

## کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

محمدحسین رضائی مقدم<sup>۱</sup>  
محمد رضا نیکجو<sup>۲</sup>  
خلیل ولیزاده کامران<sup>۳</sup>  
ایمانعلی بلواسی<sup>۴</sup>  
مهدی بلواسی<sup>۵</sup>

### چکیده

زمین لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی محسوب می‌شود که هر ساله منجر به خسارات زیادی می‌شود. حوضه آبریز دواب الشتر با داشتن چهره‌ای کوهستانی و مرتفع و شرایط طبیعی مختلف دارای استعداد بالقوه زمین لغزش است. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در حوضه دواب الشتر می‌باشد. بدین منظور ابتدا پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش استخراج و سپس لایه‌های مربوطه تهیه شده است. در ادامه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده شده حوضه تهیه شد. سپس با تلفیق نقشه عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS سنجیده

1- Email: rezmogh@yahoo.com

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

۲- استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

۳- استادیار گروه GIS دانشگاه تبریز.

۴- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز.

۵- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز.

Email: belvasi1@yahoo.com

شد. در این پژوهش مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع فعال‌سازی سیگموئید به کار گرفته شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۷ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی گردید. دقت شبکه در مرحله آزمایش ۹۳/۸۵ درصد محاسبه شد. پس از بهینه شدن ساختمان شبکه، کل اطلاعات منطقه در اختیار شبکه قرار گرفت. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۴۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۳۲/۴۹، ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی:** زمین‌لغزش، شبکه عصبی مصنوعی، حوضه آبریز دواب الشتر، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی.

#### مقدمه

زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، همواره در سراسر جهان در حال رخدادن بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است (نیازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵). این پدیده 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 ناصحیح مهندسی قرار گرفته و به شکل‌های مختلف به پایین‌دست 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 به‌نظر 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. از سویی 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). با توجه به اهمیت پدیده زمین‌لغزش مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است. از جمله مالچیور<sup>۷</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>۸</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>۹</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خطر زمین‌لغزش در منطقه سالانگور مالزی را ارزیابی کردند. یلماز<sup>۱۰</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. 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. فیض‌اله‌پور (۱۳۹۱) در رساله دکتری خود به‌منظور 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

7- Melchiorre

8- Kanungo

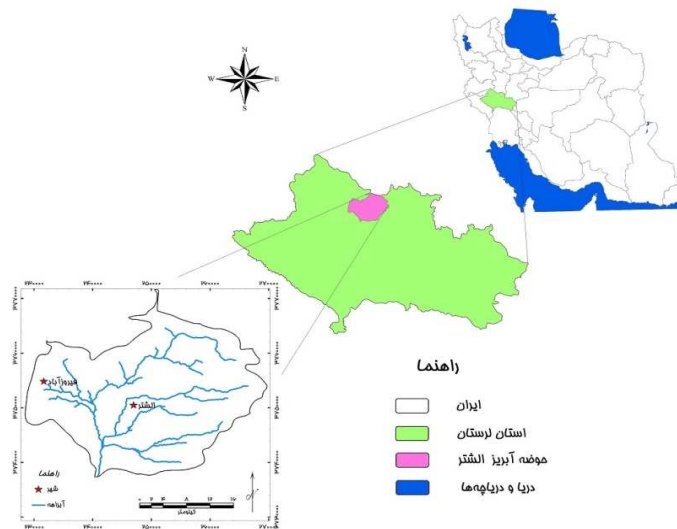
9- Biswajeet

10- Yilmaz

حوضه آبریز نوژیان پرداختند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در حوضه آبریز دوآب الشتر می‌باشد.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دوآب الشتر جزئی از شهرستان الشتر محسوب می‌شود که با مساحت ۸۰۳ کیلومترمربع، در شمال استان لرستان، شمال غرب خرم‌آباد، غرب بروجرد و جنوب نهاوند در طول جغرافیایی  $34^{\circ}3'15''$  تا  $48^{\circ}31'13''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $33^{\circ}44'24''$  تا  $34^{\circ}3'15''$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع است. تشکیلات زمین‌شناسی حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد حاضر بوده و عمدتاً از سنگ‌آهک تشکیل شده است. از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان به کوه‌های گرین، خرگوش‌ناب، اسپش و مه‌اب اشاره کرد که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال‌غربی-جنوب‌شرقی جزء رشته کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۶۲۷ متر حداقل آن ۱۴۵۶ متر است.



شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز دوآب الشتر در ایران و استان لرستان

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر سنجنده OLI ماهواره‌ای لندست ۸ گذر ۱۶۶ ردیف ۳۶ و ۳۷ مربوط به ۱۵ ژوئن ۲۰۱۳، داده‌های مربوط به اقلیم منطقه از جمله دما و بارش که از سازمان هواشناسی استان لرستان تهیه شد، DEM ۳۰ متری SRTM دانلود و نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، استفاده شده است. همچنین نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2 جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل، ENVI 4.8 جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای و MATLAB 2011 جهت طراحی مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ۷ عامل شیب، جهت شیب، کاربری‌اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله گسل، فاصله از آبراهه و بارش مورد بررسی قرار گرفت. نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است.

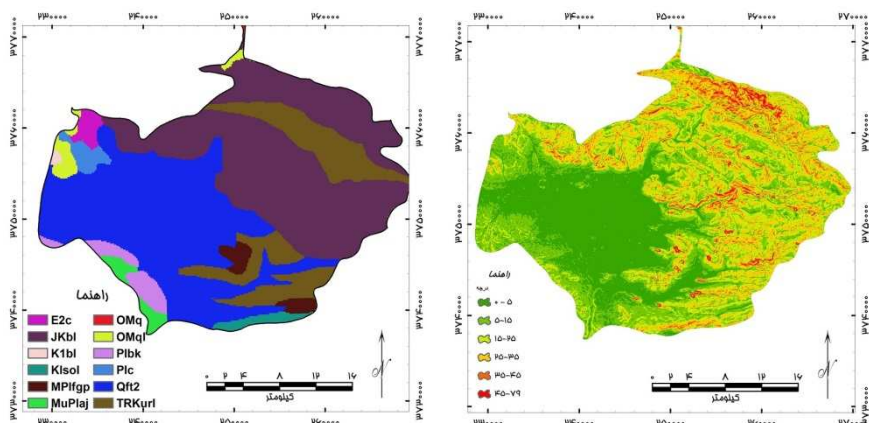
جهت رهیافت به این مطالعه ابتدا به بررسی و مطالعه سوابق علمی موجود، جهت تعیین کلیه معیارها و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش پرداخته می‌شود. سپس اطلاعات موجود شامل نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز گردآوری، و پس از تهیه نقشه‌ها، تصحیحات لازم بر روی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. نقشه‌های مورد نیاز در محیط GIS رقومی، و پس از رقومی‌سازی، مدل‌سازی رستری لایه‌ها صورت گرفت. در مدل شبکه عصبی جهت آموزش شبکه از لایه‌های تهیه شده، همراه با تعدادی از نمونه‌های واقعی زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده، به‌عنوان ورودی وارد شبکه شدند و با این روش الگوی بین پارامترهای ورودی (ورودی شبکه) و مناطقی که زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش است پیش‌بینی گردید. جهت تشکیل ماتریس ورودی شبکه‌های عصبی ابتدا تعدادی نقطه به‌صورت 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) نیاز به نمونه‌های واقعی از زمین لغزش است. بدین منظور اقدام به نمونه‌برداری میدانی با GPS از زمین لغزش‌های موجود در حوضه شد و آنگاه از تعدادی از این نمونه‌ها جهت ارزیابی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل و تعدادی جهت تشکیل ماتریس هدف استفاده شد. پس از آماده‌سازی 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.

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده

شیب دامنه: شیب از عوامل اصلی ایجاد زمین لغزش در مناطق مختلف است و بیش‌تر روش‌ها به این پارامتر تأکید دارند. به‌عنوان پیش‌فرض در شیب‌های کم‌تر از ۵ درجه لغزش اتفاق نخواهد افتاد (گومز<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). جهت تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده می‌شود. نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۶ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و بیش‌تر از ۴۵ درجه تهیه شد (شکل ۲).

لیتولوژی منطقه: در بسیاری از زمین لغزش‌ها نوع مصالح درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع لغزش بوده و تقریباً تمامی روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به‌نحوی در نظر گرفته‌اند. طبق بررسی‌های انجام‌گرفته حوضه آبریز دوآب الشتر از سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار است که این عامل تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد. در سازندهای حاوی سنگ‌های ماری و آهکی به‌دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیش‌تر است (شکل ۳).



شکل (۲) نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

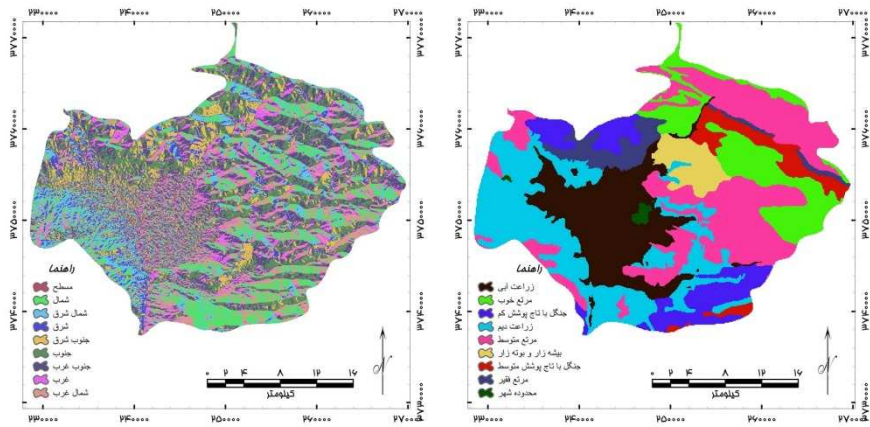
شکل (۳) نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

شرح علائم نقشه لیتولوژی: E2c: کنگلومرا و ماسه‌سنگ، JKbl: آهک متعفن الیتیک توده‌ای ضخیم لایه خاکستری، K1bl: آهک الیتیک توده‌ای ضخیم لایه خاکستری، Klsol: آهک اریبتولین دار توده‌ای ضخیم لایه خاکستری، MPHgp: گروه فارس، که به ترتیب عبارت‌اند از: گچساران، میشان و آقاجاری، MuPlaj: ماسه‌سنگ آهک‌دار قهوه‌ای مایل به خاکستری، زبیس حفره‌دار، مارن قرمز و سیلستون (سازند آقاجاری)، OMq: آهک، مارن گچ دار، مارن ماسه‌ای و ماسه‌سنگ، OMql: سنگ‌آهک ریفتی توده‌ای تا ضخیم لایه، Plbk: آهک با روکش مرجانی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا، Plc: کنگلومرای پلی متال و ماسه‌سنگ، Qft2: ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع، TRKurl: نهشته‌های آهکی و چرت‌های قرمز و ارغوانی رادیولیت دار.

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 دوآب الشتر به ۹ 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<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۶). بنابراین در پژوهش حاضر به‌منظور نشان‌دادن 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).



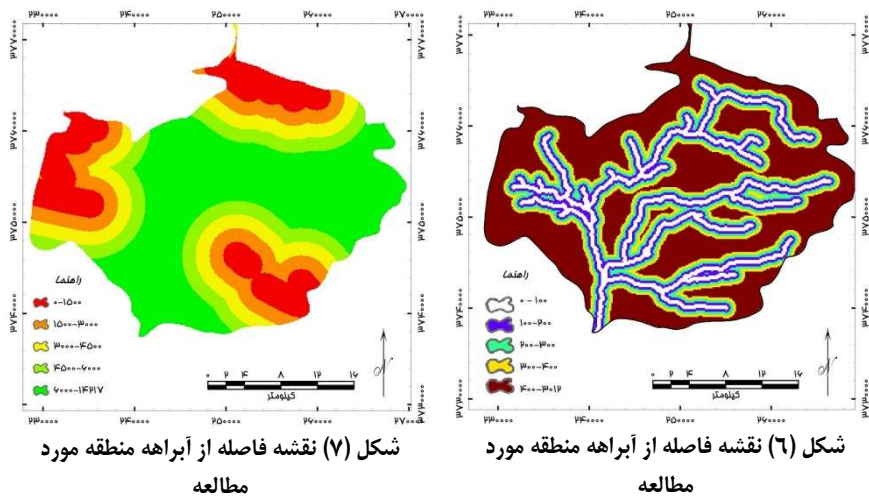
شکل (۵) نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

شکل (۶) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

فاصله از آبراهه: به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد. آنگاه نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس با فواصل ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۳۰۰ و بیش‌تر از ۴۰۰ متر تقسیم و برای نشان دادن ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و فاصله از آبراهه به‌کار برده شد (شکل ۶).

فاصله از گسل: خردشدگی و برشی‌شدن 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 لیتولوژی رقومی شد، سپس فاصله‌ها از گسل به ۵ کلاس با فواصل ۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۳۰۰۰، ۳۰۰۰-۴۵۰۰، ۴۵۰۰-۶۰۰۰ و بیش‌تر از ۶۰۰۰ متر طبقه‌بندی شده است (شکل ۷).

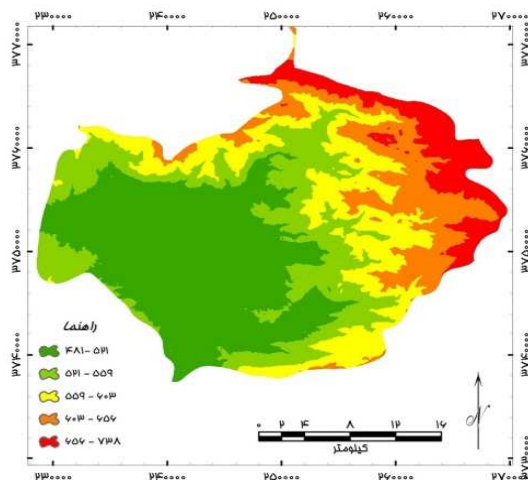




بارش: در مطالعه عناصر آب‌وهوایی، بارش به‌عنوان یکی از عناصر اصلی مؤثر بر دینامیک بیرونی مطالعه شده است. بارندگی به سبب بالا بردن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، که این افزایش به‌نوبه خود موجب افزایش فشار استاتیکی و فشار آب حفره‌ای در مصالح دامنه‌ها می‌شود، نقش بسزایی در لغزش ایفا می‌کند (معماریان، ۱۳۷۴). کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود پتانسیل وقوع لغزش را افزایش می‌دهند. از آنجایی که در مناطق کوهستانی بارش به‌شدت از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد، لذا در منطقه مورد مطالعه نیز به علت کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ای بین ارتفاع و میزان بارندگی در ایستگاه‌های موجود به‌دست آمد که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه آبریز دوآب الشتر تهیه شد.

$$p = 0.1183 \times h + 309.62 \quad \text{رابطه (۱)}$$

p میزان بارندگی برحسب میلی‌متر، h ارتفاع از سطح دریا برحسب متر. طبقه‌بندی میزان بارندگی با اختلاف ۱۰۰ میلی‌متر انجام شد (شکل ۸).



شکل (۸) نقشه بارش منطقه مورد مطالعه

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز دوآب الشتر بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط لغزشی، پراکندگی این نقاط نسبت به ۷ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول (۱) بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر لغزش با نقاط لغزشی در حوضه آبریز دوآب الشتر

فاصله از آبراهه		فاصله از گسل		بارش		کاربری اراضی		لیتولوژی		جهت شیب		شیب	
درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس
۵۲/۶	۰-۱۰۰	۵۵/۷۱	۰-۱۵۰۰	۱۷/۶۲	۴۸۱-۵۲۱	۰	زراعت آبی	۰	K1aml	۱۲/۸۶	۰-۲۲/۵	۰	۰-۵
۱۱/۴۳	۱۰۰-۲۰۰	۱۴/۲۸	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۱۹/۰۵	۵۲۱-۵۵۹	۰	مزارع خوب	۸/۵۷	Qt2	۱۰	۲۲/۵-۶۷/۵	۴/۲۸	۵-۱۵

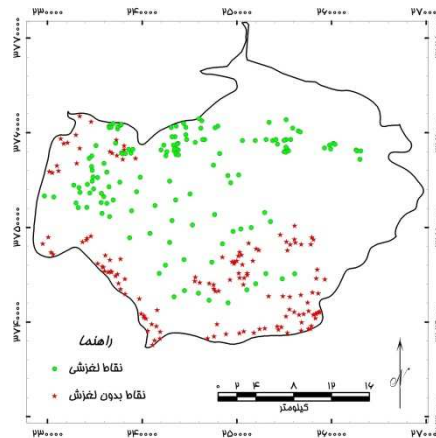
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۹/۵۰		
-	-	-	-	-	-	-	-	۳۰۰-۴۰۰	۲۰۰-۳۰۰		
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰	۱۲/۳۸		
-	-	-	-	-	-	-	-	۴۵۰۰-۶۰۰۰	۲۰۰۰-۴۵۰۰		
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۹/۰۵	۱۸/۵۷		
-	-	-	-	-	-	-	-	۶۰۳-۶۵۶	۵۵۹-۶۰۳		
-	-	-	-	-	۱/۴۳	-	۱۴/۲۸	۴/۹۰	۱۲/۳۸		
-	-	-	-	-	مربع با تاج پوشش فقیر	مربع با تاج پوشش متوسط	جنگل با تاج پوشش متوسط	بیشه‌زار و پوتزار	مربع با تاج پوشش متوسط	زراعت دیم	جنگل با تاج پوشش کم
۴۱/۴۳	۵/۷۱	۶/۶۷	۳۱/۴۳	۶/۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Mf	P1b	P1c	Ma	E2c	K1bs	JKr	JKbs	OMI	OMml		
-	-	-	۱۲/۳۸	۷/۱۴	۱۷/۱۴	۵/۷۱	۱۰	۵/۷۱	۱۸/۵۷		
-	-	-	۳۳۷/۵-۳۶۰	۲۹۲/۵-۳۳۷/۵	۳۴۷/۵-۲۹۲/۵	-۳۴۷/۵ ۲۰۲/۵	۱۵۷/۵-۲۰۲/۵	۱۱۲/۵-۱۵۷/۵	۶۷/۵-۱۱۲/۵		
-	-	-	-	-	-	۱۴/۲۸	۱۸/۵۷	۶۰	۲/۸۶		
-	-	-	-	-	-	>۴۵	۲۵-۴۵	۲۵-۳۵	۱۵-۲۵		

جهت شبکه‌بندی منطقه، ابعاد شبکه‌ها از ۳۰ متر تا ۳۰۰ 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 ۱۰۰ متر مناسب تشخیص داده شد. لذا برای تغذیه این اطلاعات به شبکه عصبی مصنوعی، منطقه مورد مطالعه با واحدهای مربع شکل با اضلاع ۱۰۰ متری شبکه‌بندی شدند که با این تقسیم‌بندی منطقه به ۸۰۳۷۸ پیکسل تقسیم و هر پیکسل از هر لایه نقشه اطلاعات مربوط به آن نقشه را دریافت می‌کرده و در نهایت هر پیکسل دارای ۷ 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 به کار گرفته شد. اطلاعات این دو نقشه برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی ضروری است.

نقشه نقاط لغزشی: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد و مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شدند. از آنجاکه بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نیستند لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و در کل ۱۴۰ پیکسل لغزشی در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد (شکل ۹).

نقشه نقاط غیرلغزشی: مناطق غیرلغزشی 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 ۹).



شکل (۹) نقشه پراکنش نقاط لغزشی و غیرلغزشی

برای تعیین شاخص حساسیت زمین‌لغزش (LSI) هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف، از مدل احتمالی نسبت فراوانی استفاده شد زیرا کاربرد آن ساده و نتایج آن خیلی قابل‌اعتماد است (لی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۷). بدین منظور ابتدا نسبت فراوانی محاسبه و در نهایت شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد.

برای تعیین نسبت فراوانی هر یک از طبقات عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، از رابطه ۲ استفاده شد.

$$Fr = \frac{\text{درصد پیکسل های لغزشی}}{\text{درصد پیکسل های غیرلغزشی}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$LSI = \sum Fr \quad \text{رابطه (۳)}$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین‌لغزش در هر طبقه

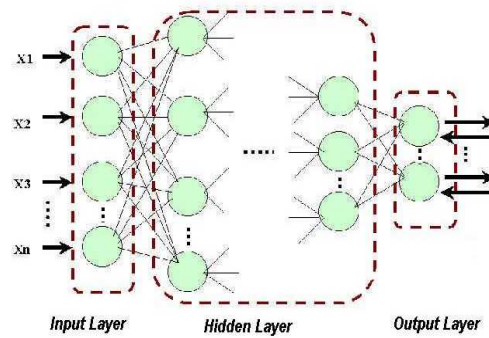
Fr: نسبت فراوانی وقوع زمین‌لغزش در هر طبقه

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 نوشته‌شده از رابطه (۴) استفاده شد.

$$xi = \frac{Z_i - Z_{i(\min)}}{Z_{i(\max)} - Z_{i(\min)}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$Z_i$  برابر با وزن پیکسل موردنظر،  $Z_i(\min)$  برابر با کم‌ترین وزن عامل مورد نظر،  $Z_i(\max)$  برابر با بیش‌ترین وزن عامل مورد نظر و  $x_i$  برابر با وزن نرمال شده عامل مورد نظر است.

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 چندمتغیره با اطلاعات دریافتی را به‌وجود آورد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۸).



شکل (۱۰) ساختار کلی یک شبکه عصبی چندلایه با واحدهای پردازش‌کننده (فاطمی عقدا، ۱۳۸۲)

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>۱۴</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 فضایی مناسب است و هرگز نیازی به استفاده از لایه‌های بیش‌تر نیست (منهاج، ۱۳۸۱: ۷۱۵). هم‌چنین جهت برآورد میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌عنوان یک شاخص کمی استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (obs - pre)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

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.

$$f(net_{pi}) = \frac{1}{1 + e^{-net_{pi}}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

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.

در این پژوهش از ضریب یادگیری ساده به‌علت همگرا نشدن و نرسیدن به خطای قابل‌قبول صرف‌نظر شد. همچنین میزان خطای ضریب یادگیری متغیر در مقایسه با روش لونبرگ - مارکوارت بیش‌تر بود به‌همین دلیل از روش لونبرگ - 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). در این پژوهش 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 (راکعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۱).

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)

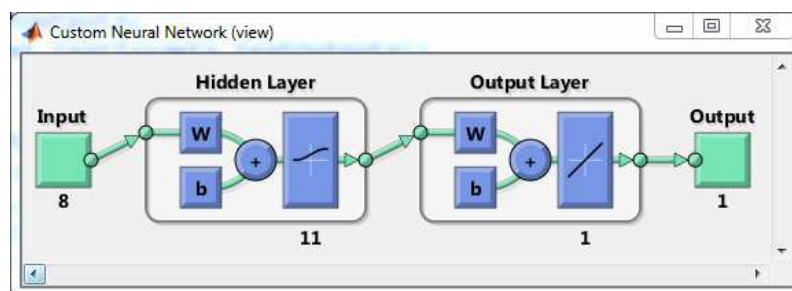
### یافته‌ها و بحث

برای آموزش و آزمایش شبکه از اطلاعات ۴۲۰ پیکسل لغزشی و غیرلغزشی استفاده شد که از این تعداد ۳۳۶ پیکسل برای آموزش و ۸۴ پیکسل برای آزمایش شبکه به‌کار رفته است. پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، نشان می‌دهد که شبکه



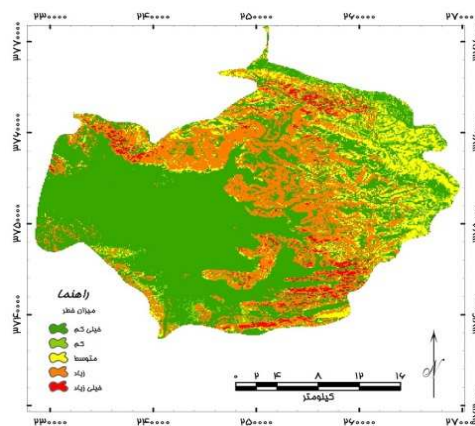
عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۴۲ پیکسل لغزشی، ۳۸ مورد را به‌درستی گزارش دهد که این نشان‌دهنده حساسیت تشخیص به‌مقدار ۹۰/۴۷ درصد است. همچنین از میان ۴۲ پیکسل غیرلغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۴۰ مورد از نمونه‌های آزمایشی شد که این بیانگر ویژگی تشخیص به‌مقدار ۹۵/۲۳ درصد است. بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۹۲/۸۵ درصد محاسبه شد. تعداد تکرار از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ تغییر داده شد. که با تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ 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 ممنتم 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 ۳۵ تغییر داده شدند که با ۱۱ نرون در لایه پنهان کم‌ترین مقدار خطا حاصل شد. همچنین از یک نرون در لایه خروجی استفاده شد که با توجه به تابع فعال به‌کار رفته در شبکه طراحی‌شده بین صفر و یک متغیر است. ساختار نهایی شبکه ۱-۱۱-۷ یعنی ۷ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده شد (شکل ۱۱) 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.



شکل (۱۱) ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز دوآب الشتر

پس از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده، هم‌چنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده شده 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 شامل ۸۰۳۸۷ پیکسل و هر کدام از پیکسل‌ها دارای ۷ ویژگی مربوط به ۷ عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش 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) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز دوآب الشتر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

جدول (۲) درصد مساحت هر یک از پهنه‌های لغزشی در حوضه آبریز دوآب الشتر

درصد مساحت	کلاس‌های خطر
۴۴/۳۷	خیلی کم
۷/۴۵	کم
۸/۹۳	متوسط
۳۲/۴۹	زیاد
۶/۷۶	خیلی زیاد

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد (جدول ۱) بیش‌ترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ‌داده در منطقه در شیب ۳۵-۴۵ 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 رخ‌داده (به‌جز ریزش) کاهش می‌یابد. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که این جهات تأثیر متفاوتی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. در حوضه آبریز دوآب الشتر بیش‌ترین حساسیت به زمین‌لغزش در جهات شمال و غرب وجود دارد. با توجه به این‌که در نیمکره شمالی دامنه‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب است نور خورشید را بیش‌تر دریافت کرده و تبخیر در آن‌ها بیش‌تر می‌شود، لذا در دامنه‌هایی با شیب جنوبی، لغزش‌های بیش‌تری رخ دهد؛ اما در مورد حوضه آبریز دوآب الشتر نتایج دور از انتظار بود و در توضیح این مطلب می‌توان گفت که عامل جهت یک عامل غالب برای وقوع زمین‌لغزش در این منطقه محسوب نمی‌شود و در این جهات عوامل دیگری به‌عنوان عامل غالب ایفای نقش کرده‌اند.

حوضه آبریز دوآب الشتر از سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار بوده که همین عامل تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد. در سازندهای حاوی سنگ‌های ماری و آهکی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیش‌تر است به‌طوری‌که می‌توان این عامل را به‌نوعی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه برشمرد. نتایج نشان می‌دهد (جدول ۱) که گروه فارس که به‌ترتیب عبارت‌اند از سازندهای گچساران، میشان و آقاجاری بیش‌ترین حساسیت در مقابل لغزش را دارا هستند.

نتایج به‌دست‌آمده از کاربری اراضی نشان‌دهنده آن است که بیش‌ترین حساسیت به لغزش در اراضی جنگلی وجود دارد 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 ماری باشد، بعد از اراضی جنگلی بیش‌ترین حساسیت در برابر لغزش مربوط

به واحد اراضی زراعی دیم است که علت آن را می‌توان در نقش انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جستجو کرد.

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 ۱۵۰۰ 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 ۱۰۰-۰ متری وجود دارد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ۴۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۳۲/۴۹، ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه به‌ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۲).

## منابع

- راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشالله؛ عبدالملکی پرویز و پانته‌آ گیاهچی (۱۳۸۶)، «کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش»، *مجله علوم دانشگاه تهران*، ۳۳(۱): ۵۷-۶۴.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ الشتر، نهاوند، 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)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بخشی از حوضه آبخیز هراز»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- سوری، سلمان؛ لشگری پور، غلامرضا و محمد غفوری (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی»، *نشریه زمین‌شناسی مهندسی*، جلد ۵ شماره ۲، صص ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
- فاطمی عقدا، سید محمود و جعفر غیومیان (۱۳۸۲)، «ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش»، *مجله علوم زمین*، ۱۱(۴۷-۴۸): ۲۸-۴۷.
- فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۳۹۱): «پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی»، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، تبریز.
- کورکی‌نژاد، محمد (۱۳۸۰)، «مقایسه کارایی دو مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری و مورا) با استفاده از ساجد در حوضه آبخیز سیاه رودبارگران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۴ص.
- کیا، مصطفی (۱۳۸۹)، «*شبکه‌های عصبی در متلب*»، انتشارات کیان رایانه سبز، ص ۲۲۹.
- مرادی، حمیدرضا؛ سپهوند، علی و پرویز عبدالمالکی (۱۳۸۹)، «بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)»،

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.

- منہاج، محمدباقر (۱۳۸۱)، «مبانی شبکه‌های عصبی»، انتشارات صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ص ۷۱۵.

- نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ طالبی، علی؛ آرخی، صالح و محمدحسین مختاری (۱۳۸۹)، «ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوضه سد ایلام»، *مجله علمی و پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، سال ۴، شماره ۱۰، بهار صص ۹-۲۰.

-Biswajeet Paradhan, (2010), “Remote sensing and GIS based Landslide 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

-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.

-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”, *Procedures for Landslide Suceptibility Zoning 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".
- 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 weighats 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 zoning", *Geomorphology*, 94: 379-400.
- Yilmaz, I., (2009), "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.