

## بررسی و تحلیل مدل‌های AHP و شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه‌های جنوبی البرز (منطقه تجریش تهران)

دکتر محسن رنجبر<sup>۱</sup>، عسل فلک<sup>۲</sup>

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

### چکیده

در این تحقیق پس از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات در مناطق مشابه، ۹ فاکتور به عنوان عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش منطقه شناسایی و به منظور تحلیل خطر در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه زمین‌لغزش‌های موجود نیز از طریق عملیات میدانی و با استفاده از دستگاه GPS تهیه گردید. ۹ لایه اطلاعاتی آماده شده در ArcGIS با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین‌لغزش‌ها تطابق داده شد و اطلاعات میزان زمین‌لغزش‌ها در هر یک از کلاسه‌ها و مساحت آنها به دست آمد. پس از تعیین نرخ هر یک از عوامل، پهنه‌بندی با استفاده از شبکه عصبی و تحلیل سلسله مراتبی اجرا گردید. کارایی هر یک از این مدل‌ها براساس نتایج خروجی مدل‌ها و با استفاده از دو شاخص دانسیته نسبی (Qs) و جمع مطلوبیت (Dr) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص Dr نشان داد که نقشه تهیه شده با استفاده از شبکه عصبی نسبت به نقشه تهیه شده با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی دقت بالاتری برای منطقه مورد مطالعه دارد.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی زمین‌لغزش، تحلیل سلسله مراتبی، شبکه عصبی مصنوعی.

### ۱-مقدمه:

حرکت‌های توده‌ای عبارتند از: جابجایی حجم زیادی از توده‌های خاک، سنگ و یا ترکیبی از آنها به طرف پایین در اثر نیروی ثقل، (مقیم و همکاران، ۱۳۸۷). لذا حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد. زمین‌لغزش موجب خسارت به انواع سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و در پی آن ایجاد رسوب و سیلاب‌های گل‌آلود و در نهایت پر شدن مخازن سدها می‌گردد، افزون بر آن اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند مهاجرت و بیکاری را نباید نادیده گرفت، (Lin et al, 2008). رشد بی‌رویه جمعیت و به تبع آن پیشرفت علم و تکنولوژی این امکان را به بشر داده تا منابع طبیعی را بیش از پیش مورد بهره‌برداری قرار دهد. بی‌شک یکی از مهم‌ترین خساراتی که بشر به واسطه این تعدی از طبیعت متحمل می‌شود، افزایش وقوع بلایای طبیعی است. عدم توجه به این مسأله خسارات جبران‌ناپذیری را می‌تواند به دنبال داشته باشد. شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی با استفاده از

مدل‌های مختلف یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در مدیریت مناطق لغزه‌خیز، جهت کاهش هزینه ساخت و نگهداری می‌باشد. مدل‌ها و راه‌کارهای بسیار زیادی برای ارزیابی مناسب خطر رانش زمین توسط محققان مختلف در سرتاسر دنیا پیشنهاد شده است، به طوری که روش‌های مختلفی برای بررسی مناطق لغزشی به صورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه گردیده که از آن جمله می‌توان به مدل‌های آماری، تجربی، فازی و... که از مهم‌ترین مدل‌های پهنه‌بندی می‌باشند اشاره کرد. از جمله مدل‌های متداول می‌توان به دو روش<sup>۱</sup> AHP و شبکه عصبی اشاره نمود. بررسی کارایی هر یک از این دو روش و یا دیگر روش‌ها و همچنین مقایسه آنها با دیگر روش‌ها از جمله موضوعات تحقیقات مهم برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق مختلف می‌باشد. از جمله تحقیقات انجام شده در داخل کشور به، (وحیدنیا و همکاران، ۲۰۱۰؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۹)، و تحقیقات خارج کشور به، Lee and Pradhan, 2010; Lin, 2007 Yilmaz, 2008; Nandi and Shakoor, 2009; Angillieri, 2010; Regmi et al, 2010; Das et al, 2010; Oh and pradhan, 2011 در رابطه با ارزیابی کارایی مدل‌های آنالیز آماری خطر لغزش می‌توان اشاره کرد.

هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی، مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و شبکه عصبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز البرز مرکزی و استفاده از نقشه حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جهت کاهش خطرات مالی و جانی می‌باشد.

با توجه به مطالب گفته شده محقق در این پژوهش به دنبال اثبات و رسیدن به جواب سوالات و فرضیه‌های ذیل می‌باشد.

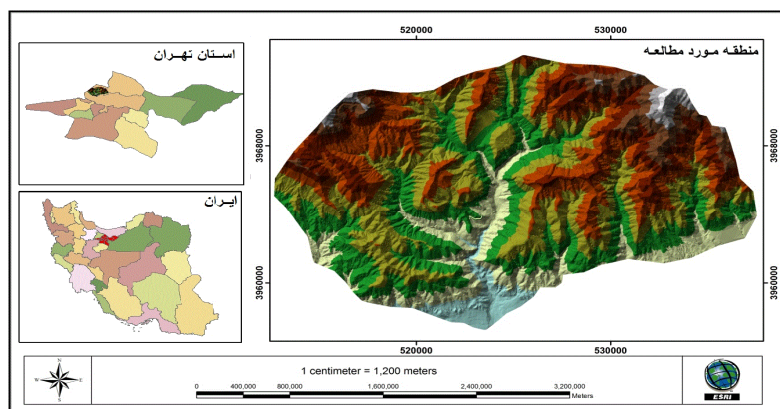
۱- با توجه به توپوگرافی و شیب زیاد منطقه به نظر می‌رسد که عناصر ژئومورفولوژیکی در ایجاد زمین لغزش تاثیر دارند.

۲- به نظر می‌رسد هر شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه در احتمال وقوع زمین لغزش موثر است و نقش زیادی دارد.

۲- مواد و روش‌ها:

۲-۱- منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز مورد مطالعه بخشی از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در شمال استان تهران (منطقه تجریش) به محدوده



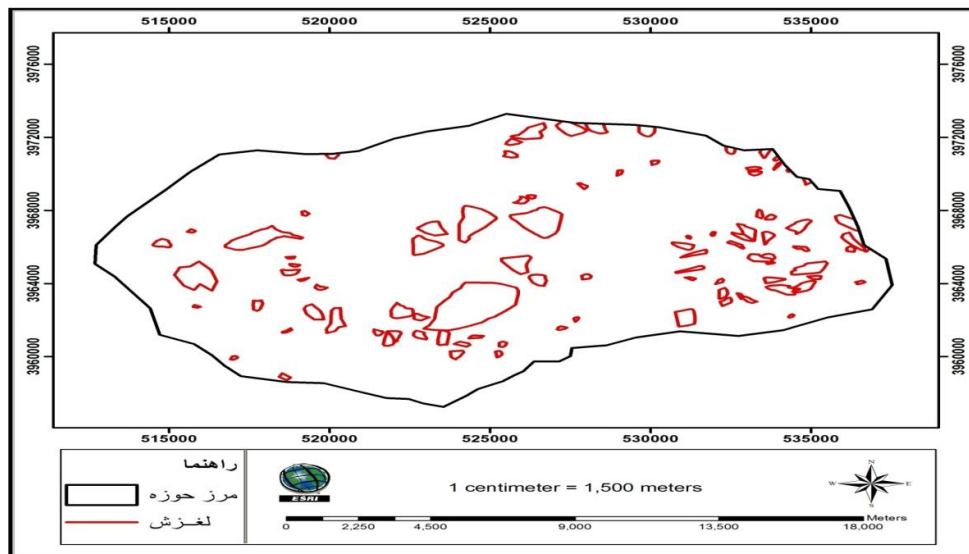
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup> = Analytical hierarchy process

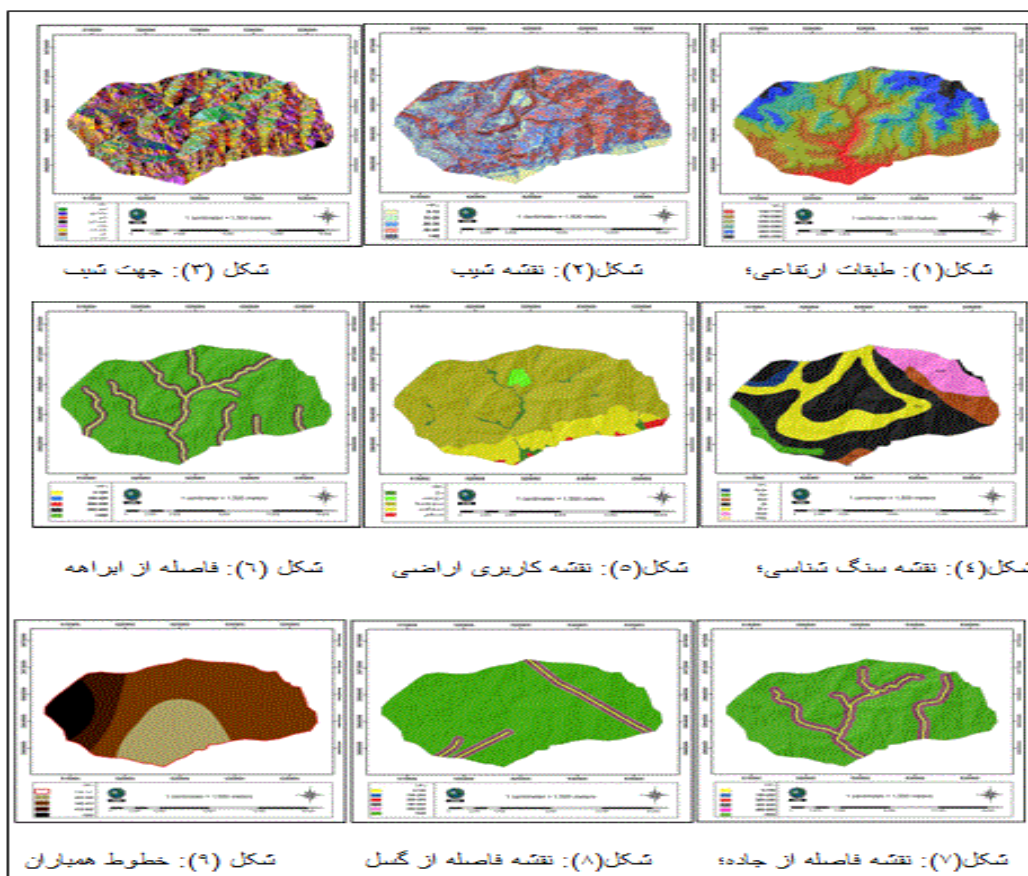
جغرافیایی ۴۵° تا ۳۵°۵۲' عرض شمالی و ۵۱°۲۴' تا ۵۱°۷' طول شرقی واقع شده است. مساحت کل حوزه مورد بررسی تقریباً 26632.45 هکتار است. پایین‌ترین نقطه آن ۱۳۴۰ متر و بالاترین نقطه آن ۳۵۵۰ متر ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز ۳۹۵ میلی‌متر و در یک دوره ۴۵ ساله بیش‌ترین دمای منطقه ۴۳ درجه سلسیوس و کم‌ترین دمای آن ۱۵- درجه سلسیوس گزارش شده است.

## ۲-۲- روش تحقیق:

هدف نهایی از این کار تهیه نقشه احتمالی خطر لغزش بوده است. لذا اولین گام، جمع‌آوری داده‌های لازم برای ارزیابی این پدیده می‌باشد. بدین منظور ابتداً برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، با انجام عملیات صحرایی در کل منطقه مشخصات هر یک از لغزش‌ها مطابق پرسشنامه دفتر مطالعاتی و ارزیابی آبخیزها ثبت گردید، موقعیت و مساحت زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه با استفاده از GPS ثبت و نقشه پراکنش آنها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. با استفاده از تجربیات افراد متخصص ۹ عامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه به عنوان عوامل موثر اولیه تشخیص داده شدند. با بررسی‌های لازم روی اطلاعات موجود از قبیل، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی منطقه، عکس‌های هوایی با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، آمار بارندگی و به روز نمودن آنها، این اطلاعات رقومی گردیدند. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS)، نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) از روی نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شد، سپس نقشه طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب از روی DEM ساخته شد. نقشه عناصر خطی شامل فاصله از گسل، جاده و شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه تهیه شد. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه سازندهای زمین‌شناسی محدوده در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. نقشه بارش منطقه نیز از میان‌یابی ایستگاه‌های داخل و مجاور حوزه به دست آمد. تمام داده‌ها در فرمت‌های برداری و رستری در محیط نرم‌افزار ArcGIS ذخیره شد تا در تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزارهای Excel و SPSS از آنها استفاده شود. در نهایت با همپوشانی نقشه‌های تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه حساسیت به زمین‌لغزش با روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شبکه عصبی به صورت جداگانه بدست آمده و مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که طی مطالعات انجام شده ۱۰۵ پهنه لغزشی مجموعاً به وسعت ۴۶۹,۷۵ هکتار در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه پراکنش نقطه‌ای و سطحی آنها تهیه گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه عوامل موثر در ایجاد لغزش در منطقه مورد مطالعه

## ۳-۲- اولویت‌بندی فاکتورهای موثر با استفاده از AHP:

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند، از مزایای AHP 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، (Ayalew et al, 2005). روش کار به شرح زیر می‌باشد.

ابتدا با توجه به مشخصات منطقه و با استفاده از جدول (۱)، مقایسات زوجی توسط متخصصین هیئت علمی دانشگاه آزاد تهران مرکز و متخصصین اجرایی (کارکنان سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور) بین ۹ عامل انتخابی مؤثر در ایجاد خطر زمین‌لغزش انجام شد. سپس نتایج این مقایسات به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد و در آنجا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه گردید، جهت کنترل درستی ارزیابی متخصصین، ضریب ناسازگاری توسط نرم‌افزار Expert Choice تعیین گردید. که اگر ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسات انجام می‌شود، (قدسی پور، ۱۳۸۴). ضریب ناسازگاری در این تحقیق ۰/۰۳ به دست آمد که قابل قبول است.

جدول ۱: مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مهمتر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲ و ۰	اولویت بین فواصل

سطح همبستگی بین نقاط لغزشی و کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر در ایجاد خطر لغزش با استفاده از مدل احتمالی نسبت فراوانی<sup>۱</sup> FR، تعیین گردید. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع خطر لغزش مشخص، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS)، درصد پیکسل‌های لغزشی و غیرلغزشی منطقه مورد مطالعه تعیین و نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاسه‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزشی (درصد پیکسل‌هایی که در آنها لغزش اتفاق افتاده)، به مناطق غیرلغزشی (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه گردید. سپس شاخص حساسیت به لغزش براساس رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$LSI = \sum FR$$

رابطه (۱)

1- Frequency Ratio

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش، FR: وزن هریک از عوامل مؤثر بر وقوع خطر زمین لغزش می‌باشد. در این رابطه اگر  $FR > 1$  باشد همبستگی عوامل مؤثر با لغزش بسیار زیاد و اگر  $FR < 1$  باشد این همبستگی بسیار ضعیف است.

همانطور که بیان شد، وزن هر یک از ۹ عامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و نرخ کلاسه‌های عوامل با استفاده از مدل نسبت‌فراوانی به دست آمد. و در نهایت وزن هر عامل در نرخ کلاسه‌های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر طبقه به دست آمد، (رابطه ۲). با ضرب معادله به دست آمده در نقشه عوامل مؤثر در وقوع خطر زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نهایی با استفاده از AHP در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. رابطه (۲)

$$M = 0.100x_1 + 0.059x_2 + 0.165x_3 + 0.048x_4 + 0.092x_5 + 0.237x_6 + 0.143x_7 + 0.128x_8 + 0.028x_9$$

که در آن M: عامل حساسیت و  $x_1$  تا  $x_9$  به ترتیب فاکتورهای کاربری اراضی، فاصله از جاده، زمین شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، درجه شیب، بارندگی، جهت شیب و ارتفاع می‌باشد.

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، ابتدا در محیط نرم‌افزار MATLAB برنامه‌ای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی نوشته شد، در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی پیشخور با ساختار پرسپترون چند لایه به دلیل کارایی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی، با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا و تابع غیرخطی سیگموئید ( $f$ ) استفاده گردید. سپس شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI بدست آمده از روش احتمالی نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف، جهت ورود به برنامه MATLAB، نرم‌الیزه و از کم به زیاد کدبندی شدند. از توابع آموزشی trainlm جهت آموزش شبکه و از تابع RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) به عنوان تابع هدف، که بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود و تعیین ساختار پهنه شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد استفاده گردید، به طور تصادفی  $\frac{2}{3}$  از داده‌های لغزشی و غیرلغزشی انتخاب و برای آموزش شبکه و از  $\frac{1}{3}$  باقیمانده داده‌های لغزشی و غیرلغزشی برای آزمایش شبکه استفاده گردید. در مرحله یادگیری شبکه در هر تکرار با استفاده از روابط زیر مقادیر وزن را تغییر داده تا به مقادیر وزن مطلوب برسد. جهت تعیین وزن نهایی طبقات هر عامل در شبکه عصبی مصنوعی از روابط زیر در نرم افزار استفاده گردید.

$$net = \sum_i w_{ij} o_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

$w_{ij}$  وزن بین واحد پردازشگر

$i, j$  و  $o_i$  خروجی واحد پردازشگر  $j$

$$o_j = f(net_j) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$f$  تابع فعال

در نهایت با استفاده از خروجی نهایی شبکه عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش برای پیش‌بینی وقوع زمین لغزش در آینده تهیه گردید.

## ۲-۴- ارزیابی روش پهنه‌بندی:

از آنجا که نمی‌توان جهت ارزیابی نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه استفاده کرد، لذا جهت حل این مشکل از ۱۰۵ پهنه لغزشی که در منطقه شناسایی گردید، ۲/۳ نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و ۱/۳ نقاط لغزشی برای کالیبره کردن مدل استفاده گردید، (Komac, 2006). سپس نقشه حاصله با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مقایسه شد. برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها یا نسبت تراکمی (Dr) در هر یک از رده‌های خطر استفاده می‌شود. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین‌لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش محاسبه می‌گردد.

مقدار QS نشان‌دهنده مطلوبیت عملکرد مدل در پیش‌بینی خطر لغزش زمین در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. هرچه این مقدار بیشتر باشد، نشان‌دهنده مطلوبیت بهتر عملکرد روش و یا مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد، (شریعت جعفری، ۲۰۰۶).

$$QS = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن n: تعداد رده‌های خطر و S: مساحت رده خطر به درصد در منطقه است.

## ۳- نتایج:

با استفاده از قابلیت نرم‌افزار ArcGIS و آنالیزهای انجام شده بر روی عوامل مؤثر در ایجاد خطر لغزش، تأثیر هر یک از کلاس‌های عوامل مختلف در ایجاد خطر زمین‌لغزش بررسی و پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس هر لایه اطلاعاتی در ایجاد خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش نسبت فراوانی مشخص گردید که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲: پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس‌های مربوط به هر کدام از عوامل

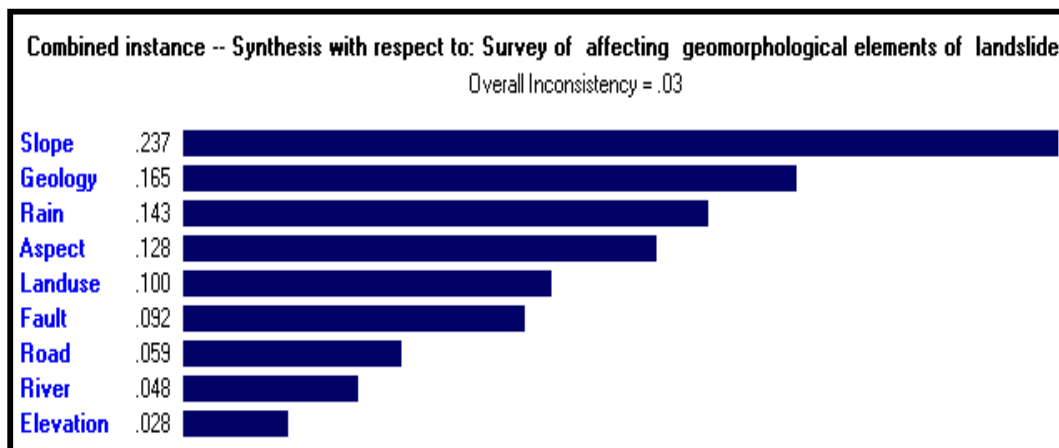
کلاس	عامل پراثرترین کم‌اثرترین
< ۲۰۰۰-۱۷۰۰-۱۳۰۰ طبقات ارتفاعی	
> ۲۰-۴۰-۳۰ درجه شیب	
جنوب شرقی شمال جهت شیب	
زمین شناس مرتع خوب باغات اراضی کاربری < ۳۰۰ فاصله از آبراهه ۱۰۰-۵۰۰-۱۰۰ فاصله از جاده Plaq Eavt	
۴۰۰-۳۰۰-۳۰۰ فاصله از گسل < ۴۱۰-۳۵۰-۲۵۰ بارندگی	

Eavt = توف آتشفشانی آندزیت؛ Plaq = کنگلومرای کوآتر پلیوسن، کنگلومرای رودخانه و ماسه سنگ؛

نتایج مقایسات زوجی نظرات هیئت علمی و متخصصین اجرایی بین ۹ عامل مؤثر در ایجاد خطر لغزش به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد، (جدول ۳). با استفاده از قابلیت‌های این نرم‌افزار وزن نهایی و همچنین ضریب ناسازگاری، (شیب = ۰/۲۳۷، سنگ‌شناسی = ۰/۱۶۵، بارندگی = ۰/۱۴۳، جهت = ۰/۱۲۸، کاربری اراضی = ۰/۱۰۰، فاصله از گسل = ۰/۰۹۲، فاصله از جاده = ۰/۰۵۹، فاصله از آبراهه = ۰/۰۴۸، ارتفاع از سطح دریا = ۰/۰۲۸ و ضریب ناسازگاری = ۰/۰۳)، برای هر عامل محاسبه گردید. (شکل ۳)

جدول ۳: ورود قضاوت کارشناسی به نرم افزار Expert Choice

	ارتفاع	شیب	جهت	سنگ شناسی	کاربری اراضی	فاصله از گسل	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	بارندگی
ارتفاع		۶/۶۰	۳/۹۱	۴/۷۱	۴/۳۷	۳/۷۷	۳/۱۷	۲/۸۸	۲/۷۵
شیب			۱/۲۵	۲/۲۸	۲/۲۸	۳	۳/۵۵	۴/۳۷	۲/۲۸
جهت				۲/۲۸	۱/۱۰	۱/۱۴	۲/۲۸	۲/۶۲	۱/۵۵
سنگ شناسی					۱/۵۸	۲/۵۱	۳/۳۰	۳/۶۳	۱/۵۸
کاربری اراضی						۱/۲۵	۲	۱/۹۵	۲/۲۸
فاصله از گسل							۲	۲/۶۲	۱/۷۰
فاصله از جاده								۱/۵۸	۲/۲۸
فاصله از آبراهه									۳/۰۳
بارندگی									

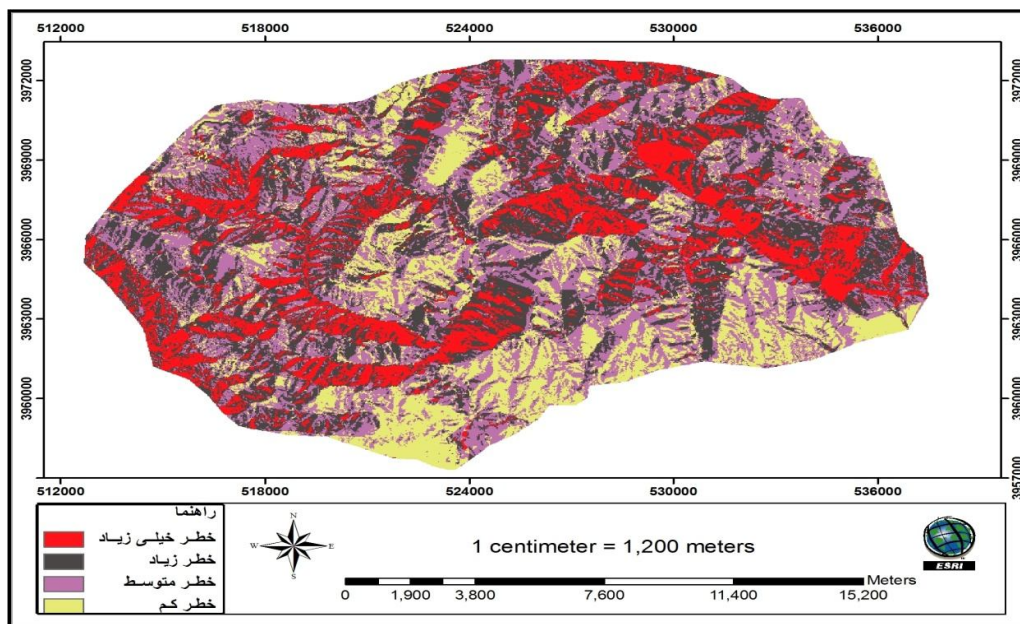


شکل ۴: اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر در نرم افزار Expert Choice

با توجه به نرخ‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی برای کلاس‌های عوامل مختلف و وزن‌های بدست آمده برای هر یک از عوامل با استفاده از مدل AHP، برای تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، وزن هر فاکتور در وزن کلاس‌های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر طبقه به دست آمد. با ضرب معادله به دست آمده رابطه (۳) در نقشه هر یک از عوامل، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS بدست آمد و نقشه



نهایی به چهار کلاس خطر: کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس بندی شد. (شکل ۴). برای کلاسه بندی نقشه نهایی، از نمودار فراوانی تجمعی پیکسل ها استفاده شده است، به نحوی که در روی این منحنی، مناطقی که شیب منحنی تغییر پیدا می کند، به عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته می شود.



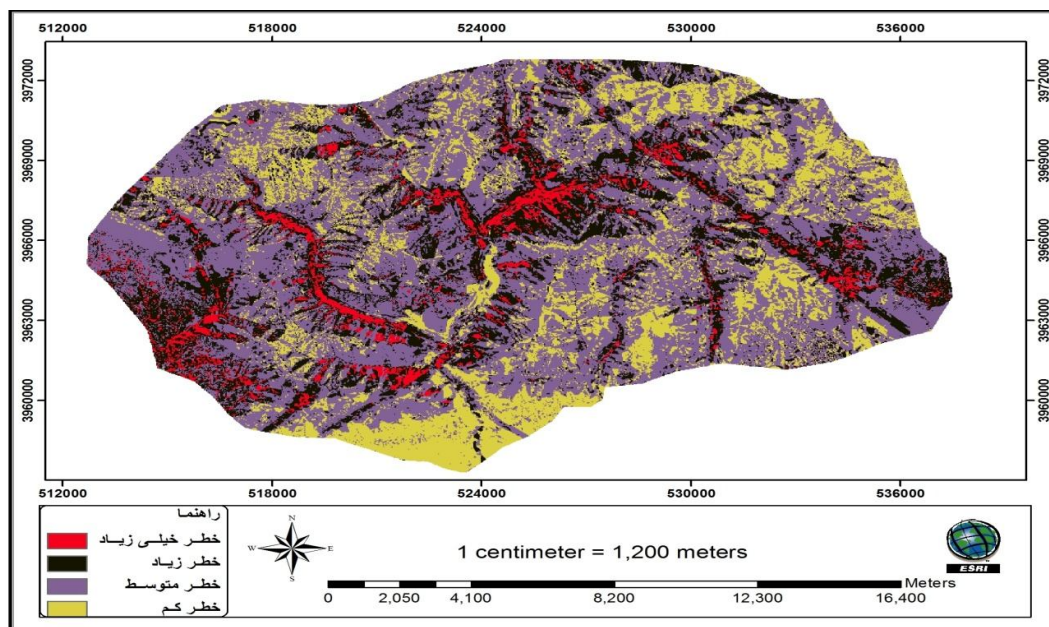
شکل ۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP

پس از تعیین داده های آموزش و آزمایش شبکه، پارامترهای موثر در تغییر وزن ها در شبکه به صورت سعی و خطا مورد آزمون قرار گرفته، در نهایت بهترین ساختار برای شبکه عصبی تعیین شد.

جدول ۴: ساختار بهینه شبکه عصبی در مطالعه انجام شده

تعداد تکرار ۱۵۰	تابع آموزشی trainlm
تابع فعال Tansig و logsig و Tansig	$R^2$
نسبت یادگیری ۰/۴	RMSE

همچنین هر یک از عوامل نه گانه موثر در ایجاد خطر لغزش به صورت نقشه های رستری تهیه و بعد از تعیین واحدهای کاری کل حوزه (۴۲۴۷۶۹ عدد) و همچنین پیکسل های هر زیر کلاس، در نهایت با استفاده از نرم افزار مطلب و برنامه نوشته شده مورد انالیز قرار گرفتند، که در آن تعداد نرون در لایه ورودی، به تعداد عوامل موثر یعنی ۹ عدد بوده و تعداد نرون های خروجی نیز بر اساس هدف تحقیق (تهیه پیکسل های لغزشی و غیر لغزشی جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش) یک عدد بوده و در نهایت نقشه پهنه بندی خطر لغزش با استفاده از نرم افزار شبکه عصبی تهیه گردید.



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش با استفاده از شبکه عصبی

نتایج ارزیابی نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش‌های AHP و شبکه عصبی نشان می‌دهد که در ارتباط با پیش‌بینی خطر و تفکیک کلاسه‌های خطر در کلاسه‌های خطر بالا از دقت خوبی نسبت به کلاسه‌های پایین برخوردار می‌باشند، (جدول ۵)

جدول ۵: نتایج ارزیابی نقشه خطر لغزش با استفاده از مدل AHP

طبقات خطر Landslide % Area % DR QS			
کم	۱۶/۹۸	۹/۷۸	۳/۰۵۰/۵۷
متوسط	۳۱/۴۸	۲۹/۳۴	۰/۱۴۰/۹۳
زیاد	۳۳/۱۲	۳۷/۶۹	۰/۶۲
خیلی زیاد	۱۸/۳۹	۲۳/۱۷	۱/۲۴
جمع کل			۵/۰۷

جدول ۶: نتایج ارزیابی نقشه خطر لغزش با استفاده از مدل شبکه عصبی

طبقات خطر Landslide % Area % DR QS			
کم	۲۰/۱۳	۱۳/۶۵	۲/۰۸۰/۶۸
متوسط	۵۲/۴۴	۵۰/۵۱	۰/۰۷۰/۹۶
زیاد	۲۲/۵۹	۲۷/۰۲	۰/۸۶
خیلی زیاد	۴/۸۴	۸/۸۲	۳/۲۷
جمع کل			۶/۲۹

## ۴- بحث:

نتایج وزندهی عوامل مؤثر در ایجاد خطر زمین لغزش براساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نشان می‌دهد که، عامل شیب=۰/۲۳۷، مهمترین عامل مؤثر در وقوع لغزش می‌باشد. که با نتایج تحقیقات، کانیاتی و همکاران (۲۰۰۸)، پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۷)، و محمدی و همکاران (۱۳۸۷)، مبنی بر تاثیر عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش مطابقت می‌کند، همچنین عوامل سنگ‌شناسی=۰/۱۶۵، بارندگی=۰/۱۴۳، در درجه بعدی عوامل مؤثر در ایجاد لغزش قرار دارند. در حالی که لیبی (۲۰۰۱)، عامل ارتفاع و کلارستاقی و احمدی، (۲۰۰۹)، دومان همکاران (۲۰۰۶)، کرکو و همکاران (۲۰۰۷) و وحیدیان (۲۰۱۱)، که عوامل پوشش گیاهی و فاصله از جاده را به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ذکر نموده است با نتایج حاصله در این تحقیق مطابقت ندارد. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش AHP نشان می‌دهد که ۱۶/۹۸ درصد از منطقه در خطر کم، ۳۱/۴۸ درصد از مساحت منطقه در خطر متوسط و به ترتیب ۳۳/۱۲ و ۱۸/۳۹ درصد منطقه در خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. این در حالی است که نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی نشان می‌دهد که ۲۰/۱۳ درصد از مساحت منطقه در خطر کم، ۵۲/۴۴ درصد از منطقه در خطر متوسط، ۲۲/۵۹ درصد از مساحت منطقه در خطر زیاد و ۴/۸۴ درصد از مساحت منطقه در خطر خیلی زیاد قرار دارند. که نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارد و باید توسط مدیران در سیاست‌های توسعه منطقه در نظر گرفته شود. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش حاصل از شبکه عصبی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تهیه نقشه لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه، نشان داده که برای منطقه مورد مطالعه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با شبکه عصبی بیشترین دقت و صحت را داشته است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که به منظور انجام هر گونه اقدامات اجرایی در منطقه توجه زیادی به نقشه حاصله به عنوان یک مبنا گردد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل بدست آمده از لایه‌ها و عوامل مؤثر در خطر لغزش، نشان داد که علیرغم تاثیر برخی عوامل طبیعی نظیر نوع سنگ، شیب و ارتفاع از سطح دریا در وقوع لغزش‌ها، کمبود پوشش گیاهی متراکم و احداث جاده تا حد زیادی به وقوع حرکات توده‌ای کمک می‌نماید، به‌طوری‌که اکثر مناطق حساس از نظر لغزش در نقشه نهایی پهنه‌بندی در اطراف جاده و مناطق مسکونی و اراضی با پوشش مرتعی قرار دارند.

## ۵- منابع:

- ۱- احمدی، ح.، محمد خان، ش.، فیض‌نیا، س.، قدوسی، ج. ۱۳۸۴، ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸: ۱۴-۳.
- ۲- سفیدگری، ر.، غیومیان، ج.، و فیض‌نیا، س. ۱۳۸۴، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ص ۵۷۴-۵۸۰.

- ۳- شیرانی، ک.، چاوشی، س.، غیومیان، ج. ۱۳۸۵، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهش علوم دانشگاه اصفهان، ۲۳.
- ۴- صالحی‌پور، ع.، ۱۳۸۰، بررسی پارامترهای هیدرومورفیک موثر در حرکات دامنه‌های حوضه آبریز قوری چای با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- ۵- فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح.، صفایی، م. ۱۳۸۳، بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه شیرین‌رود- سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷: ۲۰-۳.
- ۶- قدسی پور، س. ح. ۱۳۸۴، مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم، ۲۲۰ ص.
- ۷- مرادی، ح. ر.، محمدی، م.، پورقاسمی، ح. ر. ۱۳۸۹، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق مدل‌های AHP و تراکم سطح، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب.
- ۸- مقیمی، ا. علوی پنا، س. ک.، جعفری، ت. ۱۳۸۷، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ، پژوهش‌های جغرافیایی، ۷۵-۵۳-۶۴.
- ۹- مقیمی، ا.، علوی پنا، س. ک.، جعفری، ت. ۱۳۸۷، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ، پژوهش‌های جغرافیایی، ۷۵-۵۳-۶۴.
- ۱۰- ملکی، ا.، قربانپور، ع. ۱۳۸۷، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه چرمه شهرستان سنقر استان کرمانشاه، جغرافیا توسعه، ش ۱۲، ص. ۱۸۷-۱۹۸.
- ۱۱- نصیری، ش. ۱۳۸۳، نگرشی بر زمین لغزش‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیپها در جاده هراز)، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، صفحه ۱.
12. Angillieri, M.Y., 2010. Application of frequency ration and logistic regression to active rock glacier occurrence in the Andes of San Juan, Argentina. *Geomorphology*, 114, 396–405.
13. Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, central Japan. *Geomorphology*, 65, 15-31.
14. Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33–41.
15. Lin, W., Chou, W., Lin, C., 2008. Earthquake-induced landslide hazard and vegetation recovery assessment using remotely sensed data and a neural network-based classifier: a case study in central Taiwan, *Natural Hazards*, 47, 331–347.
16. Oh, H.J., Pradhan, B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers and Geosciences*, 10.012.
17. Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., Alimohammadi, A., Hosseinali, F., 2010. A GIS-based neurofuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences* (article online first available).04.004
18. 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, 1-1

19. 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 and Geosciences* 35 (6), 1125–1138.
20. Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to land slide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52, 615-623.