

## ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه آذرشهر چای)

معصومه رجبی - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز  
خلیل ولی زاده کامران - استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تبریز  
حسن عابدی قشلاقی\* - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۰۱

### چکیده

ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش مهم‌ترین گام در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش است. هدف اصلی از این مطالعه، بررسی و مقایسه نتایج حاصل از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آذرشهر چای می‌باشد. برای انجام این تحقیق با بررسی منابع و نظر کارشناسان، فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش (شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از جاده) در محیط Arc GIS آماده‌شده و با لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تطابق داده شد و اطلاعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها در هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به صورت کمی به دست آمد. سپس با استفاده از ابزار Arc GIS و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در هر دو مدل، اهمیت هر کدام از لغزش‌های رخ داده بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش تولید شد. ارزیابی نتایج به دست آمده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی با ضریب  $0/74$  نسبت به فرآیند تحلیل شبکه‌ای با ضریب  $0/72$  از دقت بیشتری در پیش‌بینی زمین‌لغزش در حوضه آذرشهر چای برخوردار است. همچنین بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که  $28/44$ ،  $7/13$ ،  $37/13$ ،  $33/14$ ،  $3/27$  درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته و در مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب  $32/61$ ،  $5/49$ ،  $32/05$ ،  $33/22$ ،  $5/73$  درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، فرآیند تحلیل شبکه، شبکه عصبی مصنوعی، حوضه آذرشهر چای

## مقدمه

حرکت‌های توده‌ای عبارت است از جابه‌جایی حجم زیادی از توده‌های خاک، سنگ و یا ترکیبی از آن‌ها به طرف پایین شیب در اثر نیروی ثقل می‌باشد. درباره فرآیندها و نحوه حرکت‌های توده‌ای در دامنه‌ها طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه شده است. کارسون و کربای حرکت‌های توده‌ای مواد روی دامنه را به سه طبقه لغزشی، جریان‌ی و خزشی تقسیم کرده‌اند (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای، زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است که در آن سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان است (احمدی، ۱۳۸۵). حرکت‌های دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش در زمره پرخطرترین و پر زیان‌بارترین آن‌ها است که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فرآیندهای یافته است (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). به طوری که زمین‌لغزش ۹٪ از کل بلایای طبیعی را در دهه گذشته شامل شده و این آهنگ رو به رشد در دهه‌های آتی ادامه دارد (یلماز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده به دلیل توسعه شهرنشینی، جنگ‌زدایی، افزایش بارش در مناطق مستعد لغزش به دلیل تغییر الگوی آب و هوایی افزایش یابد (یلماز، ۲۰۰۹؛ زارع و همکاران، ۲۰۱۳).

از آنجاکه پیش‌بینی زمان و مکان رخداد زمین‌لغزش از توان دانش فعلی بشر خارج است لذا برای بیان حساسیت دامنه‌ها به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق مختلف می‌پردازند (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). ارزیابی حساسیت و خطر زمین‌لغزش مهم‌ترین گام در تهیه نقشه زمین‌لغزش است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که باهدف تقسیم‌بندی نواحی مورد مطالعه به پهنه‌هایی با خطرات متفاوت با توجه به عوامل مؤثر می‌باشد، تا حدودی می‌تواند امکانات لازم جهت کاهش خسارت‌های زیادی که، در اثر بی‌توجهی به این امر همه‌ساله متوجه کشور می‌شود، را بگیرد.

از متداول‌ترین مخاطرات طبیعی در توده کوهستانی سهند، زمین‌لغزش‌ها هستند؛ اما علی‌رغم چنین فراوانی تاکنون تحقیقات جامعی در این مورد صورت نگرفته است. در این کوهستان به لحاظ حاکمیت شرایط اقلیمی خشن و بسترهای متشکل از مواد مستعد به وقوع لغزش، از جمله مواد آذرآواری و آبرفت‌های قدیمی، از مناطق مستعد کشور به وقوع لغزش به شمار می‌آید. حوضه آذرشهر چای نیز به‌عنوان یکی از حوضه‌های زهکشی توده کوهستانی سهند، به دلیل وجود دامنه‌های پرشیب، خاک و سازندهای سطحی تحکیم نیافته، عدم حفاظت کامل دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی و فعال بودن فرآیندهای مختلف در طول سال، برش پای دیواره دره‌ها توسط آب‌های جاری و در دهه‌های اخیر دست‌کاری غیراصولی انسان در محیط، یکی از مناطق مستعد بروز حرکات توده‌ای است (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰). جهت ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش بررسی‌ها و تحقیقات زیادی توسط محققین مختلف در دنیا و کشور انجام شده است که در اینجا به ذکر مواردی از آن‌ها اکتفا می‌شود:

روستایی و همکاران (۱۳۹۰)، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنالگان پرداخته‌اند، در این تحقیق برای هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در زمین‌لغزش از قبیل شیب، جهت شیب و ... نقشه تهیه شده و در آخر از تلفیق نقشه‌های عامل، نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه شده است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی به‌غیر از ۱۹ درصد بقیه مناطق در محدوده خطر زمین‌لغزش قرار داشتند. رجیبی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی تحت عنوان "پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس انتشار (BP)" جهت ارزیابی شبکه عصبی ایجاد شده، داده‌های ۴۱ زمین‌لغزش رخ داده در کنار ۸ لایه؛ متشکل از لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، شبکه هیدروگرافی، کاربری اراضی و پراکنش زمین‌لغزش به پهنه‌بندی زمین‌لغزش پرداخته است. نتایج حاصل نشان داد که ساختار زمین‌شناسی شکل‌گرفته از آهک‌های کرتاسه و

<sup>۱</sup>. Yilmaz

آندزیت‌های پرفیری و همچنین دسترسی به منابع رطوبتی بالا باعث شده که ارتفاعات شرقی کوه بوغروداغ و آلاداغ در محدوده کوه‌های تالش از قابلیت بالایی در رخداد زمین‌لغزش برخوردار شوند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداخته‌اند نتایج نشان داد ۷۱ درصد منطقه دارای خطر متوسط زمین‌لغزش هست، همچنین در این فرآیند عامل شیب و حساسیت لیتولوژی مهم‌ترین سهم را بر عهده داشته‌اند. سارولی<sup>۱</sup> (۲۰۰۱)، با استفاده از روش رگرسیون خطی<sup>۲</sup> به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداخته است. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق شامل شیب، جهت شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌باشند. که پس از مقایسه نتایج پهنه‌بندی با نقشه پراکنش لغزش‌ها مشخص گردید. این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد. کامپ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش بر پایه GIS در کشمیر، بعد از بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و همچنین زلزله به وجود آمده در ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که، در این منطقه عامل لیتولوژی مهم‌ترین عامل مؤثر بر زمین‌لغزش بوده و بعد از آن به ترتیب عامل گسل، رودخانه و جاده‌ها مؤثر بوده است. همچنین بیشتر زمین‌لغزش‌ها در دامنه جنوبی این حوضه رخ داده است. فیضی زاده و همکاران (۲۰۱۴)، در تحقیقی تحت عنوان "تجزیه تحلیل GIS پایه عدم قطعیت و حساسیت مکانی و آشکار با رویکرد تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره" با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) در سه مرحله با رویکرد سیستماتیک به آنالیز حساسیت زمین‌لغزش پرداخته‌اند در نهایت با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره نقشه مناطق مستعد زمین‌لغزش برای منطقه به دست آمده است. یوسف و همکاران (۲۰۱۴)، در تحقیقی به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های گروه دومتغیره و آماری چند متغیره در منطقه فایفا در عربستان سعودی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که مدل آماری دومتغیره نسبت به مدل آماری چند متغیره دارای بیشترین درصد موفقیت در پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌باشد. همچنین از دیگر تحقیقاتی که محققین برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش استفاده نموده‌اند، می‌توان به گورسوسکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶ از شبکه عصبی مصنوعی، تنگستانی، ۲۰۰۹؛ پورقاسمی، ۲۰۱۲؛ آنبلاگان و همکاران، ۲۰۱۵؛ بوی و همکاران، ۲۰۱۵ از روش‌های فازی، لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۱۰؛ پرادهان، ۲۰۱۳؛ دهنوی و همکاران، ۲۰۱۵ از روش‌های ترکیبی عصبی-فازی اشاره کرد.

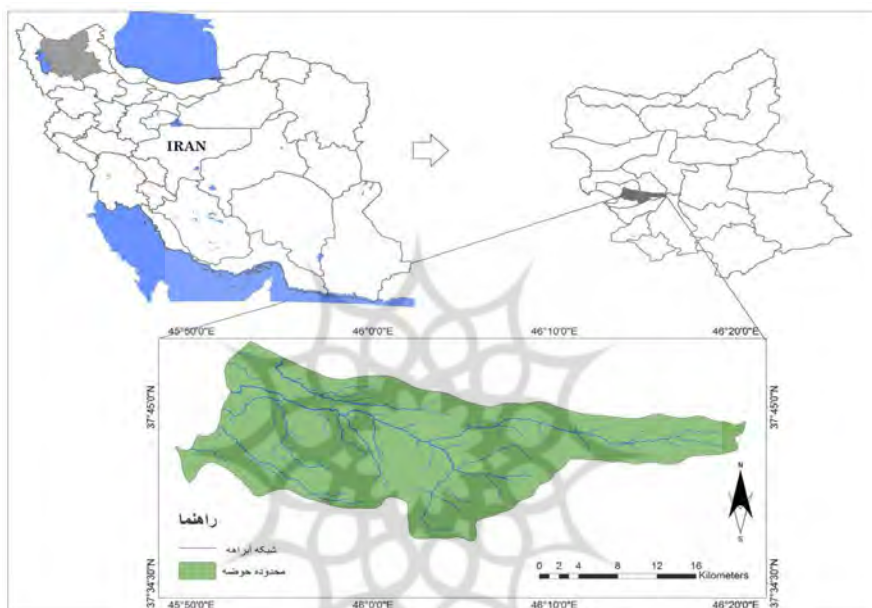
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آذرشهر چای در دامنه‌های غربی توده کوهستانی سهند، در شرق دریاچه ارومیه و در جنوب غرب محدوده شهرستان تبریز واقع شده است. ارتفاعات کوهستان سهند، انتهای شرقی و جلگه آذرشهر، بخش انتهایی غربی آن را تشکیل می‌دهد. این حوضه شامل دو دره گنبر و آمالو است که در بخش کوهستانی دره‌ها به صورت عمیق و پیچ و خم‌دار است و در بخش پایانی و در محدوده توپوگرافی کوهستانی، شیب ملایم شده، از شدت ناهمواری کاسته می‌شود. مجموع ارتفاع کوهستان سهند، موقعیت دره‌های فوق‌الذکر در مجموعه توده سهند، موجب فراهم شدن شرایط مناسب زیست‌محیطی در این فضای جغرافیایی شده است. در حوضه مذکور، تنوع زیادی در ویژگی‌های لیتولوژیک و زمین‌شناسی مشاهده می‌شود. قدیمی‌ترین رسوبات مربوط به میوسن هستند که به صورت دگر شیب به وسیله رسوبات پلیوسن و کواترنر پوشیده شده است. رسوبات میوسن شامل کنگلومرا، مارن و ماسه‌سنگ است که به صورت چین‌خورده و

1. Sarolee
2. Statistical logistic regression
3. Kamp
4. Gorsevski
5. Lian

فرسایش یافته در زیر ولکانوسدیمانتر سهند قرار گرفته‌اند. گسترش دریاچه ارومیه در پلیوسن، مارن های ضخیمی را در این ناحیه برجای گذاشته است. به همین دلیل، سنگ کف جلگه آذرشهر را مارن های پلیوسن تشکیل داده‌اند. در بخش شمالی و جنوب غربی منطقه تراورتن های کواترنر محدوده وسیعی را به خود اختصاص داده‌اند (بیاتی خطیبی و همکاران، ۱۳۹۰).

موقعیت منطقه مورد مطالعه در  $37^{\circ}37' - 37^{\circ}48'$  عرض شمالی و  $45^{\circ}49' - 46^{\circ}20'$  طول شرقی قرار دارد. مساحت منطقه برابر  $453/93$  کیلومتر مربع می‌باشد و دارای حد ارتفاعی بین  $1239 - 3300$  متر از سطح تراز دریا می‌باشد همچنین در سیستم مختصات UTM در زون ۳۸ شمالی قرار دارد.

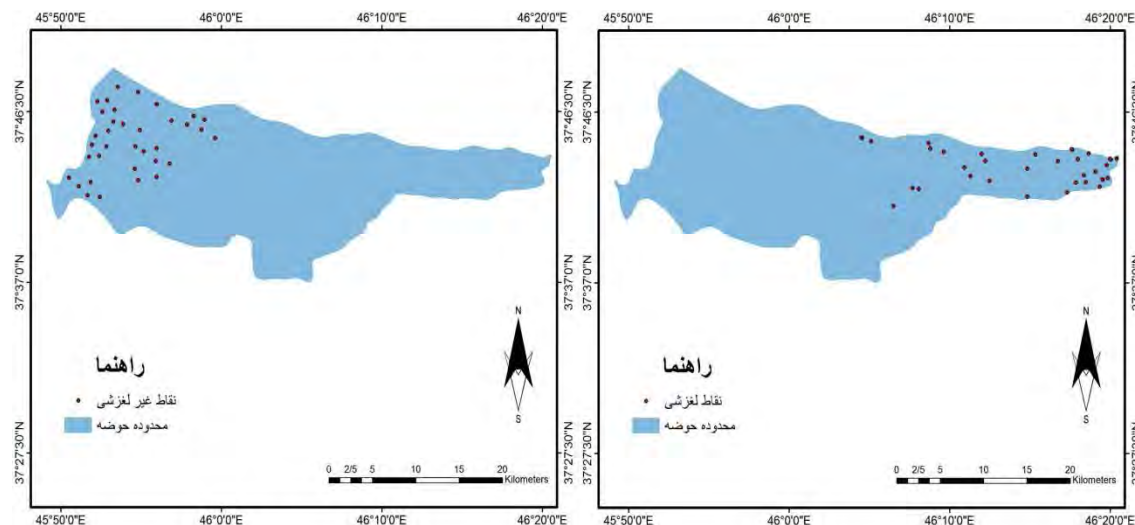


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آذرشهر چای

### روش پژوهش

#### تهیه نقشه نقاط لغزشی و غیر لغزشی

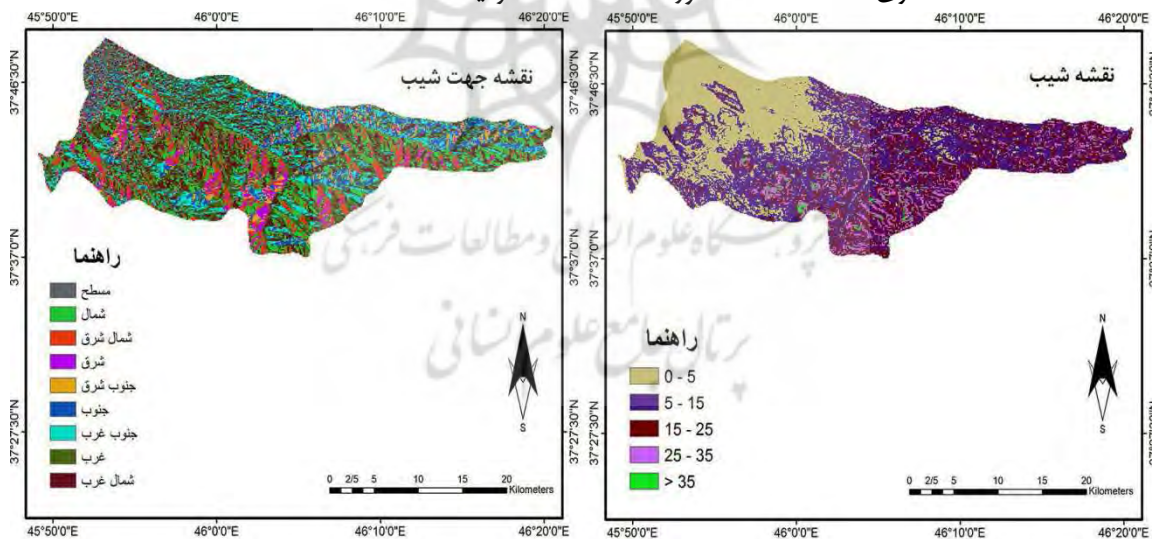
اولین مرحله برای پهنه‌بندی، شناسایی زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۱۴ (ردیف ۳۴، گذر ۱۶۸)، نرم‌افزار گوگل ارث و مطالعات میدانی، ۳۵ نقطه لغزشی تشخیص داده شد سپس، مختصات نقاط لغزشی به نرم‌افزار Arc GIS منتقل و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه در محیط این نرم‌افزار تهیه شد. همچنین در این تحقیق نقشه نقاط غیر لغزشی منطقه، به منظور استفاده در مراحل آموزش و آزمایش شبکه عصبی مصنوعی در داخل شیب‌های کمتر از ۵ درجه، تهیه شده است.

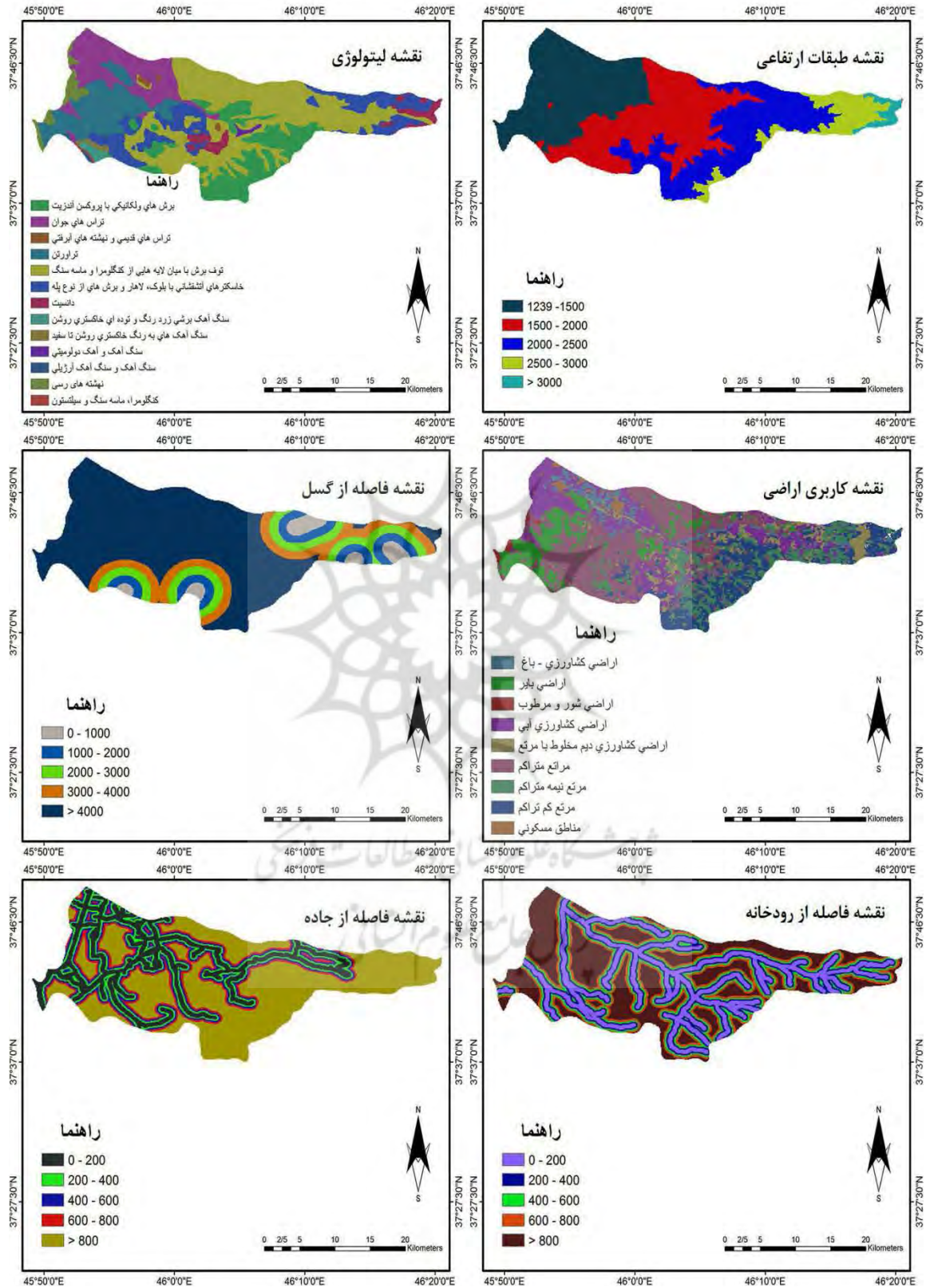


شکل ۲: نقشه پراکنش نقاط لغزش و غیر لغزش

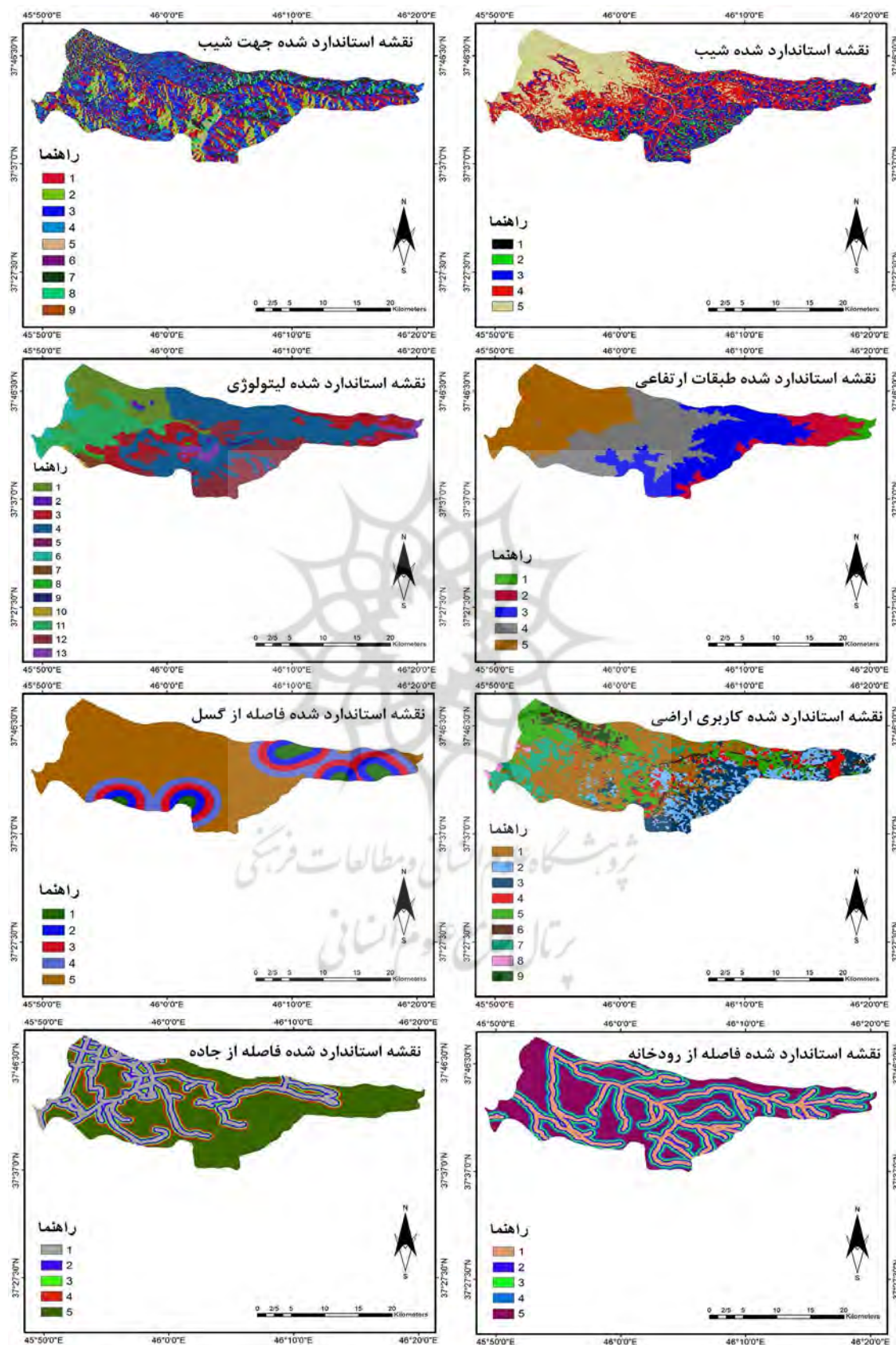
### فاکتورهای مؤثر در زمین لغزش

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه ۸ عامل تأثیرگذار شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی و کاربری اراضی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS تهیه و برای پهنه‌بندی در شبکه عصبی مصنوعی و فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. جهت این امر از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، DEM ۳۰ متری SRTM منطقه مورد مطالعه استفاده گردیده است.





شکل ۳: نقشه لایه های استفاده شده در پهنه بندی خطر زمین لغزش



شکل ۴: نقشه لایه‌های استاندارد شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

## تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش

۱- فرآیند تحلیل شبکه<sup>۱</sup>

روش ANP شکل توسعه یافته ای از AHP<sup>۲</sup> است که قادر است همبستگی ها و بازخورهای موجود بین عناصر مؤثر در یک تصمیم گیری را مدل سازی نموده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم گیری را منظور و وارد محاسبات نماید، لذا برتری و تمایز ANP نسبت به AHP آن است که، وابستگی های متقابل بین عناصر را در نظر می گیرد و نگرش دقیقی به مسائل پیچیده ارائه می کند. در حالی که AHP، وابستگی های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی میان معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها را در نظر نمی گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله مراتبی و یک طرفه فرض می کند. در صورتی که بسیاری از مسائل تصمیم گیری نمی توانند به صورت سلسله مراتبی ساختار یابند (رهنمایی و همکاران، ۱۳۹۰).

فرایند مدل سازی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مدل ANP به شرح زیر می باشد:

گام اول، پایه ریزی مدل و ساختار مسئله؛ گام دوم، ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن نسبی؛ گام سوم، تشکیل سوپر ماتریس اولیه؛ گام چهارم، تشکیل سوپر ماتریس وزنی؛ گام پنجم، محاسبه بردار وزنی عمومی؛ گام ششم، محاسبه وزن نهایی معیارها.

با توجه به مسئله تحقیق یک مدل شبکه ای دولایه متشکل از لایه هدف و لایه معیارها طراحی و سازماندهی شد. سپس مقایسه زوجی خوشه ها با استفاده از روابط به دست آمده از طریق پرسشنامه و تکنیک دیماتل که توسط متخصصان و کارشناسان در این زمینه تهیه شده است، در محیط نرم افزاری سوپردسیژن انجام شد.

The screenshot shows the Super Decisions software interface. The main window is titled "Comparisons for Super Decisions Main Window: final super decision.sdm". It is divided into three main sections:

- 1. Choose:** Contains options for "Node Cluster", "Choose Node", "Cluster: Goal", "Choose Cluster", and "Criteria".
- 2. Node comparisons with respect to:** Displays a grid of pairwise comparisons for 12 criteria. The grid is titled "Comparisons wrt 'ارزیابی حساسیت زمین لغزش' node in 'Criteria' cluster". The grid contains numerical values for comparisons between criteria, with some cells highlighted in blue. To the right of the grid, there are labels for each criterion in Persian, such as "جهت شیب", "فاصله از جبهه", "فاصله از رخنه", "فاصله از گسل", "لینتوژی", "کاربری ارضی", "جهت شیب", "فاصله از جبهه", "فاصله از رخنه", "فاصله از گسل", "لینتوژی".
- 3. Results:** Shows the "Inconsistency: 0.03729" and a table of results for each criterion. The table lists the criteria and their corresponding weights:

Criteria	Weight
ارتقاع	0.09184
جهت شیب	0.07417
شیب	0.16443
فاصله از جبهه	0.06213
فاصله از رخنه	0.05965
فاصله از گسل	0.11846
لینتوژی	0.23765
کاربری ارضی	0.19166

شکل ۵: نمونه ای از مقایسه زوجی خوشه ها به سبک پرسشنامه

و سه ابر ماتریس غیر وزنی، وزنی و حدی، به همراه ضرایب هر یک از عناصر مؤثر در زمین لغزش به دست آمد. سپس میزان نرخ ناسازگاری محاسبه می شود، که در این فرآیند نرخ ناسازگاری توسط نرم افزار سوپردسیژن برای هر ماتریس

<sup>1</sup> . Analytic Network Process

<sup>2</sup> . Analytic Hierarchy Process



مقایسه زوجی محاسبه و ارائه می‌شود که اگر از ۰/۱ فراتر رود آن قضاوت ناسازگار است و در نحوه قضاوت باید تجدیدنظر شود (سعیدی و نجفی، ۱۳۸۹). در منطقه مطالعاتی برابر ۰/۰۳۷۲۹ بوده و قابل قبول می‌باشد. در نهایت، با توجه به ضرایب به دست آمده نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با توجه به رابطه زیر (رابطه ۱) در محیط نرم‌افزاری ARC GIS تهیه گردید.

$$ANP = X_1W_1 + X_2W_2 + \dots + X_nW_n$$

رابطه ۱:

در این رابطه  $X$  به عنوان عناصر و  $W$  به عنوان ضرایب به دست آمده می‌باشد.

## ۲- شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱</sup>

در ساخت شبکه عصبی مصنوعی اولین کار تعیین نوع شبکه است. در این تحقیق برای منطقه مورد مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه به دلیل کار آیی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد.

جهت ورود به شبکه عصبی مصنوعی 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 قابل اعتماد است (لی و همکاران، ۲۰۰۹). بدین منظور ابتدا نسبت فراوانی محاسبه و در نهایت شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۲ محاسبه شده است (لی و همکاران، ۲۰۰۹). سپس جهت ورود به محیط برنامه نوشته شده در نرم‌افزار متلب داده‌ها بر اساس نسبت فراوانی از کم به زیاد کدبندی شدند. بعد از ورود داده‌ها به شبکه عصبی مصنوعی طبق به صورت تصادفی بین ۰/۷ - تا ۰/۷ وزن دهی شدند و سپس در مرحله آموزش، هر عامل دارای وزن جدیدی می‌شود که این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده می‌شوند (سوری و همکاران، ۱۳۹۰).

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

رابطه ۲:

$$LSI = \sum Fr$$

رابطه ۳:

LSI: شاخص حساسیت زمین‌لغزش در هر طبقه

Fr: نسبت فراوانی وقوع زمین‌لغزش در هر طبقه

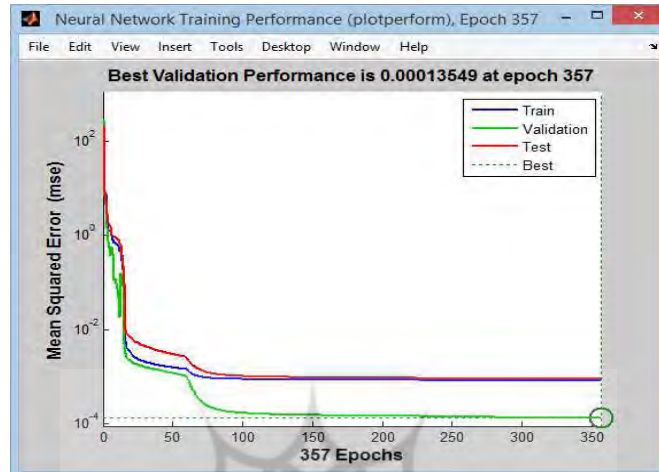
برای جلوگیری از هرگونه پیش‌داوری و دخل و تصرف در نتایج شبکه عصبی، در این تحقیق برای آموزش و آزمایش شبکه به طور تصادفی و مساوی داده لغزشی و غیر لغزشی انتخاب و از ۸۰ درصد این داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش استفاده شد. برای انتخاب تصادفی این داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است.

به منظور تعیین 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 و برای به دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، شبیه‌سازی متعددی صورت پذیرفت که در طی آن تعداد معینی تکرار یک پارامتر متغیر و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد که در تمامی شبیه‌سازی صورت پذیرفته شاخص متوسط مجذور مربعات خطا به عنوان یک شاخص راهنما، بیانگر کار آیی شبکه در یادگیری الگوهای موجود استفاده گردید. بعد از تعیین این پارامترها که شرح هر یک در فوق آمده است، ساختار ۱-۸-۱۵ یعنی ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۵ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده شد و بر اساس این ساختار پهنه‌بندی نهایی صورت گرفته است.

در این تحقیق از اطلاعات ۶۵۰ پیکسل لغزشی و غیر لغزشی برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است که از این تعداد ۵۲۰ پیکسل برای آموزش و ۱۳۰ پیکسل برای آزمایش شبکه بکار رفته است. با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه

<sup>۱</sup>. Artificial Neural Network

عصبی مصنوعی در مرحله آزمایش، مشخص گردید که شبکه عصبی ایجادشده قادر است از میان ۱۰۰ پیکسل لغزشی، ۹۲ مورد را به درستی گزارش دهد که نشان دهنده حساسیت تشخیصی معادل ۹۲ درصد می باشد. همچنین از میان ۱۰۰ پیکسل غیر لغزشی، شبکه قادر به تشخیص ۹۳ مورد از نمونه های آزمایشی گردید که بیانگر ویژگی تشخیص معادل ۹۳ درصد می باشد. بنابراین دقت کل شبکه برابر با ۹۲/۵ درصد محاسبه گردید.



شکل ۶: کاهش خطا در طی مراحل آموزش

لازم به توضیح است دقت روش های مورد استفاده در بررسی می تواند با استفاده از ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گیرد.

### یافته های پژوهش

بر اساس روش های ذکر شده در فوق، نتایج حاصله در محدوده حوضه مطالعاتی به شرح زیر است:

### فرآیند تحلیل شبکه

همان طوری که ذکر شد یکی از مدل های مورد استفاده در بررسی حاضر مدل تحلیل شبکه است. به منظور تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه ابتدا لازم است ضرایب مؤثر در زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه محاسبه شود (شکل ۵).

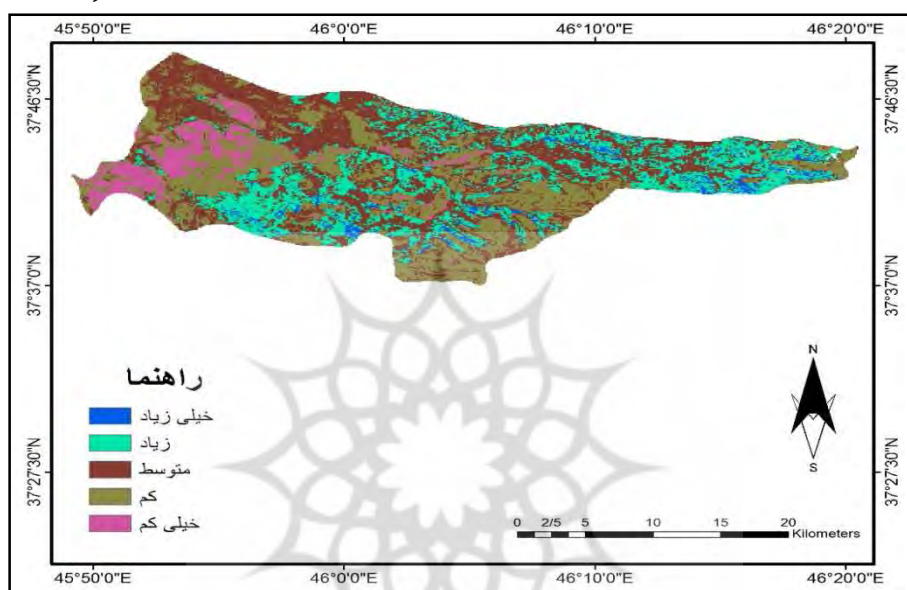
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	ارزیابی حساسیت زمین لغزش	0.00000	0.000000
No Icon	شیب	0.15200	0.152000
No Icon	جهت شیب	0.07746	0.077458
No Icon	ارتفاع	0.11511	0.115106
No Icon	کاربری اراضی	0.17333	0.173326
No Icon	لیتولوژی	0.22313	0.223130
No Icon	فاصله از گسل	0.10409	0.104088
No Icon	فاصله از رودخانه	0.08623	0.086226
No Icon	فاصله از جاده	0.06867	0.068665

شکل ۷: ضرایب استخراج شده از مدل فرآیند تحلیل شبکه ای

سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده، اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش بر اساس مدل تحلیل شبکه ای گردید. بدین منظور ابتدا در محیط ArcGIS لایه های اطلاعاتی که از قبل تهیه و رقومی شده بودند به فرمت رستری یا

شبکه‌ای تبدیل گشته و سپس طبقه‌بندی مجدد شدند و نهایتاً ضرایب به دست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای ANP در محیط Raster Calculate بر روی لایه‌های اطلاعاتی فوق اعمال گردید و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای به دست آمد. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم طبقه‌بندی شد، مدل پیشنهادی به صورت رابطه زیر ارائه گردید (شکل ۶).

$$ANP = (\text{کاربری زمین} \times 0/11511) + (\text{طبقات ارتفاعی} \times 0/07746) + (\text{جهت شیب} \times 0/1152) + (\text{شیب} \times 0/117333) + (\text{فاصله} \times 0/08623) + (\text{فاصله از رودخانه} \times 0/10409) + (\text{فاصله از گسل} \times 0/2231) + (\text{لیتولوژی} \times 0/117333) + (\text{از جاده} \times 0/06867)$$



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آذرشهر جای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

با توجه به نقشه خروجی حاصل از مدل فرآیند تحلیل شبکه، مناطق دارای کلاس خطر خیلی زیاد و زیاد در مجموع با مساحت ۱۲۰ کیلومترمربع توان لغزشی بالا و مناطق با کلاس خطر متوسط، کم و خیلی کم در مجموع با مساحت ۳۳۳ کیلومترمربع توان لغزشی پایینی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

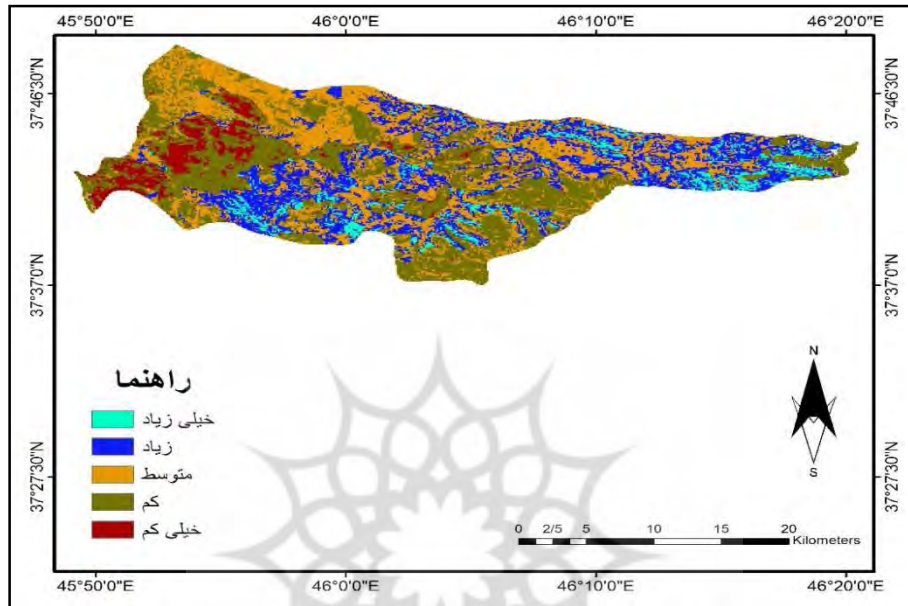
جدول ۱: درصد مساحت پهنه‌های لغزشی در حوضه آذرشهر جای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

ردیف	کلاس‌های خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۱	خیلی زیاد	۱۴/۸۴	۳/۲۷
۲	زیاد	۱۰۵/۱۱	۲۳/۱۴
۳	متوسط	۱۶۸/۵۶	۳۷/۱۳
۴	کم	۱۲۹/۰۸	۲۸/۴۴
۵	خیلی کم	۳۲/۳۴	۷/۱۳

### شبکه عصبی مصنوعی

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 ۵۶۰۴۰ پیکسل و هرکدام از پیکسل‌ها دارای ۸ ویژگی مربوط به ۸ عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش بود در اختیار شبکه قرار گرفت. پس از انجام تحلیل بر روی این داده‌ها توسط شبکه، برای هرکدام از پیکسل‌ها مقداری بین صفر و یک به دست آمد. با دسته‌بندی مقادیر به دست آمده از شبکه، مناطق به نواحی متفاوت از نظر خطر زمین لغزش تقسیم‌بندی شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر با اختلاف ۰/۲ به ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید (شکل ۷).



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آذرشهر چای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به نقشه خروجی حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی، مناطق دارای کلاس خطر خیلی زیاد و زیاد در مجموع با مساحت ۱۳۲ کیلومترمربع توان لغزشی بالا و مناطق با کلاس خطر متوسط، کم و خیلی کم در مجموع با مساحت ۳۲۱ کیلومترمربع توان لغزشی پایینی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۲: درصد مساحت هر یک از پهنه‌های لغزشی در حوضه آذرشهر چای با استفاده از شبکه عصبی

ردیف	کلاس‌های خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۱	خیلی زیاد	۲۶/۰۲	۵/۷۳
۲	زیاد	۱۰۶/۱۱	۲۳/۲۲
۳	متوسط	۱۴۵/۴۹	۳۲/۰۵
۴	کم	۱۴۷/۹۹	۳۲/۶۱
۵	خیلی کم	۲۴/۹	۵/۴۹

#### ۴-۳- ارزیابی دقت مدل‌های پهنه‌بندی

در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر زمین لغزش از ضریب آماری کاپا استفاده شده است. بدین منظور ابتدا ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مربوط به هرکدام از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای تشکیل شد.

جدول ۳: ماتریس مشاهده و پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی

تعداد نقاط بدون لغزش	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط لغزشی
۴	۳۱	تعداد نقاط لغزشی
۳۰	۵	تعداد نقاط بدون لغزش

توافق مشاهده‌ای برای مدل شبکه عصبی مصنوعی ۰/۸۷، توافق پیش‌بینی شده ۰/۵۰ و ضریب کاپا ۰/۷۴ محاسبه شده است.

جدول ۴: ماتریسی مشاهده و پیش‌بینی فرآیند تحلیل شبکه‌ای

تعداد نقاط بدون لغزش	تعداد نقاط لغزشی	تعداد نقاط لغزشی
۶	۲۹	تعداد نقاط لغزشی
۳۱	۴	تعداد نقاط بدون لغزش

توافق مشاهده‌ای برای مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای ۰/۸۶، توافق پیش‌بینی شده ۰/۵۰ و ضریب کاپا ۰/۷۲ محاسبه شده است.

مقدار شاخص آماری کاپا ( $\kappa$ ) که مقایسه و ارزیابی روش‌ها را در قیاس با یکدیگر نشان می‌دهد در مدل شبکه عصبی مصنوعی ۰/۷۴ و در مدل فرآیند تحلیل شبکه ۰/۷۲ محاسبه شده است که مطلوبیت و صحت بیشتر استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه می‌باشند که نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی‌ها به شرح زیر است:

نتایج به‌دست‌آمده از شیب نشان می‌دهد بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب ۲۵-۳۵ درجه اتفاق افتاده است. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در جهت شمال وجود دارد. حوضه آذرشهر چای از لیتولوژی متنوعی برخوردار بوده که این امر تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد، در سازندهای حاوی توف برش با میان لایه‌هایی از کنگومرا و ماسه‌سنگ و خاکسترهای آتش‌فشانی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت حساسیت نسبت به لغزش بیشتر بوده و شاید بتوان این عامل را به‌نوعی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه برشمرد. در کاربری اراضی بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی مرتع کم تراکم و اراضی کشاورزی دیم مخلوط با مرتع وجود دارد. با افزایش ارتفاع و بیشتر شدن فاصله از جاده و فاصله از گسل، در منطقه مورد مطالعه، حساسیت نسبت به زمین‌لغزش تغییرات منظمی داشته و در حال افزایش است. در فاکتور فاصله از آبراهه نشان می‌دهد که، حساسیت نسبت به خطر زمین‌لغزش تغییرات نامنظمی داشته است. با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای به‌عنوان یکی از مدل‌های چند معیاره تصمیم‌گیری مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آذرشهر چای به ترتیب اولویت به‌صورت زیر شناسایی شدند:

۱- لیتولوژی ۲- کاربری اراضی ۳- شیب ۴- ارتفاع ۵- فاصله از گسل ۶- فاصله از رودخانه ۷- جهت شیب ۸- فاصله از جاده

برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ابتدا در مرحله آموزش به‌منظور جلوگیری از افزایش خطا و آموزش بیش‌ازحد 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. سپس با ساختار ۱-۱۵-۸ یعنی ۸ نرون ورودی، ۱۵ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون خروجی نقشه زمین‌لغزش در منطقه تهیه شده است، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ۵/۴۹، ۳۲/۶۱،

۳۲/۰۵، ۲۳/۲۲، ۵/۷۳ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای ابتدا ماتریس مقایسه زوجی عوامل تشکیل شد و سپس وزن هرکدام از عوامل محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از توابع هم‌پوشانی موجود در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه نهایی زمین‌لغزش در حوض آذرشهر چای تهیه شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ۷/۱۳، ۲۸/۴۴، ۳۷/۱۳، ۲۳/۱۴، ۳/۲۷ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. بررسی نتایج به‌دست آمده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی با ضریب آماری کاپا ۰/۷۴ نسبت به فرآیند تحلیل شبکه‌ای با ضریب کاپا ۰/۷۲ از دقت بیشتری در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوضه آذرشهر چای برخوردار است. مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش با توجه به در نظر گرفتن وابستگی‌های درونی و بیرونی و جلوگیری از تأثیر مستقیم نظر کارشناسان قابلیت مناسبی را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارا می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود هرگونه تغییر در کاربری اراضی و برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار در منطقه مورد مطالعه، با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش صورت گیرد.

## منابع

- احمدی، حسن، (۱۳۸۵): ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.
- بیاتی خطیبی، م؛ کرمی، ف؛ زاهدی، م؛ مختاری، د، (۱۳۹۰)، "بررسی تأثیرات وقوع خشکسالی‌های اخیر در تشدید فرسایش خندقی و رخداد لغزش‌ها، در حوضه آذرشهر چای، با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۰.
- رجیبی، م؛ فیض اله پور، م، "پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه‌ی گیوی چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس انتشار (BP)" مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۶، پاییز ۱۳۹۳.
- روستایی، ش؛ علیزاده، ر، (۱۳۹۰)، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنیلاگان" فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال دوازدهم، شماره ۳۹، پاییز ۱۳۹۱، صص ۳۵-۱۷.
- رهنمایی، محمدتقی، پوراحمد، احمد و اشرفی، یوسف (۱۳۹۰) "ارزیابی قابلیت‌های توسعه شهری مراغه با استفاده از مدل ترکیبی ANP - SWOT"، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص ۷۷ - ۱۰۰.
- سعیدی، ح. و نجفی، ا. ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تعیین اولویت خروج دام از جنگل و سامان‌دهی جنگل‌نشینان مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۲۱-۳۰۹.
- سوری، س؛ لشکری پور، غ؛ غفوری، م؛ "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوزبان)" نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد پنجم، شماره ۲ پاییز و زمستان ۱۳۹۰.
- شاد فر، ص؛ یمانی، م؛ قدوسی، ج؛ غیومیان، ج، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل، سلسله مراتبی در حوضه آبخیز چالکرو تنکابن." پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، تابستان ۱۳۸۶، صص: ۱۲۶-۱۱۷.
- مقیمی، ابراهیم؛ علوی پناه، سید کاظم و تیمور جعفری، (۱۳۸۷)، "ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)" موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، مجله ۷۵، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۵۴.
- مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رحیمی، س، (۱۳۹۲)، "ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای" پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، بهار ۱۳۹۲، صص ۱۱۸-۱۰۳.

- Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., & Neethu, S. (2015). Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1), 1-17.
- Bui, D. T., Pradhan, B., Revhaug, I., Nguyen, D. B., Pham, H. V., & Bui, Q. N. (2015). A novel hybrid evidential belief function-based fuzzy logic model in spatial prediction of rainfall-induced shallow landslides in the Lang Son city area (Vietnam). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(3), 243-271.
- Dehnavi, A., Aghdam, I. N., Pradhan, B., & Varzandeh, M. H. M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122-148.
- Feizizadeh, Bakhtiar, Piotr Jankowski, and Thomas Blaschke. "A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis." *Computers & Geosciences* 64 (2014): 81-95.
- Gorsevski, P. V., Brown, M. K., Panter, K., Onasch, C. M., Simic, A., & Snyder, J. (2015). Landslide detection and susceptibility mapping using LiDAR and an artificial neural network approach: a case study in the Cuyahoga Valley National Park, Ohio. *Landslides*, 1-18.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2009). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling.
- Lian, C., Zeng, Z., Yao, W., Tang, H., & Chen, C. L. (2016). Landslide Displacement Prediction With Uncertainty Based on Neural Networks With Random Hidden Weights. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*.
- Kamp, U . Growley, B . Khattak , G & Owen , L. (2008)." GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region ." *Journal of Geomorphology* 101. (2008) . 631-642.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965-996.
- Pradhan, B. (2013). A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences*, 51, 350-365.
- Sarolee, K. M, 2001, "Statistical Analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea ", *Environmental Geology*, 40, pp: 1095-1113.
- Tangestani, M. H. (2009). A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(1), 66-73.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F. (2010). A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences*, 36(9), 1101-1114.
- Yilmaz, I. (2009). A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 297-306.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., Jebur, M. N., & El-Harbi, H. M. (2014). Landslide susceptibility mapping using ensemble bivariate and multivariate statistical models in Fayfa area, Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3745-3761.
- Zare, M., Pourghasemi, H. R., Vafakhah, M., & Pradhan, B. (2013). Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8), 2873-2888.