

توسعه مدلی مکانمند مبتنی بر سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی به منظور شناسایی مناطق مستعد خطر زمین لغزش مطالعه موردی: استان البرز

میثم عفتی^{۱*}، عباس عسگری سرشگی^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران (راه و ترابری) - دانشکده فنی - دانشگاه گیلان
meysameffati@guilan.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد رامسر
abbas.asgari@mail.com

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

چکیده

زمین لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی است که سالانه سبب ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی در سطح کشور می‌شود. از این رو تشخیص مناطق مستعد لغزش، برای به‌کارگیری روش‌های پیشگیری یا مقابله با ناپایداری دامنه‌ها به‌منظور کاهش خطر و ریسک حاصل از آن‌ها، بسیار اهمیت دارد. در این پژوهش روشی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مبتنی بر تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه می‌گردد که بر پایه داده‌های رخدادهای پیشین است. بدین منظور در موتور استنتاج روش پیشنهادی از الگوریتم عصبی-فازی تطبیقی با ساختاری منطبق بر تحلیل حساسیت خطر لغزش استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه این پژوهش استان البرز می‌باشد. در روش پیشنهادی، فاکتورهایی چون ارتفاع، سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل و بارندگی که از مهم‌ترین علل ناپایداری دامنه هستند به‌عنوان عوامل ایجاد لغزش در نظر گرفته شده و نقشه رستری هر یک از فاکتورها در محیط GIS تولید شده و در بانک داده مکان مرجع ذخیره‌سازی شده است. سپس مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از یافته‌های مدل پیشنهادی تهیه گردیده و در نهایت مدل به کمک داده‌های ارزیابی مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است. نتایج مدل پیشنهادی با متوسط ریشه مربع خطا ۰/۸۱۹ و ضریب همبستگی ۰/۹۳۴ دقت نسبتاً مناسبی را به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه می‌دهد. همچنین در نقشه توزیع مکانی خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه، مساحت مناطق با خطرپذیری بالا بیشترین مساحت را نسبت به مساحت کل استان به خود اختصاص می‌دهد که نشان‌دهنده خطرپذیری بالای استان البرز در بروز لغزش‌ها می‌باشد.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، محاسبات نرم، سیستم استنتاج عصبی فازی، پهنه‌بندی مکانمند

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

عوامل بسیاری باعث از دست رفتن تعادل محیط طبیعی می‌شود که انسان نقش بسزایی در آن دارد. از جمله عواملی که باعث برهم خوردن این تعادل می‌گردد می‌توان به افزایش جمعیت، گسترش سکونتگاه‌های انسانی، افزایش دانش بشری و پیشرفت تکنولوژی در تسریع استفاده از محیط طبیعی، نیازهای نامحدود انسان به منابع طبیعی و دستیابی به این منابع محدود و بسیاری از موارد دیگر اشاره کرد. در تعریف خطر، بلایا را زمانی خطر می‌نامند که با جان و مال انسان‌ها در ارتباط باشد [۱]. خطرات دو دسته هستند، یا دارای منشأ طبیعی می‌باشند و یا داری منشأ انسانی هستند که در آسیب‌شناسی خطر در نهایت منشأ و ریشه هر دوی آن‌ها در بسیاری از موارد به خود انسان برمی‌گردد. برای نمونه تصادفات ناشی از رانندگی به‌عنوان خطری انسانی تلقی شده و ناپایداری‌های دامنه‌ای به‌عنوان خطری طبیعی در نظر گرفته می‌شود که هر دو به دلیل سهل‌انگاری‌های انسانی و عدم رعایت قوانین حاکم صورت می‌پذیرد [۱]. انسان با از بین بردن پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، ساخت‌وساز و ایجاد ترانشه بر روی دامنه‌ها، بخصوص دامنه‌های ناپایدار باعث ایجاد خطراتی همچون ریزش کوه و لغزش دامنه‌ها و درنهایت ناپایداری و ایجاد پتانسیل خطر در آن‌ها می‌شود [۲]. زمین‌لغزش شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو، در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه می‌باشد [۳] که در آن سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان است [۴]. به‌طورکلی از مجموع بلایای طبیعی، زمین‌لغزش ۹ درصد از کل آن‌ها در دهه گذشته را به خود اختصاص داده [۵] و این پدیده در میان بلایای طبیعی در زمره پرخطرترین و زیان‌بارترین آن‌ها قرار گرفته که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی شتاب فزاینده‌ای یافته است [۶]. زمین‌لغزش‌ها در ایران سالانه خسارات زیادی به کشور وارد ساخته و هزینه هنگفتی برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده بر بودجه کشور تحمیل می‌کند [۷]. اهم این خسارات به راه‌ها، خطوط راه‌آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال‌های آبیاری و آب‌رسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج، پالایش نفت و گاز، شبکه شریان‌های حیاتی درون شهرها،

کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، سدها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی، جنگل‌ها و مراتع و منابع طبیعی، مزارع و مناطق مسکونی و روستاها وارد می‌گردد [۸]. بر پایه یک برآورد اولیه، هر سال ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی بر اثر زمین‌لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود. این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل‌بازگشت به شمار آورده نشوند [۹]؛ بنابراین، این رقم تنها به خسارات مستقیم اشاره دارد و خسارات غیرمستقیم، مانند هدر رفتن خاک، افزایش حجم رسوبات در پشت سدها، تغییر اکوسیستم مناطق و از بین رفتن جنگل‌ها را شامل نمی‌شود [۸]. از این‌رو در دهه‌های اخیر، تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، توجه بسیاری از مهندسان و پژوهشگران حوزه علوم زمین را به خود معطوف کرده است.

واژه پهنه‌بندی در معنای لغوی به مفهوم تقسیم‌بندی زمین به واحدهای همگن می‌باشد. در بحث زمین‌لغزش هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آوردن الگویی مناسب برای برنامه‌ریزی بهینه جهت استفاده مناسب از زمین می‌باشد [۱۰].

امروزه به‌واسطه افزایش قدرت پردازش کامپیوترها و تکنولوژی سیستم اطلاعات مکانی، تعداد وسیعی از روش‌های کمی و آماری در ارزیابی قابلیت رخداد زمین‌لغزش گسترش یافته است [۱۱]. از جمله این مدل‌ها می‌توان به کارهای پیشین انجام‌شده به روش AHP [۱۲]، روش آماری دو متغیره [۱۴]، روش نیلسن [۱۵]، روش رگرسیون چند متغیره [۱۶]، روش مدل آنتروپی [۱۷]، روش فاکتور اطمینان [۱۸]، روش منطق فازی [۱۹] و روش شبکه عصبی مصنوعی [۲۰، ۲۱] اشاره کرد. بویی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از مدل نرو فازی و GIS در منطقه‌ای از ویتنام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش پرداختند. در این پژوهش از ورودی‌هایی نظیر جهت، شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، نوع خاک و بارندگی و همچنین از توابع مختلف مدل نرو فازی مانند توابع گوسی و سیگموئیدی استفاده شد. نتایج نشان داد توابع گوسی و سیگموئیدی نرو فازی دارای کارایی بالایی بوده است [۲۲].

نصیری اقدم و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از شاخص آماری و سیستم عصبی فازی تطبیقی اقدام به تهیه نقشه زمین‌لغزش از رشته کوه‌های البرز نموده‌اند. به منظور تهیه نقشه زمین‌لغزش منطقه از ۱۲ عامل اصلی

گودرزی و همکاران در سال ۱۳۹۷ به بررسی کارایی مدل استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش پرداختند. در این پژوهش از ساختار سیستم استنتاج فازی خوشه بندی برای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش و به منظور ارزیابی مدل‌ها از منحنی راک استفاده شده است. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که دقت مدل ارائه شده در منطقه مورد مطالعه ۹۸/۱۱ درصد (خیلی خوب) برآورد شده است [۲۷].

با بررسی مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف می‌توان نتیجه گرفت که مدل عصبی-فازی تطبیقی در تلفیق با سیستم‌های اطلاعات مکانی در صورت استفاده از عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش و انتخاب پارامترهای بهینه در مدل فازی عصبی، مدل نسبتاً مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد.

تفاوت اصلی بین این مطالعه و پژوهش‌های مذکور این است که اولاً مبتنی بر تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی عدم قطعیت و بر پایه داده‌های رخدادهای پیشین است و ثانیاً در این پژوهش برای کنترل انطباق مدل لغزش تولید شده علاوه بر استفاده از داده‌های اعتبارسنجی و روش‌های آماری منحصربه‌فرد، اقدام به پایش میدانی مناطق پرخطر و تولید مدل سه بعدی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی رقومی منطقه گردید تا علاوه بر درک راحت‌تر و سریع‌تر از رابطه توزیع عوارض طبیعی، مصنوعی و پارامترهای مؤثر با خطر زمین لغزش، تفسیر دقیق‌تری از مدل تولید شده نمود.

هدف اصلی این تحقیق طراحی مدلی بر پایه سیستم اطلاعات مکانی در تلفیق با مدل عصبی-فازی تطبیقی به منظور شناسایی مناطق پرخطر از نظر زمین لغزش و تولید نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش در استان البرز است. به این منظور با تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی از قبیل زمین‌شناسی، شیب دامنه‌ها، خطوط هم‌باران و موارد دیگر و با به‌کارگیری روش پیشنهادی در محیط GIS نقشه‌ای با عنوان پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، تهیه می‌گردد. در نهایت مدل علاوه بر اعتبارسنجی به کمک داده‌های تست که از زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه استخراج شده است، با پایش میدانی مناطق پرخطر و تفسیر مدل سه‌بعدی تهیه شده از منطقه‌ی مورد مطالعه اعتبارسنجی می‌شود.

مؤثر وقوع زمین لغزش استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهاد شده قابلیت اعتماد مناسبی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای برنامه ریزی اولیه و استفاده از سایت‌های زیرزمینی منطقه مناسب باشد [۲۳].

جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۹ با بهینه‌سازی یک سیستم عصبی فازی تطبیقی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری^۱ و الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر بیوگرافی^۲ اقدام به تهیه نقشه خطر زمین لغزش در ایالت اوتاراکنند شمال هند، نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد مدل‌های پیشنهادی، پیش‌بینی بهتری از زمین لغزش را در مقایسه با آنچه که در مطالعات قبلی به دست آمد است، نشان می‌دهد [۲۴].

چن و همکاران در سال ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی مبتنی بر جمعیت و سیستم عصبی فازی تطبیقی یک مدل برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش در استان شانچی چین تهیه کردند. در این پژوهش از ۱۸ عامل مؤثر در تهیه مدل استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تلفیق سیستم عصبی فازی تطبیقی و الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند مدل‌های مناسبی جهت پیش‌بینی خطر زمین لغزش ارائه کند [۲۵].

محمد زارع و همکاران در سال ۱۳۹۴ از مدل عصبی-فازی تطبیقی برای تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش حوزه آبخیز واز در محیط سیستم اطلاعات مکانی استفاده نموده است. موقعیت لغزش‌های منطقه از طریق پایش میدانی و عکس‌های هوایی مشخص گردید. در مرحله بعد عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش نظیر ارتفاع، سنگ‌شناسی، شیب، جهت، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، بارندگی و کاربری اراضی رقومی گردید. سپس مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از یافته‌های سیستم استنتاجی عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) در عوامل مؤثر بروز لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل ANFIS کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها داشت و ساختار عصبی-فازی با تابع عضویت گوسی دارای بهترین کارایی در منطقه می‌باشد [۲۶].

^۱ grey wolf optimizer

^۲ biogeography based optimization

در ادامه ابتدا به معرفی منطقه و داده‌های مورد استفاده پرداخته شده و سپس روش پیاده‌سازی و اعتبار سنجی مدل شرح داده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش نخست منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده بیان می‌شود سپس، روش به‌کاربرده شده جهت دستیابی به اهداف تشریح می‌شود.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان البرز با مساحتی حدود ۵۸۳۳ کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی واقع است (شکل ۱). این استان به دلیل

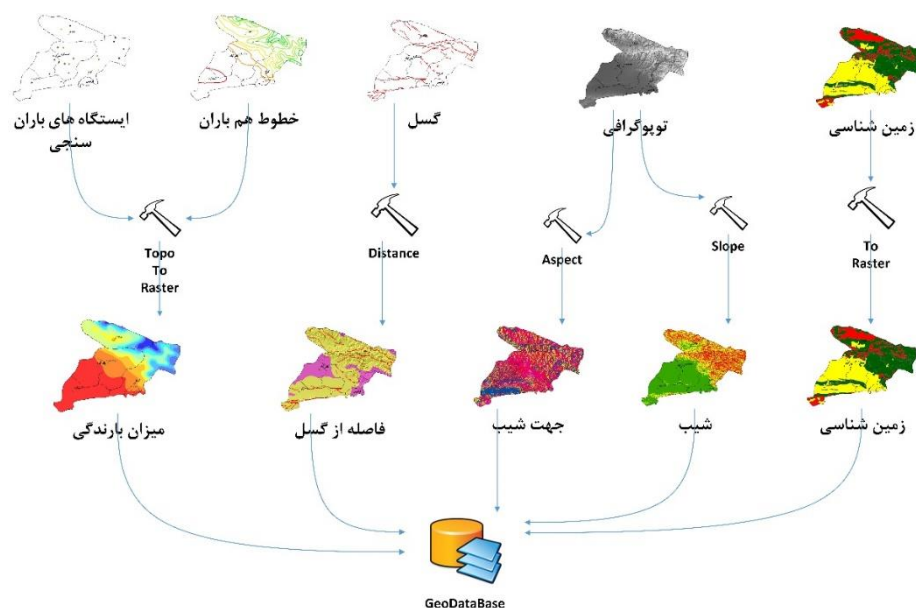


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان البرز در کشور

داشتن ویژگی‌های گوناگون سنگ‌شناختی، زمین ساختی، زمین ریخت شناختی، توپوگرافی، لرزه‌خیزی و شرایط گوناگون آب و هوایی، مستعد خطر زمین‌لغزش است و به دلیل تراکم شهرنشینی، از دید ریسک زمین‌لغزش نیز بسیار اهمیت دارد. مهم‌ترین مناطق لغزشی استان البرز از دید کمیت و کیفیت به ترتیب عبارت‌اند از: حوضه‌های آبخیز طالقان، سد کرج، رودخانه کردان و غیره. طی سال‌های اخیر نیز لغزش‌های بسیاری در محدوده استان البرز به‌ویژه به علت افزایش کاربری زمین‌ها صورت گرفته است؛ مانند لغزش آتشفشان کرج در سال ۱۳۸۶. تاکنون تعداد زیادی زمین‌لغزش در استان البرز شناسایی شده‌اند که از این میان ۳۱ زمین‌لغزش به‌طور دقیق به همراه جزئیات و عوامل ایجادکننده آن‌ها ثبت شده‌اند [۲۸].

و انحلال)، فرونشست زمین، تراشه‌برداری و ایجاد گودال اشاره کرد. در این مطالعه، به‌منظور پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در استان البرز به روش پیشنهادی، از میان عوامل یادشده، ۵ عامل مقدار شیب، جهت شیب، میزان بارندگی، جنس زمین‌شناسی و فاصله از گسل که از مهم‌ترین علل ناپایداری دامنه هستند و تهیه داده‌هایشان برای کل استان البرز ممکن بود، به‌عنوان عوامل ایجاد لغزش در نظر گرفته و نقشه هر یک به‌صورت رقمی در بانک داده‌ها آماده‌سازی شد (شکل ۲).

اولین گام در تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در اختیار داشتن داده‌ها و اطلاعاتی در مورد زمین‌لغزش‌های پیشین رخ داده در منطقه مورد مطالعه و عوامل مؤثر در رخداد آن‌هاست. عوامل زیادی می‌توانند در ناپایداری دامنه‌ها نقش داشته باشند که از آن میان می‌توان به مقدار شیب دامنه، جهت شیب، جنس و ترکیب کانی‌شناسی و مصالح زمین‌شناسی، سطح آب زیرزمینی، زمین‌لرزه، فاصله از گسل، کاربری زمین‌ها، ارتعاش ناشی از کار ماشین‌آلات ساختمانی یا ترافیک، وجود آبراهه‌ها، بارش باران و برف، چرخه هوازگی (مرطوب شدن، خشک شدن



شکل ۲- شمای کلی آماده سازی و ذخیره داده ها به کمک توابع تحلیلی GIS

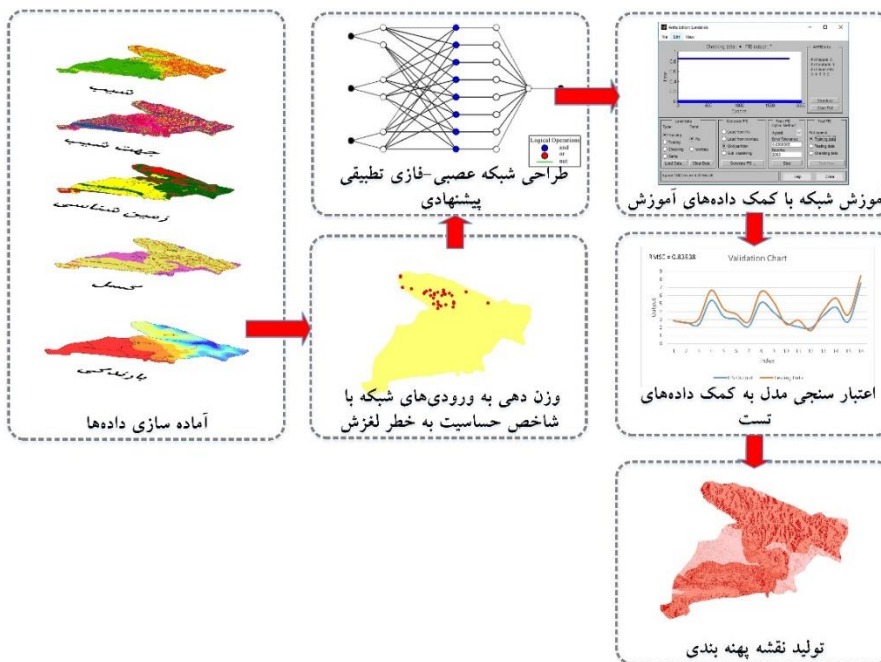
نیز اعتبارسنجی انجام می شود. نهایتاً مراحل انجام تحقیق را به طور خلاصه می توان این چنین بیان کرد:

- ۱- شناسایی معیارهای مؤثر بر زمین لغزش و جمع آوری داده های آن.
 - ۲- ایجاد لایه های جدید از داده های تأثیرگذار و تشکیل بانک داده مکان مرجع.
 - ۳- تبدیل لایه های تأثیرگذار به فرمت ورودی مدل عصبی-فازی تطبیقی توسعه داده شده
 - ۴- آماده سازی داده ها آموزشی به کمک لغزش ها رخ داده در منطقه و مشخص کردن میزان تأثیر هر یک از داده های جمع آوری شده.
 - ۵- طراحی ساختار بهینه شبکه عصبی فازی
 - ۶- آموزش شبکه و تولید نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش
 - ۷- اعتبار سنجی و بررسی دقت نقشه تولید شده به روش پیشنهادی
- شمای کلی روش تحقیق به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش به کمک سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی و تحلیل های مکانمند مرتبط در شکل (۳) نمایش داده شده است.

برای پردازش داده های خام موجود و کاهش عدم قطعیت ها در محاسبات بعدی و تلفیق صحیح لایه های اطلاعاتی، ابتدا فضای محاسباتی یعنی نقشه های رستر هر یک از عوامل مؤثر در محدوده مورد مطالعه، با اندازه پیکسل های یکسان تهیه شد که در این مطالعه از اندازه پیکسل 50×50 متر برای رسم نقشه های رستر ۵ عامل مؤثر لغزش در محدوده استان البرز استفاده شده است.

۲-۲- روش تحقیق

در روش پیشنهادی تحقیق به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش در ابتدا عوامل مؤثر بر زمین لغزش شناسایی و تهیه شده و در بانک داده مکان مرجع ذخیره سازی می شود. در مرحله بعد به کمک زمین لغزش های ثبت شده در سطح منطقه مورد مطالعه مدل عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی طراحی و وزن دهی می شود. سپس به کمک داده های آموزشی، شبکه آموزش و خروجی شبکه با ورود به سیستم اطلاعات مکانی از فرمت اسکی به رستر تبدیل و نقشه پهنه بندی تولید می شود، در نهایت علاوه بر ارزیابی مدل با کمک داده های اعتبارسنجی، با پایش میدانی از مناطق پرخطر و تفسیر مدل سه بعدی تهیه شده از منطقه

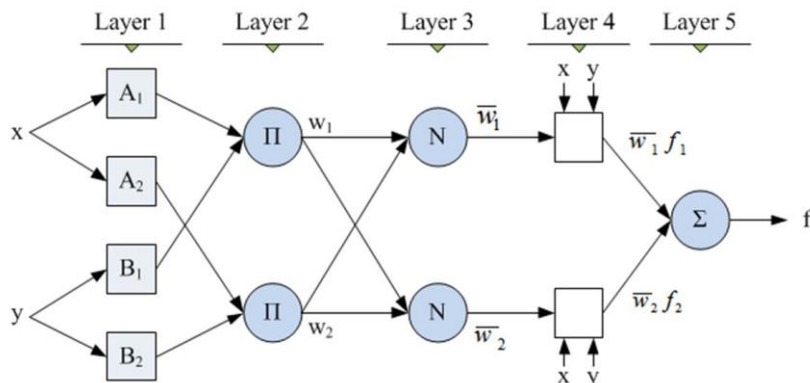


شکل ۳- شمای کلی روش تحقیق

۲-۲-۱- معرفی سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی پیشنهادی

همانگی عملی بین شبکه‌های عصبی و مجموعه‌های فازی منجر به ایجاد شبکه‌ای تحت عنوان عصبی-فازی تطبیقی شده است. همان‌طور که از نام این شبکه‌ها پیداست، این شبکه‌ها تلفیقی از شبکه‌های عصبی و شبکه‌های فازی می‌باشد. در واقع شبکه عصبی منجر به قابلیت یادگیری پارامترهای فازی در سیستم فازی می‌شود [۲۹]. در این روش علاوه بر قابلیت یادگیری، پردازش در سطح مفهومی‌تری نسبت به سطح عددی انجام می‌شود، و با ارائه قواعدی که از ترکیب ترم‌های لفظی حاصل می‌شوند، قابلیت تفسیر بیشتر می‌شود و این یک مزیت واقعی است که با شبکه‌های نرو فازی حاصل می‌شود. مهم‌ترین مشکل این سیستم زمان زیادی است که برای یادگیری پارامترها موردنیاز است.

یک سیستم استنتاج نرو فازی دارای مزایای هر دو سیستم شبکه‌های عصبی (یادگیری، بهینه‌سازی با استفاده از مجموعه داده ورودی-خروجی مطلوب) و سیستم‌های فازی (نمایش معنی‌دار، بیان ریاضی مقادیر زبانی، قواعد و استنتاج فازی) می‌باشد. در واقع پروسه یادگیری با ترکیب استنتاج فازی و شبکه‌های عصبی در یک سیستم نرو فازی انجام می‌گیرد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد این دو سیستم مکمل یکدیگرند؛ درحالی‌که در سیستم ترکیبی ایجادشده توانایی یادگیری یک مزیت از دیدگاه فازی است، ایجاد قواعد زبانی نیز از دیدگاه شبکه‌های عصبی مصنوعی مزیتی بزرگ به شمار می‌رود. در مجموع سیستم عصبی-فازی تطبیقی متشکل از پنج لایه با تعدادی متغیر ورودی است که هر ورودی دو یا چند تابع عضویت دارد [۳۰]. شکل (۴) نمایشی از ساختار شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ساختار پنج لایه‌ای مدل فازی عصبی ANFIS با دو ورودی و دو قانون بر پایه مدل سوگنو [۳۱]

قواعد فازی اگر-آنگاه سوگنو، نوعاً با دو ورودی x و y و

یک خروجی z بدین صورت بیان می‌شود:

قاعده ۱: اگر $x = A_1$ و $y = B_1$ آنگاه

قاعده ۲: اگر $x = A_2$ و $y = B_2$ آنگاه

$$f_1 = (p_1x + q_1y + r_1)$$

$$f_2 = (p_2x + q_2y + r_2)$$

لایه ۴: هر گره در این لایه وابسته به یک تابع گره می باشد. این گره‌ها وزن نرمالیزه هر یک از قوانین فازی را در خروجی بخش مؤخره آن قانون ضرب می‌کنند (رابطه ۴).

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \text{ for } i = 1, 2 \quad (4)$$

که در آن O_i^4 مقدار خروجی I امین قانون اگر-آنگاه فازی، w_i وزن نرمالیزه شده از لایه سوم و $(p_i x + q_i y + r_i)$ مجموعه پارامترهای گره i هستند. پارامترهای این لایه تحت عنوان پارامترهای نتیجه نامیده می‌شوند.

لایه ۵: تنها گره موجود در این لایه با Σ نام‌گذاری شده است که مجموع تمام سیگنال‌های ورودی به آن را محاسبه کرده و به خروجی می‌برد، هدف این لایه حداقل نمودن اختلاف خروجی شبکه و خروجی واقعی است [۳۲]. خروجی کلی سیستم عصبی-فازی تطبیقی توسط رابطه (۵) بدین گونه محاسبه می‌شود:

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{w_i f_i}{\sum_i w_i} \text{ for } i = 1, 2 \quad (5)$$

که در آن O_i^5 خروجی i امین گره در لایه پنجم می باشد.

۲-۲-۲- الگوریتم یادگیری هیبریدی

الگوریتم یادگیری هیبریدی ترکیبی از روش‌های حداقل مربعات و کاهش گرادیان می‌باشد و از دو فاز متناوب تشکیل شده است:

کاهش گرادیان که سیگنال‌های خطای ایجادشده را از لایه خروجی به لایه ورودی برگشت می‌دهد. این فاز پارامترهای بخش مقدم مدل (توابع عضویت) را تصحیح می‌کند.

روش حداقل مجموع مربعات خطا که پارامترهای بخش تالی مدل (ضرایب رابطه خطی) را تصحیح می‌کند. در هر دوره آموزش، هنگام حرکت روبه‌جلو، خروجی‌های گره‌ها به صورت عادی تا لایه چهارم محاسبه می‌شوند. در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت با استفاده از

که در آن A_1, A_2, B_1, B_2 به ترتیب توابع عضویت برای ورودی‌های x و y هستند. p_1, q_1, r_1 و p_2, q_2, r_2 پارامترهای تابع خروجی هستند.

این ساختار پنج لایه دارد. ملاحظه می‌شود گره‌های یکسان، توابع یکسان دارند. گره خروجی i در لایه ۱ با O_i^1 نام‌گذاری می‌شود.

لایه ۱: هر گره در این لایه شامل یک گره تطبیقی با یک تابع گره است و طبق رابطه (۱) داریم:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \text{ for } i = 1, 2 \text{ or } O_i^1 = \mu_{B_i}(y) \text{ for } i = 3, 4 \quad (1)$$

که در آن x یا y ورودی به گره i و A_i یا B_i مجموعه فازی مرتبط با آن گره می‌باشد. به عبارت دیگر خروجی این لایه مقدار عضویت آن می‌باشد و هر تابع مناسبی که پیوسته و به‌طور تکه‌ای مشتق‌پذیر باشد، مانند توابع گوسی، دوزنقه‌ای، مثلثی می‌تواند به‌عنوان تابع عضویت مورد استفاده قرار گیرد.

لایه ۲: هر گره در این لایه عمل اشتراک فازی را انجام می‌دهد و با Π نام‌گذاری شده است. گره‌های لایه دوم که ثابت در نظر گرفته می‌شوند، سیگنال‌های ورودی را در هم ضرب کرده و حاصل را به‌عنوان خروجی شبکه تحویل می‌دهد و قدرت آتش هر قاعده را نشان می‌دهد (رابطه ۲).

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \text{ for } i = 3, 4 \quad (2)$$

لایه ۳: این گره‌ها که در شکل (۴) با N نام‌گذاری شده‌اند. وظیفه محاسبه وزن نرمالیزه شده قواعد را بر عهده‌دارند (رابطه ۳).

$$O_i^3 = \frac{\bar{w}_i}{\sum_i w_i} \text{ for } i = 1, 2 \quad (3)$$

که در آن w_i وزن قاعده i و O_i^3 وزن نرمالیزه شده آن می‌باشد.

۲-۲-۳- نحوی وزن دهی به ورودی‌های شبکه پیشنهادی

به‌منظور وزن دهی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها برای ورودی شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی نیازمند تعیین سطح همبستگی بین نقاط لغزشی با عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها می‌باشد. به‌منظور تعیین همبستگی روش‌های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه از روش نسبت فراوانی استفاده گردید. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش مشخص، با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و نقشه زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مطابق جدول (۱) درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد) پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه گردید.

الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطابه سمت ورودی‌ها پخش و پارامترها تصحیح می‌شوند [۳۲]. در سیستم عصبی-فازی تطبیقی قوانین ثابت می‌باشند و آنچه بهینه‌سازی می‌شود شکل تابع عضویت است. خروجی کلی F از شکل (۵) توسط رابطه (۶) به صورت زیر بیان می‌شود.

$$F = \frac{w1}{w1 + w2} f1 + \frac{w1}{w1 + w2} f2$$

$$= \frac{w1f1}{w1} + \frac{w2f2}{w2}$$

$$= (\overline{w1x})p1 + (\overline{w1y})q1$$

$$+ (\overline{w1r})r1 + (\overline{w2x})p2$$

$$+ (\overline{w2y})q2 + (\overline{w2r})r2 \quad (6)$$

از معادلات فوق می‌توان این را بیان داشت که خروجی ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه شده، $r_1, p_1, q_1, r_2, p_2, q_2$ می‌باشد. بنابراین وقتی پارامترهای پیش فرض ثابت هستند، خروجی کل ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه شده است و در این صورت الگوریتم یادگیری هیبریدی عملی می‌شود [۳۲].

جدول ۱- مقادیر عضویتی و نسبت فراوانی در هر یک از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش

عوامل مؤثر	طبقات	ویژگی	مقادیر نرمال شده کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌ها در کلاس	درصد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌ها در کلاس	نسبت فراوانی
شیب	۰-۱۰	۱	۰/۱	۶	۱۰۳۲۲۷۵	٪۱۹	٪۵۰	۰/۳۸
	۱۰-۲۵	۲	۰/۵	۲۱	۵۸۱۰۰۰	٪۶۸	٪۲۸	۲/۳۹
	۲۵-۶۹	۳	۰/۹	۴	۴۳۵۹۱۵	٪۱۳	٪۲۱	۰/۶۱
جهت شیب	شمال	۱	۰/۱	۶	۴۹۸۹۰۷	٪۱۹	٪۲۴	۰/۷۹
	شرق	۲	۰/۳۷	۱۲	۳۸۲۳۶۱	٪۳۹	٪۱۹	۲/۰۷
	جنوب	۳	۰/۶۳	۶	۶۱۸۵۵۴	٪۱۹	٪۳۰	۰/۶۴
بارندگی	غرب	۴	۰/۹	۷	۵۴۹۳۶۸	٪۲۳	٪۲۷	۰/۸۴
	۰-۳۵۰	۱	۰/۱	۰	۱۰۲۴۱۷۶	٪۰	٪۴۹	۰/۰۰
	۳۵۰-۶۵۰	۲	۰/۵	۳۰	۷۱۵۴۵۹	٪۹۷	٪۳۵	۲/۸۰
زمین‌شناسی	>۶۵۰	۳	۰/۹	۱	۳۲۹۸۳۴	٪۳	٪۱۶	۰/۲۰
	سنگ سخت	۱	۰/۱	۶	۳۲۸۶۳۳	٪۱۹	٪۱۶	۱/۲۲
	سنگ نرم	۲	۰/۵	۲۰	۹۵۱۴۳۶	٪۶۵	٪۴۶	۱/۴۰
حریم گسل	خاک	۳	۰/۹	۵	۷۹۰۹۲۱	٪۱۶	٪۳۸	۰/۴۲
	داخل حریم	۱	۰/۱	۳۱	۱۶۳۳۰۵۰	٪۱۰۰	٪۷۹	۱/۲۷
	خارج از حریم	۲	۰/۹	۰	۴۳۶۴۲۱	٪۰	٪۲۱	۰/۰۰

$$Fr = \frac{\frac{n_{landslide}}{n_{class}}}{\frac{n_{total\ landslide}}{n_{map}}} \quad (7)$$

سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه (۷ و ۸) محاسبه می‌شود [۳۳، ۳۴].

بخش تست و ارزیابی هرکدام ۱۰ درصد داده‌ها اختصاص یافت. در این تحقیق با توجه به پنج لایه ورودی و اضافه نمودن وزن‌های خروجی در کنار آن یک ماتریسی با ۶ ستون و ۲۱۶ سطر ایجاد می‌گردد که وارد شبکه نرو فازی پیشنهادی خواهد شد (جدول ۲).

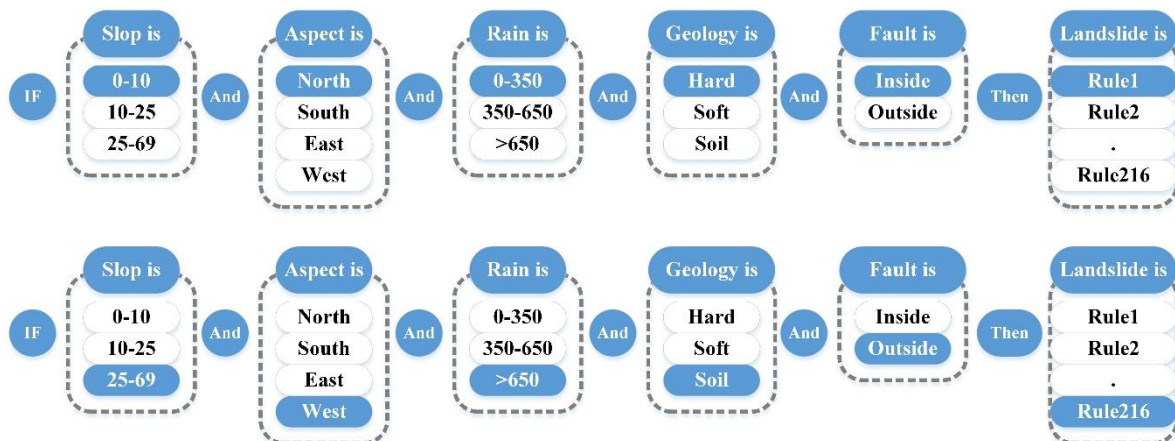
جدول ۲- نمونه‌ای از داده‌های ورودی جهت آموزش شبکه

خروجی فاکتورهای ورودی (مقادیر نرمال شده هر کلاس)					
Slop	Aspect	Rain	Geology	Fault	LSI
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳/۶۶
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۹	۲/۳۹
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۳/۸۴

از این تعداد، یک ماتریس ۱۸۴ در ۶ برای بخش آموزش و دو ماتریس ۱۶ در ۶ برای بخش‌های تست و ارزیابی به صورت تصادفی ایجاد خواهد شد. توپولوژی شبکه مورد استفاده در این تحقیق، شامل تعداد لایه‌های شبکه، تعداد ورودی، تعداد خروجی، تعداد توابع عضویت و تعداد متغیرهای زبانی هستند.

ابتدا پارامترهای توابع عضویت هر متغیر ورودی با استفاده از تفکیک شبکه‌ای فازی مشخص گردید و از ترکیب توابع عضویت متناظر متغیرهای ورودی و ارتباط آن‌ها با متغیر خروجی توسط یک رابطه ثابت، قوانین تعریف شدند.

در کل شبکه عصبی-فازی طراحی شده، از نوع سوگنو بوده و ساختار این شبکه از نوع پیش‌خور است و در آن با استفاده از ۶ متغیر (۵ ورودی و یک خروجی) با تابع عضویت گاوسی، ۲۱۶ قانون فازی برای شبکه ایجاد شده است. شکل (۵) برخی از این قوانین را نمایش می‌دهد.



شکل ۵- نمونه‌ای از قوانین فازی تولید شده جهت استفاده در مدل عصبی - فازی تطبیقی پیشنهادی به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش

$$LSI = \sum Fr \quad (۸)$$

Nlandslide: تعداد پیکسل‌های لغزشی هر کلاس

Nclass: تعداد پیکسل‌های هر کلاس

Ntotal landslide: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی نقشه

Nmap: تعداد کل پیکسل‌های نقشه

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش

Fr: وزن هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش می‌باشد.

در این رابطه اگر $Fr > 1$ باشد همبستگی عامل مؤثر با

لغزش بسیار زیاد و اگر $Fr < 1$ باشد این همبستگی بسیار ضعیف است.

بر اساس رابطه نسبت فراوانی، وزن‌های به دست آمده در ۵

عامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌ها اعمال می‌گردد.

در نهایت با استفاده از این رابطه سطح همبستگی بین

زمین لغزش‌ها و عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها به دست آمد و

به عنوان وزن ورودی مدل نرو فازی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۴- اجرای شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی

برای اجرای شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی قبل

از ورود داده‌ها برای اجرای مدل و به منظور افزایش کارایی

شبکه در مدل‌سازی داده‌های ورودی و خروجی، داده‌ها

نرمال شدند، یعنی بین دامنه عددی معمولاً صفر تا یک قرار

می‌گیرند. نکته دیگر تبدیل فرمت داده‌های ورودی از رستر

به اسکمی می‌باشد تا امکان ورود به مدل را داشته باشند.

به منظور اجرای مدل عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی

داده‌ها به سه قسمت آموزش، تست و ارزیابی تقسیم

می‌شوند. لذا برای بخش آموزش ۸۰ درصد داده‌ها، برای

همچنین پارامترهای استفاده‌شده در شبکه نیز در جدول (۳) مشخص شده است.

جدول ۳- مشخصات شبکه عصبی - فازی تطبیقی طراحی شده

پارامترهای شبکه	ارزش
نوع شبکه	سوگنو
تعداد ورودی	۵ متغیر
تعداد خروجی	۱ مورد
تعداد گره	۴۷۰ عدد
تعداد قوانین فازی	۲۱۶ عدد
تعداد پارامترهای خطی	۲۱۶ عدد
تعداد پارامترهای غیرخطی	۳۰ عدد
اشتراک فازی	عملگر ضرب
اجتماع فازی	عملگر جمع
غیر فازی سازی	روش متوسط وزن‌دار
تابع عضویت	گاووسی

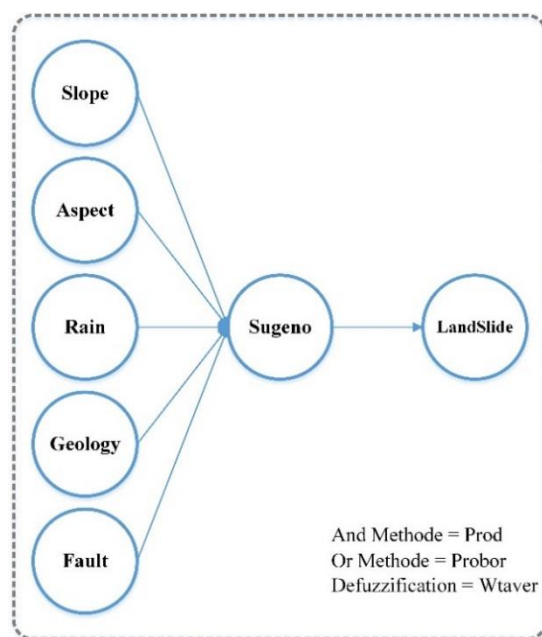
پس‌از آن پارامترهای مدل با قرار گرفتن سیستم استنتاج سوگنو در بطن یک شبکه تطبیقی بهینه می‌شوند. تعداد الگوریتم ترکیبی پس انتشار خطا و حداقل مربعات برای تصحیح پارامترهای مدل برابر ۵۰ و خطای هدف برابر ۰ قرار داده شد.

پس از آموزش شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی با ورود لایه‌های تأثیرگذار به شبکه نقشه پهنه‌بندی تولید شد. لازم به ذکر است که فرمت قابل‌قبول برای ورود به شبکه و خروجی شبکه اسکی می‌باشد که با انجام برخی پیش‌پردازش‌ها و با کمک توابع سیستم اطلاعات مکانی به فرمت رستر تبدیل می‌گردد. شکل (۷) پیش‌پردازش‌های انجام‌شده روی فرمت اسکی به‌منظور تبدیل به فرمت رستر را نمایش می‌دهد.

1	ncols	2351		
2	nrows	1766		
3	xllcorner	424221.25856893		
4	yllcorner	3933738.2759768		
5	cellsize	50		
6	NODATA_value	5.68		
7	5.68	5.68	5.68	5.68
8	5.68	5.68	5.68	5.68
9	5.68	5.68	5.68	5.68
10	5.68	5.68	5.68	5.68
11	5.68	5.68	5.68	5.68
12	5.68	5.68	5.68	5.68
13	5.68	5.68	5.68	5.68
14	5.68	5.68	5.68	5.68
15	5.68	5.68	5.68	5.68
16	5.68	5.68	5.68	5.68
17	5.68	5.68	5.68	5.68
18	5.68	5.68	5.68	5.68
19	5.68	5.68	5.68	5.68
20	5.68	5.68	5.68	5.68

شکل ۷- پیش‌پردازش‌های انجام‌شده روی خروجی شبکه جهت ورود به سیستم اطلاعات مکانی

در سیستم استنتاج فازی سوگنو اولیه در مرحله استلزام فازی به‌منظور بیان ارزش صحت قواعد ایجادشده (T-norm)، از عملگر ضرب، برای ترکیب فصلی قواعد ایجادشده (S-norm) در مرحله استنتاج فازی از روش احتمالاتی و برای غیر فازی سازی نیز از روش متوسط وزن‌دار استفاده شد. شکل (۶) شمای سیستم استنتاج فازی به‌منظور استفاده در مدل عصبی-فازی تطبیقی جهت تولید نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

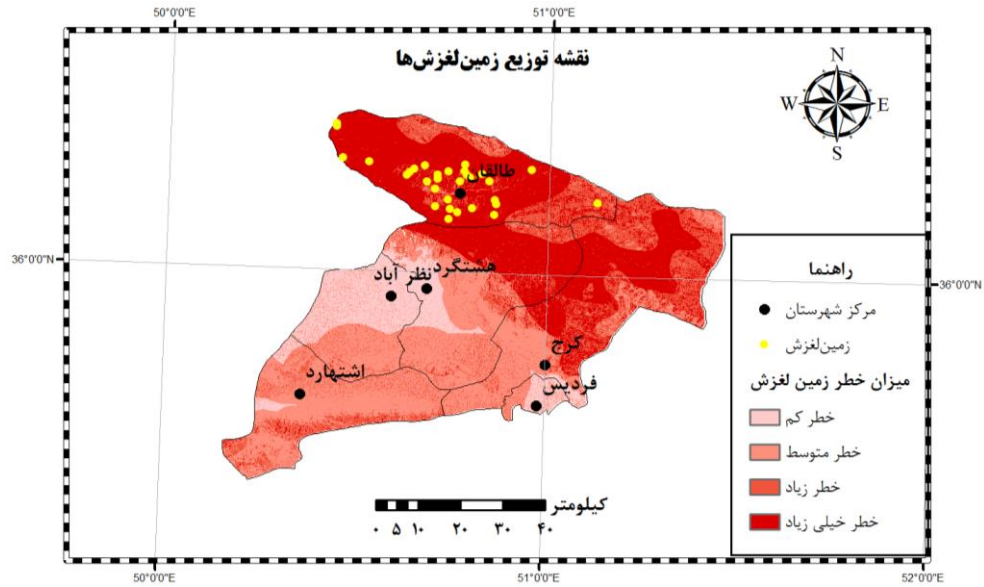


شکل ۶- طراحی سیستم استنتاج فازی

۳- نتایج و بحث

نتایج به‌کارگیری روش پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه نشان داد تلفیق سیستم‌های اطلاعات مکانی با شبکه‌های فازی عصبی منجر به تولید مدل مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌گردد.

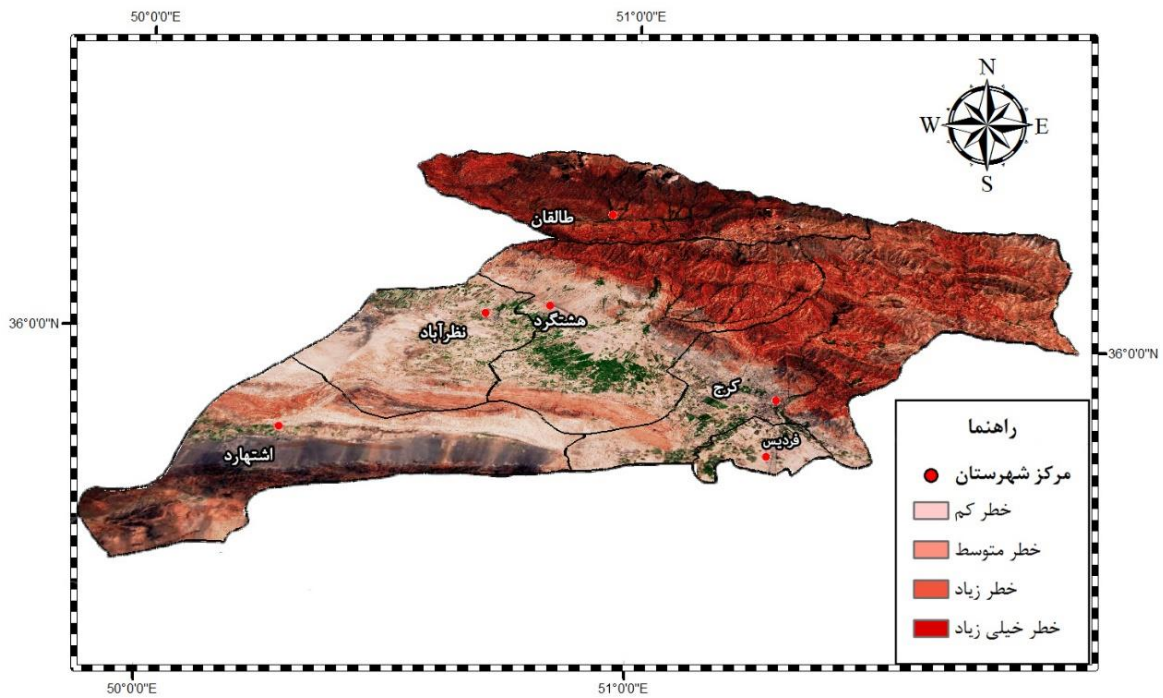
شکل (۸) نقشه تولیدشده به روش پیشنهادی بر اساس مقادیر نسبت فراوانی (جدول ۱) و به‌کارگیری آن در سیستم عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی را نشان می‌دهد که در چهار کلاس خطر لغزش کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد و بر اساس نسبت تجمعی وزن‌های به‌دست‌آمده، طبقه‌بندی شده است.



شکل ۸- نقشه خروجی روش پیشنهادی بمنظور شناسایی مناطق مستعد خطر زمین لغزش

(شکل ۹). با بررسی نقشه خروجی حاصل از روش پیشنهادی و مدل سه بعدی تولیدشده مشخص است که اکثر مناطق پرخطر در ناحیه‌های پرشیب و مرتفع منطقه قرار گرفته است.

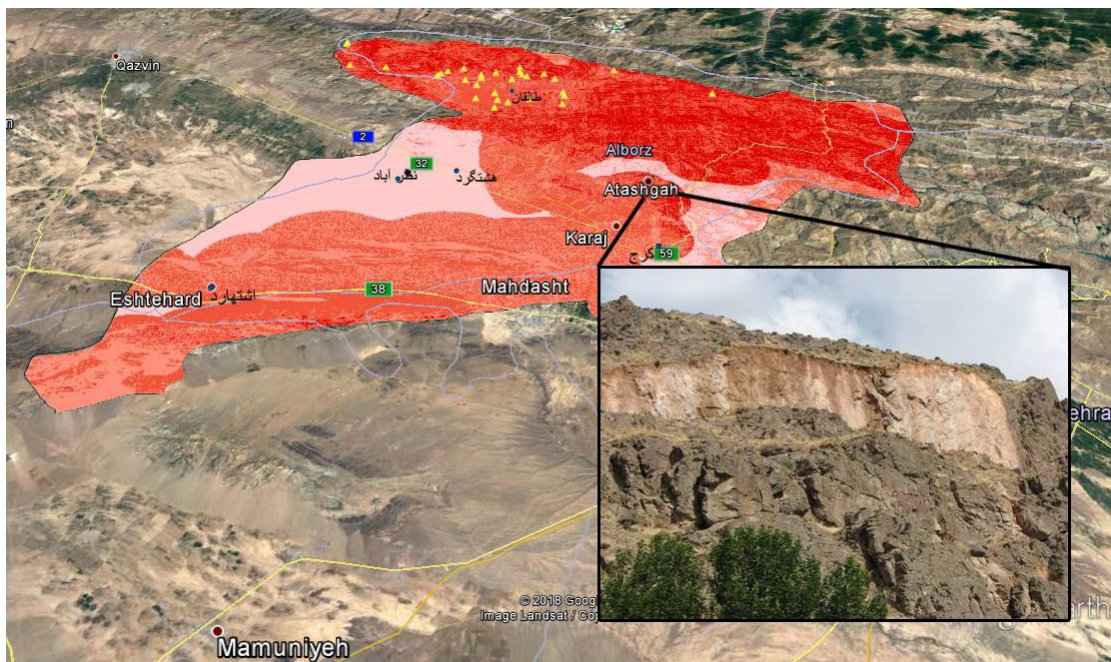
به منظور تفسیر بصری بهتر نتایج حاصل از روش پیشنهادی، با کمک تصاویر ماهواره و مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه، اقدام به تولید مدل سه بعدی منطقه شد



شکل ۹- مدل سه بعدی منطقه

همچنین به منظور بررسی دقیق تر اقدام به پایش میدانی از مناطق پرخطر شد تا بتوان میزان کارایی مدل نسبت به وضع موجود را بررسی کرد (شکل ۱۰).

نتایج حاصل از پایش میدانی نیز در بخش‌هایی کارایی مدل نسبت به تهیه نقشه پهنبندی زمین لغزش را تأیید نمود.



شکل ۱۰- تصویر منطقه وقوع زمین‌لغزش آتشفشان کرج در سال ۱۳۸۶

۳-۱- نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان خطای شبکه در تهیه نقشه زمین‌لغزش

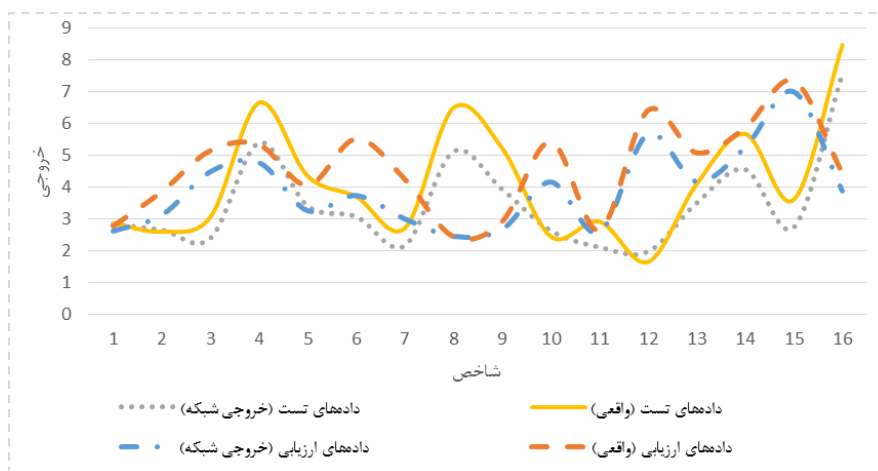
نتایج اعتبار سنجی در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴- نتایج اعتبار سنجی مدل نسبت به داده‌های واقعی

داده	R	RMSE
آموزش	۱	$4/6 \times 10^{-6}$
تست	۰/۹۷۲	۰/۸۳۹۳
ارزیابی	۰/۹۴۳	۰/۸۱۹۰

در ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نمی‌توان از همان داده‌های که به‌منظور آموزش شبکه استفاده شده بود، استفاده نمود. لذا پس از آموزش شبکه و ایجاد نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، برای ارزیابی و بررسی عملکرد مدل از معیارهای آماری متوسط ریشه مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) با استفاده از داده‌های تست و ارزیابی که در بخش‌های پیشین به آن‌ها اشاره شد، استفاده گردید.

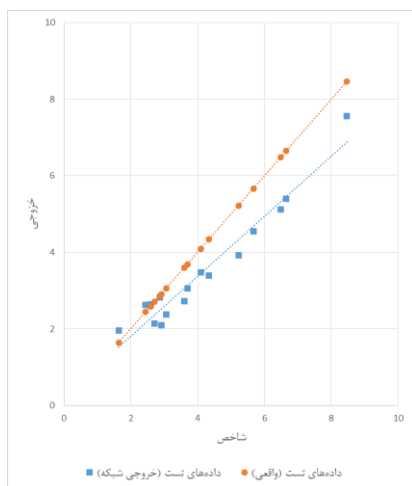
شکل (۱۱) نمودار رفتار داده‌های ارزیابی و تست در شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی نسبت به داده‌های واقعی را نشان می‌دهد.



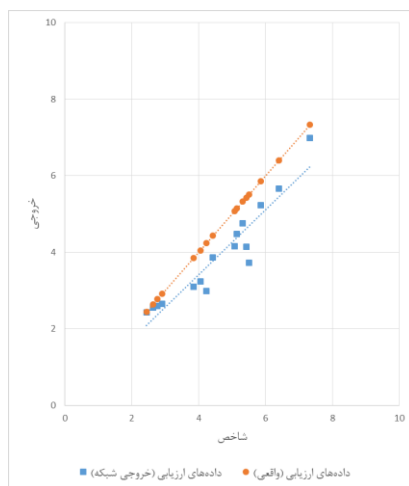
شکل ۱۱- رفتار داده‌های اعتبار سنجی نسبت به خروجی شبکه

جدول (۴) و اشکال (۱۱ و ۱۲) به‌وضوح مشخص می‌گردد که شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی توانسته است با دقت نسبتاً بالایی، خروجی را تولید کند.

شکل (۱۲) نمودار و میزان همبستگی خروجی شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی در داده‌های ارزیابی و تست نسبت به داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. با توجه به



(ب)



(الف)

شکل ۱۲- نمودار همبستگی داده‌های ورودی نسبت به خروجی شبکه. (الف) داده‌های ارزیابی (ب) داده‌های تست

است زیرا در این جهات به دلیل بالا بودن رطوبت، امکان وقوع زمین لغزش هم بالاست.

بررسی نقش شیب در وقوع زمین لغزش‌ها نشان داد بیشترین ارتباط لغزش‌ها با کلاس ۱۰ تا ۲۵ درصد شیب را نشان داده است و طبقه شیب ۰ تا ۱۰ درصد کمترین اثر را داشته است. در شیب‌های کم به علت اینکه معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است ناپایداری دامنه‌های اتفاق نمی‌افتد اما در شیب‌های ۱۰ تا ۲۵ به علت ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی شرایط خاک‌زایی در این درجه از شیب کاملاً مهیا بوده که به بالا بودن نیروی ثقل و دخالت عوامل انسانی شرایط برای وقوع لغزش‌های بیشتر را فراهم می‌آورد. این نتایج تقریباً با نتایج بسیاری از محققان همخوانی دارد به طوری که این محققان بر این باورند که حساسیت وقوع زمین لغزش در شیب‌های متوسط نسبت به شیب‌های ملایم و تند بالاست و فقط در میزان شیب اختلاف نظر وجود دارد.

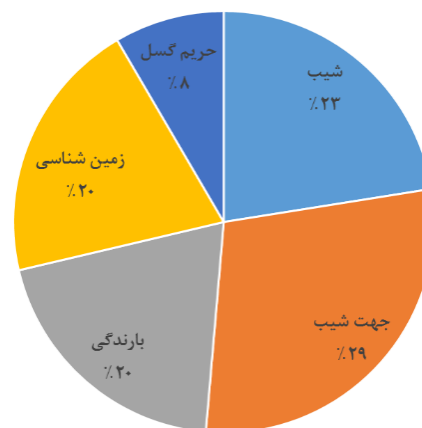
در بحث عامل سنگ‌شناسی بیشترین ارتباط بین این عامل و زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته مربوط به دسته سنگ نرم می‌باشد. دسته سنگ‌های نرم دارای حساسیت به فرسایش بوده و علاوه بر ایجاد بار رسوب فراوان، به واسطه جذب رطوبت بالا باعث کاهش مقاومت دامنه‌ها می‌شود. این شرایط با حضور درز و شکاف فراوان و نفوذ آب به داخل سنگ منجر به کاهش مقاومت آن در برابر نیروی ثقل شده و پایداری خود را از دست می‌دهد.

در بررسی نقش عامل بارندگی با وقوع لغزش‌ها، نتایج نشان داد بیشترین همبستگی بین طبقه بارندگی ۳۵۰ تا

باید توجه داشت که هرچه در مرحله آزمون مقدار R به یک (به صورت درصد به ۱۰۰) نزدیک‌تر و مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر است.

۳-۲- بررسی ارتباط عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه با ورودی‌های شبکه

در بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها با استفاده از مدل نسبت فراوانی (جدول ۱)، نتایج نشان داد که از بین تمامی عوامل، عامل جهت شیب بیشترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش‌ها داشته و بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- سهم هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها طبق مدل نسبت فراوانی

نتایج حاصل از نقش جهت شیب در وقوع لغزش‌ها نشان داد بیشترین لغزش‌ها در جهت‌های شرقی و غربی اتفاق افتاده است. این نتایج تا حدود زیادی قابل انتظار

۶۵۰ میلی‌متر بوده و از طرفی ارتباط تنگاتنگی بین میزان بارندگی و ارتفاع وجود دارد به طوری که هرچه ارتفاع منطقه بیشتر می‌گردد میزان لغزش‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. این روند همان‌طور که در نتایج نشان داده شده نشان‌دهنده نقش بارندگی در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد زیرا با افزایش ارتفاع میزان بارندگی بیشتر شده و حساسیت وقوع لغزش‌ها بیشتر می‌شود اما نکته قابل توجه این است که در ارتفاعات بالا به علت اینکه بارندگی معمولاً به صورت برف بوده و غالب بودن پدیده یخبندان در بخش بزرگی از سال باعث کندی پدیده خاک‌زایی شده و همچنین عدم وجود آب کافی برای اشباع سازندها و کاهش دخالت‌های انسانی در طبیعت و در ارتفاعات بالا از دلایل کاهش زمین‌لغزش در ارتفاعات می‌باشد.

بررسی حریم گسل نیز نشان می‌دهد که تمامی لغزش‌ها در داخل حریم گسل اتفاق افتاده است. در منطقه مورد مطالعه گسل به‌عنوان پارامتر اصلی وقوع زمین‌لغزش ایفای نقش ننموده و عوامل دیگری باعث کم‌رنگ شدن فاکتور فاصله از گسل در وقوع زمین‌لغزش شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با تلفیق سیستم اطلاعات مکانی با یک شبکه عصبی-فازی تطبیقی پیشنهادی، نقشه پهنه‌بندی

خطر زمین‌لغزش در استان البرز تولید شد. نتایج این مطالعه نشان داد روش پیشنهادی، مدل نسبتاً مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است. این منطقه در مجموع دارای پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش است.

فاکتورهای زمین‌شناسی، خصوصیات ژئومورفولوژیکی، گسل‌ها، میزان بارندگی و موارد مشابه غیرقابل تغییر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات آن‌ها دوری از این مناطق و عدم تحریک این مناطق است. بر اساس نتایج تحقیق، پیشنهاد می‌شود با احداث جاده بر اساس شرایط زیست‌بوم و جلوگیری از احداث جاده‌های غیراصولی و کاربری مناسب در این مناطق، می‌توان از تحریک و افزایش حرکات در این‌گونه مناطق جلوگیری کرد. همچنین به منظور تهیه نقشه دقیق‌تر از منطقه مورد مطالعه، پیشنهاد می‌شود از تعداد عوامل بیشتری به‌خصوص عوامل مربوط به خاک، کاربری اراضی و فاصله از جاده استفاده گردد و تعداد تکرارهای آموزش مورد بازبینی قرار گرفته و با روش آزمون خطا بهترین تکرار انتخاب گردد. به منظور ارزیابی دقیق‌تر نقشه‌های حاصله، پیشنهاد می‌گردد بعد از گذشت چند سال، پایشی مجدد از منطقه انجام گرفته و لغزش‌های جدید را با نقشه به‌دست‌آمده مورد انطباق قرار گیرد.

مراجع

- [1] Smith, K. (2001). "Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaste." Psychology Press. , London.
- [2] Ramezani, B. Ebraimi, H. (2009). "Landslide and its stabilization strategies." Quarterly journal of environmental based territorial planning. Vol. 7, No. 2, pp 129-139, Malayer, Iran. (In Persian).
- [3] Crosta, G.B. (2009). "Introduction to the special issue on rainfall-triggered landslides and debris flows." Engineering Geology. Vol. 73, No. 3-4, pp 191-192.
- [4] Ahmadi, H. (2006). "Applied geomorphology." University of Tehran Press. Vol. 1, No. 2, pp 688. (In Persian).
- [5] Yilmaz, I. (2009). "Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey)." Computers & Geosciences. Vol. 35, No. 6, pp 1125-1138.
- [6] Shadfar, S. Yamani, M. (2007). "Landslide Zoning in Jolesan Basin with Using of LNRF Model." Geographic research. Vol. 39, No. 62, pp 11-23. (In Persian).
- [7] Zare, M. Ahmadi, H. Gholami, SH. (2011). "Landslide hazard assessment and zoning using reliability models, information value and hierarchical analysis (Case study: Waz watershed)." Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. Vol. 5, No. 17, pp 15-22. (In Persian).
- [8] <http://ngdir.ir>

- [9] Komakpanah, A. Montazerolqaem, S. Chodani, A.J. (1994). "Landslide hazard zoning in Iran, Land surveying and review of Iranian landslides."International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. Vol. 1, pp 65. (In Persian).
- [10] Jalali, N. (1997). "A method for zoning the risk of landslides affected by geological structure using Geographic Information System (GIS)."International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. , pp 159-172. (In Persian).
- [11] Wang, L.j. Kazuhide, S. Shuji, M. (2013). "Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based On FCM sampling strategy."Computers & Geosciences. Vol. 57, pp 81-92.
- [12] Bay, N. Hajimirrahimi, S.M. (2008). "Landslide hazard zoning using the AHP method."Geomatical conferenceTehran, Iran. (In Persian).
- [13] Hatamifard, R. Mousavi, S.H. Alimoradi, M. (2012). "Landslide hazard zonation using AHP model and GIS technique in Khorramabad city."Geography and environmental planning. Vol. 3, No. 23, pp 43-60Esfahan, Iran. (In Persian).
- [14] Nasrazadani, A. Shirani, K. (2009). "Evaluation and comparison of two-tiered statistical zoning methods using GIS (Case study of Dez Alay watershed)..."Geomatical conference, Tehran, Iran. (In Persian).
- [15] Sharifi, R. Daryabari, S.J. (2005). "Nielsen method and its optimization in landslide hazard zonation."Geographical Researches Quarterly Journal. Vol. 76, No. 1, pp 78-89. (In Persian).
- [16] Javadi, M. Tehranipour, H. Gholami, SH. Fatahiardakani, M.A. (2009). "Comparing Methods of Mora and Varson and Multivariate Regression in Zoning Landslide Hazard of Kan Watershed."Journal of Watershed Management Research. Vol. 3, No. 5, pp 92-108. (In Persian).
- [17] Moghimi, E. Bagheri, S. Safarrad, T. (2012). "Landslide hazard zonation using entropy model (Case study: Northwest Zagros Native Anticline)."Physical Geography Research Quarterly (JPHGR). Vol. 44, No. 79, pp 77-90. (In Persian).
- [18] Beheshtirad, M. Feyzniya, S. Solajeghe, A. Ahmadi, H. (2011). "The Effectiveness of Landscape Risk Mitigation Landscape Ratio Model (CF) Case Study of Kalayeh Mountaineer Basin."Physical Geography Research Quarterly (JPHGR). Vol. 2, No. 5, pp 19-28. (In Persian).
- [19] Fardad, M. Al-Sheykh, A.A. Vafaienezhad, A.R. (2011). "Landslide hazard zonation by fuzzy logic and neural network in GIS Case study of Khalifa area."Geological Society Of Iran. (In Persian).
- [20] Rakei, B. Khamechiyan, M. Abdolmaleki, P. Giyahchi, P. (2008). "Application of artificial neural network system in landslide hazard zonation, case study: Gilayer region of Semnan Province."Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran. Vol. 33, No. 3, pp 57-64. (In Persian).
- [21] Souri, S. Lashkaripour, G. Ghafouri, M. Farhadinezhad, T. (2011). "Landslide hazard zonation using Artificial Neural Network; Case study: National Basin (Noghian)."Journal of Engineering Geology. Vol. 5, No. 2, pp 1269-1286. (In Persian).
- [22] Bui, D. T., B. Pradhan., O. Lofman. I. Revhaug. O. Dick. (2012). "Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of theLevenberg–Marquardt and Bayesian regularized neural networks". Geomorphology. Vol. 171-172, No. 1, pp 12-29.
- [23] Aghdam, I.N., Varzandeh, M.H.M., Pradhan, B. (2016). "Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran) " Environmental Earth Sciences". Environmental Earth Sciences. Vol. 75, No. 7.
- [24] Jaafari, A. Panahi, M. Pham, B. T. Shahabi, H. Bui, D. T. Rezaie, F. Lee, S. (2019). "Meta optimization of an adaptive neuro-fuzzy inference system with grey wolf optimizer and biogeography-based optimization algorithms for spatial prediction of landslide susceptibility". CATENA. Vol. 175,pp 430-445
- [25] Chen, W. Panahi, M. Tsangaratos, P. Shahabi, H. Llia, L. Ahmadi, B. Li, S. Panahi, S. Jaafari, A. (2019). "Applying population-based evolutionary algorithms and a neuro-fuzzy system for modeling landslide susceptibility". CATENA. Vol. 172,pp 212-231
- [26] Zare, M. Moghadamniya, A. Talikhoshi, S. Salmani, H. (2015). "Landslide Hazard Assessment by using Neuro-Fuzzy Technique in Vaz Watershed."Journal of Watershed Management Research. Vol. 6, No. 11, pp 101-110.

- [27] Goudarzi, S., Talebi, A., Pourghasemi, H. (2017). "Investigating the Efficiency of Neuro-Fuzzy Inference System Models in Landslide Susceptibility Mapping (Case Study: Sardarabad Watershed, Lorestan Province)". *GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS*. Vol. 7, No. 25, pp 75-96. (In Persian).
- [28] <http://frw.org.ir>
- [29] Nauck, D. Klawonn, F. Kruse, R. (1997). "Foundations of neuro-fuzzy systems." John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- [30] Bezdek, J. C. Ehrlich, R. Full, W. (1984). "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm." *Computers & Geosciences*. Vol. 10, No. 2-3, pp 191-203.
- [31] J.-S. R. Jang. (1991). "Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm." *AAAI'91 Proceedings of the ninth National conference on Artificial intelligence*. Vol. 2, pp 762-767.
- [32] Jang, J.-S. R. (1996). "Input selection for ANFIS learning." *Proceedings of the fifth IEEE international conference on fuzzy systems*. , pp 1493-1499.
- [33] Pourghasemi, H. (2007). "Landslide hazard zonation using fuzzy logic." *Tarbiat Modares University*. , pp 115, Tehran. (In Persian).
- [34] Lee, S. (2007). "Application and verification of fuzzy algebraic operator's landslide susceptibility mapping." *Environmental Geology*. Vol. 52, No. 4, pp 615-623.