

## ارزیابی خطر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای گسل بنااروان با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (MLP)

فریبا همتی\* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.  
داود مختاری - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱

### چکیده

ناپایداری‌های دامنه‌ای یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را به همراه دارد. بنابراین باید مناطق حساس را شناسایی و با اولویت‌بندی این مناطق، سیاست و برنامه‌های مدیریت ناپایداری دامنه‌ای را ارائه نمود و تا حدی از خطر وقوع خسارات ناپایداری‌ها کاست. رشته کوه بزغوش در شمال غرب ایران و بین استان آذربایجان شرقی و اردبیل با روند شرقی- غربی در مختصات بین  $48^{\circ} 00'$  تا  $37^{\circ} 30'$  درجه طول شرقی و  $38^{\circ} 00'$  تا  $37^{\circ} 30'$  درجه عرض شمالی قرار دارد. گسل بنااروان با طول بیش از ۲۰ کیلومتر یکی از مهمترین گسل‌های موجود در دامنه جنوبی بزغوش آذربایجان است. در این پژوهش محدوده گسل بنااروان مورد بررسی قرار می‌گیرد بنابراین هدف از تحقیق حاضر، مشخص کردن نقاط حساس به حرکت‌های توده‌ای و تهیه نقشه پهنه بندی خطر به منظور پیش بینی خطر در آینده با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک می‌باشد. به منظور به دست آوردن اطلاعات از طریق بازدید میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور منابع قبلی و بررسی شرایط منطقه ۹ عامل به عنوان مؤثر بر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای شناسایی شد و سپس با استفاده از مدل پرسپترون چند لایه در نرم‌افزار IDRISI بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که (۵/۸۱، ۱۲/۹۵، ۱۹/۳۸، ۲۷/۰۶، ۳۴/۷۸ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین قرار گرفته است. نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر زیاد و بسیار زیاد حدود ۱۸/۷۶ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، که بیشتر منطبق بر ارتفاعات بالا، پهنه گسلی و شیب زیاد منطقه می‌باشد. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و آبخیزهای دارای دامنه‌های پرشیب و دارای پتانسیل زمین لغزش و همچنین حریم رودها در منطقه یک ممانعت به عمل آید و بایستی همه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند.

واژگان کلیدی: ناپایداری‌های دامنه‌ای، پهنه‌بندی خطر، گسل بنااروان، IDRISI مدل MLP

## مقدمه

وقوع بلایا و سوانح طبیعی هر ساله در نقاط مختلف جهان و ایران خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل توجهی به بار می‌آورد. حرکات توده‌ای نیز نوع خاصی از سوانح طبیعی و فرمی از فرآیندهای دامنه‌ای هستند. که زاینده شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محل می‌باشند. این شرایط به همراه فرآیندهای ژئودینامیکی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فعالیت‌های انسانی، مقدار و شدت بارندگی و زمین‌لرزه باعث شکل‌گیری این پدیده می‌گردند. گسل‌ها از معمول‌ترین عوارض زمین‌شناختی در توده سنگ‌ها هستند که به عنوان یکی از مهمترین نمونه‌های بارز ناپیوستگی در سنگ قلمداد می‌شوند. اغلب ناپایداری زمین ناشی از حضور گسل در آنها و یا نزدیکی آنها است. در بسیاری از موارد ناپایداری زمین در اثر گسل، غیرقابل بازسازی و حتی فاجعه بار است (سلیمانی، ۲۰۱۱: ۷۳). در راستای اجتناب از خطر، در بین همه خطرها و حوادث طبیعی گسیختگی شیبها، شاید به طور مستقیم قابل سنجش‌ترین نوع خطر باشد. در این مقوله، هدف پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای است. با توجه به میزان خسارات ناپایداری‌های دامنه‌ای شناسایی و بررسی عوامل مؤثر در ایجاد آنها و پهنه‌بندی خطر گامی مهم در مدیریت و کنترل پدیده مخرب محسوب می‌شود. رشته کوه‌های بزغوش مهم‌ترین زمین‌منظر در جنوب آذربایجان است که ادامه جنوبی گسل تبریز مرز جنوب‌غربی و گسل میانه-اردبیل مرز جنوب‌شرقی آن را تحت کنترل خود دارد که گسل بناروان در بخش شرقی این رشته کوه بخشی از گسل میانه-اردبیل محسوب می‌شود. نقشه‌های پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای می‌تواند در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری، برخورد با مسائل و مشکلات در مقیاس‌های بزرگ مانند شهرسازی، طرح کاربردی زمین‌ها و سایر جوانب مورد استفاده قرار گیرد. این نقشه‌ها در ایجاد آگاهی از شرایط طبیعی منطقه و انواع خسارات احتمالی در هنگام بروز حرکات دامنه‌ای، شناسایی مناطق دارای پتانسیل حرکات دامنه‌ای و روش ارزیابی داده‌های اولیه و چگونگی پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گیرد (خلج، ۱۳۸۶، ۱۵۶). تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

متولی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز واز است که در دامنه‌های شمالی البرز و جنوب شهر چمستان در استان مازندران پرداختند. در این مقاله برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش از تکنیک آماری رگرسیون لجستیک استفاده شده است که می‌تواند برازش مناسبی را برای یافتن روابط بین وجود و عدم وجود زمین لغزش (متغیر وابسته) و عوامل مستقل مانند لیتولوژی و زاویه شیب تشریح نماید. تفسیر ضرایب نشان می‌دهد که لیتولوژی، فاصله از جاده و شیب نقش مهمی را در وقوع و توزیع زمین لغزش دارند. بهینیا فر و همکاران (۱۳۸۹: ۸۹) با استفاده از مدل AHP و منطق فازی به ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه فریزی پرداخته شد. نقشه نهایی تولید شده برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه نشان داد که مجموعاً حدود ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین لغزش قرار دارد. همچنین مناسب کاربرد این مدل برای پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای در حوضه‌های کوهستانی تایید شد. - کردی و همکاران (۱۳۹۱) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره در حوضه آبخیز کوهسار واقع در شمال غرب تهران را ترسیم نمودند. ابتدا ۱۱ عامل مؤثر در ۲۹ دامنه حساس و مستعد به زمین لغزش در حوضه آبخیز کوهسار واقع در شمال غرب شهر تهران شناسایی شدند. سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از نرم افزار ARC GIS تهیه و هر کدام از این لایه‌ها با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌ها مقایسه شد. نتایج نشان داد که سه عامل آبراهه، جاده و بافت خاک مهمترین عوامل مؤثر بر بروز زمین لغزش در این منطقه می‌باشد. کریمی و نجفی (۱۳۹۱: ۷۷) بر پایه روش توصیفی- تحلیلی و با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از GIS و مدل ترکیبی (AHP-FUZZY) و به کمک نرم‌افزار Expert Choice به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه یک شهر تهران پرداخته شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نشان می‌دهد که در آن، مناطق

دارای خطر کم و خیلی کم که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و خط القعر آبخیزهای منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دامنه‌ای مسلط بر منطقه یک می‌باشند. - صفاری و همکاران (۱۳۹۲) به پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر در جنوب استان اصفهان با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره پرداختند. ۹ عامل مؤثر در رخداد زمین لغزش‌های منطقه شناسایی شدند و پس از تهیه لایه‌های رقومی عوامل مؤثر در محیط GIS، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش تهیه گردید. نتایج نشان داد که از مجموع مساحت ۸۰۰ کیلومترمربعی حوضه ماربر، گستره‌های لغزشی با خطر متوسط و کم به ترتیب با دارا بودن ۳۲ و ۳۱ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. از طرفی پهنه با خطر زیاد با ۵/۲۵ درصد مساحت در رده بعدی قرار گرفته است. آسیایی و همکاران (۱۳۹۲: ۱) با مقایسه دو روش AHP و FAHP در پهنه بندی خطر لغزش حوزه بهشت آباد با توجه به پارامترهای کمی و کیفی مؤثر بروی این پدیده می‌باشد پرداختند. نتایج نشان داد که روش FAHP در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی از دقت بالاتری برخوردار هست. همچنین نقشه پهنه بندی حاصل از روش فازی نشان می‌دهد که ۵۷/۷ درصد لغزش‌های منطقه در ارتفاعات میانی با میزان بارندگی ۶۸۰-۷۸۰ میلی متر اتفاق افتاده است. عابدینی و فتحی (۱۳۹۳: ۷۱) در تحقیقی که مستخرج از نتایج نهایی طرح پژوهشی است و در آن از ترکیب مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (Fuzzy-AHP) به عنوان یکی از روش‌های قابل استفاده و کاربردی به طور موردی در حوضه آبخیز خلخال چای در استان اردبیل است، را بررسی کردند. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد؛ عواملی نظیر شیب، لیتولوژی، ارتفاع، بارش، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل و جهت شیب به ترتیب اولویت به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در لغزش به منظور پهنه بندی شناسایی گردیده و مورد مطالعه قرار گرفتند. میر نظری و همکاران (۱۳۹۳: ۵۳). با استفاده از مدل AHP در محیط نرم‌افزار Expert Choice و عملگرهای منطق فازی با استفاده از نرم‌افزار IDRISI به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ واقع در شمال شرقی شهرستان سرپل ذهاب واقع در استان کرمانشاه پرداخته شده است. مجموعاً ۹ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده‌ی زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفتند. از میان عوامل مذکور شش عامل زمین‌شناسی، شیب، بارش، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع به عنوان لایه‌های معنادار شناخته شدند. وزن‌دهی طبقات متغیرها با استفاده از روش نسبت فراوانی، بر اساس درصد لغزش رخ داده در هر طبقه بین ۰ و ۱ تعیین گردید. زارع و همکاران (۱۳۹۴: ۱۰۱) با استفاده از مدل نرون فازی برای تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش حوزه آبخیز واز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نتایج نشان داد مدل ANFIS کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش-ها داشت و ساختار عصبی- فازی با تابع عضویت گوسی بهترین کارایی را در منطقه دارا بود. نقشه خطر لغزش نشان داد مساحت مناطق با خطرپذیری بالا بیش-ترین مساحت را به خود اختصاص داده که نشان-دهنده خطرپذیری بالای حوزه آبخیز واز در بروز لغزش-ها می-باشد. -شیرانی و عرب عامری (۱۳۹۴) مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش و تعیین مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش در حوضه دزعلیا با استفاده از روش رگرسیون لجستیک را شناسایی کردند. به این منظور ابتدا مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین لغزش شناسایی شد. سپس نقشه پراکنش زمین لغزش از طریق انجام عملیات میدانی با استفاده از GPS و تصاویر ماهواره‌های تهیه و رقومی گردید. در مرحله بعد با بهکارگیری روش رگرسیون لجستیک اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش گردید. با توجه به مقدار ضرایب به‌دست آمده

می‌توان گفت که لایه طبقات ارتفاعی مهمترین عامل در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقدار شاخص ROC نیز برابر ۰/۹۱۷ بهدست آمده است که مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که حرکات توده‌های مشاهده شده، رابطه قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد. نظم فر و بهشتی (۱۳۹۵:۵۳)، در این پژوهش با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه، پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز چلی‌چای استان گلستان انجام شده است. برای انجام این کار از ۱۰ پارامتر طبیعی و انسانی استفاده شده است. نتایج ارزیابی نشان داد که ۷۰ درصد زمین لغزه‌های رخ داده در منطقه در کلاس‌هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. گراوسکی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶: ۱) به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند، در این پژوهش از مقایسه دو به دو و متعاقب آن اجتماع توابع ترکیب وزنی خطی و وزنی متوسط مرتب شده جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش استفاده شد. استاندارد سازی داده‌ها با روش فازی و وزن دهی معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته‌اند. کانونگو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۶: ۳۴۷) در این زمینه زمین لغزش‌ها از پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که هر ساله خسارات زیادی به بار می‌آورند. بنابراین شناسایی وقوع زمین لغزش برای برنامه ریزی و فعالیت‌های توسعه‌ای جاده‌ها ضروری است. سابویا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶: ۲۱۱) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن دهی نماید بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید. اکسوی و ارکانگلو<sup>۴</sup> (۲۰۱۲: ۹۲) در مطالعه‌ای برای تشخیص نواحی حساس به زمین لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین لغزش‌های این ناحیه استفاده نمودند. آنها با استفاده از تکنیک جداسازی و همچنین ۱۰ عامل تأثیر گذار همراه با ۷۰ زمین لغزش رخ داده به بررسی و ترسیم نقشه پهنه بندی منطقه پرداختند.

در ایران استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مطالعات علوم فضایی مخصوصاً در مطالعات مربوط به پهنه‌بندی مخاطرات نشناخته مانده است در صورتی که با این روش مخاطرات را به خوبی می‌توان پهنه‌بندی کرد. در پژوهش حاضر مطالعه‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی خطر وقوع ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با مدل MLP انجام شد. مزیت این مدل نسبت به سایر مدل‌ها این است که به توزیع آماری خاصی نیازی ندارد و با مقیاس‌های مختلفی کار می‌کند که از همه مهمتر این مدل توانایی حل مسائل غیر خطی با پیچیدگی بالا را دارد. هدف از انتخاب این مدل برای بررسی مناطق دارای پتانسیل وقوع ناپایداری دامنه‌ای نیز همین مورد بوده است. به دلیل وجود روابط غیر خطی بین متغیرها و مناطقی که ناپایداری دامنه‌ای وجود دارد نیازمند مدلی بود تا بتوان این را عوامل را شناسایی کرده و براساس این مدل بتوان مناطق دارای پتانسیل ناپایداری دامنه‌ای را شناسایی کرد. از آنجا طی نتایج به دست آمده از تحقیقات گذشته این مدل روابط غیر

<sup>۱</sup> Gorsevski & etal.

<sup>۲</sup> Kanungo & etal

<sup>۳</sup> Sabuya & etal.

<sup>۴</sup> Aksoy & Ercanoglu.

خطی بین متغیرها را به خوبی شناسایی کرده و خروجی به دست آمده از مدل به واقعیت نزدیکتر است، این مدل را برای این پژوهش انتخاب شد.

### مبانی نظری

تعاریف متعددی با وجود مشترک قابل توجه و یا یکسان از نظر مفهوم با محدوده‌های کاربردی کم و بیش مشابه توسط مولفین و محققین بکار برده شده است. از جمله اصطلاحاتی که برای تشریح و توصیف این پدیده ذکر شده، می‌توان به اصطلاحات حرکت توده‌ای<sup>۱</sup>، حرکت شیب<sup>۲</sup>، و زمین لغزش<sup>۳</sup> اشاره نمود. از بین این موارد اصطلاح زمین لغزش، تخصصی‌تر، کاربردی‌تر و بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. حرکت‌های توده‌ای شامل همه حرکت‌هایی است که تحت تاثیر وزن توده حادث می‌شود. مواردی که مواد مستقیماً بوسیله عوامل منتقل کننده مانند یخ، آب یا باد حمل می‌شوند، فرآیند انتقال توده<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. زمین لغزش عبارت است از کلیه حرکات و گسیختگی‌های شیبی یا دامنه‌ای نسبتاً سریع که با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان<sup>۵</sup> به سطح پایین‌تر از واحد تحت تاثیر نیروهای مخرب، محرک یا مهاجم بر نیروهای مقاوم در سطوح شیبدار بوقوع می‌پیوندند. مضافاً اینکه در زمین لغزشها مرزهای گسیختگی بارز و مشخص‌اند، حتی در زمین لغزشهای قدیمی، منطقه لغزشی، مورفولوژی خاص خود را دارد و کاملاً قابل تمایز است. عوامل متعددی مانند، شرایط زمین شناسی، شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری شیب تاثیر می‌گذارند و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند. یک عامل منفرد به تنهایی بندرت می‌تواند علت زمین لغزش باشد. عوامل ایجاد کننده حرکات توده‌ای یا زمین لغزش را می‌توان به دو دسته عوامل درونی و بیرونی تقسیم‌بندی نمود. عوامل بیرونی عبارتند از آن عواملی که باعث افزایش متوسط تنش برشی در طول سطوح گسیختگی بالقوه یا سطوح ضعف موجود در سنگ و خاک می‌گردند. عوامل درونی عواملی هستند که باعث کاهش متوسط مقاومت برشی می‌شوند. علاوه بر این دو گروه عامل عمده، ممکن است یک گروه حد وسط با ترکیبی از هر دو نوع علت‌های درونی و بیرونی نیز وجود داشته باشند، لذا ممکن است تعدادی از نیروهای درونی و بیرونی وارد عمل شوند و مقاومت برشی را کاهش دهند و یا تنش‌های برشی را افزایش دهند، که در هر دو حالت با کاهش ضریب اطمینان با ناپداری و نهایتاً لغزش شیب روبرو خواهیم بود (شریعت جعفری، ۱۳۷۵، ص ۶).

### داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ETM منطقه GRID\_CELL\_SIZE\_REFLECTIVE، (GRID\_CELL\_SIZE\_PANCHROMATIC = 15.00) نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نقشه GRID\_CELL\_SIZE\_THERMAL = 30.00، (= 30.00) زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. برای تکمیل برخی اطلاعات و داده‌هایی که از روی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای قابل استخراج نمی‌باشد و از سویی برای کنترل داده‌ها و اطمینان از صحیح بودن بعضی اطلاعات استخراج شده از نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، لازم است، از نزدیک پدیده‌های مرتبط با فرآیند های دامنه ای مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گیرند. به طور خلاصه مراحل مطالعات به شرح زیر بوده است:

<sup>1</sup> Mass movment.

<sup>2</sup> Slop movment.

<sup>3</sup> Landside.

<sup>4</sup> Mass transport.

<sup>5</sup> Slop movment.

<sup>6</sup> Safty factor.

(۱) تعیین و تحدید منطقه پژوهش بر مبنای نقشه زمین‌شناسی. (۲) تهیه نقشه‌های پایه عوامل مؤثر در وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای، شامل: طبقات ارتفاعی، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای. (۳) مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی. (۴) برای تحلیل و تفسیر اطلاعات از نرم افزار ENVI4.8، GIS، IDRISI بهره گرفته شد.

### مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل شبکه‌های عصبی نوعی مدل سازی ساده‌انگارانه از سیستم‌های عصبی واقعی هستند که کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف در علوم دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آن چنان گسترده است که از کاربردهای طبقه‌بندی گرفته تا کاربردهای مختلف نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و ... را شامل می‌شود. شاید مهمترین مزیت این شبکه‌ها، توانایی وافر آن‌ها در کنار سهولت استفاده از آن‌ها باشد. بهترین روش برای حل مسائل پیچیده، شکستن آن مساله به زیر مساله‌های ساده‌تری است که هر کدام از این زیر بخش‌ها به نحو ساده‌تری قابل درک و توصیف باشند. در حقیقت شبکه، مجموعه‌ای از این ساختارهای ساده است که در کنار یکدیگر سیستم پیچیده نهایی را توصیف می‌کنند. شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای انواع مختلفی هستند که شامل کوهونن، پرسپترون چندلایه، آرتمپ‌فازی، تابع پایه شعاعی تشکیل می‌شوند (صیادی، ۱۳۸۷، ص ۲). شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع یک تکنیک آماری ناپارامتریک است که برای کمی‌سازی و مدل‌سازی رفتارها و الگوهای پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که از انواع شبکه‌های یاد شده نوع پرسپترون چند لایه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

### پرسپترون چندلایه

هرچند نحوه مدل کردن نرون جزء اساسی‌ترین نکات کلیدی در کارایی شبکه عصبی می‌باشد اما نحوه برقراری اتصالات و چیدمان (توپولوژی) شبکه نیز فاکتور بسیار مهم و اثر گذار است. یکی از ساده‌ترین و در عین حال کارآمدترین چیدمان‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل سازی عصب‌های واقعی، مدل پرسپترون چند لایه Multi layer perceptron یا به اختصار MLP می‌باشد که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در این ساختار، تمام نرون‌های یک لایه به تمام نرون‌های لایه بعد متصل هستند. این چیدمان اصطلاحاً یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد (صیادی، ۱۳۸۷، ص ۱-۷). در این مدل تعداد نرون‌های هر لایه مخفی به روش سعی و خطا مشخص می‌گردد تا به کیفیت مطلوب برسد. منظور از کیفیت مطلوب، علاوه بر رسیدن به حداقل خطا در آموزش، استفاده از سادگی مدل (تعداد پارامترهای برده شده در ساختار مدل) می‌باشد و سپس با استفاده از دیگر مجموعه داده‌ها بررسی و آنالیز می‌گردد.

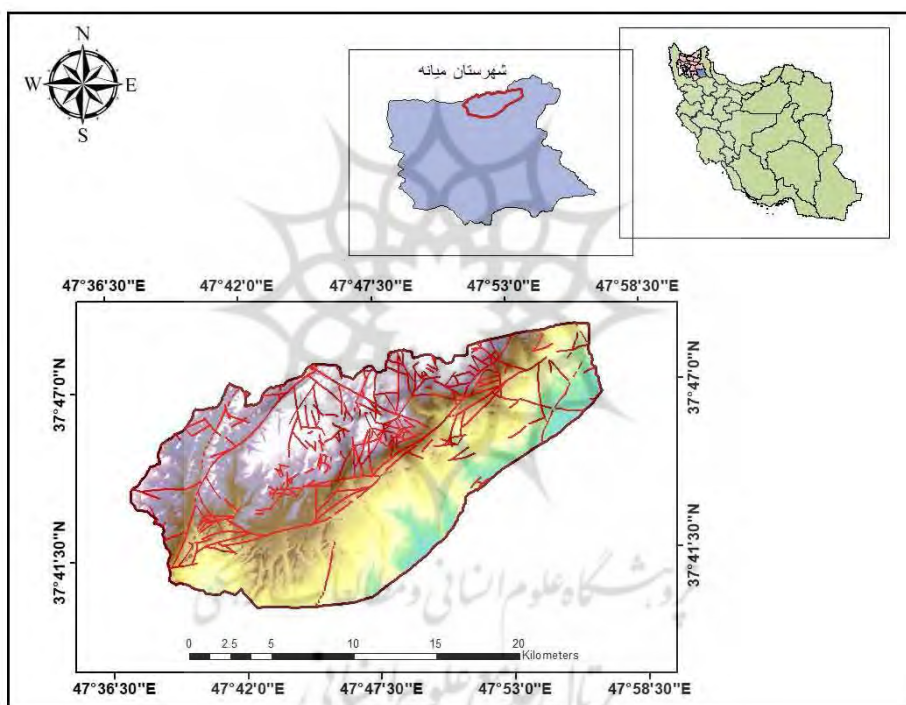
بنابراین شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون، تابع اجزاء عمده می‌باشند:

- ۱- تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه همراه با وزن‌های آن‌ها و نود بایاس، این وزن‌ها محاسبه می‌گردد.
- ۲- تابع فعالیت: تعیین می‌کند چگونه یک نرون واکنش فعال‌سازی را برای هر الگوی ورودی انجام می‌دهد. از توابع بسیار مهمی که در ارتباط با مسائل تجزیه و تحلیل‌های فضایی کاربرد فراوانی دارد تابع سیگموئید می‌باشد. تابع سیگموئید ۲ یک مدلی را فراهم می‌آورد که رفتار واقعی نرون‌های بیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کند.
- ۳- پارامتر مومنتوم: در این پارامتر عددی به روند تنظیم وزن‌ها اضافه می‌شود که متناسب با میزان تغییر قبلی وزن است. به تعبیری سیستم یک حافظه‌ای از روند تغییر وزن‌ها از هر مرحله به مرحله بعدی در خود حفظ می‌کند. این عبارت که در ابتدا باعث تغییرات زیادی در ضرایب وزنی می‌شود و این امر احتمال درگیر شدن شبکه به کمینه‌های محلی در ابتدای آموزش را خیلی کاهش می‌دهد. با کاهش میزان خطا مقدار تغییرات به وسیله فاکتور مومنتوم نیز کاهش می‌یابد. این پارامتر سعی می‌کند نوسانات را در طول جستجو کاهش دهد و سرعت روند همگرایی را افزایش دهد و به فرآیند همپوشانی داده‌های آموزشی و آزمایشی سرعت می‌بخشد. فاکتور مومنتوم معمولاً در دامنه بین صفر تا یک می‌باشد ولی در اکثر

تحقیقات مربوط به غیر از علوم فضایی این فاکتور بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ در نظر گرفته می‌شود. اما در تحقیقات علوم فضایی پیشنهاد می‌شود فاکتور را بین ۰/۵ تا ۰/۹ در نظر گرفته شود (مرادی، ۱۳۹۳، ص ۵۹).

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رشته کوه بزغوش در شمال غرب ایران و بین استان آذربایجان شرقی و اردبیل قرار دارد. این ارتفاعات بین دو گسل شمالی و جنوبی بزغوش مسدود شده و این دو گسل باعث راندگی این ارتفاعات به سمت دشت‌های سراب و میانه شده‌اند و در مجموع یک ساختار بالا رانده را نشان می‌دهد. گسل بنا روان به طول بیش از ۲۰ کیلومتر یکی از مهمترین گسل‌های موجود در منطقه است که با جهت کلی جنوب غربی - شمال شرقی در دامنه جنوبی بزغوش آذربایجان، واقع شده است. دشت سراب در شمال و دشت میانه در جنوب آن قرار دارد بالاترین ارتفاع منطقه ۳/۰۸۶ متر و پایین‌ترین ارتفاع ۱،۴۹۰ متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: مختصات و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای برای بررسی ارتباط عوامل تأثیر گذار بر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط ناپایداری، ۹ عامل مؤثر در وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی (طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، لیتولوژی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی) در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد و بر اساس درجه حساسیت نسبت به ناپایداریهای دامنه‌ای به هر کدام از طبقات امتیاز بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد بدین صورت که امتیاز ۵ به طبقه‌ای داده شد که بیشترین حساسیت را به ناپایداریهای دامنه‌ای داشت. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، لایه‌های اطلاعاتی ذیل تشکیل و آماده سازی بانک اطلاعاتی به کار گرفته شده است. خصوصیات این لایه‌ها در ذیل بیان شده است:

**نقشه پراکنش ناپایداریهای دامنه‌ای:** در ناحیه مورد مطالعه نقشه پراکنش ناپایداریهای دامنه‌ای به صورت پهنه ناپایداری بر اساس تصویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۱۶ تهیه شد و مساحت پیکسل‌های ناپایداری منطقه حدود ۲/۶۵

کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۱ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است (شکل شماره ۳). شکل شماره ۲ تصاویر مطالعات میدانی از فرآیند دامنه‌ای موجود در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲- فرآیند دامنه‌ای در دامنه جنوبی بزغوش (نگارنده)

**طبقات ارتفاعی:** میزان بارش و نوع بارش به ازای ارتفاع، تغییر می‌یابد و همزمان با این افزایش از میزان دما کاسته می‌شود که مجموع این عوامل در تعیین شکل، نوع و میزان تخریب و فرسایش و میزان فعالیت آبهای روان و نوع سیستم مورفونزحاکم مؤثر است (احمد زاده، ۱۳۸۴). بررسی پراکندگی ناپایداریها نسبت به نقشه ارتفاع نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ناپایداریها در ارتفاع ۳۰۸۶ - ۲۷۰۰ متر رخ داده است (شکل شماره ۴).

**شیب:** بررسی پراکندگی ناپایداریهای دامنه‌ای نسبت به نقشه شیب نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ناپایداریها در شیب ۲۴-۳۲ درجه رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد که در شیب‌های پایین به دلیل ضعیف بودن نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند خاکسازي و افزایش استحکام سازندهای زمین شناسی تعداد ناپایداریهای رخ داده (بجز ریزش) کاهش می‌یابد (شکل شماره ۵).

**جهت شیب:** نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۸ طبقه تهیه گردید. بررسی عامل جهت جغرافیایی نسبت به پراکندگی ناپایداریهای نشان می‌دهد که این جهات تأثیرات مختلفی بر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای دارند. در منطقه مورد مطالعه ما بیشترین حساسیت ناپایداریهای دامنه‌ای در جهات جنوب شرق وجود دارد و می‌توان گفت تا حد متوسطی یک عامل غالب برای وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای محسوب می‌گردد (شکل شماره ۶).

**فاصله از گسل:** معمولاً با دور شدن از گسل‌های اصلی تأثیر زمین‌لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای نیز کمتر می‌شود، لذا می‌توان برحسب فاصله از گسل‌ها انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع ناپایداریهای لغزشی را داشت. برای ایجاد نقشه گسل‌های منطقه از فایل رقومی نقشه گسل‌های سراب سازمان زمین‌شناسی تبریز استفاده شد و گسل‌های منطقه از درون آن استخراج گردید. بررسی پراکندگی ناپایداریهای نسبت به گسل اصلی در منطقه نشان می‌دهد بیشترین ناپایداری در فاصله ۰ - ۳۶۰ متری از گسل وجود دارد که ناشی از خرد شدگی سنگها توسط گسل می‌باشد که این امر باعث نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه و بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها می‌شود (شکل شماره ۷).

**فاصله از رودخانه:** رودخانه‌ها و زهکشی جریان‌ها ممکن است به علت شیب برشی و یا فرسایش جریان شکست و خرابی کناره‌ای رودخانه‌ها گردند و از عوامل افزایش رویداد ناپایداری در دامنه‌ها به شمار می‌روند. نتایج بدست آمده از بررسی نقشه پراکندگی ناپایداریهای دامنه‌ای نسبت به آبراهه نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به ناپایداری در فاصله ۰ - ۶۰۰ متری از رودخانه وجود دارد (شکل شماره ۸).



**فاصله از جاده:** جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویداد ناپایداریهای دامنه‌ای در حوضه مورد مطالعه، لایه‌ای ۵ طبقه‌ای ایجاد گردید. نتایج بدست آمده از بررسی نقشه پراکندگی ناپایداریهای دامنه‌ای نسبت به آبراهه نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به ناپایداری در فاصله ۰-۱۴۱۵ متری از جاده وجود دارد. در دخالت شبکه ارتباطی در ایجاد ناپایداریهای دامنه‌ای آن را می‌توان به این صورت در نظر گرفت که در محل‌های لغزیده شده این عامل وجود داشته یا وجود نداشته باشد و همچنین میزان اثر آن در ایجاد ناپایداریهای دامنه‌ای بر حسب فاصله از این عارضه در نظر گرفت که با فاصله گرفتن از جاده سطح ناپایداری کاهش یافته است (شکل شماره ۹).

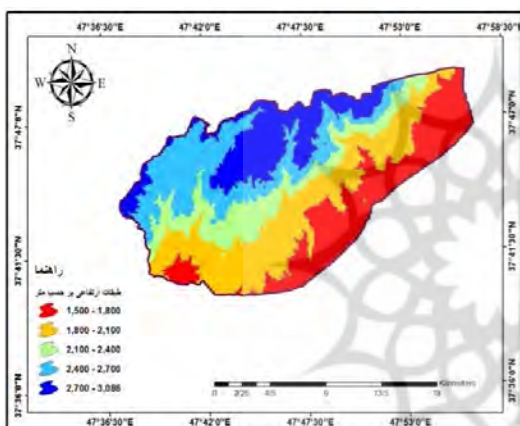
**لیتولوژی:** سنگ‌های سخت در مقابل فرساینده مقاوم بوده و سنگ‌های سست در مقابل فرسایش آسیب‌پذیر می‌باشد. به منظور تهیه این نقشه، آر نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سراب استفاده گردید و واحدهای لیتولوژی بر این اساس تعریف گردید. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط فیض نیا مقاومت هر یک از واحدهای سنگی و حساسیت آنها در برابر فرسایش نیز تعیین شد. سنگ‌ها از نظر فرسایش‌پذیری در رده‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که در محدوده مورد مطالعه، سنگ‌ها در هشت گروه لیتولوژیکی جای گرفته‌اند. بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه لیتولوژی با نقشه ناپایداریهای منطقه نشان می‌دهد که بیشترین ناپایداریها در سنگ‌های خیلی سخت (۴۵/۹) رخ داده است (جدول شماره ۱). وجود گسل‌های متعدد، پوشش گیاهی ضعیف و منطقه فاقد پوشش گیاهی، شیب و ارتفاع زیاد در محدوده منطبق بر سازندهای سخت باعث شده است ناپایداری بیشتری در این محدود رخ دهد (شکل شماره ۱۰).

جدول ۱: طبقه بندی سنگها بر اساس سختی آنها منبع (به نقل از فیض نیا)

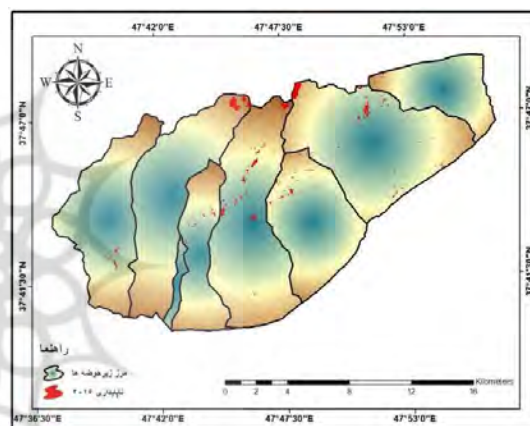
ضریب سختی	نوع سنگ	درجه	مساحت در منطقه (km <sup>2</sup> )
۲۰	کوارتز دولومیت و کوارتز سفید.	سخت‌ترین سنگها.	۰/۱۹
۱۵	آندزیت و ریولیت، ماسه‌سنگ سیلت و مارن‌های گچ‌دار، دیاباز، گدازه‌های حفره‌دار دیابازی و توف.	سنگ‌های بسیار سخت.	۹/۱۷
۱۰	ماسه‌سنگ سیلت و کنگلومرای قرمز آجری، گدازه‌های ریولیتی و داسیتی، ریولیت، ایگمبیریت، توف، تراکی آندزیت آنالیسم‌دار، تراکی آندزیت، توف بلورین، آندزیت با بافت پورفیری درشت، ماسه‌سنگ کوارتزی قرمز، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، آهک بیوسپاریت، آهک چرت‌دار، ماسه‌سنگ و کنگلومرا و دایک اسیدی.	سنگ‌های خیلی سخت.	۱۲۶/۸۰
۸	میکاشیست و دولومیت.	سنگ‌های سخت.	۱۶/۳۸
۴	شیل و ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزی و دولومیت.	سنگ‌هایی با سختی متوسط.	۱۰۹/۷۴
۲	پادگانه‌های قدیمی.	سنگ‌های به مقدار کافی نرم.	۱/۵۵
۱	پادگانه‌های جوان و مخروطه افکنه‌ها	سنگ‌های نسبتاً نرم.	۲۳/۱۰
۰/۵	نهشته‌های رودخانه‌ای عهد حاضر.	سنگ‌های سست.	۰/۲۴

**پوشش گیاهی:** به منظور بررسی پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۶ استفاده گردید و جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شده است. بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه پوشش گیاهی با نقشه ناپایداریهای منطقه نشان می‌دهد که بیشترین ناپایداریها در منطقه فاقد پوشش گیاهی (۸۱/۹) رخ داده است. اثر پوشش گیاهی بر روی پایداری دامنه‌ها را می‌توان بوسیله نقش آن در افزایش مقاومت مصالح و کنترل محتوای آب توده‌های خاکی بیان کرد (شکل شماره ۱۱).

**کاربری اراضی:** در مواردی تغییر ناآگاهانه کاربری اراضی، سبب آسیب‌پذیری محیط در برابر انواع ناپایداری می‌شود. میزان و شدت این آسیب‌پذیری به طور مستقیم با نوع و چگونگی تغییرات انجام شده در رابطه است. به منظور تعیین کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری استان آذربایجان شرقی استفاده شد. چهار تیپ باغ، صخره، زمین زراعی و سطوح آبی در منطقه شناسایی شد. بیشترین حساسیت به ناپایداری در اراضی صخره‌ای وجود دارد این امر تا حدود زیادی می‌تواند ناشی از قرار گرفتن برای روی توپوگرافی و شیب تند، مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف و فاقد پوشش گیاهی و جود منطقه خورد شده گسلی باشد (شکل شماره ۱۲).



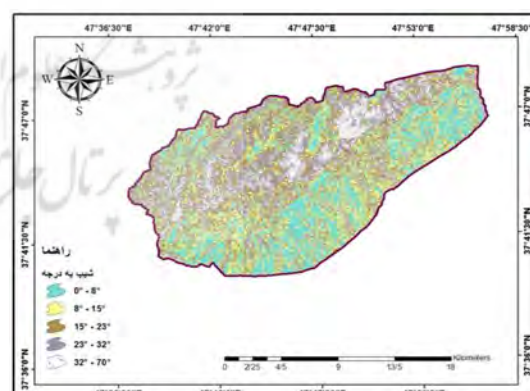
شکل (۴) نقشه طبقات ارتفاعی



شکل (۳) نقشه پراکنش ناپایداریهای دامنه‌ای



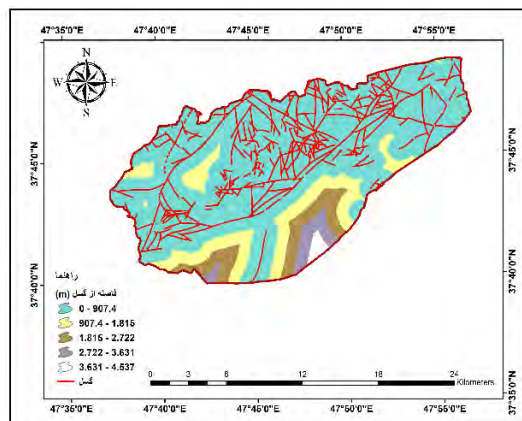
شکل (۶) نقشه جهت شیب



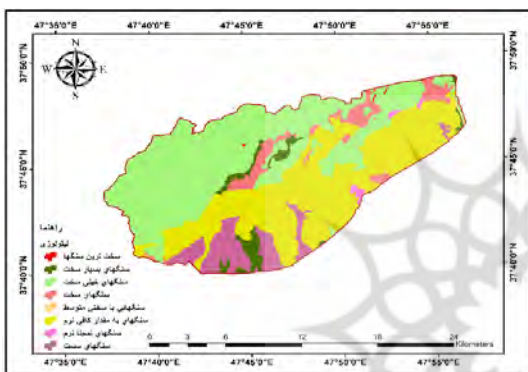
شکل (۵) نقشه شیب



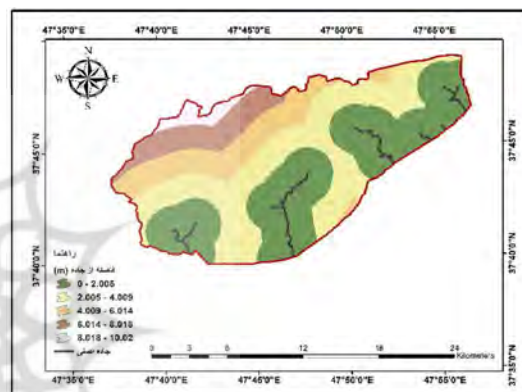
شکل (۸) نقشه فاصله از رودخانه



شکل (۷) نقشه فاصله از گسل



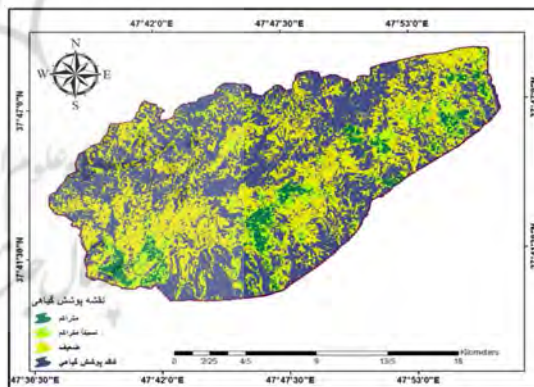
شکل (۱۰) نقشه لیتولوژی



شکل (۹) نقشه فاصله از جاده



شکل (۱۲) نقشه کاربری اراضی



شکل (۱۱) نقشه پوشش گیاهی

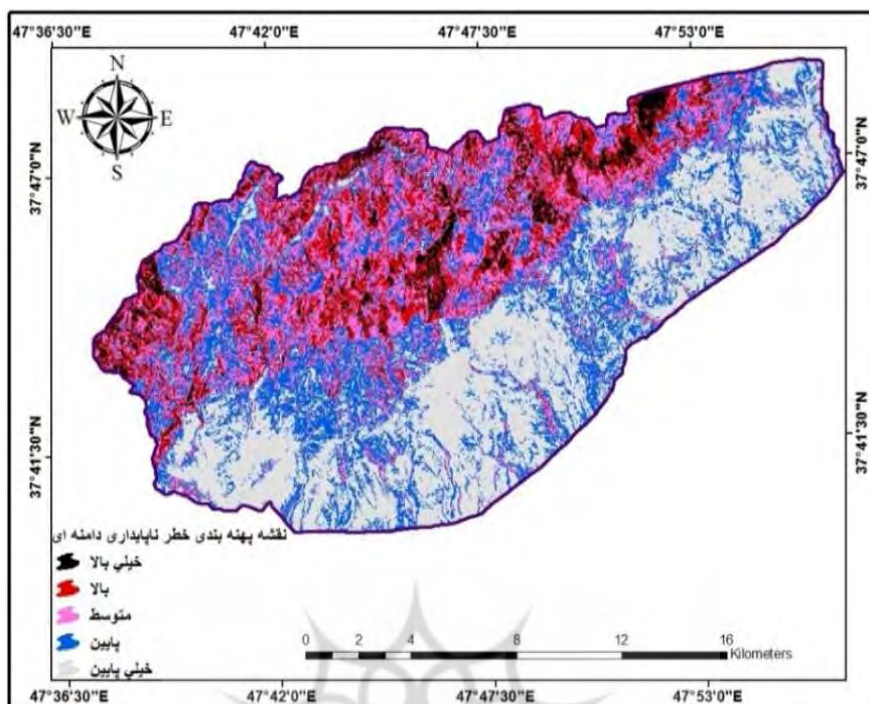
### بحث و یافته ها

نقشه های مربوط به عوامل مؤثر در ناپایداریهای دامنه ای که متغیرهای مستقل در رویداد ناپایداری هستند، وارد نرم افزار ادریسی شد و مورد پردازش قرار گرفتند، بر این اساس سه لایه رودخانه، جاده، و گسل که در ابتدا به صورت لایه وکتوری بودند به لایه رستر تبدیل شده سپس تابع Distance برای آنها اجرا گردید تا لایه های فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده بدست آمد. لایه های کاربری اراضی و لیتولوژی نیز از لایه وکتوری به رستری تبدیل شدند. برای آنها تابع Edit/ASSIGN تعریف شد در این قسمت وزن هر کلاس بر اساس درصد تراکم ناپایداریهای دامنه ای در هر کلاس معین گردید. درصد تراکم ناپایداریهای دامنه ای از نسبت مساحت ناپایداریهای دامنه ای در هر کلاس به مساحت کل

ناپایداریهای دامنه‌ای بدست آمد برای این منظور از تابع Zonal Statistics در محیط ArcGis استفاده شد. در ادامه لایه‌های شیب، جهت دامنه، و طبقات ارتفاعی توسط تابع Reclassify به صورت مجدد کلاس‌بندی گردید. لایه پراکنش ناپایداریهای دامنه‌ای منطقه نیز توسط تابع Calculator Image به صورت نقشه باینری ۰ و ۱ تبدیل گردید. بدین معنی که پیکسل‌های ناپایداریهای بر روی نقشه مزبور با عدد ۱ (وجود ناپایداری) پیکسل‌های غیر ناپایداری با عدد ۰ (عدم وجود ناپایداری) نشان داده شد. به منظور تعیین نقش هر یک از عوامل مؤثر در وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای، تراکم ناپایداریهای دامنه‌ای برای هر یک از متغیرهای مؤثر محاسبه شده است.

در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه (MLP) با ۱ لایه ورودی به تعداد ۹ نرون شامل (طبقات ارتفاعی، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی) و یک لایه پنهان با ۱۶ نرون و یک لایه خروجی استفاده شده است. الگوریتم مورد استفاده در این شبکه همان الگوریتم پس انتشار خطا بوده و تابع سیگموئید به عنوان تابع فعالیت استفاده شده است. برای رسیدن به پهنه‌بندی بهتر و گرفتن خروجی مناسب با دقت بالا ساختار متفاوتی از شبکه عصبی را به وسیله تغییر در تعداد نرون‌ها و سایر پارامترها مورد آزمایش قرار داده شد. اما یکی از بهترین روش‌ها برای رسیدن به معماری مناسب شبکه استفاده از سعی و خطاست که با تغییر میزان نرون‌های میانی و ثابت بودن سایر پارامترها بهترین حالتی که کمترین مقدار خطا را در مرحله تست و آموزش به دست می‌آید را انتخاب کرد (لازم به یادآوری است که حتی با ثابت بودن پارامترها نیز، با تکرار آموزش میزان خطای متفاوتی به دست خواهد آمد). مسئله مهمی که در مرحله آموزش باید به آن توجه کرد، یادگیری بیش از حد شبکه است که به جای اینکه شبکه یک رابطه معنی داری بین ورودی‌ها پیدا کند، اصطلاحاً شروع به حفظ کردن می‌کند در این حالت به آن over-fitting گویند. از علائمی که شبکه منجر به over-fitting می‌شود این است که در هر بار تکرار علاوه بر خطای تست خطای مرحله آموزش نیز افزایش می‌یابد. برای جلوگیری از این مشکل، در مرحله آموزش باید میزان خطای RMS<sup>۱</sup> بررسی شود در جایی که خطا افزایش یافت مرحله آموزش متوقف شود. بدین ترتیب میزان خطای تکرار بهینه و خطای مناسب آموزش برای شبکه تعیین شد. با افزایش تعداد تکرار، میزان خطای آموزش (training RMS) شبکه کاهش می‌یابد ولی خطای تست (testing RMS) افزایش می‌یابد بنابراین بهتر است جایی که خطای آموزشی شبکه به حداقل رسید آموزش را متوقف ساخت. این تعداد بهینه در تکرار ۲۰۰۰۰ با میزان خطای آموزشی (training RMS) ۰/۴۴۰ و خطای تست (testing RMS) ۰/۰۶۲۲ به دست آمد. همان طور که گفتیم بهترین راه با یک معماری مناسب برای شبکه از روش سعی و خطا بدست می‌آید. در این تحقیق تیز با استفاده از روش سعی و خطا بهترین معماری با ۱ لایه ورودی با ۹ نرون، یک لایه پنهان با ۱۶ نرون و یک لایه خروجی (۹،۱۶،۱) انتخاب شد. در این تحقیق از اطلاعات ۳۱۸۱ پیکسل لغزشی برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است. که از این تعداد ۲۵۴۴ پیکسل برای آموزش و ۶۳۶ پیکسل برای آزمایش شبکه بکار رفته است. نرخ آموزش و فاکتور مومنتوم متعددی مورد امتحان قرار گرفت و نهایتاً نرخ آموزش بین ۰/۰۱- تا ۰/۱۴ با مقادیر و فاکتور مومنتوم ۰/۵ انتخاب شدند. پس از انجام مراحل یاد شده نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع ناپایداریهای دامنه‌ای به روش شبکه عصبی تهیه شد که در شکل (۱۳) نمایش داده شده است.

<sup>۱</sup> Root Mean Square.



شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای به روش شبکه عصبی مصنوعی در محدوده مورد مطالعه.

#### مساحت پهنه‌های ناپایداری‌های دامنه‌ای به درصد

پس از انجام پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای درصد پهنه‌های ناپایداریها در هر کلاس محاسبه شد نتیجه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند کمترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، جدول (۲) درصد پهنه‌های ناپایداری‌های دامنه‌ای در هر کلاس در منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۲: مساحت پهنه‌های ناپایداری به درصد در مدل شبکه عصبی مصنوعی

کلاس خطر	مساحت هر کلاس (KM <sup>2</sup> )	درصد مساحت اشغال شده توسط هر کلاس
خیلی بالا	۱۶/۷	۵/۸۱
بالا	۳۷/۱۹	۱۲/۹۵
متوسط	۵۵/۶۶	۱۹/۳۸
پایین	۷۷/۷۳	۲۷/۰۶
خیلی پایین	۹۹/۸۸	۳۴/۷۸
مجموع	۲۸۷/۱۷	۱۰۰

#### نتیجه‌گیری

قابلیت ارزیابی احتمالی وقوع ناپایداری دامنه‌ای در یک مکان خاص، در اجرای راهبردهای کاهش آثار آن، کمک زیادی می‌کند. شاخص‌های کلی شامل ساختار و سنگ‌شناسی شیب، حضور مواد سست، و ضعیف از نظر زمین‌شناسی و مکانیکی و به طور کلی شیب‌های دارای میزان بیش از ۴۵ درجه می‌باشد. خسارات ناشی از ناپایداریها معمولاً منجر به تمهیدات مهندسی در جهت پایدار نمودن شیب‌ها می‌شود. برای کنترل و تثبیت شیب‌ها، نمی‌توان روش مشخص و ثابتی به کار گرفت. از این رو تشخیص نوع حرکت مواد باید مطالعه و بررسی گردد. به طور کلی، برای پیشگیری از حرکت و لغزش مواد بر روی شیب نیروهای مقاوم را می‌بایست افزایش داد و در نتیجه نیروهای محرکه و فعال را نسبت به نیروی مقاوم کاهش داد. جابه‌جایی مواد موجب کاهش نیروهای فعال بر روی شیب‌ها می‌شود. به همین دلیل زهکشی و تخلیه آب از

محیط می‌تواند به عنوان عاملی در پیشگیری در حرکت مواد به روی شیب مؤثر واقع گردد (غضبان، ۱۳۸۱، ۱۲۴). پایدار کردن شیب همراه با روشهای ساختمانی مقاوم در برابر این بلایا، به نظر می‌رسد که بهترین راه مؤثر برای کنترل در برابر بلایای حاصله از زمین‌لغزش‌ها باشد (غضبان، ۱۳۸۱، ۱۲۸). برای پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ابتدا در مرحله آزمایش به منظور جلوگیری از افزایش خطا و آموزش بیش از حد شبکه هر یک از پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی (تعداد تکرار، نسبت یادگیری و تعداد نرون در لایه پنهان) با روش سعی و خطا تعیین شده است. در این مطالعه از شبکه‌ای با معماری یک لایه ورودی با ۹ نرون شامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و یک لایه میانی با ۱۶ نرون و یک لایه خروجی (۹، ۱۶، ۱) که مناطق دارای پتانسیل وقوع ناپایداری دامنه‌ای را نشان می‌دهد، استفاده شده است، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۵/۸۱، ۱۲/۹۵، ۱۹/۳۸، ۲۷/۰۶، ۳۴/۷۸ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی بالا، بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین قرار گرفته است. نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر زیاد و بسیار زیاد حدود ۱۸/۷۶ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، که بیشتر منطبق بر ارتفاعات بالا، پهنه گسلی و شیب زیاد منطقه می‌باشد. بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی صخره‌ای وجود دارد، این امر تا حدود زیادی می‌تواند ناشی از قرار گرفتن برای روی توپوگرافی و شیب تند، مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف و فاقد پوشش گیاهی و جود منطقه خورد شده گسلی باشد. که بیشترین لغزش‌ها در سنگهای خیلی سخت (۴۵/۹) رخ داده است که شامل: ماسه سنگ سیلت و کنگلومرای قرمز آجری، گدازه‌های ریولیتی و داسیتی، ریولیت، ایگمبریت، توف، تراکی آندزیت آنالیم دار، تراکی آندزیت، توف بلورین، آندزیت با بافت پورفیری درشت، ماسه سنگ کوارتزی قرمز، کنگلومرا و ماسه سنگ، آهک بیوسپاریت، آهک چرت دار، ماسه سنگ و کنگلومرا و دایک اسیدی می‌باشد. وجود گسل‌های متعدد، پوشش گیاهی ضعیف و منطقه فاقد پوشش گیاهی، شیب و ارتفاع زیاد در محدوده منطبق بر سازندهای سخت باعث شده است ناپایداری بیشتری در این محدود رخ دهد. با توجه به پژوهش انجام گرفته در منطقه می‌توان به این نتیجه رسید عوامل طبیعی، نقش اصلی و مهم‌تری را در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه ایفا کرده است. به این ترتیب، در اجرای طرح‌های عمرانی و توسعه (احداث راه) و یا در گردشگری با توجه به توان بالقوه بالا و بسیار بالای ناپایداری دامنه‌ای مواد ضروری می‌نماید.

## منابع

- احمد زاده، حسن، ۱۳۸۴، مدلسازی فرسایش و رسوب حوضه آبریز قلعه چای عجب شیر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در محیط *GIS*، علی اکبر رسولی - شهرام روستایی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و *GIS*، دانشگاه تبریز.
- آسیایی، مجید، تاجبخش، سید محمد، خاشعی سیوکی، عباس، متولی، علیرضا، ۱۳۹۲، ارزیابی دو روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی در پهنه بندی وقوع زمین لغزش (منطقه مورد بررسی حوزه بهشت آباد چهارمحال و بختیاری)، فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۱۴-۱۰.
- بهنیا فر، ابوالفضل، منصوری دانشور، محمدرضا، کهربانیان، پروین، ۱۳۸۹، کاربرد مدل *AHP* و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین لغزش نمونه موردی: حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه های بینالود، جغرافیای طبیعی، شماره ۹، صص ۱۰۰-۸۹.
- خلج، محمد، ۱۳۸۷، لرزه زمین‌ساخت، چاپ دوم، دانشگاه پیام نور، تهران.

- زارع، محمد، مقدم نیا، علیرضا، تالی خشک، صادق، سلمانی، حسین، ۱۳۹۴، پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل نرو فازی در حوضه آبخیز واز، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۱، صص ۱۱۰-۱۰۱.
- شریعت جعفری، محسن، ۱۳۷۵، زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شبیه‌های طبیعی)، چاپ اول، انتشارات سازه، تهران.
- شیرانی، کوروش، محمدرضا، حاجی هاشمی جزئی، سیدعلی، نیک نژاد، سلیمان، رخشا، ۱۳۹۱، هنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) مطالعه موردی: سراب حوضه کارون شمالی)، مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران: نوره ۶۵، شماره ۳، صص ۳۹۵-۴۰۹.
- صفاری، امیر، علیمردادی، مسعود، حاتمی فرد، رامین، ۱۳۹۲، پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش به روش رگرسیون چند متغیره با استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳ (پیاپی ۷)، صص ۵۹-۷۴.
- صیادی، امید، ۱۳۸۷، جزوه آشنایی مقدماتی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، دانشگاه صنعتی شریف.
- عابدینی، موسی، فتحی، محمد حسین، ۱۳۹۳، پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل های چند معیاره، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص ۸۵-۷۱.
- غضبانی، فریدون، ۱۳۸۱، زمین شناسی زیست محیطی، چاپ اول، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران.
- فیض نیا، سادات، ۱۳۷۴، مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صص ۱۶۶-۹۵.
- کردی، عبدالواحد، دشتی مرویلی، مریم، معتمد وزیر، بهارک، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوهسار)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال ۲، شماره ۸، صص ۴۹-۶۱.
- کریمی، مرتضی، نجفی، اسماعیل، ۱۳۹۱، ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران)، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۹۵-۷۷.
- متولی، صدرالدین، اسماعیلی، رضا، حسین زاده، محمدمهدی، ۱۳۸۸، تعیین حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز واز (استان مازندران)، جغرافیای طبیعی لارستان، سال دوم، شماره ۵، صص ۷۳-۸۳.
- میر نظری، جواد، شهابی، همین، خضری، سعید، ۱۳۹۳، ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، صص ۷۰-۵۳.
- نظم فر، حسین، بهشتی، ابراهیم، ۱۳۹۵، کاربرد مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی در پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز چلی چای)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲۷، پیاپی ۶۱، شماره ۱، صص ۶۸-۵۳.
- Aksoy, B., & Ercanoglu, M., 2012, Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey), Computers & Geosciences, Vol(38), Issus (1), pp 1-26.

- Gorsevski, P. V., P. Jankowski., & P. E. Gessler., 2006, *Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process*, *Control and Cybernetics*, Vol(35), nol (1), pp 121–146.
- Sabuya, F., Alves, M. G., & Pinto, W. D .2006, *Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic*, *Engineering Geology*, Vol(86), Issus (4), pp 211–224.
- Solaymani Azad, S., Dominguez, S., Philip, H., Hessami, K., Forutan, M.-R., Shahpasan Zadeh, M., & Ritz, J. F, 2011, *The Zandjan fault system: morphological and tectonic evidences of a new active fault network in the NW of Iran*, *Tectonophysics*, Vol(506), Issus (1-4), pp 73–85.
- -Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., & Gupta, R. P., 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), Issus (3-4), pp 347-366.

