



## مقایسه روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه حساسیت ریزش سنگ (مطالعه موردی: استان کردستان، گردنه صلوات آباد)

عطاله شیرزادی<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>۳</sup>، عطاله کاویان<sup>۴</sup> و بهاره قاسمیان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: A.Shirzadi@uok.ac.ir)

۲ و ۳- استاد و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانشجوی دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۰

### چکیده

ریزش‌سنگ‌ها از فرآیندهای ژئومورفیکی طبیعی فعال روی دامنه‌های پرشیب نواحی کوهستانی می‌باشند. در این پژوهش، با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی در طول ۱۱ کیلومتر از جاده گردنه صلوات آباد در شرق شهرستان سنندج در استان کردستان، نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ تهیه شدند. متغیر وابسته حضور و عدم حضور ریزش سنگ و متغیرهای مستقل شامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، فاصله از غسل، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی می‌باشند. نقشه‌های پهنه‌بندی با موقعیت ریزش سنگ‌ها با استفاده از روش نرخ منحنی موفقیت (Success Rate Curve (SRC)، مقایسه و مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج ارزیابی صحت روش‌ها نشان داد که درصد مساحت زیر منحنی (AUC) نقشه‌ها به ترتیب در مدل رگرسیون لجستیک ۸۵/۰۹ درصد، در مدل تحلیل سلسله مراتبی ۸۳/۲ درصد و در مدل نسبت فراوانی ۷۶/۷۴ درصد به دست آمدند. بنابراین مدل رگرسیون لجستیک نسبت به سایر مدل‌ها برای شناسایی مناطق مستعد و حساس به حساسیت ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه مناسب تر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: ریزش سنگ، رگرسیون لجستیک (LR)، نسبت فراوانی (FR)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، گردنه صلوات آباد، کردستان

### مقدمه

قطعات سنگی ۱۰<sup>۲</sup>-۱۰<sup>۳</sup> متر مکعب، ریزش‌های پرتگاه‌ها با اندازه قطعات سنگی ۱۰<sup>۳</sup>-۱۰<sup>۶</sup> مترمکعب و بهمین‌های سنگی<sup>۴</sup> با اندازه قطعات سنگی بزرگتر از ۱۰<sup>۶</sup> مترمکعب تقسیم‌بندی نموده‌اند. امروزه مطالعات زیادی در مورد حرکت‌های توده‌ای زمین به انجام می‌رسد. نخستین اقدام برای جلوگیری از ریزش قطعات سنگی از دامنه‌ها توسط ریچی در سال ۱۹۶۳ با حفر چاله‌ای در پاشنه دامنه بدون در نظر گرفتن جهش قطعات سنگی در هنگام ریزش انجام گرفت (۲۸).

بعدها روش‌های مختلفی برای شناسایی مناطق حساس به حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی رواج یافتند که عبارتند از: شاخص همپوشانی<sup>۵</sup> (۱،۳۱) نسبت فراوانی<sup>۶</sup> (۲۶،۲۵)، شبکه عصبی مصنوعی<sup>۷</sup> (۱۴،۱۱،۱۷،۱۸،۱۹،۳۲)، شبکه عصبی مصنوعی<sup>۷</sup> (۲۶،۲۵)، منطق فازی<sup>۸</sup> (۲۶) رگرسیون لجستیک<sup>۹</sup> (۱۸،۱۷،۸،۶)، ۲۴،۲۶،۳۰) لی و سمبات (۱۸)، به مطالعه، مقایسه و آزمایش مدل نسبت فراوانی و مدل آماری رگرسیون لجستیک زمین‌لغزش‌های منطقه دامری رومل در کشور کامبودیا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. متغیرهای مستقل به کار رفته در این تحقیق جهت شیب، شکل شیب، فاصله از جاده، لیتولوژی، کاربری

ریزش سنگ‌ها<sup>۱</sup> مربوط به حرکت‌های ناگهانی یا تند بلوک‌های لقی شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های سخت جدا شده از دیواره‌های سنگی پرشیب می‌باشد. آنها معمولاً در امتداد سطوح لایه‌بندی درزها و مناطق گسلی یا سطوح گسلی رخ می‌دهند. وجود طبقات سخت و نرم و زیرشویی طبقه نرم منجر به خالی شدن قسمت تحتانی و تسریع ریزش می‌شود (۱۰). ریزش سنگ از فرآیندهای ژئومورفیکی طبیعی فعال روی دامنه‌های پرشیب نواحی کوهستانی به شمار می‌روند (۲۰). آنها عموماً بر اساس اندازه از قله سنگ‌های کوچک تا تخته سنگ‌های بزرگ در اندازه‌های صدها متر مکعب و محدوده حرکت آنها از سریع تا کم تا ۱۰ متر بر ثانیه را شامل می‌شوند (۳). در بسیاری از شرایط خطرات ریزش سنگ‌ها را نمی‌توان نادیده گرفت، زیرا اندازه و فراوانی وقوع آنها به صورت مکانی و زمانی متغیر بوده و پویایی زیاد سنگ‌های ریزشی باعث ایجاد تفاوت‌های عمده‌ای در ناپایداری دامنه‌ها می‌شوند (۱۰). کوپن و ویلاپلانا (۹) ریزش سنگ‌ها را به چهار دسته شامل، ریزش‌های تخته سنگی<sup>۲</sup> با اندازه قطعات سنگی کمتر از ۱۰<sup>۲</sup> متر مکعب، ریزش‌های بلوکی<sup>۳</sup> با اندازه

1- Rock fall  
6- Frequency Ratio

2- Boulder fall  
7- Neural Network

3- Block fall  
8- Fuzzy Logic

4- Cliff fall  
9- Logistic Regression

5- Overlay Index

مراتبی AHP حوضه آبخیز چلاوآمل به این نتیجه رسیدند که تأثیر زمین‌شناسی از سایر عوامل خاک‌شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع می‌باشند. با این وصف ریزش‌سنگ‌ها در مطالعات منابع طبیعی در ایران، ناشناخته مانده است که شاید به دلیل کمبود اطلاعات، سختی و دشواری مطالعه آن و کم اهمیت بودنش نسبت به سایر انواع حرکت‌های توده‌ای از جمله زمین‌لغزش باشد. منطقه مورد مطالعه همه ساله با ریزش‌سنگ‌هایی در طول ۱۱ کیلومتر از جاده واقع در گردنه صلوات‌آباد در شرق شهرستان سنندج، رو به رو بوده که خوشبختانه تاکنون تلفات جانی را در پی نداشته است. اما بر اساس گزارش اداره راه و ترابری شهرستان سنندج فقط، در سه ماهه اول سال ۱۳۸۵ هزینه‌ای در حدود ۲۷۱۳۷۲۲۰ ریال به خاطر ترانشه‌بری در زمین‌های سنگی، برداشت ریزش، بارگیری و حمل مواد حاصله از ترانشه‌بری و ریزش، پاک‌کردن سطح راه و رفع انسداد راه ناشی از ریزش در کل استان را متحمل شده است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در وقوع پدیده ریزش‌سنگ و همچنین شناسایی مناطق دارای پتانسیل و بالا از طریق پهنه‌بندی حساسیت ریزش‌های سنگی با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خسارت‌های جانی و مالی ناشی از ریزش سنگ‌ها و شکل ۱، ضرورت تحقیق را به خوبی نشان می‌دهد.

اراضی بودند. در منطقه بیشتر بوده و بعد از آن به ترتیب عوامل نتایج نشان‌دهنده آن بود که درصد صحت پیش‌بینی برای روش نسبت فراوانی ۸۶/۹۷ و برای رگرسیون لجستیک ۸۶/۳۷ درصد که این مقادیر خیلی به هم نزدیک بودند، می‌باشد. (۳۴) در ارزیابی حساسیت حرکات دامنه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مرکز تاپوان به این نتیجه رسیدند که بارش، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، جاده و ریزش تاریخی کوه مهم‌ترین عوامل ایجاد زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند. یالسین و ریس (۳۵) به ارزیابی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی و GIS در تراپزون ترکیه به این نتیجه رسیدند زمین‌شناسی، ارتفاع، فاصله از جاده و تغییر کاربری اراضی به عنوان پارامترهای مهم وقوع زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند و وقوع زمین‌لغزش در سه کلاس با درصد بالا، پایین و بسیار پایین می‌باشد (۲۹) ریزش سنگ‌های محور کرج - چالوس را با استفاده از بررسی اثر پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای مطالعه نموده‌اند. این پارامترها عبارتند از عرض جاده، فاصله در تصمیم‌گیری، درصد خطر وسیله نقلیه و لزوم حفزه ضربه‌گیر کنار جاده. نتایج آنها نشانگر آن بود که نادیده گرفتن یا کوچک جلوه دادن این عوامل ترافیکی موجب بی‌دقتی در ارزیابی حوادث ریزش‌های سنگی در جاده‌های کوهستانی می‌گردد. امیر احمدی و همکاران (۲) به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله



شکل ۱- ریزش سنگ‌های گردنه صلوات‌آباد هنگام پاک‌سازی جاده (لق‌گیری)

۱۶ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه عرض شرقی واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۸/۷۱ کیلومتر مربع می‌باشد. جاده‌ای با روند شمالی - جنوبی و با کشیدگی در امتداد منطقه مورد مطالعه وجود دارد که حدود ۱۱ کیلومتر از این جاده از ابتدای گردنه تا حدود

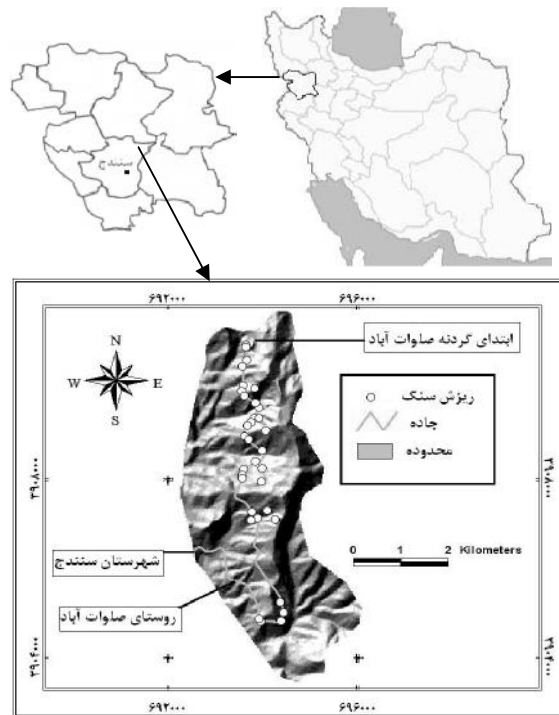
## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه:

گردنه صلوات‌آباد در شرق شهرستان سنندج در استان کردستان و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه و ۴۸ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۸ دقیقه و ۵۷ ثانیه طول شمالی و ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه و

است. ارتفاع متوسط حدود ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بوده و اقلیم منطقه از نوع مدیترانه‌ای می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه ۴۷۰/۸۳ میلی‌متر و شیب متوسط منطقه مورد مطالعه ۲۳ درجه است. بیشتر منطقه بدون پوشش و صخره‌ای با رخنمون‌های سنگی بوده و شکل توپوگرافی محدب، هندسه غالب شیب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۲).

ابتدای روستای صلوات‌آباد، مورد بررسی قرار گرفته است. واحدهای سنگی در محدوده مورد مطالعه مربوط به دوران مزوزوئیک و دوره کرتاسه پسین می‌باشد و از جدید به قدیم عبارتند از؛ واحد سنگی  $K_1^{v,13}$  شامل سنگ‌های ولکانیک، آندزیتی، بازالتی و اسپیلیت بازالت در محیط دریایی، واحد  $K_1^{11}$  شامل سنگ‌های آهکی چین خورده؛ واحد  $K_1^s$  ماسه سنگ با میان لایه‌هایی از شیل و کنگلومرای با قطعات سنگ آهک، ولکانیک و سیلیس



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کردستان (گردنه صلوات‌آباد)

#### داده‌های استفاده شده در پژوهش:

کشور، هشت عامل موثر بر ریزش سنگ که عبارتند از: درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، کاربری ارضی، سنگ شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و شکل شیب، (جدول ۱)، شناسایی گردیدند. از دو شیت نقشه توپوگرافی، قطعه ۱ سنندج و هلیزآباد با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ برای تهیه مدل رقومی ارتفاع، با فواصل خطوط ۱۰ متری و اندازه پیکسل‌های ۲۰ × ۲۰ متری استفاده شد. نقشه‌های گسل و سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی سنندج با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به دست آمدند. بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ETM<sup>۱</sup> به تاریخ اردیبهشت ۱۳۸۰ و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه گردید. از نرم‌افزار تخصصی Expert Choice 11 جهت تعیین ضرایب و نقشه پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ با روش تحلیل سلسله مراتبی و

نقشه پراکنش ریزش سنگ از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای برخلاف زمین‌لغزش، به دلیل گستردگی کم و پراکنش این مناطق در نقاط کور در پرتگاه‌های پرشیب دامنه<sup>۱</sup> تا حدودی مشکل می‌باشد. بنابراین برای شناسایی آنها مستقیماً اقدام به استفاده از اطلاعات اداره راه و ترابری شهرستان سنندج از محل‌های وقوع ریزش سنگ، مردم ساکن در منطقه و پیمایش‌های صحرایی و مشاهده بصری گردیده و مختصات جغرافیایی ۳۴ دامنه حساس و مستعد به ریزش سنگ به‌عنوان متغیر وابسته با دستگاه موقعیت یاب جهانی<sup>۲</sup> برداشت و پس از انتقال به نرم‌افزار Arc View 3.2، رقومی و آماده پردازش گردید (شکل ۲). ابتدا با بررسی‌های میدانی و مصاحبه‌های محلی و همچنین مرور مطالعات انجام گرفته در داخل و خارج از

1- Cliff

2- Global Position System (GPS)

در تجزیه و تحلیل به روش نسبت فراوانی (۱۳، ۱۴، ۱۶). ضریب نسبت فراوانی از تقسیم درصد ریزش سنگ در هر کلاس به درصد پیکسل‌های همان کلاس به دست آمد. چنانچه این ضریب برای هر کلاس کمتر از یک باشد، حساسیت آن کلاس به ریزش سنگ کمتر و اگر این ضریب بیشتر از یک باشد، حساسیت آن کلاس به ریزش سنگ بالا می‌باشد. ضرایب نسبت فراوانی هر کلاس یا طبقه از عوامل مؤثر بر اساس رابطه (۳)، برای محاسبه شاخص حساسیت‌پذیری ریزش سنگ با هم جمع شدند و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ گردنه صلوات‌آباد با این روش تهیه گردید (۳۳).

$$R.S.I = \sum Class \times F.R \quad \text{رابطه (۳)}$$

R.S.I: نمایه حساسیت‌پذیری ریزش سنگ، Class: کلاس هر متغیر مستقل، F.R: نسبت فراوانی

تحلیل سلسله مراتبی و مدل‌سازی حساسیت ریزش سنگ:

ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوت‌های کارشناسی استفاده می‌شود به طوری که ارجحیت یک عامل نسبت به عوامل دیگر به صورت (جدول ۱) نشان داده شده است (۲۲).

نرم‌افزار SPSS 18 جهت تحلیل آماری و پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ با روش آماری رگرسیون لجستیک استفاده گردید. در نهایت با استفاده از سه روش رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به ریزش سنگ منطقه مورد مطالعه تهیه و مقایسه‌ای میان آنها جهت معرفی مناسب‌ترین روش انجام گرفت.

رگرسیون لجستیک و مدل‌سازی حساسیت ریزش سنگ:

در این روش متغیر وابسته حتماً یک متغیر کیفی دو حالتی بوده که تعیین احتمال وقوع هر یک از سطوح متغیر کیفی دو حالتی بر اساس متغیرهای مستقل می‌باشد (۵، ۶، ۲۷، ۱۵). معادله احتمال وقوع برای ریزش سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس رابطه (۱)، فرموله شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ گردنه صلوات‌آباد بر اساس آن، ساخته شد (۲۱، ۳۳).

$$P = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Z = B_0 + B_1 X_1 + \dots + B_n X_n \quad \text{رابطه (۲)}$$

P: احتمال وقوع پدیده ریزش سنگ،  $B_0$ : عرض از مبدا،  $X_1 \dots X_n$ : ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل،  $B_1, \dots, B_n$  و Z: عبارتست از پارامتر خطی مدل

نسبت فراوانی و مدل‌سازی حساسیت ریزش سنگ:

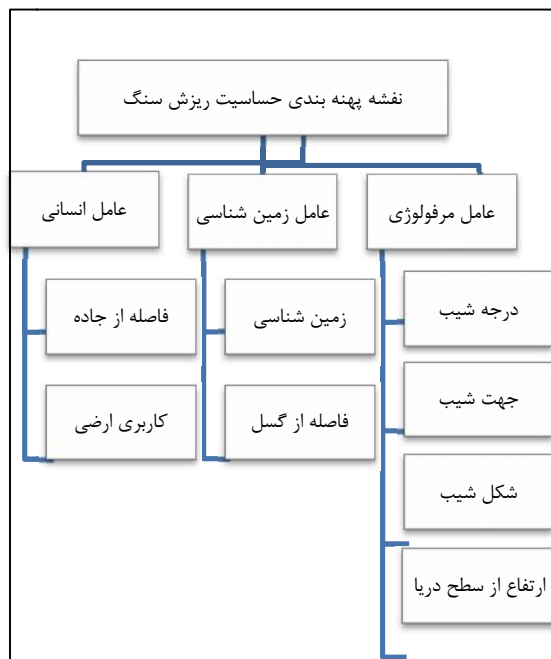
جدول ۱- مقادیر قضاوت شفاهی در سیستم نه تایی جهت مقایسه زوجی

مقدار عددی	قضاوت شفاهی	مقدار عددی	قضاوت شفاهی	مقدار عددی	قضاوت شفاهی
۷	Very strong	۴	Moderate to strong	۱	Equal
۸	Very strong to extreme	۵	Strong	۲	Equal to moderate
۹	Extreme	۶	Strong to very strong	۳	Moderate

عناصر مختلف ۲ تایی با هم مقایسه می‌شوند و مقادیر مربوط به آنها توسط نرم‌افزار Expert choice 11 با توجه به قضاوت‌های کارشناسی (جدول ۱) محاسبه می‌شوند (جدول ۲). ماتریس، وزن و ضریب سازگاری وزن نسبی و عوامل مؤثر بر ریزش سنگ گردنه صلوات‌آباد با روش تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۲ آورده شده است.

سپس جهت پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ در گردنه صلوات‌آباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مؤلفه‌ها و اجزای مؤثر در ریزش سنگ جهت پهنه‌بندی در این پژوهش به ۳ عامل اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۳).

در مرحله بعد با توجه به عوامل مؤثر در ریزش سنگ ابتدا ماتریسی به ابعاد  $10 \times 10$  ایجاد می‌شود. سپس



شکل ۳- سلسله مراتب تصمیم‌گیری در مورد پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ

با نزدیک شدن به جاده، حساسیت ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه بیشتر شده است. مشاهده این شکل‌ها نشان می‌دهند با نزدیک شدن به جاده، حساسیت ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه بیشتر شده است.

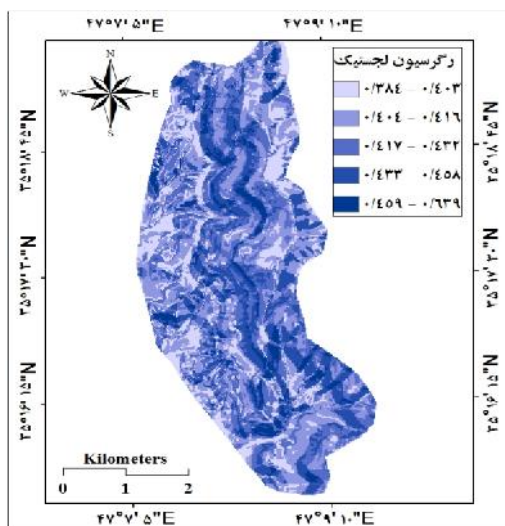
جدول ۳ ضرایب رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی و نسبت فراوانی و اشکال ۳، ۴ و ۵ نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ به دست آمده با مدل‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. مشاهده این شکل‌ها نشان می‌دهند

جدول ۲- ماتریس، وزن و ضریب سازگاری عوامل موثر بر ریزش سنگ گردنه صلوات آباد با روش تحلیل سلسله مراتبی

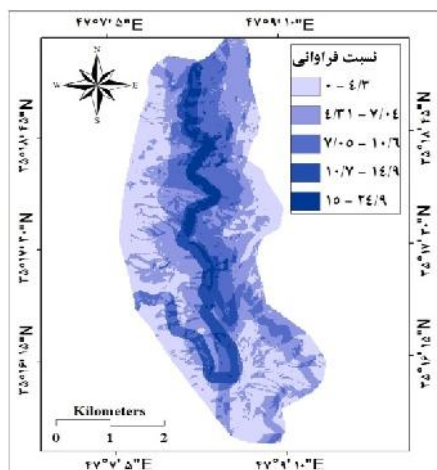
عوامل موثر	کلاس عوامل موثر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وزن نسبی
درجه شیب	۰-۱۰										۰/۰۳۰
	۱۰-۱۵	۱									۰/۰۳۳
	۱۵-۲۰	۱/۲	۱								۰/۰۴۱
	۲۰-۲۵	۱/۳	۱/۲	۱							۰/۰۶۲
	۲۵-۳۰	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱						۰/۰۹۰
	۳۰-۳۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱					۰/۱۳۰
	۳۵-۴۰	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱			۰/۱۸۳
۴۰		۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱		۰/۴۰۲
ضریب سازگاری											۰/۰۲۰
جهت شیب	فلات	۱									۰/۰۲۰
	شمالی	۱/۲	۱								۰/۰۳۳
	شمال شرقی	۱/۳	۱/۳	۱							۰/۰۴۹
	شرقی	۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱						۰/۳۹۳
	جنوب شرقی	۱/۵	۱/۶	۱/۳	۷	۱					۰/۰۹۷
	جنوبی	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۲	۱/۶	۱				۰/۳۷۱
	جنوب غربی	۱/۶	۱/۵	۱/۳	۶	۲	۸	۱			۰/۰۸۵
	غربی	۱/۲	۱/۲	۳	۸	۳	۹	۳	۱		۰/۰۲۹
شمال غربی	۱/۲	۱/۲	۲	۸	۳	۹	۴	۱/۲	۱	۰/۰۳۴	
ضریب سازگاری											۰/۰۲۷
ارتفاع از سطح دریا	۱۶۹۹-۱۸۰۰	۱									۰/۰۳۲
	۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱/۲	۱								۰/۰۴۱
	۱۹۰۰-۲۰۰۰	۱/۲	۱/۲	۱							۰/۰۵۹
	۲۰۰۰-۲۱۰۰	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱						۰/۰۸۳
	۲۱۰۰-۲۲۰۰	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱					۰/۱۲۰
	۲۲۰۰-۲۳۰۰	۱/۴	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱				۰/۱۹۳
	۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱/۵	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۵	۱/۲	۱			۰/۴۲۶
۲۴۰۰-۲۵۰۰		۱/۹	۱/۹	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۳	۱		۰/۴۲۶
ضریب سازگاری											۰/۰۶۹
کاربری اراضی	باغ	۱									۰/۱۵۳
	مرتع فقیر	۱/۳	۱								۰/۱۵۳
	اراضی لخت	۱/۷	۱/۷	۱							۰/۱۶۳۰
	منطقه مسکونی	۲	۳	۸	۱						۰/۰۵۱
	مرتع نیمه انبوه	۱/۲	۲	۷	۱/۲	۱					۰/۰۹۷
ضریب سازگاری											۰/۴۲۲
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۱									۰/۲۶۰
	۱۰۰-۲۰۰	۲	۱								۰/۱۵۶
	۲۰۰-۳۰۰	۴	۲	۱							۰/۰۸۵
	۳۰۰-۴۰۰	۵	۴	۲	۱						۰/۰۴۹
	۴۰۰-۵۰۰	۷	۵	۴	۲	۱					۰/۰۲۹
	۵۰۰	۹	۸	۷	۴	۱/۲	۱				۰/۴۲۲
ضریب سازگاری											۰/۲۶۸
فاصله از گسل	۰-۱۵۰	۱									۰/۱۸۵
	۱۵۰-۳۰۰	۲	۱								۰/۰۸۹
	۳۰۰-۴۵۰	۳	۲	۱							۰/۰۸۹
	۴۵۰-۶۰۰	۴	۳	۳	۱						۰/۰۳۷
۶۰۰		۸	۷	۶	۳	۱					۰/۰۳۷
ضریب سازگاری											۰/۱۷۸
زمین شناسی	کنگلومرها و شیل	۱									۰/۱۷۸
	آهک	۱/۵	۱								۰/۱۷۵۱
	بازالت و آندزیت	۳	۹	۱							۰/۰۷۰
ضریب سازگاری											۰/۳۱۱
شکل شیب	مقعر	۱									۰/۰۸۴
	یکنواخت	۲	۱								۰/۰۸۴
	محدب	۱/۴	۱/۵	۱							۰/۷۰۵
ضریب سازگاری											۰/۰۹۱
ماتریس زوجی عوامل موثر	درجه شیب	۱									۰/۰۹۱
	جهت شیب	۳	۱								۰/۰۳۲
	ارتفاع از سطح دریا	۲	۱/۴	۱							۰/۰۸۸
	فاصله از گسل	۱/۵	۱/۷	۱/۵	۱						۰/۳۵۷
	فاصله از جاده	۱/۴	۱/۶	۱/۳	۳	۱					۰/۲۳۷
	زمین شناسی	۱/۳	۱/۵	۱	۳	۳	۱				۰/۱۲۸
	کاربری اراضی	۴	۱	۳	۷	۷	۴	۱			۰/۰۳۲
	شکل شیب	۳	۱	۳	۶	۶	۳	۱	۱		۰/۰۳۶
ضریب سازگاری											۰/۰۳۶

جدول ۳- ضرایب رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی به تفکیک کلاس هر عامل مؤثر بر ریزش سنگ در گردنه صلوات آباد

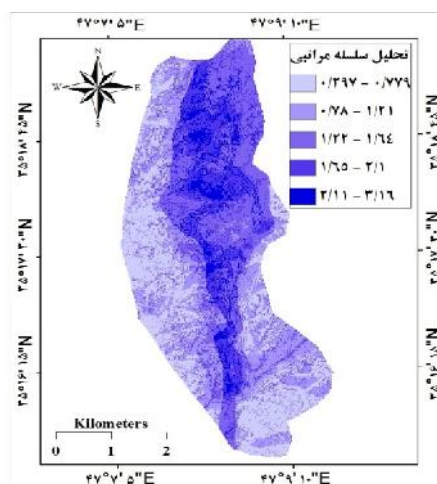
نسبت فراوانی	تحلیل سلسله مراتبی	رگرسیون لجستیک	کلاس	عامل مؤثر	نسبت فراوانی	تحلیل سلسله مراتبی	رگرسیون لجستیک	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر
۰	۰/۰۶۹	-	باغ	کاربری اراضی	۰	۰/۴۰۲	۰/۳۹/۶۶	۰-۱۰	عوامل مؤثر
۰	۰/۱۵۳	-	مرتع فقیر		۰/۱۸۳	۰/۱۸۳	۰/۳۵/۴۹	۱۰-۱۵	کلاس عوامل مؤثر
۱/۱۸۴۴	۰/۶۳۰	۲/۷۴	اراضی لخت		۰/۳۵۹	۰/۱۲۰	۰/۵۶/۶۳	۱۵-۲۰	رگرسیون لجستیک
۰	۰/۰۵۱	-	منطقه مسکونی		۰/۸۰۹	۰/۰۹۰	۰/۱۳/۳۳	۲۰-۲۵	تحلیل سلسله مراتبی
۰/۴۳۹	۰/۰۹۷	-	مرتع نیمه انبوه	۰/۸۰۹	۰/۰۶۲	۰/۱۳/۳۳	۲۵-۳۰	نسبت فراوانی	درجه شیب
۵/۹۷۲	۰/۴۲۲	-۱۱/۰۷	۰-۱۰۰	۱/۷۵۸	۰/۰۴۱	۱۲/۲۰	۳۰-۳۵	تحلیل سلسله مراتبی	کلاس عوامل مؤثر
۰/۵۱۶	۰/۲۶۰	۸/۱۷	۱۰۰-۲۰۰	۲/۷۹۵	۰/۰۳۳	۰/۲۳/۹۴	۳۵-۴۰	رگرسیون لجستیک	عوامل مؤثر
۰/۵۷۳	۰/۱۵۶	۳۲/۷۴	۲۰۰-۳۰۰	فاصله از جاده	۷/۳۴۶	۰/۰۳۰	-	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر
۰/۶۳۳	۰/۰۸۵	-۱۹/۲۵	۳۰۰-۴۰۰	۰	۰	۰/۰۲۰	-	نسبت فراوانی	عوامل مؤثر
۰/۶۹۵	۰/۰۴۹	-	۴۰۰-۵۰۰	۰	۰	۰/۰۲۳	-	تحلیل سلسله مراتبی	عوامل مؤثر
۰	۰/۰۲۹	-	۵۰۰	۰/۴۱۶	۰/۰۴۹	۵۴/۷۶	-	رگرسیون لجستیک	عوامل مؤثر
۱/۴۲۵	۰/۴۲۲	۰/۱۰	۰-۱۵۰	۰/۹۰۱	۰/۲۹۳	۵۶/۴۰	-	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر
۱/۴۴۷	۰/۲۶۸	-۱۰/۱۳	۱۵۰-۳۰۰	۰/۶۸۴	۰/۰۹۷	۹۵/۷۷	-	نسبت فراوانی	عوامل مؤثر
۱/۲۷۴	۰/۱۸۵	۱۴/۸۶	۳۰۰-۴۵۰	۰/۴۴۳	۰/۳۷۱	۲۲/۰۲	-	تحلیل سلسله مراتبی	عوامل مؤثر
۰/۳۷۹	۰/۰۸۹	-۲/۰۲	۴۵۰-۶۰۰	۲/۴۹۵	۰/۰۲۹	۰/۴۴	-	رگرسیون لجستیک	عوامل مؤثر
۰	۰/۰۳۷	-	۶۰۰	۰/۲	۰/۰۳۴	-	-	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر
۰/۲۳۶	۰/۰۷۰	-۱/۰۹	بازالت و آندزیت	۰	۰/۰۲۷	-	۱۶۹۹-۱۸۰۰	نسبت فراوانی	ارتفاع از سطح دریا
۲/۲۳۵	۰/۷۵۱	-	آهک	۰/۱۵۸	۰/۰۳۲	۲۹/۸۲	۱۸۰۰-۱۹۰۰	تحلیل سلسله مراتبی	عوامل مؤثر
۰	۰/۱۷۸	-	کنگولومرا و شیل	۰/۶۱۹	۰/۰۴۱	۰/۲۳/۷۸	۱۹۰۰-۲۰۰۰	رگرسیون لجستیک	عوامل مؤثر
۰/۰۶۰	۰/۲۲۶	۰/۳۵/۳۳	مقعر	۱/۴۳۰	۰/۰۵۹	۴۲/۰۶	۲۰۰۰-۲۱۰۰	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر
۰/۵۱۴	۰/۱۰۱	-۰/۳۳/۳۶	یکنواخت	۳/۵۸۲	۰/۰۸۳	۴۰/۹۷	۲۱۰۰-۲۲۰۰	نسبت فراوانی	عوامل مؤثر
۱۳/۲۷۲	۰/۶۷۴	-	محدب	۰/۱۸۶۶	۰/۱۲۰	۳۰/۹۲	۲۲۰۰-۲۳۰۰	تحلیل سلسله مراتبی	عوامل مؤثر
				۱/۰۲۳	۰/۱۹۳	-	۲۳۰۰-۲۴۰۰	رگرسیون لجستیک	عوامل مؤثر
				۰	۰/۰۴۲۶	-	۲۴۰۰-۲۵۰۰	کلاس مؤثر	عوامل مؤثر



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ به روش رگرسیون لجستیک در گردنه صلوات آباد



شکل ۵- نقشه پهنه بندی حساسیت ریزش سنگ به روش نسبت فراوانی در گردنه صلوات‌آباد



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در گردنه صلوات‌آباد

مساحت زیر منحنی (AUC)  $76/74^2$  درصد، ۹۰-۱۰۰ درصد (۱۰ درصد) کلاس از مساحت منطقه جایی است که شاخص حساسیت ریزش سنگ می‌تواند ۵۶ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. علاوه بر این ۸۰-۱۰۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از مساحت منطقه جایی است که شاخص حساسیت ریزش سنگ می‌تواند ۶۸ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند در مورد مدل رگرسیون لجستیک با مساحت زیر منحنی  $85/09$  درصد در ۹۰-۱۰۰ درصد (۱۰ درصد)، کلاس از منطقه مورد مطالعه جایی است که شاخص حساسیت ریزش سنگ می‌تواند ۶۲ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. علاوه بر این ۸۰-۱۰۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از منطقه مورد مطالعه جایی است که شاخص حساسیت ریزش سنگ می‌تواند ۷۶ درصد از تمام

#### ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ بر اساس شاخص SRC<sup>۱</sup>

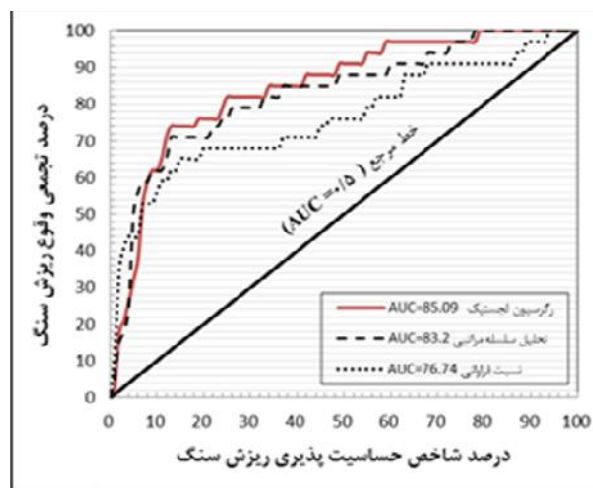
بر اساس ترسیم نمودار مقایسه‌ای مابین موقعیت مکانی ریزش سنگ‌ها با نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ، ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ انجام شد (شکل ۶). ارزیابی صحیح بیانگر این است که مقادیر برآورد شده چقدر با ریزش سنگ‌های پیش‌بینی شده، مطابقت دارند. برای دستیابی به این نتیجه، مقادیر شاخص محاسبه شده (RSI)، تمام پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه به صورت نزولی مرتب شده و سپس مقادیر سلول‌های مرتب شده به ۱۰۰ کلاس با فواصل تجمعی یک درصد ( $1/100$ ) تقسیم شدند. این روند نیز برای ریزش سنگ‌ها انجام گرفت. سپس نموداری برای ارتباط میان دو مقدار طبقه‌بندی شده ترسیم گردید (۱۱، ۱۵، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۲۳، ۲۵، ۲۴، ۲۶). در مدل نسبت فراوانی با

1- Success rate curve (SRC)

2- Area under curve (AUC)

طوری که ضریب نسبت فراوانی آنها بیشتر از یک و بیشتر از سایر کلاس‌ها بوده است. نتایج به دست آمده با نتایج پژوهش لی (۱۴) و لی و سمبات (۱۸) مطابقت نشان داد. نتیجه حاصل از این روش با مطالعه کلارستاقی (۱۲) مطابقت نشان داد. ضرایب منفی در روش رگرسیون لجستیک بیانگر همبستگی کم آن کلاس به ریزش سنگ و ضرایب مثبت بیانگر همبستگی بیشتر آن کلاس به ریزش سنگ می‌باشد. هرچه عدد بزرگتر باشد شانس وقوع ریزش سنگ بیشتر و بالعکس نیز صادق خواهد بود. نتایج این روش نیز با تحقیقات لی (۱۴)، چائو و چان (۶)، لی و سمبات (۱۸) مطابقت خوبی نشان داد. بررسی صحت‌سنجی و ارزیابی نقشه‌ها توسط نقشه پراکنش ریزش‌سنگ‌ها با استفاده از ترسیم نمودار مقایسه‌ای انجام گردید. مشاهده شکل ۷ نشان داد که روش رگرسیون لجستیک در ۱۰ درصد از مساحت منطقه، ۶۲ درصد از ریزش سنگ‌ها و در ۲۰ درصد از مساحت منطقه، ۷۶ درصد از ریزش سنگ‌ها را با حساسیت بالا توجیه نموده است از طرفی با محاسبه مساحت زیر منحنی هر کدام از نمودارهای حاصل از هر روش مشخص شد که روش رگرسیون لجستیک با مساحت زیر منحنی ۸۵/۰۹ درصد در مقایسه با روش نسبت فراوانی با مساحت زیر منحنی ۷۶/۷۴ درصد و روش تحلیل سلسله مراتبی با ۸۳/۲ درصد از صحت بالاتری برخوردار بوده و این روش برای پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه مناسب شناخته شد.

ریزش‌سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. در مورد مدل تحلیل سلسله مراتبی با مساحت زیر منحنی ۸۳/۲ درصد در ۹۰-۱۰۰ درصد (۱۰ درصد)، کلاس از منطقه مورد مطالعه جایی است که شاخص حساسیت ریزش‌سنگ می‌تواند ۶۲ درصد از تمام ریزش‌سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. علاوه بر این ۱۰۰-۸۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از منطقه مورد مطالعه جایی است که شاخص حساسیت ریزش‌سنگ می‌تواند ۷۱ درصد از تمام ریزش‌سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. بنابراین مدل آماری رگرسیون لجستیک با وجود مقادیر ۶۲ درصد در ۱۰ درصد و ۷۶ درصد در ۲۰ درصد، با حساسیت بالا به ریزش‌سنگ، درصد صحت بالاتری را در مقایسه با روش نسبت فراوانی در منطقه مورد مطالعه نشان داد. در این پژوهش اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت با سه روش رگرسیون لجستیک نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی گردید. جدول ۳ نتایج ضرایب حاصل از هر سه روش را نشان می‌دهد. مشاهده این جدول نشان می‌دهد که هر جا ضریب نسبت فراوانی بیشتر از یک باشد حساسیت آن کلاس به ریزش سنگ بالا می‌باشد و هر جا که کمتر از یک باشد حساسیت آن کلاس به ریزش سنگ کم می‌باشد. بر این اساس شیب‌های بیشتر از ۴۰ درجه با جهت‌های غربی و شکل محدب با فاصله ارتفاعی ۲۱۰۰-۲۲۰۰ متری از سطح دریا، اراضی لخت و بدون پوشش با جنس سنگ شناسی آهکی و فاصله ۱۰۰-۳۰۰ متری از جاده و ۱۵۰-۳۰۰ متری از گسل بیشترین حساسیت به ریزش سنگ را نشان دادند، به



شکل ۷- نمودار درصد حساسیت‌پذیری ریزش‌سنگ در مقابل درصد تجمعی وقوع ریزش‌سنگ

می‌کند. شایان ذکر است که روش رگرسیون لجستیک صرفاً برای خصوصیات خاص سنگ‌شناسی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از صحت بالاتری برخوردار بوده و می‌بایست برای سایر مناطق، این روش با احتیاط به کار گرفته شود و مجدداً صحت و اعتبار آن مورد آزمون واقع گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد، عوامل مؤثر بیشتری را برای مدل‌سازی حساسیت ریزش سنگ انتخاب و پارامترهای مکانیکی سنگ نیز در پژوهش‌های بعدی مورد توجه واقع شود تا نقشه‌های به دست آمده بیشتر نمایانگر ویژگی‌های ریزش سنگ‌ها در طبیعت باشند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاری‌های مسئولین محترم اداره راه و ترابری شهرستان سنندج، دانشگاه کردستان، اداره منابع طبیعی شهرستان سنندج، اداره صنایع و معادن استان کردستان، سازمان زمین شناسی و نقشه‌برداری کشور و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در تهیه این پژوهش، تقدیر و تشکر نمایند.

هم‌چنین روش تحلیل سلسله مراتبی در مقایسه با روش نسبت فراوانی از توانایی بهتری در تهیه نقشه پهنه‌بندی و شناسایی مناطق مستعد به ریزش سنگ برخوردار بوده است. به نظر می‌رسد که روش رگرسیون لجستیک به این دلیل که روشی ساده اما کمی و مبتنی بر وجود همبستگی و سطح معنی‌داری آماری بین متغیرهای به کار گرفته می‌باشد، نسبت به دو روش دیگر از دقت بیشتری در ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است. فعالیت‌های نادرست انسانی هنگام احداث جاده در این مقطع از جمله حفر و ترانشه برداری نامناسب در پاشنه دامنه باعث ایجاد عدم تعادل و پایداری آنها و در نهایت ریزش‌های سنگی و خاکی متعددی شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت تهیه شده از منطقه مورد مطالعه با روش‌های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و تحلیل سلسله مراتبی به مدیران اجرایی کمک شایانی در مدیریت تعرض جاده و تأمین امنیت جان مسافران در عبور و مرور از محور جاده و کاهش هزینه‌های پاک‌سازی جاده با شناسایی مناطق مستعد به ریزش سنگ و تثبیت آنها

### منابع

1. Akgu, N. A. and F. Bulut. 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Journal of Environmental Geology*. 51: 1377-1387.
2. Amir Ahmadi, A., H. Kamrani Dalir and M. Sadeghi. 2010. Landslide hazard zonation using AHP Chlaaml basin, *Journal of Geographical Society of Iran*, 27: 203-182.
3. Antoniou, A.A. and L. Eftimios. 2010. Rock fall susceptibility map for Athinois port. Santorini Island. *Greece. Journal of geomorphology*. 118: 152-166.
4. Ayalew, L., H. Ymagishi, H. Marui and T. Kanno. 2005. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. *Journal of Engineering Geology*. 81: 432-445.
5. Can, T., H.A. Nefeslioglu, C. Gokceoglu, H. Sonmez and Y. Duman. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. *Journal of Geomorphology*. 82: 250-271.
6. Chau, K.T. and J.E. Chan. 2005. Regional bias of landslide generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island. *Landslide*. 2: 280-290.
7. Chau, K.T., Y.F. Tang and R.H.C. Wong. 2004b. GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. *Journal of Rock Mechanic and Mining Science*. 41: 1-6.
8. Chau, K.T., R.H.C. Wong, J. Linand C.F. Lee. 2004a. Rock fall hazard analysis for Hong Kong based on Rock fall Inventory. *Journal of Rock Engineering*. 36: 383-408.
9. Copon, R. and J.M. Vilaplana. 2008. Rock fall susceptibility zoning at a large scale: From geomorphological inventory to preliminary land use planning. *Journal of engineering geology*. 102: 142-151.
10. Frattini, P., G. Crosta, A. Carrara and F. Agliardi. 2008. Assessment of rock fall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches, *Journal of Geomorphology*. 94: 419-437.
11. Jadda, M., Z.M. Shafri, Hemli Mansor, B. Shattri M. Sharifikia and S. Pirasteh. 2009. Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model. *Journal of Scientific Research*. 33: 654-668.
12. Klarestaghi, A. 2002. Assessment of factors affecting on landslides and landslide hazard mapping, *Mater of Sciences (M.Sc.) Thesis, University of Tehran*. 141 pp.
13. Lee, S. and N.T. Dan. 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Journal of Environmental Geology*. 48: 778-787.
14. Lee, S. 2004. Application of frequency ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Journal of Environmental Management*. 34: 223-232.
15. Lee, S. 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *Journal of Remote Sensing*. 26: 1477-1491.

16. Lee, S. and B. Pradhan. 2006. Probabilistic Landslide risk mapping at Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science*. 115: 661-672.
17. Lee, S. and B. Pradhan. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. 4: 33-41.
18. Lee, S. and T. Sambath. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Journal of Environmental Geology*. 50: 847-855.
19. Lee, S. and J.A. Talib. 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Journal of Environmental Geology*. 47: 982-990.
20. Matsuoka, N. and H. Sakai. 1999. Rock fall activity from an alpine cliff during thawing periods. *Journal of Geomorphology*. 28: 309-328.
21. Mousavi, Z., A. Klarestaghi and A. Shirzadi. 2009. "Assessment of factors affecting on landslide occurrence in Sja-River watershed using logistic regression and GIS", the fifth National Congress of Watershed Management Science and Engineering, University agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan Agricultural and Natural Resources, 12 pp.
22. Nikmardan, A. 2007. Introduce the Expert Choice 11 with review on AHP, Publications of the University Jihad, Amir Kabir industrial, 100 pp.
23. Oh, H.J., L. Saro and Ch. Wisut. 2009. Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand. *Journal of Environmental Geology*. 57: 641-651.
24. Pradhan, B. and S. Lee. 2009a. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia. By using frequency ratio, logistic regression and artificial neural network models. *Journal of Environmental Earth Science*. 1-11pp.
25. Pradhan, B. and S. Lee. 2009b. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 1-13 pp.
26. Pradhan, B. and S. Lee. 2009c. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 25: 747-759.
27. Pradhan, B. and A.M. Youssef. 2009. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Journal of Arabian Geosciences*. Doi: 10.1007/s12517-009-0089-2 (on-line first).
28. Ritchie, A.M. 1963. Evaluation of Rock fall and it Control. *Highway Record*. 17: 13-25. Whalley, W.B. 1984. Rock falls. In: Brunsden, D., Prior, D.B. (Eds.). *Slope Instability*. Wiley. Chi Chester. 217 pp.
29. Saffarzadeh, M. and M. Asad Amrjy. 2006. Effect of traffic and road parameters on evaluating the falling on mountain roads (Case Studey: the Karaj-Chalus Road), *Journal of Transportation*, the third year, 4: 278-287.
30. Shirzadi, A., L. Saro, Hyun-Joo Oh and K. Chapi. 2012 A. GIS-based logistic regression model in rock-fall susceptibility maxc pping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran, *Natural Hazard*, 64: 1639-1656.
31. Shirzadi, A., Z. Mousavi and A. Kavian. 2010. Presentation a regional model of rock fall hazard at along the mountain roads by using overlay index and GIS (Case Study: Kurdistan, Salavat Abad saddle), *Watershed Management Research, Journal of Research and Construction*, 89: 91-82.
32. Shirzadi, A., K. Soleimani, M. Habibnejhad Roshan and K.Chapi. 2010. Comparison of logistic regression and Frequency ratio models in rock fall hazard mapping, *Journal of Range and Watershed Management, Journal of Natural Resources*, 63: 489-489.
33. Shirzadi, A., K. Soleimani and B. Shirzadi. 2008. Hazard mass movements (falling stone) susceptibility mapping at along the mountain roads using statistical analysis of the frequency ratio (Case Study: Kurdistan, Salavat Abad saddle), the third National Conference of Natural Disaster, University of Tehran, 10 pp.
34. Wu, C.H. and S.C. Chen. 2009. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method. *Geomorphology*, 112: 190-204.
35. Yalcin, A., S. Reis, A.A. Aydinoglu and 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. *Geomorphology*, 85: 274-287.

## Comparison of Logistic Regression, Frequency Ratio and AHP In Rock Fall Susceptibility Mapping (Case Study: Kurdistan Province, Salavat Abad Saddle)

Ataollah Shirzadi<sup>1</sup>, Karim Solaimani<sup>2</sup>, Mahmoud Habibnejhad Roshan<sup>3</sup>, Ataollah Kaviani<sup>4</sup>  
and Bahareh Ghasemian<sup>5</sup>

---

1- Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

(Corresponding author: a.shirzadi@uok.ac.ir)

2 and 3- Professor and Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4- Ph.D. Student, University of Mohaghegh Ardabili

Received: November 10, 2012      Accepted: May 20, 2013

---

### Abstract

Rock falls are natural process of activities geomorphic on steep slopes in mountainous terrains. At this research, rock fall susceptibility mapping was generated by logistic regression (LR), frequency ratio (FR) and analytical hierarchy process (AHP) at a long 11 km of the Salavat Abad road in the eastern of Sanandaj, Kurdistan, Iran. Dependent variables is occurrence and non-occurrence of rock falls and independent variables are including; slope degree, slope aspect, slope curvature, elevation of sea, lithology, distance from road, distance from fault, land use. The maps which were generated with the methods, compared and verified with rock-falls situation using the success rate curve (SRC). Results showed that the logistic regression, analytical hierarchy process and frequency ratio methods had an accuracy of 85.09, 83.2 and 76.76 percent of the area under the curve (AUC), respectively. Therefore, logistic regression is more proper than the other methods for determining regions prone to the rock fall in the case study.

**Keywords:** Rock Fall, Logistic Regression (LR), Frequency Ratio (FR), Analytical Hierarchy Process (AHP), Salavat Abad Saddle, Kurdistan