



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره دوم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

بررسی آماری برخی ویژگی‌های مورفومتری و عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها در حوضه آبخیز سجارود

سیده زهره موسوی خطیر^۱، * عطاالله کاویان^۲ و علی هاشم‌زاده اتوئی^۳

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

^۲ استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

^۳ کارشناس اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، ساری

تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل پارامترهای فیزیکی، مورفولوژیکی و برخی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها در حوضه آبخیز سجارود، به منظور شناسایی بهتر دامنه رفتار توده‌های زمین لغزشی منطقه می‌باشد. در این پژوهش ابتدا براساس میانگین بارندگی سالانه ۱۲ ایستگاه داخل و اطراف حوضه طی دوره آماری ۲۵ ساله و نیز ارتفاع آنها، معادله گرادیان بارندگی منطقه توسعه داده شد. سپس براساس بررسی‌های میدانی، عکس‌های هوایی و پرسش‌نامه‌های تکمیل شده زمین لغزش‌های منطقه، فاکتورهای مهم مورفولوژیکی زمین لغزش‌ها شامل ضریب تغییر شکل زمین لغزش، ضریب تغییر شکل طولی، ضریب تغییر شکل عرضی، شاخص عمق و نیز برخی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها شامل فاصله از گسل، نحوه ارتباط توده لغزشی با سیستم زه‌کشی، ارتفاع از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه در ۳۵ نقطه زمین لغزشی حوضه محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل آنالیز همبستگی و توسعه مدل‌های چندمتغیره خطی بین عوامل مؤثر و مشخصات مورفومتری زمین لغزش‌ها نشان داد که اکثر زمین لغزش‌های منطقه از نوع لغزش‌های کشیده، دارای گسترش عمقی زیاد و با تغییر شکل طولی و عرضی بسیار کم نسبت به عمق می‌باشند. همچنین با

* مسئول مکاتبه: a.kavian@sanru.ac.ir

کاهش ارتفاع از سطح دریا و افزایش بارندگی میانگین سالانه، زمین لغزش‌های عمیق‌تر و با گسترش عرضی بیش‌تر مشاهده می‌گردند، در حالی‌که گسترش طولی لغزش‌ها کاهش می‌یابد. در این منطقه به‌دلیل تأثیر دو عامل اصلی مؤثر نزدیکی به شبکه زه‌کشی و تغییر کاربری اراضی از جنگل به باغ و جاده به‌خصوص در ارتفاعات کم‌تر، حجم قابل‌توجهی از توده‌های لغزش یافته وارد شبکه زه‌کشی شده و از حوضه خارج می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: حرکات توده‌ای، عوامل مورفومتریک، تغییر کاربری اراضی، حوضه آبخیز سجارود

مقدمه

زمین لغزش‌ها از جمله ویران‌گرترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آیند (کانانگو و همکاران، ۲۰۰۶). خسارات وارد به مناطق مسکونی و زیربنای اقتصادی و همچنین تلفات انسانی ناشی از زمین لغزش‌ها در سراسر جهان در حال افزایش است (سینگروی و همکاران، ۲۰۰۴؛ کلارستاقی و احمدی، ۲۰۰۸). طی دهه ۱۹۹۰ زمین لغزش‌ها تقریباً ۹ درصد بلایای طبیعی که در سراسر جهان اتفاق افتاده‌اند را به خود اختصاص داده‌اند (گومز و کاوزوگلا، ۲۰۰۵). سالانه در جهان ۱۰۰۰ کشته و ۴ میلیون دلار خسارت مالی در اثر وقوع زمین لغزش‌ها ایجاد می‌شوند (لی و پرادهان، ۲۰۰۷). مطالعه زمین لغزش‌ها به‌طور عمده به‌دلیل افزایش آگاهی از تأثیرات اجتماعی-اقتصادی و همچنین فشار رو به رشد شهرسازی روی محیط‌های کوهستانی توجه جهانی را به خود جلب کرده است (آلوتی و چودهاری، ۱۹۹۹). عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک شیب تأثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند (سوترز و فن‌وستن، ۱۹۹۶؛ چائو و همکاران، ۲۰۰۴؛ پیرت و همکاران، ۲۰۰۵؛ گارفی و همکاران، ۲۰۰۷). در سال‌های اخیر مطالعه‌های گسترده‌ای در خصوص علل و عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. دای و لی (۲۰۰۲) ضمن تهیه نقشه ناپایداری شیب در جزیره لانتاوا^۱ هنگ‌کنگ گزارش نمودند که زاویه شیب، سنگ‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری زمین در پیش‌بینی پایداری شیب معنی‌دار بوده و شکل شیب و نزدیکی به خطوط زه‌کشی مهم نبوده و

از مدل خارج می‌شوند. آوانزی و همکاران (۲۰۰۴) طی بررسی تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر وقوع زمین لغزش‌های کم‌عمق منطقه کوهستانی آپونا^۱ (شمال غربی توسکانی - ایتالیا) بیان نمودند که سنگ‌شناسی سنگ بستر و نفوذناپذیری، فاکتورهای مهمی در تعیین محل وقوع زمین لغزش‌ها بوده‌اند. همچنین نتایج بررسی حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوضه رودخانه نالون^۲ در کوه‌های سانتابریان^۳ آمریکا نشان داد بیشتر ناپایداری‌ها مربوط به شیب‌های جهت جنوب غربی - شمال شرقی، انحنای شیب بین ۶- و ۷- و درجه شیب ۱۶ تا ۳۰ درجه می‌باشد (کواستا و همکاران، ۲۰۰۷).

همچنین برخی محققان به تحلیل خصوصیات مورفومتری زمین لغزش‌ها پرداختند، به‌عنوان مثال اثبات شده است که زمین لغزش‌های کم‌عمق بیشتر توسط بارندگی‌های شدید کوتاه‌مدت و به‌دلیل وقوع سیلاب‌های ناگهانی ایجاد می‌شوند (کمپبل، ۱۹۷۵؛ لامب، ۱۹۷۵؛ براند و همکاران، ۱۹۸۴؛ کانسلی و نووا، ۱۹۸۵؛ کائن و الن، ۱۹۸۵؛ ویک زورک، ۱۹۸۷؛ گزتی و همکاران، ۱۹۹۲؛ پولونی و همکاران، ۱۹۹۲؛ مورگان و همکاران، ۱۹۹۷؛ کروستا، ۱۹۹۸؛ کورومیناس و مویا، ۱۹۹۹؛ پارونوز و همکاران، ۲۰۰۲). در حالی‌که بیشتر زمین لغزش‌های عمیق تحت‌تأثیر بارندگی‌های سالانه بلندمدت می‌باشند که آمار بلندمدت این بارندگی‌ها مورد نیاز می‌باشد (بونارد و نووراز، ۲۰۰۱؛ آیالیو و یاماگاشی، ۲۰۰۵).

زمین لغزش‌ها در ایران به‌خصوص در حوضه‌های شمالی کشور، یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی هستند که همه ساله نقش به‌سزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی (کلارستاقی و همکاران، ۲۰۰۷)، تخریب مراتع، باغ‌ها و مناطق مسکونی و همچنین ایجاد فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب به حوضه‌های آبخیز کشورمان دارند. حسن‌زاده‌نفوتی (۲۰۰۱) تأثیر تغییر کاربری جنگل به اراضی چای‌کاری در گیلان و نیز فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۳) اثر تغییر کاربری اراضی از جنگل به باغ و دیم‌کاری در مازندران را در وقوع زمین لغزش مهم دانستند. احمدی و محمدخان (۲۰۰۲) در بررسی برخی حرکت‌های توده‌ای در حوضه آبخیز طالقان به این نتیجه رسیدند که گسل و روراندگی‌ها نقش جهت دامنه‌ها را تحت‌تأثیر قرار داده، به‌طوری‌که سولیفیلکسیون‌ها به جای دامنه شمالی در دامنه‌های

1- Apuna

2- Nalon

3- Cantabrian

جنوبی اتفاق می‌افتند. گرایبی (۲۰۰۶) نیز با عوامل مؤثر درجه شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و فاصله از جاده پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاجیم رود را به انجام رساند. مروری بر سوابق تحقیق بیانگر آن است که در کلیه تحقیقات انجام گرفته، برخی عوامل نظیر کاربری اراضی و تغییر آن در جهت کاهش پوشش گیاهی و هم‌چنین برخی عوامل طبیعی نظیر نوع سنگ، شیب و بارندگی سالانه نقش مؤثری در وقوع و مورفومتری زمین لغزش‌ها دارند. در حوضه آبخیز سجارود، زمین لغزش یکی از معضلات اصلی ساکنان منطقه است به طوری که طی سال‌های اخیر خسارات فراوانی به جاده‌های ارتباطی، باغ‌ها و حتی منازل اهالی منطقه وارد آورده است. با توجه به اینکه سد مخزنی البرز در منطقه در حال ساخت می‌باشد توجه به تولید رسوب ناشی از وقوع زمین لغزش‌ها اهمیت بسیاری دارد.

هدف از این پژوهش تحلیل آماری پارامترهای فیزیکی، مورفولوژیکی و نیز برخی عوامل انسانی و طبیعی مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها، به‌منظور شناسایی بیشتر وضعیت شکل‌گیری توده‌های لغزشی منطقه اعم از نحوه کشیدگی و گسترش، وضعیت تغییر شکل طولی و عرضی در حین وقوع و نیز حجم خاک فرسایشی ناشی از لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز سجارود یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز بابل‌رود است که در محدوده جغرافیایی $48^{\circ}34'52''$ تا $36^{\circ}42'52''$ طول شرقی و $36^{\circ}12'00''$ تا $36^{\circ}25'12''$ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه $158/57$ کیلومتر مربع، مرتفع‌ترین نقطه حوضه قله‌ای به ارتفاع 1525 متر و ارتفاع متوسط آن $745/4$ متر از سطح دریا می‌باشد. زه‌کش اصلی منطقه رودخانه سجارود می‌باشد که از ارتفاع 1200 متری سرچشمه گرفته و در ارتفاع $34/2$ متری از حوضه خارج می‌شود. بارندگی متوسط سالانه منطقه 617 میلی‌متر و نوع اقلیم منطقه به روش آمبرژه، مرطوب است (موسوی، ۲۰۰۷). 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 به دلیل تغییر کاربری اراضی بیشتر به باغ و زمین‌های زراعی تبدیل شده‌اند. این حوضه از رسوبات دوره‌های ترسیب و کرتاسه شامل کنگلومرا با افق‌های ماسه سنگی و مارن سیلتی، گل‌سنگ، مارن، مارن آهکی و سنگ

آهک مارنی که به طور عمده مستعد به وقوع لغزش هستند پوشیده شده است. رسوبات دوران چهارم در این منطقه شامل آبرفت‌های قدیمی و مخروط افکنه‌های جوان و واریزه‌ها می‌باشد که اغلب در حاشیه رودخانه قرار دارند (دفتر مطالعات آبخیزداری استان مازندران، ۱۹۹۸).

تعیین مناطق لغزشی: در این تحقیق، ابتدا با تهیه نقشه توپوگرافی ورقه‌های ۱/۵۰۰۰۰ درازکلا و فیلبند، زمین مرجع و موزاییک نمودن آنها، مرز حوضه سجارود بسته شد. سپس با استفاده از پرسش‌نامه‌های موجود، تفسیر عکس‌های هوایی و نیز پژوهش‌های میدانی، موقعیت ۳۵ نقطه زمین لغزش با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی^۱ ثبت شده و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ به دست آمد (شکل ۱). کلیه عملیات مربوط به سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط نرم‌افزار Arc/view ۳/۲ و عملیات بخش سنجش از دور^۳ در محیط نرم‌افزار Envi۳/۶ انجام گردید.

برآورد بارندگی سالانه در محل زمین لغزش‌ها: از آنجا که معادله گرادیان بارندگی مربوط به حوضه سجارود، تاکنون تهیه نشده و از طرفی میانگین بارندگی سالانه در هر نقطه لغزشی به عنوان یکی از عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش‌ها (حسن‌زاده‌نوفتی، ۲۰۰۱؛ فیض‌نیا و همکاران، ۲۰۰۴؛ آلوتی، ۲۰۰۴؛ کن و همکاران، ۲۰۰۵؛ داهال و هاسگاوا، ۲۰۰۸) جهت تحلیل آماری مورد نیاز بوده بنابراین اقدام به تهیه معادله گرادیان بارندگی منطقه گردید. برای این منظور با استفاده از آمار بارندگی سالانه ۱۲ ایستگاه داخل و اطراف حوضه، پس از انتخاب پایه زمانی مشترک ۲۵ ساله (۸۵-۱۳۶۱) به روش نمودار میله‌ای و بازسازی، تکمیل و تطویل آمارهای ناقص ایستگاه‌ها به روش آزمون توالی و نسبت نرمال (مهدوی، ۱۹۹۹)، معادله گرادیان بارندگی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد به دست آمد.

ویژگی‌های مورفومتریک و برخی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها: اندازه‌گیری‌های صحرائی به منظور تعیین ابعاد و مورفولوژی زمین لغزش‌ها شامل طول و عرض سطوح گسیختگی، عمق لغزش، شیب دامنه لغزش، ارتفاع پرتگاه اصلی، حجم توده‌های لغزش یافته انجام شد. همچنین برخی عوامل دیگر مانند متوسط بارندگی سالانه، ضریب شدت فرسایش به روش EPM و کاربری اراضی در محل لغزش‌ها و فاصله از گسل نیز مورد بررسی و تحلیل‌های آماری قرار گرفته‌اند. در این مرحله براساس

- 1- Global Positioning System, GPS
- 2- Geographic Information System, GIS
- 3- Remote Sensing, RS

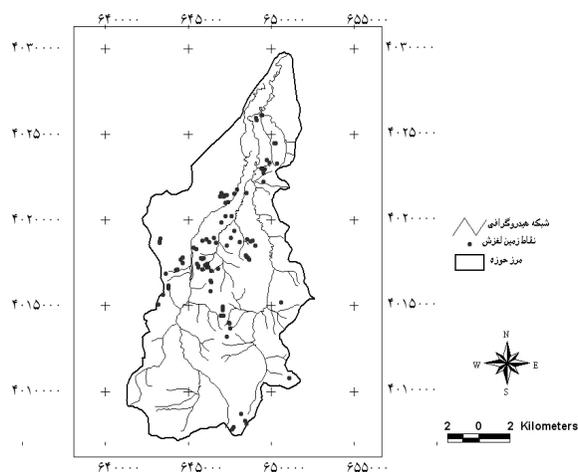
تفسیر تصاویر ماهواره‌ای منطقه، پژوهش‌های میدانی و نیز اطلاعات موجود در پرسش‌نامه‌های زمین لغزش‌های حوضه مبنی بر کاربری اراضی در حال حاضر و در ۲ دهه پیش در نقاط لغزش یافته، تغییرات کاربری اراضی در نقاط لغزشی طی دو دهه اخیر در ۴ طبقه جنگل به باغ، جنگل به جاده، مرتع به باغ، مرتع به جاده و نیز ۳ طبقه بدون تغییر کاربری شامل جنگل، مرتع و باغ استخراج و سطح و حجم لغزش‌های مربوط به هر طبقه تهیه گردید. همچنین براساس یک روش پیشنهادی کیفی به‌منظور مشارکت لغزش‌ها در تولید رسوب، زمین لغزش‌های منطقه براساس دوری و نزدیکی به شبکه زه‌کشی (موسوی، ۲۰۰۷) به شرح زیر طبقه‌بندی گردیدند: گروه A: لغزش‌هایی که برای مدت طولانی بر روی دامنه باقی می‌مانند. گروه B: مواد حاصل از لغزش روی دامنه‌ها ابتدا ذخیره، سپس تحت تأثیر فرآیندهای فرسایشی همچون شیار و آب‌کندی وارد سیستم زه‌کشی می‌شوند. گروه C: مواد لغزش یافته از دامنه بلافاصله وارد سیستم زه‌کشی می‌شوند. گروه D: لغزش‌های حاشیه رودخانه‌ای که به موجب آب‌راه به وجود آمده و مواد آنها به‌طور مستقیم وارد سیستم زه‌کشی می‌شوند. در نهایت درصد فراوانی، سطح و حجم لغزش مربوط به هر طبقه استخراج گردید.

در بررسی مورفولوژی زمین لغزش‌ها نیز براساس یک روش پیشنهادی، زمین لغزش‌های منطقه از لحاظ کشیدگی طولی، عرضی، گسترش عمقی و نیز بررسی تحول مورفولوژی لغزش‌ها در دامنه‌های لغزشی با معرفی شاخص‌های مورفومتری شامل ضریب تغییر شکل زمین لغزش (Lr/Wr) ، ضریب تغییر شکل طولی (Lr/D) ، ضریب تغییر شکل عرضی (Wr/D) و شاخص عمق $(D/L \times 100)$ مورد بررسی قرار گرفتند. افزایش نسبت D/L بیانگر گسترش عمقی و نسبت‌های Lr/D ، Lw/Wr و Wr/D نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شیب در وقوع لغزش و نیز جابجایی و انتقال حجم بالای رسوبات لغزشی است (هاتانجی و موریواکی، ۲۰۰۸). سپس فراوانی و درصد وقوع زمین لغزش‌ها براساس ضرایب و شاخص‌های ذکر شده محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: از نرم‌افزار Excel جهت ترسیم نمودارها استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار SPSS15 جهت تعیین مدل رگرسیون خطی گرادیان بارندگی منطقه، استخراج برخی مشخصات آماری ویژگی‌های مورفومتری و عوامل مؤثر زمین لغزش‌ها، تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین کلیه متغیرها و توسعه مدل چندمتغیره خطی استفاده گردید (فتوحی‌اردکانی، ۲۰۰۴).

نتایج و بحث

با ثبت موقعیت مکانی زمین لغزش‌ها توسط GPS و ورود آنها به سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه توزیع مکانی (پراکنش) زمین لغزش‌ها به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه آبخیز سجارود.

بر اساس تجزیه و تحلیل آماری بین میانگین بارندگی سالانه ۱۲ ایستگاه داخل و اطراف حوضه طی دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۱) به میلی‌متر و ارتفاع آنها از سطح دریا به متر، معادله گرادیان بارندگی حوضه آبخیز سجارود با معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد ($P=0/04$) و ضریب تبیین $0/375$ به صورت معادله شماره ۱ به دست آمده است:

$$P = -0/245H + 79!/67 \quad (1)$$

با جای‌گذاری ارتفاع متوسط منطقه ($745/4$ متر) در معادله، میانگین بارندگی سالانه حوضه آبخیز سجارود ۶۱۷ میلی‌متر برآورد شده است. نتایج به دست آمده از مقادیر سطح و حجم لغزش مربوط به طبقات وضعیت تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

با تحلیل جدول ۱ استنباط می‌شود بالاترین درصد سطح و حجم زمین لغزش‌ها به ترتیب $24/8$ درصد و $27/6$ درصد مربوط به تغییر کاربری اراضی از جنگل به باغ و اراضی زراعی طی دو دهه اخیر بوده است و پس از آن در کاربری جنگل و بدون تغییر بیش‌ترین درصد سطح و حجم لغزش به ترتیب

با مقادیر ۲۲/۳ درصد و ۲۷/۵ درصد مشاهده شده است. همچنین نتایج حاصل از مقادیر درصد فراوانی، سطح و حجم لغزش مربوط به طبقات A, B, C و D در روش پیشنهادی طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها براساس مشارکت در تولید رسوب، به صورت جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۱- اثر تغییر کاربری اراضی بر وقوع زمین لغزش‌ها.

تغییرات کاربری	سطح لغزش (هکتار)	درصد	حجم لغزش (متر مکعب)	درصد
جنگل به باغ و زراعی	۸/۷	۲۴.۸	۳۶۴۸۸۲	۲۷/۶
جنگل به جاده	۴/۶	۱۳.۱	۲۰۸۹۸۳	۱۵/۸
مرتع به باغ	۱/۸	۵.۱	۴۵۰۰۰	۳/۴
مرتع به جاده	۵/۱	۱۴.۶	۶۱۶۴۵	۴/۷
جنگل بدون تغییر	۷/۸	۲۲.۳	۳۶۲۴۳۰	۲۷/۵
مرتع بدون تغییر	۱/۳	۳.۷	۱۰۵۹۰۰	۸
باغ بدون تغییر	۵/۷	۱۶.۳	۱۷۰۰۸۰	۱۲/۹
کل	۳۵	۱۰۰	۱۳۱۸۹۲۰	۱۰۰

جدول ۲- مشخصات زمین لغزش‌ها در طبقه‌بندی مشارکت در تولید رسوب.

طبقات لغزش	تعداد لغزش	درصد	سطح لغزش (هکتار)	درصد	حجم خاک فرسایش یافته (متر مکعب)	درصد
A	۱۰	۲۸/۶	۱۰/۴	۲۹/۷	۳۷۱۱۴۱	۲۸/۱
B	۴	۱۱/۴	۲/۵	۷/۱۴	۹۹۱۸۵	۷/۵
C	۱	۲/۹	۰/۳	۰/۸۶	۳۹۶۰۰	۳
D	۲۰	۵۷/۱	۲۱/۷	۶۲	۸۰۸۹۹۴	۶۱/۳

با بررسی جدول ۲ مشخص می‌گردد که بیش‌ترین درصد تعداد (۵۷/۱ درصد)، مساحت (۶۲ درصد) و حجم زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه، زمین لغزش‌های گروه D و یا لغزش‌های حاشیه رودخانه‌ای بوده‌اند که خاک و مواد فرسایش یافته به‌طور مستقیم وارد آب‌راه گشته و بنابراین می‌توان این مواد را به‌عنوان رسوب در نظر گرفت (لال، ۱۹۹۶). به‌منظور بررسی وضعیت مورفومتری زمین لغزش‌ها و تجزیه و تحلیل آماری آنها، برخی ویژگی‌های مورفومتری در نظر گرفته

سیده زهره موسوی خطیر و همکاران

شد. در جدول ۳ برخی مشخصه‌های آماری مربوط به عوامل و مشخصه‌های مورفولوژیک و برخی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌های منطقه آمده است.

جدول ۳- مشخصات آماری فاکتورهای مورفولوژیک و برخی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه.

مشخصات لغزش‌ها	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	خطای استاندارد از میانگین
Lr	۱۰۵/۱۷	۱۰	۳۲۰	۸۱/۰۵	۱۳/۷۰
Wr	۵۵/۲۴	۸	۲۰۰	۴۴/۵۹	۷/۶۴
D	۲۷/۳۸	۱	۴/۵	۹۳/۹۸	۱۵/۸۹
V	۳۷۶۶۰/۶۰	۲۳۹۲	۲۶۲۰۸۰	۶۰۰۶۲/۳۴	۱۰۱۵۲/۴۰
S	۲۳/۰۴	۱۰	۷۰	۱۲/۳۴	۲/۰۸
H	۳۶۰/۹۶	۱۱۵	۷۷۰	۲۱۲/۳۳	۳۶/۴۱
H ₁	۴/۷۶	۵۰	۳۶	۵/۹۷	۱/۰۱
L	۱۱۱۹/۲۶	۰	۵۰۰۰	۱۳۸۲/۳۵	۲۳۳/۶۶
H ₂	۶۶	۹	۱۹۵	۵۸/۴۳	۱۱/۶۹
Z	۰/۷۲۵	۰/۱۱	۱/۶۰	۰/۲۹	۰/۰۵
D/L×100	۵/۷۴	۰/۲۵	۲۰	۵/۱۴	۰/۸۷
Lr/Wr	۳/۱۶	۰/۰۱	۱۳/۸۹	۳/۲۸	۰/۵۵
Lr/D	۳۶/۱۴	۱/۴۳	۳۰۰	۵۲/۰۴	۸/۸۰
Wr/D	۱۵/۰۹	۳/۲۲	۸۰	۱۵/۵۲	۲/۶۲
P	۷۱۲/۱۲	۶۱۱	۷۹۸/۸	۵۴/۱۵	۹/۱۵

Lr: طول سطح گسیختگی (متر)، Wr: عرض سطح گسیختگی (متر)، D: عمق لغزش (متر)، V: حجم لغزش (مترمکعب)، S: شیب دامنه لغزش (درجه)، H: ارتفاع از سطح دریا (متر)، H₁: ارتفاع پرتگاه اصلی (متر)، L: فاصله از گسل (متر)، H₂: اختلاف ارتفاع تاج و پنجه گسیختگی (متر)، Z: ضریب شدت فرسایش (به روش EPM)، D/L×100: شاخص عمق، Lr/Lw: ضریب تغییر شکل زمین لغزش، Lr/D: ضریب تغییر شکل طولی، Wr/D: ضریب تغییر شکل عرضی، P: میانگین بارندگی سالانه در محل لغزش‌ها (میلی‌متر)

در جدول‌های ۴ تا ۷ فراوانی و درصد وقوع زمین لغزش‌ها براساس ضریب تغییر شکل زمین لغزش (Lr/Wr)، ضریب تغییر شکل طولی (Lr/D)، ضریب تغییر شکل عرضی (Wr/D) و شاخص عمق (D/L×100) آمده است.

جدول ۴- تعداد و وضعیت زمین لغزش‌ها در طبقات ضریب تغییر شکل زمین لغزش.

درصد	تعداد لغزش	Lr/Wr	وضعیت توده لغزشی
۲۵/۷	۹	$Lr/Wr < 1$	زمین لغزش‌های با گسترش جانبی
۷۴/۳	۲۶	$1 \leq Lr/Wr$	زمین لغزش‌های کشیده

جدول ۵- تعداد و وضعیت زمین لغزش‌ها در طبقات ضریب تغییر شکل طولی.

درصد	تعداد لغزش	Lr/D	وضعیت توده لغزشی
۹۱/۴۲	۳۲	$1/43 \leq Lr/D \leq 61/13$	تغییر شکل طولی خیلی ضعیف
۵/۷۱	۲	$61/14 \leq Lr/D \leq 120/83$	تغییر شکل طولی ضعیف
-	-	$120/84 \leq Lr/D \leq 180/53$	تغییر شکل طولی متوسط
-	-	$180/54 \leq Lr/D \leq 240/23$	تغییر شکل طولی شدید
۲/۵۶	۱	$240/24 \leq Lr/D \leq 300$	تغییر شکل طولی خیلی شدید

جدول ۶- تعداد و وضعیت زمین لغزش‌ها در طبقات ضریب تغییر شکل عرضی.

درصد	تعداد لغزش	Wr/D	وضعیت توده لغزشی
۸۲/۸۶	۲۹	$3/22 \leq D \leq 18/58$	تغییر شکل عرضی خیلی ضعیف
۸/۵۷	۳	$18/59 \leq Wr/D \leq 33/94$	تغییر شکل عرضی ضعیف
۲/۵۶	۱	$33/95 \leq Wr/D \leq 48/30$	تغییر شکل عرضی متوسط
۲/۵۶	۱	$49/31 \leq Wr/D \leq 64/66$	تغییر شکل عرضی شدید
۲/۵۶	۱	$64/67 \leq Wr/D \leq 80$	تغییر شکل عرضی خیلی شدید

مطابق جدول‌های ۵ و ۶ می‌توان بیان داشت که براساس طبقه‌بندی ضریب شکل طولی (Lr/D) به ۵ کلاس و حضور ۳۴ زمین لغزش از کل لغزش‌های منطقه در طبقه اول و دوم جدول چنین استنباط می‌شود که ۹۷/۱ درصد زمین لغزش‌های حوضه دارای تغییر شکل طولی ضعیف و بسیار ضعیف نسبت به عمق می‌باشند. همچنین براساس همین طبقه‌بندی برای ضریب تغییر شکل عرضی (Wr/D) زمین لغزش‌ها مشخص می‌شود که ۹۱/۴۳ درصد از زمین لغزش‌های منطقه در حین لغزش تغییر شکل عرضی ضعیف و بسیار ضعیفی نسبت به عمق می‌یابند.

جدول ۷- تعداد و وضعیت زمین لغزش‌ها در طبقات شاخص عمق.

وضعیت توده لغزشی	$D/L \times 100$	تعداد لغزش	درصد
زمین لغزش‌های با گسترش افقی	$D/L \times 100 < 1$	۳	۸/۶
زمین لغزش‌های عمیق (دارای گسترش عمقی)	$1 \leq D/L \times 100$	۳۲	۹۱/۴

همان‌گونه که در روش تحقیق آمده، به منظور بررسی وجود یا عدم وجود روابط معنی‌دار آماری بین هر یک از متغیرها که در نهایت می‌تواند منجر به ساخت مدل‌های پیش‌بینی گردد، از آنالیز همبستگی بین متغیرها استفاده شد. نتایج به دست آمده از ماتریس همبستگی همبستگی پیرسون در دو سطح معنی‌داری ۹۹ درصد و ۹۵ درصد در جدول شماره ۸ ارایه شده است.

با توجه به روابط همبستگی بین متغیرها در جدول ۸ بیش‌ترین همبستگی آماری در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد ($r = 0/99$) بین میانگین بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا با رابطه معکوس مشاهده می‌گردد. همچنین با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که بین حجم توده‌های لغزش‌یافته در منطقه مورد مطالعه و طول و عرض سطوح گسیختگی لغزش‌ها همبستگی معنی‌دار مثبت در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد برقرار است در حالی‌که بین حجم و عمق لغزش‌ها رابطه معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد.

بر اساس ضرایب همبستگی آماری بین ۳ متغیر طول و عرض سطوح گسیختگی و حجم توده‌های لغزش‌یافته در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد، به منظور ایجاد مدل پیش‌بینی جهت برآورد حجم رسوبات ناشی از زمین لغزش، از روش تحلیل آماری رگرسیون چندمتغیره گام به گام پیش‌رونده در محیط نرم‌افزار آماری SPSS 15 استفاده شد. در این روش متغیرهای مستقل براساس میزان همبستگی که با متغیر وابسته دارند، تک به تک به معادله اضافه شده و بعد از ورود حذف نمی‌شوند (فتوحی‌اردکانی، ۲۰۰۴). رابطه خطی بین این فاکتورها در سطح اعتماد ۹۹ درصد استخراج و به صورت معادله ۲ بیان شده است:

$$r^2 = 0/334 \quad p_{\text{value}} = 0/000 \quad V = 57\epsilon/78W_r + 28\epsilon/29L_r - 23827/1 \quad (2)$$

نتایج حاصل از جای‌گذاری حداکثر و میانگین طول و عرض سطوح گسیختگی لغزش‌ها در معادله ۲ نشان می‌دهد حداکثر حجم و توده‌های لغزش‌یافته در منطقه $183741/7$ مترمکعب و تقریباً ۵ برابر ($4/79$) برابر میانگین حجم زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته ($38309/06$ مترمکعب) در منطقه مورد مطالعه بوده است.

جدول ۸- ماتریس همبستگی بین مشخصات مورفومترزی زمین لوش‌ها و برخی عوامل مؤثر.

مشخصات لوش‌ها		P	Wr/D	Lr/D	Lr/Wr	D/L	Z	H ₁	H ₂	L	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	S	V	D	Wr	Lr
-۰/۱۶	۰/۵۰ ^{۰۰}	۰/۷۴ ^۰	۰/۵۱ ^۰	-۰/۵۹ ^{۰۰}	۰/۷۵	۰/۴۱ ^۰	۰/۷۵	-۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۰	-۰/۴۸ ^{۰۰}	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۲۱	۱
۰/۴۹ ^{۰۰}	۰/۷۴ ^{۰۰}	۰/۰۹	۰/۴۹ ^{۰۰}	۰/۰۹	۰/۷۵	۰/۲۰	۰/۷۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸	-۰/۵۰ ^{۰۰}	۰/۰۸	۰/۰۸	۱	۱
-۰/۰۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۱ ^{۰۰}	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۲۶	۱	۱	۱	۱
۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۱۴	-۰/۰۳	-۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۶	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۲۶	-۰/۲۶	-۰/۲۶	-۰/۲۶	-۰/۲۶	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۳۳	-۰/۲۱	-۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۷	۰/۳۰	۰/۴۴ ^۰	۰/۳۰	۰/۳۸ ^۰	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۴۹ ^{۰۰}	-۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۳۶ ^{۰۰}	-۰/۴۳ ^۰	۰/۴۵ ^{۰۰}	۰/۵۳ ^{۰۰}	۰/۴۵ ^{۰۰}	۰/۰۷	۰/۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۱۸	-۰/۲۲	-۰/۰۷	۱/۳۰	۰/۰۷	۰/۵	۰/۳۵	۰/۵	-۰/۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۳۳	۰/۰۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۵۵ ^{۰۰}	-۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۳۶ ^۰	-۰/۴۱ ^۰	۰/۴	۱	۰/۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۳۸ ^۰	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۴۴ ^{۰۰}	۰/۳۴ ^۰	-۰/۳۴ ^۰	-۰/۴۸ ^{۰۰}	-۰/۵۰ ^{۰۰}	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۴۷ ^{۰۰}	-۰/۲۳	۰/۳۴ ^۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
-۰/۱۰	۰/۱۱ ^{۰۰}	۰/۳۴ ^۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۲۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

سطح معنی‌داری ۵ درصد. ^{۰۰}سطح معنی‌داری ۱ درصد.

بر اساس تحلیل ماتریس همبستگی و وجود رابطه معنی دار مثبت در سطح معنی داری ۹۹ درصد بین میانگین بارندگی سالانه و عرض سطح گسیختگی ($r=0/49$) و همچنین رابطه معنی دار مثبت در سطح معنی داری ۹۹ درصد ($r=0/44$) بین میانگین بارندگی سالانه و شاخص عمق زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوضه مورد مطالعه، با کاهش ارتفاع از سطح دریا و افزایش بارندگی میانگین سالانه، وقوع زمین لغزش‌های عمیق‌تر و با گسترش عرضی بیش‌تر مشاهده می‌گردد، در حالی که گسترش طولی زمین لغزش‌ها کاهش می‌یابد. بونارد و نووراز (۲۰۰۱)، آیالیو و همکاران (۲۰۰۵) به نتایج مشابهی مبنی بر نقش بارندگی‌های پیوسته بلندمدت بر وقوع زمین لغزش‌های عمیق‌تر رسیده‌اند که این امر را ناشی از افزایش سطح آب زیرزمینی و گسترش فشار آب منفذی مثبت و کاهش مقاومت برشی خاک معرفی کرده‌اند. بر اساس پژوهش‌های میدانی صورت گرفته در منطقه و نیز تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی با توجه به جدول ۲ استنباط می‌شود که تغییر کاربری زمین به‌خصوص تغییر کاربری از جنگل به باغ و زمین‌های زراعی، سهم عمده‌ای در حجم خاک فرسایش یافته ناشی از وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه داشته است. شایان گفتن است با توجه به جدول ۲ زمین‌های جنگلی بدون تغییر کاربری نیز درصد بالایی از حجم خاک فرسایش یافته را به خود اختصاص داده‌اند که این امر به دلیل بررسی تغییرات کاربری به صورت نقطه‌ای و در نقاط لغزش یافته بوده و از نقش سایر عوامل مؤثر از جمله نزدیکی به شبکه زه‌کشی، نزدیکی به جاده و گسل در مناطق جنگلی که منجر به حجم بالای فرسایش در این مناطق شده‌اند چشم‌پوشی شده است. همچنین حسن‌زاده‌نقوتی (۲۰۰۱) نشان داد که تغییر کاربری زمین از جنگل به اراضی زراعی، بیش‌ترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز شلمان‌رود داشته است. همچنین بگوئیرا (۲۰۰۶) تحقیقی در این راستا در منطقه کوهستانی پیرنه^۱ اسپانیا انجام داده و نتایج افزایش وقوع زمین لغزش‌های کم‌عمق، پس از ترک زمین‌های زراعی توسط ساکنان و بازیابی و احیای تدریجی و طبیعی پوشش جنگلی منطقه را نشان می‌دهد. نتایج ناشی از بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته در منطقه نشان داده‌اند که بیش‌ترین درصد فراوانی زمین لغزش‌ها و در نهایت بیش‌ترین حجم خاک فرسایش یافته در منطقه مورد مطالعه مربوط به لغزش‌هایی بوده که در حاشیه رودخانه و آبراه‌ها واقع شده‌اند. کلارستاقی و احمدی (۲۰۰۸)، گرای (۲۰۰۶)، نگ (۲۰۰۵)، لی و سمبات (۲۰۰۶) و لی و پرادهان (۲۰۰۷) نیز به نتایج

مشابهی مبنی بر نقش عامل نزدیکی به شبکه زه‌کشی بر وقوع زمین لغزش‌ها در مناطق مورد مطالعه خود دست یافتند. همه مقالات معرفی شده، تنها به نقش عامل نزدیکی به شبکه زه‌کشی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه اشاره کرده‌اند در صورتی‌که در این پژوهش ضمن تأیید این مطلب حجم خاک فرسایش‌یافته و میزان کمی تولید رسوب در هر نقطه لغزش‌یافته و وضعیت ورود رسوبات به شبکه زه‌کشی منطقه به‌طور کمی مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته و در نتیجه می‌توان در حوضه آبخیز سجارود، نسبتی از حجم رسوبات فرسایشی در نقطه خروجی پایین‌دست حوضه را به‌طور مستقیم با محاسبه حجم زمین لغزش‌های حاشیه رودخانه‌ای محاسبه نمود. نتایج حاصل از تحلیل و بررسی ضریب تغییر شکل زمین لغزش (Lr/Wr)، ضرایب تغییر شکل طولی و عرضی (Wr/D و Lr/D) و نیز شاخص عمق ($D/L \times 100$) در ۳۵ نقطه زمین لغزشی حوضه نشان می‌دهند که اکثر زمین لغزش‌های منطقه از نوع لغزش‌های کشیده، دارای گسترش عمقی زیاد و با تغییر شکل طولی و عرضی بسیار کم می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه به‌دلیل تغییرات شدید کاربری زمین و تبدیل جنگل‌های طبیعی به باغ و زمین‌های زراعی توسط ساکنان منطقه، تخریب پوشش گیاهی در پایین‌دست بیش‌تر بوده و از طرفی به‌دلیل ارتفاع زیاد بارندگی و انتقال رطوبت بین سازندها به‌عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک، شاهد افزایش حجم توده‌های لغزشی در قسمت‌های پایین‌دست منطقه بوده‌ایم که با نتایج به‌دست آمده توسط بگوئیرا (۲۰۰۶) در منطقه کوهستانی پیرنه اسپانیا، مبتنی بر افزایش وقوع زمین لغزش‌های کم‌عمق در دوره زمانی بارش پس از رهاسازی کشت‌زارها و احیاء و بازیابی تدریجی و طبیعی پوشش گیاهی و جنگلی در منطقه هم‌خوانی دارد. این محقق توزیع مجدد رطوبت خاک در شیب تپه پس از دوره‌های طولانی بارندگی و توسعه سطح ایستابی معلق در پایه ستون خاک را نقش مهمی در شکست شیب و وقوع زمین لغزش در منطقه معرفی می‌کند.

به‌طورکلی در این پژوهش، میزان تأثیر عوامل مؤثر طبیعی و انسانی، بر وقوع، خصوصیات و ویژگی‌های مورفومتریک و حجم رسوبات ناشی از وقوع زمین لغزش‌های حوضه، مورد تحلیل و بررسی آماری قرار گرفته و در این بین، نقش عامل طبیعی نزدیکی به شبکه زه‌کشی به‌دلیل ایجاد لغزش‌های حاشیه رودخانه‌ای و حمل و انتقال حجم عظیم رسوبات لغزش‌یافته به خارج از حوضه مورد توجه بوده است. همچنین تغییر کاربری اراضی از جنگل به باغ و اراضی زراعی، به‌خصوص در پایین‌دست حوضه به‌دلیل شرایط بارندگی و اقلیمی مناسب‌تر و نیز جاده‌سازی غیراصولی و ایجاد

راه‌های روستایی در مناطق مستعد لغزش، به‌عنوان مهم‌ترین عامل انسانی مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه بوده، به‌نحوی که حتی نقش بارندگی بیشتر در پایین‌دست حوضه و انتظار افزایش پوشش گیاهی طبیعی در جهت کنترل و کاهش حرکات توده‌ای را تحت‌الشعاع قرار داده و عملاً افزایش حجم رسوبات و فراوانی توده‌های لغزش‌یافته را در طبقات بالاتر بارندگی حوضه شاهد هستیم. در این تحقیق بررسی ضریب تغییر شکل زمین لغزش، ضرایب تغییر شکل طولی و عرضی و شاخص عمق برای زمین لغزش‌های حوضه و تقسیم‌بندی محدوده تغییرات آنها در طبقات مختلف به‌عنوان یک روش پیشنهادی ارائه شده است تا به‌عنوان قدمی نخست جهت مطالعه دقیق‌تر مورفولوژی زمین لغزش‌ها، بر آورد کمی سهم رسوبات حاصل از آنها و تغییرات آن طی تغییرات هر یک از عوامل مؤثر در طول زمان در حوضه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Ahmadi, H., and Mohamadkhan, SH. 2002. Investigation of some mass movements in Taleghan basin. *Natural Resources of Iran*, 4: 455-464. (In Persian).
2. Aleotti, P. 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 73: 247-265.
3. Aleotti, P., and Chowdhury, R. 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: 21-44.
4. Avanzi, G.D., Giannecchini, R., and Pucchnelli, A. 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.
5. Ayalew, L., Ymagishi, H., Marui, H., and Kanno, T. 2005. Landslides in Sado island of Japan : part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81: 432-445.
6. Begueria, S. 2006. Changes in land cover and shallow landslide activity: A case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 74: 196-206.
7. Bonnard, Ch., and Noverraz, F. 2001. Influence of climate change on large landslides: assessment of long term movements and trends. P 121-138, *Proceeding of the International Conference on Landslides: causes impact and countermeasures*, Gluckauf, Essen, Davos.
8. Brand, E.W., Premchitt, J., and Phillipson, H.B. 1984. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. P 377-384, *Proceeding of the IV International Symposium on Landslides*, Toronto.

9. Campbell, R.H. 1975. Debris flow originating from soil slip during rainstorm in southern California. *Engineering Geologist*, 7: 339-349.
10. 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. *Geomorphology*, 82: 250-271.
11. Cancelli, A., and Nova, R. 1985. Landslides in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy). P 267-272, *Proceeding of the IV International Conference on Landslides*, Tokyo. Rotterdam.
12. Cannon, S.H., and Ellen, S.D. 1985. Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California. *California Geology*. 38: 12. 267-272.
13. Chau, K.T., Sze, Y.L., Fung, M.K., Wong, W.Y., Fong, E.L., and Chan, L.C. 2004. Landslide hazard analysis for hong kong using landslide inventory and GIS. *Computers and Geosciences*, 30: 429-443.
14. Corominas, J., and Moya, J. 1999. Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat river basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30: 79-93.
15. Crosta, G. 1998. Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation. *Environmental Geology*, 35: 2-3. 131-145.
16. Cuesta, M.J.D., Sanches, M.S., and Berrezueta, E. 2007. Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological Features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. *Geomorphology*, 89: 358-369.
17. Dahal, R.K., and Hasegawa, SH. 2008. Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100: 3-4. 429-443.
18. Dai, F.C., and Lee, C.F. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42: 213-228.
19. Feiznia, S., Kelarestghi, A., Ahmadi, H., and Safaii, M. 2004. Investigation of causative factors on landslide occurrence and landslide mapping (study area: Shirinroud basin). *Natural Resources of Iran*, 1: 3-20. (In Persian).
20. Fotoohi Ardakani, A. 2004. Educational book of SPSS 10. Shaigan press. Fifth edition, 448p. (Translated in Persian)
21. Garaei, P. 2006. An investigation of mass movements (landslide) in modeling of hazard zonation in Lajimroud basin, watershed management M.Sc. Thesis of Natural Resources College of Mazandaran Univ., 121p. (In Persian).
22. Garfi, G., and Bruno, D.E. 2007. Fan morfodynamics and slop instsbility in the Mucone River basin (Sila Massif, southern Italy): significant of wealthering and role of land use changes. *Catena*, 50: 181-196.
23. Gomez, H., and Kavzoglu, T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78: 11-27.

24. Guzzetti, F., Crosta, G., Marchetti, M., and Reichenbach, P. 1992. Debris flows triggered by the July, 17-19, 1987 storm in the Valtellina Area (Northern Italy). P 193-204. In Proceeding. of the VII International Congress Interpraevent 1992, Bern.
25. Hasanzade Nafooti, M. 2001. Landslide hazard risk zonation of Shalmanroud basin in Guilan Province. *Natural Resources of Iran*, 3: 207-219. (In Persian).
26. Hattanji, T., and Moriwaki, H. 2008. Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Geomorphology*, 103: 1. 447-454.
27. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarcar, S., and Gupta, R.P. 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation In Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85: 347-366.
28. Kelarestaghi, A., Habibnadjad, M., and Ahmadi, H. 2007. A study of landslide occurrence in relation to land use changes and road construction, case study Tadjan Watershed, Sari, *Geographical Research Quarterly*, 62: 81-91. (In Persian).
29. Kelarestaghi, A., and Ahmadi, H. 2008. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 2: 95-101.
30. Lall, R. 1996. *Soil erosion research methods*, Soil and Water Conservation Society, second edition, 340p.
31. Lee, S., and Sambath, T. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Dameri Romel areas Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50: 847-855.
32. Lee, S., and Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4: 33-41.
33. Lumb, P. 1975. Slope failure in Hong Kong. *Engineering Geologist*, 8: 31-65.
34. Mahdavi, M. 1999. *Applied Hydrology*. Vol: 1. Tehran Univ. Press, 362p. (In Persian).
35. Morgan, B.A., Wieczorek, G.F., Campbell, R.H., and Gori, P.L. 1997. Debris flow hazards in areas affected by the June 27, 1995 storm in Madison County, Virginia. USGS Open File Report, 97-438.
36. Mousavi, S.Z. 2007. Statistical analysis of morphometric characteristics and causative factors on landslide occurrence. Student Seminar. College of Natural Resource, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Unpublished Manuscript, 45p. (In Persian).
37. NG, K.Y. 2005. Landslide location and drainage network development: A case study of HongKong. *Geomorphology*, 71: 30-48.
38. Office of Watershed Management, Mazandaran Province. 1998. *Comprehensive studies of Babolroud Basin*, 468p. (In Persian)

39. Paronuzzi, P., Del Fabbro, M., and Maddaleni, P. 2002. Frane superficiali tipo slide debris flow causate dal nubifragio del 21/22 giugno 1996 nella Val Chiarso` (Alpi Carniche, Friuli). *Memorie della Societa Geologica Italiana*, 57: 443-452.
40. Peart, M.R., Ng, K.Y., and Zhang, D.D. 2005. Landslides and sediment delivery to a drainage system: some observations from Hong Kong. *Asian Earth Sciences*, 25: 821-836.
41. Polloni, G., Ceriani, M., Lauzi, S., Padovan, N., and Crosta, G. 1992. Rainfall and soil slipping events in Valtellina. P 183-188, In Proc. of the VI International Symposium on Landslides. Christchurch.
42. Soeters, R., and Van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Keith, T.A, Schuster, R.L. (eds.), *Landslide investigation and mitigation*. Special Report, 247p.
43. Shariatjafari, M. 1996. *Landslide (Bases and elements of natural slopes stability)*. Saze Press, 218p. (In Persian)
44. Singhroy, V., Glenn, N., and Ohkura, H. 2004. Landslide hazard team report of the CEOS disaster management support group. CEOS Disaster Information Server. National Academy Press, Washington, D.C. Pp: 130-132.
45. Wieczorek, G.F. 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. In: Costa, Wieczorek. (ed.), *Debris Flows/Avalanches: Processes, Recognition and Mitigation*. *Reviews in Engineering Geology, Geological Society of America*, 7: 23-104.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(2), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Statistical Analysis of Some Morphometric Characteristics and Effective Factors on Landslide Occurrence in Sajarood Watershed

S.Z. Mousavi Khatir¹, * A. Kavian² and A. Hashemzadeh Atoei³

¹M.Sc. Student, Dept. of Range Management and Watershed, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Range Management and Watershed, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Expert of Natural Resources, Main Bureau of Mazandaran Province, Sari

Abstract

The purpose of this study was to analyze some physical, morphological and effective factors on landslide occurrence to better recognition of landslide mass behavior in the study area. Based on the mean annual rainfall of 25 years period and elevation above sea level of 12 stations located within and surrounding the study area, the rainfall gradient equation of the area was developed. Based on field surveys, aerial photographs interpretation and filling out questionnaires of landslide, some important morphometric factors including landslide deformation coefficient, landslide longitudinal deformation coefficient, landslide latitudinal deformation coefficient and landslide depth index and some effective factors on landslide occurrence such as distance to fault, manner of relation to drainage network, elevation and mean annual rainfall in 35 land sliding locations were computed. The results of statistical analysis including correlation analysis and linear multiple modeling between effective factors and landslide morphometric characteristics showed that most landslides were long with deep extension and very low longitudinal deformation and latitudinal deformation in comparison to depth. Also, decrease in elevation above sea level and increase in mean annual rainfall, have resulted in deeper and with latitudinal extension landslides, while longitudinal extension of landslides decreased. In the study area considerable amount of sediment was delivered to drainage network. because of the proximity to drainage network and land use change from forest to garden and roads in lower elevations.

Keywords: Mass Movement, Morphometric factors, Land Use Change, Sajarood Watershed

* Corresponding Author; Email: a.kavian@sanru.ac.ir

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.