تلفیق مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌های عصبی به‌منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی شهرستان بیجار)

هادی نیری*؛ دانشگاه کردستان، دانشکدهٔ منابع طبیعی، گروه ژئومورفولوژی
محمدرضا کرمی؛ دانشگاه پیام نور، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری

تاریخ: دریافت ۹٤/۰٦/۱۸ پذیرش ۹۵/۱۱/۲۷

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 پهنهٔ حساسیت، به‌منظور شناسایی مناطق ناپایدار صورت گرفته است. روش تحلیل سلسله مراتبی برای بهبود نمونه آموزش، در سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام‌شده است. پیش‌پردازش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی داده‌ها برای انتخاب پیکسل‌های مناطق بدون لغزش و کمک به بهبود قابلیت پیش‌بینی روش شبکهٔ 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 شبکهٔ عصبی پرسپترون با ساختار نه لایه ورودی، دولایه پنهان و نه گره

*نویسنده مسئول

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

در هر دولایه با میزان یادگیری۰۱/ با دو تابع سیگموئید و خطی به‌عنوان ساختار بهینه با آزمون و خطا پذیرفته شد برسی این متغیرها با استفاده از شبکه عصبی نشان‌دهندهٔ آن است که بیش از ٦۰ 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 قرارگرفته‌اند، 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 تغییردهندهٔ 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 [١٦]. 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]، [٦].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

استان کردستان سومین استان به لحاظ پدیدهٔ زمین‌لغزش بعد از مازندران و گلستان است، چنان‌چه ملاک رتبه‌بندی مساحت استان‌ها باشد این استان در رتبهٔ 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 زرینه‌رود 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 ازجمله ژئومورفولوگ‌ها چه در خارج از کشور و چه در داخل کشور تحقیقات گسترده‌ای در این مورد انجام داده‌اند که در مجموع تحقیقات انجان شده به دودسته تقسیم می‌شود: گروهی درصدد یافتن بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش هستند از جمله می‌توان به تحقیقات شادفر (۱۳۸۵) در حوضهٔ رودبار که بین مدل ارزش اطلاعاتی و روش پیشنهادی کوپتا- جوشی، مقایسهٔ روش‌های آماری دومتغیره و تحلیل سلسله مراتبی به‌وسیلهٔ علی یالکان[1] (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 (۱۳۸٤)، علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸٦)، 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 شبکهٔ 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 حوضهٔ هراز به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل ماهیت پیچیده فرایند وقوع زمین‌لغزش، هر چه تعداد نرون در لایه ورودی زیادتر باشد نتایج پهنه‌بندی بهتر خواهد بود. در نهایت شبکهٔ عصبی با ساختار نه لایه ورودی ١٤ لایه پنهان و یک خروجی را به‌عنوان ساختار بهینه در حوضه هراز را معرفی کرند. سوری و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه کشوری (نوژیان) از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چندلایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد که شبکهٔ عصبی با ساختار نه لایه ورودی ۱۱ لایه پنهان و یک خروجی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه مناسب است. ایرمینی[1] 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 اولویت اندکی برای شبکه چندلایه پرسپترون خروجی‌های به‌دست‌آمده مناسب‌تر بودند. ملچوره[2] و همکاران (٢٠٠٦) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و شبکه عصبی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در ایتالیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که طبقه‌بندی اولیه به‌وسیلهٔ 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 کمّی 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

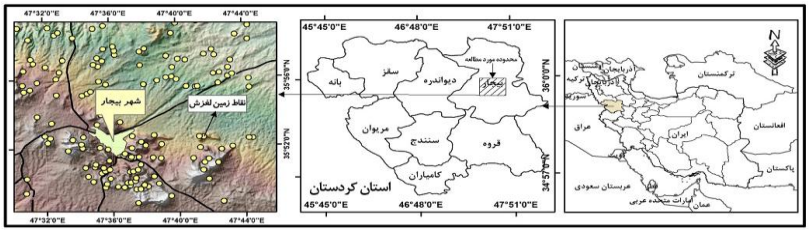
1. Ermini
2. Melchiorre

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

طرفی دیگر یکی از مزیت‌های اساسی شبکه عصبی مصنوعی آن است که به‌عنوان یک مدل کمّی که دارای مزایای مانند مستقل بودن از توزیع آماری داده‌ها (به‌عبارتی الزامی به استانداردسازی[1] داده‌ها نیست)، قادر به یادگیری، تعمیم و تصمیم‌گیری و نیاز کم‌تر به بررسی آنالیز صحت داده‌ها در قیاس با روش‌های آماری است.

ویژگی‌های عمومی محدودهٔ بررسی شده

شهرستان بیجار در شمال شرق استان کردستان، در طول جغرافیایی ′۲۹ °۴۷ تا ′۴۷ °۴۷ شرقی در عرض جغرافیایی ′۴۸ °۳۵ تا ′۵۹ °۳۵ شمالی قرارگرفته است (شکل ۱). پرآب‌ترین رود منطقهٔ تروال است. این رودخانه از کوه‌های عمدتاً جنوبی منطقه سرچشمه گرفته و به قزل‌اوزن می‌پیوندد. این شهرستان در میان ناهمواری‌های استقراریافته 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 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 محدودهٔ بیجار ۳۰۰ میلی‌متر است.



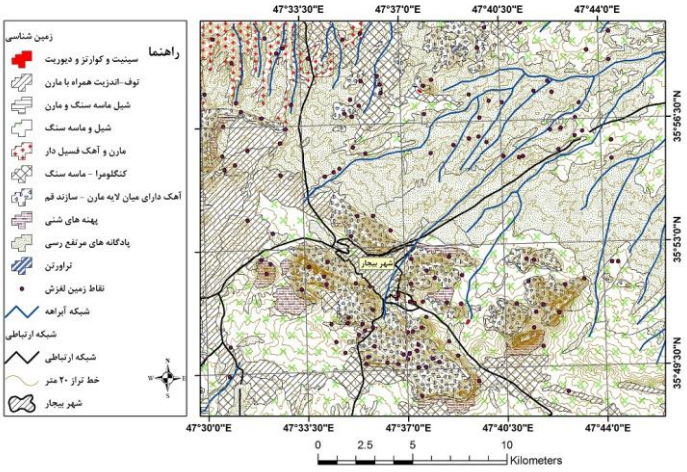
شکل ۱. موقعیت منطقهٔ بررسی شده (بیجار واقع در استان کردستان)

به لحاظ لیتولوژیکی تنها ٦ درصد محدوده از سنگ‌های آتش‌فشانی و آهک‌های بیومیکرایتی فسیل دار، تشکیل یافته است که نسبت به فرسایش مقاوم است. ۹٤ درصد محدوده از کنگلومرا و آهک‌هایی که دارای میان لایه از شیل یا مارن هستند، به‌اضافه رسوبات دوران چهارم تشکیل‌شده است که نسبت به فرسایش مکانیکی نامقاوم هستند. در دیدی کلی کوه‌های

1 . Normalization

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

عمدتاً از سنگ‌های آهکی میوسن و بخش‌های پست و کم ارتفاع منطقه بیش‌تر از واحدهای مارنی-تخریبی پلیوسن و رسوبات کواترنر تشکیل‌شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲. نقشهٔ لیتولوژی محدودهٔ 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 محدودهٔ بیجار در منطقه‌ای با خطر نسبی متوسط قرارگرفته است [۱۲].

روش تحقیق

نقشهٔ حساسیت مناطق به زمین‌لغزش ابزار مهم برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی است. بااین‌حال، 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 قابل‌قبول دست یابند. در سال‌های اخیر، توسعهٔ 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 به‌شدت هم‌بسته هستند درواقع، 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[1] 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. به‌طورکلی سایت آموزشی در جی‌ای‌اس و سنجش از دور می تواند شامل داده برداری و یا رستری باشد که در این مقاله به‌صورت پدیدهٔ نقطه‌ای و به تعداد ۱٤٤ مورد است. اما به‌علت وسعت زیاد محدودهٔ 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 طبقه‌بندی‌شده 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 به‌دست‌آمده دقیق‌تر است، بنابراین برای ایجاد یک طیف طبقه‌بندی‌شده از روش تحلیل سلسله مراتبی

1. Training Site

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

(AHP) استفاده شد.یادآور می‌شود همهٔ نقشه‌ها به‌صورت 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 باارزش‌های متفاوت و بعضاً مشابه است. به‌علاوه به‌منظور طبقه‌بندی منطقهٔ 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 به‌منظور 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، به‌منظور مشارکت درست داده‌ها برای بهبود عملکرد شبکه صورت گرفت.

روش تحلیل سلسله مراتبی

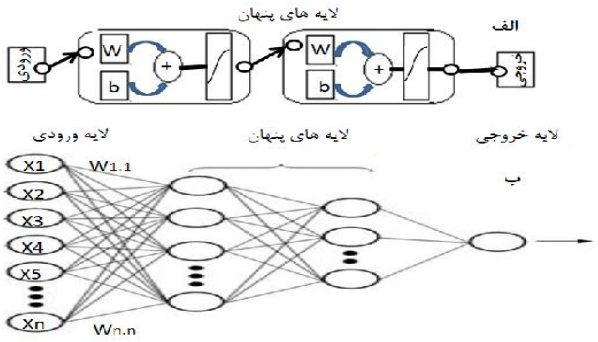
برای شناخت عوامل زمین‌لغزش در شهرستان بیجار نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، لیتولوژی و کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، تهیه و رقومی شدند. بعد از تهیه و طبقه‌بندی متغیرهای مذکور، ابتدا هر یک از معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش به شش زیر 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 به‌دست آوردن وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها، وزن‌ها برای طبقه‌بندی و پهنه‌بندی نقشه با روش AHP استفاده شدند. دقت نسبت سازگاری نقشه ازنظر استعداد زمین‌لغزش به‌دست آمد. برای تعیین ارجحیت و مقایسه زوجی زیر معیارها از روش نسبت فراوانی استفاده شد که رابطهٔ آن بدین‌صورت است:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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

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

نقشهٔ 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 به‌دست آمده به فرمت ENVI تبدیل و در نرم‌افزار ادریسی فراخوانی شدند. این لایه به‌عنوان لایه آموزشی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. سایر لایه‌های رستری معیارها نیز به‌همان صورت به محیط ادریسی انتقال داده شدند.



شکل ۳. طرح شماتیکی از شبکه عصبی پرسپترون دو لایه

شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی تقریباً با تابع غیرخطی به‌طور گسترده برای تشخیص الگو و طبقه‌بندی استفاده می‌شود [۲٤]. شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای از واحدی کلی، موسوم به نورون، محاسبات تابع و ورودی است. هر ورودی دارای یک وزن اختصاص داده‌شده 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 دولایه پنهان است که در آن w وزن و b بایاس است با توجه به شکل ٤ 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 به‌عنوان ورودی به گره لایه بعدی فرستاده می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

بااتصال تعداد مناسب از گره‌ها به‌شیوهٔ مناسب و با تنظیم وزن به مقادیر مناسب، یک شبکه عصبی می‌تواند هر تابع را با دقت دل‌خواه تقریبی به‌دست آورد. این ساختار گره‌ها و اتصالات، به‌عنوان توپولوژی شبکه شناخته‌شده 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(به‌عنوان مثال IDRISI، Matlab، SPSS و غیره) ساختار شبکه دارای مقادیر پیش‌فرضی است که به هر دلیلی ممکن است مناسب مدل و هدف مورد نظر محقق نباشد و در نتیجه اجرا و یا خروجی به‌دست آمده ناقص و اشتباه باشد. به‌علاوه طراحی شبکه نیز در کاهش پیچیدگی و دست‌یابی به‌دقت قابل قبول اهمیت زیادی دارد. به‌همین منظور تکنیک‌های ساماندهی[1] می‌تواند پایداری شبکه را بهبود ببخشد که شامل ایمنی خلاصه‌سازی و تداخل[2] شبکه است. خلاصه‌سازی شبکه با افزایش تعداد داده‌های آموزشی[3] و استفاده از تکنیک‌های ساماندهی به‌منظور حفاظت شبکه از آموزش بیش‌ازاندازه[4] به‌کار برده می‌شود[5]. یکی از بهترین راه‌های نظارت بر آموزش بیش‌ازاندازه و یا برعکس[6] شبکه، توجه و نظارت بر خطای آموزش و اعتبارسنجی مجموعه داده‌هایی است که به‌عنوان آموزش شبکه در نظر گرفته‌شده 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[7] آموزش و ایجاد این محدودیت با به‌کارگیری مجموعه اعتبارسنجی قابل‌پیش‌گیری است. راه دیگر ساخت مجموعه بزرگی داده‌های آموزش به‌قدر کفایت است که به جلوگیری از درهم پیچیدگی شبکه کمک می‌کند. روی‌کرد اساسی در این رابطه یک‌پارچه 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 آزمون‌وخطا 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

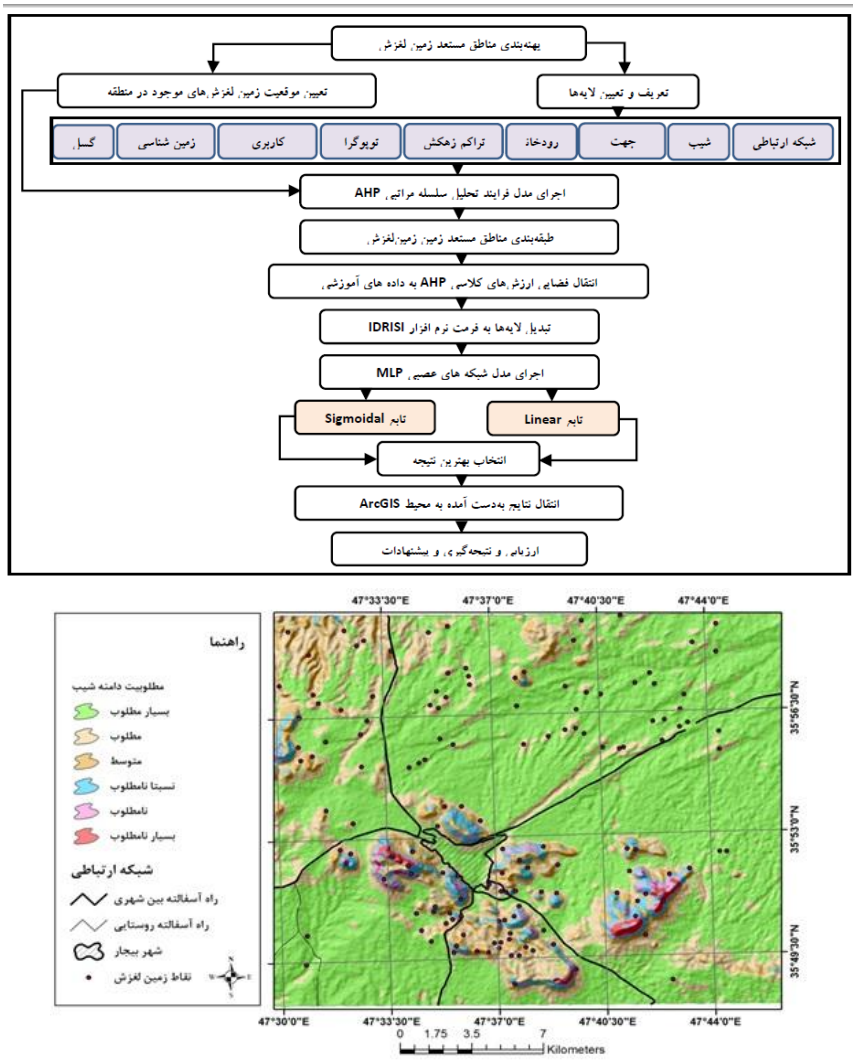
عوامل زیادی در وقوع زمین‌لغزش دخیل هستند که برخی از قبیل میزان شیب جز عوامل ایجاد و برخی مثل سازه‌های انسانی جز عوامل تشدید محسوب می‌شوند. در این پژوهش عوامل مذکور با استفاده از داده‌های موجود و شبکه عصبی بررسی می‌شود تا محدودهٔ بررسی شده برای مخاطرات ناشی از زمین‌لغزش پهنه‌بندی شود. داده‌های خام (لایه 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 تجزیه‌وتحلیل پایداری دامنه‌ها زاویهٔ شیب است [۲۶]، زیرا این معیار رابطهٔ مستقیمی با زمین‌لغزش دارد به‌همین دلیل یکی از معیار اساسی در تهیهٔ نقشهٔ 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 درشیب‌های (۱۵ تا ٤٥ درجه) اتفاق می‌افتد که بسته به عوامل دیگر می‌تواند متفاوت باشد [۵]، [۷]. در این مقاله به‌منظور تأثیر این معیار، میزان شیب محدودهٔ بررسی شده به شش کلاس شامل، کلاس

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

بسیارمطلوب (۰–۱۰)، مطلوب (۱۰–۲۰)، متوسط (۲۰–۳۰)، نسبتاً نامطلوب (۳۰–٤۰)، نامطلوب (٤۰–۵۰) و بسیار نامطلوب (۵۰ درصد و بالاتر) تقسیم‌شده است.



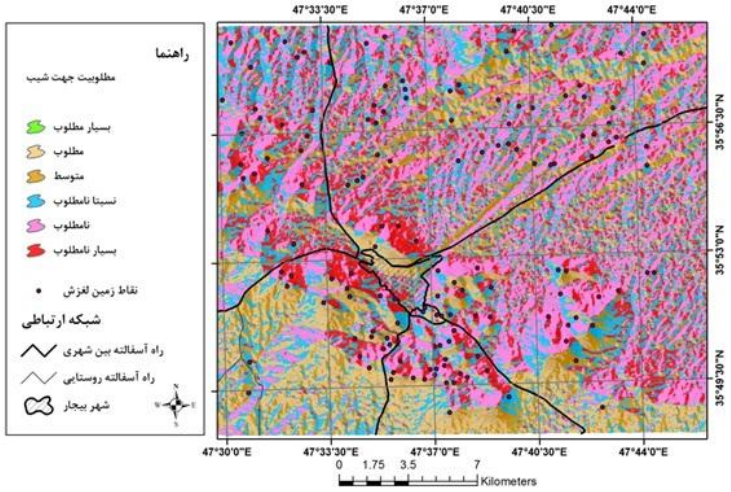
شکل ۵. نقشه طبقات شیب محدودهٔ بررسی شده

جهت شیب:

جهت شیب به‌علت 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

[۱۸]. دامنه‌های با جهت شمالی به‌علت دریافت تابش کم‌نور خورشید نسب به دامنه‌های رو به جنوب مرطوب‌ترند به‌همین 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 طبقه‌بندی‌شده است سپس با استفاده از روش نسبت فراوانی، اهمیت هر یک از جهت‌ها در زمین‌لغزش‌ها منطقه به‌دست‌آمده جهت‌های که نسبت فراوانی یک‌سانی دارند. در مقایسهٔ دودویی زیر معیارها ارزش یک‌سانی دارند (جدول ۱).



شکل ٦. نقشهٔ جهت شیب محدودهٔ بررسی شده

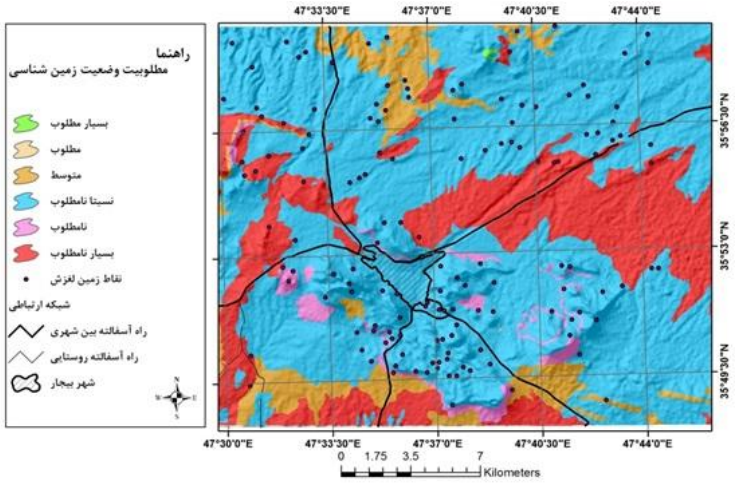
جدول ۱. جهت شیب دامنه، نسبت فراوانی و رتبه آن‌ها برای مقایسه زوجی

جهت جغرافیایی	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
مقادیر کمی(زاویه)	۲۲/۵- و ۳٦۰- ۳۳۷/۵	٦۷/۵ - ۲۲/۵	۱۱۲/۵- ٦۷/۵	۱۵۷/۵- ۱۱۲/۵	۲۰۲/۵- ۱۵۷/۵	۲٤۷/۵- ۲۰۲/۵	۲۹۲/۵- ۲٤۷/۵	۳۳۷/۵- ۲۹۲/۵
نسبت فراوانی	/۷۵	٦/۳۳	۱/۰۱	/۸۳	/٦	/۸۱	/۹۵	/۹
کلاس‌ها	مطلوب	بسیار نامطلوب	نامطلوب	متوسط	بسیار مطلوب	متوسط	نسبتاً نامطلوب	نسبتاً نامطلوب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 رابطهٔ 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 محدودهٔ بررسی شده تنوع زیادی دارد. برای کاهش خطا در وزن‌دهی به واحدها و مشخص کردن نقش آن‌ها درحرکت 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 کمیتی ساعتی ارزش یک‌سانی منظور شده است (جدول ۲).



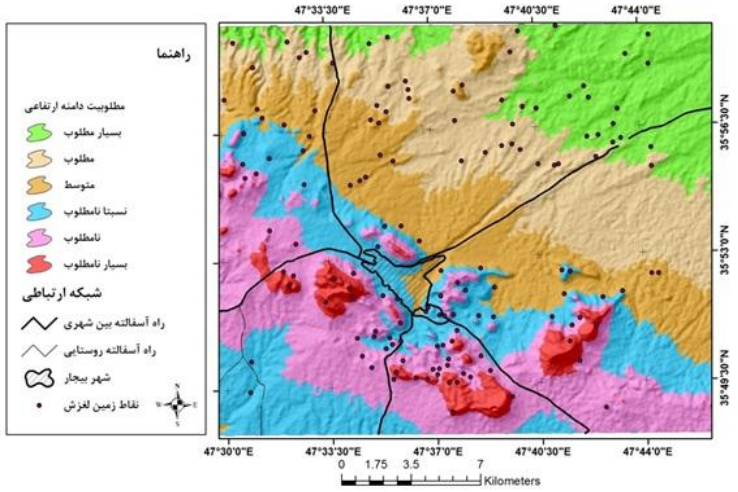
شکل ۷. نقشهٔ طبقه‌بندی زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده

طبقات ارتفاعی:

ارتفاع به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش معرفی‌شده است بیش‌تر زمین-لغزش 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 نحوهٔ پراکنش فعالیت انسانی و استقرار سکونت‌گاه‌ها و هم‌چنین کنترل نوع کاربری‌ها در وقوع زمین‌لغزش تأثیر دارد. محدودهٔ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 به‌صورت محدودهٔ بسیار نامطلوب (۱۷۵۰–۱۵۹۸)، نامطلوب (۱۹۰۰–۱۷۵۰)، متوسط (۲۰۵۰–۱۹۰۰)، نسبتاً نامطلوب (۲۰۵۰–۲۲۰۰) و بسیار مطلوب (۲۲۰۰ و بیش‌تر) طبقه‌بندی شد. پژوهش مربوط به طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد رابطهٔ مستقیم بین ارتفاع و زمین‌لغزش به‌علت افزایش رطوبت وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع تعداد زمین‌لغزش افزایش می‌یابد، بر این اساس با افزایش ارتفاع طبقات وزن در نظر گرفته‌شده برای طبقه، بیش‌تر شده است.



شکل ۸. نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی محدودهٔ بررسی شده

جدول ۲. نسبت فراوانی به‌دست‌آمده برای لیتولوژی‌های منطقه و رتبه آن‌ها برای مقایسه زوجی

لیتولوژی	سینیت و گرانیت دیوریت	کنگلومرا و ماسه‌سنگ	توف و آندزیت همراه با مارن	شیل ماسه‌سنگ و مارن	سازند قم (آهک با میان لایه مارن)	مارن و آهک فسیل دار	شیل و ماسه‌سنگ	تراورتن	پهنهٔ شنی قدیمی	پادگانه مرتفع رسی
نسبت فراوانی	/۰۸۸	/۸۸	/۸۵	/۱۲	۲/۲	/۵۵	/۵۶	۰	۱/۵۸	/۹۷
کلاس	بسیار مطلوب	نسبتاً نامطلوب	نسبتاً نامطلوب	مطلوب	بسیار نامطلوب	متوسط	متوسط	بسیار مطلوب	نامطلوب	نسبتاً نامطلوب

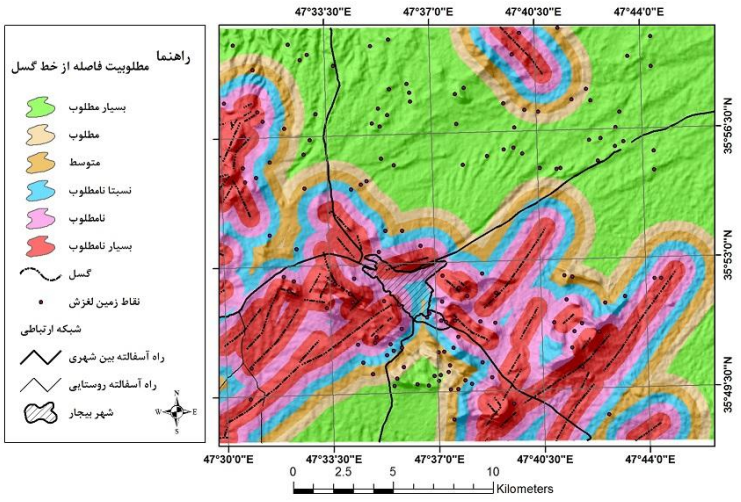
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

فاصله از گسل:

گسل از دیگر عوامل ناپایداری دامنه است و نقش تکتونیک در ناپایداری دامنه ثابت‌شده 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	۳۰۰۰متر 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



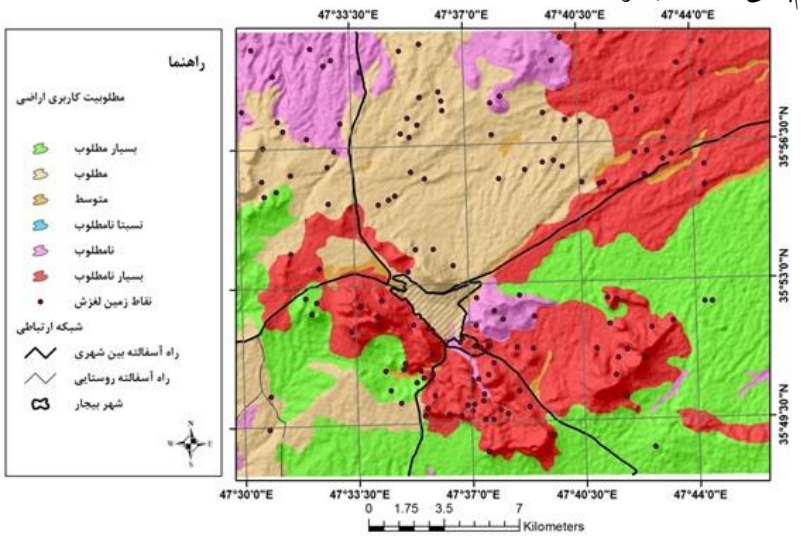
شکل ۹. نقشهٔ فاصله از گسل محدودهٔ بررسی شده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

از هم ترسیم‌شده 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 کمیتی ساعتی ارجحیت بیش‌تری داده‌شده است. بر اساس جدول ۳ تعداد ۵۱ نقطه زمین‌لغزش برابر با ۳۵/۴۲ درصد کل زمین‌لغزش‌های محدوده در فاصلهٔ کم‌تر از ۵۰۰ متری گسل‌ها رخ‌داده است.

کاربری اراضی:

یکی از لایه اطلاعاتی که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌شود نقشهٔ کاربری اراضی است. منظور از کاربری اراضی نحوهٔ 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 متراکم 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 محدودهٔ بررسی شده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

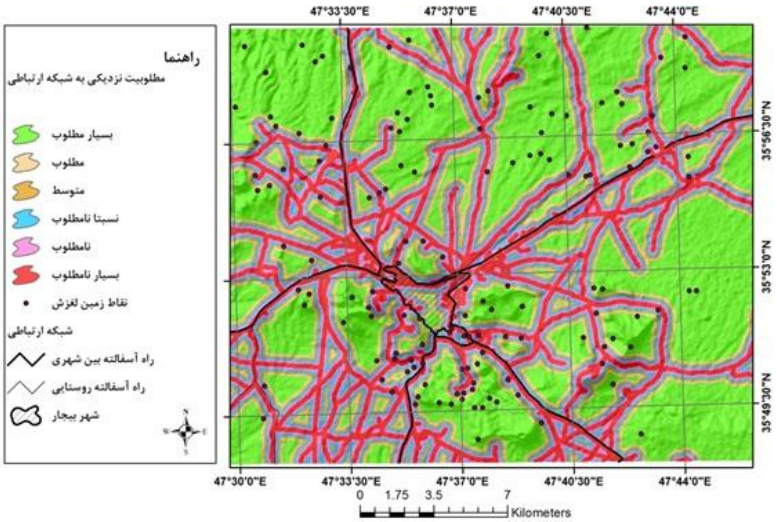
جدول ٤. نسبت فراوانی به‌دست‌آمده برای کاربری‌های منطقهٔ بررسی شده و ارجحیت آن‌ها برای مقایسه زوجی

کاربری اراضی	کشت آبی	اراضی باغی	کشت دیم	مخلوط مزارع دیم و باغ	مخلوط مرتع متوسط و دیم	مخلوط مرتع و دیم فقیر	مرتع با تاج پوشش متوسط	مرتع با تاج پوشش ضعیف	اراضی شهری
نسبت فراوانی	/۸۳	۱/۹۷	۱/۰٤	/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، نشان‌دهندهٔ اهمیت این معیار در بررسی‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش است. عوارض خطی مانند راه‌ها ازیک‌طرف به‌طور عمده با تضعیف نیروی مقاومتی دامنه‌ها باعث کاهش ضریب اطمینان درشیب‌های 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 ازاین‌رو رخداد زمین‌لغزش‌ها رابطهٔ مستقیمی با نزدیکی به جاده‌ها دارد به‌طوری‌که بافاصله گرفتن از مرکز جاده تراکم زمین‌لغزش‌ها کاهش پیدا می‌کند [۵]، [۱۷]. برای تأثیر لایه خطوط ارتباطی با استفاده از نقشهٔ توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه خطوط ارتباطی محدوده ترسیم و حریم‌های به‌صورت ۵۰۰ متر و بیش‌تر (بسیارمطلوب)، ٤۰۰-۵۰۰ (مطلوب)، ۳۰۰-٤۰۰ (متوسط)۲۰۰-۳۰۰ (نسبتاً نامطلوب)،۱۰۰-۲۰۰ (نامطلوب) و ۰-۱۰۰(بسیار نامطلوب) در حواشی جاده‌ها در نظر گرفته شد. این حریم‌ها به‌عنوان طبقات منظور شدند با توجه به یافته‌های قبلی در مقایسه زوجی ارجحیت کم‌تری به حریم‌های دورتر داده شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

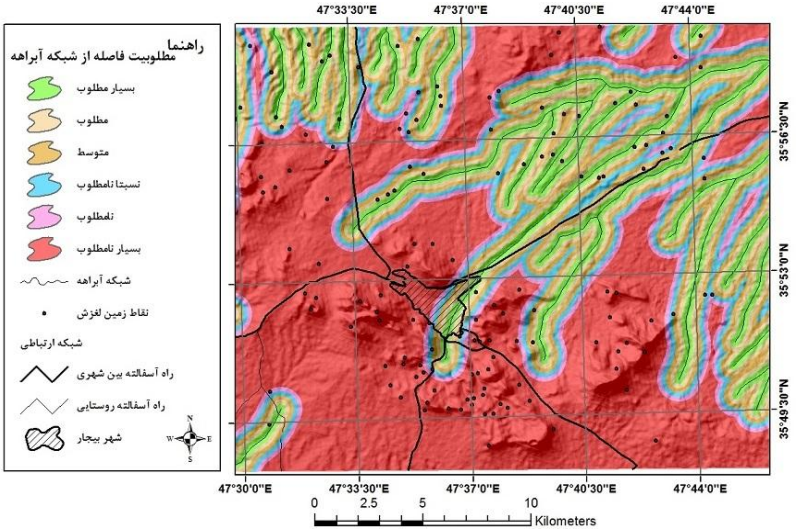


شکل ۱۱. نقشه فاصله از شبکه ارتباطی محدودهٔ بررسی شده

فاصله از رودخانه:

فاصله از آبراهه یکی از معیارهای کنترل‌کننده پایداری شیب است. رودخانه‌ها به‌طور منفی در پایداری دامنه‌ها تأثیر دارند. براثر جریان آب رودخانه‌ها، دره‌ها حفرشده و مصالح پای دامنه شسته می‌شود با این فرایند، عامل نگه‌داری از پای شیب برداشته‌شده که در نهایت استعداد لغزش در منطقه بالا می‌رود. **برای** تأثیر فاصله از آبراهه حریم‌های ۲۰۰ متری در نظر گرفته شدند. به‌طوری‌که ۱۲۰۰–۰متر و بالاتر (بسیار مطلوب)، ۱۰۰۱–۱۲۰۰ (مطلوب)، ۸۰۱–۱۰۰۰ (متوسط) ۶۰۱-۸۰۰ (۴۰۱–۶۰۰ 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 به‌همین دلیل بافاصله گرفتن از آبراهه‌ها در این پژوهش وزن کم‌تری به طبقات داده‌شده است و در مقایسه دودویی ارجحیت کم‌تری دارند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

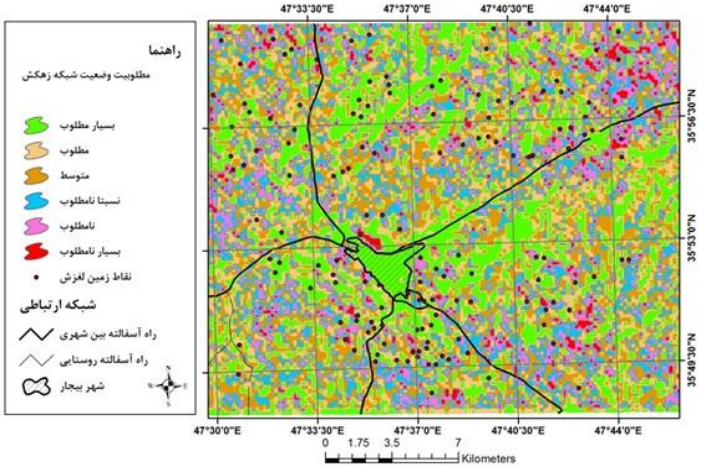


شکل ۱۲. نقشه فاصله از رودخانه‌های محدودهٔ بررسی شده

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 تقسیم‌شده است سپس طول زهکش‌ها اندازه‌گیری و بر مساحت زیر حوضه تقسیم‌شده 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) ۰- ۰/۱۶ (بسیار مطلوب)، ۰/۱۷-۰/۳۹(مطلوب)، ۰/۴-۰/۶ (متوسط)۰/۶۱ -۰/۸۱ (نسبتاً نامطلوب)، ۰/۸۲-۱/۱ (نامطلوب) و ۱/۱ و بیش‌تر (بسیار نامطلوب) در نظر گرفته شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]



شکل ۱۳. نقشهٔ شبکه زهکش محدودهٔ بررسی شده

بحث و نتایج

شبکه عصبی برای طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، آزمایشی و صحت‌سنجی است، داده‌های آموزشی به‌منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌شده به‌وسیلهٔ مدل استفاده می‌شود. از آن‌جاکه در این تحقیق پیکسل‌های بدون لغزش برای آموزشی شبکه به‌درستی تعریف‌نشده 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 به‌دست آمد (جدول ٤)، محدودهٔ بررسی شده به پنج طبقه مطابق نقشه به لحاظ مناسبت اراضی برای خطر زمین‌لغزش تقسیم شدند. از هر طبقه با توجه به نقاط زمین‌لغزش روی‌داده و پهنه‌بندی حاصل از مدل AHP ۲۰ پیکسل برای آموزش شبکه به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شد. لازم به ذکر است که برای پیکسل‌ها آموزشی تأکید بر نقاط رخداد زمین‌لغزش است و تنها درجاهایی که تعداد نقاط مشاهده با طیف پهنه‌بندی، کم‌تر از تعداد مورد نظر (۲۰ پیکسل آموزشی) است از پهنه‌های AHP استفاده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 نمایندهٔ بهتری از شرایط بی‌ثباتی هستند به‌کار گرفته شدند. نمونه‌گیری تصادفی اجازه نمی‌دهد تا طبقه‌بندی پیکسل ناپایدار را انجام داد، ازآن‌جاکه 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. به‌عبارتی‌دیگر از مدل AHP به تأکید به‌منظور طبقه‌بندی داده‌های آموزشی به‌کار برده شد.

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

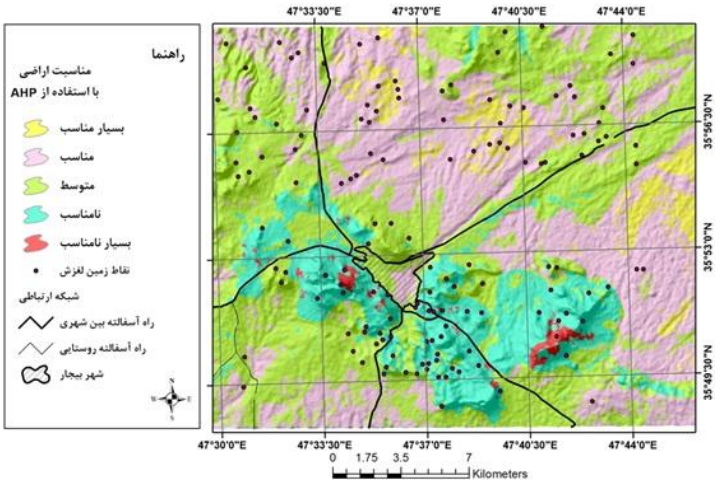
	رودخانه	گسل	جهت	لیتولوژی	کاربری	جاده	شیب	توپوگرافی	زهکش	وزن نهایی
رودخانه	۱	/۷	۱/۲	۱/٤	/٤	/۷	/۸	/۵	/۸	/۰۸
گسل	۱/٤۳	۱	۱/۸	۲	/۵	۱	۱/۲۵	/۷	۱/۲۵	/۱۱
جهت	/۸۳	/۵٦	۱	۱/۱۱	/۳	/٦	/۸	/٤	/۷	/۰۷
لیتولوژی	/۷۱	/۵	/۹	۱	/۲۵	/۵	/٦	/٤	/٦	/۰٦
کاربری	۲/۵	۲	۳/۳۳	٤	۱	۲	۲/۵	۱/٤	۲/۵	/۲۲
جاده	۱/٤۳	۱	۱/٦۷	۲	/۵	۱	۱/۲۵	/۸	۱/۲۵	/۱۲
شیب	۱/۲۵	/۸	۱/۲۵	۱/٦۷	/٤	/۸	۱	/۵۹	۱	/۰۹
توپوگرافی	۲	۱/٤۳	۲/۵	۲/۵	/۷۱	۱/۲۵	۱/۷	۱	۱/٦۷	/۱٦
زهکش	۱/۲۵	/۸	۱/٦۷	۱/٦۷	/٤	/۸	۱	/٦	۱	/۰۹

CR=0.0007 >0.1

برای تشکیل شبکه عصبی مصنوعی داده‌های آموزشی با استفاده از یک شبکه پرسپترون چندلایه MLP با الگوریتم یادگیری لونبرگ–مارکوارت پیشنهاد شده، آموزش دید. این نوع شبکه مصنوعی کاربردی‌ترین نوع شبکه مصنوعی است [۲٤] 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،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

تراکم زهکش که در محدودهٔ بسیار مطلوب تا نامطلوب مقیاس‌بندی شده بودند به‌عنوان ورودی به شبکه داده شد. 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 گرفته‌شده 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 ١٤)



شکل ١٤. پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

جدول ٦. اطلاعات مربوط به شبکه‌های عصبی به‌کار رفته در این پژوهش

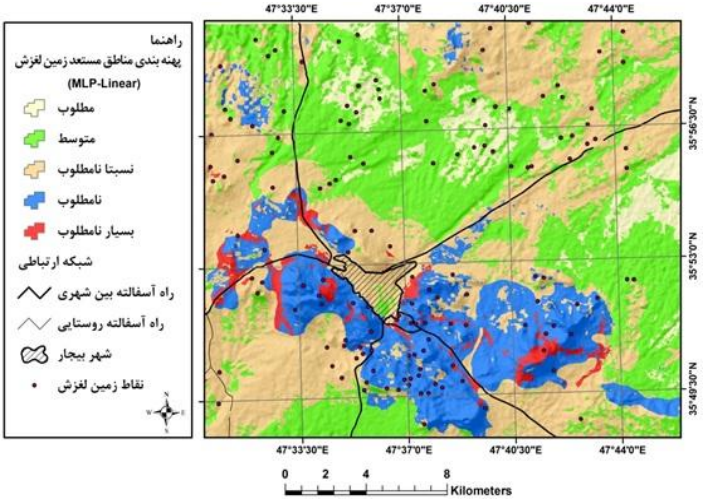
نوع تابع	تعداد گره لایه اول	تعداد گره لایه دوم	میزان یادگیری	فاکتورممنتم	صحت مدل	خطای آموزشی	خطای آزمایشی
خطی	۹	۹	/۰۱	/۵	/۷۹	/۰۷۸٤	/۲٤٥
سیگموئید	۹	۹	/۰۱	/۵	/۸۳	/۰۷۵۸	/۲۳۱



شکل ١٤. 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 قابل‌قبول آماده شد و محدودهٔ بررسی شده به مساحت ٥٦٤ کیلومترمربع با ۹ متغیر ورودی که تبدیل به داده‌های رستری به پیکسل‌های ۳۰×۳۰ شدند تحلیل شد. نتایج تحلیل به‌وسیلهٔ هر دو تابع به‌صورت نقشه آورده شده است (شکل ١٦ و ١٧) 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 کم‌خطر محسوب می‌شوند. از مجموع ٥٦٤ کیلومترمربع بر اساس تابع سیگموئید ٦١/١٧ درصد و بر اساس تابع خطی ٥٦/٧٢ 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 دوطبقه مطلوب و متوسط قرار گرفتند (شکل ١٦ و ١٧) که نشان از استعداد زیاد منطقه برای زمین‌لغزش به‌عنوان یک مخاطره است

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]



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

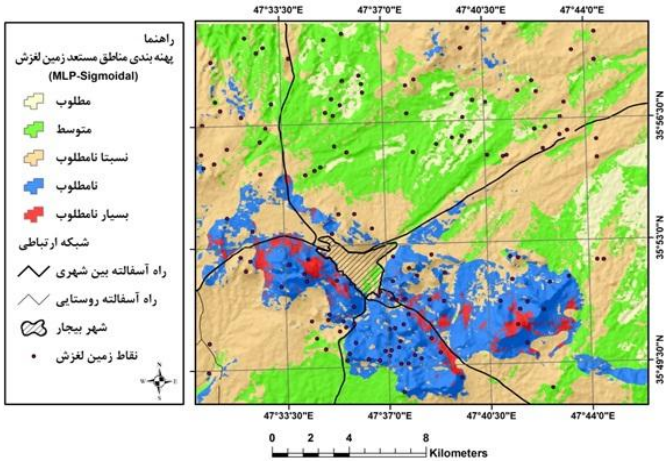
صحت‌سنجی مدل

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، نشان‌دهندهٔ 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 محدودهٔ بسیار نامطلوب و نامطلوب به مساحت تقریباً ۵۷ درصد روی داده است که این نتایج حاکی از موفقیت مدل طراحی‌شده در شبکه‌های عصبی (MLP) است که در نهایت شبکه با تابع سیگموئید به مقدار ناچیزی بهتر از شبکه تابع خطی است (شکل ٤ و جدول ٦).

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

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]



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[1] انجام گرفت. از قوانین یادگیری پرسپترون چندلایه برای انتخاب اجزای مناسب شبکه استفاده شد. در ادامه با شناسایی اجزاء فنی مدل مناسب، آموزش نهایی به‌وسیلهٔ دو تابع خطی و سیگموئید مدل صورت گرفت. مدل آموزش‌دیده برای انجام پهنه‌بندی و تهیهٔ نقشه خروجی از فرایند لغزش در محدوده شهرستان بیجار به‌کار رفت. نتایج نشان می‌دهد که بیجار و توابع آن، محدوده نسبتاً مستعدی برای وقوع زمین‌لغزش هستند، به‌طوری‌که نزدیک به ٦٠ درصد از محدوده این شهرستان جزء مناطق با خطر زیاد و با خطر بسیار زیاد است و تنها ۲ درصد جزء محدودهٔ کم‌خطر است. مناطق مخاطره‌آمیز عمدتاً در اطراف شهر بیجار به‌ویژه جنوب و جنوب شرقی آن واقع‌شده‌اند این مناطق منطبق با ارتفاعات زیاد و حداکثر تراکم گسل و لیتولوژی آهکی همراه با مارن(سازند قم) است. به‌نظر 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 نگه داشت رطوبت و ناپایداری این منطقه است.

1. Cross validation

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 دارد 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(به‌واسطهٔ نبودن قطعیت و شواهد) چنین معضلی وجود دارد. از طرف دیگر به‌کارگیری یک‌پارچه 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 نقشهٔ 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 تجزیه‌وتحلیل 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) مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبریز گرمی"، مجلهٔ منابع طبیعی ایران، جلد ٥٦، شمارهٔ ٤ (١٣٨٢).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

۲. ارومیه‌ای ع.، صفایی م.، "کاربری زمین و تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها در نکا رود"، خلاصه گردهمایی علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).

۳. ایزانلو ا.، "بررسی قابلیت داده‌های سنجش‌از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه بیدواز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷٦).

۳. راکعی ب.، خامه‌چیان م.، عبدالملکی پ.، گیاهچی پ.، "کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ سفیدار گله در استان سمنان"، مجلهٔ علوم دانشگاه تهران، دوره ۳۳، شمارهٔ ۳ (۱۳۸۷).

٤. روستایی ش.، "بررسی علل وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی"، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی، دورهٔ هشتم، شمارهٔ اول (پیاپی ۳۲) بهار (۱۳۸۳).

۵. رهنماراد ج.، یادگارزائی م.، کنگی ع.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اسکل‌آباد خاش با استفاده از GIS"، فصلنامG زمین‌شناسی کاربردی، سال ٦، شمارهٔ ٤ (۱۳۸۹).

٦. زکی‌زاده ح.، "بررسی عوامل مؤثر درحرکت توده‌ای حوزه آبخیز ولشت و نحوه پیش‌گیری و کنترل آن"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران (۱۳۷۳).

۷. سوری س.، لشکری‌پور غ.، غفوری م.، فرهادی‌نژاد ط.، "اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیهٔ نقشهٔ خطر با استفاده از مدل AHP در استان لرستان"، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد ٦، شمارهٔ ۱ و ۲ (۱۳۹۲).

۸. شادفر ص.، یمانی م.، نمکی م.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و LNRF، در چالکرود"، مجله مهندسی و مدیریت آبخیزداری، جلد ۳، شمارهٔ ۱ (۱۳۸۹).

۹- عابدینی م.، قاسمیان ب.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل AHP و نقش آن در برنامه‌ریزی شهری (مطالعهٔ موردی: شهرستان بیجار)"، مجموعه چکیده مقالات دومین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران (۱۳۹۱).

۱۰. علیخانی ب.، قهرودی م.، امیراحمدی ا.، "پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS"، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۸٤. (۱۳۸٦).

۱۱. علی‌محمدی ص.، پاشایی ع.، شتایی جویباری ش.، "ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ سید کلاته رامیان"، مجلهٔ پژوهش‌های حفاظت آب وخاک، جلد ۱٦، شمارهٔ ۱، ۷۸-٦۰ (۱۳۸٦).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

۱۲. قاسمیان ب.، "پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، مطالعهٔ موردی: (استان کردستان-شهرستان بیجار)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ 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)"، مجلهٔ مرتع و آبخیزداری، دورهٔ ٦٥، شمارهٔ ۲، (۱۳۹۱) ۲۳۱-۲٤۳.

۱٤. منهاج 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، پژوهشکدهٔ سوانح طبیعی (۱۳۸۵).

۱٦. نیک‌اندیش ن.، نگرشی بر اهمیت حرکات توده‌ای زمین در ایران"، نشریهٔ جهادسازندگی، شمارهٔ ۱۵۵، سال دوازدهم (۱۳۷٦).

۱۷. یمانی م.، حسن‌پور س.، مصطفایی ا.، شادمان‌رود پشتی م.، "نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شمارهٔ ٤۸ (۱۳۹۱).

18. Ayalew L., Yamagishi H., "The application of GIS-based logisticregression 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 paramte rating approaches", Natural Hazard and Earth SystemSciences 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).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]

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 landslidecomplex: williams Forkmountains near Dillon,Coloado,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 AArtificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation", Geomorphology, 94 (2008) 379-400.

29. Yalcin A., "GIS based landslide susceptibility maping 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).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.1.8.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.1.153]