

مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ

عطا... شیرزادی^۱، کریم سلیمانی^۲، محمود حبیب‌نژادروشن^۲، کامران چپی^{۳*}

^۱ کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران

^۲ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران، ایران

^۳ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۹، تاریخ تصویب: ۸۹/۱۰/۲۸)

چکیده

نوسان‌های اقلیمی و دخالت‌های نادرست انسان در طبیعت از عوامل ایجاد انواع حرکت‌های توده‌ای هستند. این حرکت‌ها امکان تولید خطرهای جانی و مالی زیادی را برای انسان فراهم می‌آورند. بنابراین لازم است که آن‌ها شناسایی و از لحاظ میزان خطر با روش‌های مناسب پهنه‌بندی شوند. هدف از انجام این پژوهش، مقایسه کارایی دو مدل آماری رگرسیون لجستیک و مدل احتمالاتی نسبت فراوانی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در گردنه صلوات‌آباد واقع در شرق شهرستان سنندج می‌باشد. هشت عامل مؤثر بر رخداد ریزش سنگ‌ها شامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی بر روی ۳۴ دامنه حساس و مستعد به ریزش سنگ به عنوان دامنه‌های ناپایدار و ۳۴ دامنه به عنوان دامنه‌های مقاوم به ریزش سنگ در منطقه مورد پژوهش ارزیابی شدند. روابط میان ریزش سنگ‌ها و عوامل مؤثر، توسط مدل آماری رگرسیون لجستیک و مدل احتمالاتی نسبت فراوانی محاسبه شد. نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با موقعیت ریزش سنگ‌ها مقایسه و آزمون شدند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک با ۸۵/۰۹ درصد گستره آن زیر منحنی ROC در مقایسه با روش نسبت فراوانی با ۷۶/۷۴ درصد، درست‌بودن پیش‌بینی بالاتری را در جداسازی و شناسایی مناطق مستعد و حساس به ریزش سنگ در منطقه مورد بررسی داشت. بنابراین مدل آماری رگرسیون لجستیک کارایی بهتری برای منطقه مورد بررسی دارد.

واژه‌های کلیدی: ریزش سنگ، پهنه‌بندی خطر، رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی، گردنه صلوات‌آباد، کردستان

مقدمه

در تونلی در بزرگراه شماره ۲۲۹ هوکایدو در ژاپن، ۲۰ نفر را کشت. به همین خاطر مسائل و دشواری های ریزش سنگ‌ها توجهات بین‌المللی ویژه ای را به خود جلب نمود (Chau et al., 2004a, 2004b). منطقه مورد بررسی همه ساله با ریزش سنگ‌هایی در طول ۱۱ کیلومتر از جاده واقع در گردنه صلوات‌آباد در شرق شهرستان سنندج رو به رو می‌باشد که خوشبختانه تاکنون تلفات جانی در پی نداشته است؛ اما بر پایه گزارش اداره راه و ترابری شهرستان سنندج تنها در سه ماهه اول سال ۱۳۸۵، هزینه‌ای در حدود ۲۷۱۳۷۲۲۰ ریال به ترانشه‌بری در زمین‌های سنگی، برداشت ریزش، بارگیری و حمل مواد حاصله از ترانشه‌بری و ریزش، پاک کردن سطح راه و رفع بسته شدن راه ناشی از ریزش اختصاص یافته است (شکل ۱).

یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای در مواد خشک و به هم پیوسته پدیده ریزش سنگ می‌باشد (Ahmadi, 1999). ریزش سنگ شامل حرکت ناگهانی یا تند بلوک‌های لق شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های سخت جدا شده از دیواره‌های سنگی پرشیب می‌باشد که به طور معمول در راستای سطوح لایه‌بندی درزه‌ها و مناطق گسلی یا سطوح گسلی رخ می‌دهد (Chau et al., 2004a). بنابراین برآوردها مشخص شده است که ۱۰ درصد از جمعیت جهان در نواحی کوهستانی و ۳۶ درصد از اراضی جهان، کوهستانی می‌باشند که به دلیل افزایش جمعیت جهان، فعالیت های انسانی در نواحی کوهستانی دور از دسترس نیز افزایش چشمگیر یافته است (Chau et al., 2004b). در ۱۰ فوریه سال ۱۹۹۶، ریزش سنگی عظیمی



شکل ۱- پاک کردن سطح راه و رفع انسداد ناشی از ریزش سنگ در گردنه صلوات آباد سنندج

شبکه عصبی مصنوعی (Pradhan & Lee, 2009b; 2009c)، منطق فازی (Pradhan & Lee, 2009c) و رگرسیون لجستیک (Can et al., 2005; Chau & Chan, 2005; Chau et al., 2004a; Greco et al., 2007; Lee, 2004; Lee & Sambath, 2006; Lee, 2005; Lee & Pradhan, 2007; Pradhan & Lee, 2009a; 2009b; 2009c). بیشتر روش‌های مورد اشاره برای بررسی زمین‌لغزش‌ها در سطح جهان به کارگرفته شده‌اند. در ایران ریزش سنگ‌ها در بررسی‌های منابع طبیعی ناشناخته مانده است که شاید به دلیل کمبود

نخستین اقدام برای جلوگیری از ریزش قطعه‌های سنگی از دامنه‌ها توسط ریچی در سال ۱۹۶۳ با حفر چاله‌ای در پاشنه دامنه انجام گرفت (Ritchie, 1963). بعدها روش‌های مختلفی برای شناسایی مناطق حساس به خطر و پهنه‌بندی این مناطق رواج یافت که عبارتند از شاخص همپوشانی (Akgu & Bulut, 2007)، نسبت فراوانی (Lee, 2004; Lee & Sambath, 2006; Lee & Talib, 2005; Lee & Pradhan, 2007; Jadda et al., 2009) تحلیل سلسله مراتبی (Barredo et al., 2000)، تجزیه تشخیصی (Carrara et al., 1991).

اسپیلیت بازالت در محیط دریایی، واحد K_1^{11} شامل سنگ‌های آهکی چین خورده واحد K_1^S ماسه‌سنگ‌های با میان لایه‌هایی از شیل و کنگلومرا با قطعه‌های سنگ آهک، ولکانیک و سیلیس است. ارتفاع میانگین منطقه حدود ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بوده و اقلیم منطقه از نوع مدیترانه‌ای می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه ۴۷۰ میلی‌متر و شیب میانگین ۲۳ درجه است. قسمت اعظم اراضی منطقه، لخت و بدون پوشش حفاظتی با رخنمون سنگی است. همچنین شکل توپوگرافی محدب، هندسه غالب شیب در منطقه مورد بررسی می‌باشد.

- عوامل مؤثر بر رخداد ریزش سنگ‌های منطقه مورد

بررسی

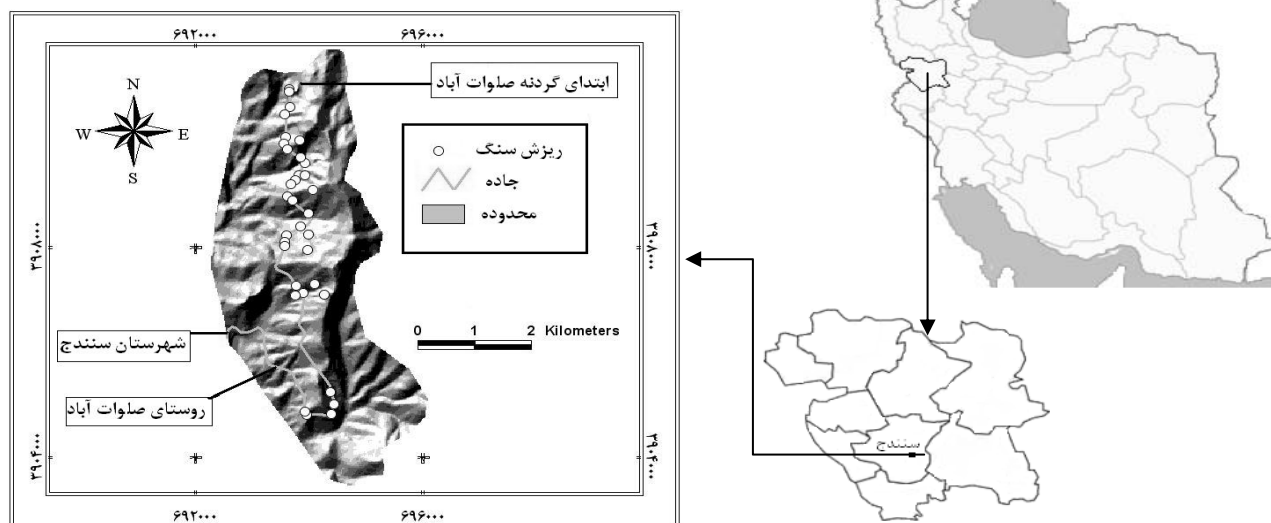
تهیه نقشه پراکنش ریزش سنگ‌ها در شناخت عوامل مؤثر در رخداد آن‌ها برای پهنه‌بندی خطر ضروری است. شناسایی مناطق ریزش سنگ از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای برخلاف زمین‌لغزش، به دلیل گستردگی کم و پراکنش این مناطق در نقاط دور از دسترس و در پرتگاه‌های پرشیب تا حدودی مشکل می‌باشد. به همین دلیل برای شناسایی آن‌ها از منابع مختلف اطلاعاتی مانند گزارش‌های فنی اداره راه و ترابری شهرستان سنندج از محل‌های رخداد ریزش سنگ، مصاحبه با مردم ساکن منطقه، پیمایش‌های صحرایی و مشاهده‌های چشمی استفاده گردید و موقعیت ۳۴ دامنه حساس و مستعد به ریزش سنگ به عنوان متغیر وابسته با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت و پس از انتقال به نرم افزار Arc view 3.2، رقومی و آماده پردازش با سامانه داده‌های جغرافیایی شد (شکل ۲).

داده‌ها، سختی و دشواری آن و کم‌اهمیت بودن آن نسبت به دیگر انواع حرکت‌های توده‌ای از جمله زمین لغزش که در ابعاد گسترده‌تر اتفاق می‌افتد، باشد. بررسی‌هایی که در مورد زمین‌لغزش‌ها با مدل‌های آماری رگرسیون لجستیک و روش احتمالاتی نسبت فراوانی انجام شده است، عبارتند از (Akgu & Bulut, 2007; 2008; Gorum et al., 2008; Lamelas et al., 2008; Lee & Talib, 2005; Lee & Dan, 2005; Lee & Sambath, 2006; Lee & Pradhan, 2006; 2007; Lee et al., 2002a; 2002b; Lee, 2005; Can et al., 2005; Chau & Chan, 2005; Chau et al., 2004a; Greco et al., 2007; Lee, 2004; Lee, 2005; Pradhan & Youssef, 2009; Pradhan & Lee, 2009a; 2009b; 2009c; Pradhan et al., 2008; Tunusluoglu et al., 2008). پژوهش، ارزیابی ریزش سنگ‌های رخ داده گردنه صلوات‌آباد سنندج از راه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با دو روش آماری رگرسیون لجستیک و روش احتمالاتی نسبت فراوانی و مقایسه کارایی آن‌ها در جداسازی و شناسایی مناطق مستعد و حساس به ریزش سنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- ویژگی‌های منطقه مورد بررسی

گردنه صلوات‌آباد در شرق شهرستان سنندج در استان کردستان و در بین مختصات جغرافیایی $48^{\circ} 7' 47''$ تا $57^{\circ} 8' 47''$ طول شرقی و $35^{\circ} 15' 16''$ تا $40^{\circ} 19' 35''$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲). گستره منطقه مورد مطالعه $18/71$ کیلومتر مربع می‌باشد. در این تحقیق حدود ۱۱ کیلومتر از جاده‌ی صلوات‌آباد با راستای شمالی-جنوبی و با کشیدگی در امتداد طول منطقه مورد بررسی قرار گرفته است که از گردنه صلوات‌آباد آغاز و به حدود ابتدای روستای صلوات‌آباد ختم می‌شود. واحدهای سنگی در محدوده مورد بررسی مربوط به دوران مزوزوئیک و دوره کرتاسه پسین می‌باشند و از جدید به قدیم عبارتند از واحد سنگی $K_1^{v,13}$ شامل سنگ‌های ولکانیک، آندزیت، بازالت و



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی جاده صلوات آباد در ایران و استان کردستان و نقشه پراکنده سنگ ریزش‌های آن

مدل‌سازی خطر ریزش سنگ با مدل آماری رگرسیون لجستیک

کاربرد رگرسیون لجستیک تعیین احتمال رخداد هر یک از سطوح متغیر کیفی دو حالت بر پایه متغیرهای مستقل می‌باشد و شرایط استفاده از آن به گونه‌ای است که متغیر وابسته به حتم یک متغیر کیفی دو حالت است. برتری رگرسیون لجستیک نسبت به دیگر رگرسیون‌هایی که ضرایب مدل را با بیشینه مربعات به دست می‌آورند؛ این است که لزومی برای وجود رابطه خطی میان متغیر مستقل و وابسته ندارد، همچنین نیازمند به وجود توزیع نرمال میان متغیرها نبوده و فرض نمی‌کند که متغیرها، دارای واریانس‌های آماری برابر باشند و در کل به فرضیه‌های کمتری نیازمند است (Chau et al, 2005; Ayalew, 2005; Iswar et al., 2010). متغیر وابسته حضور و بدون حضور ریزش سنگ در هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مستقل شامل درجه شیب، جهت و انحنای شیب، ارتفاع از سطح دریا و غیره بوده که بر پایه ضرایب به دست آمده از پردازش آماری و روابطه (۱) و (۲) معادله احتمال رخداد (Lee & Sambath, 2006; Lee, 2005; Pradhan & Youssef, 2009; Pradhan & Lee, 2009a) برای ریزش سنگ‌های منطقه مورد بررسی

با بررسی‌های میدانی و مصاحبه‌های محلی و همچنین مرور مطالعات انجام گرفته در این زمینه در درون (Ritchie, 2004) و بیرون از کشور (Gholami, 1963; Bilifard et al., 2003; Chau et al., 2004; Lee, 2004; Ayalew et al., 2005; Chau et al., 2005; Lee et al., 2006; Pradhan et al., 2009; Oh Hyunjoo, 2009)، هشت عامل مؤثر بر ریزش سنگ که عبارت‌اند از: درجه شیب (A)، جهت شیب (B)، ارتفاع از سطح دریا (C)، کاربری اراضی (D)، سنگ شناسی (E)، فاصله از جاده (F)، فاصله از گسل (G) و شکل شیب (H) (جدول ۲) شناسایی شد. از دو نقشه توپوگرافی قطعه ۱ سنندج و هلیز آباد با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، 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 پایه طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ETM⁺ به تاریخ اردیبهشت ۱۳۸۰ و بازدید صحرائی و کنترل درست بودن، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. درست بودن همه عوامل مؤثر بر ریزش سنگ در منطقه مورد بررسی بر پایه بازدید میدانی مورد بررسی قرار گرفت.

رابطه (۳)
 ضریب نسبت فراوانی \times هر لایه اطلاعاتی) $= \sum$
 شاخص حساسیت پذیری ریزش سنگ

نتایج

- ضرایب مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی

جدول ۱ ضرایب رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این مطلب است که در مدل نسبت فراوانی، کلاس شیب‌های بیشتر از ۴۰ درجه با جهت غربی و طبقه ارتفاعی ۲۱۰۰-۲۲۰۰ با اراضی لخت و بدون پوشش و جنس زمین شناسی آهکی، فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری از جاده و فاصله ۱۵۰ تا ۳۰۰ متری از گسل با دامنه‌های با انحنای محدب دارای ضریب نسبت فراوانی بیشتر از یک و بیشتر از دیگر طبقه‌های عوامل موثر بوده و حساسیت به ریزش سنگ بالایی دارند (Shirzadi et al, 2006c).

- مشخصه خطی در مدل رگرسیون لجستیک گردنه - صلوات‌آباد

رابطه (۴) مشخصه خطی به دست آمده از تحلیل آماری رگرسیون لجستیک را با تأثیر دادن ضرایب آن نشان می‌دهد.

فرموله شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ بر پایه آن ساخته شد (Shirzadi, 2006a, b).

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

$$z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (2)$$

که در آنها $P(event)$ احتمال رخداد پدیده ریزش سنگ؛ e ، پایه لگاریتم طبیعی؛ Z ، مشخصه خطی مدل؛ B_0 ، عرض از مبدا؛ X_1, X_2, \dots, X_n ، ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل B_1, B_2, \dots, B_n می‌باشند

- مدل‌سازی خطر ریزش سنگ با مدل احتمالاتی نسبت فراوانی

در این مدل، پس از تهیه کردن لایه‌های اطلاعاتی و کلاس‌بندی کردن آن‌ها، شمار پیکسل‌های مربوط به هر کلاس را با استفاده از نرم افزارهای یادشده تعیین و درصد پیکسل‌های هر کلاس مشخص شد. سپس فراوانی سنگ‌ریزش‌های رخ داده در هر کلاس را با استفاده از همپوشانی نقشه پراکنش ریزش سنگ‌ها با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی مشخص و از آن‌ها درصد گرفته شد. 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 (جدول ۱) (Lee & Sambath, 2006; Lee, 2004). در نهایت، ضرایب نسبت فراوانی هر کلاس از عوامل مؤثر بر پایه رابطه (۲)، برای محاسبه شاخص حساسیت‌پذیری ریزش سنگ^۱ با هم جمع و بر پایه آن نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ به دست آمد (رابطه ۳) (Shirzadi, 2006c).

۱- Rockfall Susceptibility Index (RSI)

جدول ۱- ضرایب نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک به تفکیک کلاس هر عامل مؤثر بر ریزش سنگ در گردنه صلوات‌آباد سنندج

عامل مؤثر	کلاس	ضرایب نسبت فراوانی	ضرایب رگرسیون لجستیک	عامل مؤثر	کلاس	ضرایب نسبت فراوانی	ضرایب رگرسیون لجستیک
درجه شیب	۰-۱۰	۰	-۳۹/۶۶	کاربری اراضی	باغ	۰	-
	۱۰-۱۵	۰/۸۸۳	-۳۵/۴۹		مرتع فقیر	۰	-
	۱۵-۲۰	۰/۳۵۹	-۵۶/۶۳		اراضی لخت	۱/۸۴۴	۲/۷۴
	۲۰-۲۵	۰/۸۰۹	-۱۳/۳۳		منطقه مسکونی	۰	-
	۲۵-۳۰	۰/۸۰۹	-۱۳/۳۳	مرتع نیمه انبوه	۰/۴۳۹	-	
	۳۰-۳۵	۱/۷۵۸	۱۲/۲۰	فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۵/۹۷۲	-۱۱/۰۷
	۳۵-۴۰	۲/۷۹۵	-۳/۹۴		۱۰۰-۲۰۰	۰/۵۱۶	۸/۱۷
۴۰≤	۷/۳۴۶	-	۲۰۰-۳۰۰		۰/۵۷۳	۳۲/۷۴	
جهت شیب	فلات	۰	-	فاصله از گسل	۳۰۰-۴۰۰	۰/۶۳۳	-۱۹/۲۵
	شمالی	۰	-		۴۰۰-۵۰۰	۰/۶۹۵	-
	شمال شرقی	۰/۴۱۶	۵۴/۷۶		۵۰۰≤	۰	-
	شرقی	۰/۹۰۱	۵۶/۴۰	انحنای شیب	۰-۱۵۰	۱/۴۲۵	۰/۱۰
	جنوب شرقی	۰/۶۸۴	۹۵/۷۷		۱۵۰-۳۰۰	۱/۴۴۷	-۱۰/۱۳
	جنوبی	۰/۴۴۳	۲۳/۰۳		۳۰۰-۴۵۰	۱/۲۷۴	۱۴/۸۶
	جنوب غربی	۰/۵۸۰	۱۰/۵۵		۴۵۰-۶۰۰	۰/۳۷۹	-۲/۰۲
غربی	۲/۴۹۵	۰/۴۴	۶۰۰≤	۰	-		
شمال غربی	۰/۲	-	ارتفاع از سطح دریا	مقعر	۰/۰۶۰	-۳۵/۳۳	
۱۶۹۹-۱۸۰۰	۰	-		یکنواخت	۰/۵۱۴	-۳۳/۳۶	
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۰/۱۵۸	۲۹/۸۲		محدب	۱۳/۲۷۲	-	
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۰/۶۱۹	-۳/۷۸		بازالت و آندزیت آهک کنگلومرا و شیل	۰/۲۳۶	-۱/۰۹	
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۱/۴۳۰	۴۲/۰۶			۲/۲۳۵	-	
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۳/۵۸۲	۴۰/۹۷			۰	-	
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۰/۸۶۶	۳۰/۹۲					
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱/۰۲۳	-					
۲۴۰۰-۲۵۰۰	۰	-					

$$Z = 2.3125 + (-1.0986)LITHOLOGY + (2.7462) LAND USE + (SLOPE DEGREE)b + (SLOPE ASPECT)b + (ELEVATION)b + (DIS - ROAD)b + (DIS - FAULT)b + (CURVATURE)b$$

ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک با روش درصد درست بودن پیش‌بینی (PCPT)

جدول شماره ۲ به ترتیب میزان عددی آزمون درصد درست بودن پیش‌بینی مدل رگرسیون لجستیک، -2Log Likelihood (-2LL)، Cox and Snell R² و Nagelkerke R² را نشان می‌دهند. نتایج این جدول بیانگر این است که مدل به دست آمده با روش رگرسیون لجستیک با ۹۱/۲ درصد و شاخص (-2 Log Likelihood) با مقدار ۱۲/۸۱۶ از درصد درستی پیش‌بینی بالایی برخوردار است.

که در آن Z، مشخصه خطی مدل؛ LITHOLOGY، عامل سنگ شناسی؛ LAND USE، عامل کاربری ارضی؛ SLOPE DEGREE، عامل درجه شیب؛ SLOPE ASPECT، عامل جهت شیب؛ ELEVATION، عامل ارتفاع از سطح دریا؛ DIS-ROAD، عامل فاصله از جاده؛ DIS-FAULT، عامل فاصله از گسل؛ CURVATURE، عامل انحنای شیب و b، ضرایب مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی می‌باشند.

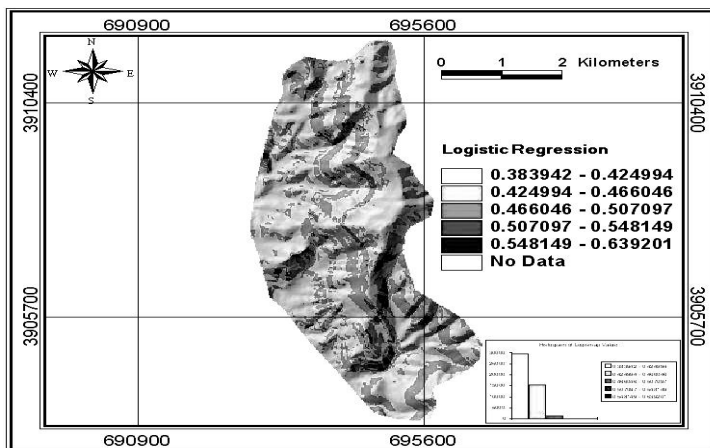
جدول ۲- ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک بر پایه درصد درست بودن پیش‌بینی (PCPT)

پارامتر ارزیابی	درصد صحت (PCPT)	-2Log Likelihood	Cox and Snell R ²	Nagelkerke R ²
مقدار	۹۱/۲	۱۲/۸۱۶	۰/۶۹۸	۰/۹۳۱

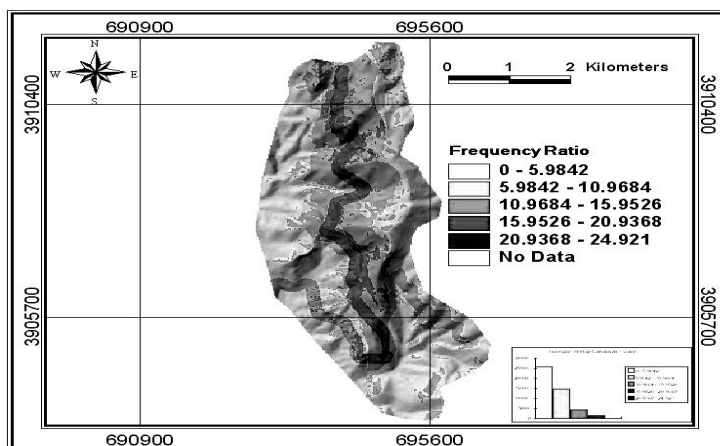
دریافت می‌شود که نزدیکترین فواصل به جاده بیشترین خطر را برای ریزش سنگ در هر دو نقشه دارا می‌باشند که بایستی در مدیریت تعریض جاده و تردد مسافران در این محور دقت لازم را اعمال نمود.

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی

شکل‌های ۳ و ۴ نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر گردنه صلوات‌آباد را با مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی نشان می‌دهند. با دیدن این نقشه‌ها این مطلب



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر ریزش سنگ گردنه صلوات‌آباد با مدل رگرسیون لجستیک



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر ریزش سنگ گردنه صلوات‌آباد با مدل رگرسیون لجستیک

پیش بینی شده (Chau, 2004; Chau and (PCPT) Chan, 2005) ۳- استفاده از نمودار طبقه‌بندی صفر و یک (Chau, 2004; Chau and Chan, 2005) ۴- مقایسه میزان نرمال میانگین محدوده احتمال خطر با مقدار نرمال واقعی تراکم ریزش سنگ (Chau and Chan, 2005) ۵- درصد اختلاف میان نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با ریزش سنگ‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه (Chau and Chan, 2005) ۶- استفاده از شاخص ROC (Lee, 2005 a,b; Lee & Pradhan, 2006; 2007; Lee & Sambath, 2006 a, b; Oh et al., 2009; 2006; Shirzadi, Pradhan & Lee, 2009 a; 2009b; 2009c; Pradhan, 2010; Iswar et al., 2010) (۲۰۰۴) بر پایه شاخص ROC با استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده با روش رگرسیون لجستیک ارزیابی مدل را انجام داد و به این نتیجه رسید که مدل رگرسیون لجستیک در مقایسه با مدل نسبت فراوانی از درصد درست‌بودن بالاتری برخوردار بوده است. پراژان و لی (۲۰۰۹) با سه مدل رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی مصنوعی و نسبت فراوانی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را تهیه و بر پایه شاخص ROC آن‌ها را ارزیابی نمودند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که به ترتیب مدل

ارزیابی درست بودن نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ بر پایه شاخص ROC^۱

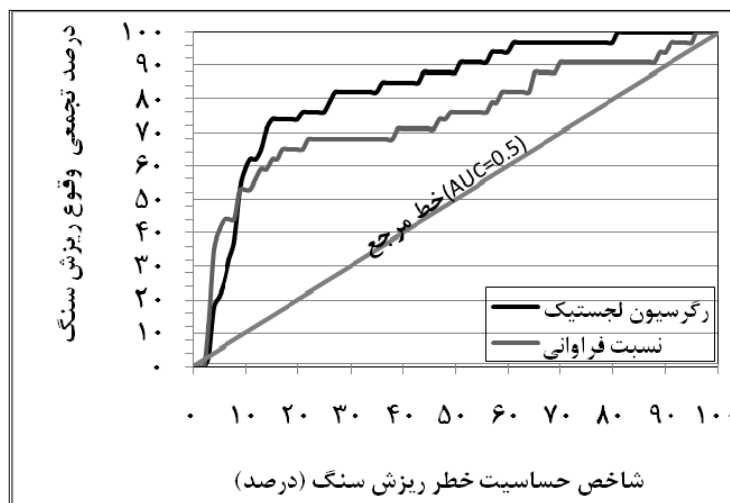
ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای بر پایه رگرسیون چند متغیره به روش‌های مختلفی تا کنون به انجام رسیده است. گرایسی (۱۳۸۵) یکی از روش‌های ارزیابی را منتظر ماندن یا به عبارتی گذشت زمان توسط زمین لغزش‌ها می‌داند. این روش به رغم مطمئن بودن، زمان‌بر و خیلی سودمند نیست. روش بعدی، روی هم‌اندازی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه پهنه‌بندی به دست آمده و روش استفاده از حوزه آبخیز مجاوری که از نظر ویژگی‌های آبشناسی، زمین‌شناسی، اقلیم و غیره همانند با حوزه آبخیز مورد بررسی باشد. درحالیکه ممکن است حوزه آبخیزی با چنین همانندی که حرکت‌های توده‌ای نیز در آنجا رخ داده باشد، در طبیعت موجود نباشد. با این وجود، پایه، فرضیه‌ها، داده‌های مورد نیاز و ارزیابی مدل و نقشه پهنه‌بندی به دست آمده با روش رگرسیون لجستیک به طور کامل با رگرسیون چند متغیره متفاوت می‌باشد. امروزه در همه جهان مدل و نقشه پهنه‌بندی به دست آمده با رگرسیون لجستیک با چند روش مورد آزمون قرار می‌گیرند از جمله ۱- استفاده از آماره $-2LL$ (Chau, 2004; Chau and Chan, 2005) ۲- استفاده از درصد درستی

۱- Receiver Operating Characteristic (ROC)

لجستیک با وجود مقادیر ۶۲ درصد ریزش سنگ‌ها در ۱۰ درصد منطقه و ۷۶ درصد از ریزش سنگ‌ها در ۲۰ درصد منطقه، از درصد صحت بالاتری را در مقایسه با روش نسبت فراوانی در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است. همچنین مساحت زیر منحنی^۱ RCC (AUC) در مدل رگرسیون لجستیک ۰/۸۵۰۹ و در مدل نسبت فراوانی ۰/۷۶۷۴ به دست آمد که نمایانگر مناسب بودن نقشه پهنه‌بندی به دست آمده از مدل رگرسیون لجستیک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی مصنوعی و نسبت فراوانی از درصد درست بودن بالاتری در تهیه نقشه‌های خطر زمین لغزش برخوردار بوده‌اند. پراژان و یوسف (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص ROC روش نسبت فراوانی را با رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کشور مالزی مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش نسبت فراوانی از درصد درست بودن بالاتری برخوردار بوده است. در این بررسی نیز ارزیابی درست بودن نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ بر پایه شاخص ROC با استفاده از نقشه پراکنش ریزش سنگ‌های موجود با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ به دست آمده از روش رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی، انجام شد شکل (۵). ارزیابی بهینه بیانگر این است که میزان برآورد شده چقدر با ریزش سنگ‌های پیش بینی شده، همخوانی دارند. برای دستیابی به این نتیجه، مقادیر شاخص محاسبه شده (RSI)، همه پیکسل‌ها در منطقه مورد بررسی به صورت نزولی مرتب شده و سپس مقادیر سلول‌های مرتب شده به ۱۰۰ کلاس با فواصل تجمعی ۱ درصد تقسیم شد. این روند نیز برای ریزش سنگ‌ها انجام گرفت. سپس نمودار مقایسه‌ای برای ارتباط میان دو مقدار طبقه‌بندی شده ترسیم شد. در مدل نسبت فراوانی، ۱۰۰-۹۰ درصد (۱۰ درصد) کلاس از گستره منطقه جایی است که شاخص خطر ریزش سنگ می‌تواند ۵۶ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با خطر بالا توجیه کند. علاوه بر این ۱۰۰-۸۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از گستره منطقه جایی است که شاخص خطر ریزش سنگ می‌تواند ۶۸ درصد از همه ریزش سنگ‌های منطقه را با خطر بالا توجیه کند. در مورد مدل رگرسیون لجستیک در ۱۰۰-۹۰ درصد (۱۰ درصد)، کلاس از منطقه مورد بررسی جایی است که شاخص خطر ریزش سنگ می‌تواند ۶۲ درصد از همه ریزش سنگ‌های منطقه را با خطر بالا توجیه کند. علاوه بر این ۱۰۰-۸۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از منطقه مورد مطالعه جایی است که شاخص خطر ریزش سنگ می‌تواند ۷۶ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با خطر بالا توجیه کند. بنابراین مدل آماری رگرسیون

۱- Area Under ROC Curve (AUC)



شکل ۵- ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده توسط رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی با شاخص ROC برای جاده صلوات‌آباد سنندج

شرایط منطقه مورد بررسی، همخوانی نشان داد. ستون ضرایب نسبت فراوانی در جدول شماره ۱ نشان داد که با افزایش درجه شیب، نسبت فراوانی افزایش یافته تا جایی که شیب‌های بیشتر از ۴۵ درجه بیشترین حساسیت را به ریزش سنگ در منطقه نشان دادند. همچنین جهت دامنه‌های غربی و شکل محدب با فاصله ارتفاعی ۲۲۰۰-۲۱۰۰ متری از سطح دریا، اراضی لخت و بدون پوشش با جنس سنگ‌شناسی آهکی و فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده و ۱۵۰-۰ متری از گسل بیشترین حساسیت به ریزش سنگ را نشان دادند، به طوری که ضریب نسبت فراوانی آن‌ها بیشتر از یک و بیشتر از دیگر کلاس‌ها بوده است. نقش جهت غربی بر ریزش به دلیل فعالیت شدید گسل اصلی صلوات‌آباد که به صورت تراست با مؤلفه راست گرد است، توانسته با فعالیت خود نقش جهت شیب را تحت تأثیر خود قرار داده و ریزش سنگ‌ها به طور عمده در آن جهت رخ می‌دهند. چون بیشتر ریزش سنگ‌ها نزدیک جاده و گسل‌ها رخ داده‌اند، نزدیک‌ترین فواصل به آن‌ها دارای بیشترین حساسیت به ریزش سنگ بوده است (Shirzadi, 2006 a,b). نتایج به دست آمده از این روش با نتایج پژوهش‌های لی (۲۰۰۴) و لی و سمبات (۲۰۰۶) همخوانی نشان داد. مرور بررسی‌ها نشان داد که در ایران بیشتر به

بحث و نتیجه‌گیری

جدول ۲ ضرایب به دست آمده از روش رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد. ضرایب منفی، همبستگی ضعیف‌تری با ریزش سنگ داشته و به این معنا است که به ازای افزایش یک واحد از عوامل مؤثر، شانس وقوع ریزش سنگ بسیار ناچیز افزایش می‌یابد، اما ضرایب مثبت معنی معکوسی را بیان می‌کنند. ارزیابی خود مدل رگرسیون لجستیک بر پایه درصد درست‌بودن پیش‌بینی^۱ و شاخص‌های -2Log Likelihood (-2LL) انجام گرفت (جدول ۱). کلید آزمون رگرسیون لجستیک شاخص -2Log Likelihood (-2LL) می‌باشد. هرچند استاندارد ویژه‌ای برای آن وجود ندارد اما میزان کوچکتر این شاخص بیانگر همخوانی خوب مدل به دست آمده با پراکنش ریزش سنگ‌ها می‌باشد (Chau et al., 2004a). میزان این شاخص ۱۲/۸۱۶ و میزان درصد درست‌بودن پیش‌بینی مدل ۹۱/۲ درصد بوده است. بنابراین درست‌بودن مدل به دست آمده با روش رگرسیون لجستیک مورد تایید قرار گرفت. نتایج روش اخیر با روش لی (۲۰۰۴) و لی و سمبات (۲۰۰۶)، با شرایطی مشابه با

۱- Percentage Correct Predicted Test (PCPT)

پیشنهاد می‌شود عوامل مؤثر بیشتری را برای مدل‌سازی خطر ریزش سنگ انتخاب و مشخصه‌های مکانیکی سنگ را نیز در پژوهش‌های بعدی مورد توجه قرار داد تا نقشه‌های به دست آمده از درصد درست‌بودن بالاتری برخوردار شده و بیشتر نمایانگر ویژگی‌های طبیعت باشند. با دیدن شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان دریافت که با نزدیک‌تر شدن به جاده، خطر ریزش سنگ افزایش یافته است؛ بنابراین اداره‌ها و سازمان‌های مرتبط از جمله اداره راه و ترابری به جهت آسیب به جاده و جلوگیری از تردد وسایط نقلیه، ستاد حوادث غیر مترقبه مستقر در استانداری‌ها به خاطر تلفات انسانی در استان‌های مختلف، اداره محیط زیست استان به جهت ریزش سنگ‌ها به درون باغ‌ها و اراضی پایین دست مردم و تخریب خاک و پل‌های عبوری و غیره می‌توانند از این نتایج در مدیریت طراحی و تعریض جاده، تردد ایمن مسافران در این مقطع از جاده، حفظ و تثبیت خاک با شناسایی مناطق مستعد و خطرناک و تثبیت دامنه‌های ناپایدار ریزشی استفاده نمایند.

پدیده زمین‌لغزش اهمیت داده شده است و کمتر به دیگر انواع حرکت‌های توده‌ای مانند ریزش سنگ، واریزه‌ها، جریان‌های گلی، خزش و غیره به صورت جداگانه توجه شده است. با توجه به سازوکار ایجاد و فرآیندهای درونی هر یک از انواع حرکت‌های توده‌ای، لازم است هر کدام از آن‌ها جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. دقت و درست‌بودن نقشه‌های به دست آمده به موقعیت دامنه‌های حساس به ریزش سنگ و تجزیه و تحلیل‌های آماری بستگی دارد. با استفاده از موقعیت ریزش سنگ‌ها در منطقه، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند. با استفاده از موقعیت مناطق ریزش سنگ، هر دو نقشه پهنه‌بندی به روش ترسیمی، ارزیابی و نتایج نشان داد که پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با روش رگرسیون لجستیک با درصد درست‌بودن $85/09$ نسبت به روش نسبت فراوانی با $76/74$ درصد از درست‌بودن بالاتری در منطقه مورد بررسی برخوردار بوده است. پیشنهاد می‌گردد از روش آماری رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه‌های خطر انواع حرکت‌های توده‌ای با احتیاط استفاده شود. همچنین

منابع

- Ahmadi, H., 1999. Applied Geomorphology, 3rd Edition, University of Tehran press, 688p.
- Ahmadi, H., Mohammad Khan, Sh., 2002. Assessment some of mass movements in Taleghan watershed. Iranian Natural Resources Journal 55(4), 455-464.
- Akgü, N.A., Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology 51, 1377-1387.
- Akgü, N.A., Dag, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by Likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environmental Geology 54, 1127-1143.
- Ayalew, L., Ymagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. Engineering Geology 81, 432-445.
- Barredo, J.I., Benavides, A., Herhl, J., Van Westen, C.J., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. Applied Earth Observation and Geoinformation Journal 2 (1), 9- 23.
- Bilifard, F., Jaboyedoff, M., Satori, M., 2003. Rock fall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parametric rating approaches, Natural Hazard and Earth System Sciences 3, 431-438.
- Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Duman, Y., 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. Geomorphology 82: 250-271.

- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* 16, 427–445.
- Chau, K.T., Chan J.E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island, *Erath and Environmental Science* 2(4), 280-290.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., Lin, j., Lee, C.F., 2004a. Rock fall hazard analysis for Hong Kong based on Rock fall Inventory, *Rock Engineering Journal* 36, 383-408.
- Chau, K.T., Tang, Y.F., Wong, R.H.C., 2004b. GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. *The journal of Rock Mechanic and Mining Science* 41(3), 1-6.
- Gholami, V., 2004. Rockfall hazard zonation in the Haraz road (Vana- Plor section), M.Sc. Thesis. The University of Mazandaran, 126 pp.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards Journal* 46, 323–351.
- Greco, R., Valvo-Sorriso., Catalano, E., 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy. *Engineering Geology* 89, 47-66.
- Jadda, M., Shafri, Hemli Z.M., Mansor, Shattri B., Sharifikia, M., Pirasteh, S., 2009. Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model. *Scientific Research Journal* 33(4), 654-668.
- Iswar, D., Sashikant, S. .Ceas, V.W., Alfred, S .Robert, H., 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.
- Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A., Riva, J., 2008. Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain), *Environmental Geology* 54, 963–977.
- Lee, S., Pradhan, B., 2006. Probabilistic Landslide risk mapping at Penang Island, Malaysia. *Earth System Science Journal* 115(6), 661–672.
- Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 4, 33–41.
- Lee, S., Talib, J.A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology* 47, 982–990.
- Lee, S & Dan, N.T., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environmental Geology* 48, 778–787.
- 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.
- Lee, S., 2004. Application of frequency ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management* 34(2), 223–232.
- Lee, S., 2005a. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data journals. *Remote Sensing* 26(7), 1477–1491.
- Lee, S., 2005b. Application and cross-validation of spatial logistic multiple regression for landslide susceptibility analysis. *Geosciences Journal* 9(1), 63-71.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., 2002a. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology* 43, 120–131.
- Lee, S., Chwae, U., Min, K., 2002b. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. *Geomorphology* 46, 149–162.
- Madani, H., 2001. Structural and tectonic geology, 7th Edition, Allameh Tabatabaei unit of Jahad deneshgahi press, 688p.

- Oh, H.J., Saro, L., Wisut, Ch., 2009. Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand, *Environmental Geology* 57, 641-651.
- Pradhan, B., 2010. Manifestation of an advanced fuzzy logic model coupled with Geo-information techniques to landslide susceptibility mapping and their comparison with logistic regression modeling. *Environmental Ecology and Statistics* (DOI 10.1007/s10651-010-0147-7), 23pp.
- Pradhan, B., Youssef, A.M., 2009. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Geosciences Journal*, 3(3), 319-326.
- Pradhan, B., Lee, S., 2009a. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, *Environmental Earth Science* 60(5), 1037-1054.
- Pradhan, B., Lee, S., 2009b. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modeling & Software* 25, 1-13.
- Pradhan, B., Lee, S., 2009c. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modeling & Software* 25, 747-759.
- Pradhan, B., Lee, S., Mansor, S., Buchroithner, M.F., Jallaluddin, N., 2008. Utilization of optical remote sensing data and geographic information system tools for regional landslide hazard analysis by using binomial logistic regression model. *Journal of Applied Remote Sensing Journal* 2(1), 1-11.
- Quido, Z., Vojtech, M., 1982. *Landslide and their control*, Elsevier scientific publishing company, printed in Czechoslovakia, 324 pp.
- Ritchie, A.M., 1963. Evaluation of Rock fall and its Control. *Highway Record* 17, 13-23.
- Shirzadi, A., 2006a. Rockfall hazard susceptibility mapping by presentation of regional model (case study: Kurdistan, Salavatabad saddle). M.Sc Thesis. University of Mazandaran, 120 p.
- Shirzadi, A., Solaimani, K., Habibnejhad, M., Mousavi, R., 2006b. Rockfall hazard susceptibility mapping by a statistical- logistic regression model (case study: Kurdistan, Salavatabad saddle), 3rd National Watershed & Water and Soil Resources Management Conference, Kerman, Iran, 514-518.
- Shirzadi, A., Shirzadi, B., Solaimani, K., 2006c. Rockfall hazard susceptibility mapping at along mountainous roads by a probabilistic-frequency Ratio model (Case study: Kurdistan, Salavatabad saddle), 3rd Disaster Management Conference, Tehran, Iran, 13p.
- Suzan, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology* 71, 303-352.
- Tunusluoglu, M.C., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., Sonmez, H., 2008. Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). *Environmental Geology* 54, 9-22.

Comparison of Logistic Regression and Frequency Ratio Models in Rockfall Hazard Zonation

A. Shirzadi¹, K. Solaimani², M. Habibnejad Roshan² and K. Chapi*³

¹MSc. Graduate, College of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I.R. Iran

² Associate Prof., College of Natural Resources, University of Mazandaran, Sari, I.R. Iran

³ Assistant Prof., College of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I.R. Iran

(Received: 10 March 2010, Accepted: 18 January 2011)

Abstract

Climatic factors and human activities can cause mass movements. Due to the risk of these movements to human communities, one has to control them. In order to control mass movements, different aspects of the movements should be studied in detail. The aim of this research is to evaluate the efficiency of a statistical model - logistic regression - and a probabilistic model - frequency ratio - in rockfall hazard mapping in the Salavatabad saddle in eastern Sanandaj, Iran. The study of 34 sensitive slopes and 34 stable slopes in the study area using field works, local interviews and the literature review showed that 8 factors including slope gradient, slope aspect, slope curvature, elevation above the sea, and distance from road, distance from faults, lithology and landuse are the most effective factors for occurring rockfalls. The relationships of rockfall and these 8 factors were studied by the logistic regression model and the probabilistic frequency ratio model and the generated rockfall susceptibility maps were compared. The results showed that both models work reasonably well for rockfall hazard studies; however, the logistic regression model has an accuracy of 85.09 percent of the Area under ROC Curve (AUC) in prediction of sensitive areas compared to the accuracy of 76.74 percent by the probabilistic frequency ratio model. Therefore, the logistic regression model can be used for rockfall hazard studies in the study area.

Keywords: Rockfall, Hazard mapping, Logistic regression, Frequency ratio, The Salavatabad saddle, Kurdistan

*Corresponding author:

Tel: +98 871 6627723

Fax: +98 871 6620550

E-mail: k.chapi@uok.ac.ir