



ISSN 2251-7480

## تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش به منظور کنترل تخریب اراضی زراعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

امیر اسحاقی<sup>۱</sup>، حسن احمدی<sup>۲</sup>، بهارک معتمدوزیری<sup>۳\*</sup> و علی اکبر نظری سامانی<sup>۴</sup>

۱) دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۲) استاد؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۳\* استادیار؛ گروه آبخیزداری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: [bm vaziri@gmail.com](mailto:bm vaziri@gmail.com)

۴) دانشیار؛ گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۵

### چکیده

زمین لغزش یکی از مهم ترین عوامل تخریب اراضی زراعی در حوزه آبخیز طالقان می باشد. زمین لغزش یکی از انواع حرکت های توده ای زمین است که هر ساله، موجب تخریب اراضی، تسریع فرسایش خاک و انتقال گسترده رسوبات به پشت سد طالقان می گردد. اولین گام در ارزیابی خطر و کنترل زمین لغزش، تهیه نقشه حساسیت به وقوع آن می باشد. هدف اصلی این تحقیق، تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش به منظور شناسایی مناطق مستعد به این پدیده و کنترل تخریب اراضی در حوزه آبخیز طالقان بوده است. بدین منظور، لایه های اطلاعاتی مربوط به عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، زاویه شیب، جهت شیب، شکل شیب، بارندگی متوسط سالیانه، درجه حرارت متوسط سالیانه، سنگ شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل ها، فاصله از آبراهه ها و فاصله از جاده ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و بازدهی های صحرایی، تهیه گردیده است. سپس با استفاده از روش آماری رگرسیون چندمتغیره، وزن عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، تعیین شد و از طریق تلفیق لایه های اطلاعاتی مربوط به این عوامل، نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش، تهیه شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن بوده است که حدود ۲۶ درصد از اراضی حوضه، دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد به وقوع زمین لغزش می باشند که بخش عمده ای از این اراضی، دارای واحدهای سنگ شناسی gy2 (متشکل از مارن های حاوی مواد گچی و نمکی زیاد) و کاربری اراضی دیم بوده و در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری از گسل ها، واقع شده اند.

**کلید واژه ها:** تخریب اراضی؛ زمین لغزش؛ طالقان؛ نقشه حساسیت

### مقدمه

مختلفی می تواند رخ دهد که از جمله آنها می توان به مدیریت نامطلوب اراضی، سیل، فرسایش خاک و حرکت های توده ای، اشاره نمود. یکی از عوامل مهم تخریب اراضی کوهستانی در ایران، حرکت های توده ای هستند (مهدیان، ۱۳۸۴).

تخریب اراضی، به معنای کاهش ظرفیت تولید آنها می باشد. این پدیده، ضمن تأثیرگذاری بر نواحی وسیعی در سطح کشور، زندگی بسیاری از افراد در مناطق خشک و کویری را نیز متأثر ساخته است. تخریب اراضی، به دلایل

تعیین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکت‌های توده‌ای با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره نمود. نتایج حاکی از این بوده است که سازند زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و رودخانه، ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب و بارندگی متوسط سالیانه، مهمترین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای در حوضه بوده‌اند.

مردوخ پور و معتمدوزیری (۱۳۹۰)، به بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای حوزه آبخیز آبیدر سنج با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از این بود که مناطق نزدیک به جاده‌ها، گسل‌ها و آبراهه‌ها و مناطق دارای سازندهای زمین‌شناسی محتوی سیلت‌سنگ، مستعدترین مناطق جهت وقوع زمین‌لغزش، و مناطق نزدیک به جاده‌ها، گسل‌ها و آبراهه‌ها و مناطق دارای سازندهای زمین‌شناسی محتوی سنگ آهک، مستعدترین مناطق برای وقوع ریزش هستند. این در حالی است که مناطق دارای پوشش ۲۵ تا ۵۰ درصد جنگل، مناطق پایدار در مقابل هر دو نوع حرکت توده‌ای می‌باشند.

کریمی سنگچی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره، رگرسیون لجستیک، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مدل ترکیب خطی وزین (WLC)، نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان را تهیه نمودند. نتایج حاکی از این بود که عوامل ارتفاع از سطح دریا، زاویه شیب، سازند زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی و میزان بارش، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه می‌باشند.

صفاری و همکاران (۱۳۹۲)، اقدام به تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز ماربر در جنوب استان اصفهان با استفاده از رگرسیون چندمتغیره نمودند. نتایج نشان داد که مناطق حساس، در فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متری از گسل‌ها، واقع شده‌اند.

حرکت‌های توده‌ای، یکی از مهمترین بلایای طبیعی می‌باشند که باعث وارد آمدن خسارت‌های جانی و مالی سنگین می‌گردند. بر اساس یک برآورد، تا سال ۱۳۸۶، در مجموع بیش از ۴۹۰۰ حرکت توده‌ای در ایران ثبت گردیده است که رقمی بالغ بر ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال به کشور خسارت وارد کرده‌اند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع حرکت‌های توده‌ای، لازم است که پس از تعیین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای، اقدام به تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکت‌های توده‌ای نمود. هدف از تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکت‌های توده‌ای، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آنها بر حسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر حرکت توده‌ای می‌باشد (Varnes, 1984). با تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکت‌های توده‌ای، می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل بالای خطر را شناسایی نموده و با ارائه راه‌حل‌ها و شیوه‌های کنترل و مدیریت مناسب، تا حدی از وقوع حرکت‌های توده‌ای جلوگیری نمود و یا از خسارت‌های ناشی از وقوع آنها کاست.

یکی از مهمترین انواع حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز طالقان، زمین‌لغزش می‌باشد. در زمین‌لغزش، مواد دامنه‌ای در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص که ممکن است یک سطح جهت یافته، یک سطح درزه‌دار یا یک سطح رخ‌دار باشد، بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند (معتمدوزیری و همکاران، ۱۳۹۴). تخریب اراضی زراعی بر اثر وقوع زمین‌لغزش، باعث از دسترس خارج شدن خاک حاصلخیز و به تبع آن، کاهش عملکرد محصولات می‌گردد؛ این در حالی است که برای تشکیل یک سانتی‌متر خاک، حدود ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ سال، زمان لازم است (مطیعی‌لنگرودی، ۱۳۸۹). بنابراین به منظور کنترل تخریب اراضی زراعی و جلوگیری از خسارت‌های مذکور، مطالعه دقیق و علمی زمین‌لغزش، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

اسحاقی (۱۳۸۸)، در حوزه آبخیز صفارود، اقدام به

تغییر کاربری اراضی در وقوع زمین لغزش‌های حوزه آبخیز سیرا در ایران پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که بیشترین درصد زمین لغزش‌ها، در مناطقی به وقوع پیوسته است که دارای تغییر کاربری اراضی از جنگلی و مرتعی به مسکونی و جاده بوده‌اند.

Mashari-eshghabad و همکاران (۲۰۱۲)، اقدام به ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوزه آبخیز تجن در ایران و تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که چهار عامل زاویه شیب، جهت شیب، فاصله از جاده‌ها و بافت خاک، به ترتیب، مؤثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش‌های حوضه می‌باشند.

در حوزه آبخیز طالقان، زمین لغزش از جمله فرآیندهای دامنه‌ای می‌باشد که موجب تخریب اراضی زراعی و نیز افزایش رسوب در خروجی حوضه شده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان و تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، به منظور شناسایی مناطق مستعد به وقوع زمین لغزش و کنترل تخریب اراضی بوده است.

#### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** حوزه آبخیز طالقان با مساحتی حدود ۱۲۴۳۰۳۸ هکتار، در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه و ۱۷ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه طول شرقی، واقع گردیده است (شکل ۱).

حداکثر ارتفاع حوضه، ۴۳۸۰ متر از سطح دریا (در قسمت شمالی حوضه) و حداقل ارتفاع آن، ۱۲۶۰ متر از سطح دریا (در قسمت شمال غربی و ناحیه خروجی حوضه)، می‌باشد. ارتفاع متوسط وزنی حوضه، ۲۷۴۰ متر از سطح دریا، و شیب متوسط وزنی آن، ۳۳.۶ درصد می-

خلج‌زاده و همکاران (۱۳۹۳)، اقدام به تعیین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و تهیه نقشه حساسیت به وقوع آنها در حوزه آبخیز ملک‌فالیز سد کرج با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، نمود. نتایج حاکی از آن بود که عامل حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، بیشترین تأثیر را در وقوع جریان، و عامل بارندگی متوسط سالیانه، بیشترین تأثیر را در وقوع ریزش داشته است.

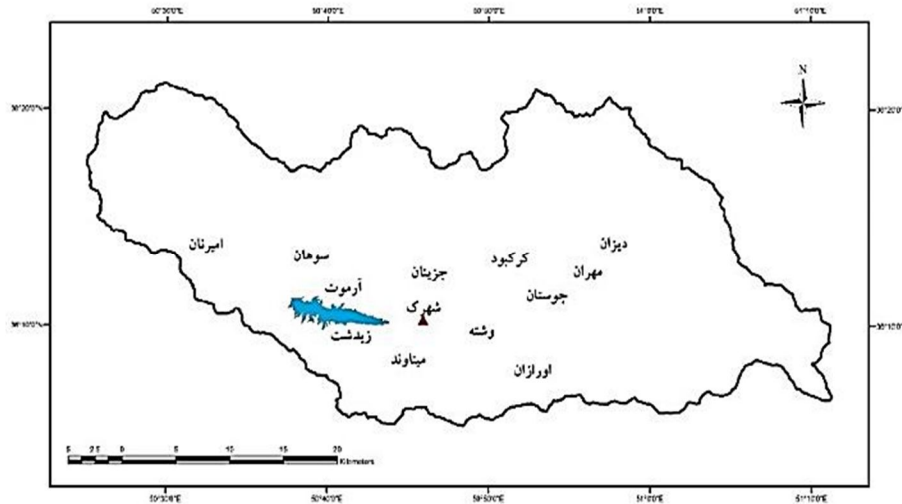
Neuhauser و Terhorst (۲۰۰۷)، اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های جنوب شرقی آلمان و تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره کردند. نتایج نشان داده است که اکثر مناطق مستعد به وقوع زمین لغزش، دارای شیب بین ۱۱ تا ۲۶ درجه بوده و متشکل از سنگ‌های آهکی، خاک‌های رسی و کوهرفت‌های سیلتی، می‌باشند.

Nefleslioglu و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها در حوزه آبخیز ایسپیر واقع در شمال شرقی ترکیه را بررسی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که زاویه شیب، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده‌ها، مهمترین عوامل در وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

Chang و همکاران (۲۰۰۸)، اقدام به بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوزه آبخیز هوشه در مرکز تایوان و تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره نمودند. نتایج نشان داده است که مناطق نزدیک به آبراهه‌ها، مناطق دور از خط‌الرأس‌ها، مناطق واقع در جهت غربی حوزه آبخیز و مناطق دارای سازندهای زمین‌شناسی محتوی لایه‌های شیل و ماسه سنگ، حساس‌ترین مناطق جهت وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه هستند.

Motamedvaziri و Eshaghi (۲۰۱۱)، با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره و تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنسجس از دور (RS)، به ارزیابی نقش

باشد. میانگین بارندگی حوضه، ۵۱۵.۱۶ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه آن، ۱۱.۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز طالقان

آماده گردید. سپس، نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، تهیه شد. در رگرسیون چندمتغیره، رابطه بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل، به طور همزمان، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. متغیر وابسته، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (نشان دهنده میزان حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌ها)، و متغیرهای مستقل، شامل لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه، می‌باشد. بدین منظور، لایه‌های اطلاعاتی کیفی (نظیر جهت شیب، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی)، بر مبنای درصد سطحی لغزش در محدوده هر یک از کلاس‌های آن لایه، کمی گردیدند. سپس لایه واحدهای کاری متشکل از شبکه‌هایی با سطح ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر، تهیه شده و این لایه با لایه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه، که دربرگیرنده ۷۰ درصد از زمین‌لغزش‌ها بود، و همچنین لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، تلفیق گردید. مقادیر کلاس‌های مختلف مربوط به هر یک از عوامل و زمین‌لغزش در هر واحد کاری، به محیط نرم‌افزار SPSS وارد شده و تحلیل

روش تحقیق: در تحقیق حاضر، پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز، اعم از آمار ایستگاه‌های هواشناسی واقع در حوضه و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به حوضه از سازمان‌های مربوطه، اقدام به تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه شد. نقشه پراکنش زمین‌لغزش، نشان‌دهنده گسترش مکانی توده‌های گسیخته شده و لغزش یافته می‌باشد. جهت تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه، ابتدا اقدام به تشخیص زمین‌لغزش‌ها و تعیین موقعیت مکانی آنها بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای منطقه، گردید. متعاقباً با انجام بازدید صحرائی، موقعیت هر یک از زمین‌لغزش‌ها، توسط دستگاه GPS، ثبت گردیده و با وارد کردن اطلاعات حاصل در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه، تهیه شد.

در ادامه، پس از شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه از طریق مرور منابع و بررسی ویژگی‌های مناطق لغزش یافته، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از این عوامل، در محیط نرم‌افزار ArcGIS،

QS بیشتر باشد، مدل از مطلوبیت بیشتری در تفکیک، برخوردار است. منحنی ROC، در محیط نرم افزار SPSS ترسیم گردید. سطح زیر منحنی، نشان دهنده دقت مدل می باشد؛ هر چه سطح زیر منحنی ROC به عدد ۱ نزدیک تر باشد، مدل دارای دقت بیشتری می باشد.

### نتایج و بحث

با استفاده از بازدیدهای صحرایی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان، تهیه گردید (شکل ۲). مجموعاً ۲۳۵ مورد زمین لغزش در حوزه آبخیز طالقان به وقوع پیوسته است که مساحتی حدود ۴۷۴۰.۵۴ هکتار، معادل ۳.۸۱۳ درصد حوضه را پوشش داده‌اند.

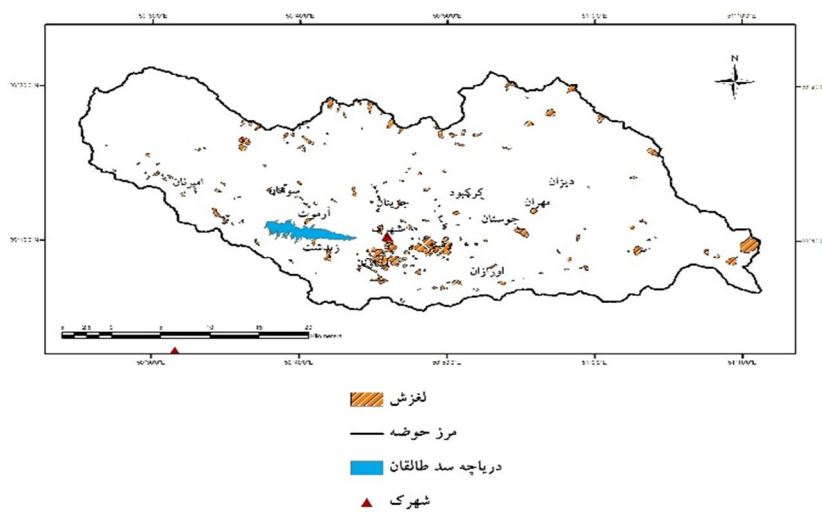
پس شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه، در محیط نرم افزار ArcGIS، اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای حوضه گردید. لایه‌های مذکور، عبارتند از: مدل رقومی ارتفاع (DEM)، طبقات ارتفاعی، زاویه شیب، جهت شیب، شکل شیب، بارش متوسط سالانه، درجه حرارت متوسط سالانه، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از گسل‌ها، فاصله از آبراه‌ها و فاصله از جاده‌های حوضه (شکل ۳).

رگرسیون چندمتغیره خطی به روش گام به گام، انجام شد. بدین ترتیب، مؤثرترین عوامل تعیین شد، ضرایب مربوط به هر یک از آن‌ها استخراج گردید و ضرایب بدست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه اعمال شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی مذکور، با هم همپوشانی داده شدند و لایه اطلاعاتی دربردارنده مقادیر حساسیت به وقوع زمین لغزش‌ها، تهیه گردید. لایه حاصل، در ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، کلاس‌بندی شده و نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش-های حوضه، تهیه شد.

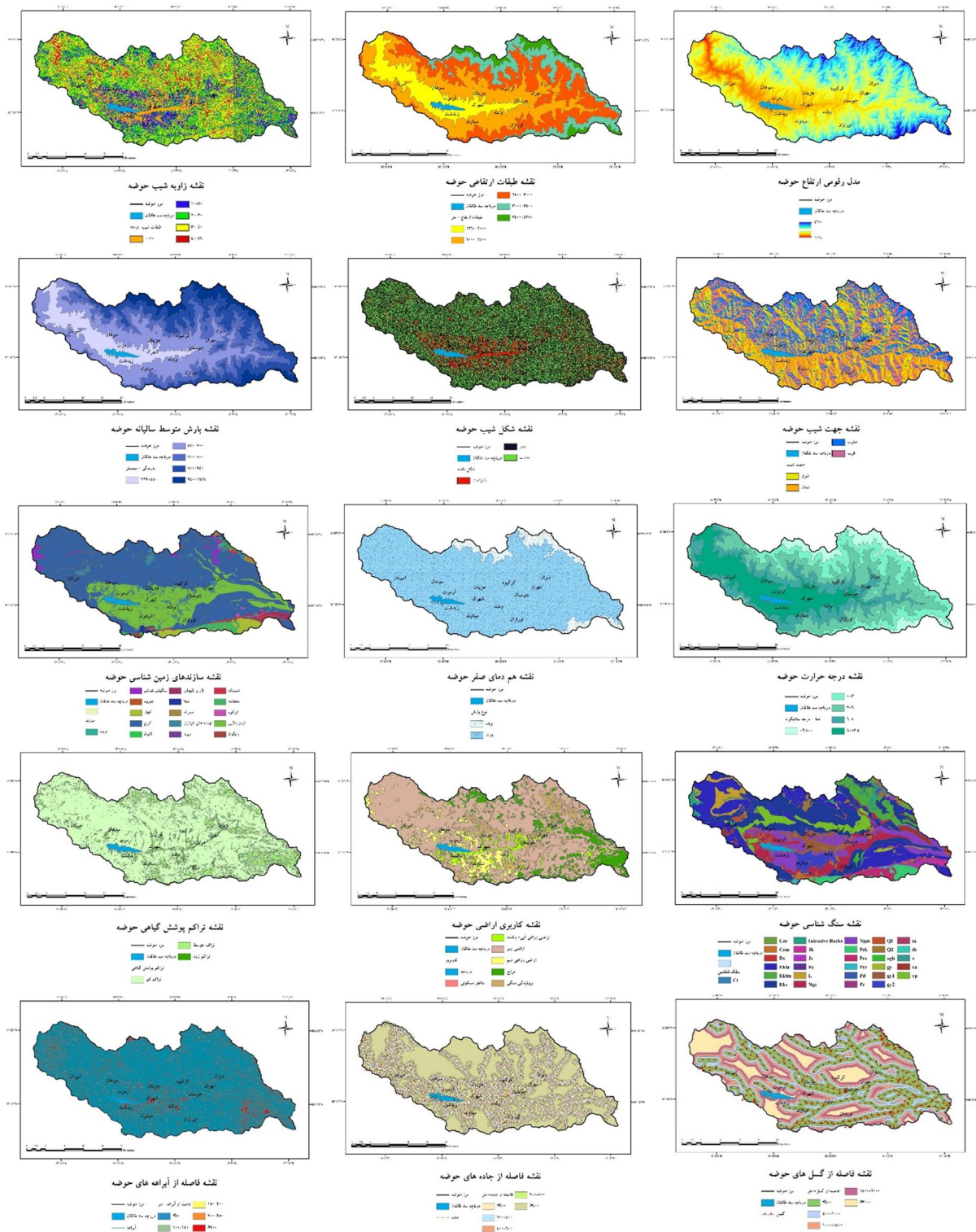
در نهایت، با استفاده از ۳۰ درصد از زمین لغزش‌های حوضه که در مدل مورد استفاده قرار نگرفته بودند، و دو روش جمع مطلوبیت (QS) و منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، دقت مدل رگرسیون چندمتغیره در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش، مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص QS، از رابطه زیر به دست آمد:

$$Q_s = \sum_{i=1}^n [(Dr - 1)^2 \times S] \quad (1)$$

در این رابطه، QS جمع مطلوبیت یا کیفیت، Dr نسبت تراکم، n تعداد کلاس خطر، و S نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه، می باشد. هر چه مقدار



شکل ۲. نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان



شکل ۳. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان

روش رگرسیون گام به گام، صورت پذیرفت. در بهترین مدلی که نرم‌افزار ارائه نمود، مؤثرترین متغیرها در وقوع زمین‌لغزش‌ها، به همراه ضرایب مربوط به هر یک از آنها،

مقادیر کلاس‌های مختلف مربوط به هر یک از عوامل و مقادیر زمین‌لغزش در هر واحد کاری، وارد نرم‌افزار SPSS شده و تحلیل رگرسیونی چندمتغیره، با استفاده از

زمین‌لغزش‌های حوضه تا فاصله ۵۰۰ متری از گسل‌ها، رخ داده‌اند. کاربری اراضی حوضه، نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته است. ۳۰.۹۳ درصد از زمین‌لغزش‌های حوضه در اراضی زراعی دیم و ۷.۹۴ درصد در اراضی زراعی آبی و باغات به وقوع پیوسته‌اند؛ آبیاری اراضی زراعی و ایجاد باغ و احداث شبکه‌های آبیاری بر روی سازندهای حساس حوضه نظیر مارن، در این رخداد تأثیرگذار بوده است. در اطراف جاده‌ها و آبراهه‌های حوضه، میزان زمین‌لغزش‌ها زیاد است و هر چه از جاده‌ها و آبراهه‌ها فاصله می‌گیریم، از میزان آنها کاسته می‌شود؛ به طوری که ۶۱ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۵۰ متری از آبراهه‌ها، و ۲۷.۵ درصد از آنها در فاصله ۲۰۰ متری از جاده‌ها رخ داده‌اند. بررسی‌ها حاکی از این بوده است که رابطه مستقیمی بین میزان بارش و وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه وجود دارد؛ به طوری که با افزایش میزان بارش، احتمال وقوع زمین‌لغزش، به شکل چشمگیری افزایش یافته است. بارش بیش از حد در فصول زمستان و بهار و نیز ذوب برف‌ها در اوایل فصل بهار، عامل اصلی وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان می‌باشد. بررسی ارتباط بین زاویه شیب با وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه، نشان داده است که ۷۰.۳۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های متوسط، در محدوده شیب ۱۰ تا ۳۰ درجه، رخ داده‌اند؛ زیرا در شیب‌های کمتر، معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای، بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است و در شیب‌های بیشتر، خاک در حدی تجمع نمی‌یابد که منجر به وقوع زمین‌لغزش گردد. نتایج مطالعات مربوط به جهت شیب، نشان داده است که بیشترین میزان زمین‌لغزش‌های حوضه، در دامنه‌های با جهت شمالی رخ داده‌اند؛ به طوری که ۲۹ درصد از مجموع زمین‌لغزش‌های حوضه، در دامنه‌های شمالی که مدت کمتری از نور خورشید بهره‌مند بوده و از رطوبت بیشتر برخوردار هستند، به وقوع پیوسته‌اند. شکل شیب

مشخص گردید. جهت تعیین متغیرهای مؤثر، مقدار Sig. آزمون t مربوط به کلیه متغیرها، بررسی شد؛ متغیرهایی که مقدار Sig. آنها کمتر از ۰/۰۵ بود، با اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار بودند. پس از تعیین متغیرهای معنی‌دار، ضرایب مربوط به هر کدام از آنها، استخراج گردید. متغیرهای با ضریب مثبت، باعث افزایش ناپایداری شده و عامل تشدید در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند و بالعکس، متغیرهای با ضریب منفی، باعث کاهش ناپایداری می‌گردند. بهترین معادله رگرسیونی در سطح اطمینان ۹۵ درصد، به شرح زیر می‌باشد:

$$Y=0.318X1-0.095X2+0.082X3+0.057X4+0.027X5+0.022X6-0.203 \quad (2)$$

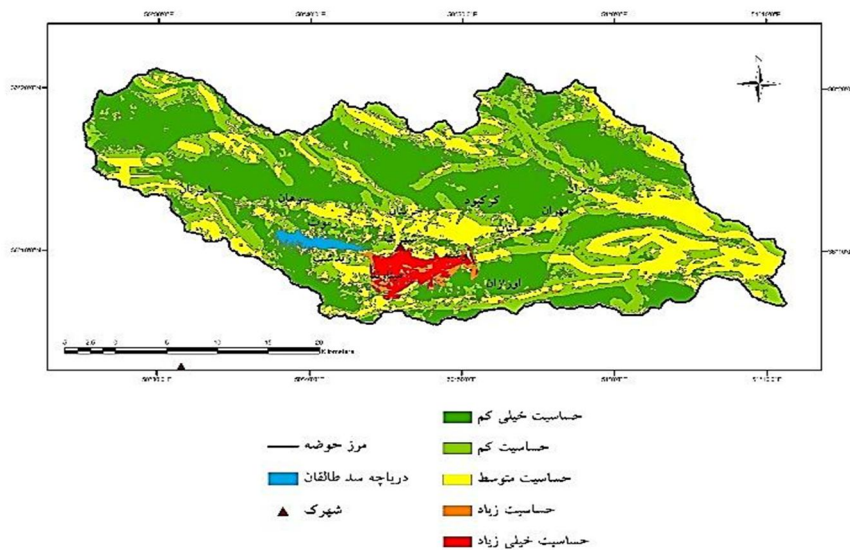
که در آن، Y میزان حساسیت به وقوع زمین‌لغزش، X1 سنگ‌شناسی، X2 فاصله از گسل، X3 کاربری اراضی، X4 بارش متوسط سالانه، X5 شکل شیب دامنه و X6 زاویه شیب دامنه می‌باشد. بنابراین با توجه به مدل رگرسیونی ارائه شده، ۶ عامل سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش متوسط سالانه، شکل شیب دامنه و زاویه شیب دامنه، به ترتیب، مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان بوده‌اند.

در حوضه طالقان، بین نوع سنگ‌شناسی با وقوع زمین‌لغزش‌ها، ارتباط نزدیکی وجود دارد. در بین واحدهای سنگ‌شناسی حوضه، واحد gy2 که متشکل از مارن‌های حاوی مواد گچی و نمکی زیاد بوده و متعلق به سازند زمین‌شناسی قرمز بالایی می‌باشد، بیشترین حساسیت را به وقوع زمین‌لغزش دارد؛ به طوری که ۲۳.۴۶ درصد از زمین‌لغزش‌های حوضه، در این واحد سنگ‌شناسی رخ داده‌اند. علت اصلی حساس بودن این واحد سنگ‌شناسی به وقوع زمین‌لغزش، ریزدانه بودن آن و وجود املاح گچ و نمک می‌باشد. بین فاصله از گسل‌ها و زمین‌لغزش نیز ارتباط معنی‌داری وجود دارد؛ به طوری که با افزایش فاصله از گسل‌ها، از میزان زمین‌لغزش‌ها کاسته می‌شود. در حوزه آبخیز طالقان، ۶۷.۷۳ درصد از

پس از تعیین ضرایب مربوط به عوامل سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش متوسط سالیانه، شکل شیب دامنه و زاویه شیب دامنه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS، ضرایب حاصل بر روی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه اعمال شده و با همپوشانی این لایه‌ها، نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه در ۵ کلاس حساسیت، تهیه شد (شکل ۴، جدول ۱).

جهت ارزیابی دقت مدل در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش، از دو روش جمع مطلوبیت (Qs) و منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، استفاده شد. مقدار سطح زیر منحنی ROC، ۰.۹۲۷ و میزان شاخص Qs، ۲.۵۵۷ بدست آمده است که حاکی از دقت بالای پیش‌بینی مدل رگرسیون چندمتغیره می‌باشد

دامنه‌های حوضه نیز با وقوع حرکت‌های توده‌ای، رابطه معنی‌داری داشته است؛ حدود ۴۵.۴ درصد از زمین‌لغزش‌های حوضه، در دامنه‌های با شکل شیب مقعر، رخ داده‌اند؛ زیرا در دامنه‌های مقعر، آب زیرسطحی در مساحت کوچکی متمرکز شده و سطح ایستابی بالا می‌آید؛ این مسئله، منجر به افزایش فشار آب منفذی و در نتیجه، ناپایداری دامنه می‌گردد. این نتایج، با نتایج تحقیقات اسحاقی (۱۳۸۸)، مردوخ‌پور و معتمدوزیری (۱۳۹۰)، کریمی سنگچی و همکاران (۱۳۹۱)، صفاری و همکاران (۱۳۹۲)، Neuhauser و Terhorst (۲۰۰۷)، Nefleslioglu و همکاران (۲۰۰۸)، Chang و همکاران (۲۰۰۸)، Eshaghi و Motamedvaziri (۲۰۱۱) و Mashari-eshghabad و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر رابطه مستقیم بین عوامل مذکور با وقوع زمین‌لغزش، مطابقت دارد.



شکل ۴. نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز طالقان

جدول ۱. درصد مساحت کلاس‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش

کلاس حساسیت	درصد مساحت طبقه	درصد مساحت لغزش
خیلی کم	۳۹.۶۳	۶.۵۸
کم	۳۲.۲۰	۲۳.۴۶
متوسط	۲۵.۱۳	۴۳.۹۰
زیاد	۰.۸۲	۲.۳۰
خیلی زیاد	۲.۲۲	۲۳.۷۶



## نتیجه‌گیری

حساسیت به وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره (با توجه به مقادیر Qs و ROC برابر با ۲.۵۵۷۲ و ۰.۹۲۷)، قابل اطمینان بوده و می‌تواند توسط مدیران و مهندسان، به کار برده شود. عوامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و گسل)، بارش و شبکه آبراهه‌ها، که جزء عوامل طبیعی مهم در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه هستند، غیر قابل تغییر می‌باشند؛ این در حالی است که عوامل کاربری اراضی و جاده‌سازی که از عوامل مهم انسانی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه می‌باشند، قابلیت بیشتری برای مدیریت دارند. با اعمال کاربری‌های اراضی مناسب، احداث جاده‌ها بر اساس شرایط منطقه و جلوگیری از احداث جاده‌های غیراصولی، می‌توان از تحریک و افزایش زمین‌لغزش‌ها و تخریب اراضی، جلوگیری نمود.

حوزه آبخیز طالقان، به علت دارا بودن مساحت قابل توجهی از مارن‌های دوره میوسن، کوهستانی بودن، داشتن بارش و رطوبت قابل ملاحظه، تغییرات کاربری اراضی غیرمجاز و دست‌درازی به اراضی ملی، و همچنین احداث سد طالقان به منظور تأمین آب شرب و کشاورزی، دارای پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در حوزه آبخیز طالقان، ۲۳۵ مورد زمین‌لغزش رخ داده است که این زمین‌لغزش‌ها، خسارت‌های زیادی را به اراضی زراعی و دیگر منابع موجود در حوضه، وارد نموده‌اند. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه و تهیه نقشه حساسیت به وقوع آنها با استفاده از یک روش مناسب، می‌تواند کمک مؤثری به تدوین برنامه مدیریت خطر و کاهش خسارت‌های حاصل از این پدیده، بنماید. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، نقشه

## فهرست منابع

- اسحاقی، ا. ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی آن در حوزه آبخیز صفارود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۲۲ صفحه.
- خلج‌زاده، م.، معتمدوزیری، ب.، احمدی، ح. و سفیدگری، ر. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای تشدید کننده سیلاب واریزه‌ای و آلوده‌کننده منابع آب و خاک حوزه سد کرج (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ملک‌فالیز سد کرج). فصلنامه فن-آوری‌های نوین در مهندسی محیط زیست و منابع تجدیدپذیر، ۱(۲): ۲۷-۳۸.
- صفاری، ا.، علیمرادی، م. و حاتمی‌فرد، ر. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون چندمتغیره با استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳): ۵۹-۷۴.
- کریمی‌سنگچی، ا.، اونق، م. و سعدالدین، ا. ۱۳۹۰. مقایسه کارایی چهار مدل کمی و نیمه‌کمی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۹(۱): ۱۸۳-۱۹۶.
- مرادی، ح.ر.، محمدی، م. و پورقاسمی، ح.ر. ۱۳۹۱. حرکات دامنه‌ای با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش. انتشارات سمت، ۲۰۹ صفحه.
- مردوخ‌پور، گ. و معتمدوزیری، ب. ۱۳۹۰. بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آبی‌در). فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱: ۱۰۵-۱۱۶.
- معتمدوزیری، ب.، سلیمان‌پور، س.م. و اسحاقی، ا. ۱۳۹۴. حرکت‌های توده‌ای زمین. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۴۷۴ صفحه.
- مهیدیان، م.ح. ۱۳۸۴. بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران. سومین همایش فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ایران.

- Chang, K.T., Chiang S.H. and Hsu M.L. 2008. Modeling typhoon and earthquake induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression. *Geomorphology*, 89:335-347.
- Mashari eshghabad, S., Solaimani, K. and Omidvar, E. 2012. Landslide Susceptibility Mapping Using Multiple Regression and GIS Tools in Tajan Basin, North of Iran. *Environment and Natural Resources Research*, 2(3): 43-51.
- Motamedvaziri, B. and Eshaghi, A. 2011. The effects of land-use changes on landslides Occurrence in Sira watershed, Iran. *Proceedings of the Second World Landslide Forum, Rome, Italy*.
- 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.
- Neuhaus, B. and Terhorst, B. 2006. Landslide susceptibility assessment using weights of evidence applied to a study area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany). *Geomorphology*, PP: 1-13.



## Landslide susceptibility mapping in order to control the agricultural land degradation (case study: Taleghan watershed)

Amir Eshaghi<sup>1</sup>, Hasan Ahmadi<sup>2</sup>, Baharak Motamedvaziri<sup>3\*</sup> and Aliakbar Nazari Samani<sup>4</sup>

1) PhD Student in Sciences and Engineering of Watershed Management, Department of Watershed Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2) Full Professor, Department of Watershed Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3) Assistant Professor, Department of Watershed Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\*Corresponding author Email: [bm vaziri@gmail.com](mailto:bm vaziri@gmail.com)

4) Associate Professor, Department of Arid & Mountainous Region Reclamation, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 24-03-2016

Accepted: 03-05-2016

### Abstract

Landslide is one of the most important factors in agricultural land degradation of Taleghan watershed. Landslide is a type of mass movement causing land degradation, accelerating soil erosion and delivering sediments to Taleghan dam, annually. Landslide susceptibility mapping is the first step for landslide hazard assessment and mitigation. The main aim of this study has been the landslide susceptibility mapping in order to identify areas prone to this phenomena and controlling land degradation in Taleghan watershed. For this purpose, thematic maps of effective factors on landslide, including elevation, slope angle, slope direction, slope shape, mean annual precipitation, mean annual temperature, lithology, land-use, vegetation density, distance from faults, distance from streams and distance from roads, are prepared by using geographical information system (GIS), topographic maps, satellite images and field survey. These factors were analyzed using multiple regression method to prepare the landslide susceptibility maps. The results showed that about 26 percent of watershed lands have been situated in high and very high susceptible areas most of which are in lithology gy2 classification (consisting of marl with high gypsum and salt), have rain-fed land-use and are located at 0-500 meter distances from the faults.

**Keywords:** landslides, land degradation, susceptibility map, Taleghan basin