دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوزه آبخیز واز

محمد زارع[۱]، علیرضا مقدم نیا[۲]، صادق تالی خشک[۳] و حسین سلمانی[۴]

۱ و ۴- دانشجوی دکتری و کارشناس ارشد، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، دانشگاه تهران (نویسنده مسوول: a.moghaddamnia@ut.ac.ir)
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۲

چکیده

در این مطالعه از مدل نروفازی برای تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش حوزه آبخیز واز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید. موقعیت لغزش‌های منطقه از طریق پایش میدانی و عکس‌های هوایی مشخص گردید. در مرحله بعد عوامل موثر 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 فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) در عوامل موثر بروز لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. توابع عضویت‌های (MFs) مثلثی و گوسی برای نقشه حساسیت زمین لغزش و مقایسه نتایج آنها مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ارزیابی مدل از روش‌های میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MEE) بهره گرفته شد. نتایج نشان داد مدل ANFIS کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها داشت و ساختار عصبی- فازی با تابع عضویت گوسی بهترین کارایی را در منطقه دارا بود. نقشه خطر لغزش نشان داد مساحت مناطق با خطرپذیری بالا بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده که نشان‌دهنده خطرپذیری بالای حوزه آبخیز واز در بروز لغزش‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نروفازی، فازی، تابع عضویت، زمین لغزش، حوزه آبخیز واز

مقدمه

بسیاری از مناطق کوهستانی دارای ساختارهای سنگی پیچیده‌ای بوده که دور از دسترس و در سال‌های اخیر دستخوش تغییراتی توسط انسان شده است. یکی از نتایج این فعالیت‌ها افزایش خطرات طبیعی در این مناطق بوده است (۱۲). زمین لغزش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی معرفی شده و خسارات مالی و جانی سنگینی را در زندگی بشر تحمیل می‌کند (۳). حوزه آبخیز واز در شمال ایران یکی از مناطق کوهستانی است که در معرض زمین لغزش‌های متعددی قرار دارد. غالب این لغزش‌ها روی زندگی مردم و اقتصاد منطقه تاثیرات منفی گذاشته به طوری که اکثر لغزش‌ها در کنار جاده‌ها، مناطق شکست شیب و اطراف مناطق مسکونی رخ داده است.

زمین لغزش‌ها تحت تاثیر عوامل مختلف به وقوع می‌پیوندد که گستردگی در عوامل ایجاد آن و تعیین ارتباط بین عوامل پیچیده است. به همین دلیل تکنیک‌های مختلفی برای شناخت و ارتباط عوامل ایجاد زمین لغزش وجود دارد. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش یکی از این تکنیک‌هاست. در دنیا روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی زمین لغزش وجود دارد، به طوری که تاریخچه استفاده از پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دهه ۱۹۷۰ می‌رسد (۱۹). فرآیند ایجاد نقشه خطر زمین لغزش شامل روش‌های مختلف کمی و کیفی است. در سال‌های اخیر تلاش شده برای پهنه‌بندی از روش‌های کمی استفاده شود (۲۴). روش‌های پیچیده‌ای که در چند سال اخیر مورد استفاده قرار گرفت را به عنوان نمونه: AHP[۱]، روش‌های آماری دو متغیره، رگرسیون لجستیک، منطق فازی و شکبه عصبی مصنوعی اشاره کرد (۲۳،۱۲،۱۱،۶،۴). مدل عصبی- فازی یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته است. اوه و همکاران (۱۷) به بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از نرو فازی در منطقه‌ای از کره جنوبی پرداختند. در این مطالعه از ساختار عصبی- مصنوعی مثلثی، گوسی و ذوزنقه‌ای برای پهنه‌بندی خطر استفاده شده که نتایج ارزیابی نشان داد مدل عصبی- فازی کارایی بالایی در منطقه داشته است. پرادهان و همکاران (۱۹) از مدل عصبی-

1- Analytic Hierarchy Process

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ای از مالزی استفاده کردند، در این تحقق از ۵ مدل مختلف به کار بردند که مدل عصبی- فازی بالاترین دقت را در میان سایر مدل‌ها داشت.

یک مدل عصبی- فازی برگرفته از ترکیب هم‌زمان منطق فازی و زبان یادگیری شبکه عصبی مصنوعی است. به مدل‌سازی فازی، سیستم استنتاج فازی (FIS)[1] اطلاق می‌شود. ساختمان اولیه FIS شامل سه مولفه تفهیمی یعنی ۱- پایگاه قانون[2] که خود شامل مجموعه‌ای از قوانین فازی است، ۲- پایگاه داده که توابع عضویت (MFs) استفاده شده در قوانین فازی را تعریف می‌کند و ۳- مکانیزم استدلال که تفسیر را بر اساس قوانین بالا برای استخراج یک خروجی انجام می‌دهد. FIS با استفاده از تعدادی قوانین اگر آنگاه (IF-Then) یک رابطه جزء به جزء غیرخطی را از فضای ورودی به فضای خروجی شرح می‌دهد. پارامترهای قوانین IF-Then (شامل فرضیات) یک ناحیه فازی را از فضای ورودی تعریف و پارامترهای خروجی (شامل نتایج)، خروجی مربوط را تعیین می‌کند. از این رو، کارآیی FIS بستگی به برآورد پارامترها دارد (۲۲). در مطالعه حاضر از مفهوم شبکه تطبیقی که تعمیم شبکه عصبی پیشرو چند لایه معمول است، برای حل مشکل شناسایی پارامترها در یک FIS استفاده می‌شود. یک شبکه تطبیقی، یک ساختار پیشرو چندلایه است که رفتار کلی خروجی آن به وسیله مقدار یک مجموعه از پارامترهای قابل اصلاح تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر ساختار شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره‌های متصل به هم است که به طور مستقیم به هم مرتبط شده‌اند و در آن هرگره یک واحد پردازش محسوب می‌شود. در سیستم عصبی- فازی مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی (که همان به دست آوردن قواعد "اگر- آنگاه" فازی است) را به وسیله استفاده موثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، حل کرده‌اند (۲۱). در این تحقیق، از سیستم‌های استنتاجی فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)[3] که از جمله مدل‌های فازی- عصبی است، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد این حوزه آبخیز دارای مساحت ۱۴۲ کیلومتر مربع و دارای مختصات عرض شمالی ″۲۶ ′۱۴ °۳۶ تا ″۵۴ ′۲۵ °۳۶ و طول شرقی"۴۶ ’۰۱ °۵۲ تا "۳۰ ’۱۲ °۵۲ قرار گرفته است. ارتفاع بیشینه و کمینه در منطقه به ترتیب ۳۵۹۰ متر و ۲۴۰ متر می‌باشد. رودهای زیادی از ارتفاعات آن سرچشمه گرفته که مجموعاً تحت نام رودخانه وازرود از حوزه خارج می‌گردد. نوع اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن مرطوب بوده و نوع نزولات در ارتفاعات پایین‌دست بیش‌تر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف می‌باشد. میزان بارندگی متوسط سالانه ۶۱۶ میلی‌متر در سال و درجه حرارت متوسط سالانه آن ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱). در این منطقه ۱۳۶ زمین لغزش به ثبت رسید که در این بین بعضی از لغزش‌ها قدیمی بوده و بسیاری فعال می‌باشند. حداقل و حداکثر مساحت این لغزش‌ها ۲۰ و ۳۰۰۰ متر مربع بوده است.

روش تحقیق

عوامل موثر در وقوع زمین لغزش

در ابتدا با استفاده از GPS نقاط لغزشی حوزه ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGIS 9.3 گردید تا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه گردد. نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و نقشه کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر ماهواره‌ی ETM^+ سال ۲۰۰۲ که در محیط نرم‌افزار ENVI 4.5 تصحیح گردید. نقشه پهنه‌های بارش منطقه نیز از میان‌یابی ایستگاه‌های درون و مجاور حوزه به دست آمد.

مدل ANFIS

سیستم نروفازی اولین بار توسط جانگ معرفی شد (۹). نکته اصلی در هنگام طراحی یک مدل ANFIS، انتخاب سیستم استنتاج فازی (FIS)، است. مدل فازی Sugeno، که خروجی آن یک رابطه خطی است و همچنین پارامترهای آن را می‌توان به سادگی با روش حداقل مربعات خطا برآورد نمود در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل فرض شده است که FIS دو ورودی x وy و یک خروجی z دارد. برای مدل فازی مرتبه اول Sugeno، یک نمونه مجموعه قانون با ۲ قانون IF-Then فازی به شکل ۲ قابل ارایه است.

قانون اول: اگر x مساوی A_1 و y مساوی B_1 باشد، آنگاه

$$f_1= p_1 x +q_1 y + r_1$$

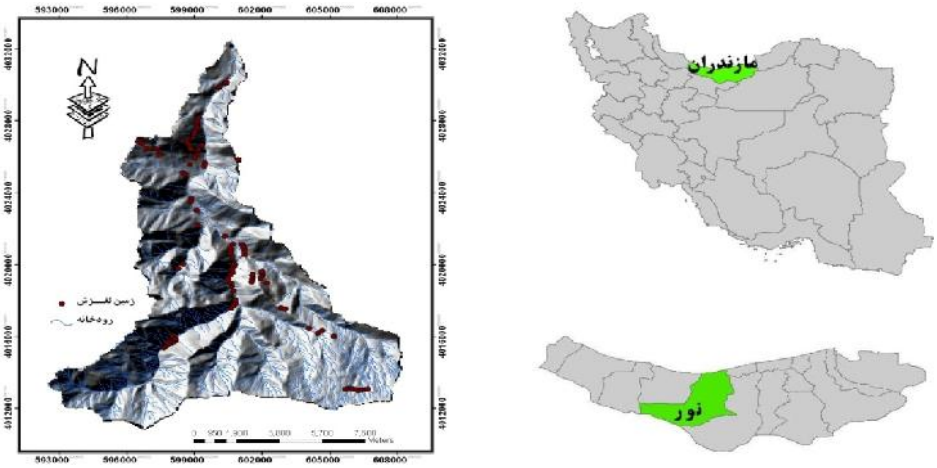
قانون دوم: اگر x مساوی A_2 و y مساوی B2 باشد، آنگاه

$$f2= p2\ x +q2\ y + r2$$

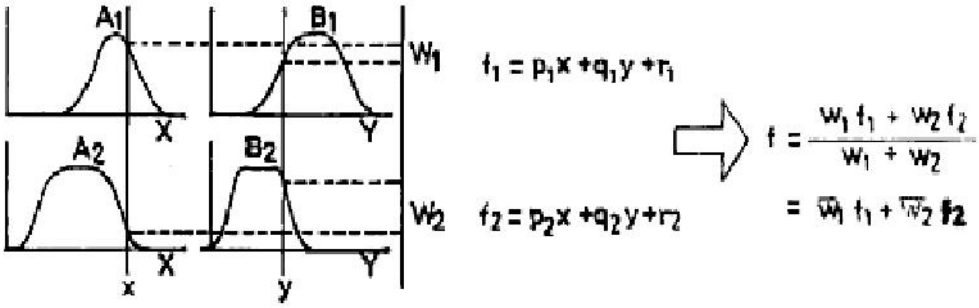
که در آن A_1، A_2، B_1 و B_2 به ترتیب توابع عضویت برای ورودی‌های x و y هستند.p1، q1، r1 و p2، q2، r2 پارامترهای تابع خروجی هستند. معماری معمول ANFIS در شکل ۳ ارایه شده است. که در آن گره‌های لایه مشابه تابع مشابه دارد.

1- Fuzzy inference system 2- Rule base 3- AddaptiveNeuro-fuzzy Inference System

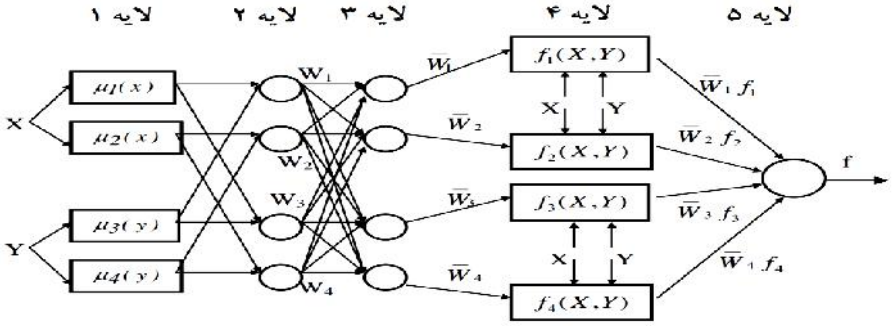
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- سیستم استنتاج فازی (۱۰)



شکل ۳- معماری مدل ANFIS معادل سیستم استنتاجی شکل ۲ (۵،۱۰)

کارکرد ANFIS بدین شرح می‌باشد:

لایه ۱: هر گره در این لایه درجات عضویت از یک متغیر ورودی را تولید می‌کند. گره خروجی OP_i^1 توسط روابط ۱ تعریف می‌گردد:

$$OP_i^1 = «_{A_i}(x) \leftarrow i = 1,2$$
$$OP_i^1 = «_{B_i-2}(y) \leftarrow i = 3,4 \qquad (۱)$$

که در آن x (یا y) ورودی به گره مورد نظر، A_i (یا B_{i-2}) مجموعه فازی مرتبط با این گره است که توسط شکل توابع عضویت این گره مشخص می‌شود و هر تابع مناسبی که پیوسته و بطور تکه‌ای مشتق پذیر باشد مانند توابع گوسین، ذوزنقه‌ای و مثلثی با فرض تابع گوسین به عنوان یک تابع عضویت، خروجی OP_i رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$OP_i^1 = \mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1+(\frac{x-c_i}{a_i})^{2b_i}} \qquad (۲)$$

که در آن: $\{a_1, b_1, c_1\}$ مجموعه پارامترها هستند که شکل تابع عضویت را تغییر می‌دهند و حداکثر ۱ و حداقل صفر هستند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

لایه ۲: هر گره در این لایه در سیگنال ورودی ضرب می‌گردد (با $\prod$ نشان داده شده است) و خروجی OP_i^2 که نشان‌دهنده قدرت تهیج یک قانون است مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد:

$$OP_i^2 = w_i = «_{Ai}(x)«_{Bi}(y) \leftarrow i = 1,2 \qquad (۳)$$

لایه ۳: گره iام این لایه که با N نام‌گذاری شده است قدرت تهیج نرمال‌شده را محاسبه می‌کند:

$$OP_i^3 = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \leftarrow i = 1,2 \qquad (۴)$$

لایه ۴: گره i در این لایه مشارکت قانون iام را به سمت خروجی مدل با استفاده از تابع رابطه ۵ محاسبه می‌کند.

$$OP_i^4 = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \qquad (۵)$$

که در آن: $\overline{w}$، خروجی لایه ۳ و $\{p_i, q_i, r_i\}$ مجموعه پارامترها می‌باشد.

لایه ۵: تنها گره این لایه خروجی کلی ANFIS را مطابق زیر محاسبه می‌کند:

$$OP_i^5 = overallout\ put = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \qquad (۶)$$

اجرای نروفازی

برای افزایش کارایی نروفازی در مدل‌سازی داده‌های ورودی و خروجی، داده‌ها معیارسازی (نرمال‌سازی) می‌شوند، یعنی بین دامنه عددی معمولا صفر تا یک قرار می‌گیرند. از الگوهای آموزش برای آموزش نروفازی استفاده می‌شود. از آنجا که نروفازی فاقد برون‌یابی بالاست و توانایی تعمیم‌دهی آن فقط در چارچوب درون یابی مطرح است، بنابراین داده‌های آموزشی باید طوری انتخاب شوند که نماینده کل داده‌ها در تمام حالات ممکن از قبیل حدی (حداقل و حداکثر) باشند. داده‌های موجود به دو دسته آموزش (۷۵٪) و آزمایش برای بررسی کارایی نروفازی (۲۵٪) تقسیم‌بندی شد. برای اجرای مدل نروفازی روش‌های مختلف فازی سازی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های مثلثی[1]، دایره‌ای (کلوچه‌ای یا گرد)[2] و ... اشاره کرد. در این تحقیق انتخاب روش فازی‌سازی با آزمون و خطا انتخاب شد و فازی‌سازی با روشی انجام گرفت که دارای کمترین مربعات خطا و بیشترین ضریب کارایی باشد.

معیارهای ارزیابی

در این تحقیق در هر مرحله برای تعیین بهترین ساختار مدل و مقایسه مدل‌های مختلف از معیارهای زیر استفاده گردید. اولین معیار میانگین مربعات خطا (RMSE)[3] می‌باشد که توسط معادله (۷) تعیین می‌شود و هر مدل که کمترین مقدار RMSE را داشته باشد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i^o - Q_t^p)^2} \qquad (۷)$$

که در اینجا n تعداد داده‌ها، Q_t^o لغزش‌های مشاهداتی و Q_t^p وزن خطر برآورد شده می‌باشد.

معیار دیگر میانگین مطلق خطا (MAE)[4] بوده که توسط معادله (۸) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Q_t^o - Q_t^p\right| \qquad (۸)$$

کاربرد نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

نسبت احتمال رخداد یک پدیده به عدم رخداد آن پدیده را نسبت فراوانی می‌نامند. اگر تعداد زمین‌لغزش‌های رخ داده در یک منطقه را A معرفی کنیم و عوامل موثر در پدیده زمین‌لغزش را D بنامیم آن وقت نسبت فراوانی برای D همان احتمال وقوع معرفی می‌شود. حال اگر این نسبت بزرگ‌تر از ۱ باشد ارتباط بزرگ‌تری میان وقوع زمین لغزش با عوامل موثر در وقوع آن داشته و اگر کوچک‌تر از ۱ باشد این ارتباط کم‌تر است. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش مشخص، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی 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 رخداده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۹ محاسبه شد (۷، ۱۸).

$$\mathrm{LSI} = \sum Fr \qquad (۹)$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش، Fr: وزن هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش می‌باشد. در این رابطه اگر Fr>1 باشد همبستگی عامل موثر با لغزش بسیار زیاد و اگر Fr<1 باشد این همبستگی بسیار ضعیف است.

کاربرد ANFIS برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

پس از محاسبه مقادیر نسبت فراوانی برای هریک از عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش (جدول ۱)، تکنیک ANFIS برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شد. خروجی مدل شاخص حساسیت زمین لغزش بر اساس مدل نسبت فراوانی استفاده شد. در واقع شاخص حساسیت زمین‌لغزش از جمع عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش با روش Fr بوده است. از نرم‌افزار ArcGIS9.3 برای ورودی داده‌های عوامل موثر برای تهیه نقشه حساسیت استفاده گردید.

1- Triangle 2- Pie1 3- Root mean squared errors 4- Mean absolute errors

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

جدول ۱- مقادیر عضویت فازی و نسبت فراوانی در هریک از عوامل موثر در بروز زمین لغزش

عوامل موثر	طبقات	تعداد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های غیرلغزش	درصد پیسکل‌های لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزشی	نسبت فراوانی	مقدار منطق فازی
	۰_۱۰۰	۶۹	۱۹۳۸۹	۷۵/۸۲	۵۷/۵۵	۱/۳۱	۰/۱۴
	۱۰۰_۲۰۰	۱۰	۱۰۰۳۸	۱۰/۹۸	۲۹/۷۹	۰/۳۶	۰
فاصله از آبراهه (m)	۲۰۰_۳۰۰	۵	۳۱۰۶	۵/۴۹	۹/۲۱	۰/۵۹	۰/۰۶
	۳۰۰_۴۰۰	۲	۹۰۲	۲/۱۹	۲/۶۷	۰/۸۲	۰/۰۹
فاصله از جاده (m)	۴۰۰<	۵	۲۱۵	۵/۵۲	۰/۶۳۸	۸/۷۶	۱
	۰_۱۰۰	۳۶	۵۱۳۳	۳۹/۵۶	۱۵/۲۳	۲/۵۹	۱
	۱۰۰_۲۰۰	۱۱	۵۸۹۸	۱۲/۰۸	۱۷/۵	۰/۶۹	۰/۲۷
	۲۰۰_۳۰۰	۹	۵۶۰۹	۹/۸۹	۱۶/۶۴	۰/۵۹	۰/۲۲
	۳۰۰_۴۰۰	۸	۵۱۴۷	۸/۷۹	۱۵/۲۷	۰/۵۷	۰
	۴۰۰<	۲۷	۱۱۸۶۳	۲۹/۶۷	۳۵/۲۱	۰/۸۴	۰/۳۲
	۰_۱۰۰	۴	۱۸۸۰	۴/۳۹	۵/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۴
	۱۰۰_۲۰۰	۶	۲۴۳۰	۶/۵۹	۷/۲۱	۰/۹۱	۰/۸۶
فاصله از گسل (m)	۲۰۰_۳۰۰	۶	۲۴۶۱	۶/۵۹	۷/۳	۰/۹	۰/۸۵
	۳۰۰_۴۰۰	۵	۲۷۲۸	۵/۴۹	۸/۰۹	۰/۶۷	۰
	۴۰۰<	۶۹	۲۴۱۵۴	۷۵/۸۲	۷۱/۶۹	۱/۰۵	۱
	جنگل	۶۸	۱۸۹۹۰	۷۴/۷۲	۵۶/۳۶	۱/۳۲	./۶۹
	باغ	۲	۵۰۶	۲/۱۹	۱/۵	۱/۴۶	./۷۶
کاربری اراضی	مناطق مسکونی	۲	۳۹۰	۲/۱۹	۱/۱۵	۱/۹	۱
	مرتع خوب	۱۲	۴۹۸۹	۱۳/۱۸	۱۴/۸	./۹	./۴۷
	مرتع متوسط	۷	۶۵۰۲	۷/۶۹	۱۹/۳	./۳۹	./۲
	مرتع ضعیف	۰	۲۲۴۹	۰	۶/۶۷	۰	۰
	۵۰۰>	۰	۳۵۷	۰	۱/۰۵	۰	۰
	۵۰۰_۶۰۰	۷	۷۰۰۳	۷/۶۹	۲۰/۷۸	۰/۳۷	۰/۲۴
پهنه‌های بارش (mm)	۶۰۰_۷۰۰	۱۶	۷۸۳۲	۱۷/۵۸	۲۳/۲۴	۰/۷۵	./۵
	۷۰۰_۸۰۰	۴۶	۱۳۰۲۹	۵۰/۵۴	۳۸/۶۷	۱/۳	۰/۸۶
	۸۰۰_۹۰۰	۲۲	۵۴۲۴	۲۴/۱۷	۱۶/۱	۱/۵	۱
	۰_۵	۰	۱۵۶	۰	./۴۶	۰	۰
	۶_۱۵	۳	۷۶۲	۳/۲۹	۲/۲۶	۱/۴۵	۰/۷۱
شیب (٪)	۱۶_۳۰	۲۰	۶۷۱۶	۲۱/۹۷	۱۹/۹۳	۱/۱	۰/۵۴
	۳۱_۶۰	۲۹	۱۸۹۹۰	۳۱/۷۶	۵۶/۳۶	۰/۵۶	۰/۲۷
	۶۰<	۳۹	۷۰۶۵	۴۲/۸۹	۲۰/۹۷	۲/۰۲	۱
	N	۹	۶۳۳۹	۹/۸۹	۱۸/۸۱	۰/۵۲	۰/۲۶
	E	۲۵	۴۷۲۸	۲۷/۴۷	۱۴/۰۳	۱/۹۵	۱
	S	۵	۲۲۳۷	۵/۴۹	۶/۶۴	۰/۸۲	۰/۴۲
	W	۳	۳۱۶۳	۳/۲۹	۹/۳۸	۰/۳۵	۰
جهت شیب	NE	۱۸	۶۵۸۹	۱۹/۷۸	۱۹/۵۵	۱/۰۱	۰/۵۱
	NW	۱۴	۵۲۲۸	۱۵/۳۸	۱۵/۵۱	۰/۹۹	۰/۵
	SE	۱۴	۳۰۴۲	۱۵/۳۸	۹/۰۲	۱/۷	۰/۸۷
	SW	۳	۲۳۲۵	۳/۲۹	۶/۹	۰/۴۷	۰/۲۴
	۳۰۰>	۰	۳۹	۰	۰/۱۱	۰	۰
	۳۰۰_۶۰۰	۹	۱۹۷۴	۹/۸۹	۵/۸۵	۱/۶۹	۰/۶۲
	۶۰۰_۹۰۰	۱۶	۲۹۹۰	۱۷/۵۸	۸/۸۷	۱/۹۸	۰/۷۳
	۹۰۰_۱۲۰۰	۲۷	۳۷۰۰	۲۹/۶۷	۱۰/۹۸	۲/۷	۱
	۱۲۰۰_۱۵۰۰	۱۰	۴۰۰۱	۱۰/۹۸	۱۱/۸۷	۰/۹۲	۰/۳۴
	۱۵۰۰_۱۸۰۰	۱۶	۴۴۱۷	۱۷/۵۸	۱۳/۱۱	۱/۳۴	۰/۴۹
کلاس ارتفاعی	۱۸۰۰_۲۱۰۰	۴	۴۳۵۰	۴/۳۹	۱۲/۹۱	۰/۳۴	۰/۱۲
	۲۱۰۰_۲۴۰۰	۰	۴۰۳۵	۰	۱۱/۹۷	۰	۰
	۲۴۰۰_۲۷۰۰	۸	۳۹۵۰	۸/۷۹	۱۱/۷۲	۰/۷۵	۰/۲۷
	۲۷۰۰_۳۰۰۰	۰	۲۸۲۰	۰	۸/۳۷	۰	۰
	۳۰۰۰_۳۳۰۰	۰	۱۲۳۶	۰	۳/۶۶	۰	۰
	۳۳۰۰<	۰	۱۳۱	۰	۰/۳۸	۰	۰
	Q2	۰	۴۵	۰	۰/۱۳	۰	۰
	Q^{s}	۰	۴۴	۰	۰/۱۳	۰	۰
	P_{r}	۰	۴۱	۰	۰/۱۳	۰	۰
	R_{e}^{2}	۵۲	۱۶۶۸۴	۵۷/۱۴	۴۹/۵۲	۱/۱۵	۰/۵۶
زمین‌شناسی	$R_{3}J_{S}$	۱۹	۱۲۲۶۰	۲۰/۸۷	۳۶/۳۹	۰/۵۷	۰/۲۸
	Q_{U}	۰	۱۵۱	۰	۰/۴۴	۰	۰
	R_{e}^{1}	۱۲	۲۱۹۷	۱۳/۱۸	۶/۵۲	۲/۰۲	۱
	$K_{2}^{1,m}$	۷	۲۰۸۳	۷/۶۹	۶/۱۵	۱/۲۵	۰/۶۱
	$M^{M.S}$	۰	۱۸۴	۰	۰/۵۴	۰	۰

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

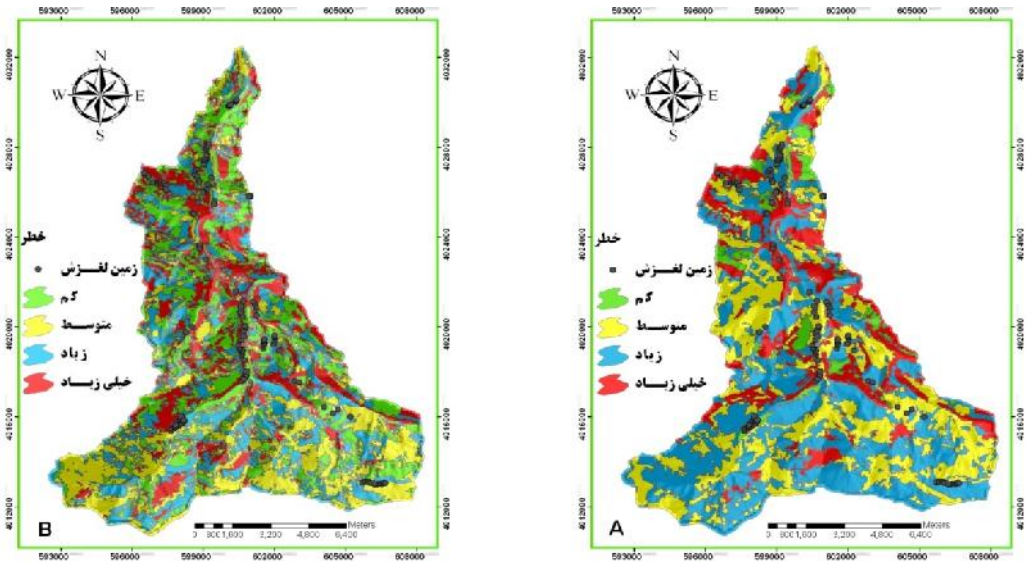
از نرم‌افزار MATLAB برای مراحل تست و آموزش بهره گرفته شد. در این مطالعه ۳۹ زمین لغزش به طور تصادفی برای مرحله تست (۳۹=۳۰٪) و ۹۷ زمین‌لغزش برای مرحله آزمایش (۹۷=۷۰٪) استفاده گردید. از تابع عضویت (MFs) گوسی و مثلثی برای ۹ ورودی در ساختار ANFIS بهره گرفته شد. در نهایت بر اساس وزن داده شده به ۴ کلاس خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید.

نتایج و بحث

به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از نروفازی در منطقه مورد مطالعه از تابع عضویت مثلثی و گوسی استفاده گردید. نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای هر یک از عوامل تاثیرگذار بر لغزش در جدول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین توابع عضویت مثلثی عامل زمین‌شناسی و گوسی شیب به عنوان نمونه‌ای از سایر عوامل موثر در وقوع لغزش در شکل‌های ۴ ارایه شده است. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلثی و گوسی در سیستم عصبی- فازی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. جدول ۲ ارزیابی مدل‌های ANFIS در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش درج شده است.

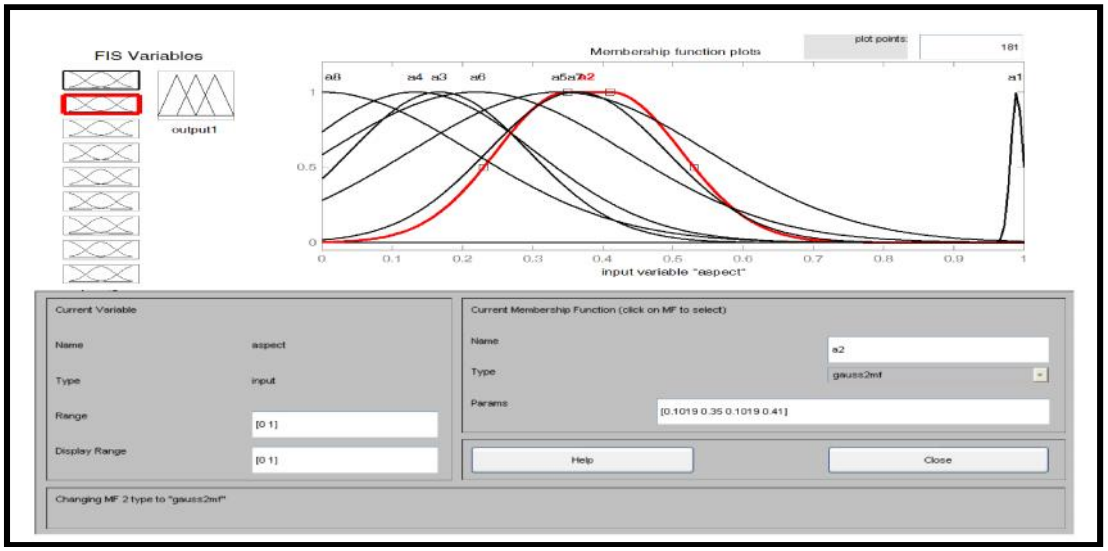
جدول ۲- ارزیابی مدل‌های ANFIS در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

نوع مدل	طبقه‌بندی خطر	Area (٪)	RMSE	MAE
نروفازی با تابع عضویت گوسی	کم	۴/۶	۰/۳۰۱	۰/۳۰۱
	متوسط	۳۵/۰۸		
	زیاد	۴۲/۴۷		
	خیلی زیاد	۱۷/۸۱		
نروفازی با تابع عضویت مثلثی	کم	۲۸/۳۲	۰/۴۰۳	۰/۴۰۱
	متوسط	۲۶/۹		
	زیاد	۲۳/۴۵		
	خیلی زیاد	۲۱/۳۱		

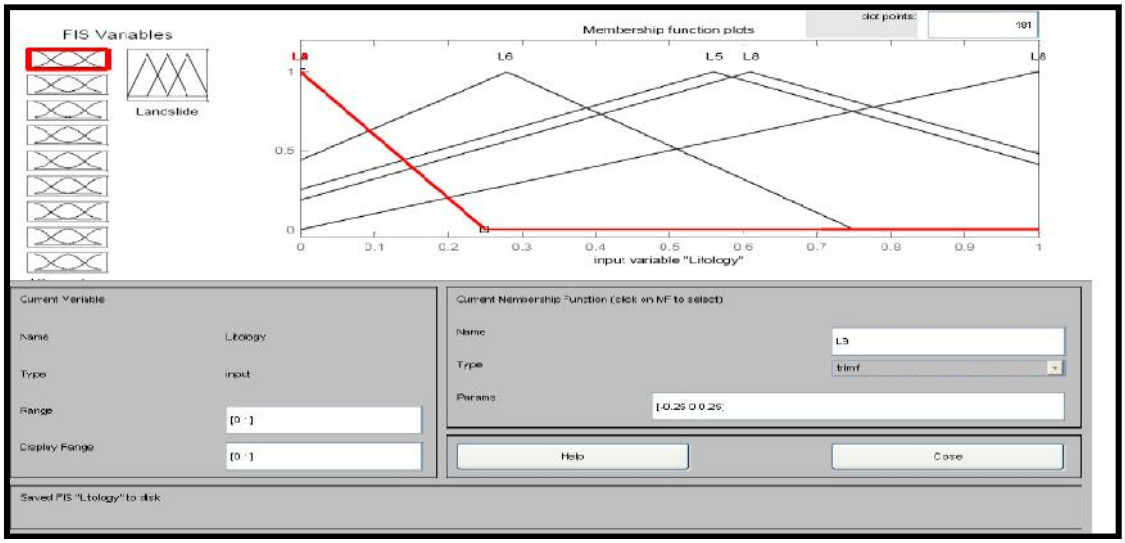


شکل ۴ (A)- نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده تابع عضویت گوسی در مدل ANFIS
(B)- نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده تابع عضویت مثلثی در مدل ANFIS

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]



شکل ۵- تابع عضویت گوسی عامل جهت شیب



شکل ۶- تابع عضویت مثلثی عامل سنگ‌شناسی

در این مطالعه از نرو فازی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده گردید. هم‌چنین برای اعتبارسنجی مدل از روش‌های RMSE وMAE استفاده شد. نتایج نشان داد مدل ANFIS از کارایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت لغزش برخوردار بوده که با نتایج اوه و همکاران (۱۹) مطابقت داشت. توجیه موضوع می‌تواند به این صورت باشد که نروفازی به دلیل تنظیمات زیاد و خصوصیات آن و همچنین خاصیت انعطاف‌پذیری آن با دنیای واقعی، سازگارتر می‌باشد. در واقع نرو فازی توانست بین ورودی‌های مختلف خروجی مناسبی را تهیه و ارتباط مناسب‌تری را بین ورودی‌ها برقرار نماید. در این مطالعه از دو تابع عضویت فازی گوسی و مثلثی برای نروفازی استفاده گردید که نتایج ارزیابی نشان داد تابع عضویت گوسی کارایی بهتری نسبت به تابع مثلثی داشت. مساحت نقشه‌های خطر نشان داد بخش زیادی از این حوزه در خطر زیاد قرار دارد که نشان‌دهنده خطرپذیری بالای این حوزه در برابر لغزش‌ها می‌باشد به طوری که دقت در جدول ۱ نشان می‌دهد که بین سازندهای زمین‌شناسی با وقوع زمین‌لغزش ارتباط نزدیکی وجود دارد. در بین سازندهای زمین‌شناسی، سازند الیکا با لیتولوژی سنگ آهک مارنی نازک‌لایه تا شیل که روی رسوبات الیکا TRe2 با لیتولوژی سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه تا توده‌ای شکل قرار گرفته است بیش‌ترین حساسیت را به وقوع زمین‌لغزش دارند. این سازند ذاتاً به ایجاد حرکت‌های توده‌ای حساس نیست اما به دلیل وسعت زیاد منطقه تحت پوشش خود

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

و هم‌چنین عوامل دیگری از جمله تغیرات کاربری اراضی و قطع جنگل‌ها در بروز زمین‌لغزش‌های این سازند موثر می‌باشد هرچند وجود لایه‌های مارنی که در این سازند وجود دارد نیز در ایجاد لغزش‌ها تاثیرگذار است. ارتباط فاصله از جاده و آبراهه نشان داده که هر چه از جاده‌ها و آبراهه‌ها فاصله می‌گیریم از میزان لغزش‌ها کاسته می‌شود به طوری که تا فاصله ۴۰۰ متری از آبراهه‌ها و جاده‌ها بیش‌ترین میزان لغزش مشاهده می‌شود. علت اصلی این موضوع آن است که جاده‌ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادل منطقه را به هم زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش زمین‌لغزش در نزدیکی جاده‌ها می شوند. شادفر و همکاران (۲۱)، فاطمی عقدا و همکاران (۸)، محمدی (۱۶)، پورقاسمی (۱۸)، دیومن و همکاران (۶)، لی (۷)، یالسین (۲۴) نیز به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش زمین‌لغزش در اطراف جاده و آبراهه‌ها رسیدند. هم‌چنین ساخت جاده در مناطق جنگلی و عدم توجه به مکان‌های مناسب در اجرای کار و عدم بکارگیری مناسب زهکش‌ها به منظور خروج به موقع بارندگی سطح جاده نیز در وقوع لغزش‌ها در اطراف جاده موثر بوده است. بررسی کلاس شیب نشان داده که بیش‌ترین وزن مربوط به کلاس شیب مربوط به شیب بیشتر از ۶۰ درصد می‌باشد. در شیب‌های کم معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک چون نیروی ثقل است. اما در شیب بالای ۶۰ درصد عکس این حالت وجود داشته که به علت ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی خاص منطقه واز، شرایط خاک‌سازی در این درجه از شیب کاملاً مهیا بوده که بالا بودن نیروی ثقل شرایط برای لغزش کمک شایانی کرده است. یافته‌های این تحقیق با مطالعات فوملیس و همکاران (۱۹) و احمدی و همکاران (۲،۱) در اطراف مناطق مسکونی و باغات لغزش‌های زیادی رخ داده است. چرا که یکی از دلایل عمده وقوع لغزش‌ها تغییرات کاربری اراضی و قطع جنگل‌ها به مناطق مسکونی و تبدیل آنها بعضاً به باغات، عمده‌ترین عامل ایجاد زمین‌لغزش‌های این حوزه می‌باشد این شرایط زمانی تشدید شده که ویژگی‌های فیزیوگرافی نظیر شیب نیز مزید بر علت گردیده و حرکت توده‌های لغزشی را در نبود ریشه‌های درختان تشدید کرده است. که این نتایج با تحقیقات احمدی و همکاران (۱)، شادفر و همکاران (۲۱)، فاطمی عقدا و همکاران (۸)، محمدی (۱۶)، ارکانوقلو و همکاران (۷) مطابقت دارد.

منابع

1. Ahmadi, H. and S. Mohammadchan. 2003. Investigation of some parameters of massmovements, Case study: Taleghn watershed. Iranian Journal of natural Resources, 55: 455-436. (In Persian)
2. Ahmadi, H., S. Mohammadchan, S. Feiznia and J. Ghodosi. 2006. The made area model mass movements' hazard using quality characteristics and AHP systems, Case study: Taleghn watershed. Iranian Journal of natural Resources, 58: 3-14. (In Persian)
3. Bui, D.T., B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug and O.B. Dick. 2012. Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. Geomorphology, 172: 12-29.
4. Carrara, A. 1983. A multivariate model for landslide hazard evaluation. Journal of Mathematical Geology, 15: 403-426.
5. Cobanner, M., B. Unal and O. Kisi. 2009. Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro-fuzzy and neural network approaches using hydro meteorological data. Journal of Hydrology, 367: 52-61.
6. Duman, T.Y., T. Can, C. Gokceoglu, H.A. Nefeslioglu and H. Sonmez. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of CekmeceArea, Istanbul, Turkey. Environmental Geology, 51: 241-256.
7. Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Engineering Geology, 75: 229-250.
8. Fatemiaghda, M., J. Ghiomian and A. Eshgheli Farahani. 2004. Evaluation efficiency statistics methods in determined Landslide hazard potential. Journal of Geosciences, 11: 28-47.
9. Foumelis, M., E. Lekkas and I. Parcharidis. 2004. Landslide Susceptibility Mapping by GIS-Based Qualitative Weighting Procedure in Corinth Area. Bulletin of the Geological society of Greece, 3: 33-45.
10. Jang, J.S. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions Systems Manage Cybernetics, 23: 665-685.
11. Jia, N., Y. Mitani, M. Xie and I. Djamaluddin. 2012. Shallow landslide hazard assessment using a three-dimensional deterministic model in a mountainous area. Computers and Geotechnics, 45: 1-10.
12. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17-28.
13. Lee, S. and K. Min. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40: 1095-1113.
14. Lee, S., J. Choi and K. Min. 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. International Journal of Remote Sensing, 25: 2037-2052.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

15. Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operator's landslide susceptibility mapping. Environmental Geology, 52: 615-623.
16. Mohammadi, M. 2006. Mass Movement Hazard Analysis and Presentation of Suitable Regional Model using GIS, M.Sc. thesis, watershed management, natural resources faculty of Tarbiat Modares University, 80 pp. (In Persian)
17. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers and Geosciences, 37: 1264-1276.
18. Porghasemi, H. 2006. Landslide Hazard Assessment Using of Fuzzy Logic, M.Sc. thesis, Watershed Management, natural resources faculty of Tarbiat Modares University, 92 p. (In Persian)
19. Pradhan, B., E. AkcapinarSezer, C. Gokceoglu and M.F. Buchroithner. 2010c. Land- slide susceptibility mapping by neuro-fuzzy approach in a landslide prone area (Cameron Highland, Malaysia). IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing 48: 4164-4177.
20. Robin Fell, J., C. Corominas, L. Bonnard, E. Cascini, W. Leroi and P. Savage. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zonation for land-use planning. Engineering Geology, 102: 99-111.
21. Shadfar, S., M. Yamani and M. Namaki. 2006. Landslide hazard zoning using information value, area intensity and LNRE models in Chalakrood watershed. Journal of water and watershed, 3: 62-68. (In Persian)
22. Vafakhah, M. 2008. Runoff from snow to simulate artificial neural networks, fuzzy logic and data to measure snow in the watershed Taleqhan, Ph.D. thesis, Watershed Management, Natural Resources Faculty of Tehran University, 122 pp. (In Persian)
23. VanWesten, C.J. 1997. Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for Windows application guide. ITC Publication, Enschede, pp: 73-84.
24. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena, 72: 1-12.
25. Yalcin, A., S. Reis, A.C. Aydinoglu and T. Yomralioglu. 2012. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Catena, 85: 274-287.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]

Landslide Hazard Assessment by using Neuro-Fuzzy Technique in Vaz Watershed

Mohammad Zare[1], Alireza Moghaddamnia[2], Sadegh Tali Khoshk[3] and Hossein Salmani[4]

1 and 4- Ph.D. Student and M.Sc., University of Tehran
2- Associate Professor, University of Tehran
(Corresponding author: a.moghaddamnia@ut.ac.i)
3- Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: December 4, 2012 Accepted: May 12, 2013

Abstract

In this study, Neuro-Fuzzy model was used to prepare the map of Vaz watershed landslide susceptibility in GIS environment. Location of landslides occurred in the study area was determined through interpretation of aerial photographs and the field monitoring. In the next step, factors affecting landslide occurrence such as altitude, lithology, slope, aspect, distance to drainage, distance to road, distance to fault, rainfall, and land use were digitized. Then, landslide susceptible areas were assessed by using ANFIS model based on factors affecting landslide occurrence. For this purpose, two membership functions of triangulate and Gaussian were used to prepare landslide susceptibility map and compare their results. Two statistical criteria of RMSE and MEE were employed to evaluate model performance. The results showed high efficiency of ANFIS model for preparing landslide susceptibility map and also the ANFIS model with Gaussian membership function over-performed the ANFIS model with Triangular membership function in the study area. Landslide hazard map showed that the regions with high risk have the most area indicating high risk-taking of Vaz watershed in occurrence of landslides.

Keywords: Neuro-Fuzzy, Fuzzy, Membership function, Landslide, Vaz watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-10]