

## مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش



ایمانعلی بلواسی\*

کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز

محمدحسین رضائی مقدم (Rezmogh@yahoo.com)

استاد ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

محمدرضا نیکجو (nikjoo13471@gmail.com)

استادیار گروه آب‌وهواشناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز

خلیل ولیزاده کامران (valizadeh1@tabrizu.ac.ir)

استادیار گروه آب‌وهواشناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۱۲/۱ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۴/۶/۲۵)

### چکیده

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی به‌شمار می‌رود که هر ساله به خسارات زیادی منجر می‌شود. حوضه دوآب الشتر با داشتن چهره‌ای کوهستانی و مرتفع و شرایط طبیعی مختلف دارای استعداد بالقوه زمین‌لغزش است. هدف این تحقیق مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، به منظور ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر است. بدین منظور ابتدا پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استخراج و سپس لایه‌های مربوط تهیه شد. سپس نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده حوضه تهیه شد. در ادامه با مقایسه و بررسی نقشه عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS سنجیده شد. در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر، از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. در مدل شبکه عصبی مصنوعی الگوریتم پس‌انتشار خطا و تابع فعال‌سازی سیگموئید به‌کار گرفته شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۸ نورون در لایه ورودی، ۱۱ نورون در لایه پنهان و ۱ نورون در لایه خروجی شد. پس از بهینه‌شدن ساختمان شبکه، کل اطلاعات منطقه در اختیار شبکه قرار گرفت و در نهایت با توجه به وزن خروجی، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش تهیه شد. در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، پس از مقایسه زوجی و استخراج وزن پارامترها، با تلفیق آنها پتانسیل زمین‌لغزشی حوضه به‌دست آمد. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه از ضریب آماری کاپا استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۰ روش کارآمدتری نسبت به مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه دوآب الشتر است. **واژه‌های کلیدی:** حوضه دوآب الشتر، زمین‌لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبکه عصبی مصنوعی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی.

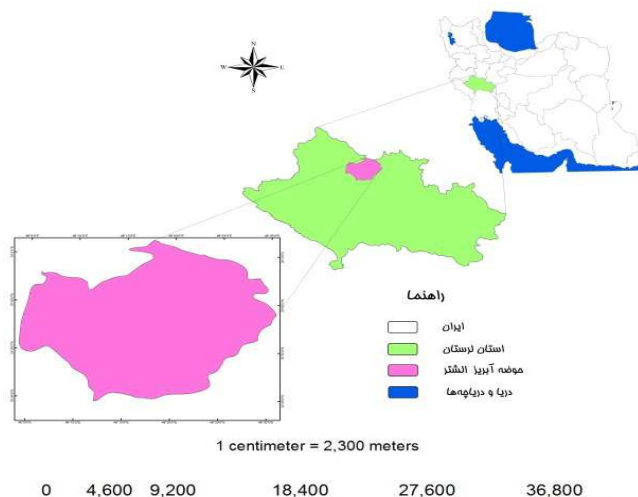
**مقدمه**

زمین لغزش یکی از فرایندهای ژئومورفیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی است که سبب حوادث فاجعه‌باری شده است [۲۸]. طی این فرایند، 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 می‌گیرند و به شکل‌های مختلف به پایین‌دست دامنه جریان می‌یابند. کشور ایران به‌دلیل شرایط خاص آب‌وهوایی، فیزیوگرافی و تغییر کاربری همواره با مشکل حرکات توده‌ای مواجه است و توجه به این محدودیت طبیعی، ضروری به نظر می‌رسد [۱۶]. 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 سست مارنی - شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در سراسر این استان شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی به‌وجود آورده است [۸]. شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه تحقیق (حوضه دوآب الشتر) به‌گونه‌ای است که لغزش قطعات و توده‌های سنگ و خاک را در مقیاس کوچک تا بزرگ مهیا کرده است. با توجه به اهمیت پدیده زمین‌لغزش مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام گرفته است. از جمله کانونگ و همکاران با به‌کارگیری روش‌های وزن‌دهی دانش کارشناسی، فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، عوامل مؤثر در لغزش زمین را وزن‌دهی کردند و دریافتند که اگر از مقادیر کلاس‌ها در شبکه عصبی استفاده شود، این شبکه بهترین نتایج را به بار خواهد آورد [۳۰]. مالچیور و همکاران با تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز گسیختگی به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی، روشی مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش است [۳۶]. یلماز 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 [۳۸]. بیسواجیت با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خطر زمین‌لغزش در منطقه سلانگور مالزی را ارزیابی کرد [۲۵]. فاطمی عقدا و همکاران برای پهنه‌بندی خطر رانش زمین از روش شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه و الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده کردند [۱۱]. راکعی و همکاران به ارزیابی کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه

سفیدارگله در استان سمنان پرداختند [۲]. مرادی و همکاران به بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه آبریز هراز پرداختند [۲۰]. سوری و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز نوژیان را پهنه‌بندی کردند [۸]. فیض‌اله‌پور در رساله دکتری خود به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد [۱۲]. فیض‌نیا و همکاران [۱۳]، شادفر و همکاران [۹]، ناجی [۲۲]، محمدی [۱۹]، بیناگی و همکاران [۲۴]، لان و همکاران [۳۲]، کرم [۱۵]، احمدی و همکاران [۱]، محمدی [۱۹]، و کومک و همکاران [۳۱] از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده کردند. از آنجا که پیش‌بینی زمان و مکان رخداد زمین‌لغزش از توان دانش فعلی بشر خارج است، برای بیان حساسیت دامنه‌ها به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق مختلف می‌پردازند. در پهنه‌بندی، خطر زمین‌لغزش سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات مختلف خطر کم تا بسیار زیاد تقسیم می‌شود [۹]. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش، به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب به‌منظور اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی می‌کند و نتایج این‌گونه مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی استفاده شود [۳۷]. هدف این پژوهش، مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر است. پس از تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، این دو مدل توسط ضریب آماری کاپا مقایسه شدند. مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۹۰ درصد مدل کارآمدتری برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه تحقیق معرفی شد.

### منطقه تحقیق

حوضه دوآب الشتر جزئی از شهرستان الشتر محسوب می‌شود که با مساحت ۸۰۳ کیلومتر مربع، در شمال استان لرستان، شمال غرب خرم‌آباد، غرب بروجرد و جنوب نهاوند در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳ دقیقه و ۶ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۳ درجه و ۱۵ ثانیه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱ حوضه دوآب الشتر از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش است، تأثیر بسزایی در پهنه‌بندی دارد. از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان به کوه‌های گرین، خرگوشناب، اسپیش و مه‌اب اشاره کرد که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱. موقعیت حوضه دوآب الشتر در ایران و استان لرستان

### روش‌شناسی

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر سنجنده ETM 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 شد. همچنین نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2 برای ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل، ENVI 4.8 برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و MATLAB 2011 به منظور طراحی مدل شبکه عصبی استفاده شد. در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش هشت عامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله گسل، فاصله از آبراهه و بارش بررسی شد. نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در شبکه عصبی مصنوعی و، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. جهت رهیافت به این مطالعه ابتدا به بررسی و مطالعه سوابق علمی موجود، برای 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. در مدل شبکه

عصبی به منظور آموزش شبکه، لایه‌های تهیه‌شده، 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 شد. برای تشکیل ماتریس ورودی شبکه‌های عصبی ابتدا چند نقطه به صورت منظم از حوضه مورد نظر انتخاب و با تمام لایه‌ها، قطع داده شد و ارزش آنها استخراج شد. در ادامه به سبب زمان‌بر بودن و سنگین بودن فرایند آموزش، تعدادی از نمونه‌ها به صورت تصادفی، به منظور ایجاد و آموزش شبکه، برای تمامی نمونه‌های استخراجی انتخاب شدند. برای تشکیل ماتریس هدف (خروجی مطلوب) به نمونه‌های واقعی از زمین لغزش نیاز است. بدین منظور اقدام به نمونه‌برداری میدانی با GPS از زمین لغزش‌های موجود در حوضه شد و آن‌گاه از تعدادی از این نمونه‌ها برای ارزیابی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل و تعدادی برای تشکیل ماتریس هدف استفاده شد. پس از آماده‌سازی ماتریس ورودی و ماتریس هدف، این اطلاعات وارد نرم‌افزار متلب شد و شبکه عصبی طراحی شد و پس از آموزش شبکه، پیش‌بینی و شبیه‌سازی لازم صورت گرفت.

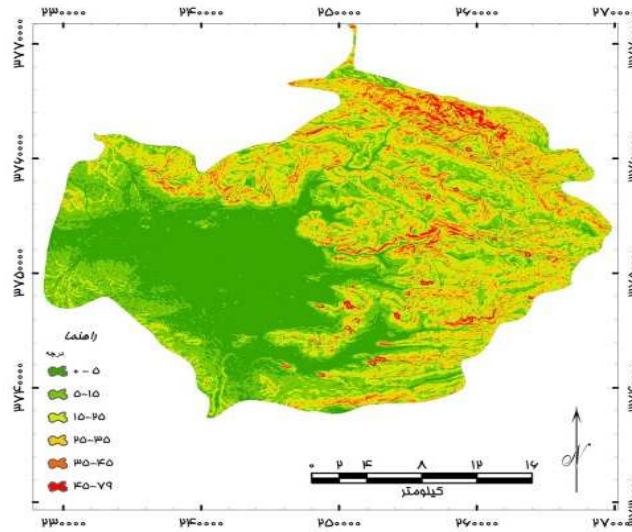
### لایه‌های اطلاعاتی استفاده‌شده

#### شیب دامنه

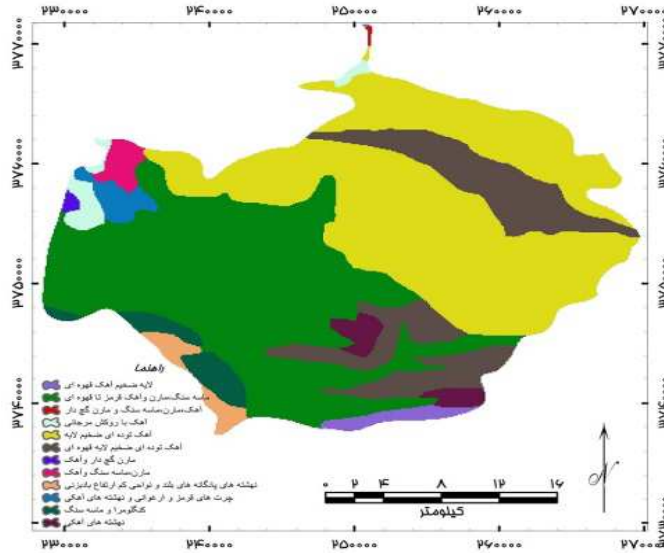
شیب از عوامل اصلی ایجاد زمین لغزش در مناطق مختلف است و بیشتر روش‌ها بر این پارامتر تأکید دارند. به عنوان پیش‌فرض در شیب‌های کمتر از ۵ درجه لغزش اتفاق نخواهد افتاد [۲۷]. برای تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه استفاده می‌شود. نقشه شیب برای منطقه تحقیق برای جلوگیری از هرگونه پیش‌داوری در ۶ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و بیشتر از ۴۵ درجه تهیه شد (شکل ۲).

#### زمین‌شناسی منطقه

در بسیاری از زمین لغزش‌ها، نوع مصالح درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع لغزش است و بیشتر روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به نحوی در نظر گرفته‌اند. بنابر بررسی‌های انجام‌گرفته حوضه دوآب الشتر از سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار است که این عامل تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد. در سازندهای حاوی سنگ‌های مارنی و آهکی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیشتر است [۸] (شکل ۳).



شکل ۲. نقشه شیب منطقه تحقیق



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه تحقیق

### کاربری اراضی

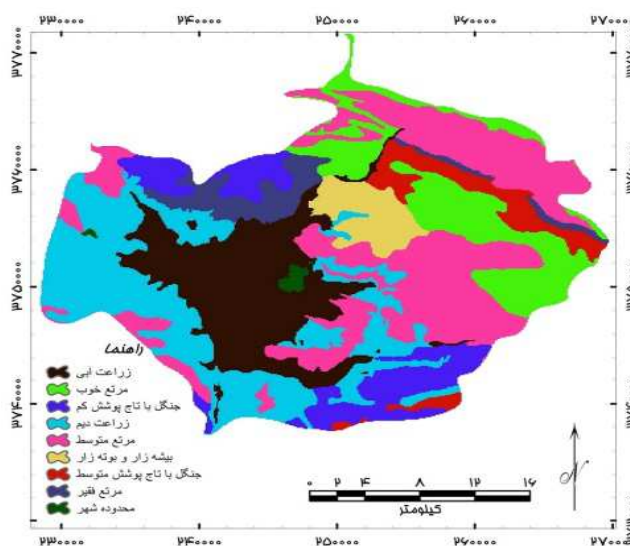
مطالعه نوع پوشش گیاهی روی زمین و نوع کاربرد آن در مصارف کشاورزی، صنعتی و عمرانی در بررسی لغزش دامنه‌ها بسیار مهم است. با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری، زمین‌های حوضه دوآب الشتر به ۹ کلاس تقسیم شدند که مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان منابع طبیعی استان لرستان انجام گرفته است (شکل ۴).

### طبقات ارتفاعی

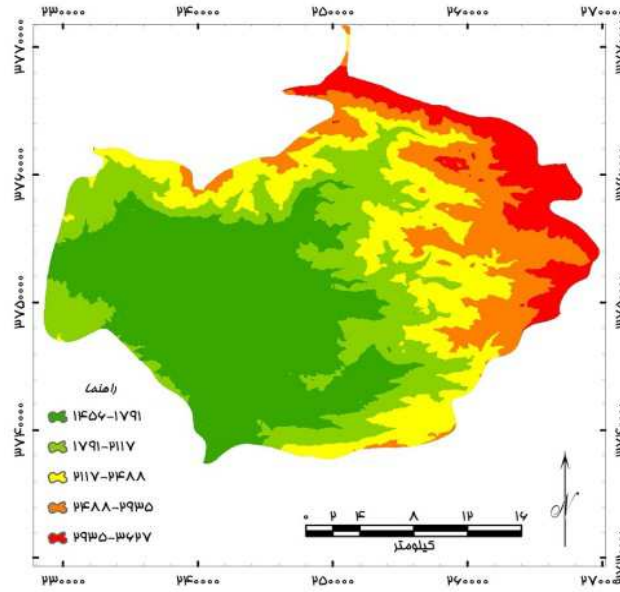
برخی از محققان ارتفاع را یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها در نظریه‌گیری‌ها [۳۸]. عامل یادشده، جهت آبراهه‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر چشمگیری دارد [۲۹]. برای تهیه نقشه طبقات ارتفاعی از مدل ارتفاعی رقومی منطقه تحقیق استفاده و طبقات ارتفاعی در ۵ کلاس تهیه شد (شکل ۵).

### جهت شیب دامنه

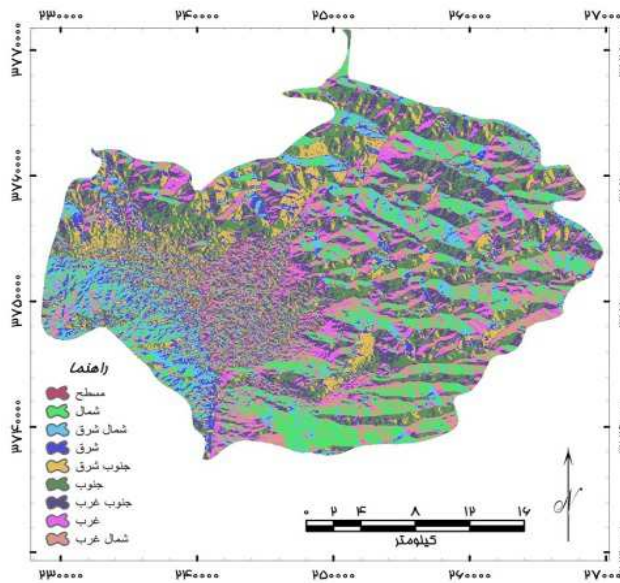
جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است [۳۱]. بنابراین در پژوهش حاضر به منظور نشان دادن ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخ داده، نقشه جهت شیب برای منطقه تحقیق به ۹ کلاس شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب، شمال غرب و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۶).



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی منطقه تحقیق

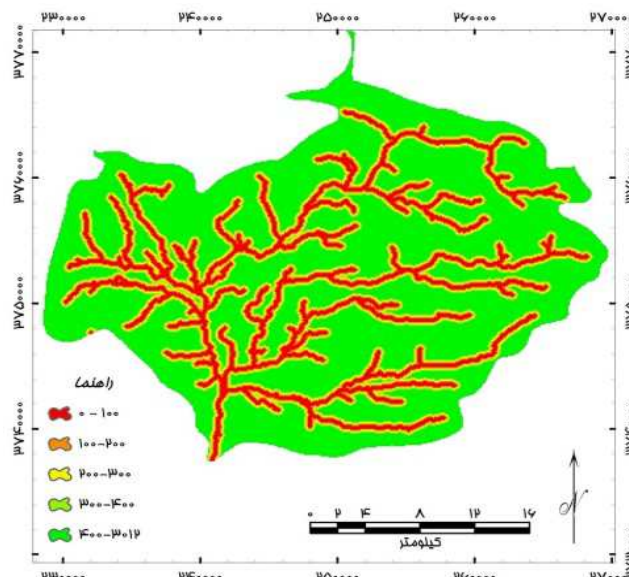


شکل ۵. نقشه طبقات ارتفاعی منطقه تحقیق



شکل ۶. نقشه جهت شیب منطقه تحقیق





شکل ۷. نقشه فاصله از آبراهه منطقه تحقیق

#### فاصله از آبراهه

برای تهیه نقشه 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 ۱۰۰-، ۲۰۰-، ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۳۰۰ و بیشتر از ۴۰۰ متر تقسیم شد و برای نشان دادن ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و فاصله از آبراهه به کار برده شد (شکل ۷).

فاصله از گسل: خردشدگی 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 اثرهایی است که می‌توان به آنها اشاره کرد [۸]. از این رو برای تهیه نقشه فاصله از گسل نخست گسل‌های منطقه تحقیق با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شد، سپس فاصله‌ها از گسل به پنج کلاس با فواصل ۱۵۰-، ۳۰۰-۱۵۰، ۴۵۰-۳۰۰، ۶۰۰-۴۵۰ و بیشتر از ۶۰۰ متر طبقه‌بندی شد (شکل ۸).

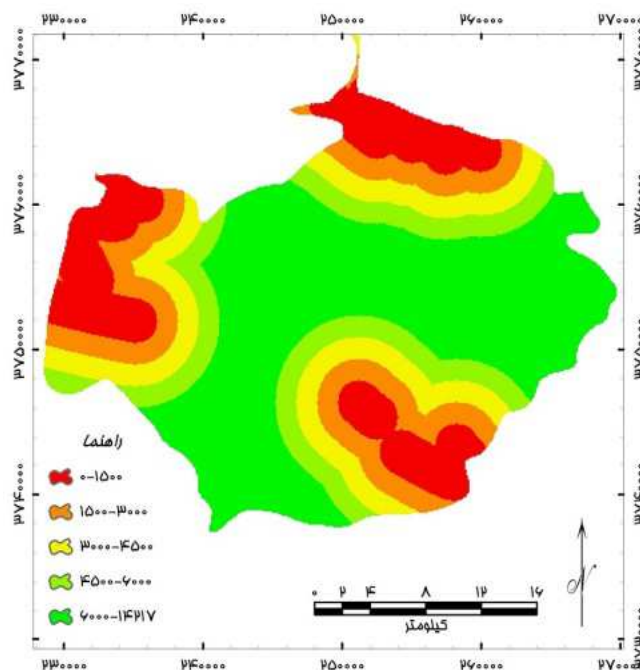
#### بارش

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 خود موجب

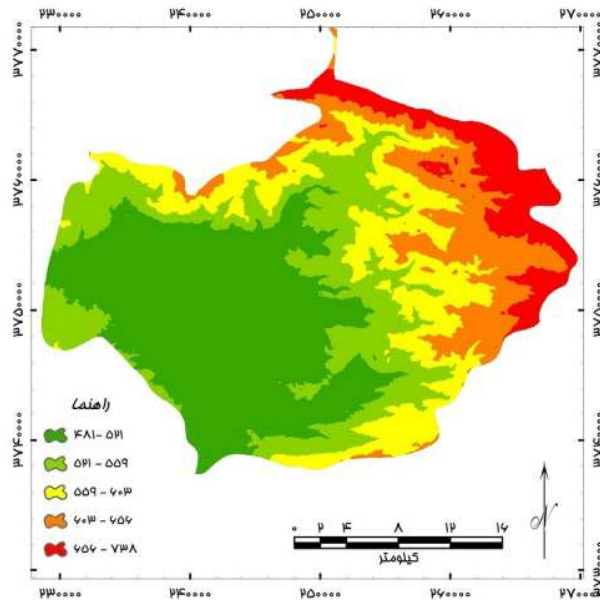
افزایش فشار استاتیکی و فشار آب حفره‌ای در مصالح دامنه‌ها می‌شود، تأثیر بسزایی در لغزش دارد [۲۰]. کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود پتانسیل وقوع لغزش را افزایش می‌دهند. از آنجا که در مناطق کوهستانی بارش به شدت از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد، از این رو در منطقه تحقیق نیز به علت کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ای بین ارتفاع و مقدار بارندگی در ایستگاه‌های موجود به دست آمد که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه دو آب الشتر تهیه شد. برای به دست آوردن این رابطه ابتدا داده‌های مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه تحقیق شامل ارتفاع ایستگاه و مقدار بارندگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه تهیه شد. سپس با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار اکسل رابطه بین بارش و ارتفاع در این منطقه محاسبه شد (رابطه ۱).

$$p = 0.1183 * h + 309 / 62 \quad (1)$$

در این رابطه  $p$  مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر، و  $h$  ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر است. پس از تهیه نقشه هم‌بارش، این نقشه در ۵ دسته طبقه‌بندی شد (شکل ۹).



شکل ۸. نقشه فاصله از گسل منطقه تحقیق



شکل ۹. نقشه بارش منطقه تحقیق

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه دواب الشتر بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط لغزشی، پراکندگی این نقاط نسبت به هشت عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد (جدول ۱).  
 به‌منظور شبکه‌بندی منطقه، ابعاد شبکه‌ها از ۳۰ متر تا ۳۰۰ متر تغییر داده شد. با توجه به ابعاد حوضه مقدار ۱۰۰ متر مناسب تشخیص داده شد. از این‌رو برای تغذیه این اطلاعات به شبکه عصبی مصنوعی، منطقه تحقیق به ۸۰۳۷۸ پیکسل تقسیم شد و هر پیکسل از هر لایه نقشه اطلاعات مربوط به آن نقشه را دارد و در نهایت هر پیکسل دارای هشت مشخصه اطلاعاتی مربوط به لایه‌های تأثیرگذار بر زمین‌لغزش می‌شود. پس از انتخاب عوامل و نقشه‌های رقمی شده آنها دو سری اطلاعات برای هر کدام از این عوامل برای تحلیل در سیستم شبکه عصبی به کار گرفته شد.

جدول ۱. بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر لغزش با نقاط لغزشی در حوضه د آب الشتر

طبقات	فاصله از	فاصله از	فاصله از	بارش	کاربری	لیتولوژی	جهت	شیب
ارتفاهی	آبراهه	گسل	گسل	کلاس	اراضی	کلاس	شیب	شیب
درصد لغزش کلاس	۲۰/۹۵	۲۱/۴۲	۱۹/۰۵	۲۶/۱۹	۱۲/۳۸	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۱۷۹۱-۱۴۵۶	۲۱۱۷-۱۷۹۱	۲۴۸۸-۲۱۱۷	۲۹۳۵-۲۴۸۸	۲۶۲۷-۲۹۳۵	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۵۴/۷۶	۱۱/۴۳	۹/۵۰	۱۲/۳۸	۱۱/۹۰	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	>۴۰۰	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۵۵/۷۱	۱۴/۲۸	۱۲/۳۸	۱۰	۷/۶۲	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۴۵۰۰	۴۵۰۰-۶۰۰۰	>۶۰۰۰	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۱۷/۶۲	۱۹/۰۵	۱۸/۵۷	۱۹/۰۵	۲۵/۷۱	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۴۸۱-۵۲۱	۵۲۱-۵۵۹	۵۵۹-۶۰۳	۶۰۳-۶۵۶	۶۵۶-۷۳۸	-	-	-
درصد لغزش کلاس	۰	۰	۱۲/۳۸	۴۱/۹۰	۲۲/۸۶	۷/۱۴	۱۴/۲۸	۱/۴۳
درصد لغزش کلاس	زراعت آبی	مراتع خوب	جنگل با تاج پوشش کم	زراعت دیم	مرتع با تاج پوشش متوسط	بیشهزار و بوتهازار	جنگل با تاج پوشش متوسط	مرتع با تاج پوشش فقیر
درصد لغزش کلاس	۰	۸/۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
درصد لغزش کلاس	K1aml	Qt2	OMml	OMI	JKbs	JKr	K1bs	E2c
درصد لغزش کلاس	۱۲/۸۶	۱۰	۱۸/۵۷	۵/۷۱	۱۰	۵/۷۱	۱۷/۱۴	۷/۱۴
درصد لغزش کلاس	۰-۲۲/۵	۲۲/۵-۶۷/۵	۶۷/۵-۱۱۲/۵	۱۱۲/۵-۱۵۷/۵	۱۵۷/۵-۲۰۲/۵	۲۰۲/۵-۲۴۷/۵	۲۴۷/۵-۲۹۲/۵	۲۹۲/۵-۳۳۷/۵
درصد لغزش کلاس	۰	۴/۲۸	۲/۸۶	۶۰	۱۸/۵۷	۱۴/۲۸	-	-
درصد لغزش کلاس	۰-۵	۵-۱۵	۱۵-۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۴۵	>۴۵	-	-
درصد لغزش کلاس	Mf	Plb	Plc	Ma	E2c	K1bs	JKr	JKbs
درصد لغزش کلاس	-	-	-	۱۲/۳۸	۷/۱۴	۱۷/۱۴	۵/۷۱	۱۰
درصد لغزش کلاس	-	-	-	۳۳۷/۵-۳۶۰	۲۹۲/۵-۳۳۷/۵	۲۴۷/۵-۲۹۲/۵	۲۰۲/۵-۲۴۷/۵	۱۵۷/۵-۲۰۲/۵
درصد لغزش کلاس	-	-	-	-	-	-	۱۴/۲۸	۱۸/۵۷
درصد لغزش کلاس	-	-	-	-	-	-	>۴۵	۳۵-۴۵

## نقشه نقاط لغزشی

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد و مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شدند. از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نیستند، برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های در دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و در کل ۷۰ پیکسل لغزشی در منطقه تحقیق تشخیص داده شد (شکل ۱۰). نقشه نقاط غیر لغزشی: 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 [۲۷] (شکل ۱۰).

برای تعیین شاخص حساسیت زمین لغزش هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف، از مدل احتمالی نسبت فراوانی استفاده شد زیرا کاربرد آن ساده و نتایج آن خیلی اطمینان‌بخش است [۳۳]. 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 زمین لغزش، از رابطه ۲ استفاده شد.

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

$$LSI = \sum Fr \quad (۳)$$

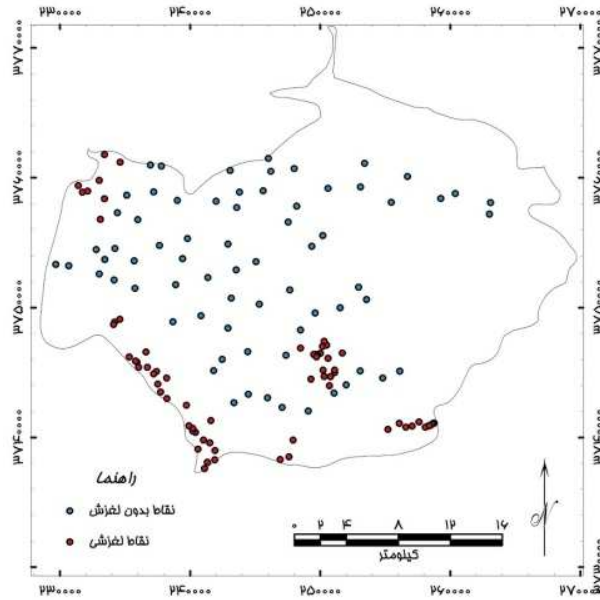
LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش در هر طبقه

Fr: نسبت فراوانی وقوع زمین لغزش در هر طبقه

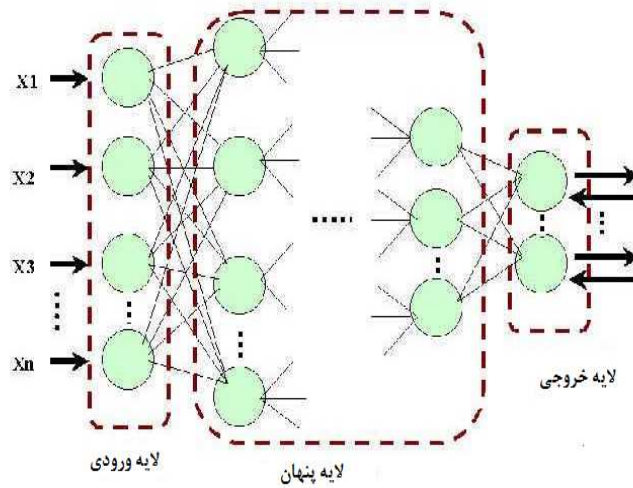
برای تسهیل در همگرایی شبکه عصبی مصنوعی و عدم کاهش سرعت شبکه، مقادیر مربوط به نورون‌های ورودی نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن داده‌ها در برنامه نوشته شده از رابطه ۴ استفاده شد.

$$x_i = \frac{z_i - z_{i(\min)}}{z_{i(\max)} - z_{i(\min)}} \quad (۴)$$

$z_i$  برابر با وزن پیکسل مورد نظر،  $z_{i(\min)}$  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 آنها، یک سری اطلاعات جدید را ارائه دهد [۳۳].



شکل ۱۰. نقشه پراکنش نقاط لغزشی و غیرلغزشی



شکل ۱۱. ساختار کلی یک شبکه عصبی چندلایه با واحدهای پردازش کننده [۱۱]

در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه به دلیل کارایی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی [۱۷] با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده شد. در ساختار شبکه عصبی مصنوعی نیز از سه لایه استفاده شد چون طبق قضیه کولموگوروف، سه لایه برای تفکیک هر نوع فضایی مناسب است و هرگز نیازی به استفاده از لایه‌های بیشتر نیست [۲۱]. همچنین برای برآورد میزان دقت شبکه عصبی مصنوعی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌عنوان یک شاخص کمی استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (obs - pre)^2}{n}} \quad (5)$$

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.

$$f(net_{pi}) = \frac{1}{1 + e^{-net_{pi}}} \quad (6)$$

در این پژوهش از ضریب یادگیری ساده به‌علت همگرا نشدن و نرسیدن به خطای قابل قبول صرف‌نظر شد. همچنین میزان خطای ضریب یادگیری متغیر در مقایسه با روش لونیگ-مارکوارت بیشتر بود. به همین دلیل از روش لونیگ-مارکوارت استفاده شد. با توجه به تعداد پارامترهای ورودی تعداد نورون در لایه ورودی متفاوت است و تعداد نورون خروجی نیز به هدف تحقیق بستگی دارد [۳۴]. در این پژوهش هشت عامل به‌عنوان پارامترهای ورودی و یک نورون نیز به‌عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. روش‌ها و فرمول‌های زیادی برای تعیین تعداد نورون در لایه پنهان وجود دارد، ولی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای کمترین مقدار خطا، روش سعی و خطاست [۲]. 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، برای 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 براساس روابط مشخص هر عامل دارای وزن جدیدی خواهد شد که این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده می‌شود [۷]. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با توجه به

نظر کارشناسی ابتدا ماتریس مقایسه زوجی عوامل تأثیرگذار تشکیل شد. پس از تشکیل ماتریس مورد نظر برای تک تک عوامل جمع هر ستون در زیر آن نوشته شد؛ سپس برای محاسبه وزن هر عامل مقادیر هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون‌های همان لایه تقسیم و در جدول دیگری نوشته می‌شود. در این جدول از اعداد موجود در هر کدام از سطرها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن هر لایه در نظر گرفته می‌شود. بعد از اینکه وزن هر کدام از لایه‌ها به دست آمد در مرحله بعد باید نرخ هر کدام از طبقات عوامل مختلف را مشخص کرد. در نهایت با استفاده از رابطه ۷ نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین لغزش به دست می‌آید.

$$M = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 + \dots \quad (7)$$

در رابطه ۷،  $M$ ، عامل حساسیت،  $X$  فاکتور مربوط به عوامل مختلف و  $\alpha$  مربوط به مقادیر وزنی هر کدام از طبقات لایه‌های مختلف است.

جدول ۲. مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل [۱۴]

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	اولویت بین فواصل

#### محاسبه نسبت سازگاری<sup>۱</sup>

سازوکاری که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام نسبت سازگاری است که از تقسیم شاخص سازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. برای محاسبه نرخ سازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی در بردار وزن ضرب شود تا تخمین مناسبی از وزن‌ها به دست آید. سپس مقادیر به دست آمده را بر وزن‌های مربوط تقسیم می‌کنیم تا مقادیر بردار پایداری

1.Consistency ratio



محاسبه شود. در ادامه میانگین مقادیر بردار پایداری را حساب می‌کنیم تا  $\lambda$  به دست آید. مقدار  $\lambda$  به دست آمده را در رابطه ۸ جای گذاری می‌کنیم تا شاخص سازگاری حاصل شود و ضریب سازگاری نیز با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود که در آن مقدار R.I نیز از جدول ۲ استخراج می‌شود [۱۴].

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.

$$CI = \frac{\lambda - 1}{n - 1} \quad (۸)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۹)$$

جدول ۳. مقادیر R.I ماتریس‌های تصادفی [۱۴]

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
R.I	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵

جدول ۴. ماتریس مشاهده‌ای و پیش‌بینی

	Positive	Negative
Positive	a	b
Negative	c	d

: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی به‌عنوان نقاط لغزشی هستند.

b: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط لغزشی و در پیش‌بینی به‌عنوان نقاط غیرلغزشی هستند.

c: تعداد نقاطی هستند که در مشاهده نقاط غیرلغزشی و در پیش‌بینی به‌عنوان نقاط لغزشی هستند.

d: تعداد نقاطی هستند که هم در مشاهده و هم در پیش‌بینی به‌عنوان نقاط غیرلغزشی هستند.

مقدار ضریب کاپا را از روابط زیر محاسبه می‌کنیم.

$$KAPPA \text{ Coefficient} = \frac{\text{Observed Agreement} - \text{Expected Agreement}}{1 - \text{Expected Agreement}} \quad (۱۰)$$

$$\text{observed Agreement} = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad (11)$$

$$\text{Expected Agreement} = \left( \frac{a+c}{N} * \frac{a+b}{N} \right) + \left( \frac{b+d}{N} * \frac{c+d}{N} \right) \quad (12)$$

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

### بحث

برای آموزش و آزمایش شبکه از اطلاعات ۱۴۰ پیکسل لغزشی و غیرلغزشی استفاده شد که از این تعداد ۱۱۲ پیکسل برای آموزش و ۲۸ پیکسل برای اعتبارسنجی شبکه به‌کار رفته است. پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، نشان می‌دهد که شبکه عصبی ایجادشده قادر است از میان ۱۴ پیکسل لغزشی، ۱۳ مورد را به‌درستی گزارش دهد که این نشان‌دهنده حساسیت تشخیص به‌مقدار ۹۲/۸۵ درصد است. همچنین از میان ۱۴ پیکسل غیرلغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۱۲ مورد از نمونه‌های آزمایشی شد که این بیانگر ویژگی تشخیص به‌مقدار ۸۵/۷۱ درصد است. بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۸۹/۲۸ درصد محاسبه شد. تعداد تکرار از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ تغییر داده شد. که با تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ کمترین مقدار خطا محاسبه شد. به‌طور معمول الگوریتم پس‌انتشار خطا با نسبت یادگیری کم، بهترین جواب را می‌دهد [۱۱]. با در نظر گرفتن اینکه نسبت ممنتم برای الگوریتم پس‌انتشار خطا به‌طور معمول 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 نوروهای لایه پنهان بین ۳ تا ۳۵ تغییر داده شدند که با ۱۱ نورون در لایه پنهان کمترین مقدار خطا حاصل شد. همچنین از یک نورون در لایه خروجی استفاده شد که با توجه به تابع فعال‌سازی به‌کاررفته در شبکه طراحی شده بین صفر و یک متغیر است. ساختار نهایی شبکه ۱-۱۱-۸ یعنی ۸ نورون در لایه ورودی، ۱۱ نورون در لایه پنهان و ۱ نورون 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 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 مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده، همچنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده می‌شود تا تحلیل منطقی در مورد اطلاعاتی که قبلاً با آنها مواجه نشده است 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 هرکدام از پیکسل‌ها دارای ۸ ویژگی مربوط به ۸ عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش بود در اختیار شبکه قرار گرفت. پس از تحلیل این داده‌ها توسط شبکه، برای هرکدام 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 دسته‌بندی شد (شکل ۱۲). جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در حوضه دوآب الشتر ابتدا ماتریس مقایسه زوجی عوامل تشکیل و وزن هر کدام از عوامل تأثیرگذار محاسبه شد (جدول ۶).

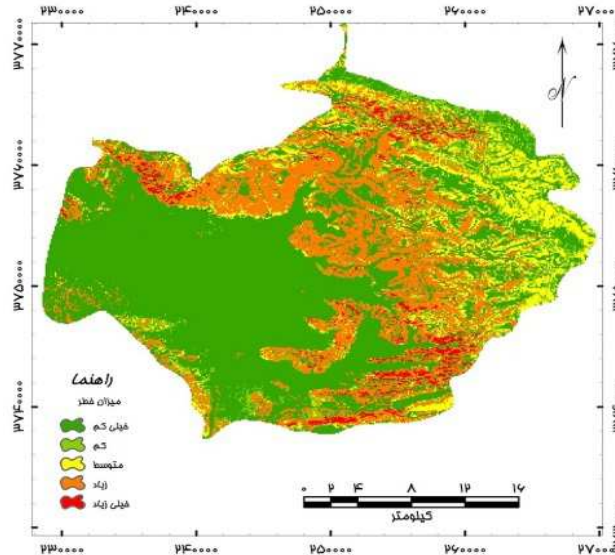
جدول ۶. ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها

وزن معیار	ارتفاع	جهت شیب	فاصله از آبراهه	فاصله از غسل	بارش	کاربری اراضی	لیتولوژی	شیب	معیارها
۰/۳۵۴۱	۹	۷	۷	۶	۵	۳	۲	۱	شیب
۰/۲۲۲۱	۷	۵	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵	لیتولوژی
۰/۱۵۷۲	۷	۵	۴	۴	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	کاربری اراضی
۰/۰۹۸۱	۵	۳	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	بارش
۰/۰۶۶۱	۳	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	فاصله از غسل
۰/۰۴۳۸	۲	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۶	فاصله از آبراهه
۰/۰۳۴۶	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۶	۰/۱۶۶۶	جهت شیب
۰/۰۲۴۰	۱	۰/۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۶	۰/۱۴۲۸	۰/۱۴۲۸	ارتفاع

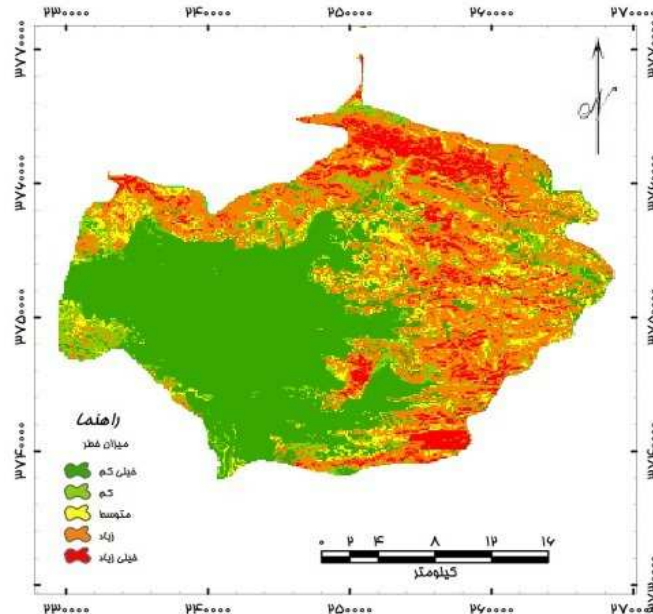
پس از محاسبه وزن عوامل نسبت سازگاری ۰/۰۲۵۵ محاسبه شد. پس از تأیید معنادار بودن ماتریس‌های عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش حوضه دوآب الشتر، وزن نهایی معیارها جهت نقشه پهنه‌بندی به لایه‌های متناظر اعمال شد، که برای این کار از توابع هم‌پوشانی وزن‌دار استفاده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر تهیه شد (شکل ۱۳).

جدول ۷. مساحت پهنه‌های لغزشی در حوضه دوآب الشتر با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

کلاس‌های خطر	درصد مساحت با مدل شبکه عصبی	درصد مساحت با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی
خیلی کم	۴۴/۳۷	۴۲/۵۴
کم	۷/۴۵	۷/۶۳
متوسط	۸/۹۳	۹/۱۸
زیاد	۳۲/۴۹	۳۲/۳۵
خیلی زیاد	۶/۷۶	۸/۳۰



شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز الشتر با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی

در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر زمین‌لغزش از ضریب آماری کاپا استفاده شده است. بدین منظور ابتدا ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مربوط به هرکدام از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله‌مراتبی تشکیل شد. سپس با استفاده از روابط ۱۰ تا ۱۲ توافق مشاهده‌ای و توافق پیش‌بینی و ضریب کاپا محاسبه شد (جدول‌های ۸ و ۹).

توافق مشاهده‌ای برای مدل شبکه عصبی مصنوعی ۰/۹۵، توافق پیش‌بینی شده ۰/۴۹ و ضریب کاپا ۰/۹۰ به‌دست آمد.

جدول ۸. ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی

	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط بدون لغزش
تعداد نقاط لغزشی	۶۷	۳
تعداد نقاط بدون لغزش	۴	۶۶

جدول ۹. ماتریس مشاهده و پیش‌بینی تحلیل سلسله‌مراتبی

	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط بدون لغزش
تعداد نقاط لغزشی	۶۵	۵
تعداد نقاط بدون لغزش	۶	۶۴

توافق مشاهده‌ای برای مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ۰/۹۲، توافق پیش‌بینی شده ۰/۵۰ و ضریب کاپا ۰/۸۴ به دست آمد.

### نتیجه‌گیری

ارزیابی نتایج به دست آمده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی با ضریب آماری کاپا ۰/۹۰ نسبت به فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با ضریب کاپا ۰/۸۴ از دقت بیشتری در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوضه دوآب الشتر برخوردار است. 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 دارد. نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد (جدول ۱) که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب ۳۵-۴۵ درجه اتفاق افتاده است. این امر حاکی از آن است که در شیب کند، به دلیل کاهش نیروی ثقل و در شیب‌های خیلی تند به دلیل ضعیف بودن فرایند خاک‌سازی 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 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 می‌کند و تبخیر در آنها بیشتر می‌شود، از این رو در دامنه‌هایی با شیب جنوبی، لغزش‌های بیشتری رخ دهد؛ اما در مورد حوضه 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 به عنوان عامل غالب تأثیر داشته‌اند. حوضه دوآب الشتر از سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار است 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، به طوری که می‌توان این عامل را به نوعی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه برشمرد. نتایج نشان می‌دهد (جدول ۱) که گروه فارس که به ترتیب عبارت‌اند از سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری بیشترین حساسیت در مقابل لغزش را دارا هستند. نتایج به دست آمده 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، به خصوص قرار گرفتن بر روی لیتولوژی مارنی باشد. بعد از اراضی جنگلی بیشترین حساسیت در برابر لغزش مربوط به واحد اراضی زراعی دیم است که علت آن را می‌توان در تأثیر انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جست‌وجو کرد. بررسی طبقات ارتفاعی بیانگر آن است که با افزایش ارتفاع در حوضه دواب الشتر، حساسیت به خطر زمین لغزش تغییرات نامنظمی دارد که این می‌تواند مبین نبود رابطه خطی بین افزایش ارتفاع و زمین لغزش باشد. در توضیح این مطلب نیز می‌توان ادعا کرد که عامل ارتفاع، یک عامل غالب برای وقوع زمین لغزش در حوضه دواب الشتر محسوب نمی‌شود. بررسی نتایج به دست آمده از پهنه‌های هم‌بارش بیانگر این است که با افزایش بارندگی، حساسیت به وقوع زمین لغزش بیشتر می‌شود. این مسئله به خصوص در خاک‌های مستعد لغزش مانند لایه‌های مارنی بیشتر اهمیت دارد. براساس 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 ۱۵۰۰ متری فاصله از گسل وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل است و با افزایش فاصله از گسل، حساسیت کمتر می‌شود. 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

- [۱]. احمدی، حسن؛ محمدخان، شیرین؛ فیض‌نیا، سادات؛ قدوسی، جمال (۱۳۸۴). ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی. مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸: ۱۴-۳.
- [۲]. راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشالله؛ عبدالملکی، پرویز؛ گیاهچی، پانته‌آ (۱۳۸۶). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مجله علوم دانشگاه تهران ۳۳(۱): ۶۴-۵۷.
- [۳]. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ الشتر، نهاوند، فیروزآباد و قلعه حاتم.

- [۴]. سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم آباد.
- [۵]. سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ همدان.
- [۶]. سازمان هواشناسی لرستان، آمار بیست‌ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک.
- [۷]. سپهوند، علی‌رضا (۱۳۸۹). پهنه‌بندی 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.
- [۸]. سوری، سلمان؛ لشگری‌پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۵ شماره ۲: ۱۲۸۶-۱۲۶۹.
- [۹]. شادفر صمد؛ یمانی، مجتبی؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۵: ۱۲۶-۱۱۸.
- [۱۰]. شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ نمکی، محمد (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LENR در حوضه چالکرو، مجله آب و آبخیز، ۳: ۶۸-۶۲.
- [۱۱]. فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، شماره ۱۱: ۴۷-۲۸.
- [۱۲]. فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۳۹۱). پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، تبریز.
- [۱۳]. فیض‌نیا، سادات؛ کلارستاقی، عطاالله؛ احمدی، حسن (۱۳۸۳). بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۱): ۲۰-۳.
- [۱۴]. قدسی‌پور، سید حسن (۱۳۸۸). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
- [۱۵]. کرم، عبدالامیر (۱۳۸۰). مدلسازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخون - استان چهارمحال و بختیاری)، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس: ۳۵۴.
- [۱۶]. 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: ۲۴.
- [۱۷]. کیا، مصطفی، (۱۳۸۹)، شبکه‌های عصبی در متلب، انتشارات کیان رایانه سبز: ۲۲۹.



- [۱۸]. محمدی، محمدرضا (۱۳۸۶). تحلیل خطر حرکات توده‌ای و ارائه مدل مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی: ۷۹.
- [۱۹]. مرادی، حمیدرضا؛ سپهوند، علی؛ عبدالمالکی، پرویز (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 دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲۰]. معاریان، حسین (۱۳۷۴). زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲۱]. منہاج، محمدباقر (۱۳۸۱). مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۷۱۵ ص.
- [۲۲]. ناجی، سید محمود (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر لغزش در محور ساری-کیاسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود: ۸۶.
- [۲۳]. نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ طالبی، علی؛ آرخی، صالح؛ مختاری، محمدحسین (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: ۲۰-۹.
- [24]. 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.
- [25]. 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.
- [26]. 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.
- [27]. Gomez, H., Kavzoglu, T., (2005), Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, *Venezuela, Engineering Geology*, 78: 11-27.
- [28]. 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.
- [29]. 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.
- [30]. Kanungo, D., Arora, M., Sarkar, S., and Gupta, R., (2006), A Comparative

- Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, Vol. 85, pp. 347-366.
- [31]. Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia.
- [32]. 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.
- [33]. 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.
- [34]. 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.
- [35]. 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.
- [36]. Melchiorre C., Matteucci M., Azzoni A., (2008): Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation, *Geomorphology*, 94: 379 – 400.
- [37]. 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.
- [38]. 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.