

بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشهای حوزه آبخیز سجارود با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

سیده زهره موسوی^۱ کریم سلیمانی^۲ عطاالله کلارستانی^۳ سید رمضان موسوی^۴ عطاالله شیرزادی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- مربی گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده:

در این تحقیق به منظور بررسی میزان تاثیر عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشهای حوزه آبخیز سجارود از روش تحلیل آماری رگرسیون لجستیک چند متغیره بدلیل نیاز به فرضیات آماری کمتر و ایجاد بهترین تابع رابطه بین حضور و عدم حضور زمین لغزش و مجموعه ای از عوامل موثر استفاده شده است. در ابتدا به منظور تهیه متغیرهای مستقل از نقشه پراکنش زمین لغزشهای منطقه شامل ۹۵ نقطه زمین لغزش استفاده شد. داده های مکانی ۱۰ عامل موثر اولیه بر وقوع زمین لغزشهای منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی، سنگ شناسی در محیط نرم افزار Arcview پردازش شده و کد صفرو یک به حضور و عدم حضور زمین لغزش در لایه های مذکور تعلق گرفت. تفسیر ضرایب حاصل از تحلیل تابع آماری رگرسیون لجستیک نشان میدهد که چهار عامل ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، بارندگی و فاصله از گسل بدلیل عدم همبستگی آماری با وقوع زمین لغزش از مدل نهایی حذف شدند. عامل نزدیکی به جاده با ضریب بزرگتر و مثبت، تاثیر دخالت انسان و جاده سازی غیر اصولی در محیطهای جنگلی را در بروز زمین لغزشهای منطقه روشنتر میسازد. پس از آن عوامل جهت شیب خصوصا شیبهای شمال غربی، واحدهای سنگ شناسی شامل مارن، مارن سیلت دار، سیلت سنگ و گل سنگ و فاصله از شبکه زهکشی نیز با ضرایب مثبت، نقش مهمی را در وقوع زمین لغزشهای منطقه ایفا کرده اند. صحت مدل آماری بر اساس فاکتورهای 2ll-، cox and $snell R^2$ ، $Nagelkerk R^2$ و آزمون درصد صحت پیش بینی مورد تایید قرار گرفت.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، رگرسیون لجستیک، عوامل موثر، GIS، سجارود

مقدمه:

زمانیکه توده های سنگ و خاک ناپایدار تحت تاثیر عواملی چون لرزه ها، بارندگیهای شدید، فعالیتهای انسانی مثل ساخت جاده و یا ترکیبی از فاکتورهای فوق قرار بگیرند، زمین لغزشها بوقوع میپیوندند. زمین لغزشها نقش بسیار مهمی در تحول شکل زمین ایفا کرده و خطرات جدی را در بسیاری از مناطق دنیا ایجاد میکنند. زمین لغزشها در ایران یکی از مهمترین بلایای طبیعی بوده که هر ساله نقش بسزایی در تخریب جاده های ارتباطی، تخریب مراتع، باغها و مناطق مسکونی و همچنین فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب

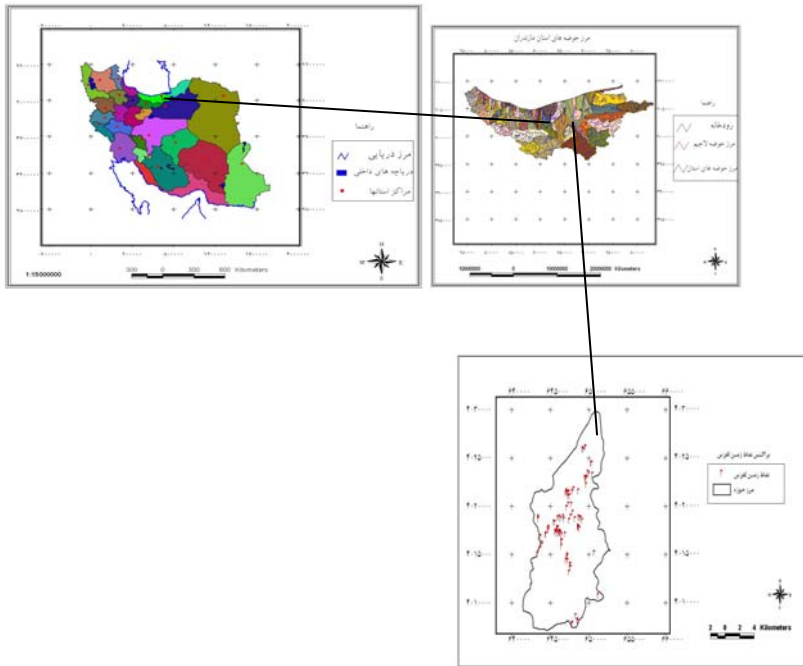
در حوزه های آبخیز کشورمان دارند. بررسیهای انجام شده نشان میدهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین لغزه در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه به حجم ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب شده است (میرصانعی و کاردان، ۱۳۷۸). عوامل متعددی مانند شرایط زمین شناسی، شرایط هیدرولوژی، وضعیت توپوگرافی، مورفولوژی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک شیب تاثیر گذاشته و میتوانند باعث ایجاد لغزش شوند (گارفی و برونو، ۲۰۰۷ و پیرت و همکاران، ۲۰۰۵). فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳) در حوزه آبخیز شیرین رود در استان مازندران بر اساس هفت عامل موثر بر زمین لغزشهای منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، بارندگی، کاربری زمینها، زمین شناسی، فاصله از جاده و فاصله از گسل، پهنه بندی خطر زمین لغزش را به چهار روش انجام داده و اظهار داشتند در هر چهار روش، مناطق با تغییرات زیاد کاربری اراضی جزو مناطق پرخطر محسوب میشوند. خامه چیان و همکاران (۱۳۸۴) ضمن تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه سفیدارگله استان سمنان نشان دادند دو عامل سنگ شناسی (خصوصاً واحدهای شیلی) و شیب مهمترین متغیرها برای تخمین خطر در منطقه مورد مطالعه بوده اند. گرابی (۱۳۸۵). با توجه به عوامل موثر درجه شیب، زمین شناسی، ارتفاع، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی و فاصله از جاده پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوزه آبخیز لاجیم رود انجام داده است. دای و لی (۲۰۰۲) ضمن تهیه نقشه ناپایداری شیب در جزیره لانتاوا هنگ کنگ گزارش نمودند که زاویه شیب، سنگ شناسی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری زمین در پیش بینی پایداری شیب معنی دار بوده و شکل شیب و نزدیکی به خطوط زهکشی مهم نبوده و از مدل خارج میشوند. آوانزی و همکاران (۲۰۰۴) طی بررسی تاثیر عوامل زمین شناسی بر وقوع زمین لغزشهای کم عمق منطقه کوهستانی آپونا (شمال غربی توسکانی-ایتالیا) بیان نمودند که سنگ شناسی سنگ بستر و نفوذ ناپذیری فاکتورهای مهمی در تعیین محل وقوع زمین لغزشها بوده اند. آیالیو و یاماگیشی (۲۰۰۵) ضمن تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش در منطقه کاکودا-یاهیکوی ژاپن، عواملی از جمله زمین شناسی، رابطه شیب با سنگ بستر، ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب و فاصله از جاده را به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزشهای منطقه معرفی کرده اند. همچنین نتایج بررسی حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوزه رودخانه نالون در کوههای سانتابریان آمریکا نشان داد بیشتر ناپایداریها مربوط به شیبهای جهت جنوب غربی-شمال شرقی، انحنای شیب بین ۶- و ۷-۰ و درجه شیب ۱۶ تا ۳۰ درجه می باشد (کوستا و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق به منظور بررسی میزان تاثیر عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشهای حوزه آبخیز سجارود از روش تحلیل آماری رگرسیون لجستیک چندمتغیره استفاده شده است بدلیل اینکه به فرضیات آماری کمتری نسبت به سایر روشهای آماری چند متغیره نیاز دارد و بهترین تابعی که نشاندهنده رابطه بین حضور و عدم حضور زمین لغزشها و مجموعه ای از عوامل موثر بر وقوع است را ایجاد میکند (آیالیو و یاماگیشی، ۲۰۰۵)

مواد و روشها:

ویژگیهای منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز سجارود یکی از زیرحوزه های حوزه آبخیز بابلرود است که در محدوده جغرافیایی " ۴۸ ' ۳۴ ° ۵۲ تا " ۳۶ ۴۲ ' ۵۲ ° طول شرقی و " ۰۰ ' ۱۲ ° ۳۶ تا " ۱۲ ' ۲۵ ° عرض شمالی و در جنوب دریای خزر واقع است (شکل ۱). مساحت این حوزه ۱۶۲/۰۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۴/ ۷۴۵ متر از سطح دریا میباشد. تنها رود مهمی که در منطقه جاری است رودخانه سجارود نام دارد که از ارتفاع ۱۲۰۰ متری سرچشمه گرفته و در ارتفاع ۳۴/۲ متری از حوزه خارج میشود. بارندگی متوسط سالانه منطقه ۷/ ۵۷۲ میلیمتر و نوع اقلیم منطقه مرطوب است. از لحاظ پوشش گیاهی در ارتفاعات بالاتر بیشتر منطقه توسط پوشش جنگلی با تیپ غالب ازگیل و ولیک و راش- ممرز پوشیده شده که در ارتفاعات پایینتر، اکثراً به باغ و زمینهای زراعی تبدیل

شده اند. در این حوزه رسوبات دوران سوم شامل رسوبات دوره نئوژن و کواترنری بوده که در قسمتهای شمالی حوزه قابل رویت و از نظر سنگ شناسی شامل کنگلومرا با افقهای ماسه سنگی و مارن سیلتی میباشد. رسوبات دوران چهارم در این منطقه شامل آبرفتهای قدیمی و مخروط افکنه های جوان و واریزه ها میباشد که این رسوبات اغلب در حاشیه رودخانه قرار دارند.



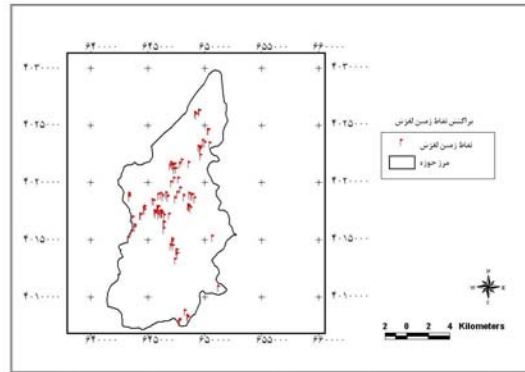
شکل ۱: موقعیت حوزه آخیز سجارود در ایران و استان مازندران

تهیه لایه های عوامل موثر بر زمین لغزش:

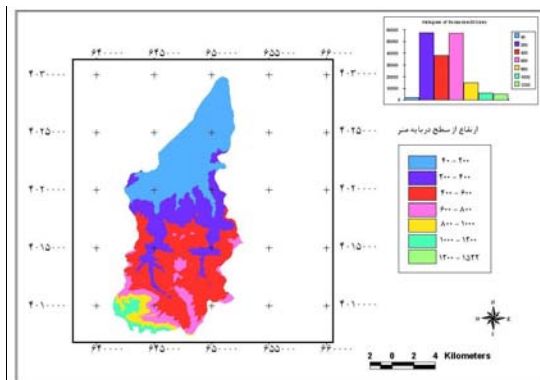
در این تحقیق نقشه رقومی پراکنش زمین لغزشها که بر اساس تفسیر عکسهای هوایی و نیز ثبت نقاط لغزشی توسط دستگاه موقیت یاب جهانی^۱ طی بازدیدهای صحرایی ردیابی شدند، در محیط نرم افزار Arcview تهیه و برای پردازش در سیستم اطلاعات جغرافیایی آماده شد (شکل ۲). براساس تفسیر تصاویر ماهواره ای، عکسهای هوایی و نیز بازدید و مطالعات میدانی، ۱۰ عامل اولیه موثر بر زمین لغزشهای منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، میانگین بارندگی سالانه، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی شناسایی شدند. از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع^۲ با پیکسلهای ۳۰ متر در ۳۰ متر با فاصله ۲۰ متری بین خطوط میزان استفاده شد. بر اساس نقشه رستری مدل رقومی ارتفاع، نقشه های طبقات ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب و شکل شیب (شکل ۳ تا ۶) تهیه شدند. با اعمال فرمول گرادیان بارندگی منطقه بر پیکسلهای نقشه رستری مدل رقومی ارتفاع، نقشه طبقات بارش منطقه (شکل ۷) تهیه شد. نقشه های فاصله از شبکه زهکشی و فاصله از جاده بر اساس طبقه بندی فواصل معین از شبکه هیدروگرافی و شبکه جاده رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شده اند. (شکل ۹ و ۱۰). با استفاده از نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه های فاصله از گسل و سنگ شناسی (شکل ۱۲ و ۱۳) تهیه شدند. بر اساس طبقه بندی نظارت نشده تصویر ماهواره ای تصحیح شده لندست ETM و بازدید صحرایی

^۱- Global Positioning System ^۲- Digital Elevation Model

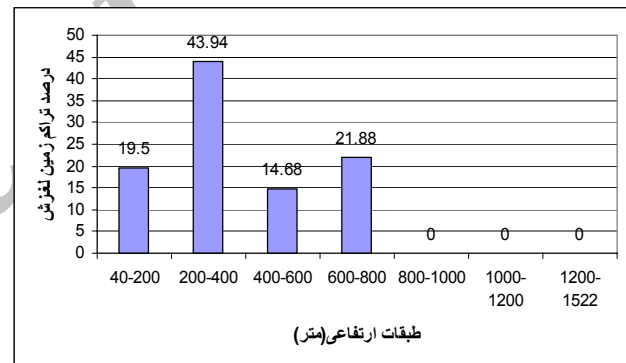
و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سجارود با تفکیک ۵ کاربری متفاوت تهیه شد (شکل ۱۱). پس از تهیه نقشه عوامل موثر، از همپوشانی این نقشه ها و نقشه پراکنش زمین لغزشهای منطقه، درصد تراکم زمین لغزش در طبقات مختلف هر یک از عوامل موثر تهیه و در نمودارهای ۱ تا ۱۰ ارائه شده اند.



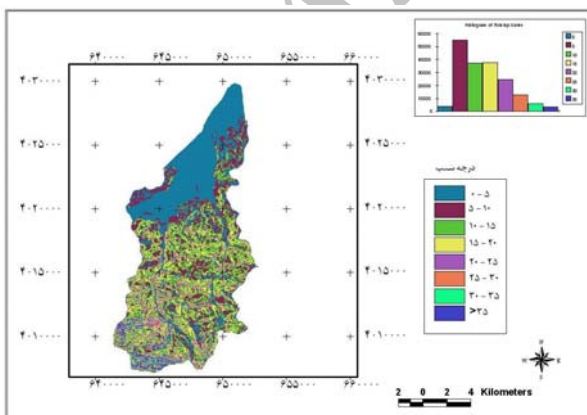
شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزشهای حوزه آبخیز سجارود



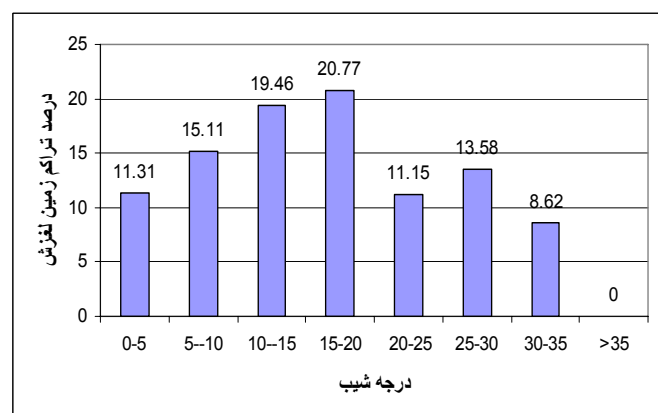
شکل ۳: نقشه طبقات ارتفاعی منطقه



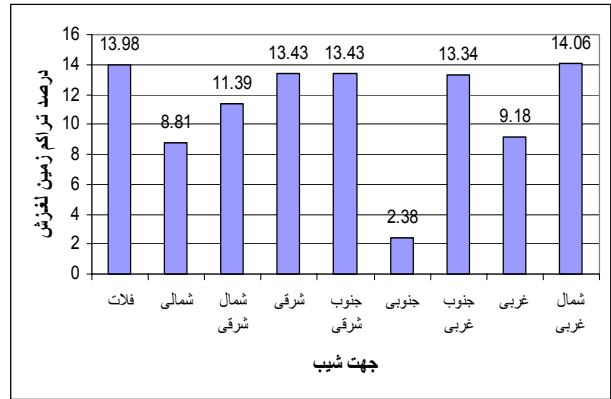
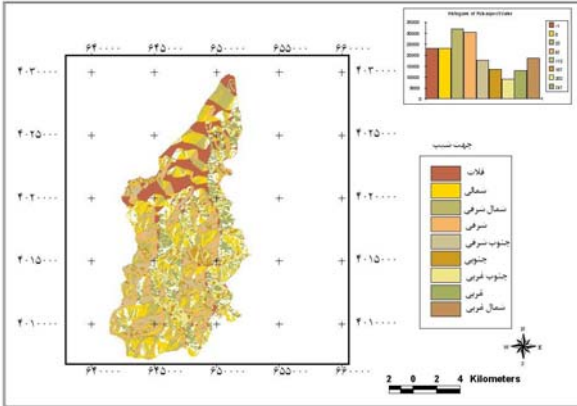
نمودار ۱: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات ارتفاعی



شکل ۴: نقشه طبقات درجه شیب

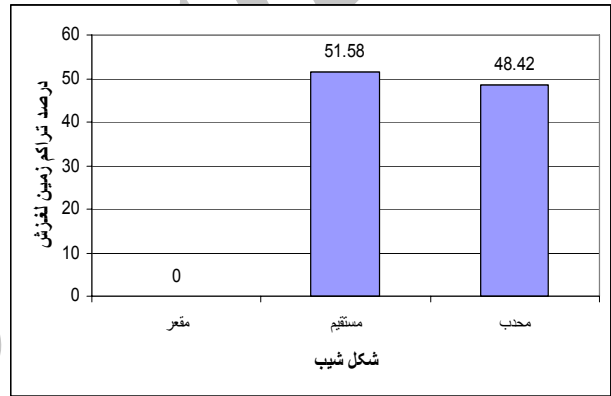
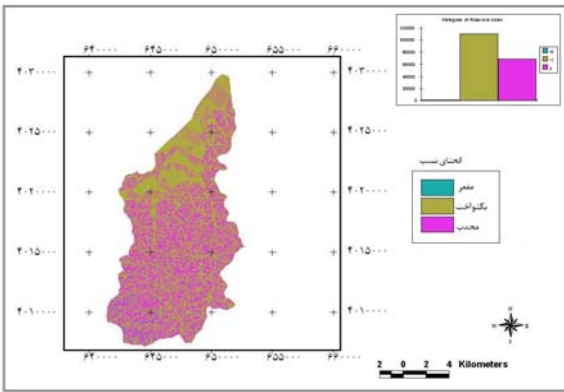


نمودار ۲: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات شیب



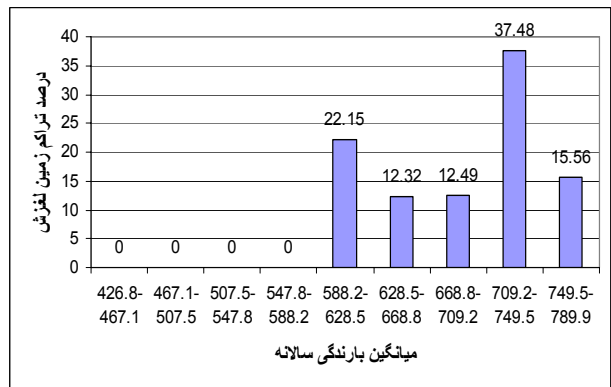
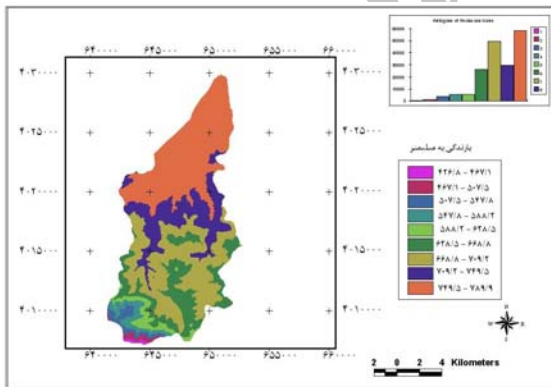
شکل ۵: نقشه طبقات جهت شیب

نمودار ۳: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در جهات شیب



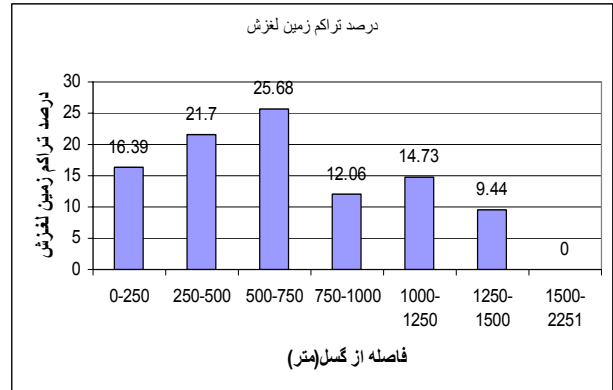
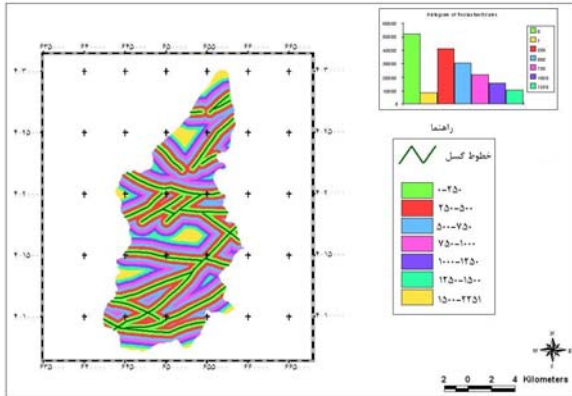
شکل ۶: نقشه طبقات شکل شیب

نمودار ۴: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات شکل شیب



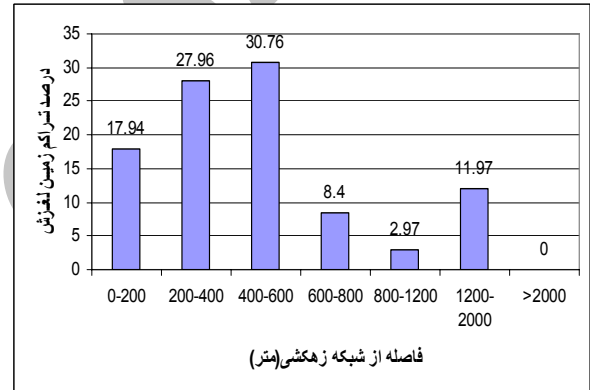
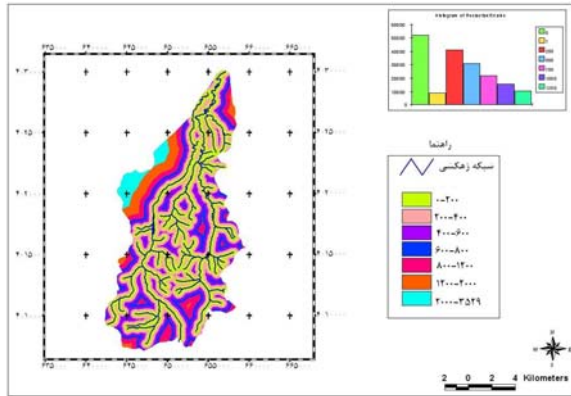
شکل ۷: نقشه طبقات بارندگی

نمودار ۵: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات بارندگی



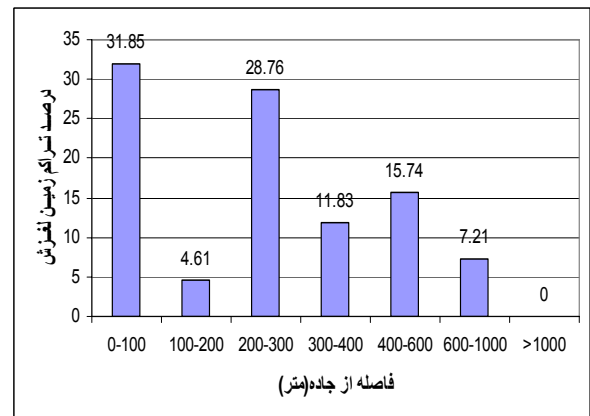
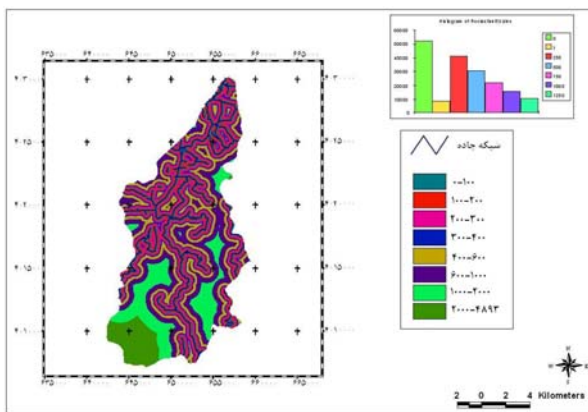
شکل ۸: نقشه طبقات فاصله از گسل

نمودار ۶: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات فاصله از گسل



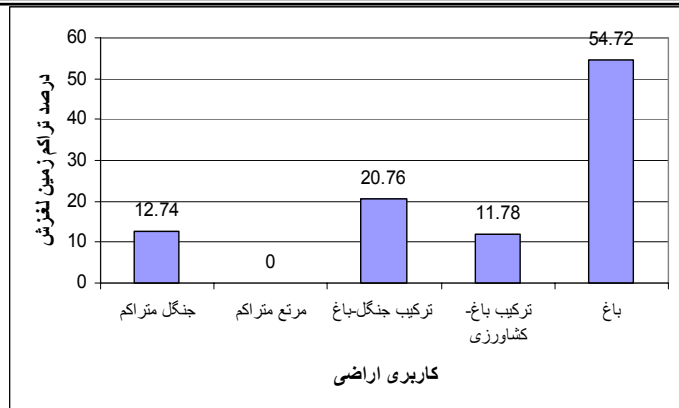
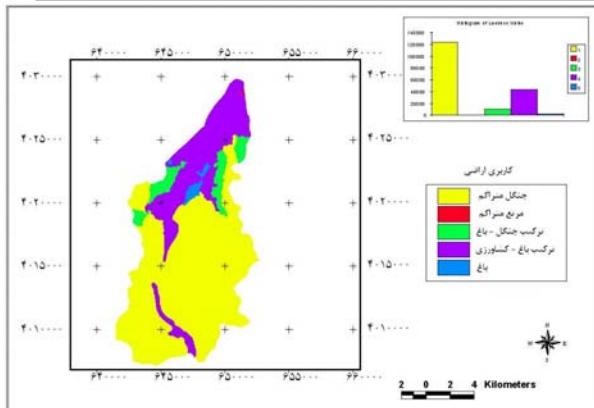
شکل ۹: نقشه فاصله از شبکه زهکشی

نمودار ۷: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات فاصله از شبکه زهکشی



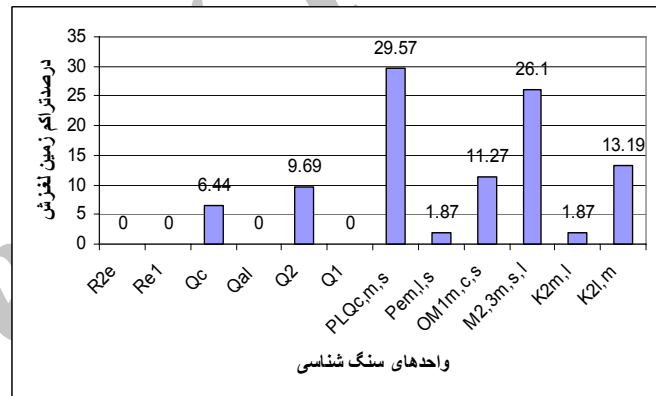
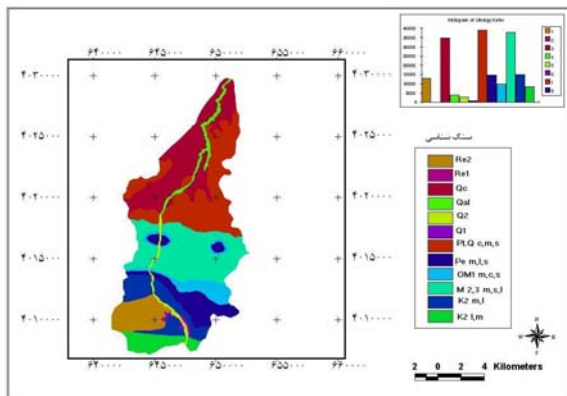
شکل ۱۰: نقشه فاصله از جاده

نمودار ۸: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات فاصله از جاده



شکل ۱۱: نقشه طبقات کاربری اراضی

نمودار ۹: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در طبقات کاربری اراضی



شکل ۱۲: نقشه واحدهای سنگ شناسی

نمودار ۱۰: هیستوگرام درصد تراکم زمین لغزش در واحدهای سنگ شناسی

تجزیه و تحلیل داده ها با رگرسیون لجستیک:

از آنجا که کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل ناپایداری شیب و متغیر وابسته دوحالتی یعنی وقوع و عدم وقوع زمین لغزش است، علاوه بر ۹۵ نقطه لغزشی شناسایی شده در منطقه، ۹۵ پیکسل و یا نقطه رستری دیگر بطور تصادفی در سراسر حوزه انتخاب شده تا بعنوان نقاط غیر لغزشی در تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک مورد استفاده قرار گیرد. پس از همپوشانی ۱۸۰ نقطه لغزشی و غیر لغزشی بر نقشه های عوامل موثر به کلاسهای شامل حضور نقاط وقوع، کد ۱ به سایر کلاسها کد صفر تعلق گرفت. همچنین در مورد ۹۵ نقطه غیر لغزشی همپوشانی شده، به طبقات عوامل موثر شامل حضور نقاط غیر لغزشی عدد ۱ و به سایر طبقات، کد صفر تعلق گرفت. با ورود متغیرهای مستقل شامل کلیه طبقات کدگذاری شده و متغیرهای وابسته شامل ۹۵ نقطه لغزشی (عدد ۱) و ۹۵ نقطه تصادفی غیر لغزشی (عدد ۰) به نرم افزار SPSS15 و انتخاب روش پیش رونده پلکانی در مدل آماری رگرسیون لجستیک، تجزیه و تحلیل داده ها صورت گرفته و متغیرهای مستقل بدون همبستگی آماری در سطح اعتماد ۰.۹۹٪ با وقوع زمین لغزش، از معادله نهایی حذف و به سایر متغیرهای مستقل بر اساس میزان همبستگی با متغیر وابسته، ضرایب تعلق گرفت (جدول ۱). با توجه به ضرایب حاصل از تحلیل رگرسیون لجستیک، ضریب مثبت β به این معنی است که آن متغیر نقش

بیشتری در وقوع متغیر وابسته (زمین لغزش) دارد و بلعکس ضریب منفی β نمایانگر همبستگی ضعیف متغیر مستقل با متغیر وابسته (زمین لغزش) است (آیالیو و یاماگیشی، ۲۰۰۵).

جدول ۱: ضرایب حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک برای متغیرهای مستقل

متغیر مستقل	ضریب β	signification	Exp(β)
درجه شیب ($0^\circ - 5^\circ$)	-۲/۲۸۷	۰,۰۰۰	۰/۱۰۲
جهت شیب جنوب غربی	۳/۶۲۸	۰/۰۱۱	۳۷/۶۳۳
فاصله از شبکه زهکشی (۴۰۰ - ۶۰۰) متر	۱/۷۲۵	۰/۰۰۷	۵/۶۱۳
فاصله از جاده (۰ - ۱۰۰) متر	۴/۶۸۲	۰/۰۰۰	۱۰۷/۹۸۳
فاصله از جاده (۱۰۰ - ۲۰۰) متر	۲/۵۰۵	۰/۰۰۰	۱۲/۲۴۷
کاربری اراضی (جنگل متراکم)	-۲/۱۵۰	۰/۰۰۱	۰/۱۱۶
سنگ شناسی ($PLQ^{c,m,s}$ = کنگلومرا، مارن سیلت دار، ماسه سنگ، سیلت سنگ)	۲/۰۹۲	۰/۰۰۰	۸/۱۰۲
سنگ شناسی ($M_{2,3}^{m,s,1}$ = مارن، ماسه سنگ و سیلت سنگ آهکی، مارن سیلت دار، سنگ آهک ماسه ای، مادستون)	۱/۶۵۵	۰/۰۰۸	۵/۲۳۴
ضریب ثابت مدل	-۲/۶۴۹	۰/۰۰۵	۰/۰۷۱

با توجه به فرمول کلی تابع احتمال رگرسیون لجستیک (رابطه ۱)، احتمال وقوع خطر زمین لغزش (P) در محدوده عددی بین صفر و یک می باشد که هرچه به عدد یک نزدیکتر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش بیشتر و هرچه به عدد صفر نزدیکتر باشد، احتمال وقوع کمتر خواهد بود.

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (1)$$

p = احتمال وقوع زمین لغزش

β = ضریب ثابت مدل

$x_i (i=0, 1, 2, 3, \dots, n)$ = متغیرهای مستقل

$\beta_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ = ضرایب متغیرهای مستقل

از آنجا که در تحقیق حاضر تنها به نقش عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشها پرداخته و تهیه نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش مدنظر نمی یلشد، از محاسبه تابع احتمال رگرسیون لجستیک خودداری شده است.

ارزیابی صحت مدل:

برای ارزیابی صحت مدل آماری رگرسیون لجستیک، فاکتورهای R^2 Nagelkerk و R^2 Cox and Snell و $(-2LL)$ و 2Loglikelihood را مورد بررسی قرار میدهیم. همانند ضریب تبیین R^2 در رگرسیونهای خطی، فاکتورهای R^2 Nagelkerk و R^2 Cox and Snell به عنوان ضرایب همبستگی در تحلیل رگرسیون لجستیک میباشند. دامنه تغییرات این دو فاکتور از صفر تا یک بوده و مقادیر بالاتر نشاندهنده صحت بیشتر مدل است. در رگرسیون خطی $R^2 > 0.9$ برای ارزیابی صحت مدل مدنظر است در صورتیکه در رگرسیون لجستیک، این ضرایب میتوانند کوچک باشند و این امر ضرورتاً از اعتبار مدل نمیکاهد (چائو و همکاران، ۲۰۰۴). فاکتور $(-2LL)$ 2Loglikelihood شبیه به مربع کای رفتار میکند و مقادیر کوچکتر این فاکتور نشاندهنده صحت بالاتر مدل

است. در مطالعه حاضر فاکتور 2LL- با حضور تمام متغیرهای انتخاب شده توسط مدل شامل درجه شیب، جهت شیب، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی برابر ۱۴۱/۷۶۱ و ضرایب Cox and snell R^2 و Nagelkerk R^2 به ترتیب ۰/۴۷۳ و ۰/۶۳۰ میباشند. با توجه به جدول ۲ مشاهده میشود فاکتور 2LL- با حضور تمامی متغیرهای مستقل انتخاب شده توسط مدل، نسبت به عدم حضور نوبتی متغیرهای اشاره شده کمتر و ضریب Cox and Snell R^2 و Nagelkerk R^2 بیشتر بوده اند که نشاندهنده تطابق مناسب مدل با داده های مشاهده ای زمین لغزش و معنی داری آماری متغیرهای مستقل موثر در مدل با وقوع زمین لغزشهای منطقه است.

جدول ۲: ارزیابی صحت مدل در مقایسه با حذف جداگانه متغیرهای مستقل انتخاب شده توسط مدل

Nagelkerk R^2	Cox and Snell R^2	-2Loglikelihood	
۰/۶۳۰	۰/۴۳۷	۱۴۱/۷۶۱	با حضور تمام متغیرها
۰/۵۱۶	۰/۳۸۷	۱۷۰/۴۹۴	بدون متغیر درجه شیب
۰/۵۶۵	۰/۴۲۴	۱۵۵/۶۶۰	بدون متغیر جهت شیب
۰/۵۷۷	۰/۴۳۳	۱۵۵/۷۵۷	بدون متغیر فاصله از شبکه زهکشی
۰/۲۱۸	۰/۱۶۴	۲۲۹/۴۷۵	بدون متغیر فاصله از جاده
۰/۵۸۲	۰/۴۳۷	۱۵۴/۲۹۰	بدون متغیر کاربری اراضی
۰/۶۰۷	۰/۴۵۵	۱۴۸/۰۶۱	بدون متغیر سنگ شناسی

در روش دیگر ارزیابی صحت مدل که آزمون درصد صحت پیش بینی مدل نامیده میشود، بررسی جدول طبقه بندی صفر و یک برای نقاط مشاهده ای و احتمال پیش بینی شده (P) است. در روش رگرسیون لوجستیک، احتمال پیش بینی شده (P) برای نقاط رستری وقوع و عدم وقوع زمین لغزش (۹۵ نقطه لغزشی و ۹۵ نقطه غیر لغزشی) محاسبه میشود. در صورتیکه احتمال احتمال پیش بینی شده (P) برای نقاط زمین لغزش بالاتر از ۰/۵ و برای نقاط غیر لغزشی پایینتر از ۰/۵ بدست آید، پیش بینی مدل موفق است. در این تحقیق طبق جدول طبقه بندی (جدول ۴)، میزان موفقیت پیش بینی مدل برای ۹۵ نقطه لغزشی حوزه ۸۸/۴٪ و برای ۹۵ نقطه غیر لغزشی ۸۲/۱٪ و بنابراین میزان موفقیت کلی مدل ۸۵/۳٪ بوده که قابل قبول است.

جدول ۳: جدول طبقه بندی نقاط صفر و یک برای نقاط مشاهده ای و احتمال پیش بینی شده

نقاط مشاهده ای		نقاط پیش بینی شده		
		موقعیت		درصد صحت
		۰	۱	
موقعیت	۰	۸۴	۱۱	۸۸/۴
	۱	۱۷	۷۸	۸۲/۱
درصد کلی صحت مدل				۸۵/۳

نتایج و بحث:

به منظور بررسی نقش عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشهای حوزه آبخیز سجارود، اطلاعات مربوط به طبقات عوامل موثر در ۹۵ نقطه لغزشی و ۹۵ نقطه غیر لغزشی بصورت کدهای صفر و یک مدل آماری رگرسیون لجستیک وارد شده و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مدل، بصورت حذف متغیرهای مستقل بدون همبستگی آماری در سطح اعتماد ۹۹٪ با متغیر وابسته و اختصاص ضرایب معنی دار β به هر یک از عوامل موثر معنی دار بر اساس میزان همبستگی آماری با متغیر وابسته در جدول ۱ مشخص شده است. با توجه به این جدول بالاترین ضریب معنی دار β (۴/۶۸۲) به کلاس فاصله ۱۰۰ - متری از جاده تعلق گرفته است. به این معنی که با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، به ازای هر متر نزدیکی به جاده، احتمال وقوع زمین لغزش $e^{۴/۶۸۲}$ یا ۱۰۷/۹۸۳ برابر خواهد شد. همچنین با توجه به هیستوگرام تراکم زمین لغزش در طبقات فاصله از جاده که بیشترین درصد تراکم لغزش (۳۱/۸۵٪) در فاصله ۱۰۰ - متری از جاده واقع شده اند، استنباط میشود جاده سازی غیر اصولی در حوزه آبخیز سجارود و ایجاد بریدگیهای جاده ای در شیب، باعث از بین رفتن تکیه گاه و ناپایداری شیب شده، بطوریکه مهمترین فاکتور را در بروز زمین لغزشهای این منطقه ایفا کرده است. آیالیو و یاماگیشی (۲۰۰۵) نیز نزدیکی به جاده را مهمترین عامل تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزشهای حوزه کاکودا-یاهیکوی ژاپن معرفی کرده و علت این امر را عملکرد بخشهایی از جاده بعنوان یک مانع، یک منبع ویژه، یک فرورفتگی و یا دالانی برای عبور جریان آب بیان کرده اند که منبع زمین لغزشهای فراوانی در این منطقه شده است. لی و سمبات (۲۰۰۷) در بررسی عوامل موثر بر زمین لغزشهای منطقه دامری رومل کامبوج نزدیکی به جاده خصوصاً فاصله ۲۱۶ - متری از جاده را یکی از عوامل موثر بر زمین لغزشهای این منطقه معرفی کردند. فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳) بیان نمودند که بالاترین تراکم لغزش در فاصله ۷۵ - متری از جاده رخ داده و جاده سازی در مناطق جنگلی را یکی از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشهای این منطقه معرفی کردند. شیرزادی و همکاران (۱۳۸۵) نیز نزدیکی به جاده خصوصاً فاصله ۱۰۰ - متری از جاده را از عوامل عمده و موثر در بروز حرکات توده ای و ریزش سنگ گردنه صلوات آباد کردستان معرفی کرده اند.

براساس ضرایب خروجی رگرسیون لجستیک جهت تهیه معادله تابع احتمال وقوع زمین لغزش (جدول ۱) جهت شیبهای شمال غربی با تعلق ضریب مثبت $\beta = ۳/۶۲۸$ بعنوان دومین عامل موثر بر زمین لغزشهای این منطقه معرفی شده اند که ضمن تطابق با نتایج نمودار ۳، بیانگر نقش موثر جهت شیبهای شمالی و شمال غربی در ایجاد زمین لغزش بدلیل وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه ها و انتقال رطوبت بین سازندها بعنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک میباشد. کن و همکاران (۲۰۰۵) ضمن تحلیل حساسیت خطر جریانهای خاکی کم عمق در سه حوزه آگوستو، اگریسی و کلمن، جهت شمال غربی را موثرترین جهت در بروز زمین لغزشهای این سه منطقه معرفی کردند حسن زاده نفوتی (۱۳۸۰) در حوزه آبخیز شلمانرود گیلان و فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳) در حوزه آبخیز شیرین رود ضمن تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، جهت جنوبی را جهت موثر در وقوع زمین لغزشها در این مناطق معرفی کرده اند. زمین شناسی و سازندهای حساس به لغزش در منطقه، خصوصاً سازندهای دوره میوسن شامل مارن، مارن سیلت دار، سیلت سنگ آهکی، سنگ آهک ماسه ای و گل‌سنگ در تحلیل رگرسیون لجستیک، سومین عامل موثر در بروز زمین لغزشهای منطقه معرفی شده اند. سازندهای معرفی شده بدلیل داشتن ذرات ریز دانه رس و مارن، پس از جذب رطوبت بدلیل قرار گرفتن در محدوده روانی، در نتیجه ثقل مستعد لغزش شده و در روی دامنه به حرکت در می آیند. آیالیو و یاماگیشی (۲۰۰۵) واحدهای سنگ شناسی مادستون، شیل و توف را موثرترین لایه های سنگ شناسی در وقوع زمین لغزشهای منطقه یاهیکو-کاکودای ژاپن معرفی کردند. لی و پرادهان (۲۰۰۷) واحدهای سنگی رس و سیلت و شن و ماسه را با اختصاص بالاترین ضریب رگرسیون لجستیک، بعنوان موثرترین واحد سنگ شناسی بر وقوع زمین لغزشهای منطقه سلانگور کشور مالزی معرفی

نمودند. بر اساس تحلیل رگرسیون لجستیک نزدیکی به شبکه زهکشی، کاربری اراضی خصوصاً کاربری جنگل مترکم با توجه به اینکه اکثر مساحت منطقه، تحت پوشش جنگل بوده و تحت تاثیر فعالیتهای نادرست انسانی از جمله جاده سازی و تغییر کاربری قرار گرفته اند و نیز درجه شیب 5° - 0° از دیگر عوامل موثر بر وقوع لغزش در حوزه مورد مطالعه معرفی شده اند. بطور کلی حوزه آبخیز سجارود بدلیل تاثیر مجموعه ای از عوامل درونی و بیرونی موثر بر وقوع لغزش خصوصاً دخالت انسان جهت تصرف جنگل و منابع طبیعی باتغییر کاربری و جاده سازیهای بی رویه و غیر اصولی در شیبهای مستعد لغزش، این منطقه را به یکی از حوزه های پرخطر از لحاظ وقوع زمین لغزش تبدیل کرده که چنانچه اقدامات جدی جهت پیشگیری از روند رو به رشد زمین لغزش در منطقه صورت نگیرد، در آینده شاهد صدمات و تلفات جدیتری در این حوزه خواهیم بود.

منابع:

- ۱- حسن زاده نفوتی، م. ۱۳۸۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز شلمانرود در استان گیلان، مجله منابع طبیعی، جلد ۵۴، شماره ۳، ص ۲۰۷-۲۱۹.
- ۲- خامه چیان، م. عبدالمالکی، پ. راکعی، ب. ۱۳۸۴. به کار گیری تحلیل رگرسیون لجستیک برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه سفیدار گله، استان سمنان، امیرکبیر، جلد ۶۲، شماره ۱۶، ص ۶۵-۷۶.
- ۳- فیض نیا، س. کلارستاقی، ع. احمدی، ح. و صفایی، م. ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزشها و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین رود-سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱، ص ۲۰-۳.
- ۴- شیرزادی، ع. سلیمانی، ک. حبیب نژاد، م و موسوی، ر. ۱۳۸۶. پهنه بندی خطر ریزش سنگ با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: گردنه صلوات آباد، کردستان). سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. صص ۵۱۴-۵۱۸.
- ۵- گرابی، پ. ۱۳۸۵. بررسی حرکت های توده ای (زمین لغزش) به منظور ارائه مدل منطقه ای پهنه بندی خطر در حوزه آبخیز لاجیم رود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ۱۲۱ ص.
- ۶- میر صانعی، ر. و کاردان، ر. ۱۳۷۸. نگرشی تحلیلی بر ویژگیهای زمین لغزش کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی محیط زیست ایران، چاپ اول، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۸۳-۸۴.

- 7- Avanzi, G.D. Giannecchini, R. and A. Pucchnelli. 2004. The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example of a temperate climate environment: The June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy). Engineering Geology. (73):215-228
- 8- Ayalew, L. and H. Ymagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology. (65): 15-31.
- 9- Can, T. Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Sonmez, H. and Y. Duman. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchment's by logistic regression analysis. Geomorphology (82): 250-271.
- 10- Chau, K.T. Tang, Y.F. and R.H.C. Wong. 2004. GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. Rock Mechanic. 41. (3):1-6.
- 11- Cuesta, M.JD. Sanches, M.S. and E.Berrezueta. 2007. Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological Features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. Geomorphology. (89):358-369.

- 12- Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002 . Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*. (42):213-228.
- 13- Garfi, G. and D.E. Bruno. 2007. Fan morfodynamics and slop instsbility in the Mucone River basin (Sila Massif , southern Italy) : significant of wealthing and role of land use changes. *Catena*. (50):181-196.
- 14- Lee, S. and T. Sambath. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *The journal of Environmental Geology* (50): 847-855.
- 15-Lee, S. and B. Pradhan. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor ,Malaysia using frequency ratio and loghstic regression models. *Landslides*. (4) :33-41.
- 16- Peart, M.R. Ng, K.Y. and D.D. Zhang. 2005. Landslides and sediment delivery to a drainage system: some observations from Hong Kong. *Asian Earth sciences*. (25):821-836.
- 17- Polloni, G. Ceriani, M. Lauzi, S. Padovan, N. and G. Crosta. 1992. Rainfall and soil slipping events in Valtellina. In *Proc. of the VI International Symposium on Landslides*. Christchurch (1):183-188.

Analysis of causative factors on landslide occurrence in Sajarood basin using logistic regression and GIS

Abstract:

In this research logistic regression analysis is used because of requiring to less statistical assumption and creating the best relationship between presence and absence of landslides and asset of causative factors to analysis the role of causative factors on landslides occurrence. At first landslide distribution map included 95 landslides is used to supply independent variables . 10 primary causative factors such as elevation , slop gradient slop aspect, slop curvature ,rainfall, distance from fault , distance from drainage, distance from road , land use and geology were processed in arcview and one and zero code belonged to presence or absence of landslides in given layers. interpretation of coefficients obtained of logistic regression function analysis indicates that elevation, curvature , rainfall and distance from fault because of being miscorrelated with landslide occurrence are deleted from the model. Proximity to road with having larger and positive coefficient indicates effect of human interference and unprincipled road building in forest environment on landslide occurrence. After that aspect, specially northwest aspects and geology unites include marl, silty marl, siltstone and mudstone and proximity to drainage with positive coefficients have important role on landslide occurrence in the study area. According to -2LogLikelihood , Cox and snell R^2 and nagelkerk R^2 and Present Correct Prediction Test (PCPT), validity of the model acceptable.

Keywords: landslide , logistic regression, causative factors ,GIS , Sajarood