

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند تحلیل شبکه ANP و شبکه مصنوعی ANN در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه رودبال داراب استان فارس)

محمدابراهیم عفیفی^۱، مهین صدری زاده^۲

نوع مقاله: علمی پژوهشی

صفحه ۸۷ تا ۱۰۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۱

چکیده

زمین‌لغزش از معمول‌ترین مخاطرات زمین‌شناختی در جهان است که همواره باعث تلفات جانی و آسیب‌های مالی زیاد می‌گردد. شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی توان خطر با مدل‌های تجربی مناسب، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر است. حوضه رودبال که در شهرستان داراب در استان فارس واقع شده به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی آن یکی از مناطق تقریباً مستعد کشور نسبت به وقوع زمین‌لغزش و سایر پدیده‌های مرتبط با لغزش دامنه‌ها است. ما در این پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی، مدل‌های ANP، AHP و منطق فازی با عملگرهای Product، Sum، And، OR و گاما به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوزه رودبال داراب پرداختیم. مجموعاً ۹ معیار اصلی مرتبط با وقوع پدیده زمین‌لغزش از جمله لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، باش، فاصله از جاده، ارتفاع، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی مورد تحلیل قرار گرفتند. این معیارها به‌عنوان نقشه‌های عامل، هر کدام جداگانه کلاس‌بندی شده و از روش‌های آماری ارزش‌گذاری شدند. نقشه نهایی تولید شده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه نشان داد که مجموعاً حدود ۷۰ درصد از حوزه در معرض خطر خیلی زیاد و زیاد زمین‌لغزش قرار دارد. همچنین زمین‌لغزه‌های موجود از طریق مشاهده زمینی، به‌عنوان شاهد زمینی (مرجع خطر) نقشه‌بندی شد که انطباق‌پذیری بالایی با روش مورد استفاده شبکه عصبی و تلفیق منطق فازی با عملگر ۰/۳ و ANP نشان داد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی زمین‌لغزش، شبکه عصبی، منطق فازی، مدل AHP، حوضه رودخانه رودبال

^۱ دانشیار گروه جغرافیا، واحد لار، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران (نویسنده مسئول) afifi.ebrahim6353@gmail.com

^۲ کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، واحد لار، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

مقدمه

زمین‌لغزش یکی از انواع ناپایداری دامنه‌ای است که هرساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد نموده و از جنبه‌های مختلف ژئومورفولوژی و فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز مهم تلقی می‌شود. بنا بر تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی زمین‌لغزش عبارت است از جابه‌جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب و به بیان دیگر به حرکت مواد زمین اعم از سنگ و خاک اطلاق می‌گردد که تحت تأثیر نیروی ثقل در مناطق شیب‌دار به طرف پایین صورت می‌گیرد این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (زارع و همکاران، ۱۳۹۴). زمین‌لغزش یک پدیده مخرب طبیعی است و مقابله با آن مستلزم صرف وقت و هزینه هنگفتی است. زمین‌لغزش شامل شناخت فرآیند، تحلیل خطوط پیش‌بینی زمین‌لغزش در آینده جهت کاهش پیشرفت و خسارات ناشی از آن می‌باشد (لان و ژو، ۲۰۱۴). بخش بزرگی از کشور ایران را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد همراه با شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی موجب شد تا کشور مستعد وقوع طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها باشد. زمین‌لغزش یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد و هزینه فراوانی برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده بر بودجه کشور تحمیل می‌شود (پورقاسمی، ۱۳۹۲). یکی از راهکارهای کاهش خسارت‌های ناشی از حرکت‌های دامنه‌ای، شناسایی مناطق ناپایدار و مدیریت صحیح شیب‌ها و در نتیجه موجب کاربری درست اراضی می‌شود (عبادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶) که نیازمند بررسی دقیق و سیاست‌گذاری مناسب به منظور دستیابی به راهبردهای کاهش اثرات آن می‌باشد. در این راستا شناخت گستره‌های دارای زمین‌لغزش و تعیین میزان خطر آن‌ها یکی از مهم‌ترین گام‌هایی است که باید به آن

توجه کرد. از این رو در دو دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی شیوه‌های تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و استفاده از ابزارها و فناوری‌های جدید برای تسهیل و تسریع این کار صورت گرفته است. از آنجایی که راه‌های ارتباطی زمینی به‌ویژه جاده‌ها به‌عنوان بخشی از زیرساخت‌ها در جهت توسعه فعالیت‌های اقتصادی نقش اساسی و بنیادی را بر عهده دارند؛ بنابراین ضروری است که راه‌ها در برابر تأثیر عوامل جغرافیایی و مخاطرات طبیعی مخرب هرچه بیش‌تر ایمن شوند تا بستر مناسب و مطمئنی برای توسعه به‌ویژه توسعه پایدار فراهم آید. هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در فرایندهای توده‌ای دامنه‌ها، تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به مناطقی با درجات مختلف خطر باهدف کاهش آسیب‌های ناشی از آن‌ها است (دلاور ۱۴۰۰). ایران به دلیل شرایط خاص آب و هوایی، فیزیوگرافی و تغییر کاربری همواره با مشکلات حرکات توده‌ای مواجه است و توجه به این محدودیت طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد. تخریب جاده‌ها، بزرگراه‌ها، خطوط انتقال نیرو و انرژی (برق، گاز، نفت)، از بین رفتن و تخریب گسترده منابع طبیعی (مراع، جنگل‌ها، زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها و غیره)، رسوب زایی گسترده و سریع و کمک به پر شدن مخزن سدها و بستر رودخانه‌ها از رسوب، تخریب ابنیه فنی منازل و مناطق مسکونی از جمله خسارت ناشی از بروز حرکات توده‌ای است (کورکی‌نژاد، ۱۴۰۰). توپوگرافی کوهستانی ایران فعالیت تکتونیک و لرزه‌خیزی زیاد تنوع آب و هوایی زمین‌شناسی افزایش جمعیت فشار بر منابع طبیعی و تغییر کاربری در دهه‌های اخیر شرایط طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از زمین‌لغزش‌ها را در ایران فراهم کرده است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). وقوع این نوع پدیده‌ها هرساله در بخش‌هایی از کشور ما و همچنین سایر نقاط جهان، خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل توجهی را به همراه دارد. بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق وقوع زمین

اصفهان پرداخت. نتایج پژوهش نشان داد که مهمترین عوامل تاثیر گذار بر مدل احتمال خطر زمین‌لغزش فاصله از آبراهه، زمین شناسی و فاصله از جاده می‌باشد.

صدیقی (۱۴۰۲) در تحقیقی به مدل سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که علاوه بر عوامل طبیعی جنس زمین، شیب زمین و میزان بارندگی، برخی عوامل انسانی از جمله جاده سازی غیر اصولی نقش مهمی بر وقوع لغزش دارد.

زارعی (۱۴۰۲) در تحقیقی به ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز بیو نیژ استان کرمانشاه پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که متغیرهای شیب، فاصله از جاده کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ارتفاع، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، بارندگی، گروه هیدرولوژیکی خاک، جهت شیب و فاصله از گسل به ترتیب بیشترین تا کمترین تاثیر گذاری بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه را دارا می‌باشد. عقیفی (۱۴۰۲) در تحقیقی به پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از سیستم استنتاج فازی در حوزه رودخانه ایزه پرداخت. این مطالعه نشان داد که معیارهای شیب، لیتولوژی، فاصله نسبت به رودخانه و شبکه راه‌ها به عنوان تاثیر گذارترین پارامترهای موثر بر زمین‌لغزش در محدوده رودخانه ایزه می‌باشند.

روستایی (۱۳۸۹) به بررسی دینامیک لغزش‌های زمین و علل وقوع آن‌ها با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوزه اهر چای پرداخته است. حدود پنجاه مورد لغزش اتفاق افتاده در حوضه اهرچای با استفاده از روش‌های مورفومتری تحلیل مورفولوژیکی شده است و در نهایت به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مذکور با استفاده از مدل آنبالاگان اقدام نموده است.

احمدی و همکاران (۱۳۸۱) حوضه آبخیز گرمی‌چای اردبیل را با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پهنه‌بندی نمودند و اظهار

لغزه‌ها بر کشور وارد می‌شود (احمدی، ۲۰۲۱). حرکات دامنه‌ای و به‌طور اخص زمین‌لغزش در زمره پر خسارت‌ترین آن‌هاست که همگام با دست‌کاری بشر در نظام‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است. (بلواسی، ۱۳۹۴). به‌گونه‌ای که از آن به‌عنوان یکی از فرایندهای ژئومرفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود (راکی و همکاران، ۲۰۱۷). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد اتفاق می‌افتد موجب تخریب پوشش گیاهی باغات اراضی زراعی و حتی تلفات انسانی می‌گردد (قنبرزاده و بهنیا، ۱۳۸۸). یکی از اثرات غیرقابل‌انکار این پدیده تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین‌دست حوضه‌های آبریز است (علی محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). این لغزش‌ها که در بالادست سدها و غالباً به درون مخازن آن‌ها صورت می‌گیرد ممکن است خسارات گوناگونی ببار آورد. نمونه‌های زیادی از لغزش‌های مرتبط با آبخیزی مخازن سدها در نقاط مختلف جهان گزارش شده است. از آن جمله می‌توان به حادثه سد وایونت در ایتالیا در سال ۱۹۶۴ (والتام، ۱۹۹۴) و رانش ساحل چپ سد لتیان در ایران در سال ۱۳۴۹ اشاره کرد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۷۴). لغزش‌هایی که به درون دریاچه سدها روی می‌دهند ممکن است سبب ویرانی یک شهر گردند. از سوی دیگر ممکن است لغزش‌های کوچک‌تر باعث افزایش انتقال رسوبات و نهشته‌ها به درون سد و کاهش حجم مفید مخزن آن گردد که امروزه پرشدگی مخازن سدها یکی از معضلاتی است که در موارد متعددی در سطح دنیا و کشورمان باعث کاهش بهره‌وری سدها و کاهش عمر مفید آن‌ها گردیده است (شیرانی و سیف، ۲۰۱۲).

پیشینه تحقیق

ذاکری‌نژاد (۱۴۰۱) در تحقیقی به ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی در حوزه آبخیز کمه جنوب استان

داشتند که روش AHP نسبت به روش دیگر از دقت بیشتری برخوردار است.

مدلل دوست و همکاران (۱۳۷۸) اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش نیلسون در محیط GIS در حوضه آبخیز نکارود در استان مازندران نموده‌اند و به این نتیجه دست یافتند که پهنه‌ها تخمین زده شده با نتایج دستی ارائه شده در این حوزه مقایسه گردیده که در نتایج آن از ضریب اطمینان بالاتری جهت پیشنهاد به دستگاه‌های اجرایی برخوردار می‌باشد.

آذرمی عربشاه و همکاران (۱۳۹۰) ناپایداری‌های دامنه‌های مشرف به مخزن سد ونیار را بعد از آبگیری سد مورد بررسی قرار دادند، برای این منظور نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده سد تهیه شده و خصوصیات رخنمون‌های سنگی و آبرفتی بر اساس طبقه‌بندی GIS و بر اساس اطلاعات گمانه‌های اکتشافی برآورد گردیده است. سپس پایداری تک‌تک دامنه‌های مشرف به مخزن سد با استفاده از نرم‌افزار Slide 5.0 در شرایط بعد از آبگیری و وقوع زمین‌لرزه‌های مبنا طراحی، ارزیابی گردیده و بر مبنای آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه‌های پیرامون مخزن سد تهیه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۰.۵ درصد سطح دامنه‌ها در رده ناپایدار، حدود ۱۹.۵ درصد سطح دامنه‌ها در رده نسبتاً ناپایدار و ۸۰ درصد در رده پایدار قرار دارند.

ذوالفقاری و هتس (۲۰۰۷) با استفاده از GIS و با در نظر گرفتن پارامترهایی مثل خصوصیات خاک، سطح آب زیرزمینی، زلزله و بار اضافی روی دامنه وقوع زمین‌لغزش را بررسی کردند که از یک روش تشخیصی استفاده شد و مشخص شد که وقوع زمین‌لغزش با احتمال پراکنش این فاکتور رابطه دارد.

یلسین (۲۰۰۸) نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آردیس ترکیه را با سه روش فرایند سلسله مراتبی (AHP)، فاکتور وزنی (WF) و شاخص آماری (Wi) تهیه نمود و نتیجه گرفت که روش AHP مناطق دارای

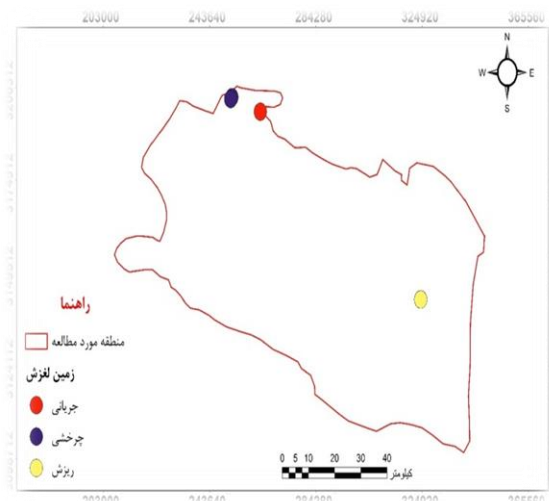
زمین‌لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوزه مورد مطالعه بهتر نشان می‌دهد.

زهانگ فانیولیو (۲۰۰۷) تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین را مثبت ارزیابی کرد.

ریموند و همکاران (۲۰۰۷) در منطقه با وجوبا در شمال اسپانیا با استفاده از GIS رابطه بین فاکتورهای مربوط به زمین و وقوع زمین‌لغزش را به دست آوردند و یک ارزیابی کمی از خطر زمین‌لغزش انجام دادند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی حوضه رودخانه رودبال یکی از رودخانه‌های استان فارس است و در مختصات: ۲۸°۵۲'۲۰" شمالی ۵۴°۲۳'۵۴" شرقی در شهرستان داراب واقع شده است. این رودخانه از کنار منطقه رودخانه رودبال داراب عبور می‌کند و شهرهای داراب و ایچ و استهبان از شهرهای مهم نزدیک به این رودخانه است و از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ و به مدت ۱۲ سال سد رودخانه رودبال داراب بر روی این رودخانه ساخته شده است. سد رودخانه رودبال داراب یکی از دو سد ساخته شده بر روی رودخانه رودبال در کیلومتر ۲۲ جاده داراب - ایچ در استان فارس واقع شده است. (سد دوم که یک سد تنظیمی کوچک می‌باشد، در کیلومتر ۱۲ جاده داراب - ایچ و در حوالی شهرک فتح‌المبین ساخته شده است و کارایی آن تنظیم آب خروجی سد رودخانه رودبال و ذخیره‌سازی آن با دبی خروجی کمتر می‌باشد). سد رودخانه رودبال از نوع خاکی، سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی است و ۸۳ متر ارتفاع دارد. حجم سد رودخانه رودبال ۸۲ میلیون مترمکعب است.



شکل ۲. پراکنش زمین لغزش در حوضه رودبال (منبع: نگارندگان)



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

نتایج و بحث

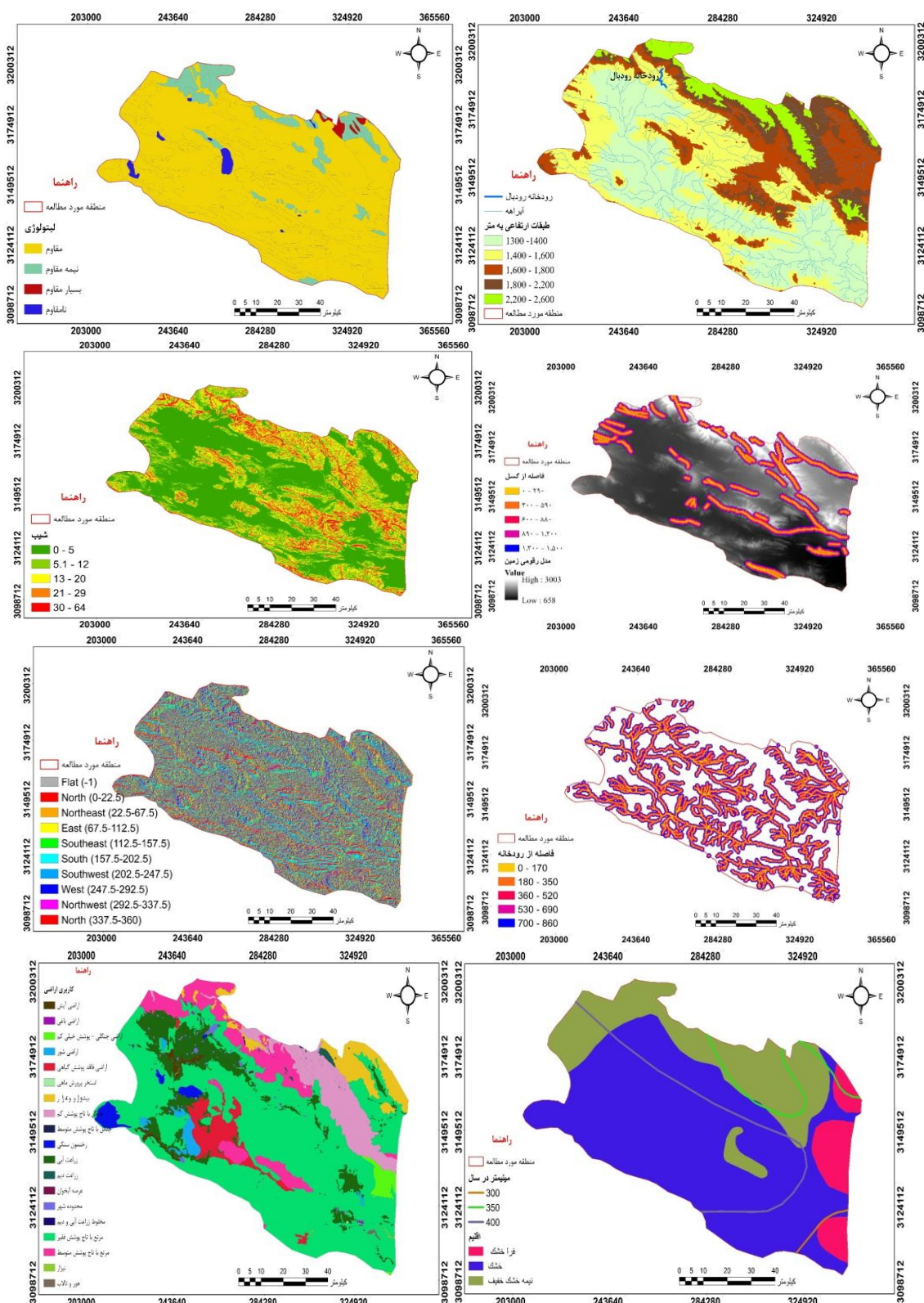
فاکتورهای مؤثر در زمین لغزش

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه عوامل تأثیرگذار شامل شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی و... منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در شبکه عصبی مصنوعی ANN و فرایند تحلیل شبکه ANP استفاده شده است. جهت این امر از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

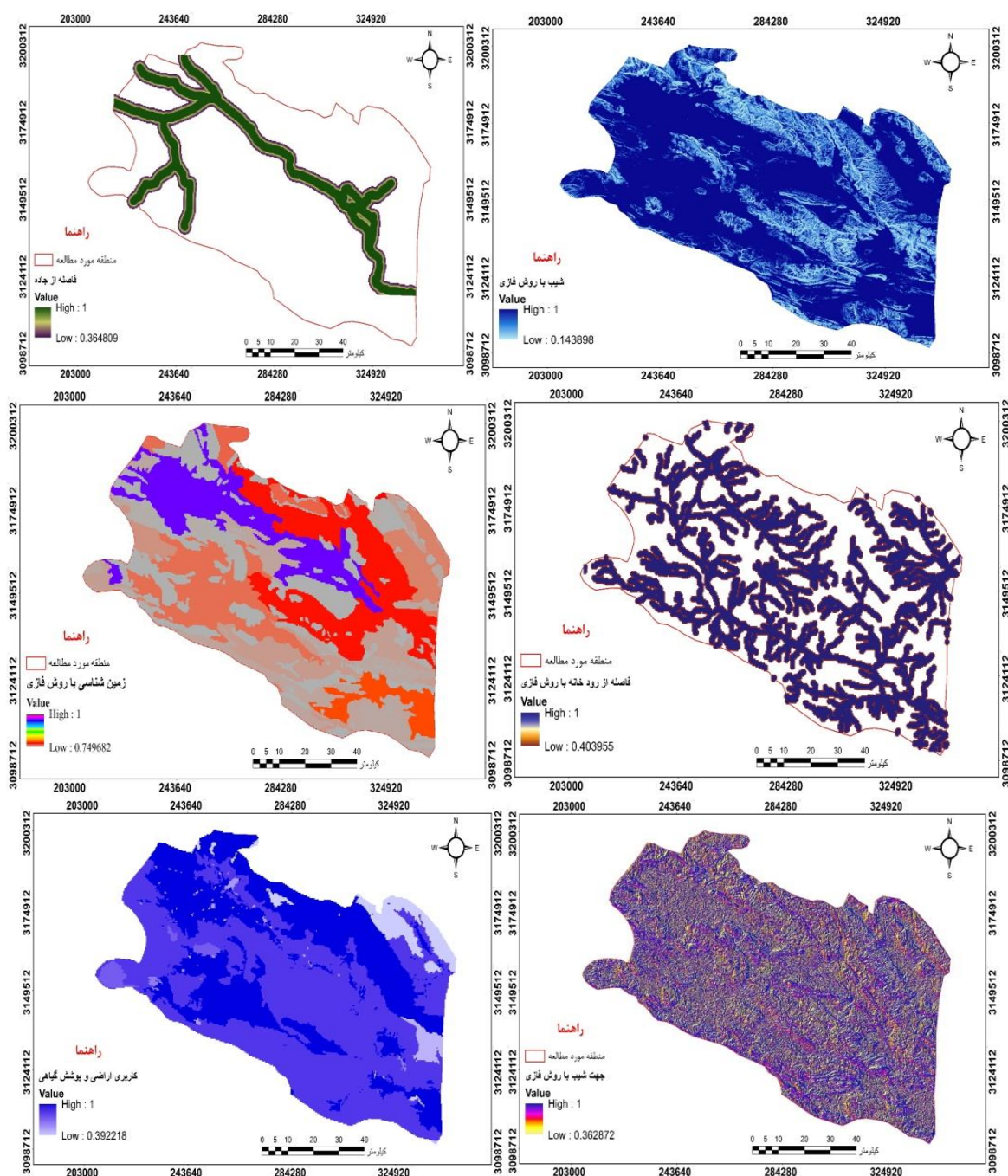
مواد و روش‌ها

تهیه نقشه‌های لغزشی

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در شناخت عوامل مؤثر در وقوع آنها و در نتیجه، پهنه‌بندی خطر ضروری می‌باشد. اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی، تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های اتفاق افتاده و سپس تهیه نقشه عوامل مؤثر بر زمین لغزش می‌باشد. به این منظور با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد و مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی و از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در عکس‌های هوایی قابل تشخیص نیستند؛ لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و با استفاده از نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری و نرم‌افزار Google Earth و نرم‌افزار ArcGIS ۱۰.۱ و رقومی کردن آن شیب فایل نقاط زمین لغزش تهیه شد و در کل ۳ نقطه لغزشی در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد (شکل ۲).



شکل ۳. لایه های استفاده شده در پهنه بندی خطر زمین لغزش (منبع: نگارندگان)



شکل ۴. لایه های استاندارد شده در پهنه بندی خطر زمین لغزش (منبع: نگارندگان)

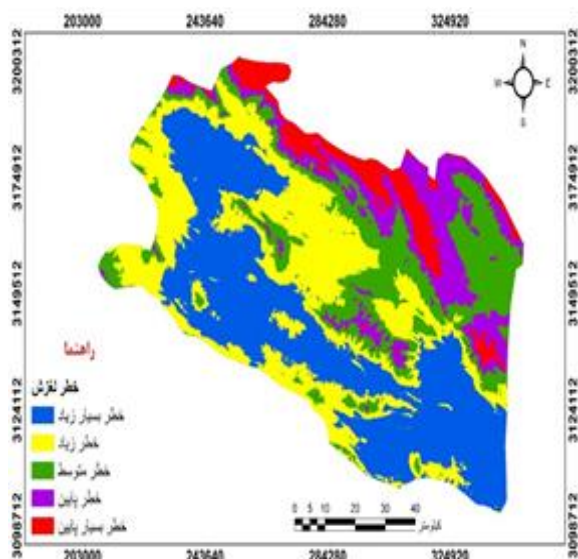
تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

در این پژوهش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP^3 که یکی از مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش استفاده شده است. AHP یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین لغزش است که شامل ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین لغزش مشخص می‌کند

(ایالو و همکاران، ۲۰۰۵). از مزایای این روش این است که اعمال نظر کارشناسی توسط افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد، همچنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد (کلارستاقی، ۱۳۸۱).

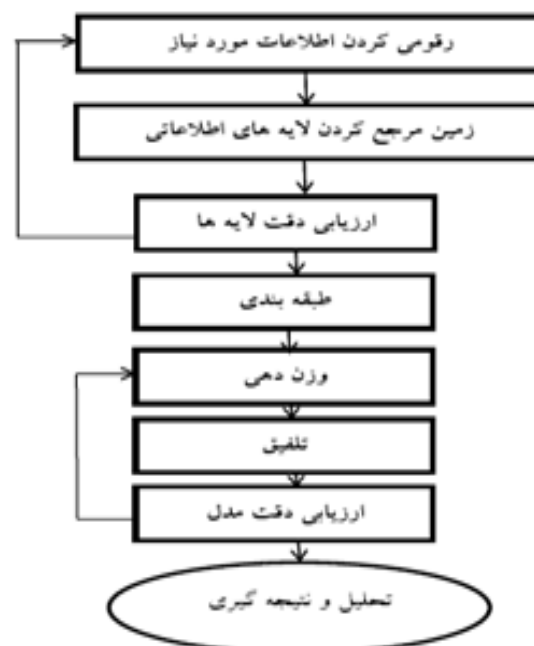
³ Analytical Hierarchy Process

فاصله از گسل، باران و جهت شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر لغزش‌های منطقه هستند.



شکل ۶. نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز رودبال با روش AHP (منبع: نگارندگان)

به‌دست‌آوردن نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با تقسیم‌بندی منطقه به پنج ناحیه از رده خیلی کم تا خیلی زیاد خطر تقسیم گردید و براین‌اساس حدود ۱۹ از مساحت منطقه در محدوده خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد که نمودار مربوط به فراوانی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش آورده شده است که به‌وسیله این نقشه می‌توان مناطق پرخطر را از مناطق کم‌خطر شناسایی و نسبت به نحوه استفاده از آنها و گسترش سازه‌های عمرانی و جلوگیری از خسارات زمین‌لغزش، برنامه‌ریزی نمود؛ لذا به‌کاربردن واژه‌های توصیفی متوسط، کم و خیلی کم برای خطر مناطق در نقشه تنها نمایانگر خطر پایین‌تر نسبت مناطق زیاد و خیلی زیاد در منطقه مشخص شده می‌باشد و به‌هیچ‌وجه بیانگر عدم امکان لغزش آنها نیست. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP در نقشه ۴ ارائه گردیده است.



شکل ۵. فلوچارت کار در مدل AHP (منبع: نگارندگان)

در این مدل تمامی لایه‌ها به کلاس‌های موردنظر تقسیم شده‌اند و در نهایت لایه‌های کلاسه شده با هم تلفیق و نقشه نهایی به‌دست‌آمده است. در نهایت نقشه‌های کلاس‌بندی شده بر اساس فاکتورهای تعریف شده، نشان‌دهنده میزان خطر لغزش در منطقه می‌باشد. فلوچارت کار به‌صورت (جدول ۴-۵) می‌باشد. در این تحقیق برای اولویت‌بندی عوامل با استفاده از روش AHP نظرات ۳ کارشناس که به‌نوعی با حوضه رودخانه رودبال آشنایی داشتند بکار گرفته شد و بر اساس مقادیری که برای مقایسه این عوامل درآمده است، کلیه عوامل دویه‌دو با هم مقایسه شده‌اند نتایج این مقایسات، برای محاسبه ضریب ناسازگاری به نرم‌افزار ArcGIS وارد شد که اگر ضریب محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل‌قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدیدنظر شود. نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسه عوامل به‌درستی صورت‌گرفته است و با محاسبه‌کردن وزن هر یک از عوامل به‌وسیله این نرم‌افزار، عوامل اولویت‌بندی شدند بر اساس اولویت‌بندی عوامل به ترتیب عوامل شیب، لیتولوژی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، ارتفاع،

رابطه ۱

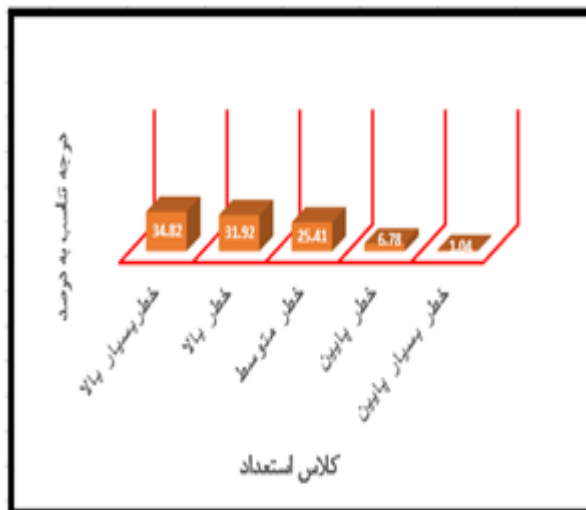
$$O = f\left(\sum_{i=1}^n X_i W_i + B\right)$$

در این معادله W_i ضرایب وزنی متناظر ورودی X_i هستند و B مقدار آستانه است. f نیز یک تابع است که خروجی O را می‌سازد. در ساده‌ترین حالت f تابع پله واحد است. در این حالت خروجی نرون یکی از دو مقدار یک و صفر را می‌گیرد (البرزی ۱۳۸۰) در حالت کلی می‌توان فرض کرد $W_0=B$ و $X_0=1$ و معادله بالا را به شکل زیر بازنویسی کرد:

رابطه ۲

$$O = f(\vec{X} * \vec{W})$$

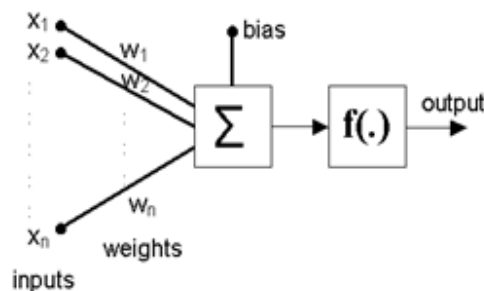
که در این معادله $\vec{X}$ بردار سطری با $n+1$ عنصر و $\vec{W}$ بردار ستونی با $n+1$ عنصر است (مهنج ۱۳۸۹). نرون پایه معرفی شده می‌تواند مسائل خطی را حل کند. اما برای حل مسائل غیرخطی از یک شبکه عصبی به نام پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده می‌شود. شبکه MLP مجموعه‌ای از نرون‌های پایه است که در ۳ لایه قرار می‌گیرند. این سه لایه با نام‌های لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی شناخته می‌شوند. شبکه MLP یک شبکه با ساختار رو به جلو است و از روش انتشار خطا رو به عقب ۱۰ برای یادگیری شبکه استفاده می‌کند. شبکه MLP یک شبکه باناظر محسوب می‌شود. به عبارت دیگر، برای آموزش این شبکه باید علاوه بر داده‌های آموزشی (ورودی شبکه)، خروجی صحیح آنها نیز به شبکه آموزش داده شود. بر اساس قضیه کلموگروف یک شبکه MLP با سه لایه می‌تواند هر مسئله خطی و غیر خطی را یاد گرفته و حل کند (البرزی ۱۳۸۰) و (مهنج ۱۳۸۹). یک شبکه MLP را در شکل زیر مشاهده می‌کنید.



شکل ۷. نتیجه درجه تناسب مدل AHP با زمین لغزش (منبع: نگارندگان)

شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی یا به اختصار شبکه عصبی از بزرگترین پیشرفت‌های علم بشر در دهه‌های اخیر می‌باشد. از مهمترین ویژگی‌های شبکه عصبی این است که به عنوان یک طبقه‌بندی کننده غیر خطی ۴ عمل می‌کند. ضمن اینکه می‌توانند مسایلی که با معادلات ریاضی قابل بیان نیستند، به کمک تعدادی نمونه آموزشی مدل سازی کنند (مهنج، ۱۳۸۹). ساده‌ترین شبکه عصبی یک نرون ۵ با n ورودی و یک خروجی است. به عبارت ساده‌تر ورودی این نرون بردار سطری $\vec{X}$ با n عضو و خروجی آن عدد اسکالر O است. در شکل زیر یک نرون پایه را مشاهده می‌کنید.



شکل ۸. نرون پایه (منبع: نگارندگان)

در داخل نرون برای تولید خروجی محاسبات زیر انجام می‌شود:

⁸ Output Layer

⁹ Feed Forward

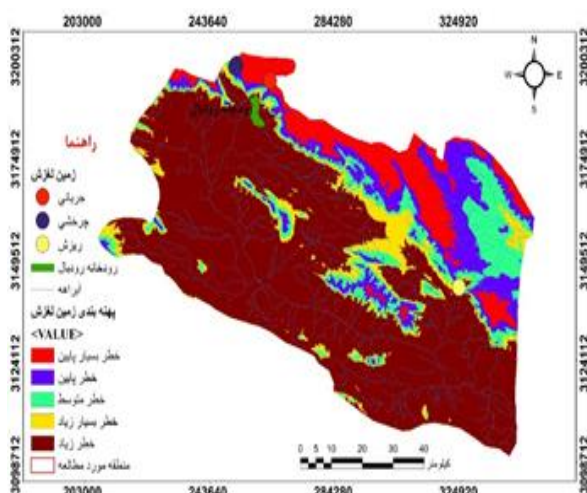
¹⁰ Back Propagation Error

⁴ Non-Linear Classifier

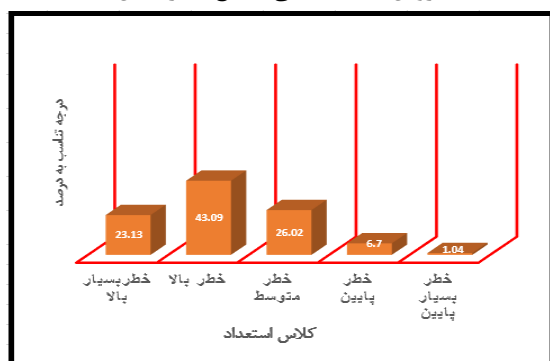
⁵ Neuron

⁶ Input Layer

⁷ Hidden Layer



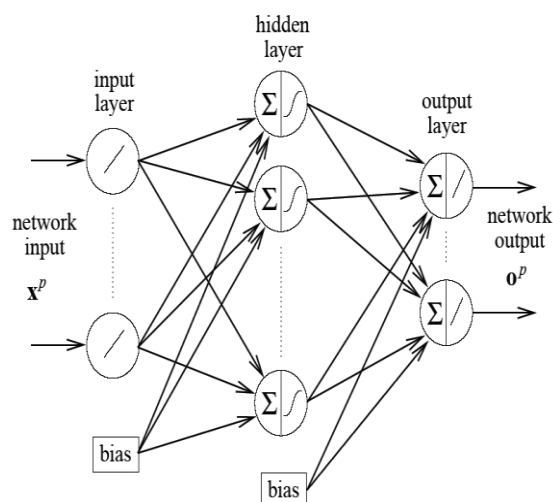
نقشه ۱۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه رودخانه رودبال به روش شبکه عصبی (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۱. درجه تناسب مساحت مناطق پهنه بندی خطر لغزش به روش شبکه عصبی (منبع: نگارندگان)

صحت سنجی

باتوجه به بررسی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مشخص گردید که حدود ۲۲/۴۷ درصد از زمین لغزش‌های موجود در محدوده احتمال وقوع خیلی زیاد، ۲۸/۷۳ درصد احتمال وقوع زیاد، ۲۳/۱۵ درصد در محدوده احتمال وقوع متوسط، ۱۷/۰۲ درصد در محدوده احتمال وقوع کم و ۸/۳ درصد در مناطق وقوع خیلی کم اتفاق افتاده است. نتایج فوق نشان از همخوانی نقشه پهنه بندی تهیه شده و لغزش‌های موجود بوده که از این موضوع می‌توان به صحت نقشه حاصل پی برد و همچنین مشخص گردید که روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، مورد استفاده در این روش تقریباً روشی مناسب جهت پهنه بندی خطر



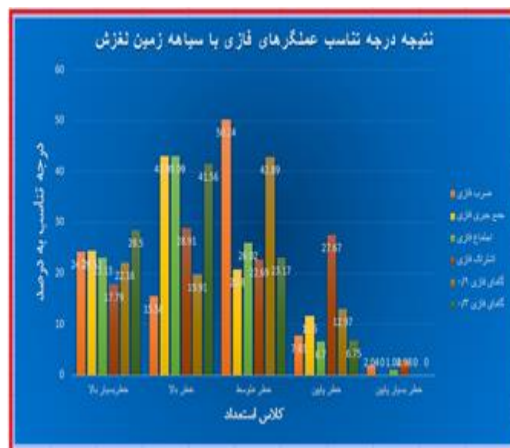
شکل ۹. شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) (منبع: البرزی ۱۳۸۰)

جهت ارزیابی شبکه عصبی ایجاد شده، پارامترهای مؤثر زمین لغزش تهیه و به آنها سیستم مختصات زون منطقه مورد مطالعه یعنی زون ۴۰ ارائه گردید. این پایگاه داده، شامل اطلاعات مربوط به شیب، جهت شیب، لیتولوژی، مدل ارتفاعی رقومی، بارندگی، فاصله از گسل و کاربری اراضی و... منطقه می‌باشد. این داده‌ها جهت تغذیه به شبکه عصبی ایجاد شده، بر اساس بزرگ‌ترین مقدار موجود هر داده در بانک اطلاعاتی بین صفر و یک نرمالیزه گردید. سپس داده‌های نرمالیزه شده به یک شبکه عصبی پرسپترون سه لایه تغذیه شونده به جلو^{۱۱} با الگوریتم پس انتشار خطا^{۱۲} تغذیه گردید. به طور خلاصه ابتدا پارامترهای ورودی استخراج و شبکه عصبی بر مبنای آنها توسط الگوریتم پس انتشار خطا آموزش داده شد. سپس کارایی شبکه آموزش داده شده مورد آزمایش قرار گرفت. ساختار نهایی شبکه دارای ۷ نرون در لایه ورودی، ۲۰ نرون در لایه میانی و ۱ نرون در لایه خروجی گردید. دقت شبکه در مرحله آزمایش ۹۱.۲۵ درصد تخمین زده شد. بعد از بهینه شدن ساختمان شبکه کل اطلاعات مربوط به منطقه در اختیار شبکه قرار گرفت. خروجی به دست آمده از شبکه عصبی با اختلاف ۰/۲ به پنج رده با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم گردید و نقشه پهنه بندی نهایی آن با ArcGIS10.3 تهیه گردید.

¹² back error propagation

¹¹ feed forward

احتمال وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه بوده است.



شکل ۱۲. نتیجه درجه تناسب مدل‌ها جهت ارزیابی بهترین عملگر فازی (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

فرایند مکان‌یابی ازجمله پروسه‌های طبیعی پیچیده‌ای می‌باشد که اطلاع ماهیت و کم‌وکیف آن مستلزم در اختیار داشتن داده‌ها، با اطلاعات دقیق و استفاده از روش‌ها و الگوهایی است که توانایی مدل‌سازی و بیان روابط پیچیده بین عوامل مرتبط با زمین‌لغزش و این فرایند را داشته باشند، بنابراین با در اختیار داشتن دو فاکتور مؤثر بالا می‌توان بادقت قابل‌قبولی به این مدل‌سازی دست زد. هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش علاوه بر کاوش علمی برای شناخت مناطق مختلفی که با این خطر مواجه هستند، به‌دست‌آوردن اطلاعاتی است که بتواند رفتارها و تصمیم‌گیری‌های عناصر مختلف متأثر از این خطر را به‌گونه‌ای که در نهایت منجر به کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش شود، تحت‌تأثیر قرار دهد. از بررسی فاکتورهای مؤثر در بروز زمین‌لغزش و تجزیه و تحلیل نمودارها، جداول، مدل‌های مختلف پهنه‌بندی و ارزیابی مدل‌ها، نتایجی به شرح زیر به‌دست‌آمده است.

از GIS در ذخیره، تحلیل خطر زمین‌لغزش و گرفتن خروجی بهره گرفته شده است. باتوجه به امکاناتی که این سامانه در اختیار کاربران در زمینه تحلیل‌ها و خروجی‌های مدیریت زمین قرار می‌دهد، استفاده از این سامانه در کلیه پهنه‌بندی‌ها بسیار ضروری می‌باشد.

استفاده از GIS قابلیت اعتماد را در نقشه‌های خطر بالا برده و در نتیجه در فرایند تصمیم‌گیری نقش مهمی را ایفا می‌کند. اولین و مهم‌ترین مرحله در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آن می‌باشد. اگر عوامل به‌درستی شناسایی نشوند، نقش آنها در محاسبه احتمال وقوع پدیده در نظر گرفته نشده و نتیجه قابل‌اطمینان نخواهد بود. برای تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از قضاوت کارشناسی، مقالات و منابع و مآخذ لازم در این زمینه استفاده شد و عوامل لیتولوژی، گسل، شیب، جهت شیب، شبکه زهکشی، بارش، جاده، پوشش گیاهی و ارتفاع به‌عنوان عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته شد.

از دیگر عوامل مؤثر در ایجاد پدیده زمین‌لغزش، شیب دامنه‌ها می‌باشد. معمولاً دامنه‌هایی که دارای شیب بیشتری هستند در شرایط یکسان آمادگی بیشتری برای لغزش دارند. زیرا بالا رفتن شیب دامنه باعث افزایش حجم و وزن نسبی توده لغزش بر واحد سطح صفحه لغزشی شده و نیروی محرک لغزش را زیاد می‌کند. با افزایش میزان شیب، درصد وقوع زمین‌لغزش کاهش‌یافته که علت این امر می‌تواند جنس مصالح باشد چرا که در شیب‌های بسیار زیاد، معمولاً جنس مصالح، سنگ‌هایی است که استحکام و مقاومت بیشتری برخوردارند. با بررسی‌های انجام شده نتیجه می‌گیریم که شیب دارای نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد طوریکه اگر یک واحد سنگ‌شناسی خیلی حساس در یک شیب کم قرار داشته باشد زمینه وقوع زمین‌لغزش را ندارد. مانند واحدهای کواترنر که از رسوب‌های مساعد برای حرکت تشکیل شده‌اند؛ ولی به دلیل قرارگرفتن در شیب‌های کم زمین‌لغزش در آنها کمتر رخ داده‌اند. از دیگر عواملی است که در ناپایداری دامنه‌ها مؤثر است. متوسط بارندگی سالیانه حوزه ۵۰۰-۷۰۰ میلیمتر است؛ اما نگاهی به زمین‌لغزش‌های رخ داده نشان می‌دهد که بیشترین لغزش در مناطقی اتفاق افتاده که متوسط بارندگی سالیانه مناطق بیش از ۵۵۰ میلی‌متر است و

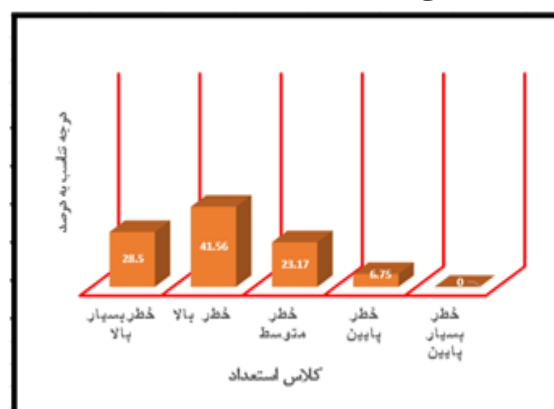
پژوهش ارائه نمود. هر چه میزان اطلاعات و داده‌ها جزئی‌تر و بیشتر باشد می‌توان مجموعه فازی موردنظر را با صحت و دقت بیشتری تعریف نمود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه رودخانه رودبال با استفاده از روش فازی گامای ۰/۳ به‌عنوان نقشه بادقت بالاتر و مناسب‌تر در سایر توابع فازی انتخاب شده است.

این ارتباط مستقیم افزایش میزان بارش با وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

پوشش گیاهی رابطه معکوسی با لغزش دارد به طوری که نواحی که پوشش گیاهی متراکمی دارد لغزشی کمتر رخ می‌دهد. حدود ۹۰ درصد مساحت حوضه فاقد پوشش گیاهی می‌باشد که تمامی لغزش‌های رخ داده در این محدوده می‌باشند.

در این پژوهش از چند روش شبکه عصبی، ANP، مدل سلسله‌مراتبی AHP و فازی و تلفیق آنها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه رودبال استفاده شده است.

نتایج تحلیل نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی مشخص نمود که حدود ۲۹ درصد از سطح حوزه در محدوده خطر خیلی زیاد و ۴۲ درصد در محدوده خطر زیاد قرار می‌گیرد. این واقعیت بیانگر حساسیت زیاد حوضه نسبت به پدیده زمین‌لغزش می‌باشد.



شکل ۱۳. نتیجه تناسب مدل گامای فازی ۰/۳ با سیاهه

زمین‌لغزش (منبع: نگارندگان)

نتایج تحلیل نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی مشخص نمود که حدود ۲۹ درصد از سطح حوزه در محدوده خطر خیلی زیاد و ۴۲ درصد در محدوده خطر زیاد قرار می‌گیرد. این واقعیت بیانگر حساسیت زیاد حوضه نسبت به پدیده زمین‌لغزش می‌باشد.

با توجه به اینکه روش شبکه عصبی و تلفیق روش فازی ANP تحلیل دقیق‌تری از نقش عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش نسبت به سایر روش‌های کمی دارد، نتایج قابل قبول‌تر و متمایزتری نسبت به روش AHP در این

عفیفی، م.ا. (۱۴۰۰) شبیه سازی بارش - رواناب و پتانسیل سیل خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS و منطق فازی (مطالعه موردی حوضه آبریز رودبال در استان فارس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۴۶.

کورکی نژاد، م. (۱۴۰۰) مقایسه کارایی دو مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش (حائزی و مورا) با استفاده از ساجد در حوضه آبخیز سیاه رودبار گرگان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: ۲۴.

Ahmadi, H. S. (2021). The made area model massmovements' hazard using quality characteristics and AHP systems, Case study: Taleghn watershed. Iranian Journal of natural Resources, 58, pp3-14

Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., Li, R.H., . (2014). Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. engineering Geology, PP 109-128

Rakei B., Khamechian M., Abdolmaleki P. and Giahchi . (2017). Application artificial neural networks in Landslide zonation. Sciences Tehran University 33, 1, 57-64

S. Sumathi and S. Paneerselvam. (2010). Computational intelligence paradigms: theory & applications using MATLAB. CRC Press

Safari, A., Akhdar, A. (2012). The Comparison of the Frequency Ratio model and Fuzzy membership functions in the landslide hazard zonation: A case study of the Marivan-Sanandaj road. . Journal of Geography and Environmental Hazards. 4, pp 79-96

Shirani, K., Seif, A. (2012). The landslide hazard zonation using the statistically methods: the Pishkuh region, Fereidoonshahr city. Journal of Earth Sciences. 22(85), pp149-158

Steiniger, S., & Hunter, A. J. S. (2012). The 2012 free and open source GIS software map ;. A guide to facilitate research, development, and adoption. Computers, (Environment and Urban Systems) 0

V. Behbood, J. Lu, and G. Zhang,. (2010). Adaptive Inference-based learning and rule generation algorithms in fuzzy neural network for failure prediction. in Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), pp 33-38

Y. Wang and Y. Chen, "A Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for Traffic Flow Prediction. Journal of Computers, vol. 9, pp 12-21

Zhang fanyu liu. (2007). Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics a case study in Longnan area Highway 212. science paper online

Ziaecian, P., H. Soleimani Moghadam and S. Barzegar. (2011). Determining the Optimal Development of Mashhad City Using Multi-Agent Model of RS, GIS. Geography, 30, pp77-94

منابع

بلواسی، ا.ع؛ (۱۳۹۴) مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریزالشتر). دانشکده جغرافیا

پورقاسمی، ح؛ (۱۳۹۲) پیش بینی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های داده کاوی در شمال شهر تهران. رساله جهت دریافت درجه دکتری در رشته علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

دلاور، م؛ (۱۴۰۰)، "پیش نویس راهنمای کاربرد سیستم های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای مؤثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه های آبریز"، وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، نشریه شماره ۳۹۵ -الف.

زارع، م؛ مقدم نیا، ع؛ تالی خشک، ص؛ سلمانی، ح؛ (۱۳۹۴) پهنه بندی حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوزه آبخیز واز. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم. شماره ۱۱. صص ۱۰۱-۱۰۹

عبادی نژاد، س ع؛ یمانی، م؛ مقصودی، م؛ شادفر، ص. (۱۳۹۶) ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش در حوزه آبخیز شیرود. مجله آبخیزداری ایران ۱(۲). صص ۳۹-۴۴

ذاکری نژاد، ر، عموشاهی، ن. ۱۴۰۱. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز کمه جنوب استان اصفهان . پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. سال پانزدهم

شماره ۲ پاییز ۱۴۰۱. صص ۱۴۹-۱۲۸
صدیقی، ح. قاسمی، ا. ۱۴۰۲، مدل سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری. پژوهش های دانش زمین. سال ۱۴. (۴).

زارعی، م، مرادی، ح، علوی نیا، س ح، علی آبادی، ک، ۱۴۰۲. ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز بیو نیژ استان کرمانشاه. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی . سال چهارم شماره اول پیاپی ۱۳. بهار ۱۴۰۲. صص ۱۶۹-۱۸۸

محمدی، م، عفیفی، م. ا. قنبری، ع. ۱۴۰۲، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاج فازی در حوزه رودخانه ایذه. مجله علوم جغرافیایی . دوره ۱۹ شماره ۴۲ بهار ۱۴۰۲. صص ۱۵۶-۱۷۶

عفیفی، م.ا. (۱۴۰۰) تحلیل مکانی خطر زمین لغزش با تاکید بر عوامل ژئومورفولوژیک با استفاده از مدل جنگل تصادفی مطالعه موردی شهرستان لارستان در استان فارس، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۵۱، بهار ۱۴۰۰

Landslide hazard assessment and zoning using the ANP and ANN artificial network analysis process in a GIS environment (Case study: Rudbal Darab River watershed, Fars Province)

Abstract

Landslides represent one of the planet's most prevalent and destructive geological hazards, routinely inflicting substantial loss of life and catastrophic financial damage across various regions worldwide. Consequently, a fundamental initial step in effective risk management and mitigating these potential losses involves the precise identification of landslide-prone areas. This crucial process is typically achieved through the application of sophisticated hazard potential zoning methodologies, which rely on the deployment of appropriate and validated empirical models. Such proactive identification allows for the implementation of targeted preventative and preparedness measures. The Rudbal basin, situated within Darab County in Iran's Fars Province, is a particularly salient example of an area acutely vulnerable to these destructive natural phenomena. Due to a complex interplay of its unique geographical location and inherent natural characteristics, the basin is recognized as one of the country's most susceptible areas not only to classic landslides but also to a spectrum of other related slope instability phenomena. This heightened susceptibility underscores the necessity for rigorous and comprehensive risk evaluation within its boundaries. In a dedicated effort to address this localized vulnerability, the present study focused on the systematic evaluation of landslide risk specifically within the Rudbal Darab basin. A multi-faceted analytical approach was adopted, integrating several advanced spatial modeling techniques to achieve a robust assessment. The specific models employed included the neural network method, the Analytic Hierarchy Process (AHP), the Analytic Network Process (ANP), and various configurations of fuzzy logic. The fuzzy logic framework was meticulously implemented utilizing a range of distinct operators, namely OR, And, Sum, Product, and the Gamma operator, each providing a unique perspective on the aggregation of hazard factors. A total of nine primary criteria, all fundamentally linked to the inherent potential for landslide occurrence, were meticulously analyzed and incorporated into the modeling process. These influential environmental and geological factors included lithology, distance from fault lines, the physical slope angle, the slope direction (aspect), elevation, distance from roads, distance from waterways, and the prevailing land use and cover. Each of these nine criteria was individually processed and subsequently classified into distinct factor maps, serving as the foundational spatial datasets for the analysis. The individual influence and significance of these maps were then rigorously evaluated using statistical methods to establish their predictive power concerning landslide incidence. The culmination of this intricate modeling and spatial analysis was the production of a final map dedicated to the landslide hazard zoning of the entire basin. The findings from this final hazard map were remarkably significant, indicating a widespread vulnerability across the study area. Specifically, the results demonstrated that an alarming approximately 70 percent of the total area of the Rudbal basin falls within the classifications of very high and high risk of experiencing landslides. Furthermore, the locations of existing landslides were meticulously documented through detailed ground observation, serving as essential ground evidence or a hazard reference dataset. The comparison between the model outputs and this ground evidence demonstrated a strong, high degree of adaptability and correlation between the actual landslide distribution and the results generated by both the neural network method and the specific combination of fuzzy logic with the 0.3 operator and ANP model, thereby validating the efficacy of these particular modeling approaches.

Key words: Landslide zoning, neural network, fuzzy logic, AHP model, Rud Bal River basin.