



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۱، صص ۱۲۵-۱۰۶

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز نوران‌چای با استفاده از مدل

ANP

موسی عابدینی*، فریبا آزادی، طیبه بابایی اولم^۳

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۳- دانشجوی دکترای تخصصی ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

چکیده

حوضه‌ی نوران‌چای به علت دارا بودن شرایط آب و هوایی و توپوگرافیکی و لیتولوژیکی از جمله مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد، به همین علت تحقیق در مورد پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در این ناحیه ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی نوران‌چای، تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور شناسایی مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش ANP می‌باشد. در این پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای و مدل ANP استفاده شده است. نخست عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مشخص شده، سپس ماتریس‌های موزون، محدود و ناموزون برای این معیارها ترسیم گردیده و در محیط GIS پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی (بارش)، جهات شیب و خاک دارای بیش‌ترین ضریب اهمیت هستند. همچنین منطقه از لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش در حد متوسط قرار دارد و ۱۵/۵۷٪ (برابر با ۲۰۶۲/۳۶ هکتار) از کل مساحت حوضه‌ی مورد مطالعه با خطر خیلی زیاد برای وقوع زمین‌لغزش برآورد شده است. و راهکاری که ارائه می‌شود جلوگیری از فعالیت‌های عمرانی در محدوده‌ی با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد می‌باشد. طبق نتایج حاصله از این پژوهش، استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره علاوه بر افزایش دقت، سبب افزایش سرعت انجام کار، تنوع و کیفیت بهتر ارائه‌ی نتیجه می‌گردد.

کلمات کلیدی

پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، حوضه‌ی نوران‌چای، مدل ANP

زمین لغزش‌ها از جمله مخاطرات طبیعی هستند که همه‌ساله موجب خسارات جانی و مالی زیاد، به‌ویژه در نواحی کوهستانی نیمه مرطوب، معتدله و باران کوهستانی می‌شوند (عابدینی و پیروزی، ۱۳۹۸: ۱۹). زمین‌لغزه اصطلاحی است کلی که شامل حرکات لغزشی و ریزشی توده‌های نسبتاً خشک خاک و سنگ می‌شود. زمین‌لغزه گاهی به معنای وسیع‌تر در مورد حرکات دامنه‌ای سریع نیز به کار می‌رود (صداقت و معاریان، ۱۳۸۱: ۲۵۵). برای رخداد آن سه شرط لازم است: ۱- شیب به قدر کافی تند باشد ۲- در عمق خاک یک لایه نفوذناپذیر یا با نفوذ کم وجود داشته باشد ۳- آب در لایه سطحی خاک به مقدار کافی موجود باشد (قاطع و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۴۷). بیشتر زمین‌لغزه‌ها مربوط به خاک‌های رسی یا چسبنده است. لغزیدن خاک به طرف پایین شیب، گاهی ممکن است به طور موضعی باشد. در این صورت خاک سطحی قسمت پایین‌تر در اثر فشار توده‌ی خاک لغزیده به طرف بالا آورده می‌شود و به این ترتیب در سطح زمین برجستگی ایجاد می‌شود. ارتفاع این برجستگی به نوع مواد و میزان رطوبت بستگی دارد. این برجستگی ممکن است صاف و مدور باشد یا شکستگی‌هایی در آن به وجود آید که به صورت قطعاتی ملاحظه می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۲۳ و ۱۲۴). از آنجائیکه زمین‌لغزشها و کلیه پدیده‌های مربوط به حرکات توده‌ای دامنه‌ها منجر به ایجاد خسارت‌های اقتصادی، مالی برای انسانها می‌شوند (Abedini & Tulabi, 2018) و (Abedini & et al, 2017). لذا بررسی و شناخت عوامل مؤثر در وقوع این پدیده با توجه به هزینه‌ی بسیار کم برای انجام این کار، از جمله اقدامات مناسب و به صرفه برای برنامه‌ریزی‌های مربوطه می‌تواند باشد (سرور و همکاران، ۱۳۸۸: ۲). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش (LSM) در دوره اولیه اهمیت زیادی برای پیشگیری و کنترل خطرات زمین‌شناسی دارد. حساسیت زمین لغزش احتمال وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه را توصیف می‌کند و توسط شرایط زمین محلی کنترل می‌شود محققان مختلف از نظریه‌های مختلفی برای مطالعه ارزیابی‌های حساسیت زمین لغزش، از تکنیک‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون لجستیک، فرآیندهای سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP)، روش ارزش اطلاعات، ضریب قطعیت، منطق فازی و شاخص آنتروپی استفاده می‌کنند. این روش‌ها عمدتاً مبتنی بر تجزیه و تحلیل توزیع خطرات زمین لغزش و رابطه بین عوامل تأثیرگذار هستند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۷: ۱).

مطالعات فراوانی در این زمینه در سطح جهان انجام گرفته از قبیل؛ سلیم و همکاران (۲۰۲۰)، به نقشه‌برداری جاده آسیب‌پذیر گوئین نولا در زمین لغزش واقع در رشته‌های زیرهیمالیا پاکستان را از طریق تکنیک منطقه‌بندی خطر زمین لغزش (LHZ) انجام دادند و هفت عامل فعال‌کننده زمین لغزش، یعنی زاویه شیب، سنگ‌شناسی، بارش، جهت شیب، کاربری زمین/پوشش زمین، شاخص گیاهی تمایز نرمال شده و ارتفاع مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به هر عامل فعال‌کننده تخصیص وزن داده شد. نتایج نشان داد سه ناحیه حساسیت با استفاده از روش همپوشانی وزنی، به‌دست آمد و در حدود ۶۹ درصد از کل زمین لغزش در منطقه حساس بالا رخ داده است که ۳۶ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. نقاط کنترل زمینی در سایت‌های فعال زمین لغزش نقشه تولید شده با LHZ را تأیید کردند. استجنا و پرادهان (۲۰۲۰)، با ترکیبی از روش‌های اعتبارسنجی متقاطع ANN و مدل AHP-TOPSIS به بهبود ارزیابی خطر زلزله در اندونزی پرداختند. آن‌ها پس از بررسی شاخص‌های

اصلی مورد نیاز برای بهبود دقت پیش‌بینی در نقشه‌برداری احتمال و نقشه آسیب‌پذیری بر اساس عوامل اجتماعی و ساختاری به این نتایج دست یافتند که مدل پیشنهادی دقت ۸۵/۴ درصد و نسبت سازگاری آن ۰/۰۶ است. خطر در مرکز شهر از بسیار زیاد تا زیاد متغیر است، تقریباً مساحتی معادل ۲۳٪ (۱۴/۸۲ کیلومتر مربع) و جمعیت کل ۵۴۶۹۵ را پوشش می‌دهد. سوئتا و گوپینات (۲۰۲۰)، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش با فرآیند شبکه تحلیلی در حوضه رودخانه کوتیادی (گاتز غربی، جنوب هند) پرداختند. آن‌ها با استفاده از نقشه‌های فاکتوری پارامترهای مختلف محرک زمین لغزش از جمله شیب، خاک، کاربری، تراکم زهکشی، مرحله شکل زمین، تراکم خطی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه را به چهار کلاس ناپایدار (۱۲۱ کیلومتر مربع)، نسبتاً ناپایدار (۷۶ کیلومتر مربع)، پایدار تا متوسط پایدار (۱۲۴ کیلومتر مربع)، آسیب‌پذیری بالا (۶۷ کیلومتر مربع) و آسیب‌پذیری بسیار بالا (۷۴ کیلومتر مربع) طبقه‌بندی نمودند و بیان داشتند کاربرد ANP ابزاری مؤثر برای وزن‌دهی عوامل ایجاد زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با حداکثر دقت با استفاده از فناوری مکانی است.

لیو و یین (۲۰۲۳)، یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) بهبود یافته را با ادغام اعداد بازه‌ای در فرآیند سلسله مراتب تحلیلی فازی (FAHP) برای ارزیابی ریسک خطرات (سیل، جریان آب گل‌آلود و رانش زمین) در هنگ‌کنگ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد عوامل ارزیابی مختلف، اهمیت متفاوتی بر خطرات مختلف دارند. به طوری که که فاصله-FAHP-GIS بهتر از AHP-GIS و ANP-GIS در گرفتن مناطق پرخطر عمل می‌کند. روش فاصله‌ای-FAHP-GIS از اعداد فازی فاصله‌ای به جای اعداد واضح در AHP-GIS استفاده می‌کند تا درجه اهمیت عوامل ارزیابی را منعکس کند و دقت ریسک‌های چندگانه ارزیابی شده را افزایش می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی ریسک دینامیکی خطر زمین لغزش برای نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس بزرگ در شرایط بارندگی شدید پرداختند و از مدل ANP-FBN برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش استفاده نمودند یافته‌های آن‌ها نشان داد که دره مرکزی و شیب تند شرقی منطقه مورد مطالعه، مناطق پرخطر و «بسیار زیاد» اولیه هستند. علاوه بر این، با افزایش مدت بارندگی، سطح خطرهای زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نیز افزایش می‌یابد. یانگ و همکاران (۲۰۲۳)، یک مدل تجزیه و تحلیل زوج اندازه‌گیری قطعی نشده بهبود یافته بر اساس AHP فازی و آنتروپی برای نگاشت پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش در منطقه معدنی تنگلوشان مورد بررسی قرار دادند و نتایج کار آن‌ها نشان داد که مدل بهبود یافته UM-SPA می‌تواند نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را با قابلیت اطمینان بالا تولید کند. کل منطقه مورد مطالعه به پنج سطح حساسیت تقسیم می‌شود. ۵/۸ درصد و ۱۰/۱۶ درصد از محدوده معدنی تنگلوشان به ترتیب به مناطق بسیار حساس و مناطق حساس تقسیم می‌شوند. مناطق کم حساسیت و بسیار کم به ترتیب ۳۰/۸۷ درصد و ۳۴/۱۴ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. ژو و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در شهرستان Yunxian، جنوب غربی چین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. آن‌ها عوامل مؤثر بر زمین لغزش، ارزیابی در پیمایش میدانی بر اساس ۱۱ ضریب تاثیر شامل شیب، جهت شیب، انحنای تسکین نسبی انجام شد. NDVI، جاده، رودخانه، گسل، سنگ‌شناسی، تراکم نقاط زمین لغزش و نوع کاربری زمین را مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس تأثیرات مربوطه، این ضرایب تأثیر بر اساس AHP به زیرفاکتورها تقسیم شدند و وزن هر عامل و عامل فرعی محاسبه شد. منحنی ROC برای آزمایش نتایج ارزیابی پارتیشن اتخاذ شد و مقدار AUC، ۰/۸۴۵ تعیین شد که نشان دهنده دقت بالای نتایج ارزیابی پارتیشن است.

خالدی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی و ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز طالقان پرداخته و با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS به پهنه‌بندی منطقه‌ی یاد شده از نظر زمین لغزش پرداخته و به این نتیجه رسیدند که فاصله از گسل مهم‌ترین عامل مؤثر در رویداد زمین لغزش حوضه می باشد و $۷۲/۸۳\%$ از مساحت حوضه‌ی مورد مطالعه در رده‌های با خطر بالا و بسیار بالا قرار دارد. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در حوضه‌ی آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS تهیه نمودند. نتایج حاکی از آن است که نواحی پرخطر، متأثر از عامل زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. از عوامل مؤثر دیگر در وقوع این پدیده در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به شیب، بارندگی، ارتفاع، فاصله از شبکه‌ی زهکشی اشاره نمود. کرم و تورانی (۱۳۹۱) با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، محور هراز از رودهن تا رینه را از نظر زمین-شناسی پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد روش تحلیل سلسله مراتبی، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این محدوده است. بر اساس این روش، حدود $۶۷/۸\%$ محدوده‌ی مورد مطالعه، استعداد بالایی برای وقوع زمین لغزش دارند. امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP در حوضه پیوه ژن دامنه جنوبی بینالود پرداختند آن‌ها برای این کار لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، بارش، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل را تهیه نمودند و در جهت تهیه نقشه پهنه بندی از مدل ANP استفاده کردند نتایج کار نشان داد عوامل فاصله از رودخانه و فاصله از جاده بیشترین امتیاز وزنی را به ترتیب ($۰/۲۲۸$ و $۰/۲۰۴$) و شیب و جهت شیب کمترین وزن ($۰/۰۱۲$) را در حوضه مورد مطالعه داشته است و از تعداد ۳۱ زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه، ۱۷ زمین لغزش در فاصله ۵۰-۰ متری و ۱۴ زمین لغزش دیگر در فاصله ۱۵۰-۵۰ متری از رودخانه به وقوع پیوسته است که نشان از تأثیر مستقیم و مهم فرسایش و زیر شویی رودخانه دارد. در نهایت اذعان داشته‌اند مدل ANP می‌تواند به عنوان مدلی مناسب برای پیش بینی پدیده لغزش به کار گرفته شود به طوری که $۶۴/۵$ درصد زمین لغزش‌های حوضه در پهنه‌های خیلی زیاد و زیاد به وقوع پیوسته است.

طولایی و عابدینی (۱۳۹۵)، با مدل‌های همپوشانی فازی و (AHP)، به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه نوزیان پرداختند و عامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارندگی و ارتفاع به عنوان عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های حوضه شناسایی شدند چنین نتیجه گرفتند که مقدار شاخص Qs برای مدل AHP برابر با $۰/۷$ و برای عملگر گامای فازی با لاندهای $۰/۷$ ، $۰/۸$ و $۰/۹$ به ترتیب برابر با $۰/۷۵$ ، $۰/۷۱$ و $۰/۶۳$ می باشد؛ و می‌توان گفت عملگر گامای فازی با لاندهای $۰/۷$ نسبت به سایر روش‌های ارائه شده مطلوبیت بهتری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز نوزیان دارد. معزز و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز نهندچای پرداختند آن‌ها لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و بارش مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از نرم افزار Super Decisions به وزن دهی هر یک از معیارها پرداختند آن‌ها با تلفیق این لایه‌ها طبقه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه نمودند و نشان دادند که بیش از ۴۰ درصد از مساحت منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین لغزش را دارا می باشد که بیشتر منطبق بر مناطق دارای کاربری مرتع، حاشیه آبراهه‌ها و مناطق دارای سازند مارن است. لجم‌اورک و پیری (۱۴۰۲)، با استفاده از مدل تحلیل

سلسله‌مراتبی (AHP)، و فن GIS به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در شهرستان باغملک پرداختند آن‌ها ۹ عامل، شیب، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی آب، ارتفاع، بارش، کاربری اراضی، گسل، جهت‌شیب و جاده را در نظر گرفته و با تلفیق لایه‌ها چنین نتیجه گرفتند که عامل شیب، جنس زمین و شبکه آب‌های سطحی بیش‌ترین تأثیر را با رتبه به ترتیب یک تا سوم را داشته‌اند در حالی که جاده و جهت شیب با رتبه به ترتیب هشتم و نهم کم‌ترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش داشته‌اند هم‌چنین مناطق با خطر کم ۴۳/۲۵٪ و مناطق با خطر زیاد ۴/۰۱٪ از منطقه را داشته‌اند. طبق بررسی‌هایی که به عمل آمد در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعات و پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. در ایران نیز به دلیل اهمیت و وقوع چشمگیر این پدیده، مطالعاتی با استفاده از مدل‌های بسیاری انجام شده که به تعدادی از آن‌ها اشاره شد؛ اما در مورد حوضه‌ی آبخیز نوران‌چای، تاکنون پژوهشی در این مورد انجام نشده بود که خلأ پژوهشی احساس می‌شد.

موقعیت جغرافیایی

حوضه‌ی آبریز نوران‌چای با مساحتی حدود ۱۳۲/۸۲ کیلومترمربع در محدوده‌ی شهرستان سرعین واقع شده است. این رودخانه از شرق ارتفاعات سبلان سرچشمه گرفته و تا غرب شهرستان اردبیل امتداد می‌یابد. کمترین ارتفاع حوضه ۱۳۸۰ متر و بیشترین ارتفاع آن ۳۶۸۰ متر می‌باشد. این حوضه بین طول ۴۷ درجه و ۰/۸ دقیقه و ۴۸ درجه و ۱۴/۶ دقیقه شرقی واقع شده است. تعداد ۱۶ آبادی در این حوضه واقع شده است از جمله حسن‌باروق، نوران و ویلادره و بنمار. روستای بنمار در منطقه‌ای واقع شده که از لحاظ تکنیکی فعال می‌باشد. در سال ۱۳۷۵ کانون زلزله‌ای که در استان واقع شد، در این روستا بود.

روش تحقیق

در این پژوهش، از نقشه‌ها و دیگر اطلاعات مربوط به استان اردبیل از جمله نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۵۰۰۰۰ و نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۲۵۰۰۰۰ و نیز روش مطالعه‌ی کتابخانه‌ای و مدل‌سازی استفاده شده است. نخست با استفاده از نرم‌افزار super decisions ماتریس‌های ناموزون، موزون و محدود ایجاد شده و سپس در نرم‌افزار GIS10/2 لایه‌های مورد نظر تهیه شده و لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و نهایتاً یک خروجی از نقشه‌ی نهایی که نشان دهنده‌ی میزان خطرپذیری حوضه‌ی مورد مطالعه از لحاظ زمین‌لغزش است، به دست آمد.

روش فرایند تحلیل شبکه (ANP)، در سال ۱۹۹۶ توسط ساعتی برای تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است و هدف از ارائه‌ی آن ساختن مدلی است که از طریق آن بتوان مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره را به صورت اجزا کوچک‌تر تجزیه نموده و به واسطه‌ی مقداردهی معقولانه به اجزای ساده‌تر و سپس ادغام این مقادیر، تصمیم‌گیری نهایی را انجام داد. این روش دارای دو قسمت اصلی می‌باشد، قسمت اول شامل دسته‌هایی مرکب از ملاک‌های کنترلی و زیر ملاک‌ها و نیز دسته جای‌گزین می‌باشد و قسمت دوم شامل شبکه‌ای از بردارها و کمان‌ها که نشانه‌ی وابستگی‌ها و همبستگی‌ها و نیز بازخوردهای موجود در سیستم تصمیم‌گیری است. این روش در نهایت بر پایه‌ی انجام مقایسات زوجی که مشابه با مقایسات انجام‌گرفته در روش AHP است، عمل می‌نماید. نتایج این محاسبات، یک سوپر ماتریس

است که پس از محاسبه‌ی روابط سوپر ماتریس و ارزیابی‌های مفهومی، امکان رتبه‌بندی هر معیار بر اساس وزن موجود خواهد داشت (ساعتی، ۱۹۹۹: ۱).

مراحل تصمیم‌گیری به روش (ANP)

در روش AHP، وابستگی‌ها باید به صورت خطی، از بالا به پایین و بالعکس باشد. چنانچه وابستگی دو طرفه بوده، یعنی وزن معیارها به وزن گزینه‌ها و وزن معیارها وابسته باشد، مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم با بازخور را می‌دهد، که در این صورت برای محاسبه‌ی وزن عناصر، نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله مراتبی استفاده کرد* (طولابی و عابدینی، ۱۳۹۵). در این حالت برای محاسبه‌ی وزن عناصر باید از تئوری شبکه‌ها استفاده کرد. نگرش سوپر ماتریس که به طور مشهورتر به عنوان فرایند تحلیل شبکه-ای (ANP)، شناخته می‌شود تبدیل به یک ابزار جذاب برای درک بهتر مسئله‌ی تصمیم شده است، زیرا بر محدودیت‌های ساختارهای سلسله مراتبی غلبه می‌کند. چنین سیستم‌هایی به وسیله‌ی یک شبکه جهت‌دار (دیاگراف) ارائه می‌شود، که در آن یک سطح یا خوشه ممکن است، به طور مستقیم یا غیرمستقیم، به وسیله‌ی ویژگی‌های دیگر تصمیم (یا عناصر) و سطوح (یا خوشه‌ها) هم تأثیر بپذیرد و هم تأثیر بگذارد.

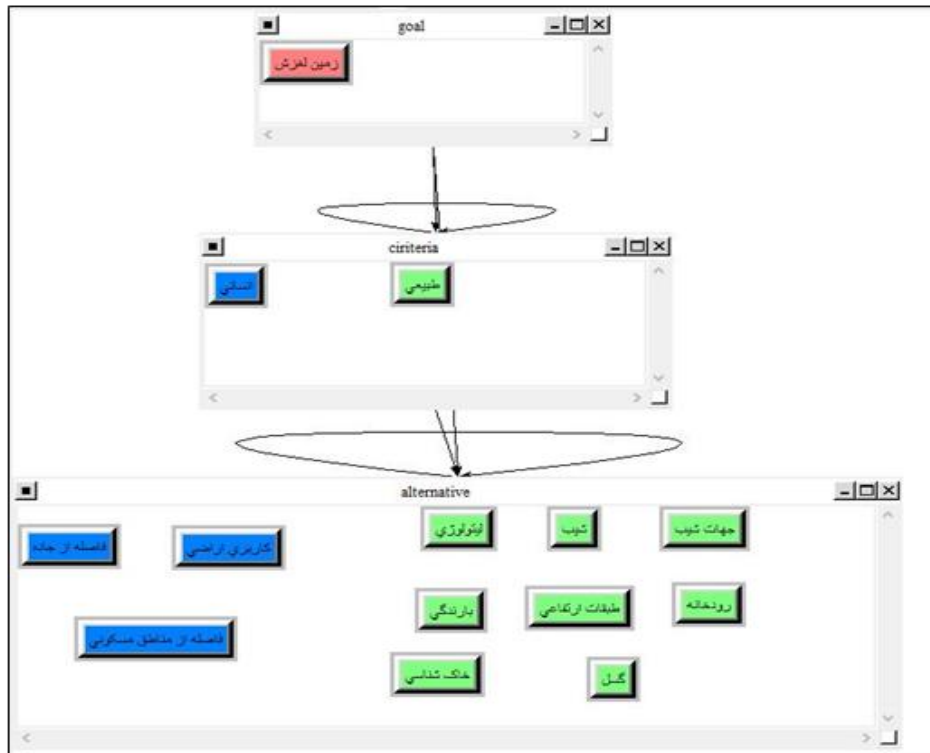
یافته‌های تحقیق

برای بررسی و شناسایی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه، هر یک از معیارهای مورد نظر مورد ارزیابی رتبه‌بندی کارشناس قرار گرفت. در این بخش برای ارزیابی و رتبه‌بندی معیارها از فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای، فنی در تصمیم‌گیری است که بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حل مشکلات با در نظر گرفتن بازخورد و وابستگی بنا نهاده شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای به پنج مرحله تقسیم می‌شود که به شرح زیر قابل بیان است:

الف) تعیین معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری

این مرحله شامل دو بخش ذیل است:

مرحله اول) تعیین دسته‌ها: در این بخش، دسته‌ها و عناصر داخل آن‌ها شکل می‌گیرند؛ به این صورت که عناصر و شاخص‌ها درون مرتبط‌ترین دسته‌ها قرار می‌گیرد. معیارها و زیر معیارهای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در شکل ۱، ارائه شده است.



شکل ۱: معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در پدیده‌ی زمین لغزش

مرحله دوم) تعیین اتصالات و همبستگی‌ها: این مرحله، مهم‌ترین قسمت یک تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد. بعد از این که دسته‌های شبکه مشخص شدند، آن‌ها باید به یکدیگر متصل شوند که این اتصال بر اساس نوع ارتباط عناصر داخلی آن‌ها انجام می‌پذیرد. اساس منطق فرایند تحلیل شبکه‌ای بر این پایه استوار است که بتوانیم روابط و اثرات شاخص‌ها و دسته‌ها را بر یکدیگر وارد مسئله کنیم. در این هنگام باید هر عنصر درون یک گروه را به عناصر دیگری که چه در داخل همان گروه و چه در داخل گروه‌های دیگر موثر است، مشخص کرده و عنصر مبدأ را به آن عناصر متصل کنیم. توجه به این نکته ضروری است که در نمودار یک شبکه، بردارهای اتصال بین عناصر دسته‌ها نشان داده نمی‌شود و وجود یک اتصال از یک عنصر به عنصر دیگر کافی است که بردار اتصال بین دسته‌های آن‌ها رسم شود. حال آن که این اتصال می‌تواند به صورت حلقه‌ی بازگشتی به خود آن دسته باشد. لازم به ذکر است که برای رسم اتصالات ابتدا باید وجود یا عدم وجود ارتباط بین دو عنصر را تعیین کرد.

ب) انجام مقایسات زوجی و به دست آوردن بردار اولویت‌ها

نظیر آن چه در فرایند تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی صورت می‌پذیرد، رکن اصلی در تعیین ضرایب اهمیت معیارها و شاخص‌ها در فرایند تصمیم‌گیری شبکه‌ای مبتنی بر قضاوت‌های تصمیم‌گیران در رابطه با میزان اهمیت معیارها و شاخص‌ها در درون یک یا چند ماتریس مقایسه دودویی (و در یک بازه‌ی امتیازی صفر تا ۹) است؛ لذا در این بخش لازم است تا با توجه به وجود یا عدم وجود ارتباط میان معیارها و زیر معیارها و به منظور تکمیل ابر ماتریس (W) اقدام به تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌ای دودویی میان معیارها و زیر معیارها کرده، سپس بردار اولویت معیارها-زیر معیارها و همچنین میزان نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها را محاسبه کرد.

مرحله اول) مقایسه دسته‌ها: در این بخش، مقایسه دسته‌ها (معیارها) برای به دست آوردن اثرات متقابل دسته‌ها یا اولویت آن‌ها نسبت به هم انجام می‌پذیرد.

مرحله دوم) مقایسه عناصر: در این مرحله، با در نظر گرفتن هر ملاک کنترلی، عناصر متأثر از آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در تحقیق حاضر، مقایسه‌های مذکور در نرم افزار بر اساس جدول ۱، کمی‌ال.ساعتی صورت گرفت. مقایسه‌های شاخص‌ها پس از استخراج فرمت‌های پاسخ‌گویی مرتبط با هر ارگان جمع‌آوری شده و پیرامون وزن‌های اخذ شده هر شاخص با وارد کردن در سیستم دنبال می‌شود.

پ) تشکیل سوپر ماتریس

این مرحله، خود به چند قسمت تقسیم می‌شود که شرح آن‌ها در ادامه آمده است:

تشکیل سوپر ماتریس ویژه ناموزون:

با اجتماع بردارهای ویژه به دست آمده از مقایسه‌های عناصر در یک ماتریس، ماتریس ویژه ناموزون به دست می‌آید. بردارهای ویژه از نرمالیزه کردن ماتریس‌های به دست آمده در مرحله قبل حاصل می‌شوند که در حقیقت، نمایانگر اوزان نسبی است (جدول ۱). در قسمت ستون سمت چپ ماتریس و همچنین در قسمت فوقانی آن تمامی عناصر دسته‌های کنترلی قرار می‌گیرند.

جدول ۱: سوپر ماتریس ویژه ناموزون

کاربری اراضی	لیتولوژی	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از جاده	طبقات ارتفاعی	شیب	رودخانه	خاک‌شناسی	جهت شیب	گل	بارندگی	زیرمعیار
۰/۰۸۹۴۹۲	۰/۲۹۵۶۸۶	۰	۰/۱۴۲۴۰۸	۰	۰/۱۳۰۴۱۹	۰	۰/۲۱۱۳۲۶	۰/۳۳۳۳۳۳	۰/۱۶۴۳۴۵	۰	بارندگی
۰/۲۴۴۷۱۸	۰/۱۴۳۴۷۴	۰/۱۰۷۶۵۵	۰	۰/۱۵۵۵۰۶	۰/۰۶۳۵۹۸	۰	۰/۱۰۱۱۴۲	۰	۰	۰/۳۱۰۸۱۴	گل
۰/۱۸۶۷۷۷	۰/۲۵۷۳۸۵	۰/۱۴۲۴۰۸	۰/۱۷۰۲۹۶	۰	۰/۱۴۵۹۱۸	۰	۰/۱۵۵۷۸	۰	۰	۰/۴۹۳۳۸۶	جهت شیب
۰	۰/۲۰۱۸۷۸	۰	۰	۰	۰/۲۴۸۸۸۹	۰	۰	۰/۶۶۶۶۶۷	۰/۳۲۴۲۸۹	۰	خاک‌شناسی
۰	۰/۱۰۱۵۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	رودخانه
۰/۳۲۵۴۱۹	۰	۰/۳۲۲۳۵۲	۰/۵۷۶۰۷۲	۰/۵۰۸۷۰۲	۰	۰/۵	۰/۳۸۵۹۰۹	۰	۰/۲۷۲۷۹۴	۰	شیب
۰/۱۵۳۵۹۳	۰	۰/۰۹۶۳۲۳	۰/۱۱۱۲۲۵	۰	۰/۱۲۰۰۱۳	۰/۵	۰	۰	۰	۰	طبقات ارتفاعی
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵۶۱۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	فاصله از جاده
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷۳۶۸۹	۰	۰	۰	۰/۰۹۶۳۵۵	۰	فاصله از مناطق مسکونی
۰	۰	۰/۲۴۱۳۶۲	۰	۰	۰/۱۶۱۳۴۱	۰	۰/۱۴۵۸۴۳	۰	۰	۰	لیتولوژی
۰	۰	۰/۰۸۹۹	۰	۰/۱۴۴۷۷۳	۰	۰	۰	۰	۰/۱۴۲۲۱۶	۰/۱۹۵۸	کاربری اراضی

-تشکیل سوپر ماتریس ویژه موزون:

بعد از اینکه ماتریس ویژه ناموزون به دست آمد، ممکن است بعضی ستون‌ها به صورت ستون‌های احتمالی نبوده یا به عبارت ساده‌تر؛ حاصل جمع عناصر ستون‌ها برابر یک نباشد. در این حالت نمی‌توان گفت که تأثیر نهایی ملاک کنترلی مورد نظر بر تمامی عناصر به درستی نشان داده شده است. برای جلوگیری از این حالت با استفاده از نتایج بدست آمده در قسمت مقایسه دسته‌ها عمل کرده که با ضریب مقادیر نرمال شده متناظر هر ملاک به نسبت تأثیر خود و نرمال‌سازی نهایی ستون‌ها ماتریس ویژه موزون به دست می‌آید.

-تشکیل ماتریس محدود شده:

در هنگام رسم شبکه‌ای از عناصر و دسته‌ها بعضی از تأثیرها به صورت مستقیم و آشکارا بوده و به صورت مستقیم رسم می‌شوند؛ ولی بسیاری از تأثیرها پنهان، در شبکه‌ای از وابستگی‌ها وجود دارد که به خاطر عدم وجود ارتباط مستقیم رسم نمی‌شوند. اما از قابلیت‌های بسیار مهم روش تحلیل شبکه‌ای این است که این تأثیرات را نیز در نظر بگیرد. روش تحلیل شبکه‌ای این کار را با به توان رساندن متوالی سوپر ماتریس ویژه موزون انجام می‌دهد. نتیجه‌ی مرحله، ماتریسی است که تمام ستون‌های هر سطر آن یکسان شده است (جدول ۲). در نهایت، این اعداد یکسان شده رتبه معیارها را به ما نشان می‌دهند.

جدول ۲: سوپر ماتریس محدود شده

کاربری اراضی	لیتولوژی	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از جاده	طبقات ارتفاعی	شیب	رودخانه	خاک‌شناسی	جهت شیب	گسل	بارندگی	زیرمعیار
۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۱۶۲۰۸۵
۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱	۰/۱۱۱۹۸۱
۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳	۰/۱۶۶۸۴۳
۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴	۰/۲۰۰۳۱۴
۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳	۰/۰۰۶۳۳۳
۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴	۰/۱۶۱۴۵۴
۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸	۰/۰۳۴۸۸
۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳	۰/۰۰۹۰۶۳
۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵	۰/۰۲۹۳۵
۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷	۰/۰۶۲۳۴۷
۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵	۰/۰۵۵۳۵

همان طور که در جدول ۳، مشاهده می‌شود داده‌های واقع در سطرهاى ابر ماتریس با یکدیگر برابر بوده و مجموع ستونی اعداد موجود در این ماتریس برابر با یک می‌باشد. در چنین حالتی داده‌های موجود در سطرهاى ابر ماتریس، میزان ضرایب اهمیت آن شاخص را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان بیان داشت که خاک، جهت شیب و شرایط آب و

هوایی (بارش)، به ترتیب دارای بیشترین ضریب اهمیت بوده و نیز رعایت فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده‌ها و کاربری اراضی از اهمیت کمتری در این پژوهش و خطر خیزی منطقه برخوردار است.

جدول ۳: ضریب اهمیت نهایی زیرمعیارها

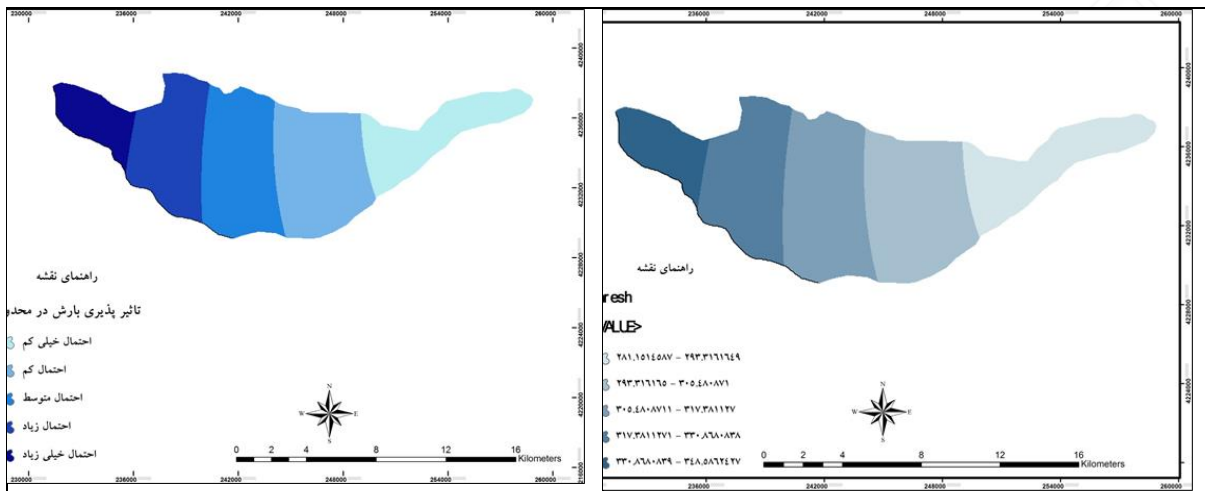
ضریب اهمیت نهایی	ضریب اهمیت معیار	(زیر معیارهای طبیعی)
۰/۱۶۲۰۸۵	۰/۹۰۶۲۳۷	لحاظ شرایط آب و هوایی (بارندگی)
۰/۱۶۶۸۴۳		جهت شیب
۰/۲۰۰۳۱۴		نوع خاک شناسی
۰/۱۶۱۴۵۴		شیب
۰/۰۰۶۳۳۳۳		رعایت فاصله از رودخانه‌ها
۰/۰۳۴۸۸۰		طبقات ارتفاعی
۰/۱۱۱۹۸۱		گسل
۰/۰۶۲۳۴۷		لیتولوژی
ضریب اهمیت نهایی		ضریب اهمیت معیار
۰/۰۲۹۳۵۰	۰/۰۹۳۷۶۳	رعایت فاصله از شهرها و مناطق مسکونی
۰/۰۰۹۰۶۳		فاصله از جاده‌ها
۰/۰۵۵۳۵۰		کاربری اراضی (مراتع، پوشش گیاهی منطقه و...)

-تنظیم لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در سیستم اطلاعات جغرافیایی

پس از تعیین ضرایب اهمیت شاخص‌ها، حال نوبت به سنجش شاخص‌ها در سطح محدوده‌ی مورد مطالعه است. بدین منظور، نیاز است تا داده‌ها برای حصول به اطلاعات مفید در رابطه با پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر اردبیل مورد پردازش و تحلیل قرار گیرند. این امر با استفاده از قابلیت تحلیل نرم‌افزار GIS و تنظیم لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای هر یک از ۱۱ شاخص (در قالب ۲ معیار) در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است.

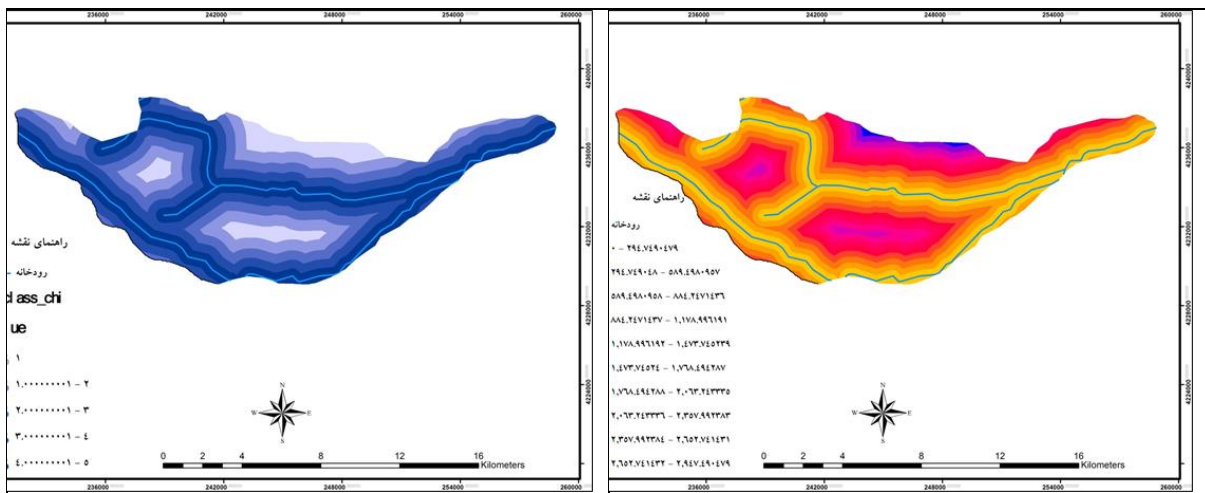
پس از گردآوری داده‌ها و رقومی نمودن و تشکیل پایگاه داده، مرحله تحلیل و پردازش داده‌ها است که این تحلیل‌های مورد استفاده در این بخش شامل موارد ذیل می‌شود:

در ایران بارش یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در وقوع زمین‌لغزش محسوب می‌شود تأثیر این پارامتر اقلیمی هم در شرایط معمول و هم در شرایط غیرمتمعارف اقلیمی و آستانه‌های حداکثر پایدار می‌گردد (عابدینی، ۱۳۹۱: ۵۴). نقشه‌ی همباران حوضه‌ی مورد مطالعه در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۲، الف). طبق لایه‌ی استانداردسازی شده‌ی بارش، میزان بارش در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده و چنانچه در لایه‌ی مورد بحث مشهود است، بر میزان بارش از نواحی شرق حوضه به غرب آن افزایش می‌یابد و چنانچه تنها این عامل را دخیل بدانیم، مناطق دارای بارش زیاد برای وقوع زمین‌لغزش مستعدتر می‌باشد (شکل ۲، ب).



شکل ۲: الف) لایه رستری شده‌ی بارش، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی بارش

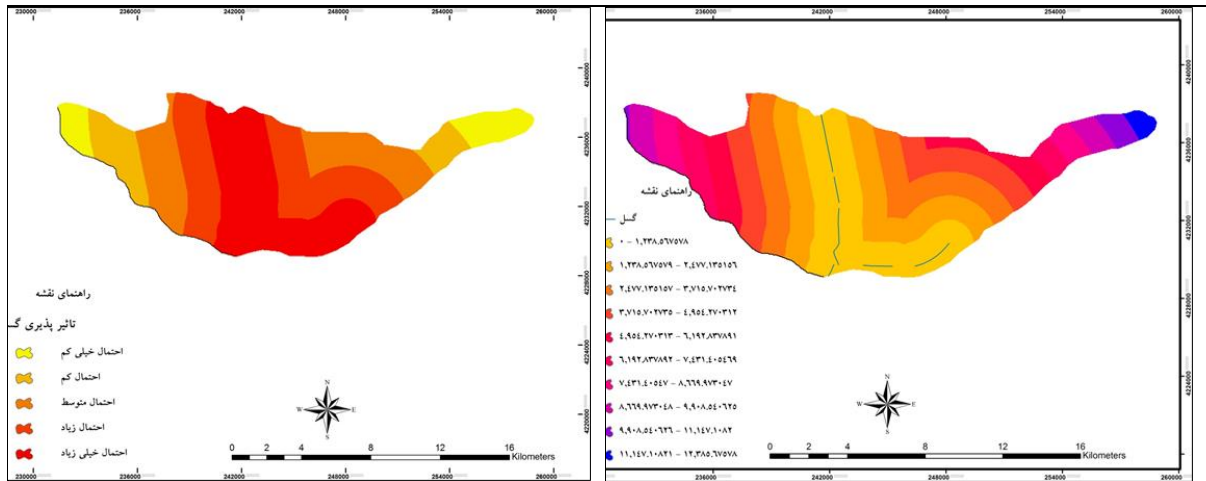
تراکم شبکه‌ی زهکشی یکی از عواملی است که می‌تواند نقش مؤثری در حرکت‌های توده‌ای داشته باشد (عابدینی، ۱۳۹۱: ۴۷). در (شکل ۳، الف) نقشه لایه رستری شده فاصله از رودخانه در ۱۰ کلاس طبقه بندی شده است که تراکم آبراهه نسبتاً در تمام حوضه‌ی مورد مطالعه به صورت یکسان می‌باشد؛ اما در (شکل ۴، ب)، لایه‌ی استاندارد شده فاصله از رودخانه در ۵ کلاس طبقه بندی شده که طبق آنچه که در لایه دیده می‌شود نقاط نزدیک به رودخانه حساسیت بالایی در وقوع زمین‌لغزش دارند که بیش‌ترین احتمال وقوع زمین‌لغزش در کلاس اول یعنی در فاصله ۰/۷۵-۲۹۴ می‌باشد که در نقشه با رنگ آبی پررنگ مشخص شده است.



شکل ۳: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی فاصله از رودخانه، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی فاصله از رودخانه

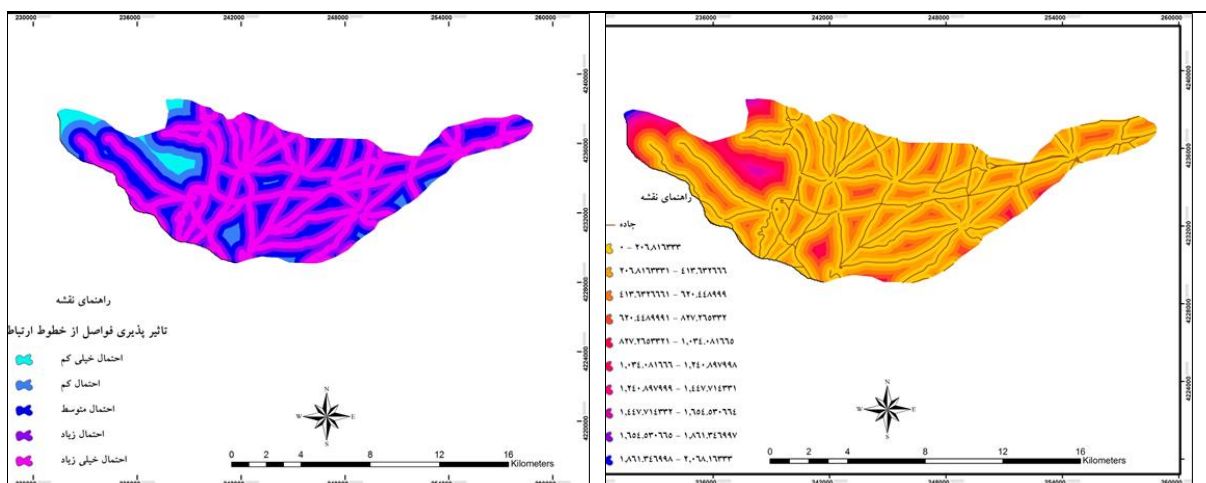
یکی از عوامل ذاتی زمین‌لغزش، ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه می‌باشد که گسل یکی از آنهاست. گسل‌ها از دو نظر می‌توانند در ایجاد زمین‌لغزش مؤثر باشند، اول اینکه منشاء زلزله محسوب شده و در صورت وقوع آن دامنه‌های نزدیک انرژی زلزله را دریافت نموده و در نتیجه شانس وقوع بیشتری جهت گسیختگی و خرد شدن دارند. دوم اینکه مسیری که گسل از آن می‌گذرد، دارای سنگ‌های ضعیف‌تری نسبت به سایر مناطق است که خود عاملی جهت وقوع ناپایداری دامنه‌ها و بالطبع آن وقوع زمین‌لغزش است (عابدینی، ۱۳۹۱: ۴۴). در مورد لایه‌ی فاصله از

گسل، طبق کلاس بندی که در ۵ طبقه صورت گرفته، مناطق نزدیک به گسل در وقوع زمین لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه نقش بیشتری دارند که طبق لایه، در کلاس اول و در فاصله‌ی ۱/۲۴-۰ متری گسل واقع شده و در نقشه با رنگ قرمز مشخص شده است (شکل ۴، ب).



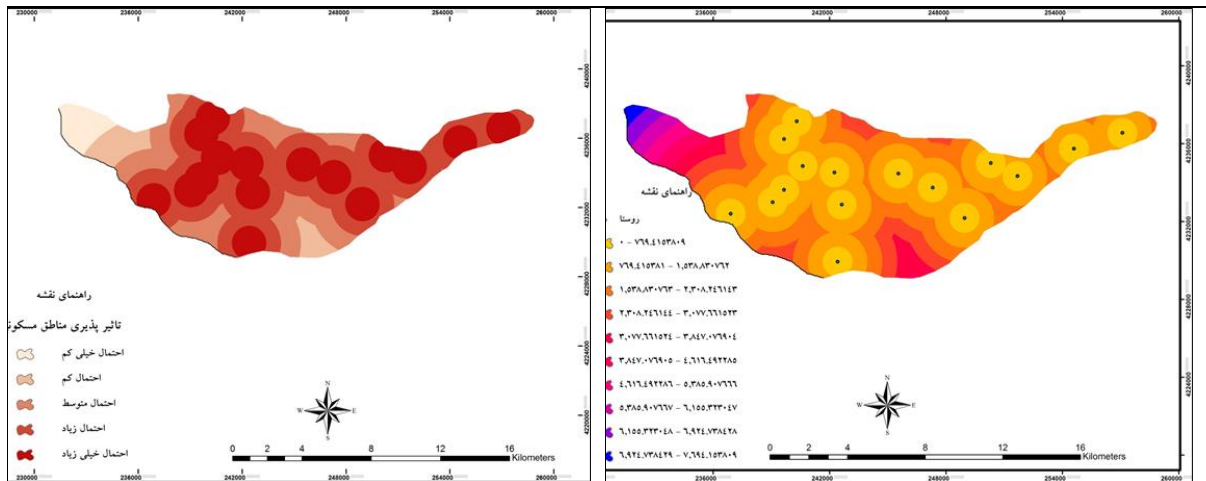
شکل ۴: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی فاصله از گسل ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی فاصله از گسل

نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی همیشه نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات محیطی ایفا می‌کنند. در بسیاری از موارد مکان‌گزینی این کاربری‌ها به اندازه‌ای نامناسب بوده که باعث ایجاد نابسامانی‌ها و اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی شده است (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۲). جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با وقوع زمین لغزش در حوضه‌ی مورد مطالعه، یک لایه‌ی ۱۰ طبقه‌ای ایجاد گردید (شکل ۵، الف). احداث جاده‌ها در صورت غیراستاندارد بودن می‌تواند در وقوع زمین لغزش بسیار مؤثر باشد. لایه‌ی فاصله از جاده که در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده نشان می‌دهد مناطق نزدیک به جاده‌ها از حساسیت بالایی در وقوع زمین لغزش برخوردار است و در کلاس پنجم به فاصله‌ی ۲۰۶/۸۲-۰ متر و با رنگ بنفش مشخص شده است (شکل ۵، ب).



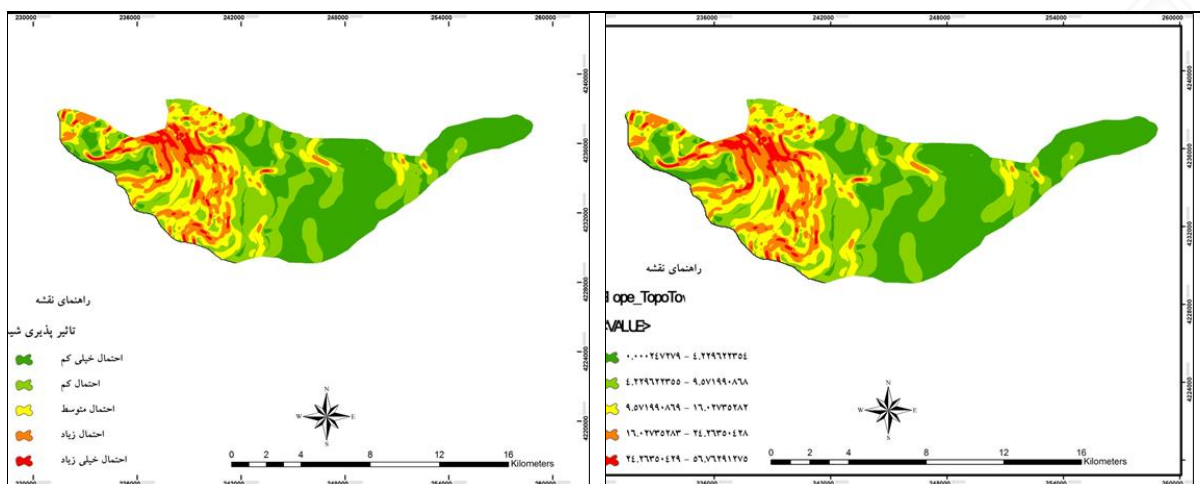
شکل ۵: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی فاصله از جاده ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی فاصله از جاده

مناطق مسکونی نیز در صورت مکان‌گزینی نادرست می‌تواند در خطر وقوع زمین‌لغزش مؤثر باشد. بدین منظور یک لایه‌ی ۱۰ طبقه‌ای ایجاد شده و به بررسی این رابطه پرداخته شده است (شکل ۶، الف). لایه‌ی استانداردشده فاصله از مناطق مسکونی در ۵ گروه طبقه‌بندی شده در (شکل ۶، ب)، نشان می‌دهد نقاط نزدیک به روستاها در وقوع زمین‌لغزش نقش داشته و هرچه از نقاط روستایی دور شویم احتمال وقوع زمین‌لغزش کمتر می‌شود. نقاط دارای حساسیت بالای احتمال وقوع زمین‌لغزش در کلاس اول و در فاصله‌ی ۷۶۹/۴۲-۰ متر از روستاها واقع شده و بارنگ قرمز مشخص شده است.



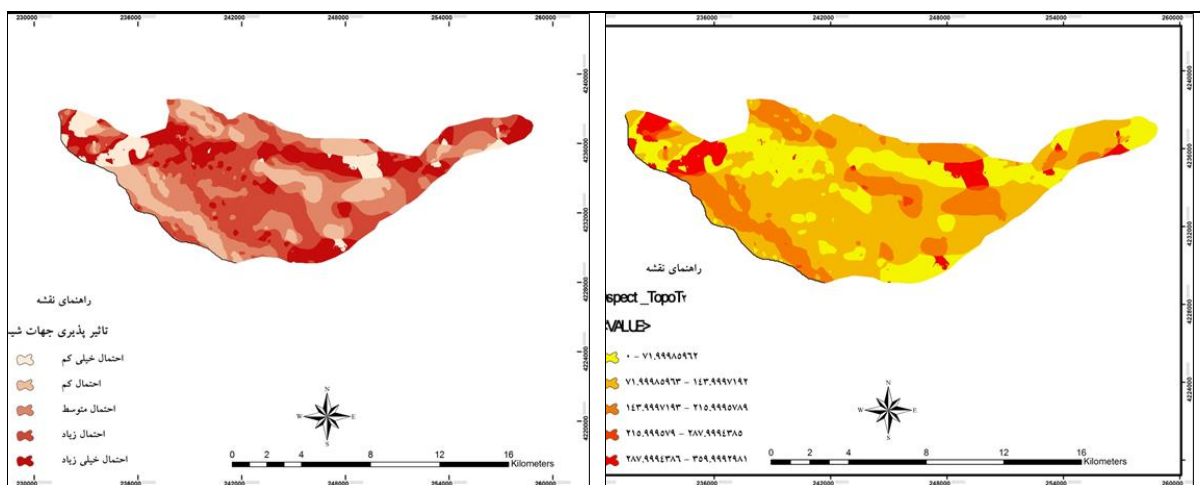
شکل ۶: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی فاصله از مناطق مسکونی، ب) لایه‌ی استانداردشده‌ی فاصله از مناطق مسکونی

هدف از مطالعه‌ی وضعیت توپوگرافی حوضه، آگاهی کامل از جهت‌گیری سیستم ناهمواری و تغییرات شیب و تغییرات آن، ارتفاع مناطق مختلف حوضه، وضعیت سیستم شبکه‌ی زهکشی و اثرات آن‌ها بر روی مسائل ژئومورفولوژی و فرسایش خاک می‌باشد. به عقیده‌ی (lamarche,2001,117)، اگر تمام فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک ثابت نگه داشته شوند با افزایش شیب توپوگرافی حدود ۲ برابر فرسایش خاک به ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد. بعلاوه (Burkard et al,1997,202) به اثرات تغییرات توپوگرافی به عنوان فاکتور مهم در فرسایش خاک در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها پارامتر شیب دامنه به عنوان یکی از اصلی‌ترین لایه‌های اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود (عابدینی، ۱۳۹۱: ۴۵). در (شکل ۷، الف)، نقشه‌ی شیب حوضه‌ی مورد مطالعه در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است و بیش‌ترین احتمال خطر وقوع زمین‌لغزش با توجه به نقشه‌ی مورد نظر در کلاس ۴ یعنی شیب بین ۱۶ تا ۲۴ درصد می‌باشد. در (شکل ۷، ب)، لایه‌ی شیب حوضه‌ی مورد مطالعه در ۵ گروه طبقه‌بندی شده و طبق آن چه در لایه‌ی مورد نظر نشان داده می‌شود مناطق با رنگ قرمز دارای شیب بالاتر و در نتیجه حساسیت بیش‌تری در وقوع زمین‌لغزش دارد.



شکل ۷: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی شیب منطقه، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی شیب

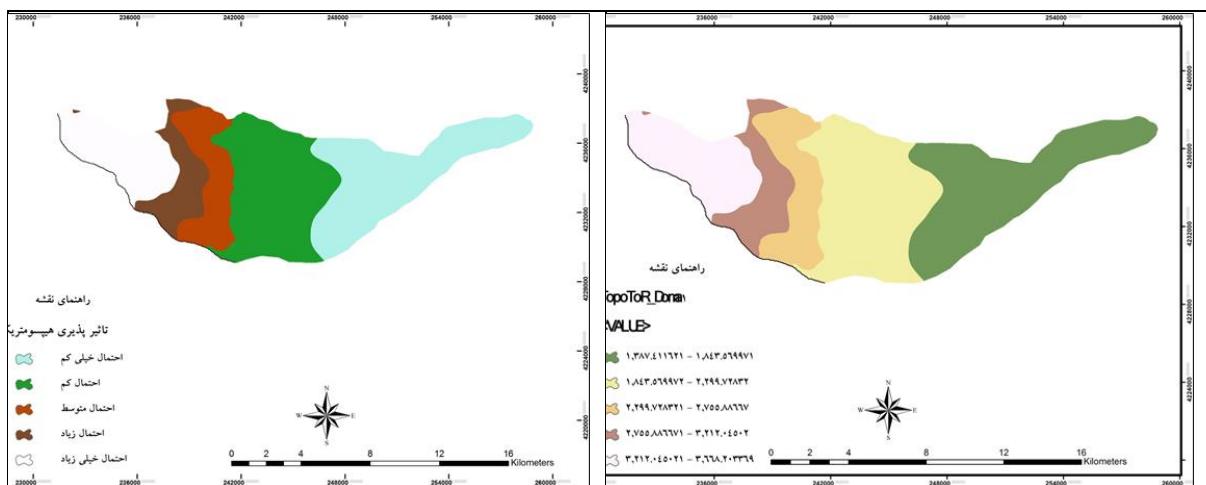
جهت شیب دامنه به عنوان یک عامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌ها مدنظر قرار گرفته است (عابدینی، ۱۳۹۱: ۴۶). در جبهه‌ی شمالی و جنوبی یک کوه تابش خورشید یکنواخت نیست و در نتیجه بسیاری از شرایط طبیعی در منطقه متفاوت است. در نیمکره‌ی شمالی معمولاً جبهه‌ی شمالی کم‌تر از جبهه‌ی جنوبی آفتاب دریافت می‌دارد در نتیجه در جبهه‌ی شمالی به علت بهره‌مندی از رطوبت بیش‌تر رشد گیاهان بیش‌تر و پوشش گیاهی انبوه‌تر است، بنابراین خاک جبهه‌ی شمالی کم‌تر فرسایش می‌یابد (کردوانی، ۱۳۸۹: ۱۱۸). لایه‌ی جهت شیب نیز در این پژوهش در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۸، الف). لایه استانداردسازی شده‌ی جهت شیب حوضه نیز در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. در حوضه‌ی مورد مطالعه دامنه‌های جنوبی بیشتر مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد و در نقشه با رنگ قرمز مشخص شده است (شکل ۸، ب).



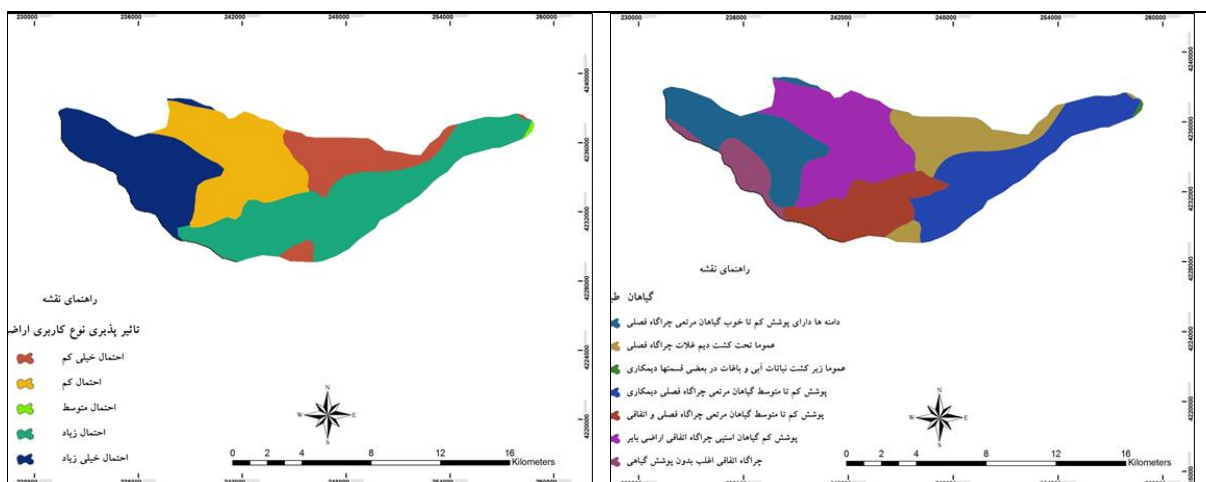
شکل ۸: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی جهات شیب، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی جهات شیب

تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود. این عامل جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه‌ی زهکشی را کنترل می‌کند (عابدینی، ۱۳۹۱: ۵۳). حداکثر ارتفاع حوضه ۳۶۸۰ متر و کمترین ارتفاع آن ۱۳۸۰ متر می‌باشد و اختلاف کلی منطقه ۲۳۰۰ متر می‌باشد (شکل ۹، الف). لایه‌ی استانداردسازی شده طبقات ارتفاعی حوضه‌ی مورد مطالعه در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده و نشان می‌دهد از شرق حوضه به سمت غرب آن،

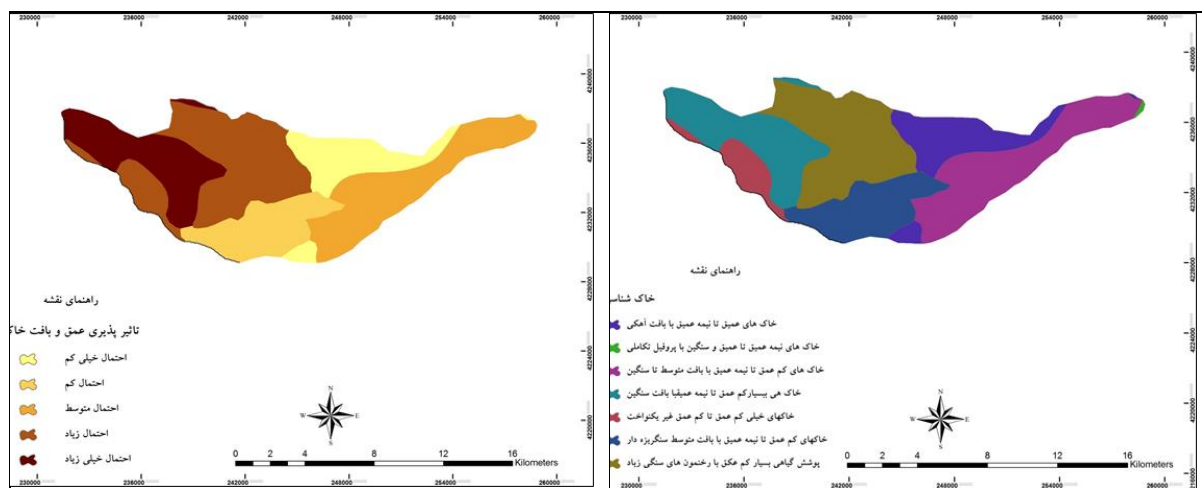
بر میزان ارتفاع افزوده می‌شود نقاط دارای رنگ روشن با ارتفاع ۳۶۶۸-۳۲۱۲ متر برای وقوع زمین‌لغزش مستعدتر می‌باشد (شکل ۹، ب).



کاربری اراضی یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه‌ی پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در یک ناحیه است. کاربری زمین ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تغییر رفتار آن در مقابل فرایندهای زمین-شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازدگی و فرسایش می‌شود و در نتیجه ویژگی‌های ذاتی زمین از نظر خواص مهندسی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مواردی تغییر ناآگاهانه‌ی کاربری اراضی سبب آسیب‌پذیری محیط در برابر انواع لغزش می‌شود. میزان و شدت این آسیب‌پذیری به طور مستقیم با نوع و چگونگی تغییرات انجام شده در رابطه است (رنجبر و افتخاری، ۱۳۹۱: ۱۱۷). نقشه‌ی کاربری اراضی در ۷ کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۰، الف). لایه‌ی استانداردسازی شده کاربری اراضی در ۶ کلاس طبقه‌بندی شده مناطق غربی حوضه که دارای پوشش گیاهی کم‌تری است نسبت به وقوع زمین لغزش دارای حساسیت بالا بوده و در لایه‌ی مورد نظر به رنگ آبی تیره مشخص شده است (شکل ۱۰، ب).



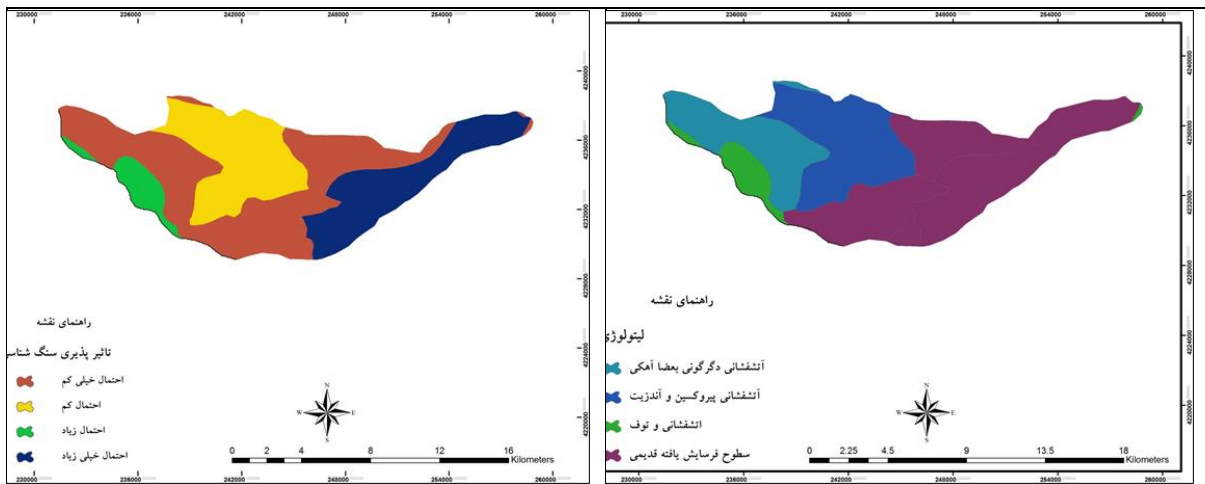
از عوامل دیگری که می‌تواند در وقوع زمین‌لغزش مؤثر باشد وجود خاک‌های کم‌عمق در منطقه می‌باشد. خاک‌های کم‌عمق و جوان نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارد و می‌تواند باعث تسریع این پدیده شود. لایه‌ی خاک‌های موجود در حوضه در ۷ کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۱، الف). خاک‌های موجود در حوضه عموماً جزو خاک‌های جوان و کم‌عمق می‌باشد که مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. طبق آن چه که در لایه مشاهده می‌شود مناطق با خطر بسیار بالا برای وقوع زمین‌لغزش دارای خاک‌های بسیار کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت سنگین می‌باشد و با رنگ قهوه‌ای پررنگ مشخص شده است (شکل ۱۱، ب).



شکل ۱۱: ب) لایه‌ی رستری شده‌ی خاک‌شناسی، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی خاک

تهیه‌ی نقشه‌های لیتولوژی از مهم‌ترین کارهای یک ژئومورفولوگ می‌باشد. برای اینکه عملکرد نیروهای دینامیک درونی و بیرونی در ساختمان‌های با لیتولوژی متفاوت یکسان نخواهد بود. در اثر اعمال نیروهای زمین‌ساختی به صورت استرس فشارشی و نیز نیروهای تانسیون یا کششی، رفتار سازندهای سست با سازندهای سخت و مقاوم بسیار متفاوت می‌باشد. معمولاً بیشتر شکست‌ها و درز و ترک دیاکلازها در سازندهای سخت و مقاوم یا بسیار مقاوم شکل می‌گیرد مانند سنگ‌های آهکی و دولومیتی و اغلب سنگ‌های آذرین مقاوم. در مقابل سازندهای سست و نرم رسی، مارنی و سازندهای آبرفتی نیمه‌متراکم تا جوان یا نامتراکم به راحتی در برابر نیروهای عمودی و جانبی وارد، کج و معوج می‌شوند یا به سهولت چین‌خوردگی پیدا می‌کنند. سیستم‌های هوازدگی نیز در سنگ‌های با لیتولوژی متنوع، متفاوت عمل می‌نمایند. مقاومت لیتولوژیکی سازندها نه تنها با درجه سختی متوسط کانی‌ها، رنگ و چگالی آن‌ها بلکه تحت تأثیر نوع آب و هوا نیز متفاوت می‌باشد. به عنوان نمونه مقاومت سنگ‌ها در برابر عوامل یا سیستم‌های آب و هوایی عرض‌های مختلف جغرافیایی بسیار متفاوت می‌باشد. بررسی مقاومت یا سختی و نرمی سازندهای در برابر عوامل فرسایش، نقش مهمی در مطالعات ژئومورفولوژی دارد. جهت پی بردن به مقاومت سنگ‌ها در برابر سیستم‌های فرسایش طبقه‌بندی مقاومت سنگ‌های حوضه بر مبنای برخی شاخص‌ها مانند نوع سازند، میزان هوازدگی و ... به عمل می‌آید (عابدینی، ۱۳۹۱: ۴۹). سازندهای موجود در حوضه‌ی مورد مطالعه در ۴ گروه لیتولوژیکی طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۲، الف). سنگ‌های موجود در حوضه جزو سنگ‌های آتشفشانی دگرگونی است و در برخی مناطق سنگ‌های آهکی و خاک‌های فرسایش یافته قدیمی نیز دیده می‌شود. با توجه به لیتولوژی حوضه، مناطق دارای

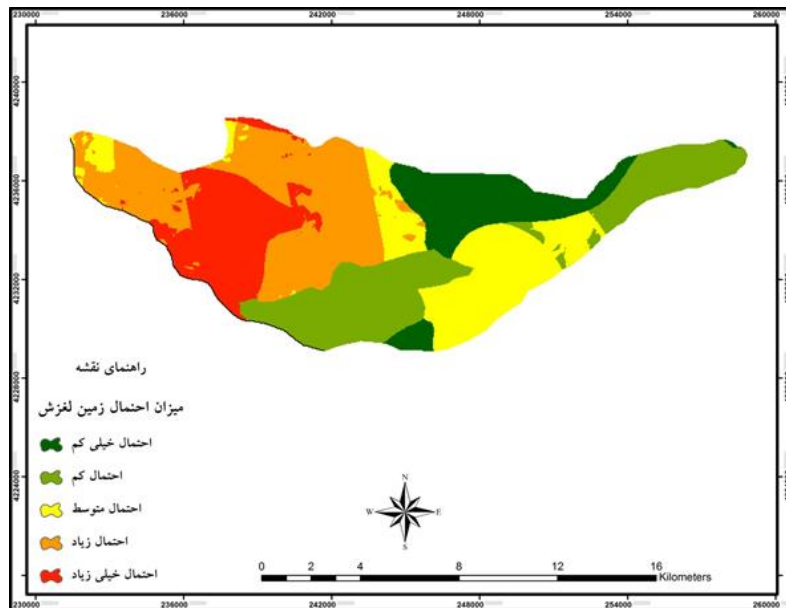
حساسیت بالای وقوع زمین لغزش دارای سطوح فرسایشی قدیمی می باشد و با رنگ آبی پررنگ مشخص شده است (شکل ۱۲، ب).



شکل ۱۲: الف) لایه‌ی رستری شده‌ی لیتولوژی، ب) لایه‌ی استاندارد شده‌ی لیتولوژی

نتیجه گیری

بر اساس مطالعاتی که در حوضه‌ی مورد مطالعه انجام شد، تاکنون گزارشی از وقوع زمین لغزش در این محدوده ارائه نشده است. بعد از انجام پژوهش، با همپوشانی و تلفیق لایه‌های ۱۱ گانه که در وقوع زمین لغزش حوضه‌ی نوران چای مؤثر است اقدام به پهنه‌بندی احتمال وقوع خطر وقوع زمین لغزش شد که در شکل ۱۲، نقشه‌ی نهایی نشان داده شده است. در این نقشه، میزان احتمال خیلی کم با وزن نهایی $0.72-1.23$ با مساحت $1787/87$ هکتار و با رنگ سبز تیره نشان داده شده است؛ همچنین میزان احتمال کم با وزن نهایی $1.76-1.23$ با مساحت $3035/99$ هکتار و با رنگ سبز کم‌رنگ، میزان احتمال متوسط با وزن نهایی $2.06-1.76$ با مساحت $2666/79$ هکتار و رنگ زرد، میزان احتمال زیاد با وزن نهایی $2.27-2.06$ با مساحت $3689/07$ هکتار و رنگ نارنجی و پهنه‌ی با میزان احتمال خیلی زیاد برای وقوع زمین لغزش با وزن نهایی $2.59-2.27$ با مساحت $2062/36$ هکتار و رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۱۳: نقشه‌ی احتمال وقوع زمین لغزش

نتایج به دست آمده از مطالعات که نشان‌دهنده‌ی مساحت میزان خطر وقوع زمین لغزش در منطقه می‌باشد، در جدول شماره ۴، آمده است.

جدول ۴: نتایج نهایی خطر وقوع زمین لغزش

میزان احتمال خطر وقوع زمین لغزش	درصد مساحت احتمال وقوع زمین لغزش در حوضه	مساحت احتمال وقوع زمین لغزش (به هکتار)
خیلی زیاد	۱۵/۵۷	۲۰۶۲/۳۶
زیاد	۲۷/۸۶	۳۶۸۹/۰۷
متوسط	۲۰/۱۴	۲۶۶۶/۷۹
کم	۲۲/۹۳	۳۰۳۵/۹۹
خیلی کم	۱۳/۵۰	۱۷۸۷/۸۷
جمع	۱۰۰	۱۳۲۴۲/۰۸

منابع

امیراحمدی، ابوالقاسم، شکاری بادی، علی، معتمدی‌راد، محمد، بینقی، مریم. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، صص ۲۱۴-۲۳۰. [20.1001.1.22519424.1394.4.3.15.2](https://doi.org/10.1001.1.22519424.1394.4.3.15.2)

خالدی، شهریار، درفشی، خهبات، مهرجونزاد، اکبر، قره‌چاهی، سعیده، خالدی، شاهین. (۱۳۹۱). ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی آبخیز طالقان)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌ی اول. صص ۶۵-۸۲.

[10.22067/GEO.V11I1.16523](https://doi.org/10.22067/GEO.V11I1.16523)

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۸۸). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ ششم، دانشگاه تهران.
رنجبر، محسن، معمارافتخاری، محمد. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پدیده‌ی لغزش با استفاده از روش LNRFR در جاده‌ی هراز از امامزاده هاشم تا لاریجان، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال دهم، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۳۳.

<https://www.magiran.com/p1030717>

سرور، جلیل‌الدین، ایلدرمی، علی‌رضا، روزبھانی، حبیبه. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی حرکات توده‌ای با استفاده از مدل LNRFR (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی سد کلان ملایر)، آمایش محیط، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱-۲۱.

صداقت، محمود، معماریان، حسین. (۱۳۸۱). زمین‌شناسی فیزیکی، چاپ چهارم، دانشگاه پیام نور، جلد ۱.
طولابی، سوسن، عابدینی، موسی. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه نوژیان با مدل‌های همپوشانی فازی و AHP، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۹۳-۱۰۳.

موسی عابدینی، محمد حسین فتحی و شهرام روستایی. (۱۳۹۷). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از روش شئی گرا و تئوری احتمالات شرطی (قضیه بیز) مطالعه موردی (کرانه جنوبی حوضه آبریز اهرچای از روستای نصیر آباد تا سد ستارخان)، مجله فضای جغرافیایی اهر. شماره ۶۴، زمستان، صص ۴۰-۲۱.

عابدینی، موسی و الناز پیروزی (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق روش های Hot Spot، ANP و WIC (مطالعه موردی: شهرستان خلخال). جغرافیا و مخاطرات محیطی. دروه ۸ شماره ۴ و پیاپی ۳۲. صص ۱۹-۳۶.

[10.22067/GEO.V0I0.81836](https://doi.org/10.22067/GEO.V0I0.81836)

قاطع، ناصر، ملک‌زاده دیلمقانی، توحید، پورقاسمی، الهامه. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالهارود شهرستان گرمی)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۶، شماره ۳، صص ۱۴۵-۱۶۴. [10.22034/GAHR.2023.394638.1860](https://doi.org/10.22034/GAHR.2023.394638.1860)

کردوانی، پرویز. (۱۳۸۹). حفاظت خاک، چاپ دهم، دانشگاه تهران.

کرم، امیر، تورانی، مریم. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مطالعه موردی: محور هراز از رودهن تا رینه، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره‌ی ۲۸، صص ۱۹۰-۱۷۶.

لجم‌اورک، مرتضی، پیری، زهرا. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعه موردی: شهرستان باغملک)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره ۴۷، صص ۱۹۳-۲۱۵. [10.22067/GEOEH.2022.77009.1239](https://doi.org/10.22067/GEOEH.2022.77009.1239)

معزز، سمیه، روستایی، شهرام، رحیم‌پور، توحید. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۲، صص ۲۳-۳۷.

یمانی، مجتبی، احمدآبادی، علی، زارع، غلامرضا. (۱۳۹۱). به کارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان‌بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز درکه)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌ی سوم. صص ۱۲۵-۱۴۲.

Abedini, M., Tulabi, S., 2018. Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran, Environmental Earth Science, vol 77:405-pp1-13. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7524-1>

Abedini, M., Ghasemyan, B., Rezaei Mogaddam M. H., 2017. Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models, Environmental Earth Science ,vol 76 pp. DOI: [10.1007/s12665-017-6502-3](https://doi.org/10.1007/s12665-017-6502-3)

Burkard D.M.B,R and Kostaschuk. 1997. pattern and controls of Gully Growth along the shoreline of Lake Huron. Earth processes and Land forms. 22: 201-911.

Jena, R., Pradhan, B. 2020. Integrated ANN-cross-validation and AHP-TOPSIS model to improve earthquake risk assessment. International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 50, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101723>.

Lamarche, J.L, 2001. Effects of forest roads on floods flows in the Descutes river, washinton. Earth processes and Land forms. 26: 115-134.

Li, R., Huang, S., Dou, H. 2023. Dynamic Risk Assessment of Landslide Hazard for Large-Scale Photovoltaic Power Plants under Extreme Rainfall Conditions. Water, 15(15): 2832:<https://doi.org/10.3390/w15152832>.

Lyu, H.M., Yin, Zh.Y., 2023. An improved MCDM combined with GIS for risk assessment of multi-hazards in Hong Kong. Sustainable Cities and Society, Volume 91: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104427>.

Saaty, T. L. 1999, "Fundamentals of the Analytic Network Process", Proceedings of ISAHP 1999, Kobe, Japan. 1-14.

Saleem, J., Ahmad, Sh.S., Butt, A. 2020. Hazard risk assessment of landslide-prone sub-Himalayan region by employing geospatial modeling approach. Natural Hazards, 102: 1497–1514.

Swetha, T.V., Gopinath, G. 2020. Landslides susceptibility assessment by analytical network process: a case study for Kuttiyadi river basin (Western Ghats, southern India). SN Applied Sciences, 2:1776: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03574-5>.

Yang, X., Hao, Zh., Liu, K., Tao, Zh., Shi, G. 2023. An Improved Unascertained Measure-Set Pair Analysis Model Based on Fuzzy AHP and Entropy for Landslide Susceptibility Zonation Mapping. Sustainability, 15(7), 6205: <https://doi.org/10.3390/su15076205>.

Zhao, H., Yao, L., Mei, G., Liu, T., Ning, Y. 2017. A Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on AHP and Entropy for a Landslide Susceptibility Map, Entropy, 19(8), 396: <https://doi.org/10.3390/e19080396>.

Zhou, J., Tan, Sh., Li, J., Xu, J., Wang, Ch., Ye, H. 2023. Landslide Susceptibility Assessment Using the Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study of a Construction Site for Photovoltaic Power Generation in Yunxian County, Southwest China. Sustainability, 15(6), 5281: <https://doi.org/10.3390/su15065281>.