

## تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه-بندی حساسیت وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب - نیر)

صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۱</sup>

دلنیا پالیزبان<sup>۲</sup>

هادی امامی<sup>۳</sup>

احسان قلعه<sup>۴</sup>

### چکیده

یکی از انواع ناپایداری دامنه‌ای که هرساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌نماید، زمین لغزش می‌باشد. در پژوهش حاضر، کارایی مدل تحلیل شبکه (ANP) و منطق فازی در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در ۳ کیلومتری محور سراب-نیر مورد ارزیابی قرار گرفت. فرایند انجام کار بر مبنای تلفیقی از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی است. به این منظور ابتدا نقشه زمین لغزش‌های منطقه با بازدیدهای میدانی تهیه شد. سپس با مرور و بررسی منابع، عواملی که می‌توانند در فرآیند بروز زمین لغزش مؤثر باشند، استخراج و با توجه به دید کارشناسی و بررسی منابع، ۱۰ عامل طبیعی و انسانی شامل گسل، کاربری اراضی، شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، بارش، جهت شیب، ارتفاع و پوشش گیاهی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی و پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش، استفاده شدند. نقشه حاصل در ۵ کلاس خطر،

۱- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

Email: sayyad.sasghari21@gmail.com-Tel: 09104020251

۲- کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی

طبقه‌بندی و با توجه به زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه، مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتیجه ارزیابی، مدل‌های به‌کار رفته، قابلیت مناسبی را برای پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهند. بررسی و تحلیل نتایج نشان داد که میزان بارش و ارتفاع نسبت به سایر عوامل تأثیر بیشتری در ایجاد نواحی پرخطر ایفا می‌کنند که بعد از این دو عامل، مناطق با پوشش گیاهی کم، مناطق دارای سنگ‌های سست و نواحی نزدیک به گسل به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه داشتند.

**واژگان کلیدی:** زمین لغزش، پهنه‌بندی، مدل منطق فازی و تحلیل شبکه‌ای، GIS، RS.

## مقدمه

زمین لغزش اصطلاحی است که انواع حرکات دامنه‌ای را در بر می‌گیرد و سبب جابه‌جایی توده‌ای از مواد در دامنه‌ها می‌شود این اصطلاح کلیه فرآیندهایی که منجر به حرکت توده‌ای مواد بر روی دامنه‌ها می‌شود را در بر گرفته و بر حسب نوع حرکت به حرکات لغزشی، جریانی، ریزشی و خزشی طبقه‌بندی می‌شود (رامشت و سادات، ۱۳۹۰). ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد (عبادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶). شناخت نواحی دارای پتانسیل لغزش و پهنه‌بندی آن‌ها یکی از گام‌های اساسی در مدیریت مخاطرات محیطی و کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده محسوب می‌شود، چرا که این پدیده موجب هزینه‌های مالی و جانی، تخریب خاک و اراضی و افزایش تولید رسوب در خروجی حوضه می‌شود (میرسنجری و همکاران، ۱۳۹۷). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌ها لغزش داراست. زمین‌لغزش در ایران به عنوان یک مخاطره طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد (رنجبر و افتخاری، ۱۳۹۱). زمین‌لغزش ناشی از عوامل انسانی شامل، فعالیت‌های معدنی، نشت لوله، زهکشی ناکارآمد و ارتعاشات ناشی از حفاری، انفجار و ... است که این بلوک‌های بریده شده با حجم‌های مختلف از چند دسی‌متر مکعب تا هزاران مترمکعب با سرعت بسیار سریع به



پایین دست حرکت می‌کنند (کومک، ۲۰۰۶) این پدیده در سطح کره زمین خسارت‌های فراوانی در طول تاریخ برجای گذاشته است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به زمین‌لغزش در لس‌آنجلس که در آن ۱۰۰۰۰۰ نفر کشته شدند اشاره داشت (مهندسين مشاور راه و ابنیه، ۱۳۸۴). در مورخه شانزدهم خردادماه سال هزار و سیصد و هشتاد و چهار در محور مواصلاتی نیر-سراب (گردنه صائین) در استان اردبیل زمین‌لغزش 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. عوامل مختلفی در ایجاد این زمین‌لغزش نقش داشته‌اند؛ که از جمله می‌توان به عوامل زمین‌شناسی (لیتولوژی و ساختار زمینشناسی)، ضخامت و بافت خاک، درصد پوشش گیاهی، کاربری اراضی، میزان پستی و بلندی، شیب دامنه و بالأخره آب‌های زیرزمینی اشاره نمود (مددی، ۱۳۸۹). زمین‌لغزش می‌تواند در شیب‌های طبیعی و دست‌کاری شده توسط انسان رخ دهد. عوامل موثر در ناپایداری و گسیختگی دامنه‌ها را از دیدگاه ژئوتکنیکی می‌توان در دو دسته قرار داد. یک دسته عواملی که باعث کاهش مقاومت برشی شده و دیگری عواملی که باعث افزایش نیروی محرک می‌گردند. به منظور کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش، شناسایی پهنه‌های دارای پتانسیل خطر زمین‌لغزش و به نقشه درآوردن آن امری ضروری است. تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از مهم‌گام‌های اصلی در مدیریت و کاهش خسارات ناشی از این پدیده می‌باشد (وان و همکاران، ۲۰۱۴) برای این کار، روش‌های متعددی توسط محققین در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که هر یک از آنها تحت شرایط ویژه‌ای ارائه گردیده‌اند (خدائی و حجازی، ۱۳۹۵). روش‌های سلسله مراتبی یا AHP و تحلیل شبکه ANP از جمله این روش‌ها می‌باشند. هر کدام از این روش‌ها دارای مزیت‌ها و معایبی می‌باشند که می‌توان به در نظر نگرفتن روابط بین سطوح پایینی با سطوح بالایی در روش سلسله مراتبی اشاره کرد که در روش ANP این مورد تعمیم یافته است. این روش به دلیل ماهیت شبکه‌ای که دارد بهتر می‌تواند ارتباط و وابستگی بین عوامل و معیارها را ایجاد کند. طی سال‌های متمادی مطالعات زیادی در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است (همکاران، ۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطر بروز زمین‌لغزش در حوضه

آبخیز بالیخلوچای در استان اردبیل پرداختند و نتایج نشان داد که نواحی غربی و جنوب غربی حوضه به دلیل وجود سازندهای رسوبی، پادگانه‌های قدیمی و انواع ترکیباتی از رس، مارن، آهک و لاهار، کاربری کشاورزی و جهت شیب شمالی و شمال غربی، بیشترین حساسیت را برای وقوع لغزش دارا هستند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) خطر بروز زمین لغزش را با مدل توزیع چند وزنی در مناطق ساحلی جنوب شرق چین پهنه‌بندی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش این مدل روش مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. روستایی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی روش ANP و روش تصمیم چندمعیاره مکانی در پهنه‌بندی خطر بروز زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای پرداختند و با تفسیر ضرایب نشان دادند که معیارهای کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی و جهت شیب دامنه‌ها مهمترین نقش در بروز زمین لغزش را دارا می‌باشند. عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل AHP به پهنه‌بندی خطر بروز زمین لغزش در محدوده حوضه آبخیز اهرچای پرداختند نتایج به دست آمده از پژوهش نشان داد که عوامل زمین‌شناسی بیشترین وزن (نقش) و عوامل انسانی کم‌ترین وزن و تأثیرگذاری را داشته‌اند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با مدل ANP پرداختند، که نتایج نشان‌دهنده درصد بالای فرایندهای مخاطره‌زا در محدوده‌ی شهری است. در این فرایند عامل شیب و حساسیت لیتولوژی مهم‌ترین سهم را بر عهده داشته‌اند. بابکان و همکاران (۱۳۸۵) به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از GIS در ناحیه ساحلی دریای خزر، الگوهای احتمالی ریاضی وقوع زمین لغزش را وارد GIS کردند و رابطه آماری تراکم فراوانی وقایع زمین لغزش را در لایه‌های اطلاعاتی با سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب کردند. با توجه به مطالعات انجام شده و درک اهمیت موضوع، به طور قطع میتوان عنوان کرد که پایداری دامنه‌ها و یا شیب دامنه‌ها نقش بسیار مهمی در اکثر مخاطرات طبیعی به ویژه سیلاب و زمین لغزش ایفا می‌کند. زمین لغزش در واقع یک پدیده مخرب می‌باشد که خسارات جبران‌ناپذیر و یا بسیار هزینه‌بر را ایجاد می‌نماید. شناخت مناطق مستعد زمین لغزش و مدیریت آن‌ها از مهمترین پروژه‌های عمرانی می‌باشد. هدف از ارائه این پژوهش، پهنه‌بندی خطر بروز زمین لغزش در مسیر جاده سراب\_نیر می‌باشد. در این پژوهش به بررسی و ارزیابی



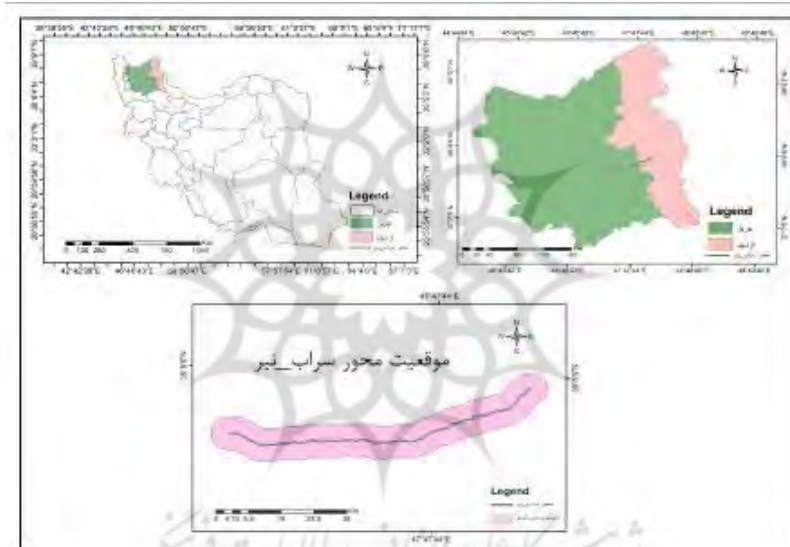
دو مدل تحلیل شبکه و منطق فازی می‌باشد. که امید است در نهایت با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مدیران در راستای کاهش خسارات احتمالی و یافتن مکان‌های امن تر جهت توسعه ساخت و ساز و احداث جاده شود. نوآوری این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه علاوه بر دیدگاه تطبیقی مقایسه حاضر که نتایج محاسبات عددی را با واقعیت‌های زمینی تطبیق میدهد بخش اعظم این مطالعه بر روی مطالعات صحرایی تاکید و در دو نوبت موقعیت نقاط ریزشی بررسی و برداشت گردیده است که در تحقیقات مشابه به چنین چیزی کم توجه شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

جاده سراب - نیر بین استان آذربایجان شرقی و استان اردبیل قرار گرفته و مسیر ارتباطی بین این دو استان می‌باشد که مختصات جغرافیایی آن ۳۷ درجه و ۹۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۰۱ دقیقه طول شرقی می‌باشد. مرتفع‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه ۲۶۹۹ متر و پست‌ترین قسمت آن ۱۴۵۸ متر در اطراف شهرستان نیر می‌باشد. میانگین بارش سالانه این محدوده حدود ۲۷۵ میلی‌متر برآورد شده است که بارندگی‌های اطراف نیر و اردبیل بالاتر از سراب می‌باشد. از لحاظ زمین‌شناسی از زون البرز - آذربایجان بوده و در داخل زون آتشفشانی ترشیر - کواترنری قرار دارد. (ستار زاده قدیمی و همکاران، ۱۳۸۰). واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه از توف، بازالت، آندزیت، تراکیت و پومیس تشکیل شده‌اند که در برخی مناطق واحدهای کواترنری آنها را پوشانده‌اند (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷). این منطقه عمدتاً از سنگ‌های آذرین و آذرآواری تشکیل شده است. قدیمی‌ترین سنگ‌ها ماسه‌سنگ‌های آهکی متمایل به قرمز و آهک‌های خاکستری به سن پرمین است، این سنگ‌ها به شدت هوازده شده و روی سنگ توسط مواد تخریبی نسبتاً ضخیمی پوشیده شده است. این سنگ‌ها توسط آب‌های گرم زیرزمینی متأثر شده و در حال دگرگون شدن هستند. سنگ‌های پامیس به سن الیگومیوسن قسمت مرکزی و شرق محدوده پوشانیده است. این سنگ‌ها طبیعتاً سست بوده

و نسبت به سنگ‌های مجاور (آندزیت و بازالت) بیشتر تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته- اند (مددی، ۱۳۸۹: ۸۲)، که عموماً منطقه از لحاظ توپوگرافی در بخش شرقی دارای ارتفاعات زیاد و در قسمت غربی دارای ارتفاعات نسبتاً کم‌تر می‌باشد. همچنین در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی بازی و در قسمت شمال شرقی این محدوده کنگلومراهای تشکیل شده از مواد آتشفشانی همراه با لاهار و قسمت شرقی تشکیل شده از آندزیت‌های آتشفشانی می‌باشد (توضیحات پشت نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه، محور سراب به سمت نیر (از چپ به راست)

### استخراج داده

در این پژوهش برای تعیین مناطق مستعد ریزش و پهنه‌بندی از مدل تحلیل شبکه استفاده شد. فرآیند تحلیل شبکه چون حالت عمومی AHP و شکل گسترده‌تر آن است، بنابراین انعطاف‌پذیری به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی متقابل و بازخورد) میان عناصر تصمیم را با به کارگیری ساختار شبکه‌ای به جای ساختار سلسله



مراتبی در نظر بگیرد (زبردست، ۱۳۸۹). به منظور درک بهتر عوامل بروز زمین‌لغزش و همچنین ساماندهی تحقیق به صورت میدانی از منطقه مورد مطالعه بازدید صورت گرفته و تعداد ۱۵ نقطه جغرافیایی از مناطق مختلف محدوده مطالعاتی ثبت شد. موقعیت جغرافیایی نقاط مستعد ریزش نیز با GPS ثبت گردید. سپس با توجه به مدل تحلیل شبکه لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردیدند. پس از محاسبه وزن‌ها، نرمال سازی لایه‌ها با استفاده از رابطه زیر انجام شد و تمام لایه‌های اطلاعاتی بر اساس همین رابطه دارای ویژگی کمی با دامنه‌ای از ارقام پیوسته صفر تا یک شدند.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x > a \\ \frac{b-x}{b-a} & b > x > a \\ 0 & b > x \end{cases} \quad \text{رابطه (۱):}$$

لایه‌های اطلاعاتی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عبارت‌اند از: گسل، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، بارش، ارتفاع و پوشش گیاهی. فایل ارتفاعی یا مدل رقومی ارتفاع منطقه با دقت ۳۰ متر از سایت USGS تهیه شد و DEM مورد نظر، فایل رقومی است که از سنجنده ASTER به دست آمده است و با توجه به این DEM، لایه اطلاعاتی همچون آبراهه‌ها، شیب و جهت شیب به دست آمدند. پوشش گیاهی منطقه نیز از تصاویر سنجنده لندست ۸ در مرداد سال ۱۳۹۷ از همین سایت دریافت شد و با انجام تصحیحات مورد نظر در تصویر و اعمال شاخص پوشش گیاهی، پوشش گیاهی منطقه استخراج شد. اطلاعات بارش منطقه (در بازه زمانی ۱۳۷۱-۱۳۹۴) نیز از ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در اردبیل و سراب و همچنین اداره هواشناسی شهرستان نیر دریافت شد و در کل از اطلاعات سه ایستگاه که در محدوده مورد مطالعاتی قرار داشتند استفاده شد و سپس با استفاده از روش وزن دهی معکوس آمار بارش برای کل منطقه به دست آمد در این روش تأثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله آن است، بنابراین تأثیر پدیده‌ی مورد نظر با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد و به دلیل اینکه بارش پارامتری پیوسته است بدین معنی که نقاط نزدیک دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشند، این روش نسبت به سایر روش‌ها دقت مناسب‌تری را ارائه می‌دهد که نقشه

زمین‌شناسی و گسل از طریق رقومی کردن نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایجاد شد و نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ به دست آمد. لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شدند و در نهایت با استفاده از وزن‌های به دست آمده از مدل ANP که در نرم‌افزار Super Decisions ایجاد شده بودند ضرب گردید.

### روش تحلیل شبکه (ANP)

فرآیند تحلیل شبکه یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است و در مجموعه مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و شبکه را جایگزین سلسله مراتب کرده است. مدل ANP از سلسله مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر، روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹). این مدل اگرچه در مواردی مانند دست‌یابی به اولویت‌های مقیاس نسبی با انجام مقایسات زوجی عملکردی همانند مدل سلسله مراتبی دارد ولی دارای تفاوت‌هایی با مدل AHP می‌باشد (خدائی و حجازی، ۱۳۹۵). برای انجام پهنه‌بندی به روش ANP با استفاده از بازدید میدانی و برداشت مختصات نقاطی که دچار ریزش سنگ شده بودند و یا سابقه ریزش سنگ وجود داشته است، و توزیع نقاط نمونه بر روی طبقات و کلاس لایه‌های مؤثر بر ریزش سنگ در نرم‌افزار ArcGIS، لایه‌ها و طبقات مؤثر شناسایی شده و در نهایت با استفاده از نظرات و کارشناسی اساتید برتر این حیطه (ژئومورفولوژی)، وزن هر یک از لایه‌ها که به صورت پرسشنامه‌ای تهیه شده بود در نرم‌افزار Super Decisions به دست آمد.

در نهایت برای به دست آوردن وزن نهایی هر عنصر، وزن هر زیر معیار بر معیار مربوطه خود ضرب شد تا وزن نهایی هر زیر معیار مشخص شود. این کار در محیط نرم‌افزار اکسل انجام شد و وزن نهایی هر عنصر به دست آمد. در نهایت بعد از آماده‌سازی داده‌ها و همچنین به دست آوردن وزن نهایی هر زیر معیار، وزن نهایی هر لایه در خود لایه ضرب شد و در نهایت تمامی لایه‌ها باهم جمع شدند و به این ترتیب پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP به دست آمد (جداول ۱ و ۲).





جدول ۱. ماتریس امتیازدهی زیر معیارها

* اراضی کاربری	زمین‌شناسی	فاصله از گسل	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	جهت شیب	شیب	ارتفاع	*
۰/۱۰۷۱۳۰	-/۱۳۹۸۷۲	۰/۰۵۴۳۹۹	۰/۰۶۲۰۵۶	۰/۰۵۹۱۹۵	۰/۰۷۵۲۷۲	۰/۰۸۲۰۶	۱	ارتفاع
۰/۱۰۷۱۳۰	-/۱۳۹۸۷۲	۰/۰۵۴۳۹۹	۰/۰۶۲۰۵۶	۰/۰۵۹۱۹۵	۰/۰۵۷۲۳۵	۱	*	شیب
۰/۰۵۷۲۷۲	-/۰۵۷۲۷۲	۰/۰۵۷۲۷۲	۰/۰۵۷۲۷۲	۱/۱۱	۱	*	*	جهت شیب
۰/۰۵۹۱۹۵	-/۰۵۹۱۹۵	۰/۰۵۹۱۹۵	۰/۰۵۹۱۹۵	۱	*	*	*	فاصله از آبراهه
۰/۱۰۷۱۳۰	-/۱۳۹۸۷۲	۰/۰۶۲۰۵۶	۱	*	*	*	*	فاصله از جاده
۰/۱۰۷۱۳۰	-/۰۵۴۳۹۹	۱	*	*	*	*	*	فاصله از گسل
-/۱۳۹۸۷۲	۱	*	*	*	*	*	*	زمین‌شناسی
۱	*	*	*	*	*	*	*	کاربری اراضی

جدول ۲. وزن‌دهی معیارها

عامل	وزن نسبی
ارتفاع	۰/۴۰۴۸۷۶
شیب	۰/۱۱۱۸۵۶
جهت شیب	۰/۰۲۸۲۵۶
فاصله از آبراهه	۰/۰۱۸۴
فاصله از جاده	۰/۰۱۲۱۵۱
فاصله از گسل	۰/۰۲۶۸۴
زمین‌شناسی	۰/۰۶۹۰۱
کاربری اراضی	۰/۰۲۰۹۷۶

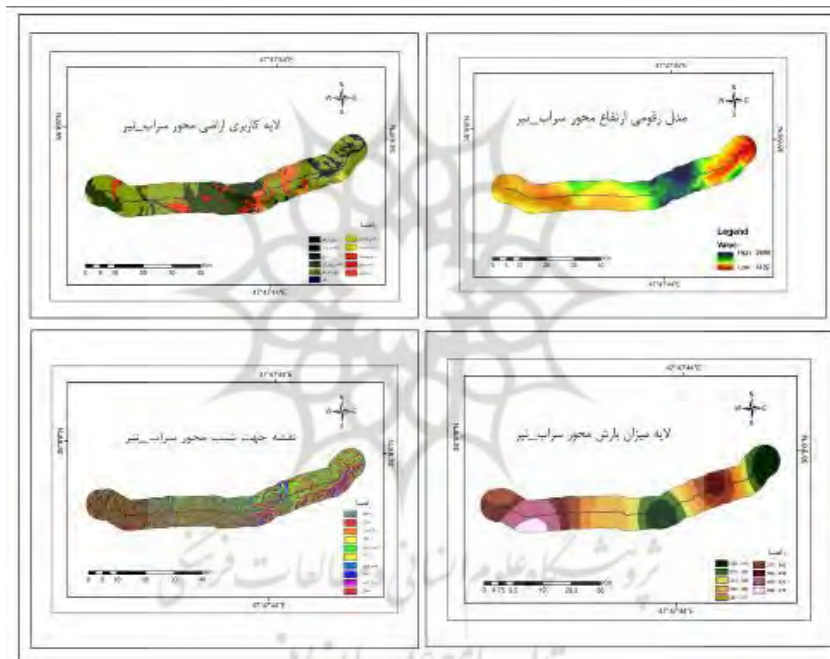
### فازی سازی داده‌ها

در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک). تئوری مجموعه‌های فازی (ارائه شده توسط پروفیسور لطفی زاده: ۱۹۶۵). با شناخت پارامترهای موثر در وقوع زمین لغزش یک منطقه و بررسی ارتباط این عوامل با زمین لغزش - های اتفاق افتاده، این پارامترهای مکانی را می‌توان جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین

لغزش با استفاده از شبکه استنتاج فازی FIN ترکیب کرد.

### بحث و نتایج

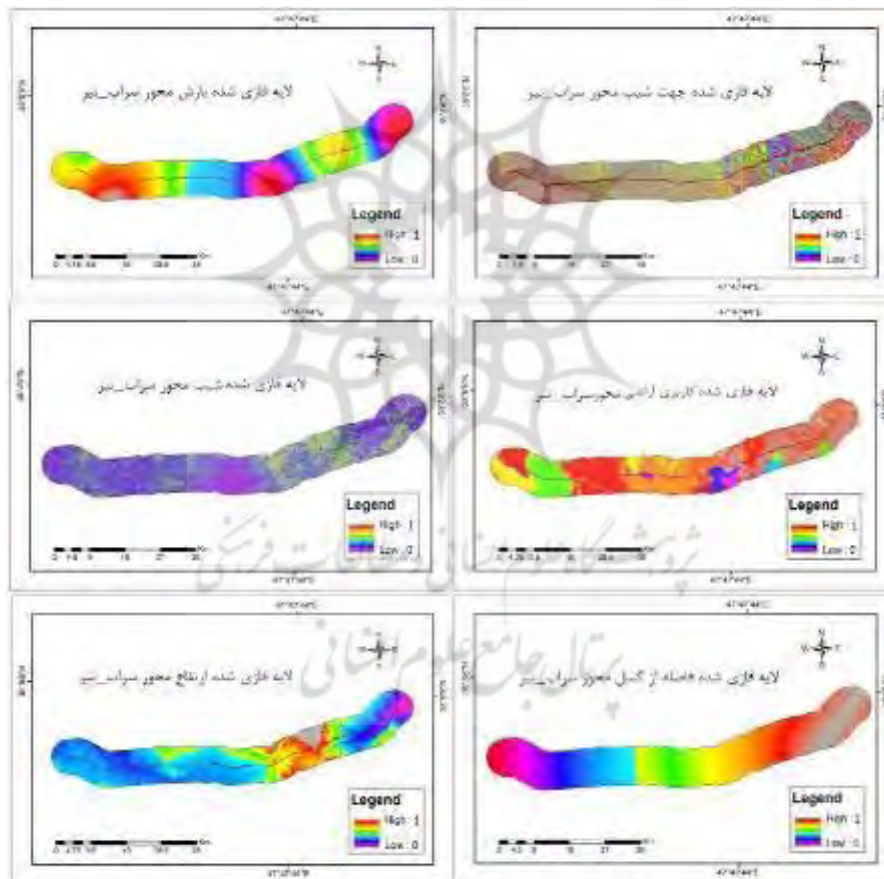
به منظور به دست آوردن نقشه خطر زمین لغزش در محدوده سراب-نیز ابتدا به ایجاد نقشه‌های موثر در وقوع ریزش سنگ از دامنه‌های منطقه مورد مطالعه پرداخته شد و نقشه حاصل از آنها تهیه گردید و در شکل (۲) نمایش داده شد.

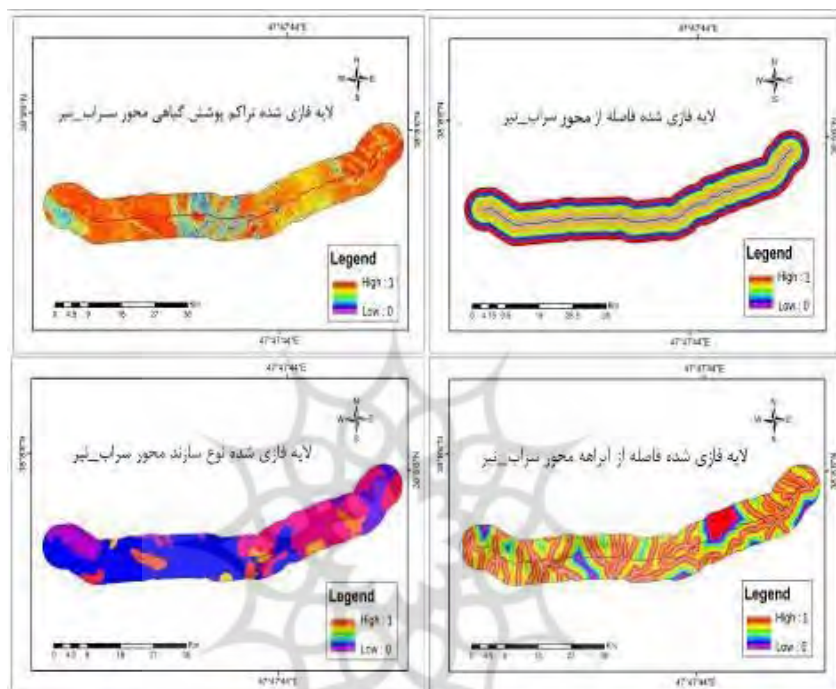


شکل (۲). نقشه پارامترهای موثر بر ریزش سنگ در محدوده جاده سراب-نیز

همانطور که در شکل (۲) مشخص است چهار نقشه به منظور بررسی خطر زمین لغزش ایجاد شده که لایه‌های بارش، شیب، ارتفاع و کاربری اراضی می‌باشند. بعد از ایجاد لایه-های اطلاعاتی به منظور تهیه نقشه نهایی خطر زمین لغزش، به ایجاد نقشه‌های فازی لایه‌های اطلاعاتی پرداخته شد. در این مطالعه برای این که تأثیر کلاس‌های مختلف

معیارها، در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش مشخص شود، لایه‌ها بر اساس نوع عملکرد هر کدام در رخداد زمین‌لغزش با استفاده از توابع عضویت فازی در بازه صفر تا ۱ فازی سازی شدند. پارامترهای استفاده شده شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، زمین‌شناسی و کاربری اراضی می‌باشد. نتایج به دست آمده در زیر نمایش داده شده است (شکل ۳).





شکل ۳. نقشه پارامترهای موثر بر ریزش سنگ به صورت فازی شده در محدوده سراب-نیر

نتایج به دست آمده از لایه‌های اطلاعاتی و در نهایت نقشه خطر زمین لغزش نشان می‌دهد که ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر بیشترین سهم لغزش را به خود اختصاص داده‌اند، همچنین ارتفاعات ۱۴۰۰ متر نیز لغزش در آن‌ها قابل توجه بوده است که دلیل آن ناپایداری دامنه‌ها در برابر عوامل اقلیمی و محیطی می‌باشد. همچنین اکثر لغزش‌ها در فاصله ۳ تا ۶ کیلومتری از گسل‌ها اتفاق افتاده است که نشان از اهمیت گسل‌ها در برابر زمین لغزش می‌باشند. هرچند در نقاط دورتر از گسل نیز لغزش‌هایی وجود دارند. همچنین با مشاهده و مقایسه لایه زمین لغزش و زمین‌شناسی و جنس سنگ مشاهده شد که اکثر زمین لغزش‌ها در مناطقی که جنس سنگ‌ها بیشتر آندزیت‌های آتشفشانی و ژئیس و مارن بوده‌اند رخ داده و لغزش‌های اندکی در مناطقی که دارای رسوبات آبرفتی و نهشته‌های رودخانه‌ای هستند



رخ داده است. بیشترین درصد مربوط به طبقات سنگ‌های رسوبی همراه با میان لایه‌های توفی است (شکل ۴).



شکل ۴. سازندها و تشکیلات سست و رسوبات رودخانه‌ای مستعد زمین لغزش (مأخذ: نگارندگان)

به علت اینکه محدوده مورد مطالعه در قسمت مرتفع و پرشیب قرار دارد و از سکونتگاه‌های شهری و روستایی دور است. از نظر کاربری اراضی طبقات مربوط به مراتع تنک تا متراکم بیش‌ترین اثر را در ریزش سنگ دارند. علت این امر نقش مراتع به خصوص مراتع پرتراکم در نفوذ و هدایت آب بارندگی‌ها به طبقات سست زیرین مربوط است (شکل ۵).



شکل ۵. عوامل انسانی موثر، از بین بردن پایداری دامنه‌ها

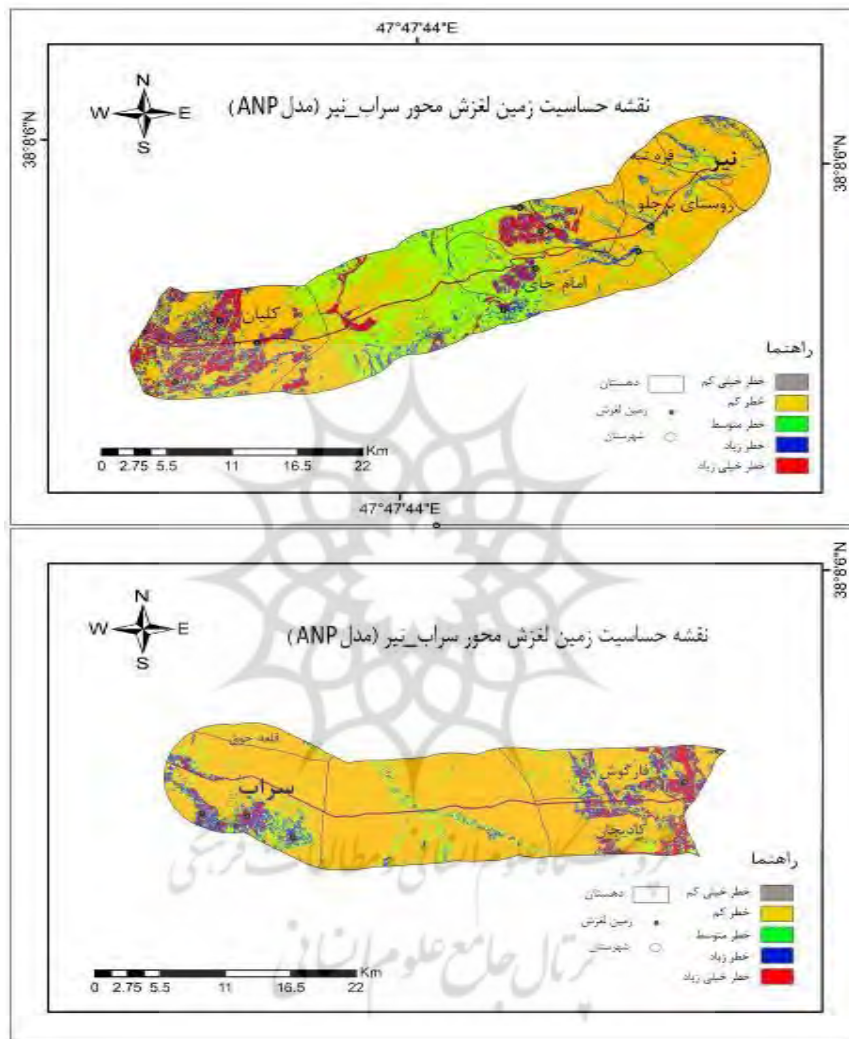
کاربری با پوشش گیاهی متراکم، کم‌ترین لغزش را داشته و قسمت‌های میانی محدوده که پوشش گیاهی کم می‌باشد، بیش‌ترین خطر را دارد و زمین لغزش‌ها در نزدیکی رودخانه و مسیر آبراهه‌ها بیش‌تر از سایر مکان‌ها بوده است که آبراهه‌ها از طریق برش دامنه‌های جاده‌ها و نفوذ دادن رطوبت به پهنه‌های ریزش زمینه وقوع این خطر طبیعی را مهیا می‌سازند. در مورد فاصله از جاده نیز مکان‌های با فاصله حدود ۱ کیلومتر و کمتر، بیش‌ترین خطر را دارا می‌باشند. در برخی مناطق فاصله لغزش‌ها از جاده به حدود ۱۰۰ متر می‌رسد که کلاس مناطق با خطر بسیار بالا را به خود اختصاص داده‌اند. پهنه‌های ریزش هر چه به جاده‌های ارتباطی نزدیکتر باشد، فراوانی ریزش آنها به دو دلیل بیشتر خواهد بود. علت اول به زمان احداث جاده بر می‌گردد. در کوهستان‌های مرتفع و پر پیچ و خم برای احداث جاده‌ها مثل جاده مورد مطالعه بسیاری از مکان‌ها مجبور به استفاده از مواد منفجره، جهت بازگشایی مسیر اولیه هستند. این انفجارهای شدید لایه‌های سنگی دامنه‌ها را سست نموده و زمینه را برای ریزش کوه فراهم می‌نمایند. علت دوم بریدگی‌های عمودی که در زمان احداث جاده ایجاد می‌کنند. همچنین به دلیل بالا بودن وزن شیب عموماً در تمام مناطقی که شیب زیاد بوده است خطر لغزش نیز بالا می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶. قش شیب و بریدگی‌های عمودی در زمین لغزش منطقه و کناره‌های جاده (مأخذ: نگارندگان)

طبقات شیب ۸۰-۶۰ و بعد از آن ۶۰-۴۰ درصد، بیش‌ترین فراوانی لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. این مسئله ارتباط تنگاتنگی با جنس لایه‌های سنگی و سطوح ارتفاعی دارد که در ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا وجود داشتند. تقریباً در تمام جهات جغرافیایی ریزش سنگ وجود دارد. ولی دامنه‌های میانی و غرب بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین همبستگی و ارتباط طبقات شیب، ارتفاع و بارش به چشم می‌خورد که هرچه ارتفاع بالاتر می‌رود به همان اندازه غالباً شیب و بارش نیز افزایش پیدا می‌کند و بالطبع خطر وقوع لغزش نیز بیش‌تر می‌شود. همچنین با بازدیدهای میدانی در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت مشخص شد که بیش‌ترین لغزش‌ها در فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد. با اعمال وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل شبکه، نقشه پهنه‌بندی در قالب پهنه‌های متفاوت خطر در محیط Arc GIS تولید شد (شکل ۷).

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، حدود ۴۰ درصد از زمین‌لغزش‌های رخ داده در کلاس‌هایی با خطر خیلی زیاد و زیاد رخ داده است. این امر نشان می‌دهد که مدل قابلیت بالایی در پیش‌بینی زمین‌لغزش دارد. لازم به توضیح است که عمده لغزش‌های اتفاق افتاده در محدوده گردنه صائین اتفاق می‌افتد که شرایط بسیار مستعدی برای وقوع حرکات دامنه‌ای دارند که این محدوده از ۲۵ کیلومتری سراب شروع شده تا فاصله ۱۵ کیلومتری نیر ادامه پیدا می‌کند. هر چند که تا فاصله ۵ کیلومتری نیر هم به لحاظ پتانسیل خطر، شرایط مستعدی برای وقوع حرکات در بسیار از دامنه‌های دو طرف جاده وجود دارد.

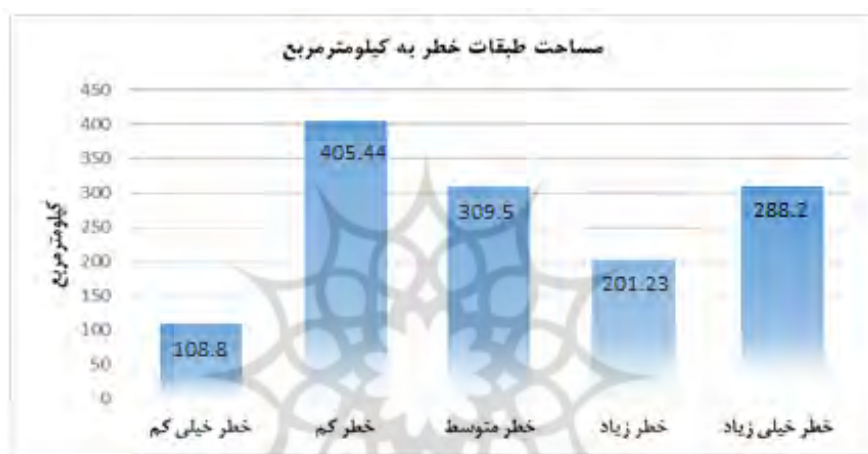


شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به همراه زمین لغزش‌های رخ داده در محور سراب-نیر. شکل بالا بخش شرقی، شکل پایین بخش غربی

سپس مساحت پهنه‌های لغزشی گوناگون بر اساس کیلومتر مربع و درصد محاسبه و به ترتیب در شکل ۸ و جدول ۳ ارائه شده است. هر چند طبق این نمودار طبقه با خطر کم



بیشترین مقدار را نشان داده است و  $405/44$  کیلومترمربع، تقریباً  $30/87$  درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است اما طبقه خطر خیلی زیاد با  $288/2$  کیلومترمربع و طبقه خطر زیاد با  $201/23$  کیلومترمربع، در کل  $37/25$  درصد از مساحت طبقات خطر را به خود اختصاص داده که این مقدار چشمگیر و نگران‌کننده می‌باشد.



شکل ۸. سهم هر یک از طبقات از پراکنش لغزش‌ها

جدول ۳. مساحت پهنه‌های لغزشی به درصد

کلاس	مساحت به درصد
خطر خیلی کم	۱۸,۹۴
خطر کم	۲۶,۸۷
خطر متوسط	۲۰,۵۷
خطر زیاد	۱۵,۲۶
خطر خیلی زیاد	۲۸,۸

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل گوناگون تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش در محور جاده سراب\_نیر با شعاع ۳ کیلومتری جاده بررسی شد. از آن جایی که حرکات توده‌ای مانند زمین لغزش در جاده‌ها به صورت سیستمی عمل می‌کنند در نتیجه همه عوامل در وقوع چنین پدیده‌هایی نقش خاص خود را ایفا می‌کنند ولی در این میان بعضی از عوامل نقش پررنگ‌تری دارند. در بین عوامل یاد شده در بروز زمین لغزش، عواملی همچون شیب و بارش و زمین‌شناسی نقش پررنگ‌تری نسبت به بقیه عوامل ایفا می‌کنند. شیب‌های ۶۰ تا ۸۰ درصد بیش‌ترین تأثیر را در بروز زمین لغزش داشته‌اند که این شیب‌ها در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر بیشتر به چشم می‌خورد. پس ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر بیشترین لغزش‌ها را دارند همچنین به دلیل رابطه مستقیم ارتفاع با نوسانات اقلیمی در این ارتفاعات میزان بارش نیز بالاتر بوده و بالطبع در تشدید وقوع زمین لغزش نیز تأثیر بسیاری داشته است. در این مناطق پوشش گیاهی در حداقل ممکن خود قرار می‌گیرد و به علت سردسیر بودن منطقه استقرار پوشش گیاهی در این مناطق بسیار ناچیز است که خود شرایط را برای بروز لغزش‌ها آماده می‌کند و به دلیل وجود سازندهای رسوبی مانند ماسه‌سنگ، گل سنگ سیلتستون با میان لایه‌های توفی در منطقه، شرایط برای زمین لغزش مستعدتر شده است و چون این سازندها زودتر پایداری خود را از دست می‌دهند و به شدت تحت تأثیر عوامل فیزیکی شیمیایی هستند مستعدتر از بقیه سازندها در بروز لغزش می‌باشند. با توجه به نتایج، طبقه با خطر کم با بیشترین مقدار یعنی ۴۴/۴۵ کیلومترمربع، تقریباً ۳۰/۸۷ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است اما طبقه خطر خیلی زیاد با ۲۸۸/۲ کیلومترمربع و طبقه خطر زیاد با ۲۰۱/۲۳ کیلومترمربع، در کل ۳۷/۲۵ درصد از مساحت طبقات خطر را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به این امر می‌توان از نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه مدیریت و انجام پایدارسازی دامنه‌ها برای کاهش خسارات مربوط به زمین لغزش استفاده کرد با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد برای کاهش خطرات حاصل از وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه در وهله اول باید در ارتفاعات بالای ۲۰۰ متری سیستم‌های مناسب برای تخلیه جریانات سطحی ایجاد گردد تا در فصول مرطوب از روند نفوذ و ناپایداری تشکیلات حساس

در نواحی مستعد جلوگیری گردد، به نظر می‌رسد این اقدام بسیار مستعدتر از انجام اقدامات سازه‌ای خواهد بود با توجه به این‌که در سال‌های گذشته سازه‌های مهندسی ساخته شده مکرراً تخریب گشته‌اند بنابراین موضوع اساسی در کاهش ریسک وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه انجام اقدامات زهکشی مناسب جهت تخلیه رواناب‌ها و جلوگیری از نفوذ آن‌ها در مناطق مستعد می‌باشد. بررسی زمین‌لغزش در این مطالعه نشان‌دهنده دقت مناسب مدل تحلیل شبکه (ANP) در پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌باشد و با نتایج مطالعات مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، روستایی و همکاران (۱۳۹۴) نتویان و همکاران (۲۰۱۴) در رابطه با پهنه‌بندی زمین‌لغزش با مدل ANP، هم‌خوانی دارد. همچنین مددی (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی خطر وقوع زمین‌لغزش به روش آنالاکان در گردنه صائین پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پهنه‌های با خطر بالا، ۱۰٫۵ کیلومتر که حدود ۲۳ درصد از اراضی منطقه را شامل می‌شود، مناطق با خطر زیاد ۲۴٫۶ درصد، پهنه با خطر متوسط ۲٫۱ درصد، پهنه با خطر کم ۱۸ درصد و پهنه با خطر خیلی کم ۱۴٫۷۵ درصد از منطقه را به خودشان اختصاص می‌دهند. نتایج پژوهش شهیدی و همکاران (۱۳۹۴) در گردنه صائین نشان داد که شرایط محلی زمین ریخت‌شناسی دیرین و وجود یک محدوده فروافتاده سبب زهکش شدن آب از منطقه بالادست به سمت توده لغزشی می‌گردد. بدین ترتیب افزایش سطح آب زیرزمینی در محدوده توده لغزیده به دلیل بارندگی استثنایی فصل زمستان و بهار سال آبی ۸۳-۸۴ می‌تواند مسبب اصلی ایجاد زمین‌لغزش باشد.

## منابع

- بابکان، سولماز؛ زارع، مهدی؛ معماریان، حسین. (۱۳۸۵). پهنه بندی حساسیت زمین لغزش، در ناحیه ساحلی دریای خزر، با روش احتمالی نسبت فراوانی با استفاده از GIS. دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران، شرکت کیفیت ترویج.
- خدائی قشلاق، فاطمه؛ حجازی، اسداله. (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در محدوده کلیرچای با استفاده از روش تحلیل شبکه ANP، اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها، اردبیل، شرکت کیان طرح دانش، مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد.
- رامشت، محمدحسین؛ سادات، سمیه. (۱۳۹۰). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، توریسم. انتشارات دانشگاه اصفهان، ۳۹۲ صفحه.
- رنجبر، محسن؛ معمار افتخاری، محمد. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پدیده لغزش با استفاده از روش LNRFR در جاده هراز (از امامزاده هاشم تا لاریجان)، جغرافیا، دوره ۱۰؛ شماره ۳۳، ۱۰۷-۱۲۸.
- روستایی، شهرام؛ خدائی، لیلا؛ مختاری، داوود؛ رضا طبع، خدیجه؛ خدائی، فاطمه. (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل شبکه در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۴، شماره ۵، ۷۴-۵۹.
- زبردست، اسفندیار. (۱۳۹۸). کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۲، شماره ۴۱، ۹۰-۷۹.
- سوری، سلمان؛ لشکری‌پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ فرهادی نژاد، طاهر. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوربان))، مجله زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت معلم، دوره ۵، شماره ۲، ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
- عبادی نژاد، سید علی؛ یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران؛ شادفر، صمد. (۱۳۸۶). ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیروود)، انجمن آبخیزداری ایران، سال اول، شماره ۲، ۳۹-۴۴.

-عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق حسن؛ دلال اوغلی، علی؛ ثروتی، محمدرضا. (۱۳۸۸). «ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، (مطالعه موردی: حوضه آبخیز اهرچای)، *مجله فضای جغرافیایی*، دوره ۹، شماره ۲۶، ۷۱-۸۷.

-فتحی، محمدحسین؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ عابدینی، موسی. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آماری دو متغیره و منطق فازی. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، دوره ۲۶، شماره ۳: ۴۹-۶۰.

-فرجی سبکبار، حسنعلی؛ سلمانی، محمد؛ فریدونی، فاطمه؛ کریم زاده، حسین؛ رحیمی، حسن. (۱۳۸۹). مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرآیند شبکه‌ای تحلیل (ANP)، مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، *فصلنامه مدرس برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی) علوم انسانی*، دوره ۱۴، شماره ۱، ۱۲۷-۱۴۹.

-مددی، عقیل. (۱۳۸۹). بررسی ناپایداری ژئومورفولوژیک گردنه صائین (بین شهر نیر و سراب، منطقه آذربایجان) با استفاده از روش آنالاکان؛ *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۱، شماره ۱، ۷۷-۹۴.

-مقیمی، ابراهیم. یمانی، مجتبی. رحیمی هرآبادی، سعید. (۱۳۹۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال اول - شماره ۴، ۱۰۳-۱۱۸.

-مهندسین مشاور طرح راه و ابنیه (۱۳۸۴) گزارش بررسی عملکرد زمین‌شناسی محور اردبیل - سراب - صائین ( اداره کل راه و ترابری استان اردبیل).

-میرسنجری، میرمهرداد؛ ایلدرمی، علیرضا؛ عابدیان، سحر؛ علی محمدی، عارفه. (۱۳۹۷). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل LNRFL (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز قمرود- الیگودرز)، *مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۷، شماره ۱۸، ۱۰۹-۱۳۰.

-Cruden MD, Varnes, DJ. 1996. Landslide types and processes 276: 36-75.

-Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74:17-28.

- Neaupane K.M, Piantanakulchai M. (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology* 85: 281–294.
- Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013). susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth* Vol.63, PP.147–159.
- Piacentini D, Troiani, F., Soldati M, Notarnicola C, Savelli D., Schneiderbauer S, Strada C. 2012. Statistical analysis for assessing shallow landslide susceptibility in South Tyrol (south eastern Alps, Italy). *Geomorphology* 151–152: 196–206.
- Van Westen C.J., (1995). Geographic Information System in Landslide Hazard Zoning: A Review, with Example from the Andes of Colombia in: Price, M. and System, Taylor & Francis, Basingstoke, U.K, pp. 135-165.
- Varnes, D. J., (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principle and Practice, UNEXCO, Paris. pp. 345-405.
- Wan, S. and Chang, S.H. (2014). Combined Particle swarm optimization and linear discriminant analysis for landslide image classification: Application to a case study in Taiwan *Environ, Earth Sci*, 72: 1453-1464.
- Zhang, W, Wang ., W., Xia ., Q., (2012) Landslide Risk Zoning Based on contribution of rate stack Method, *Energy procedia*, vol. 16. pp 178 – 183 .