



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۳، صص ۸۴۲-۸۲۲

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در گردنه صائین (محور ارتباطی شهر اردبیل -

سراب)

عقیل مددی^{۱*}، داور تقی زاده^۲

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

aghil48madadi@yahoo.com

۲. دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

چکیده

زمین لغزش از مهم‌ترین فرآیندهای مخاطره آمیز ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای نقش به‌سزایی در تحول دامنه‌ها ایفا می‌نماید، گردنه صائین، در محور ارتباطی اردبیل - سراب به دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های انسانی از دیرباز تحت تأثیر رانش زمین بوده است. در راستای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش گردنه صائین در محور ارتباطی نیر- سراب از ۹ متغیر مهم موثر بر وقوع زمین لغزش شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارش و فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و فاصله از راه ارتباطی استفاده شد. وزن‌دهی عوامل مورد بررسی با استفاده از روش ANP و در محیط نرم‌افزار Super Decision انجام شد. در نهایت، لایه‌های موضوعی مؤثر بر رویداد زمین لغزش با توجه به وزن یا ضریب آن‌ها (حاصل از مدل ANP) در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از روش ترکیب وزنی، با یکدیگر ترکیب و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محور ارتباطی نیر- سراب به‌دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، فاکتورهای شیب، ارتفاع، لیتولوژی و فاصله از گسل، به ترتیب با مقدار ۰/۲۰۹، ۰/۱۳۹، ۰/۱۳۲ و ۰/۱۲۴ بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. حاصل از این مطالعه، بیانگر ریسک بالای محدوده مورد مطالعه، از لحاظ وقوع زمین لغزش می‌باشد. مناطق پرخطر عمدتاً در شیب ۱۰-۴۰ درصد، در مناطق با بارندگی ۳۰۰-۴۵۰ میلی متر و در فواصل نزدیک از جاده ارتباطی، رودخانه و گسل قرار دارند. همچنین، سازندهای بسیار نامقاوم، نامقاوم و نیمه مقاوم و کاربری‌های کشاورزی و مرتعی، شیب‌هایی با جهت شمال، غرب و شمال‌غرب، نسبت به وقوع زمین لغزش حساسیت بالاتری دارند.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، مدل ANP، GIS، گردنه صائین.

مقدمه

یکی از مسایل ژئومورفولوژیکی، بحث مخاطرات در بستر خطوط ارتباطی و جاده‌ها می‌باشند. مخاطرات ژئومورفولوژیکی از جمله عوامل تهدیدکننده خطوط ارتباطی مناطق کوهستانی محسوب می‌شوند که وقوع آن‌ها منجر به تلفات جانی و ضررهای مادی و اقتصادی زیادی می‌گردد. زیرا طرق ارتباط به دلیل گستردگی بیش از حد خود، از واحدهای طبیعی گوناگون که هر یک از ویژگی‌های ژئومورفولوژیک خاصی برخوردارند، عبور می‌کند. ناهمواری‌ها با عوامل مورفونیک، پیوندی ناگسستنی داشته و عامل مهمی در کیفیت استقرار جاده‌ها به شمار می‌روند (رجایی، ۱۳۷۳). یکی از این پدیده‌های مخاطرات آمیز بالقوه ژئومورفولوژیک تاثیر گذار بر جاده‌های ارتباطی زمین‌لغزش‌ها هستند زمین لغزش^۱، از مسایل طبیعی و اصلی‌ترین پدیده‌های جغرافیایی می‌باشد که دارای مخاطرات طبیعی فراوانی در گستره کره زمین می‌باشند. زمین‌لغزش باعث تغییرات در مورفولوژی محیط و تحمیل خسارات به تأسیسات عمرانی سطح زمین می‌شود. از این حیث یکی از مسایل ژئومورفولوژیکی، در احداث و عمران جاده‌ها در مناطق کوهستانی، عدم تعادل سامانه‌های ژئومورفولوژیکی در این پهنه‌هاست، زیرا در مسیر استقرار جاده، قسمتی از دامنه قطع می‌شود و فرایندهایی که در حال توازن با دامنه‌ها بودند، در اثر برش دامنه، در وضعیت بی‌تعادلی قرار می‌گیرند که سبب تشدید حرکات دامنه‌ای می‌شود. نمونه بارز و مورد مطالعه در این تحقیق زمین‌لغزش گردنه صائین، می‌باشد. در شانزدهم خرداد ماه سال هزار و سیصد و هشتاد و چهار، در محور مواصلاتی این گردنه، زمین‌لغزه نسبتاً بزرگی رخ داد که در اثر آن حدود یک کیلومتر از محور فوق‌الذکر از بین رفت و خسارات جانی و مالی فراوانی را به وجود آورد (مددی، ۱۳۸۹) با توجه به اینکه عوامل گوناگونی در رویداد این حرکات مؤثر می‌باشد، شناسایی و نحوه دخالت آن‌ها در روش‌های مختلف پهنه‌بندی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حفیظی و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی زمین لغزش سال ۱۳۸۴ گردنه صائین اردبیل، به منظور تأمین ایمنی راه با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی دوبعدی و سه بعدی برای تشخیص توده ناپایدار در محل پرداخته است تا در ساخت جاده جدید ملاحظات لازم در نظر گرفته شود. در این تحقیق داده‌های حاصل از سونداژ ژئوالکتریک با روش وارون‌سازی دو بعدی و سه بعدی بلوکی مورد تفسیر قرار گرفت که به خوبی قادر به تشخیص گسترش هندسی زمین‌لغزش و سطح لغزش می‌باشد. براین اساس محل عبور سازه خطی که ایمنی لازم را داشته باشد، پیشنهاد شده است. مددی (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل آنبالاگان به بررسی میزان ناپایداری در جاده ارتباطی گردنه صائین پرداخت. در این مطالعه، تمامی منطقه به ۳۲ بخش تقسیم شده و سپس فاکتورهای مؤثر در لغزش به طور جداگانه در هر کدام از بخش‌ها مورد بررسی قرار گرفته شده است. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله روابط ریاضی بین فاکتورهای حجم و مساحت لغزش توده‌ای در گردنه صائین (شهرستان نیر)، به بررسی لغزش‌های گردنه صائین

¹landslide

در بازه زمانی (۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵)، ساله پرداخته‌اند. آن‌ها با انجام محاسبات در مورد لغزش‌ها مشاهده نمودند که بین مساحت منطقه لغزشی و حجم لغزش ارتباط معنی‌داری وجود داشته است. اسفندیاری درآباد و بهشتی‌جاوید (۱۳۹۵)، در مطالعات خود به طبقه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش هیبریدی قضیه بیز ANP، در محور ارتباطی حیران در استان گیلان پرداختند. آن‌ها بدین منظور از تلفیق مدل‌های چند معیاره و آماری و نیز از ۱۲ متغیر شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، نزولات جوی، تراکم پوشش گیاهی، شاخصه طول شیب، شاخصه رطوبت توپوگرافیک، شاخصه قدرت آبراهه، دوری یا نزدیکی از جاده، دوری از گسل و دوری از آبراهه استفاده کردند. نیال^۲ و همکاران^۳ (۲۰۱۹)، در پژوهشی با استفاده از روش آنالیز خطی و با به کارگیری عوامل، شیب، گسل، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده به ارزیابی حساسیت به زمین‌لغزش در امتداد بزرگراه آرانیکو (Araniko) پرداختند. مناطق با شیب ۴۰-۶۰ درجه، جهت جنوب‌شرقی و جنوب، در ۵-۰ کیلومتری شمال از MCT و ۱۰-۲۰ کیلومتر فاصله از مرکز شهر، نسبت به زمین‌لغزش حساسیت بیشتری دارند. خان^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی و ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از نسبت فرکانس در شمال پاکستان (CKNP i Gilgit) پرداختند. آن‌ها ابتدا از تصویر ماهواره‌ای SPOT-5 مربوط به سال ۲۰۱۳، طبقات ارتفاعی ۳۰ متری برای منطقه مورد نظر را تهیه کردند و از نرم‌افزارهای سنجش از دوری در این مطالعه بهره بردند و عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، از جمله؛ توپوگرافی منطقه (شیب و جهت شیب)، لیتولوژی، کاربری‌های اراضی، دوری از گسل، دوری از جاده را مورد ارزیابی قرار دادند. قربان‌زاده^۵ و همکاران (۲۰۱۹)، به ارزیابی روش‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)^۶ و (RF)، جهت بررسی زمین‌لغزش در منطقه رسووا (Ra u w a)، واقع در نیال پرداختند. در این مطالعه، از داده‌های اپتیک از ماهواره R a I d E ye، فاکتورهای توپوگرافی استفاده کردند. شیونگ^۷ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از روش شبکه رویکرد عصبی، ارزیابی خطر لغزش در منطقه گوانگویان واقع در کشور چین را مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله با تجزیه و تحلیل الگوهای حوادث رانش زمین لغزش تاریخی در امتداد خطوط لوله نفت و گاز (به طول ۸۲ کیلومتر)، یک مدل کمی برای ارزیابی ریسک منطقه‌ای ارائه داده‌اند. لو^۸ و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقی به ارزیابی حساسیت رانش زمین در معادن، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، مدل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و مدل ارزش اطلاعات (IVM)^۹، با توجه

^۲ Nepal

^۳ Khan

^۵ Ghorbanzadeh

^۶ Support Vector Machine

^۷ Shiung

^۸ Lu

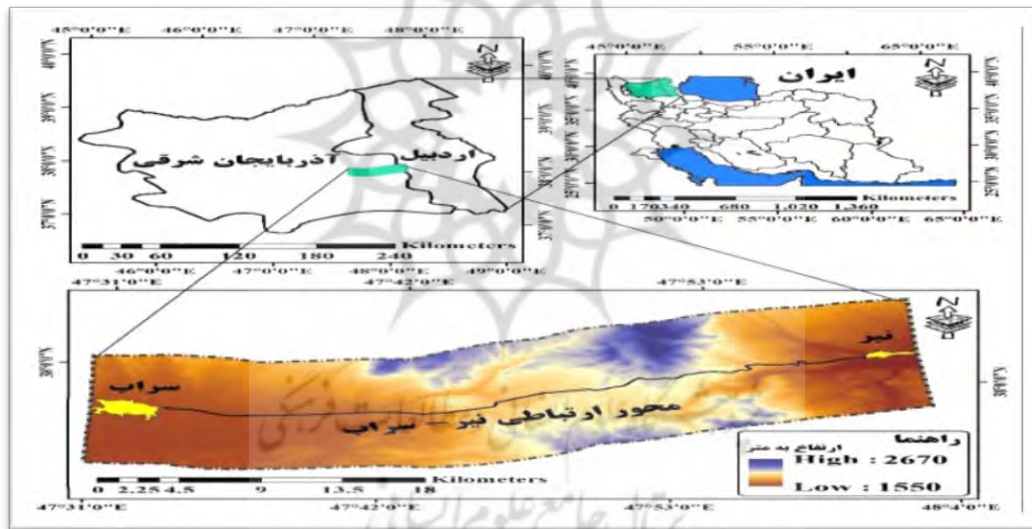
^۹ Information Value Model

به عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، در شهر شانگلی چین پرداختند. بنابراین هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در گردنه صائین (محور ارتباطی شهر اردبیل - سراب) می‌باشد.

روش پژوهش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، با مساحت ۷۷۲ کیلومترمربع در شمال غرب ایران و در جنوب غربی شهر نیر (در غرب استان اردبیل) تا شهر سراب (استان آذربایجان شرقی)، واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۸ درجه قرار گرفته است (شکل ۱). در این منطقه جاده اردبیل - سراب از یک ناحیه کوهستانی عبور می‌نماید که به گردنه صائین معروف است. کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر به همراه کوه های اقماری آن، از شمال و شمال غربی منطقه را احاطه کرده و کوه قصر (قصر داغی) در غرب نیر و کوه های بزقوش در غرب و جنوب غربی آن قرار دارند. این منطقه عمدتاً از سنگ های آذرآواری دوران سوم و نهشته های آبرفتی دوران چهارم تشکیل شده است (اصغری سراسکانرودی و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

پژوهش حاضر با استفاده از فنون تحلیل چند معیاره ANP، مطالعات اسنادی شامل مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی متون در ارتباط با موضوع پژوهش، مطالعه تحقیقات گذشته و استفاده از ایده و اظهارات کارشناسان امر در خصوص پارامترهای مهم دخیل در وقوع زمین لغزش، استفاده از گزارش ها، آمار، جداول و آرشیوهای اطلاعاتی سازمان ها و اداراتی که می‌توانند نیاز اطلاعاتی تحقیق حاضر را فراهم کنند و نقشه های رقومی در راستای استخراج داده های مورد نیاز استفاده و تدوین یافته است. همچنین در حوزه میدانی نیز بررسی ها و

پیمایش‌های میدانی در منطقه با اهداف شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش منطقه میدانی و بررسی صحت و سقم اطلاعات موجود بر روی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی با واقعیت‌های محلی انجام یافته است.

مراحل تصمیم‌گیری به روش ANP

- ۱- ساختمان مدل و ساختمان مسأله بایستی به وضوح و به شکل یک سیستم منطقی بیان شد باشد.
- ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها: در این گام، مسأله‌ی تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌گردد.
- ۳- ماتریس مقایسه دودویی و بردار ارجحیت: این قسمت شبیه به ماتریس مقایسه‌ای سلسله مراتبی بوده که در آن عنصرهای سیستم در هر گروه با توجه به اهمیتی که دارند نسبت به کنترل معیار مقایسه می‌شوند، خود گروه‌ها نیز با توجه به اهمیت شان در شکل‌دهی به هدف مقایسه می‌شوند.
- ۴- تشکیل سوپرماتریس‌ها: الف- تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی ب- تشکیل سوپرماتریس وزنی ج- تشکیل سوپرماتریس حدی: سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند.
- ۵- نتایج ماتریس خوشه‌ها
- ۶- نتیجه نهایی عناصر

هر چند فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای نیز یک معیار سنجش نسبی مبتنی بر مقایسه‌های زوجی را به کار می‌برد، لیکن به مثابه فرایند AHP یک ساختار محض سلسله مراتبی را به مسأله تحمیل نمی‌کند، بلکه مسأله تصمیم‌گیری را با به کارگیری دیدگاه سیستمی همزمان با باز خورد مدل سازی می‌کند (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹).

نگرش سوپرماتریس

نگرش سوپرماتریس به عنوان فرآیندی که در تحلیل شبکه‌ای (ANP)، شناخته می‌شود، تبدیل به یک وسیله کارآمد برای فهم دقیق‌تر مسأله و تصمیم‌گیری می‌باشد. چون بر محدودیت‌های ساختارهای AHP فائق می‌آید. چنین سامانه‌هایی به وسیله یک شبکه جهت دار ارائه می‌گردد، به طوری که یک سطح یا خوشه امکان دارد. به طور با واسطه یا بلاواسطه، به وسیله خصوصیات دیگر تصمیم و سطوح متأثر گردند.

ارتباط و همبستگی در مدل ANP

این مرحله از بارزترین بخش‌های تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای به شمار می‌رود. بعد از تشخیص دسته‌های شبکه، بایستی به هم اتصال یابند که این اتصال بر مبنای نوع روابط بین عنصرهای درونی آن‌ها صورت می‌پذیرد. اصول و اساس منطق روش فرایند تحلیل شبکه بر این مبنا استوار است که بتوان روابط و آثار ملاک‌ها و دسته‌ها را بر یکدیگر

وارد مساله نماییم که در این حالت باید هر عنصر داخل یک گروه را به عنصرهای دیگری که در درون همان گروه و چه در درون گروه‌های دیگر تاثیرگذار است را تشخیص و عنصر مبدأ را به آن عناصر اتصال دهیم. با این توصیف دو گونه وابستگی اصلی در هر شبکه می‌تواند وجود داشته باشد:

الف) وابستگی فی مابین خوشه‌ها به صورتی که هر خوشه می‌تواند با خوشه دیگر در هر سطح تصمیم‌گیری واجد ارتباط متقابل و بازخوردی باشد.

ب) وابستگی میان عنصرهای خوشه‌ها به طوری که هر عنصر در هر خوشه می‌تواند با کل عنصرهای موجود در دیگر خوشه‌ها وابستگی درونی داشته باشد و حتی عنصری داخلی یک خوشه نیز می‌تواند با یکدیگر وابستگی داشته باشد (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹).

مقایسه‌های زوجی در مدل ANP

مقایسه‌ها، شامل دو بخش اصلی است که به ترتیب شامل:

۱- مقایسه‌های خوشه‌ها: مقایسه خوشه‌ها برای به دست آوردن اثار متقابل خوشه‌ها یا اولویت آن‌ها نسبت به هم صورت می‌گیرد. مقایسه خوشه‌ها زمانی صورت می‌گیرد که تعداد آن‌ها دست کم ۳ باشد. در صورتی که نخواهند مقایسه‌ای بین دسته‌ها انجام دهند باید وزنی مساوی به هر کدام از خوشه‌ها تخصیص دهند.

۲- مقایسه‌های عنصرهای خوشه‌ها: در این قسمت، با لحاظ هر ملاک کنترلی، عنصرها تحت تأثیر از آن‌ها، نسبت به یکدیگر مقایسه می‌شوند.

در مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP)، محاسبه مقادیر اهمیت نسبی مشابه با مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بوده و با کمک طیف ۱ تا ۹ صورت می‌پذیرد (جدول ۱) (قنبری و روستایی، ۱۳۹۲). بدیهی است که در طی این فرایند بالاترین وزن یا ارجحیت به تاثیرگذارترین متغیر در رابطه با رخداد زمین‌لغزش اختصاص داده می‌شود که در نرم‌افزار Super Decisions به صورت عددی، گرافیکی و شفاهی قابلیت اجرا دارد.

جدول ۱: مقایسات زوجی در مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP) (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴)

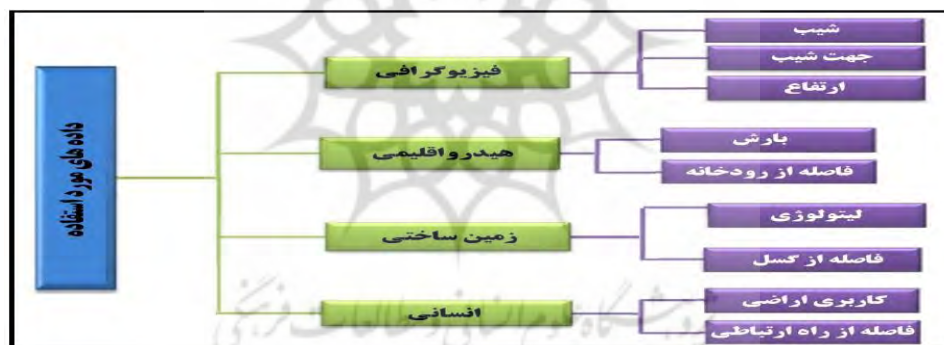
مقدار عددی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
درجه اهمیت	اهمیت برابر	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط	اهمیت متوسط	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی	اهمیت قوی	از اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی	اهمیت خیلی قوی	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق العاده قوی	اهمیت فوق العاده قوی

مقدار یا نمره A_{ij} در ماتریس مقایسه زوجی بیانگر میزان اهمیت نسبی مولفه در سطر (i) بر مولفه در ستون (j) است؛ یعنی $a_{ij} = w_i/w_j$ (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). ارزش معکوس $(1/a_{ij})$ زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مولفه j از مولفه i مهم‌تر باشد. اگر تعداد n مولفه وجود داشته باشد، در این صورت n مولفه با هم مورد مقایسه قرار می‌گیرند (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹).

تعیین معیارها و شاخص‌ها و تبیین روابط بین عناصر و خوشه‌ها

با توجه به ویژگی‌های طبیعی و انسانی محدوده مورد مطالعه، تعداد ۹ متغیر مهم برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، در قالب ۴ گروه مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳). این عوامل عبارتند از: کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و بارش. با توجه به این‌که عوامل مزبور در وقوع زمین‌لغزش نقش و اهمیت زیادی دارند و از تغییرپذیری مکانی زیادی در خط ارتباطی گردنه صائین برخوردار هستند، بنابراین به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با نگرش به قابلیت تحلیل مکانی می‌تواند از کارایی مطلوبی برخوردار باشد. خوشه و معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش مسیر ارتباطی نیر- سراب عبارتند از:

- خوشه فیزیوگرافی: این خوشه شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب می‌باشد.
 - خوشه زمین‌ساختی: این خوشه شامل: سازندهای زمین‌شناسی و فاصل از گسل، می‌باشد.
 - خوشه هیدرواقليم: این خوشه شامل: گزینه‌های توزیع مکانی بارش و فاصله از آبراهه‌ها می‌باشد. اهمیت لایه بارش به دلیل تامین آب و رطوبت مورد نیاز جهت فعال شدن زمین‌لغزش است. لایه فاصله از آبراهه نیز به دلیل نقش فرایندهای فرسایشی جریان آب در زیربری پای دامنه‌ها دارای اهمیت زیادی می‌باشد.
 - خوشه انسانی: این خوشه شامل: دو گزینه کاربری اراضی و فاصله از راه ارتباطی می‌باشد.
- در شکل (۲)، خوشه و معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش مسیر ارتباطی نیر- سراب، نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودار کلاسه‌بندی شده‌ی داده‌های مورد استفاده در فرایند تحقیق

مراحل روش WLC (ترکیب خطی وزنی)

یکی از روش‌های رایج در ارزیابی چند معیاره که بسیار مورد استفاده قرار گرفته است، روش ترکیبی خطی وزنی است. در پژوهش حاضر، ارزیابی‌ها توسط روش WLC به طور کلی در طی مراحل زیر، صورت پذیرفته است: ۱- تعیین معیارها و گزینه‌های تحقیق. ۲- تشکیل ماتریس تصمیم. ۳- هر لایه نقشه، به صورت استاندارد استخراج گردید. ۴- اوزان معیارها تعیین شد. ۵- لایه‌های نقشه استاندارد وزن‌دار (ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده به وزن‌های مربوطه) استخراج شد. ۶- با اعمال عملیات هم‌پوشانی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد وزنی، مجموع امتیاز یا امتیاز مربوط به هر گزینه را به دست آورده‌ایم و گزینه‌ای که بالاترین امتیاز (رتبه) را داشته باشد بهترین گزینه شناخته شده است. به طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا A_i ، از رابطه (۱)، استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij}$$

رابطه ۱

که در آن x_{ij} معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که $\sum w_j = 1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر $A_j = 1$ اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌گردد (گنجئیان ۱۰ و همکاران، ۲۰۲۰).

ارزش‌گذاری و استانداردسازی معیارها

در اجرای الگوریتم مورد استفاده، استانداردسازی داده‌ها به معنای برابر کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک محدوده خاص است. در تحقیق حاضر، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی انجام شده است. در مجموعه‌های فازی، بالاترین مقدار، یعنی مقدار یک، متعلق به حداکثر عضویت و کمترین مقدار، یعنی صفر، متعلق به حداقل عضویت در مجموعه است (بایوم گرتل ۱۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ حسینی ۱۲، ۲۰۱۹). برای استانداردسازی فازی نقشه‌های معیار از نرم‌افزار ARC GIS و از توابع و قالب‌های تابع خطی افزایشی، تابع بزرگ فازی، تابع نزدیک فازی، استفاده شده است.

ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش

پس از تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش، لازم است صحت مدل مورد استفاده در حساسیت زمین‌لغزش بررسی شود. منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC^{۱۳})، از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و معین نمودن دقت مدل‌سازی است (محمدنیا و فلاح، ۱۳۹۷) و در پژوهش حاضر نیز با توجه به نقاط لغزشی موجود در محدوده مورد مطالعه و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به منظور صحت‌سنجی نتایج، از این روش صحت‌سنجی استفاده شده است. در منحنی ROC، در محور افقی، پیکسل‌هایی که وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش را توسط مدل به درستی پیش‌بینی کرده‌اند (مثبت صحیح^{۱۴}) و در محور عمودی، درصد پیکسل‌هایی که به اشتباه پیش‌بینی شده‌اند (مثبت کاذب^{۱۵})، ترسیم شده است (جورسفسکی^{۱۶}، ۲۰۰۶). طبقه‌بندی ارائه شده برای سطح زیر منحنی (AUC)، به صورت ۱-۰/۹: عالی، ۰/۸-۰/۹: خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸: خوب، ۰/۶-۰/۷: متوسط، ۰/۵-۰/۶: ضعیف، می‌باشد (ناندی و شاکور^{۱۷}، ۲۰۱۰). مدل با بالاترین مقدار AUC، عملکرد نسبی بالاتری دارد.

مؤلفه‌های مختلف نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش

در این تحقیق از ۹ پارامترهای ۱- مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۲- شیب ۳- جهت شیب ۴- فاصله از رودخانه ۵- فاصله از گسل ۶- فاصله از راه ارتباطی ۷- بارش ۸- سازند زمین‌شناسی ۹- کاربری اراضی استفاده می‌شود که توزیع فضایی این

¹⁰ Ganjaeian

¹¹ Baumgertel

¹² Hoseini

¹³ . Receiver operating characteristic

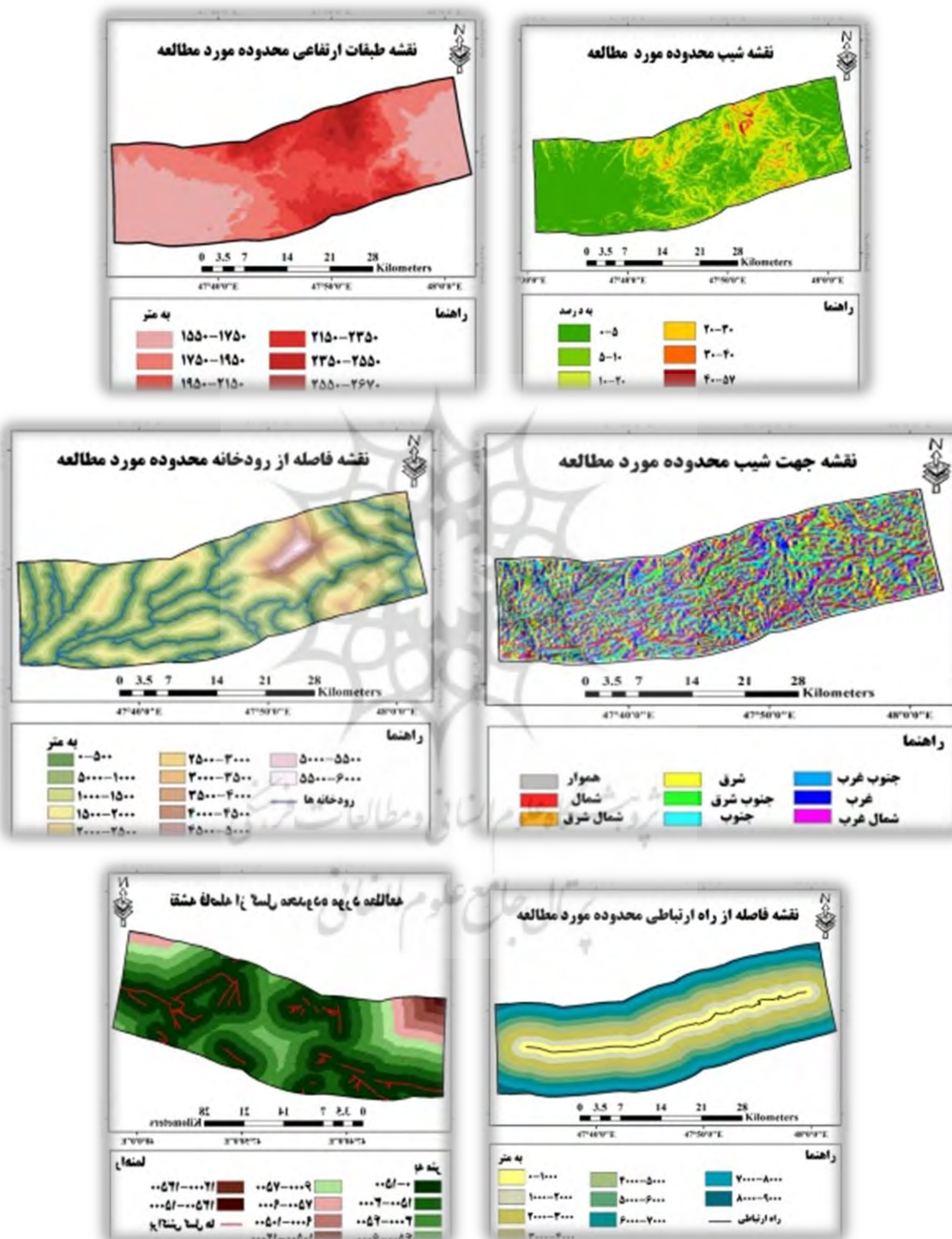
¹⁴ . Specificity

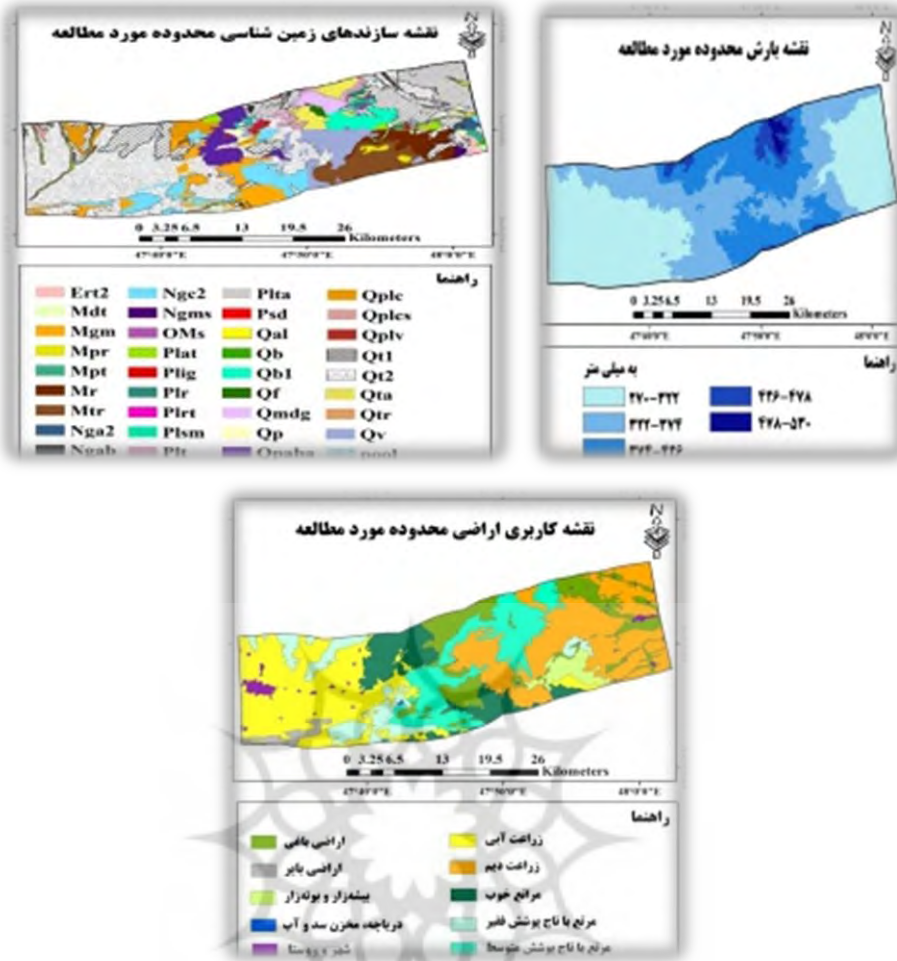
¹⁵ . Sensitivity

¹⁶ Gorsevski

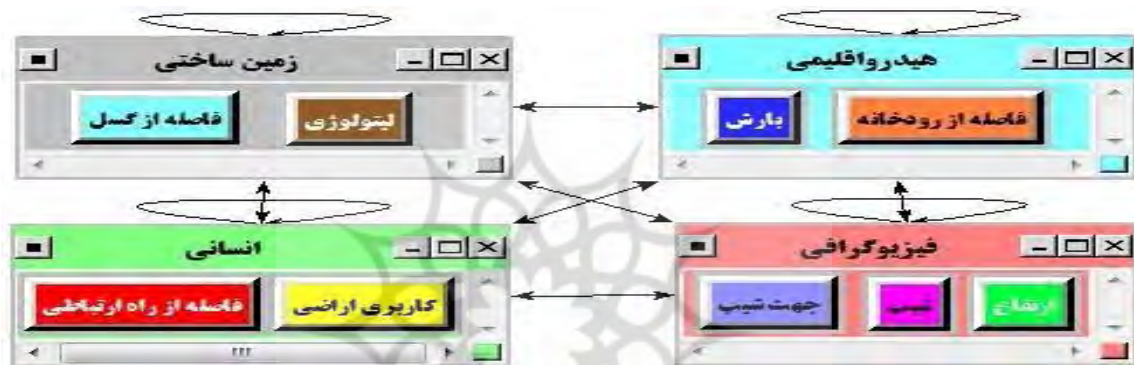
¹⁷ Nandi and Shakoore

متغیرها از اهمیت بسیار زیادی در رابطه با وقوع زمین‌لغزش‌ها برخوردار می‌باشند. تمامی متغیرهای مورد استفاده به صورت لایه‌های موضوعی در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده و وارد مدل گردیدند (شکل ۳).





۵- در نهایت، تشکیل ماتریس فوق العاده حدی. در این مرحله از مدل، تمام عناصر سوپرماتریس موزون به حدی به توان می‌رسند تا همگرا شوند و مقادیرشان برابر شود و بردار وزن کلی با تشکیل سوپر ماتریس حد بردار به دست می‌آید (لی ۱۸ و همکاران، ۲۰۰۸؛ به نقل از عابدینی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۵). شکل (۴)، مدل مورد استفاده در پژوهش، در نرم‌افزار Super Decisions را نشان می‌دهد. مدل مورد استفاده در پژوهش حاضر به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شامل چهار خوشه ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرواقلیم و پوشش زمین می‌باشد. هر کدام از این خوشه‌ها، شامل متغیرهای مختلفی می‌باشد و معیارهای لیتولوژی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از راه ارتباطی، ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از شبکه آبراهه، بارندگی عناصر مطالعه می‌باشند. در ادامه مراحل اجرای مدل ANP تشریح می‌گردد.



شکل ۴: نمای کلی از خوشه‌ها و عناصر برای بررسی خطر وقوع زمین‌لغزش

تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیروزی

عناصر ANP با یکدیگر تعامل دارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیر معیارها، نتایج و گزینه‌ها باشند. وزن نسبی هر ماتریس بر اساس مقایسه زوجی مشابه روش AHP محاسبه می‌گردد و وزن-های به دست آمده در سوپرماتریس وارد می‌شوند که نشان دهنده‌ی رابطه متقابل بین عناصر می‌باشد (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹). سوپرماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود که جدول (۲)، آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲: سوپرماتریس غیر وزنی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی			زمین ساختی			فیزیوگرافی		هیدرواقلیمی	
		راه	کاربری	ارتفاع	شیب	جهت شیب	شیب	بارش	رودخانه	گسل	لیتولوژی
عناصر	راه	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳
	کاربری	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۶۶۶	۰	۰/۶۶۶	۰/۶۶۶

۰/۳۳۳	۰	۰/۵۰۰	۱	۰/۲۴۹	۱	۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	گسل	معماری
۰/۶۶۶	۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۷۵۰	۰	۱	۰/۶۶۶	۰/۶۶۶	لیتولوژی	
۰/۱۶۶	۰/۸۳۳	۰/۸۰۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۲۴۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	ارتفاع	معماری
۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۲۰۰	۰	۰/۲۴۹	۰/۲۰۹	۰	۰/۲۴۹	۰	جهت	
									شیب	
۰/۶۶۶	۰	۰	۰/۸۰۰	۰/۷۵۰	۰/۵۴۹	۰/۶۶۶	۰/۷۵۰	۰/۶۶۶	شیب	معماری
۱	۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۵۰۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۲۴۹	۰	بارش	
۰	۱	۰/۶۶۶	۰	۰/۵۰۰	۰/۶۶۶	۱	۰/۷۵۰	۱	رودخانه	

تشکیل سوپرماتریس وزنی

در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چندین بردار خاص تشکیل شده اند که مجموع هر کدام برابر با یک است. بنابراین، ممکن است که مجموع هر ستون از سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (مطابق با بردارهای خاصی که در هر ستون وجود دارد). برای اینکه عناصر ستون را با توجه به وزن نسبی آن‌ها فاکتور کنیم و مجموع ستون را برابر یک کنیم، هر ستون ماتریس استاندارد شده است. در نتیجه یک ماتریس جدید به دست می‌آید که مجموع هر یک از ستون‌های آن برابر با یک خواهد بود. این موضوع مشابه زنجیره مارکوف است که در آن مجموع احتمالات همه موقعیت‌ها برابر است. ماتریس جدید ماتریس وزنی یا ماتریس تصادفی نامیده می‌شود (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹). جدول (۳)، سوپرماتریس وزنی را نشان می‌دهد.

جدول ۳: سوپرماتریس وزنی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساختی		فیزیوگرافی		هیدرواقليمی	
		راه	کاربری	گسل	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارش
معماری	راه	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۱۴۰	۰	۰/۰۹۳	۰
	کاربری	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۱۴۰	۰	۰/۱۸۶	۰
معماری	گسل	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰	۰/۲۷۶	۰/۰۷۰	۰/۴۷۳	۰/۱۴۰	۰
	لیتولوژی	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۷۶	۰	۰/۲۱۰	۰	۰/۱۴۰	۰
معماری	ارتفاع	۰/۱۴۴	۰	۰/۱۳۰	۰/۰۹۳	۰	۰/۱۰۵	۰/۲۴۹	۰/۰۸۹
	جهت	۰	۰/۱۰۸	۰	۰/۰۸۱	۰/۰۷۷	۰	۰/۰۶۲	۰/۰۸۹
	شیب								
معماری	شیب	۰/۲۸۹	۰/۳۲۶	۰/۲۶۰	۰/۲۱۴	۰/۲۳۳	۰/۴۲۱	۰	۰/۳۵۷
	بارش	۰	۰/۰۲۸	۰	۰/۰۶۵	۰/۰۶۳	۰	۰/۰۴۲	۰/۲۸۲
	رودخانه	۰/۱۱۵	۰/۰۸۶	۰/۱۹۵	۰/۱۳۰	۰/۰۶۳	۰	۰/۰۸۴	۰/۳۴۵

محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی

در مرحله بعد، سوپرماتریس وزن‌دار به توان حدی می‌رسد که عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر ردیف آن برابر شوند. ماتریس به دست آمده در نتیجه توان رسانی و ماتریس وزنی، ماتریس حدی است (۴) که مقادیر هر ردیف آن برابر است.

جدول ۴: سوپرماتریس حدی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساختی		فیزیوگرافی		هیدرواقليمی	
راه	کاربری	گسل	لیتولوژی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارش	رودخانه	
۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲
۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵
۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴
۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲
۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۰/۱۳۹
۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱
۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۹
۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸
۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵

نتایج ماتریس خوشه‌ها

پس از محاسبه ابرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین مقدار و ضریب نهایی عناصر، محاسبه نتایج ماتریس خوشه و نرمال‌سازی ضریب عناصر موجود در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه است که حاصل مقایسه‌های زوجی بین گروه‌هایی که به آن‌ها جدول اوزان گروه‌ها گفته می‌شود که در جدول (۵)، آورده شده است.

جدول ۵: ماتریس اوزان گروه‌ها

خوشه‌ها	انسانی	زمین ساختی	فیزیوگرافی	هیدرو اقلیمی
انسانی	۰/۱۴۷	۰/۱۳۸	۰/۲۸۰	۰/۱۰۰
زمین ساختی	۰/۳۰۱	۰/۲۷۶	۰/۲۸۰	۰/۰۸۰
فیزیوگرافی	۰/۴۳۹	۰/۳۹۰	۰/۳۱۱	۰/۵۳۶
هیدرو اقلیمی	۰/۱۱۵	۰/۱۹۵	۰/۱۲۷	۰/۲۸۲

نتیجه‌ی نهایی عناصر

در مرحله آخر ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال‌سازی شد و در نهایت؛ نتیجه نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص شد. جدول (۶)، نتیجه‌ی نهایی مدل ANP را نشان می‌دهد و به ترتیب عوامل

شیب و ارتفاع، لیتولوژی و فاصله از گسل با مقدار ضریب وزنی ۰/۲۰۹، ۰/۱۳۹، ۰/۱۳۲ و ۰/۱۲۴ بیشترین وزن و هیت را دریافت کردند.

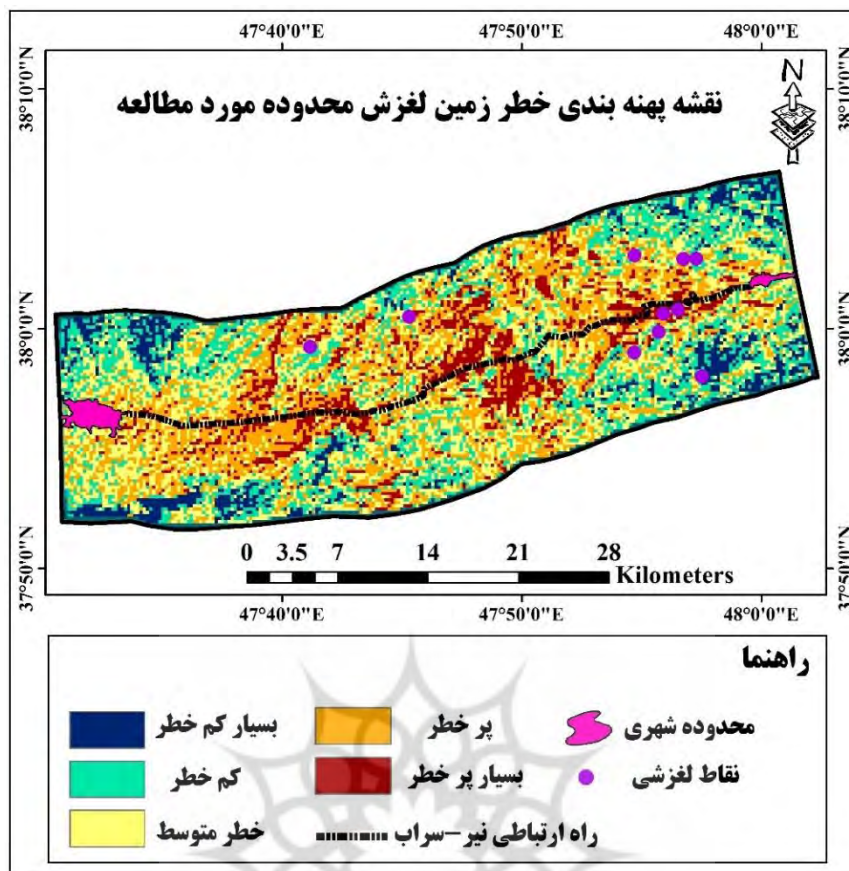
جدول ۶: نتایج نهایی مدل ANP

معیار	فاصله از راه	کاربری	فاصله از گسل	لیتولوژی	جهت شیب	شیب	ارتفاع	بارش	فاصله از رودخانه
وزن نهایی	۰/۰۷۲	۰/۰۹۵	۰/۱۲۴	۰/۱۳۲	۰/۰۶۱	۰/۲۰۹	۰/۱۳۹	۰/۰۵۸	۰/۱۰۵

خروجی حاصل از به کارگیری مدل

پس از استخراج نقشه‌های هر یک از معیارها و اعمال نمودن وزن‌های مربوطه‌ی به دست آمده از روش ANP، نقشه‌های حاصله وارد مدل WLC، شد و با اعمال مراحل مختلف مدل، نقشه نهایی پهنه‌بندی مسیر ارتباطی نیر- سراب در برابر زمین لغزش، به دست آمد (شکل ۵). همان‌گونه که در نقشه نهایی حاصل از روش تحقیق نشان داده شده است، سطح مسیر ارتباطی نیر- سراب را به لحاظ پهنه‌بندی زمین لغزش، به پنج گروه با بسیار کم خطر تا بسیار پرخطر طبقه‌بندی شده است. مساحت مربوط به هریک از طبقات خطر نیز در جدول (۷)، آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، ۱۰۳/۳۱ کیلومترمربع از مساحت محدوده مطالعاتی در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۲۰۴/۸۸ کیلومترمربع، در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین ۲۲۱/۹۱ کیلومترمربع از مساحت منطقه، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۷۹/۳۲ و ۱۶۲/۵۸ کیلومترمربع دارای احتمال خطر بسیار کم و کم می‌باشند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش مسیر ارتباطی نیر- سراب

جدول ۷: مساحت کلاس های طبقه بندی خطر زمین لغزش

میزان خطر	بسیار کم خطر	کم خطر	متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر
مساحت (KM ²)	۷۹/۳۲	۱۶۲/۵۸	۲۲۱/۹۱	۲۰۴/۸۸	۱۰۳/۳۱
درصد %	۱۰/۲۸	۲۱/۰۶	۲۸/۷۴	۲۶/۵۴	۱۳/۳۸

مطالعه مقایسه ای بین معیارهای ارتفاع و خروجی نشان می دهد. مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سطوح ارتفاعی ۱۶۵۰ تا ۲۵۵۰ متری قرار دارند. با مقایسه نقاط لغزشی محدوده با نقشه طبقات ارتفاعی می توان دریافت که به طور کلی پراکندگی نقاط لغزشی در ارتفاعات کمتر از ۱۶۰۰ متر و بالاتر از ۲۵۰۰ متر دیده نمی شود. ارتفاعات کم با اراضی کم شیب نقش مهمی در افزایش بارندگی، تراکم پوشش گیاهی و سایر متغیرهای مؤثر بر وقوع زمین لغزش ندارند. بنابراین تا حدودی عامل محدودکننده زمین لغزش محسوب می شود. در سطوح

ارتفاعی بسیار بالا، خشونت عناصر اقلیمی و غلبه مورفولوژی شیب‌دار و پرتگاهی باعث می‌شود که فرآیندهای لغزشی به سایر فرآیندهای ناپایداری دامنه، مانند؛ ریزش سنگ و واژگونی تبدیل شوند. به این ترتیب؛ می‌توان گفت که وقوع زمین لغزش در سطوح ارتفاعی میانی از احتمال وقوع بیشتری برخوردار است.

بررسی نقاط بسیار پرخطر و پرخطر معرفی شده در نتیجه تحقیق حاضر نشان می‌دهد. از نظر معیار شیب، مناطق با احتمال خطر زیاد و بسیار زیاد، عمدتاً؛ بین شیب ۱۰ تا ۴۰ درصد، قرار دارند. مقایسه بین نقاط لغزشی موجود با نقشه شیب نیز، نشان می‌دهد، تعداد ۶ نقطه از لغزش‌ها، در شیب ۱۰-۲۰ درصد، ۳ مورد در شیب‌های ۲۰-۳۰ درصد و یک مورد در شیب‌های ۳۰-۴۰ درصد، رخ داده است. در طبقات شیب پایین تر از ۱۰ درصد و بالاتر از ۴۰ درصد، نقطه لغزشی مشاهده نمی‌گردد. معمولاً، در شیب‌های با شیب بیش از ۴۰ درصد ضخامت خاک کاهش می‌یابد و خطر زمین لغزش کاهش می‌یابد و در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد که از شدت ناهمواری تا حد زیادی کاسته می‌شود و احتمال ایجاد لغزش نیز کاهش می‌یابد.

در رابطه با عامل جهت شیب، نقاط بسیار پرخطر و پرخطر ارائه شده، در دامنه‌های به ترتیب دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی و سپس دامنه‌هایی با جهات شمال شرقی، شرقی قرار دارند. بررسی نسبت بین نقاط لغزشی و معیار جهت شیب نشان داده است که، بخش اعظمی از لغزش‌های موجود در محدوده به ترتیب در دامنه‌هایی با جهات شمالی (۳۰ درصد از نقاط لغزشی)، غرب (۲۰ درصد از نقاط زمین لغزش) و شمال غرب (۱۰ درصد از نقاط لغزشی)، رخ داده است. دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی به دلیل بارندگی شدید، ماندگاری طولانی مدت برف و رطوبت بیشتر مستعد رانش زمین هستند.

از لحاظ معیار کاربری اراضی، کاربری‌های زراعی، مراتع (به ویژه مراتع متوسط و فقیر) و باغات بیشترین مقدار از مساحت مناطق دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد را به خود اختصاص داده است. در رابطه با نسبت بین پراکنش نقاط لغزشی و معیار کاربری قابل ذکر می‌باشد که بیشترین پراکنش لغزش‌ها در کاربری زراعی (۵۰ درصد از نقاط لغزشی) و مراتع (۳۰ درصد از نقاط لغزشی)، می‌باشد و ۲۰ درصد از نقاط لغزشی موجود در کاربری باغات قرار گرفته است.

در رابطه با نقشه لیتولوژی می‌توان گفت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده؛ در سازندهایی با مقاومت بسیار کم، کم، متوسط و همچنین، در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خرد شده بازالتی، قرار دارند. نسبت پراکنش لغزش‌ها با معیار لیتولوژی نشان می‌دهد، ۴۰ درصد از لغزش‌های رخ داده در سازندهایی با مقاومت بسیار کم و کم (شامل؛ نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم، به صورت پادگانه آبرفتی جدید، پادگانه آبرفتی قدیمی، رسوبات رودخانه‌ای جدید)، رخ داده است. ۲۰ درصد نقاط لغزشی نیز بر دامنه‌های شیب‌دار متشکل از سازند-هایی با لیتولوژی متوسط (تناوب مارن‌ها خاکستری و ژیس‌دار با ماسه سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌های میکروکنگلومرایی، ماسه سنگ، مارن، رس و توف برشی ریولیتی، سنگ‌های آذر آواری؛ به طور عمده پامیس، توف پامیسی)، قرار دارند. به عنوان مثال، سنگ‌های پامیس که در مقایسه با سنگ‌های مجاور آندزیت و بازالتی

اطراف خود، سست هستند و طبیعتاً بیشتر تحت تأثیر فرسایش قرار دارند و در محل برخورد این سنگ‌ها در محل وقوع لغزش مربوط به مورخه‌ی ۱۶ خرداد سال ۱۳۸۴، پرتگاه طولی ایجاد شده است (شکل ۶). مابقی لغزش‌ها محدوده، در آندزیت‌های آتشفشانی و سنگ‌های خرد شده بازالتی رخ داده‌اند. در بیشتر بخش‌هایی که جاده‌ی اصلی نیر-سراب از آن عبور می‌کند، قسمت اعظم رخنمون‌ها به صورت سنگ‌های خرد شده بازالت الوین‌دار و پیروکسن آندزیت است که تند شیب مشرف بر جاده که در محل لغزش ۱۳۸۴، نیز وجود دارد، متشکل از این سنگ‌ها می‌باشد.

مقادیر بارشی در مناطق دارای پتانسیل خطر ما بین ۴۵۰-۳۰۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بررسی نسبت نقاط لغزشی و مقادیر بارش نیز نشان می‌دهد، بیشترین فراوانی پراکنش نقاط لغزشی موجود، در مقدار بارشی ۳۵۰-۳۰۰ میلی‌متر (۶۰ درصد از زمین لغزش‌های موجود)، قرار دارند و سطوحی با مقدار بارش ۳۷۰-۳۵۰ میلی‌متر نیز ۳۰ درصد از نقاط لغزش را شامل می‌شوند. به علاوه ۱۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده در سطوح بارشی ۴۲۰-۳۷۰ میلی‌متر قرار دارند.

از لحاظ معیار فاصله از راه ارتباطی، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر معرفی شده بر اساس خروجی مطالعه، از فاصله صفر تا ۳۵۰۰ متری از راه ارتباطی قرار دارند. مقایسه نقاط لغزشی و نقش موضوعی راه ارتباطی حاکی از این امر هست که، در بین نقاط لغزشی موجود، ۲۰ درصد، در فاصله ۵۰۰-۰ متری، ۴۰ درصد، تا فاصله ۳۰۰۰ متری از جاده قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت، اراضی بسیار پرخطر و پرخطر، به طور نسبی، در فواصل نزدیک از جاده، قرار دارند. شکل ۶ تصاویر مربوط به لغزش مورخه‌ی ۱۶ خرداد سال ۱۳۸۴، مسیر ارتباطی نیر به سراب را نشان می‌دهد که در نتیجه‌ی این زمین لغزش، ۶۰۰ متر از جاده‌ی اصلی و ترانزیتی این منطقه همراه توده، لغزش یافت و به طور کامل تخریب شد.





شکل ۶: تخریب جاده‌ی اصلی مسیر ارتباطی نیر به سراب در لغزش مورخه‌ی ۱۶ خرداد سال ۱۳۸۴ (تصاویر از نگارندگان)

با بررسی معیار فاصله از گسل به این نتیجه دست یافتیم که طبق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقاط بسیار پرخطر و پرخطر، از فواصل صفر تا ۲۰۰۰ متری، از گسل واقع شده‌اند. مقایسه نقشه فاصله از گسل با نقشه پراکنش نقاط لغزشی، نشان می‌دهد، ۶۰ درصد از زمین‌لغزش‌ها، تا فاصله ۵۰۰ متری از گسل ایجاد شده است. ۲۰ درصد از نقاط لغزشی موجود نیز در فواصل ۵۰۰-۱۵۰۰ متری قرار داد و مابقی نقاط لغزشی در فواصل زیاد از گسل رخ داده‌اند.

از لحاظ معیار فاصله از رودخانه، می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، تا فاصله ۳۰۰۰ متری از رودخانه قرار دارند. نسبت پراکنش لغزش‌ها با این معیار مورد بررسی، نشان می‌دهد که به طور کلی ۶۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده، در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها اتفاق افتاده است. بنابراین می‌توان گفت که بیش‌تر زمین‌لغزش‌های محدوده در فواصل نزدیک از رودخانه رخ داده است و رودخانه‌ها با شستشوی دامنه‌ها و تخریب تکیه‌گاه‌ها در وقوع زمین‌لغزش‌ها، اهمیت دارند.

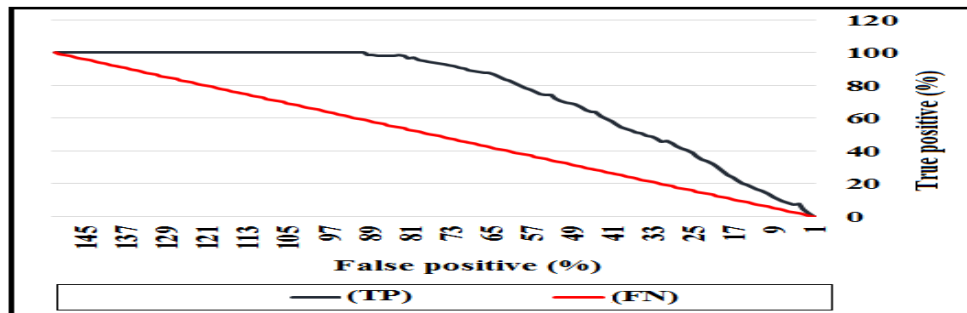
نتایج حاصل از هم‌پوشانی خروجی حاصل از مدل مورد بررسی، با پراکنش نقاط لغزشی (جدول ۸)؛ نشان داد که ۴۰ درصد از نقاط لغزشی در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۶۰ درصد از نقاط لغزشی در طبقه‌ی پرخطر قرار دارند. بنابراین؛ می‌توان بیان داشت، تطبیق سطوح لغزش یافته و پهنه‌های مواجه با خطر نشان می‌دهد، مناطقی که در رده بسیار پرخطر، پرخطر قرار دارند، تمامی تعداد و درصد از سطوح لغزشی را پوشش می‌دهد.

جدول ۸: تعداد و درصد نقاط پراکنش لغزشی در هر طبقه خطر

طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
تعداد	۴	۶	-	-	-
درصد	۴۰	۶۰	-	-	-

جهت مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه‌های پهنه‌بندی، دقت تکنیک مورد استفاده، به وسیله‌ی منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفته است. طبق نتیجه به دست آمده، به ترتیب؛ مقدار سطح زیر منحنی (۰/۷۹)، می‌باشد و دقت

روش در طبقه‌ی خیلی خوب قرار دارد لذا، نتایج مطالعه حاضر؛ با نتایج مطالعات؛ روستائی و همکاران (۱۳۹۴)، اسفندیاری درآباد و بهشتی‌جاوید (۱۳۹۵)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۵)، نثویان و همکاران (۲۰۰۶)، مبنی بر کارآمدی روش ANP در ارزیابی زمین‌لغزش همخوانی دارد (شکل ۷).



شکل ۷: منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش

نتیجه‌گیری

پدیده زمین‌لغزش یکی از انواع ناپایداری دامنه محسوب می‌شود که هر ساله تلفات جانی و خسارات مالی زیادی بر انسان‌ها وارد می‌کند. در این تحقیق، خطر وقوع زمین‌لغزش در گردنه صائین در محور ارتباطی نیر-سراب بررسی شده است. با توجه به هدف مطالعه و بررسی شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل به عنوان عوامل موثر در وقوع خطر زمین‌لغزش در منطقه شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش وزن‌دهی ANP، وزن معیارهای ذکر شده در پژوهش تعیین شد. در نهایت با توجه به وزن‌های استخراج‌شده از کاربرد روش ANP، مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ترکیب وزنی انجام شد و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محور ارتباطی نیر-سراب به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد، فاکتورهای شیب و ارتفاع (از خوشه فیزیوگرافی)، لیتولوژی و فاصله از گسل (از خوشه عوامل زمین‌ساختاری)، به ترتیب با مقدار ۰/۲۰۹، ۰/۱۳۹، ۰/۱۳۲ و ۰/۱۲۴ بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، نیز در مطالعه‌ای که در آن پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جاده ارتباطی نیر-سراب را مورد بحث قرار دادند؛ عوامل ارتفاع و شیب و نوع کاربری اراضی را به عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی کرده‌اند. همچنین، مددی (۱۳۸۹) و وثیق (۱۳۹۰)، در مطالعه زمین‌لغزش در گردنه صائین (جاده نیر)، به این نتیجه رسیدند که میان شیب، ارتفاع و نوع سازندهای زمین‌شناسی با زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی، رابطه مستقیمی وجود دارد. با توجه به خروجی مطالعه، مناطق با خطر کم و بسیار کم، مساحت کم‌تری از سطح محدوده را پوشش می‌دهند و از سوی دیگر، پهنه‌های با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند و به ترتیب؛ ۱۳/۳۸ و ۲۶/۵۴ درصد از محدوده، در طبقه‌ی بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. می‌توان گفت که

نتایج حاصل از این مطالعه، بیانگر ریسک بالای محدوده مورد مطالعه، از لحاظ وقوع زمین لغزش می باشد. با توجه به نقشه پهنه بندی لغزش شهرستان محدوده مورد بررسی؛ مناطق پرخطر، به طور عمده در شیب ۱۰ تا ۴۰ درصد، در مناطق با بارش ۴۵۰-۳۰۰ میلی متر، قرار دارند. همچنین، سازندهای بسیار نامقاوم، نامقاوم و نیمه مقاوم، که به طور عمده، متشکل از سازندهای سست کواترنری هستند، کاربری های اراضی کشاورزی و مرتعی، دامنه های دارای جهات شمالی، غربی و شمال غربی، حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش را دارا هستند. به علاوه نتایج مطالعه، نشان می دهد که اراضی پرخطر به طور نسبی، در فاصله های نزدیک از راه ارتباطی، رودخانه و گسل قرار دارند. با توجه به نتایج صحت سنجی، مساحت زیر منحنی ROC، ۰/۷۹ محاسبه گردید. بنابراین، دقت حاصل از روش وزن دهی ANP خیلی خوب، می باشد. در نهایت می توان گفت که انتظار می رود این مطالعه و نتایج حاصل از آن با معرفی مناطق با احتمال زیاد زمین لغزش، راه گشایی برای مدیریت بهتر و علمی تر مدیران و برنامه ریزان باشد و در مناطق با پتانسیل خطر بالا و بسیار بالا، با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده به وسیله متخصصان، از وقوع زمین لغزش های احتمالی در سطح محدوده مورد مطالعه جلوگیری شود.

منابع

- اسفندیاری درآباد، ف.، بهشتی جاوید، ا. ۱۳۹۵. پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل هیبریدی قضیه ی بیز ANP (مطالعه ی موردی: گردنه ی حیران)، هیدروژئومورفولوژی، ۸ (۳): ۹۳-۱۱۱.
- اصغری سراسکانرود، ص.، پالیزبان، د.، امامی، ه.، قلعه، ا. ۱۳۹۸. تحلیل مدل های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه-بندی حساسیت وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی جاده سراب - نیر)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۴ (۷۳): ۱-۲۲.
- کنعانی، س. ۱۴۰۲. شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز سد ایلام با استفاده از مدل تحلیل شبکه ای، جغرافیا و روابط انسانی، ۵ (۴): ۵۲۴=۵۱۶.
- حقیقی، م. ک.، عباسی، ب.، اشتری تلخستانی، ا. ۱۳۸۹. بررسی زمین لغزش گردنه صائین اردبیل به منظور تأمین ایمنی راه با روش توموگرافی الکتریکی دو بعدی و سه بعدی، فیزیک زمین و فضا، ۱ (۳۶): ۱۷-۲۸.
- رجایی، ع. ۱۳۷۳. کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، انتشارات قومس.
- رضایی مقدم، م. ح.، فیض الله پور، م.، اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۰. بررسی بین فاکتورهای حجم و مساحت لغزش توده برآورد روابط ریاضی بین فاکتورهای حجم و مساحت لغزش توده ای در گردنه

- صائین (شهرستان نیر)، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۹ (۲۸): ۲۳۰-۲۱۸.
- روستایی، ش.، خدایی قشلاق، ل.، خدایی قشلاق، ف. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سدها (مطالعه موردی: سد قلعه‌چای)، ۴ (۴۶): ۴۹۵-۵۰۸.
 - عابدینی، م.، روستائی، ش.، فتحی، م. ح. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل هیبریدی قضیه بیز- ANP (مطالعه موردی: کرانه جنوبی حوضه آبریز اهرچای از روستای نصیرآباد تا سد ستارخان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۵ (۱): ۱۴۲-۱۵۹.
 - فرجی سبکبار، ح. ع.، سلمانی، م.، فریدونی، ف.، کریم‌زاده، ح.، رحیمی، ح. ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان. فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱ (۱۴): ۱۴۹-۱۲۷.
 - محمدنیا، م.، فلاح قاله‌ری، غ. ع. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸ (۴۸): ۱۱۷-۱۳۲.
 - محمودزاده، ح.، امامی‌کیا، ب.، رسولی، ع. ا. ۱۳۹۴. ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱ (۳۰): ۱۶۷-۱۸۰.
 - مددی، ع. ۱۳۸۹. بررسی ناپایداری ژئومورفولوژیک گردنه صائین (بین شهر نیر - سراب، منطقه آذربایجان) با استفاده از روش آنالاکان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱ (۲۱): ۹۴-۷۷.
 - Ganjaeian, H.; M. Rezaei Arefi, T. Peysoozi, and K. Emami, 2020. Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran, Sustainability Earth Review, 1(2): 43-51.
 - Gorsevski, P.V., P.E. Gessler, R.B. Foltz, and W.J. Elliot, 2006. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. Transactions in GIS, 10: 395-415.
 - Ghorbanzadeh, O., T. Blaschke, Kh. Ghola mnia, SR. Meena, 2019. Evaluation of Different Machine Learning Methods and Deep-Learning Convolutional Neural Networks for Landslide Detection, remote sensing January, 11(2), 1-21.
 - Gorsevski, P.V., P.E. Gessler, R.B. Foltz, and W.J. Elliot, 2006. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and ROC analysis. Transactions in GIS, 10: 395-415.
 - Khan, H., M. ShafiqueKhan, A. Mian, Safeer, U.; and Chiara, C, 2019. Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case

- study of northern Pakistan, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 22 (1): 11-24.
- Luo X., J. Peng, F. Lin, SH. Zhu, M. Yu, ZH. Zhang. and L Meng. 2019, Mine landslide susceptibility assessment using IVM, ANN and SVM models considering the contribution of affecting factors, PLoS One. 2019; 14(4):1-18.
 - Nandi, A.; and A. Shakoor, 2010. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. Engineering Geology, 110: 11–20.
 - Neaupane, K.M and M. Piantanakulchai, 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation, Engineering Geology, 85:281-294.
 - Nepal, N., J. Chen, T. Prasad, P. Sharma, H. Chen, X. Wang, 2019. Assessment of landslide susceptibility along the Araniko Highway in
 - Saaty, T. L., 2004. Fundamentals of the analytic network process-Dependence and feedback in decision-making with a single network. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2 (13): 129-157.

