

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم تطبیقی MABAC و ANP (مطالعه موردی: شهرستان نیر)

موسی عابدینی* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
الناز پیروزی - دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک دانشگاه محقق اردبیلی.
الهام شکرزاده - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۸ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶

چکیده

زمین‌لغزش‌ها، از پر حادثه‌ترین مخاطرات طبیعی دنیا می‌باشد و شناخت و پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌تواند در مدیریت، کنترل، مهار و کاهش میزان خسارات آن، موثر باشد. شهرستان نیر با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی، عمده شرایط لازم را جهت رخداد حرکات لغزشی داراست و لذا هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این شهرستان می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، عوامل مؤثر جهت ایجاد لغزش در شهرستان نیر (شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، فاصله از راه ارتباطی، خاک، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و بارش) شناسایی شدند و سپس نسبت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام گردید. در مرحله بعد وزن‌دهی عوامل مورد بررسی، با استفاده از روش ANP و در محیط نرم‌افزار Super Decision انجام گردید و تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش MABAC به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. در نهایت، نقشه‌ی حاصله در پنج رده‌ی با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی گردید. با توجه به نتایج مطالعه، عوامل کاربری اراضی، لیتولوژی، شیب و طبقات ارتفاعی بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. همچنین، نتایج مطالعه نشان داد؛ به ترتیب ۱۷۱/۹۳ و ۳۱۲/۳۸ کیلومتر-مربع از مساحت شهرستان، در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، قرار دارند و مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سازندهایی با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی، کاربری-های زراعی و مرتع، شیب‌های ۳۵-۲۰ درصد و ارتفاعات بیش از ۱۵۰۰ متر قرار دارند. به علاوه، با توجه به اعتبارسنجی نتایج مطالعه، می‌توان اذعان داشت که استفاده تلفیقی از روش‌های ANP و MABAC، با سطح زیر منحنی ۰/۸۴۲، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی زمین-لغزش برخوردار است. در نهایت می‌توان اظهار داشت، نظر به توان بالای شهرستان نیر، از لحاظ رخداد حرکات لغزشی، بایستی اقدامات حفاظتی، مدیریتی و آبخیزداری در سطح شهرستان مورد توجه مسئولان و دستگاه‌های ذی‌ربط قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مخاطرات، حرکت دامنه‌ای، MCDM، شهرستان نیر.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که همواره محیط طبیعی را دستخوش تغییرات قرار داده، زمین لغزش‌ها می‌باشد. لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (محمودی، ۱۳۸۷: ۳۸). از میان انواع حرکات دامنه‌ای زمین لغزش‌ها، تلفات فاجعه‌آمیز و گسترده‌ای محسوب می‌شوند که در بسیاری از مناطق جهان آسیب‌های قابل توجهی را در جامعه به همراه دارند (هاک و همکاران^۱، ۲۰۱۹: ۶۷۶؛ روسی و همکاران^۲، ۲۰۱۹: ۳). به عنوان مثال؛ بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین لغزش‌ها بر کشور ایران وارد می‌شود (احمدی و طالبی، ۱۳۸۰: ۳۲۴). تلفات عظیم زمین لغزش از عوامل طبیعی و عوامل فعال خارجی نتیجه می‌گیرند که عوامل طبیعی عبارتند از: عامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی یا نوع خاک، ویژگی انسجام ساختمانی، مقاومت برشی مواد، شرایط آب‌های زیرزمینی و اثر آن)، هندسه شیب (شیب، جهت، ارتفاع و انحنای) و زمین یا پوشش زمین و همچنین عوامل خارجی که عموماً باعث لغزش زمین می‌شوند، عبارتند از بارندگی، لرزه‌خیزی و فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های ساختمانی و آماده‌سازی خاک برای کشاورزی در مناطق کوهستانی (سوربی و فرخ‌نیا^۳، ۲۰۱۸: ۳۶). مکانیسم فعالیت این پدیده بدین گونه است که در سازندهای ریزدانه (رس، مارن و شیل) در اثر جذب آب، خاصیت کلئیدی مواد بهم می‌خورد و تا محلی که رطوبت نفوذ کرده باشد، خاک از توده اصلی جدا شده و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند (احمدی، ۱۳۸۶: ۲۳۰). اما، نکته‌ای که بایستی بدان توجه کرد این است که زمین لغزش‌ها از جمله بلایایی هستند که می‌توان پتانسیل وقوع مناطق را از لحاظ رخداد آن بررسی کرد و با پیش‌بینی نواحی با احتمال خطر زیاد، از خسارات و آسیب‌های جانی و مالی ناشی از آن جلوگیری کرد. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد که پهنه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع در زمان معینی می‌باشد. از این طریق سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات بالفعل و بالقوه خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (بل و کلتید^۴، ۲۰۰۴: ۲۳۶). می‌توان گفت، شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و تولید نقشه‌های دقیق منطقه‌بندی حساسیت به رانش زمین از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر می‌باشد (کلوکسن و همکاران^۵، ۲۰۱۶: ۵۴). نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان را در عرصه‌های مختلفی چون مدیریت و حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توریستی، مکانیابی اراضی مناسب برای توسعه شهر و روستا، برنامه‌ریزی‌های زیست محیطی، تعیین مسیر راه‌ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی یاری نماید (کرم، ۱۳۸۳: ۱۳۳). در طی سال‌های اخیر از روش‌های متعددی به منظور پهنه‌بندی زمین لغزش استفاده شده است و از روش‌هایی که مورد توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. برای مثال؛ تاج‌الدین^۶ و همکاران (۲۰۱۸)، در اولوکالنج، واقع در کشور مالزی، گیگاوایس و همکاران^۷ (۲۰۱۹)، در بخش غربی جمهوری صربستان، و جتکوا و و جتک^۸ (۲۰۲۰)، در شهر هاندلوا اسلواکی، مددی و همکاران (۱۳۹۷)، در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان‌چای در استان اردبیل، انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، در استان البرز، بیگدلی و همکاران (۱۳۹۹)، در حوضه ماربر استان اصفهان، به مطالعه خطر زمین لغزش با استفاده روش تحلیل چند معیاره، پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از این روش‌ها، از دقت بسیار بالایی در بررسی زمین لغزش

1. Hag et al

2. Rosi et al

3. Sorbi et al

4. Bel and ghiteid

5. Koleksen et al

6. Tajudin

7. Gigovic et al

8. Vojtekova & Vojtek

برخوردار است. به علاوه از دیگر روش‌هایی که در طی دهه‌های اخیر مورد استقبال قرار گرفته است و کارایی آن مورد قبول پژوهشگران و به ویژه در مطالعه موضوع پهنه‌بندی لغزش می‌باشد، فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، می‌باشد. برای مثال: یوپن و پیاناناکولاچی^۱ (۲۰۰۶)، در ارتفاعات سایولک (در شرق نپال)، عابدی قشلاقی و فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، حوضه آذرشهر، امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه زمین لغزش در حوضه پیوه‌ژن دامنه‌ی جنوبی بینالود، کردوانی و همکاران (۱۳۹۶)، در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان، عابدینی و همکاران (۱۳۹۸)، در پهنه گسلی قوشاداغ-ارسباران، روستایی و همکاران (۱۳۹۸)، در حوضه‌ی نهبندچای، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، در جاده ارتباطی نیر-سراب، مدل ANP را به عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی لغزش معرفی کرده‌اند. لذا، با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی، که عمدتاً وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و اغلب با خطا همراه می‌باشند، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌تواند باعث تسریع در روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد.

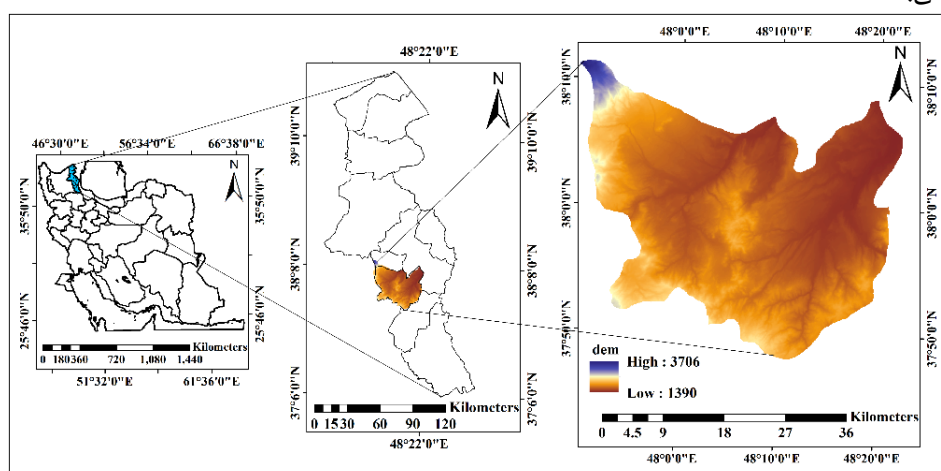
شهرستان نیر، به لحاظ وضعیت خاص، مانند توپوگرافی (داشتن چهره‌ی کوهستانی)، شیب زیاد، وجود مواد سطحی سست و نامقاوم بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به ویژه به علت بارش‌های بهاری و نیز ذوب برف‌ها در فصل بهار) از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار است و از حادثه‌خیزترین شهرستان‌های استان اردبیل، از نظر زمین لغزش، می‌باشد. برای مثال، در مسیر جاده‌ی نیر-سراب در ۱۶ خرداد سال ۱۳۸۵ زمین لغزشی به وقوع پیوست و در نتیجه‌ی این زمین لغزش، ۶۰۰ متر از جاده‌ی اصلی و ترانزیتی این منطقه همراه توده، لغزش یافت و به طور کامل تخریب شد و سبب کشته شدن یک نفر و بروز خسارات مالی هنگفت گردید (مددی، ۱۳۸۹: ۷۷؛ وثیق، ۱۳۹۰: ۲۱). بنابراین وقوع زمین لغزش در سطح شهرستان نیر، منجر به آسیب‌ها و خسارات متعدد، از جمله تخریب راه‌های ارتباطی، آسیب به مناطق مسکونی، فرسایش و هدر رفتن خاک و پرشدن سد یامچی از رسوب می‌گردد. به علاوه، توسعه سکونتگاه‌های انسانی و فعالیت‌های عمرانی در سطح منطقه بدون توجه به احتمال وقوع زمین لغزش می‌تواند به نتایج فاجعه‌باری منتهی شود و حتی ساخت و ساز در پهنه‌های به ظاهر پایدار، می‌تواند محرک حرکات توده‌ای محسوب شود. بنابراین مطالعه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی سطح شهرستان از لحاظ پتانسیل وقوع، جهت شناخت و معرفی نواحی پرخطر، ارائه راه حل‌ها و شیوه‌های مناسب جهت مهار و کنترل زمین لغزش، ضروری به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر، از روش MABAC، که براساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی شده است، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره، در تلفیق با فرآیند تحلیل شبکه، به منظور پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش شهرستان نیر استفاده شده است. شایان ذکر می‌باشد که استفاده از روش ماباک با رویکرد تلفیقی با روش تحلیل شبکه، در امر پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، برای نخستین بار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است و لذا نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بسیار جالب باشد.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان نیر در ۳۹ کیلومتری غرب اردبیل و بین ۴۷ درجه ۵۱ دقیقه تا ۴۸ درجه ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه ۴۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت شهرستان ۱۲۲۴ کیلومتر مربع می‌باشد که ۶/۹ درصد مساحت استان اردبیل را تشکیل می‌دهد و دارای دو بخش مرکزی و کورائیم است (یاری حصار و باختر، ۱۳۹۵: ۱۲۷). کوه سیلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر به همراه کوه‌های اقماری خود، شمال و شمال غرب منطقه نیر را احاطه کرده است و کوه قصر (قصرداغی) در غرب نیر و کوه‌های بزغوش غرب و جنوب غرب آن قرار دارد. مهم‌ترین و معروف‌ترین کوه‌های این شهرستان عبارتند از: بوزداغ با ارتفاع ۲۷۱۰ متر، قوشاقارداش، با ارتفاع ۲۱۷۰ متر، کونکی کوچک، با ارتفاع

^۱. Neaupane and Piantanakulchai

۲۰۰۷ متر، گالایری با ارتفاع ۲۰۵۶ متر، گونی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر، قوشاکلک با ارتفاع ۲۳۴۱ متر، قراول بزرگ با ارتفاع ۲۰۶۱ متر، قصرداغ با ارتفاع ۲۶۸۲ متر، کرکس‌داغی با ارتفاع ۴۵۰۰ متر، قره گونی داغی با ارتفاع ۳۸۸۲ متر، قزخ بلاغ داغی با ارتفاع ۳۸۷۸ متر و ساریمساقلوداغی با ارتفاع ۲۶۸۲ متر از سطح دریا اشاره کرد (قهرمانی، ۱۳۹۶:۳۶). رودهای مهم آن بالیلوچای، نیرچای (آق‌لاقان‌چای)، قوری‌چای، بیوک‌چای، کمال‌چای و جوراب‌چای است. ارتفاع متوسط شهرستان از سطح دریا ۱۶۸۷ متر و ارتفاع مرکز شهرستان (شهر نیر)، ۱۶۳۰ متر می‌باشد. توده‌های هوایی تأثیر گذار بر اقلیم منطقه شامل توده هوای سیبری و جریان‌های غربی می‌باشد. مهم‌ترین عامل محلی مؤثر در اقلیم منطقه، وجود ارتفاعات سبلان در منطقه می‌باشد و افزایش مقدار بارش و کاهش میزان درجه حرارت نسبت به نواحی مجاور از تأثیرات توپوگرافی سبلان در شهرستان نیر، می‌باشد. از نظر آب و هوایی، در زمستان آب و هوای سرد و در تابستان آب و هوای نسبتاً معتدلی را دارا می‌باشد. میانگین بارش سالانه ایستگاه نیر ۳۵۶/۴۲ و میانگین دمای سالانه آن ۹/۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در نتیجه مطابق فرمول دمارتن، ضریب خشکی این ایستگاه ۱۸/۶۱ می‌باشد که نشان‌دهنده حاکمیت اقلیم نیمه‌خشک در سطح منطقه می‌باشد. منطقه مطالعاتی از لحاظ زمین‌ساختی در زون البرز (زیرپهنه البرز غربی-آذربایجان) قرار گرفته است. بیش‌ترین مقدار از مساحت شهرستان نیر را سازندهای Plms (مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، با مساحت ۳۲۰/۷۲۲ کیلومترمربع و Md.av (داسیت و آندزیت نیمه‌آتشفشانی)، با مساحت ۳۱۲/۵۷۱ کیلومترمربع به خود اختصاص داده‌اند. انواع کاربری اراضی شهرستان نیر به صورت، مراتع متراکم، مراتع خوب، مراتع متوسط، مراتع ضعیف، دیم‌زار، کشت آبی، باغات و پوشش جنگلی، نواحی انسان ساخت، شهرک صنعتی، اراضی بایر، مناطق کوهستانی، مناطق آبی و برف می‌باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان نیر

مواد و روش‌ها

شناخت عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در مناطق مختلف بسیار ضروری می‌باشد. در این مطالعه عوامل فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل، بارش، کاربری اراضی، شیب، خاک و لیتولوژی با در نظر داشتن شرایط طبیعی و همچنین انسانی شهرستان نیر، مطالعه منابع و پیشینه‌ی پژوهشی در رابطه با موضوع تحقیق و استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان ذی‌ربط، به عنوان عوامل مؤثر در شهرستان شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان، راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه توپوگرافی استان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد و لایه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل از روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. به منظور استخراج معیار کاربری

اراضی، از تصویر ماهواره ای لندست ۸ سنجنده (OLI) به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ در تاریخ ۱۴/۰۵/۱۳۹۸ استفاده شد (اخذ شده از سایت زمین شناسی آمریکا). ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi5.3 انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیء‌گرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition، صورت گرفت. لازم به ذکر است برای استخراج نقشه کاربری اراضی از ترکیب باندهای مرئی (آبی و سبز و قرمز) و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست، جهت طبقه‌بندی استفاده شد که بر خلاف طبقه‌بندی پیکسل پایه در طبقه‌بندی شیء را ترکیب چهار باند (۲-۳-۴-۷) ماهواره لندست امکان‌پذیر می‌باشد. تعداد ۱۴ کلاس شامل، نواحی انسان‌ساخت، مرتع خوب، مرتع متراکم، مرتع متوسط، مرتع ضعیف، پوشش برف دائمی، دیم‌زار، مناطق کوهستانی، مناطق کشاورزی، زمین بایر، باغات و پوشش جنگلی، شهرک صنعتی و مناطق آبی، برای ناحیه مورد مطالعه استخراج گردید. سپس به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی، برای هر کاربری به تعداد ۵۰ نمونه از مناطق مختلف سطح محدوده برداشت شد و سپس با استفاده از الگوریتم بیشترین فراوانی طبقه‌بندی صورت گرفت در مرحله بعد، طبقه‌بندی شیء‌گرا و بیش‌ترین فراوانی، با بررسی تک به تک کاربری‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. در نهایت ضریب کاپا و صحت کلی تعیین شد. با بررسی صحت‌سنجی طبقه‌بندی شیء‌گرا صورت گرفته در سال ۲۰۱۹، مقدار صحت کلی ۹۰ درصد و همچنین ضریب کاپا برابر با ۰/۸۹ ارزیابی شد و نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها در مطالعه حاضر، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. جهت تهیه نقشه خاک نیز، از نقشه خاک استان اردبیل، اخذ شده از سازمان آبخیزداری استان اردبیل استفاده شده است. نقشه بارش شهرستان، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (ایستگاه‌های اردبیل، نیر، لای و سرعین) و با به دست آوردن معادله گرادیان بارش ($P=0.224 H-83.54$) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه گردید. بدین صورت در محیط Arc map، در Raster Calculator، در اجرای معادله‌ی گرادیان بارش، به جای H، نقشه طبقات ارتفاعی جایگزاری شد و در نهایت نقشه بارش به دست آمد.

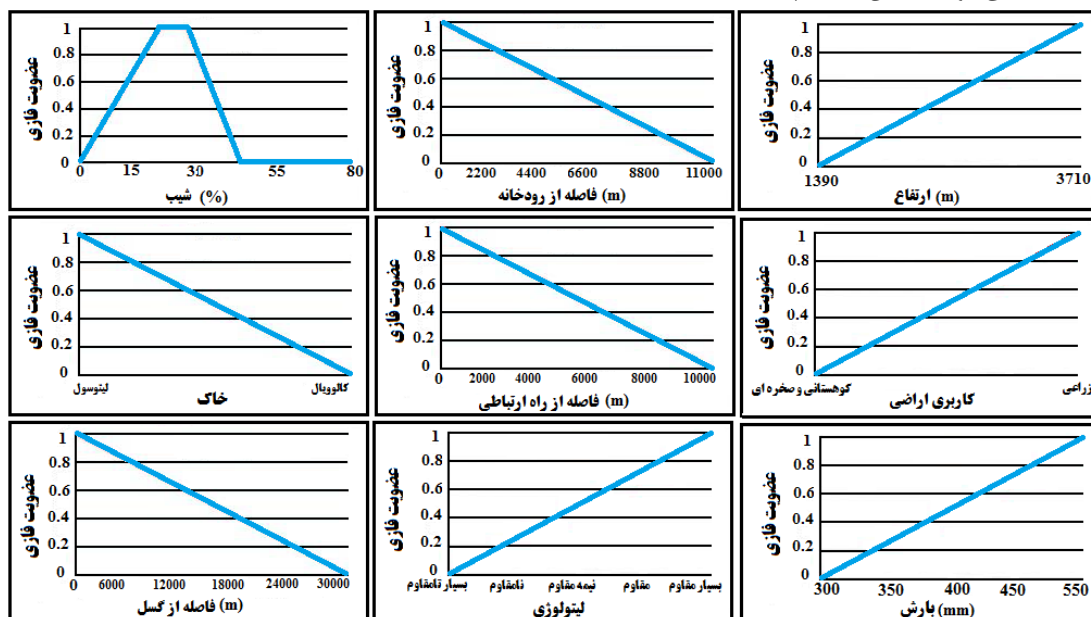
فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش (ANP) شکل توسعه یافته‌ای از روش (AHP) است که قادر است همبستگی و بازخوردهای موجود بین عناصر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی نموده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات نماید. در مدل AHP، تنها معیارها با معیار بالایی خود ارتباط داشتند؛ یعنی معیارها به هدف‌ها، زیرمعیارها به معیارها و گزینه‌ها هم به زیرمعیارها وابسته بودند، حتی خود معیارها هم به همدیگر وابسته نبودند. ولی در مدل ANP، نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه، گزینه بر عناصر تأثیر می‌گذارند، بلکه حتی عناصر بر خودشان و بر دیگر خوشه‌ها نیز اثرگذارند. به طور کلی، روش (ANP) دارای مراحل نیز می‌باشد که شامل، ۱- تعیین معیارها و شاخص‌ها ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها؛ در این گام، مسأله‌ی تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌گردد. ۳- مقایسات زوجی بین عناصر و خوشه‌ها؛ ماتریس‌های مقایسات زوجی مشابه با روش (AHP) می‌باشد و زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها 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- نتیجه‌ی نهایی عناصر؛ ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردد (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹:۱۵۲).

گام‌های روش ماباک (MABAC)

۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش. ۲- تشکیل ماتریس تصمیم؛ ماتریس تصمیم در این روش به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریس که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در

واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۳- در این مرحله نسبت به استانداردسازی و یا به عبارت دیگر بی‌مقیاس نمودن معیارها، اقدام می‌گردد. در این پژوهش، از روش فازی و تابع عضویت خطی (Linear) و سیگموئیدال (Sigmoidal)، به منظور استانداردسازی استفاده شده است (شکل ۲). در مجموعه‌های فازی، مقدار یک به عنوان بیشترین ارزش به حداکثر عضویت و صفر به عنوان کمترین ارزش، به حداقل عضویت لحاظ می‌گردد (بایوم گرتل^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ حسینی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲: توابع عضویت فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش شهرستان نیر

۴- وزن دار کردن ماتریس نرمال: در این گام با استفاده از رابطه زیر، ماتریس نرمال را وزن دار می‌کنیم (رابطه ۱). در مطالعه حاضر جهت وزن‌دهی معیارها از روش ANP استفاده شده است و نتایج حاصل از وزن‌دهی ANP، به توجه به رابطه زیر، به تک‌تک لایه‌های اطلاعاتی لحاظ گردیده است.

$$V_{ij} = W_j * (n_{ij} + 1) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن عناصر ماتریس نرمال شده (N) را نشان می‌دهد، W_j ضرایب وزنی معیار را نشان می‌دهد.

۵- تعیین مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در رابطه ۲، v_{ij} عناصر ماتریس وزنی (V) و m تعداد کل گزینه‌های جایگزین را نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقدار g_i ماتریس محدوده‌های تقریبی مرزی با توجه به معیارهای G با فرمت $N \times 1$ شکل می‌گیرد و n تعداد کل معیارهایی را که گزینه‌های ارائه شده برای آنها انتخاب می‌شود را نشان می‌دهد.

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad \text{رابطه ۲}$$

بنابراین اگر n معیار داشته باشید یک ماتریس $G1 \times n$ به صورت زیر خواهیم داشت (رابطه ۳):

$$G = [g_1. g_2. \dots. g_n] \quad \text{رابطه ۳}$$

1 - Baumgartel

2 - Hoseini

۶- محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت: در این بخش با استفاده از رابطه ۴، فاصله گزینه‌ها را تا ناحیه g بدست می‌آید. در واقع باید ماتریس وزن دار را از ماتریس g کم کرد.

$$Q = V - G \quad \text{رابطه ۴}$$

پس از مشخص شدن ماتریس Q ، می‌توان با استفاده از حد بالایی مساحت ($G+$) و حد پایینی مساحت ($G-$) وضعیت هرگزینه را مشخص کرد.

۷- انتخاب گزینه بهینه: در روش ماباک (MABAC)، با استفاده از رابطه ۵، امتیاز نهایی هر گزینه را مشخص کرده و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

$$S_i = \Sigma(q_{ij}); i = 1.2 \dots n; j = 1.2 \dots m \quad \text{رابطه ۵}$$

محاسبه مقادیر توابع معیار، توسط گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی q_i بدست می‌آید. با جمع کردن عناصر ماتریس Q در هر سطر، مقادیر نهایی تابع معیار گزینه‌ها بدست می‌آید. در این رابطه n تعداد معیارها را نشان می‌دهد و m تعداد گزینه است (علیزاده و خلیلی^۱، ۲۰۱۹؛ اکسو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژانگ و همکاران^۳، ۲۰۲۰).

ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش

منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی است (محمدنیا و همکاران، ۱۳۹۷:۴۲). منحنی ROC نموداری است که در آن روی محور افقی، پیکسل‌هایی که وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش به وسیله مدل را به درستی پیش‌بینی کرده (مثبت درست^۴) و نسبت پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده‌اند (مثبت غلط^۵)، روی محور عمودی ترسیم می‌گردد. در حقیقت منحنی ROC یک نمایش تصویری از موازنه‌ی بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از نقاط برش (یا همان مقادیر مربوط به رده‌های خطر) است. مساحت زیر این منحنی AUC نام داشته و مدلی که بیشترین مقدار AUC را دارا باشد، دارای عملکرد نسبی بالاتری است. فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۳، نمایش داده شده است.

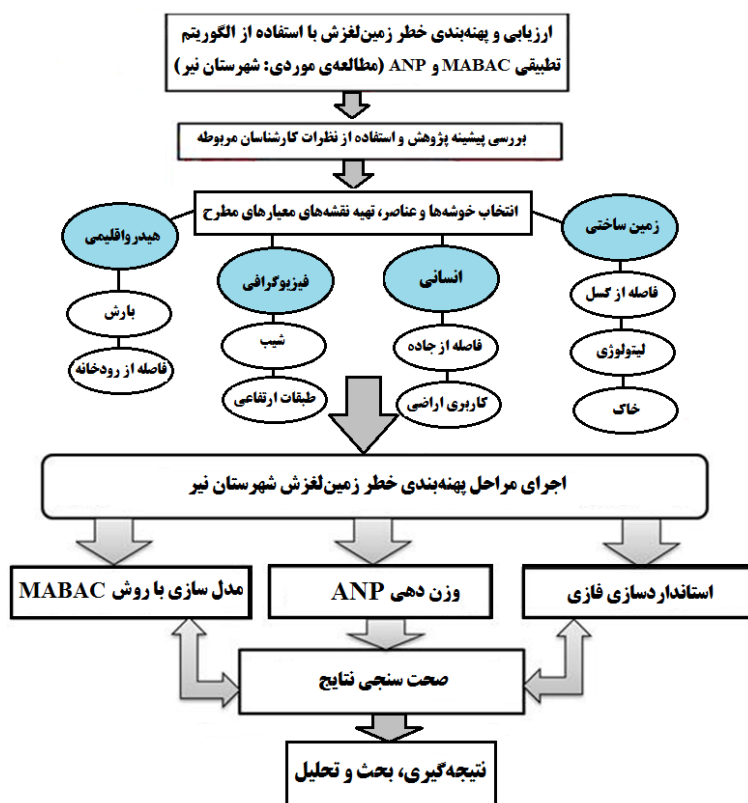
¹ - Alinezhad and Khalili

² - Xu

³ - Wang

⁴ - Specificity

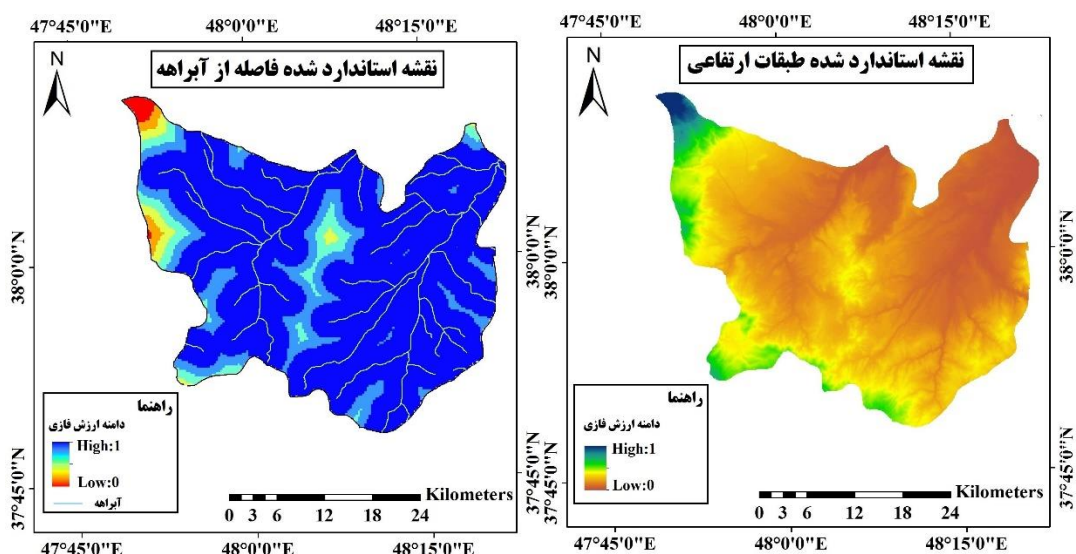
⁵ - Sensitivity

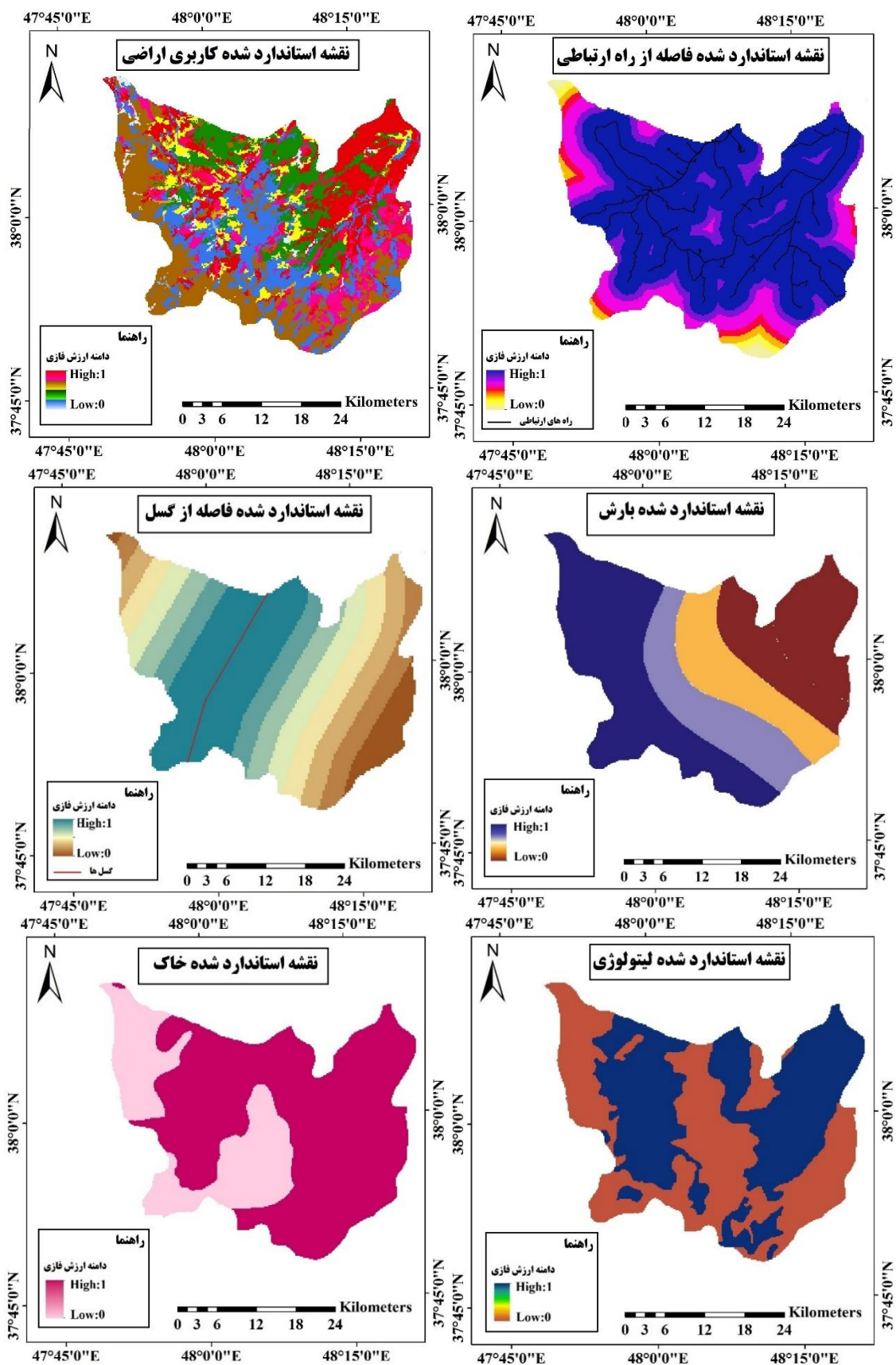


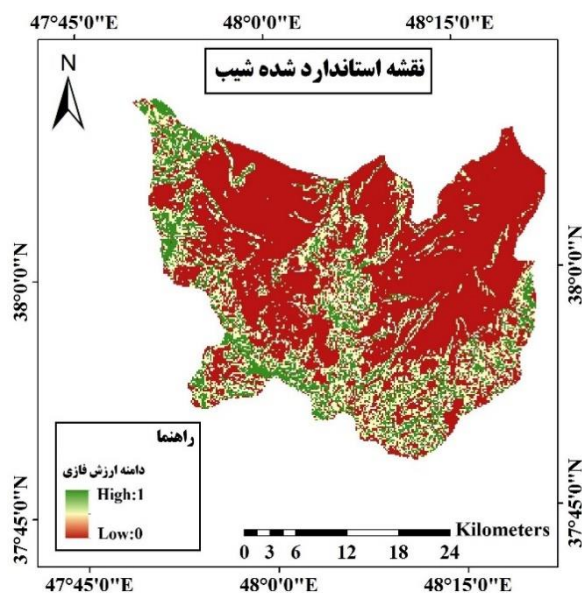
شکل ۳: فلوچارت مربوط به فرآیند تحقیق

یافته‌ها

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ابتدا استانداردسازی معیارها انجام شد (شکل ۴). سپس با استفاده از مراحل وزن‌دهی ANP نسبت به تعیین ضریب وزنی عوامل دخیل در زمین‌لغزش محدوددهی مطالعاتی، اقدام شده است.

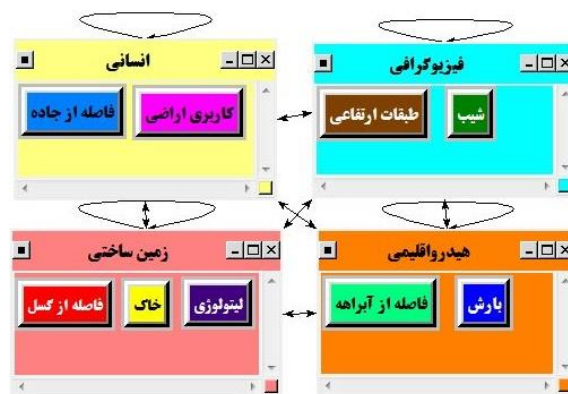






شکل ۴: نقشه‌های استاندارد شده‌ی فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین لغزش شهرستان نیر

شکل (۵)، نمونه‌ی مدل را جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهرستان نیر، در نرم‌افزار Super Decisions نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر عوامل زمین‌ساختی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقليمی خوشه‌ها می‌باشند و معیارهای لیتولوژی، خاک، کاربری اراضی، شیب، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و بارندگی عناصر مطالعه می‌باشند و سپس مشابه با روش AHP، زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه شده و خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی شدند و سوپرماتریس‌ها ایجاد شدند و نتیجه‌ی نهایی عناصر با ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردد.



شکل ۵: نمای کلی از خوشه‌ها و عناصر برای بررسی پتانسیل زمین لغزش

تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی: عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس بر اساس مقایسه‌ی زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه‌ی متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند سوپرماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود که جدول (۱)، آن را نشان می‌دهد.

جدول ۱: سوپرماتریس غیروزی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساختی		فیزیوگرافی		هیدرواقليمی	
فاصله از جاده	کاربری اراضی	فاصله از خاک	فاصله از لیتولوژی	شیب	طبقات ارتفاعی	بارش	فاصله از رودخانه	انسانی	زمین ساختی
۰	۱	۰/۵۰۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۰/۲۴۹	۰	۰/۵۰۰	فاصله از جاده	کاربری اراضی
۱	۰	۰/۵۰۰	۰/۶۶۶	۰/۵۰۰	۰/۷۵۰	۱	۰/۵۰۰	کاربری اراضی	خاک
۰/۱۶۹	۰/۳۳۳	۰	۰	۰	۰/۳۱۰	۰	۰/۳۱۸	خاک	فاصله از گسل
۰/۳۸۷	۰/۴۱۲	۰/۳۳۳	۰	۰/۵۰۰	۰/۱۹۵	۰/۵۰۰	۰/۲۲۱	فاصله از گسل	لیتولوژی
۰/۴۴۳	۰/۲۵۹	۰/۶۶۶	۱	۰/۵۰۰	۰/۴۹۳	۰/۵۰۰	۰/۴۵۹	لیتولوژی	شیب
۰/۶۶۶	۰/۶۶۶	۰/۵۰۰	۰/۶۶۶	۰/۵۰۰	۱	۰	۰/۵۰۰	شیب	طبقات ارتفاعی
۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۰/۳۳۳	۰/۵۰۰	۱	۰	۱	طبقات ارتفاعی	بارش
۰	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۰	۰	۰	۰/۶۶۶	۱	بارش	فاصله از رودخانه
۱	۰/۵۰۰	۰/۵۰۰	۱	۱	۱	۰/۳۳۳	۰	فاصله از رودخانه	

تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است. بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود دارند). برای آن که از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود. (جدول ۲).

جدول ۲: سوپرماتریس وزنی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساختی		فیزیوگرافی		هیدرواقليمی	
فاصله از جاده	کاربری اراضی	فاصله از خاک	فاصله از لیتولوژی	شیب	طبقات ارتفاعی	بارش	فاصله از رودخانه	انسانی	زمین ساختی
۰	۰/۲۴۶	۰/۱۴۲	۰/۰۹۵	۰/۱۴۲	۰/۰۵۱	۰	۰/۱۱۳	فاصله از جاده	کاربری اراضی
۰/۲۴۶	۰	۰/۱۴۲	۰/۱۹۰	۰/۱۴۲	۰/۱۵۳	۰/۲۲۶	۰/۱۱۳	کاربری اراضی	خاک
۰/۰۴۸	۰/۰۹۴	۰	۰	۰	۰/۱۰۷	۰	۰/۰۶۵	خاک	فاصله از گسل
۰/۱۱۲	۰/۱۱۹	۰/۰۹۵	۰	۰/۱۴۲	۰/۰۶۷	۰/۱۰۲	۰/۰۴۵	فاصله از گسل	لیتولوژی
۰/۱۲۸	۰/۰۷۵	۰/۱۹۰	۰/۲۸۵	۰/۱۴۲	۰/۱۷۰	۰/۱۰۲	۰/۰۹۴	لیتولوژی	شیب
۰/۱۹۲	۰/۱۹۲	۰/۱۴۲	۰/۱۹۰	۰/۱۴۲	۰	۰	۰/۱۶۸	شیب	طبقات ارتفاعی
۰/۰۹۶	۰/۰۹۶	۰/۱۴۲	۰/۰۹۵	۰/۱۴۲	۰/۱۶۳	۰	۰/۱۶۸	طبقات ارتفاعی	بارش
۰	۰/۰۸۷	۰/۰۷۱	۰	۰	۰	۰/۱۵۴	۰/۲۳۱	بارش	فاصله از رودخانه
۰/۱۷۵	۰/۰۸۷	۰/۰۷۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲۸۵	۰/۰۷۷	۰	فاصله از رودخانه	

محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی: در مرحله‌ی بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه‌ی به توان رسیدن ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریس حدی (جدول ۳)، می‌باشد. در این ماتریس، مقادیر هر سطر آن با هم برابر می‌باشد. اگر سوپرماتریس

اثر زنجیره‌واری داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم.
جدول ۳: سوپرماتریس حدی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساختی		فیزیوگرافی		هیدرواقليمی	
فاصله از جاده	کاربری اراضی	فاصله از خاک	فاصله از لیتولوژی	شیب	طبقات ارتفاعی	بارش	فاصله از رودخانه	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه
انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی	انسانی
زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی	زمین ساختی
فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی	فیزیوگرافی
هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی	هیدرواقليمی

نتایج ماتریس خوشه‌ها: پس از محاسبه‌ی سوپرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه‌ی نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد، نتیجه‌ی مقایسات زوجی بین گروه‌ها که جدول اوزان گروه‌ها نامیده می‌شود، در جدول (۴)، آورده شده است.

جدول ۴: ماتریس اوزان گروه‌ها

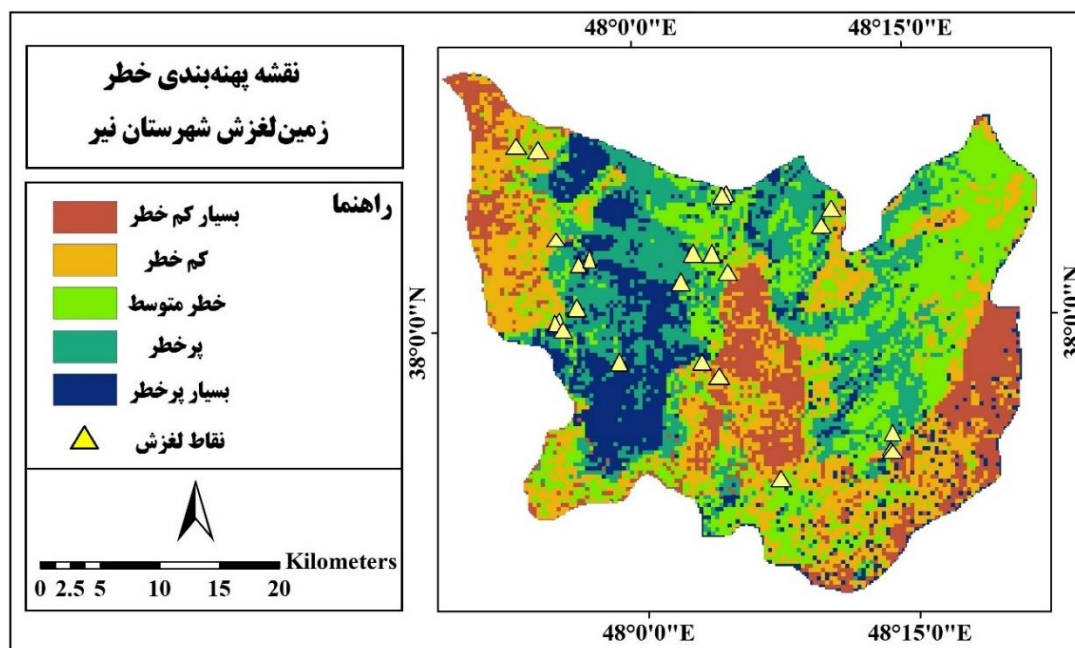
خوشه‌ها	انسانی	زمین ساختی	فیزیوگرافی	هیدرواقليمی
انسانی	۰/۲۴۶	۰/۲۸۵	۰/۲۰۴	۰/۲۲۶
زمین ساختی	۰/۲۸۹	۰/۲۸۵	۰/۳۴۶	۰/۲۰۵
فیزیوگرافی	۰/۲۸۹	۰/۲۸۵	۰/۱۶۳	۰/۳۳۶
هیدرواقليمی	۰/۱۷۵	۰/۱۴۲	۰/۲۸۵	۰/۳۳۱

نتیجه‌ی نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص شد (جدول ۵).

جدول ۵: وزن نهایی حاصل از روش ANP

معیار	فاصله از جاده	کاربری اراضی	خاک	فاصله از لیتولوژی	شیب	طبقات ارتفاعی	بارش	فاصله از رودخانه	وزن نهایی
وزن نهایی	۰/۰۹۳	۰/۱۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۷۶	۰/۱۵۱	۰/۱۳۲	۰/۰۸۱	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹

پس از اعمال کردن وزن‌های حاصل از روش ANP در هر یک از نقشه‌های استاندارد شده و پیاده‌سازی دیگر مراحل مدل MABAC، نقشه نهایی پهنه‌بندی لغزش در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، بدست آمد (شکل ۶). با توجه به نتایج به دست آمده، ۱۷۱/۹۳ کیلومتر مربع از مساحت شهرستان در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۳۱۲/۳۸ کیلومتر مربع، در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین ۲۸۸/۹۴ کیلومتر مربع از مساحت شهرستان، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۲۷۹/۱۳ و ۱۷۱/۶۲ کیلومتر مربع دارای خطر بسیار کم و کم می‌باشند (جدول ۶).



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهرستان نیر

جدول ۶: درصد مساحت مربوط به هر یک از طبقات خطر

بسیار کم خطر	کم خطر	خطر متوسط	پرخطر	خطر بسیار پرخطر	طبقه خطر
۱۷۱/۶۲	۲۷۹/۱۳	۲۸۸/۹۴	۳۱۲/۳۸	۱۷۱/۹۳	مساحت به کیلومتر مربع
۱۴/۰۲	۲۲/۸۰	۲۳/۶۱	۲۵/۵۲	۱۴/۰۵	مساحت به درصد

بحث

بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل‌های معرفی شده به عنوان نقاط پرخطر (شکل ۷)، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین شده پرداخته شود. به طور قطع انطباق این نمرات استاندارد شده با ارزش‌های واقعی ثبت شده از معیارها که با توجه به نقشه‌های رقومی به دست آمده است، به درک ملموس‌تر نتیجه حاصل کمک قابل توجهی می‌کند (جدول ۷). مقدار شیب موجود در شهرستان نیر بین ۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد و با توجه به بررسی پیکسل‌های موردی، مناطق بسیار پرخطر، به طور عمده در شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد قرار دارند و در این مقدار شیب در شهرستان نیر، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش‌اند با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و با بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه، شروع به حرکت می‌کنند. و عمدتاً در شیب‌های بالا و کم‌تر از این مقدار در منطقه، امکان شکل‌گیری حرکات لغزشی کم می‌باشد. ارتفاع شهرستان مورد مطالعه بین ۱۳۹۰ تا ۳۷۰۶ متر می‌باشد. کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر به همراه کوه‌های اقماری خود، شمال و شمال‌غرب منطقه نیر را احاطه کرده است و کوه قصر (قصرداغی) با ارتفاع ۲۷۰۰ متر در غرب نیر و کوه‌های بزغوش غرب و جنوب غرب آن قرار دارد. مناطق هموار شهرستان نیر، در بخش مرکزی این شهرستان واقع شده است که با رسوبات جوان دوران کواترنر توسط آب‌های روان حمل شده و در مناطق پست این منطقه ته‌نشین شده‌اند. دشت نیر، شیبی بین صفر تا ۱۰ درصد دارد. بنابراین، یک دشت نامواری و تا حدودی مایل می‌باشد و از نظر سن یک دشت جوان محسوب می‌گردد. یعنی هنوز به همواری و پستی کامل

نرسیده و هنوز ناهمواری‌هایی در سطح دشت نمایان می‌باشد که به صورت تپه شاهد‌هایی مشاهده می‌گردد. با توجه به نقشه نهایی حاصل از مطالعه، مناطق دارای احتمال خطر زیاد، به طور عمده در طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری سطح شهرستان نیر، قرار دارد.

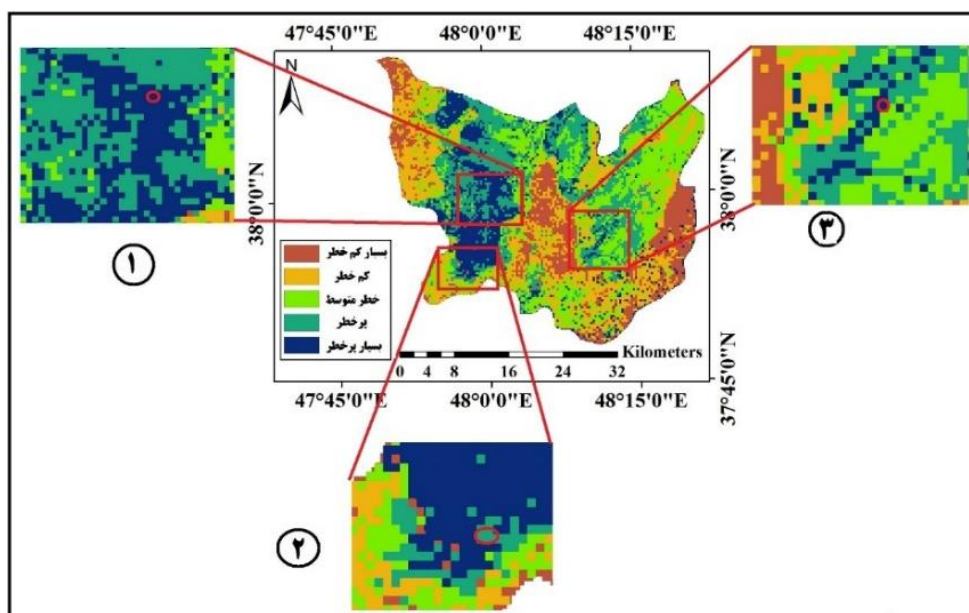
در شهرستان نیر، چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور، با میانگین بارش ماهانه به ترتیب ۱۴/۱، ۹/۱، ۹ و ۱۱/۵ میلی‌متر، کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در سطح منطقه می‌باشند. با آغاز فصل پاییز به صورت ناگهانی بر میزان بارش افزوده می‌شود به گونه‌ای که میانگین بارش ماهانه مهر به ۵۱/۴ میلی‌متر بالغ می‌شود. در دو ماه آخر پاییز و دو ماه اول زمستان از میزان ریزش‌های جوی نسبت به مهرماه (اکتبر) کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش برودت و کاهش گنجایش رطوبتی هوا در این کاهش اثرگذار می‌باشد. همزمان با کاهش برودت هوا در اسفندماه (مارس) بر میزان بارش منطقه افزوده می‌شود. در حالت کلی ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به جهت دریافت بارش قابل توجه اهمیت بسیار زیادی در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. در واقع، بارش مستمر در طی این ماه‌ها (همراه با ذوب برف و یخ) یکی از شرایط لازم برای رخداد زمین‌لغزش را مهیا می‌سازد که همان حضور آب می‌باشد و مناطق پرخطر، در مناطق با بارش (۵۵۰-۳۵۰ میلی‌متر)، قرار دارند.

همچنین نقاط پرخطر به طور عمده در خاک‌هایی ریزدانه با درصد زیاد رس و سیلت و مارن (لیتوسول) قرار دارند. خاک‌های ریزدانه که از عمق زیادی نیز برخوردارند، بر اساس آبیگری افزایش حجم پیدا کرده و در همین حال، به دلیل زهکش ضعیف، مدت زمان زیادی مرطوب می‌ماند و در نتیجه نیروی وزن توده و شیب زیاد زمین از قسمت‌های زیرین جدا شده و به سمت پایین حرکت می‌کند. در شهرستان نیر، واحدهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه به صورت آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. بیش‌ترین مقدار از مساحت شهرستان نیر را سازندهای Plms (مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، با مساحت ۳۲۰/۷۲۲ کیلومتر مربع و Md.av (داسیت و آندزیت نیمه‌آتشفشانی)، با مساحت ۳۱۲/۵۷۱ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده‌اند. این واحد از سنگ‌های آتشفشانی، واحدهای آئوسن را بریده و در برخی جاها به گونه‌ای ناهم‌ساز بر روی واحد آئوسن قرار گرفته است. در این شهرستان واحد آذرآواری کواترنری، خاستگاه آتشفشانی داشته و سن کواترنر پیشین را به آن‌ها نسبت داده‌اند و به گونه‌ای افقی نهشته‌های کهن‌تر را می‌پوشانند و دربرگیرنده کنگلومرا، لاهار، توف و خاکستر آتشفشانی است. زمینه بین قلوه‌های کنگلومرا سست و از جنس رس و خاکستر است. این نهشته‌ها به گمان هم‌زمان با تکاپوی انفجاری آتشفشان در یک دوره پس از یخچالی همراه با باران‌های شدید فصلی تشکیل شده است. ستمبرای این نهشته‌ها به سوی بلندی‌ها افزوده شده و در دامنه سبلان به چند صد متر می‌رسد. همچنین، پادگانه‌های آبرفتی کهن و جوان (Qt1, Q2)، در برگیرنده نهشته‌های آبرفت‌های پادگانه‌ای کهن و کوهپایه‌ای هموار بلند و آبرفت‌های پادگانه‌ای جوان و نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای است. پادگانه‌های کهن‌تر به دلیل کهن بودن، از تراکم بیشتری نسبت به نهشته‌های جوان‌تر برخوردار می‌باشد و آمیخته‌ای از نهشته‌های درشت‌دانه و ریزدانه می‌باشد که با توجه به فصل و توان بارش، گوناگون می‌باشد. سنگ‌های آتش‌فشانی دارای درز و شکاف‌های زیادی هستند و منجر به تبدیل شدن توده‌های سنگی به قطعات ریز و درشت گردیده است. لذا، در مناطقی که سنگ‌ها توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی که عموماً مستعد جهت ایجاد لغزش‌اند، پوشیده شده است، دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش‌اند.

انواع کاربری در شهرستان نیر به صورت نواحی انسان‌ساخت (۷۸/۲۱ کیلومتر مربع)، مرتع خوب (۲۸۳/۳۱ کیلومتر مربع)، مرتع متراکم (۵/۹۱ کیلومتر مربع)، مرتع متوسط (۱۰۶/۵۷ کیلومتر مربع)، مرتع ضعیف (۵۷/۸۷ کیلومتر مربع)، پوشش برف دائمی (۱/۳۰ کیلومتر مربع)، دیم‌زار (۱۵۵/۵۱ کیلومتر مربع)، مناطق کوهستانی (۲۵۰/۴۴ کیلومتر مربع)، مناطق کشاورزی (۸۴/۳۵ کیلومتر مربع)، زمین بایر، باغات و پوشش جنگلی (۲۵۰/۴۴ کیلومتر مربع)، شهرک صنعتی (۰/۱۱۶ کیلومتر مربع)، مناطق آبی (۳/۹۵ کیلومتر مربع) و اراضی بایر (۱۷۶/۷۷ کیلومتر مربع).

کیلومتر مربع) می‌باشد. از آن جهت واحد دشت نیر، دارای توپوگرافی هموار می‌باشد و از آبرفت‌های جوان و تراس‌های قدیم و جدید در اثر ته‌نشست آبرفت‌های رودخانه‌ای با شیب کم تشکیل شده است، محل مناسبی برای فعالیت‌های زراعی و باغات ایجاد کرده است. لذا اغلب اراضی کشاورزی و نیز باغات در این واحد گسترده شده است. بررسی معیار کاربری اراضی حاکی از این موضوع است که کاربری زراعی و مراتع بیشترین درصد از مساحت مناطق پرخطر را به خود اختصاص داده است که با توجه به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب‌دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیشتر به زمین قابل قبول می‌باشد. به علاوه، مردم محلی با چرای بیش از حد دام‌های خود در مراتع، باعث نابودی پوشش گیاهی شده و به روند رخداد زمین‌لغزش بعد از وقوع بارش‌های سیل آسا سرعت می‌بخشند.

در شهرستان نیر فاصله از راه ارتباطی بین صفر تا ۱۰۰۰۰ متر می‌باشد. مناطق پرخطر به طور عمده در فواصل صفر تا حداکثر ۲۰۰۰ متری از راه‌های ارتباطی قرار دارند. عامل جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در ایجاد حرکات لغزشی نقش بسیار مهمی دارد. چون اغلب فعالیت‌های جاده‌سازی در سطح شهرستان (به ویژه در مناطق روستایی و عشایری)، غیر اصولی و بدون توجه به اصول مهندسی می‌باشد، احداث راه‌های از یک سو به دلیل ایجاد ترانشه و تغییر وزن ناشی از خاک‌برداری و خاک‌ریزی، زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها منجر به ایجاد زمین لغزش می‌شود. از سوی دیگر احداث جاده با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث می‌شود، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت شکل‌گیری زمین لغزش فراهم گردد. فاصله از آبراهه در شهرستان نیر بین صفر تا ۱۱۰۰۰ متر می‌باشد و رودهای مهم آن بالیقوچای، نیرچای (آق‌لاقان‌چای)، قوری‌چای، بیوک‌چای، کمال‌چای و جوراب‌چای است. مناطق پرخطر در فواصل ۰ تا ۶۰۰ متری از رودخانه قرار دارند و رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه‌های دائمی و پرباب)، با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد زمین لغزش دارای اهمیت‌اند. مهم‌ترین گسل در شهرستان نیر، گسل‌های دامنه‌های جنوبی سبلان می‌باشد که از نظر تراکم، بیشتر گسل‌ها در حوالی قصر داغ و در حوضه‌های آغیمون و بیوک‌چای قرار گرفته‌اند. در شهرستان نیر به ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل صفر تا ۳۰۰۰ متر، می‌باشد. مناطق پرخطر معرفی شده حاصل از مطالعه حاضر، به طور عمده در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از گسل قرار دارند و گسل‌ها منجر به گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین و کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردند.



شکل ۷: نقشه پیکسل‌های نمونه‌ی پرخطر مورد بررسی در پهنه‌بندی زمین لغزش

جدول ۷: بررسی موردی پیکسل‌های پرخطر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

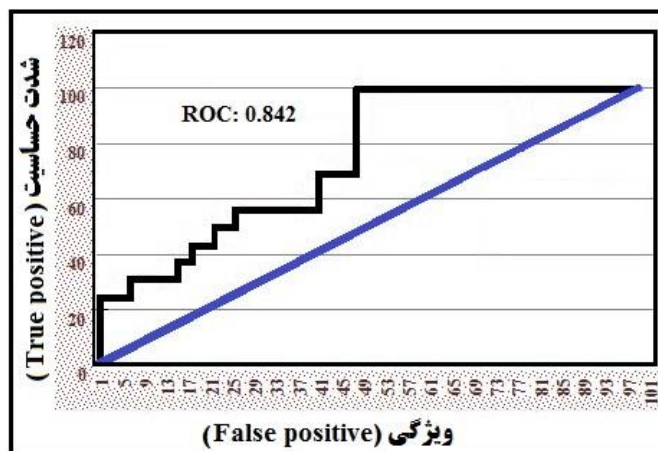
پیکسل نمونه ۳	پیکسل نمونه ۲	پیکسل نمونه ۱	معیار
لیتوسول، کلاس D	لیتوسول، کلاس C	لیتوسول، کلاس D	خاک
نامقاوم	نامقاوم	نامقاوم	لیتولوژی
۱۶۰۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰۰	فاصله از گسل به متر
زراعی (دیم‌زار)	مرتع	زراعی	کاربری اراضی
۲۰۰	۲۱۰۰	۵۰۰	فاصله از جاده به متر
۳۰	۳۵	۳۲	شیب به درصد
۱۷۰۰	۲۷۰۰	۱۹۰۰	طبقات ارتفاعی به متر
۳۴۰	۴۰۰	۳۵۰	بارندگی به میلی‌متر
۳۰۰	۶۰۰	۵۰۰	فاصله از رودخانه به متر

همچنین، نتایج حاصل از همپوشانی خروجی حاصل از مطالعه، با پراکنش زمین‌لغزش‌ها (شکل ۸)، نشان داد که ۳۳/۳۳ از نقاط پراکنش لغزش‌ها در سطح شهرستان نیر، در طبقات بسیار پرخطر، ۳۳/۳۳ درصد در طبقه‌ی پرخطر، ۱۲/۵۰ درصد از نقاط پراکنش لغزشی، در طبقات کم‌خطر و ۴/۱۷ درصد، در طبقه‌ی بسیار کم‌خطر قرار دارند و طبقه‌ی متوسط، ۱۶/۶۷ درصد از نقاط پراکنش لغزشی را به خود اختصاص داده است؛ لذا نقشه‌ی پهنه‌بندی حاصل از تلفیق روش‌های ANP و MABAC، با نقاط پراکنش لغزشی، هم‌خوانی بالایی دارد؛ به عبارت دیگر، نقاط بسیار پرخطر و پرخطر منطبق بر پراکنش و مکان‌های مربوط به رخداد واقعی زمین‌لغزش است. نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های رخ داده در سطح شهرستان نیر، در شکل ۷، نمایش داده شده است.



شکل ۸: نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌ها رخ داده در سطح شهرستان نیر، الف و ب: جاده نیر- سراب (گردنه صائین)، ج: اطراف روستای گوگرچین د: اطراف روستای لای

به علاوه، جهت اعتبارسنجی بیشتر نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش به دست آمده از تحقیق سعی گردیده است، تا دقت نتیجه مطالعه با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گیرد. در منحنی ROC، سطح زیر منحنی با عنوان AUC بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و رخ نداده (عدم وقوع زمین‌لغزش) است. نتایج ارزیابی نشان داد که مقدار سطح زیر منحنی در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان نیر، ۰/۸۴۲ می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده برای سطح زیر منحنی (۰/۹-۰/۱: عالی، ۰/۸-۰/۱۰: خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸: خوب، ۰/۶-۰/۷: متوسط، ۰/۵-۰/۶: ضعیف)، دقت نتیجه‌ی مطالعه حاضر در طبقه‌ی خیلی خوب قرار دارد (شکل ۸).



شکل ۸: منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک و هیدرولوژی شهرستان نیر، زمینه‌ی مناسبی را جهت پیدایش پدیده‌های ژئومورفولوژی و به ویژه زمین‌لغزش‌ها فراهم کرده است. در این پژوهش خطر زمین‌لغزش در شهرستان نیر، با استفاده از تلفیق روش‌های ANP و MABAC، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل کاربری-اراضی (جزو خوشه انسانی)، لیتولوژی (جزو خوشه عوامل زمین‌ساختی)، طبقات ارتفاعی و شیب (جزو خوشه فیزیوگرافی)، به ترتیب با مقدار ۰/۱۵۲، ۰/۱۵۱، ۰/۱۳۸ و ۰/۱۳۲، بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، نیز در مطالعه‌ای که در آن به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جاده ارتباطی نیر-سراب پرداخته‌اند؛ 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 دست یافتند که میان شیب، ارتفاع و نوع سازندهای زمین‌شناسی با زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی، رابطه مستقیمی وجود دارد. با توجه به بررسی نقش و اهمیت هر یک از عوامل دخیل در شکل‌گیری زمین‌لغزش و نیز نتایج حاصل از به‌کارگیری روش تحقیق و تجزیه و تحلیل نهایی با استفاده از روش ماباک، به عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، به ترتیب ۱۴/۰۵ و ۲۵/۵۲ درصد از محدوده مطالعاتی در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی لغزش شهرستان نیر، و بررسی موردی پیکسل‌های دارای احتمال خطر بالا، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده در شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد، سازندهای نامقاوم و نیمه‌مقاوم، که عمدتاً سازندهای سست کواترنری و کاربری‌های زراعی قرار دارند.

همانگونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها به نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بررسی موردی پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی شده در خروجی حاصل از روش تحقیق و مقایسه‌ی آن با نقشه پراکنش حاصل از پیمایش‌های میدانی و استفاده از شاخص عملکرد نسبی (ROC)، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده تلفیقی از روش‌های ANP و MABAC، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی زمین‌لغزش برخوردار است. لذا، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات؛ مددی و همکاران (۱۳۹۷)، انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، بیگدلی و همکاران (۱۳۹۹)، تاج‌الدین و همکاران (۲۰۱۸)، گیگاوایس و همکاران (۲۰۱۹)، وجتک‌ووا و وجتک (۲۰۲۰) مبنی بر دقت مناسب روش‌های تحلیل چندمعیاره در مطالعه خطر زمین‌لغزش و نتایج مطالعات؛ امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، کردوانی و همکاران (۱۳۹۶)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۸)، روستایی و همکاران (۱۳۹۸)، اصغری

سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، یوپین و پیانتاناکولاچی (۲۰۰۶)، عابدی قشلاقی و فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، مبنی بر کارآمدی روش ANP در ارزیابی زمین‌لغزش همخوانی دارد.

همچنین می‌توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای شهرستان نیر، از لحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد. لذا قلمروهای پرخطر تعیین شده در این پژوهش اراضی هستند که نباید کارهای غیر اصولی از قبیل تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دام‌ها، کشت دیم در اراضی شیب‌دار، عدم رعایت تناوب زراعی، احداث و دستکاری‌های غیراصولی جهت احداث جاده انجام گیرد. به علاوه اقداماتی مانند: تعدیل و کاهش شیب دامنه‌ی ارتفاعات مشرف بر مسیر احداث جاده، پایدارسازی دامنه‌ها با ایجاد و تقویت پوشش گیاهی در نواحی مستعد لغزش با استفاده از درختان بومی منطقه، کنترل بهره‌برداری مراکز پرورش دام در قلمرو پرخطر به منظور جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی، زهکشی و هدایت صحیح آب در بالادست و پایین مناطق مستعد رانش، جلوگیری از نفوذ آب به درون توده‌ی دارای امکان لغزش با پخش ماسه‌های آغشته به قیر (مالچ) و یا با استفاده از بتن پاشی روی توده‌ی خاک و سنگ، استفاده از دیوارهای حائل، استفاده از شمع به صورت سپر و یا ستون‌های آهکی با توجه به شرایط زمین‌شناسی محل، انجام عملیات پایدارسازی در مناطق احداث جاده و مناطق عبور خطوط انتقال نیرو و یا خطوط ارتباطات، حذف سازند ریزدانه و برداشت آن از سطح دامنه، تدوین قوانین خاص بر کاربری و نحوه تغییر آن، بایستی در دستور کار سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه قرار گیرد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، با معرفی مناطق دارای احتمال وقوع بالای زمین‌لغزش، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی-صلاح در این زمینه گردد و در نواحی با پتانسیل خطر بالا، با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده توسط متخصصان، از وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی جلوگیری شود. به علاوه پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربنا از جمله اداره‌ی کل منابع طبیعی، اداره‌ی راه و ترابری، بنیاد مسکن، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان نیر و ... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در شهرستان نیر، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان را نیز مد نظر قرار دهند.

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- اصغری سراسکانرود، ص.، پالیزبان، د.، امامی، ه.، و قلعه، الف.، ۱۳۹۹. تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب-نیر)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۳، صص ۱-۲۲.
- امیر احمدی، الف.، شکاری بادی، ع.، و معتمدی‌راد، م.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۳، صص ۲۳۰-۲۱۴.
- انتظاری، م.، خدادای، ف.، و ساسان‌پور، ف.، ۱۳۹۸. تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های *AHP-VIKOR* و *FR*، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۱، صص ۱۹۹-۱۸۳.
- بیگدلی، ب.، سجادی، م.ر.، و احمدی، الف.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس فرایند سلسله مراتبی-فازی (*FANP*) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: حوزه رودخانه ماربر)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴، صص ۲۵-۴۶.

- روستایی، ش.، معزز، س.، و رحیم‌پور، ت.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نهندچای با استفاده از مدل *ANP* و تکنیک *GIS*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۲، صص ۳۷-۲۳.
- فرجی سبک‌بار، ح.، سلمانی، م.، فریدونی، ف.، کریم‌زاده، ح.، و رحیمی، ح.، ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌ی روستایی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (*ANP*)؛ مطالعه‌ی موردی: نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۴۹-۱۲۷.
- قهرمانی، ر.، ۱۳۹۶. بررسی توانمندی‌های ژئومورفوسایت‌های شهرستان نیر با استفاده از روش کومانسکو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۷۸.
- عابدینی، م.، رنجبری، الف.، و مختاری، د.، ۱۳۹۸. تجزیه و تحلیل خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های *ANP* و *LR* در محیط *GIS* (مطالعه موردی) پهنه گسلی قوشاداغ-ارساباران در آذربایجان شرقی)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۷۰-۸۸.
- کرم، ع.، ۱۳۸۳. کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: منطقه سرخون چهار محال بختیاری)، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲، شماره ۴، صص ۱۴۶-۱۳۱.
- مددی، ع.، ۱۳۸۹. بررسی ناپایداری ژئومورفولوژیک گردنه صائین (بین شهر نیر و سراب، منطقه آذربایجان) با استفاده از روش آنیلاگان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره ۱، صص ۹۴-۷۷.
- مددی، ع.، پیروزی، الف.، و شکرزاده فرد، الف.، ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای، با استفاده از مدل *ELECTRE*، فضای جغرافیایی، سال ۱۸، شماره ۱، صص ۱۹۹-۱۷۷.
- محمدنیا، م.، امیر احمدی، الف.، و زندی، ر.، ۱۳۹۷. استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرقيه-درود (مشهد-نیشابور)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۱، شماره ۲، صص ۵۸-۳۷.
- محمودی، ف.، ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات پیام نور.
- وثیق، ی.، ۱۳۹۰. بررسی زمین‌لغزش مسیر جاده اردبیل-سراب، آموزش زمین‌شناسی، دوره ۱۷، شماره ۱، صص ۲۳-۱۹.
- یاری حصار، الف.، و باختر، س.، ۱۳۹۵. ارزیابی شاخص‌های گردشگری پایدار روستایی از منظر جامعه محلی و گردشگران (مطالعه موردی: شهرستان نیر)، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره ۲، صص ۱۳۴-۱۲۱.
- Abedi Gheshlaghi, H., and Feizizadeh, B., 2017. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping, *Journal of African Earth Sciences*, 133, PP. 15-24.
- Alinezhad, A., and Khalili, J., 2019. *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. International Series in Operations Research & Management Science, Springer, Cham, PP. 193-198.
- Baumgertel, A., Luki'c, S., Belanovi'c Simi'c, S., and Kadovi'c, R., 2019. Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion- A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). *Appl Sci*, 19(23), PP.1-12.
- Bell, R., and Glade, T., 2004. *Quantitative Risk Analysis for Landslides, Examples from Bildudalur, NW- Iceland, Natural Hazards and Earth, 4*, PP. 117-131.
- Colkesen, I., Sahin, E., and Kavzoglu, T., 2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, *Journal of African Earth Sciences*, 118, PP. 53-64.
- Gigovic, L., Drobnjak, S., and Pamucar, D., 2019. The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best-Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping, *International journal of Geo-Information*, 8 (79), PP. 1-29.

- Haque, U., Paula, F.d., Silva G.D., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopoi, W., Andersen, P., Luk, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Wuo, J.H, and Glass, E., 2019. *The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014)*, *Science of The Total Environment*, 682, PP. 673-684.
- Hoseini, H., 2019. *Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation*. *Information Processing in Agriculture*, 6(1), PP.11-19.
- Neaupane, K.M., and Piantanakulchai, M., 2006. *Analytic network process model for landslide hazard zonation*, *Engineering Geology*, 85, PP. 281–294.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E., and Bianchi, C., 2019. *A predictive model of societal landslide risk in Italy*, *Earth-Science Reviews*, 196, PP. 1-19.
- Sorbi, A., and Farrokhnia, A., 2018. *Landslide hazard evaluation and zonation of Karaj-CHaluse road (North of Iran)*, *International Journal of Geography and Geology*, 7(2), PP. 35-44
- Tajudin, N., Yaacob, N., mohdali, D., and Adnan, N., 2018. *Rainfall – landslide potential mapping using remote sensing and GIS at Ulu Kelang, Selangor, Malaysia*. *Conference Series Earth and Environmental Science*, 169, PP. 1-8.
- Xu, X.G., Shi, H., Zhang, L.J., and Liu, H., 2019. *Green Supplier Evaluation and Selection with an Extended MABAC Method Under the Heterogeneous Information Environment*, *Sustainability*, 11(23), PP. 1-16.
- Vojtekova, J., and Vojtek, M., 2020. *Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia*, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1 (1), PP.131–148,
- Zhang, H., Zhang J., Zhang, S., Yu, CH., Sun, R., Wang, D., Zhu, C.H., and Zhang, J., 2020. *Identification of Priority Areas for Soil and Water Conservation Planning Based on Multi-Criteria Decision Analysis Using Choquet Integral*. *Int J Environ Res Publ Health* 17(4), PP.1-24.