

## مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی در ارزیابی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی حوضه آبریز سیمره چنار)

صیاد اصغری سراسکانرود\* - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی  
ایمانعلی بلواسی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

### چکیده

زمین لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی هر ساله منجر به خسارات زیادی می‌شود. حوضه آبریز سیمره چنار، با داشتن ویژگی‌های کوهستانی و شرایط طبیعی مختلف دارای استعداد بالقوه زمین لغزش است. هدف از این پژوهش، مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی، جهت ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه سیمره چنار است. بدین جهت ابتدا پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش استخراج و سپس لایه‌های مربوطه تهیه شده است. سپس نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده شده حوضه تهیه و با تلفیق نقشه عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، بارش، فاصله از گسل، کاربری اراضی، خاک، فاصله از آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه گردید. در این مطالعه به منظور مقایسه مدل‌ها، در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه سیمره چنار، از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی استفاده گردید. در مدل شبکه عصبی مصنوعی الگوریتم پس انتشار خطا و تابع فعال‌سازی سیگموئید بکار گرفته شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۴ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی گردید. پس از بهینه شدن ساختمان شبکه، کل اطلاعات منطقه در اختیار شبکه قرار گرفت و در نهایت با توجه به وزن خروجی، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش تهیه شد. در مدل منطق فازی از اپراتورهای عملگر اجتماع فازی، عملگر اشتراک فازی، عملگر ضرب جبری فازی، عملگر جمع جبری فازی، عملگر گاما فازی مدل منطق فازی استفاده شد. برای ارزیابی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه از ضریب آماری کاپا استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۱ مدل کارآمدتری نسبت به مدل منطق فازی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه سیمره چنار است. از میان عوامل تاثیرگذار بر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه عامل شیب به عنوان مهمترین عامل و عوامل سنگ‌شناسی و خاک در مراتب بعدی قرار گرفتند. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، به ترتیب ۱۰/۱۲، ۲۲/۹۲، ۳۱/۰۴، ۲۰/۷۶، ۱۵/۱۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، شبکه عصبی مصنوعی، حوضه سیمره چنار، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل منطق فازی

## مقدمه

زمین لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی به شمار می‌رود که باعث حوادث فاجعه‌آوری شده است (هاتانچی و مریواکی، ۲۰۰۹: ۴۵۰). طی این فرآیند، خاک و مواد سطحی، تحت تأثیر نیروی گرانش، بارش‌های شدید، زلزله، اشباع شدن خاک از آب و فعالیت‌های انسانی مانند تخریب پوشش گیاهی و عملیات نا صحیح مهندسی قرار گرفته و به شکل‌های مختلف به پایین دست دامنه جریان می‌یابد. کشور ایران به دلیل شرایط خاص آب‌وهوایی، فیزیوگرافی و تغییر کاربری همواره با مشکل حرکات توده‌ای مواجه است و توجه به این محدودیت طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد (کورکی‌نژاد، ۱۳۸۱: ۲۴). استان لرستان نیز با توجه به ویژگی‌های متنوع زمین‌شناسی نظیر سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب‌وهوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است (بلوایی، ۱۳۹۴: ۲۲۶). قرار گرفتن بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ - هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست‌مارنی - شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در سراسر این استان شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی به وجود آورده است (سوری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۷۰). شرایط توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (حوضه سیمره چنار) به گونه‌ای است که لغزش قطعات و توده‌های سنگ و خاک را در مقیاس کوچک تا بزرگ مهیا کرده است (شکل ۲). جهت پهنه‌بندی دقیق مناطق خطر زمین‌لغزش باید عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مناطق مختلف تحلیل گردد (پارتا و همکاران، ۲۰۱۲). محققین عوامل مختلفی را در وقوع زمین‌لغزش مؤثر می‌دانند که شامل ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب و شکل شیب، بارش‌های سنگین و نفوذ آب به داخل ترک‌ها و شکاف‌ها، فعالیت گسل‌های بزرگ و فعال، وجود شبکه‌های زهکشی و آبراهه‌ها، کاربری اراضی و تغییرات آن، تنوع بافت و سنگ‌شناسی و نوع خاک‌های منطقه که در استحکام و نفوذپذیری مؤثر می‌باشد، زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند (روستایی و احمدزاده، ۱۳۹۱: موسوی خطیر و همکاران، ۱۳۸۹؛ چائو و همکاران، ۲۰۰۵؛ آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵؛ لی و سمبات، ۲۰۰۶؛ پارتا و همکاران، ۲۰۱۲). بعد از تشخیص عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش باید روش‌های مورد مطالعه بررسی شود. محققین روش‌های مختلفی را برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده می‌کنند که کارایی هر کدام از این روش‌ها در مناطق مختلف متفاوت است (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰). با توجه به اهمیت پدیده زمین‌لغزش مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است. از جمله مالچیور<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز گسیختگی به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی یک روش مناسب جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش است. کانونگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با به‌کارگیری روش‌های وزن‌دهی دانش کارشناسی، فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، عوامل مؤثر در لغزش زمین را وزن‌دهی کرده و دریافتند که اگر از مقادیر کلاس‌ها در شبکه عصبی استفاده شود، این شبکه بهترین نتایج را به بار خواهد آورد. بیسواجد<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خطر زمین‌لغزش در منطقه سالانگور مالزی را ارزیابی کردند. یلماز<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با مقایسه روش‌های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش در شهر کات ترکیه به این نتیجه رسید که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به دو روش دیگر از صحت بیشتری برخوردار است. راکعی و همکاران (۱۳۸۶) به ارزیابی کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه سفیدارگله در استان سمنان پرداختند.

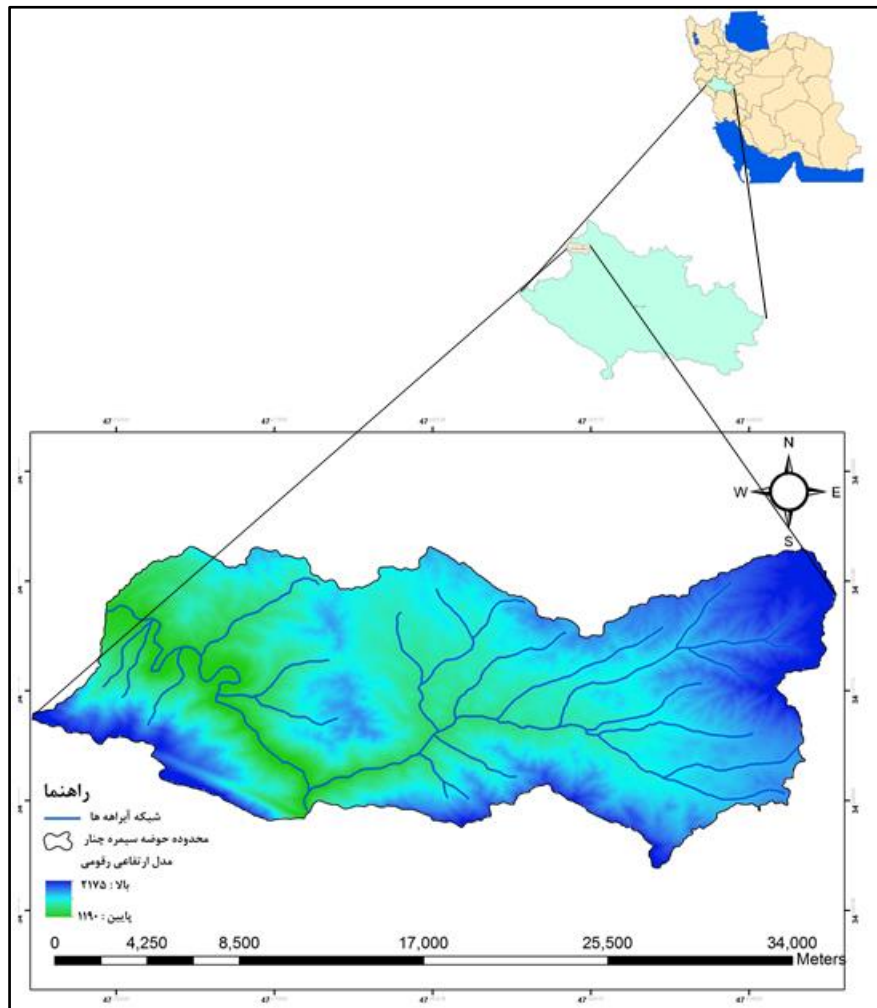
<sup>۱</sup> Hattanjani & Moriwaki<sup>۲</sup> Melchiorre<sup>۳</sup> Kanungo<sup>۴</sup> Biswajeet<sup>۵</sup> Yilmaz

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۲) برای پهنه‌بندی خطر رانش زمین از روش شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده نمودند. مرادی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه آبریز هراز پرداختند. فیض اله پور (۱۳۹۱) در رساله دکتری خود به منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود. سوری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز نوژیان پرداختند. تاکنون تحقیقات خیلی زیادی در رابطه با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش صورت گرفته است که می‌توان به سفیدگری (۱۳۸۱) فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳) کرم و محمودی (۱۳۸۴) شیرانی و همکاران (۱۳۸۵) علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۸) موسوی خطیر و همکاران (۱۳۸۹) یمانی و همکاران (۱۳۹۱) روستایی و احمدزاده (۱۳۹۱)، وان واستن و همکاران (۱۹۹۷) کاررا و همکاران (۱۹۹۱) پاچوری و پانت (۱۹۹۲) لان و همکاران (۲۰۰۴) لی و سمپات (۲۰۰۶) کومک و ماتیجا (۲۰۰۸) کانینگو و همکاران (۲۰۰۹) ارونکلو و همکاران (۲۰۱۱) پارتا و همکاران، (۲۰۱۲) فلیکیسیمو و همکاران، (۲۰۱۳) را نام برد. هدف از این مطالعه مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل منطق فازی جهت ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه سیمره چنار می‌باشد.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سیمره چنار جزئی از شهرستان دلفان محسوب می‌شود که با مساحت ۲۸۵/۴۲۲ کیلومتر مربع، در شمال غربی استان لرستان، در طول جغرافیایی ۱۲'، ۱۹' تا ۳۶'، ۳۹'، ۴۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۲'، ۴' تا ۷'، ۱۲'، ۳۴' شمالی قرار گرفته است. این حوضه از شمال به شهرستان هرسین، از شرق و جنوب شرقی به شهرستان دلفان و از غرب و جنوب غربی به کرمانشاه محدود شده است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس مرتفع است. تشکیلات زمین‌شناسی حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد حاضر بوده و عمدتاً از سنگ‌آهک تشکیل شده است. منطقه مورد مطالعه از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است. از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان به کوه‌های سیاه کمر و زرین‌کوه اشاره نمود که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی جزء رشته‌کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۱۷۵ متر حداکثر آن ۱۱۹۰ متر است.

این حوضه از زیر حوضه‌های فرعی رودخانه سیمره است که خود از شاخه‌های رودخانه کرخه به شمار می‌رود. آب و هوای منطقه مورد مطالعه از نوع مدیترانه‌ای با زمستان‌های نسبتاً سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. اکثر بارندگی‌های منطقه ناشی از ورود جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای است که از سمت غرب و شمال غرب وارد ایران شده و در برخورد با ارتفاعات زاگرس صعود می‌نماید و موجب بارندگی می‌شوند. بارندگی متوسط سالانه این حوضه ۵۴۱ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۸۶ درصد ریزش سالانه در ماه‌های آذر لغایت اردیبهشت ماه مشاهده می‌گردد. بارش برف در اواخر دی‌ماه و اوایل بهمن ماه در حوضه حداکثر می‌باشد. به طوری که ریزش‌های ارتفاع بیشتر از ۱۶۵۰ متر عموماً به صورت برف است. دمای متوسط سالانه در محدوده ۹/۲ درجه سانتی‌گراد و افت دمای متوسط سالانه به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع، ۹/۶ درجه سانتی‌گراد است (سازمان هواشناسی لرستان).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز سیمره چنار در ایران و استان لرستان

### داده‌ها و روش‌شناسی

در این تحقیق از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ تاریخ ۱۶ آوریل ۲۰۱۷، داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما و بارش که از سازمان هواشناسی استان لرستان و مدل رقومی ارتفاعی SRTM، ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه شیب، جهت شیب و استخراج آبراهه‌ها استفاده شده است. از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل و از نرم‌افزار ENVI جهت تصحیحات هندسی و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. در این پژوهش برای بررسی و پتانسیل یابی خطر زمین‌لغزش ۸ عامل شیب، جهت شیب، کاربری‌اراضی، سنگ‌شناسی، خاک، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و بارش مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. سپس نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در مدل منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است.

جهت انجام این مطالعه ابتدا به بررسی و مطالعه سوابق علمی موجود، جهت تعیین همه معیارها و عوامل تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش پرداخته شد. سپس اطلاعات موجود شامل نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز گردآوری، و پس از تهیه نقشه‌ها، تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. نقشه‌های مورد نیاز در محیط GIS رقومی، و پس از رقومی سازی، مدل‌سازی رستری لایه‌ها صورت گرفت.

منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیر مجموعه خاص، به صورت قطعی نیست یعنی با قطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد برابر صفر باشد می‌توان با قطعیت گفت که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد ۱ باشد می‌توان ادعا کرد که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است. به این ترتیب می‌توان زیر مجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه بازنمایی کرد.

تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. به بیان لطفی زاده برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود (تاناگا، ۱۳۸۳). یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن دانست و به صورت  $\mu_C(X)$  نمایش داده می‌شود. در توابع مشخصه مجموعه‌های قاطع باید در مورد تعلق یک عضو به مجموعه که یا صفر است یا یک تصمیم بگیریم. در حالی که توابع عضویت این امکان را به ما می‌دهد که میزان تعلق یا درجه را به صورت یک عدد حقیقی بین یک تا صفر انتخاب کنیم.

اپراتورهای مدل منطق فازی مشتمل بر عملگر اجتماع فازی ۱، عملگر اشتراک فازی ۲، عملگر ضرب جبری فازی ۳، عملگر جمع جبری فازی ۴ و عملگر گاما فازی ۵ هستند.

عملگر اجتماع فازی: این عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. به این صورت که حداکثر درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نمی‌باشد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Combination} = \text{MAX} [\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots]$$

عملگر اشتراک فازی: این عملگر اشتراک مجموعه‌ها است. به این صورت که حداقل درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۲} \quad \mu_{\text{combination}} = \text{MIN} [\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots]$$

عملگر ضرب جبری فازی: در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی می‌باشد این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است. این عملگر به صورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۳} \quad \mu_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

عملگر جمع جبر فازی: این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد.

<sup>۱</sup> Fuzzy OR

<sup>۲</sup> Fuzzy AND

<sup>۳</sup> Fuzzy Algebraic Product

<sup>۴</sup> Fuzzy Algebraic Sum

<sup>۵</sup> Fuzzy Gamma

این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۴} \quad \text{Combination} = \prod_{i=1}^n i(1 - \mu\mu)$$

عملگر گاما فازی: این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۵} \quad \text{Combination} = (\text{Fuzzy A lg . Sum})^{0^y} * (\text{Fuzzy A lg . Pr} \mu\text{product})^{0^{1-y}}$$

که در آن  $y$  پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی  $y$  برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی  $y=0$  باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $y$  بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. شبکه عصبی مصنوعی یک سازوکار محاسباتی است که قادر است با گرفتن اطلاعات و محاسبه کردن آن‌ها، یک سری اطلاعات جدید را ارائه دهد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۵). در شبکه عصبی مصنوعی سعی بر آن است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز انسان و شبکه اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد و یک پهنه‌بندی از یک فضای چند متغیره با اطلاعات دریافتی را به وجود آورد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۸). در مدل شبکه عصبی جهت آموزش شبکه از لایه‌های تهیه شده، همراه با تعدادی از نمونه‌های واقعی زمین لغزش‌های اتفاق افتاده، به عنوان ورودی وارد شبکه شدند و با این روش الگوی بین پارامترهای ورودی (ورودی شبکه) و مناطقی که زمین لغزش وجود دارد (خروجی شبکه) توسط شبکه آموزش داده شد. سپس به ازای پارامترهای ورودی حوضه مورد نظر به شبکه عصبی آموزش دیده، خروجی متناظر که همان مناطق مستعد زمین لغزش است پیش‌بینی گردید. جهت تشکیل ماتریس ورودی شبکه‌های عصبی ابتدا تعدادی نقطه به صورت منظم از حوضه مورد نظر انتخاب و با تمام لایه‌ها، قطع داده شد و ارزش آنها استخراج گردید در ادامه به سبب زمانبر بودن و سنگین بودن فرآیند آموزش، تعدادی از نمونه‌ها بصورت تصادفی جهت ایجاد و آموزش شبکه، برای تمامی نمونه‌های استخراجی انتخاب شدند. جهت تشکیل ماتریس هدف (خروجی مطلوب) و همچنین اعتبارسنجی مدل‌ها، نیاز به نمونه‌های واقعی از زمین لغزش است. بدین منظور اقدام به نمونه برداری میدانی با GPS از زمین لغزش‌های موجود در حوضه سیمره چنار شد. تعدادی از این نمونه‌ها جهت ارزیابی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌ها و تعدادی جهت تشکیل ماتریس هدف استفاده گردید. پس از آماده سازی ماتریس ورودی و ماتریس هدف، این اطلاعات وارد نرم‌افزار متلب شدند و شبکه عصبی طراحی ، و پس از آموزش شبکه، پیش‌بینی و شبیه‌سازی لازم صورت گرفت.

برای تعیین شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI) هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف، از مدل احتمالی نسبت فراوانی استفاده شد زیرا کاربرد آن ساده و نتایج آن خیلی قابل اعتماد است (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۷). بدین منظور ابتدا نسبت فراوانی محاسبه و در نهایت شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۶} \quad Fr = \frac{\text{درصد پیکسل های لغزشی}}{\text{درصد پیکسل های غیر لغزشی}}$$

$$\text{رابطه ۷} \quad LSI = \sum Fr$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین‌لغزش در هر طبقه

Fr: نسبت فراوانی وقوع زمین‌لغزش در هر طبقه

جهت تسهیل در همگرایی شبکه عصبی مصنوعی و عدم کاهش سرعت شبکه، مقادیر مربوط به نرون‌های ورودی نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن داده‌ها در برنامه نوشته شده از رابطه ۸ استفاده شد.

$$x_i = \frac{z_i - z_{i(\min)}}{z_{i(\max)} - z_{i(\min)}} \quad \text{رابطه ۸}$$

$z_i$  برابر با وزن پیکسل موردنظر،  $z_{i(\min)}$  برابر با کمترین وزن عامل موردنظر،  $z_{i(\max)}$  برابر با بیشترین وزن عامل موردنظر و  $x_i$  برابر با وزن نرمال شده عامل موردنظر است.

همچنین جهت برآورد میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌عنوان یک شاخص کمی استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{obs} - \text{pre})^2}{n}} \quad \text{رابطه ۹}$$

obs مقادیر مشاهده‌ای و pre مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد کل داده‌ها در هر مرحله از آزمون‌های آموزش و آزمایش است. از تابع غیرخطی سیگموئید به دلیل مشتق‌پذیر بودن، سادگی و کاربرد آن در بیشتر کارهای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، به‌عنوان تابع فعال‌سازی استفاده شد.

$$f(\text{net}_{pi}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_{pi}}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در این پژوهش از ضریب یادگیری ساده به علت همگرا نشدن و نرسیدن به خطای قابل قبول صرف‌نظر شد. همچنین میزان خطای ضریب یادگیری متغیر در مقایسه با روش لونیبرگ-مارکوارت بیشتر بود به همین دلیل از روش لونیبرگ-مارکوارت استفاده شد. با توجه به تعداد پارامترهای ورودی تعداد نرون در لایه ورودی متفاوت است و تعداد نرون خروجی نیز به هدف تحقیق بستگی دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۳۲). همچنین از ۸ عامل به‌عنوان پارامترهای ورودی و یک نرون نیز به‌عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. روش‌ها و فرمول‌های زیادی برای تعیین تعداد نرون در لایه پنهان وجود دارد ولی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای کمترین مقدار خطا، روش سعی و خطا است (راکی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۱).

برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از ضریب آماری کاپا همراه با تعدادی از نمونه‌های واقعی زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه استفاده شد. ضریب کاپا یک تکنیک ناپیوسته چند متغیری برای ارزیابی صحت می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

جدول ۴: ماتریس مشاهده‌ای و پیش‌بینی

	Positive	Negative
Positive	a	b
Negative	c	d

a: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی بعنوان نقاط لغزشی هستند. b: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط لغزشی و در پیش‌بینی بعنوان نقاط غیرلغزشی هستند. c: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط غیر لغزشی و در پیش‌بینی بعنوان نقاط لغزشی هستند. d: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی بعنوان نقاط غیر لغزشی هستند.

مقدار ضریب کاپا را از روابط زیر محاسبه می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \text{KAPPA Coefficient} &= \frac{\text{Observed Agreement} - \text{Expected Agreement}}{1 - \text{Expected Agreement}} && \text{رابطه ۱۱} \\ \text{observed Agreement} &= \frac{a+d}{a+b+c+d} && \text{رابطه ۱۲} \\ \text{Expected Agreement} &= \left(\frac{a+c}{N} * \frac{a+b}{N}\right) + \left(\frac{b+d}{N} * \frac{c+d}{N}\right) && \text{رابطه ۱۳} \\ &= && \end{aligned}$$

پس از محاسبه ضریب کاپا اگر مقدار آن بین ۰ تا ۲۰ درصد باشد بین مشاهده و پیش‌بینی توافقی وجود ندارد، بین ۲۰ تا ۴۰ درصد توافق ناچیز، بین ۴۰ تا ۶۰ درصد توافق متوسط، بین ۶۰ تا ۸۰ درصد توافق خوب و اگر ضریب کاپا بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد باشد توافق بین مشاهده و پیش‌بینی عالی خواهد بود.

#### لایه های اطلاعاتی استفاده شده:

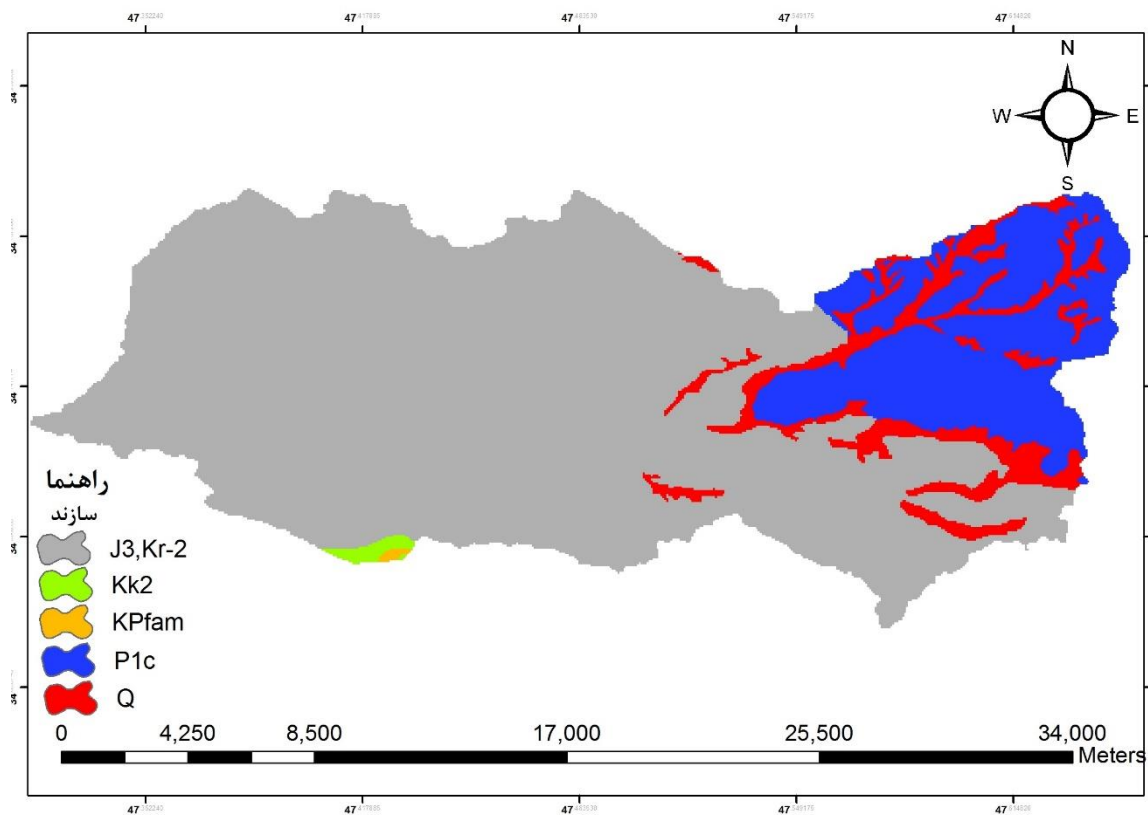
سنگ شناسی منطقه: در بسیاری از زمین‌لغزش‌ها نوع مصالح درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع لغزش بوده و تقریباً تمامی روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به نحوی در نظر گرفته‌اند. جهت تهیه نقشه سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین شناسی استان لرستان استفاده شد (شکل ۲).

شیب دامنه: شیب از عوامل اصلی ایجاد زمین‌لغزش در مناطق مختلف است. به‌عنوان پیش‌فرض در شیب‌های کمتر از ۵ درجه لغزش اتفاق نخواهد افتاد (گومز و همکاران، ۲۰۰۲). جهت تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس تهیه شد (شکل ۳).

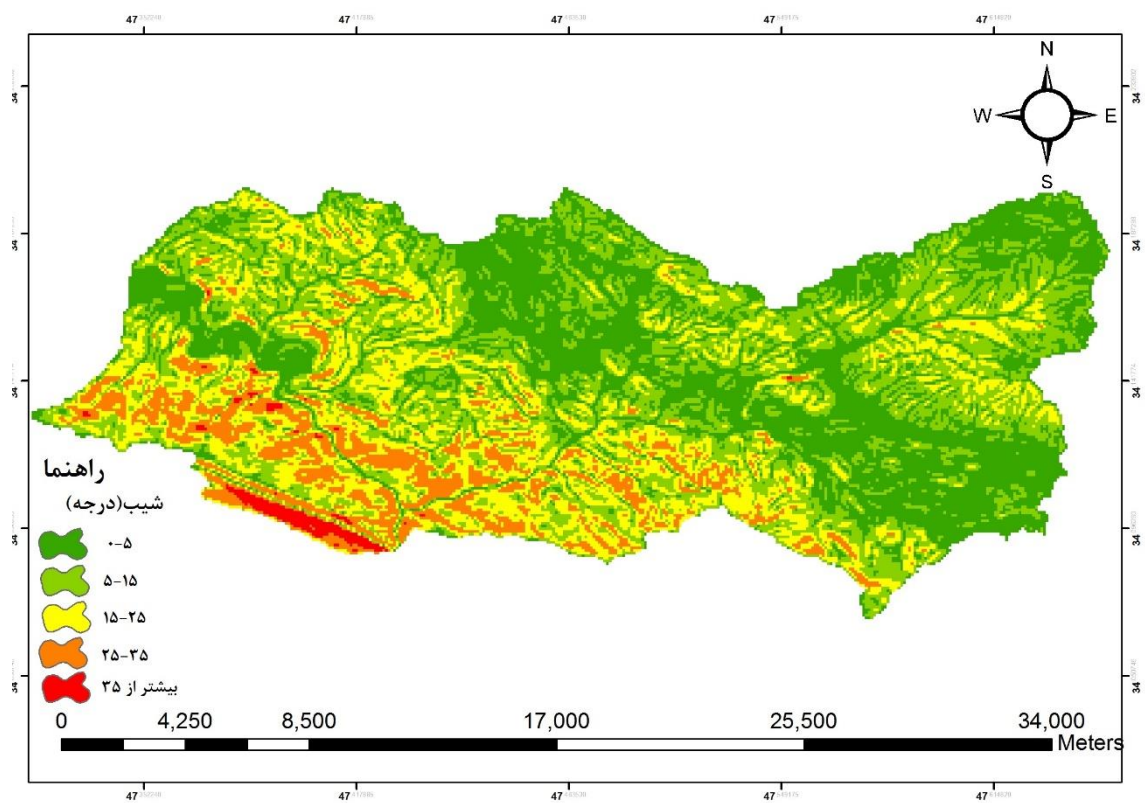
کاربری اراضی: مطالعه نوع پوشش گیاهی روی زمین و نوع کاربرد آن در مصارف کشاورزی، صنعتی و عمرانی در امر بررسی لغزش دامنه‌ها بسیار مهم هستند. با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری، زمین‌های حوضه آبریز سیمره چنار به ۳ کلاس تقسیم شدند که مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان منابع طبیعی استان لرستان انجام گرفته است (شکل ۴).

جهت شیب دامنه: جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است (کومک ۱، ۲۰۰۶). در این پژوهش به‌منظور نشان دادن ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخ داده، نقشه جهت شیب برای منطقه مورد مطالعه به ۹ کلاس شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب، شمال غرب و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۵).

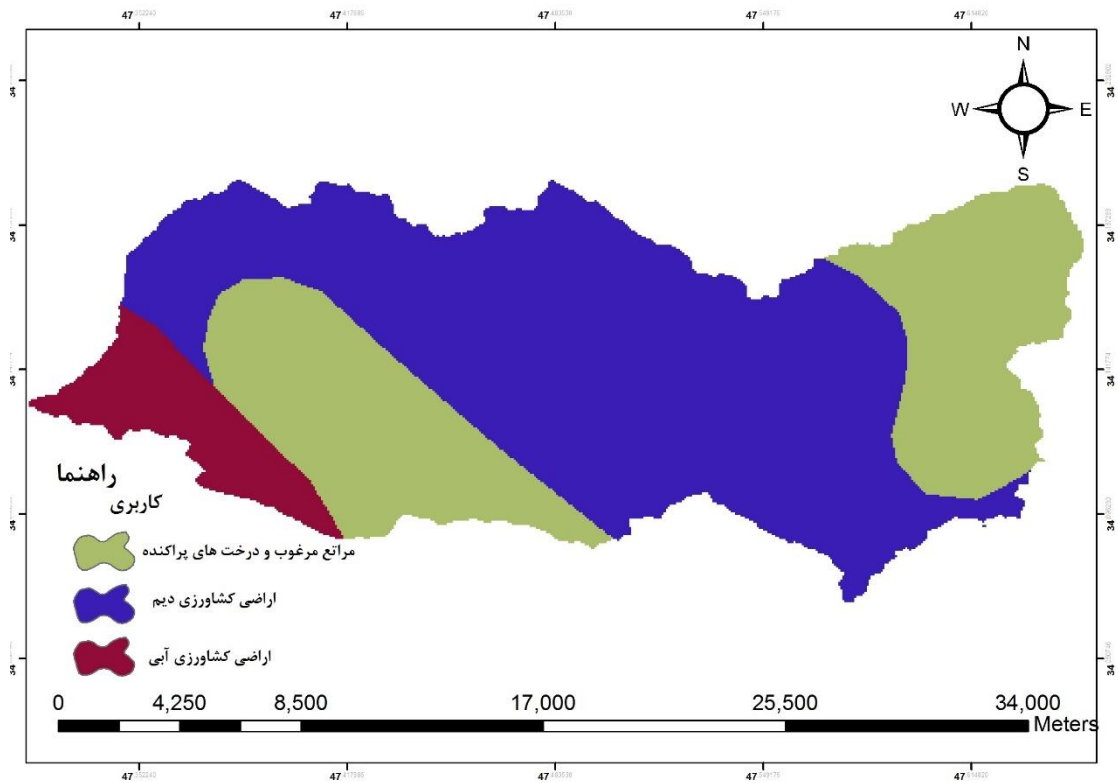




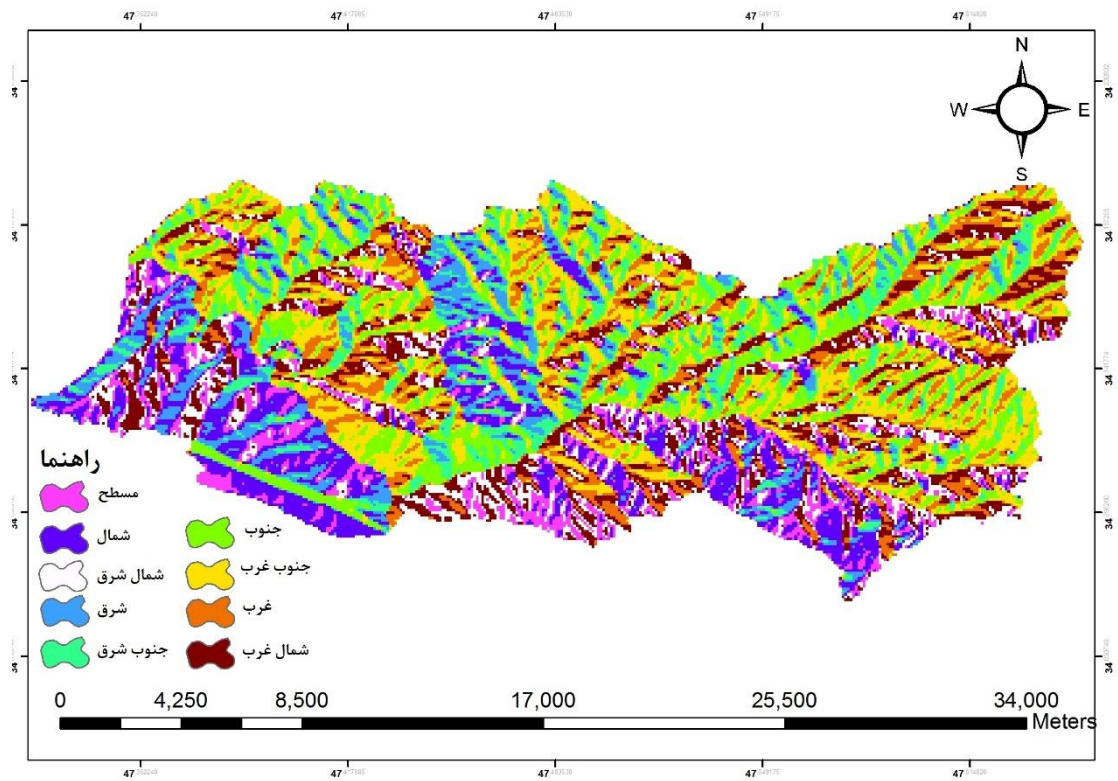
شکل ۲: نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

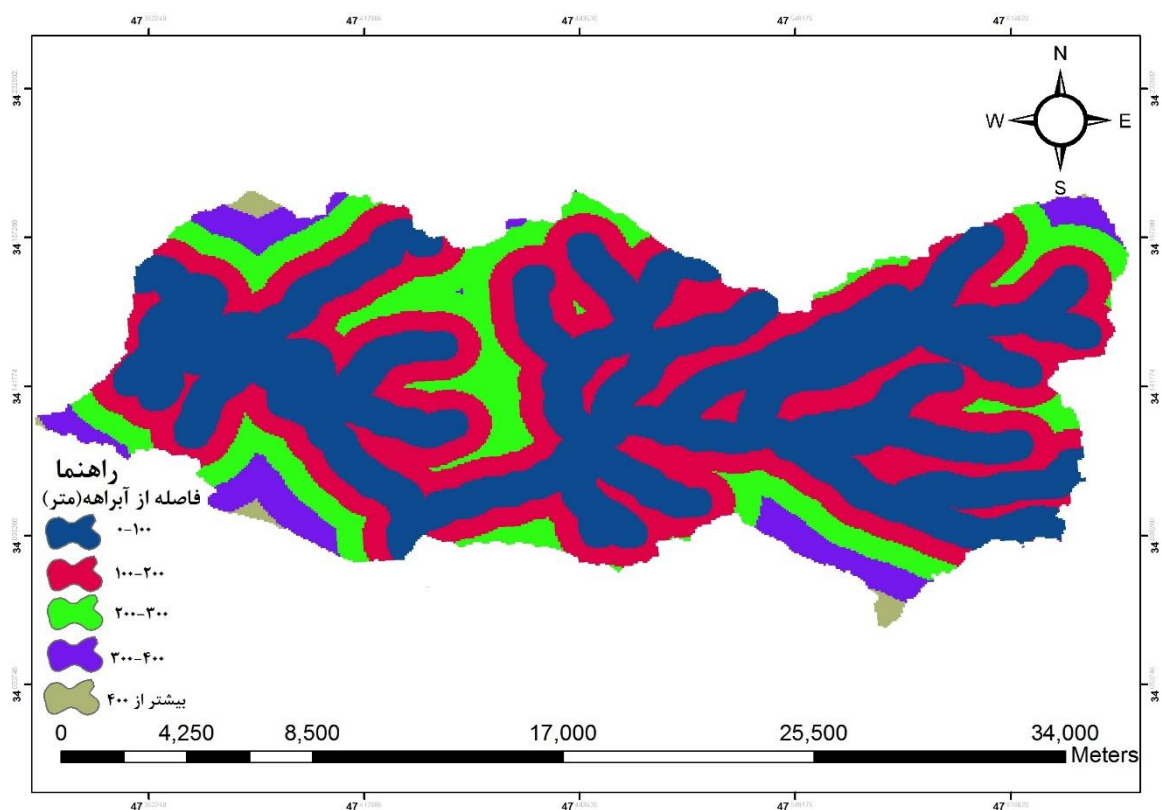


شکل ۵: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

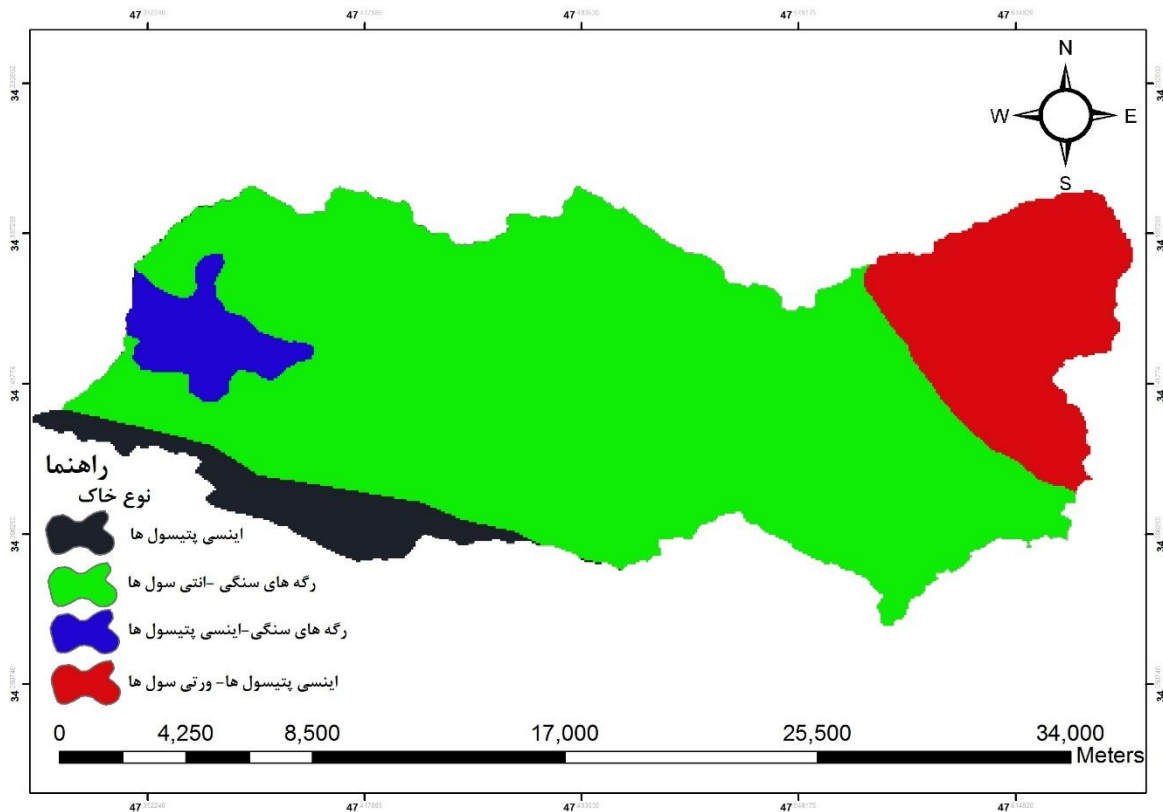
فاصله از آبراهه: جهت تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم افزار

ArcGIS رقومی شد. آنگاه نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس و برای نشان دادن ارتباط بین خطر زمین لغزش و فاصله از آبراهه به کار برده شد (شکل ۶).

خاک: فرسایش از ضربه قطرات باران به سطح خاک با شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن رابطه مستقیم داشته و با میزان رس موجود در خاک دارای رابطه معکوس می‌باشد. نیروی چسبندگی بین ذرات رس باعث افزایش پایداری خاک می‌شود و در نتیجه از میزان فرسایش و زمین لغزش می‌کاهد. برای تهیه لایه خاک در منطقه مورد مطالعه، خاک‌های موجود، به ۴ گروه طبقه‌بندی شدند که مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان زمین شناسی استان لرستان انجام گرفته است (شکل ۷).



شکل ۶: نقشه فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه



شکل ۷: نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

بارش: بارندگی به سبب بالا بردن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، که این افزایش به نوبه خود موجب افزایش فشار استاتیکی و فشار آب حفره‌ای در مصالح دامنه‌ها می‌شود، نقش بسزایی در لغزش ایفا می‌کند (معماریان، ۱۳۷۴). کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود پتانسیل وقوع لغزش را افزایش می‌دهند. در مناطق کوهستانی بارش از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد، بدین منظور در منطقه مورد مطالعه نیز به علت کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ای بین ارتفاع و میزان بارندگی در ایستگاه‌های موجود به دست آمد که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه آبریز سیمره چنار تهیه شد.

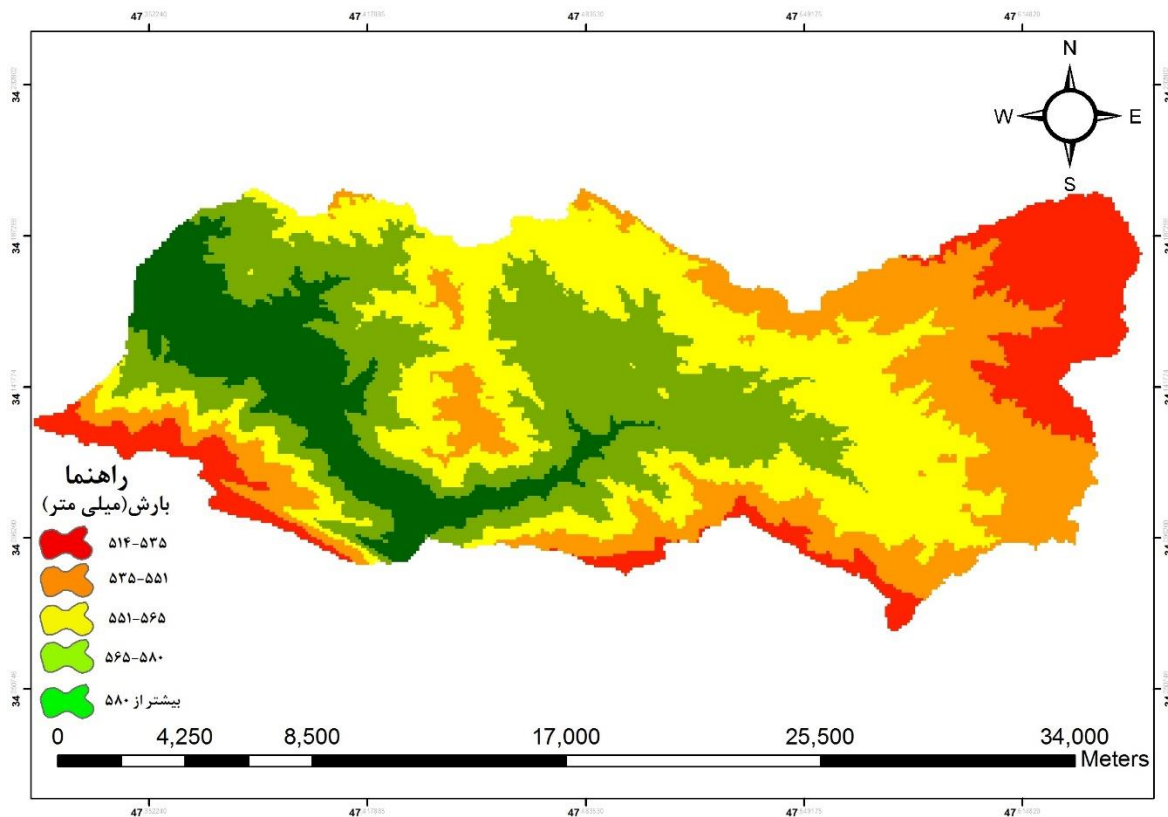
$$P = 0.1027 \times h + 392/45$$

رابطه ۱۴

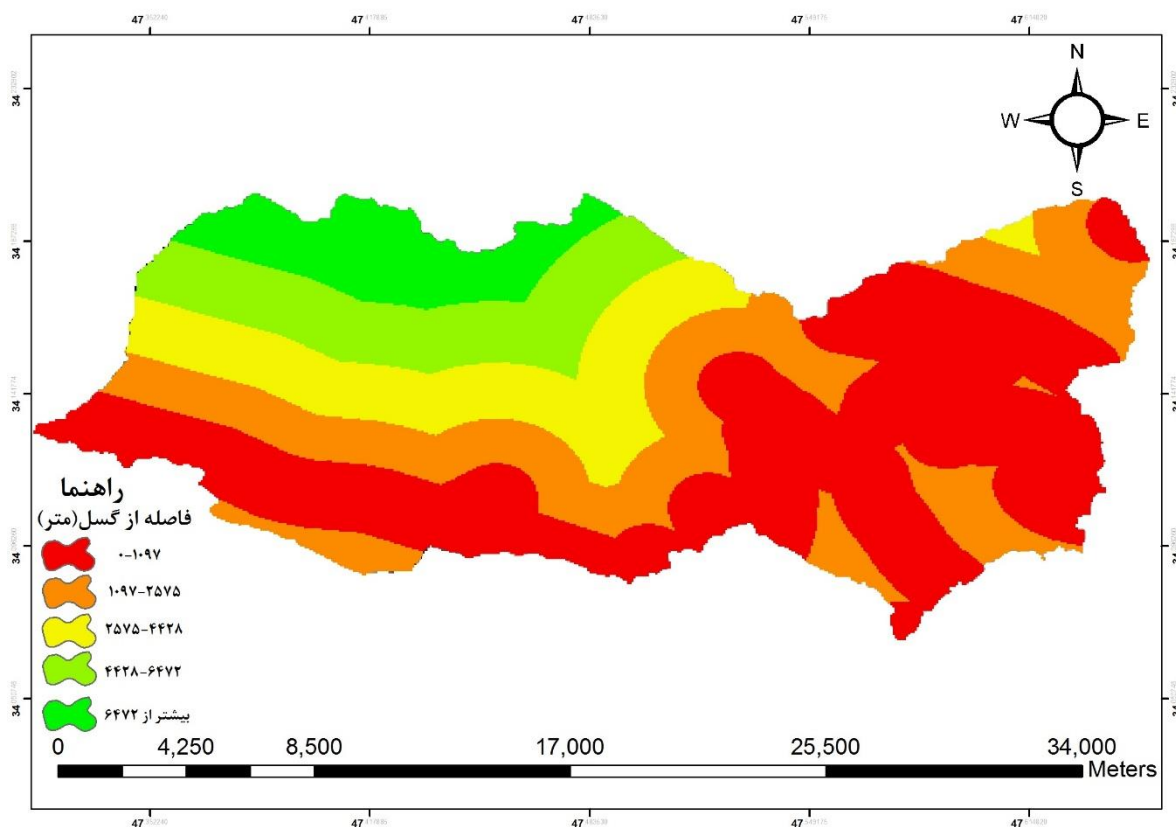
$P$  میزان بارندگی برحسب میلی‌متر،  $h$  ارتفاع از سطح دریا برحسب متر.

نقشه هم‌بارش حوضه آبریز سیمره چنار در ۵ کلاس با فواصل ۵۳۵-۵۱۴، ۵۵۱-۵۳۵، ۵۶۵-۵۵۱، ۵۸۰-۵۶۵ و بیشتر از ۵۸۰ میلی‌متر طبقه بندی شده است (شکل ۸).

فاصله از گسل: خرد شدگی و برشی شدن در مناطق گسلی، نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه‌ها، بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله اثراتی است که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد (سوری و همکاران: ۱۳۹۱: ۱۲۷۵). لذا برای تهیه نقشه فاصله از گسل نخست گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقمی شد، سپس فاصله‌ها از گسل با توجه به شکست طبیعی به ۵ کلاس با فواصل ۱۰۹۷-۰، ۲۵۷۵-۱۰۹۷، ۴۴۲۸-۲۵۷۵ و بیشتر از ۶۴۷۲ متر طبقه بندی شده است (شکل ۹).



شکل ۸: نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



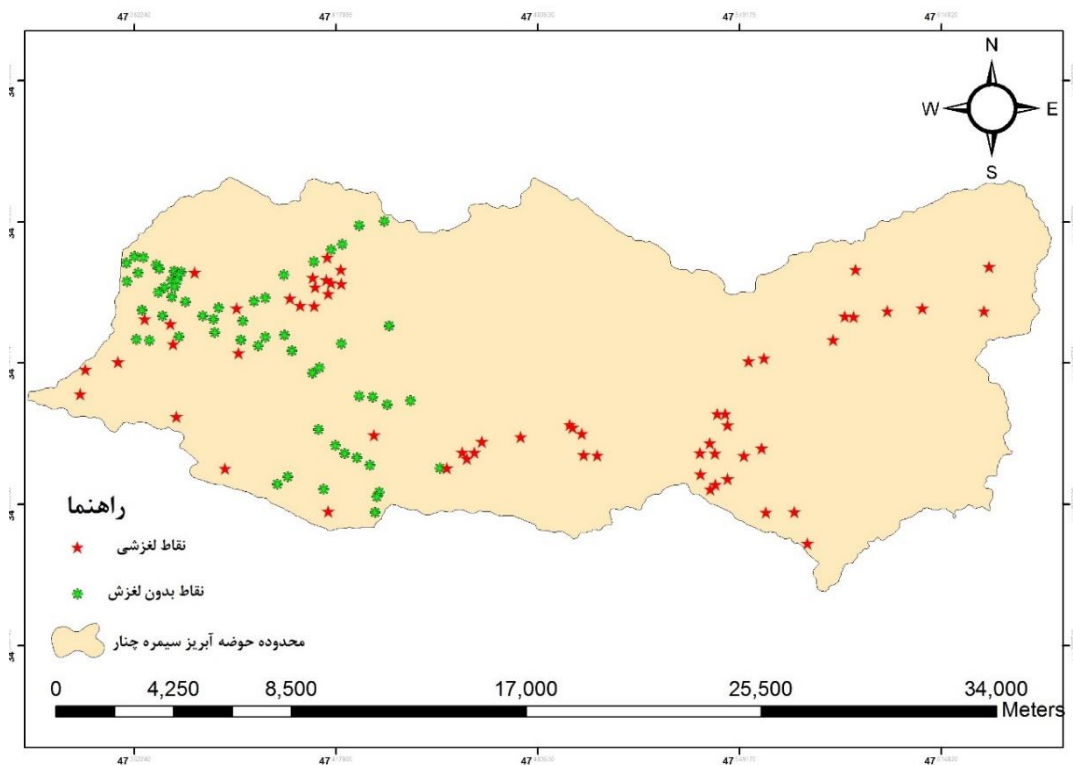
شکل ۹: نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه



نقشه نقاط لغزشی و غیر لغزشی: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی منطقه مورد مطالعه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد به لغزش در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. به دلیل آنکه بسیاری از لغزش‌ها دارای ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور بودند، در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نبودند. لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید قرار گرفت (شکل ۱۱). در کل ۹۰ پیکسل لغزشی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. مناطق غیر لغزشی مناطقی هستند که احتمال خطر لغزش در آن‌ها خیلی کم در نظر گرفته می‌شود. این مناطق در داخل شیب‌های کمتر از ۵ درجه و در داخل آبراهه‌ها در نظر گرفته می‌شوند (گومز و همکاران، ۲۰۰۲) (شکل ۱۱)



شکل ۱۰: تصاویری از لغزش رخ داده ۲۵ فروردین ۹۷ در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱: نقشه نقاط لغزشی و غیر لغزشی منطقه مورد مطالعه

### بحث و یافته‌ها

جهت بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در حوضه سیمره چنار بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط لغزشی، پراکندگی این نقاط نسبت به ۸ عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).



												۷/۱۴	۲۹۲/۳۳۷-۵/۵		
												۱۷/۸۱	۳۳۷/۴۶-۵		

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد (جدول ۱) بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب ۲۵-۳۵ درجه اتفاق افتاده است. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل کاهش نیروی ثقل و در شیب‌های خیلی بالا به دلیل ضعیف بودن فرایند خاک سازی و افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی تعداد لغزش‌های رخ داده (به جز ریزش) کاهش می‌یابد. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که این جهات تأثیر متفاوتی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. در حوضه سیمره چهار بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در جهات شمال‌غربی و جنوب‌شرقی وجود دارد. نتایج بدست آمده از جدول (۱) نشان می‌دهد که در سازندهای حاوی سنگ‌های مارنی و آهکی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیشتر است به طوری که می‌توان این عامل را به نوعی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه برشمرد. نتایج به‌دست‌آمده از کاربری اراضی نشان از آن است که بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی کشاورزی دیم وجود دارد که علت آن را می‌توان در نقش انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جستجو کرد. بعد از اراضی کشاورزی دیم بیشترین حساسیت در برابر لغزش مربوط به واحد مراتع و درخت‌های پراکنده است که این عامل تا حدود زیادی می‌تواند ناشی از قرار گرفتن این واحدها روی توپوگرافی و شیب‌های مستعد لغزش، به‌خصوص قرار گرفتن بر روی لیتولوژی مارنی باشد.

بررسی خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت نسبت به خطر زمین‌لغزش در رگه‌های سنگی و آنتی سول‌ها بوده است. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌های هم بارش بیانگر این است که با افزایش بارندگی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش بیشتر می‌شود. این مسئله بخصوص در خاک‌های مستعد لغزش مانند لایه‌های مارنی بیشتر حائز اهمیت است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین‌لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد و بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در طبقه ۰ تا ۱۰۹۷ متری فاصله از گسل وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل می‌باشد و با افزایش فاصله از گسل حساسیت کمتر می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای بر هم زدن تعادل شیب، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقه ۰-۱۰۰ متری وجود دارد.

جهت شبکه‌بندی منطقه، ابعاد شبکه‌ها از ۲۰ متر تا ۲۵۰ متر تغییر داده شد و نتایج نشان داد هرچه اندازه شبکه‌ها بزرگ‌تر باشد دقت مشخصات عوامل کاهش می‌یابد و کاهش ابعاد در شبکه‌ها هرچند دقت عوامل را بالا می‌برد اما حجم اطلاعات موجود در پایگاه داده فوق‌العاده افزایش و پردازش آن‌ها مشکل و وقت‌گیر می‌باشد و نیاز به کامپیوتر با سرعت و حافظه بالا دارد. با توجه به ابعاد حوضه مقدار ۵۰ متر مناسب تشخیص داده شد. لذا برای تغذیه این اطلاعات به شبکه عصبی مصنوعی، منطقه مورد مطالعه با واحدهای مربع شکل با اضلاع ۵۰ متری شبکه‌بندی شدند که با این تقسیم‌بندی منطقه به ۱۱۴۲ پیکسل تقسیم و هر پیکسل از هر لایه نقشه اطلاعات مربوط به آن نقشه را دریافت می‌کرده و در نهایت هر پیکسل دارای ۸ مشخصه اطلاعاتی مربوط به لایه‌های تأثیرگذار بر زمین‌لغزش می‌شود.

پس از انتخاب عوامل و نقشه‌های رقومی شده آن‌ها دو سری اطلاعات برای هر کدام از این عوامل جهت تحلیل در سیستم شبکه عصبی بکار گرفته شد. اطلاعات این دو نقشه برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی ضروری است.



در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه به دلیل کارایی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی (کانیانی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۶۱) با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. در ساختار شبکه عصبی مصنوعی نیز از سه لایه استفاده شده است چون طبق قضیه کولموگوروف، سه لایه برای تفکیک هر نوع فضای مناسب است و هرگز نیازی به استفاده از لایه‌های بیشتر نیست (منهاج، ۱۳۸۱: ۷۱۵).

به‌منظور بهترین ساختار برای شبکه عصبی مصنوعی تعداد زیادی شبکه عصبی ایجاد گردید که در تعداد تکرار، تعداد نرون‌های موجود در لایه پنهان و ضریب یادگیری متفاوت بودند. برای به‌دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، شبیه‌سازی متعددی صورت پذیرفت که در طی آن برای تعداد معینی تکرار یک پارامتر متغیر و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد که در تمامی شبیه‌سازی صورت پذیرفته از شاخص متوسط مجذور مربعات خطا به‌عنوان یک شاخص راهنما، بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود استفاده شد.

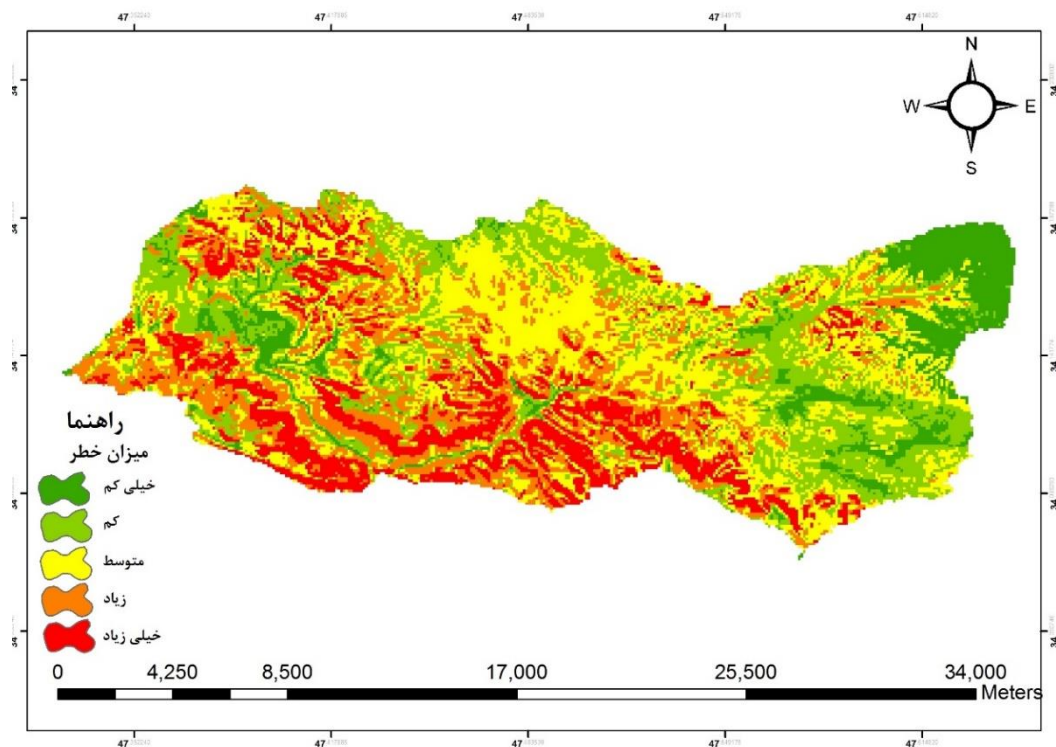
برای جلوگیری از هرگونه پیش‌داوری و دخل و تصرف در نتایج شبکه عصبی، برای آموزش و آزمایش شبکه به‌طور تصادفی و مساوی داده لغزشی و غیرلغزشی انتخاب و از ۸۰ درصد این داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش استفاده شد. برای انتخاب تصادفی این داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد و برای تعیین نسبت یادگیری و تعداد تکرار، جهت دستیابی به کمترین مقدار خطا از روش سعی و خطا استفاده شد. بعد از ورود داده به شبکه، لایه‌ها به‌صورت تصادفی وزن‌دهی می‌شوند و در مرحله آموزش بر اساس روابط مشخص هر عامل دارای وزن جدیدی خواهد شد که این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (سپهوند، ۱۳۸۹: ۳۸).

برای آموزش و آزمایش شبکه از اطلاعات ۱۸۰ پیکسل لغزشی و غیرلغزشی استفاده شد که از این تعداد ۱۴۴ پیکسل برای آموزش و ۳۶ پیکسل برای آزمایش شبکه بکار رفته است. پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، نشان می‌دهد که شبکه عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۱۸ پیکسل لغزشی، ۱۶ مورد را به‌درستی گزارش دهد که این نشان‌دهنده حساسیت تشخیص به‌مقدار ۸۸/۸۹ درصد است. همچنین از میان ۱۸ پیکسل غیرلغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۱۷ مورد از نمونه‌های آزمایشی شد که این بیانگر ویژگی تشخیص به‌مقدار ۹۴/۴۴ درصد است. بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۹۱/۶۷ درصد محاسبه شد. تعداد تکرار از ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ تغییر داده شد. که با تعداد تکرار ۱۱۰۰۰ کمترین مقدار خطا محاسبه شد. معمولاً الگوریتم پس‌انتشارخطا با نسبت یادگیری پایین بهترین جواب را می‌دهد (کیا، ۱۳۸۹: ۲۲۹). با در نظر گرفتن اینکه نسبت ممتهم برای الگوریتم پس انتشار خطا معمولاً ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود، نسبت یادگیری از ۰/۱ تا ۰/۷ تغییر داده شد که با نسبت ۰/۱ بهترین جواب به‌دست‌آمد. تعداد نرون‌های لایه پنهان بین ۳ تا ۴۲ تغییر داده شدند که با ۱۴ نرون در لایه پنهان کمترین مقدار خطا حاصل شد. همچنین از یک نرون در لایه خروجی استفاده شد که با توجه به تابع فعال بکار رفته در شبکه طراحی شده بین صفر و یک متغیر است. ساختار نهایی شبکه ۱-۱۴-۸ یعنی ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۴ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده شد و بر اساس این ساختار پهنه‌بندی نهایی صورت گرفت.

بعد از ورود داده‌ها به شبکه عصبی مصنوعی، همه عوامل به‌صورت تصادفی بین ۰/۷- تا ۰/۷ وزن‌دهی شدند و آنگاه در مرحله آموزش با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط نرم‌افزار متلب هر عامل دارای وزن جدیدی شد که از این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده می‌شود. پس از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات موردنیاز برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده، همچنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده‌شده است تا تحلیل منطقی در مورد اطلاعاتی که قبلاً با آن‌ها مواجه نشده است را انجام دهد و پیش‌بینی و شبیه‌سازی لازم صورت پذیرد. بدین منظور با استفاده از وزن‌های مرحله پایانی مربوط به آموزش شبکه، کل منطقه که

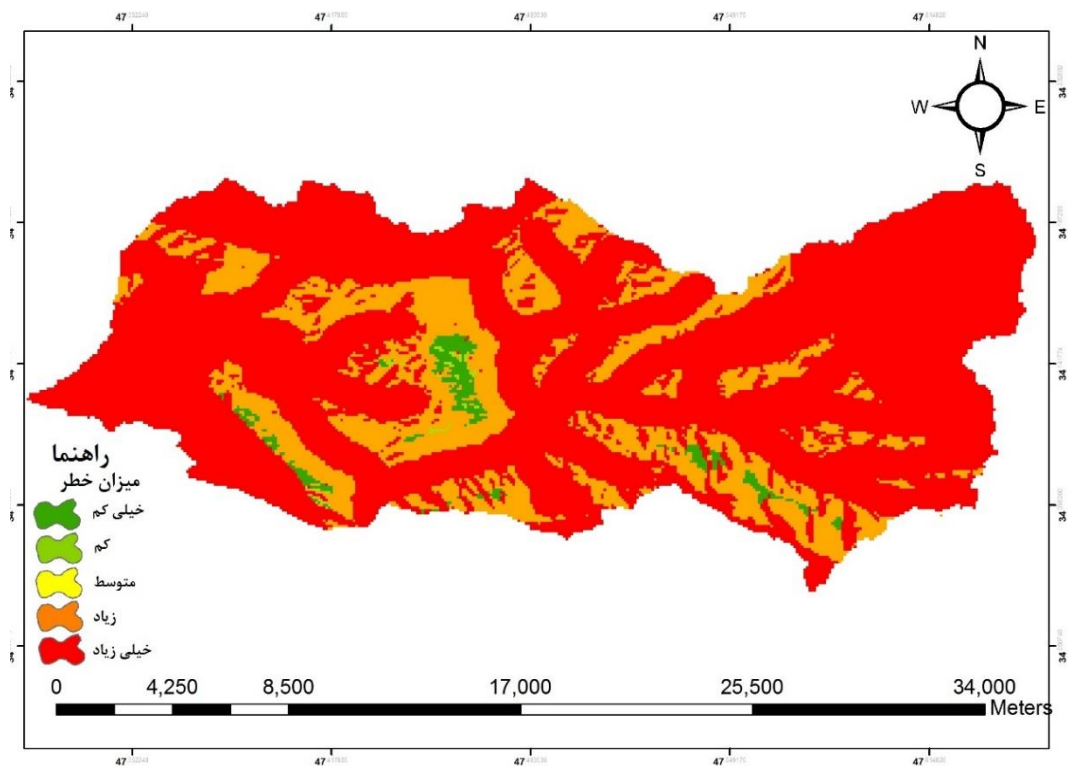
<sup>۱</sup> Caniani

شامل ۱۱۴۲ پیکسل و هر کدام از پیکسل‌ها دارای ۸ ویژگی مربوط به ۸ عامل تأثیرگذار بر زمین‌لغزش بود در اختیار شبکه قرار گرفت. پس از انجام تحلیل بر روی این داده‌ها توسط شبکه، برای هر کدام از پیکسل‌ها مقداری بین صفر و یک به دست آمد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر با اختلاف ۰/۲ به ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۲).

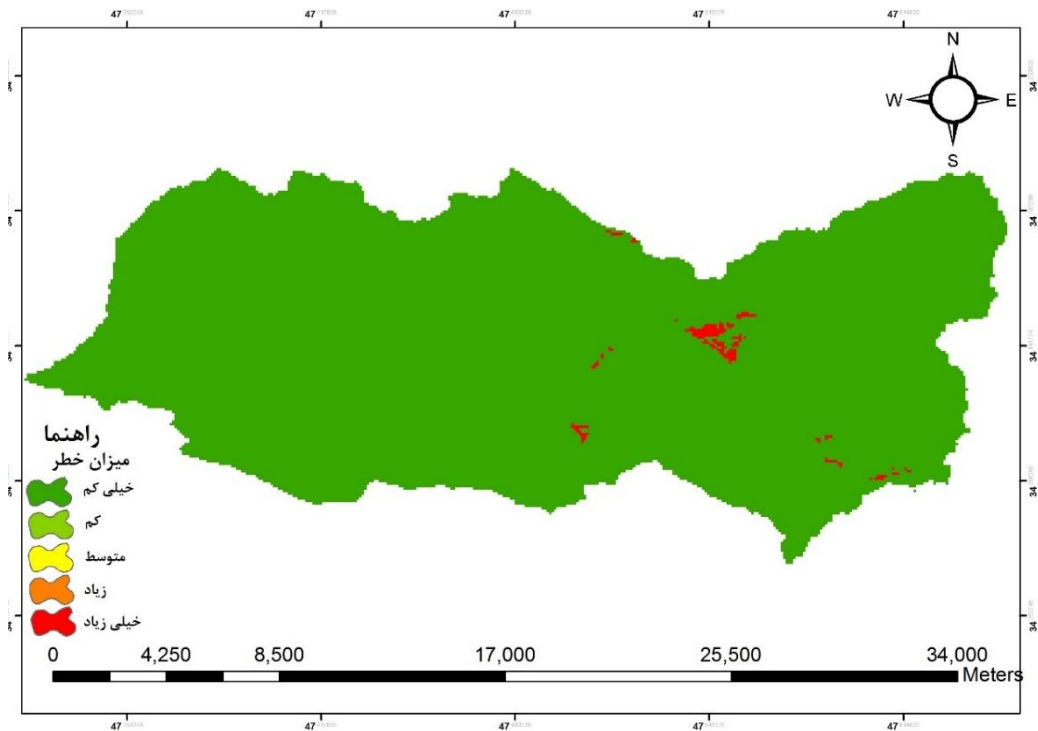


شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه سیمره چنار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

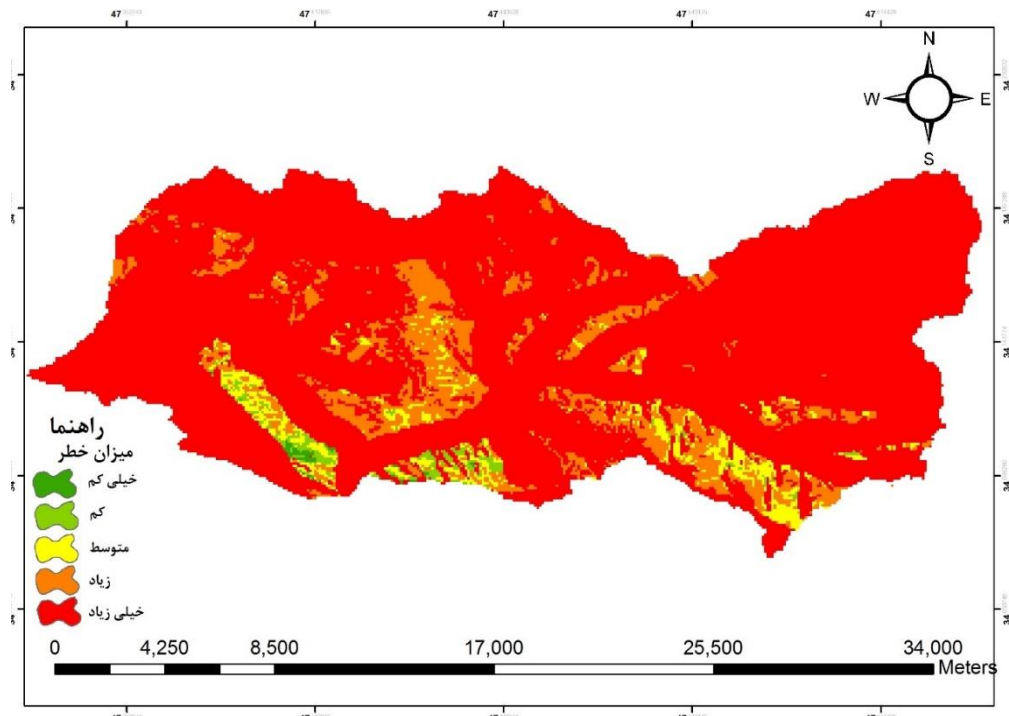
جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل منطق فازی در حوضه سیمره چنار از اپراتورهای عملگر اجتماع فازی، عملگر اشتراک فازی، عملگر ضرب جبری فازی، عملگر جمع جبری فازی، عملگر گاما فازی مدل منطق فازی استفاده شد. عملگر اجتماع فازی اجتماع مجموعه‌هاست. نتیجه حاصل از این عملگر حداکثر درجه عضویت اعضا را تولید کرد به همین خاطر از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نبود. عملگر اشتراک فازی اشتراک مجموعه‌هاست. این عملگر حداقل درجه عضویت‌ها را استخراج کرد. نتایج به دست آمده از این عملگر در طبقه‌های با خطر پایین قرار گرفت. نتیجه حاصل از عملگر ضرب جبری فازی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر نزدیک می‌شوند. این عملگر از حساسیت بالایی در مکان یابی برخوردار است. عملگر جمع جبری فازی مکمل اپراتور ضرب جبری است. بدین خاطر در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت حداکثر نزدیک می‌شوند. در نتیجه حاصل از این عملگر پیکسل‌ها به سمت حداکثر (خطر خیلی زیاد) نزدیک می‌شوند (شکل‌های ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳).



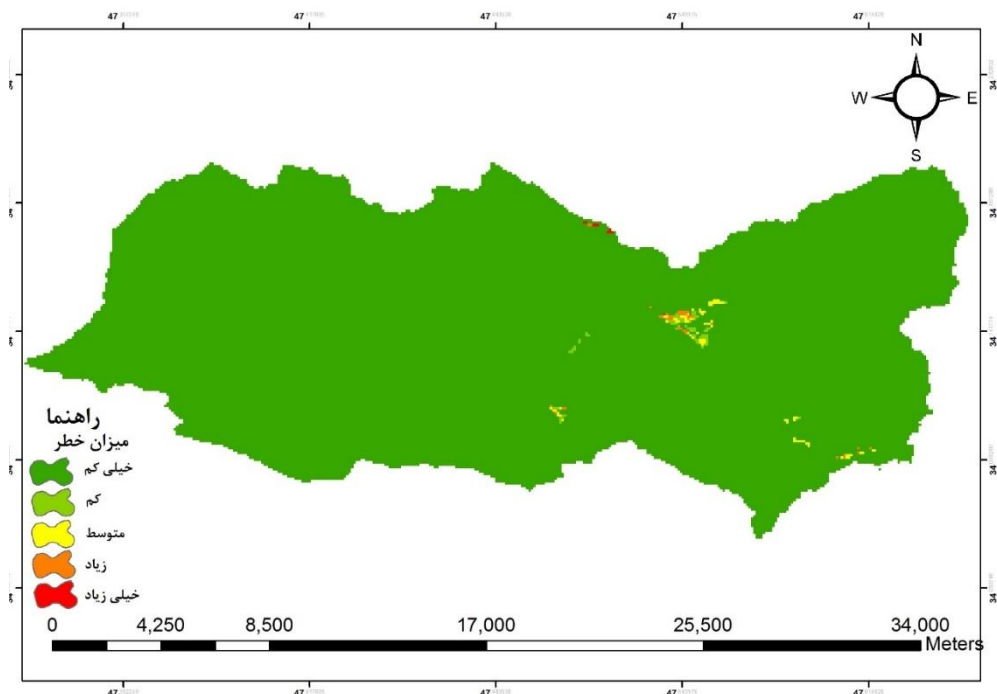
شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی خطرزمین لغزش در حوضه آبریزسیمره چنار با استفاده از عملگر اجتماع فازی



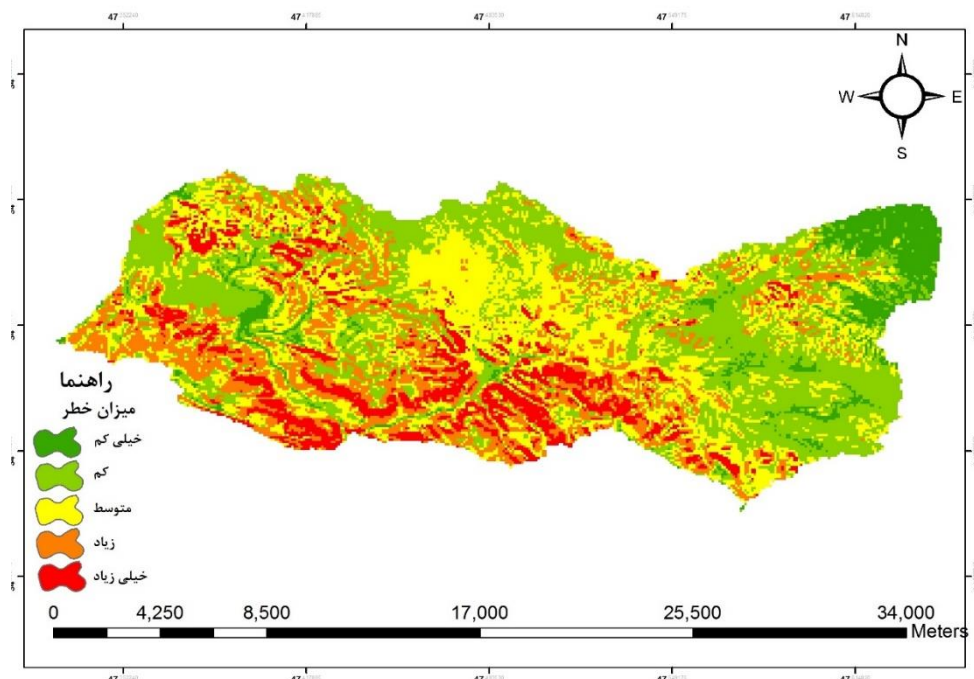
شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی خطرزمین لغزش در حوضه آبریزسیمره چنار با استفاده از عملگراشتراک فازی



شکل ۱۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمره چنار با استفاده از عملگر جمع جبری فازی



شکل ۱۶: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمره چنار با استفاده از عملگر ضرب جبری فازی  
به منظور تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گاما فازی  $0/9$ ، استفاده شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر حاصل از عملگر گاما فازی  $0/9$  با اختلاف  $0/2$  به  $5$  پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. (شکل ۱۷).



شکل ۱۷: نقشه پهنه‌بندی خطرزمین لغزش در حوضه آبریزسیمره چناربا استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۹ بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از عملگر گامای فازی، به ترتیب ۵/۸۷، ۳۳/۶۰، ۳۷/۵۴، ۲۰/۳۰ و ۲/۶۹ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۲).  
جدول ۲: درصد مساحت پهنه‌های لغزشی در حوضه سیمره چنار با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی

کلاس‌های خطر	درصد مساحت با مدل شبکه عصبی	درصد مساحت با مدل منطق فازی (عملگر گامای فازی ۰/۹)
خیلی کم	۱۰/۱۲	۵/۸۷
کم	۲۲/۹۲	۳۳/۶۰
متوسط	۳۱/۰۴	۳۷/۵۴
زیاد	۲۰/۷۶	۲۰/۳۰
خیلی زیاد	۱۵/۱۶	۲/۶۹

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر زمین لغزش از ضریب آماری کاپا استفاده شده است. بدین منظور ابتدا ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مربوط به هرکدام از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل منطق فازی تشکیل شد. سپس با استفاده از روابط ۱۱ تا ۱۳ توافق مشاهده‌ای و توافق پیش‌بینی و ضریب کاپا محاسبه شد (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳: ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی

	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط بدون لغزش
تعداد نقاط لغزشی	۸۴	۶
تعداد نقاط بدون لغزش	۱۱	۷۹

توافق مشاهده‌ای برای مدل شبکه عصبی مصنوعی ۰/۹۱، توافق پیش‌بینی شده ۰/۴۸ و ضریب کاپا ۰/۸۳ بدست آمد.

جدول ۴: ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل منطق فازی

	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط بدون لغزش
تعداد نقاط لغزشی	۸۱	۹
تعداد نقاط بدون لغزش	۱۳	۷۷

توافق مشاهده‌ای برای مدل منطق فازی ۰/۸۸، توافق پیش‌بینی شده ۰/۵۰ و ضریب کاپا ۰/۶۶ بدست آمد.

### نتیجه‌گیری

برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از ضریب آماری کاپا همراه با تعدادی از نمونه‌های واقعی زمین لغزش‌های موجود در حوضه استفاده شد.

ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی با ضریب آماری کاپا ۰/۹۱ نسبت به مدل منطق فازی با ضریب کاپا ۰/۸۸ از دقت بیشتری در پیش‌بینی خطر زمین لغزش در حوضه سیمره چنار برخوردار است (جدول ۳ و ۴). بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۱۰/۱۲، ۲۲/۹۲، ۳۱/۰۴، ۲۰/۷۶، ۱۵/۱۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

در این مطالعه نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان داد (جدول ۱) بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب ۳۵-۲۵ درجه اتفاق افتاده است. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که این جهات تأثیر متفاوتی بر وقوع زمین لغزش‌ها دارند. در حوضه سیمره چنار بیشترین حساسیت به زمین لغزش در جهات شمال غربی و جنوب شرقی وجود دارد. نتایج بدست آمده از جدول (۱) نشان می‌دهد که در سازندهای حاوی سنگ‌های مارنی و آهکی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیشتر است. نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان از آن است که بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی کشاورزی دیم وجود دارد که علت آن را می‌توان در نقش انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جستجو کرد. بعد از اراضی کشاورزی دیم بیشترین حساسیت در برابر لغزش مربوط به واحد مراتع و درخت‌های پراکنده است.

بررسی خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت نسبت به خطر زمین لغزش در رگه‌های سنگی و آنتی سول‌ها بوده است. بررسی نتایج به دست آمده از پهنه‌های هم بارش بیانگر این است که با افزایش بارندگی حساسیت به وقوع زمین لغزش بیشتر می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد و بیشترین حساسیت به وقوع زمین لغزش در طبقه ۰ تا ۱۰۹۷ متری فاصله از گسل وجود دارد. نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای بر هم زدن تعادل شیب، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقه ۱۰۰-۰ متری وجود دارد.

### منابع

- احمدی، حسن؛ محمدخان، شیرین؛ فیض‌نیا، سادات؛ قدوسی، جمال، ۱۳۸۴، ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸ صص. ۳-۱۴.
- اشقلی فراهانی، علی، ۱۳۸۰، ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، صص. ۱۴۲.
- بلواسی، ایمانعلی؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ ولیزاده کامران، خلیل، ۱۳۹۴، مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی خطر زمین لغزش، دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۲، صص. ۲۵۰-۲۲۵.
- راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشالله؛ عبدالملکی، پرویز؛ گیاهچی پاتنه، ۱۳۸۶، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه بندی خطر

- زمین‌لغزش، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۳(۱) صص. ۵۷-۶۴.
- روستایی، شهرام؛ احمدزاده، حسن، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده‌ی تبریز- مرند با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۱، صص. ۴۷-۵۸.
  - سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ الستر، نهند، فیروزآباد و قلعه حاتم.
  - سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد.
  - سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ همدان.
  - سازمان هواشناسی لرستان، آمار بیست ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک.
  - سپهوند، علی‌رضا، ۱۳۸۹، پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بخشی از حوزه آبخیز هراز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
  - سوری، سلمان؛ لشگری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۵ شماره ۲، صص. ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
  - شادفر صمد؛ یمانی مجتبی؛ غیومیان جعفر، ۱۳۸۶، پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۵ صص. ۱۱۸-۱۲۶.
  - شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ نمکی، محمد، ۱۳۸۴، پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LENR در حوضه چالکرو، مجله آب و آبخیز، ۳ صص. ۶۲-۶۸.
  - شیرانی، کوروش؛ سیف، عبدالله، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان فریدون‌شهر با استفاده از روش‌های آماری، مجله علوم زمین، سال بیست و دوم، شماره ۸۵، صص. ۱۵۸-۱۴۹.
  - علی‌محمدی، صفیه؛ پاشایی اول، عباس؛ شتایی جویباری، شعبان؛ پارسایی، لطف‌الله، ۱۳۸۸، ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سید کلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، دوره شانزدهم، شماره اول، صص. ۷۸-۵۹.
  - فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ غیومیان، جعفر، ۱۳۸۲، ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، شماره ۱۱، صص. ۴۷-۲۸.
  - فیض‌اله پور، مهدی، ۱۳۹۱، پهنه بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، تبریز.
  - فیض‌نیا، سادات؛ کلارستانی، عطاالله؛ احمدی، حسن، ۱۳۸۳، بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۱) صص. ۳-۲۰.
  - قدسی پور، سید حسن، ۱۳۸۸، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
  - کرم، عبدالامیر، ۱۳۸۰، مدل‌سازی کمی و پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین خورده، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۳۵۴.
  - کورکی نژاد، محمد، ۱۳۸۰، مقایسه کارایی دو مدل پهنه بندی خطر زمین‌لغزش (حائری و مورا) با استفاده از ساج در حوضه آبخیز سیاه رودبارگران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص. ۲۴.
  - کیا، مصطفی، ۱۳۸۹، شبکه‌های عصبی در متلب، انتشارات کیان رایانه سبز، ص. ۲۲۹.
  - محمدی، محمدرضا، ۱۳۸۶، تحلیل خطر حرکات توده‌ای و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب بخشی از حوضه آبخیز هراز با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ص. ۷۹.
  - مرادی، حمیدرضا؛ سپهوند، علی؛ عبدالمالکی، پرویز، ۱۳۸۹، بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
  - موسوی‌خطیر، سیده زهره؛ کاویان، عطا‌الله؛ سلیمانی، کریم، ۱۳۸۹، تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز

- سجارود با استفاده از رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳، صص. ۹۹-۱۱۲.
- معاریان حسین، ۱۳۷۴، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.
  - منهاج، محمدباقر، ۱۳۸۱، مبانی شبکه های عصبی، انتشارات صنعتی امیرکبیر، ص. ۷۱۵.
  - ناجی، سیدمحمود، ۱۳۸۵، پهنه بندی خطر لغزش در محور ساری-کیاسر، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص. ۸۶.
  - نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ طالبی، علی؛ آرخی، صالح؛ مختاری، محمدحسین، ۱۳۸۹، ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره در پیش بینی خطر زمین لغزش در حوضه سد ایلام، مجله علمی و پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران سال ۴، شماره ۱۰، بهار صص. ۹-۲۰.
  - یمانی، مجتبی؛ حسن پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل؛ شادمان رود پستی، مجید، ۱۳۹۱، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS: جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی، ۴۸، شماره ۴، صص. ۳۴-۵۶.
  - Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F., Rampini, A. 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster- shafer approaches, *Natural Hazards*, 17, 77-97.
  - Biswajeet Paradhan, 2010, *Remote sensing and GIS based Lanslid hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test ares in Malaysia.*
  - Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A., 2008: *Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, Natural Hazards*, 45:55-72.
  - Chau, K.T and J. E. Chan. 2005. *Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island. Landslides* 280-290.
  - Felicisimo, A., Cuartero, A., Remondo, J., Quirós, E., 2013. *Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study, J of Landslide*, 10:175-189.
  - Gomez, H., Kavzoglu, T., 2005, *Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology*, 78: 11-27.
  - Hattanji, T., & Moriwaki, H., (2009), *Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides. Journal of Geomorphology*, No, 103, Pp. 447-454.
  - Hosainezadeh. M., M. Servati., A. Mansouri., B. Mirbagheri., S. Khezri., 2009. *Zoning risk of mass movements using a logistic regression model (case study: the path of the Sanandaj - Dehgolan). journal of Iran Geology* 11, 27- 37.
  - Kanungo, D., Arora, M., Sarkar, S., and Gupta, R., 2006, *A Comparative Study of Conventioonal, ANN Blak Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Proccedures for Landslide Suceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, engineering Geology*, Vol. 85, pp. 347-366.
  - Komac, M. 2006. *A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia.*
  - Van Western, C. J. 1997. *Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for windows applications guide. ITC publication, Enscheda*, 73-84.
  - Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., Li, R.H. 2004. *Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. Engineering Geology*, 76, 109-128.
  - Lee S., Ryu J. H., Lee M. J., Won J. S., 2006: *The Application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea, Mathematical Geology*, 38(2): 199-220.



- Lee, S., Ryu. J. H., Kim, L. S., 2009, *Landslide susceptibility analysis and its verification using likelihood ratio, logistic regression, and artificial neural network models: case study of Youngin, Korea*, *Landslide*, 4:327-338.
- Lee, S., Ryu. J. H., Won, J.S., Park, H. J., 2004, *Determination application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network*, *Engineering Geology*, 71: 289-302.
- Melchiorre C., Matteucci M., Azzoni A., 2008: *Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation*, *Geomorphology*, 94: 379–400.
- Pradhan, B., Lee, S., 2009, *Landslide risk analysis using artificial neural networks model focusing on different training sites*, *International Journal of Physical Sciences*, 4: 001-015.
- Yilmaz, I., 2010, *Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from kat landslides (Tokat-Turkey)*, *Computers and Geosciences*, 35: 1125-1138.