

## تلفیق مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌های عصبی به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی شهرستان بیجار)

هادی نیری\*؛ دانشگاه کردستان، دانشکده منابع طبیعی،

گروه ژئومورفولوژی

محمدرضا کرمی؛ دانشگاه پیام نور، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری

پذیرش ۹۵/۱۱/۲۷

تاریخ: دریافت ۹۴/۰۶/۱۸

### چکیده

شناسایی محدوده‌های مستعد زمین‌لغزش در عمران شهری و منطقه‌ای دارای اهمیت ویژه‌ای است. در این مقاله به پهنه‌بندی میزان حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله مراتبی اقدام شده است. این پهنه‌بندی و تحلیل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی که قادر به شناسایی روابط پیچیده بین حرکات توده‌ای و هدف یعنی عوامل پهنه حساسیت، به منظور شناسایی مناطق ناپایدار صورت گرفته است. روش تحلیل سلسله مراتبی برای بهبود نمونه آموزش، در سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است. پیش‌پردازش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی داده‌ها برای انتخاب پیکسل‌های مناطق بدون لغزش و کمک به بهبود قابلیت پیش‌بینی روش شبکه عصبی که یک مدل جعبه سیاه است انجام شده است. این روش در شهرستان بیجار در شمال شرق استان کردستان که پتانسیل زیادی برای حرکات دامنه‌ای دارد، باهدف پهنه‌بندی زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از حرکات دامنه‌ای اعمال شد. بدین‌منظور ابتدا بررسی‌های کتابخانه‌ای برای شناسایی معیارهای تأثیرگذار در این فرایند انجام گرفت بر اساس پژوهش‌ها، متغیرهای لیتولوژی، فاصله از گسل، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از خطوط ارتباطی، شیب، ارتفاع و شبکه زهکش مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر زمین‌لغزش محسوب می‌شوند که در این تحقیق ارزیابی شدند. برای ارزیابی این متغیرها در شبکه عصبی پرسپترون با ساختار نه لایه ورودی، دولایه پنهان و نه گره

\*نویسنده مسئول

در هر دولایه با میزان یادگیری ۰/۱ با دو تابع سیگموئید و خطی به‌عنوان ساختار بهینه با آزمون و خطا پذیرفته شد. بررسی این متغیرها با استفاده از شبکه عصبی نشان‌دهنده آن است که بیش از ۶۰ درصد از منطقه بررسی شده جزء مناطق با قابلیت زمین‌لغزش زیاد است. به‌منظور صحت‌سنجی این مدل‌ها از داده‌های مشاهده‌ای موجود استفاده‌شده که حاکی از موفقیت و کارایی هر دو تابع با اولویت اندک تابع سیگموئید است.

واژه‌های کلیدی: حرکات دامنه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مخاطره،

### مقدمه

حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها در دهه‌های اخیر بارها مورد ارزیابی و کنکاش قرار گرفته‌اند، زیرا 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 این فرایند یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده اشکال سطح زمین است. در وقوع این پدیده عوامل زیادی دخیل هستند که علاوه بر عوامل طبیعی مثل لیتولوژی، زمین‌ساخت، اقلیم نقش عوامل انسانی نیز درخور توجه است. راه‌سازی غلط، تغییر کاربری، ایجاد سکونت‌گاه‌های غیراصولی و غیره از جمله عوامل انسانی دخیل در حرکات دامنه‌ای و توده‌ای است. شناخت این عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، استعدادهای بالقوه ناحیه را به سنجیده و یک ناحیه را از نظر خطرپذیری به چند زیرناحیه تقسیم می‌کند تا کار برنامه‌ریزی آسان‌تر شود [۱۰]، [۱۷].

کشور ایران به‌دلیل توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد شرایط طبیعی برای زمین‌لغزش‌های گسترده را دارد [۱۶]. لغزش به‌عنوان بلایی طبیعی در ایران سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی را به کشور وارد می‌سازد [۱۷]. 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 [۳]، [۶].

استان کردستان سومین استان به لحاظ پدیده زمین‌لغزش بعد از مازندران و گلستان است، چنانچه ملاک رتبه‌بندی مساحت استان‌ها باشد این استان در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد [۱۵]. شهرستان بیجار در این استان با ترکیبی از عوامل توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، شرایط لیتولوژیکی و قرارگیری در بین دو گسل تبریز در شرق و زرينه‌رود در غرب که تعداد زیادی از زیرشاخه‌ها این دو گسل در آن گسترش دارند [۱۲] پتانسیل بالایی برای طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها دارد. وقوع این فرایند در نزدیکی شهر بیجار نشان از چنین مخاطره‌ای است که اگر به‌صورت علمی بررسی نشود یکی از مخاطرات جدی برای توسعه محسوب می‌شود و امر برنامه‌ریزی را با مشکل مواجه می‌کند.

زمین‌لغزش نسبت به سایر بلایای طبیعی مثل سیل، آتش‌فشان، زلزله مدیریت‌پذیرتر و قابل پیش‌بینی است. از این رو، محققان علوم زمین از جمله ژئومورفولوگ‌ها چه در خارج از کشور و چه در داخل کشور تحقیقات گسترده‌ای در این مورد انجام داده‌اند که در مجموع تحقیقات انجام شده به دودسته تقسیم می‌شود: گروهی درصدد یافتن بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش هستند از جمله می‌توان به تحقیقات شادفر (۱۳۸۵) در حوضه رودبار که بین مدل ارزش اطلاعاتی و روش پیشنهادی کوپتا-جوشی، مقایسه روش‌های آماری دومتغیره و تحلیل سلسله مراتبی به‌وسیله علی یالکان<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) در منطقه آردسن ترکیه اشاره کرد. گروهی دیگر که درصدد شناسایی مهم‌ترین عامل در بروز خطر زمین‌لغزش هستند این گروه با بررسی متغیرهای مستقلی مانند 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 کرده‌اند از جمله می‌توان به تحقیقات یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، احمدی و اسماعیلی (۱۳۸۴)، علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۶)، عابدینی و قاسمیان (۱۳۹۱) و روستایی (۱۳۸۳) اشاره کرد. یکی از مدل‌های که برای پهنه‌بندی و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر زمین‌لغزش به‌کار رفته شبکه عصبی مصنوعی است این مدل روابط ذاتی بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش را استخراج کرده و از آن در تشخیص درجه خطر

---

1. Ali yalcin

استفاده می‌کند. راکعی و همکاران (۱۳۸۷) در سفیدار گله در استان سمنان از متغیرهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی، مدل ارتفاعی رقومی، بارش، فاصله از گسل و کاربری اراضی در یک شبکه عصبی پرسپترون سه‌لایه جلوسو با الگوریتم انتشار خطا استفاده کرد و به این نتیجه رسید که دقت کل شبکه ۹۱/۲۵٪ است. مرادی و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه هراز به این نتیجه رسیدند که به دلیل ماهیت پیچیده فرایند وقوع زمین‌لغزش، هر چه تعداد نرون در لایه ورودی زیادتر باشد نتایج پهنه‌بندی بهتر خواهد بود. در نهایت شبکه عصبی با ساختار نه لایه ورودی ۱۴ لایه پنهان و یک خروجی را به‌عنوان ساختار بهینه در حوضه هراز را معرفی کردند. سوری و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه کشوری (نوزیان) از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چندلایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد که شبکه عصبی با ساختار نه لایه ورودی ۱۱ لایه پنهان و یک خروجی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه مناسب است. ایرمینی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵) به پهنه‌بندی واحدهای زمین با استفاده از دو نوع شبکه عصبی، احتمالاتی و شبکه چندلایه پرسپترون اقدام کردند و پیش‌بینی خوبی با استفاده از این مدل‌های به‌دست آوردند که با اولویت‌اندکی برای شبکه چندلایه پرسپترون خروجی‌های به‌دست‌آمده مناسب‌تر بودند. ملچوره<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و شبکه عصبی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در ایتالیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که طبقه‌بندی اولیه به‌وسیله تحلیل خوشه‌ای کارایی شبکه را در پیش‌بینی بالا می‌برد.

بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته در وقوع این پدیده عواملی چون لیتولوژی، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه و شبکه آبراهه، فاصله از جاده و هم‌چنین عوامل انسانی با درجات مختلف دخالت دارند. در این پژوهش با استفاده از روش‌ها و مدل‌های کمی بر روی عوامل مسبب این پدیده بر اساس سطح اطلاعات داده شده از حرکات توده‌ای گذشته و عوامل تأثیرگذار، با تمرکز بر روش شبکه عصبی مصنوعی، پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش با تعیین میزان خطر ممکن صورت گرفته است. شناخت این‌گونه حوادث طبیعی مدیریت صحیح خطرات ناشی از آن‌ها را طلب می‌نماید. از

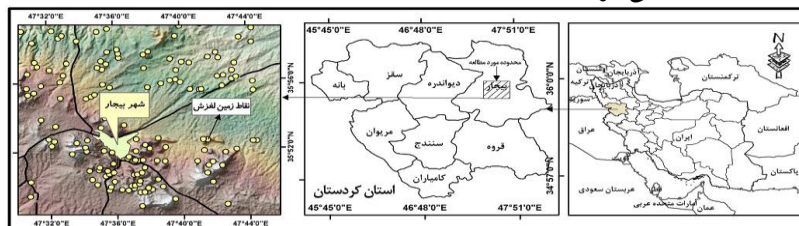
---

1. Ermini  
2. Melchiorre

طرفی دیگر یکی از مزیت‌های اساسی شبکه عصبی مصنوعی آن است که به‌عنوان یک مدل کمی که دارای مزایای مانند مستقل بودن از توزیع آماری داده‌ها (به‌عبارتی الزامی به استانداردسازی<sup>۱</sup> داده‌ها نیست)، قادر به یادگیری، تعمیم و تصمیم‌گیری و نیاز کم‌تر به بررسی آنالیز صحت داده‌ها در قیاس با روش‌های آماری است.

### ویژگی‌های عمومی محدوده بررسی شده

شهرستان بیجار در شمال شرق استان کردستان، در طول جغرافیایی  $29^{\circ} 47'$  تا  $47^{\circ} 47'$  شرقی در عرض جغرافیایی  $48^{\circ} 35'$  تا  $49^{\circ} 35'$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). پرآب‌ترین رود منطقه تروال است. این رودخانه از کوه‌های عمدتاً جنوبی منطقه سرچشمه گرفته و به قزل‌اوزن می‌پیوندد. این شهرستان در میان ناهمواری‌های استقرار یافته که مانند حصاری کوهستانی آن را به‌صورت نسبتاً مستقل درآورده‌اند. 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 چنگ‌الماس 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 بیجار ۳۰۰ میلی‌متر است.

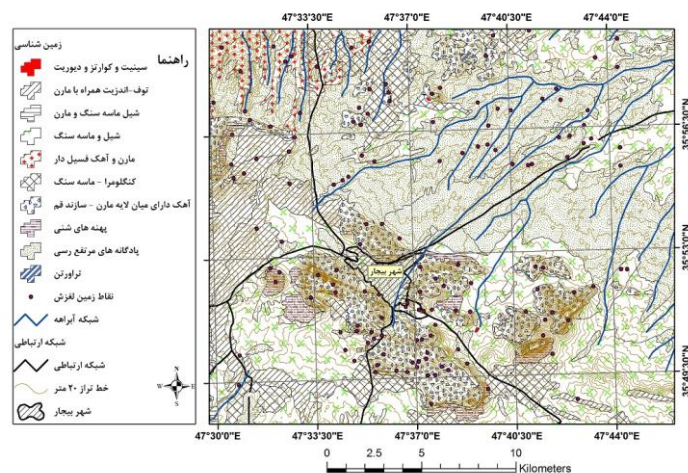


شکل ۱. موقعیت منطقه بررسی شده (بیجار واقع در استان کردستان)

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 آهک‌هایی که دارای میان لایه از شیل یا مارن هستند، به‌اضافه رسوبات دوران چهارم تشکیل شده است که نسبت به فرسایش مکانیکی نامقاوم هستند. در دیدی کلی کوه‌های

1. Normalization

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 بررسی شده

بر پایه تقسیم‌بندی ساختاری ایران، شهرستان بیجار در پهنه سنندج-سیرجان قرار دارد [۱۹]. از نظر زمین‌ساخت، محدوده در بین دو گسل اصلی تبریز در شرق و ارومیه یا (زرینه‌رود) در غرب واقع است در نتیجه 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 [۱۲].

### روش تحقیق

نقشه حساسیت مناطق به زمین‌لغزش ابزار مهم برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی است. با این حال، بسیاری از موضوعات در شکل‌گیری این پدیده وجود دارد که با توجه به پیچیدگی فرآیندهای طبیعی که ناشی از ارتباط بین پیامد (متغیر وابسته) و عوامل (متغیرهای مستقل) است مشکلاتی را برای پهنه‌بندی کلی چنین نواحی فراهم می‌کند. برای تبیین رابطه در شرایطی که تعداد متغیرهای توضیحی زیاد بوده و دارای تنوع فراوان باشند، روش‌های مختلفی ابداع و توسعه یافته است. این روش‌ها متناسب با ماهیت متغیر وابسته و چگونگی متغیرهای مستقل بسیار متنوع‌اند. در آمار کلاسیک، برای چنین شرایطی استفاده از مدل‌های رایج رگرسیونی

متداول است اما این مدل‌ها دارای ساختار پیچیده‌ای است و اغلب دارای پیش‌شرط‌های سخت مانند برقراری توزیع نرمال و همگنی واریانس‌ها هستند و برقراری نشدن این پیش‌شرط‌ها، استفاده از این مدل‌ها را محدود می‌کند. از این رو، نیاز به ابداع روش‌های جدیدی است که علاوه بر فائق آمدن بر شرایط فوق بتوانند با سرعت زیاد و انجام محاسبات کم‌تر به نتایج قابل قبول دست یابند. در سال‌های اخیر، توسعه سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل فضایی افزایش یافته که این مسئله سبب بهبود پهنه‌بندی غیرمستقیم خطر شده است. در همین راستا شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند بخش چشم‌گیری از این نیازها را پوشش دهند. این مدل داده محور، جهانی و دارای تابع غیرخطی تقریبی است که توانایی آموزش توابع غیرخطی با استفاده از داده‌ها از ویژگی‌های مهم آن‌ها است. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند مدلی برای پهنه‌بندی غیرمستقیم مناطق خطر هست. زمانی که عوامل تأثیر توزیع نرمال ندارند و به شدت هم‌بسته هستند در واقع، پهنه‌بندی غیرمستقیم زمین‌لغزش باید بر اساس روابط پیچیده، ناشناخته و غیرخطی بین توزیع حرکات توده و تأثیر عوامل در زمین‌لغزش صورت گیرد. اجرای مدل شبکه عصبی نیازمند نقاط (سایت) آموزشی<sup>۱</sup> است. بدون نقاط آموزشی انجام شبکه‌های عصبی عملاً غیر ممکن است. در این مقاله نقاط آموزشی نمایانگر رخداد زمین‌لغزش که مختصات جغرافیایی دارد و از سازمان منابع طبیعی استان کردستان اخذ شدند. به‌طور کلی سایت آموزشی در جی‌ای‌اس و سنجش از دور می‌تواند شامل داده برداری و یا رستری باشد که در این مقاله به‌صورت پدیده نقطه‌ای و به تعداد ۱۴۴ مورد است. اما به‌علت وسعت زیاد محدوده بررسی شده و کم بودن تعداد آن‌ها و نیز فقدان میزان خطر هر پهنه زمین‌لغزش (از کم‌خطر تا بسیار خطرناک)، بهتر است نقاط مذکور دارای ارزش‌های طبقه‌بندی شده باشند و به‌علاوه از نظر تعداد باید به حد قابل قبولی برسد. هم‌چنین هرچقدر تعداد نقاط با ارزش طبقه نسبی داده شده از نظر تعداد، شرایط نرمال و یک‌سانی را داشته باشند (به‌عبارتی توزیع جغرافیایی مناسب و توزیع مناسب در هر طبقه) نتیجه به‌دست آمده دقیق‌تر است، بنابراین برای ایجاد یک طیف طبقه‌بندی شده از روش تحلیل سلسله مراتبی

---

#### 1. Training Site

(AHP) استفاده شد. یادآور می‌شود همه نقشه‌ها به صورت استاندارد و در قالب و فرمت رستری در یک ماتریس (۶۹۸ سطر در ۸۹۷ ستون) یک‌سان با اندازه پیکسل ۳۰×۳۰ متر تعریف شدند. این بدان معناست که هر نقشه دارای ۶۲۶۱۰۶ پیکسل با ارزش‌های متفاوت و بعضاً مشابه است. به علاوه به منظور طبقه‌بندی منطقه بررسی شده، از مناطق بسیار مطلوب (فاقد خطر) تا بسیار نامطلوب (بسیار خطرناک) از مدل AHP استفاده شد. هم‌چنین ۳۳ نقطه در طبقات مختلف نقشه حاصل از مدل AHP به داده‌های آموزشی اضافه شدند. لیکن در نهایت به منظور صحت سنجی دقیق مدل تنها نقاط رخداد زمین‌لغزش در نظر گرفته شدند.

استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی برای مناطق که در آن لغزش هنوز رخ نداده است بر اساس این فرض که برچسب ندارند و مجموعه داده‌های آموزش شامل تعداد کمی از نمونه‌های مثبت (نقاط واقعی رخداد زمین‌لغزش) و تعدادی زیادی از نمونه منفی (نواحی فاقد زمین‌لغزش) است چندان درست نیست؛ بنابراین استفاده از روش بدون نظارت برای پیدا کردن توزیع نمونه‌ها (در خروجی AHP) در مجموعه داده، به منظور مشارکت درست داده‌ها برای بهبود عملکرد شبکه صورت گرفت.

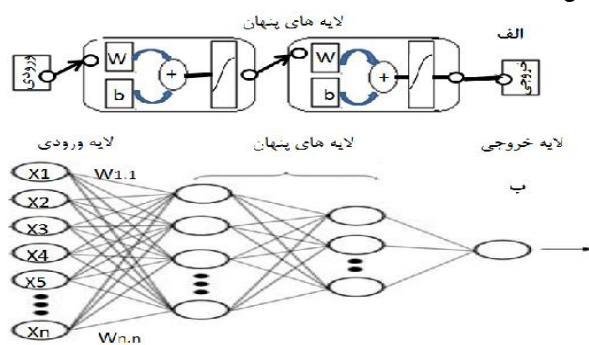
### روش تحلیل سلسله مراتبی

برای شناخت عوامل زمین‌لغزش در شهرستان بیجار نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، لیتولوژی و کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، تهیه و رقومی شدند. بعد از تهیه و طبقه‌بندی متغیرهای مذکور، ابتدا هر یک از معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش به شش زیر معیار (مناسبت اراضی برای لغزش) از شرایط بسیار مطلوب تا بسیار نامطلوب تقسیم شدند. سپس مقایسه زوجی با استفاده از روش توماس ساعتی بین خود معیارها و زیر معیارها صورت گرفت. پس از به دست آوردن وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها، وزن‌ها برای طبقه‌بندی و پهنه‌بندی نقشه با روش AHP استفاده شدند. دقت نسبت سازگاری نقشه از نظر استعداد زمین‌لغزش به دست آمد. برای تعیین ارجحیت و مقایسه زوجی زیر معیارها از روش نسبت فراوانی استفاده شد که رابطه آن بدین صورت است:

$$FR=(A/B)\times 100$$

که در آن A مساحت لغزش یافته در هر طبقه، B مساحت همان طبقه از لایه و FR نسبت فراوانی است.

نقشه نهایی حاصل از مدل سلسله مراتبی مجدداً بر اساس شش طبقه پهنه‌بندی شدند. با استفاده از روش انتقال فضایی ارزش، در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیای ارزش هر طبقه به پهنه زمین‌لغزش نقشه سازمان اداره منابع طبیعی انتقال داده شدند. سپس لایه‌های به دست آمده به فرمت ENVI تبدیل و در نرم‌افزار ادیسی فراخوانی شدند. این لایه به عنوان لایه آموزشی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. سایر لایه‌های رستری معیارها نیز به همان صورت به محیط ادیسی انتقال داده شدند.



شکل ۳. طرح شماتیکی از شبکه عصبی پرسپترون دو لایه

### شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی تقریباً با تابع غیرخطی به طور گسترده برای تشخیص الگو و طبقه‌بندی استفاده می‌شود [۲۴]. شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای از واحدی کلی، موسوم به نورون، محاسبات تابع و ورودی است. هر ورودی دارای یک وزن اختصاص داده شده است که تأثیر این ورودی را روی خروجی کلی نشان می‌دهد. شکل ۳ الف نمایش شماتیک از یک شبکه عصبی مصنوعی با یک نرون و دو لایه پنهان است که در آن w وزن و b بایاس است با توجه به شکل ۴ هر متغیر در وزن گره ضرب شده و از طریق تابع شبکه وارد گره میانی می‌شود سپس این اطلاعات از یک تابع تحریک عبور کرده و به لایه بعدی می‌رسد، خروجی تابع تحریک به عنوان ورودی به گره لایه بعدی فرستاده می‌شود.

با اتصال تعداد مناسب از گره‌ها به شیوه مناسب و با تنظیم وزن به مقادیر مناسب، یک شبکه عصبی می‌تواند هر تابع را با دقت دل‌خواه تقریبی به دست آورد. این ساختار گره‌ها و اتصالات، به عنوان توپولوژی شبکه شناخته شده و همراه با وزن اتصالات، رفتار نهایی شبکه را تعیین می‌کنند. شکل ۳ ب توصیف توپولوژی ساده یک شبکه جلو سو با دولایه پنهان را نشان می‌دهد. با توجه به توپولوژی شبکه‌های عصبی و مجموعه آموزشی، امکان بهینه‌سازی وزن‌ها برای به حداقل رساندن تابع خطا با استفاده از الگوریتم پس انتشار وجود دارد. در نرم‌افزارهایی که توانایی اجرای شبکه‌های عصبی را دارند (به عنوان مثال Matlab, IDRSI, SPSS و غیره) ساختار شبکه دارای مقادیر پیش فرضی است که به هر دلیلی ممکن است مناسب مدل و هدف مورد نظر محقق نباشد و در نتیجه اجرا و یا خروجی به دست آمده ناقص و اشتباه باشد. به علاوه طراحی شبکه نیز در کاهش پیچیدگی و دستیابی به دقت قابل قبول اهمیت زیادی دارد. به همین منظور تکنیک‌های ساماندهی<sup>۱</sup> می‌تواند پایداری شبکه را بهبود بخشد که شامل ایمنی خلاصه‌سازی و تداخل<sup>۲</sup> شبکه است. خلاصه‌سازی شبکه با افزایش تعداد داده‌های آموزشی<sup>۳</sup> و استفاده از تکنیک‌های ساماندهی به منظور حفاظت شبکه از آموزش بیش از اندازه<sup>۴</sup> به کار برده می‌شود. یکی از بهترین راه‌های نظارت بر آموزش بیش از اندازه و یا برعکس<sup>۶</sup> شبکه، توجه و نظارت بر خطای آموزش و اعتبارسنجی مجموعه داده‌هایی است که به عنوان آموزش شبکه در نظر گرفته شده است [۳۰]. اگر در شبکه لایه‌های پنهان زیادی وجود داشته باشند ممکن است منجر به آموزش بیش از اندازه شود که با کاهش تعداد دوره تکرار<sup>۷</sup> آموزش و ایجاد این محدودیت با به کارگیری مجموعه اعتبارسنجی قابل پیش‌گیری است. راه دیگر ساخت مجموعه بزرگی داده‌های آموزش به قدر کفایت است که به جلوگیری از درهم پیچیدگی شبکه کمک می‌کند. رویکرد اساسی در این رابطه یک پارچه کردن ساخت لایه پنهان

1. Regularization
2. Generalization and Interference Immunity

۳. در این مقاله برای این منظور از مدل AHP استفاده شد

4. Overfitting

۵. در این مقاله از روش آزمون و خطا و تغییر در مقادیر پیش فرض نرم‌افزار و نظارت بر خطای آموزش و اعتبارسنجی مجموعه داده‌ها استفاده شد

6. Under- and Overfitting
7. iteration

به‌عنوان بخشی از فرایند آموزش است [۳۱]. در این پژوهش ضمن صحت و ویرایش لایه‌ها مدل شبکه عصبی با روش طبقه‌بندی و اعمال دو نوع تابع (خطی و سیگموئید) اجرا شد. سپس با استفاده از روش آزمون و خطا و بررسی میزان خطای مربعات و نیز دوره تکرار و تغییر در تعداد لایه‌ها پنهان و وزن‌ها، هر دو تابع اجرا شدند در نهایت تابع سیگموئید که به نتیجه بهتری رسیده بود به‌عنوان تابع پیشنهادی و نهایی انتخاب شد. به‌منظور صحت‌سنجی (دقت) نقشه به‌دست‌آمده با پهنه‌های زمین‌لغزش موجود نقشه نهایی حاصل از مدل شبکه عصبی مجدداً به نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شدند سپس نقاط زمین‌لغزش روی نتایج طبقه‌بندی حاصل از شبکه عصبی انطباق داده‌شده، ضمن مقایسه، درصد و میزان هرکدام از طبقات به‌دست آمدند.

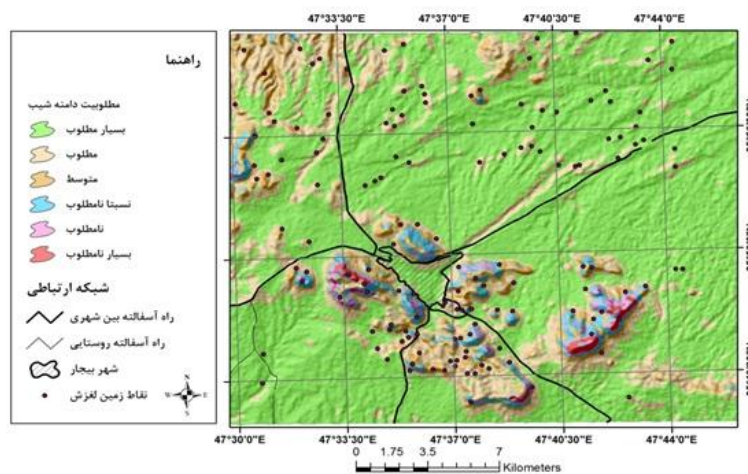
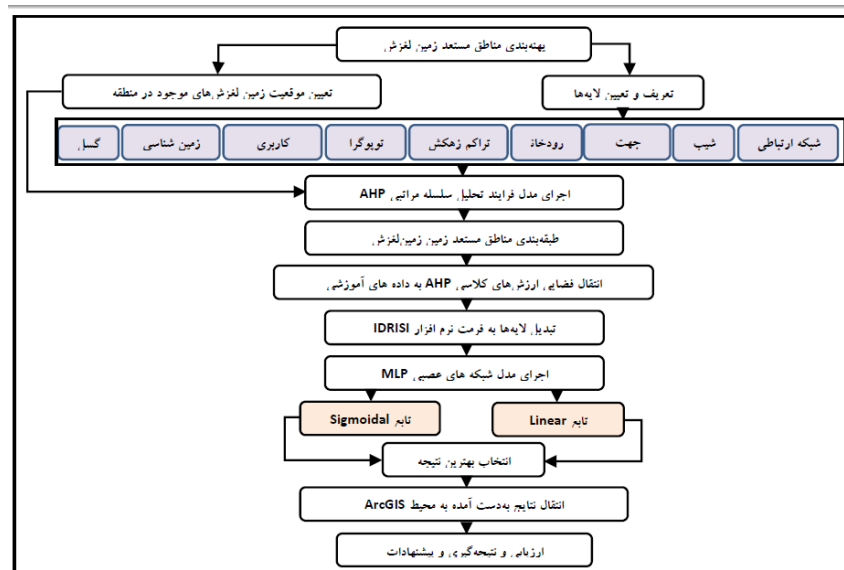
### داده‌ها و ویژگی متغیرها

عوامل زیادی در وقوع زمین‌لغزش دخیل هستند که برخی از قبیل میزان شیب جز عوامل ایجاد و برخی مثل سازه‌های انسانی جز عوامل تشدید محسوب می‌شوند. در این پژوهش عوامل مذکور با استفاده از داده‌های موجود و شبکه عصبی بررسی می‌شود تا محدوده بررسی شده برای مخاطرات ناشی از زمین‌لغزش پهنه‌بندی شود. داده‌های خام (لایه ورودی) به شش طبقه بر اساس میزان مطلوبیت برای حرکات توده محاسبه شدند. این رویکرد تصمیم به کاهش پیچیدگی شبکه و بهبود عملکرد آن می‌انجامد

### میزان شیب:

مهم‌ترین معیار در تجزیه و تحلیل پایداری دامنه‌ها زاویه شیب است [۲۶]، زیرا این معیار رابطه مستقیمی با زمین‌لغزش دارد به‌همین دلیل یکی از معیار اساسی در تهیه نقشه استعداد زمین‌لغزش در هر مکان محسوب می‌شود [۲۷]. بررسی روش‌های مختلف پهنه‌بندی نشان می‌دهد که شیب توپوگرافی چون در ایجاد ناپایداری دامنه‌ها و حرکات توده‌ای سهم زیادی دارد بررسی آن با اهمیت است و غالباً محققانی که به پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای پرداخته‌اند از این معیار استفاده کرده‌اند. بر اساس پژوهش‌های قبلی بیش‌ترین زمین‌لغزش در شیب‌های (۱۵ تا ۴۵ درجه) اتفاق می‌افتد که بسته به عوامل دیگر می‌تواند متفاوت باشد [۵]، [۷]. در این مقاله به‌منظور تأثیر این معیار، میزان شیب محدوده بررسی شده به شش کلاس شامل، کلاس

بسیارمطلوب (۰-۱۰)، مطلوب (۱۰-۲۰)، متوسط (۲۰-۳۰)، نسبتاً نامطلوب (۳۰-۴۰)، نامطلوب (۴۰-۵۰) و بسیار نامطلوب (۵۰ درصد و بالاتر) تقسیم شده است.

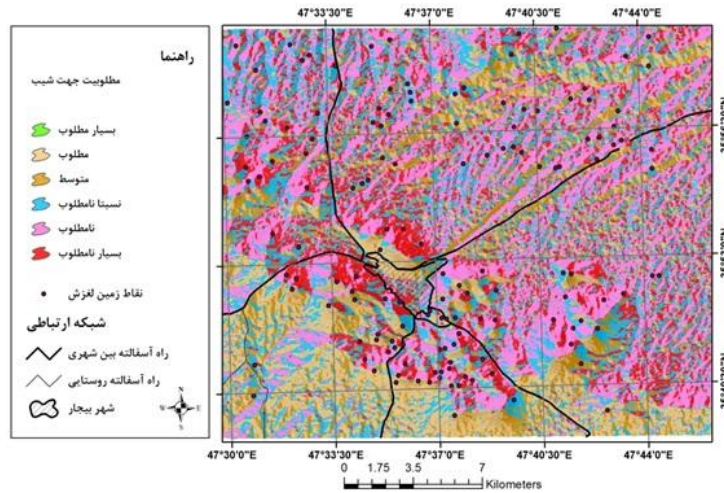


شکل ۵. نقشه طبقات شیب محدوده بررسی شده

#### جهت شیب:

جهت شیب به علت ارتباطی که با سرعت زمان جذب، از دست دادن رطوبت، فشار مغذی، دریافت نور و تخریب موضعی دارد، دارای نقش مهمی در فرآیندهای دامنه‌ای است

[۱۸]. دامنه‌های با جهت شمالی به علت دریافت تابش کم نور خورشید نسبت به دامنه‌های رو به جنوب مرطوب‌ترند به همین دلیل با تطبیق حرکات دامنه‌ای کنونی روی نقشه بیش‌ترین ناپایداری‌ها در دامنه‌های روبه شمال دیده می‌شود [۵]، [۷] برای بررسی تأثیر این معیار، جهت شیب به شش کلاس طبقه‌بندی شده است سپس با استفاده از روش نسبت فراوانی، اهمیت هر یک از جهت‌ها در زمین‌لغزش‌ها منطقه به دست آمده جهت‌های که نسبت فراوانی یکسانی دارند. در مقایسه دودویی زیر معیارها ارزش یکسانی دارند (جدول ۱).



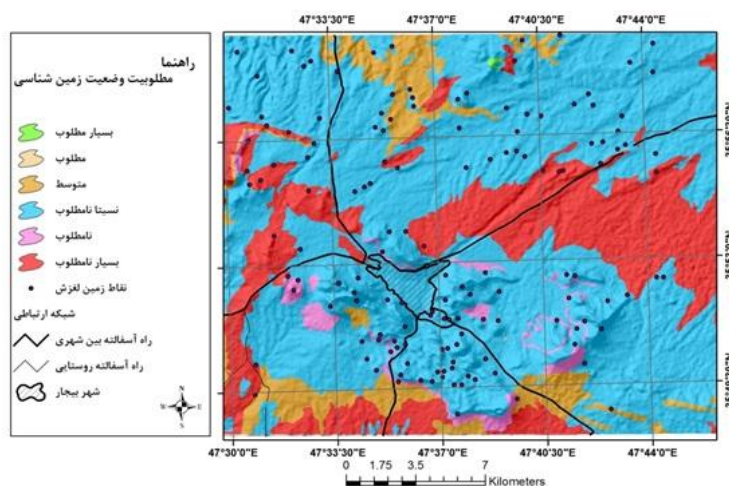
شکل ۶. نقشه جهت شیب محدوده بررسی شده

جدول ۱. جهت شیب دامنه، نسبت فراوانی و رتبه آن‌ها برای مقایسه زوجی

جهت جغرافیایی	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
مقادیر کمی (زاویه و )	-۲۲/۵	-۶۷/۵	-۱۱۲/۵	-۱۵۷/۵	-۲۰۲/۵	-۲۴۷/۵	-۲۹۲/۵	-۳۳۷/۵
نسبت فراوانی	۷۵	۶۳۳	۱۰۱	۸۳	۶	۸۱	۹۵	۹
کلاس‌ها	مطلوب	بسیار نامطلوب	نامطلوب ب	متوسط	بسیار مطلوب	متوسط	نسبتاً نامطلوب	نسبتاً نامطلوب

## لیتولوژی:

تأثیر ویژگی‌های لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش غیرقابل انکار است و به‌طور گسترده از طرف محققان به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم زمین‌لغزش بررسی شده است. نتایج تحقیقات قبلی نشان داده که لیتولوژی رابطه معنی‌داری با لغزش دارد. علت این‌که واحدهای لیتولوژی مختلف، درجه استعداد زمین‌لغزش متفاوت دارند اغلب به‌دلیل اختلاف در قدرت نفوذپذیری آنها است [۲۲]. ساختار زمین‌شناسی محدوده بررسی شده تنوع زیادی دارد. برای کاهش خطا در وزن‌دهی به واحدها و مشخص کردن نقش آنها در حرکت لغزش از نسبت فراوانی کمک گرفته شده است به لیتولوژی که نسبت فراوانی بیش‌تری در زمین‌لغزش دارند وزن بیش‌تری داده شده است به لیتولوژی‌های با نسبت فراوانی یک‌سان در مقایسه دودویی زیر معیارها بر اساس مقیاس نه کمیته ساعتی ارزش یک‌سانی منظور شده است (جدول ۲).

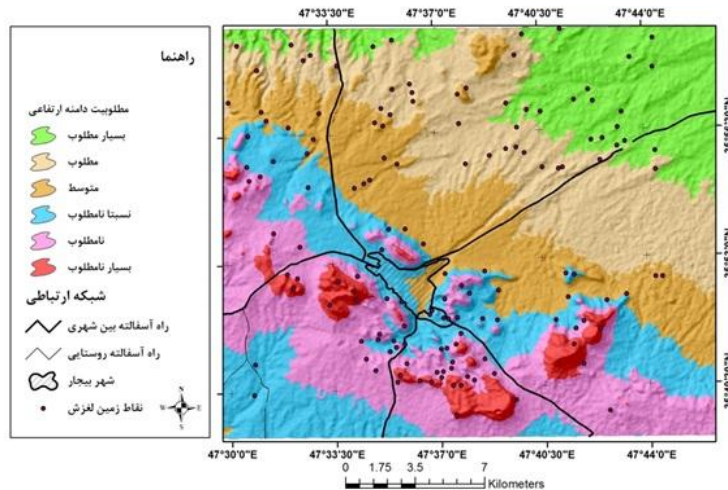


شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی زمین‌شناسی محدوده بررسی شده

## طبقات ارتفاعی:

ارتفاع به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش معرفی شده است. بیش‌تر زمین‌لغزش در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر شکل می‌گیرد [۷]. این متغیر از یک‌طرف در کنترل درجه و نوع فرسایش نقش به‌سزایی دارد از طرف دیگر با تأثیر بر نحوه پراکنش فعالیت انسانی و استقرار سکونت‌گاه‌ها و همچنین کنترل نوع کاربری‌ها در وقوع زمین‌لغزش تأثیر دارد. محدوده

بررسی شده 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 به صورت محدودۀ بسیار نامطلوب (۱۷۵۰-۱۵۹۸)، نامطلوب (۱۹۰۰-۱۷۵۰)، متوسط (۲۰۵۰-۱۹۰۰)، نسبتاً نامطلوب (۲۲۰۰-۲۰۵۰) و بسیار مطلوب (۲۲۰۰) و بیشتر) طبقه‌بندی شد. پژوهش مربوط به طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد رابطه مستقیم بین ارتفاع و زمین‌لغزش به علت افزایش رطوبت وجود دارد به طوری که با افزایش ارتفاع تعداد زمین‌لغزش افزایش می‌یابد، بر این اساس با افزایش ارتفاع طبقات وزن در نظر گرفته شده برای طبقه، بیش تر شده است.



شکل ۸. نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی محدوده بررسی شده

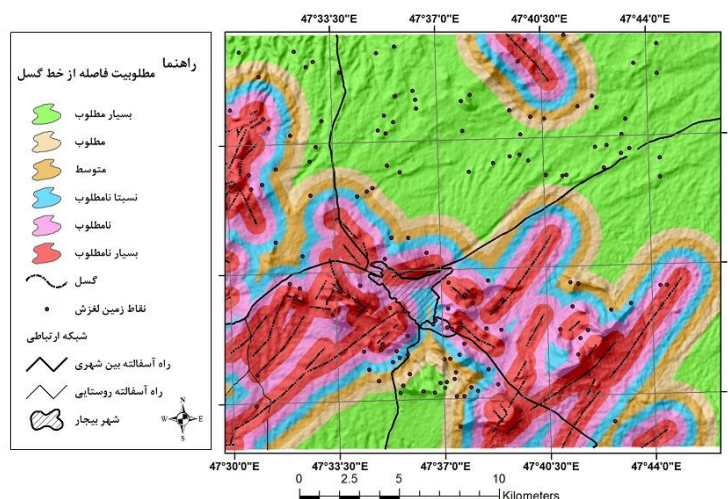
جدول ۲. نسبت فراوانی به دست آمده برای لیتولوژی‌های منطقه و رتبه آن‌ها برای مقایسه زوجی

لیتولوژی	سببیت و کوارتز دیوریت	کگلوپرا و ماسه‌سنگ	مارن و ایتلریت همراه با	شیل، ماسه‌سنگ و مارن	شیل (مارن)	سازند قم (آهک با میان لایه)	مارن و آهک فسیل دار	شیل و ماسه‌سنگ	تراورتن	پهنه شنی قدیمی	پادگانه مرتفع رسی
نسبت فراوانی	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۱۲	۰/۲	۰/۵۵	۰/۵۶	۰	۱/۵۸	۰/۹۷	
کلاس	بسیار مطلوب	نامطلوب	نسبتاً نامطلوب	مطلوب	بسیار نامطلوب	متوسط	بسیار مطلوب	نامطلوب	نامطلوب	نامطلوب	

## فاصله از گسل:

گسل از دیگر عوامل ناپایداری دامنه است و نقش تکتونیک در ناپایداری دامنه ثابت شده است [۲۰]، [۲۵]. گسل به دو صورت عمل می‌کند ۱. ناپایداری دامنه را تشدید می‌کند ۲. باعث خرد شدن سنگ‌ها می‌شود که این خود باعث نفوذ بیشتر رطوبت به خاک می‌شود. غالباً بیشتر زمین‌لغزش‌ها در نزدیکی گسل اتفاق می‌افتد و هر چه از محل شکستگی فاصله می‌گیریم نقش گسل در وقوع زمین‌لغزش کم‌رنگ خواهد شد. برای این‌که نقش گسل در زمین‌لغزش‌ها منطقه بررسی شود بعد از ترسیم گسل‌های منطقه حریم‌های با فواصل ۵۰۰ متری جدول ۳. فراوانی و درصد تعداد زمین‌لغزش‌ها نسبت به گسل‌های محدوده

فاصله	۵۰۰ متر و کمتر	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	۳۰۰۰ متر و بیش‌تر
دامنه	1	2	3	4	5	6
نوع مطلوبیت	بسیار نامطلوب	نامطلوب	نسبتاً نامطلوب	متوسط	مطلوب	بسیار مطلوب
تعداد زمین‌لغزش	51	7	21	16	22	27
درصد تعداد زمین‌لغزش	35.42	4.86	14.58	11.11	15.28	18.75

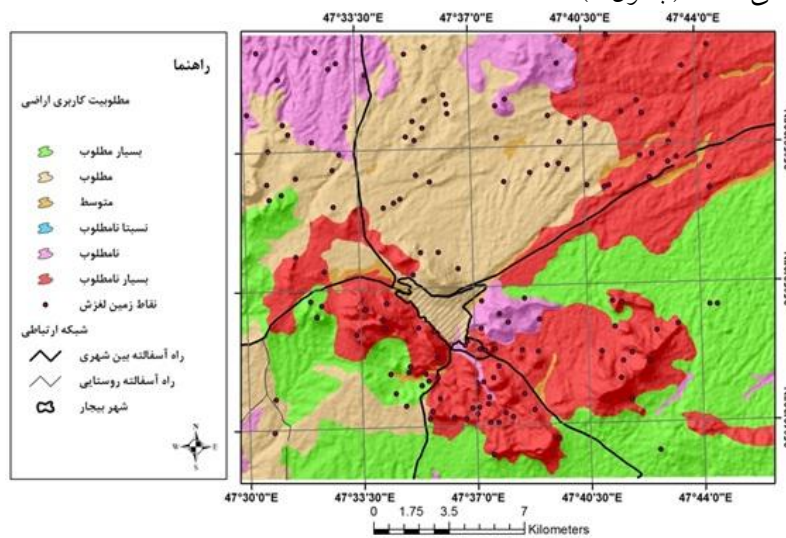


شکل ۹. نقشه فاصله از گسل محدوده بررسی شده

از هم ترسیم شده است هر یک از حریم‌ها به‌عنوان یک طبقه وزن‌دهی شدند. مجموعاً شش حریم محدوده را پوشش داده است. به حریم‌های نزدیک‌تر در مقایسه دودویی زیر معیارها بر اساس مقیاس نه کمیته ساعتی ارجحیت بیش‌تری داده شده است. بر اساس جدول ۳ تعداد ۵۱ نقطه زمین‌لغزش برابر با ۳۵/۴۲ درصد کل زمین‌لغزش‌های محدوده در فاصله کم‌تر از ۵۰۰ متری گسل‌ها رخ داده است.

### کاربری اراضی:

یکی از لایه اطلاعاتی که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌شود نقشه کاربری اراضی است. منظور از کاربری اراضی نحوه استفاده از زمین است. تأثیر کاربری اراضی در پایداری شیب‌ها می‌تواند به‌صورت مکانیکی و هیدرولوژیکی باشد. پوشش گیاهی زمین به‌عنوان یک محافظ عمل کرده و فرسایش خاک و نفوذ آب را بعد از عمل بارش کاهش می‌دهد. پوشش گیاهی مترکم هیدرولوژی خاک را به‌وسیله افزایش برگاب، نفوذ و تبخیر و تعرق کاهش می‌دهد. چندین محقق اهمیت پوشش زمین در پایداری شیب را متذکر شده‌اند [۲]، [۹]، [۱۵]. در این پژوهش کاربری اراضی به شش کلاس بر اساس نسبت فراوانی تقسیم‌بندی شدند (جدول ۲).



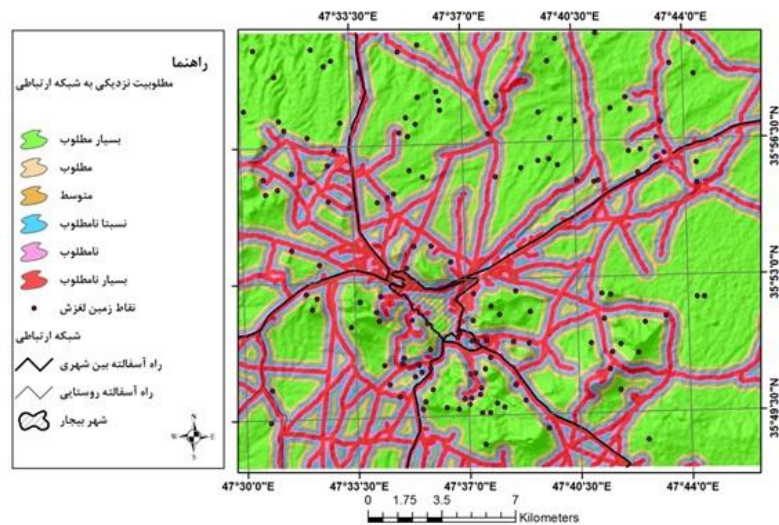
شکل ۱۰. نقشه کاربری اراضی محدوده بررسی شده

جدول ۴. نسبت فراوانی به دست آمده برای کاربری‌های منطقه بررسی شده و ارجحیت آن‌ها برای مقایسه زوجی

کاربری اراضی	کثرت آبی	اراضی باغی	کشت	مختلط مزراغ دیم و باغ	مختلط مرغ دیم و دیم	مختلط مرغ دیم و دیم	توسش مرغ دیم و باغ	توسش مرغ دیم و باغ	ارضی شهری
نسبت فراوانی	۸۳/	۱/۹۷	۱/۰۴	۱۳/	۸۵/	۱/۱۷	۲/۱۳	۱/۰۷	۹۳/
کلاس	مطلوب	نامطلوب	متوسط	بسیار مطلوب	مطلوب	نسبتاً نامطلوب	بسیار نامطلوب	متوسط	مطلوب

فاصله از جاده:

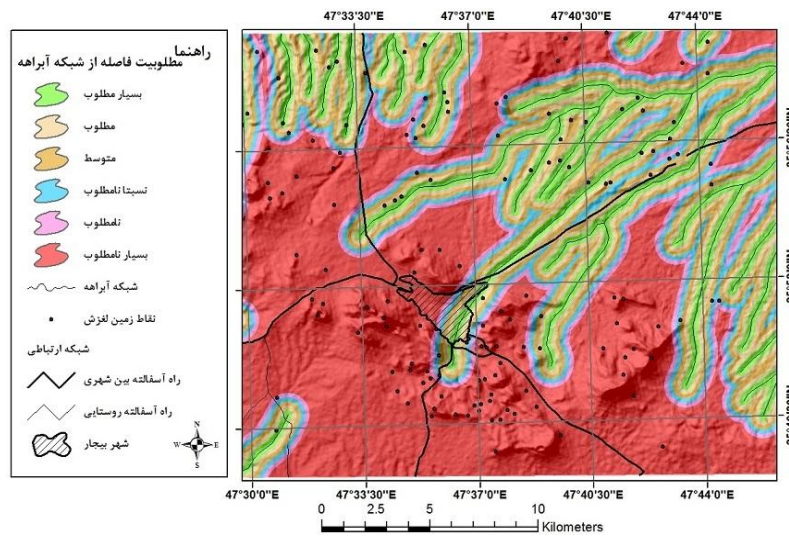
تجربیات و آمار موجود در رابطه با وقوع زمین‌لغزش در هنگام نوسازی و تعریض جاده‌ها، نشان‌دهنده اهمیت این معیار در بررسی‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش است. عوارض خطی مانند راه‌ها از یک طرف به طور عمده با تضعیف نیروی مقاومتی دامنه‌ها باعث کاهش ضریب اطمینان در شیب‌های طبیعی می‌شود در نتیجه پتانسیل خطر را افزایش می‌دهد [۱۲]. از طرف دیگر با ایجاد یک مانع برای جریان یافتن آب باعث اشباع خاک می‌شود. به شکل غیرمستقیم نیز در اثر عملیات راه‌سازی و لرزش‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه ناپایداری دامنه‌ای ایجاد می‌شود از این رو رخداد زمین‌لغزش‌ها رابطه مستقیمی با نزدیکی به جاده‌ها دارد به طوری که با فاصله گرفتن از مرکز جاده تراکم زمین‌لغزش‌ها کاهش پیدا می‌کند [۵]، [۱۷]. برای تأثیر لایه خطوط ارتباطی با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه خطوط ارتباطی محدوده ترسیم و حریم‌های به صورت ۵۰۰ متر و بیش‌تر (بسیار مطلوب)، ۴۰۰-۵۰۰ (مطلوب)، ۳۰۰-۴۰۰ (متوسط) ۲۰۰-۳۰۰ (نسبتاً نامطلوب)، ۱۰۰-۲۰۰ (نامطلوب) و ۰-۱۰۰ (بسیار نامطلوب) در حواشی جاده‌ها در نظر گرفته شد. این حریم‌ها به عنوان طبقات منظور شدند با توجه به یافته‌های قبلی در مقایسه زوجی ارجحیت کم‌تری به حریم‌های دورتر داده شد.



شکل ۱۱. نقشه فاصله از شبکه ارتباطی محدوده بررسی شده

#### فاصله از رودخانه:

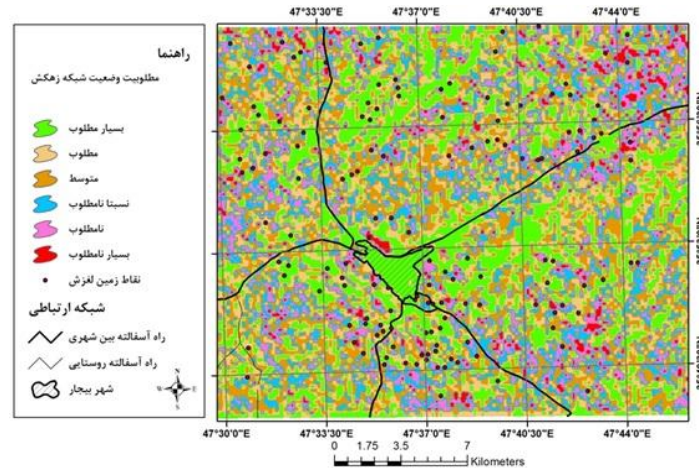
فاصله از آبراهه یکی از معیارهای کنترل‌کننده پایداری شیب است. رودخانه‌ها به طور منفی در پایداری دامنه‌ها تأثیر دارند. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها، دره‌ها حفر شده و مصالح پای دامنه شسته می‌شود با این فرایند، عامل نگهداری از پای شیب برداشته شده که در نهایت استعداد لغزش در منطقه بالا می‌رود. برای تأثیر فاصله از آبراهه حریم‌های ۲۰۰ متری در نظر گرفته شدند. به طوری که ۰-۱۲۰۰ متر و بالاتر (بسیار مطلوب)، ۱۰۰۱-۱۲۰۰ (مطلوب)، ۸۰۱-۱۰۰۰ (متوسط) ۶۰۱-۸۰۰ (نسبتاً نامطلوب)، ۲۰۱-۴۰۰ (نامطلوب) و ۰-۲۰۰ (بسیار نامطلوب) در نظر گرفته شد. با انطباق نقشه زمین‌لغزش موجود و نقشه حریم آبراهه‌ها مشخص شد که با فاصله گرفتن از مرکز آبراهه‌ها تراکم زمین‌لغزش‌ها کاهش یافته است به همین دلیل با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها در این پژوهش وزن کم‌تری به طبقات داده شده است و در مقایسه دودویی ارجحیت کم‌تری دارند.



شکل ۱۲. نقشه فاصله از رودخانه‌های محدوده بررسی شده

### تراکم زهکش:

تراکم زهکش عبارت از نسبت طول آبراهه به مساحت حوضه زهکش است. محدوده‌های با تراکم زهکش بالاتر با نفوذپذیری پایین و حرکت سریع آب مشخص می‌شوند [۲۹]. برای ترسیم نقشه تراکم زهکش، محدوده به زیر حوضه‌های بسیار کوچک تقسیم شده است سپس طول زهکش‌ها اندازه‌گیری و بر مساحت زیر حوضه تقسیم شده است در نهایت با ترکیب و طبقه‌بندی زیر حوضه‌ها محدوده به شش کلاس تقسیم شد، با افزایش تراکم مطلوبیت بیش‌تری برای محدوده‌ها در نظر گرفته شد سپس با استفاده از مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوج‌های توماس ساعتی مورد مقایسه قرار گرفتند و وزن‌دهی شدند. برای تأثیر تراکم زهکش (مترمربع در هکتار)  $0-0/16$  (بسیار مطلوب)،  $0/17-0/39$  (مطلوب)،  $0/4-0/6$  (متوسط)  $0/61-0/81$  (نسبتاً نامطلوب)،  $0/82-0/1$  (نامطلوب) و  $0/1$  و بیش‌تر (بسیار نامطلوب) در نظر گرفته شد.



شکل ۱۳. نقشه شبکه زهکش محدوده بررسی شده

### بحث و نتایج

شبکه عصبی برای طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، آزمایشی و صحت‌سنجی است، داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌شده به وسیله مدل استفاده می‌شود. از آنجاکه در این تحقیق پیکسل‌های بدون لغزش برای آموزشی شبکه به درستی تعریف نشده است از روش AHP برای تعریف پیکسل‌های بدون لغزش و طبقه‌بندی محدوده کمک گرفته شد. برای اجرای این روش، نه متغیر، (شیب، جهت شیب، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از رودخانه، تراکم زهکش) در محدوده بسیار مطلوب تا نامطلوب مقیاس‌بندی شدند با استفاده از مقایسه زوجی توماس ساعتی وزن نهایی این متغیرها به دست آمد (جدول ۴)، محدوده بررسی شده به پنج طبقه مطابق نقشه به لحاظ مناسبت اراضی برای خطر زمین‌لغزش تقسیم شدند. از هر طبقه با توجه به نقاط زمین‌لغزش روی داده و پهنه‌بندی حاصل از مدل AHP ۲۰ پیکسل برای آموزش شبکه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شد. لازم به ذکر است که برای پیکسل‌ها آموزشی تأکید بر نقاط رخداد زمین‌لغزش است و تنها درجهایی که تعداد نقاط مشاهده با طیف پهنه‌بندی، کم‌تر از تعداد مورد نظر (۲۰ پیکسل آموزشی) است از پهنه‌های AHP استفاده

شد که در مجموع ۱۰۰ پیکسل برای آموزش شبکه در نظر گرفته شد. استفاده از این روش نمونه‌گیری اجازه شناسایی پیکسل غیر لغزش را به‌درستی می‌دهد. در واقع، پیکسل‌هایی که نماینده بهتری از شرایط بی‌ثباتی هستند به‌کار گرفته شدند. نمونه‌گیری تصادفی اجازه نمی‌دهد تا طبقه‌بندی پیکسل ناپایدار را انجام داد، از آن‌جاکه شبکه قادر به استخراج ویژگی بی‌ثباتی دامنه از داده‌ها نیست. انتخاب داده‌های غیرلغزش به‌کمک روش AHP اجازه می‌دهد تا شبکه‌های عصبی مصنوعی با درک ساختار داده‌های پنهان قادر به بهبود طبقه‌بندی مناطق ناپایدار گردند. در این‌جا تأکید می‌شود که وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل AHP به ورودی مدل (شبکه‌های عصبی) اختصاص داده نشده، طوری که آن‌ها نشان‌دهنده اهمیت وزن عوامل برای لغزش باشند. به‌عبارتی دیگر از مدل AHP به تأکید به‌منظور طبقه‌بندی داده‌های آموزشی به‌کار برده شد.

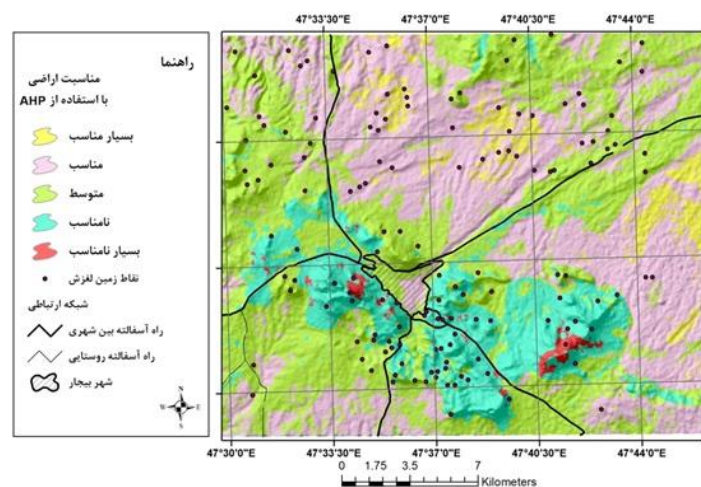
جدول ۵. محاسبه بردار نهایی برای هم‌پوشانی لایه‌ها و پهنه‌بندی زمین‌لغزش

وزن نهایی	زهکش	توپوگرافی	شیب	جاده	کاربری	لیتولوژی	جهت	گسل	رودخانه	
۰/۸	۸	۵	۸	۷	۴	۱/۴	۱/۲	۷	۱	رودخانه
۱/۱	۱/۲۵	۷	۱/۲۵	۱	۵	۲	۱/۸	۱	۱/۴۳	گسل
۰/۷	۷	۴	۸	۶	۳	۱/۱۱	۱	۵/۶	۸۳	جهت
۰/۶	۶	۴	۶	۵	۲۵	۱	۹	۵	۷۱	لیتولوژی
۲/۲	۲/۵	۱/۴	۲/۵	۲	۱	۴	۳/۳۳	۲	۲/۵	کاربری
۱/۲	۱/۲۵	۸	۱/۲۵	۱	۵	۲	۱/۶۷	۱	۱/۴۳	جاده
۰/۹	۱	۵/۹	۱	۸	۴	۱/۶۷	۱/۲۵	۸	۱/۲۵	شیب
۱/۶	۱/۶۷	۱	۱/۷	۱/۲۵	۷/۱	۲/۵	۲/۵	۱/۴۳	۲	توپوگرافی
۰/۹	۱	۶	۱	۸	۴	۱/۶۷	۱/۶۷	۸	۱/۲۵	زهکش

CR=0.0007 > 0.1

برای تشکیل شبکه عصبی مصنوعی داده‌های آموزشی با استفاده از یک شبکه پرسپترون چندلایه MLP با الگوریتم یادگیری لونیبرگ-مارکوارت پیشنهاد شده، آموزش دید. این نوع شبکه مصنوعی کاربردی‌ترین نوع شبکه مصنوعی است [۲۴] بیش‌تر پیش‌بینی‌های مرتبط با حرکات دامنه‌ای با استفاده از این نوع شبکه صورت گرفته است. ظر می‌رسد توانایی این نوع شبکه در تقریب مناسب توابع مختلف دلیل استفاده از آن باشد. متغیرهای شیب، جهت شیب، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه،

تراکم زهکش که در محدوده بسیار مطلوب تا نامطلوب مقیاس‌بندی شده بودند به‌عنوان ورودی به شبکه داده شد. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از روش توقف زود هنگام برای بهبود تعمیم شبکه اقدام شد. چندین لایه پنهان برای پیدا کردن بهترین نوع نتایج آزمایش شدند. لازم به ذکر است که در ساختار تمامی شبکه‌ها حداقل طراحی بهینه با یک‌لایه میانی صورت می‌پذیرد اما در ترکیب ساختاری آن‌ها از شبکه‌های با دولایه میانی نیز استفاده شده است که در این مقاله استفاده از دولایه میانی نتایج بهتری را نشان داد. بهترین شبکه در این مقاله، شبکه‌ای در نظر گرفته شده که بهترین برازش با کم‌ترین خطا را داشته باشد. برای این منظور تعداد زیادی شبکه عصبی ایجاد شدند که در تعداد نرون‌های موجود در لایه پنهان و ضریب یادگیری متفاوت بودند و برای به‌دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، شبیه‌سازی‌های متعددی صورت گرفت که در آن برای تعداد معینی تکرار یک پارامتر ثابت و پارامترهای دیگر متغیر در نظر گرفته شد. در تمامی شبیه‌سازی‌ها صورت گرفته شاخص متوسط مجذور خطا به‌عنوان یک شاخص راهنما، بیان‌گر کارایی شبکه در یادگیری الگوی موجود است، با تغییر تعداد نرون میانی و تغییر وزن‌ها به‌صورت سعی و خطا، مناسب‌ترین مدل شبکه برای مسئله موردنظر به‌دست آمد که در این پژوهش ساختار شبکه با ۹ لایه ورودی، ۲ لایه پنهان، تعداد تکرار ۱۵۰۰ بار در هر دو تابع به‌عنوان ساختار نهایی پذیرفته شد (جدول ۵ و شکل ۱۴)



شکل ۱۴. پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

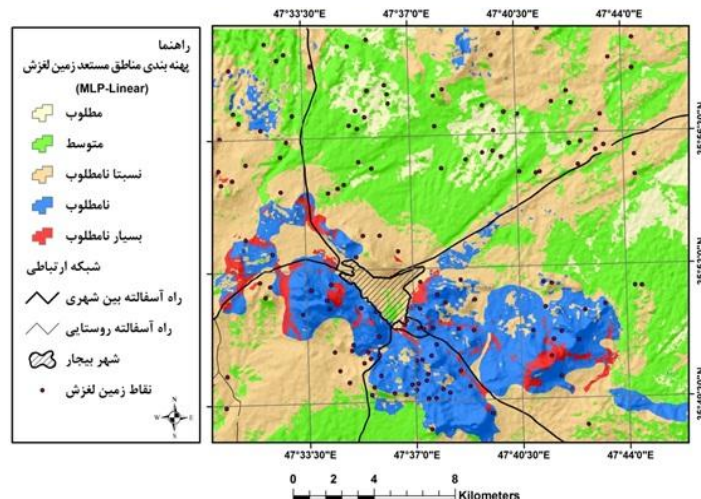
## جدول ۶. اطلاعات مربوط به شبکه‌های عصبی به کار رفته در این پژوهش

نوع تابع	تعداد گره لایه اول	تعداد گره لایه دوم	میزان یادگیری	فاکتور ممنتوم	صحت مدل	خطای آموزشی	خطای آزمایشی
خطی	۹	۹	۰/۰۱	۰/۵	۰/۷۹	۰/۰۷۸۴	۰/۲۴۵
سیگموئید	۹	۹	۰/۰۱	۰/۵	۰/۸۳	۰/۰۷۵۸	۰/۲۳۱



شکل ۱۴. منحنی‌های مربوط به بهینه تکرار در دو تابع سیگموئید (سمت راست) و خطی (سمت چپ)

ساختار اصلی شبکه عصبی با دو تابع خطی و سیگموئید با رسیدن به خطای قابل قبول آماده شد و محدوده بررسی شده به مساحت ۵۶۴ کیلومتر مربع با ۹ متغیر ورودی که تبدیل به داده‌های رستری به پیکسل‌های ۳۰×۳۰ شدند تحلیل شد. نتایج تحلیل به وسیله هر دو تابع به صورت نقشه آورده شده است (شکل ۱۶ و ۱۷) که از نظر شدت خطر این نقشه‌ها به پنج طبقه تقسیم شدند. در این نقشه‌ها مناطق بسیار نامطلوب جزء پرخطر و مناطق مطلوب جزء مناطق کم خطر محسوب می‌شوند. از مجموع ۵۶۴ کیلومتر مربع بر اساس تابع سیگموئید ۶۱/۱۷ درصد و بر اساس تابع خطی ۵۶/۷۲ درصد از محدوده در منطقه نامطلوب و بسیار نامطلوب قرار می‌گیرد که احتمال خطر زمین‌لغزش در آن‌ها زیاد است. در هر دو شبکه محدوده‌های بسیار ناچیزی در دو طبقه مطلوب و متوسط قرار گرفتند (شکل ۱۶ و ۱۷) که نشان از استعداد زیاد منطقه برای زمین‌لغزش به عنوان یک مخاطره است



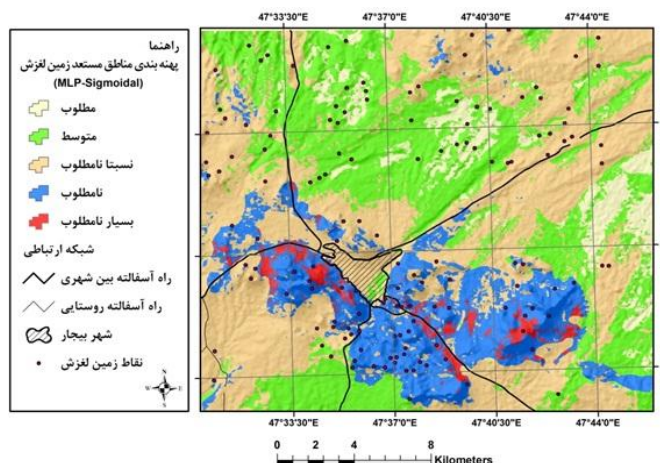
شکل ۱۶. پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش با استفاده از تابع خطی

### صحت‌سنجی مدل

برای ارزیابی کارایی و صحت مدل از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای این منظور نقاط زمین‌لغزش و نقشه پهنه‌بندی باهم تلفیق، مقایسه و تحلیل شد. نتایج به‌دست آمد، نشان‌دهنده این است که در تابع سیگموئید ۷۵ مورد زمین‌لغزش‌ها در محدوده بسیار نامطلوب و نامطلوب واقع شده است که شامل ۶۱ درصد محدوده است. در تابع خطی تقریباً ۶۹ درصد لغزش‌ها در محدوده بسیار نامطلوب و نامطلوب به مساحت تقریباً ۵۷ درصد روی داده است که این نتایج حاکی از موفقیت مدل طراحی شده در شبکه‌های عصبی (MLP) است که در نهایت شبکه با تابع سیگموئید به مقدار ناچیزی بهتر از شبکه تابع خطی است (شکل ۴ و جدول ۶).

جدول ۷. صحت‌سنجی مدل (تعداد لغزش‌ها به تفکیک محدوده)

خطی		سیگموئید		نوع تابع
درصد زمین لغزش	درصد مساحت	درصد زمین لغزش	درصد مساحت	
۳/۴۷	۲/۲۵	۱/۶۹	۱/۷۸	مطلوب
۴/۱۷	۸/۰۰	۴/۸۶	۸/۳۲	متوسط
۲۳/۶۱	۳۳/۰۳	۱۹/۴۴	۲۸/۷۳	نسبتاً نامطلوب
۲۹/۱۷	۱۴/۴۵	۳۱/۹۴	۱۴/۲۷	نامطلوب
۳۹/۵۸	۴۲/۲۷	۴۳/۰۶	۴۶/۹۰	بسیار نامطلوب
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع



شکل ۱۷. پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش با استفاده از تابع سیگموئید

### نتیجه‌گیری

طراحی اجزاء فنی شبکه بر اساس دو روش آستانه میانگین مربعات خطا و روش صحت سنجی<sup>۱</sup> انجام گرفت. از قوانین یادگیری پرسپترون چندلایه برای انتخاب اجزای مناسب شبکه استفاده شد. در ادامه با شناسایی اجزاء فنی مدل مناسب، آموزش نهایی به وسیله دو تابع خطی و سیگموئید مدل صورت گرفت. مدل آموزش دیده برای انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه خروجی از فرایند لغزش در محدوده شهرستان بیجار به کار رفت. نتایج نشان می‌دهد که بیجار و توابع آن، محدوده نسبتاً مستعدی برای وقوع زمین‌لغزش هستند، به طوری که نزدیک به ۶۰ درصد از محدوده این شهرستان جزء مناطق با خطر زیاد و با خطر بسیار زیاد است و تنها ۲ درصد جزء محدوده کم‌خطر است. مناطق مخاطره‌آمیز عمدتاً در اطراف شهر بیجار به‌ویژه جنوب و جنوب شرقی آن واقع شده‌اند این مناطق منطبق با ارتفاعات زیاد و حداکثر تراکم گسل و لیتولوژی آهکی همراه با مارن (سازند قم) است. به نظر می‌رسد ارتفاع بیش‌تر سبب کاهش دما و افزایش بارش و رطوبت شده، رطوبت موجود از درز و شکاف حاصل از گسل استفاده کرده و ضمن عبور از لایه آهکی به لایه مارنی می‌رسد این فرایند سبب سطح لغزش مرطوب می‌شود ضمن این‌که قرارگیری اکثر لغزش‌ها در دامنه‌های شمال غربی نشان از نقش زیاد این متغیر در ننگه داشت رطوبت و ناپایداری این منطقه است.

#### 1. Cross validation

با توجه به صحت مدل‌های به‌کار رفته، میانگین مربعات خطا و انطباق خوب نتایج به‌دست‌آمده از شبکه‌های MLP، با داده‌های مشاهده‌ای، نشان از آن است که استفاده از روش AHP به‌منظور تشخیص و جدا کردن مناطق ناپایدار و در نتیجه شناسایی پیکسل‌های فاقد زمین‌لغزش (فاقد برچسب) امکان انتخاب نمونه‌های بهتری را برای آموزش می‌دهد. در واقع یکی از نقاط ضعف مدل شبکه‌های عصبی در کنار نبود یک روی‌کرد و روش تعریف دقیق ساختار شبکه عصبی (که غالباً به‌صورت کلی و عمومی ارائه می‌شوند) و فقدان داده‌های آموزشی کامل و جامع است. گرچه چنین ایرادی در برخی از موضوعات (مخصوصاً علوم مهندسی) به‌دلیل وجود سایت‌های آموزشی کامل وجود ندارد لیکن در اکثر بررسی‌های طبیعی و انسانی (به‌واسطه نبودن قطعیت و شواهد) چنین معضلی وجود دارد. از طرف دیگر به‌کارگیری یک پارچه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در کنار شبکه‌های عصبی به‌عنوان مکمل عملکرد شبکه می‌تواند بخش عمده‌ای از نواقص ذکرشده را رفع کند. در این حالت کاربر قادر به کنترل ساختار شبکه و انتخاب داده‌ها با استفاده از نمونه‌گیری است. در نهایت نقشه پهنه‌بندی حاصل از مدل شبکه‌های عصبی دقیق‌تر و با شرایط واقعی محل انطباق بیشتری دارد. هم‌چنین استفاده از تکنیک نظارت به‌منظور بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی شبکه عصبی استفاده از دانش کارشناسان به همراه مدل‌های شبکه عصبی اجازه به‌کارگیری این روش را در مناطق مختلف با شرایط مختلف حرکات توده می‌دهد زیرا استفاده از این روش نیاز به دانش تخصصی از شرایط لغزش و تجزیه و تحلیل مقدماتی از هر یک از عوامل تأثیرگذار دارد. به‌علاوه روی‌کرد یک‌پارچه‌سازی و تلفیق مدل‌ها یعنی شبکه‌های عصبی و مدل تحلیل سلسله مراتبی در این‌گونه تحقیقات و مشابه آن می‌تواند بسیار راهگشا باشد، لیکن به دلیل نوآورانه بودن تحقیق، نیازمند پژوهش‌های دقیق‌تر و جامع‌تر در این زمینه است.

## منابع

۱. احمدی، ح.، اسمعیلی‌عوری، ا.، فیض‌نیا، س.، شریعت‌جعفری، م.، "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 (۱۳۸۲).

۲. ارومیه‌ای ع، صفایی م، "کاربری زمین و تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها در نکا رود"، خلاصه گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).
۳. ایزانلو ا، "بررسی قابلیت داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه بیدواز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۶).
۳. راکعی ب، خامه‌چیان م، عبدالملکی پ، گیاهی‌چی پ، "کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مطالعه موردی: ناحیه سفیدار گله در استان سمنان"، مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ۳۳، شماره ۳ (۱۳۸۷).
۴. روستایی ش، "بررسی علل وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی"، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره هشتم، شماره اول (پیاپی ۳۲) بهار (۱۳۸۳).
۵. رهنماد ج، یادگازائی م، کنگی ع، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اسکل‌آباد خاش با استفاده از GIS"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۶، شماره ۴ (۱۳۸۹).
۶. زکی‌زاده ح، "بررسی عوامل مؤثر در حرکت توده‌ای حوزه آبخیز ولشت و نحوه پیش‌گیری و کنترل آن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (۱۳۷۳).
۷. سوری س، لشکری‌پور غ، غفوری م، فرهادی‌نژاد ط، "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 (۱۳۹۲).
۸. شادفر ص، یمانی م، نمکی م، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و LNRF در چالکرو"، مجله مهندسی و مدیریت آبخیزداری، جلد ۳، شماره ۱ (۱۳۸۹).
- ۹- عابدینی م، قاسمیان ب، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل AHP و نقش آن در برنامه‌ریزی شهری (مطالعه موردی: شهرستان بیجار)"، مجموعه چکیده مقالات دومین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران (۱۳۹۱).
۱۰. علیخانی ب، قهرودی م، امیراحمدی ا، "پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۴ (۱۳۸۶).
۱۱. علی‌محمدی ص، پاشایی ع، شنایی جویباری ش، "ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سید کلاته رامیان"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۱، ۶۰-۷۸ (۱۳۸۶).

تلفیق مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌های عصبی به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی شهرستان بیجار) ۱۸۱

۱۲. قاسمیان ب.، "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 (۱۳۹۱).
۱۳. مرادی ح.، سپهوند ع.، عبدالمالکی پ.، "بررسی تأثیر تعداد عوامل ورودی در مقدار دقت شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (بررسی موردی: حوزه آبخیز هراز)"، مجله مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۵، شماره ۲، (۱۳۹۱) ۲۳۱-۲۴۳.
۱۴. منهای م.، "بهوش محاسباتی، جلد اول: مبانی شبکه‌های عصبی"، انتشارات دانشگاه امیرکبیر (۱۳۹۳).
۱۵. میرصانعی ر.، مهدیفر م.، "روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پژوهشکده سوانح طبیعی (۱۳۸۵).
۱۶. نیک‌اندیش ن.، نگرشی بر اهمیت حرکات توده‌ای زمین در ایران"، نشریه جهادسازندگی، شماره ۱۵۵، سال دوازدهم (۱۳۷۶).
۱۷. یمانی م.، حسن‌پور س.، مصطفایی ا.، شادمان‌رود پشتی م.، "نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۸ (۱۳۹۱).
18. Ayalew L., Yamagishi H., "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains", Central Japan. *Geomorphology* 65 (1-2) (2005).
19. Berberian M., King G. C. P., "Towards A Paleogeography and Tectonic Evolution Of Iran", (1981).
20. Bilifard F., Jaboyedoff M., Satori M., "Rock fall hazard mapping a long a mountainous road in Switzerland using a GIS-based paramete rating approaches", *Natural Hazard and Earth System Sciences* 3 (2003).
21. Chang K. T. Chaing Sh., Hsu M. L., "Modeling typhoon-and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression", *Geomorphology*, V89 (2007).
22. Dai F. C. Lee C. F., Xu Z. W., "Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ Geol* 40 (3) (2001).

23. Ermini L., Catani F., Casagli N., "Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment", *Geomorphology* 66 (2005) 327-343.
- 24- Hagan M. T., Menhaj M., "Training Feed-Forward Networks with the Marquardt Algorithm", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (1994) 989-993.
25. Kellogg K., "Tectonic controls on a large landslide complex: williams Fork mountains near Dillon, Colorado, Elsevier", *Geomorphology journal*, Volume 41 (2001).
26. Lee S., Min K., "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin", Korea, *Environmental Geology*, Vol. 40 (2001) 1095-1113.
27. Lee S., "Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data", *International Journal of Remote Sensing* 26 (7) (2005) 1477-1491.
28. Melchiorre C., Matteucci M., Azzoni A., "Zanchi Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation", *Geomorphology*, 94 (2008) 379-400.
29. Yalcin A., "GIS based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey)", *Comparisons of result and confirmation Catena*, Vol. 72 (2008).
30. William J., Blackwell and Frederick W. Chen, "Neural Networks in Atmospheric Remote Sensing, Massachusetts Institute of Technology Press", ISBN: 978-1-59693-372-9 (2009) 105-106.
31. Gurney, Kevin, "An introduction to neural networks", UCL Press, 56 (1999).