

۳۵/۶۰ درصد در منطقه با خطر متوسط و ۴۶/۰۱ درصد مساحت حوضه در منطقه با خطر بالا قرار گرفتند.  
واژگان کلیدی: حرکت‌های توده‌ای، پهنه‌بندی خطر، سیستم اطلاعات جغرافیایی، هراز، همبستگی لجستیک.

## مقدمه

حرکت توده‌ای به کلیه حرکات و گسیختگی‌های شیبی و یا دامنه‌ای گفته می‌شود که با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان به سطح پایین‌تر از واحد، تحت تأثیر غلبه نیروهای محرک بر نیروهای مقاومتی در سطوح شیب‌دار به وقوع می‌پیوندد [۲۷]. بررسی آماری حرکت‌های توده‌ای در طی سال ۱۳۸۲ نشان می‌دهد که استان مازندران با تعداد ۴۲۲ مورد رخداد و ۱۲/۵ درصد فراوانی، بالاترین آمار از کل تعداد رخدادهای حرکت توده‌ای ثبت شده را به خود اختصاص داده است [۱۷]. عامل زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی را در وقوع حرکت‌های توده‌ای ایفا می‌کند. از آنجا که تنوع بافت و سنگ‌شناسی در سنگها و خاکها منجر به تفاوت در استحکام و نفوذپذیری آنها می‌شود عامل زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در وقوع حرکت‌های توده‌ای ایفا می‌کند [۳]. عامل جهت و درجه شیب نیز از جمله مهمترین عوامل تأثیرگذار می‌باشد. بریدگی‌های جاده به طور معمول محل‌هایی هستند که در آن، فعالیت‌های انسانی منجر به ناپایداری شیب می‌شوند [۱]. بخش مشخصی از جاده ممکن است به عنوان یک مانع، یک فرورفتگی و یا دالانی برای عبور جریان آب عمل کرده و بسته به موقعیت جاده در مناطق کوهستانی، به طور معمول به عنوان منبعی برای وقوع زمین لغزش عمل می‌کند [۳]. همچنین شبکه رودخانه می‌تواند با ایجاد فرسایش و یا اشباع نمودن افق‌های پایینی خاک طی بالا کشیدن سطح آب در کانال خود، سبب وقوع حرکت توده‌ای گردد [۱۲]. ارتفاع از سطح دریا از جمله متغیرهایی است که در اکثر مطالعات حرکت‌های توده‌ای به عنوان عامل اصلی و تأثیرگذار بر وقوع حرکت توده‌ای مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است [۱۰]. فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی نیز یکی از مهمترین عوامل وقوع حرکت‌های توده‌ای در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید. روش‌های کیفی و کمی متنوعی به منظور پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای توسط پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است که عبارتند از: شاخص همپوشانی [۱۱]، نسبت فراوانی [۲۹]، تحلیل سلسله مراتبی [۲۸]، روش ترکیب وزنی خطی [۲]،

## تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکت‌های توده‌ای با استفاده از مدل آماری همبستگی لجستیک مطالعه موردی: کیلومتر ۴۵-۵۷ جاده هراز از سمت آمل

حسین صداقت<sup>۱</sup>، بهارک معتمد وزیری<sup>۲</sup>، عطااله کاویان<sup>۳</sup>  
و سیده زهره موسوی خطیر<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

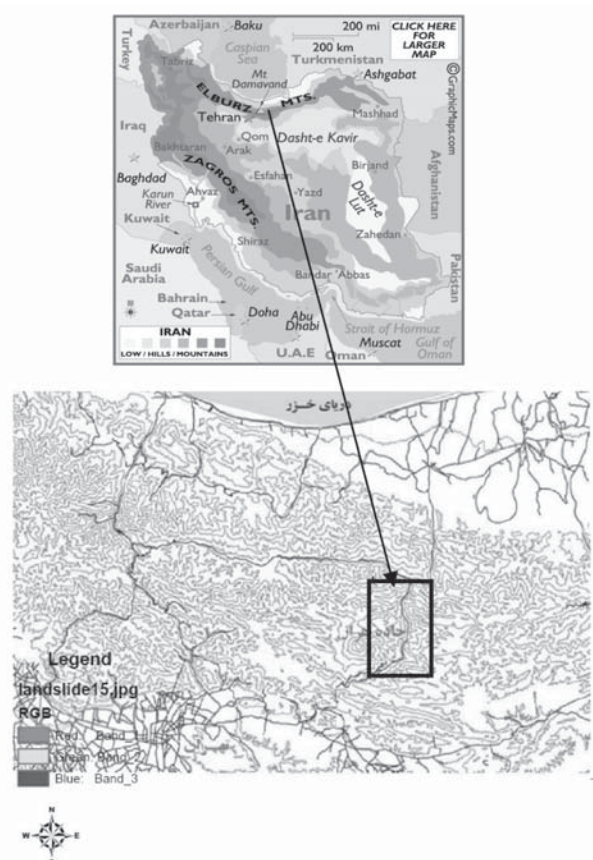
## چکیده

یکی از فرایندهای دامنه‌ای که هر ساله در برخی نقاط جهان و ایران رخ داده، وقوع پدیده حرکت‌های توده‌ای در حاشیه جاده‌ها می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در فاصله بین ۴۵-۵۷ کیلومتری جاده هراز از سمت آمل به تهران، یکی از مستعدترین مناطق از لحاظ وقوع حرکت‌های توده‌ای می‌باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، مشخص کردن نقاط حساس به حرکت‌های توده‌ای و تهیه نقشه پهنه بندی خطر به منظور پیش‌بینی خطر در آینده با استفاده از مدل همبستگی لجستیک می‌باشد ابتدا بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، عکسهای هوایی و نیز مطالعات میدانی، هفت عامل مؤثر بر وقوع حرکت‌های توده‌ای منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی شناسایی شدند، سپس اقدام به پردازش آنها با استفاده از نرم‌افزار Arc/view ۳.۲a. گردید. با ورود متغیرهای مستقل به نرم‌افزار SPSS ۱۵ و انتخاب روش پیشرونده پلکانی در مدل آماری رگرسیون لجستیک، تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که عامل کاربری اراضی به دلیل عدم همبستگی آماری با وقوع حرکت توده‌ای از مدل نهایی حذف شد. پس از انتقال این مدل به نرم‌افزار Arc/view ۳.۲a، نقشه پهنه بندی خطر حرکت توده‌ای منطقه مورد مطالعه با چهار کلاس تهیه گردید. بر این اساس ۰/۶۹ درصد از مساحت حوضه در منطقه با خطر خیلی کم، ۱۷/۶۹ درصد در منطقه کم خطر،

۱ - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه آبخیزداری، تهران، ایران  
sedaghatosein@gmail.com

۲ - استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران  
۳ - استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴ - کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و جاده هراز

آنالیز تشخیصی [۶]، روش آماری دو متغیره [۱۵] و همبستگی لجستیک! روش آماری همبستگی لجستیک به منظور تهیه نقشه پهنه بندی خطر حرکت توده‌ای توسط پژوهشگران زیادی [۱، ۱۳، ۱۹، ۲۱، ۲۶ و ۲۹] مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصل از مدل با صحت بالایی مورد تایید قرار گرفته است. برنینگ [۴] روش‌های مختلفی را مطالعه و مدل همبستگی لجستیک با انتخاب گام به گام متغیرهای مستقل را یک روش مناسب جهت پیش بینی حساسیت زمین لغزش معرفی کرد، همچنین با توجه به اینکه حوزه آبخیز هراز به لحاظ موقعیت کوهستانی و زمین شناسی خاص خود بسیار مستعد وقوع حرکات توده‌ای می‌باشد، همواره مورد توجه بوده و به روش‌های آماری نوینی از جمله منطق فازی، پورقاسمی و همکاران [۲۵] و مدل‌های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی محمدی و همکاران [۲۰] مورد تجزیه و تحلیل و پهنه‌بندی وقوع خطر حرکت توده‌ای و زمین لغزش قرار گرفته است. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان تأثیر عوامل مؤثر و اجرای مدل آماری چند متغیره لجستیکی به منظور پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع حرکات‌های توده‌ای در منطقه مورد مطالعه در جاده هراز می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی میزان تأثیر عوامل مؤثر و تهیه نقشه پهنه بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در

منطقه مورد مطالعه در جاده هراز از روش تحلیل آماری همبستگی لجستیک چند متغیره استفاده شده است [۱].

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۵۷-۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان آمل واقع در البرز میانی و شمال قله دماوند و حوضه آبخیز هراز در مختصات جغرافیای ۳۶°۰۰' تا ۳۶°۰۷' عرض شمالی و ۵۲° ۱۴' تا ۵۲° ۱۸' طول شرقی قرار دارد که قسمتی از جاده هراز را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

رودخانه هراز نیز از میان منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند که از ارتفاع ۱۱۲۰ متری شروع و در ارتفاع ۹۰۲ متری از منطقه مورد مطالعه خارج می‌شود. روستاهای پنجاب، رزان، بایجان، کندیوان و کهرود در بالای این منطقه قرار می‌گیرند. مساحت منطقه ۶۰ کیلومتر مربع و محیط آن ۳۴ کیلومتر می‌باشد. بیشتر منطقه دارای پوشش سنگلاخی می‌باشد، ارتفاع متوسط حدود ۱۷۰۰ و اقلیم منطقه از نوع سرد و خشک است. حرکات‌های توده‌ای متعددی در طی پیمایش صحرایی در منطقه مشاهده شده‌اند که اکثر آنها از نوع ریزش، خزش و واریزه می‌باشد.

### پراکنش حرکات‌های توده‌ای

1- Logistic regression

(حرکت توده‌ای) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای است.

شکل کلی و عمومی معادله همبستگی لجستیک به صورت زیر است:

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

که در آن P احتمال رخداد حادثه است که در این پژوهش احتمال وقوع حرکت توده‌ای می‌باشد و دامنه آن بین صفر و یک متغیر است.

که در آن Z عامل یا فاکتور خطی می‌باشد و از رابطه‌ی ۲ بدست می‌آید.

$$z = \text{Log}(p) = \ln \left( \frac{p}{1-p} \right) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (2)$$

که در آن  $C_0$  عرض از مبدا یا ضریب ثابت است  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل  $X_1, X_2, \dots, X_n$  هستند [۷].

با تغییر مقدار Z از  $-\infty$  تا  $+\infty$  احتمال وقوع حرکت توده‌ای (P) به صورت منحنی S از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هر چه به عدد یک نزدیکتر باشد، احتمال وقوع حرکت توده‌ای بیشتر و هر چه به عدد صفر نزدیکتر باشد احتمال وقوع، کمتر خواهد بود. در این مدل متغیرهای مستقل می‌توانند شامل متغیرهای پیوسته، منفصل و یا ترکیبی از هر دو نوع باشند. و همچنین در این مدل لزومی به برقراری توزیع نرمال بین متغیرهای مستقل وجود ندارد در این مدل نیازی به برابری واریانس آماری نیست و در نتیجه به فرضیات آماری کمتری نیازمند است [۱۹ و ۷].

از آنجا که کاربرد مدل آماری همبستگی لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل ناپایداری شیب و متغیر وابسته دو حالتی یعنی وقوع و عدم وقوع حرکت توده‌ای است، علاوه بر ۸۶ نقطه دارای حرکت توده‌ای شناسایی شده در منطقه، ۸۶ نقطه دیگر که حرکت توده‌ای در آن رخ نداده به صورت تصادفی با پیمایش صحرایی در سراسر حوضه شناسایی شده و پس از همپوشانی با نقشه‌های عوامل مؤثر به کلاس‌هایی که حرکت‌های توده‌ای در آن رخ داده کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت. با ورود داده‌ها به مدل آماری همبستگی لجستیک گام به گام<sup>۱</sup> و انتخاب روش پیش رونده شرطی<sup>۲</sup> تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها صورت گرفت [۲۱].

در پایان مدلی با حذف متغیرهای مستقل غیرمعنی دار به دست آمد و در نهایت ضرایبی به کلاس‌های متغیرهای مستقل همبسته با متغیر وابسته اختصاص داده شد. با توجه به ضرایب حاصل از تحلیل همبستگی لجستیک، ضریب مثبت  $\beta$  به این معنی است که آن متغیر نقش بیشتری در وقوع حرکت توده‌ای دارد و بر عکس ضریب منفی  $\beta$  نمایانگر همبستگی ضعیف متغیر مستقل با متغیر وابسته

در این پژوهش بر اساس مطالعات میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی سیاه و سفید با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ تعداد ۸۶ حرکت توده‌ای شامل ۱۲ خزش و ۴۷ ریزش سنگ و ۱۷ واریزه شناسایی و پس از بررسی‌های مجدد میدانی و صحرایی به وسیله GPS (مدل Garmin) مورد بازبینی و تایید قرار گرفتند. نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای در محیط نرم افزار Arc/view ۳.۲a تهیه (شکل ۲) و به نقشه رستری با اندازه سلول‌های ۲۰ در ۲۰ متر تبدیل شد.

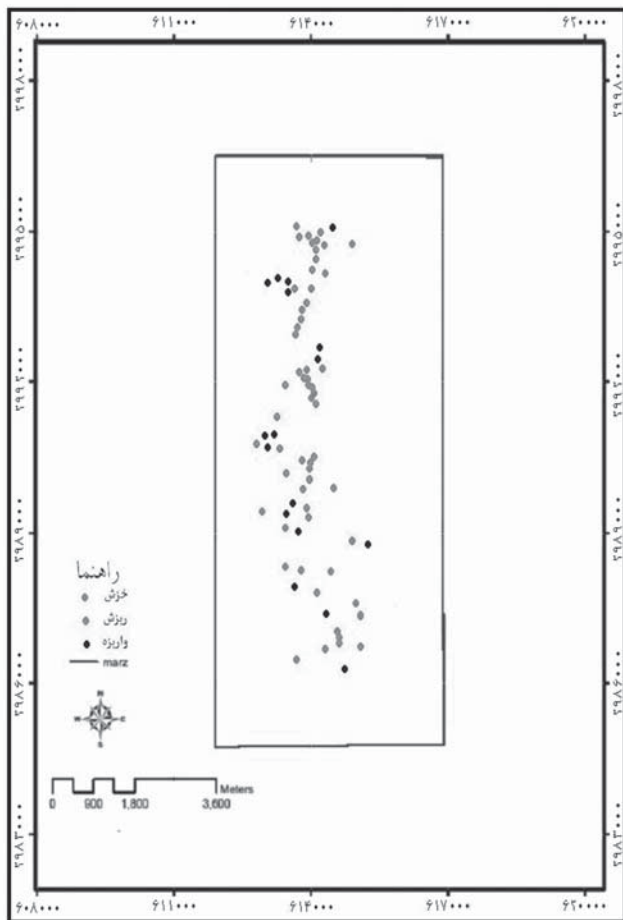
### شناسایی لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع حرکت توده‌ای:

شناسایی مجموعه مؤثری از عوامل ناپایداری که در ارتباط با ناپایداری شیب می‌باشند، نیازمند دانش اولیه‌ای از عوامل مؤثر حرکت‌های توده‌ای است. شناخت و انتخاب عوامل مؤثر نقش زیادی در صحت این نقشه‌ها به ویژه برای استفاده نتیجه بخش از روش‌های آماری در پهنه‌بندی دارند. پس از بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، هفت عامل در وقوع حرکت‌های توده‌ای منطقه مهم‌تر و مؤثرتر شناخته شدند. این عوامل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی کمی و در اختیار گرفته شدند که به ترتیب شامل: شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، ارتفاع از سطح دریا، کاربری اراضی، سنگ شناسی می‌باشند. نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر ذکر شده در محیط نرم افزار Arc/view ۳.۲a تهیه و برای پردازش آماده شدند. از نقشه پستی و بلندی ۱/۵۰۰۰۰ جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع با پیکسل‌های ۲۰ در ۲۰ استفاده شد. بر اساس نقشه رستری مدل رقومی ارتفاع، نقشه طبقات ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب تهیه گردیدند. نقشه‌های فاصله از جاده و فاصله از رودخانه با طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه جاده (۱۰۰ متری) و شبکه آب سنجی (۶۰ متری) رقومی شده از نقشه پستی و بلندی منطقه تهیه شدند. بر اساس طبقه بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ETM<sup>+</sup> و بازدید صحرایی و کنترل صحت، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. همچنین بر اساس تفکیک و رقومی کردن چند ضلعی‌های واحدهای سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم‌افزار Arc/view ۳.۲a نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه گردید.

### مدل سازی خطر وقوع حرکت توده‌ای با استفاده از همبستگی لجستیک

همبستگی لجستیک روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است که حضور و عدم حضور متغیر وابسته را در ارتباط با متغیرهای مستقل، مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد. هدف اصلی از همبستگی لجستیک، مدل‌سازی احتمال وقوع یک رویداد دو حالتی متداول، حضور و عدم حضور عوامل مختلف و معنی داری این حضور و عدم حضور می‌باشد [۳]. در مورد نقشه حساسیت حرکت توده‌ای، هدف همبستگی لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته

1- Stepwise  
2- Forward conditional



شکل ۲- نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای

احتمال وقوع حرکت توده‌ای در این طبقات با هم برابر باشند، نقشه پهنه بندی بدست آمده از مدل از صحت لازم و کافی برخوردار است [۷]. در روش دیگر ارزیابی صحت که در واقع بررسی دقیق‌تر روش قبلی ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی به حساب می‌آید، در این روش به منظور ایجاد مقایسه، سطر پراکنش حرکت توده‌ای در هر طبقه و سطر میانگین احتمال وقوع حرکت توده‌ای (P) در هر طبقه را نرمال کرده و در سطر جداگانه اختلاف بین دو سطر نرمال شده را بدست آورده و درصد می‌گیریم، در این روش در صورتی که درصد اختلاف بین تراکم حرکت توده‌ای نرمال شده و میانگین احتمال وقوع حرکت توده‌ای نرمال شده در هر طبقه از نقشه پهنه بندی پایین‌تر باشد، نقشه پهنه بندی تهیه شده از صحت آماری لازم برخوردار است [۷].

### نتایج

نقشه پراکنش حرکات توده‌ای مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc/view ۳.۲a تهیه شده است (شکل ۲) همچنین نقشه‌های عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای منطقه شامل ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب،

(حرکت توده‌ای) است. پس از اعمال ضرایب بدست آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل، مطابق رابطه (۲) عامل خطی Z تهیه شده که با جایگذاری پارامتر خطی Z در معادله اصلی همبستگی لجستیک رابطه (۱) و انتقال آن به نرم‌افزار Arc/view ۳.۲a نقشه اولیه احتمال خطر حرکت توده‌ای با محدوده بین صفر و یک تهیه شد.

### ارزیابی صحت مدل

یک روش تحلیلی استاندارد در همبستگی لجستیک به منظور بررسی صحت مدل، آزمون درصد صحت پیش بینی مدل بر اساس جدول طبقه بندی صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش بینی شده است [۷]. در این مدل احتمال وقوع زمین لغزش (P) برای تمام نقاط رستری وقوع و عدم وقوع حرکات توده‌ای (۸۶ نقطه کد یک و ۸۶ نقطه کد صفر) محاسبه می‌شود. زمانیکه احتمال وقوع پیش بینی شده (P) برای تمام نقاط رستری حرکت توده‌ای، بزرگتر از ۰/۵ (۱-۰/۵) و برای نقاط رستری عدم وقوع زمین لغزش، کمتر از ۰/۵ (۰-۰/۵) بدست آمد، پیش بینی مدل ۱۰۰٪ صحیح است. برای یک مدل موفق، نقاط صفر باید نزدیک به انتهای پایینی یا (P=۰) و نقاط ۱ در انتهای بالایی طبقه بندی یا (P=۱) ظاهر شوند [۵]. در روش دیگر ارزیابی صحت مدل، فاکتورهای  $R^2$  ناگلکرک،  $R^2$  کوکس و اسنل<sup>۲</sup> و منفی دو برابر لگاریتم احتمال در خروجی مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانند ضریب تبیین  $R^2$  در همبستگی خطی، عوامل  $R^2$  ناگلکرک،  $R^2$  کوکس و اسنل و منفی دو برابر لگاریتم احتمال به عنوان ضرایب همبستگی در تحلیل همبستگی لجستیک می‌باشند. فاکتور منفی دو برابر لگاریتم احتمال شبیه مربع کای رفتار می‌کند و با توجه به این عامل، زمانی مدل با داده‌های مشاهده‌ای تطابق دارد که مقدار کمتری از فاکتور  $2LL$  را به خود اختصاص دهد. در این روش ابتدا یک بار با حضور تمامی متغیرهای مستقل مؤثر در حرکات توده‌ای منطقه مورد مطالعه، مدل آماری اجرا و مقدار عامل‌های  $R^2$  ناگلکرک،  $R^2$  کوکس و اسنل و منفی دو برابر لگاریتم احتمال ثبت گردید. در مراحل بعد تجزیه و تحلیل نتایج مدل به ترتیب با حذف هر یک از عوامل مؤثر، به طور جداگانه صورت گرفت. در روش دیگر ارزیابی صحت مدل ابتدا نقشه پهنه بندی حرکت توده‌ای را به ۵ طبقه تقسیم کرده، میانگین احتمال خطر وقوع (P) در هر طبقه را محاسبه و سپس تعداد نقاط حرکت توده‌ای در کیلومتر مربع در هر طبقه (پراکنش نقاط حرکت توده‌ای در هر طبقه) را مشخص و ثبت می‌کنیم در نهایت برای تعیین ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی، تغییرات تدریجی پراکنش حرکت توده‌ای را با تغییرات میانگین احتمال وقوع حرکت توده‌ای در طبقات نقشه پهنه بندی مورد مقایسه قرار می‌دهیم در صورتی که افزایش تراکم حرکت توده‌ای از طبقه اول به طبقه آخر پهنه بندی، و نسبت افزایش

- 1- Classification table
- 2- Nagelkerk
- 3- Cox and Snell

$$(-2/547) + (d_p) (2/198) + (d_1) (1/980) + (c_p) (-3/815) + (3/921) + (g_1) (1/235) + (e_p) (-2/443) + (e_1) (2/012) + (d_0) (g_{11}) (-2/626) + (g_1) \quad (3)$$

که در آن  $a_0$  کلاس پنجم شیب،  $b_0$  کلاس پنجم جهت شیب  $c_p$  کلاس سوم فاصله از رودخانه،  $c_0$  کلاس پنجم فاصله از رودخانه،  $d_1$  کلاس اول فاصله از جاده،  $d_p$  کلاس سوم فاصله از جاده،  $d_0$  کلاس پنجم فاصله از جاده،  $e_1$  کلاس اول طبقه ارتفاعی،  $e_p$  کلاس هفتم طبقه ارتفاعی،  $g_1$  کلاس اول سنگ شناسی،  $g_p$  کلاس ششم سنگ شناسی،  $g_{11}$  کلاس یازدهم سنگ شناسی با قرار دادن عامل خطی  $Z$  در رابطه ۱ معادله نهایی مدل آماری همبستگی لجستیک تهیه شد.

پس از اعمال ضرایب و انجام عملیات در نرم افزار Arc/view ۳.۲a نقشه نهایی پهنه بندی خطر وقوع حرکت های توده ای (شکل ۴) با چهار طبقه احتمالاتی به شرح زیر بدست آمد:

- مناطق خیلی کم خطر ۰/۲۵ -
- مناطق کم خطر ۰/۵۰ - ۰/۲۵
- مناطق با خطر متوسط ۰/۷۵ - ۰/۵۰
- مناطق با خطر بالا ۱ - ۰/۷۵

نتایج نشان داد که ۰/۶۹ درصد از مساحت منطقه با خطر خیلی کم، ۱۷/۶۹ درصد از مساحت منطقه با خطر کم، ۳۵/۶۰ درصد از مساحت منطقه با خطر متوسط و ۴۷/۰۱ از مساحت منطقه در منطقه

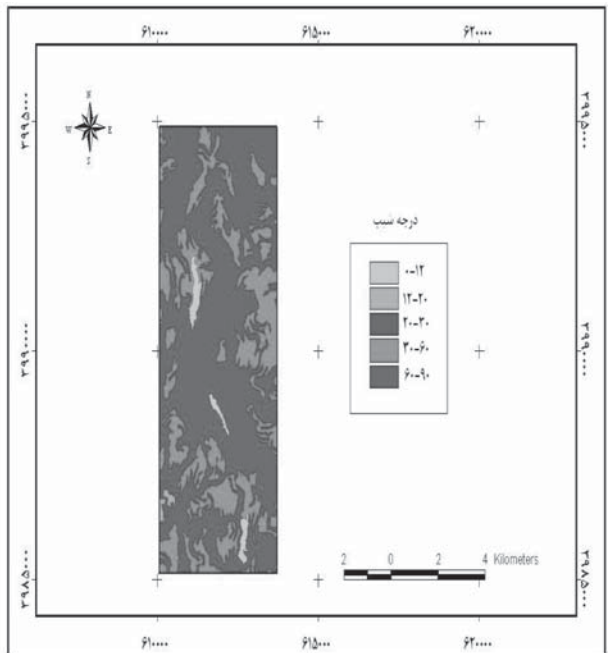
طبقات میانگین بارندگی سالانه، طبقات فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی و فاصله از جاده، کاربری اراضی و سنگ شناسی بر اساس داده های اولیه شامل نقشه پستی و بلندی ۱:۵۰۰۰۰ نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصویر ماهواره ای لندست ETM+ در محیط نرم افزار Arc/view ۳.۲a تهیه شده اند (شکل ۳). همچنین درصد وقوع و تراکم حرکت توده ای در طبقات مختلف عوامل مؤثر در جدول ۱ آمده است.

با ورود کلیه متغیرهای مستقل و وابسته به مدل آماری همبستگی لجستیک و انتخاب روش پیش رونده پلکانی، تجزیه و تحلیل داده ها صورت گرفته و متغیرهای مستقل بدون همبستگی آماری، از مدل نهایی حذف و به سایر متغیرهای مستقل بر اساس میزان همبستگی با متغیر وابسته ضرایبی تعلق گرفت (جدول ۱).

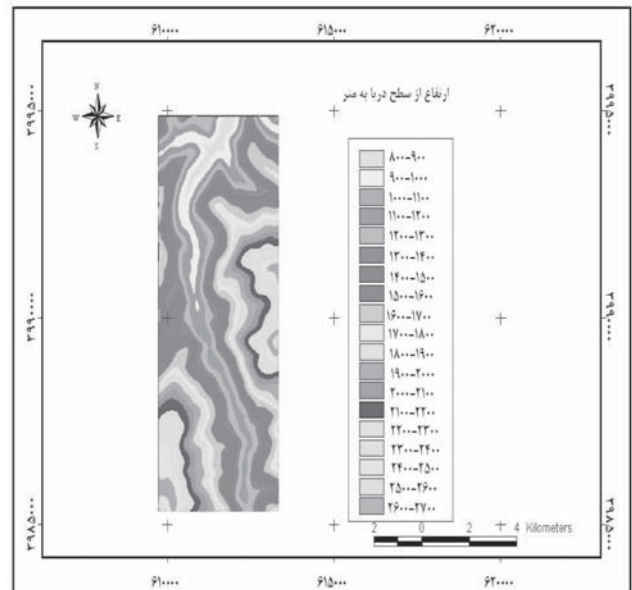
با توجه ضرایب خروجی همبستگی لجستیک عوامل سنگ شناسی، جهت شیب دامنه، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و طبقات ارتفاعی و درجه شیب به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را بر وقوع حرکت های توده ای منطقه داشته اند و بیشترین حساسیت در میان کلاسهای متغیرهای مستقل مربوط به کلاس اول و ششم سنگ شناسی، جهت شیب شمال غربی، فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده، فاصله ۱۸۰-۱۲۰ متری از رودخانه، ارتفاع ۸۰۰-۹۰۰ متری و کلاس پنجم درجه شیب < ۶۰ درجه بوده است.

با جایگذاری ضرایب مدل در رابطه ۲، عامل خطی  $Z$  (رابطه ۳) بدست آمد:

$$Z = (-19/746) + (a_0 + 1/055) (3/196) + (b_0) (1/597) + (c_p)$$

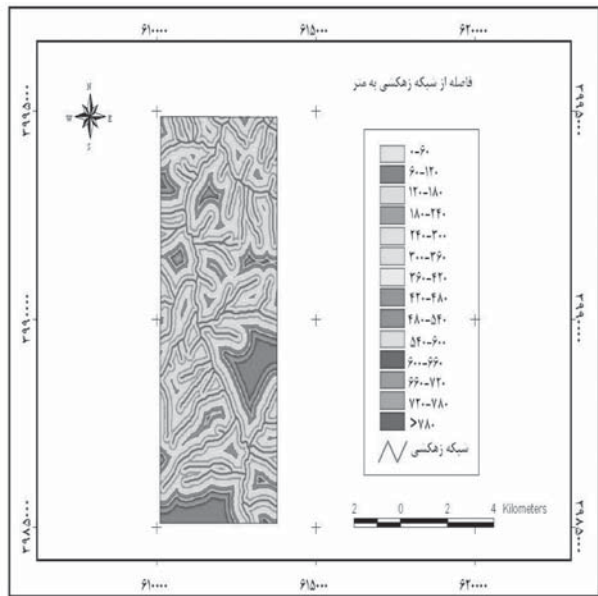


(ب)

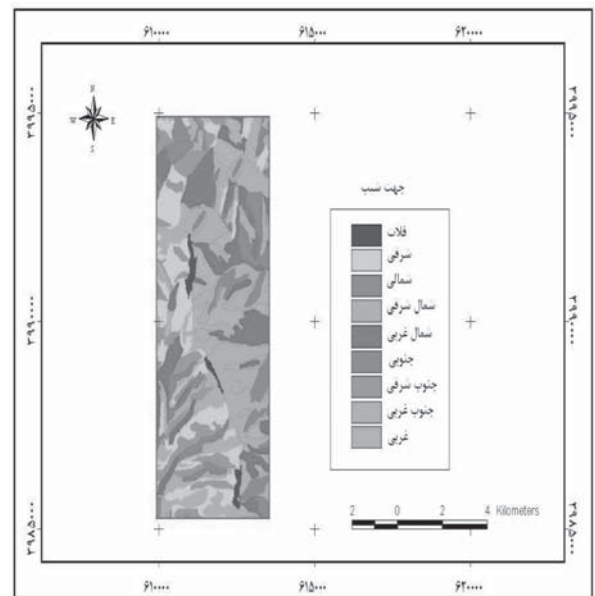


(الف)

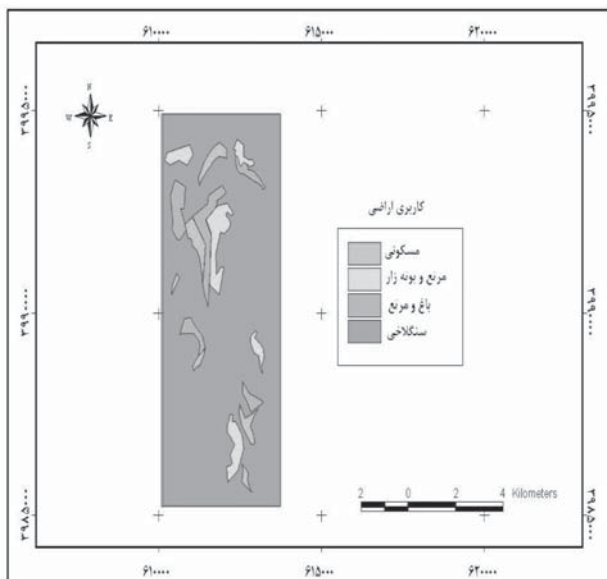
شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر شامل الف: طبقات ارتفاعی، ب: درجه شیب، ج: جهت شیب، د: فاصله از شبکه زهکشی، ه: فاصله از جاده، و: کاربری اراضی، ز: سنگ شناسی



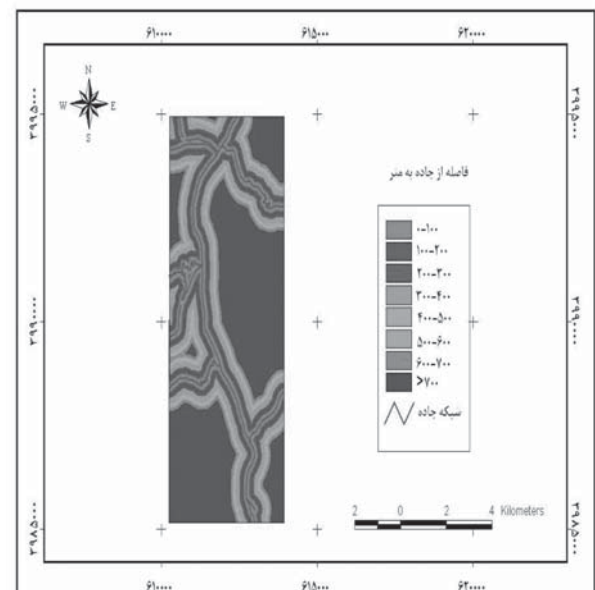
(د)



(ج)



(و)



(ه)

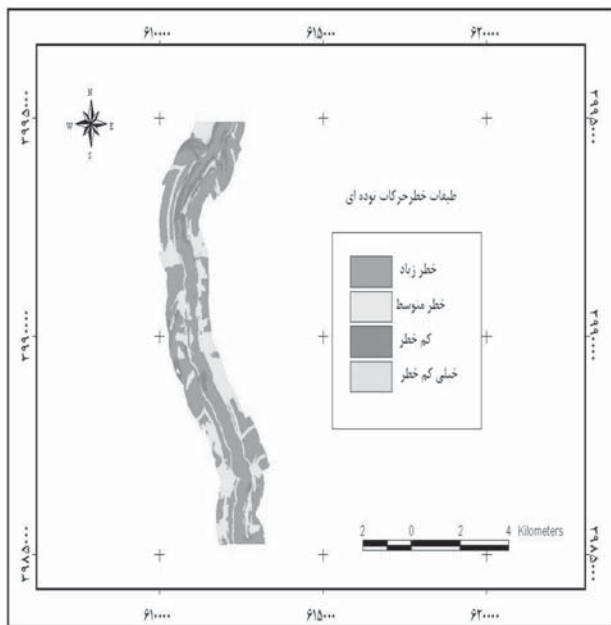
ادامه شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر شامل الف: طبقات ارتفاعی، ب: درجه شیب، ج: جهت شیب، د: فاصله از شبکه زهکشی، ه: فاصله از جاده، و: کاربری اراضی، ز: سنگ شناسی

و  $R^2$  کوکس و اسنل بیشتر و  $2LL$  کمتری داشته باشد. در مطالعه حاضر فاکتور  $2LL$  در صورت حضور تمام متغیرهای انتخاب شده توسط مدل، برابر  $144/802$  و ضرایب  $R^2$  ناگلکرک و  $R^2$  کوکس و اسنل به ترتیب  $0/450$  و  $0/602$  و می‌باشند. فاکتور  $2LL$  با حضور تمامی متغیرهای مستقل انتخاب شده توسط مدل نسبت به عدم حضور نوبتی متغیرهای اشاره شده کمتر و ضرایب همبستگی و  $R^2$  ناگلکرک و  $R^2$  کوکس و اسنل بیشتر بوده است. که نشان دهنده

با خطر بالا واقع شده‌اند.

### ارزیابی مدل

روش اول ارزیابی صحت مدل، بررسی ضرایب همبستگی  $R^2$  ناگلکرک،  $R^2$  کوکس و اسنل و منفی دو برابر لگاریتم احتمال در خروجی مدل است. با توجه به ضرایب ذکر شده، مدلی از صحت آماری بیشتری برخوردار است که ضرایب همبستگی  $R^2$  ناگلکرک

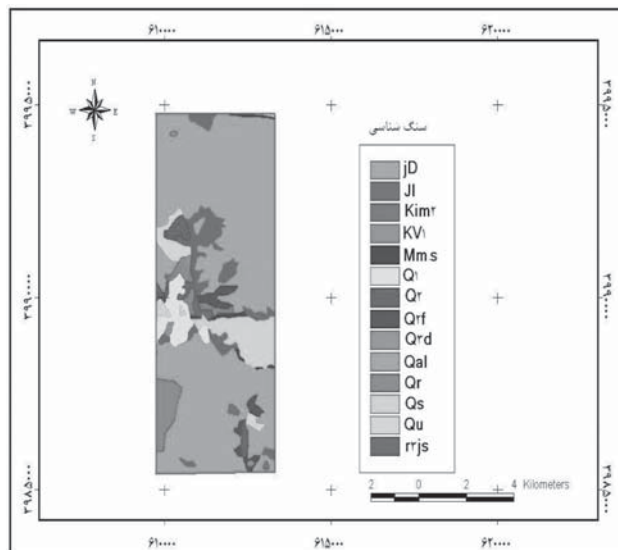


شکل ۴- نقشه پهنه بندی خطر حرکت توده‌ای در منطقه مورد مطالعه

جدول ۴ مشاهده شد که پراکنش حرکت‌های توده‌ای از طبقه اول تا آخر نقشه پهنه بندی، از ۰/۱۹ به ۲/۱۴ حرکت توده‌ای در هر کیلومتر مربع افزایش یافته است، یعنی ۱۱/۲۶ برابر شده است. این نسبت به طور تقریب برابر با ۹ که نسبت بین میانگین احتمال خطر پیش بینی شده در آخرین طبقه به اولین طبقه نقشه پهنه بندی است که از ۰/۱ به ۰/۹ افزایش یافته است، یعنی در واقع نسبت احتمال خطر پیش بینی شده برای وقوع حرکت‌های توده‌ای و پراکنش واقعی حرکت‌های توده‌ای منطقه ۱/۲۵ بوده که نشان می‌دهد نقشه احتمال خطر پیش بینی شده در حد بسیار بالایی با حرکت‌های توده‌ای مشاهده شده در منطقه مطابقت دارد. در این روش ارزیابی با توجه به سطر آخر از جدول ۴ که درصد اختلاف بین میانگین احتمال خطر نرمال شده و پراکنش نرمال شده حرکت‌های توده‌ای در هر طبقه را نشان می‌دهد، مشخص شد که اختلاف بین حرکت‌های توده‌ای پیش بینی شده و مشاهده شده برای تمام طبقات احتمال خطر کمتر از ۳۵/۳۶ درصد بوده است. بنابراین نتیجه گرفته شد مدل آماری همبستگی لجستیک در تحلیل خطر حرکت‌های توده‌ای منطقه مورد مطالعه از صحت و درستی بالایی برخوردار است [۲۱].

### بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش برای پهنه بندی خطر حرکت توده‌ای از روش آماری همبستگی لجستیک بر اساس ۸۶ نقطه دارای حرکت توده‌ای و ۸۶ نقطه فاقد حرکت توده‌ای استفاده شده است. در ابتدا ۹ عامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی و بارندگی



(ز)

ادامه شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر شامل الف: طبقات ارتفاعی، ب: درجه شیب، ج: جهت شیب، د: فاصله از شبکه زهکشی، ه: فاصله از جاده، و: کاربری اراضی، ز: سنگ شناسی

تطابق مناسب مدل با داده‌های مشاهده‌ای حرکات توده‌ای است. همچنین با توجه به جدول نتیجه گرفته شد با حذف عوامل مؤثری که بالاترین ضرایب  $\beta$  (بیشترین تأثیر را در وقوع حرکت‌های توده‌ای منطقه) را داشته‌اند، فاکتور  $2LL$ - مقادیر بزرگتر و ضرایب همبستگی  $R^2$  ناگلکرک و  $R^2$  کوکس و اسنل مقادیر کوچکتری به خود گرفته‌اند. بطوریکه با حذف عامل مؤثر جهت شیب فاکتور  $2LL$ - به بیشترین مقدار (۱۷۵/۳۷۹) و ضرایب همبستگی  $R^2$  ناگلکرک و  $R^2$  کوکس و اسنل به کمترین مقدار (۰/۲۹۹ و ۰/۳۹۸) رسیده‌اند که نشان دهنده بالاترین معنی داری آماری عامل مؤثر جهت شیب در بروز حرکت‌های توده‌ای منطقه می‌باشد.

نتایج آزمون درصد صحت پیش بینی مدل به صورت جدول طبقه بندی صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش بینی شده (P) در جدول (۳) آمده است. در این پژوهش همانطور که در نمودار فراوانی در مقابل احتمال پیش بینی شده (شکل ۵) مشخص است، نه مورد از نقاط بدون حرکت توده‌ای و هفده مورد از نقاط حرکات توده‌ای، اشتباه برآورد شده‌اند. اما با توجه به جدول ۳، درصد صحت پیش بینی مدل برای نقاط بدون حرکت توده‌ای ۷۷/۸ درصد و برای نقاط دارای حرکات توده‌ای ۸۰/۲ درصد و برای کل نقاط ۷۸/۹ درصد پیش بینی گردیده است که قابل قبول بوده و با نتایج چائو و چان [۷] و چائو و همکاران [۸] به طور کامل مطابقت دارد.

در روش سوم برای تعیین ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی، تعدادی از حرکت‌های توده‌ای واقع شده در کیلومتر مربع (پراکنش حرکت‌های توده‌ای) در مقایسه با میانگین احتمال خطر پیش بینی شده در هر منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به سطر ششم

جدول ۱- فراوانی حرکت‌های توده‌ای و ضرایب مدل در کلاسه‌های مؤثر

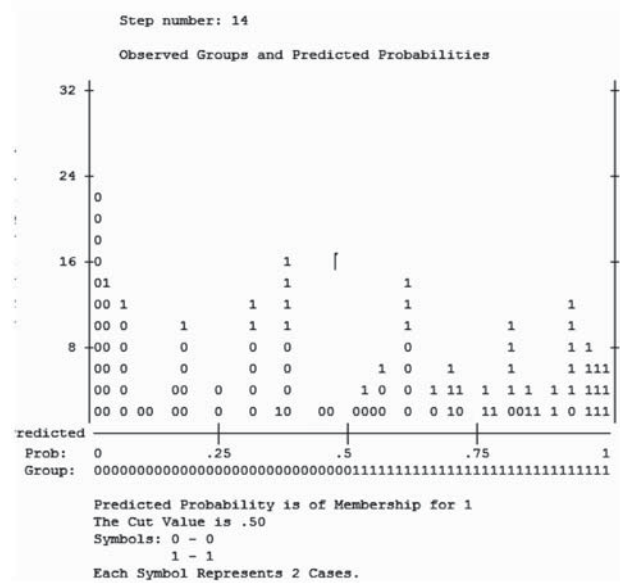
سطح معنی داری	ضریب مدل ( $\beta$ )	تراکم حرکت توده ای	کلاس	عامل مؤثر
/۰۰۱	۳.۱۹۶	۱۶	شمال غربی	جهت شیب
/۰۱۰	۱.۲۳۵	۵۴	شیل، ملسنگ و سیلت سنگ، شیل کربن دار، رس سنگ، کنگلومرا	سنگ شنسی
/۰۰۱	۳.۹۲۱	۱۰	مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان	سنگ شنسی
/۰۵۵	-۲.۶۲۶	۳	سنگ آهکی	سنگ شنسی
/۰۰۰	۱.۹۸۰	۳۹	۱۰۰ -	فاصله از جاده
/۰۰۲	۲.۱۹۸	۱۴	۲۰۰-۳۰۰	فاصله از جاده
/۰۱۷	-۲.۵۴۷	۲	۴۰۰-۵۰۰	فاصله از جاده
/۰۲۲	۱.۵۹۶	۱۳	۱۲۰-۱۸۰	فاصله از رودخانه
/۰۲۷	-۳.۸۱۵	۴	۲۴۰-۳۰۰	فاصله از رودخانه
/۰۲۰	۲.۰۱۲	۱۲	۸۰۰-۹۰۰	ارتفاع از دریا
/۰۱۹	-۲.۴۴۳	۶	۱۴۰۰-۱۵۰۰	ارتفاع از دریا
/۰۲۴	۱.۰۵۵	۴۰	>۶۰	درجه شیب

جدول ۲- ارزیابی صحت مدل بر اساس ضرایب همبستگی

	-2Logliklihood	R <sup>2</sup> کوکس و اسنل	R <sup>2</sup> ناگاکرک
با حضور تمام متغیرها	۱۴۴/۸۰۲	۰/۴۵۰	۰/۶۰۲
بدون درجه شیب	۱۵۳/۹۹۰	۰/۳۸۲	۰/۵۰۹
بدون جهت شیب	۱۷۵/۳۷۹	۰/۲۹۹	۰/۳۹۸
بدون فاصله از رودخانه	۱۶۳/۹۸۴	۰/۳۴۸	۰/۴۶۴
بدون فاصله از جاده	۱۶۶/۸۸۰	۰/۳۳۷	۰/۴۴۹
بدون طبقات ارتفاعی	۱۵۷/۱۸۶	۰/۳۷۰	۰/۴۹۳
بدون سنگ شناسی	۱۷۲/۰۷۶	۰/۳۱۲	۰/۴۱۶



شناسایی شدند که پس از بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی عامل فاصله از گسل با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه گسل اصلی و فعال خاصی مشاهده نگردید و فقط چند گسل فرعی کوتاه در نزدیکی منطقه مشاهده گردید که رابطه معنادار آماری با وقوع و عدم وقوع حرکت‌های توده‌های منطقه نداشته و از مدل آماری همبستگی لجستیک حذف شد که با نتایج خامه چیان و همکاران [۱۷] و موسوی خطیر و همکاران [۲۱] مطابقت دارد. عامل بارندگی با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه بسیاری از حرکت‌های توده‌ای پس از ریزش باران‌های سنگین به وقوع پیوسته‌اند، عامل بارندگی به عنوان یک از عوامل مؤثر به مدل وارد شد اما به دلیل مساحت کم منطقه و پراکنی یکنواخت بارندگی در سطح منطقه به عنوان عامل مؤثر از مدل آماری حذف شد، که با نتایج آیالو و یاماگیشی [۱] و خامه چیان و همکاران [۱۷] مطابقت دارد. همچنین عامل کاربری اراضی از آن جایی که منطقه مورد مطالعه به طور عمده کوهستانی و سنگلاخی بوده و از دو دهه قبل تاکنون تحت استفاده و کاربری خاصی قرار نگرفته است، همبستگی آماری در سطح اعتماد ۹۰٪ با وقوع و عدم وقوع حرکات توده‌های منطقه نداشته و از مدل نهایی حذف شد که با نتایج موسوی خطیر و همکاران [۲۱] مطابقت دارد. پس از اعمال ضرایب معنی دار به دست آمده از خروجی مدل (جدول ۱) در کلاس‌های مربوطه از عوامل مؤثر و محاسبه مدل نهایی احتمال وقوع حرکت توده‌ای، نقشه نهایی پهنه بندی خطر حرکت توده‌ای در کلاس خیلی کم خطر، کم خطر، خطر متوسط و خطر بالا به کمک نرم افزار Arc view/۳.۲a تهیه و طی روش‌های ارزیابی صحت آن مورد تایید قرار گرفت. با توجه به ضرایب خروجی همبستگی لجستیک (جدول ۱) دو عامل سنگ شناسی و جهت شیب مهمترین نقش را در وقوع حرکات توده‌های منطقه مورد مطالعه ایفا کرده‌اند.



شکل ۵- نمودار فراوانی نقاط وقوع و عدم وقوع حرکت توده‌ای در مقابل احتمال پیش بینی شده

منطقه مورد مطالعه مخروط افکنه ها و پادگانه های آبرفتی جوان و نیز سازندهای شیل، ماسه سنگ، سیلت سنگ، شیل کربن دار و رس سنگ با تعلق ضرایب بالای مثبت از خروجی همبستگی لجستیک به عنوان عوامل زمین شناسی تأثیرگذار بر وقوع حرکات توده‌های منطقه مذکور شناسایی شده‌اند. سازندهای معرفی شده به دلیل داشتن ذرات ریز دانه رس و مارن، پس از جذب رطوبت به دلیل قرار گرفتن در محدوده روانی، در نتیجه ثقل مستعد حرکت شده و در روی دامنه به حرکت در می‌آیند. خامه چیان و همکاران [۱۷] عامل سنگ شناسی به‌ویژه واحدهای شیلی موجود در منطقه را به عنوان مهمترین عامل وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه‌شان معرفی کرده‌اند. آیالیو و همکاران [۳]، لی و سمبات [۱۹] و نفسلیگلو و همکاران [۲۲] نیز به نقش مؤثر واحدهای سنگ شناسی بر وقوع حرکات توده‌ای در پژوهش‌های خود تأکید نموده‌اند. با توجه به ضرایب خروجی همبستگی لجستیک جهت شیب‌های شمال غربی به عنوان دومین عامل مؤثر بر وقوع حرکات توده‌های منطقه مورد مطالعه معرفی شده است. نقش جهت شیب مذکور بر وقوع حرکات توده‌های منطقه به دلیل 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 می‌باشد که با نتایج کن و همکاران [۵] و گارسیا و همکاران [۱۳] مطابقت دارد. البته لی و سمبات [۱۹] و خامه چیان و همکاران [۱۷] جهت‌های دیگر شیب را نیز مؤثر بر حرکات‌های توده‌ای مناطق مورد مطالعه خود معرفی کرده‌اند. با توجه به وجود بالاترین درصد تراکم حرکات توده‌ای (۴۵/۳۴ درصد) در فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده و نیز تعلق ضریب مثبت ۱/۹۸۰ در خروجی همبستگی لجستیک به طبقه‌ی مذکور می‌توان استنباط نمود عامل جاده سازی و نزدیکی به جاده یکی از مهمترین نقش‌ها را در وقوع حرکات‌های توده‌ای منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کند. آیالیو و یاماگیشی [۲]، فیض‌نیا و همکاران [۱۲]، کلارستانی و همکاران [۱۶] و موسوی خطیر و همکاران [۲۱] نیز به نقش مؤثر جاده سازی بر وقوع حرکات توده‌ای مناطق مورد مطالعه خود تأکید کرده‌اند.

نقش عامل ارتفاع از سطح دریا بر وقوع حرکات‌های توده‌ای مربوط به تغییرات اقلیم با ارتفاع است و به جهت تبدیل نوع نزولات جوی از بارندگی به برف و انبساط حجمی ۹ درصدی می‌باشد. با توجه به

جدول ۳- طبقه بندی نقاط صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش بینی شده

نقاط مشاهده‌ای		نقاط پیش بینی شده	
		موقعیت	درصد صحت
۰	۰	۱	۷۶/۸
۰	۱	۰	۸۰/۲
۱	۰	۰	۷۸/۹
۱	۱	۱۴	۷۶
۱	۰	۷۲	۱۰
۰	۱	۱۴	۷۶
۱	۱	۱۴	۷۶

#### جدول ۴- ارزیابی صحت مدل آماری با روش سوم و چهارم

۰/۸-۱	۰/۶-۰/۸	۰/۴-۰/۶	۰/۲-۰/۴	۰/۰۰۱-۰/۲	محدوده احتمال خطر
۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۳	۰/۱	میانگین احتمال خطر
۱۷/۶۵	۱۳/۷۲	۹/۸	۵/۸۸	۲	میانگین نرمال شده
۱۶	۲۵	۱۰	۲۹	۶	فراوانی حرکت توده‌ای
۷,۴۶	۸,۱۷	۹,۹۱	۳,۳۶	۳۱,۱	مساحت km <sup>۲</sup>
۲,۱۴	۳,۰۶	۱/۰۱	۸/۶۳	۰/۱۹	تراکم حرکت توده‌ای (تعداد/km <sup>۲</sup> )
۱۵/۲۶	۱۲/۵۵	۸/۸۷	۴/۶۶	۲	تراکم نرمال شده
۳۵/۳۶	۶/۸۸	۴/۵۹	۱۰/۴۷	۰	درصد اختلاف بین میانگین احتمال نرمال شده و تراکم حرکت توده‌ای نرمال شده

منطقه داشته‌اند که دلیل آن را می‌توان وسعت بیشتر منطقه مورد مطالعه بیان کرد که در این صورت گسل‌های فعال منطقه و نیز تغییر کاربری اراضی در ارتفاعات به باغ و کشاورزی و مسکونی نقش بسیار مؤثری در بروز حرکات توده‌ای حوزه آبخیز هراز ایجاد کرده‌اند.

با توجه به پژوهش انجام گرفته در منطقه می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی شامل درجه شیب و جهت شیب دامنه‌ها و نزدیکی به رودخانه، عامل انسانی نقش اصلی و مهم‌تری را بر وقوع حرکات توده‌ای این منطقه ایفا کرده است. به دلیل دخالت‌ها و فعالیت نادرست شامل جاده سازی غیراصولی و ایجاد ناپایداری و گسستگی در شیب‌های پایدار پس از خالی کردن پاشنه دامنه در مناطق پایین دست، نقش عوامل طبیعی مؤثر بر وقوع حرکات توده‌ای پررنگ‌تر شده و در سازندهای حساس به حرکات توده‌ای و جهات شیب رو به رطوبت و درجات شیب زیاد و نزدیک به شبکه جاده و رودخانه شمار حرکات توده‌ای افزایش یافته است. هم چنین با توجه به نتایج حاصل از صحت بالای نقشه پهنه بندی از مدل همبستگی لجستیک، می‌توان اظهار داشت که این مدل دارای قابلیت لازم جهت تهیه نقشه پهنه بندی خطر در شرایط آبخیزهای مشابه با منطقه مورد مطالعه است.

#### منابع

- 1- Ayalew, L., H. Yamagishi, 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakudayahiko mountains- central japan, *Geomorphology*, 65:15-31
- 2- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *J. Landslides* 1, 73-81.
- 3- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T. 2005. GIS-based susceptibility mapping

خروجی همبستگی لجستیک در طبقات اول و هفتم ارتفاع از سطح دریا که به ترتیب با ضرایب ۲/۰۱۲ و ۲/۴۴۳- نشان دهنده متغیر بودن تأثیرگذاری این فاکتور در حرکات توده‌ای منطقه می‌باشد می‌توان گفت هر چه به طبقات بالاتر پیش برویم از تعداد حرکات توده‌ای رخ داده شده کاسته می‌شود که این امر به دلیل دخالت غیر اصولی انسان و وجود مناطق مسکونی به ویژه در پایین دست منطقه به دلیل شرایط بارندگی و اقلیمی مناسب‌تر و نیز جاده سازی غیر اصولی و ایجاد راه‌های روستایی در مناطق مذکور بوده است. که با پژوهش‌های گارسیا و همکاران [۱۳]، فیض نیا و همکاران [۱۱] و گریکو و همکاران [۱۴] مبنی بر نقش مؤثر ارتفاع از سطح دریا بر وقوع حرکات توده‌ای در مناطق مورد مطالعه‌شان مطابقت دارد. بر اساس تحلیل همبستگی لجستیک نزدیکی به شبکه زهکشی و نیز عامل درجه شیب از دیگر عوامل مؤثر بر وقوع حرکات توده‌ای در منطقه مورد مطالعه معرفی شده‌اند. چن و وانگ [۹]، اوهالمچر و دیویس [۲۴]، لی و پرادهان [۱۸] و نفسلیگلو و همکاران [۲۲] به نتایج مشابهی مبنی بر نقش درجه شیب بر وقوع حرکات توده‌ای در پژوهش‌های خود دست یافتند. همچنین در مطالعه پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از حوضه آبخیز هراز (بین سنگلده و رینه) محمدی و همکاران [۲۰] عامل زمین شناسی (متشکل از ماسه سنگ، سیلتستون، شیل و رس سنگ) و پادگانه های آبرفتی بیشترین حساسیت را دارند. همچنین عوامل فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ۴۰۰ متری از آبراهه حساسیت زیادی را نسبت به حرکات توده‌ای و زمین لغزش نشان دادند، که می‌تواند به خاطر بریدگی ناشی از این عوامل، فشار حاصل از وزن اضافی در جاده‌ها و افزایش رطوبت در اطراف آبراهه‌ها باشد. آبراهه‌ها همچنین بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردد. برخلاف نتایج بدست آمده از این پژوهش در بررسی و تحلیل صورت گرفته بر عوامل مؤثر در پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در بخشی از حوزه آبخیز هراز (بین سنگلده و رینه) به روش منطق فازی پورقاسمی و همکاران [۲۵] عوامل فاصله از گسل و کاربری اراضی نقش مؤثر و مهمی در وقوع حرکات توده‌ای

Benito, B., Diaz, M., 2008. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology* 95, 172-191.

14- Greco, R., Sorriso, Valvo. & Catalano, E. 2007. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movement's susceptibility case study: Calabria, Italy. *Engineering Geology*, 89: 47-66.

15- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in northern Iran. *Arab. J. Geosci.* 2: 95-101.

16- Kelarestaghi, A., Habibnegad, M., Ahmadi, H., 2007, Assessment of landslide occurrence related to land use change and road construction. *Geographical researches*, 62, 81-91. (In Persian).

17- Khamechian, M. Abdolmaleki, P. Rakeie, b. 2005. Landslide hazard zonation using logistic regression analysis in Sefidargole, Semnan Province. *J. Amirkabir* (62). 16:65-76. (In Persian).

18- Lee, S., Pradhan, B., 2007, Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslides* 4: 33-41.

19- Lee, S., Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *The journal of Environmental Geology* 50: 847-855.

20- Mohammadi, M. Moradi, H., Feiznia, S., Pourghasemi, H., 2009. Making priority of causative factors on landslide and making hazard map using models of value of information and analysis of hierarchical. *J. Geo science*, 74: 27-32. (In Persian).

21- Mousavi, S.Z., Kaviani, A., Solaimani, K., Mousavi, S.R., Shirzadi, A., 2011. GIS-based spatial prediction of landslide susceptibility using logistic regression model. *J. Geomath, Nat Hazards Risk* 2(1): 33-50.

22- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C. & Sonmez, H. 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with

with comparisons of result from methods and verifications. *J. Engineering Geology* 81: 432-445.

4- Brenning, A., 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 853-862.

5- Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Duman, Y. 2005. Susceptibility assessments of shallow earth flows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analysis. *The journal of Geomorphology* 82: 250-271.

6- Carrara, A., Crosta, G., Frattini, P., 2003. Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *J. Earth Surf. Processes and Landforms* 28, 1125-1142.

7- Chau, K.T., Chan, J.E. 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island. *Landslides*, 280-290.

8- Chau, K.T., Tang, Y.F., Wong, R.H.C., 2004. GIS-Based Rock fall hazard map for Hong Kong. *Rock Mechanics* 41(3): 1-6.

9- Chen, Z., Wang, J., 2007. Land slide hazard mapping using logistic regression model in Mckenzie Vally, Canada, *Natural Hazards* 42, 75-89.

10- Dai, F.C., Lee, F.C. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42: 213-238.

11- Feiznia, S., Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., and Safaie, M. 2004. Investigation of causative factors on landslide occurrence and landslide mapping (study area: Shirinroud basin). *Natural Resources of Iran*. 1:3-20 (In Persian).

12- Garaii, P. 2006. An investigation of mass movements (landslide) in modeling of hazard zonation in Lajimroud basin watershed management MSc. Thesis of Natural Resources College of Mazandaran University. 121p. (In Persian).

13- Garcia-Rodriguez, M.J. Malpica, J.A.,

data and geographic information system tools for regional landslide hazard analysis by using binomial logistic model. *J. Appl. Remote Sensing*, 2, 1-11. Regression

27- Shariat gafari, M. 1996. *Landslide (Bases and elements of natural slopes stability)*. Saze Press, 218p.

28- Yaclin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena* 72: 1-12.

29- 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). *J. Comput. Geosci.* 35: 1125-1138.

different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97: 171-191.

23- Office of researching of watershed management in Mazandaran Province. 1998. *Comprehensive researches of Haraz catchment*.

24- Ohlamcher, G. C. & Davis, J. C. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas USA. *Engineering Geology*, 69: 331-343.

25- Pourghasemi, H., Moradi, H., Fatemiaghda, S.M., Mahdifar, M., Mohammadi, M., 2009. Landslide hazard assessment using decision style of malty gauging fuzzy. *J. Science and engineering of watershed of Iran*. 8: 51-62. (In Persian).

26- Pradhan, B., Lee, S., Mansor, S., Buchroithner, M.F., Jallaluddin, N., Khujaimah, Z., 2008. Utilization of optical remote sensing