

پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز رودخانه سیکان با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک

- ❖ محمدرضا ثروتی*؛ استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ❖ کاظم نصرتی؛ استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ❖ شیما حسونودی؛ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ❖ بابک میرباقری؛ مربی مرکز GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ای مخاطرات مهمی هستند که موجب زیان‌های اقتصادی می‌شوند. حوزه رودخانه سیکان، به دلیل شرایط توپوگرافی، تکتونیک، زمین‌شناسی، چینه‌شناسی، و اقلیم مستعد زمین‌لغزش است و همواره این پدیده اتفاق می‌افتد. هدف از این مطالعه شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه رودخانه سیکان، تعیین پتانسیل، و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آن است. بدین منظور، یازده ویژگی-شامل متغیرهای ارتفاع به متر، شیب به درجه، جهت شیب، شکل سطح زمین، جنس سازند، فاصله از گسل به متر، فاصله از رودخانه به متر، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از روستا، و بافت خاک- به عنوان متغیر مستقل و پراکنش زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، تحلیل شد. نتایج نشان داد عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در حوضه به ترتیب عبارت‌اند از عوامل فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب، و شکل سطح زمین. در نهایت، منطقه مورد مطالعه، از نظر حساسیت به خطر وقوع زمین‌لغزش، به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که، بر اساس آن، ۱۹/۰۵ کیلومتر مربع دارای خطر خیلی کم بود، ۱۵/۸۵ کیلومتر مربع دارای خطر کم، ۱۴/۹۴ کیلومتر مربع با خطر متوسط، ۱۴/۵۸ کیلومتر مربع با خطر زیاد، و ۹/۰۶ کیلومتر مربع نیز دارای خطر خیلی زیاد. ارزیابی مدل نشان داد که میزان دقت مدل در این حوضه ۷۴/۲ درصد است. نتایج این مطالعه می‌تواند در مدیریت خطر زمین‌لغزش و کنترل عوامل تشدیدکننده مفید باشد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر، حوزه آبخیز رودخانه سیکان، رگرسیون لجستیک، زمین‌لغزش، شهرستان دره‌شهر.

مقدمه

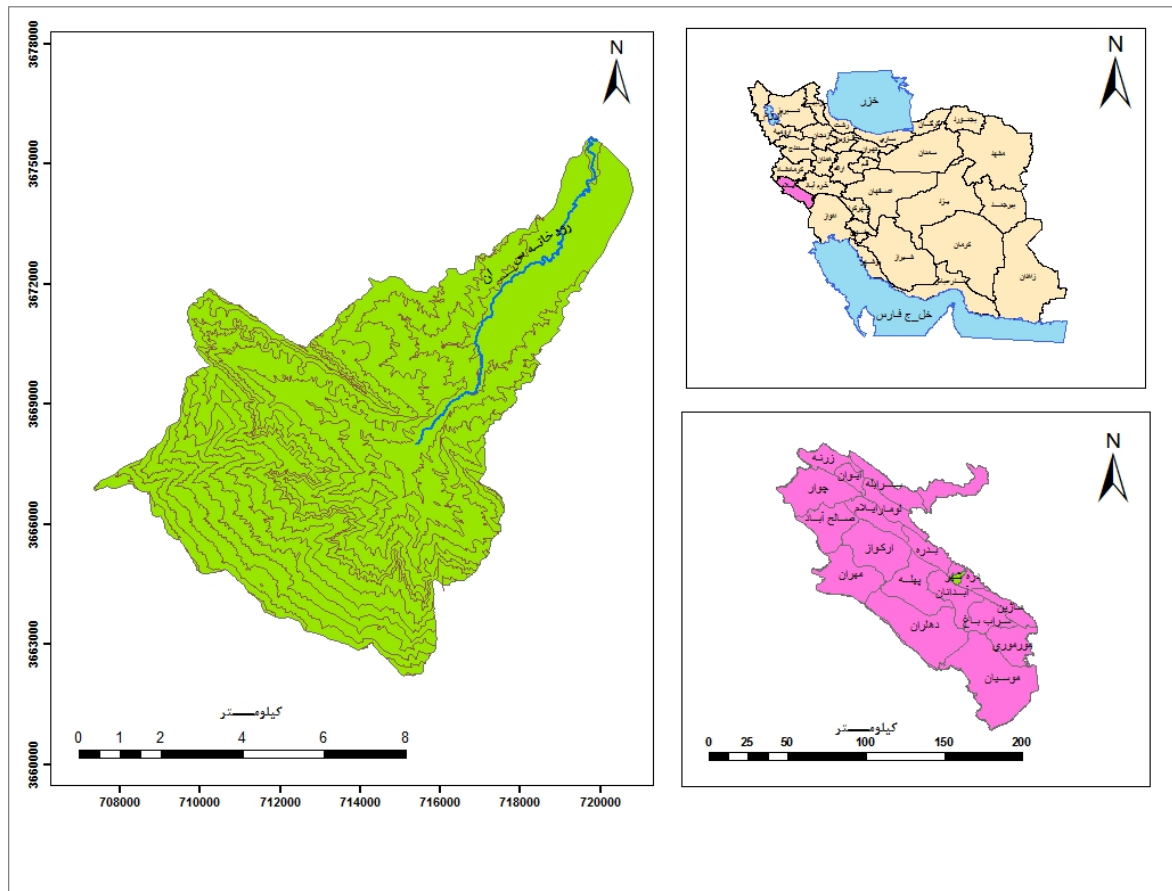
مخاطرات ژئومورفولوژیک به عنوان پدیده‌ای بالقوه زیان‌بار [۵] مطرح است؛ حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها از مهم‌ترین این مخاطرات‌اند. این حرکات تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهند. این مخاطره، که در بسیاری از مناطق جهان اتفاق می‌افتد، هرساله خسارات بی‌شماری به زندگی و دارایی افراد وارد می‌سازد. به عنوان مثال، میانگین خسارات اقتصادی آن سالانه حدود ۱/۵ میلیون دلار در ایالات متحده، ۲ میلیون دلار در ژاپن، و ۲ میلیون دلار در ایتالیاست [۴]. این مخاطره، در ایران، سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت وارد می‌کند و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی برگشت‌ناپذیر به حساب آورده نشود [۱۶]. از آغاز تشکیل بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های کشور تا تاریخ ۳۰/۶/۱۳۸۵ این مخاطره به ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال خسارات مالی، ۱۸۵ نفر تلفات جانی، جابه‌جایی و وارد شدن ۶۰۷۵۳۷۸ متر مکعب خاک به داخل رودخانه‌ها، خسارت به ۲۱۳۷ باب منزل مسکونی، و تولید ۱۷۸۷۸۲۸ متر مکعب بر کیلومتر مربع رسوب منجر شده است. زمین‌لغزش‌ها تقریباً ۹٪ از بلایای طبیعی راه، که در سراسر جهان در طی سال ۱۹۹۰ اتفاق افتاده، به خود اختصاص داده‌اند [۱۴] و به نظر می‌رسد در دهه‌های بعدی، به دلیل توسعه شهرها و جاده‌سازی و قطع پیوسته جنگل‌ها در مناطق مستعد زمین‌لغزش ادامه داشته باشد. تاکنون از تکنیک‌های فراوانی برای پیش‌بینی زمین‌لغزش‌ها استفاده شده است، که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از ارزیابی‌های کارشناسی، روش‌های آماری، و رویکردهای مکانیکی [۹]. در این زمینه مطالعاتی صورت گرفته، از جمله اینکه برخی از پژوهشگران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و بر اساس GIS به مطالعه و

پهنه‌بندی زمین‌لغزش در برخی نقاط جهان پرداختند [۲۱، ۲۶، ۷، ۲۵، ۲۷، ۲۲، ۸]. در ایران نیز برخی از محققان به مطالعه زمین‌لغزش‌های کشور، به عنوان یکی از مهم‌ترین امور لازم برای مقابله با خطرات ناشی از آن، پرداخته‌اند [۱۹، ۱۵، ۲۳، ۱۳]. با توجه به خسارت‌هایی که زمین‌لغزش‌ها به اراضی کشاورزی و منابع طبیعی و اقتصادی وارد می‌سازند، ضرورت تحقیق و برنامه‌ریزی برای جلوگیری از وقوع و یا کاهش خسارت ناشی از آن‌ها اهمیت می‌یابد. این برنامه‌ریزی‌ها نیز در صورتی ثمربخش خواهد بود که ناپایداری‌های دامنه‌ای، زمین‌لغزش‌ها، و عوامل ایجادکننده آن‌ها به موقع شناسایی شود، بنابراین، شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش برای ساکنان منطقه مورد اهمیت است و ضرورت دارد تا مناطق پُرخطر شناسایی شوند. بدین ترتیب، هدف از این مطالعه شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز رودخانه سیکان و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آن است.

روش شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه سیکان با مساحت ۷۳/۶ کیلومتر مربع در محدوده طول جغرافیایی ۲۲° ۴۷' تا ۱۵' ۴۷° و عرض جغرافیایی ۱۰' ۳۳° تا ۵' ۳۳° در شهرستان دره‌شهر واقع شده است که شامل رودخانه سیکان و اراضی شمال شهرستان دره‌شهر از حاشیه دشت تا محور رودخانه سیمره است - که بخش کوچکی از حوزه آبریز رودخانه کرخه است. حداکثر ارتفاع حوزه رودخانه سیکان در منتهی‌الیه جنوب غربی قله رشته‌کوه‌های کبیرکوه با ارتفاع ۲۱۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است و پست‌ترین نقطه در شمال شرقی و حاشیه رودخانه سیمره با رقم ۵۵۰ متر قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت حوزه رودخانه سیکان در استان و ایران

منطقه است که تهیه نقشه مزبور را با محدودیت مواجه کرده است. به همین دلیل، نخست نقشه اولیه پراکنش زمین‌لغزش، با توجه به عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. سپس، با اجرای بررسی‌های میدانی و برداشت پهناهای لغزشی (شامل ۵۳ پهنا) تکمیل گردید. متغیرهای مستقل (شکل ۲، الف تا ذ) شامل نقشه پوشش-کاربری زمین از طریق تصاویر ماهواره‌ای در هفت طبقه (جنگل متراکم، جنگل با تراکم متوسط، جنگل با تراکم پایین، اراضی مخلوط (اراضی کشاورزی-کشاورزی دیم)، اراضی مخلوط (کشاورزی دیم و غیره)، مراتع متوسط، و مراتع تنک) تهیه شد. همچنین، لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، پروفیل شکل سطح زمین، شبکه هیدروگرافی، راه‌های ارتباطی، و روستاها از طریق

داده‌ها و اطلاعات

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی کبیرکوه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، سال ۱۳۴۰، و تصاویر ماهواره‌ای ETM ایلام استفاده شد. در بررسی حاضر برای ورود و ذخیره‌سازی اطلاعات، تحلیل‌ها، و پهنا‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه رودخانه سیکان از سیستم اطلاعات (GIS) استفاده شد. نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه (شکل ۲ ر) از طریق تفسیر عکس‌های هوایی منطقه و بازدیدهای میدانی تهیه شد. از مشکلات تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش کوهستانی بودن حوزه و وجود نقاط پُرشیب در

اسمی، فاصله‌ای، ترتیبی، و نسبی باشند. چنانچه در مدل رگرسیون لجستیک احتمال وقوع پدیده (p) برآورد شود، معادله آن مطابق رابطه ۱ است.

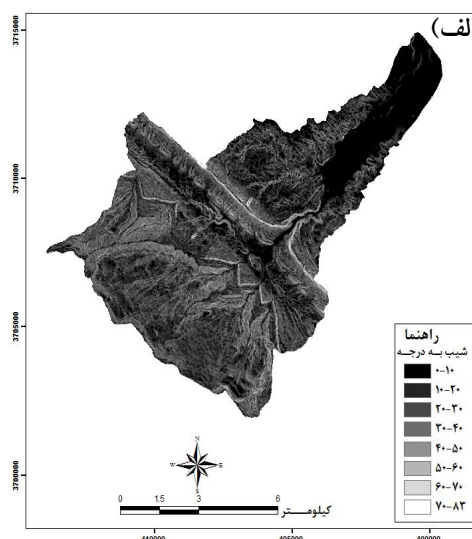
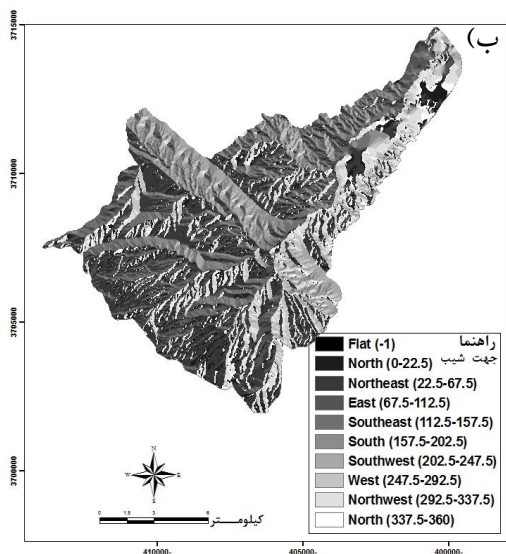
رابطه ۱

$Y = \text{Logit}(p) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$
 که در آن p احتمال وقوع و $\text{Logit}(p) = \ln(p/1-p)$ ، b_0 عدد ثابت متغیرهای مستقل و x_i تا x_n متغیرهای مستقل و b_1 تا b_n نیز به ترتیب ضرایب این متغیرها هستند. در واقع، در معادله فوق مقادیر $\text{Logit}(p)$ برآورد می‌شود، سپس، بر اساس آن مقدار p استخراج می‌گردد. این مدل حضور و عدم حضور متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل تحلیل و بررسی می‌کند [۱۲]. به منظور تفسیر مناسب در معادله از ضرایب با لگاریتم طبیعی در مبنای عدد نپرین استفاده شده است. اگر ضریب مثبت باشد، مقدار لگاریتم تغییر یافته بزرگ‌تر از یک خواهد شد که احتمال وقوع حادثه بیشتر می‌شود. اگر ضریب منفی باشد، این مقدار کمتر از یک خواهد شد و احتمال وقوع حادثه کمتر می‌شود [۱۲، ۱۷].

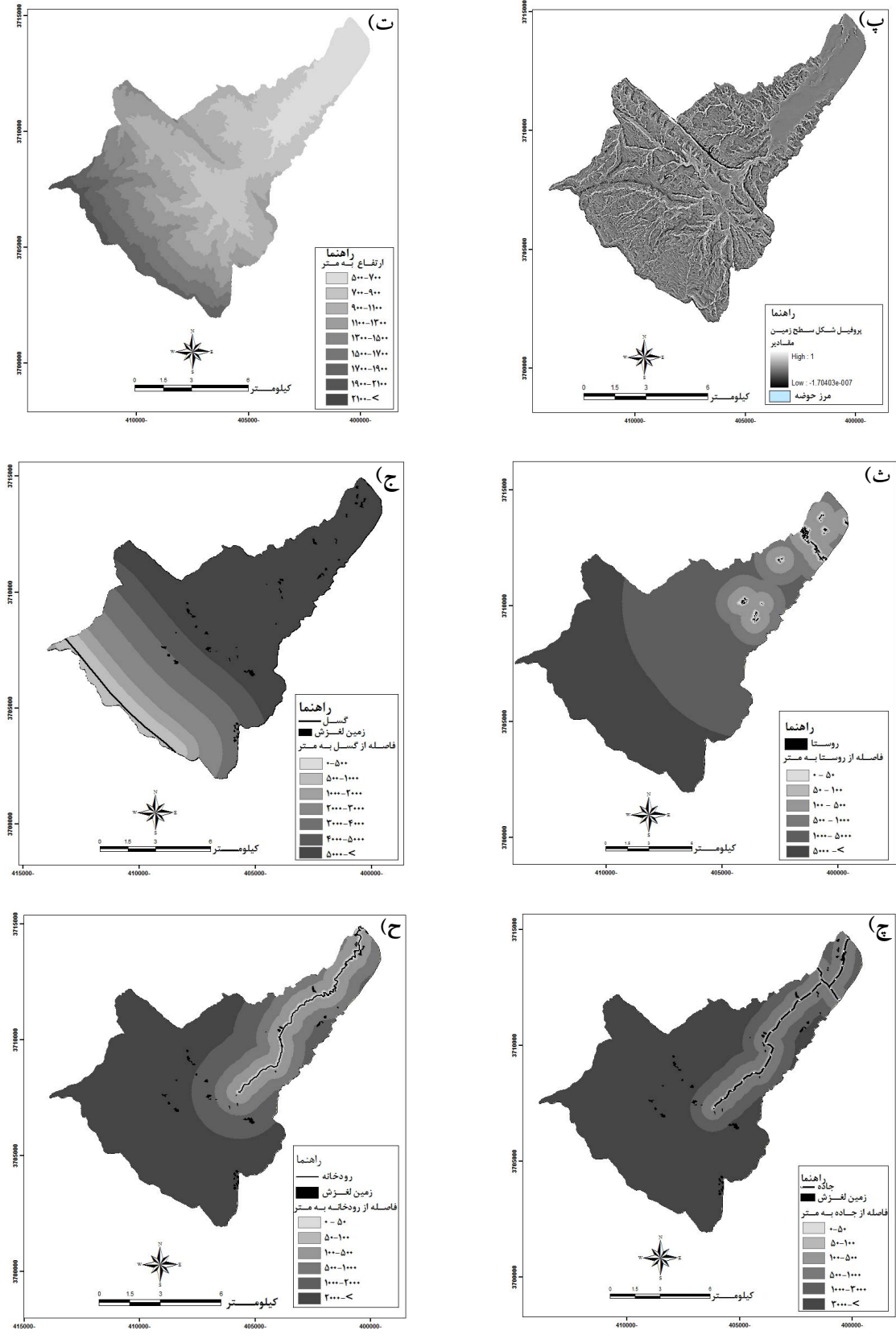
نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد و لایه‌های گسل، بافت خاک، و جنس سازند با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تهیه گردید. برای کلیه لایه‌ها سیستم مختصات واحد UTM انتخاب شد.

رگرسیون لجستیک

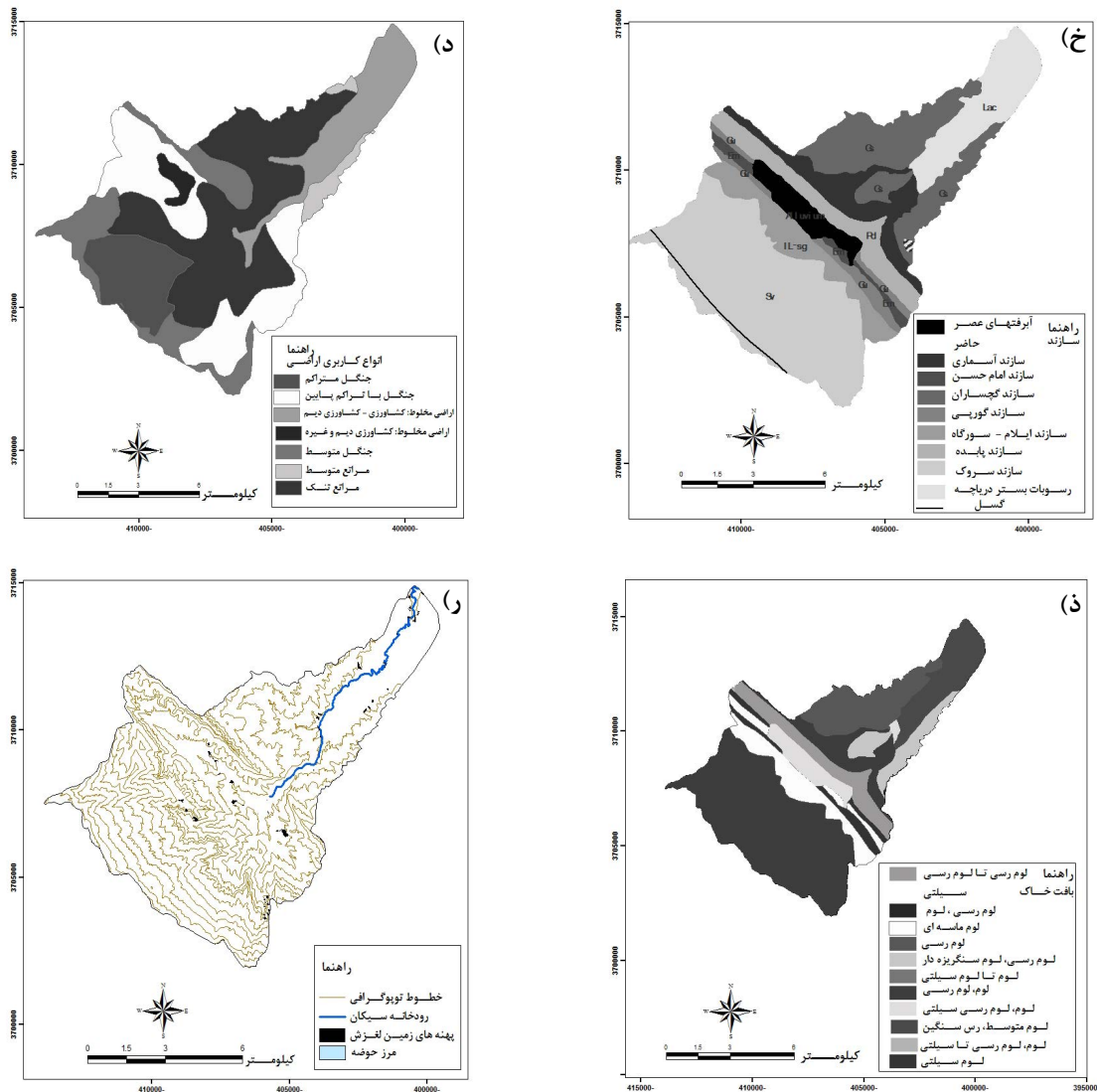
از مدل‌های آماری مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش، بر اساس داده‌های موجود، مدل رگرسیون است. در مدل رگرسیون، بر اساس داده‌های موجود، معادله‌ای برای پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته (Y) بر اساس یک یا چند متغیر پیش‌بینی‌کننده مستقل X_i به دست خواهد آمد. مدل رگرسیون لجستیک وجود و نبود متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل تحلیل می‌کند [۱۲]، که متغیر وابسته (وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش) متغیر کیفی دو حالت است و فقط ارزش ۱ و ۰ دارد. این رگرسیون روشی کاملاً کمی است که میزان تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل را به صورت کمی و از طریق ضرایب و آنتی لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند [۱۷، ۱۲، ۲۰، ۲۷]. متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده متغیر وابسته‌اند و می‌توانند به صورت



شکل ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک



شکل ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک (ادامه)



شکل ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل لجستیک (ادامه)

مشارکت نداشتند، استفاده شد [۳]. شاخص دقت کلی احتمال طبقه‌بندی صحیح یک نمونه را نشان می‌دهد که بیانگر نسبت مجموع نقاطی که به‌درستی طبقه‌بندی شده به مجموع کل نقاط است (معادله ۲). رابطه ۲

$$\text{Overall accuracy} = \frac{T_{11} + T_{..}}{T_{11} + T_{..} + T_{.1} + T_{.1}} \times 100$$

بر اساس این رابطه، T_{11} تعداد نقاطی است که در واقعیت دارای زمین‌لغزش است و مدل نیز آن‌ها را

ارزیابی دقت مدل

دو قانون برای ارزیابی نقشه قابلیت خطر رخداد زمین‌لغزش ارائه شده است [۶]: ۱. زمین‌لغزش‌های موجود بر مناطق با پتانسیل زیاد منطبق باشند؛ ۲. مقادیر پتانسیل زیاد فقط مناطق کوچک را پوشش دهد. در این مطالعه آستانه ۰٫۵ برای نقشه پتانسیل زمین‌لغزش در نظر گرفته شد [۲۲]. برای ارزیابی دقت مدل از شاخص دقت کلی [۱۰] و میانگین مربعات خطا در ۱۰ درصد نمونه‌ها، که در ایجاد مدل

زمین‌لغزش کم و یا بدون رخداد زمین‌لغزش بودند در یک رده قرار گرفتند و رده‌هایی که زمین‌لغزش در آن‌ها رخ داده بود به صورت رده‌ای جداگانه بررسی شدند [۱، ۲، ۱۱]. پس از اجرای مدل با روش Enter همه لایه‌ها تحلیل شدند. بدین صورت که نخست به منظور آگاهی بیشتر از ارتباط علت و معلولی بین متغیرها، لایه‌های عامل به صورت جداگانه در مدل وارد شدند و رگرسیون تک‌متغیره اجرا شد (جدول ۱). بر اساس جدول ۱، لایه‌های گسل، ارتفاع، بافت خاک، و جهت شیب به دلیل اینکه ارتباط معنی‌داری را نشان نمی‌دادند از مدل حذف شدند. عامل جاده نیز، به دلیل اینکه با متغیر فاصله از روستا دارای همبستگی بالایی بود، از معادله خارج شد. سپس، لایه‌های باقی‌مانده، که شامل فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب، و شکل سطح زمین بودند، وارد مدل شدند که ضرایب آن‌ها در جدول ۲ آمده است.

درست پیش‌بینی کرده است، T_{00} تعداد نقاطی است که هم در واقعیت و هم در مدل در آنجا زمین‌لغزش اتفاق نیفتاده است، T_{01} تعداد نقاطی است که در واقعیت دارای زمین‌لغزش‌اند، ولی مدل آن‌ها را پیش‌بینی نکرده است، و T_{01} نیز نقاطی هستند که در واقعیت بدون زمین‌لغزش بوده‌اند، اما مدل آن‌ها را پیش‌بینی کرده است.

نتایج

به منظور اجرای مدل رگرسیون لجستیک، نخست عوامل مؤثر در زمین‌لغزش به لایه رستری با پیکسل‌سایز ۱۰ متر تبدیل شد. مشاهدات زمین‌لغزش نیز در لایه‌ای جداگانه قرار گرفت و برای نقاط دارای زمین‌لغزش ارزش ۱ و نقاط بدون زمین‌لغزش ارزش صفر در نظر گرفته شد. پس از تهیه نقشه جنس سازند و کاربری اراضی و بافت خاک، نقشه پراکنش زمین‌لغزش بر روی آن‌ها قرار داده شد و، بر اساس درصد فراوانی وقوع زمین‌لغزش در هر کدام از رده‌های این عوامل، تعداد رده‌هایی که دارای

جدول ۱. نتایج رگرسیون تک‌متغیره

B	معنی‌داری	متغیر
۸٫۷۳	۰٫۰۰۰	شکل سطح زمین
۴٫۰۷	۰٫۰۰۰	فاصله از جاده
۳٫۸۳	۰٫۰۰۰	فاصله از رودخانه
۲٫۴۷	۰٫۰۰۰	فاصله از روستا
۱٫۸۶	۰٫۰۰۰	کاربری اراضی
۱٫۰۴	۰٫۰۰۰	جنس سازند
۰٫۹۳	۰٫۰۰۰	شیب
-۰٫۳۴	۰٫۰۰۰	بافت خاک
-۲٫۱۲	۰٫۰۰۰	فاصله از گسل
-۴٫۴۷	۰٫۰۰۰	ارتفاع
۰٫۰۵	۰٫۲۸۴	جهت شیب

جدول ۲. ضرایب به دست آمده از رگرسیون چندمتغیره

متغیر	معنی داری	B	Raos
فاصله از رودخانه	۰,۰۰۰	۱۰,۱۹	۸۴۸,۵۰
کاربری اراضی	۰,۰۰۰	۰,۹۶	۵۲۹,۹۹
فاصله از روستا	۰,۰۰۰	-۶,۷۴	۵۱۵,۷۴
جنس سازند	۰,۰۰۰	۰,۷۸	۳۲۷,۶۱
شیب	۰,۰۰۰	۴,۰۵	۳۰,۹۰
شکل سطح زمین	۰,۰۲۵	۴,۹۷	۲۰,۸۲
عدد ثابت	۰,۰۰۰	-۷,۷۲	

زمین لغزش، که به ارزش صفر و ۱ رسیده شد، اطلاعات همه لایه‌ها به نقشه پراکنش زمین لغزش معرفی شد و همه داده‌ها برای اجرای مدل لجستیک در محیط SPSS با روش Enter آماده شد. بر اساس ضرایب انتخاب شده، که در جدول ۳ قابل مشاهده است، در نهایت، ضرایب لایه‌های فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب و شکل سطح زمین به عنوان ضرایب نهایی برای اجرای معادله استفاده شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به ۵ کلاس خطر خیلی کم (۱۹,۰۵)، کم (۱۵,۸۵)، متوسط (۱۴,۹۴)، زیاد (۱۴,۵۸)، و خیلی زیاد (۹,۰۶) در واحد کیلومتر مربع طبقه‌بندی شد (شکل ۳)، که به ترتیب ۲۵,۹۲، ۲۱,۵۷، ۲۰,۳۳، ۱۹,۸۴، و ۱۲,۳۲ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص دادند. همان طور که در شکل ۴ قابل مشاهده است، نخست با افزایش شیب و ارتفاع تراکم زمین لغزش‌ها زیاد شده و سپس کاهش پیدا کرده است، که این امر به دلیل قرارگیری سازندهای سخت در نواحی مرتفع حوضه بوده است. وجود نواحی پُرخطر در بخش‌های پایین دست حوضه نیز به دلیل وجود عوامل رودخانه، روستا، و جنس سازند بوده است.

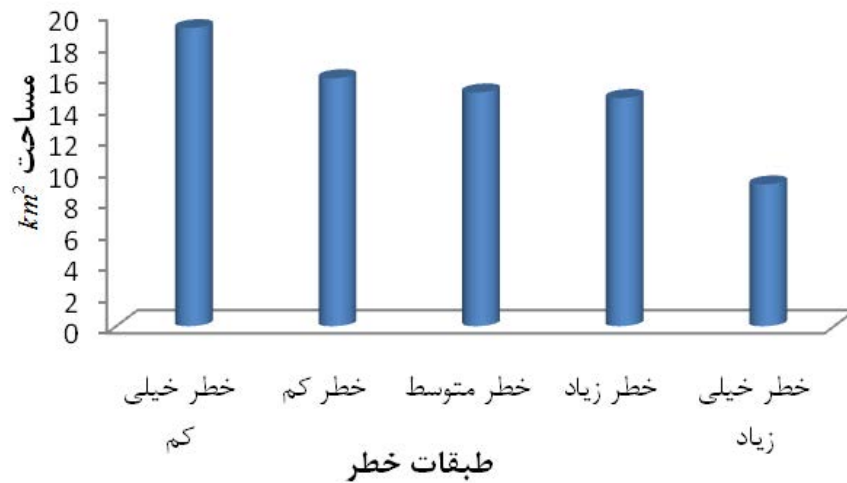
مطابق جدول ۲ و بر اساس مقادیر ضریب Raos، به ترتیب لایه‌های فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب، و شکل سطح زمین بیشترین تأثیر را در رخداد زمین لغزش‌های حوضه داشتند. همان گونه که از جدول ۱ قابل مشاهده است، رگرسیون تک‌متغیره عوامل ذکر شده دارای ضرایب مثبت بوده و معنی دارند، اما بعد از اجرای رگرسیون چندمتغیره ضرایب برخی از لایه‌ها از جمله روستا از حالت مثبت خارج شده و منفی شده‌اند، که این امر به علت ارتباط متقابلی است که بین متغیرها وجود دارد، و این در حالی بود که هر کدام از این متغیرها به صورت تک‌متغیره ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دادند. اما از آنجا که در رگرسیون هدف پیش‌بینی بهتر است، همه ضرایب مثبت و منفی در معادله قرار داده شد که طبق رابطه ۲ در محیط GIS اجرا گردید:

رابطه ۳

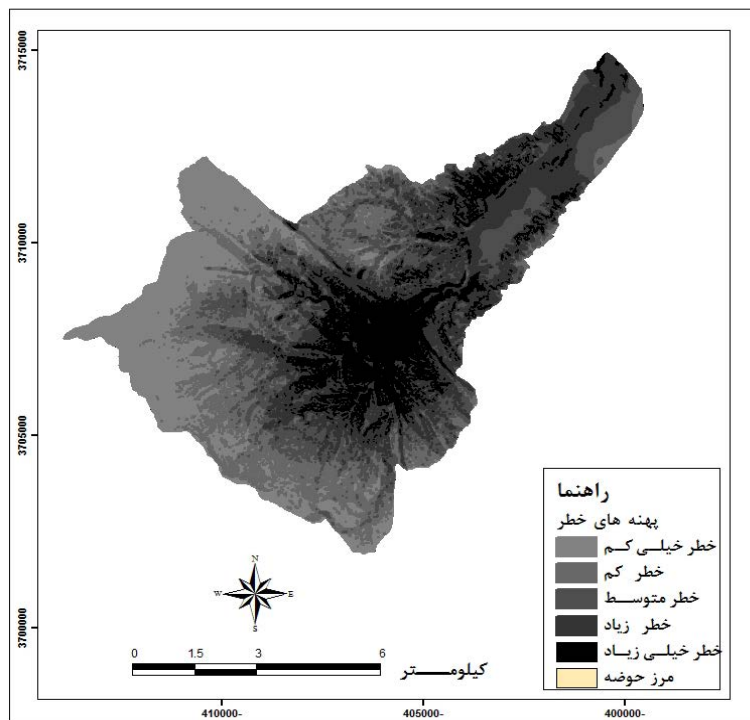
$$\text{Logit}(p) = \text{EXP}((-7/724) + 10/195 \times X_1 + 0/968 \times X_2 + (-6/749) \times X_3 + \dots B_n X_n) / (1 + \text{EXP}((-7/724) + 10/195 \times X_1 + 0/968 \times X_2 + (-6/749) \times X_3 + \dots B_n X_n))$$

نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش

پس از آماده‌سازی لایه‌های عامل و تهیه نقشه پراکنش



شکل ۳. مساحت طبقات مختلف خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه به کیلومتر مربع



شکل ۴. نقشه پتانسیل خطر زمین‌لغزش در حوزه

زمین‌لغزش و مقادیر پایین‌تر از آن نیز به عنوان نقاط بدون زمین‌لغزش در نظر گرفته شده است، که بر اساس آن میزان دقت مدل در این حوزه ۷۴٫۲ درصد بوده است. همچنین، میانگین مربعات خطا برای مدل در رده‌های مختلف پتانسیل خطر زمین‌لغزش ۰٫۲۸ است (جدول ۳).

ارزیابی دقت مدل

با توجه به رابطه ۲، شاخص دقت کلی برای مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده زمین‌لغزش برای داده‌های جدول ۱ محاسبه شد. آستانه ۰٫۵ برای نقشه پتانسیل زمین‌لغزش در نظر گرفته شد؛ به این صورت که مقادیر بالای ۰٫۵ معادل نقاط پیش‌بینی شده

جدول ۳. مقادیر واقعی و پیش‌بینی

مقادیر واقعی		مقادیر پیش‌بینی شده	
T_{11}	T_{10}	T_{01}	T_{00}
۲۲۸۳	۱۰	۷۹۲	۲۱

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از مدل به‌کاررفته، پس از اجرای رگرسیون تک‌متغیره به منظور شناخت روابط علت و معلولی، و سپس رگرسیون لجستیک به منظور پیش‌بینی بهتر زمین‌لغزش‌ها، ضرایب نهایی بر اساس جدول ۳ به دست آمد. این ضرایب نشان داد وقوع زمین‌لغزش در حوضه با عوامل فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از روستا، جنس سازند، شیب، و شکل سطح زمین ارتباط معناداری دارد و با عوامل جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، و بافت خاک ارتباط معناداری ندارد. همچنین، عامل فاصله از جاده- به علت همبستگی بالایی که با عامل فاصله از روستا داشت- از معادله حذف شد.

نتایج این مطالعه در بررسی کارایی این مدل با دیگر مطالعات هماهنگی دارد. به طوری که در مطالعه زمین‌لغزش‌های حوزه آبریز سرخون در استان چهارمحال و بختیاری، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، نتایج نشان داد که این مدل نسبت به بقیه مدل‌ها از جمله رگرسیون خطی از صحت بالاتری برخوردار است [۱۵]. محققان در ارزیابی پتانسیل خطر زمین‌لغزش حوزه رود نوژیان (استان لرستان) از این مدل استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل رگرسیون لجستیک در ارزیابی پتانسیل خطرپذیری زمین‌لغزش با استفاده از عوامل مؤثر در وقوع آن، به‌ویژه لرزه‌خیزی و فاصله از گسل، توانمند است [۱۳]، ولی در این پژوهش عامل فاصله از گسل- به این دلیل که با سخت‌شدن جنس سازند در

ارتفاعات، تغییر شکل مواد منفصل و ریزدانه به شکل سنگ، کاهش رتبه آبراهه، و تندشدن زاویه شیب ($< 40^\circ$) مرتبط بوده است- به عنوان عامل مهمی در رخداد زمین‌لغزش‌های حوضه شناخته نشد، اما عوامل کاربری اراضی و سنگ‌شناسی همانند پژوهش ذکرشده به عنوان عوامل مهم تأثیرگذار شناخته شدند. در مدل‌سازی زمین‌لغزش‌های ایجادشده در نواحی کوهستانی، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع بر میزان زمین‌لغزش‌ها افزوده شد و این مدل به عنوان مدلی مناسب در منطقه شناخته شد [۷]. در حوزه رودخانه سیکان نیز تا ارتفاع ۱۵۰۰ متری بر میزان زمین‌لغزش‌ها افزوده شده، اما در نقاط بالاتر از این ارتفاع به علت سخت‌شدن جنس سازند و کاهش رتبه آبراهه کاهش پیدا کرده است. در حوضه‌هایی در خارج از کشور نیز به پیش‌بینی خطر وقوع زمین‌لغزش پرداخته شده است که نتایج تحقیقات آنان بر اهمیت نقش درجه شیب بر وقوع زمین‌لغزش تأکید داشته و به این نتیجه رسیده‌اند که این مدل برای مطالعه حرکات توده‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است [۸، ۲۱، ۲۲] و متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش از جمله فاصله از رودخانه با نتایج مطالعات آنان هماهنگی دارد.

علاوه بر آن، به منظور ارزیابی دقت مدل در این حوضه از شاخص overall accuracy استفاده شد، که بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده میزان دقت مدل در حوزه رودخانه سیکان ۷۴٫۲ درصد و میانگین مربعات

از ۱۸۰۰ متر) از خطر وقوع آن کاسته شده است، که این امر با سخت‌شدن جنس سازند در ارتفاعات، تغییر شکل مواد منفصل و ریزدانه به شکل سنگ، کاهش رتبه آبراهه، و تندشدن زاویه شیب ($<40^\circ$) مرتبط بوده است. با افزایش شیب در حوضه آب فرصت کمتری برای نفوذ در زمین پیدا کرده و برف نیز ماندگاری کمتری بر روی زمین دارد، به همین دلیل در ارتفاعات زمین‌لغزش‌های کمتری مشاهده شده است.

خطا ۰٫۲۸ بوده است که با نتایج محققان دیگر [۳، ۸، ۲۲] مطابقت دارد.

نتایج نشان داد، با سست‌شدن سازندها، تغییر کاربری اراضی به سمت مراتع فقیر و اراضی مخلوط (کشاورزی و کشاورزی دیم)، نزدیک شدن به رودخانه، تغییر شکل زمین به دامنه مقعر، افزایش شیب، و نزدیک شدن به روستا خطر رخداد زمین‌لغزش زیاد شده است. همچنین، با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به گسل (واقع در ارتفاع بالاتر

References

- [1] Ahmadi, H., Esm aeli, A., Feiznia, S. and Shariat Jafari, M. (2004). Mass movements hazard zonation with two m ultiple regression (MR) and analytical hierarchy process (AHP) m ethods (Case study: Germichay watershed). *Iranian Journal of Natural Resources*, 56: 323-336.
- [2] Ayalew L., Ymagishi H. and Kanno T. (2005). GIS – based susceptibility mapping with comparisons of result from methods and verifications. *The journal of Engineering Geology*, 81: 432-445.
- [3] Bai, S-B., Wang, J., Lu, G-N., Zhou, P-G., H ou, S-S. and Xu, S-N. (2010). GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 115: 23-31.
- [4] Blochl, A. and Braun, B. (2005). Econom ic assessment of landslide risks in the Swabian Alb, Qermany-Researche framework and first resu lts of hom eowners and experts survey s. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5: 389-396.
- [5] Burton, I. and Kates, R.W. (1964). The per ception of natural hazard in resource m anagement. *Geomorphology*, 30: 412-447.
- [6] Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Dum an, T.Y. (2005). Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72: 250-271.
- [7] Chang, K-T., Chiang, S-H. and Hsu, M- L. (2007). Modeling typhoon- and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression. *Geomorphology*, 89: 335-347.
- [8] Dong, J-J., Tung, Y-H., Chen, C-C., Liao, J-J. and Pan, Y-W. (2010). Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam. *Engineering Geology*, 117: 52-61.
- [9] Fall, M., Azzam, R. and Noubactep, C. (2006). A m ulti-method to approach to study the stability of nature slopes and landslide susceptibility mapping. *Engineering Geology*, 82: 241-263.
- [10] Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analy sis. *Pattern Recognition Letters*, 27 (8): 861-874.
- [11] Garaee, P., Soleymani, K., Mosavi, R. and Kaviyan, A. (2010). Regional landslide risk m odeling using multivariate regression in lajym river watershed in Sari. *Earth sciences*, 73: 29-33.
- [12] Garsia – Rodriguez, M.J., Malpica, J.A, Benito, B. and Diaz, M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake – triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology*, 95: 172-191.
- [13] Ghohrodi Tali, M., Alaae Taleghani, M. and Servati, M.R. (2011). Application of logistic regression model in evaluations landslide poten tial (Case study : Nuzhian drainage Basin). *Geographical Environment*, 1: 1-13.
- [14] Gomes, H. and Kavzoglu, T. (2005). Assesment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78: 11-27.
- [15] Karam, A. and Mahmudi, F. (2006). Quantitative modeling of landslide hazard zonation in folded zagros (case study: Sarkhon drainage basin in Charm ahal Bakhtiyari province. *Geographical research*, 51: 1-14.
- [16] Komakpanah, A. and Hafezi Moghadas, S. (1995). *Method of landslide hazard zonation. Proceedings of the first workshop examined strategies to reduce landslide losses in the country.*
- [17] Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Dam rei romal area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression m odels. *Journal of Environmental Geology*, 50: 847-855.
- [18] Mahdavifar, M.R. and Nik Andish, N. (2006). *Studies are needed to prevent or damage caused*

landslide in the country. Volum III: general studies and the steps needed to evaluate landslide in the country. Workshop on the earthquake and landslide layer of the earth.

- [19] Moghimi, E., Alavi panah, K., and Jafari, T. (2011). Assessment and zonation factors on the northern of landslides Aladagh. *Geographical research*, 40: 53-75.
- [20] 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.
- [21] Ohlmacher, G., Davis, C., and Jhon, C. (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69: 331-343.
- [22] Pradhan, B. and Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25: 747-759.
- [23] Servati, M.R. and Azad, F. (2010). Evaluation of factors affecting landslide occurrence and its zoning. *Iranian Journal of Natural Resources*, 61: 33-46.
- [24] Servati, M.R., Eshghi, A. and Dehghan, M. (2004). Geomorphology and natural hazards. *Journal of geographical space*, 9: 1-44.
- [25] Song, R.H., Hirin, D., Kazutoki, A., Usio, K. and Sumio, M. (2008). Modeling the potential distribution of shallow-seated landslides using the weights of evidence method and a logistic regression model: a case study of the Saba Area, Japan. *International Journal of Sediment Research*, 23: 106-118.
- [26] Van Den Eeckhout, M., Vanwalleghem, T., Poesen, T., Govers, G., Verstraeten, G. and Vandekerckhove, L. (2006). Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression; case study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, 76: 392-410.
- [27] Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computer & Geosciences*, 35: 1125-1138.