

ارزیابی خطرپذیری زمین لغزش در زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای

سعید مددی^۱

علی رهبر^۲

نورالدین میثاق^۳

چکیده

زیرساخت‌های حیاتی همواره در معرض خطرات ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. زمین لغزش از جمله مخاطرات طبیعی است که همه ساله خسارت‌های قابل توجهی در مناطق مستعد به زیرساخت‌های حیاتی وارد می‌نماید. رشد سریع جمعیت، گسترش شهرها در نواحی کوهستانی، مشکل بودن پیش‌بینی زمان رویداد زمین لغزش و متعدد بودن عامل‌های مؤثر در رویداد این پدیده، ضرورت ارزیابی میزان خطرپذیری آن را در مناطق و زیرساخت‌های حیاتی مختلف را آشکار می‌سازد.

این پژوهش به دنبال آن است که با استفاده از قابلیت‌های الگوریتم شبکه عصبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روشی را برای ارزیابی خطرپذیری مخاطره طبیعی زمین لغزش در زیرساخت حیاتی حمل و نقل جاده‌ای در منطقه مرزن‌آباد ارائه نماید. در این راستا در گام نخست عوامل مؤثر در زمین لغزش با استفاده از مطالعات اسنادی و نظرات کارشناسان شناسایی شدند. در ادامه عوامل مذکور با استفاده از توابع موجود در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی از اطلاعات خام منطقه مورد مطالعه، استخراج و به عنوان ورودی الگوریتم شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه خطرپذیری نهایی خروجی زمین لغزش در منطقه مرزن‌آباد حاکی از آن است که حدود ۱۴٪ از زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه در محدود خطرپذیری خیلی زیاد، ۲۴٪ در محدوده خطرپذیری زیاد، ۳۵٪ در محدوده خطرپذیری متوسط، ۲۲٪ در محدوده کم و ۵٪ در محدوده خطرپذیری خیلی کم قرار دارد.

۱. دانشجوی دکتری رشته حفاظت ملی دانشگاه اطلاعات و امنیت ملی. S.madadiII@ut.ac.ir

۲. عضو هیئت علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۳. دانشجوی دکتری سنجش از راه دور دانشگاه تهران

نتایج تحقیق مشخص نشان می‌دهد که شبکه عصبی $1 \times 8 \times 9$ با همبستگی $0/90$ با داده‌های آزمون و با همبستگی $0/95$ و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برابر با $0/05$ توانسته است بهتر از سایر الگوهای عصبی آموزش دیده و خروجی‌ها را تولید نماید و نقشه میزان خطرپذیری زیرساخت موجود در منطقه را ارائه نماید. نتایج به دست آمده در این پژوهش، کارایی ترکیب شبکه عصبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی را در ارزیابی خطرپذیری مخاطرات طبیعی زمین‌شناختی در زیرساخت‌های حیاتی را با دقت قابل قبولی تأیید می‌نماید.

کلمات کلیدی: مخاطرات طبیعی، زیرساخت حیاتی، خطرپذیری، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شبکه عصبی

۱- مقدمه

زیرساخت‌های حیاتی^۱ به سامانه‌ها، خدمات و امکانات ضروری اطلاق می‌شود که برای چرخه روان زندگی روزمره مردم یک جامعه حیاتی هستند. اهمیت زیرساخت‌های حیاتی در نقش آفرینی آن در پشتیبانی از ثبات اقتصادی، سلامت عمومی، ایمنی و امنیت است. هرگونه اختلال یا تخریب این سامانه‌ها می‌تواند منجر به عواقب مهمی مانند رکود اقتصادی، تهدید سلامت عمومی و چالش‌هایی برای امنیت ملی شود؛ بنابراین، اطمینان از انعطاف‌پذیری و امنیت زیرساخت‌های حیاتی برای حفظ رفاه اجتماعی و جلوگیری از بحران‌های احتمالی بسیار مهم است. از آنجایی که بیشتر عملکردهای جامعه وابستگی شدیدی به عاملیت زیرساخت‌های حیاتی دارد، هرگونه اختلال در کارکرد یکی از زیرساخت‌ها می‌تواند منجر به ایجاد پیامدهای مخرب در سایر زیرساخت‌های وابسته و به تبع آن در کل جامعه گردد؛ از این رو، حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی به یکی از اولویت‌های تحقیقاتی قرن بیست و یکم تبدیل شده است (میریوسفی و غفارپور، ۱۳۹۹).

امروزه زیرساخت حیاتی در معرض تهدیدات متنوعی از قبیل مخاطرات طبیعی، انسانی و یا فرسودگی هستند که می‌توانند موجب بروز اختلالات جدی در عملکرد

1. critical infrastructures

زیرساخت‌ها و متعاقب آن، اثرات آبشاری مخربی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و رفاهی جامعه شوند؛ بنابراین، شناسایی، ارزیابی میزان خطرپذیری^۱، حفظ و نگهداری زیرساخت‌ها در برابر عوامل تهدیدکننده و شرایط مخرب، ضرورت و اهمیت ویژه می‌یابد (حسینعلی بیکی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۰۷). یکی از مخاطرات طبیعی که همواره زیرساخت‌های حیاتی را تهدید می‌کند، مخاطرات طبیعی با منشأ زمین‌شناختی از قبیل زلزله، زمین‌لغزش و غیره هستند. پدیده زمین‌لغزش یکی از عمده بلایای طبیعی است که همه‌ساله موجب تخریب و خسارت زیادی به زیرساخت‌های حیاتی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها، جنگل‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و... شده و خسارات مالی و جانی زیادی را با خود به همراه دارد. بر اساس آمارهای منتشرشده در طول سال‌های اخیر، بیش از ۲۳۰۰ زمین‌لغزش در ایران ثبت شده است. این آمار نشان‌دهنده پراکندگی و تأثیر گسترده زمین‌لغزش‌ها در مناطق مختلف کشور است که اهمیت مدیریت ریسک و اقدامات پیشگیرانه را مضاعف و برجسته می‌نماید (رستگار، ۱۳۹۹). بهترین روش برای کاهش زمین‌لغزش و تبعات آتی آن، ارزیابی خطرپذیری و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. این روش به عنوان یک ابزار قدرتمند، الگوهای بهینه کاربری اراضی را ارائه می‌دهد تا بدین وسیله از توسعه کاربری‌ها به سمت نواحی حادثه‌ساز، ایجاد زیرساخت‌های جدید در مناطق پرخطر و تحمیل خسارت‌های مالی و جانی در آینده جلوگیری شود و تمهیدات لازم برای حفاظت از زیرساخت‌ها و اماکن در معرض خطر نیز به عمل آید (Cascini, 2005). به دلیل نیاز جوامع مختلف و با توجه به تغییرات سریع در سطح زمین از لحاظ کارکردی، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته دسترسی به داده و اطلاعات نظیر داده‌های سنجش از دور و نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای تهیه نقشه‌های بروز شده و منطبق با شرایط روز اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های متعددی برای ارزیابی خطرپذیری و همچنین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد. به طور کلی این روش‌ها به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم پهنه‌بندی بر اساس قضاوت‌های متکی بر مناطق لغزش یافته صورت می‌گیرد ولی روش‌های غیرمستقیم که این تحقیق

نیز از آن جمله است بر اساس شناسایی عوامل کنترل‌کننده و تلفیق این عوامل به عنوان معرف‌های پتانسیل زمین لغزش، در پهنه‌بندی است.

ازجمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های پیشنهادی وارسون، مورا، نیلسن و روش‌های دیگر ازجمله ANN، FR، AHP، LR که متناسب با مناطق مختلف به کار برده می‌شود نام برد (Young, 2008). امروزه پیاده‌سازی روش‌های پتانسیل‌یابی معمولاً در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام می‌گیرد؛ زیرا GIS دستیابی به عملیاتی ویژه شامل جمع‌آوری، سازمان‌دهی، پردازش و تجزیه تحلیل، ترکیب، جست‌وجو، پیش‌بینی و نمایش داده‌های متنوع و حجیم مکان مرجع را فراهم می‌آورد. یکی از بزرگ‌ترین مزایای برنامه‌های GIS قابلیت آن‌ها در انجام آنالیزهای مکانی - توصیفی است. یک GIS با به کارگیری مجموعه ابزارهای تحلیل موجود در آن، می‌تواند این داده‌ها را باهم تلفیق کرده و امکان هم‌پوشانی و تغییر داده‌ها را به شکل یک نقشه برای آنالیز پتانسیل‌یابی زمین لغزش را فراهم سازد. مراحل الگوسازی مناطق با پتانسیل بالای زمین لغزش شامل تعیین عوامل مؤثر بر زمین لغزش، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های عامل، تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج است. برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در مناطق زمین لغزش، روش‌های مختلفی وجود دارد، به طور کلی این روش‌ها به سه روش داده‌مبنا، دانش‌مبنا و ترکیبی تقسیم می‌شوند. تخصیص ضرایب وزنی به نقشه‌ها یا توسط تحلیل اهمیت شواهد و پارامترهای مربوط به مناطق زمین لغزش با مناطقی که قبلاً مورد زمین لغزش قرار گرفته و شناخته شده‌اند، انجام می‌شود و یا با استفاده از قضاوت‌های کارشناسان صورت می‌گیرد. پیش‌بینی مکان و پهنه‌های زمین لغزش می‌تواند بر اساس روابط تجربی و به کمک الگوهای مفهومی با استفاده از معیارهای تأثیرگذار و مناطق زمین لغزش فعلی باشد، این نوع الگوسازی را الگوسازی داده‌مبنا می‌گویند. در این نوع الگوها، نقشه‌های ورودی گوناگون با استفاده از الگوهایی نظیر رگرسیون لجستیک، ماشین‌های بردار پشتیبان، وزن‌های نشانگر یا شبکه عصبی ترکیب می‌شوند. ازجمله روش‌های داده‌مبنا، الگوریتم‌های هوشمند شبکه‌های عصبی است. شبکه‌های عصبی توانایی بالایی در استخراج الگوها از میان داده‌ها و همچنین حل مسائل پیچیده با ماهیت طبیعی دارند (Del Frate et al, 2004). دقت اجرای این

شبکه‌ها در حالت وابستگی متغیرهای ورودی و حتی وجود نوفه در داده‌ها مناسب بوده و با امکان آموزش پذیری دوباره در هنگام ورود داده‌های جدید، انعطاف پذیری بالایی دارند. این شبکه‌ها قادرند با مدیریت حجم عظیم داده‌های ورودی و پردازش آن‌ها، تحلیل درستی از ارتباط میان آن‌ها و شواهد زمینی استخراج کنند و الگوها را تشخیص دهند؛ بنابراین شبکه‌های عصبی می‌توانند به عنوان روشی قابل اعتماد در تعیین مناطق پتانسیلی زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی روش داده‌مبنا بر اساس داده‌های مشاهده شده و تاریخی استوار بوده و از الگوهای آماری، یادگیری ماشین و تحلیل‌های مکانی برای شناسایی ارتباط بین عوامل مختلف و زمین لغزش استفاده می‌کند و به داده‌های دقیق و گسترده نیاز دارد. روش دانش‌مبنا متکی به دانش و تجربه کارشناسان است و از قضاوت‌های تخصصی برای وزن دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی بهره می‌گیرد، بنابراین در مناطقی با داده‌های کم یا کیفی کاربرد بیشتری دارد. روش ترکیبی تلاش می‌کند با ترکیب داده‌های آماری و قضاوت کارشناسانه، از مزایای هر دو روش بهره‌مند شود، به گونه‌ای که وزن دهی اولیه توسط دانش‌مبنا انجام شده و سپس تحلیل‌های دقیق‌تر با الگوهای داده‌محور صورت می‌گیرد.

بنابراین هدف اصلی این پژوهش، طراحی و به کارگیری یک الگوی GIS پایه با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند شبکه عصبی برای تشخیص میزان خطرپذیری و مناطق با پتانسیل بالای زمین لغزش منطقه و زیرساخت مورد مطالعه جهت ارائه راه کارهای مدیریتی مناسب برای مقابله با بحران ناشی از زمین لغزش، کاهش خسارت به زیرساخت حیاتی و بهبود وضعیت زیست محیطی است.

۲- مفاهیم نظری و پیشینه تحقیق

زیرساخت‌های حیاتی

اصطلاح زیرساخت حیاتی (CI) به سامانه‌ها، دارایی‌ها، امکانات و شبکه‌هایی اطلاق می‌شود که خدمات ضروری را ارائه می‌کنند و برای امنیت ملی، امنیت اقتصادی، رفاه و سلامت و ایمنی کشورهای مربوطه ضروری هستند. درحالی‌که تعریف پذیرفته شده‌ای از زیرساخت‌های حیاتی وجود ندارد، همه تعاریف بر نقش کمک‌کننده یک زیرساخت،

به جامعه یا اثر تضعیف‌کننده آن در صورت بروز هرگونه اختلال تأکید می‌کنند. ویژگی مشترک دیگر در زیرساخت‌های حیاتی این است که ساختار پیچیده و وابستگی متقابل آن‌ها به یکدیگر دارند که باعث می‌شود که مسئله شکست‌های آبشاری با خود به همراه می‌آورند. اتحادیه اروپا تعریف زیر را از زیرساخت حیاتی ارائه نموده است:

«زیرساخت حیاتی» به معنای دارایی، تسهیلات، تجهیزات، شبکه یا سامانه، یا بخشی از دارایی، تأسیسات، تجهیزات، شبکه یا سیستم است که برای ارائه خدمات ضروری نیاز است. دارایی، سامانه یا بخشی از آن واقع در کشورهای عضو که برای حفظ عملکردهای حیاتی اجتماعی، سلامت، ایمنی، امنیت، رفاه اقتصادی یا اجتماعی افراد ضروری است و اختلال یا تخریب آن تأثیر قابل توجهی در یک کشور عضو در نتیجه شکست در حفظ آن وظایف می‌گذارد (EU, 2022). زیرساخت حیاتی مورد مطالعه در این پژوهش، زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای است. زیرساخت‌های حمل و نقل جاده‌ای نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها دارند. این شبکه‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی یک کشور عمل می‌کنند و ارتباط بین مناطق مختلف را فراهم می‌آورند و به عنوان بخشی حیاتی از سیستم حمل و نقل یک کشور، نقش کلیدی در پیوند بین تولید و مصرف و در نهایت، در پیشرفت و رشد پایدار اقتصادی کشور ایفا می‌کنند. در طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی سازمان پدافند غیرعامل، زیرساخت به مجموعه‌ای از مراکز و تأسیسات زیربنایی و شریان‌های عمده که خدمات و نیازهای ضروری و اساسی کشور را به مردم و جامعه ارائه می‌کند، اطلاق می‌گردد؛ زیرساخت مشتمل بر فرابخش، حوزه، بخش، زیربخش، دارایی و اجزاء آن است. نظام فنی-تخصصی حفاظت از زیرساخت‌های کشور سازمان پدافند غیرعامل نیز هریک از عناصر اصلی شکل‌دهنده زیرساخت‌ها را مطابق طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های کشور بدین شرح معرفی می‌کند: انرژی، آب، غذا و کشاورزی، حمل و نقل، بهداشت و سلامت، دفاعی و امنیتی، صنعت، رسانه، هسته‌ای، فضا، جمعیت، حاکمیتی، خدمات ضروری و فوریتی، پولی و مالی، ارتباطات و فناوری اطلاعات.

مخاطرات طبیعی

پدیده‌هایی با منشأ طبیعت هستند که در صورت رخداد می‌توانند باعث مرگ، مصدومیت یا دیگر تأثیرات سوء بر سلامت، آسیب به اموال، معیشت و خدمات، ازهم‌گسیختگی اجتماعی و اقتصادی یا آسیب زیست‌محیطی شوند. به‌طورکلی نتایج رخداد مخاطرات طبیعی در پنج دسته زیر خلاصه می‌شود:

➤ اثرات سلامتی (مرگ، آسیب و جراحت افراد)

➤ تخریب زیرساخت‌ها و دارایی‌ها

➤ مشکلات اقتصادی

➤ آسیب به محیط زیست

➤ اختلال در ارائه خدمات

مخاطرات طبیعی به پنج دسته کلی شامل؛ مخاطرات با منشأ زمین‌شناختی، مخاطرات مرتبط با آب، مخاطرات مرتبط با هواشناسی، مخاطرات اقلیمی و مخاطرات زیستی تقسیم می‌شوند (شهرستانکی، ۱۳۹۸). مخاطره‌ای که در این پژوهش مورد نظر است، مخاطرات زمین‌شناختی با تمرکز بر پدیده زمین لغزش است که معمولاً منشأ آن‌ها بخش جامد زمین است.

زمین لغزش^۱

بنا به تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی (IAEG)^۲، زمین لغزش عبارت است از جابه‌جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب و اصطلاحی است که دربرگیرنده کلیه انواع حرکات دامنه‌ای بوده و عموماً به کلیه رویدادهایی گفته می‌شود که در اثر ناپایداری در دامنه‌ها اتفاق افتاده و سبب جابه‌جایی توده‌ای از مواد در طول دامنه می‌شود (Cornforth, 2005). این اصطلاح دربرگیرنده کلیه فرایندهایی است که منجر به حرکت توده‌ای از مواد شامل سنگ، خاک، یا ترکیبی از آن‌ها به سمت پایین دامنه می‌شود (Cruden, 1991). فرایندهای فوق سبب حرکت مواد به صورت لغزش، واژگونی، جریان، ریزش، خزش و گسترش جانبی می‌شوند، گاهی این حرکات چنان سریع هستند

1. Landslide

2. International Association for Engineering Geology

که سرعت آن‌ها به ده‌ها کیلومتر در ساعت می‌رسد و گاهی چنان آهسته هستند که جز با گذشت زمان و از روی شواهد نشان‌دهنده حرکت، نمی‌توان به وجود حرکت پی برد.

خطرپذیری

مروری بر ادبیات مرتبط با درزمینه پدافند غیرعامل و ارزیابی خطرپذیری نشان می‌دهد که کلمه خطرپذیری به روش‌های مختلف و با معانی گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است و به تبع آن با روش‌های مختلفی مورد ارزیابی و سنجش قرار می‌گیرد (حیکم‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۲). خطرپذیری به عنوان فرصت ایراد خسارت به یک شخص، یا یک دارایی با ارزش، از طریق وقوع یک حادثه یا اقدام خصمانه است. خطرپذیری عبارت است از احتمال اینکه دشمن با یک تهدید خاص از آسیب‌پذیری امنیتی موجود در یک هدف یا مجموعه‌ای از اهداف در برابر یک حمله موفقیت‌آمیز استفاده و پیامدهایی را به مجموعه تحمیل کند (نوراللهی و همکاران، ۱۳۹۴). مفهومی که از واژه خطرپذیری این پژوهش دنبال می‌کند، ارزیابی میزان آسیب و صدمه بالقوه از مخاطره طبیعی زمین لغزش در زیرساخت و منطقه مورد مطالعه بر اساس متغیرهایی از مطالعات اسنادی و نظرات خبرگان به دست آمده است، است. یا به عبارت دیگر ارزیابی احتمال آسیب دیدن زیرساخت مورد مطالعه از مخاطره طبیعی زمین لغزش.

پیشینه تحقیق

به‌طور کلی در ارزیابی خطرپذیری مخاطرات طبیعی، زیرساخت‌های حیاتی کمتر مورد توجه قرار گرفتند و این مورد را می‌توان به عنوان یکی از وجوه تمایز اصلی این پژوهش با موارد مشابه نام برد. غالباً محوریت مباحث این حوزه بر ارزیابی خطرپذیری مخاطرات طبیعی در حوزه شهری یا روستایی متمرکز بوده است؛ بنابراین، پیشینه این تحقیق را پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی خطرپذیری زمین لغزش تشکیل می‌دهند که غالباً با عنوان پهنه‌بندی زمین لغزش از آن یاد می‌شود.

پژوهش‌های مورد توجه‌ای در رابطه با پهنه‌بندی مناطق زمین لغزش با روش‌های مختلف از جمله شبکه‌های عصبی صورت گرفته است. از جمله، پلیکرتیس (۲۰۱۵)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است و به این نتیجه رسیده

است که شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک الگوی قابل اطمینان جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است و در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی به عنوان عوامل مؤثر در زمین لغزش شناسایی شدند. فینگ و همکاران (۲۰۱۸) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر اساس شبیه‌سازی عددی و ارزیابی خطر زمین لغزش پرداخته است. این مطالعه با استفاده از سنجش ازدور به تعیین پراکندگی خطر زمین لغزش در روستای شانگ پرداخته است. ایشان در این پژوهش الگویی را به منظور کاوش فرایندهای حرکت زمین لغزش و تعیین دامنه تأثیر ارائه نمودند و در نهایت ۱۳ توده زمین لغزش بالقوه را در منطقه مورد مطالعه شناسایی کرده‌اند که ۹۲ درصد آن‌ها در دامنه‌های ناپایدار با فعالیت زمین لغزش محدود قرار داشته‌اند. سالم و احمد (۲۰۲۰) به ارزیابی خطر مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از رویکرد الگوسازی مکانی پرداختند در این مطالعه با روش تحلیل سلسله مراتبی و وزن دهی به هفت عامل (زاویه شیب، سنگ‌شناسی، بارش، جهت شیب، کاربری/پوشش زمین، شاخص تمایز نرمال شده گیاهی و ارتفاع) منطقه مورد مطالعه به سه ناحیه منطقه حساسیت خطر بالا، منطقه حساس خطر متوسط و منطقه حساسیت کم خطر تقسیم‌بندی شده است. کورومیناس و گوزتی (۲۰۲۳) به توسعه استانداردهایی برای اصطلاحات تخصصی و روش‌های ارزیابی ریسک زمین لغزش پرداختند.

دهقان فاروجی و بیت‌اللهی (۱۳۹۹) به ارائه الگویی جهت ارزیابی خطرپذیری شهری در بلایای طبیعی پرداختند. ایشان با بررسی با الگوهای مختلف، الگویی را پیشنهاد دادند که مؤلفه‌های اصلی آن چندمخاطره‌ای بودن، تطابق کامل با متغیرهای خطرپذیری، جامع بودن، چندبخشی بودن، توجه و تمرکز بر همه المان‌های تحت خطر و توجه به مخاطرات ثانویه هستند. پژوهش‌های مرتبط با ریسک مخاطرات طبیعی غالباً با محوریت رتبه‌بندی و بررسی میزان تاب‌آوری و بیشتر در مناطق شهری و روستایی انجام شده است. در خصوص به‌کارگیری روش شبکه عصبی در پهنه‌بندی زمین لغزش نیز می‌توان به موارد مختلفی اشاره نمود. رجبی و همکاران (۱۳۹۹) از الگوی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای پهنه‌بندی زمین لغزش در حوزه آبریز الموت رود استان قزوین استفاده کردند. ایشان داده‌های اولیه را از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در ۷ لایه تهیه مورد استفاده قرار داده بودند و از ضریب کاپا برای صحت‌سنجی نتایج خود بهره بردند. انتظاری و کردوانی

(۱۴۰۱) از روش مبتنی بر GIS و داده‌های راداری برای پهنه‌بندی زمین لغزش در فریدن شهر استفاده کردند. ایشان برای ارزیابی خطر و پهنه‌بندی عوامل شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنا، فاصله تا گسل، فاصله تا آبراهه، لیتولوژی و پوشش گیاهی را مورد بررسی قرار داده بودند. در مطالعه لجم‌اورک و پیری (۱۴۰۲) به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و شناسایی عوامل مهم در ایجاد آن، از روش مبتنی بر GIS و الگوی تحلیل سلسله مراتبی در منطقه باغ‌ملک استفاده کردند. در این پژوهش ۹ عامل مؤثر در پدیده زمین لغزش شناسایی و با روش تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی گردیده است.

۳- مواد و روش تحقیق

۳-۱- مراحل تحقیق

مراحل انجام تحقیق را به صورت خلاصه می‌توان چنین بیان کرد:

- ۱- شناسایی معیارهای لازم برای ارزیابی خطرپذیری زمین لغزش در زیرساخت مورد نظر با مطالعه اسنادی و جمع‌آوری نظرات کارشناسی به روش مصاحبه عمیق
- ۲- جمع‌آوری داده‌های بر مبنای معیارهای شناسایی شده از جمله پوشش گیاهی، شیب، گسل، آبراهه و ...

- ۳- ایجاد نقشه‌های عامل پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از توابع GIS و تشکیل پایگاه داده

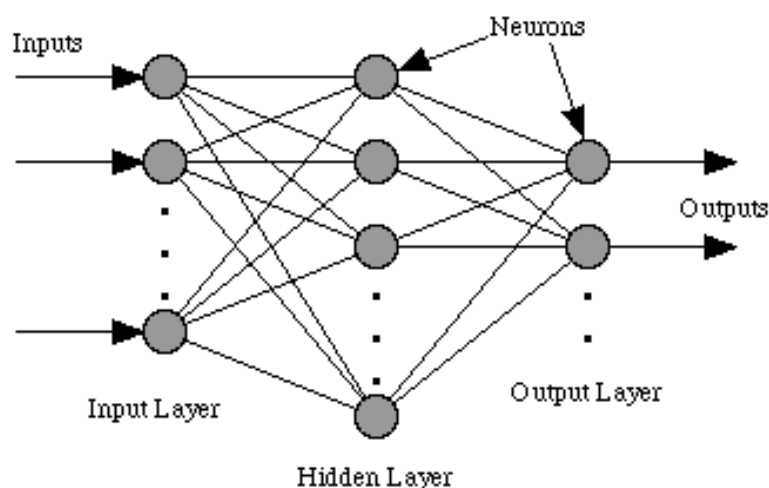
- ۴- ایجاد نقشه مناطق زمین لغزش منطقه مورد مطالعه به منظور استفاده در آموزش شبکه عصبی

- ۵- طراحی ساختارهای مختلف شبکه عصبی، اعتبارسنجی و انتخاب ساختار بهینه
- ۶- ایجاد نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش برای زیرساخت حیاتی منطقه مورد مطالعه با شبکه عصبی بهینه

۳-۲- الگوی شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی الگوهای پردازش اطلاعات توزیعی و موازی هستند که قادرند الگوهای خیلی پیچیده واقع در داخل اطلاعات موجود را تشخیص دهند. یکی از ساده‌ترین و درعین حال کارآمدترین چیدمان‌هایی که برای استفاده در الگوسازی عصب

واقعی پیشنهاد شده است، الگوی پرسپترون چندلایه یا به اختصار^۱ MLP است که از یک ورودی، یک یا چندلایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است (البرزی، ۱۳۸۰). عناصر اصلی شبکه عصبی نرون‌ها و نیروهای اتصال آن‌ها (وزن‌ها) هستند. نرون‌ها در داخل لایه‌ها گروه‌بندی می‌شوند و به‌طور معمول در یک شبکه چندلایه، یک لایه ورودی، یک یا چندلایه خروجی وجود دارد (شکل ۱). فاز آموزش یا یادگیری، یک نقطه شروع ضروری برای استفاده از شبکه عصبی است. این فرایند نیاز به الگوهای آموزشی دارد که شامل سیگنال‌های ورودی با سیگنال‌های هدف جفت شده با آن‌ها است. ورودی‌ها به شبکه داده می‌شوند و خروجی‌های مطابق با به حداقل رساندن خطای الگو، محاسبه می‌شوند. این خطا برابر با کل اختلاف بین خروجی‌های محاسبه‌شده و سیگنال‌های ورودی است. متداول‌ترین روش برای کاهش خطای الگو، الگوریتم پس انتشار با روش کاهش شیب است:



شکل ۱: نمایی از یک شبکه پرسپترون چندلایه

مراحل انجام الگوریتم پرسپترون چندلایه‌ای در زیر شرح داده شده است (منهاج، ۱۳۷۸). فرض کنید خروجی مطلوب الگوی در گره یا نرون و خروجی واقعی در آن نرون است. ضریب وزنی خط ارتباطی از نرون به نرون است. مقادیر اولیه ضرایب وزنی و آستانه‌ها را انتخاب می‌کنیم.

1. multilayer perceptron

تمام وزن‌ها و آستانه‌ها را برابر با اعداد کوچک تصادفی قرار می‌دهیم.

ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب را به شبکه عرضه می‌کنیم.

ورودی خروجی هدف را به شبکه عرضه می‌کنیم. تعداد عناصر بردارهای ورودی و مقدار عناصر بردارهای خروجی است. ضریب وزنی را برابر با منفی مقدار آستانه، و مقدار را برابر ۱ قرار می‌دهیم. اگر مسئله مورد نظر ما مسئله تداعی باشد و نمایانگر دو بردار تداعی شونده هستند. در مسئله طبقه‌بندی تمام عناصر برابر با صفر قرار داده می‌شود. مگر یکی از عناصر که برابر با ۱ است و آن طبقه‌بندی را نشان می‌دهد که در آن قرار دارد. خروجی را محاسبه می‌کنیم.

هر لایه مقادیر زیر را محاسبه کرده و به لایه بعدی انتقال می‌دهد.

$$y_{pj} = f \left[\sum_{i=0}^{n-1} w_i x_i \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

خروجی هر واحد برابر با میزان تابع آستانه است که بر جمع وزنی ورودی‌های آن واحد عمل می‌کند. این تابع در مورد پرسپترون تک لایه‌ای تابع پلکانی بود درحالی‌که در مورد پرسپترون چندلایه‌ای تابع سیگموید است.

ضرایب وزنی را میزان می‌کنیم. ابتدا از لایه خارجی شروع کرده و به عقب برمی‌گردیم.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_{pj} o_{pj} \quad \text{رابطه (۲)}$$

نشان‌دهنده ضرایب وزنی از گره به گره در زمان، ضریب بهره و نمایانگر خطای مربوط به الگوی در گره است. ضرب کردن ضریب بهره یا ضریب یادگیری کوچک‌تر از یک (۰/۹) - (۰/۱) در فرمول تغییر ضرایب وزنی باعث کند شدن سرعت تغییر ضرایب وزنی می‌شود و بدین صورت شبکه در گام‌های کوتاه‌تری به جواب نزدیک‌تر می‌شود.

$$\delta_{pj} = k o_{pj} (1 - o_{pj}) (t_{pj} - o_{pj}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

عبارت فوق برای واحدهای لایه خارجی مفید است، زیرا خروجی‌های مطلوب و خروجی‌های واقعی هردو معلوم‌اند، لیکن برای واحدهای لایه پنهان مناسب نیست، زیرا

مقدار خروجی‌های مطلوب آن‌ها در دسترس نیست؛ بنابراین برای واحدهای لایه پنهان، مقدار خطا بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\delta_{pj} = k o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{jk} \quad \text{رابطه (۴)}$$

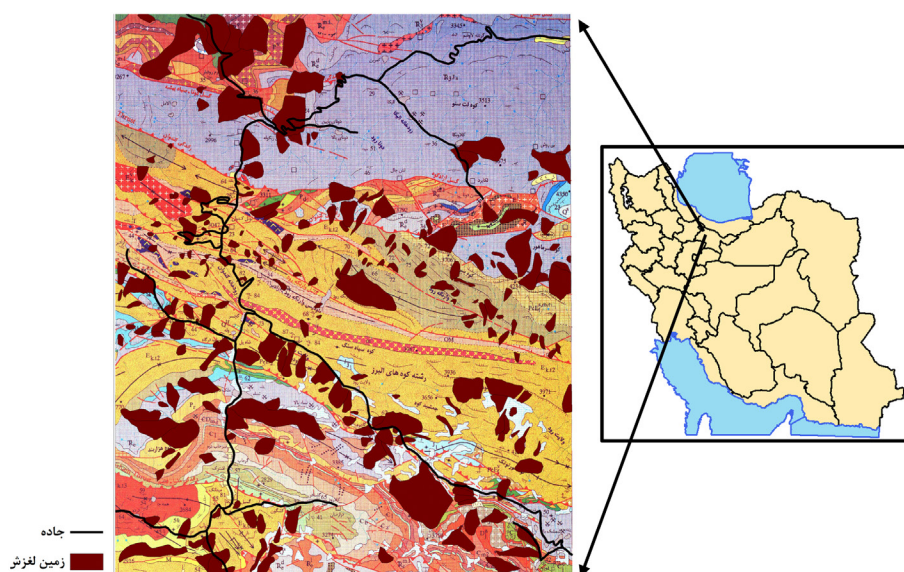
درحالی‌که عمل جمع در مورد واحد، واقع در لایه بعد از واحد صورت می‌گیرد.

۳-۳- زیرساخت و منطقه مورد مطالعه

زیرساخت مورد مطالعه، زیرساخت حمل‌ونقل جاده‌ای موجود در نقشه برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد است که هم شامل جاده بخشی از جاده چالوس و هم شامل قسمتی از آزادراه تهران - چالوس است. آزادراه تهران-شمال و جاده چالوس یکی از مهم‌ترین راه‌های ارتباطی میان استان تهران، البرز و شرق مازندران هستند و از پرتددترین مسیرهای داخلی کشور محسوب می‌شوند. احتمال وقوع زمین‌لغزش بر روی این جاده‌ها به دلیل عبور از میان رشته‌کوه‌های البرز بسیار زیاد است و زمین‌لغزش‌های متعددی به دلیل مستعد بودن این منطقه گزارش شده است از این رو بررسی خطر زمین‌لغزش بر روی قسمت‌های مختلف جاده و بزرگراه، از اهمیت بالایی برخوردار است. حوضه آبخیز مرزن‌آباد از جمله مناطقی است که به دلیل بازندگی فراوان و وجود تشکیلات زمین‌شناسی مساعد، رویداد زمین‌لغزش متعددی در آن گزارش شده است.

برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد با مختصات طول‌های جغرافیایی ۵۱ تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی در گوشه جنوب غربی آمل جای گرفته است (شکل ۲). پوشش گیاهی این منطقه منحصر به درختچه و گیاهان بوته‌ای است و فقط در بخش شمال شرقی همراره با کاهش ارتفاع، جنگل‌ها به تدریج ظاهر می‌شوند و به‌طور معمول در ارتفاعات بالای ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متر که اکثر سطح را تشکیل می‌دهند، درخت رشد نمی‌کند. شیب توپوگرافی دامنه‌های شمالی بسیار بیشتر از دامنه‌های جنوبی آن است (پورتال شهرداری مرزن‌آباد). منطقه مورد مطالعه دارای بلندی‌های پرشماری تا ارتفاع بیش از سه هزار متر است. در برخی نقاط و به پیروی از ساختار زمین‌شناسی کم‌و بیش خاوری - باختری البرز، در اثر گسله‌ها و رانندگی‌ها، الگوی

کوه - دره در چند نوبت تکرار شده است. انواع سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی در منطقه رخمون دارند. عملکرد فازهای مختلف زمین ساختی باعث بروز شکستگی‌های مختلف به صورت گسله‌های رانده، معکوس، نرمال، راست‌الغز و خطواره‌های فراوانی شده است که با برخورداری از پتانسیل شدید فرسایش، دره‌های عمیق را ایجاد کرده است. بدین ترتیب تراکم و گستردگی رودخانه‌ها در این بخش از البرز مرکزی زیاد است.



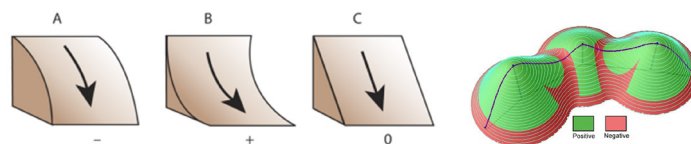
شکل ۲: موقعیت زیرساخت و منطقه مورد مطالعه

۴- ارزیابی خطرپذیری زمین لغزش در زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای منطقه مرزن‌آباد

۴-۱- شناسایی داده‌های مورد نیاز

در این مطالعه از داده‌ها و نقشه‌های متعددی استفاده شده است که شامل نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مرزن‌آباد تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه مناطق زمین لغزش رخ داده تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، نقشه توپوگرافی منطقه، الگوی رقومی ارتفاعی DEM تهیه شده از تصاویر استریو سنجنده استر با دقت ۳۰ متر و نقشه پوشش گیاهی منطقه با شاخص نرمال شده گیاهی NDVI که از تصویر ماهواره لندست سال ۱۳۹۰ برگرفته سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تولید می‌شود

(جدول ۱). در ایران و بسیاری از نقاط دیگر جهان، فاجعه‌آمیزترین و دل‌خراش‌ترین زمین‌لغزش‌ها با زلزله‌های شدید تحریک و آغاز می‌شوند. وقوع یک زلزله شدید نه تنها زمین‌لغزش‌های زیادی را به‌طور هم‌زمان تحریک می‌کند بلکه تا سال‌ها بعد نیز اثر خود را به‌صورت افزایش تعداد زمین‌لغزش‌ها در منطقه بر جای می‌گذارد (نیک‌اندیش، ۱۳۷۳). مطالعات انجام‌شده در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد چگونه پوشش گیاهی، اثرات مکانیکی و هیدرولوژیکی مثبت در پایداری دامنه‌ها از جمله استحکام و کنترل حرکت توده خاک، مقاومت در برابر فرسایش دامنه‌ای مثبت در پایداری دامنه‌ها و ... اعمال می‌کند (نیک‌اندیش، ۱۳۷۳). این مسئله به‌طور تجربی در بسیاری از مناطق لغزشی ایران مانند، گیلان، مازندران و چهارمحال و بختیاری، به‌وضوح به چشم می‌خورد. با توجه به اینکه ایستگاه‌های هواشناسی از منطقه دور هستند و در فرایند درون‌یابی، پهنه‌هایی بزرگ را ایجاد می‌کنند، در نتیجه تأثیر زیادی در الگوسازی نخواهند داشت؛ بنابراین از داده‌های هواشناسی استفاده نگردید، هرچند که تأثیر آن‌ها به‌صورت غیرمستقیم در توزیع پوشش گیاهی منطقه لحاظ شده است و مناطقی که پوشش گیاهی بیشتری دارند به‌نوعی میزان بارندگی بیشتری نیز دریافت کرده‌اند برای تهیه یک نقشه که پتانسیل زمین‌لغزش در یک منطقه را نشان دهد علاوه بر شیب و ارتفاع نیاز به نقشه انحناء است. معیار انحناء به تشخیص شکستگی‌های شیب و پتانسیل ناهمواری کمک می‌کند (Grohman et al, 2011). این شاخص، جهت حداکثر شیب را نشان می‌دهد. شکل (۳) نیمرخ‌های مختلف شاخص انحناء را روی یک DEM را نشان می‌دهد. مقدار منفی در نمونه A نشان‌دهنده سطح محدب رو به بالا در هر سلول است و جریان یا سرعت سطح، کاهشی است. مقدار مثبت در نمونه B، یک سطح مقعر رو به بالا که سرعت جریان افزایشی است را نشان می‌دهد. مقدار صفر شاخص انحناء در نمونه C نیز حالت خطی سطح را نشان می‌دهد. از تابع انحناء در نرم‌افزار GIS برای تولید نقشه انحناء استفاده می‌شود.



شکل ۳: اعمال تابع انحناء بر روی DEM ارتفاعی (A)، سطح محدب (B)، سطح مقعر (C) بدون انحناء

جدول ۱: مشخصات داده‌های ورودی و خروجی مورد نیاز

نوع لایه	نام متغیر (نود)
ورودی	فاصله از جاده‌های اصلی
	فاصله از مناطق زمین لغزش رخ داده
	فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی
	فاصله از شبکه زهکشی شامل رودخانه اصلی و فرعی
	زمین شناسی و لیتولوژی منطقه
	تراکم پوشش گیاهی
	نقشه شیب
	نقشه انحناء
	نقشه ارتفاع
خروجی	۰ = عدم زمین لغزش، ۱ = وقوع زمین لغزش

۲-۴- تولید نقشه‌های عامل مؤثر در زمین لغزش

داده‌های ورودی برای استفاده در الگو باید نرمالیزه شوند و ورودی‌ها، باید در مقیاس یکسان وارد شبکه شوند زیرا داده‌های بزرگ اهمیت داده‌های کوچک را در شبکه تحت تأثیر قرار می‌دهند و روند الگوسازی را دچار خطا می‌کنند. در حالت خطی، شیب افزایش تابع تعلق یکنواخت است و برای نرمال سازی یکنواخت مقادیر ورودی‌ها بکار می‌رود. فرمول نرمال سازی با استفاده از تابع تعلق خطی کاهشی (رابطه ۳-۱) و افزایشی (رابطه ۳-۲) به صورت زیر است.

$$R = \frac{x_i - \min}{\max - \min} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$R = \frac{\max - x_i}{\max - \min} \quad \text{رابطه (۶)}$$

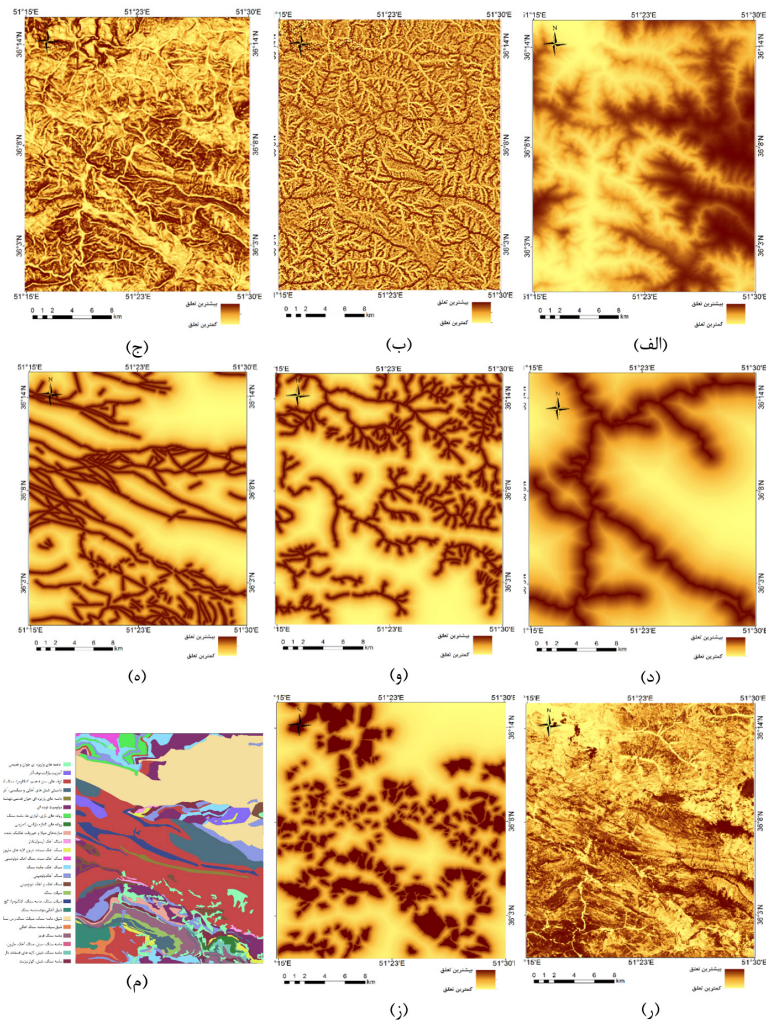
به منظور نرمال سازی لایه شیب بر اساس اینکه با افزایش میزان شیب میزان خطر زمین لغزش بیشتر می شود از تابع تعلق خطی افزایشی استفاده گردید، در لایه پوشش گیاهی، با توجه به اینکه با افزایش پوشش گیاهی، میزان خطر زمین لغزش کمتر می شود از تابع تعلق خطی کاهشی و در لایه فاصله از شبکه زهکشی نیز با توجه به اینکه با افزایش فاصله از شبکه، میزان خطر زمین لغزش کم می شود از تابع کاهشی استفاده گردید؛ و در نهایت با توجه به اینکه با مناطق نزدیک تر به گسل ها و زمین لغزش های موجود احتمال خطر زمین لغزش نیز بیشتر می شود از تابع کاهشی استفاده گردید. برای نقشه زمین لغزش های موجود به عنوان خروجی در الگوی شبکه عصبی و لایه های زمین شناسی نیز هرکدام به صورت یک لایه صفر و یک مورد استفاده قرار گرفت.

به طور کلی هشت متغیر ورودی و یک خروجی پایگاه داده تحقیق را تشکیل می دهند. از قابلیت های توابع موجود در سیستم اطلاعات مکانی GIS جهت پردازش، آماده سازی و تولید نقشه های عامل در پهنه بندی زمین لغزش استفاده گردید. از آنجا که قوانین تصمیم گیری متعددی برای بهره برداری از این متغیرها وجود دارد در این مطالعه، فاصله این متغیرها با توابع فاصله، بافرهای چندگانه به عنوان شاخص مورد نظر مطرح گردید؛ بنابراین، متغیرهای مؤثر در زمین لغزش، به صورت فاصله از مناطق زمین لغزش رخ داده، فاصله از شبکه زهکشی و گسل و ... مورد استفاده قرار گرفتند. این لایه ها به صورت لایه هایی با فرمت SHAPE و با ساختار وکتوری تولید و سپس با استفاده از تابع تحلیلی فاصله به رستر تبدیل می شوند. از آنجا در الگوسازی با شبکه عصبی نیاز به نقشه زمین لغزش رخ داده در منطقه است تا بتوان میان نرون ها و داده های ورودی با مقادیر خروجی واقعی (زمین لغزش) ارتباط برقرار کرد، در نتیجه نیاز است تا مناطقی که در آن ها زمین لغزش اتفاق افتاده است را شناسایی نمود که موقعیت این مناطق از سازمان جنگل ها و مراتع کشور اخذ گردید. همچنین مناطقی که احتمال ایجاد زمین لغزش در آن ها بسیار کم و نزدیک صفر است نیز باید شناسایی گردند، طبق بررسی های انجام شده، خط القعرها شامل رودخانه ها مناطقی هستند که احتمال رخداد زمین لغزش در آن ها بسیار کم است (نوریزدیان و ملکی راد، ۱۳۸۹). سیستم مختصات تمامی لایه های ورودی به صورت سیستم مختصات UTM (زون ۳۸ شمالی، دیتوم WGS-1984) تعیین شدند

و با استفاده از توابع موجود در GIS از جمله فاصله، توابع فازی مورد پردازش قرار گرفتند. در جدول (۲) و شکل (۴)، مشخصات داده‌های مورد استفاده و همچنین پردازش‌های انجام گرفته بر روی هریک از متغیرها بیان شده است.

جدول ۲: متغیرهای مورد نظر و تحلیل‌های صورت گرفته

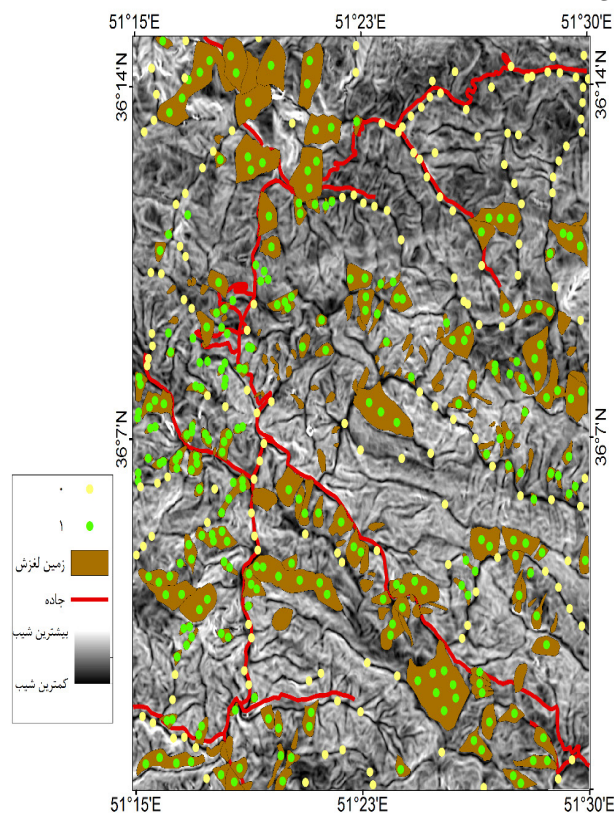
نوع لایه	نام متغیر (نود)	تحلیل‌های انجام شده در GIS
ورودی	فاصله از جاده‌های اصلی	رقومی کردن مسیر جاده از گوگل ارث و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی مرزن‌آباد-اعمال بافرهای تابع فاصله-تبدیل وکتور به رستر-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی کاهشی
	فاصله از مناطق زمین لغزش رخ داده	اخذ موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور-اعمال تابع فاصله-تبدیل وکتور به رستر-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی کاهشی
	فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی	رقومی کردن موقعیت گسل‌های منطقه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی مرزن‌آباد-اعمال تابع فاصله-تبدیل وکتور به رستر-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی کاهشی
	فاصله از شبکه زهکشی شامل رودخانه اصلی و فرعی	رقومی کردن مسیر از گوگل ارث و تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۰-اعمال تابع فاصله-تبدیل وکتور به رستر-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی کاهشی
	زمین‌شناسی و لیتولوژی منطقه	دیجیتالی کردن نقشه زمین‌شناسی منطقه-اختصاص عدد (مناطق ماسه سنگ و آذرین برابر ۱ و مناطق آهکی و شیل برابر با ۳/۰)
	تراکم پوشش گیاهی	اعمال تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر روی تصویر سال ۱۳۹۰ لندست-اعمال شاخص NDVI در نرم افزار ENVI-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی افزایشی
	نقشه شیب	اخذ الگوی رقومی DEM سنجنده استرا از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور-اعمال تابع شیب در GIS-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی افزایشی
خروجی	نقشه انحناء	اخذ الگوی رقومی DEM سنجنده استرا از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور-اعمال انحناء در GIS-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی افزایشی
	نقشه ارتفاع	اخذ الگوی رقومی DEM سنجنده استرا از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور-نرمال سازی بین صفر و یک با تابع فازی افزایشی
	۰=عدم زمین لغزش، ۱=وقوع زمین لغزش	هم‌پوشانی لایه رودخانه با شیب-شناسایی مناطق بدون زمین لغزش در خط القعرها-شناسایی مناطق با زمین لغزش-ایجاد ۴۲۰ نقطه لایه خروجی



شکل ۴: داده‌های اولیه شامل الف) الگوی رقمی ارتفاع MED، ب) نقشه انحناء، ج) نقشه شیب، د) فاصله از جاده‌های اصلی و ه) فاصله از شبکه آبراهه، و) فاصله از گسل، ز) فاصله از مناطق زمین لغزش، م) لیتولوژی منطقه

با استفاده از تابع ایجاد نقاط تصادفی در GIS، ۲۲۰ نقطه از مناطق زمین لغزش و ۲۲۰ نقطه نیز از مناطقی که احتمال وقوع زمین لغزش در آن‌ها بسیار کم است به عنوان خروجی واقعی در آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفت. (شکل ۵). در ادامه مقادیر هریک از هشت متغیر ورودی توسط توابع تحلیل GIS به نقاط مورد نظر الحاق گردید. این نقاط به منظور

الگوسازی و آموزش شبکه با استفاده از شبکه عصبی به کار گرفته شده‌اند. در جدول (۳)، تعدادی از این نقاط به همراه مقادیر آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۵: موقعیت نقاط نمونه برداری شده به منظور آموزش شبکه‌های عصبی

جدول ۳: قسمتی از مقادیر پایگاه داده مورداستفاده در الگوی سازی زمین لغزش

ارتفاع	ارتفاع	انحناء	شیب	پوشش گیاهی	زمین لغزش	گسل	آبراهه	جاده	خروجی
۱	۰/۱۷	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۱۴	۱	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۸۵	۱
۱	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۷۲	۱	۰/۹۲	۰/۵	۰/۹۶	۱
۰/۴	۰/۶۷	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۳۹	۰
۰/۶	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۹۰	۱
۰/۳	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۳۹	۰
۱	۰/۹۳	۱	۰/۹۴	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۰	۱

۳-۴- الگوسازی زمین لغزش با شبکه عصبی پرسپترون چندلایه MLP

در این تحقیق از یک شبکه MLP با یک لایه خروجی و یک لایه پنهان استفاده شد. یکی از مهم‌ترین مشکلات در ساختن یک الگو، پیدا کردن تعداد بهینه نرون‌ها است. تعداد نرون‌ها نسبت به تعداد لایه‌ها، تأثیر بیشتری روی الگو دارد. در تعیین بهینه نرون‌ها، هم تعداد نرون‌ها در هر لایه و همچنین تعداد کل نرون‌ها روی عملکرد الگو تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق تعداد لایه‌های شبکه و نرون‌های لایه‌های مخفی به صورت تجربی از کمترین اندازه تا بزرگ‌ترین اندازه مورد استفاده قرار گرفت و خطای موجود بین خروجی مطلوب و خروجی شبکه در هر کدام از شبکه‌های ایجاد شده به دست آمد در نهایت پارامترهایی که کارایی^۱ بالاتری داشته‌اند به عنوان مقادیر بهینه پارامترهای شبکه عصبی انتخاب شدند. جهت ایجاد شبکه عصبی از نرم افزار MATLAB استفاده شد که این کار از طریق نوشتن برنامه‌ای در محیط این نرم افزار (M-فایل‌ها) صورت گرفت. در این نرم افزار ابتدا لایه‌هایی را که توسط نرم افزار GIS تولید شده بودند، وارد فضای کاری MATLAB می‌شود و برنامه نوشته شده طی دستورهای، ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه را تعیین کرده و این اطلاعات را به سه دسته آموزش، آزمون و اعتبار سنجی تقسیم بندی می‌کند و در نهایت شبکه آموزش می‌بیند و خروجی‌ها تولید شده و میزان دقت یا خطا بررسی می‌شود. برای آموزش شبکه‌های عصبی، از روش پس انتشار خطا موسوم به لونبرگ-مارکوارت^۲ استفاده شد که یک جزء آموزش‌های با ناظر است. تابع انتقال لایه‌های مخفی از نوع سیگموید و لایه خروجی از نوع تابع خطی انتخاب شد. حداقل مطلوب آستانه خطا برابر با ۰/۰۰۵ تعیین شد. برای آموزش شبکه‌های عصبی، از روش پس انتشار خطا موسوم به لونبرگ-مارکوارت^۳ استفاده شد که یک جزء آموزش‌های با ناظر است. تابع انتقال لایه‌های مخفی از نوع سیگموید و لایه خروجی از نوع تابع خطی انتخاب شد. حداقل مطلوب آستانه خطا برابر با ۲۰ تکرار تعیین شد.

1. Performance

2. Marquardt Levenberg

3. Marquardt Levenberg

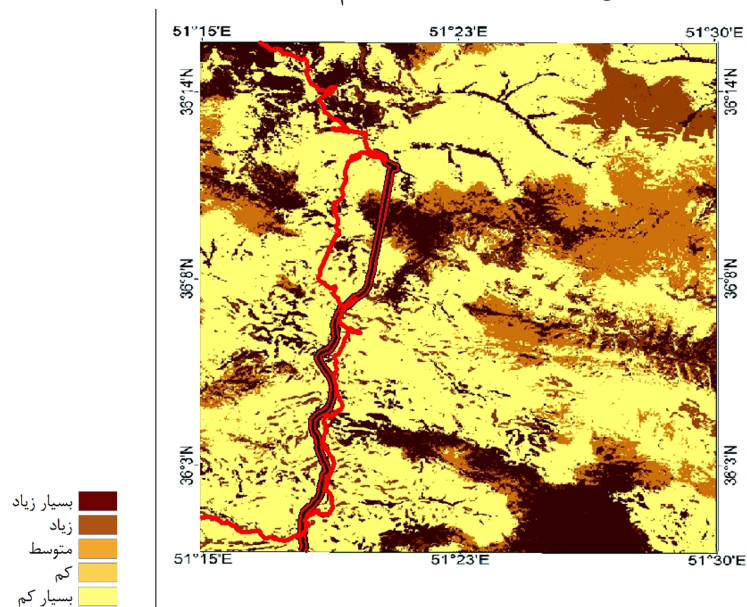
اولین و مهم‌ترین گام در آماده‌سازی داده برای الگو کردن به وسیله شبکه عصبی، تقسیم کل داده‌های ورودی به مجموعه‌های آموزش، آزمون و اعتبارسنجی است (Hagan et al. 1996). مجموعه داده‌های آزمون که توانایی تعمیم الگو را دارند باید بیانگر همه مجموعه داده باشند. از کل داده‌های موجود برای هر متغیر ورودی که ۴۲۰ نمونه بودند، ۷۰٪ به آموزش شبکه عصبی، ۱۵٪ به داده‌های آزمون و ۱۵٪ دیگر به داده‌های اعتبارسنجی اختصاص داده شد. گفتنی است که اختصاص داده به هریک از موارد به صورت تصادفی بوده که حالت پیش فرض شبکه عصبی نرم افزار متلب نیز است. یکی از مهم‌ترین مشکلات در ساختن یک الگو، پیدا کردن تعداد بهینه نرون‌ها است. تعداد نرون‌ها نسبت به تعداد لایه‌ها، تأثیر بیشتری روی الگو دارد. در تعیین بهینه نرون‌ها، هم تعداد نرون‌ها در هر لایه و همچنین تعداد کل نرون‌ها روی عملکرد الگو تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق تعداد لایه‌های شبکه و نرون‌های لایه‌های مخفی به صورت تجربی از کمترین اندازه تا بزرگ‌ترین اندازه مورد استفاده قرار گرفت و خطای موجود بین خروجی مطلوب و خروجی شبکه در هر کدام از شبکه‌های ایجاد شده به دست آمد. نتایج آموزش شبکه‌های مورد بررسی در جدول (۴) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از میزان خطای RMSE در هر یک از ساختارها، شبکه عصبی با ۹ نرون اولیه (تعداد متغیرهای ورودی) و با هشت لایه پنهان اول و یک لایه پنهان دوم، بهترین عملکرد را بین سایر ساختارها دارد و توانسته است بهتر آموزش ببیند و کمترین میزان خطا و RMSE با ۰/۰۵ نسبت به داده‌های آزمون نشان دهد. در نتیجه این نوع از ساختار شبکه عصبی به عنوان ساختار پایه جهت الگوسازی زمین لغزش در منطقه انتخاب کرده و مراحل بعدی را با این ساختار مورد بررسی قرار می‌دهیم. همچنین با توجه به نتایج حاصل از جدول مزبور می‌توان گفت که با افزایش لایه‌های پنهان میزان دقت آن کاسته می‌شود که این امر می‌تواند به ماهیت داده‌های ورودی و تعداد نمونه‌ها (۴۲۰ نقطه) از منطقه مورد نظر مربوط باشد.

جدول ۴: مقدار خطا esmr شبکه‌های عصبی طراحی شده

مقدار RMSE	لایه پنهان دوم	لایه پنهان اول	نرون اولیه
۰/۰۶	۰	۸	۹
۰/۰۵	۱	۸	۹
۰/۰۵۵	۴	۸	۹
۰/۰۵۷	۸	۸	۹

۴-۵- تهیه نقشه خطرپذیری زمین لغزش در زیرساخت و منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد، نقشه‌های عامل تولید شده از منابع داده‌ای مختلف، توسط روش‌های شبکه عصبی بایکدیگر تلفیق شده و در نهایت نقشه پتانسیل زمین لغزش منطقه تولید می‌شود، بدین صورت که بعد از آموزش شبکه عصبی با ۴۲۰ نقاط (نمونه)، کل داده‌ها و پیکسل‌های هر متغیر ورودی به تعداد 815×995 عدد در نرم‌افزار متلب به تابع ایجاد شده از شبکه عصبی با عنوان NET ارائه گردید و در نهایت نقشه کل منطقه مورد نظر از جهت احتمال وقوع زمین لغزش تولید گردید. از آنجاکه خروجی شبکه بین صفر و یک خواهد بود، این بازه به ۵ گروه با اختلاف ۲۰٪ شامل منطقه با خطرات خیلی کم تا خیلی زیاد کلاسه‌بندی می‌گردد.



شکل ۶: نقشه نهایی زمین لغزش در منطقه مرزن‌آباد

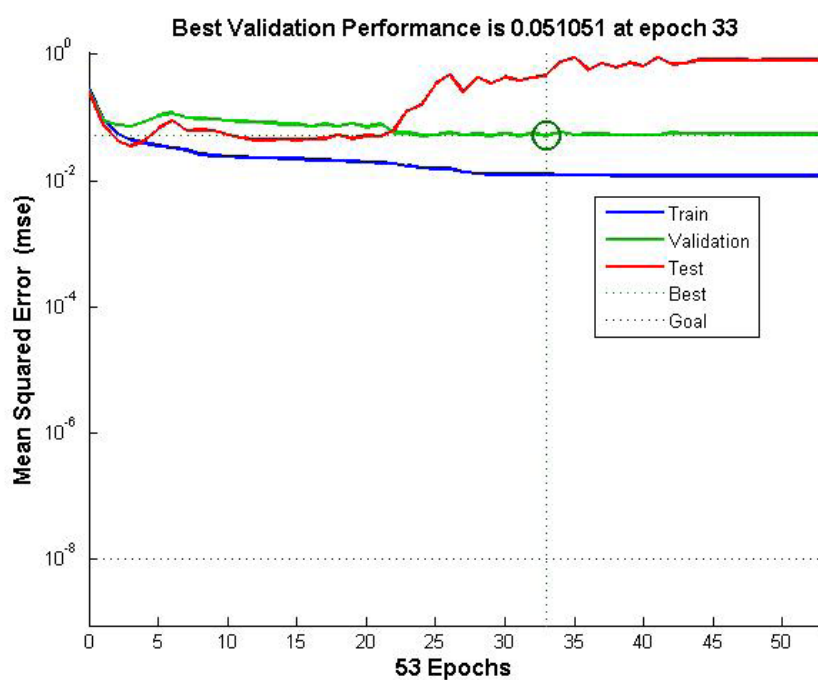
با توجه به نقشه خطرپذیری نهایی زمین لغزش در منطقه مرزن آباد می‌توان گفت که از ۵۹,۹۰۷ هکتار از مساحت منطقه، ۱۲,۲۴۰ هکتار در پهنه زمین لغزش با احتمال خیلی زیاد قرار دارد، ۱,۵۲۹ هکتار با احتمال زیاد، ۹۹۶ هکتار با احتمال متوسط، ۱,۸۸۰ با احتمال کم و ۴۳,۲۶۰ نیز با احتمال خیلی کم قرار دارد. از نظر درصد نیز با احتمال بسیار زیاد (۲۰٪)، زیاد (۳٪)، متوسط (۲٪)، کم (۳٪) و خیلی کم (۷۲٪) قرار دارند.

نقشه خطرپذیری نهایی زمین لغزش در منطقه مرزن آباد در شکل (۶) نشان می‌دهد که حدود ۱۴٪ از زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه در محدوده خطرپذیری خیلی زیاد، ۲۴٪ در محدوده خطرپذیری زیاد، ۳۵٪ در محدوده خطرپذیری متوسط، ۲۲٪ در محدوده کم و ۵٪ در محدوده خطرپذیری خیلی کم قرار دارد.

نتایج اعتبار سنجی با استفاده از شاخص‌های مورد نظر نشان می‌دهد که سیستم شبکه عصبی پرسپترون $9 \times 8 \times 1$ با همبستگی ۰/۹۰ با داده‌های آزمون و با همبستگی ۰/۹۵ نسبت به کل داده‌ها و میانگین مجذور خطا ۰/۵۱ توانسته است با دقت خوبی مناطق زمین لغزش را با استفاده از متغیرهای ورودی برآورد کند (جدول ۵). شبکه‌های عصبی $9 \times 8 \times 4$ ، $9 \times 8 \times 8$ و $9 \times 8 \times 8$ نیز به ترتیب $0/83$ ، $0/9$ و $0/84$ میزان همبستگی مناسبی را نشان می‌دهند. همچنین با توجه به توزیع خطاها در شکل (۸) می‌توان گفت که بیشتر خطاها در خط صفر متمرکز شده‌اند و نشان دهنده خطای بسیار کم الگو در الگوسازی دانست. می‌توان نتیجه گرفت استفاده از این الگو می‌توان مناطق زمین لغزش را با دقت مناسبی تخمین کرد. در نتیجه می‌توان گفت که الگوی شبکه عصبی $9 \times 8 \times 1$ بهتر از بقیه توانسته است الگوسازی را انجام دهد.

شکل (۷) روند کاهش خطا را در یادگیری شبکه $9 \times 8 \times 1$ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بهترین کارایی و کمترین میزان دقت RMSE در تکرار ۲۳ ایجاد شده است و در نتیجه شبکه عصبی به علت رسیدن به بیشترین حد آستانه تحمل که ۲۰ تکرار در نظر گرفته شده است، متوقف شده است. گفتنی است که منظور از تحمل آستانه خطا این است که جهت صعودی یا نزولی داده‌های اعتبار سنجی (رنگ سبز) با داده‌های آموزش (رنگ آبی) در یک راستا باشد و فاصله بین آن‌ها زیاد نگردد. خطای داده‌های آموزش با افزایش تکرارها (تغییر وزن‌ها به منظور بهبود نتایج) به تدریج کاهش می‌یابد اما

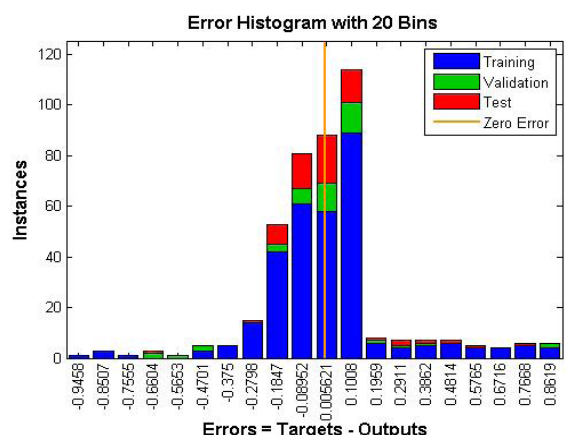
خطای داده‌های آزمون، پس از یک کاهش اولیه مجدداً افزایش می‌یابد و در مقادیری بیش از مقدار اولیه نوسان می‌کند. وزن‌های نرون‌ها در حداقل میزان خطای داده‌های آزمون به عنوان وزن‌های نهایی انتخاب می‌شوند.



شکل ۷: روند کاهش مقدار خطا در شبکه عصبی $9 \times 8 \times 1$

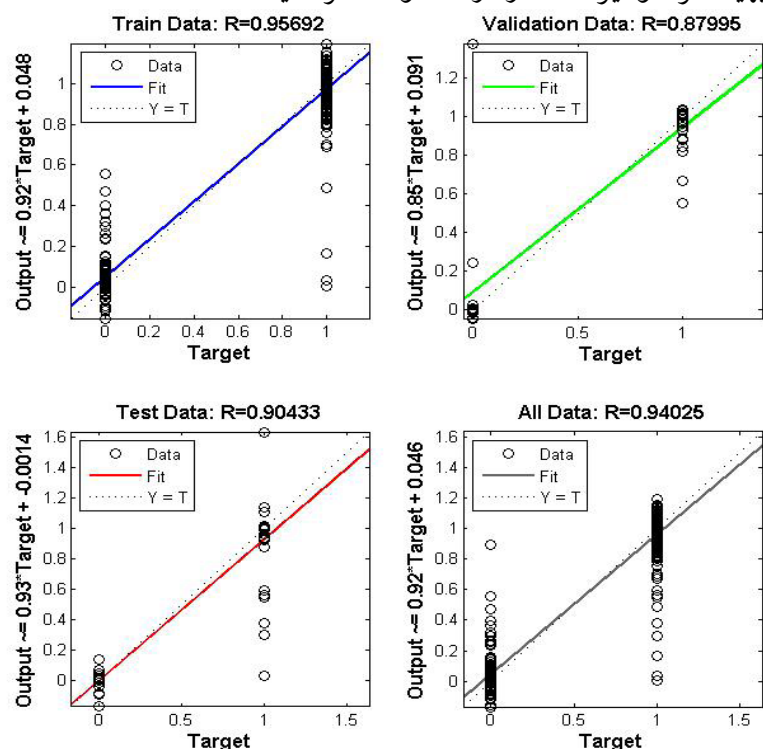
جدول ۵: نتایج اعتبارسنجی الگوهای استفاده شده

ابعاد	RMSE	R
شبکه عصبی $9 \times 8 \times 1$	۰/۰۵۱	۰/۹۰



شکل ۸: توزیع فراوانی خطاهای شبکه عصبی $9 \times 8 \times 1$ در الگوسازی زمین لغزش

همان‌طور که از هیستوگرام تابع خطا به ازای داده‌های آموزش و اعتبار سنجی و آزمون نمایش داده شده است، بیشترین توزیع خطاها در محدوده نزدیک به صفر قرار دارند. در نتیجه الگو با دقت بالایی توانسته است که میزان خطا بین داده‌های ورودی با داده‌های واقعی را بهینه کرده و میزان خطا را در محدوده صفر کمینه کند.



شکل ۹: مقدار همبستگی در داده‌های آموزش، آزمون و اعتبار سنجی در شبکه $9 \times 8 \times 1$ نسبت به داده‌های واقعی

نتیجه‌گیری

ازجمله تهدیداتی که همواره متوجه زیرساخت‌های حیاتی است، مخاطرات طبیعی است. زمین لغزش ازجمله مخاطرات طبیعی است که زیرساخت‌های متعدد ازجمله زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای با آن درگیر است. بدون تردید ارزیابی خطرپذیری مخاطره طبیعی در زیرساخت‌ها می‌تواند نتایج بسیار مطلوبی در پی داشته باشد. این پژوهش با هدف انجام یک نمونه از ارزیابی‌های خطرپذیری‌های مذکور شکل گرفت که بیش از این بیشتر در حوزه مناطق جغرافیایی از قبیل روستاها، شهرها یا سایر بخش‌های مشابه رایج بود. با استفاده از پهنه‌بندی خطرپذیری پدیده زمین لغزش در زیرساخت‌های حیاتی، می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارائه راهکارها و شیوه‌های مدیریتی مناسب تا حدی از رویداد زمین لغزش‌ها جلوگیری و با خسارت ناشی از رویدادان را کاهش داد.

در این تحقیق با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، اقدام به تهیه الگویی شد که می‌تواند در پتانسیل‌یابی خطرپذیری زمین لغزش بسیار مفید واقع شود. عوامل مؤثر در زمین لغزش با استفاده از نظرات کارشناسان و مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شدند. اطلاعات خام ورودی با استفاده از توابع موجود در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، مورد پردازش قرار گرفتند و نقشه‌های عامل زمین لغزش، ایجاد شدند و در فرایند الگوسازی مورد استفاده قرار گرفتند. می‌توان گفت که وجود نگرشی بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند در فراهم آوردن اطلاعات ارزشمند از داده‌های اولیه، به منظور الگوسازی پهنه‌های زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه الگوهای هوشمند به کاررفته در این تحقیق می‌تواند برای پیش‌بینی مناطق زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد.

در این تحقیق از روش‌های شبکه عصبی به منظور پیاده‌سازی، استفاده شدند. در کنار قابلیت‌های الگوی سیستم شبکه عصبی، نقاط ضعفی نیز برای این الگو به چشم می‌خورد؛ اما الگوهای نوع شبکه خودکار در این بخش قابلیت بیشتری دارد. امکان کاهش خطای کار با انجام چرخه‌های متعدد و توابع عضویت متفاوت از مزایای این الگو است، همچنین مزیت انجام الگو در مقیاس‌های متعدد از مزایای دیگر آن، در کنار امکان وارد کردن متغیرهای متعدد، در مقایسه با الگوهای گروه شبکه خودکار است.

بدین ترتیب، بهترین رویکرد را در این مطالعات می‌توان در الگویی ترکیبی که قابلیت‌های الگوهای متعدد را در خود داشته باشد جست‌وجو کرد. یکی از هدف‌های الگوهای کاربری زمین، پیش‌بینی موقعیت‌های زیرساخت‌ها و دارایی‌های کلیدی است که برای یافتن مکان‌های مناسب، تمرکززدایی و ایجاد تعادل در محیط‌زیست، کاهش اثرات بحران‌های طبیعی بر روی زیرساخت‌ها، رعایت چارچوب‌ها و الزامات آمایش سرزمین در پراکندگی زیرساخت‌ها است تا میزان خطرپذیری زیرساخت‌ها و دارایی‌های کلیدی را به حداقل برسانند.

منابع

- ۱- انتظاری، مژگان؛ کردوانی، موسی (۱۴۰۱)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش مبتنی بر GIS و داده‌های راداری، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۳.
- ۲- پورنال شهرداری شهرستان مرزن‌آباد، www.marzanabad.ir
- ۳- جکسون، بیل، آر (۱۳۸۰)، آشنایی با شبکه‌های عصبی، البرزی محمود، انتشارات علمی دانشگاه شریف، صفحات ۱۳۶-۱۰۲.
- ۴- حسین زاده، محمد حسین. محمد رضا ثروتی، عادل منصوری، سعید خضری (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره یازدهم، صفحات ۲۷-۳۷.
- ۵- حسینعلی بیکی، غلامرضا؛ اکبریور، عباس؛ حسینی، سیدعظیم؛ عباسیان، حمیدرضا (۱۴۰۴)، ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین‌کننده میزان حیاتی بودن و اهمیت زیرساخت‌ها به روش بهترین-بدترین، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال یازدهم، شماره ۴۲.
- ۶- حیکم‌زاده اصل، وحید؛ کاوند، عباس؛ رستمی، حسین (۱۳۹۷)، الگویی برای ارزیابی دارایی‌های اساسی یک پهنه جغرافیایی با رویکرد پدافند غیرعامل، فصلنامه پیشگیری و مدیریت بحران.
- ۷- دهقان فاروجی، فاطمه؛ بیت‌اللهی، علی (۱۳۹۹)، الگوی ارزیابی خطرپذیری شهری در بلایای طبیعی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، دوره سیزدهم، شماره ۲۳.
- ۸- رجائی، عبدالحمید (۱۳۸۷)، کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی. انتشارات سمت.
- ۹- رجبی، معصومه؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین (۱۳۹۹)، پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۳.
- ۱۰- رستگار، علیرضا (۱۳۹۹)، زمین‌لغزش‌ها و سابقه آن در ایران، مرکز تحقیقات علمی فذک.
- ۱۱- شهرستانکی، اکبر (۱۳۹۸)، مخاطرات طبیعی، مرکز و گروه تحقیقات بهداشت در اورژانس و بلایا، تهران، ایران.
- ۱۲- طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی (۱۴۰۲)، سازمان پدافند غیرعامل کشور.
- ۱۳- لجم‌اورک، مرتضی و پیری، زهرا (۱۴۰۲)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS، جغرافیا و مخاطرات طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۷.
- ۱۴- منهج‌م، مبانی شبکه‌های عصبی (۱۳۷۸)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صفحات ۶۹-۵۶.
- ۱۵- میریوسفی، سیدمحسن و غفاریور، رضا (۱۳۹۹)، راهبردهای نوین حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، فصلنامه پدافند غیرعامل، سال یازدهم شماره ۳.
- ۱۶- نظام فنی-تخصصی حفاظت از زیرساخت‌ها (۱۴۰۲)، سازمان پدافند غیرعامل کشور.
- ۱۷- نوراللهی، حانیه؛ برزگر، اکرم؛ عوض‌آبادیان، فرشید؛ سلیمانی، عاطفه و علیخانی، آرزو (۱۳۹۴)، ارائه الگوی ارزیابی خطرپذیری (ریسک) بر اساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی؛ دو فصلنامه مدیریت بحران، ش. ۷.
- ۱۸- نوریزدیان، ع. ر و ملکی‌راد، ز (۱۳۸۹)، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۵ تا ۲۷ شهریور، دانشگاه ارومیه.

۱۹- نیک‌اندیش نسترن (۱۳۷۳)، زمین لغزش (تعریف - طبقه‌بندی - انواع و علل وقوع) معاونت آب‌خیزداری جهاد سازندگی، دفتر مطالعات و ارزیابی آب‌خیزها، فروردین.

<https://www.fadak-src.com>

20- Corominas, J., Guzzetti, F., Lan, H. et al. Revisiting landslide risk terms: IAEG commission C-37 working group on landslide risk nomenclature. *Bull Eng Geol Environ* 82, 450 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03474-z>

21- DIRECTIVE (EU) 2022/2557 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2557/oj>.

22- Lo, C. M., Feng, Z. Y., & Chang, K. T. (2018). Landslide hazard zoning based on numerical simulation and hazard assessment. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 368–388. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1445662>

23- Saleem, J., Ahmad, S.S. & Butt, A. Hazard risk assessment of landslide-prone sub-Himalayan region by employing geospatial modeling approach. *Nat Hazards* 102, 1497–1514 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03980-3>

24- Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J. (2005). Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. *Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London*, 199-235.

25- Cornforth, D. (2005). *Landslides in practice: investigation, analysis, and remedial/preventative options in soils*. Wiley.

26- Del Frate, F., & Solimini, D. (2004). On neural network algorithms for retrieving forest biomass from SAR data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 42(1), 24-34

27- Grohman, J. K., Kottegoda, S., Gorelick, R. J., Allbritton, N. L., & Weeks, K. M. (2011). Femtomole SHAPE reveals regulatory structures in the authentic XMRV RNA genome. *Journal of the American Chemical Society*, 133(50), 20326-20334.

28- Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., & De Jesús, O. (1996). *Neural network design* (Vol. 20). Boston: PWS publishing company.

29- Polykretis, C., Ferentinou, M., & Chalkias, C. (2015). A comparative study of landslide susceptibility mapping using landslide susceptibility index and artificial neural networks in the Krios River and Krathis River catchments (northern Peloponnesus, Greece). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 27-45.

30- Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with

frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 747-759.

31-Young, O., Cheung, K., Chul, U. (2008). The Comparative Research of Landslide Susceptibility Mapping Using FR, AHP, LR, ANN. *Environmental Geology*, 48, 778-787.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27-29.

