

## بررسی و تحلیل مدل هیبرید AHP و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

علی اصغر رحیمی نسب<sup>۱\*</sup>، هیراد عبقری<sup>۲</sup>، مهدی عرفانیان<sup>۳</sup>، عطاالله ندیری<sup>۴</sup>

### چکیده

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر، یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در کاهش خطرات احتمالی و مدیریت خطر می‌باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی مدل‌های آماری تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز زیارت گرگان می‌باشد. پس از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات در مناطق مشابه، ۹ فاکتور: شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و بارش به عنوان عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین لغزش منطقه شناسایی و به منظور تحلیل خطر در محیط GIS مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه زمین لغزش‌های موجود نیز از طریق عملیات میدانی و با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) تهیه گردید. ۹ لایه اطلاعاتی آماده شده در GIS با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌ها تطابق داده شد و اطلاعات میزان زمین لغزش‌ها در هر یک از کلاس‌ها و مساحت آنها به دست آمد. پس از تعیین نرخ هر یک از عوامل، پهنه‌بندی با استفاده از تلفیق مدل‌های تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی اجرا گردید. کارایی ترکیب 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 ترکیب دو مدل در تشخیص کلاس‌های با خطر بالا ( $Q_s=1/8$ ) نسبت به کلاس‌های با خطر پائین ( $Q_s=0/78$ ) خوب عمل نموده‌اند.

### واژه‌های کلیدی

زمین لغزش، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی، حوزه آبخیز زیارت، GIS

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، Email: Rahiminasab.ali@gmail.com

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، گروه مهندسی آبخیزداری Email: hiradab@gmail.com

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، گروه مهندسی آبخیزداری Email: erfaniyan.ma@gmail.com

۴. دانشجوی دکتری آبهای زیر زمینی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز Email: nadiri.ata@gmail.com

## Analysis and Investigation of Landslide Hazard Zoning using Hybrid Model of Hierarchical Analysis and Surface Density

Rahiminasab A.A.<sup>\*1</sup>, Abghary H<sup>2</sup>, Erfanian M<sup>3</sup>, Nadiry A.A.<sup>3</sup>

### Abstract

Identification of susceptible areas to landslide occurrence is one of the basic measures for reduction of the possible risk and hazard management. The main goal of this research is to compare the applicability of two statistical landslide hazard zonation models, valuing area accumulation and Analytical Hierarchy Process (AHP), in Ziarat Watershed, Gorgan, Golestan Province. In a review of previous works and field works, we chose nine factors of slope, aspect, elevation, lithology, landuse, river distance, road distance, fault and rainfall distance, and identified effective factors in landslide hazard, and used them to conduct an analysis risk by GIS software. Data from previous land slides in the study area were collected and GPS. These nine maps were crossed with the map of previous landslides. The amount of landslides and their areas were computed in each class. After determining the rate of each factor (element), we performed landslide zonation in GIS by combining density levels and AHP models. The efficiency of output results of the models was assessed by Drand QS indices. The results of Drindex showed that the combination of both models was more efficient in recognizing the hazard classes with high danger ( $Q_s=1/81$ ) compared to those of low danger ( $Q_s=0/78$ ).

### Keywords

Landslide, Valuing area accumulation, Analytical Hierarchy Process, ziarat watershed, GIS

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [rahiminasab.ali@gmail.com](mailto:rahiminasab.ali@gmail.com).

2. Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: [hiradab@gmail.com](mailto:hiradab@gmail.com).

3. Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. . Email: [erfanian.ma@gmail.com](mailto:erfanian.ma@gmail.com).

4. Ph.D. Student of Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: [nadiri.ata@gmail.com](mailto:nadiri.ata@gmail.com).

## مقدمه

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 سیلاب های 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. بی شک یکی از مهمترین خساراتی که بشر بواسطه این تعدی از طبیعت متحمل می‌شود، افزایش وقوع بلایای طبیعی است. 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 آماری می‌توان به دو روش<sup>1</sup> AHP و تراکم سطح 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, 2007; Lin et al, 2008; Yilmaz, 2009; Nandi and Shakoor, 2010; 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.

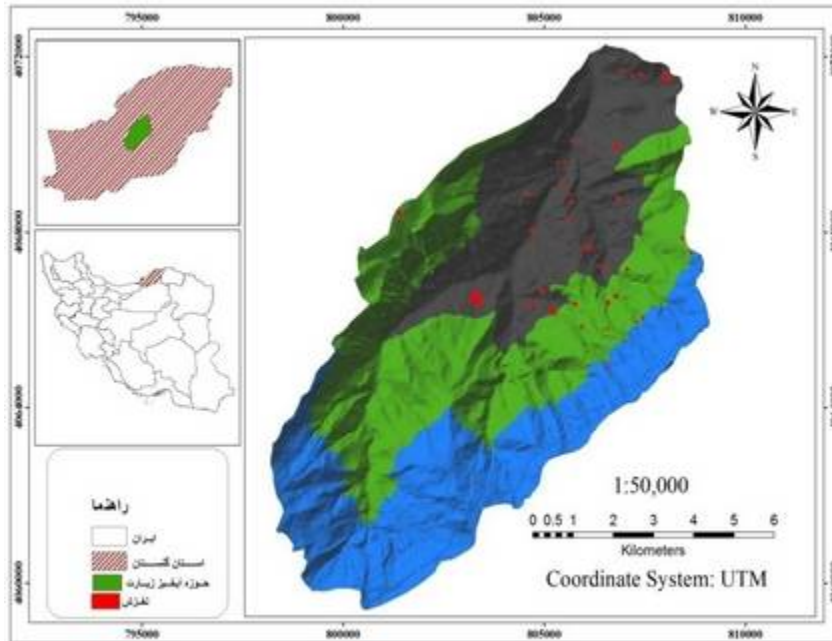
مهمترین نتایجی که اغلب محققین بدست آوردند این است که هر چه تعداد عوامل تأثیر گذار بیشتری در مطالعات لغزش در نظر گرفته شوند نتایج بهتری بدست می‌آید. با توجه به مطالب بیان شده، هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی، هیبرید مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز جنگلی زیارت گرگان و استفاده از نقشه حاصل از پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در جهت کاهش خطرات مالی و جانی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه زیارت یکی از زیرحوزه‌های، حوزه آبخیز قره‌سو در استان گلستان محسوب می‌شود و با شهر گرگان ۱۵ کیلومتر فاصله دارد، که در محدوده جغرافیایی "۳۶°۵۸' تا ۳۶°۱۱' عرض شمالی و "۵۴°۲۳'۵۵" تا "۵۴°۱۰'۱۳" طول شرقی واقع شده است. مساحت کل حوزه مورد بررسی تقریباً ۸۰۰۰ هکتار است. متوسط نزولات منطقه ۵۷۵ میلیمتر و متوسط دما ۵/۷ درجه سانتیگراد است. پایین ترین نقطه آن ۷۵۰ متر و بالاترین نقطه آن ۳۰۰۰ متر ارتفاع دارد.

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



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

هدف نهایی از این مطالعه تهیه نقشه احتمالی خطر لغزش بوده است. بنابراین اولین گام، جمع‌آوری داده‌های لازم برای ارزیابی این پدیده می‌باشد. بدین منظور ابتدا برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، با انجام عملیات صحرایی در کل منطقه مشخصات هر یک از لغزش‌ها مطابق پرسشنامه دفتر مطالعاتی و ارزیابی آبخیزها که در این پرسشنامه کلیه مشخصاتی که یک لغزش دارد از جمله نوع لغزش، مساحت، ارتفاع، موقعیت، سال وقوع و غیره ثبت گردید، موقعیت و مساحت ۴۶ زمین‌لغزش اتفاق افتاده در منطقه با استفاده از GPS ثبت و نقشه پراکنش آنها در محیط GIS 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 مؤثر اولیه تشخیص داده شدند (وحیدنیا و همکاران، 2011). 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 (GIS)، 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 GIS 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 Arc Gis ذخیره شد تا در تحلیل‌های آماری از آنها استفاده شود.

### اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر با استفاده از AHP

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (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 می دهد، همچنین در این روش می توان 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 می باشد.

ابتدا با توجه به مشخصات منطقه و با استفاده از جدول (۱)، مقایسات زوجی با نظر کارشناسی بین ۹ عامل انتخابی مؤثر در ایجاد خطر زمین لغزش انجام شد. سپس نتایج این مقایسات به صورت یک ماتریس به نرم افزار Expert Choice وارد شد و در آنجا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه گردید، (شکل ۲). این نرم افزار همچنین ضریب ناسازگاری را به ما می دهد که اگر کمتر از ۰/۱ باشد قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسات انجام می شود، (قدسی پور، ۱۳۸۴). ضریب ناسازگاری در این تحقیق ۰/۰۱ به دست آمد که قابل قبول است.

جدول ۱- مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی

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

### وزن دهی به طبقه های مختلف با استفاده از روش تراکم سطح

در این مرحله به منظور تعیین نرخ هر کلاسه که در پهنه بندی از اهمیت بالایی برخوردار است، از مطابقت دادن نقشه پراکنش زمین لغزش ها با هر کدام از لایه های اطلاعاتی استفاده شد. مساحت زمین لغزش های رخ داده در هر کلاسه به هکتار و مساحت هر کلاسه به هکتار و مساحت کل زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه استخراج، و طبق روابط (۱) و (۲) وزن هر کلاسه به دست آمد، (کلارستانی و احمدی، ۲۰۰۹، ۲۰۰۸). (Yalcin, 2008, 2009).

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{C}{D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$D_{area} = 1000 \times \frac{A}{B} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آنها  $D_{area}$ : تراکم سطح،  $W_{area}$ : وزن تراکم سطح،  $A$ : مساحت زمین لغزش هر واحد کاری،  $B$ : مساحت هر واحد کاری،  $C$ : مساحت کل زمین لغزش ها و  $D$ : مساحت کل منطقه است.

همانطور که بیان شد، وزن هر یک از ۹ عامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و نرخ هر کلاسه با استفاده از مدل تراکم سطح به دست آمد. و در نهایت وزن هر عامل در نرخ کلاسه های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر طبقه به دست آمد، (معادله ۳). با ضرب معادله به دست آمده در نقشه عوامل مؤثر در وقوع خطر زمین لغزش، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش نهایی در منطقه به دست آمد.

$$M = 1/179x_1 + 1/157x_2 + 1/154x_3 + 1/152x_4 + 1/93x_5 + 1/87x_6 + 1/69x_7 + 1/63x_8 + 1/46x_9 \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

### 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 ۴۶ نقطه 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<sup>۲</sup> ( $Dr$ ) در هر یک از رده‌های خطر استفاده می‌شود. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین‌لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین‌لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین‌لغزش محاسبه می‌گردد.

مقدار  $Q_s$  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).

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{رابطه (۴)}$$

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

### نتایج

نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه، برای هر یک از عوامل تأثیرگذار بر لغزش در جدول (۲) ارائه شده است. برای تفکیک واحدهای با دانسیته لغزش کمتر از حد نرمال، از واحدهای با دانسیته لغزش بیشتر از حد نرمال، از لگاریتم طبیعی استفاده گردید. استفاده از لگاریتم طبیعی در این مدل باعث می‌شود تا در مواقعی که دانسیته لغزش کمتر از نرمال است وزن‌های با نماد منفی بدهد و در مواردی که دانسیته لغزش بیشتر از حد نرمال است وزن‌های با نماد مثبت داشته باشیم (شریعت جعفری، ۲۰۰۶).

<sup>2</sup> Density ratio

جدول ۲- نرخ کلاسه‌های عوامل مؤثر در وقوع لغزش به روش تراکم سطح

کلاس	ارتفاع	جهت	شیب	زمین شناسی	کاربری اراضی	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	فاصله از گسل	بارندگی
۱	۷/۸	۱/۶	-۱/۳	-۵/۳	-۵/۳	۱۰/۲	۲۰/۸	۴/۸	-۲/۵
۲	۱۰/۲	۱/۴	-۰/۰۳	-۵/۳	-۰/۶	۳/۵	۷/۹	۷/۱	-۰/۱
۳	-۱/۴	-۱/۷	۱/۳	-۴	۲۷/۹	-۰/۸	۱/۲	۲/۳	۲/۷
۴	-۲/۸	-۴/۶	-۰/۹	۱/۳	۸	-۴/۶	-۴/۳	۸/۸	
۵	-۳/۸	۲/۱	-۱/۵	۲/۹	۰/۴	-۴/۶	-۱/۱	۵/۲	
۶	-۵/۳۳	۱۰/۴	-۵/۳	-۳			-۵/۳		
۷		-۵/۳۳	-۰/۷	۴					
۸			-۰/۴	۱/۲					
۹				۵/۹					

با استفاده از قابلیت نرم‌افزار Arc GIS و آنالیزهای انجام شده بر روی عوامل مؤثر در ایجاد خطر لغزش، تأثیر هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف در ایجاد خطر زمین لغزش بررسی و پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس هر لایه اطلاعاتی در ایجاد خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه، مشخص شد در ۵۰ درصد به بالاتر به علت کاهش حجم توده‌های خاک بر روی شیب‌های زیاد و فراهم نشدن نیروی وزنی مناسب جهت لغزش، تأثیر شیب در ایجاد خطر لغزش کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار بارندگی باعث اشباع شدن خاک سطحی مقدار لغزش افزایش می‌یابد که در جدول (۳) نشان داده شده است.

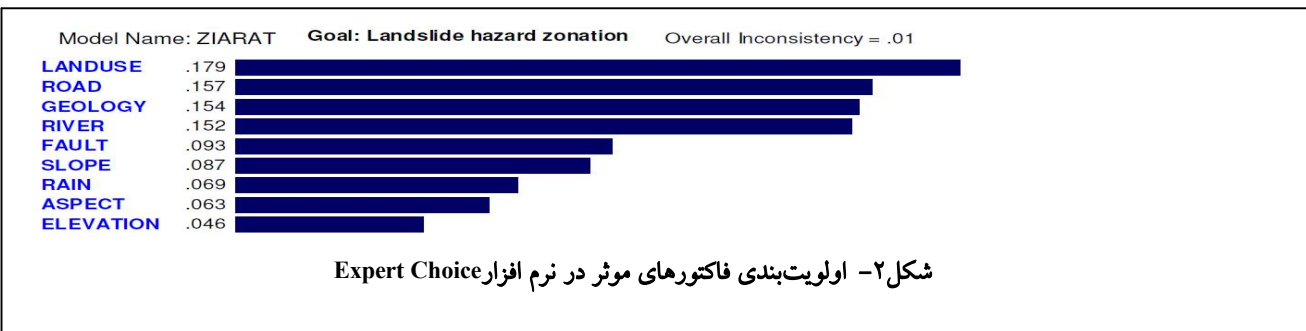
جدول ۳- پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس‌های مربوط به هر کدام از عوامل

کلاس		عامل
کم‌اثرترین	پراثرترین	
۲۵۰۰<	۱۱۰۰-۱۴۵۰	طبقات ارتفاعی
۵۰<	۲۰-۳۰	درجه شیب
SE	SW,S	جهت شیب
Pr	Gml	زمین شناسی
Rang	Residential	کاربری اراضی
۳۰۰<	۰-۱۰۰	فاصله از آبراهه
۵۰۰<	۰-۱۰۰	فاصله از جاده
۳۰۰-۴۰۰	۲۰۰-۳۰۰	فاصله از گسل
۵۲۰<	۳۵۰-۴۵۰	بارندگی

با استفاده از مشاهدات صحرایی، مشخصات منطقه مورد مطالعه و نظرات متخصصین اجرایی؛ مقایسات زوجی بین ۹ عامل مؤثر در ایجاد لغزش انجام شد. سپس نتایج این مقایسات به صورت یک ماتریس به نرم افزار Expert Choice وارد شد، (جدول ۳). با استفاده از قابلیت‌های این نرم‌افزار وزن نهایی و همچنین ضریب ناسازگاری که نشان‌دهنده درستی مقایسات است، (کاربری اراضی=۰/۱۷۹، فاصله از جاده=۰/۱۵۷، سنگ شناسی=۰/۱۵۴، فاصله از رودخانه=۰/۱۵۲، فاصله از گسل=۰/۰۹۳، شیب=۰/۰۸۷، بارندگی=۰/۰۶۹، جهت=۰/۰۶، ارتفاع از سطح دریا=۰/۰۴۶ و ضریب ناسازگاری=۰/۰۱)، برای هر عامل دخیل محاسبه گردید، (شکل ۲).

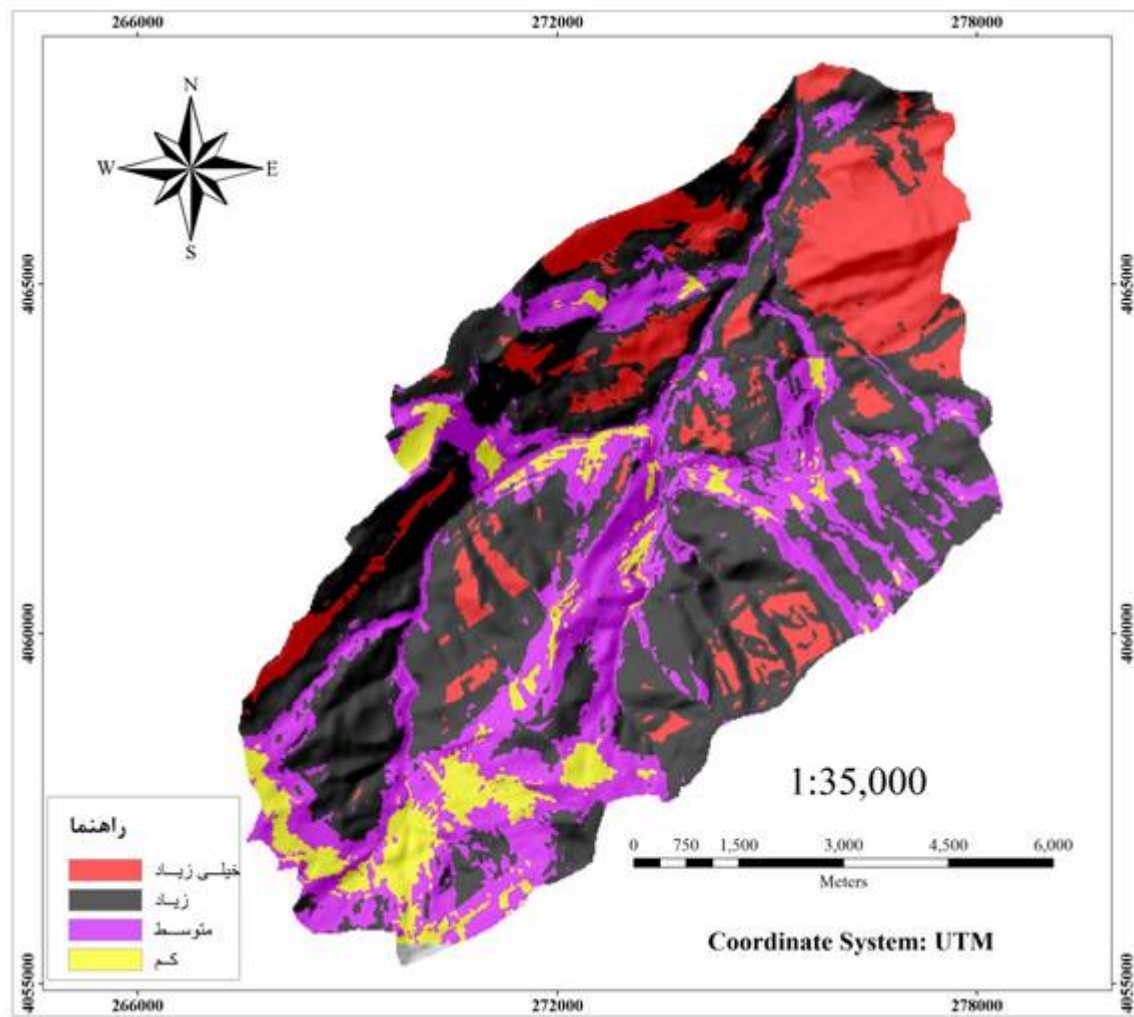
جدول ۳- وزن فاکتورهای موثر در خطر لغزش در نرم افزار Expert Choice

Compare the relative preference with respect to: Goal: Landslide hazard zonation									
	ELEVATION	SLOPE	ASPECT	GEOLOGY	LANDUSE	FAULT	ROAD	RIVER	RAIN
ELEVATION		5.89316	2.85494	4.29529	3.62468	3.38015	3.09317	2.51544	3.93615
SLOPE			2.29984	1.37872	2.61713	2.63596	2.98502	2.69741	1.45923
ASPECT				2.21554	1.12983	1.11514	1.20442	1.25992	1.60831
GEOLOGY					2.04662	2.07721	1.66055	1.7935	1.04608
LANDUSE						1.0251	1.05361	1.23853	2.07721
FAULT							1.12983	1.12983	1.60831
ROAD								1.12983	2.44057
RIVER									1.89492
RAIN	Incon: 0.01								



با توجه به نرخ‌های به دست آمده از روش تراکم سطح برای کلاسه‌های عوامل مختلف، (جدول ۲). و وزن‌های بدست آمده برای هر یک از عوامل با استفاده از مدل AHP، (شکل ۲). برای تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، وزن هر فاکتور در وزن کلاسه‌های آن عامل ضرب و وزن نهایی هر طبقه به دست آمد. با ضرب معادله به دست آمده رابطه (۳) در نقشه، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه در محیط نرم افزار Arc GIS بدست آمد و نقشه نهایی به چهار کلاس خطر: کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس بندی شد (شکل ۳). برای کلاسه‌بندی نقشه نهایی، از نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها استفاده شده است، به نحوی که در روی این منحنی، مناطقی که شیب منحنی تغییر پیدا می‌کند، به عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات آماری مربوط به نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که تقریباً بیشتر از (۴۹/۶۹ درصد) منطقه مورد نظر در محدوده با خطر بالا، ۲۶/۹۴ درصد منطقه در محدوده با خطر متوسط، ۴۴/۱۶ درصد در محدوده خطر خیلی بالا و وسعت کمی از منطقه (۶/۹۱) در محدوده با خطر لغزش پایین قرار دارد که نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارد و این امر باید توسط مدیران در سیاست‌های توسعه منطقه در نظر گرفته شود. نتایج آنالیز نقشه پهنه بندی نهایی در جدول ۴ نشان داده شده است.





شکل ۳ - نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل تلفیقی AHP و تراکم سطح

نتایج ارزیابی هیبرید مدل‌های تراکم سطح و AHP نشان می‌دهد که در ارتباط با پیش بینی خطر و تفکیک کلاسه های خطر در کلاسه‌های خطر بالا از دقت خوبی نسبت به کلاسه‌های پایین برخوردار می باشند، (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج ارزیابی نقشه خطر لغزش با استفاده از مدل تلفیقی AHP و تراکم سطح

طبقات خطر	% Area	% Landslide	DR	QS
کم	۶/۹۱	۹/۵۴	۰/۷۸	۰/۲۵۸
متوسط	۲۶/۹۴	۳۶/۷۹	۱/۸۷	۰/۵۳
زیاد	۴۹/۶۹	۴۱/۱۶	۱/۹۷	۰/۶۳
خیلی زیاد	۱۶/۴۴	۱۲/۴۹	۰/۸۹	۰/۴۰
جمع کل				۱/۸۱

## بحث

دقت در جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۳۰-۲۰ درجه اتفاق افتاده است. در شیب‌های کم معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک در حدی تجمع نمی‌یابد که منجر به وقوع زمین‌لغزش گردد، در نتیجه در شیب‌های متوسط (۲۰-۳۰) بیشترین میزان زمین‌لغزش مشاهده شده است که با نتایج، فیض‌نیا و همکاران، (۱۳۸۳)؛ احمدی و همکاران، (۱۳۸۴)؛ **et al, (2006)**، **Dymond, Terhorst and Neuhauser, (2006)**، مطابقت دارد. جهت‌های جغرافیایی جنوب و جنوب غربی، طبقه ارتفاعی ۱۴۵۰-۱۱۰۰، سازندهای **Gml** که از آهک دولومیتی تشکیل شده‌اند و فاصله از گسل ۴۰۰-۳۰۰ متری دارای بیشترین تأثیر در ایجاد لغزش می‌باشند. بیشترین لغزش‌ها در کاربری اراضی مسکونی و فاصله ۱۰۰ متری از شبکه آبراهه و جاده رخ داده است، با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه یک منطقه جنگلی و تفریحی می‌باشد ساختن ساختمان‌ها و ویلاها می‌تواند دلیل بر این تأثیرها باشد. همچنین نتایج بررسی عامل بارش نیز نشان داده که بیشتر لغزش‌ها در مناطقی اتفاق افتاده که حدود ۴۵۰-۳۵۰ میلیمتر بارندگی داشته‌اند. این نتایج با نتایج تحقیقات **Gockeoglu and Ercanoglu, (2004)** مطابقت دارد. براساس وزن دهی **AHP**، عوامل کاربری اراضی، فاصله از جاده و زمین‌شناسی مهمترین عوامل مؤثر در وقوع لغزش شناخته شده‌اند که با نتایج تحقیقات، کلارستاقی و احمدی، (۲۰۰۹)، **Greco et al, (2007)**، **Lee and Sambath, (2006)**، مبنی بر تأثیر عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش مطابقت می‌کند.

در این تحقیق روش تراکم سطح وزن‌دهی شده توسط تحلیل سلسله مراتبی با  $Q_1$  برابر (۱/۸۱) به عنوان مدل مناسب برای حوضه انتخاب گردید که با نتایج، شیروانی و همکاران، (۱۳۸۵) و ملکی و قربانپور، (۱۳۸۷)، هم راستا می‌باشد. مقایسه نقشه پهنه بندی زمین لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش حاکی از مناسب بودن این مدل برای پهنه‌بندی زمین لغزش در منطقه است. منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارد و این پدیده همواره ساکنان منطقه، مسافران، زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. جهت کنترل زمین لغزش قبل از هر کاری باید این پدیده را مطالعه و مناطق مستعد آن را شناسایی کنیم. لذا پهنه بندی زمین لغزش اولین گام در مدیریت و کاهش خسارات این پدیده است.

## 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- شیرانی، ک.، چاوشی، س.، غیومیان، ج. (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهش علوم دانشگاه اصفهان، ۲۳-۲۳۳۸.
- ۳- فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح.، صفایی، م. (۱۳۸۳). بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه شیرین‌رود- سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷: ۲۰-۳.
- ۴- قدوسی پور، س. ح. (۱۳۸۴). مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ چهارم، ۲۲۰ص.
- ۵- مرادی، ح. ر.، محمدی، م.، پورقاسمی، ح. ر. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش 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.

۶- مقیمی، ا.، علوی پنا، س.ک.، جعفری، ت. (۱۳۸۷). ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴: ۵۳-۷۵.

۷- ملکی، ا.، قربانپور، ع. (۱۳۸۷). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه چرمه شهرستان سنقر استان کرمانشاه، جغرافیا توسعه، ش ۱۲، ص. ۱۸۷-۱۹۸.

8- 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.

9- 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.

10- Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A., Hack, R., 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*, 114, 627-637.

11- Dymond, J.R., Ausseil, A.G., Shepherd, J.D., Buettner, I., 2006. Validation of a Region- Wide Model of Landslide Susceptibility in the Manawatu- Wanganui Region of New Zealand. *Geomorphology*, 74, 70-79.

12- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., Van Asch Th. W. J., 2004. Landslide susceptibility zoning of North of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques, *Natural Hazard*, 32, 1-23.

13- Greco, R., Catalano, E., 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy. *Engineering Geology*, 89, 47-66.

14- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 2, 95-101.

15- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.

16- Lee, S., Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50, 847-855.

17- Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33-41.

18- 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.

19- Nandi, A., Shakoor, A., 2010. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110, 11-20.

20- Neuhauser, B., Terhorst, B., 2006. Landslide Susceptibility Assessment Using Weights-of- Evidence Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany), *Geomorphology*, 1-13

21- 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.

22- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115, 172-187.

23- Shariat jafari, M., Hamedpanah, R., 2006. Hazard prediction of unstable land slides and slopes using fuzzy logic operators, *Iranian journal of natural resources*, 3. 745-757

24- 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

25- 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

26- 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.