

ساخت مدل منطقه‌ای خطر ریزش سنگ در طول جاده‌های کوهستانی با استفاده از شاخص هم‌پوشانی و GIS (مطالعه موردی: کردستان، گردنه صلوات آباد)

- عطا... شیرزادی، کارشناس دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان (نویسنده مسئول)
 - سیده زهره موسوی، دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری
 - عطاالله کاویان، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۸۸
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۷۰۷۴۹۸
Email: atashirzadi@gmail.com

چکیده

هدف از انجام این تحقیق تهیه نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ با استفاده از روش شاخص هم‌پوشانی می باشد. ابتدا با استفاده از بررسی‌های میدانی، مصاحبه محلی و مرور مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور، هشت عامل موثر در ۳۴ دامنه حساس و مستعد به ریزش سنگ در گردنه صلوات آباد واقع در شرق شهرستان سنندج، شناسایی شدند. این عوامل شامل؛ درجه شیب، جهت شیب، انحنای شیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین‌شناسی و کاربری ارضی می باشند. در این روش ارزش مربوط به هر کلاس مختلف با استفاده از تراکم ریزش سنگ‌ها در آن کلاس و بین ۰ تا ۱۰ در نظر گرفته شد. با انتقال این مقادیر به هر کلاس و اختصاص وزن‌های کارشناسی به عوامل، نقشه پهنه بندی حساسیت خطر ریزش سنگ منطقه مورد مطالعه با پنج کلاس تهیه گردید. ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی از روی هم اندازی نقشه پراکنش ریزش سنگ بر روی نقشه پهنه بندی به دست آمده انجام گرفت. برای اطمینان بیشتر از ارزیابی صحت نقشه به دست آمده با حذف هر کدام از متغیرهای موثر بر ریزش سنگ و تهیه نقشه پهنه بندی مربوط به حضور سایر متغیرها، درصد صحت نقشه مورد آزمون قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که درصد صحت نقشه بدون حضور درجه شیب ۷۵/۸۱ درصد، بدون حضور جهت شیب ۷۸/۵۰ درصد، بدون حضور ارتفاع از سطح دریا ۷۲/۱۶ درصد، بدون حضور سنگ‌شناسی ۷۴/۶۴ درصد، بدون حضور فاصله از جاده ۷۶/۲۶ درصد، بدون حضور فاصله از گسل ۷۳/۵۶ درصد، بدون حضور شکل شیب ۶۴/۰۰ درصد و بدون حضور کاربری ارضی ۷۴/۲۳ درصد و با حضور تمامی متغیرها درصد صحت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ گردنه صلوات آباد ۸۱/۴۴ درصد به دست آمد که درصد صحت بالا و قابل قبولی می باشد.

کلمات کلیدی: ریزش سنگ، شاخص هم‌پوشانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، کردستان

Generating regional rockfall hazard model at along mountainous roads by using of overlay index and GIS (Case study: Kurdistan, Salvatabad saddle)

By: A. Shirzadi, Expert College of Natural Resources, University of Kurdistan (Corresponding Author; Tel: +989181707498), S. Z. Mosavi, M.Sc in Watershed Management and A. Kavian, Assistant Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University of Sari

The aim of this research is generating rockfall hazard zonation map by using of overlay index method in Salvatabad saddle that is located in Sanandaj southeastern, Kurdistan province. The first, in this research, we using of field search, local interview and review on carried out studied in the outside and inside of Iran, eight factors effective was recognized on rock falls. These factors include; slope degree, slope aspect, slope curvature, elevation, distance to road, distance to fault, litology and land use. After recognizing, we act to processing with Arc view 3.2 and ERDAS imagine 8.5 software. Thirty four Sensitive slopes were used as prone slopes to rock fall data (Dependent variable). For statistical analysis, be used of likelihood ratio statistical analysis. At this research, the value of each various class between 0 and 1 is determined. As for, the chart be obtained from overlay distribution rockfall map with information layers, the each of class of each layer that had more frequent density, 10 value and other classes with aspect of value of rockfall frequent density in class itself, was determined as unit of 100 value. With transmit this coefficient to each class and wights based on the charts as effective factors with rockfalls and expert opinions, the hazard zonation susceptibility of rockfall was generated in Salvatabad saddle regional with five classes. For Verification, rockfall point's map was overlaid with hazard map. For more confidence, first each of effective variables removed then hazard Zonation map was generated and at last this map was verified. Result have shown that percent of verification without slope degree is 75.81 percent, without slope aspect is 78.50 percent, without elevation of sea is 72.16 percent, without litology is 74.64 percent, without distance from road is 76.23 percent, without distance from fault is 73.56 percent, without curvature is 64.00 percent, without landuse is 74.23 percent and by all variables the percent of verification is 81.44 so, it is high and acceptable..

Keywords: Rock fall; Overly Index, Geographic Information System (GIS); Kurdistan

مقدمه

یکی از انواع حرکت‌های توده ای در مواد خشک و به هم پیوسته، پدیده ریزش سنگ می باشند که مربوط به حرکت های ناگهانی یا تند بلوک های لق شده یا مجموعه ای از سنگ های سخت جدا شده از دیواره های سنگی پرشیب است (احمدی، ۱۳۷۸). آن‌ها معمولاً در امتداد سطوح لایه بندی درزها و مناطق گسلی یا سطوح گسلی رخ می دهند (Ayalew و همکاران، ۲۰۰۵) و از جمله تهدیدهای جدی برای جاده‌ها، بزرگراه‌ها، راه آهن و مناطق مسکونی در بسیاری از مناطق کوهستانی جهان، محسوب می شوند. طبق برآوردها مشخص شده است که ۱۰ درصد از جمعیت جهان در نواحی کوهستانی و ۳۶ درصد از اراضی جهان، کوهستانی می باشند و به دلیل افزایش و توسعه چشمگیر جمعیت جهان، فعالیت‌های انسانی در نواحی کوهستانی دور از دسترس نیز، افزایش چشمگیر داشته است (Chau و همکاران، ۲۰۰۴). در ۱۰ فوریه سال ۱۹۹۶ ریزش سنگی عظیم که در تونلی در بزرگراه شماره ۲۲۹ هوکایدو در ژاپن اتفاق افتاد، ۲۰ نفر را کشت. به همین خاطر مسائل و مشکلات ریزش سنگ‌ها توجهات بین المللی خاصی را به خود جلب نمود (Chau و همکاران، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴). با ازدیاد جمعیت و فعالیت انسان‌ها در مناطق کوهستانی از یک سو و نیاز به تامین معیشت از سوی دیگر، لزومی برای تبدیل و تغییر کشت، اجرای غیر اصولی آن، چرای بی رویه دام در دامنه ها و مناطق

شیب دار و نهایتاً ایجاد حرکت‌های توده ای مهیب شده است. ریزش سنگ های فروردین ۱۳۸۶ در گردنه هزار چم (جاده کرج - چالوس)، منجر به کشته شدن حدود ۲۰ نفر گردید (www.ngdir.ir). در شرق شهرستان سنندج همه ساله ریزش سنگ در طول ۱۱ کیلومتر از جاده واقع در گردنه صلوات آباد رخ می دهد که خوشبختانه تاکنون تلفات جانی را در پی نداشته است. اما بر اساس گزارشات اداره راه و ترابری شهرستان سنندج هزینه های بسیار زیادی به خاطر ترانشه بری در زمین های سنگی، برداشت ریزش، بارگیری و حمل مواد حاصله از ترانشه بری و ریزش، پاک کردن سطح راه و رفع انسداد راه ناشی از ریزش به همراه دارد. علاوه بر خسارت های ذکر شده، تخریب اراضی زراعی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی و راه های ارتباطی و هدررفت سریع خاک در پایین دست این گردنه، از دیگر آثار مخرب ریزش سنگ‌ها در منطقه می باشند. در شکل ۱ بخشی از این مشکلات و خسارات نشان داده شده است. نخستین اقدام برای جلوگیری از ریزش قطعات سنگی از دامنه ها توسط Richi در سال ۱۹۶۳ با حفر چاله ای در پاشنه دامنه بدون در نظر گرفتن جهش قطعات سنگی در هنگام ریزش انجام گرفت (Zaruba و Mencl، ۱۹۸۲). بعدها روش های مختلفی برای شناسایی مناطق حساس به خطر و پهنه بندی این مناطق رواج یافت. در این روش ها هدف شناسایی مناطق حساس به ریزش سنگ و تفکیک اراضی به بخش هایی با درجات خطر وقوع

واحدهای سنگی در محدوده مورد مطالعه مربوط به دوران مزوزوئیک و دوره کرتاسه پسین می باشد واز جدید به قدیم عبارتند از: واحد سنگی $K_1^{v,13}$ که به صورت شمالی-جنوبی برونزد داشته و از سنگهای ولکانیک، آندزیتی، بازالتی و اسپیلیت بازالت در محیط دریایی تشکیل یافته است. واحد K_1^{11} ارتفاعات بلند و صخره ساز منطقه را پدید آورده است و شامل سنگ های آهکی که به طور عمده چین خورده و اغلب همبری آن با واحدهای سنگی دیگر خرد شده، برشی و نابرجا است. واحد K_1^S متشکل از ماسه سنگ های قرمز و ارغوانی رنگ متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه هایی از شیل های سیلتی قرمز رنگ و خاکستری روشن، کنگلومرای قرمز رنگ با قطعات سنگ آهک، ولکانیک و سیلیس است. اقلیم منطقه از نوع مدیترانه ای بوده و میانگین بارندگی منطقه $470/83$ میلی متر می باشد. شیب متوسط $23/05$ درجه است. رخساره غالب منطقه توده سنگی بوده و شکل توپوگرافی محدب، هندسه غالب شیب در منطقه مورد مطالعه می باشد.

روش تحقیق

عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش

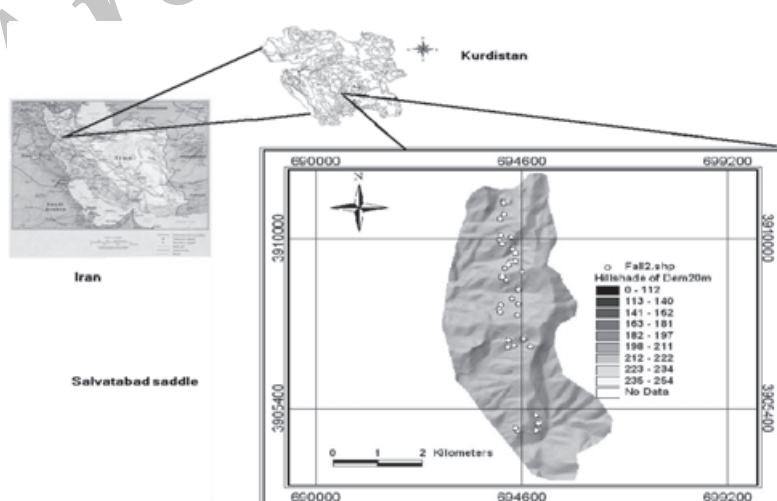
اولین گام در شناخت عوامل موثر در وقوع ریزش های سنگی و در نتیجه پهنه بندی خطر، به دست آوردن موقعیت مکانی ریزش سنگ ها رخ داده در منطقه است. شناسایی مناطق ریزش سنگ از روی عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای، به دلیل پراکنش این مناطق در نقاط کور از جمله در پرتگاه های پرشیب دامنه، تا حدودی مشکل می باشد. بنابراین برای شناسایی آن ها مستقیماً اقدام به استفاده از اطلاعات اداره راه و ترابری شهرستان سنندج از محل های وقوع ریزش سنگ، مردم ساکن در منطقه و پیمایش های صحرایی و مشاهده بصری از طریق وضعیت و میزان تراکم ریزش های سنگی و تجمع بلوک ها و قطعات سنگی ریخته شده از دامنه و نهشته شده در کنار جاده، گردیده و موقعیت 34 دامنه حساس و مستعد به ریزش سنگ به عنوان متغیر وابسته با دستگاه GPS مدل Garmin به روش دستی و خطایی در حدود 5 متر برداشت و پس از انتقال به نرم افزار Arc view 3.2 ، رقومی و آماده پردازش با سیستم اطلاعات جغرافیایی شد (شکل ۱). در این تحقیق ابتدا برای شناخت عوامل موثر در وقوع ریزش سنگ های منطقه اقدام به بررسی های میدانی و

متفاوت است که بتوان در مناطق با خطر بالا از فعالیت های مختلف جلوگیری نمود. برخی از این روش ها عبارتند از شاخص هم پوشانی^۱ (فیض نیا و همکاران، 1383)، نسبت فراوانی^۲ (Lee, 2004 ; Sambath و Lee, 2006 ; Jadda و همکاران، 2009)، تحلیل سلسله مراتبی^۳ (Bardo و همکاران، 2000)، شبکه عصبی مصنوعی^۴ (Lee و Pradhan, 2009)، و رگرسیون لجستیک^۵ (Chau و Chan, 2005). اکثر این روش ها برای مطالعه دامنه های لغزشی در سطح جهان به کار گرفته شده اند و مطالعات اندکی به بررسی ریزش سنگ ها پرداخته شده است (Chau و همکاران 2003 و 2004). بنابراین، تحقیق اخیر بررسی وضعیت ریزش های سنگی گردنه صلوات آباد، برای تهیه نقشه خطر و شناسایی حساسیت پهنه ها به خطر با استفاده از شاخص هم پوشانی بوده که در مطالعات اجرایی شامل ساخت ابنیه، تونل، جاده و غیره می تواند مورد استفاده واقع شود. فیض نیا و همکاران (1383) در حوزه آبخیز شیرین رود ساری به پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش شاخص هم پوشانی پرداخته و این روش را در مقایسه با روش های دو متغیره، خوب ارزیابی کردند. از جمله مطالعات دیگر انجام شده در کشور در زمینه مدل سازی خطر وقوع حرکت های توده ای (البته از نوع زمین لغزش) می توان به تحقیقات شادفر و یمانی (1386)، کلارستاقی و گرایبی (1386) و کلارستاقی و احمدی (1383) اشاره نمود. هدف تحقیق حاضر نیز ارزیابی خطر و تهیه نقشه حساسیت به وقوع ریزش سنگ در گردنه صلوات آباد استان کردستان می باشد.

مواد و روش ها

ویژگی های منطقه مورد مطالعه

گردنه صلوات آباد در شرق شهرستان سنندج در استان کردستان و در بین مختصات جغرافیایی $48^{\circ}07'47''$ تا $47^{\circ}08'08''$ طول شمالی و $16^{\circ}15'35''$ تا $19^{\circ}40'35''$ واقع شده است (شکل ۱). مساحت منطقه مورد مطالعه $18/71$ کیلومتر مربع می باشد. جاده ای با روند شمالی - جنوبی و با کشیدگی در امتداد منطقه مورد مطالعه وجود دارد که در این تحقیق حدود 11 کیلومتر از این جاده از ابتدای گردنه تا حدود ابتدای روستای صلوات آباد مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط حدود 2000 متر از سطح دریا و طبقه ارتفاعی $2000 - 1900$ متر بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه همراه دامنه های ریزشی گردنه صلوات آباد

AI: عوامل موثر بر ریزش سنگ‌ها از جمله زمین‌شناسی، درجه شیب، جهت شیب و غیره

نتایج

نتایج ساخت مدل

با توجه به نظرات کارشناسی وزن‌هایی به عوامل موثر داده شد؛ بر این اساس به لایه زمین‌شناسی امتیاز ۱۰، فاصله از جاده امتیاز ۸، فاصله از گسل امتیاز ۸، شکل شیب امتیاز ۷، درجه شیب امتیاز ۶، ارتفاع از سطح دریا امتیاز ۴، جهت شیب امتیاز ۲ و کاربری ارضی نیز امتیاز ۲ تعلق گرفت. این امتیازات در رابطه ۱ گذاشته شده و رابطه زیر به دست آمد:

(۲) مجموع وزن‌های عوامل / کاربری ارضی = $2 * \dots +$ (نقشه زمین‌شناسی) $10 * =$ نقشه خطر ریزش سنگ
با اعمال رابطه ۲، در نرم افزار Arc view ۳.۲ به هر کدام از عوامل موثر، نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ به دست آمد. که پس از طبقه بندی به پنج کلاس؛ مناطق بدون خطر (۰-۱۵)، خیلی کم خطر (۱۶-۳۱)، کم خطر (۳۲-۴۷)، با خطر متوسط (۴۸-۶۳) و مناطق با خطر بالا (۶۴-۷۹)، تفکیک گردید (شکل ۳).

ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ

ارزیابی صحت نقشه ریزش سنگ با استفاده از پراکنش ریزش سنگ‌ها بر اساس مقایسه ریزش سنگ‌های برداشت شده با نقشه حساسیت ریزش سنگ، صورت گرفت. شکل ۴ این مقایسه را نشان می‌دهد. 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 جمعی ۱ درصد تقسیم شدند. این روند نیز برای ریزش سنگ‌ها اتفاق افتاده در داخل پیکسل‌ها با مقایسه ۱۰۰ کلاس به دست آمده با نقاط پراکنش ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. سپس نموداری برای ارتباط میان دو مقدار طبقه بندی شده ترسیم گردید. در مدل شاخص همپوشانی، ۱۰۰-۹۰ درصد (۱۰ درصد)، کلاس از مساحت منطقه جایی است که شاخص حساسیت‌پذیری ریزش سنگ می‌تواند ۴۱ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. علاوه بر این ۱۰۰-۸۰ درصد (۲۰ درصد) کلاس از مساحت منطقه جایی است که شاخص حساسیت‌پذیری ریزش سنگ می‌تواند ۶۵ درصد از تمام ریزش سنگ‌های منطقه را با حساسیت بالا توجیه کند. برای ارزیابی بیشتر صحت نقشه به دست آمده، از روش میزان درصد صحت مدل بدون وجود هر کدام از متغیرها در مقایسه با حضور تمامی آن‌ها استفاده گردید (شکل ۵). بر این اساس با حذف متغیر درجه شیب و تهیه نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ بدون آن و همپوشانی نقشه ریزش سنگ‌ها بر روی نقشه به دست آمده و ترسیم نمودار آن؛ مقدار صحت بدون حضور درجه شیب ۷۵/۸۱ درصد به دست آمد. این روند برای سایر متغیرها نیز انجام گرفت. بر این اساس، بدون حضور جهت شیب این مقدار ۷۸/۵۰ درصد، بدون حضور ارتفاع از سطح دریا ۷۲/۱۶ درصد، بدون حضور لیتولوژی ۷۴/۶۴ درصد، بدون حضور فاصله از جاده ۷۶/۲۶ درصد، بدون حضور فاصله از گسل ۷۳/۵۶ درصد، بدون حضور شکل شیب ۶۴/۰۰ درصد و بدون حضور کاربری ارضی ۷۴/۲۳ درصد و با تمامی متغیرها درصد صحت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ

مصاحبه‌های محلی و همچنین مرور مطالعات انجام گرفته در این خصوص در داخل و خارج از کشور، گردید. در ابتدا هشت عامل موثر بر ریزش سنگ که عبارتند از: درجه شیب (A)، جهت شیب (B)، ارتفاع از سطح دریا (C)، کاربری ارضی (D)، سنگ‌شناسی (E)، فاصله از جاده (F)، فاصله از گسل (G) و شکل شیب (H)، شناسایی شدند (جدول ۱). نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از سازمان نقشه برداری کشور (www.ncc.org.ir) و نقشه زمین‌شناسی از سازمان نقشه برداری کشور (www.gsi.ir) تهیه شدند. از دو شیت نقشه توپوگرافی مناطق 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. نقشه ارتفاع از سطح دریا نیاز از نقشه مدل رقومی ارتفاع ایجاد گردید. نقشه شبکه جاده با رقومی کردن خطوط جاده اصلی از روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ به طول حدود ۱۱ کیلومتر در گرده سلوات آباد و نقشه شبکه گسل با رقومی کردن خطوط گسل‌ها و تراست‌ها از روی نقشه زمین‌شناسی سنندج با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ انجام گرفت. بر اساس طبقه بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای لندست + ETM به تاریخ اردیبهشت سال ۱۳۸۰، نقشه کاربری ارضی منطقه تهیه شد. همچنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی‌گون‌های واحدهای سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی منطقه با ۳ واحد سنگی K_1^v, K_1^{11}, K_1^s تهیه شد.

مدل‌سازی خطر وقوع ریزش سنگ با استفاده از شاخص همپوشانی

در تجزیه و تحلیل‌ها به روش شاخص همپوشانی، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و طبقه بندی آن‌ها، تعداد پیکسل‌های مربوط به هر کلاس را با استفاده از نرم افزارهای گفته شده تعیین خواهند شد. سپس فراوانی ریزش سنگ‌های اتفاق افتاده در هر کلاس را با استفاده از همپوشانی نقشه پراکنش ریزش سنگ‌ها با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، مشخص می‌شوند. تراکم ریزش، از تقسیم تعداد ریزش سنگ اتفاق افتاده در هر کلاس به مساحت اشغال شده همان کلاس بر حسب کیلومتر مربع به دست می‌آید. شاخص همپوشانی بر اساس تراکم ریزش سنگ به دست می‌آید. به این صورت که هر کلاس از هر لایه که تراکم ریزش سنگ بیشتری داشته باشد، ارزش ۱۰ و سایر کلاس‌ها با توجه به مقدار تراکم ریزش سنگ، ارزشی به صورت واحدی از ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از تراکم ریزش سنگ و شاخص همپوشانی نمودارهای اثر هر کدام از عوامل موثر بر ریزش سنگ تهیه می‌گردد (شکل ۲). سپس با استفاده از این نمودارها و نیز استفاده از نظرات کارشناس زمین‌شناسی آشنا به منطقه مورد مطالعه، وزن‌هایی برای عوامل مختلف تعیین می‌شوند. با اعمال این وزن‌ها در هر لایه اطلاعاتی و تقسیم آن‌ها به مجموع وزن‌های عوامل، در نهایت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ با این روش به دست خواهد آمد. ارزش مربوط به هر کلاس بین صفر تا ۱۰ در جدول ۱، آورده شده است. در نهایت ارزش‌های به دست آمده به عنوان شاخص همپوشانی را در نرم افزار Arc view ۳.۲ به هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، انتقال و با اعمال رابطه (۱)، نقشه پهنه بندی خطر به دست می‌آید (شکل ۳).

(۱)

$$X: \text{وزن کارشناسی هر عامل موثر بر ریزش سنگ‌ها} = \frac{X_1 A_1 + \dots + X_n A_n}{\sum X}$$

جدول ۱- ضرایب ریزش سنگ گردنه صلوات آباد بر اساس شاخص همپوشانی

	کلاس	علامت	فراوانی پیکسل	فراوانی ریزش	مساحت (کیلومتر مربع)	تراکم ریزش	شاخص همپوشانی
درجه شیب	۰-۹	a1	۲۹۳۵	۰	۱/۱۷۳	۰	۰
	۱۰-۱۴	a2	۴۶۷۱	۳	۱/۸۶۹	۱/۶۰۵	۱/۲
	۱۵-۱۹	a3	۷۶۴۹	۲	۳/۰۵۹	۰/۶۵۳	۰/۵
	۲۰-۲۴	a4	۱۱۹۰۰	۷	۴/۷۶۰	۱/۴۷۰	۱/۱
	۲۵-۲۹	a5	۱۰۸۳۴	۷	۴/۳۳۴	۱/۶۱۵	۱/۲
	۳۰-۳۴	a6	۶۲۶۱	۸	۲/۵۰۴	۳/۱۹۴	۲/۴
	۳۵-۳۹	a7	۱۹۶۹	۴	۰/۷۸۷	۵/۰۸۲	۳/۸
	۴۰≤	a8	۵۶۲	۳	۰/۲۲۵	۱۳/۳۳۳	۱۰
جهت شیب	فلات	b1	۱۳۳۶	۰	۰/۵۳۴	۰	۰
	شمالی	b2	۱۵۷۶	۰	۰/۶۳۰	۰	۰
	شمال شرقی	b3	۳۳۰۰	۱	۱/۳۲۰	۰/۷۵۷	۱/۱
	شرقی	b4	۳۰۵۲	۲	۱/۳۲۰	۱/۶۳۹	۲/۴
	جنوب شرقی	b5	۴۰۲۲	۲	۱/۶۰۸	۱/۲۴۳	۱/۸
	جنوبی	b6	۹۳۱۴	۳	۳/۷۲۵	۰/۸۰۵	۱/۲
	جنوب غربی	b7	۱۸۵۶	۵	۰/۷۴۲	۶/۷۳۸	۱۰
	غربی	b8	۸۲۷۰	۱۵	۳/۳۰۷	۴/۵۳۵	۰/۱
ارتفاع از سطح دریا	۱۸۰۰>	c1	۳۹۸۱	۰	۱/۵۹۲	۰	۰
	۱۸۰۰-۱۹۰۰	c2	۸۶۶۹	۱	۳/۴۶۷	۰/۲۸۸	۰/۵
	۱۹۰۰-۲۰۰۰	c3	۸۸۸۲	۴	۳/۵۵۲	۱/۱۲۶	۱/۷
	۲۰۰۰-۲۱۰۰	c4	۶۷۳۱	۷	۲/۶۹۲	۲/۶۰۰	۴
	۲۱۰۰-۲۲۰۰	c5	۶۱۶۴	۱۶	۲/۴۶۵	۶/۴۹۰	۱۰
	۲۲۰۰-۲۳۰۰	c6	۴۷۶۲	۳	۱/۹۰۴	۱/۵۷۵	۲/۴
	۲۳۰۰-۲۴۰۰	c7	۴۰۲۲	۳	۱/۶۱۲	۱/۸۶۱	۲/۸
	۲۴۰۰-۲۵۰۰	c8	۳۵۷۸	۰	۱/۴۳۱	۰	۰
کاربری ارضی	باغی	d1	۴۱۷	۰	۰/۱۶۶	۰	۰
	مرتع تنک	d2	۱۵۵۶۵	۰	۶/۲۲۵	۰	۰
	مناطق صخره ای	d3	۲۲۸۷۴	۳۲	۹/۵۴۸	۱/۳۵۳	۱۰
	منطقه مسکونی	d4	۶۶۴	۰	۰/۲۶۵	۰	۰
	مرتع نیمه انبوه	d5	۶۲۶۱	۲	۲/۵۰۴	۰/۳۹۹	۱/۲
زمین شناسی	بازالت و آندزیت	e1	۱۷۴۵۰	۳	۶/۹۷۹	۰/۴۲۹	۱/۰۵
	آهک	e2	۱۹۰۸۳	۳۱	۷/۶۳۲	۴/۰۶۱	۱۰
	کنگلومرا و شیل	e3	۱۰۲۴۸	۰	۴/۰۹۸	۰	۰

ادامه جدول ۱

	کلاس	علامت	فراوانی پیکسل	فراوانی ریزش	مساحت (کیلومتر مربع)	تراکم ریزش	شاخص همپوشانی
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	f1	۵۹۸۲	۲۶	۲/۳۹۲	۱۰/۸۶۹	۱۰
	۱۰۰-۲۰۰	f2	۵۳۵۳	۲	۲/۱۴۱	۰/۹۳۴	۰/۸
	۲۰۰-۳۰۰	f3	۴۷۹۹	۲	۱/۹۱۹	۱/۰۴۲	۰/۹
	۳۰۰-۴۰۰	f4	۴۳۴۱	۲	۱/۷۳۶	۱/۱۵۲	۱/۶
	۴۰۰-۵۰۰	f5	۳۹۵۴	۲	۱/۵۸۱	۱/۲۶۵	۱/۱
	۵۰۰≤	f6	۲۲۳۸۲	۰	۸/۹۵۲	۰	۰
فاصله از گسل	۰-۱۵۰	g1	۱۱۵۸۴	۱۲	۴/۶۳۳	۲/۵۹۰	۹/۸
	۱۵۰-۳۰۰	g2	۹۵۰۶	۱۰	۳/۸۰۲	۲/۶۳۰	۱۰
	۳۰۰-۴۵۰	g3	۷۵۵۷	۷	۳/۰۲۲	۲/۳۱۶	۸/۸
	۴۵۰-۶۰۰	g4	۱۸۱۳۴	۵	۷/۲۵۳	۰/۶۸۹	۲/۶
	۶۰۰≤	g5	۰	۰	۰	۰	۰
انحنای شیب	مقعر	h1	۲۲۷۷۹	۱	۹/۱۱۰	۰/۱۰۹	۰/۰۴
	یکنواخت	h2	۲۱۴۱۰	۸	۸/۵۶۹	۰/۹۳۴	۰/۳
	محدب	h3	۲۵۹۲	۲۵	۱/۰۲۶	۲۴/۱۳۱	۱۰
مجموع			۴۶۷۸۱	۳۴	۱۸/۷۱		

جدول ۲- مقادیر آماری و درصد صحت نقشه پهنه بندی بدون حضور هر متغیر و با حضور تمام متغیرها

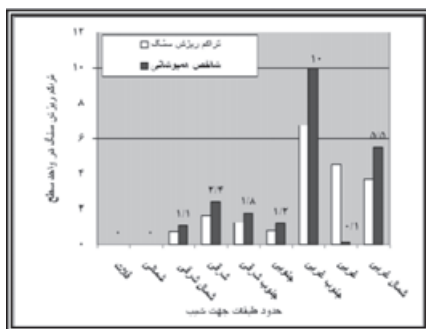
درصد صحت	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	
۷۵/۸۱	۵/۳۴۵	۶/۸۸۱	۳۴/۹۴۶	۰/۰۶۰	بدون درجه شیب
۷۸/۵۰	۵/۵۱۸	۷/۰۲۵	۳۹/۷۷۶	۰/۰۶۰	بدون جهت شیب
۷۲/۱۶	۵/۳۵۱	۶/۹۲۷	۳۸/۷۱۰	۰/۰۶۰	بدون ارتفاع از سطح دریا
۷۴/۶۴	۵/۳۱۴	۶/۸۹۸	۳۹/۸۸۴	۰/۰۶۰	بدون سنگ شناسی
۷۶/۲۶	۴/۹۲۵	۶/۸۶۲	۳۶/۱۴۷	۰/۰۶۰	بدون فاصله از جاده
۷۳/۵۶	۵/۴۵۶	۶/۹۶۴	۴۰/۸۴۶	۰/۰۶۰	بدون فاصله از گسل
۶۴/۰۰	۳/۸۷۳	۶/۶۴۱	۳۴/۹۲۱	۰/۰۰	بدون شکل شیب
۷۴/۲۳	۵/۳۱۹	۶/۸۶۴	۴۰/۲۷۶	۰/۰۶۰	بدون کاربری ارضی
۸۱/۴۴	۵/۶۱۶	۷/۸۶۷	۴۲/۱۱۹	۰/۰۶۰	با حضور تمام متغیرها

کرده اند که ریزش سنگ‌ها عمدتاً در شیب‌های بالا یا دیوارهای پر شیب که حالت عمودی و پرتگاه را داشته و در مناطق عاری از پوشش و به صورت سنگی و صخره‌ای از نوع آهکی بیشتر به وقوع می‌پیوندند. براین اساس، مشخص شد که شیب‌های بیشتر از ۴۰ درجه دارای بالاترین تراکم ریزش و شاخص همپوشانی بوده و بیشترین حساسیت را به ریزش سنگ نشان دادند. دلیل وجود تراکم ریزش سنگ بالا در جهت‌های جنوب غربی در منطقه مورد مطالعه، به احتمال قوی، گسل اصلی صلوات آباد است که به صورت مارپیچی

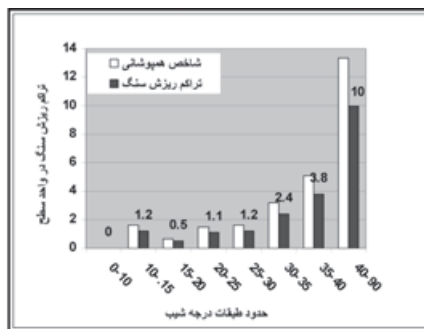
صحت ۸۱/۴۴ درصد به دست آمد که درصد صحت بالا و قابل قبولی می‌باشد (جدول ۲).

بحث و نتیجه گیری

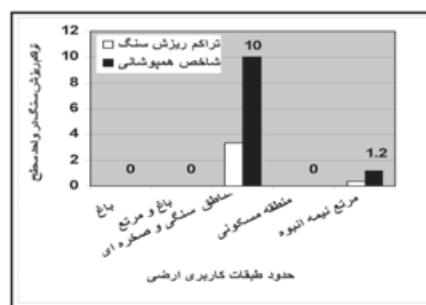
پس از همپوشانی نقشه پراکنش ریزش سنگ‌ها با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، تراکم ریزش سنگ و شاخص همپوشانی هر کلاس از هر لایه اطلاعاتی به دست آمد (جدول ۱). Mencl و Zaruba (۱۹۸۲)، بیان



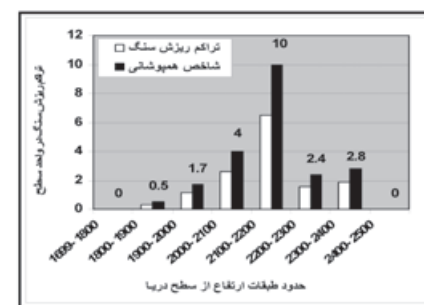
b



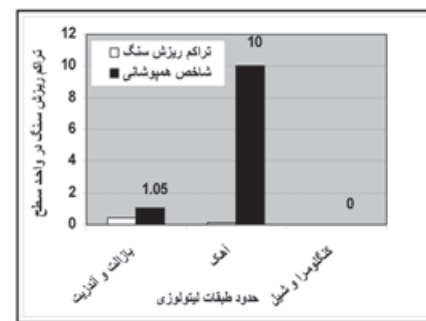
a



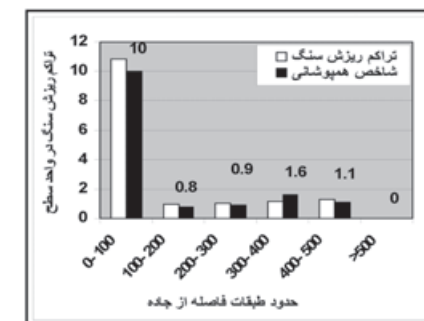
d



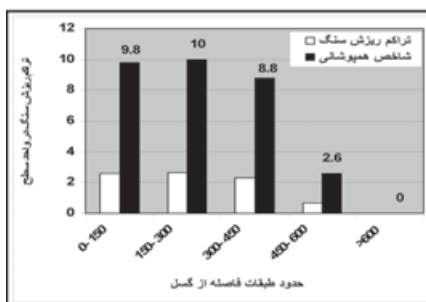
c



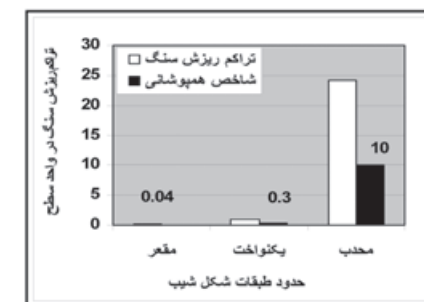
e



f

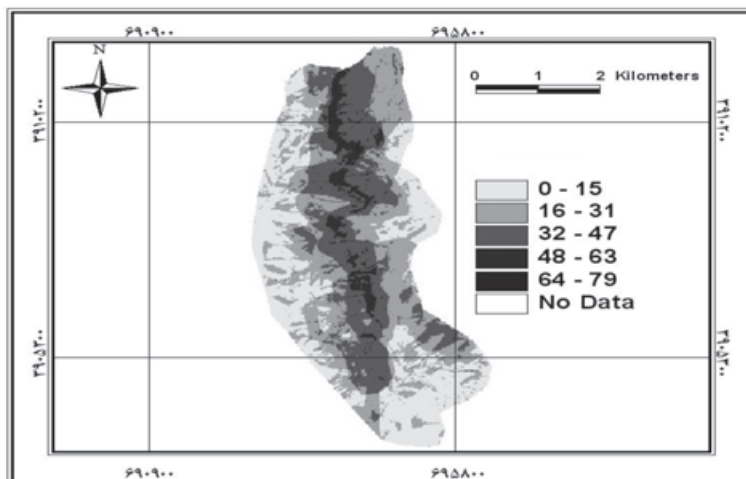


g

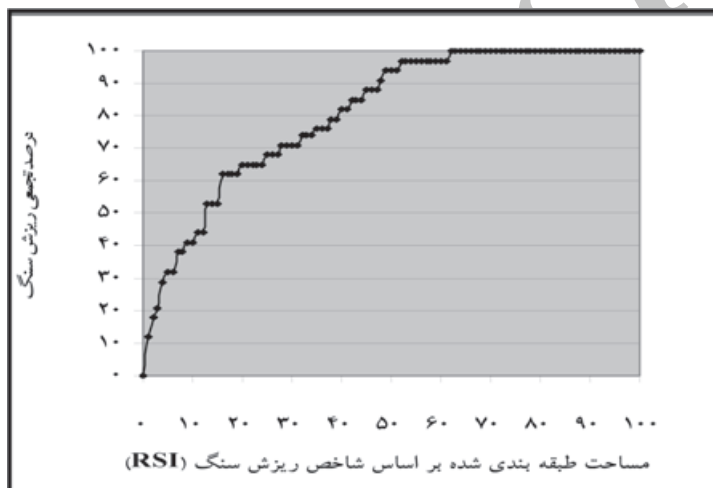


h

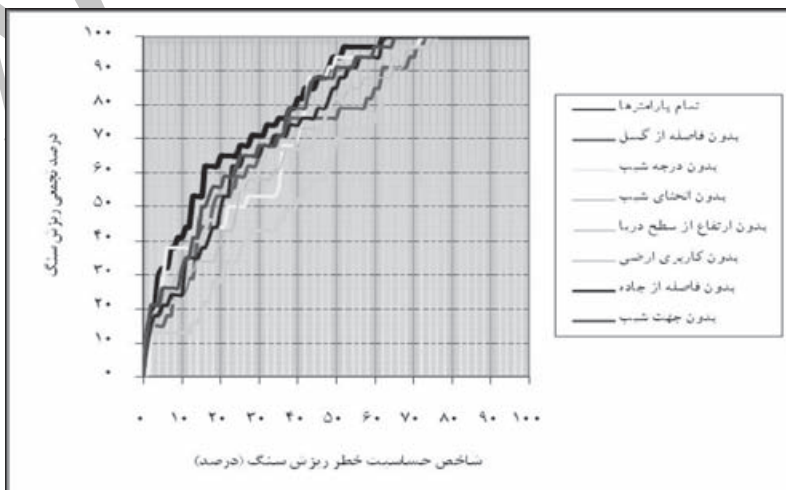
شکل ۲- نمودارهای اثر عوامل موثر بر ریزش سنگ‌ها شامل (a) درجه شیب (b) جهت شیب (c) ارتفاع از سطح دریا (d) کاربری ارضی (e) زمین شناسی (f) فاصله از جاده (g) فاصله از گسل و (h) انحنای شیب



شکل ۳- نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ گردنه صلوات آباد



شکل ۴- نمودار ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ بر اساس ریزش سنگ ها و شاخص همپوشانی



شکل ۵- ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ بدون حضور هر متغیر و با حضور تمام آن ها

نزدیک جاده و گسل اتفاق افتاده اند و دارای بالاترین تراکم ریزش سنگ نیز هستند، نزدیک ترین فواصل به آن‌ها دارای بیشترین ارزش مربوط به شاخص همپوشانی هستند. روش ارزیابی و نتایج به دست آمده در این پژوهش با مطالعات Lee (۲۰۰۵)، Pradhan و Lee (۲۰۰۷)، Oh و همکاران (۲۰۰۹)، Pradhan و Lee (۲۰۰۹)، Jada و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت بسیار خوبی نشان داد. این پژوهش، با استفاده از هشت عامل موثر بر وقوع ریزش سنگ انجام گردیده و نقشه به دست آمده بر اساس آن‌ها مورد آزمون و صحت سنجی قرار گرفت. برداشت مناطق حساس و مستعد به ریزش سنگ در طبیعت نیاز به راهپیمایی و کار زیاد دارد. پیشنهاد می‌گردد تا ادارات و مجریان اجرایی مربوط به حرکت‌های توده‌های دامنه‌ها از جمله ادارات راه و ترابری در بحث پاکسازی محور جاده‌های داخل و خارج شهر و تردد آسان تر وسایل نقلیه؛ ادارات جهاد کشاورزی و محیط زیست در بحث خسارات ایجاد شده به اراضی کشاورزی و باغی، تخریب خاکدانه‌ها و سنگ‌های موجود در مسیر، حین ریزش قطعات سنگی و اثرات مخرب آن‌ها بر پتانسیل حاصلخیزی اراضی و تشدید فرسایش خاک؛ واحد حوادث غیر مترقبه مستقر در استانداری‌های هر استان به خاطر ریزش قطعات سنگی از دامنه‌های با بیرونزدگی سنگی و ریزش بر محور جاده و ایجاد صدمات و تلفات جانی برای مسافران در حال تردد در جاده‌های کوهستانی، اقدام به تهیه شناسنامه‌ای برای دامنه‌های ریزشی مثل دامنه‌های لغزشی که موقعیت جغرافیایی، مساحت سطح لغزش یافته و غیره در بعضی از ادارات جهاد کشاورزی استان‌ها موجود است، نمایند.

این شناسنامه می‌تواند شامل موقعیت دقیق دامنه‌های ریزش سنگی، ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه و در صورت وجود جاده‌های کوهستانی فاصله از نزدیکترین لبه جاده و شناسایی سایر عوارض که در عملیات میدانی قابل تشخیص هستند مثل میزان درز و شکاف یا تراکم بیرونزدگی سنگ‌ها و تخمین حساسیت ریزش دامنه‌ها با توجه به جنس زمین شناسی و کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها، باشند. علاوه بر موارد بالا، پیشنهاد می‌گردد که در آینده نقشه پهنه بندی خطر ریزش سنگ با سیستم‌های اندازه گیری خطر (RHRS) که پارامترهای ساختمانی و ژئومیکانیکی سنگ‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند، تلفیق شوند تا نقشه پهنه‌بندی از صحت و دقت بیشتری برخوردار گردند. در پایان از این روش به دلیل سادگی و عدم محدودیت در استفاده از عوامل موثر بیشتر و عدم محاسبات طولانی، می‌توان نقشه خطر ریزش سنگ را برای کل کشور انجام داده تا به عنوان منبعی در اختیار مسئولین بخش اجرا، در قسمت‌های توسعه و مدیریت فضای شهری شامل محل مسکونی، فضای سبز و پارک‌های کوهستانی و تفرجگاهی، احداث جاده‌ها و زیرگذر و روگذرها و غیره مورد توجه واقع شوند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند تا مراتب تشکر و سپاسگذاری خویش را از آقای مهندس فدایی کارشناس ارشد زمین شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان سنندج و مهندس محمدپور کارشناس ارشد آبخیزداری اداره منابع طبیعی استان کردستان در بازدیدهای میدانی و عملیات صحرایی منطقه مورد مطالعه به عمل می‌آورند. همچنین نویسندگان، از کلیه کارکنان اداره راه و ترابری شهرستان سنندج، اداره کل هواشناسی استان کردستان به خاطر ارائه آمار و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق، نهایت قدردانی می‌نمایند.

تمام جاده و منطقه را تحت تاثیر خود قرار داده به گونه ای که با فعالیت تراستی (راندگی)، و امتداد شمالی - جنوبی در منطقه باعث رانده شدن سنگ های آهکی بر روی سنگ های ولکانیکی (بازالتی و آندزیتی)، شده است و منجر به ایجاد حدود ۹۱ درصد از ریزش ها در سنگ های آهکی شده است. نقش این عامل در منطقه آنقدر زیاد بوده که توانسته جهت دامنه را تحت تاثیر خود قرار دهد. تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر روی ریزش سنگ در ارتباط با تغییرات اقلیم با ارتفاع و تبدیل نوع نزولات جوی از بارندگی به برف و انبساط حجمی و افزایش حجمی در حدود ۹ درصدی (مدنی، ۱۳۸۰)، در نتیجه افزایش عمق درز و شکاف سنگ ها و تخریب میکانیکی و متلاشی شدن سنگ ها، می باشد. با رجوع به نمودار اثر ارتفاع از سطح دریا بر ریزش سنگ (شکل ۲-۲) و جدول تعیین ضرایب معلوم شد که ارتفاع میانه ۲۲۰۰-۲۱۰۰ متر از سطح دریا، ارتفاع بالایی بوده که منجر به حدود ۴۷ درصد از ریزش ها شده است به گونه ای که بیشترین فراوانی وقوع این پدیده در این طبقه ارتفاعی رخ می دهد. تغییرات کاربری ارضی در منطقه مورد مطالعه به دلیل ارتفاع زیاد از سطح دریا و عدم تمرکز زیاد جمعیت انسانی در این مناطق، صورت نگرفته است. عمده رخساره ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه و دامنه های سنگی با بیرونزدگی سنگی و صخره ای و بدون پوشش بوده که حدود ۹۴ درصد از ریزش سنگ ها در آن ها به وقوع پیوسته اند و اندک ریزش های دیگر در مراتع بوده است. از طرفی این نوع رخساره به دلیل عدم وجود پوشش، تخریب فیزیکی و یخبندان نقش خود را بر سنگ ها بهتر نمایان ساخته و بیشترین امکان وقوع ریزش سنگ در میان رخساره های ژئومورفولوژی نشان داد. وجود سنگ شناسی منطقه با غالبیت آهکی و جود تراکم بالا درز و شکاف و مهیا بودن شرایط تخریب فیزیکی، عامل ریزش حدود ۹۱ درصد از سنگ ها در این مناطق بوده است. نقش شکل یا تقعر و تحدب شیب ها به عنوان عوامل موثر در حرکت های توده ای در منابع کمی آمده است (Bilifard و همکاران، ۲۰۰۳؛ Lee و Sambath، ۲۰۰۶؛ Graco و همکاران، ۲۰۰۷). شیب های مقعر به واسطه نگه داشتن آب و اشباع کردن لایه های تحت الارضی عاملی برای حرکت توده ای خاک و سنگ می شوند. شیب های محدب عاملی برای افزایش انرژی جنبشی قطعات سنگی سقوط یافته و جهش بیشتر آن ها می باشد (Lee، ۲۰۰۴). در گردهن صلووات آباد حدود ۷۳ درصد از ریزش ها در شیب های محدب اتفاق افتاده اند. این نوع شیب ها به دلیل افزایش انرژی جنبشی و جهش بیشتر قطعات سنگی خطرات بیشتری برای مسافران در حال تردد در جاده صلووات آباد، که بسیار به دامنه یا محل ترانشه برداری نزدیک است، ایجاد می کند. وجود جاده در طولانی مدت به عنوان فاکتور اصلی ناپایدار کننده توده های سنگی به شمار می روند (Bilifard و همکاران، ۲۰۰۳). حدود ۷۶ درصد از ریزش سنگ ها در فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده قرار گرفتند و این کلاس بیشترین تراکم و استعداد را به ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه نشان داد و با نتایج Ayalew و همکاران (۲۰۰۵)، در حوزه کاکودای ژاپن، که نشان دادند، فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده دارای بیشترین تراکم زمین لغزش ها بودند مطابقت دارد. ساختارهای با مقیاس بزرگ شبیه گسل ها و تراست ها از عوامل نگران کننده برای شکست و ناپایداری دامنه ها به شمار می روند. حدود ۸۶ درصد از ریزش سنگ ها در فاصله ۴۵۰-۰ متری از گسل ها اتفاق افتاده اند و تا این طبقه نیز حساسیت به ریزش سنگ بالا می باشد اما از فاصله ۴۵۰ متری به بعد هم تعداد و هم حساسیت به ریزش سنگ روند نزولی داشته تا اینکه برای فواصل بیشتر از ۶۰۰ به صفر رسیده است. چون اکثر ریزش ها در

Island, *Original Article*, 280-290.

13- Chau, K.T., Tang Y.F. & Wong, R.H.C (2004) GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong, *Rock Mechanic Mining Science*, 41(3):1-6.

14- Chau, K.T., Wong., R.H.C. Lin j. & Lee, C.F. (2003) Rock fall hazard analysis for Hong Kong based on Rock fall Inventory. *Rock Engineering* 36:383-408.

15- Greco, R., Sorriso Valvo M. & Catalano, E. (2007) Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy, *Engineering Geology*, 89: 47-66

16- Jadda, M., Shafri Hemli., Z.M. Shattri Mansor., B. Sharifikia M. & Pirasteh, S. (2009) *Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model*, Scientific Research, 33 (4): 654-668.

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

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

19- Lee, S. (2004) Application of frequency ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS, *Environmental Management*, 34(2):223-232.

20- Lee, S. (2005) Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International journal of Remote Sensing*, 26(7):1477-1491.

21- 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.

22- Oh, H.J., Lee S. & Wisut, Ch. (2009) Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand, *Environmental Geology* 57: 641-651.

23- Pradhan, B & Lee, S. (2009) Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia by using frequency ratio logistic regression, and artificial neural network models, *Environmental Earth Science* 1-11.

24- Pradhan, B & Lee, S. (2009) *Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling*, Environmental Modelling & Software 1-13.

25- Quido, Zaruba & Mencl, V. (1982) *Landslide and their control*, Book of Geotechnical Engineering, Elsevier scientific publishing company, Printed in Czechoslovakia 31:324 pp.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □

پاورقی‌ها

- 1-Overlap Index
- 2-Likelihood Ratio
- 3- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 4- Networks
- 5- Logistic Regression
- 6- Rockfall Susceptibility Index (RSI)
- 7- Rockfall Hazard Rating System (RHRS)

منابع مورد استفاده

- ۱- احمدی، ح. (۱۳۷۸) ژئومورفولوژی کاربردی جلد ۱. شماره ۱۹۵۴. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۶۸۸ ص
- ۲- پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور. (۱۳۸۶) مخاطرات زمین. گزارشات موضوعی (www.ngdir.ir)
- ۳- سازمان نقشه برداری کشور. (۱۳۸۶) نقشه های توپوگرافی. (www.ncc.org.ir)
- ۴- سازمان زمین شناسی کشور. (۱۳۸۶) نقشه زمین شناسی. (www.gsi.ir)
- ۵- شادفر، ص. یمانی، م. (۱۳۸۶) پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل L.NRF. مجله تحقیق های جغرافیایی، شماره ۶۲، صفحات ۲۴-۱۱
- ۶- فیض نیا، س. کلارستاقی، ع. احمدی، ح. صفایی، م. (۱۳۸۳) بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرون رود- سد تجن). مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۷. شماره ۱.
- ۷- کلارستاقی، ع. گرای، پ. (۱۳۸۶) مدلسازی خطر وقوع زمین لغزشها با استفاده از سیستم تصمیم گیری چند معیاره در حوزه آبخیز و استان- استان مازندانی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۸۷ (۴): ۴۹-۶۸
- ۸- مدنی، ح. (۱۳۸۰) زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد علامه طباطبائی. چاپ هفتم.
- 8- 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.
- 9- 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, (2): 9- 23.
- 10- Bilifard, F., Jaboyedoff M. & Satori, M. (2003) Rock fall hazard mapping a long a mountainous road in Switzerland using a GIS-based paramte rating approaches, *Natural Hazard and Earth System Sciences*, (3): 431-438.
- 11- 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.
- 12- Chau, K.T & Chan, J.E. (2005) Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong