

تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش و ارزیابی آن با استفاده از تحلیل آماری رگرسیون لجستیک^۱

- ❖ حمیدرضا مرادی*: دانشیار هیدرواقلیم دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
- ❖ مریم دشتی مرویلی: کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
- ❖ علیرضا ایلدرمی: استادیار دانشگاه ملایر

چکیده

هدف از این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سیاه‌دره با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک است. بدین منظور، نخست نقاط لغزشی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مشخص و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه شد. سپس، هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل، و نقشه همباران در محیط GIS تهیه شد. داده‌های مذکور در فرمت‌های برداری و رستری در سامانه اطلاعات جغرافیایی ذخیره شد و برای اعمال تحلیل‌های مبتنی بر مدل لجستیک استفاده گردید. تجزیه و تحلیل لجستیک با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 9.2 و SPSS صورت گرفت. نتایج نشان داد عوامل شیب، ارتفاع، بارندگی، فاصله از آبراهه، و فاصله از گسل به ترتیب مهم‌ترین عوامل وقوع لغزش در منطقه‌اند. بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس‌های شیب ۲۲.۲۲ تا ۳۳.۳۳ درصد، ارتفاع ۲۳۵۰ - ۲۵۰۰ متر، و بارندگی ۴۷۳ - ۵۲۳ میلی‌متر قرار گرفته است. ۵۰ درصد زمین لغزش‌ها در فاصله ۳۰ متری از آبراهه قرار گرفته است. در این منطقه، اکثر لغزش‌ها تا فاصله ۳۰۰ متری از گسل‌ها اتفاق افتاده‌اند. صحت مدل با سه روش ارزیابی شد. نتایج به‌دست‌آمده از هر سه روش برای حضور همه متغیرها به ترتیب عبارت است از: ۹۸.۲ درصد، ۰.۶۹۲، و ۰.۵۱۹. بدین ترتیب، نشان داده شد که میزان دقت مدل آماری لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه بسیار بالاست.

واژگان کلیدی: حوضه آبخیز سیاه‌دره، رگرسیون لجستیک، زمین لغزش، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

۱. این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری با نام «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز گاماسیاب)» در سال ۱۳۸۷ انجام گرفته است.

مقدمه

و ۱ بیان می‌کند و برای ارزیابی ناپایداری شیب‌ها بسیار مناسب است [۴، ۲۴].

ارتفاع از سطح دریا، درجه، و جهت شیب از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌اند [۴، ۹]. مهم‌ترین گسیختگی‌ها، پس از باران‌های سنگین و نفوذ آب به داخل ترک‌ها و شکاف‌ها، در شیب‌ها رخ می‌دهد. فعالیت گسل‌های بزرگ و فعال نیز از جمله عناصر تکنونیک مؤثر در فعالیت زمین‌لغزش‌هاست [۱]. همچنین، شبکه زه‌کشی و آبراه‌ها می‌توانند با ایجاد فرسایش یا اشباع‌نمودن افق‌های پایینی خاک طی بالاکشیدن سطح آب در کانال خود باعث وقوع لغزش شوند [۲۸، ۳۲]. کاربری اراضی نیز عامل مهمی در وقوع زمین‌لغزش‌هاست [۸، ۱۴، ۲۹].

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات نشان داد که کاربرد مدل آماری لجستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مناسب است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سیاه‌دره و تعیین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک است.

روش‌شناسی

منطقه مورد تحقیق

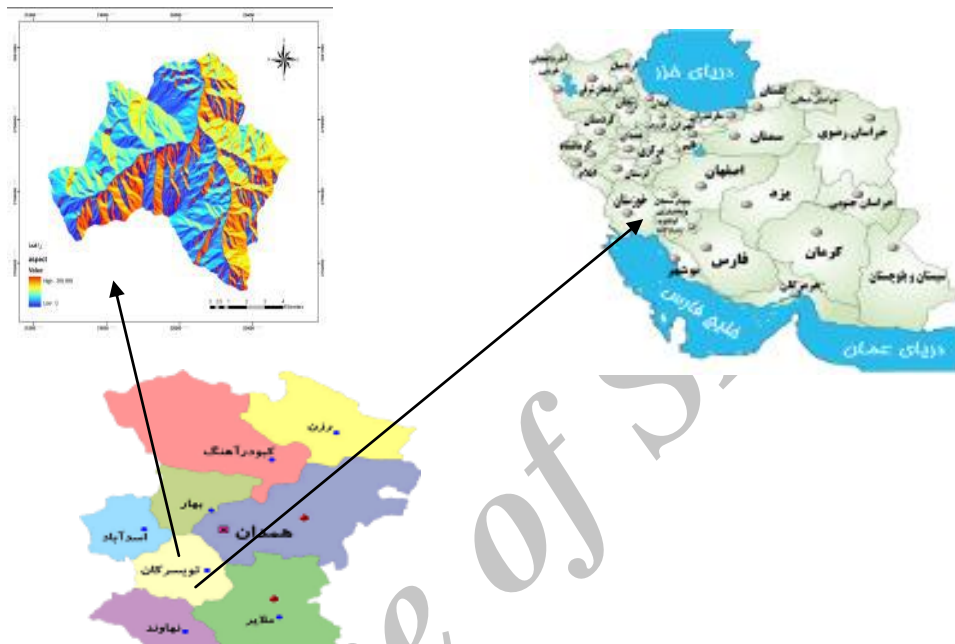
حوضه آبخیز سیاه‌دره، یکی از زیرحوضه‌های آبخیز گاماسیاب، در استان همدان، شهرستان نهاوند، در دامنه شمالی رشته‌کوه گرین، با مساحتی در حدود ۶۹،۵۴ کیلومتر مربع، واقع شده است. این حوضه آبخیز بین طول‌های جغرافیایی $44^{\circ} 53' 47''$ تا $48^{\circ} 00' 51''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی 34° تا $34^{\circ} 18' 43''$ شمالی قرار دارد. ارتفاع بیشینه و کمینه منطقه به‌ترتیب ۲۸۳۰ و ۱۶۰۰ متر از سطح دریاست (شکل ۱). بارندگی متوسط سالانه منطقه ۵۹۳/۲ میلی‌متر است. از لحاظ پوشش گیاهی، در ارتفاعات بالاتر، بیشتر منطقه با اراضی جنگلی و مرتعی پوشیده شده است. در ارتفاعات پایین‌تر، بیشتر

بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای و خطر زمین‌لغزش، مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی، به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن، بسیار پیچیده است. مبهم‌بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، و فرسایش در بروز ناپایداری دامنه‌ای، لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقی می‌نماید. لزوم پیش‌بینی وقوع و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور مدیریت و تعدیل خطر به توسعه مدل‌های تجربی و آماری فراوانی با تأکید بر کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) منجر شده است [۲۳].

در این تحقیق از تحلیل آماری لجستیک استفاده شده است. مزیت این روش - نسبت به سایر تحلیل‌های آماری - نیاز به فرضیات کمتر، عدم نیاز به وجود توزیع نرمال میان متغیرها، و عدم لزوم رابطه خطی میان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل است. این روش کاملاً کمی است و میزان تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را به صورت کمی و از طریق ضرایب و آنتی‌لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند [۱۳، ۱۹، ۳۳]. این مدل حضور و عدم حضور متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل تحلیل و بررسی می‌کند [۱۶]. متغیر وابسته متغیر کیفی دوحالتی است و فقط ارزش ۱ و ۰ دارد. هدف از رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش پیدا کردن بهترین مدل برازش‌داده‌شده برای تشریح حضور و عدم حضور زمین‌لغزش به همراه متغیرهای مستقل است. متغیرهای مستقل همان عوامل مؤثر در وقوع لغزش، شامل شیب، جهت شیب، فاصله از آبراه، و غیره است. این مدل احتمال وقوع لغزش را بر اساس پیکسل‌ها یا نقاط با ارزش ۰

کواترنر در این منطقه شامل آبرفت‌های قدیمی و مخروط‌افکنه‌های جوان و واریزه‌هاست. این رسوبات اغلب در حاشیه رودخانه قرار دارند.

این اراضی تبدیل شده‌اند به باغ و زمین‌های زراعی. سنگ‌شناسی منطقه شامل سنگ آهک دگرگون‌شده، اسلیت‌های سیاه، سنگ آهک تخریبی، سنگ آهک تیره‌رنگ، و آبرفت بستر رودخانه‌هاست. رسوبات



شکل ۱. موقعیت منطقه در نقشه ایران و استان همدان

(نقاط لغزشی و پایدار) در تک تک نقشه‌های رستری شده مشخص گردید. همچنین، فرض شد که هر نقطه لغزشی در یک پیکسل 10×10 متر قرار دارد [۲۱، ۲۲، ۳۱]. هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار *ARC GIS* رقومی گردید. نقشه‌های به‌کارگرفته‌شده شامل نقشه‌های توپوگرافی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، و بارندگی سالانه است و عناصر خطی شامل گسل، جاده، و شبکه آبراهه‌ها در مقیاس ۲۵۰۰۰ است (شکل‌های ۲ تا ۸). پس از همپوشانی ۷۵ نقطه لغزشی بر نقشه‌های عوامل مؤثر به کلاس‌های شامل حضور نقاط وقوع زمین لغزش کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت. این

روش تحقیق

برای آنالیز خطر احتمالی زمین لغزش، شناسایی صحیح مناطق لغزشی امری ضروری به‌شمار می‌آید. بنابراین، با استفاده از عکس‌های هوایی موجود، نقاط لغزشی شناسایی شد و، به منظور ارزیابی نتایج تفسیر عکس‌های هوایی، بازدیدهای صحرایی از منطقه صورت پذیرفت و موقعیت ۷۵ نقطه لغزشی منطقه در طبقات مختلف عوامل مؤثر مشخص گردید. همچنین، ۷۵ نقطه پایدار دیگر تصادفی در سراسر حوضه در جهات مختلف، به شرطی که نقطه پایدار و ناپایدار روی هم منطبق نباشد، انتخاب گردید [۱۰، ۲۵]. نقاط پایدار از روی پیکسل‌ها در محیط نرم‌افزار انتخاب شد. سپس، موقعیت ۱۵۰ نقطه وکتوری

سپس، این ضرایب به هر طبقه‌ای که ضریب برای آن طبقه به دست آمده اعمال شد. در نهایت، همه این لایه‌ها با هم ترکیب شدند و با ضریب ثابت به دست آمده از خروجی رگرسیون با هم ترکیب شدند و در نتیجه پارامتر خطی یا معادله Z (رابطه ۱) به دست آمد. سپس، با استفاده از معادله اصلی رگرسیون لجستیک (رابطه ۲) و انتقال آن به نرم افزار *ARC GIS 9.2* نقشه پهنه‌بندی نهایی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه شد [۱۰، ۱۹، ۲۵].

(۱)

$$z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2)$$

که در آن p احتمال اینکه متغیر وابسته یک باشد (در این تحقیق احتمال وقوع زمین لغزش) است؛ b_0 عرض از مبدأ یا ضریب ثابت است؛ b_1, b_2, \dots, b_n ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل x_1, x_2, \dots, x_n هستند.

مرحله برای نقاط پایدار هم صورت گرفت و در این مرحله به کلاس پایدار و بدون لغزش کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت [۶، ۷، ۱۱]. جدول ۱ طبقات مورد استفاده هر یک از این عوامل را نشان می‌دهد. ذکر این نکته لازم است که کلاس‌های مختلف بر اساس منابع و شرایط منطقه دسته‌بندی شدند [۱۹، ۳۳].

پس از اینکه داده‌ها استخراج و به نرم‌افزار آماری *SPSS* منتقل شد، در پایان، به صورت خودکار و بر اساس همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته ضرایبی به دست آمد. انتخاب روش پیش‌رونده پلکانی باعث می‌شود که متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در لغزش)، با توجه به میزان همبستگی که با متغیر وابسته (لغزش) دارند، به ترتیب وارد مدل شوند. هر متغیری که ضریب معنی‌داری بیشتری داشته باشد زودتر وارد معادله می‌شود [۱۵] و هر عاملی که ضریب معنی‌داری آن در محدوده تحقیق قرار نگیرد حذف خواهد شد [۳، ۵، ۲۰]. در نهایت، بر اساس همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (زمین لغزش) ضرایبی به دست آمد.

جدول ۱. طبقات مورد استفاده برای هر یک از عوامل مورد مطالعه

فاصله از جاده	ارتفاع	شیب	کاربری اراضی	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه
۲۰۰-۰	۱۷۵۰-۱۶۰۰	۲۲,۲۲-۰	درختچه‌زار	۱۵۰-۰	۳۰-۰
۴۰۰-۲۰۰	۱۹۰۰-۱۷۵۰	۴۴,۴۴-۲۲,۲۲	دیم‌زار	۳۰۰-۱۵۰	۶۰-۳۰
۶۰۰-۴۰۰	۲۰۵۰-۱۹۰۰	۵۵,۵۵-۴۴,۴۴	رخنمون سنگی	۵۰۰-۳۰۰	۱۰۰-۶۰
۹۰۰-۶۰۰	۲۲۰۰-۲۰۵۰	۶۶,۶۶-۵۵,۵۵	زراعت آبی و باغ	۱۰۰۰-۵۰۰	۱۵۰-۱۰۰
۱۲۰۰-۹۰۰	۲۳۵۰-۲۲۰۰	۷۷,۷۷-۶۶,۶۶	مرتج درجه ۱		۲۰۰-۱۵۰
۱۵۰۰-۱۲۰۰	۲۵۰۰-۲۳۵۰	۸۸,۸۸-۷۷,۷۷	مرتج درجه ۲		
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۲۸۳۰-۲۵۰۰		مرتج درجه ۳		
۳۱۶۴-۲۵۰۰			مناطق مسکونی		

عمل شد که هر عدد به دست آمده منهای میانگین شد و بر انحراف معیار تقسیم گردید [۱۰].

۳. روش سوم

روش سوم عبارت است از: استفاده از درصد اختلاف میان نقشه پهنه بندی خطر لغزش پیش بینی شده با لغزش های اتفاق افتاده در منطقه. برای رسیدن به این مهم، میانگین محدوده احتمال خطر لغزش و تراکم واقعی لغزش را نرمال می کنند، سپس آن ها را از هم کم می کنند و در پایان درصد گرفته می شود [۳۱].

نتایج

توسعه مدل آماری

با ورود کلیه متغیرهای مستقل و وابسته شامل ۷۵ نقطه لغزشی (عدد ۱) و ۷۵ نقطه غیر لغزشی (عدد ۰) به مدل آماری رگرسیون لجستیک و انتخاب روش پیش رونده پلکانی، تجزیه و تحلیل داده ها صورت گرفت و متغیرهای مستقل بدون همبستگی آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد با وقوع زمین لغزش از مدل نهایی حذف شد و به سایر متغیرهای مستقل بر اساس میزان همبستگی با متغیر وابسته ضرایبی تعلق گرفت (جدول ۲). با توجه به تعلق بالاترین ضریب معنی دار مثبت مدل ($B=2.7$)، عامل شیب (۲۲٫۲۲ تا ۳۳٫۳۳ درصد) مهم ترین عامل مؤثر بر زمین لغزش های منطقه معرفی شده است.

با جای گذاری ضرایب مدل در رابطه ۱، پارامتر خطی Z (رابطه ۳) به دست آمد:

(۳)

$$Z=2.44+2.798 (S3)+2.63 (S2)+2.46 (C6)+2.31(R2)+1.92(R1)+1.834(F2)-4.6 (L4)-5.95 (R1)$$

با قراردادن پارامتر خطی Z در رابطه ۲ معادله

نهایی رگرسیون لجستیک (رابطه ۴) به دست آمد:

با انتقال فایل متنی به دست آمده از نقشه پهنه بندی به نرم افزار Excel، طبقات احتمالی به بیست قسمت با فواصل احتمال مساوی ۰٫۰۵ از احتمال صفر تا یک تقسیم شد. سپس، هیستوگرام فراوانی زمین لغزش ها در مقابل این بیست طبقه احتمال ترسیم شد. تقسیم بندی نهایی طبقات احتمال زمین لغزش بر اساس این هیستوگرام انجام شد و در پایان چهار کلاس با مناطق خیلی کم خطر، خطر کم، خطر متوسط، و خطر بالا برای نقشه خطر زمین لغزش به دست آمد [۵، ۹]. جدول ۳ محدوده های خطر و فراوانی لغزش در این محدوده ها را نشان می دهد.

ارزیابی صحت مدل

برای ارزیابی صحت مدل از سه روش به شرح زیر استفاده شد:

۱. روش اول

یکی از ابزارهای عمده برای آزمون مدل ها در رگرسیون لجستیک استفاده از فاکتورهای $2Log$ ، Cox and $Snell R^2$ ، $Nagelkerke R^2$ ، $Likelihood (-2LL)$ است. با توجه به این فاکتورها، مدلی ارزشمند است که مقدار کمتری از فاکتور $-2LL$ و مقدار بیشتری از فاکتورهای $Nagelkerke R^2$ و Cox and $Snell R^2$ را به خود اختصاص دهد [۱۳، ۲۱]. در این تحقیق، نخست یک بار با حضور همه متغیرهای مستقل، سپس، به ترتیب برای عدم حضور هر یک از متغیرها مدل اجرا گردید و نتیجه این فاکتورها ثبت شد.

۲. روش دوم

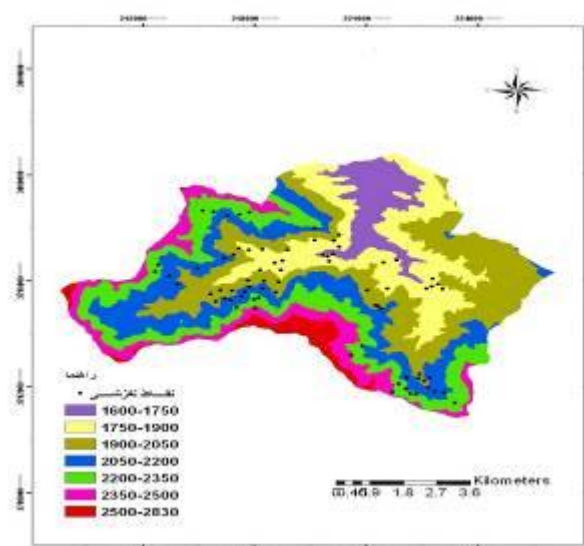
برای این مقایسه، عدد آخر ستون مقدار نرمال میانگین محدوده احتمال خطر لغزش با عدد آخر ستون مقدار نرمال تراکم واقعی لغزش مقایسه می شود. برای نرمال نمودن داده ها نیز به این صورت

1

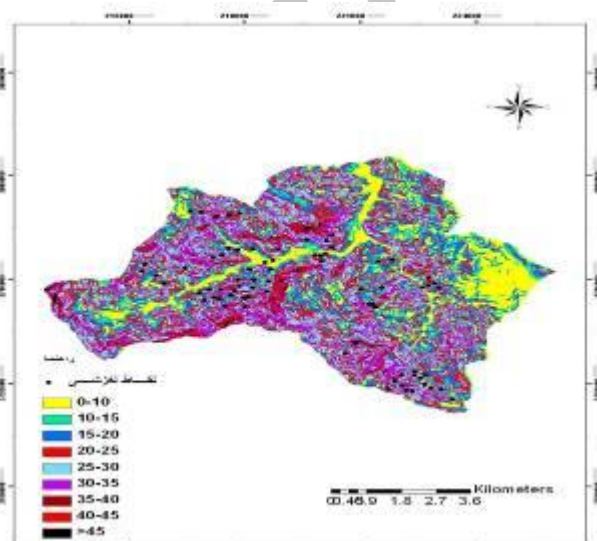
$$P = \frac{1}{1 + e^{-(2.44+2.798 (S3)+2.63 (S2)+2.46 (C6)+2.31(R2)+1.92 (R1)+1.834(F2)-4.6 (L4)-5.95 (R1))}}$$

احتمالاتی شامل منطقه خیلی کم خطر با احتمال وقوع ۰ تا ۰/۰۵، مناطق کم خطر با احتمال ۰/۰۵ تا ۰/۵۵، منطقه با خطر متوسط با احتمال منطقه ۰/۵۵ تا ۰/۹۵، منطقه پُرخطر با احتمال منطقه ۰/۹۵ تا ۱. نتایج نشان داد ۸/۱ درصد از مساحت حوضه در منطقه خیلی کم خطر، ۲۱/۲ درصد در منطقه کم خطر، ۱۸/۸ درصد در منطقه با خطر متوسط، و ۵۱/۹ درصد در منطقه پُرخطر قرار گرفته است (جدول ۳).

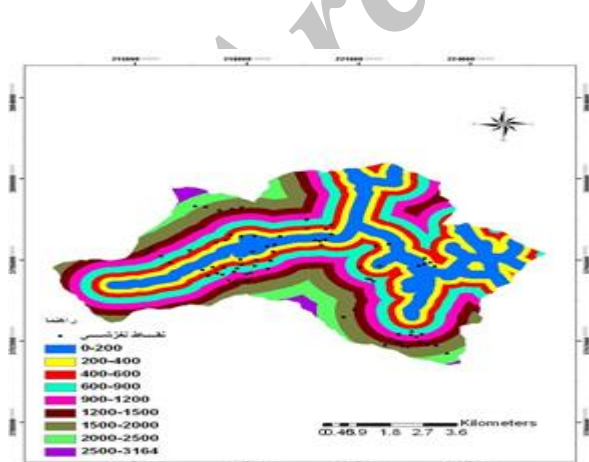
که در آن P احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است و دامنه وقوع آن بین صفر و یک متغیر است. پس از تهیه نقشه اولیه پهنه بندی خطر زمین لغزش در محیط نرم افزار *ARC GIS 9.2* و تقسیم بندی آن به بیست طبقه با فواصل احتمال مساوی ۰/۰۵، هیستوگرام احتمال وقوع در مقابل درصد فراوانی حضور زمین لغزش تهیه شد (شکل ۹) و بر اساس آن طبقه بندی نهایی انجام گرفت و نقشه نهایی پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش (شکل ۱۰) با چهار طبقه



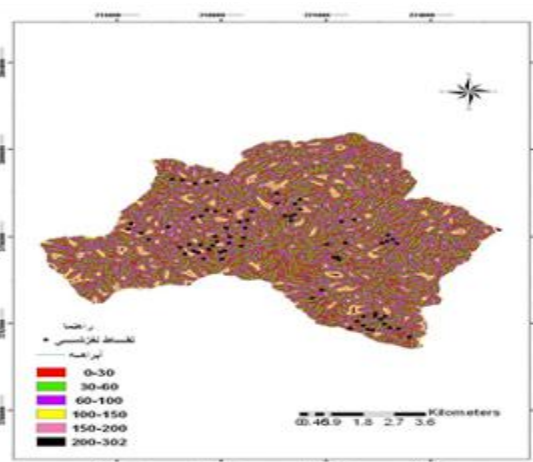
شکل ۳. نقشه ارتفاع



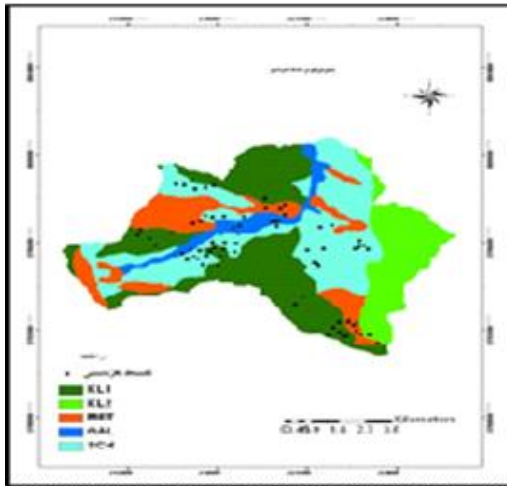
شکل ۲. نقشه شیب



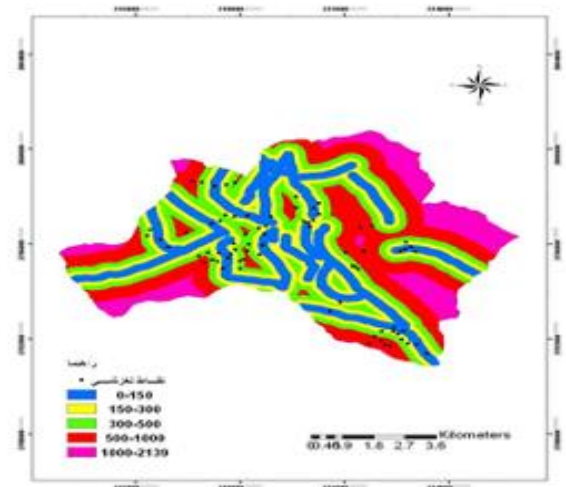
شکل ۵. نقشه فاصله از جاده



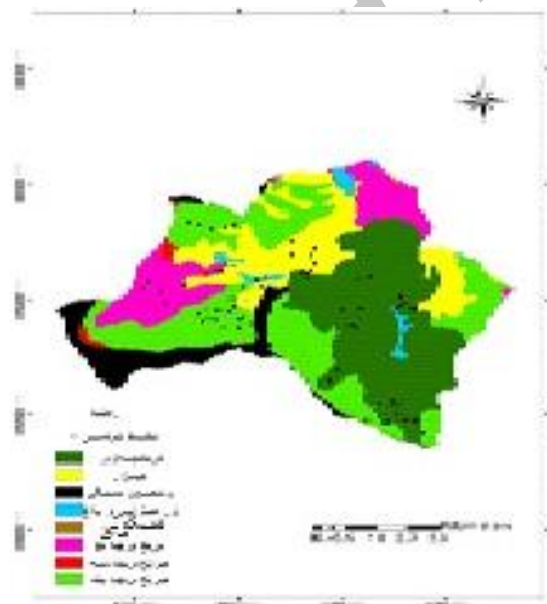
شکل ۴. نقشه فاصله از شبکه آبراهه



شکل ۷. نقشه لیتولوژی



شکل ۶. نقشه فاصله از گسل



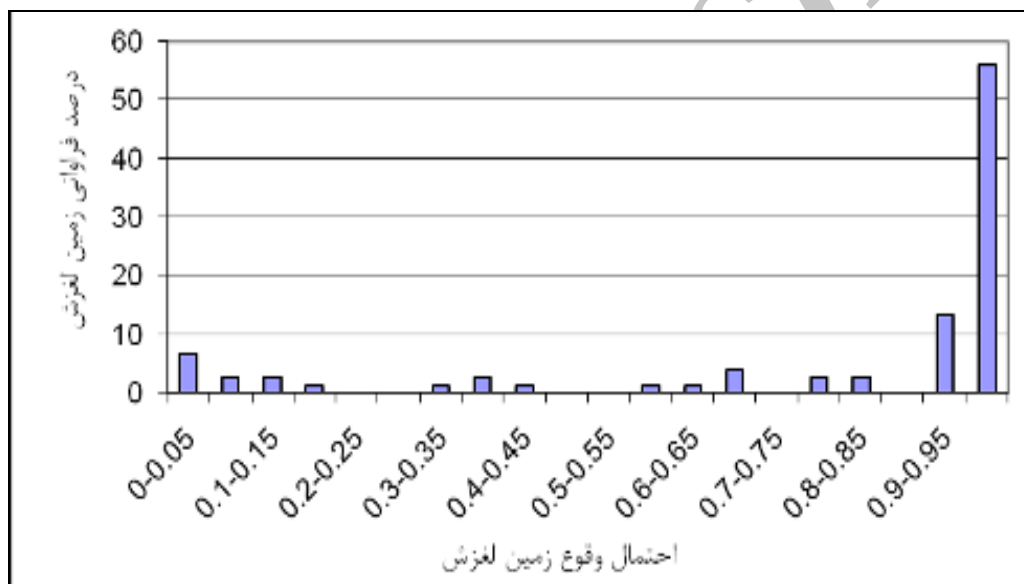
شکل ۸. کاربری اراضی

می‌دهد. تقسیم‌بندی نهایی طبقات احتمال زمین لغزش بر اساس این هیستوگرام انجام شد و نقشه پهنه‌های خطر زمین لغزش (شکل ۱۰) به دست آمد. جدول ۳ محدوده‌های خطر و فراوانی لغزش در این محدوده‌ها را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۲، $\beta \exp$ ضرایب هر یک از عوامل مورد بررسی بوده و نشان‌دهنده تأثیر آن عامل بر وقوع زمین لغزش است [۲۰]. شکل ۹ نتایج حاصل از هیستوگرام فراوانی زمین لغزش‌ها در مقابل طبقه‌های احتمال را نشان

جدول ۲. ضرایب مدل آماری منطقه با تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک

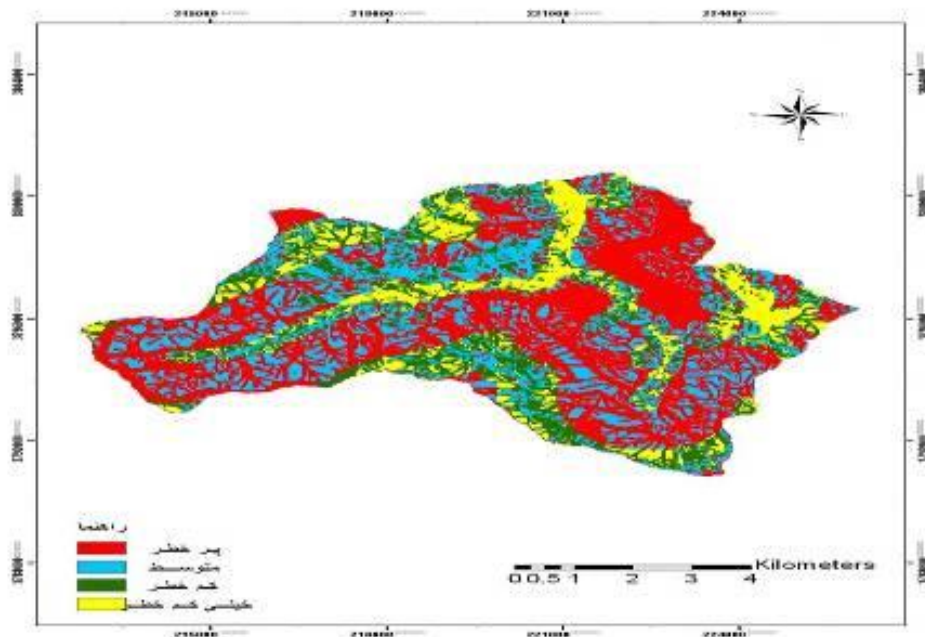
متغیر مستقل	علامت	ضرایب رگرسیون
شیب (۲۲-۳۳ درصد)	S2	۲,۶۳
شیب (۲۲,۲۲ تا ۳۳,۳۳ درصد)	S3	۲,۷۹
ارتفاع (۲۳۵۰-۲۵۰۰ متر)	C6	۲,۵
بارندگی (۴۷۳-۵۲۳ میلی متر)	R2	۲,۳
فاصله از آبراهه (۰-۳۰ متر)	R1	۱,۹
فاصله از گسل (۱۵۰-۳۰۰ متر)	F2	۱,۸
زراعت آبی و باغ	L1	-۴,۶



شکل ۹. درصد فراوانی زمین لغزش در طبقات احتمال خطر

جدول ۳. محدوده‌های خطر و فراوانی لغزش در این محدوده‌ها

محدوده خطر	مساحت طبقه	فراوانی لغزش‌ها	درصد مساحت	درصد زمین لغزش
۰-۰,۰۵	۵,۶	۵	۸,۱	۶,۶
۰,۰۵-۰,۵۵	۱۴,۷	۹	۲۱,۲	۱۲
۰,۵۵-۰,۹۵	۱۳,۱	۱۹	۱۸,۸	۲۵,۳
۱-۰,۹۵	۳۶,۱	۴۲	۵۱,۹	۵۶



شکل ۱۰. نقشه خطر زمین لغزش

واقعی لغزش ۲،۰۰۴ به دست آمد. با تقسیم مقدار نرمال تراکم واقعی لغزش به مقدار نرمال میانگین محدوده احتمال خطر لغزش عددی حدود ۱،۰۵ به دست می آید که نشان دهنده اختلاف ۱،۰۵ برابر این دو فاکتور است. یعنی اختلاف پراکنش واقعی لغزشها در منطقه مورد تحقیق ۱،۰۵ برابر پراکنش پیش بینی شده است. هر چه این اختلاف کمتر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار است (جدول ۵). نتیجه به دست آمده با نتایج برخی مطالعات [۴، ۳۱]، که مقدار اختلاف ۱،۲ برابر به دست آوردند، مطابقت دارد.

۳. روش سوم

نتایج به دست آمده درصد اختلاف میان نقشه پهنه بندی خطر لغزش پیش بینی شده با لغزشهای اتفاق افتاده در منطقه را کمتر از ۲۶،۳۲ درصد نشان می دهد. این نتیجه با نتایج برخی مطالعات [۲۳، ۲۶]، که این مقدار را کمتر از ۳۰ درصد به دست آوردند، مطابقت دارد (جدول ۵). جدول ۴ نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت مدل آماری با روش اول و جدول ۵ با روشهای دوم و سوم را نشان می دهد.

ارزیابی مدل

۱. روش اول

در این تحقیق نخست یک بار با حضور همه متغیرهای مستقل، سپس، به ترتیب برای عدم حضور هر یک از متغیرها مدل اجرا گردید و نتیجه این فاکتورها ثبت شد. مقدار این فاکتورها برای حضور همه متغیرها به ترتیب ۹۸،۲ درصد، ۰،۶۹۲، و ۰،۵۱۹ به دست آمد، زیرا در مقایسه با حذف نوبتی تک تک متغیرها مقدار (-2LL) کمتر و فاکتورهای *Cox and Snell R²* و *Nagelkerke R²* دارای بیشترین مقدار بودند و متغیرهایی که بی تأثیر بر لغزش بودند (جهت شیب و سنگ شناسی) حضور یا عدم حضورشان تأثیری در افزایش یا کاهش متغیرهای مورد نظر نداشت، در نتیجه، مدل از صحت بالایی برخوردار است و با نتایج برخی مطالعات [۴، ۶، ۳۱] کاملاً مطابقت دارد.

۲. روش دوم

در این تحقیق، پس از مقایسه، مقدار نرمال میانگین محدوده احتمال خطر لغزش ۱،۹ و مقدار نرمال تراکم

جدول ۴. ارزیابی صحت مدل آماری با روش اول

$Nagelkerke R^2$	$Cox and Snell R^2$	-2LL	
۰٫۷	۰٫۵۲	۹۸٫۲	با حضور همه متغیرها
۰٫۵۶	۰٫۴۳	۱۲۳٫۲	بدون حضور درجه شیب
۰٫۵۹	۰٫۴۷	۱۱۶٫۵	بدون حضور آبراهه
۰٫۶۷	۰٫۵۱	۱۰۲٫۱	بدون حضور جاده
۰٫۶۴	۰٫۴۸	۱۱۰٫۲	بدون حضور کاربری
۰٫۶۱	۰٫۴۷	۱۱۵٫۳	بدون حضور گسل
۰٫۵۹	۰٫۴۶	۱۱۹٫۴	بدون حضور بارندگی
۰٫۵۸	۰٫۴۴	۱۲۲٫۲	بدون حضور ارتفاع

جدول ۵. ارزیابی صحت مدل با روش دوم و سوم

محدوده احتمال خطر	میانگین احتمال خطر	میانگین احتمال نرمال شده	فراوانی زمین لغزش	تعداد پیکسل ها	کیلومتر مربع (km ²)	تراکم واقعی لغزش	تراکم نرمال شده لغزش	*
۰٫۱-۰	۰٫۰۵	۱	۷	۱۱۲۶۷۸	۱۱٫۲۷	۰٫۶۲	۱	۰
۰٫۲-۰٫۱	۰٫۱۵	۰٫۳	۳	۴۵۹۵۱	۴٫۹۵	۰٫۶۵	۱٫۰۵	۱۲٫۴۳
۰٫۳-۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۵	۰	۱۶۱۱۰	۱٫۶۱	۰	۰	-۸٫۲۸
۰٫۴-۰٫۳	۰٫۳۵	۰٫۷	۳	۲۱۸۸۳	۲٫۱۹	۱٫۳۷	۲٫۲۱	۲۴٫۹۷
۰٫۵-۰٫۴	۰٫۴۵	۰٫۹	۱	۶۹۵۶	۰٫۷	۱٫۴۴	۲٫۳۲	۲۳٫۴۴
۰٫۶-۰٫۵	۰٫۵۵	۱٫۱	۱	۱۴۵۹۵	۱٫۴۶	۰٫۶۶	۱٫۱	۰٫۰۵
۰٫۷-۰٫۶	۰٫۶۵	۱٫۳	۴	۲۵۰۹۳	۲٫۵۱	۱٫۵۹	۲٫۶۷	۲۲٫۶۳
۰٫۸-۰٫۷	۰٫۷۵	۱٫۵	۲	۲۴۷۶۱	۲٫۴۸	۰٫۸۱	۱٫۳	-۳٫۲۹
۰٫۹-۰٫۸	۰٫۸۵	۱٫۷	۲	۹۷۹۰	۰٫۹۸	۲٫۵	۳٫۲۹	۲۶٫۳۲
۱-۰٫۹	۰٫۹۵	۱٫۹	۵۲	۴۱۷۵۹۸	۴۱٫۷۶	۱٫۲۳	۲٫۱	۱٫۷۲
مجموع			۷۵	۶۹۵۴۱۵	۶۹٫۵۴			

(*) درصد اختلاف بین میانگین احتمال نرمال شده و تراکم زمین لغزش نرمال شده

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش به ترتیب اولویت درجه شیب، ارتفاع، بارندگی، فاصله از آبراهه، و فاصله از گسل

است. نتایج بررسی درجه شیب نشان داد که بیشتر لغزش های منطقه در شیب ۲۲٫۲۲ تا ۳۳٫۳۳ درصد اتفاق افتاده. این نتیجه با آرای برخی محققان [۱۱، ۱۲، ۳۲] مطابقت دارد. شایان ذکر است که کلاس ۳۳٫۳۳ تا ۴۴٫۴۴ درصد در درجه دوم اهمیت قرار

سازندها به تخریب سنگ و تحول خاک منجر می‌شوند و نتیجه آن موجب تغییر تپ یا جامعه گیاهی می‌شود. وجود گسل‌های فعال با ایجاد جابه‌جایی در سنگ‌های اطراف نسبت به همدیگر، عاملی است برای افزایش تعداد، تراکم، و عمق درز و شکاف‌ها در سنگ‌های این منطقه. این نتیجه با نتایج برخی مطالعات [۱، ۲، ۱۴، ۲۱] مطابقت دارد.

کاربری اراضی یکی دیگر از عواملی است که در سطح اعتماد پنج درصد ارتباط معنی‌داری با وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد؛ اگرچه مقدار این همبستگی ضعیف است. مقدار $\beta = -۴/۶۰$ به کاربری زراعت آبی و باغ اختصاص یافته است. برخی محققان [۱۲، ۱۷، ۲۶، ۲۷] در مناطق مورد تحقیقشان به این نتیجه دست یافتند که کاربری اراضی در وقوع زمین لغزش تأثیر دارد. عامل جهت از مدل نهایی حذف شد، زیرا عامل جهت معمولاً به طور غیرمستقیم در وقوع لغزش مؤثر است و عامل غالبی برای زمین لغزش محسوب نمی‌شود. این نتیجه با یافته‌های مطالعه‌ای [۷] مبنی بر کم‌رنگ‌شدن نقش جهت به واسطه عوامل مهم‌تری چون گسل و شیب یا عوامل بیرونی مؤثرتر و قوی‌تری در منطقه همخوانی دارد.

عامل لیتولوژی نیز از مدل نهایی حذف شد؛ علت حذف آن یکنواختی واحدهای سنگ‌شناسی است که اغلب آهکی است. به طور کلی، این حوضه آبخیز به دلیل ترکیبی از عوامل مؤثر طبیعی و انسانی یکی از مناطق حساس و لغزش خیز کشور به‌شمار می‌آید. با توجه به تحقیق انجام گرفته در حوضه آبخیز سیاه‌دره، می‌توان گفت، علاوه بر عوامل طبیعی شامل درجه شیب، ارتفاع، بارندگی، نزدیکی به رودخانه، و گسل، عامل انسانی کاربری اراضی نیز در وقوع زمین لغزش‌های این منطقه تأثیرگذار بوده است.

دارد. همچنین، از بین طبقات ارتفاعی طبقه ۲۳۵۰-۲۵۰۰ متر از سطح دریا دومین عامل مؤثر در بروز زمین لغزش منطقه است.

علت انتخاب ارتفاع به عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در پدیده زمین لغزش آن است که ارتفاع در پدیده خاک‌زایی نقش بسزایی دارد، زیرا در ارتفاعات بالا که مناطق از برف و یخ پوشیده شده‌اند سرعت خاک‌زایی بسیار کم و ناچیز است. برف با ایجاد عدم پیوستگی و انفصال در بافت خاک باعث می‌شود که مقاومت برشی خاک کاهش یابد و مستعد بروز زمین لغزش شود [۲]. این یافته با یافته‌های برخی محققان [۷، ۲۸] مطابقت دارد.

عامل بعدی طبقه بارندگی (۴۷۳-۵۲۳ میلی‌متر) است؛ و بیشترین پراکنش لغزش در این طبقه مشاهده شده است. در بارندگی‌های بالاتر احتمالاً شرایط سنگ‌شناسی و استحکام زمین‌شناسی یا نوع خاک و دیگر عوامل برای وقوع لغزش مساعد نبوده است. نتایج حاصل با برخی تحقیقات [۳، ۸، ۱۱] هم‌خوانی دارد. بررسی عامل آبراهه حوضه مذکور نشان داد که ۵۰ درصد زمین لغزش‌ها در فاصله ۳۰ متری از آبراهه قرار گرفته است، زیرا شبکه زه‌کشی مقاومت برشی خاک را کاهش می‌دهد و باعث ایجاد گسیختگی در شیب و فرسایش کنار رودخانه‌ای می‌شود. همچنین برخی محققان [۱۸، ۱۹، ۲۴، ۳۱] نیز به نقش مؤثر و مستقیم نزدیکی به شبکه هیدروگرافی بر وقوع زمین لغزش در مناطق مورد تحقیقشان تأکید کردند. در این منطقه اکثر لغزش‌ها تا فاصله ۳۰۰ متری از گسل‌ها اتفاق افتاده‌اند و در حدود این طبقه نیز حساسیت به لغزش بالاست، در حالی که از فاصله ۵۰۰ متری به بعد هم تعداد و هم حساسیت به لغزش روند نزولی داشته تا اینکه برای فواصل بیشتر از ۱۰۰۰ به صفر رسیده است.

گسل‌ها با ایجاد شکستگی و درز و شکاف در

References

- [1] Ayalew, L. and Ymagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan, *The journal of Geomorphology*, 65, 15-31.
- [2] Bilifard, F., Jaboyedoff, M. and Satori, M. (2003). Rock fall hazard mapping a long a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach, *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 3, 431-438.
- [3] Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Duman, Y. (2005). Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis, *The journal of Geomorphology*, 82, 250-271.
- [4] Chau, K.T. and Chan, J.E. (2005). Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island (2005). *Rock Mechanics*, 41(2): 280-290.
- [5] Chau, K.T., Tang, Y.F. and Wong, R.H.C. (2004). GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. *Rock Mechanics*, 41(3), 1-6.
- [6] Chau, K.T., Sze, Y.L., Fung, M.K., Wong, W.Y., Fong, E.L. and Chan, L.C.P. (2004). Landslide hazard analysis for hong kong using landslide inventory and GIS, *Computers & Geosciences*, 30, 429-443.
- [7] Chen, Z. and Wang, J. (2007). Land slide hazard mapping using logistic rsgression model in Mskenzie Vally , Canada , *Natural Hazards*, 42, 75-89.
- [8] Dai, F.C., Lee, F.C., Tham, L.G., Ng, K.C. and Shum, W.L. (2004). Logistic regression modeling of stoem-induced shallow land sliding in time and space on lantau island, Hong Kong, *Bullten Engineering Geology Environment*, 63, 315-327.
- [9] Dai, F.C. and Lee, C.F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42, 213-228.
- [10] Dashti marvili, M. (2008). Land slide Hazard Zoning Using Logistic Regression (Case Study :A Part Of Gamasiab Watershed), M.Sc, *Thesis in Watershed Management Engineering*, College Of Natural resources and marine Science, 73p.
- [11] Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, A.H. and Sonmez, H. (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environ mental Geology*, 51, 241-256.
- [12] Dominguez-Cuesta, M., Jimenez-Sonchez, M. and Berrezueta, E. (2007). Landslide UN the central coalfield (Cantabarian Mountains, NW Spain): Geomorphologic feature conditioning factors and meteorological implication in susceptibility assessment, *Geomorphology*, 89, 1-12, *Geomorphology*, 43, 117-136.
- [13] Enrique, A., Castellanos Abella, A., Cees, J. and Van Weston, B. (2008). Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba, *The journal of Geomorphology*, 94, 453-466.
- [14] Garcia-Rodriguez, M.J., Malpica, J.A., Benito, B. and Diaz, M. (2008). Suseptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression, *Geomorphology*, 95, 172-191.
- [15] Greco, R., Sorriso, Valvo, and Catalano, E. (2007). Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy, *The journal of Engineering Geology*, 89, 47-66.
- [16] Iswar, D., Sashikant, S., Cees, V.W., Alfred, S. and 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.

- [17] Karam, E. (2004). Application WLC model in Landslide occurrence potential zonation, (case study: Sorkhon area in Charmahal O Bakhtyari province, *Journal Geography and Development*, pp. 131-141.
- [18] Khamechian, M., Abdolmaleki, P. and Rakei, B. (2005). Application logistic regression for Landslide hazard zonation in Sepidar Galeh area of Semnan Province, *Journal Technical science Amir Kabir*, 62(16): 65-76.
- [19] Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A. and Riva, J. (2008). Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain), *Environmental Geology*, 54, 63-977.
- [20] Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models, *Environ. Geol*, 50, 847-855.
- [21] Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS, *Environmental Management*, 34, 223-232.
- [22] Lee, S. and Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslides*, 4, 33-41.
- [23] Mosavi, Z. (2008). Modeling and Landslide occurrence zonation use logistic multi regression (case study: Sajaroud watershed), M.Sc, *thesis in watershed management*, Natural resources faculty Mazandran university, 115 p.
- [24] Mosavi, Z., Kavian, A. and Soleimani, K. (2010). Landslide Susceptibility Mapping in Sajaroud Basin Using logistic Regression Model, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *Water and Soil Science*, 14(33): 99-111.
- [25] Moradi, H.R., Dashti marvili, M. and Ildoromi, A. (2013). Land slide hazard Susceptibility Mapping and its Evaluation Using the Statistics Analysis logistic Regression, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 6(19): 67 -70.
- [26] Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C. and Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *Engineering Geology*, 97, 171-191.
- [27] Oh, H.J., Saro, L. and Wisut, Ch. (2009). Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand, *Environmental Geology*, 57, 641-651.
- [28] Ohlamcher, G.C. and Davis, J.C. (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas USA, *Engineering Geology*, 69, 331-343.
- [29] Pradhan, B. and Lee, S. (2009). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, *Environmental Erath Science*, 60(5): 1037-1054.
- [30] Shadfar, S., Yamani, M., and Namaki, M. (2005). Landslide hazard zonation using information value, surface density and LNRE models in Chalakroud watershed, *Journal of Water and Watershed*, 3, 62-68.
- [31] Shirzadi, A., Solaimani, K., Habibnejhad, M. and Mousavi, R. (2006). Rock fall 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.
- [32] Yaclin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72, 1-12.
- [33] Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial Neural network sand their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), *Computers & Geosciences*, 1-14.