

## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق ارزیابی متغیرهای محیطی با استفاده از مدل تحلیل شبکه (مطالعه موردی: شهرستان بیجار)

هادی نیری\* - استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.  
محمد رضا کرمی - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور.  
ممنند سالاری - استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹

### چکیده

شهرستان بیجار در شمال شرق استان کردستان یکی از مناطق مرتفع و کوهستانی است که از پتانسیل بالایی برای حرکات دامنه‌ای برخوردار است. اگر این فرایند به صورت علمی مطالعه نگردد یکی از مخاطرات جدی برای توسعه محسوب می‌گردد و برنامه‌ریزی را با مشکل مواجه می‌کند. این پژوهش با هدف شناسایی سهم متغیرهای مختلف بر روی زمین‌لغزش به عنوان یکی از حرکات دامنه‌ای و پهنه‌بندی آن در محدوده شهرستان بیجار صورت گرفت. بدین منظور ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای برای شناسایی معیارهای تأثیرگذار در این فرایند انجام شد. با توجه به پیشینه تحقیق و داده‌های موجود معیارهای شیب دامنه، جهت شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، تراکم زهکش، فاصله از جاده و ارتفاع برای بررسی این فرایند انتخاب شدند. سپس معیارها با هم مقایسه و وزن آن‌ها در زمین‌لغزش تعیین گردید. برای تعیین وزن نهایی معیارها و زیر معیارها، ابرماتریس با استفاده از نرم‌افزار Super Decision تشکیل داده شد. وزن‌های نهایی جهت تلفیق، همپوشانی لایه‌ها، اجرای مدل ساختار شبکه و نقشه پهنه‌بندی بکار رفت. سپس محدوده مطالعاتی بر اساس مدل موجود (ANP) به لحاظ خطر زمین‌لغزش به پنج منطقه خطر تقسیم گردید. نتایج پژوهش نشان داد که ۴۱ درصد از محدوده شهرستان بیجار جزو مناطق دارای قابلیت خطر محسوب می‌شود. نتایج دقیق‌تر نشان داد که از بین متغیرهای محیطی مؤثر، فاصله از گسل و ارتفاع، بیشترین و کاربری اراضی کمترین تأثیر را در زمین‌لغزش در محدوده شهرستان بیجار دارند. نتایج حاصل از صحت‌سنجی نیز نشان داد که همپوشانی مناسب بین پهنه‌بندی و نقاط زمین‌لغزش موجود بوده و بنابراین مدل به کار گرفته‌شده کارا بوده و نتایج آن در نظام برنامه‌ریزی و پایداری محیطی منطقه می‌تواند به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل تحلیل شبکه، بیجار.

## مقدمه

حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها در دهه‌های اخیر بارها مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته‌اند. پیش‌بینی رخداد زمین‌لغزش در یک منطقه علاوه بر اینکه در کاهش خطرات و خسارات ناشی از بروز این امر نقش مؤثری دارد، می‌تواند در تحلیل و پیش‌بینی تحول یک منطقه مفید باشد. همچنین حرکت‌های توده‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده اشکال سطح زمین هستند. زمین‌لغزش‌ها یک فرایند ژئومورفولوژیکی هستند که به دلیل تأثیرات نسبتاً شدید آن بر سامانه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیرساخت‌ها، مخاطره طبیعی شاخص به شمار می‌آیند (کرم و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۰). در وقوع این پدیده طبیعی عوامل زیادی دخیل هستند. علاوه بر عوامل طبیعی شامل لیتولوژی، زمین‌ساخت و اقلیم، نقش انسان نیز قابل توجه است. راه‌سازی، دیم‌زارهای کم بازده، ایجاد سکونتگاه‌های غیراصولی و غیره از جمله عوامل انسانی دخیل در حرکات دامنه‌ای هستند. شناخت این عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، استعدادهای بالقوه ناحیه را بهتر سنجیده و یک ناحیه را از نظر خطرپذیری به چند زیر ناحیه تقسیم می‌کند تا کار برنامه‌ریزی آسان‌تر گردد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰، علیچانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۹). ایران به دلیل توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، پتانسیل طبیعی برای زمین‌لغزش‌های گسترده را دارا است (نیک‌اندیش، ۱۳۷۶: ۱۶). لغزش به‌عنوان بلایی طبیعی در ایران سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی را به کشور وارد می‌سازد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰). بر اساس گزارش کمیته ملی کاهش آثار بلایای طبیعی وزارت کشور در سال ۱۳۷۳ سهم خسارات سالانه ناشی از حرکت‌های توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (ایزائلو، ۱۳۷۶: ۷۰).

بر اساس آمارهای موجود و نیز پژوهش‌های میرصانعی و مهدی‌فر (۱۳۸۵)، استان کردستان سومین استان به لحاظ زمین-لغزش بعد از مازندران و گلستان است، چنانچه ملاک رتبه‌بندی مساحت استان‌ها باشد این استان در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد. شهرستان بیجار با توجه به شرایط خاص توپوگرافیک غالباً کوهستانی، شرایط لیتولوژیکی و آب و هوایی و همچنین واقع‌شدن آن در بین گسل تبریز در شرق و زرينه‌رود در غرب همراه با فراوانی گسترش شاخه‌های فرعی این دو گسل در آن، از قابلیت بالایی برای طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها برخوردار است.

زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر بلایای طبیعی مثل سیل، آتش‌فشان، زلزله مدیریت‌پذیرتر و قابل پیش‌بینی‌تر می‌باشند؛ لذا تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین علوم زمین از جمله ژئومورفولوگ‌ها چه در خارج از کشور و چه در داخل کشور در این مورد صورت گرفته است که در مجموع تحقیقات صورت گرفته به دودسته تقسیم می‌شوند: گروهی درصدد یافتن بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش هستند از جمله می‌توان به تحقیقات شادفر و همکاران (۱۳۸۴) در حوضه چلکروود تنکابن با در نظر گرفتن عواملی همچون شیب، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی، گسل، شبکه آبراهه، راه‌های ارتباطی و لیتولوژی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اشاره کرد. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش به دلیل کاربرد تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد. کوماس<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) نقشه حساسیت زمین‌لغزش را با دو روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و آماری چند متغیره (MS) در اسلونی تهیه کرد و نتیجه گرفت که روش AHP، بهترین مدل برای وزن‌دهی به عوامل مؤثر است و ارتباط نزدیکی بین مناطق دارای حساسیت بالای زمین‌لغزش و پراکنش جاده و جمعیت وجود دارد. یالکان<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) در پهنه‌بندی و تهیه نقشه مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه آردسن ترکیه با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی به این نتیجه رسید که پهنه‌بندی با مدل تحلیل سلسله مراتبی بیشترین تطابق را با واقعیات موجود دارد. مقایسه روش‌های آماری دومتغیره و تحلیل سلسله مراتبی توسط یالکان در منطقه آردسن ترکیه و بهنیانفر و همکاران (۱۳۸۸) در حوضه کنگ با استفاده از دو روش AHP و احتمال نشان دادند که روش

۱. Komac

۲. Yalcin

AHP نسبت به روش احتمال انطباق‌پذیری بیشتری در تطابق با برداشت‌های زمین‌لغزش‌ها دارد. مدل AHP به علت دقت زیاد و به‌کارگیری متغیرهای بیشتر، به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله محققینی که برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش از این مدل استفاده کرده‌اند می‌توان به ملکی و قربان پور (۱۳۸۱) در حوضه سنقر، یمانی و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه کارون و سوری و همکاران (۱۳۹۲) در لرستان اشاره کرد. همچنین با توجه به اهمیت موضوع و افزایش ضریب دقت مطالعاتی و نیز توسعه مدل و امکان مقایسه، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط محققین دیگر همچون مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) با روش آنتروپی و در محدوده تاقدیس نثار در زاگرس، طالبی و متولی (۱۳۹۵) با مدل فرایند محور پایداری سطحی در محدوده ساری-کیاسر، اصغری کلجاهی و همکاران (۱۳۹۵) با روش آنبالاگان در غرب شهرستان خوی و نیز خدائی قشلاق و حجازی (۱۳۹۵) با روش ANP در محدوده کلیبر انجام گرفته است.

گروهی دیگر از محققین درصدد شناسایی مهم‌ترین عوامل در بروز خطر زمین‌لغزش هستند که با بررسی متغیرهای مستقلی همچون لیتولوژی، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، تراکم زهکش و آبراهه‌ها، خطواره‌ها و زمین‌لرزه‌ها، خطوط ارتباطی و استفاده از مدل‌های کمی و کیفی سعی در شناخت مهم‌ترین عوامل ایجاد زمین‌لغزش نموده‌اند. از جمله این پژوهشگران، آنبالاگان<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) با در نظر گرفتن فاکتورهای لیتولوژی، ارتباط پیوستگی‌های ساختاری با شیب، هندسه شیب با پستی‌وبلندی نسبی، کاربری و پوشش زمین و شرایط آب زیرزمینی و امتیازدهی به آن‌ها اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نموده است. مورا و ورسون<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) با استفاده از سه عامل پستی‌وبلندی نسبی، شرایط لیتولوژیک و رطوبت خاک به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در استعداد گسیختگی شیب اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در آمریکای مرکزی نمود. بلوت و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) استفاده از لایه‌های اطلاعاتی بیشتر را در بالا بردن دقت نقشه پهنه‌بندی مؤثر دانسته‌اند. در ایران عظیم پور و همکاران (۱۳۸۸) در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه اهر با استفاده از مدل AHP نتیجه‌گیری نموده‌اند که عوامل زمین‌شناسی بیشترین و عوامل انسانی کم‌ترین تأثیر را در این حوضه دارند. پس‌از آن نیز افراد زیادی در این زمینه کار کرده‌اند که می‌توان به تحقیقات احمدی و همکاران (۱۳۸۲)، روستایی (۱۳۸۳)، علی محمدی و همکاران (۱۳۸۶)، عابدینی و قاسمیان (۱۳۹۴) و نیز پژوهش‌های جدید محققان خارجی مثل میلیچوری و تریگواسون<sup>۴</sup> (۲۰۱۵)، رامش و آنبالاگان<sup>۵</sup> (۲۰۱۵)، هانگ و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۵) و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۶) اشاره کرد.

نتایج تحقیقات فوق نشان می‌دهد که در وقوع این پدیده عواملی چون لیتولوژی، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و فاصله از رود، فاصله از جاده و همچنین عوامل انسانی با درجات مختلف دخالت دارند. این تحقیق با هدف بررسی لغزش به‌عنوان یک مخاطره در منطقه بیجار و اهمیت هر کدام از عوامل تأثیرگذار به روش ANP<sup>۸</sup> به‌عنوان یک مدل جدید و سیستمی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در این منطقه انجام شد.

۱. Anbalgan

۲. Mora and Vahrson

۳. Bulut et al

۴. Melchiorre & Tryggvason

۵. Ramesh & Anbazhagan

۶. Hung & et al

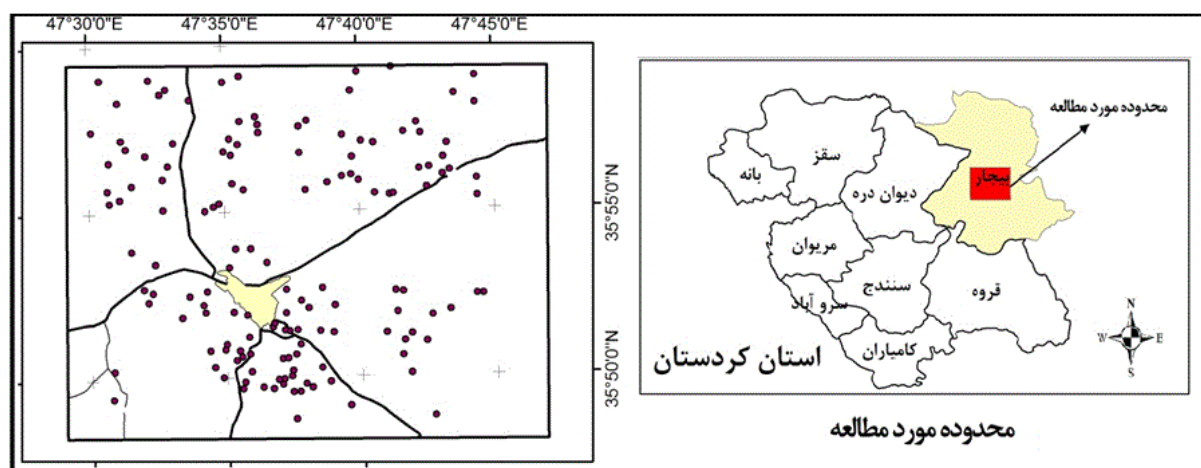
۷. Chen & et al

۸. Analytic Network Process

## مواد و روش‌ها

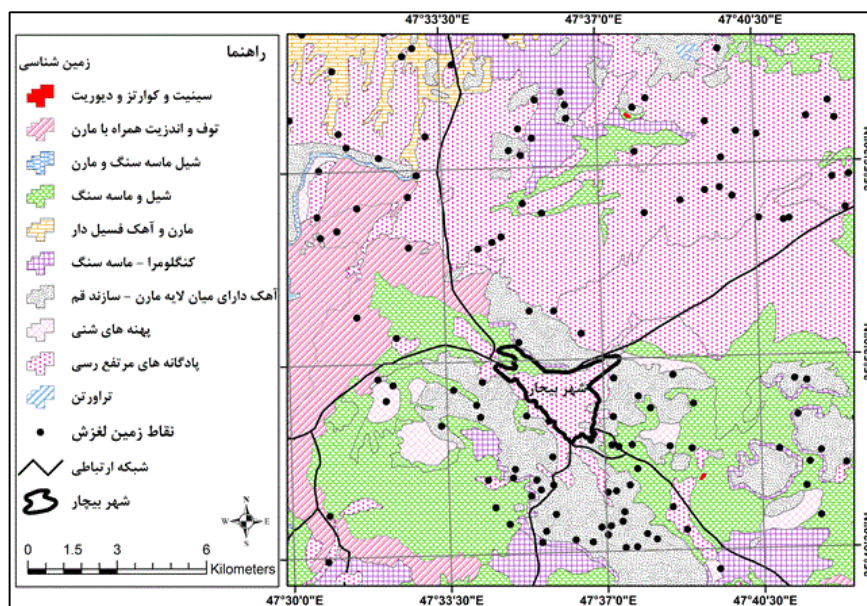
## منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیجار در شمال شرق استان کردستان، در طول جغرافیایی  $47^{\circ} 4'$  تا  $47^{\circ} 8'$  شرقی در عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 5'$  تا  $36^{\circ} 9'$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). در این شهرستان همان‌طور که در نقشه شماره ۱ به صورت نقاط سیاه‌رنگ مشخص شده است، زمین‌لغزش‌های فراوانی به وقوع پیوسته است. پرآب‌ترین رودهای منطقه تروال و چم هستند که از کوه‌های عمدتاً جنوبی منطقه سرچشمه گرفته و به قزل‌اوزن می‌پیوندند. این شهرستان در میان ناهمواری‌هایی استقرار یافته که مانند حصار کوهستانی آن را به صورت نسبتاً مستقل درآورده‌اند. شهر بیجار مهم‌ترین و بزرگ‌ترین مرکز تجمع انسانی در این محدوده دارای نواحی کوهستانی و بخش‌های تپه‌ماهوری به نسبت کم ارتفاع با مورفولوژی صخره‌ای به‌ویژه در کوه چنگ الماس است. منطقه بیجار در تابستان آب و هوایی گرم تا معتدل و در زمستان آب و هوایی سرد همراه با بارش برف و باران دارد. میانگین بارندگی سالیانه در محدوده شهر بیجار  $300$  میلی‌متر است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهرستان بیجار واقع در استان کردستان)

به لحاظ لیتولوژیکی تنها ۶ درصد محدوده از سنگ‌های آتشفشانی و آهک‌های بیومیکریتی فسیل دار، تشکیل یافته است که نسبت به فرسایش مقاوم است. ۹۴ درصد محدوده از کنگلومرا و آهک‌های که دارای میان لایه از شیل یا مارن می‌باشند، به‌اضافه رسوبات دوران چهارم تشکیل شده است که نسبت به فرسایش مکانیکی نامقاوم می‌باشند. در یک دید کلی کوه‌های عمدتاً از سنگ‌های آهکی میوسن و بخش‌های پست و کم ارتفاع منطقه بیشتر از واحدهای مارنی-تخریبی پلیوسن و رسوبات کواترنر تشکیل شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه لیتولوژی محدوده مورد مطالعه

بر پایه تقسیم‌بندی ساختاری ایران توسط (بربریان و کینگ<sup>۱</sup>، ۱۹۸۱)، شهرستان بیجار در پهنه سندج - سیرجان قرار دارد از نظر زمین‌ساخت، محدوده در بین دو گسل اصلی تبریز در شرق و ارومیه یا (زرینه‌رود) در غرب واقع است. از این رو تعدادی از شاخه‌های این دو گسل در محدوده گسترش دارند. از نظر زمین لرزه‌خیزی محدوده بیجار در منطقه‌ای با خطر نسبی متوسط قرار گرفته است (قاسمیان، ۱۳۹۱).

### روش پهنه‌بندی

توسعه مطالعات کمی روی عواملی که مسبب زمین‌لغزش هستند باعث افزایش شناخت ما از این‌گونه حوادث طبیعی و در نتیجه مدیریت صحیح خطرات ناشی از آن‌ها می‌شود. این مطالعه نیز در پی شناخت عوامل مؤثر خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار با به‌کارگیری مدل ANP همچون یک مدل کمی برای تجمیع لایه‌ها است. برای رسیدن به این هدف متغیرهای شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، لیتولوژی و کاربری اراضی که نقش مهمی در شکل‌گیری این فرایند دارند و اکثر محققین از آن استفاده کرده‌اند با استفاده از نرم‌افزار GIS، رقومی و طبقه‌بندی شدند. بعد از تهیه لایه‌ها، وزن‌دهی به زیر معیارها در درون گروه و معیارها در بین گروه‌ها صورت گرفت. برای وزن‌دهی درون‌گروهی معیارهای لیتولوژی و کاربری اراضی از داده‌های حاصل از روش نسبت فراوانی تهیه‌شده توسط نیری و محمدی (زیرچاپ) استفاده شد تا ارزش‌گذاری صحیح‌تر و کارآمدتر باشد. بقیه معیارها و زیر معیارها به صورت کارشناسی و با استفاده از مقادیر ترجیحات با مقایسه زوجی توماس ساعتی وزن‌دهی شدند (زبردست، ۱۳۸۹). این وزن‌های به نرم‌افزار Super Decision داده شدند. تشکیل ماتریس و وزن‌دهی پایانی با توجه به داده‌های ورودی به‌وسیله نرم‌افزار Super Decision در محیط GIS صورت گرفت تا خطا به میزان بالایی کاهش یابد. وزن‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Super Decision در محیط GIS برای تجمیع لایه‌ها بکار رفت. حاصل آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بود که به محدوده‌های با خطر زیاد، خطر نسبتاً زیاد، خطر متوسط، نسبتاً کم‌خطر و خطر کم تقسیم شد. در نهایت ارزیابی و صحت‌سنجی مدل ANP با داده‌های واقعی صورت گرفت. به این ترتیب که نقاط لغزشی مشاهده‌شده با نقشه پهنه‌بندی همپوشانی شدند و تراکم زمین‌لغزش‌های

<sup>۱</sup> - Berberian and King

مشاهده شده در هر یک از پهنه‌های خطر محاسبه شد. تراکم زیادی نقاط زمین لغزش در محدوده با خطر زیاد و نسبتاً زیاد، می‌تواند نشان از کارایی بالا مدل باشد.

### مواد (طبقه‌بندی لایه‌ها)

#### میزان شیب

در این پژوهش به منظور تأثیر معیار شیب، میزان شیب محدوده مورد مطالعه ( $X1$ ) به پنج کلاس شامل، کلاس با کم‌خطر ( $10-0$ )، نسبتاً کم‌خطر ( $20-10$ )، خطر متوسط ( $30-20$ )، خطر نسبتاً زیاد ( $40-30$ ) و خطر زیاد ( $>40$ ) درصد تقسیم شد. با افزایش میزان شیب کلاس‌ها در مقایسه دودویی، زیر معیارها بر اساس مقیاس نه کمیته توماس ساعتی، ارزش بیشتری برای طبقات در نظر گرفته شد.

#### جهت شیب

جهت شیب ( $X2$ ) به علت ارتباطی که با سرعت زمان جذب، از دست دادن رطوبت، فشار منفذی دریافت نور و تخریب موضعی دارد، دارای نقش مهمی در فرآیندهای دامنه‌ای است (آیلا و یاماگاشی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). برای بررسی تأثیر این معیار، جهت شیب در کلاس‌های مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی و ارزش گذاری شدند.

#### لیتولوژی

تأثیر ویژگی‌های لیتولوژی ( $X3$ ) در وقوع زمین لغزش غیرقابل انکار است و به‌طور گسترده از طرف محققین به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم زمین لغزش مورد مطالعه قرار گرفته است. علت اینکه واحدهای لیتولوژی مختلف، درجه استعداد زمین-لغزش متفاوت دارند اغلب به خاطر اختلاف در قدرت نفوذپذیری آن‌ها است (دای و همکاران، ۲۰۰۱). ساختار زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه از تنوع زیادی برخوردار است. برای کاهش خطا در وزن‌دهی به واحدها و مشخص کردن نقش آن‌ها در حرکت لغزش از نسبت فراوانی کمک گرفته شد و لیتولوژی منطقه به ۵ طبقه بر اساس نسبت فراوانی مطابق جدول ۱ ارزش‌گذاری شد.

#### طبقات ارتفاعی

ارتفاع ( $X4$ ) از یک طرف بر روی نحوه پراکنش فعالیت انسانی و استقرار سکونتگاه‌ها و همچنین کنترل نوع کاربری‌ها تأثیر می‌گذارد از طرف دیگر با تغییر شکل بارش میزان نفوذپذیری را به‌عنوان عامل مهم در وقوع زمین لغزش را تحت تأثیر می‌دهد. محدوده مورد مطالعه در این مقاله در یک منطقه کوهستانی با ارتفاع حداقل ۱۵۸۰ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع ۲۵۵۰ متر قرار دارد برای بررسی این متغیر، طبقات ارتفاعی محدوده به پنج کلاس خطر از جمله کم‌خطر، ( $1500-1700$ )، نسبتاً کم‌خطر ( $1700-1900$ )، خطر متوسط ( $1900-2100$ )، خطر نسبتاً زیاد ( $2100-2300$ ) و خطر زیاد ( $>2300$ ) متر) تقسیم شد. مطالعه مربوط به طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد رابطه مستقیم بین ارتفاع و زمین لغزش وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع تعداد زمین لغزش افزایش می‌یابد. بر این اساس با افزایش ارتفاع طبقات وزن در نظر گرفته شده برای آن‌ها، بیشتر شده است.

#### فاصله از گسل

گسل ( $X5$ ) یکی دیگر از عوامل ناپایداری دامنه است و بیشتر زمین لغزش‌ها در نزدیکی گسل اتفاق می‌افتد. برای اینکه نقش گسل در زمین لغزش‌ها منطقه بررسی شود بعد از ترسیم گسل‌های منطقه حریم‌های با فواصل ۱۵۰۰ متری از هم

ترسیم شد. هر یک از حریم‌ها به‌عنوان یک طبقه وزن‌دهی شدند. مجموعاً پنج حریم محدوده را پوشش دادند. به حریم‌های نزدیک‌تر در مقایسه دودویی زیر معیارها بر اساس مقیاس نه کمیته ساعتی ارجحیت بیشتری داده‌شد.

### کاربری اراضی

تأثیر کاربری اراضی (X6) در پایداری شیب‌ها می‌تواند به شکل مکانیکی و هیدرولوژیکی باشد. برای تأثیر این معیار در زمین‌لغزش‌های منطقه، کاربری اراضی موجود در ۵ کلاس مطابق جدول (۱) تقسیم‌بندی شدند و در مقایسه دودویی زیر معیارها مورد استفاده قرار گرفت.

### فاصله از جاده

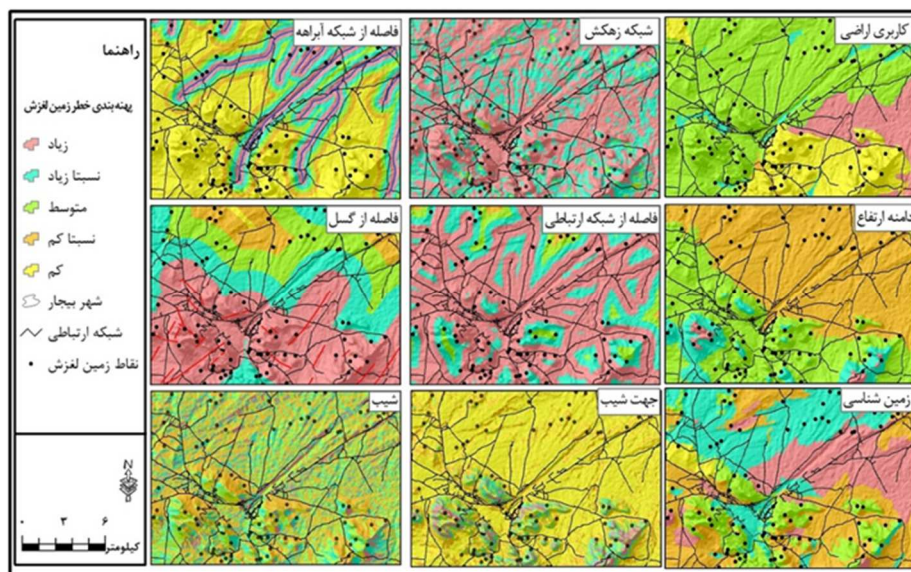
برای تأثیر لایه خطوط ارتباطی (X7) با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه خطوط ارتباطی محدوده ترسیم و حریم‌های به‌صورت ۵۰۰-۰ (کلاس با خطر زیاد)، ۱۰۰۰-۵۰۰ (کلاس با خطر نسبتاً زیاد)، ۱۵۰۰-۱۰۰۰ (خطر متوسط) و ۲۰۰۰-۱۵۰۰ (نسبتاً کم‌خطر) و بیشتر از ۲۰۰۰ متر (کلاس کم‌خطر)، در حواشی جاده‌ها در نظر گرفته شد. این حریم‌ها به‌عنوان طبقات منظور شدند و در مقایسه زوجی ارجحیت کمتری به حریم‌های دورتر داده شد.

### فاصله از رودخانه

جریان آب رودخانه‌ها سبب حفر دره شده و مصالح پای دامنه را شستشو می‌دهد. با این فرایند، عامل نگهداری از پای شیب برداشته‌شده که در نهایت استعداد لغزش در منطقه بالا می‌رود. برای بررسی تأثیر فاصله از آبراهه (X8)، حریم‌های به فاصله ۳۰۰ متری تهیه شدند که مجموعاً پنج حریم محدوده را مطابق شکل (۳) و جدول (۱) پوشش دادند. با فاصله گرفتن از مرکز آبراهه‌ها وزن کمتری به طبقات داده‌شد و در مقایسه دودویی از ارجحیت کمتری برخوردار شدند.

### تراکم زهکش

تراکم زهکش (X9) عبارت از نسبت طول آبراهه به مساحت حوضه زهکش است. محدوده‌های با تراکم زهکش بالاتر با نفوذپذیری پایین و حرکت سریع آب مشخص می‌شوند (یالکان، ۲۰۰۸). برای ترسیم نقشه تراکم زهکش، محدوده به زیر حوضه‌های بسیار کوچک تقسیم‌شده است. سپس طول زهکش‌ها اندازه‌گیری و بر مساحت زیر حوضه تقسیم‌شده است. در نهایت با ترکیب و طبقه‌بندی زیر حوضه‌ها محدوده به پنج کلاس به‌صورت کلاس با خطر زیاد (تراکم زهکش ۰-۲)، کلاس با خطر نسبتاً زیاد (تراکم زهکش ۲-۴)، کلاس با خطر متوسط (تراکم زهکش ۴-۶)، کلاس با خطر نسبتاً کم (تراکم زهکش ۶-۸)، کلاس کم‌خطر (تراکم زهکش ۸ و بیشتر از ۸) پهنه‌بندی شد. سپس با استفاده از مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوج‌های توماس ساعتی مورد مقایسه قرار گرفتند و وزن‌دهی شدند.



شکل ۳: نقشه لایه‌های مورداستفاده برای بهینه‌بندی خطر زمین لغزش

جدول ۱: طبقه‌بندی معیارها بر اساس میزان خطر

طبقات خطر معیار	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً کم	کم
میزان شیب	۴۰ و بیشتر	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰ (درصد)
جهت شیب	NE	W و E	SW و NW	SE و N	S
لیتولوژی	سازند قم (آهک با میان لایه مارن) و پهنه شنی قدیمی	پادگانه مرتفع رسی، کنگلومرا و توف و آندزیت همراه با مارن	مارن و آهک فسیل دار و شیل و ماسه سنگ	سازند سرخ تختانی (کنگلومرا بامیان لایه مارن و ماسه سنگ)	سینیت و کوارتز دیوریت و تراورتن
طبقات ارتفاعی (متر)	۲۳۰۰ و بیشتر	۲۱۰۰-۲۳۰۰	۱۹۰۰-۲۱۰۰	۱۷۰۰-۱۹۰۰	۱۵۰۰-۱۷۰۰
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۴۵۰۰	۴۵۰۰-۶۰۰۰	۶۰۰۰ و بیشتر
کاربری اراضی	مرتج با پوشش متوسط	اراضی باغی و مرتج فقیر و دیم	دیمزار و مرتج با پوشش ضعیف	کشت آبی، مرتج و دیم و اراضی شهری	مزارع دیم و باغ
فاصله از جاده (متر)	۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۹۰۰	۹۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰ و بیشتر
فاصله از رودخانه (متر)	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰ و بیشتر
تراکم زهکش	۸ و بیشتر	۶-۸	۴-۶	۲-۴	۰-۲



یافته‌ها و بحث

طبقه‌بندی خطرپذیری لغزش

برای رسیدن به هدف، مقایسه دودویی هر یک از معیارهای اصلی و زیر معیارها بر اساس مقیاس نه کمیته ساعتی صورت گرفت. در مقایسه معیارها هر بار یکی از معیارها کنترل شده تا اهمیت آن معیار و بردار ویژه آن به دست آید. در این مقایسه معیارهایی که باهم ارتباط نداشتند، مقایسه نشده‌اند. در جدول (۲) مقایسه دودویی برای اندازه شیب به‌عنوان نمونه آورده شده است. در این جدول خط تیره نشان‌دهنده عدم ارتباط بین معیارها است. هشت ماتریس مقایسه دودویی دیگر شبیه ماتریس ارائه شده در جدول ۲ تشکیل شد. ضریب سازگاری آن‌ها کنترل گردید که از ۱/۱، ضریب سازگاری در نظر گرفته شده به وسیله توماس ساعتی بیشتر نگردد (جدول ۳). پس از مقایسه، بردار ویژه آن‌ها به شکل داده خام در نرم‌افزار Super Decision وارد و به‌عنوان ماتریس ناموزون بکار رفتند. ابر ماتریس ناموزون به شرح جدول ۴ برای معیارها و زیر معیارها به دست آمد.

جدول ۲: مقایسه دودویی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آن‌ها، با کنترل میزان شیب (X1)

معیار	X9	X2	X4	X8	X7	X5	X6	X3
X9	۱	۱	۰/۵	۲	-	۳	۰/۵	۱
X2	۱	۱	-	۱	۱	۱	۲	۰/۵
X4	۲	-	۱	۱	-	-	۱	۲
X8	۰/۵	۱	۱	۱	-	۱	۱	۲
X7	-	۱	-	-	۱	۲	۱	۲
X5	۰/۳۳	۱	-	۱	۱	۱	۲	-
X6	۲	۰/۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱
X3	۱	۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	-	۱	۱

جدول ۳: ضریب سازگاری به‌دست‌آمده برای هر یک از ماتریس‌های معیارهای اصلی

معیار	X3	X6	X5	X8	X7	X1	X2	X9	X4
نسبت سازگاری	۰/۰۹	۰/۰۶۷	۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۴

جدول ۴: ابر ماتریس ناموزون معیارها و زیر معیارها

	هدف	X9	X4	X2	X1	X7	X8	X5	X3	X6	۱	۲	۳	۴	۵
هدف	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X9	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X4	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X2	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X1	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X7	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X8	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X5	۰/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
X3	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

X6	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
زیر معیاره															
۱	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۴۷
۲	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۲۶
۳	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۴
۴	۰/۵۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷
۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴

سپس ابر ماتریس ناموزون تبدیل به ماتریس موزون شد (جدول ۶). برای فرایند، ابر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای ضرب گردید. ماتریس خوشه‌ای میزان تأثیر هر یک از خوشه‌ها برای دستیابی به اهداف را منعکس می‌کند. ماتریس مقایسه خوشه‌ها این مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است.

ابر ماتریس موزون بایستی به حد برسد برای این منظور ابر ماتریس موزون به توان یک عدد اختیاری بزرگ می‌رسد تا اینکه همه عناصر ابر ماتریس باهم برابر شدند. هدف از به حد رساندن ابر ماتریس موزون تهیه وزن معنی‌داری از تأثیر هر عنصر بر هر عنصر دیگر در سیستم و زیرسیستم است. ابر ماتریس حد این تحقیق در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۵: ماتریس دودویی خوشه‌ها (نسبت سازگاری ۰/۰۲)

زیر معیارها	معیارها	هدف
*	*	*
*	۰/۵۰	۰/۵۰
۱	۰/۵۰	۰/۵۰

جدول ۶: ابر ماتریس موزون معیارها و زیر معیارها

هدف	X9	X4	X2	X1	X7	X8	X5	X3	X6	۱	۲	۳	۴	۵
هدف	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X9	۰/۲۱	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۲۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۴	۱/۰۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X4	۰/۰۰	۱/۱۵	۱/۰۶	۱/۲۱	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۲۳	۱/۳۳	۱/۲۹	۱/۲۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X2	۰/۱۲	۱/۰۰	۱/۰۶	۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۴	۱/۸۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X1	۰/۰۸	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۰۷	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۰۰	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X7	۰/۰۵	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X8	۰/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۹	۱/۱۰	۱/۰۶	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X5	۱/۰۰۳	۱/۰۰	۱/۰۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X3	۱/۰۰۳	۱/۰۹	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
X6	۱/۰۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۱/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

زیر معیارها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۴۷
۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۲۶
۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۴
۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۷
۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴

جدول ۷: ابر ماتریس حد معیارها و زیر معیارها

هدف	X9	X4	X2	X1	X7	X8	X5	X3	X6	۱	۲	۳	۴	۵
هدف	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X9	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X4	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X2	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X1	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X7	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X8	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X5	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X3	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
X6	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰	/۰۰
زیر معیارها														
۱	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵	/۳۵
۲	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸	/۱۸
۳	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴	/۱۴
۴	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳	/۱۳
۵	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲	/۰۲

بردار اهمیت نهایی برای اهداف این مطالعه نرمالیزه شدند و در جدول ۸ به‌عنوان سهم هر یک از متغیرها در زمین‌لغزش ارائه گردید. این اعداد به‌صورت اعشاری و بین یک و صفر به دست آمدند که در واقع به‌مثابه همان میزان تأثیر معیارها هستند. همان‌طور که در جدول ۱۱ دیده می‌شود فاصله از غسل بیش‌ترین تأثیر و کاربری اراضی کمترین تأثیر را در وقوع

و پهنه‌بندی زمین‌لغزش دارد این داده‌ها وارد محیط GIS شده و در بخش مربوط به هم‌پوشانی وزن‌دار مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت در محیط Arc GIS با استفاده از داده‌های مدل ANP نقشه نهایی که همان نقشه پهنه‌بندی است، ترسیم شد (شکل ۴).

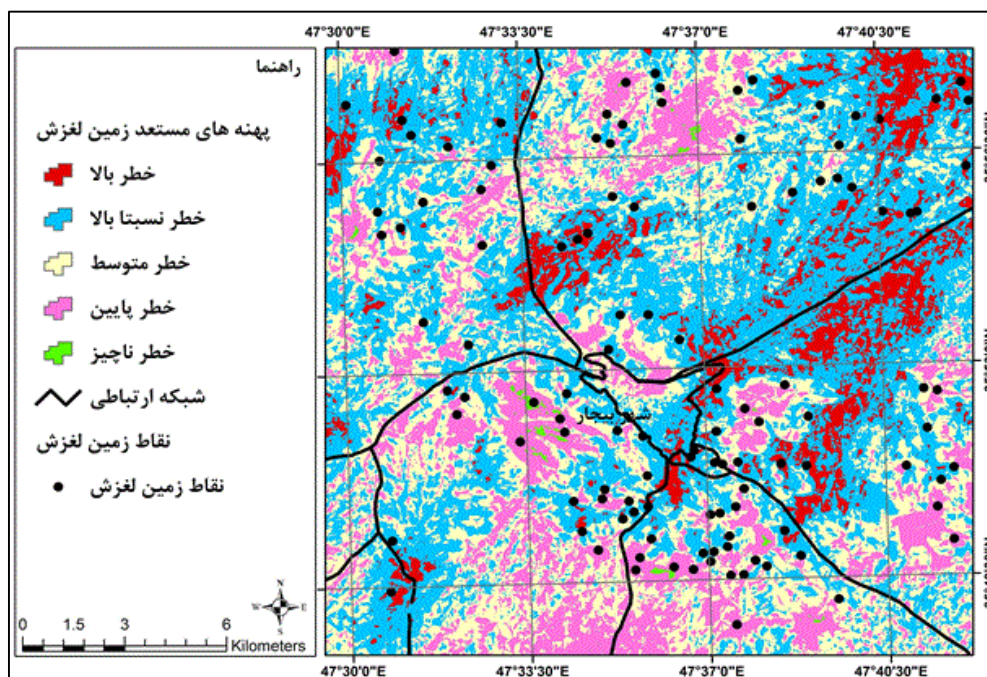
جدول ۸: نتایج به دست آمده برای سهم هر یک از متغیرها در زمین‌لغزش

معیار	ارتفاع	تراکم زهکشی	جهت شیب	شیب	فاصله از جاده	فاصله از رود	فاصله از گسل	کاربری اراضی	لیتولوژی
درصد تأثیر	۱۳	۱۲	۱۲	۰۹	۱۰	۱۲	۱۴	۰۷	۱۱

بررسی معیارهای مؤثر بر زمین‌لغزش‌های منطقه، با استفاده از روش ANP نشان می‌دهد که تأثیر گسل و ارتفاع از سطح دریا بر این فرایند نسبت به دیگر معیارها بیشتر است. قرارگیری ۴۵ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۱۵۰۰ متری از گسل‌ها و امتیاز بالای این معیار در بین دیگر معیارها مؤید این مطلب است. یافته این تحقیق با نتایج نیک اندیش (۱۳۷۶) و عظیم پور و همکاران (۱۳۸۸) که فاصله از گسل را مهم‌ترین عامل هم‌خوانی دارد. بعد از گسل، ارتفاع از سطح دریا امتیاز بالایی کسب نموده است که با نتایج چانگ و همکاران (۲۰۰۷) و یالکان و همکاران (۲۰۰۸) که ارتفاع را یک عامل بسیار مهم در حرکات دامنه‌ای عنوان کردند، مطابقت دارد. در این مقاله لیتولوژی در بین معیارها تأثیر متوسطی دارد که با نتایج قاسمیان (۱۳۹۱) که با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک برای این محدوده صورت گرفته است، همخوانی دارد. شیب به‌عنوان یک متغیر در نتایج قاسمیان (۱۳۹۱) بیش‌ترین ارزش را دارد ولی در این تحقیق ارزش پایین‌تری دارد.

### صحت‌سنجی مدل

برای ارزیابی کارایی مدل و همچنین درستی انجام کار با استفاده از نرم‌افزار GIS اقدام به صحت‌سنجی شد. به بیانی صحت‌سنجی مدل و نقشه‌های تهیه‌شده مرتبط با پراکنش و حساسیت مناطق لغزشی یک ضرورت در راستای افزایش و نیز تأیید کار مطالعاتی است. با این هدف، نقاط زمین‌لغزش و نقشه پهنه‌بندی، مطابق شکل ۴ با هم تلفیق و مقایسه گردیدند. با هدف دقت مطالعاتی، تعداد زمین‌لغزش‌ها در هر یک از پهنه‌ها به دست آمد. نتایج نشان‌دهنده آن است که ۹۴ مورد از زمین‌لغزش‌ها در محدوده خطر نسبتاً بالا و خطر بالا قرار گرفته‌اند که ۶۵ درصد زمین‌لغزش‌ها را محسوب می‌شود؛ یعنی دو سوم لغزش‌ها در حدود یک سوم از مساحت مطالعاتی روی داده است و این نتایج نشان می‌دهد که کار با دقت نسبتاً خوبی صورت گرفته است (جدول ۹). ضمن آن پراکنش و نیز تعداد بالای زمین‌لغزش‌ها بیانگر وجود یک پهنه مستعد در سطح محدوده مطالعاتی و نیز ضرورت انجام تهیه نقشه پراکنش و حساسیت لغزشی بود.



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی محدوده مورد مطالعه

جدول ۹: صحت‌سنجی مدل (تعداد لغزش‌ها به تفکیک محدوده)

طبقه	مساحت مترمربع	تعداد لغزش‌ها	درصد مساحت	درصد لغزش‌ها
خطر ناچیز	۴۸۴۲۲۲۴۷	۳	۸	۲/۱
خطر پایین	۱۰۸۹۸۲۶۵۴	۱۷	۱۸	۱۱/۸
خطر متوسط	۲۰۱۱۲۳۷۳۲	۳۰	۳۳	۲۰/۸
خطر نسبتاً بالا	۱۳۴۴۰۶۲۲۷	۵۳	۲۲	۳۶/۸
خطر بالا	۱۱۵۵۶۴۳۳۷	۴۱	۱۹	۲۸/۵
جمع	۶۰۸۴۹۹۱۹۷	۱۴۴	۱۰۰	۱۰۰

### نتیجه‌گیری

خطر زمین‌لغزش یک فرایند سیستمی است که در ارزیابی و پهنه‌بندی آن در سطح نواحی متغیرهای محیطی مختلف باید مورد توجه قرار گیرند. در این ارتباط روش‌ها و مدل‌های مختلفی به کار رفته‌اند. در این پژوهش با رعایت نگرش سیستمی از روش تحلیل شبکه همراه با صحت‌سنجی استفاده گردید. انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه خروجی از فرایند لغزش در محدوده شهرستان بیجار نشان می‌دهد که بیجار و توابع آن، محدوده نسبتاً مستعدی برای وقوع زمین‌لغزش هستند، به طوری که ۴۱ درصد از محدوده این شهرستان جزء مناطق با خطر نسبتاً بالا و با خطر بالا و تنها ۲۶ درصد جزء محدوده با خطر ناچیز و پایین است. به نظر می‌رسد قرارگیری این شهرستان در ارتفاع بالا و فراوانی گسل‌ها، این محدوده را به عنوان یکی از مناطق مستعد و مخاطره‌آمیز معرفی می‌نماید.

به کارگیری مدل ANP در محدوده مطالعه نشان‌دهنده تأثیر زیاد گسل و ارتفاع از سطح دریا بر فرایند زمین‌لغزش نسبت به دیگر معیارها است که به نظر می‌رسد ارتفاع با تأثیر بر روی نوع بارش و دما سبب می‌شود میزان نفوذپذیری در این منطقه بالا برود. گسل نیز با ایجاد شکستگی زمینه را برای نفوذپذیری هر چه بیشتر بارش فراهم می‌کند و نفوذپذیری بالا با ناپایداری بیشتر دامنه همراه است، همچنین گسل با جابجایی سبب کاهش مقاومت برشی شده است که کاهش مقاومت

برشی نیز از عوامل مهم در حرکات دامنه‌ای است. قابل اشاره است که نقش مؤلفه‌های لیتولوژیک و توپوگرافیک نیز در سطح محدوده مطالعاتی در ایجاد این فرایند قابل توجه است.

در نهایت ارزیابی نقاط زمین‌لغزش با نقشه پهنه‌بندی نشان از همخوانی خوب نقاط با محدوده خطر دارد که این مسئله نشان می‌دهد که مدل ANP روش موفق‌تری در این‌گونه ارزیابی‌ها است و از طرفی پهنه‌های حساس لغزشی نیز در محدوده مطالعاتی قابل توجه هستند. ارزش تحلیل به صورت شبکه‌ای نگاه و مزیت سیستمی آن است که سبب کارایی این مدل شده و می‌تواند با نگاه برنامه‌ریزی در دیگر مناطق ایران به کار رود.

## منابع

- احمدی، حسن؛ اسمعیلی عوری، اباذر؛ فیض نیا، سادات و محسن شریعت جعفری، ۱۳۸۲، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره (MR)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی حوضه آبریز گرمی، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۶. شماره ۴.
- اصغری، کلجاهی، نمکچی، فاطمه و عبدالرضا واعظی هیر، ۱۳۹۵، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنبالاگان، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۶.
- ایزانلو، اسماعیل، ۱۳۷۶، بررسی قابلیت داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه بیدواز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- بهنیا، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی و محمد رضا منصوری دانشور، ۱۳۸۸، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه‌ای به روش AHP و احتمال (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه گنگ، دامنه شمالی بینالود)، مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۷.
- خدائی قشلاق، فاطمه و اسداله حجازی، ۱۳۹۵، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده کلیبرچای با استفاده از روش تحلیل شبکه ANP، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز.
- روستایی، شهرام، ۱۳۸۳، بررسی علل وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره هشتم، دوره ۸، شماره ۱.
- زبردست، اسفندیار، ۱۳۸۹، کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره ۴۱.
- سوری، سلمان، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد و طاهر فرهادی نژاد، ۱۳۹۲، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر با استفاده از مدل AHP در استان لرستان، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد ۶، شماره ۱ و ۲.
- شادفر، صمد، یمانی، مجتبی و سید محمد نمکی، ۱۳۸۴، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و LNRFA، در چالکرو، مجله مهندسی و مدیریت آب‌خیزداری، جلد ۳، شماره ۱.
- طالبی، علی و محمدرضا متولی، ۱۳۹۵، بررسی زمین‌لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده با استفاده از مدل فرایند محور پایداری سطحی دامنه (مطالعه موردی: محدوده محور ساری-کیاسر)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۰، شماره ۳۷.
- کرم، امیر، عبدالهی فوزی، حسین و حسین محمودی، ۱۳۸۹، ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود (شمال شرق تهران)، مجله محیط جغرافیایی، سال یکم، شماره نخست.
- عابدینی، موسی و بهاره قاسمیان، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله‌مراتبی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲.
- عظیم پور، علیرضا، صدوق، حسن، دلال اوغلی، علی و محمدرضا ثروتی، ۱۳۸۸، ارزیابی مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهر چای)، مجله فضای جغرافیایی، شماره ۲۶.

- علیجانی، بهلول، قهرودی، منیژه و ابوالقاسم امیر احمدی، ۱۳۸۶، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۲، شماره ۱ (پیاپی ۸۴).
- علی‌محمدی، صفیه، پاشایی، عباس و شعبان شتایی جویباری، ۱۳۸۶، ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سید کلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، جلد ۱۶، شماره ۱.
- قاسمیان، بهاره، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، مطالعه موردی: (استان کردستان - شهرستان بیجار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- مقیمی، ابراهیم، باقری سید شکری، سجاد و طاهر صفرراد، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نثار، زاگرس شمال غربی)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۷۹.
- ملکی، امجد و علی قربان پور، ۱۳۸۷، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه چرمه شهرستان سنقر استان کرمانشاه، نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۶، شماره پیاپی ۱۲.
- میرصانعی، رضا و محمدرضا مهدی فر، ۱۳۸۵، روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پژوهش‌کنده سوانح طبیعی.
- نیری، هادی و هژیر محمدی، زیرچاپ، تحلیل آماری زمین‌لغزش (مطالعه موردی: شهرستان بیجار)، نشریه دانش مخاطرات.
- نیک‌اندیش، نسرين، ۱۳۷۶، نگرشی بر اهمیت حرکات توده‌ای زمین در ایران، نشریه جهاد سازندگی، شماره ۱۵۵، سال دوازدهم.
- یمانی، مجتبی، حسن‌پور، سیروس، مصطفایی، ابوالفضل و مجید شادمان رود پشته، ۱۳۹۱، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۸، شماره ۴.
  - Anbalgan, R., 1992, Landslide hazard evaluation mapping in mountain terrain, *Engineering geology*, Vol.32, pp. 269-277.
  - Berberian, M., King G. C. P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 18, No. 2, pp. 210-265.
  - Bulut, F., Boynukalin, S., Tarhan, F., Ataoglu, E., 2000, Reliability of Landslide Isoleth Maps, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 58, Issue. 2, pp. 95-98.
  - Chen, W., He, B., Zhang, L., Nover, D., 2016, Developing an integrated 2D and 3D WebGIS based platform for effective landslide hazard management , *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 20, pp. 28-38.
  - Dai, F. C., Lee, C. F., Xu Z. W., 2001, Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, Vol. 40, Issue. 3, 381-391.
  - Wang, Y., Bouten, W., Chen, Q., 2015, using statistical Learning Algorithms in Regional Landslide Susceptibility Zonation with Limited Landslide Field Data, *Journal of Mountain Science*, Vol. 12, Issue. 2, pp. 268-288.
  - Komac, M., 2006, A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia, *Geomorphology*, Vol. 74, 1, pp.17-28.
  - Melchiorre, C., Tryggvason, A., 2015, Application of a fast and efficient algorithm to assess landslide-prone areas in sensitive clays in Sweden, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 15, 12, pp. 2703-2713.
  - Mora, S., Vahrson, W., 1994, Macrozonation methodology for landslide hazard determination, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, Vol. 31, 1, pp.49-58.
  - Ramesh, V., Anbazhagan, S., 2015, Landslide susceptibility mapping along Kolli hills Ghat road section (India) using frequency ratio, relative effect and fuzzy logic models, *Environmental Earth Sciences*, Vol. 73, 12, pp. 8009-8021.

- Yalcin, A., 2008, *GIS based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen(Turkey), Comparisons of result and confirmation catena*, Vol. 172, 1, pp. 1-12.