

آنالیز عددی عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن

با روش‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چندمتغیره خطی

(مطالعه موردی: حوضه ماربر)

- ❖ **علیرضا عرب عامری***؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- ❖ **کوروش شیرانی**؛ استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران.
- ❖ **مهدی تازه**؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.

چکیده

هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره خطی است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عملیات میدانی با استفاده از GPS، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها به صورت سطح به‌عنوان متغیر وابسته تهیه گردید. برای تعیین عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش از آنالیز مقادیر عددی پارامترها با روش ماشین‌های بردار پشتیبان در محیط نرم‌افزار Rapid Miner استفاده گردید و از ۲۱ لایه اطلاعاتی انتخابی، ۱۵ لایه اطلاعاتی انتخاب و جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی به‌عنوان متغیر مستقل در محیط ArcGIS 10.1 تهیه و رقومی گردیدند. پس از وزن دهی به لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های انتخابی در ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. نتایج وزن دهی لایه‌ها نشان داد که در هر دو روش، کاربری اراضی و جهت شیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند. منحنی ROC و مساحت زیر منحنی (AUC) برای نقشه‌های پهنه‌بندی ترسیم و از AUC برای صحت سنجی استفاده گردید و مقادیر حاصل از آن نشان داد که مدل چند متغیره خطی (۰/۸۹۰) دارای کارایی بالاتری نسبت به مدل لجستیک (۰/۸۲۹) جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. بر اساس نتایج مدل برتر (چند متغیره خطی)، ۱۶۰۴۶/۱ هکتار (۲۰/۱۳ درصد) از منطقه در رده خطر زیاد و ۱۵۶۷۱/۲ هکتار (۱۹/۶۶ درصد) از منطقه در رده خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: آنالیز عددی، پهنه‌بندی، رگرسیون چند متغیره، زمین لغزش، رگرسیون لجستیک.

۱. مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیک به‌عنوان پدیده‌ای بالقوه زیانبار مطرح است [۵ و ۳۳]. حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها از مهم‌ترین این مخاطرات هستند. این حرکات توده‌ای تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهند. این مخاطرات که در بسیاری از مناطق جهان اتفاق می‌افتد، هر ساله خسارات بی‌شماری به زندگی و دارایی افراد وارد می‌سازد. به‌عنوان مثال میانگین خسارات اقتصادی آن سالیانه حدود ۱/۵ میلیارد دلار در ایالات‌متحده، ۲ میلیون دلار در ژاپن و ۲ میلیون دلار در ایتالیا است [۷]. این مخاطرات در ایران سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت وارد می‌کند و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی برگشت‌ناپذیر به حساب آورده نشود [۲۴]. زمین‌لغزش‌ها تقریباً ۹ درصد از بلایای طبیعی را که در سراسر جهان در طی سال ۱۹۹۰ اتفاق افتاده را به خود اختصاص داده‌اند [۱۸]. شناسایی پهنه‌های مستعد لغزش و پهنه‌بندی پتانسیل رخداد زمین‌لغزش، جهت اجتناب از این پهنه‌ها و اجرای روش‌های پیشگیری و کنترلی بسیار ضروری و با اهمیت است. یکی از اصلی‌ترین اقدامات در این رابطه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش است. نقشه‌های مذکور می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان را در عرصه‌های مختلفی چون مدیریت حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توریستی، مکان‌یابی اراضی مناسب برای توسعه‌ی شهرها و روستاها، برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی، تعیین مسیر راه‌ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی و غیره یاری می‌نماید [۲۲]. تاکنون از فن‌های فراوانی جهت پیش‌بینی زمین‌لغزش استفاده شده است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از ارزیابی‌های کارشناسی، روش‌های آماری و رویکردهای مکانیکی [۱۶]. در زمینه ۶ روش رگرسیون لجستیک برخی از محققان به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در برخی از نقاط جهان پرداخته‌اند [۴، ۱۰، ۱۲، ۲۹، ۳۰، ۴۱، ۴۵ و ۴۹].

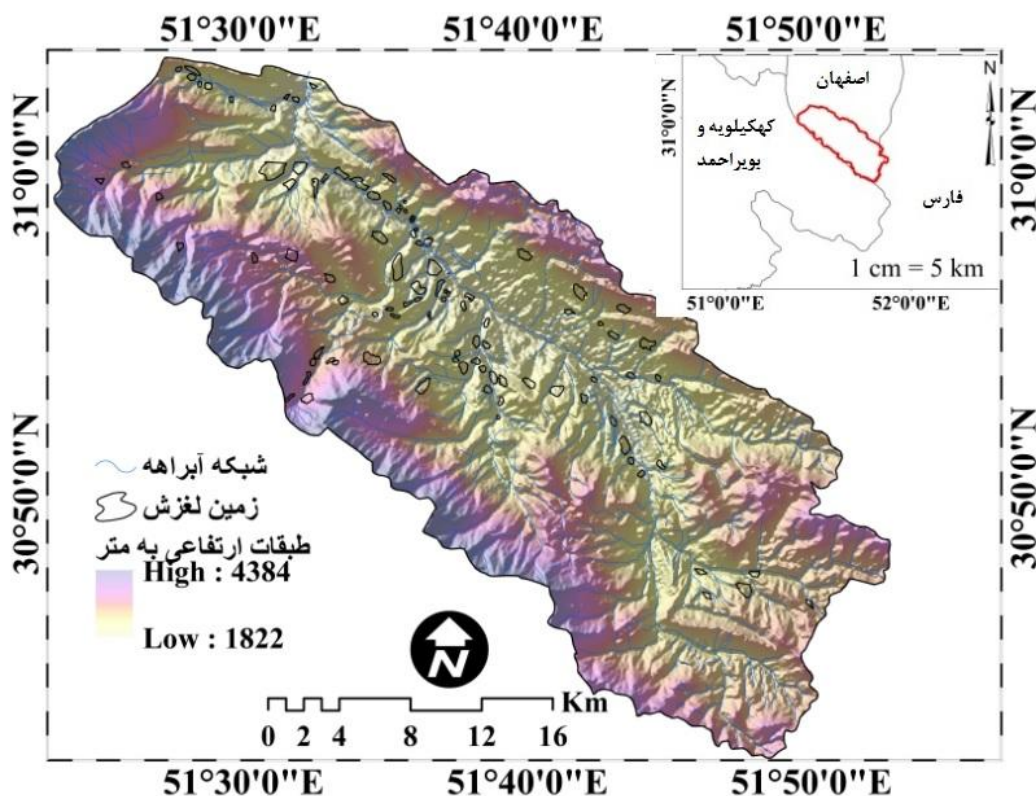
در رابطه با روش رگرسیون چند متغیره نیز مطالعات زیادی صورت گرفته است. ون وسترن در پژوهشی روش‌های آماری رگرسیون دو متغیره و چند متغیره را با یکدیگر مقایسه کرده و برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل‌های مشخص منطبق با منطقه مورد مطالعه معرفی کرده‌اند [۴۷]. گوزتی در ایتالیا، نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش را با روش آماری چند متغیره، ژئومورفولوژی و نقشه خطر زمین‌لغزش مورد سنجش قرار دادند [۱۹]. سفیدگری با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره، پس از پهنه‌بندی منطقه دماوند، روش آماری چند متغیره را به‌عنوان روش کارآمدتر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش معرفی کرد [۳۵]. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در منطقه سمیرم اصفهان با ۷ روش انجام داد و نتیجه گرفت که به ترتیب مدل‌های چند متغیره با آنالیز رگرسیون خطی، مدل چند متغیره با آنالیز ممیزی و مدل دومتغیره ارزش اطلاعات برای منطقه نتایج بهتری را ارائه نمودند و نتیجه گرفت که روش‌های آماری چند متغیره به دلیل در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان پارامترها، نتایج مطمئن‌تری را دارند [۳۷]. در حوضه رودخانه ماربر سمیرم روش‌های متعددی همچون روش‌های آماری دو متغیره، چند متغیره و نیلسن را مورد مطالعه قرار داده است [۳۶]. صفاری و همکاران به پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون چند متغیره با استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامتر فاصله از گسل بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است [۳۴]. حوضه رودخانه ماربر در منطقه پادانای سمیرم از سرشاخه‌های کارون نمونه‌ای بارز از رخداد ضررهای مادی جبران‌ناپذیری مانند تخریب جاده‌های ارتباطی روستاها، تخریب مراتع، ایجاد فرسایش و رسوب و هرز رفتن خاک در مسیر رودخانه ماربر و غیره بر اثر زمین‌لغزش است. بنابراین ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی در منطقه و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌تواند در شناخت نواحی دارای پتانسیل

۲. روش شناسی تحقیق

۱.۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه ماربر در حد فاصل $30^{\circ} 41' 48''$ تا $31^{\circ} 3' 20''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 23' 18''$ تا $52^{\circ} 54' 52''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه ماربر حدود ۸۰۰ کیلومترمربع است و در ۵۵ کیلومتری جنوب شهر سمیرم قرار دارد. این حوضه در جنوبی‌ترین قسمت استان اصفهان و تقریباً شمال استان فارس قرار می‌گیرد. عمده منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های با دیواره بلند و دره‌های ژرف تشکیل داده است و تنها در قسمت مرکزی حوضه مورفولوژی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری به همراه دشت نسبتاً وسیعی بین روستای دشتبال و کیفته گسترش دارد [۳۶].

زمین لغزش و کاهش ضررها، مؤثر باشد. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از آنالیز عددی مقادیر زمینی عوامل مؤثر با روش ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) و ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره خطی به کمک فاکتورهای ژئومورفومتریک (انحنای سطح، انحنای مقطع، انحنای کلی، قدرت جریان و شاخص خیزی توپوگرافی)، عوامل محرک (بارندگی، گسل، آبراهه، پوشش گیاهی، NDVI)، عوامل انسانی (کاربری اراضی، جاده) و عوامل ذاتی (زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب) است. اولویت‌بندی با استفاده از مقادیر عددی پارامترها و استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک مهم‌ترین نوآوری این تحقیق است.



شکل ۱. نقشه موقعیت ریاضی منطقه

در این پژوهش ابتدا بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نیز مطالعات کتابخانه‌ای و

۲.۲. تهیه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در وقوع

زمین لغزش

طبقه بندی نظارت نشده تصویر ماهواره ای تصحیح شده لندست ETM+ و بازدید صحرایی و کنترل صحت، تهیه گردید. همچنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن پلی گون های واحدهای سنگ شناسی از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم افزار ArcGIS10.1 نقشه زمین شناسی منطقه تهیه گردید (شکل ۲). در جدول (۱) واحدهای زمین شناسی به همراه وضعیت سنگ شناسی هر یک به همراه مساحت آنها نشان داده شده است. پس از تصحیحات لازم و زمین مرجع کردن تصویر TM سال ۲۰۰۶، مقدار NDVI محاسبه شد که به عنوان شاخصی برای وجود گیاهان در آبراهه ها از آن استفاده گردید (شکل ۱۶). شاخص های ژئومورفومتریک مؤثر در وقوع زمین لغزش شامل شیب (شکل ۴)، جهت شیب (شکل ۵)، انحنای سطح (شکل ۱۱)، انحنای مقطع (شکل ۱۳)، انحنای کلی (شکل ۱۲)، شاخص توان حمل آبراهه (شکل ۱۵) و شاخص خیسی توپوگرافی (شکل ۱۴) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک ۱۰×۱۰ متر، از طریق روابط ۱ تا ۷ در محیط نرم افزار SAGA.GIS 2.1.1 استخراج گردید [۱۵، ۴۲ و ۴۸]. از میان انواع انحنای در میان شاخص های ژئومورفومتریک، انحنای سطح که بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی است و بنابراین نشان دهنده همگرایی و واگرایی توپوگرافیک است، به طوری که مقادیر منفی انحنای سطح، واگرایی جریان را نشان داده و مقادیر مثبت آن همگرایی جریان را نشان می دهد، انحنای پروفیل که معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان در طول مسیر جریان است و نشان دهنده شدت جریان آب و حمل و رسوب گذاری است، به طوری که مقادیر منفی این انحنا سطوح محدب (کوژ) و مقدار مثبت آن سطوح مقعر (کاو) را نشان می دهد و انحنای کلی که مجموع تغییرات سطح را نسبت به فاصله مشخص می کند در وقوع زمین لغزش مؤثر شناخته شدند [۳۱].

رابطه (۱). شیب $Slope = \arctan(\sqrt{d^2 + e^2})$

پیمایش های میدانی، ۲۱ فاکتور دخیل در وقوع زمین لغزش شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و شاخص های ژئومورفومتریک شامل انحنای سطح، انحنای مقطع، انحنای متقاطع، طول شیب، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص خیسی توپوگرافی (TWI)، شاخص همگرایی (Convergence Index)، جهت جریان، انحنای عمومی، تانژانت انحنا و انحنای کلی شناسایی گردیدند و در گام بعد مقادیر عددی هر یک از پارامترها در مناطق لغزشی و غیر لغزشی استخراج گردید و با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان Weight by SVM در محیط نرم افزار Rapid Miner وزن هر یک از پارامترها تعیین گردید. در نهایت پارامترهایی که کمترین وزن را دریافت کردند و تأثیری در وقوع زمین لغزش نداشته اند از مدل حذف شدند. طبق نتایج مدل، لایه های اطلاعاتی انحنای متقاطع، طول شیب، شاخص همگرایی، جهت جریان، انحنای عمومی و تانژانت انحنا از مدل حذف گردیدند و پهنه بندی با ۱۵ لایه اطلاعاتی انجام پذیرفت. نقشه های پایه مورد استفاده برای تهیه لایه های اطلاعاتی مؤثر در وقوع زمین لغزش در این تحقیق عبارتند از نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره ای ETM+ و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه های باران سنجی و با اعمال فرمول گرادیان بارندگی منطقه بر مدل رقومی ارتفاعی، نقشه طبقات بارش (شکل ۶) منطقه تهیه گردید. برای تهیه نقشه فاصله از گسل (شکل ۳) از داده های ماهواره ای ETM+2002 در محیط نرم افزار ENVI4.7 استفاده گردید. نقشه فاصله از جاده (شکل ۱۰) و فاصله از شبکه زه کشی (شکل ۹) با طبقه بندی فواصل معین از شبکه جاده و شبکه هیدروگرافی رقومی شده از نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شدند. نقشه کاربری اراضی (شکل ۸) و پوشش گیاهی (شکل ۷) بر اساس

رابطه (۲). جهت شیب

$$Aspect = 180 - \arctan\left(\frac{p}{q}\right) + 90 \times \frac{p}{|p|}$$

رابطه (۳). انحنای سطح

$$Plan\ Curvature = -\frac{q^2 \times r - 2 \times p \times q \times s + p^2 \times t}{(\sqrt{1 + P^2} + q^2)^3}$$

رابطه (۴). انحنای مقطع

$$Profile\ Curvature = -\frac{q^2 \times r + 2 \times p \times q \times r \times s + q^2 \times t}{(P^2 + q^2) \times (\sqrt{1 + P^2} + q^2)^3}$$

رابطه (۵). انحنای کلی

$$Total\ Curvature = r^2 + 2s^t + t^2$$

رابطه (۶). شاخص توان آبراهه

$$SPI = A_s \times \tan \sigma$$

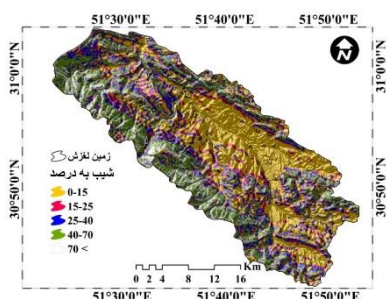
رابطه (۷). شاخص خیزی توپوگرافی

$$TWI = \ln(A_s / \tan \beta)$$

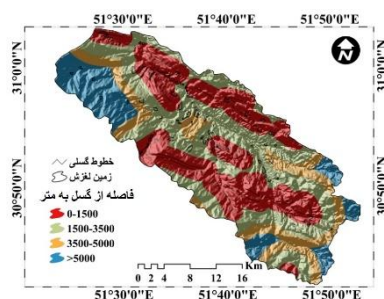
که در آن d, p, q, r, s, t ضرایبی هستند که در نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند. AS: مساحت حوضه

۳.۲. تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش در منطقه

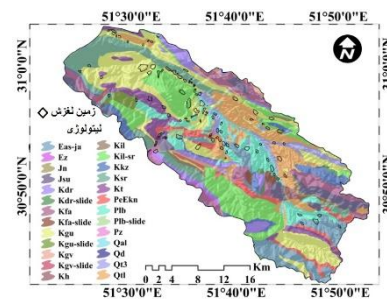
حوضه رودخانه ماربر دارای پتانسیل بالای زمین لغزش است و زمین لغزش‌های زیادی در آن رخداد است. جهت به نقشه در آوردن زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه مورد بررسی، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۲ موردمرسی، منطقه تفسیر گردید و مناطق لغزشی تعیین و موقعیت آن‌ها در نرم‌افزار Google earth تعیین شد. سپس موقعیت دقیق تر زمین لغزش‌ها با بررسی‌های میدانی و به کمک اطلاعات و نقشه‌های موجود (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان) به دست آمد. در نهایت موقعیت ۱۰۳ زمین لغزش رخ داده در حوضه آبریز ماربر به نقشه درآمد. مساحت کل زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه ماربر ۱۶/۵۶ کیلومترمربع است. در شکل (۱۷) الگوی توزیع مکانی زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه ماربر نشان داده شده است. در شکل (۱۸) نمونه‌ای از زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه نشان داده شده است.



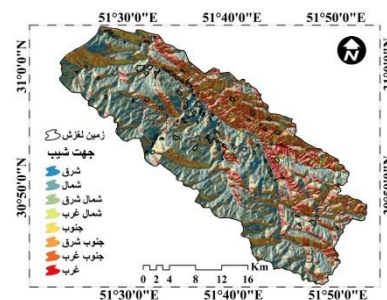
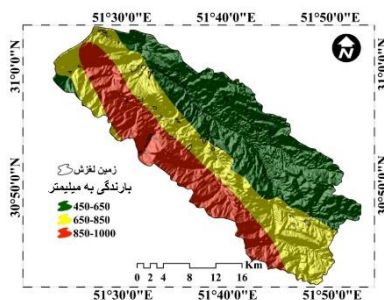
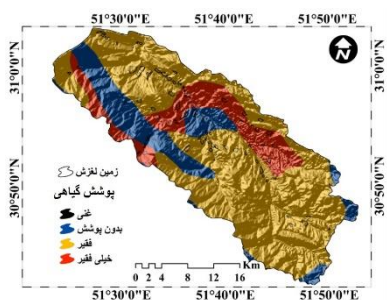
شکل ۴. نقشه شیب



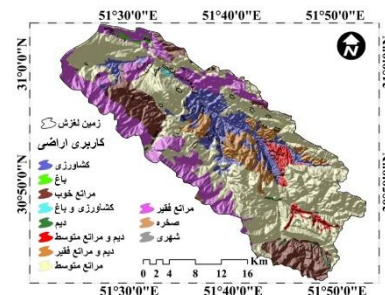
شکل ۳. فاصله از گسل



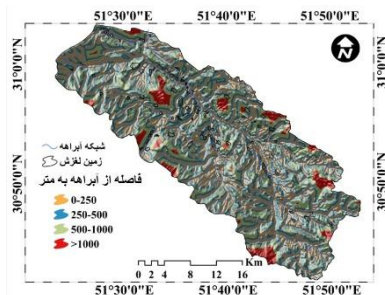
شکل ۲. نقشه زمین شناسی



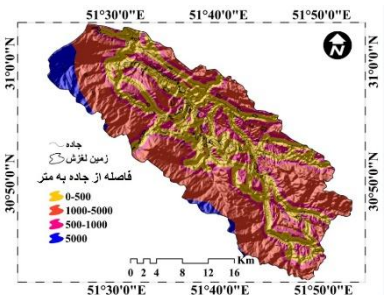
شکل ۵. نقشه جهت شیب



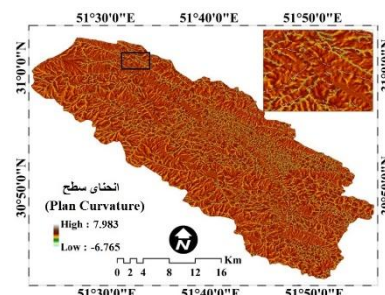
شکل ۶. نقشه هم‌بارش



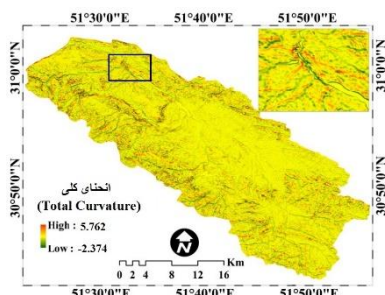
شکل ۷. نقشه پوشش گیاهی



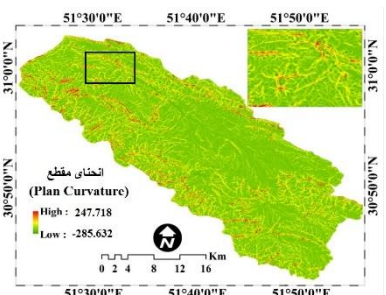
شکل ۸. نقشه کاربری اراضی



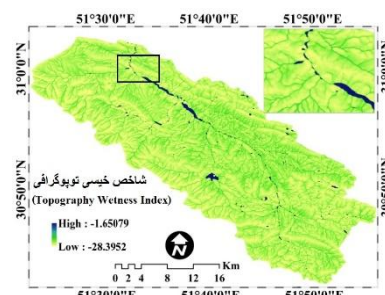
شکل ۹. نقشه فاصله از آبراهه



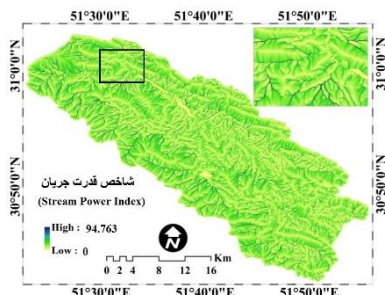
شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده



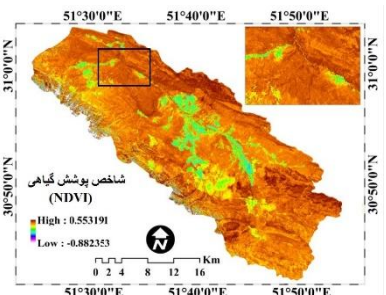
شکل ۱۱. نقشه انحنای سطح



شکل ۱۲. نقشه انحنای کلی



شکل ۱۳. انحنای مقطع



شکل ۱۴. نقشه شاخص خیس توپوگرافی

شکل ۱۵. نقشه توان حمل آبراهه

شکل ۱۶. نقشه NDVI

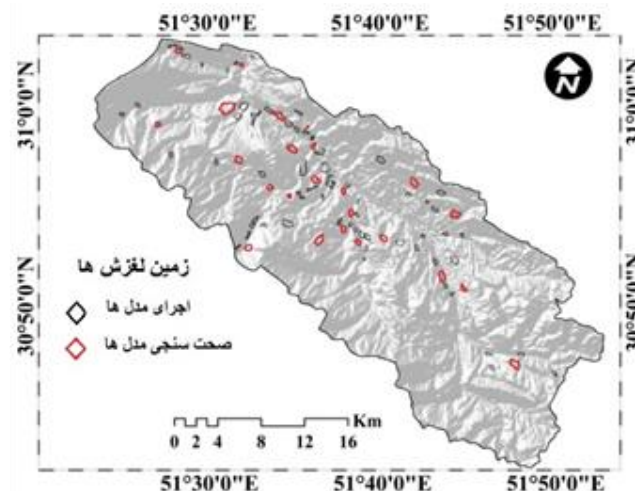
جدول ۱. واحدهای زمین‌شناسی به همراه وضعیت سنگ‌شناسی هر یک به همراه مساحت

واحدهای زمین‌شناسی	اسم سازند	سن نسبی	واحدهای سنگ‌شناسی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
Pz	سازند پالئوزوئیک	پالئوزوئیک	سنگ نهشته‌های پالئوزوئیک تفکیک نشده، شیل ورقه‌ای، سنگ آهک سیاه خاکستری دولومیت و ماسه سنگ قرمز	۸۴	۰/۱۰
Ez	زاگون	کامبرین زیرین	شیل‌های ماسه‌ای میکادار سرخ رنگ و ماسه سنگ سرخ (سازندزاگون)	۳۴۰/۶۴	۰/۴۳

Kh	خانه کت	تریاس	دولومیت خاکستری تا سفیدرنگ لایه نازک با میان لایه‌های شیل (سازند خانه کت)	۵۰۵/۲۸	۰/۶۳
Jn	نیریز	ژوراسیک زیرین	تناوب سنگ آهک مارنی، دولومیت سیاه ماسه ای و مارن (سازندنیریز)	۳۷۵/۰۸	۰/۴۷
Jsu	سورمه	ژوراسیک زیرین	لایه‌های سنگ آهک سیاه، دولومیت سیاه و شیل (سازند سورمه)	۳۴۶۶/۷۲	۴/۳۳
Kdr-slide	داریان	ژوراسیک	نهشته لغزشی سازند داریان	۲۸۴/۲۴	۰/۳۶
Kfa	فهلپان	کرتاسه زیرین	سنگ آهک سیاه خاکستری توده‌ای با میان لایه‌های شیل (سازند فهلپان)	۴۷۴/۵۶	۵/۹۲
Kgv	گدوان	کرتاسه زیرین	تناوب لایه‌های سنگ آهک خاکستری و مارن کرم‌رنگ (سازند گدوان)	۸۴۳/۴	۱/۰۵
Kgv-slide	گدوان	کرتاسه زیرین	نهشته لغزشی سازند گورپی	۱۴۱/۰۴	۰/۱۸
Kkz	کژدمی	سنومانین زیرین	تناوب سنگ آهک چرتی و مارن کرم‌رنگ (سازند کژدمی)	۳۰۶۰	۳/۸۲
Ksr	سروک	سنومانین	سنگ آهک ضخیم لایه تا توده‌ای چرت دار (سازند سروک)	۶۵۳۱/۹۶	۸/۱۶
Kil	ایلام	کامپانین	سنگ آهک سفیدرنگ لایه نازک تا لایه متوسط (سازند ایلام)	۴۲۸/۶	۰/۵۴
Kdr	داریان	کرتاسه زیرین	سنگ آهک خاکستری اوربیتولینا درا ضخیم لایه و شیل (سازند داریان)	۳۴۳۸/۲	۴/۳۰
Kfa-slide	فهلپان	کرتاسه زیرین	نهشته لغزشی سازند فهلپان	۴۲۹/۹۶	۰/۵۳
Kil-sr	ایلام سروک	کرتاسه بالایی	سازند سروک و سازند ایلام بوده و قابل تفکیک نمی‌باشند از نظر سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی همانند	۱۱۰۸۳/۹۲	۱۳/۸۵
Kt	تاربور	کرتاسه بالایی	سنگ آهک توده‌ای تا ضخیم لایه، مارن و ماسه‌سنگ (سازند تاربور)	۳۳۶۰/۲	۴/۲۰
Kgu	گورپی	کرتاسه بالایی	شیل سبزرنگ مایل به آبی و مارن (سازند گورپی)	۱۴۳۴۹/۲۸	۱۷/۹۳
Kgu-slide	گورپی	کرتاسه بالایی	نهشته لغزشی سازند گورپی	۷۴۹/۶۴	۰/۹۴
PeEkn	کشکان	ائوسن میانی	کنگلومرای چرتی سرخ‌رنگ، مارن و ماسه سنگ سرخ (سازند کشکان)	۳۲۳۵/۵۲	۴/۰۴
Eas-ja	آسماری-چهرم	میوسن	سنگ آهک توده‌ای تا ضخیم لایه کرم‌رنگ، سنگ آهک دولومیتی و مارن (سازند آسماری-چهرم)	۸۴	۶/۶۵
Plb	بختیاری	پلیوسن	کنگلومرای توده‌ای تا ضخیم لایه با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و مارن (سازند بختیاری)	۳۴۰/۶۴	۷/۱۸
Plb-slide	بختیاری	پلیوسن	سنگ‌شناسی مثل سازند بختیاری ولی به‌صورت نهشته لغزشی است.	۵۰۵/۲۸	۰/۳۳
Qtl	-	کواترنر	پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های آبرفتی قدیمی	۳۷۵/۰۸	۹/۷۳
Qal	-	کواترنر	بستر رودخانه و آبرفت‌های جوان	۳۴۶۶/۷۲	۱/۴۸
Qt3	-	کواترنر	پهنه‌های رسی سیلتی و ماسه ای	۲۸۴/۲۴	۲/۶۷
Qd	-	کواترنز	واریزه و سنگ‌ریزش	۴۷۴۰/۵۶	۰/۱۷



شکل ۱۸. زمین لغزش‌های رخ داده در سازند بختیاری



شکل ۱۷. نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

است و از رابطه ۹ به دست می‌آید.

رابطه (۹)

$$Z = \text{Logit}(P) = \ln \frac{p}{1-p} = C_0 + C_1 X_1 + \dots + C_n X_n$$

C_0 ضریب ثابت مدل، X_1, X_2, \dots, X_n ضرایب مربوط به متغیر مستقل C_1, C_2, \dots, C_n هستند. چنانچه در مدل رگرسیون لجستیک احتمال وقوع پدیده (P) برآورد شود، معادله آن مطابق با رابطه ۱۰ است.

رابطه (۱۰)

$$Y = \text{Logit}(P) = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n, \text{Logit}(P) = \ln(P/(1-P))$$

که در آن P احتمال وقوع و b_0 عدد ثابت متغیر مستقل و X_1 تا X_n متغیرهای مستقل و b_1 تا b_n به ترتیب ضرایب این متغیرها هستند. در واقع، در معادله فوق مقادیر $\text{Logit}(P)$ برآورد می‌شود، سپس بر اساس آن مقادیر P استخراج می‌گردد. این مدل حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل تحلیل و بررسی می‌کند. به منظور تفسیر مناسب در معادله از ضرایب با لگاریتم طبیعی در مبنای عدد نپرین استفاده شده است. اگر ضریب مثبت باشد، مقدار لگاریتم

۴.۲. روش رگرسیون چند متغیره لجستیک

در مدل رگرسیون بر اساس داده‌های موجود، معادله‌ای برای پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته (Y) بر اساس یک یا چند متغیر پیش‌بینی کننده مستقل X_i به دست خواهد آمد. مدل رگرسیون لجستیک وجود و نبود متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل تحلیل می‌کند [۱۸]؛ که متغیرهای وابسته (وقوع یا عدم وقوع زمین لغزش) 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 آنتی‌لگاریتم ضرایب مشخص می‌کند [۲۶ و ۲۷]. در مورد نقشه حساسیت زمین لغزش، هدف از رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته و مجموعه گروهی از متغیرهای مستقل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌هاست. شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه ۸ است:

$$P = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

P : احتمال رخداد حادثه و Z پارامتر یا فاکتور خطی

در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند [۲۵]. از بین نقاط لغزشی، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت [۶ و ۹]. نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI دو شاخصی هستند که دقت طبقه‌بندی مدل را می‌توانند تعیین کنند [۲۳]. در حقیقت نسبت فراوانی (FR) نسبت مساحت سطح لغزشی در هر طبقه به مساحت سطح آن طبقه است [۳۰] و شاخص SCAI نسبت درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه است [۴۳، ۴۹]. هر دو شاخص که از نظر مقدار، رابطه عکس با همدیگر دارند، برای ارزیابی دقت تفکیک طبقات مدل استفاده می‌گردد. به منظور اعتبار سنجی یا صحت مدل از منحنی ROC استفاده گردید [۲۷، ۳۲]. منحنی ROC از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند [۴۴]. سطح زیر منحنی ROC که AUC^3 نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است.

۳. نتایج

۳.۱. اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر در

زمین‌لغزش

در زمینه عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش، روش‌های اولویت‌بندی و وزن‌دهی که تاکنون استفاده شده است عمدتاً بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ارجحیت عوامل به یکدیگر بوده است. تاکنون مطالعه‌ای در جهت تعیین وزن عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از مقادیر عددی پارامترهای مؤثر در آن و واقعیت‌های زمینی

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 [۱۱ و ۲۶].

۵.۲. روش رگرسیون چند متغیره خطی

تاکنون روش‌های آماری چند متغیره مختلفی با استفاده از محققین جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته است [۵ و ۴۶]. در تمامی این روش‌ها در واقع تحلیل هم‌زمان تعدادی متغیر با یکدیگر فراهم می‌گردد و از آنجاکه پدیده‌های طبیعی نظیر زمین‌لغزش ناشی از عملکرد هم‌زمان چند متغیر بوده، لذا استفاده از این روش‌ها مناسب است. از طرف دیگر به دلیل تلفیق نقشه‌های پارامتر جهت ایجاد واحدهای زمینی یا همگن و حجم زیادی اطلاعات، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی اجتناب‌ناپذیر است. در مدل رگرسیون چند متغیره خطی با در دست داشتن مقادیر X_i معین (متغیر مستقل)، مقادیر Y_i یا متغیر وابسته را می‌توان به صورت خطی برآورد کرد. مدل کلی تابع رگرسیون به صورت معادله زیر است

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_jX_j \quad (11) \text{ رابطه}$$

که در آن، Y_i : تخمین متغیر وابسته، B_0 : ضریب ثابت یا عرض از مبدأ، B_j : ضریب متغیر X_j و X_i : متغیر مستقل است.

۶.۲. ارزیابی و صحت سنجی مدل

به منظور ارزیابی صحت مدل‌های آماری مورد استفاده با استفاده از منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) صحت روش‌ها و با استفاده از نسبت فراوانی (FR)^۱ و شاخص سطح سلول هسته (SCAI)^۲ دقت تفکیک بین طبقات مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که

¹ Frequency Ratio

² Seed Cell Area Index

³ Area Under Curve

دامنه عددی امتیازات کسب شده در این مدل بین ۰ تا ۱ است. مقادیر دقت، صحت، ضریب کاپا و AUC نیز برای روش محاسبه گردید. در نهایت نتایج نشان داد که از ۲۱ فاکتور مورد بررسی، ۱۵ فاکتور امتیازات لازم را کسب نموده و در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش‌های چند متغیره رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره خطی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از اولویت‌بندی پارامترها به همراه مقادیر صحت سنجی مدل در جدول (۲) نشان داده شده است.

صورت نگرفته است. در این پژوهش، تعیین ارجحیت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش با توجه به وضعیت زمینی و مقادیر عددی ۲۱ فاکتور دخیل در زمین‌لغزش انجام پذیرفته است. بدین منظور از روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) در محیط نرم‌افزار ریپید ماینر (Rapid Miner) استفاده گردید. بدین منظور ابتدا مقادیر عددی هر یک از پارامترها در محدوده لغزش‌های موجود و منطقه فاقد زمین‌لغزش استخراج گردید و با وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار، وزن هر یک از عوامل محاسبه گردید.

جدول ۲. اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر در زمین‌لغزش با روش SVM

پارامتر	شیب	جهت شیب	تناوبت انحنای	انحنای سطح	انحنای مقطع	بارندگی	طول شیب	جهت جریان
وزن	۰/۰۷۳	۰/۸۷۵	۰/۰۲۷۳	۰/۱۱۱	۰/۹۳۳	۰/۷۹۸	۰/۰۳۰۴	۰/۰۲۹۰
پارامتر	قدرت جریان	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	فاصله از جاده	انحنای عمومی	انحنای مقاطع	جیبی توپوگرافی	NDVI
وزن	۰/۱۶۱	۰/۲۷۹	۰/۰۶۱	۰/۱۴۳	۰/۰۲۱۵	۰	۰/۱۲۱	۰/۱۱۶
پارامتر	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	سنگ‌شناسی	شاخص همگرایی	انحنای کلی	Accuracy: %۹۴/۶۴ Precision: %۹۱/۶۷ Kappa: ۰/۸۹۳ Auc: ۰/۹۸۵		
وزن	۰/۴۶۱	۱	۰/۸۱۵	۰/۰۳۱۵	۰/۰۹۱			

کلاس‌های شامل حضور نقاط وقوع لغزش کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت، همچنین در مورد نقاط غیر لغزشی، به طبقات عوامل مؤثر شامل حضور نقاط غیر لغزشی عدد یک و به سایر طبقات کد صفر تعلق گرفت. با ورود داده‌ها به مدل تجزیه و تحلیل آماری صورت گرفت و در نهایت ضرایبی به کلاس‌های متغیرهای مستقل همبسته با متغیر وابسته اختصاص داده شد. پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل پارامتر خطی Z تهیه شده که با جای گذاری آن در معادله اصلی

۳.۲. اجرای روش رگرسیون لجستیک

از مدل‌های آماری مناسب جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، بر اساس داده‌های موجود، مدل رگرسیون لجستیک است. از آنجایی که کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل ناپایدار شیب و متغیر وابسته دو حالت یعنی وقوع و عدم وقوع زمین‌لغزش است، علاوه بر ۱۰۳ نقطه لغزشی شناسایی شده در منطقه ۱۰۳ نقطه رستری دیگر به صورت تصادفی در سراسر حوضه انتخاب شده و پس از همپوشانی با نقشه عوامل مؤثر، به

خیلی کم برای نقشه نهایی خطر زمین لغزش به دست آمد شکل (۱۹). دو لایه کیفی زمین‌شناسی و جهت شیب پس از وزن دهی بر اساس نظر کارشناسی به لایه‌های کمی تبدیل گردیده‌اند. جدول (۳) ضرایب، میانگین و انحراف از معیار حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک با ۱۵ متغیر را نشان می‌دهد. در نهایت معادله رگرسیون حاصله مطابق رابطه ۱۲ ارائه گردید:

رگرسیون لجستیک و انتقال آن به نرم‌افزار ArcGIS 10.2 نقشه اولیه احتمال خطر با محدوده بین صفر و یک تهیه شد. سپس این نقشه به ۳۰ طبقه با فواصل احتمالی ۰/۰۴ تقسیم‌بندی و پس از همپوشانی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه، هیستوگرام درصد فراوانی زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید و در نهایت ۵ کلاس خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و

رابطه ۱۲

$$\text{logit(LANDSLIDE)} = -6/179 + (0/300 \times \text{Drainage}) + (-0/2197 \times \text{Fault}) + (1/1026 \times \text{Landuse}) + (0/3482 \times \text{Lithology}) + (0/0762 \times \text{Rain}) + (0/311 \times \text{Range}) + (-1/0423 \times \text{Road}) + (0/0158 \times \text{Slope}) + (0/5910 \times \text{Aspect}) + (0/0223 \times \text{Plan Curvature}) + (0/0126 \times \text{Profile Curvature}) + (-0/0234 \times \text{Total Curvature}) + (0/0308 \times \text{NDVI}) + (0/114 \times \text{TWI}) + (0/108 \times \text{SPI})$$

جدول ۳. ضرایب، میانگین و انحراف از معیار حاصل از رابطه رگرسیون لجستیک

متغیرهای مستقل	ضرایب	میانگین	انحراف از معیار
عدد ثابت	-۶/۱۷۹۰	-	-
جهت شیب	۰/۵۹۱۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۸
فاصله از آبراهه	۰/۳۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۴
فاصله از گسل	-۰/۲۱۹۷	۰/۰۰۵	۱/۰۰۴
کاربری اراضی	۱/۱۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹
لیتولوژی	۰/۳۴۸۲	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹
بارندگی	۰/۰۷۶۲	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹
فاصله از جاده	-۱/۰۴۲۳	۰/۰۰۰	۱/۰۰۳
پوشش گیاهی	۰/۰۳۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
شیب	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۷
انحنای سطح	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۲	۰/۹۹۱
انحنای مقطع	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۳	۰/۸۲۳
انحنای کلی	-۰/۰۲۳۴	۰/۰۰۱	۱/۰۰۶
NDVI	۰/۰۳۰۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹
TWI	۰/۱۱۴	۰/۰۰۰	۰/۶۵۳
SPI	۰/۱۰۸	۰/۰۰۰	۰/۹۴۱

زمین لغزش در برخی موارد کمی (شیب، بارندگی) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، لیتولوژی) می‌باشند. از آنجایی که روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌کنند، در نتیجه لازم است که داده‌های کیفی به کمی تبدیل گردد. برای تجزیه و تحلیل اثرات هر کدام از عوامل

۳.۳. اجرای مدل رگرسیون چند متغیره خطی

مدل رگرسیون چند متغیره یک فن آماری است که از طریق آن می‌توان رابطه بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر

مساحت زمین لغزش های موجود در هر واحد همگن به دست می آید. نسبت مساحت لغزش ها به مساحت واحد همگن به عنوان Y در نظر گرفته می شود. سپس واحدهای همگنی را که از نظر پارامترهای دیگر مؤثر در زمین لغزش مشابه بوده و تنها به واسطه کلاسه های مختلف کاربری اراضی از هم مجزا شده اند در نظر گرفته و مقدار Y در آن ها مقایسه می شود. پس از برآورد میانگین درصد سطح لغزش یافته در کلاسه های مختلف هر یک از عوامل در واحدهای مقایسه شده، در این مرحله از کار برای وزن دهی به کلاسه های مختلف، کلاسی که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را داراست امتیاز ۱۰ داده و بقیه کلاسه ها به صورت نسبی از این کلاس امتیاز داده می شوند. پس از دستیابی به نرخ های مربوط به طبقات هر یک از عوامل، این اطلاعات برای ۶۱۸۵۱۶ واحد همگن به صورت ۶۱۸۵۱۶ تکرار و ۱۵ تیمار شیب، کاربری اراضی، جهت شیب، پوشش گیاهی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارندگی، سنگ شناسی، فاصله از جاده، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص خیزی توپوگرافی (TWI) و انحنای کلی به محیط نرم افزار SPSS22 منتقل گردید. از بین روش های رگرسیون چند متغیره روش Enter با سطح اطمینان بیش از ۹۰ درصد برای هر یک از عوامل انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، برای تمامی عوامل ضریب معنی داری بالاتر از ۹۵ درصد به دست آمد که نشان دهنده آن است که از نظر آماری رابطه قوی با درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگن داشته اند (جدول ۴). رابطه ۱۳ نتیجه نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل آماری به دست آمده با ضریب R معادل ۰/۹۲ را نشان می دهد.

مؤثر در ایجاد زمین لغزش و نیز کمی کردن و وزن دهی به عوامل به طریق رگرسیون چند متغیره نیاز به نقشه واحدهای همگن است. بدین صورت که پس از تهیه انواع نقشه های مربوطه با توجه به متغیرهایی که اثرات آن ها در وقوع زمین لغزش ها مورد نظر است، نسبت به هم مقایسه و نقشه های مربوط به این متغیرها هم پوشانی گردیده و واحدهای همگن به دست می آید. این کار از طریق نرم افزار ArcGIS 10.2 قابل انجام است. واحدهای همگن واحدهایی هستند که دارای خصوصیات مشترکی از نظر عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش که در این پژوهش ۱۵ پارامتر است و به واسطه داشتن اختلاف با واحدهای مجاور خود از نظر یکی از عوامل ذکر شده از آن ها متمایز می شوند. کمی کردن عوامل و وزن دهی به طبقات مختلف آن ها با توجه به درصد سطح لغزش یافته در واحدهای همگنی صورت می گیرد که از نظر تمامی عوامل در نظر گرفته شده مشابه بوده و به واسطه تغییر تنها یکی از عوامل متفاوت می باشند. به این منظور ابتدا نقشه واحدهای همگن و نقشه پراکنش زمین لغزش ها را هم پوشانی کرده و مساحت زمین لغزش های موجود در هر واحد همگن به دست می آید. نسبت مساحت لغزش ها به مساحت واحد همگن به عنوان Y در نظر گرفته می شود که در واقع بیانگر درصد سطح لغزیده شده در هر واحد همگن است و به این دلیل درصد سطح لغزش یافته مدنظر است که می توان اثر هر کدام از عوامل کلیدی یا برتر را نسبت به درصد سطح لغزش یافته مقایسه کرد که در اینجا Y تابعی از هر کدام از عوامل مؤثر خواهد بود. به عنوان مثال اگر کمی کردن اثر عامل کاربری اراضی با ۴ کلاس جنگل، مرتع، اراضی آبی و اراضی دیم مدنظر باشد به صورت زیر عمل می نماییم. ابتدا نقشه واحدهای همگن و نقشه پراکنش زمین لغزش ها را هم پوشانی کرده و

رابطه ۱۳

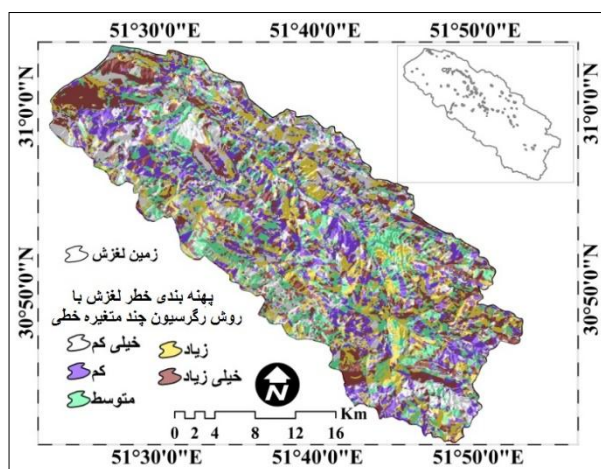
$$Y = 0.078 - (0.001 \times X_{veg}) + (-0.004 \times X_{flt}) + (0.05 \times X_{lus}) + (0.0002 \times X_{lith}) + (0.00001 \times X_{rain}) + (-0.002 \times X_{slp}) + (0.038 \times X_{asp}) + (-0.004 \times X_{dr}) + (0.002 \times X_{roddis}) + (0.003 \times X_{profile}) + (0.004 \times X_{profile}) + (0.023 \times X_{Total}) + (0.035 \times X_{NDVI}) + (-0.021 \times X_{TWI}) + (-0.025 \times X_{SPI}).$$

که در آن Y عامل وابسته حساسیت نسبت به زمین لغزش و ۱۵ متغیر مستقل (X) عوامل مؤثر مطابق با جدول ۴ می‌باشند.

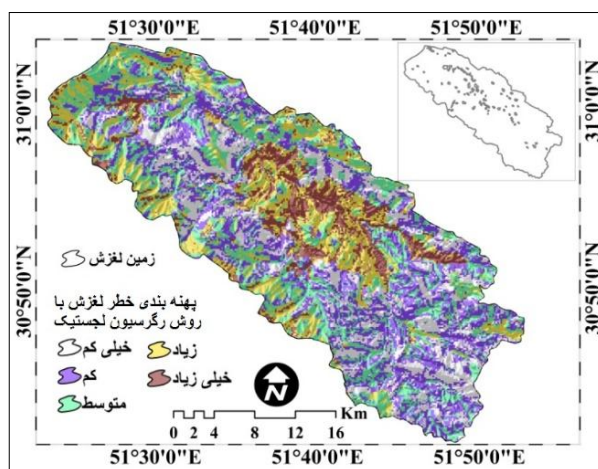
جدول ۴. نتایج تجزیه تحلیل آماری رگرسیون چند متغیره

عامل مؤثر در زمین لغزش (متغیر مستقل)	علامت در معادله رگرسیونی	وزن عامل	سطح معنی داری
-	مقدار ثابت	۰/۰۷۸	۰/۰۰۷
پوشش گیاهی	X_{veg}	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
فاصله از گسل	X_{flt}	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
کاربری زمین	X_{lus}	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
سنگ‌شناسی	X_{lith}	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰
بارندگی	X_{rain}	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۱
مقدار درصد شیب زمین	X_{slp}	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱
جهت شیب زمین	X_{asp}	۰/۰۳۸	۰/۰۰۰
فاصله از آبراهه	X_{dr}	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
فاصله از جاده	X_{roddis}	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
انحنای سطح	X_{Plan}	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
انحنای مقطع	$X_{profile}$	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
انحنای کلی	X_{Total}	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰
NDVI	X_{NDVI}	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰
TWI	X_{TWI}	-۰/۰۲۱	۰/۰۰۰
SPI	X_{SPI}	-۰/۰۲۵	۰/۰۰۰

بعد از به دست آمدن رابطه ۱۳ این مدل در کلیه واحدها اعمال شد و سپس نقشه به دست آمده از نظر حساسیت به زمین لغزش به پنج کلاس از خطر بسیار کم تا بسیار بالا بر اساس نقاط شکست فراوانی پیکسل‌ها تقسیم‌بندی گردید [۱، ۲، ۳، ۳۳، ۳۸ و ۳۹]. شکل (۲۰) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه ماربر سمیرم با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰. نقشه پهنه‌بندی به روش چند متغیره



شکل ۱۹. نقشه پهنه‌بندی به روش لجستیک

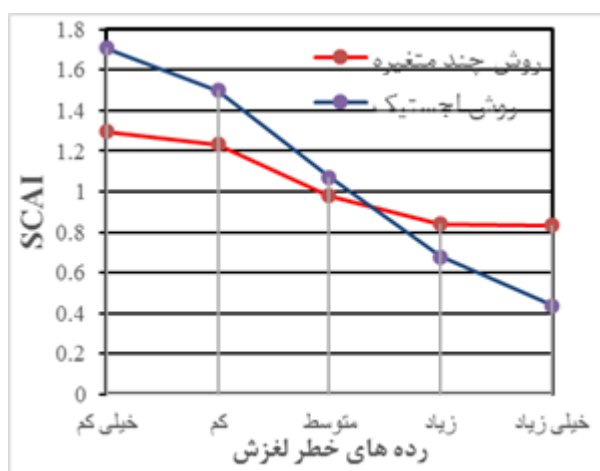
نشان دهنده همبستگی بالای رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه مورد مطالعه است. بنابراین از این حیث ترتیب تفکیک‌پذیری بین طبقات در هر دو مدل مناسب ارزیابی گردید. این همبستگی بین رده‌های خطر لغزش با مناطق لغزشی در مدل رگرسیون چند متغیره نسبت به مدل رگرسیون لجستیک نمود بارزتری دارد.

۴.۳. نتایج ارزیابی دقت و اعتبار سنجی مدل‌ها

نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر مبنای مدل‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره با استفاده از شاخص SCAI در جدول (۵) و اشکال (۲۱ و ۲۲) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو مدل با افزایش حساسیت خطر از خیلی کم به خیلی زیاد مقادیر نسبت فراوانی (FR) تقریباً روند صعودی داشته اما شاخص SCAI روند نزولی قابل توجه را نشان می‌دهد و

جدول ۵. نسبت فراوانی (FR) و شاخص SCAI پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش

مدل	رده‌های خطر لغزش	مساحت فاقد لغزش (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	درصد مساحت لغزش	مساحت هر رده خطر (هکتار)	درصد مساحت رده	درصد نسبت فراوانی	درصد Seed	SCAI
رگرسیون لجستیک	خیلی کم	۲۰۴۲۴	۶۸۷/۷۸	۲۱/۶۵	۲۱۱۱۱/۸	۲۶/۵۹	۰/۰۳	۱۵/۵	۱/۷
	کم	۲۱۴۴۰/۹	۸۷۳/۹	۲۷/۵۱	۲۳۳۱۴/۸	۲۸/۱	۰/۰۴	۱۸/۷	۱/۵
	متوسط	۱۳۷۲۵/۱	۴۹۶/۸۹	۱۵/۶۴	۱۴۲۲۲	۱۷/۹۱	۰/۰۳	۱۶/۷	۱/۰۷
	زیاد	۱۲۷۰۷/۲	۶۹۸/۲۲	۲۱/۹۸	۱۳۴۰۵/۵	۱۶/۸۸	۰/۰۵	۲۴/۹	۰/۶۸
	خیلی زیاد	۷۹۲۷/۹	۴۱۹/۵۸	۱۳/۲۱	۸۳۴۷/۵	۱۰/۵۱	۰/۰۵	۲۴	۰/۴۴
رگرسیون چند متغیره	خیلی کم	۱۵۲۹۳/۷	۴۷۹/۷	۱۵/۱۱	۱۵۷۷۳/۵	۱۹/۷۹	۰/۰۳	۱۵/۲	۱/۲۹
	کم	۱۵۱۸۴/۷	۴۹۸/۶	۱۵/۷۰	۱۵۶۸۳/۴	۱۹/۶۷	۰/۰۳	۱۵/۹	۱/۲۳
	متوسط	۱۵۸۴۰/۹	۶۹۷/۰۵	۲۱/۹۵	۱۶۵۳۸	۲۰/۷۵	۰/۰۴	۲۱/۱	۰/۹۸
	زیاد	۱۵۲۸۰/۶	۷۶۵/۵	۲۴/۱۰	۱۶۰۴۶/۱	۲۰/۱۳	۰/۰۵	۲۳/۹	۰/۸۴
	خیلی زیاد	۱۴۹۳۶	۷۳۵/۲	۲۳/۱۵	۱۵۶۷۱/۲	۱۹/۶۶	۰/۰۶	۲۳/۵	۰/۸۳



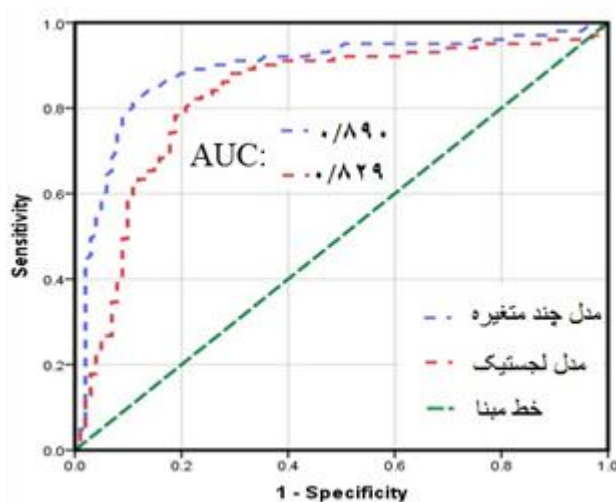
شکل ۲۲. روند شاخص سطح سلول هست



شکل ۲۱. روند شاخص نسبت فراوانی

مدل رگرسیون است که بیانگر همبستگی بالا بین نقشه خطر تهیه شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش و ارزیابی بهتر مدل چند متغیره است.

در شکل (۲۳) مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه نمودار هر یک از مدل‌ها نشان داده شده است. مدل رگرسیون چند متغیره دارای ROC بالاتری نسبت به



شکل ۲۳. منحنی نرخ پیش‌بینی (ROC) مدل‌ها

[۴۰] که روش رگرسیون چند متغیره را به‌عنوان یک روش کارآمد در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند، مطابقت داشته و با نظرات [۱۳، ۲۱ و ۲۸] که روش رگرسیون لجستیک را به‌عنوان روش کارآمد در تهیه نقشه رخداد زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند، مغایرت دارد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل متغیرهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره خطی، در هر دو مدل به ترتیب عوامل کاربری اراضی و جهت شیب بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده و بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته‌اند که البته این همسانی ترتیب اولویت دو عامل در دو مدل نیز مبین انتخاب درست دو مدل برای منطقه است. یکی از دلایل عمده وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه، تغییرات کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به دیگر کاربری‌ها است که این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش‌های [۴، ۱۴ و ۱۷] مطابقت دارد. جهت شیب نیز در وقوع زمین‌لغزش‌های این منطقه به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شده است که بیانگر نقش مؤثر جهت شیب‌های

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به شناسایی عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه با استفاده از آنالیز مقادیر عددی هر یک از پارامترها در مناطق لغزشی و غیره لغزشی با استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان پرداخته شد. بدین منظور ۲۱ لایه اطلاعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت و طبق نتایج ۱۵ لایه اطلاعاتی در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و رگرسیون چند متغیره خطی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج ارزیابی مدل با استفاده از روش ROC نشان داد مدل رگرسیون چند متغیره با (۰/۸۹۰) امتیاز در رتبه نخست قرار گرفته و روش رگرسیون لجستیک با (۰/۶۸۰) امتیاز در رتبه بعدی قرار گرفته است که بدین ترتیب مشخص می‌شود که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش رگرسیون چند متغیره در حوضه مورد مطالعه روش بهتر و کاربردی‌تری بوده و با ضریب اطمینان بیشتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که با نتایج [۲۰، ۳۴، ۳۵ و ۳۷

درصد) در رده خطر کم، ۱۴۲۲۲ هکتار (۱۷/۹۱ درصد) در رده خطر متوسط، ۱۳۴۰۵/۵ هکتار (۱۶/۸۸ درصد) در رده خطر زیاد و ۸۳۴۷/۵ هکتار (۱۰/۵۵ درصد) در رده خطر خیلی زیاد قرار گرفته است و بر اساس نتایج حاصل از روش چند متغیره ۱۵۷۷۳/۵ هکتار (۱۹/۷۹ درصد) از مساحت منطقه در رده خیلی کم، ۱۵۶۸۳/۴ هکتار (۱۹/۶۷ درصد) در رده کم، ۱۶۵۳۸ هکتار (۲۰/۷۵ درصد) در رده خطر متوسط، ۱۶۰۴۶/۱ هکتار (۲۰/۱۳ درصد) در رده خطر زیاد و ۱۵۶۷۱/۲ هکتار (۱۹/۶۶ درصد) در رده خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

شمال غربی و شمالی در ایجاد زمین لغزش به علت وجود بارندگی و رطوبت بیشتر در این دامنه‌ها و انتقال رطوبت بین سازندها به عنوان عامل درونی در کاهش فشار نرمال و مقاومت برشی خاک است که با نظرات [۸] مطابقت دارد. در نهایت، پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، منطقه مورد مطالعه بر اساس شکست‌های طبیعی منطقه به ۵ کلاس پتانسیل خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم گردید. بر اساس نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک، ۲۱۱۱۱/۸ هکتار (۲۶/۵۹ درصد) از مساحت منطقه در رده خطر خیلی کم، ۲۲۳۱۴/۸ هکتار (۲۸/۱)

References

- [1] Arabameri, A.R., Klorajan, A., Karami, J., Alimoradi, M. and Shirani, K. (2014). Zonation of Landslide Hazard Using Artificial Neural Network the Case Study: Marbor Basin, *Geodynamics Research International Bulletin*, 03, 44-59.
- [2] Arabameri, A.R. and Halabian, A.H. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case Study: Zarand Saveh Basin), *Physical Geomorphology*, 28, 65-86.
- [3] Arabameri, A.R. and Shirani, K. (2016). Identification of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Hazard Zonation Using Dempster-Shafer theory (Case study: Vanak Basin, Isfahan Province), *Watershed Engineering and Management*, 8 (1), 93-106.
- [4] Ayalew, L., Yamagishi, 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, *Eng. Geology*, 81, 432-445.
- [5] Begueria, S. and Lorente, A. (1999). Landslide Hazard Mapping by Multivariate Statistics: Comparison of Methodes and Case Study in the Spanish Pyrenees.
- [6] Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I. and Dick, O. B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS, *Computers and Geosciences* doi:10.1016/j.cageo.2011.10.031.
- [7] Blöchl, A. and Braun, B. (2005). Economic assessment of landslide risks in the Swabian Alb, Germany –research framework and first results of homeowners and rpxerts surveys, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 389-396.
- [8] 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.
- [9] Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C. and Vlaicu, M. (2010). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y.
- [10] Chang, K.T., Chiang, S.H. and Hsu, M.L. (2007). Modeling phoon- and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression, *Geomorphology*, 89, 335-347.

- [11] Chau, K.T. and Chan, J.E. (2005). Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island, *Landslides*, 13, 280-290.
- [12] 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.
- [13] Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. and Sonmez, H. (2006). Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area Istanbul Turkey, *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- [14] Ercanoglu, M. and Candan, G.P. (2004). Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey), *Engineering Geology*, 75, 229-250.
- [15] Evans I.S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics, *In R. J. Chorley (Ed), Spatial Analysis in Geomorphology*, 17-90.
- [16] Fall, M., Azzam, R. and Noubactep, C. (2006). A multi-method to approach to study the stability of nature slopes and landslide susceptibility mapping, *Engineering Geology*, 82, 241-263.
- [17] Fatemi Aghda, M., Ghiomian, J. and Eshgheli Farahani, A. (2004). Evaluation efficiency statistics methods in determined Landslide hazard potential, *Geosciences*, 11, 28-47.
- [18] Garsia-Rodríguez, 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.
- [19] Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Maps, (Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy), *Journal of Environmental Management*, 3, 247-263.
- [20] Hasanzade Nafati, M. (2000). Landslide hazard zonation in Shalmanrud watershed area. Watershed Management Engineering, M.Sc. Thesis Natural Resources Faculty, Tehran University. 125 pp.
- [21] Hosseinzadeh, M., Servati, M. R. and Mansouri, A. (2009). Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model, *IRAN Geology Quarterly*, 3 (11), 27-37.
- [22] Ilinca, V. and Gheuca, I. (2011). The red lake landslide (Ucigau Mountain, Romania), *Carpathian Jour. Earth Environ*, 23, 263-272.
- [23] Kayastha, P., Dhital, M.R. and Smedt, F.D. (2012). Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed (Case Study: Nepal), *Nat Hazards*, 63, 479-498.
- [24] 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.
- [25] Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.
- [26] Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damreiromal area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models, *Journal of Environmental Geology*, 50, 847-855
- [27] 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.
- [28] Ohlmacher, G. C. and Davis, J. C. (2003). Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslide Hazard in Northeast Kansas USA, *Engineering Geology*, 69, 331-343.
- [29] 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.
- [30] Pradhan, B. and Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, *Environmental Modelling & Software*, 25, 747-759.

- [31] Pike, R.J. (2000). Geomorphology - Diversity in quantitative surface analysis, *Progress in Physical Geography*, 24, 1-20.
- [32] Regmi, N.R., Giardino, J.R. and Vitek, J.D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach (Case Study: Western Colorado, USA), *Geomorphology*, 115, 172-187.
- [33] Roostaei, S.H. and Ahmadzadeh, H. (2005). GIS-based Zonation of Environmental Hazards Influence upon Linear Structures (Case Study: Tabriz-Mianeh Area). International Conference of Geo Hazard and Natural Disasters, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- [34] Safari, A., Alimoradi, M. and Hatamifard, R. (2013). Landslide Hazard Zonation Using Multivariate Regression Method, *Quantities Geomorphology Researches*, 3, 59-74.
- [35] Sefidgari, R. (2003). Evaluation Landslide Hazard Zonation Methods at a Scale of 1:50000, Case Study: Damavand Drainage Basin, M.Sc. Thesis, University of Tehran.
- [36] Shirani, K. (2003). Evaluation of the most important of zonation hazard landslide methods for selection appropriate method in south of Isfahan Province (Case Study: Semirom Region across Marbor River). Final report of research plan. Record No. 83/961.
- [37] Shirani, M. (2004). Evaluation of landslide hazard zonation methods against suitable model selection for Semirom. Final report of investigative scheme. Research center of Watershed Management and Soil Conservation. Record No. 961, Press, 95p.
- [38] Shirani, K., Hajhashemijazi, M.R., Niknezhad, S.A. and Rakhsha, S. (2012). Landslide Risk Zoning Potential by Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression (MR) (Case Study: Upstream of North Karoon Basin), *Journal of Range and Watershed Management*, 65 (3), 595-409.
- [39] Shirani, K. and Arabameri, A.R. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study:Dez-e-Oulia Basin), *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci., Isf. Univ. Technol., Isf., Iran* 72, 321-334.
- [40] Soori, S. (2010). Evaluation of landslide hazard zonation in Keshvari basin. The 5th international Symposium of Geology and Environment, Tehran: 171-176.
- [41] Song, R.H., Hirim, U.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 (case study: the Saba Area), *International Journal of Sediment Research*, 23, 106-118.
- [42] Shary. P., Sharaya. L. and Mitusov. A. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 107, 1-32.
- [43] Suzen, M.L. and Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Eng Geol*, 71, 303-352.
- [44] Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*. 240, 1285-1293.
- [45] 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: Flemish Ardennes). *Geomorphology*, 76, 392-410.
- [46] Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J. and Soeters, R. (1997). Predication of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation, *Geologisches Rundschau*, 86, 404-414.
- [47] Van Western, C.J., Van Asch, T.H. and Soeters, R. (2005). Landslide Hazard and Risk Zonation: Why is it Still so Difficult, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2, 176-184.
- [48] Wood, J. D. (1996). The Geomorphologic Characterization of digital elevation models. Ph.D. Dissertation, University of Leicester, UK.
- [49] Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison (case study: Kat landslides), *Computer and Geosciences*, 35, 1125-1138.