

## بررسی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون لجیستیک در حوضه‌ی آبخیز عشوند

علیرضا ایلدرمی\*: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

حمید نوری: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

مجید محمدی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

مریم موسوی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: ۲۹/۷/۱۳۹۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۱)

### چکیده

شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه، یکی از راهکارهای مهم برای کنترل این پدیده و انتخاب گزینه‌ی مؤثر مناسب و کاربردی است. هدف از این تحقیق، شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده‌ی لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از مدل‌های تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون لجیستیک و همین‌طور بررسی میزان دقت سه مدل در حوضه‌ی آبخیز عشوند در شهرستان نهاوند استان همدان است. بدین منظور، پس از بررسی میدانی و مرور مطالعات مشابه، ۱۰ عامل شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از روستا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و بارش به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شناخته شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی این ۱۰ عامل و پراکنش رخداد زمین‌لغزش تهیه شد. با استفاده از AHP، ۱۰ فاکتور بررسی و اولویت‌بندی شد. پس از تهیه نقشه‌های وزنی برای هر فاکتور، نقشه‌های پهنه‌بندی در هر سه مدل تهیه گردید که در این نقشه‌ها منطقه به چهار رده‌ی با خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. با ارزیابی این نقشه‌های پهنه‌بندی شده توسط منحنی ROC، به ترتیب مدل‌های رگرسیون لجیستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۹۱ و AHP با سطح زیر منحنی ۰/۸۴۴ به عنوان مدل‌های مناسب در منطقه انتخاب شدند.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، رگرسیون لجیستیک، تراکم سطح، AHP، حوضه‌ی آبخیز عشوند.

### ۱- مقدمه

انسان همواره در طبیعت با پدیده‌هایی روبه‌روست که عوامل متعددی در رویداد آن مؤثر است. اگر فقط یک عامل باعث ایجاد پدیده در طبیعت می‌شد، تصمیم‌گیری درباره‌ی آن و پیش‌بینی وقوع آن بسیار ساده بود، ولی عموماً پدیده‌های موجود در طبیعت دارای عوامل مؤثر کیفی و کمی بسیاری هستند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). از خطرناک‌ترین نوع پدیده‌های فرسایشی می‌توان حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش را نام برد که دارای خطرات جانی و مالی فراوان است (گرایسی، ۱۳۸۵). در ایران زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی است که نقش بسزایی در تخریب، فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه‌های آبخیز کشورمان دارد؛ از این رو به‌منظور مدیریت و تعدیل خطر، پیش‌بینی وقوع و

تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش امری لازم و ضروری است. در سال‌های اخیر، این امر به توسعه‌ی مدل‌های تجربی و آماری فراوانی با تأکید بر استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۱</sup> منجر شده‌است (Nefeslioglu et al, 2008).

طبق آمار مرکز تحقیقات (CRED)<sup>۲</sup> از مخاطرات طبیعی در سراسر جهان، لغزش‌ها مسئول حداقل ۱۷ درصد از تمام مرگ و میرها است (Pourghasemi et al, 2013). برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش، ۳ روش اصلی وجود دارد: کیفی، نیمه کمی و کمی (Jones and Lee, 2004). روش‌های کمی شامل رگرسیون تحلیلی دو متغیره، چند متغیره و لجیستیک، منطق فازی، مدل تراکم سطح، آنالیز شبکه مصنوعی و ... است (Komac, 2006 & Caniani et al, 2008). روش‌های کیفی بر مبنای نظر کارشناسی است (Fall et al, 2006). این روش‌ها بر پایه‌ی استفاده از شاخص زمین‌لغزش در مناطقی با ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مشابه استوارند؛ از جمله روش‌های نیمه کمی نیز می‌توان روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۳</sup> (Yalcin, 2008) و ترکیب خطی وزین (WLC)<sup>۴</sup> را نام برد (Ayalew and Yamagishi, 2004). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از مدل‌های چندمعیاره‌ی تصمیم‌گیری<sup>۵</sup> است که اولویت‌بندی و انتخاب گزینه‌ی برتر در صورت مشخص بودن معیارها و گزینه‌ها انجام می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های کمی در ترکیب با GIS افزایش و نسبت به روش‌های کیفی، عمومیت بیشتری یافته‌است (Pourghasemi et al, 2013). در تحقیق حاضر منطقه مورد نظر با سه روش بررسی می‌شود: رگرسیون لجیستیک (Yesilnacar and Topal, 2005 & Lee and pradhan, 2007 & Yilmaz, 2009 & Chauhan et al, 2010 & Choi et al, 2012 & Yalcin, 2008 & AHP, Wang et al, 2016 & 2013 & Pourghasemi et al, 2013 & ۱۳۹۳ و ...). Hasekiogullari and Ercanoglu, 2012 & Yalcin et al, 2011 & shahabi et al, 2014؛ کریمی سنگ‌چینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ عابدینی، ۱۳۹۱؛ عابدینی و فتیحی، ۱۳۹۳ و ... و تراکم سطح (Yalcin, 2008)؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ افجه‌نصرآبادی و همکاران، ۱۳۸۷؛ کریمی سنگ‌چینی، ۱۳۹۰ و ...). در نهایت با بررسی و ارزیابی هر سه روش، درصد صحت هر کدام مشخص می‌شود. در حوضه‌ی آبخیز عشوند در نهاوند استان همدان، به نظر می‌رسد به دلیل حساسیت منطقه بیشترین حجم فرسایش، ناشی از زمین لغزش‌ها باشد؛ بنابراین، ارزیابی و مدیریت منطقه به منظور تعدیل هرگونه خسارت و صدمات وارده ضروری است.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز عشوند واقع در استان همدان و شمال شرق شهرستان نهاوند، با مساحتی حدود ۴۷/۹۶ کیلومتر مربع و محیطی حدود ۴۲/۲۴ کیلومتر در مختصات جغرافیایی ۴۸° ۲۲' ۵۱" تا ۴۸° ۳۰' ۵۰" طول شرقی و ۳۴° ۹' ۵۱" تا ۳۴° ۱۵' ۲۳" عرض شمالی واقع شده‌است. ارتفاع بیشینه و کمینه‌ی این حوضه‌ی آبخیز از سطح دریا به ترتیب ۲۵۸۷/۳۸ و ۱۸۰۰ متر است. تراکم آبراهه در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز زیاد است و سازند RJM بیش از نیمی از مساحت منطقه را می‌پوشاند.

<sup>1</sup> Geographic Information System

<sup>2</sup> Centerfor Research on the Epidemiology of Disasters

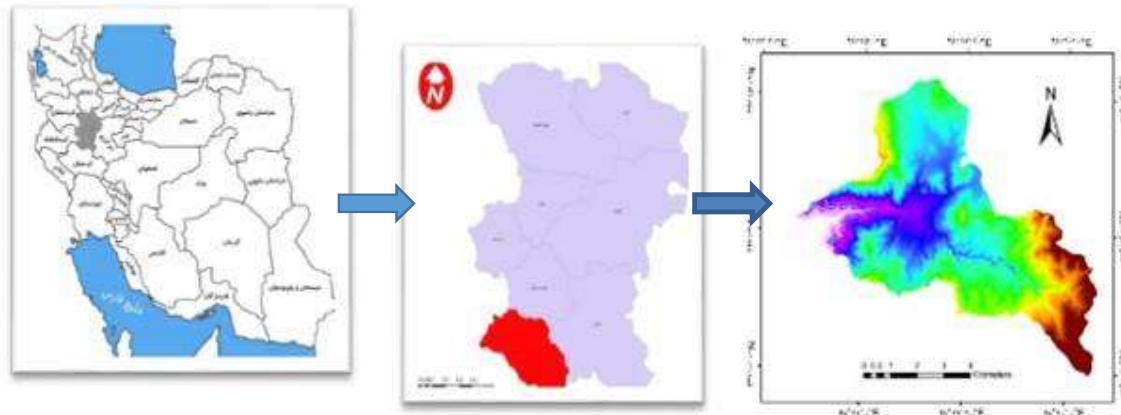
<sup>3</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>4</sup> Weighted Linear Combination

<sup>5</sup> Multy Criteria Decision Making

(شکل ۱). حداقل و حداکثر بارش منطقه نیز به ترتیب ۴۳۱ و ۴۸۲ میلی‌متر و اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن، نیمه مرطوب است.

### ۳- مواد و روش



شکل ۱: نمایی از موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز عشوند)

#### ۳-۱- تهیه داده‌های مورد نیاز

در این تحقیق ابتدا با توجه به بررسی و مرور منابع و مطالعات انجام شده، لایه‌های تأثیرگذار بر وقوع لغزش انتخاب شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی منتخب شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از روستا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و بارش، برای استفاده در سه مدل تراکم سطح، AHP و رگرسیون لجیستیک به کار گرفته شد. به منظور تهیه این لایه‌ها ابتدا نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌ی کاربری اراضی (سال ۹۲) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه از سازمان‌های مربوطه تهیه شد. با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی در محیط Arc GIS 9.3، نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با استفاده از DEM، نقشه‌ی طبقات ارتفاع تهیه و به ۵ طبقه با فاصله‌ی ارتفاعی ۱۵۰ متر تقسیم شد. نقشه‌ی شیب و جهت شیب نیز از نقشه‌ی DEM تهیه و به منظور بررسی ارتباط لایه‌ها و لغزش‌های اتفاق افتاده، این لایه‌ها نیز در محیط Arc GIS 9.3 کلاسه‌بندی شد. نقشه‌ی شیب به ۵ کلاسه شامل ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و بیش از ۴۵ درجه و جهت شیب به ۴ کلاسه شرق، شمال، غرب و جنوب طبقه‌بندی شد. نقشه‌ی رقومی شده‌ی کاربری اراضی منطقه به ۶ بخش مرتع متراکم، مرتع نیمه متراکم، مرتع کم تراکم، اراضی فاقد پوشش و بیرون‌زدگی سنگی، زراعت دیم و زراعت آبی و باغات تقسیم شد. نقشه‌ی رقومی شبکه جاده‌ها از اداره‌ی منابع طبیعی استان همدان تهیه و در محیط Arc GIS 9.3 با ابزار Distance، نقشه فاصله از جاده تهیه و به ۵ کلاس ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۲۰۰۰ و بیش از ۲۰۰۰ متر تقسیم شد. نقشه‌ی شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه‌ی توپوگرافی رقومی شده، استخراج و با ابزار Distance در محیط Arc GIS 9.3 نقشه‌ی فاصله از آبراهه تهیه و به ۳ کلاسه با فواصل ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰ و بیش از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی شد. نقشه‌ی گسل از نقشه‌ی زمین‌شناسی استخراج و در محیط Arc GIS 9.3 با ابزار Distance، نقشه‌ی فاصله از گسل تهیه و به ۵ کلاس ۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ و بیش از ۳۰۰۰ متر تقسیم شد. با استفاده از نقشه‌ی رقومی شده روستاهای منطقه اداره منابع طبیعی استان همدان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌ی فاصله از روستا در محیط Arc GIS 9.3

تهیه و به ۵ طبقه‌ی ۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و بیش از ۲۰۰۰ متر تقسیم‌بندی شد. نقشه‌ی پهنه‌های بارش نیز با استفاده از میانبایی ایستگاه‌های بارش در داخل و خارج حوضه با پایه زمانی ۱۲ سال تهیه و به ۵ طبقه‌ی کمتر از ۴۴۵، ۴۴۵-۴۶۵، ۴۶۵-۴۷۵، ۴۷۵-۴۸۵ و بیش از ۴۷۵ تفکیک شد. با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی رقومی، منطقه به طبقات AN (انیدریت و گابرو)، PJS (تشکیلات شمشک سیلت‌ها همراه با اسلیت‌های تیره و خاکستری)، RJM (سنگ بستر خاکستری براق تیره ضخیم و متورق شده با فسیل تپله‌ای شکل)، RJV (سنگ‌های آتش‌فشانی با میان لایه‌های توف و ماگما) و QT2 (نهشته‌های کوهپایه‌ای سطح بلند آبرفتی) تفکیک شد. با استفاده از داده‌های مربوط به زمین‌لغزش منطقه در اداره منابع طبیعی و با بازدیدهای میدانی، داده‌ها تکمیل و با وارد کردن مختصات لغزش‌ها در محیط Arc GIS 9.3، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه گردید (Mohammady et al, 2012). با توجه به اینکه در ۷۱ منطقه از حوضه مطالعاتی، زمین‌لغزش اتفاق افتاده است؛ این مناطق برای تسهیل در استفاده از مدل‌ها به عنوان نقاط لغزشی در نظر گرفته شد. در ادامه از این ۷۱ نقطه‌ی لغزشی، ۵۰ نقطه برای پهنه‌بندی و ۲۱ نقطه برای ارزیابی استفاده شده است.

### ۲-۳- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در این تحقیق از مدل‌های تراکم سطح، AHP و رگرسیون لجیستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده است. در روش‌های آماری مانند رگرسیون لجیستیک، وقوع زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از فاکتورهای مؤثر در وقوع لغزش، متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. اهمیت هر عامل در زمینه‌ی ناپایداری دامنه‌ها، مستقل از دیگر عوامل تحلیل می‌شود. در این روش‌ها از سطح زمین‌لغزش نیز برای محاسبه‌ی وزن استفاده می‌شود (شیروانی و همکاران، ۱۳۸۴). در روش مبتنی بر نظر کارشناسی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از مقایسات زوجی بین عوامل و تشکیل ماتریس وزن‌دهی، اولویت‌بندی عوامل و در نهایت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام می‌شود. در مدل تراکم سطح بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش و تطابق آن با سایر لایه‌های اطلاعاتی، کلاسه‌بندی انجام و درصد زمین‌لغزش در کلاسه‌های هر عامل تعیین و کمی می‌شود.

### ۳-۳- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

به منظور بررسی نقش هر یک از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش، نقشه هر یک از عوامل مؤثر با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش در محیط ArcGIS 9.3 تلفیق (اشکال ۲ تا ۱۲) و مساحت لغزش‌ها در هر کلاسه از عوامل محاسبه می‌شود. برای انتخاب فاکتورها ابتدا با توجه به مساحت لغزش‌ها در کلاسه‌های مختلف هر یک از عوامل و با مقایسه‌ی زوجی فاکتورها با یکدیگر، طبق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) فاکتورها اولویت‌بندی و با توجه به مساحت لغزش‌ها و استفاده از روابط مختلف پهنه‌بندی انجام می‌شود. در این روش، ابتدا پرسشنامه تهیه و توسط ۱۰ کارشناس خبره امتیازدهی شد. سپس با توجه به مشخصات منطقه، وزن هر یک از عوامل به دست آمد. با تلفیق نظر این ۱۰ کارشناس برای هر معیار و کلاسه‌های مربوط به آن، یک جدول نهایی تهیه و وزن هر یک از کلاسه‌ها با مقایسه‌ی زوجی در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد. سپس وزن هر عامل که از ماتریس وزن‌دهی به دست آمده، در وزن کلاسه‌های

آن عامل ضرب و وزن نهایی هر کلاسه و معادله‌ی نهایی پهنه‌بندی به دست آمد. سپس این معادله در کلیه‌ی واحدهای نقشه اعمال و نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱: ماتریس وزن‌دهی به معیارها

معیار	بارش	شیب	جهت شیب	طبقات ارتفاعی	فاصله از جاده	فاصله از روستا	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	کاربری اراضی	زمین شناسی
بارش	۱	۱/۷	۲	۱/۲	۱/۸	۱/۶	۱/۴	۱/۹	۱/۴	۱/۵
شیب		۱	۸	۷	۱/۳	۲	۵	۱/۴	۴	۳
جهت شیب			۱	۱/۳	۱/۸	۱/۷	۱/۴	۱/۹	۱/۵	۱/۶
طبقات ارتفاعی				۱	۱/۶	۱/۵	۱/۳	۱/۸	۱/۳	۱/۴
فاصله از جاده					۱	۳	۶	۱/۳	۵	۴
فاصله از روستا						۱	۴	۱/۴	۳	۲
فاصله از آبراهه							۱	۱/۷	۱/۲	۱/۳
فاصله از گسل								۱	۶	۵
کاربری اراضی									۱	۱/۳
زمین شناسی										۱

#### ۴-۳- اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

(AHP) در مطالعه‌ی زمین‌لغزش روشی نیمه کیفی است و بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل، میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند (Ayalew et al, 2005). از مزایای AHP این است که اعمال نظر کارشناسان را آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد (کلارستاقی، ۱۳۸۱). با استفاده از جدول توصیفی، موقعیت نقاط لغزشی در طبقات متغیرهای مستقل و با توجه به مشخصات منطقه، فاکتورها به صورت دو به دو با هم مقایسه و بسته به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه، یکی از وزن‌های جدول ۲ انتخاب می‌شود. سپس نتایج مقایسه‌های انجام شده، در جدول ماتریسی آورده می‌شود. این ماتریس در نهایت به نرم‌افزار Choice Expert وارد و در آنجا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه می‌شود. این نرم‌افزار همچنین ضریب ناسازگاری<sup>۱</sup> را ارائه می‌کند که اگر این ضریب کمتر از ۰/۱ باشد، قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسه‌ها انجام می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۴).

<sup>۱</sup> Inconsistency Ratio

جدول ۲: 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
۲، ۴، ۶ و ۸	اولویت بین فواصل

### ۵-۳-مدل تراکم سطح

در این مدل پس از تهیه نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش و تطابق آن با سایر لایه‌های اطلاعاتی کلاسه‌بندی شده، درصد زمین‌لغزش در کلاسه‌های هر عامل تعیین و کمی می‌شود. در همه‌ی فاکتورهای مؤثر، وزن‌دهی به طبقات طبق رابطه‌های (۱ و ۲) اجرا می‌شود (فاطمی‌عقدا و همکاران، ۱۳۸۲؛ فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۳؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۴؛ Yalcin 2008).

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{C}{D} \quad (1)$$

$$D_{area} = 1000 \times \frac{A}{B} \quad (2)$$

که در آن:

$D_{area}$ : تراکم سطح؛

$W_{area}$ : وزن تراکم سطح؛

$A$ : مساحت زمین‌لغزش هر کلاسه؛

$B$ : مساحت هر کلاسه؛

$C$ : مساحت کل زمین‌لغزش‌ها؛

$D$ : مساحت کل منطقه.

کلیه‌ی نقشه‌های وزنی با هم جمع شد و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد. سپس این نقشه به چند کلاسه خطر تقسیم‌بندی شد.

### ۳-۶-مدل آماری رگرسیون لجیستیک

هدف این مدل بررسی ارتباط بین حضور و عدم حضور زمین‌لغزش و عوامل مستقل مؤثر بر آن است که طبق رابطه‌ی زیر بیان می‌شود (Kincal et al, 2009).

$$\text{Logit} (P) = \frac{1}{1 + e} - B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n \quad (3)$$

که در آن:

P: احتمال رخداد یک واقعه؛

$\beta_0$ : عرض از مبدأ؛

N: تعداد متغیرهای مستقل؛

$\beta_i$ : ضریب هر یک از عوامل؛

$X_i$ : متغیرهای مستقل.

در این روش، ۵۰ نقطه‌ی لغزشی را به عنوان وزن یک و ۱۰۰ نقطه (رخداد لغزشی) به صورت تصادفی با استفاده از فایل الحاقی *Hawths\_Tools* در مناطق دیگر انتخاب و به عنوان وزن صفر و عدم حضور زمین لغزش در نظر گرفته می‌شود. سپس وزن مربوط به هر یک از ۱۵۰ نقطه مذکور با وزن صفر و یک را در نقشه‌ی فاکتورهای مؤثر، استخراج و با فرمت اکسل ذخیره می‌کنیم. این داده‌ها به نرم افزار SPSS منتقل شده و مطابق رابطه‌ی بالا ضرایب مربوط به هر یک از عوامل مؤثر محاسبه می‌شود. با اعمال وزن‌های به دست آمده در نقشه‌ی نهایی، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست می‌آید (Pradhan, 2011). یکی از نکات مهم در استفاده از رگرسیون لجیستیک، بررسی هم‌خطی بودن فاکتورهاست؛ به این منظور، از دو شاخص تورم واریانس و ضریب حد تحمل استفاده می‌شود. ضریب حد تحمل کمتر از ۰/۱ و تورم واریانس بزرگ‌تر از ۵، بیانگر هم‌خطی بودن فاکتورهاست و در صورت هم‌خط بودن، یکی از فاکتورها حذف می‌شود (Obrien, 2007).

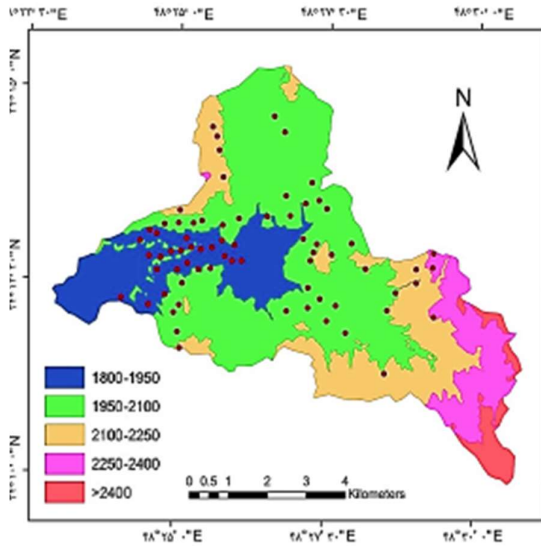
### ۷-۳- ارزیابی روش پهنه‌بندی

در این تحقیق بعد از تهیه‌ی نقشه‌های وزنی، نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش تهیه و در چهار کلاس خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تهیه شد. به این دلیل که برای ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش نمی‌توان از نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش حوزه استفاده کرد (Remendo et al, 2003 & Komac, 2006 & Pradhan, 2013 & Zare et al, 2013)، از ۷۱ نقطه‌ی لغزشی که در منطقه شناسایی شد، دو سوم نقاط (۵۰ نقطه‌ی لغزشی) برای پهنه‌بندی و یک سوم نقاط (۲۱ نقطه لغزشی) برای ارزیابی مدل استفاده شد. آن گاه با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، صحت نقشه‌های تهیه شده تأیید شد (Yesilnacar, 2005 & Pradhan, 2013 & Pourghasemi et al, 2012) (a & Mohammady et al, 2012).

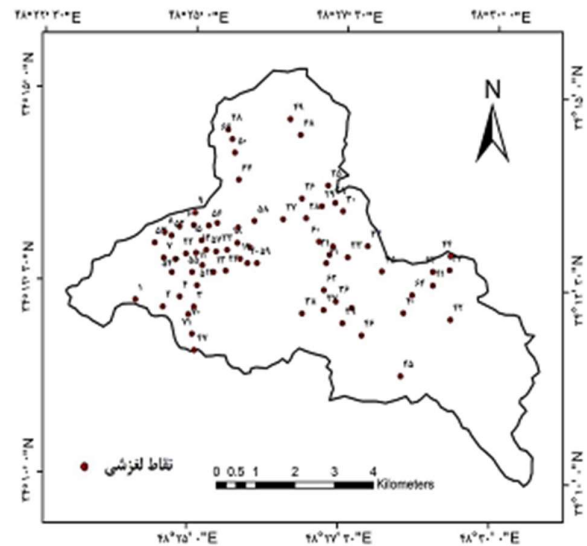
منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه‌ی خصوصیات، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (Yesilnacar, 2005). سطح زیر منحنی (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم رخداد آن است. مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱ تغییر می‌کند و بیشترین دقت، مربوط به وزن ۱ است. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف) انجام می‌شود (Yesilnacar, 2005). در نهایت، یک نقشه به عنوان نقشه‌ی نهایی حساسیت زمین لغزش با بیشترین دقت برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده‌است.

۴- یافته‌ها (نتایج)

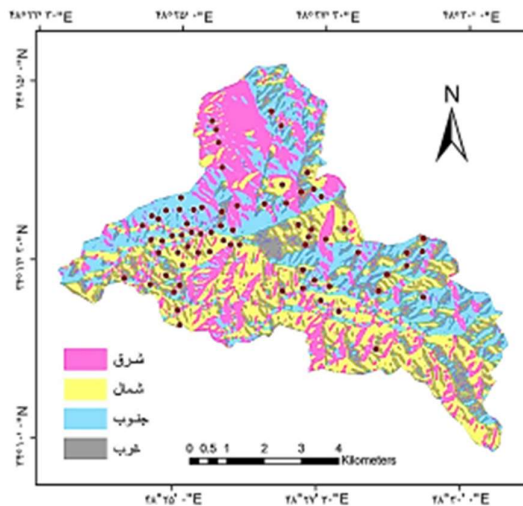
هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با سه روش AHP، تراکم سطح و رگرسیون لجستیک با استفاده از نقشه‌های عامل است. ابتدا نقشه‌های عامل تهیه و طبق هر یک از روش‌ها، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شده‌است (شکل ۲ تا ۱۲).



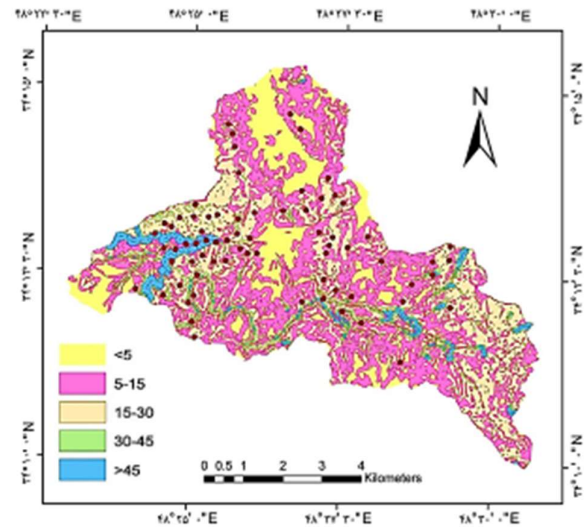
شکل ۳: نقشه‌ی طبقات ارتفاعی و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



شکل ۴: پراکنش نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند

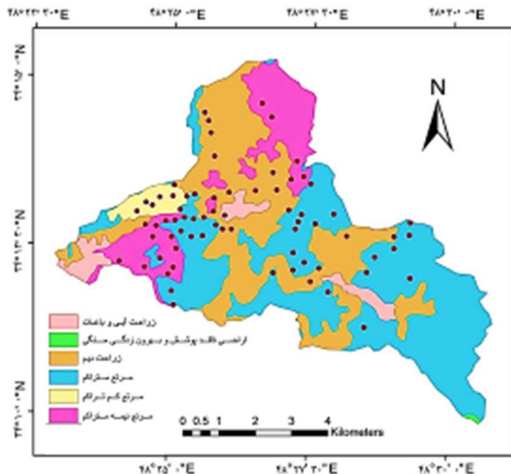


شکل ۵: نقشه‌ی جهت شیب و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند

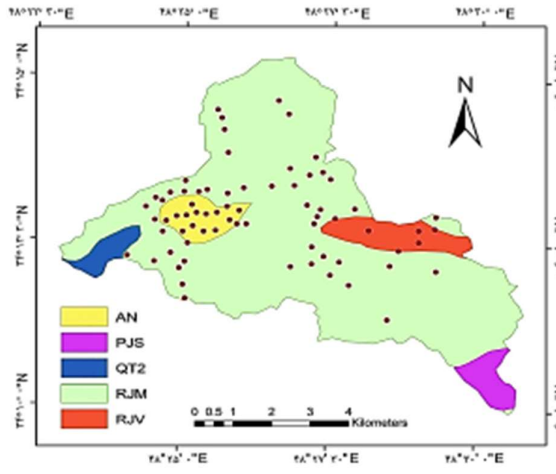


شکل ۶: نقشه‌ی شیب و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند

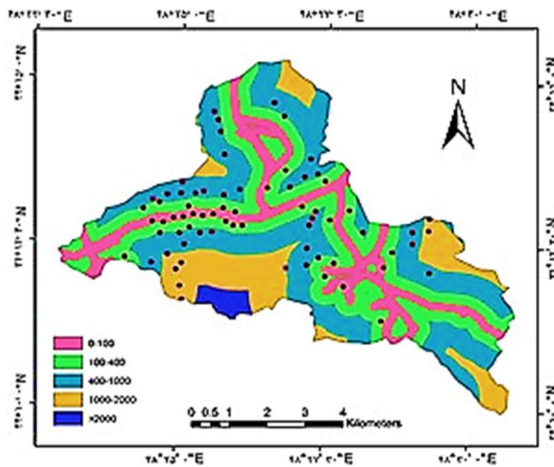




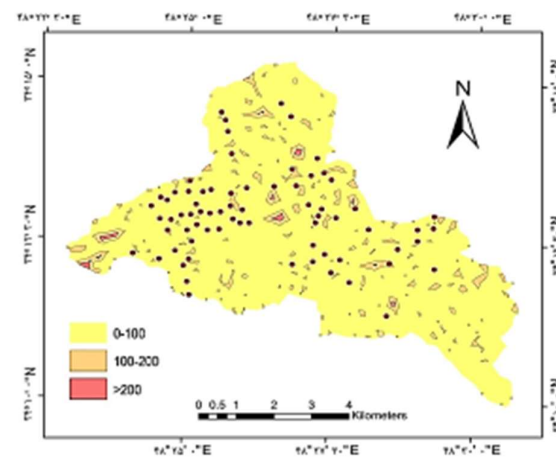
شکل ۷: نقشه‌ی کاربری اراضی و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



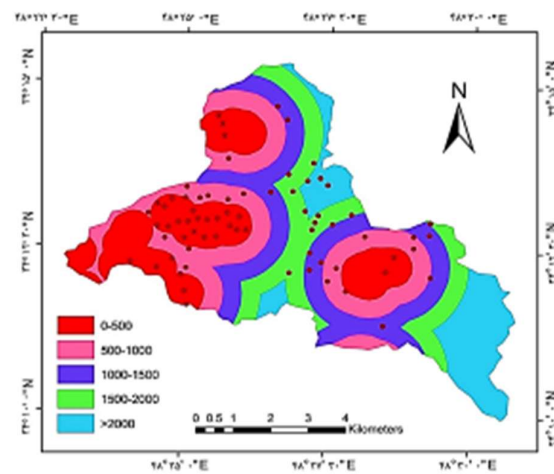
شکل ۶: نقشه‌ی زمین‌شناسی و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



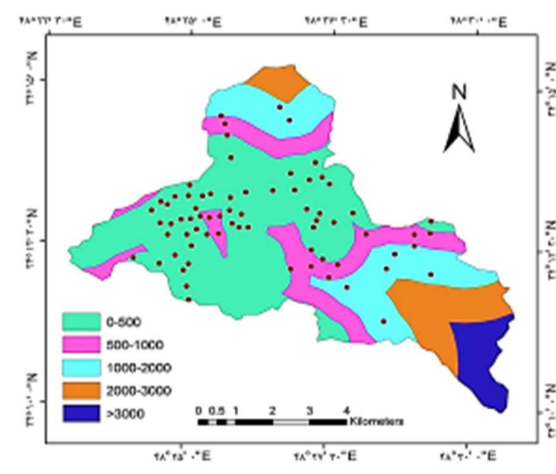
شکل ۹: نقشه‌ی فاصله از جاده و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



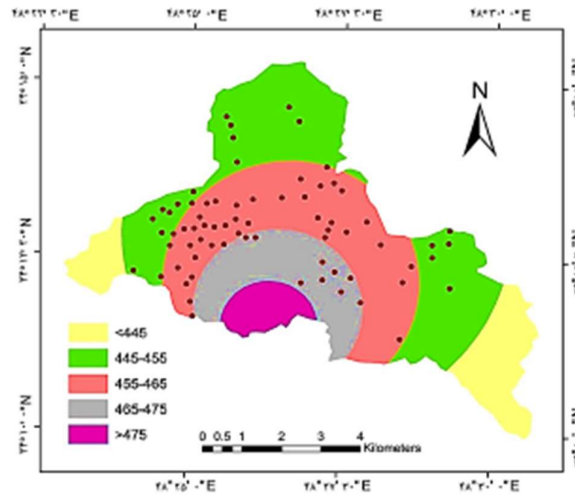
شکل ۸: نقشه‌ی فاصله از آبراهه و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



شکل ۱۱: نقشه‌ی فاصله از روستا و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



شکل ۱۰: نقشه‌ی فاصله از گسل و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند



شکل ۱۲: نقشه‌ی بارش و نقاط لغزشی در حوزه‌ی آبخیز عشوند

جدول ۳: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف شیب

وزن برای AHP هر کلاسه	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	کلاسه‌های شیب
۰/۰۰۸۲۰۸	-۵۵/۹۰۷	۰/۰۸۳۸	۹/۳۵۴	۰-۵
۰/۰۱۹۵۸۴	-۱۷/۶۱۴	۰/۸۸۱	۱۸/۶۴۵	۵-۱۵
۰/۰۳۹۶	۴۶/۰۰۱	۱/۸۲۱	۱۶/۴۲۵	۱۵-۳۰
۰/۰۶۳۲۱۶	۵۰/۰۵۳	۰/۲۲۸	۱/۹۸۴	۳۰-۴۵
۰/۰۱۳۳۹۲	-۲/۱۵۹	۰/۰۹۵	۱/۵۱۵	۴۵<
		۳/۱۱۱	۴۷/۹۶	جمع

جدول ۴: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف جهت شیب

وزن برای AHP هر کلاسه	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	جهت شیب
۰/۰۰۱۷۸۵	۵/۹۰۳	۰/۷۹	۱۱/۱۶۳	شرق
۰/۰۰۶۷۸	۱۵/۴۷۵	۰/۹۳۱	۱۱/۵۸۸	شمال
۰/۰۰۲۵۳۵	۳۳/۰۵	۱/۱۱۹	۱۱/۴۲۸	جنوب
۰/۰۰۳۹۱۵	-۳/۷۵	۰/۸۳۹	۱۳/۷۲۸	غرب
		۳/۱۱۱	۴۷/۹۶	جمع

جدول ۵: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف ارتفاع

وزن تراکم سطح برای AHP برای	وزن تراکم سطح برای	مساحت لغزش‌های موجود در	مساحت هر	کلاسه‌های طبقات
هر کلاسه	هر کلاسه	هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	کلاسه (km <sup>2</sup> )	ارتفاعی
۰/۰۱۱۳۷۵	۸/۵۳۷	۰/۶۳۱	۸/۷۱۵	۱۸۰۰-۱۹۵۰
۰/۰۰۶۵۷۵	-۱۴/۵۶۱	۱/۱۷۴	۲۳/۳۳۸	۱۹۵۰-۲۱۰۰
۰/۰۰۴	۲۲/۰۵۸	۰/۸۳۵	۹/۶۰۶	۲۱۰۰-۲۲۵۰
۰/۰۰۱۸۵	-۵۵/۱۵۰	۰/۰۴۴	۴/۵۲۹	۲۲۵۰-۲۴۰۰
۰/۰۰۱۱۷۵	-۶۴/۸۰۸	۰/۰۰۰۱	۱/۷۴۸	۲۴۰۰<
		۳/۱۱۱	۴۷/۹۶	جمع

جدول ۶: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف بارش

وزن تراکم سطح برای AHP برای	وزن تراکم سطح برای	مساحت لغزش‌های موجود در	مساحت هر کلاسه	کلاسه‌های بارش
هر کلاسه	برای هر کلاسه	هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	
۰/۰۰۱۴۰۴	-۵۸/۲۹۷	۰/۰۴۲	۶/۳۹۴	۴۴۵>
۰/۰۰۲۸۶۲	۶/۰۰۸	۱/۱۹۶	۱۶/۸۷۵	۴۴۵-۴۵۵
۰/۰۰۷۲	۳۴/۶۷۲	۱/۴۸۷	۱۴/۹۳۹	۴۵۵-۴۶۵
۰/۰۰۴۳۴۷	-۱۱/۴۱۸	۰/۳۹۳	۷/۳۵۳	۴۶۵-۴۷۵
۰/۰۰۲۱۶	-۶۴/۸۲۳	۰/۰۰۰۱	۲/۳۷۹	۴۷۵<
		۳/۱۱۱	۴۷/۹۶	جمع

جدول ۷: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف گسل

وزن تراکم سطح برای AHP برای	وزن تراکم سطح برای	مساحت لغزش‌های موجود در هر	مساحت هر کلاسه	کلاسه‌های
هر کلاسه	برای هر کلاسه	کلاسه (km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	فاصله از گسل
۰/۱۵۹۷۰۵	۱۴/۷۶۴	۱/۸۰۳	۲۲/۶۴۲	۰-۵۰۰
۰/۰۸۰۶۴	۲۲/۷۹۰	۰/۶۹۱	۷/۸۸۳	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۴۵۹۹	۳/۷۱۶	۰/۶۳۰	۹/۱۸۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰
۰/۰۱۷۰۱	-۶۴/۸۴۷	۰/۰۰۰۱	۵/۴۶۹	۲۰۰۰-۳۰۰۰
۰/۰۱۱۶۵۵	-۶۴/۸۲۹	۰/۰۰۰۱	۲/۷۵۸	۳۰۰۰<
		۳/۱۱۱	۴۷/۹۶	جمع

جدول ۸: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف آبراهه

کلاس‌های فاصله از آبراهه	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	وزن AHP برای هر کلاسه
۱۰۰-۰	۴۴/۹۹۱	۲/۸۴۴	-۰/۶۵۳	۰/۰۲۵۰۸
۱۰۰-۲۰۰	۲/۷۶۳	۰/۲۶۷	۳۱/۷۱۶	۰/۰۱۱۲
۲۰۰<	۰/۱۶۵	۰/۰۰۰۱	-۶۴/۲۵۹	۰/۰۰۳۷۶
جمع	۴۷/۹۶	۳/۱۱۱		

جدول ۹: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف روستا

کلاس‌های فاصله از روستا	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	وزن AHP برای هر کلاسه
۰-۵۰۰	۱۰/۹۹۷	۰/۶۹۶	-۱/۵۷۶	۰/۰۴۶۳۸۴
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۱/۰۳۳	۱/۳۵۸	۵۸/۲۱۹	۰/۰۳۰۸۸۸
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۰/۲۲۱	۰/۴۹۶	-۱۶/۳۳۸	۰/۰۱۵۲۸۸
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۸/۰۷۶	۰/۳۵۱	-۲۱/۴۰۳	۰/۰۰۷۳۸۴
۲۰۰۰<	۷/۶۱۰	۰/۰۰۰۱	-۶۴/۸۵۲	۰/۰۰۴۰۵۶
جمع	۴۷/۹۶	۳/۱۱۱		

جدول ۱۰: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف جاده

کلاس‌های فاصله از جاده	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	وزن AHP برای هر کلاسه
۰-۱۰۰	۷/۸۶۱	۰/۲۵۱	-۳۲/۹۳۶	۰/۰۸۷۳۶
۱۰۰-۴۰۰	۱۳/۷۵۶	۰/۶۳۰	-۱۹/۰۶۷	۰/۰۵۸۱۷
۴۰۰-۱۰۰۰	۱۷/۲۷۹	۱/۸۵۹	۴۲/۷۲۱	۰/۰۳۶۹۶
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۸/۱۰۲	۰/۳۱۰	-۲۶/۶۰۳	۰/۰۱۷۰۱
۲۰۰۰<	۰/۹۳۴	۰/۰۰۰۱	-۶۴/۷۵۸	۰/۰۱۰۷۱
جمع	۴۷/۹۶	۳/۱۱۱		

جدول ۱۱: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف زمین‌شناسی

کلاسه‌های زمین‌شناسی	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	وزن AHP برای هر کلاسه
AN	۲/۰۴۸	۰/۴۰۱	۱۳۰/۹۳۴	۰/۰۲۹۷۹۶
RJM	۴۰/۳۰۲	۲/۳۷۸	-۵/۸۶۱	۰/۰۲۱۷۶۲
PJS	۱/۴۵۰	۰/۰۰۰۱	-۶۴/۷۹۷	۰/۰۰۴۵۲۴
RJV	۲/۶۱۹	۰/۳۷۴	۶۷/۶۲۷	۰/۰۱۵۳۶۶
QT2	۱/۱۳۸	۰/۰۰۰۱	-۶۴/۷۷۸	۰/۰۰۶۵۵۲
جمع	۴۷/۹۶	۳/۱۱۱		

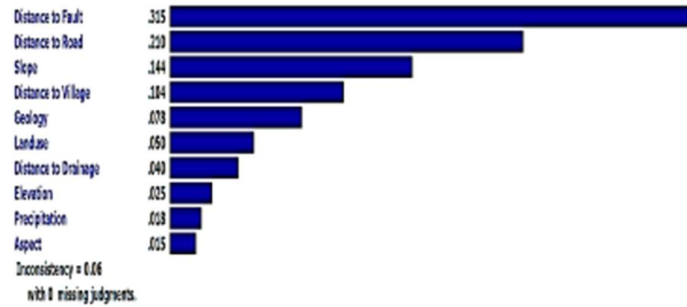
جدول ۱۲: پراکنش لغزش و وزن در طبقات مختلف کاربری اراضی

کلاسه‌های کاربری اراضی	مساحت هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	مساحت لغزش‌های موجود در هر کلاسه (km <sup>2</sup> )	وزن تراکم سطح برای هر کلاسه	وزن AHP برای هر کلاسه
زراعت آب و باغات	۲/۰۸۶۶	۰/۰۴۲۱	-۴۴/۶۸۹	۰/۰۰۲۸۵
زراعت دیم	۱۶/۱۶۱	۰/۸۵۱	-۱۲/۲۰۸	۰/۰۰۴۹۵
اراضی فاقد پوشش و بیرون‌زدگی سنگی	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰۱	-۶۳/۱۱۱	۰/۰۰۰۲
مرتع کم تراکم	۱/۳۶۵	۰/۵۱۹	۳۱۵/۳۵۳	۰/۰۱۸۶۵
مرتع متراکم	۲۱/۲۷۰	۱/۳۲۲	-۲/۷۱۲	۰/۰۰۰۸۱
مرتع نیمه متراکم	۶/۹۹۶	۰/۵۲۳	۹/۸۹۱	۰/۰۱۳۴
جمع	۴۷/۹۶	۳/۱۱۱		

جدول ۱۳: ماتریس وزن‌دهی به معیارها

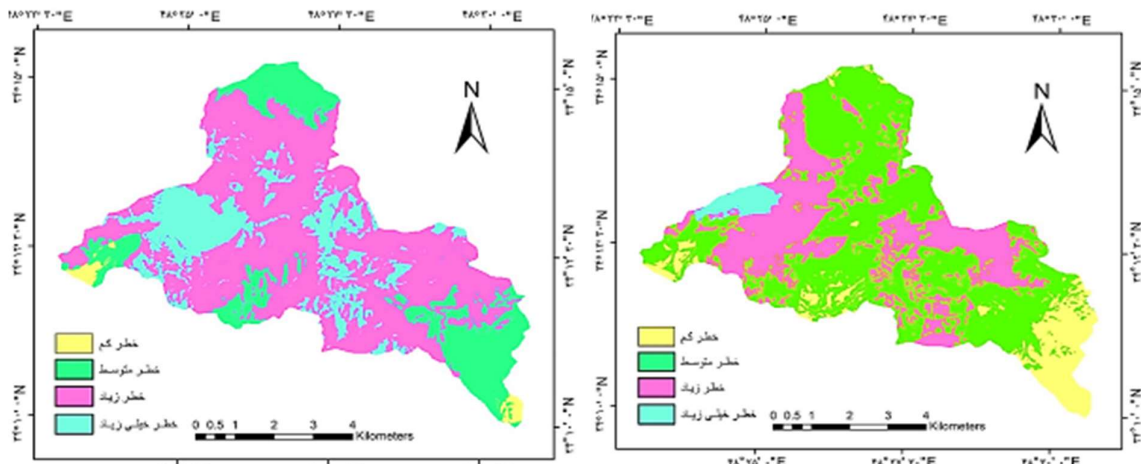
زمین‌شناسی	کاربری اراضی	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	فاصله از روستا	فاصله از جاده	طبقات ارتفاعی	جهت شیب	شیب	بارش
۱/۵	۱/۴	۱/۹	۱/۴	۱/۶	۱/۸	۱/۲	۲	۱/۷	۱
۳	۴	۱/۴	۵	۲	۱/۳	۷	۸	۱	شیب
۱/۶	۱/۵	۱/۹	۱/۴	۱/۷	۱/۸	۱/۳	۱	جهت شیب	جهت شیب
۱/۴	۱/۳	۱/۸	۱/۳	۱/۵	۱/۶	۱	طبقات ارتفاعی	طبقات ارتفاعی	طبقات ارتفاعی
۴	۵	۱/۳	۶	۳	۱	فاصله از جاده	فاصله از جاده	فاصله از جاده	فاصله از جاده
۲	۳	۱/۴	۴	۱	فاصله از روستا	فاصله از روستا	فاصله از روستا	فاصله از روستا	فاصله از روستا
۱/۳	۱/۲	۱/۷	۱	فاصله از آبراهه	فاصله از آبراهه	فاصله از آبراهه	فاصله از آبراهه	فاصله از آبراهه	فاصله از آبراهه
۵	۶	۱	فاصله از گسل	فاصله از گسل	فاصله از گسل	فاصله از گسل	فاصله از گسل	فاصله از گسل	فاصله از گسل
۱/۳	۱	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی	کاربری اراضی
۱	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی

Priorities with respect to:  
Goal: Landslide Hazard Zoning



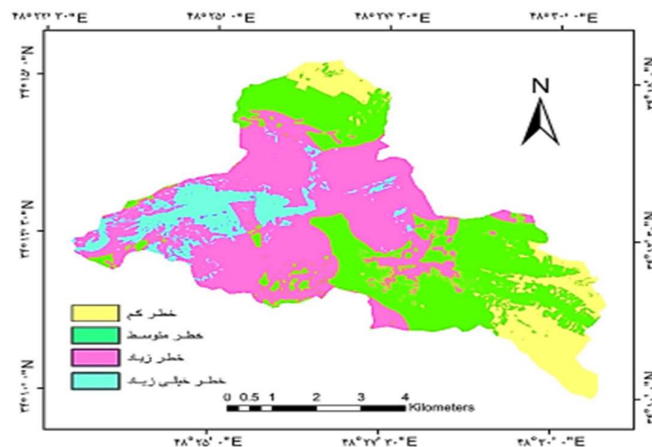
شکل ۱۳: بررسی تأثیر ۱۰ فاکتور بر وقوع زمین‌لغزش

سپس با استفاده از سه مدل تراکم سطح، AHP و رگرسیون لجیستیک، نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه و در مرحله‌ی بعد نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده به چهار کلاسه کم خطر، خطر متوسط، خطرناک و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۴ تا ۱۶).



شکل ۱۴: نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش تراکم سطح

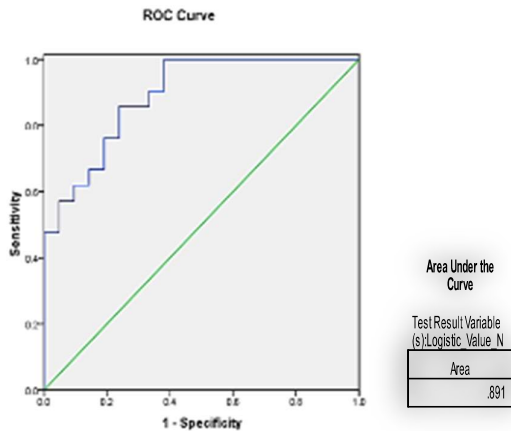
شکل ۱۵: نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش رگرسیون لجیستیک



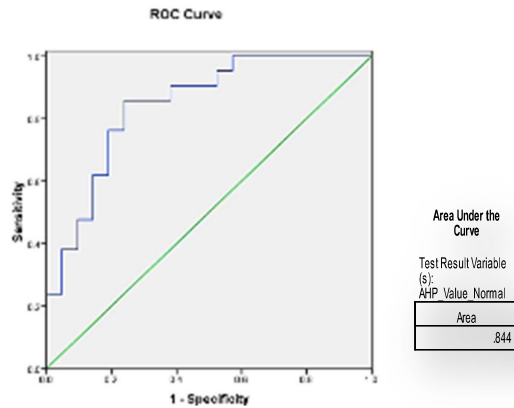
شکل ۱۶: نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش AHP

#### ۴-۱- ارزیابی مدل‌ها

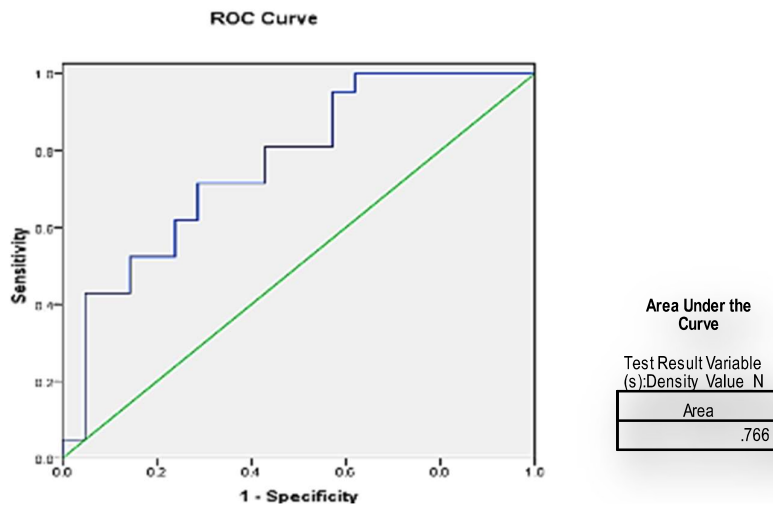
نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها براساس منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) در شکل ۱۷ تا ۱۹ آورده شده‌است. سطح زیر منحنی (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم رخداد آن است. مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱-۰ متغیر است. بررسی این منحنی‌ها نشان می‌دهد که ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد؛ بنابراین، مدل لجیستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۹۱ و AHP با سطح زیر منحنی ۰/۸۴۴ با اختلافی کم در مقدار سطح زیر منحنی، مدل‌های ایده‌آل‌تری نسبت به مدل تراکم سطح با سطح زیر منحنی ۰/۷۶۶ است.



شکل ۱۸: منحنی ROC در مدل Logistic



شکل ۱۷: منحنی ROC در مدل AHP



شکل ۱۹: منحنی ROC در مدل Density Area

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل ترکیبی از عوامل مؤثر طبیعی و انسانی دارای پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش است و این لغزش‌ها هر ساله خسارات زیادی به جاده، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و دیگر منابع موجود در

منطقه وارد می‌کند. هدف از این بررسی، تعیین مهمترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر لغزش با استفاده از مدل‌های تراکم سطح، AHP و رگرسیون لجیستیک است.

بررسی‌های انجام شده با استفاده از مدل AHP (شکل ۳) نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش طبق اهمیت به ترتیب عبارتند از: فاصله از گسل، فاصله از جاده، شیب، فاصله از روستا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، ارتفاع، بارش و جهت شیب. نتایج نشان داد که عامل فاصله از گسل بیشترین تأثیر را دارد و عامل زمین‌شناسی از بین ۱۰ عامل در ردیف پنجم قرار می‌گیرد؛ به طوری که بیشترین لغزش‌ها در فاصله‌ی کمتر از ۱۰۰۰ متر از گسل رخ داده‌است. با توجه به قرارگیری منطقه در زون زاگرس رورانده و تکتونیک‌ی و پر لرزه‌ی نهاوند همدان، نشان می‌دهد که لغزش‌ها تحت تأثیر این عامل هستند. بررسی میزان تأثیر عامل فاصله از جاده در ایجاد زمین‌لغزش نیز نشان می‌دهد که بیشترین میزان لغزش در فاصله‌ی ۱۰۰۰-۴۰۰ متری از جاده مشاهده می‌شود و دلیل پایین بودن میزان لغزش در فاصله‌ی کمتر از ۴۰۰ متر، وجود سازه‌های محافظتی در این فاصله است. جاده‌ها وضعیت طبیعی و شیب تعادل منطقه را به هم زده، بریدگی‌های شیب را به وجود آورده و به ناپایداری دامنه‌ها و تشدید رخداد لغزش در منطقه منجر شده‌است. در بررسی فاکتور شیب، بیشترین میزان لغزش در کلاسه‌های شیب ۳۰-۴۵ درجه و ۱۵-۳۰ درجه رخ داده‌است. در شیب‌های بالا به دلیل صخره‌ای بودن دامنه و ضخامت کم مواد منفصل، معمولاً وقوع زمین‌لغزش کمتر است و شیب‌های ملایم به دلیل تنش برشی کمتر، معمولاً به وقوع زمین‌لغزش حساسیت کمتری دارد (Mohammady et al, 2012). بررسی فاصله از روستا نشان داد که بیشترین میزان لغزش تا فاصله‌ی ۱۰۰۰ متری رخ داده‌است. ساکنین روستا در منطقه با احداث جاده در دامنه و ایجاد بریدگی‌های عمودی، باعث برهم زدن تعادل شیب و تغییر کاربری اراضی شده‌اند. بیشترین لغزش در کلاسه‌ی AN (انیدریت و گابرو) زمین‌شناسی رخ داده که دلیل آن حساسیت بالا به فرسایش و رس‌زایی و تجزیه کانی‌های موجود و تشکیل سازندهای سطحی از نوع رسی است که به لغزش، نفوذ آب و حرکات توده‌ای حساسیت بالایی دارند. کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که درصد بالایی از لغزش‌های منطقه در اراضی مرتعی رخ داده‌است که تعداد لغزش‌ها به ترتیب در مراتع نیمه متراکم، مرتع کم تراکم و مرتع متراکم بیشتر است. براساس بررسی‌های میدانی و آمار تعداد دام مشخص شد که چرای مفرط و تبدیل مراتع به دیمزارهای رها شده، مهمترین اثر را بر رخداد لغزش دارد.

بررسی عامل فاصله از شبکه‌ی آبراهه نشان داد که لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه‌ی مورد مطالعه، در فاصله‌ی ۲۰۰ متری از این عارضه مشاهده می‌شود. بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد که آبراهه‌ها بر اثر حفر و فرسایش رودخانه‌ای به حمل مواد پای شیب‌ها منجر شده و عامل نگهدارنده را از پای دامنه‌ها برداشته‌است. از سوی دیگر، سایش دیواره‌ی کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه است. طبقات با ارتفاع متوسط، بیشترین حساسیت را نسبت به زمین‌لغزش دارند و دلیل آن میزان بارش کم در طبقات پایین و پدیده‌ی یخبندان و کندی فرآیند خاک‌زایی در طبقات بالاست. نتایج حاصل از بررسی بارش نشان می‌دهد که به ترتیب بیشترین اثر در فرایند لغزش، مربوط به طبقات متوسط بارش (۴۶۵-۴۵۵) میلی‌متر است. انتظار می‌رود با افزایش بارش، خاک‌شویی و احتمال رخداد لغزش نیز بیشتر شود. این افزایش تا ۴۶۵ میلی‌متر وجود دارد، اما نتیجه‌ی حاصل نشان می‌دهد که در طبقات با بارش بیش از ۴۶۵ میلی‌متر، لغزش کمتری وجود دارد که دلیل آن وجود عوامل مؤثر دیگر از جمله شیب،



عامل زمین‌شناسی و ارتفاع است. در دامنه‌های جنوبی آفتاب‌گیر، بیشترین تعداد لغزش نسبت به بقیه‌ی جهت‌ها مشاهده می‌شود که علت آن رطوبت بالا به همراه گرمای ناشی از تابش آفتاب، شرایط مناسب برای هوازده‌گی شیمیایی است که زمینه را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم کرده‌است.

با استفاده از سه مدل تراکم سطح، AHP و رگرسیون لجیستیک، نقشه‌های پهنه‌بندی منطقه تهیه و منطقه به ۴ رده با خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که بیشتر سطح منطقه در درجه‌ی خطر زیاد قرار دارد. همین‌طور ارزیابی پژوهش‌های انجام شده و نتایج ناشی از ارزیابی مدل‌ها بر اساس منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) (شکل‌های ۱۷ تا ۱۹)، نشان می‌دهد که ایده‌آل‌ترین مدل در پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش، لجیستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۹۱ و AHP با سطح زیر منحنی ۰/۸۴۴ با اختلافی کم در مقدار سطح زیر منحنی، مدل‌های ایده‌آل‌تری نسبت به مدل تراکم سطح با سطح زیر منحنی ۰/۷۶۶ است که با نظر (Garsia et al, 2008 & BiaoBai et al, 2010 & Choi et al, 2012 & Pourghasemi et al, 2013 & shahabi et al, 2014 & wang et al, 2015 & کرم و محمودی، ۱۳۸۴) در انتخاب رگرسیون لجیستیک و با نظر (Barredo et al, 2000 & Yalcin, 2008) در انتخاب مدل AHP به عنوان مدل کارا در منطقه، کاملاً مطابقت دارد.

به طور کلی فاکتورهای گسل، زمین‌شناسی و شبکه آبراه‌ها تغییرناپذیر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات آنها عدم تحریک این مناطق و دوری از آنهاست. فاکتورهای جاده، روستا و کاربری اراضی قابل برنامه‌ریزی و مدیریت است و می‌توان با احداث جاده براساس شرایط زیست‌بوم و جلوگیری از احداث جاده‌های ناصولی و کاربری مناسب در این مناطق، از تحریک و افزایش حرکات توده‌ای در این گونه مناطق جلوگیری کرد. پیشنهاد می‌شود در این منطقه، از مدل‌های دیگر به منظور تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی و مقایسه‌ی مدل‌های مختلف با هم استفاده شود تا بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تعیین گردد. همچنین فاکتورهای مؤثر بیشتری در منطقه در نظر گرفته شود و خسارات اقتصادی ناشی از زمین‌لغزش‌ها و هزینه‌های کنترل لغزش‌ها ارزیابی و محاسبه شود.

#### فهرست منابع

1. Abedini, M., 2012. Geomagnetic zonation hazard zonation based on hierarchical analysis method (AHP), *Research project of Geographical Department of Mohaghegh Ardabili University*.
2. Abedini, M., & M. H. Fathi, (2014). Landslide hazard zonation in Khalkhal Chai watershed using multi-criteria models. *Quantitative geomorphology studies*. 2(4), 71-85.
3. Ahmadi, H.; Mohammad Khan.; Feiznia, S.; & J. Qodousi, 2010. Construction of the regional velocity model for mass motion using qualitative and analytical characteristics of systems (AHP) in Taleghan watershed, *6 th National Conference on Watershed Management and 4th National Conference on Erosion and Sediment*, pp8.
4. Afjeh Nasrabadi, H.; Shataei, sh.; Shafa, Rafatnia, N.; & M. ShariahJafar, 2008. Evaluation of the Efficiency of Statistical Models of Information Value and Surface Density in Landslide Hazard Zoning of Forest Areas, Shast Calc. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(6), 12-24.
5. Ayalew, L., & H. Yamagishi, (2004). Slope failures in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. *Geomorphology*. 57(1), 95-116.

6. Ayalew, L.; Yamagishi, H.; Marui, H.; & T. Kanno, 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81(4), 432-445.
7. Barredo, J.; Benavides, A.; Hervás, J.; & C. J. van Westen, 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(1), 9-23.
8. Bai, S. B.; Wang, J.; Lü, G. N.; Zhou, P. G.; Hou, S. S.; & S. N. Xu, 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 115(1), 23-31.
9. Chalarstahi, A.S., 2001. Investigation of the factors affecting the occurrence of landslides and zoning of land slide risk in Shirin-rood watershed in Sari, *Master's Degree of Watershed Management, Faculty of Natural Resources*, University of Tehran, pp, 141.
10. Bui, D. T.; Pradhan, B.; Lofman, O.; Revhaug, I.; & O. B. Dick, 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models, *Catena*, 96, 28-40.
11. Caniani, D.; Pascale, S.; Sdao, F.; & A. Sole, 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, *Natural Hazards*, 45(1), 55-72.
12. Chauhan, S.; Sharma, M.; & M. K. Arora, 2010. Landslide susceptibility zonation of the Chamoli region, Garhwal Himalayas, using logistic regression model, *Landslides*, 7(4), 411-423.
13. Choi, J.; Oh, H. J.; Lee, H. J.; Lee, C.; & S. Lee, 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS, *Engineering Geology*, 124, 12-23.
14. Fatemi, S. M.; Ghyumian, J.; & A. Ashqali Farahani, 2003. Evaluation of the Efficiency of Statistical Methods in Determination of Landslide Risk Potential, *Journal of Earth Sciences*, 11(47), 28-47.
15. Fall, M.; Azzam, R.; & C. Noubactep, 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping, *Engineering Geology*, 82(4), 241-263.
16. Feiznia, S.; Kalarstagh, A.; Ahmadi, H.; & M. Safaei, 2002. Investigating the factors affecting the occurrence of landslides and zoning of the land slide risk of Shirin-rood-Dam Tajan watershed, *Journal of Natural Resources of Iran*, 57 (1), 3-20.
17. García-Rodríguez, M. J.; Malpica, J. A.; Benito, B.; & M. Díaz, 2008. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression, *Geomorphology*, 95(3), 172-191.
18. Gregory, p., 2006. Investigation of mass movements in order to present a regional zoning model for hazard zonation in Logimorud watershed, *Master's degree in Watershed of Natural Resources Faculty*, Mazandaran University. Pp, 121.
19. Hasekioğulları, G. D., & M. Ercanoglu., 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey), *Natural hazards*, 63(2), 1157-1179.
20. Javadi, M. R.; Seddighi, M.; & Sh. Gholami, 2014. Evaluation of the Efficiency of Statistical Models of Information Values and Logistic Regression in Preparation of Landslide Sensitivity Map in Pahanakla Subzone, *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences) A*, 28(1), 153-162.
21. Karam, a., & F. mahmoodi., (2005). Quantitative modeling and zoning of landslide hazard in Zagros damaged Sarkhoon watershed in Chaharmahal va Bakhtiari. *Journal of Geographical Research*. (51), 1-14.
22. Karimi Sang Chini, A., & M. Onagh., (2001). Landslide hazard zonation with two-variable statistical model in Chehelchai sub-basins, AHP, Golestan province, *Journal of Science and Engineering, Watershed Management*, 5(15), 53-62.

23. Karimi sang chini, A.; Onegh, M.; & A. Saadoddin, 2012. Comparison of the efficiency of 4 quantitative and semi-quantitative model of landslide hazard zonation in the Chehel-Chay watershed of Golestan, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 19(1), 183-196.
24. Kincal, C.; Akgun, A.; & M. Y. Koca, 2009. Landslide susceptibility assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method, *Environmental Earth Sciences*, 59(4), 745-756.
25. Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74(1), 17-28.
26. Lee, S., & B. Pradhan., (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. 4(1), 33-41.
27. Lee, E. M., & D. K. C. Jones., (2004). Landslide risk assessment.
28. Mohammadi, M.; Moradi, H. R.; Feizenya, S.; & H. R. Pourghasemi, 2009. Prioritizing the factors affecting the landslide and preparing its hazard map using information value models and AHP in a part of the Haraz watershed, *Journal of Geosciences*, 19 (74), 27-32.
29. Mohammadi, M.; Pourghasemi, H. R.; & B. Pradhan, 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models, *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236.
30. Nefeslioglu, H. A.; Gokceoglu, C.; & H. Sonmez, 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *Engineering Geology*, 97(3), 171-191.
31. O'brien, R. M., 2007. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors, *Quality & Quantity*, 41(5), 673-690.
32. Pradhan, B., 2011. Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with Geo-information techniques to landslide susceptibility mapping and their comparison with logistic regression modelling, *Environmental and Ecological Statistics*, 18(3), 471-493.
33. Pradhan, B., & M. F. Buchroithner., (2010). Comparison and validation of landslide susceptibility maps using an artificial neural network model for three test areas in Malaysia, *Environmental & Engineering Geoscience*, 16(2), 107-126.
34. Pradhan, B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS, *Computers & Geosciences*, 51, 350-365.
35. Pourghasemi, H. R.; Pradhan, B.; Moradi, H. R.; Mohammady, M.; & M. Bednarik, 2013. A Comparative Assessment Between Index of Entropy, Logistic Regression, and Frequency Ratio Models for Landslide Susceptibility Mapping in Iran.
36. Qudsipour, S. H., 2005. Issues in Multi-criteria Decision Making, *Analytical Hierarchy Process*, Amir Kabir University of Technology Press, (4), 220 .
37. Remondo, J.; González, A.; De Terán, J. R. D.; Cendrero, A.; Fabbri, A.; & C. J. F. Chung, 2003. Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain, *Natural Hazards*, 30(3), 437-449.
38. Shadfar, P.; Yamani, M.; & M. Sali, 2005. Landslide hazard zonation using information value models, surface density, and LNRE in the Chalker field, *Journal of Water and Watershed*, (3), 62-68.
39. Shahabi, H.; Khezri, S.; Ahmad, B. B.; & M. Hashim, 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, *Catena*, 115, 55-70.
40. Shirani, K.; Chavoshi Boroujeni, S.; & J. Nymanian, 2006. Investigation and Evaluation of Landslide Hazard Zoning Methods in Alyssemirem Bonus, *Journal of Research in Science & Engineering University of Isfahan*, 23 (1), 38.

41. Shirvani, K.; Nymanian, J.; & A. Mokhtari, 2005. Investigation and evaluation of bivariate and multivariate statistical methods in zoning the risk of landslide of the Marber River basin, *Water and Watershed Journal*, (2), 36-47.
42. Wang, L. J.; Guo, M.; Sawada, K.; Lin, J.; & J. Zhang, 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network, *Geosciences Journal*, 20(1), 117-136.
43. 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), 1-12.
44. Yalcin, A.; Reis, S.; Aydinoglu, A. C.; & T. Yomralioglu, 2011. 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(3), 274-287.
45. Yesilnacar, E., & T. Topal., (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*. 79(3), 251-266.
46. Yesilnacar, E. K., 2005. *The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey*. University of Melbourne, Department, 200..
47. Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey), *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138.

# Investigation of Effective Factors and Landslide Hazard Zoning Using Density Area, Analytical Hierarchy Process and Logistic Regression Methods in the Ashvand Watershed

**Alireza Ildoromi**<sup>1</sup>: *Associate professor of Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer university, Malayer, Iran*

**Hamid Nouri**: *Assistant professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer university, Malayer, Iran*

**Majid Mohammady**: *Assistant professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Semnan university, Semnan, Iran*

**Maryam Mosavi**: *Graduated Student, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Malayer university, Malayer, Iran*

Article History (Received: 2017/04/09

Accepted: 2017/10/21)

## EXTENDED ABSTRACT

Recognition of effective factors on landslide occurrence in the area leads to an important set of solutions to control and take suitable actions upon this phenomenon. This paper aims at recognizing such factors and also landslide occurrence and zoning landslide hazard, using density area, Analytical Hierarchy Process and logistic regression, and also investigating the accuracy of the proposed models through the Ashvand Watershed at Nahavand city. To this end, the author conducted a field study and also reviewed the related research that resulted to the identification of 10 factors as effective on landslides including: slope, aspect, elevation, distance from river, distance from road, distance from fault, distance from village, geology, land use, and precipitation. In the next step, the data layers for these factors and landslide distribution have been generated. The factors were prioritized using AHP method and weight maps were generated for each identified factor. Landslide hazard zoning maps were also prepared for all the three conducted methods. Finally, the output maps from the previous step were categorized into four groups including low risk, medium risk, high risk, and very high risk. Through the assessment of the zoning maps by means of the ROC curve, the authors concluded that the logistic regression with AUC 0/891 and AHP with AUC 0/844 are the optimal models for the aim of this study.

## 1- INTRODUCTION

If only one factor was causing a phenomenon in nature, it would be very simple to decide on it and to predict its occurrence, but in general, the phenomena in nature have many qualitative and quantitative factors. One of the most dangerous type of erosion phenomena can be mass and land slide movements that have a lot of financial dangers. According to the definition of the International Geological Engineering Association in 1990, the movement of land constituents, from slope downwards is called landslide or sloping instability. In Iran, landslide is one of the most important natural disasters that has a significant role in destroying communication roads, pastures, Gardens and residential areas, as well as erosion and transfer of high volumes of sediment in our country's catchment areas. Therefore, in order to manage and mitigate the risk, it is necessary to predict the occurrence and preparation of a landslide hazard zonation map, and this has led to the development of numerous empirical and statistical models emphasizing the use of the Geographic Information System (GIS). In the Ashvand Basin in Nahavand, due to the sensitivity of the area, the greatest amount of erosion is due to landslides. Therefore, the assessment and management of the region is necessary in order to compensate for any damage and injuries incurred.

## 2- Methodology

The watershed of Asvand is located in Hamadan province and northeast of Nahavand city with an area of about 96/47 square kilometers and an environment of about 24/24 km. After reviewing the field and reviewing

---

<sup>1</sup> Corresponding Author: [ildoromi@gmail.com](mailto:ildoromi@gmail.com)

similar studies, 10 factors including slope, tilt direction, elevation, distance from the waterway, distance from the road, distance from the fault, distance from the village, geology, land use and precipitation were extracted as factors affecting the occurrence of the known landslide. Then, the ten layers of the data and the distribution of the landfall event were prepared. Using AHP, 10 factors investigated were prioritized. After drawing up weight maps for each factor, zoning maps were prepared in all three models, in which the maps were classified into four categories including low risk, medium risk, high risk and very high risk.

### 3- Results

In this study, we tried to determine the factors affecting landslide according to past studies as well as their existence. Selection of these factors plays an important role in the accuracy of the landslide zonation map in the region. The first step in zoning landslide is the recognition and selection of effective factors in its occurrence, which indicates the accuracy of the zoning map. The first step in the zoning of land scaling is the identification and selection of effective factors in its occurrence, which indicates the accuracy of the zoning map. According to the review of available resources and available data, 10 geological factors including land use, elevation, slope, slope direction, distance from the road, distance from the waterway, distance from the village, distance from fault and precipitation for zoning the land scarcity risk in the region were identified and classified. The purpose of this study was to determine the landslide hazard zonation using the three methods of AHP, surface density and logistic regression using operational maps. At first, the maps of the agent were prepared and, according to each method, a landslide hazard zonation map was prepared. Then, using three levels of surface density, AHP and logistic regression, a zoning map, and in the next step, other zoning maps were prepared. The results were categorized into four classes of low risk, moderate, hazardous and very high risk. The results of the evaluation of the models based on the ROC are presented in Figures 17-19. AUC below represents the predictive value of the system by describing its ability to accurately estimate events occurring (landslide occurrence) and its failure to occur. AUC values vary from 0.5 to 1. In these curves, as stated above, the most ideal model has the highest level below the curve, which is a logistic with a curve surface of 0.891 and AHP with a surface below the curve of 0.484 with a slight difference in the surface area under the curve. Ideal models are as much as 766/0 compared to the level-level congestion model.

### 4- Discussion & Conclusions

In general, identification of the most important factors affecting the occurrence of landslide with the use of the AHP model is presented in Figure 3. Accordingly, the important factors in landslide occurrence are respectively: distance from fault, distance from the road, slope, distance from the village, geology, land use, distance from the waterway, altitude, precipitation and direction of slope. The density of landslides in each class of factors was investigated and it was determined that in each factor which class has the most slip. In considering the distance from the road, the maximum slip is less than 1000 m from the fault, because the fault is one of the most important tectonic factors that can potentially sensitize the slopes. In the study of the effect of the distance factor on the road landslide, it was concluded that in the distance of 1000-400 meters from the road, the highest slip is observed and the reason why the slipping distance is less than 400 meters is that the protective structures in this distance disturb the natural state of the area and the slope of the region, and create vertical cuts. In the study of slope factor, the maximum slip occurred in slope categories of 45-30 degrees and then 15-15 degrees. In the downward slopes, due to the rocky extent of the slopes and the small thickness of the detached materials, the occurrence of low-lying slopes is usually less and sloping slopes, due to lower shear stress, are usually less susceptible to ground occurrence. The distance from the village showed that the maximum slip occurred up to 1000 meters. The presence of the village in the area causes the disturbance of the gradient equilibrium, the creation of vertical cuts, the change of use around the village, and the compaction of the soil and its degradation. In the geological factor, the greatest slip occurred in the AN class (anidrite and gabbro), due to its high sensitivity to erosion and fragmentation of the existing minerals and formation of surface-shaped structures, which are sensitive to slip, water penetration and mass movements. The created land use in the area shows that a high percentage of landslides has occurred in the rangelands with the number of landslides in semi-dense, low-density rangeland and dense pasture, respectively. Investigating the distance factor from the waterway network showed that the slides occurred in the studied area at a distance of 200 meters from this complication. The reason for this is that the drainage is due to the river's dredging and erosion, which carries the material to the slopes and maintains the retaining factor from the slopes, and the rubbing of the wall along the river causes a collapse of the slope and, consequently, the instability of the slope overlooking

the river. From the study of elevation classes, it was also found that the classes with an average height had the highest sensitivity to the slippage, due to the low rainfall in the lower floors and the phenomenon of glaciation and slowness of the clay process in the upper classes. In the results of precipitation analysis in the region, it was concluded that the greatest effect on slippage is, respectively, on the average rainfall levels (455-445 mm). The increase is expected to increase by more than 465 mm for reasons other than excavation, but the result shows that there is less slip in the classes with a rainfall of more than 465 mm, which can be due to other effective factors such as Gradient and geological factor or elevation of the area. In the southern slopes that are considered as slopes, they have the highest slip in comparison with other directions in the region, which can be due to weathering. In these slopes, the high humidity of the area, along with heat from the sunlight, provides suitable conditions for chemical weathering. The intensity of weathering is inversely related to the amount of adhesion of materials, which provides a ground for landslide occurrence. Using three models of surface density and AHP and logistic regression, zoning maps were prepared and the area was classified into 4 categories with low risk, medium risk, high risk and very high risk (Figure 4). Also, by evaluating research done using ROC and accuracy, it is shown in Figure 5 that the logistic regression model and then the hierarchical analysis process model have been used as important and efficient models in the zoning of ground-sensitive sensitivity. The study area is due to a combination of natural and human factors that have a great potential for earthquake occurrence. These landslides annually cause many damage to the road, residential areas, agricultural lands and other resources in the region. Fault factors, geology and network of inland waterways are irrevocable and the only way to prevent their damage is to not disturb these areas and avoid them. Road, village and land use planning and management factors can be prevented by stimulating and increasing movements in these areas by constructing a road based on environmental conditions and preventing the construction of unpredicted roads and proper use in these areas. . It is suggested that other models be used in this area in order to map the zoning and compare different models in order to determine the best model for zoning of landslide hazard and also to consider more effective factors in the region and economic losses caused by landslides and the costs of slip control are evaluated and calculated.

**Key words:** landslide hazard mapping, logistic regression, density, AHP, watershed Ashvand