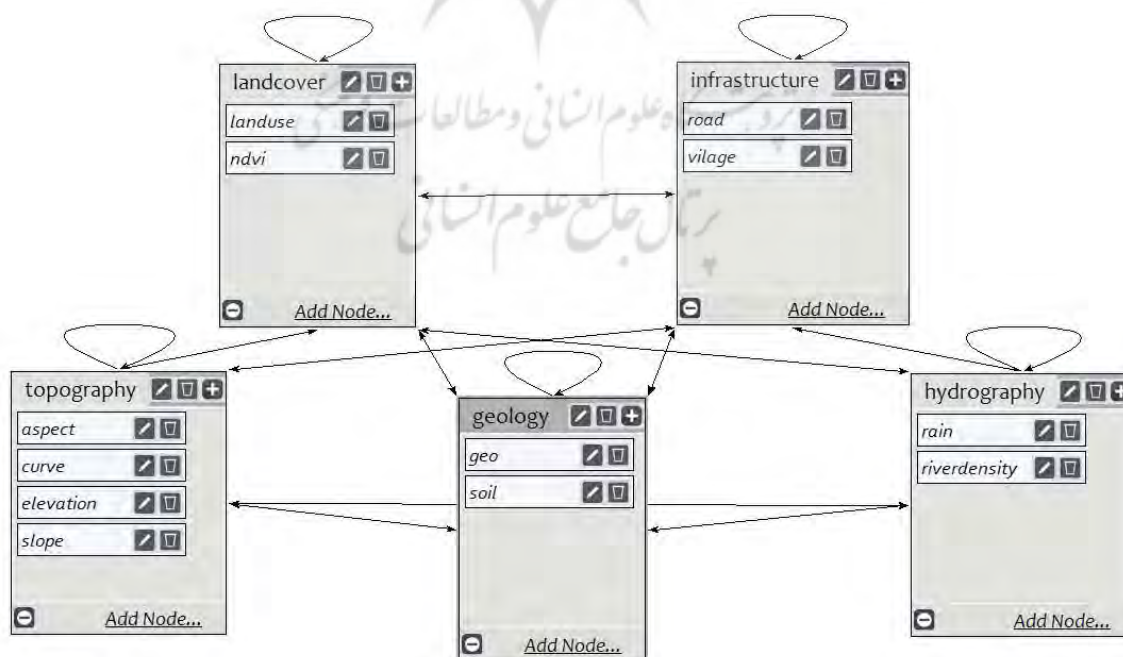
در داخل هر خوشه مجموعه‌ای از معیارها قرار دارد. عناصر خوشه‌ها با هم مقایسه شدند، مقایسه عناصر هر خوشه شبیه روش AHP و مقایسه دو دوئی ساعتی است. برای انجام مقایسه بین عناصر درون خوشه‌ها مانند روش مقایسه زوجی بین خوشه‌ها، هر معیار نسبت به معیار دیگر از نظر اهمیت و ارجحیت مورد مقایسه قرار گرفته است. میزان نرخ ناسازگاری بدست آمده برای قضاوت انجام شده برابر با ۰/۰۹۴ است که کمتر از ۰/۱ و قابل قبول است.

پتانسیل زمین‌لغزش به عنوان هدف این مطالعه برای لایه نخست طراحی شده است.

مرحله دوم: وجود معیارها و شاخص‌هایی است که برای ارزش‌یابی موضوع انتخاب می‌شود و معیارهای تحقیق نیز، فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع لغزش‌های منطقه هستند که در خوشه‌های جداگانه برای لایه دوم طراحی شده است. کلاس‌ها یا گزینه‌های مورد نظر بر اساس طبقات خطر در یک خوشه جداگانه در لایه سوم قرار گرفتند. پس از طراحی مدل، ایجاد ارتباط بین عناصر و خوشه‌ها انجام گرفت لازم به ذکر است که این فرآیند در محیط نرم افزار Super Decision انجام شده است. نگاره (۵) ساختار شبکه‌ای مدل را نشان می‌دهد.

۴-۲- مقایسه زوجی بین خوشه‌ها

در این مرحله معیارهای کنترلی و خوشه‌ها با هم مقایسه شده است. در مقایسه‌ی خوشه‌ها، یک خوشه به عنوان خوشه‌ی اصلی انتخاب شده و سپس ارجحیت سایر خوشه‌هایی که با آن مرتبط هستند نسبت به هم و در مقایسه



نگاره ۵: ساختار شبکه‌ای مدل ANP، فلش‌ها ارتباط میان معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهند.

طبیعی است که با افزایش میزان شیب اثر گرانس تشدید و حرکات توده‌ای مواد تسهیل می‌شود.

دومین زیر معیار مؤثر در زمین‌لغزه پوشش گیاهی بوده است. همانطور که پیش‌تر اشاره شد گیاهان با توسعه ریشه مقاومت برشی زمین را زیاد می‌کنند، همچنین با ممانعت از برخورد مستقیم بارش با سطح زمین از آن محافظت می‌کنند.

با ترکیب روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، یک روش چندمعیاره تصمیم‌سازی، و روش وزنی نقشه پهنه‌بندی خطر رانش زمین تولید شد. سپس با استفاده از نتایج حاصل از مدل، نقشه نهایی در پنج کلاس خطر لغزش بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد، تهیه شد.

جدول ۲: وزن معیارهای اصلی

معیارها	وزن معیارها
زمین شناسی	۰/۰۹۵
هیدروگرافی	۰/۰۰۹
تاسیسات زیر بنایی	۰/۰۲۹۰
پوشش زمین	۰/۲۰۵
توپوگرافی	۰/۶۶۲

جدول ۳: ضرایب حاصل از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

معیارها	زیر معیارها	ضرایب
توپوگرافی	شیب	۰/۶۵
	جهت شیب	۰/۰۵۵
	ارتفاع	۰/۰۵۳
	انحنای زمین	۰/۲۴
کاربری و پوشش	کاربری زمین	۰/۲
	تراکم پوشش گیاهی	۰/۸
هیدرومتری	تراکم رودخانه	۰/۳۳۳
	بارش	۰/۶۶۶
زمین شناسی	سنگ‌شناسی	۰/۱۴۲
	خاک‌شناسی	۰/۸۵۷
تاسیسات زیربنایی	فاصله از جاده	۰/۷۵
	فاصله از سکونت‌گاه	۰/۲۵

۴-۴- همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی و پیاده سازی مدل برای پیاده‌سازی مدل در محدوده مورد مطالعه، پایگاه داده‌های مکانی ایجاد شد و براساس شاخص‌های تعیین شده لایه‌های مختلف اطلاعاتی مورد نیاز در پایگاه داده قرار داده شد. سپس با توجه به نیازهای اطلاعاتی و تحلیلی، فرآیند مدل‌سازی فضایی بر روی داده‌ها انجام شد. در مرحله بعد لازم بود تا لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شوند، لذا پس از بدست آمدن ضرایب فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش منطقه، این ضرایب بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است.

در محیط نرم افزار ArcGIS با استفاده از تابع Weighted Overlay زیرمعیارهای هر معیار اصلی، با لحاظ کردن وزن مربوط به آن زیرمعیار، هم همپوشانی داده شده است. پس از اعمال ضرایب بر روی فاکتورها، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش براساس مدل تحلیل شبکه‌ای در محیط ArcGIS تهیه شد. با استفاده از رابطه (۷) نقشه نهایی تولید شد. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم طبقه‌بندی شده است. نگاره (۷) نقشه پهنه‌بندی شده به روش تحلیل شبکه (ANP) را نشان می‌دهد.

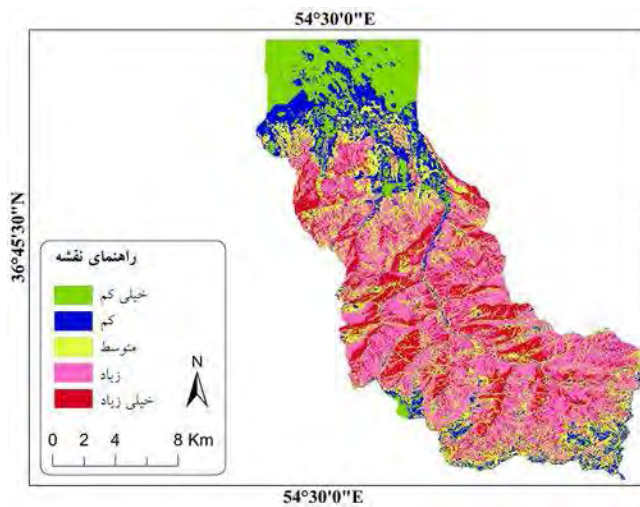
رابطه (۷)

$$\text{Final map} = (\text{geology} * 0.095) + (\text{hydrometry} * 0.009) + (\text{infrastructure} * 0.029) + (\text{landuse} * 0.205) + (\text{topography} * 0.662)$$

۵- نتایج و بحث

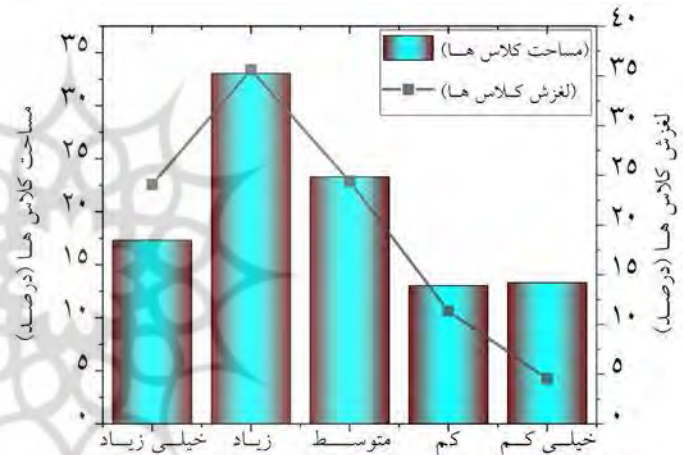
با به کارگیری روش تحلیل شبکه (ANP) به هرکدام از معیارها و زیرمعیارها وزن تعلق گرفته است. همانطور که در جدول‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود در میان معیارهای اصلی، معیار توپوگرافی با وزن ۰/۶۶۲ دارای بیشترین اهمیت بوده است. معیار پوشش زمین در مرتبه دوم اهمیت با وزن ۰/۲۰۵ قرار گرفته است.

معیار هیدروگرافی با وزن ۰/۰۰۹ کمترین تأثیر را در زمین‌لغزه داشته است. در بین زیرمعیارهای توپوگرافی، عامل شیب با وزن ۰/۶۵ اثرگذارترین عامل بوده است.



نگاره ۶: نقشه پتانسیل زمین‌لغزه تولید شده با روش ANP و وزنی

نگاره ۷: مساحت و لغزش‌های هر کلاس به درصد



زمین‌لغزه‌های رخ داده در هر طبقه مشاهده شد که بیشترین لغزش در طبقه با خطر زیاد روی داده است (حدود ۳۵ درصد از لغزش‌ها) (جدول ۵ و نگاره ۷) و فقط حدود ۴ درصد از لغزش‌ها در طبقه با خطر خیلی کم اتفاق افتاده است. در مجموع حدود ۶۰ درصد از لغزش‌هایی که اتفاق افتاده است، در دو طبقه با خطر خیلی زیاد و زیاد بوده است.

جدول ۴: مساحت کلاس‌ها (درصد)

کلاس	مساحت به درصد	مساحت به کیلومتر مربع
خطر خیلی زیاد	۱۷/۳۱	۵۷/۴۶
خطر زیاد	۳۳/۰۳	۱۰۹/۶۵
خطر متوسط	۲۳/۲۹	۷۷/۳۲
خطر کم	۱۳/۰۳	۴۳/۲۵
خطر خیلی کم	۱۳/۳۲	۴۴/۲۲

با توجه به نقشه حاصل از اجرای مدل، مشاهده شد که بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های شرقی و جنوبی و در ارتفاع ۵۰۰ تا ۲۲۰۰ متر به وقوع پیوسته است. همچنین ملاحظه شد که ۱۷/۳۱ درصد منطقه در کلاس خطر خیلی زیاد و ۳۳ درصد در کلاس خطر زیاد قرار دارد. (حدود نیمی از مساحت منطقه دارای پتانسیل لغزش بالایی دارد).

نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه در نگاره (۶) نشان داده شده است. نگاره ۷ به صورت گرافیکی مساحت و لغزش‌های هر کدام از کلاس‌ها را به درصد نمایش می‌دهد. برای ارزیابی نتایج نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزه از داده‌های زمین لغزه‌های رخ داده در سطح منطقه استفاده شده است. با محاسبه مساحت طبقات نقشه نهایی (جدول ۴ و نگاره ۷) مشاهده شد که طبقه خطر زیاد بیشترین مساحت را داشته است (با ۳۳/۰۳ درصد کل مساحت منطقه). سپس با محاسبه تعداد پیکسل‌های

منابع و مأخذ

۱. امیراحمدی، شکاری بادی، معتمدی راد، بینقی؛ ابوالقاسم، علی، محمد، مریم (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال چهارم، زمستان ۱۳۹۴، شماره ۳، ص ۲۱۴ - ۲۳۰.
۲. جعفری، شاه‌زیدی؛ پیام، سمیه سادات (۱۳۹۵). تحلیل و پهنه بندی مخاطرات ژئومورفیک مناطق شمال کشور با استفاده از فرایند تحلیل شبکه مطالعه موردی: استان گیلان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، ص ۱۹۳ - ۲۰۸.
۳. جمالی، فلاحی؛ لقمان، غلامرضا (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود بوکان با تلفیق مدل های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی. علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۶، شماره ۴، ص ۱۸۵ - ۱۹۹.
۴. روستائی، خدائی قشلاق، خدائی قشلاق؛ شهرام، لیلا، فاطمه (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد‌ها (مطالعه موردی: سد قلعه چای). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۶، شماره ۴، ص ۴۹۵ - ۵۰۸.
۵. شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵). "زمین لغزش‌ها (مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی)". ناشر سازه، ۲۸۱.
۶. شعبانی، جوادی، زارع خوش اقبال؛ عباد، محمدرضا، مریم (۱۳۹۳). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شلمانرود). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. دوره ۵، شماره ۱۰، ص ۱۵۷ - ۱۶۹.
۷. شیرانی، سیف؛ کورش، عبدالله (۱۳۹۱). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر، فصلنامه علمی-پژوهشی، سازمان زمین شناسی کشور، سال بیست و دوم، شماره ۸۵

جدول ۵: تعداد پیکسل‌های لغزش در هر طبقه

کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزش	درصد لغزش ها
خطر خیلی زیاد	۱۳۴۹۴	۲۴/۰۸
خطر زیاد	۱۹۹۵۱	۳۵/۶۱
خطر متوسط	۱۳۶۶۵	۲۴/۳۹
خطر کم	۶۳۵۸	۱۱/۳۴
خطر خیلی کم	۲۵۵۴	۴/۵۵

۶- نتیجه گیری

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که آسیب‌ها و مشکلات جدی برای زندگی انسان به وجود می‌آورد. شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و پرخطر از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین زمین‌لغزش به عنوان یکی از مطالعات اصلی انتخاب شد تا بتوان به کنترل و مدیریت خطرات آن دست یافت. برای مدل سازی و پیش بینی خطر زمین‌لغزش در پژوهش حاضر، از مدل تحلیل شبکه ANP استفاده شد. برای هر یک از معیارها و زیر معیارها وزن و امتیازی به دست آمد که با لحاظ کردن وزن مربوط به هر معیار همپوشانی انجام شد و نقشه خطر نسبی وقوع زمین‌لغزش تولید شد. نتایج به دست آمده نشان داد که حدود نیمی از وسعت منطقه دارای پتانسیل بالای زمین‌لغزش است. کمترین خطر در بخش‌های شمالی منطقه که ناهمواری کمتری وجود دارد مشاهده شده است و در دامنه‌های شمالی که از رطوبت بیشتری برخوردار است، بیشترین خطر زمین‌لغزش دیده شده است. مدل همپوشانی وزنی و روش تحلیل شبکه برای پیش‌بینی میزان حساسیت به لغزش اثربخش بوده و کارآمدی لازم را در تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش داشته است. در پایان ذکر این نکته ضروری است که قرار گرفتن برخی مناطق در سطوح آسیب پذیری و خطر کم و متوسط، نشان دهنده وضعیت مناسب آن بخش‌ها نبوده و فقط موقعیت و جایگاه آن مناطق را در ارتباط با سایر پهنه ها مشخص می‌نماید.

16. Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012. Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the LevenbergeMarquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology* 171, 12e29.
17. Chen, T., Niu, R., Jia, X., 2016. A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environ. Earth Sci.* 75, 1e16.
18. Chen, Z., Zhang, Y., Ouyang, C., Zhang, F. and Ma, J., 2018. Automated landslides detection for mountain cities using multi-temporal remote sensing imagery. *Sensors*, 18(3), p.821.
19. Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., Sdao, F., 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena* 113, 236-250.
20. Crosta, G.B., Clague, J.J., 2009. Dating, triggering, modelling, and hazard assessment of large landslides. *Geomorphology* 103, 1e4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.007>.
21. Dai, F., Lee, C., Li, J., Xu, Z., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ. Geol.* 40, 381-391.
22. Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., Van Asch, T.W., 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Nat. Hazards* 32, 1-23.
23. Erenner, A., Sarp, G. and Duzgun, S.H., 2019. Use of GIS and Remote Sensing for Landslide Susceptibility Mapping. In *Advanced Methodologies and Technologies in Engineering and Environmental Science* (pp. 384-398). IGI Global.
24. Gheshlaghi, H.A. and Feizizadeh, B., 2017. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision-making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences*, 133, pp.15-24.
25. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181-216.
26. Jia, N., Mitani, Y., Xie, M., Djmaluddin, I., 2012. Shallow landslide hazard assessment using a three-

ص ۱۴۹-۱۵۸.

۸. عظیم پور، صدوق، دلال اوغلی، ثروتی؛ علیرضا، حسن، علی، محمدرضا (۱۳۸۸). ارزیابی مدل AHP در پهنه بندی خطر زمین لغزه، مطالعه موردی: حوضه آبریز اهر چای، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی. سال نهم، شماره ۲۶، تابستان ۱۳۸۸، ص ۷۱-۸۷.
۹. غفاری، شبان، معماریان؛ محمدصادق، مریم، هادی (۱۳۹۶). پهنه بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل تصمیم گیری چند معیا (Fuzzy AHP)، مطالعه موردی: سازند شورچی، اسطرخی شیروان، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
۱۰. مالچفسکی، یاچک (۱۳۹۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم گیری چندمعیاری، غفاری گیلانده، عطا، پرهیزکار، اکبر. ترجمه، انتشارات سمت، ۶۰۸.
۱۱. نوجوان، شاه‌زیدی، داودی، امین رعایا؛ محمدرضا، سمیه‌سادات، محمود، هاجر (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۴، ص ۱۴۲-۱۵۹.
12. Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 58, 21-44.
13. Anbalagan, R.D. Chakraborty and a Kohli. (1992). Landslide hazard development and zonation mapping in mountainous terrain. *J. Engineering Geology*, vol (32), 269-277.
14. Atkinson, P.M., Massari, R., 2011. Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. *Geomorphology* 130, 55e64.
15. Bianchini, S., Raspini, F., Ciampalini, A., Lagomarsino, D., Bianchi, M., Bellotti, F., Casagli, N., 2016. Mapping landslide phenomena in landlocked developing countries by means of satellite remote sensing data: the case of Dilijan (Armenia) area. *Geomat., Nat. Hazards Risk* 1e17.

37. Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Hashim, M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: a comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena* 115, 55e70.
38. Sidle, R.C., Ochiai, H., 2006. Landslides: processes, prediction, and land use. American Geophysical Union.
39. Van Westen. C.J. Castellanos E.Kuriakose. SL (2008). Spatial data for Landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology* 102: 112–131.
40. Wang, L.-J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., Zhang, J., 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network. *Geosci. J.* 20, 117e136.
41. Xu, C., Xu, X., Dai, F., Saraf, A.K., 2012b. Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Comput. Geosci.* 46, 317–329.1–12.
42. Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., Yomralioglu, T., 2011. 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, 274–287.
43. Yao, X., Tham, L., Dai, F., 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology* 101, 572–582.
44. Yilmaz, I., 2009. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 68, 297e306.
45. Zhao, C. and Lu, Z., 2018. Remote sensing of landslides—A review.
46. Zare, M., Pourghasemi, H.R., Vafakhah, M., Pradhan, B., 2013. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arab. J. Geosci.* 6, 2873e2888.
- dimensional deterministic model in a mountainous area. *Comput. Geotech.* 45, 1–10.
27. Kamp. U. Growley. B. Khattak. G & Owen. L (2008) GIS – based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Journal of Geomorphology* 101. (2008).631-642.
28. Kayastha, P., Dhital, M., De Smedt, F., 2013. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Comput. Geosci.* 52, 398–408.
29. Lineback Gritzner, M., Marcus, W.A., Aspinall, R., Custer, S.G., 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology* 37, 149–165.
30. Nefeslioglu, H.A., San, B.T., Gokceoglu, C., Duman, T.Y., 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 14, 40–60.
31. Oh, H.-J., Pradhan, B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Comput. Geosci.* 37, 1264–1276.
32. Ozdemir, A., Altural, T., 2013. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 64, 180–197.
33. Peng, L., et al., 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.
34. Saaty T.L. (2005) *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making*. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, New York, NY.
35. Saaty T.L. and Luis G. Vargas, (2006), *Decision Making with The Analytic Network Process*, Springer Science, New York, USA.
36. Schicker, R., Moon, V., 2012. Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. *Geomorphology* 161, 40–57.