

## پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون چندمتغیره با استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر

امیر صفاری\* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی  
مسعود علیمرادی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان  
رامین حاتمی فرد - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۱۵      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۸/۱۳

### چکیده

زمین‌لغزش از جمله پدیده‌هایی است که امروزه آن را بالای طبیعی می‌نامند. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر در جنوب استان اصفهان با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی است. با تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه شد. در مرحله بعد با توجه به موقعیت زمین‌لغزش‌ها و نظرات کارشناسی، نه عامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه شناسایی شدند و پس از تهیه لایه‌های رقومی عوامل مؤثر در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ترسیم شد. در این روش رابطه متقابل بین متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) نسبت به هم و نسبت به متغیر وابسته (وقوع زمین‌لغزش) به‌طور یکجا در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی مدل با استفاده از نسبت تراکمی (DR) و شاخص زمین‌لغزش (LI) صورت گرفته است. روند صعودی نسبت تراکمی و شاخص زمین‌لغزش برای گستره‌های مواجه با خطر خیلی کم تا گستره‌های مواجه با خطر زیاد، نشان از صحت نقشه تهیه شده از طریق این روش دارد. با توجه به ضرایب رگرسیونی به‌دست‌آمده، کلاس فاصله از گسل (۱۵۰۰-۰ متر) بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه داشته است. نتایج نشان داد که از مجموع مساحت ۸۰۰ کیلومتر مربعی حوضه ماربر، گستره‌های لغزشی با خطر متوسط و کم به ترتیب با ۳۲ و ۳۱ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. پهنه با خطر زیاد نیز با ۲۵/۵ درصد مساحت در رده بعدی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، حوضه ماربر، رگرسیون چندمتغیره، زمین‌لغزش، GIS.

## مقدمه

آهنگ روبه‌رشد توسعه و عمران شهری و روستایی، موجب بروز برخی از ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنان کره زمین شده است. حرکات دامنه‌ای و به‌طور خاص زمین‌لغزش‌ها، در زمرهٔ پرخسارت‌ترین آنها است که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر، شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲: ۱۱۵)؛ به‌گونه‌ای که از آن با عنوان یکی از فرایندهای ژئومورفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود و حوادث مصیبت‌باری را به‌دنبال دارد (هاتانچی و موراواکی، ۲۰۰۹: ۴۴۷). به‌طور کلی نحوهٔ حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌ها به سه طبقهٔ لغزشی، جریانی و خزشی تقسیم می‌شود. در لغزش کامل (ویژه) سرعت حرکت مواد در همهٔ نقاط از بالا تا پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان کامل (خالص) سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده، جریانی بیشتر از بخش زیرین داشته و از نوع انتقالی است، ولی در خزش (جاب‌جایی) حرکت به‌صورت قائم است (مقیمی، علوی پناه و جعفری، ۱۳۸۷: ۵۴).

وقوع پدیدهٔ زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی و حتی مرگ‌ومیرهای انسانی می‌شود (قنبرزاده و بهنیافر، ۱۳۸۸: ۱۰۴). یکی از اثرهای انکارنکردنی این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها یا بندهای پایین‌دست حوضه‌های آبخیز است. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، از عمده شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها برخوردار است (علیچانی، قهرودی و امیراحمدی، ۱۳۸۶: ۱۱۷). از آنجایی که پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زمین‌لغزش‌ها مشکل است، از این رو شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، دارای اهمیت بسزایی است (مصفايي، اونق، مصداقی و شریعت جعفری، ۱۳۸۸: ۴۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوهٔ خطر، از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند. این فرآیند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایهٔ داده‌های ناحیهٔ مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه‌ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای، ناحیه‌ای و محلی محسوب شود (رامشت و شاه‌زیدی، ۱۳۹۰: ۵۷). تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش، به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی کرده و نتایج این‌گونه مطالعات اطلاعات پایه‌ای به‌شمار می‌رود و می‌تواند برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد (پرادهان، ۲۰۱۱: ۷۷). درنهایت با شناسایی مکان‌های با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آنها، می‌توان از خطرات احتمالی جلوگیری کرد. در مورد پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای تاکنون بررسی‌های زیادی صورت گرفته است و محققان بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف، طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه داده‌اند، اما بسته به وضعیت موجود منطقهٔ مورد مطالعه، دقت و انعطاف هر یک از این روش‌ها گوناگون خواهد بود. بنابراین برای شناخت مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش و تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر، باید بهترین و دقیق‌ترین روش را با توجه به عوامل مؤثر در رخداد و وضعیت منطقه انتخاب کرد (شیرانی، ۱۳۸۳: ۳۵).

از اوایل دههٔ هفتاد، دانشمندان و محققان بسیاری با به‌کارگیری روش‌های گوناگون، به ارزیابی خطرات زمین‌لغزش و تهیهٔ نقشه‌های توزیع فضایی این پدیده اقدام کرده‌اند.

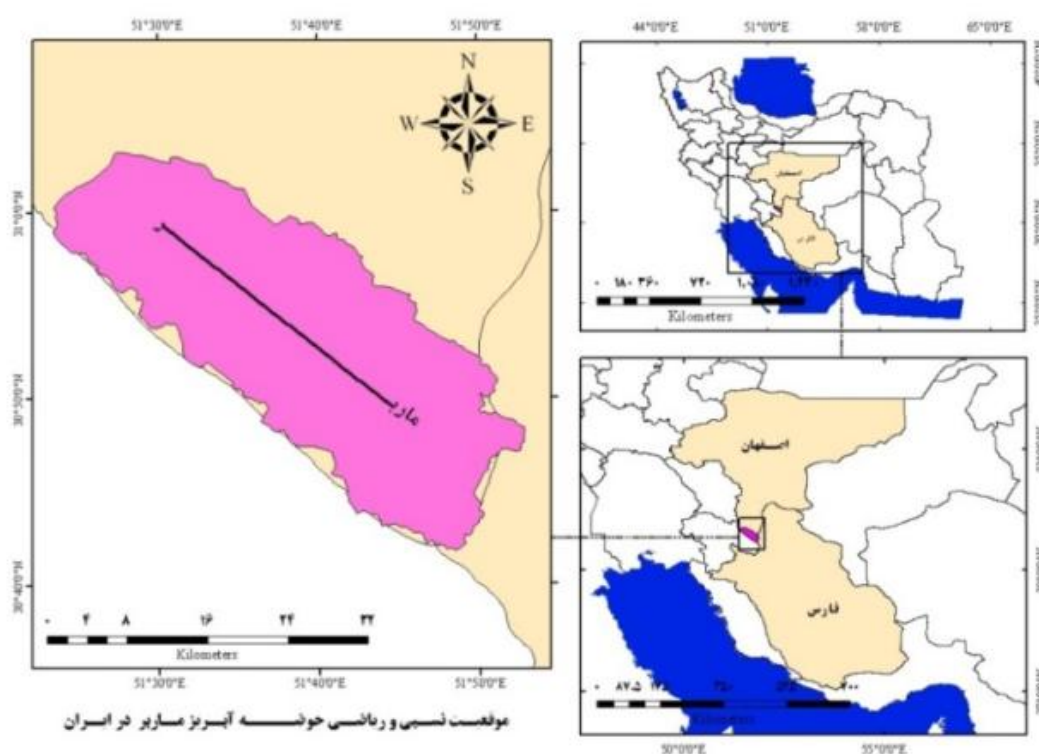
ون وستن، ون اش و سوتر (۲۰۰۵: ۱۸۰)، در پژوهشی روش‌های آماری رگرسیون دومتغیره و چندمتغیره را با همدیگر مقایسه کرده و برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل‌های مشخصی منطبق با منطقه مورد مطالعه معرفی کرده‌اند. گوزتی، کاردینالی، رچنباخ و کارارا (۲۰۰۰: ۲۴۷) در ایتالیا، نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش را با روش آماری چندمتغیره، ژئومورفولوژی و نقشه خطر زمین‌لغزش مورد سنجش قرار داده‌اند و اشاره کرده‌اند که هرچه نقشه‌های عامل، دقت بیشتری داشته باشند، پهنه‌بندی زمین‌لغزش دقیق‌تر خواهد بود. حق‌شناس (۱۳۷۵) با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون دومتغیره، چندمتغیره و روش تحلیل ممیزی، حوضه آبریز طالقان را پهنه‌بندی کرد و روش رگرسیون چندمتغیره را مناسب‌ترین روش دانست. اشقلی فراهانی (۱۳۸۰) منطقه رودبار استان گیلان را به لحاظ وقوع خطر زمین‌لغزش، با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره خطی، حداقل مربعات وزن‌دار، تحلیل ممیزی، رگرسیون لجستیک با داده‌های گسسته و پیوسته و منطق فازی، مورد مطالعه قرار داد. سفیدگری (۱۳۸۱) با استفاده از روش‌های آماری دو و چندمتغیره، پس از پهنه‌بندی منطقه دماوند، روش آماری چندمتغیره را معرفی کرد. احمدی، اسماعیلی، فیض‌نیا و شریعت‌جعفری (۱۳۸۲: ۳۲۴) با بررسی عوامل مؤثر ایجاد زمین‌لغزش‌ها و روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای، به پهنه‌بندی حوضه آبخیز گرمی‌چای به دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله‌مراتبی اقدام کردند. شیرانی (۱۳۸۳) در حوضه رودخانه ماربر سمیرم، روش‌های متعددی همچون، روش آماری دو و چندمتغیره، نیلسن و... را به کمک روش GIS مورد ارزیابی قرار داد و از بین روش‌های به کار رفته در پژوهش خود، به ترتیب روش‌های آماری رگرسیون خطی، آنالیز ممیزی، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح را مناسب‌ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی منطقه معرفی کرد. گرای، سلیمانی، موسوی و کاویان (۱۳۸۸: ۳۵) با استفاده از روش آماری رگرسیون چندمتغیره، خطر رخداد زمین‌لغزش را در حوضه آبخیز لاجیم رود ساری مدل‌سازی کردند و مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه مورد مطالعه را از نظر اهمیت، به ترتیب جهت شیب، تغییر کاربری اراضی، شیب و جاده‌سازی غیراصولی معرفی کرد. مصفايي و همکاران (۱۳۸۸: ۲) در بخشی از حوضه آبخیز الموت، کارایی مدل تجربی مورا - وارسون اصلاح‌شده، به همراه مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزنی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چندمتغیره را با استفاده از هشت عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، مقایسه کردند.

پژوهش حاضر بر آن است تا با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره (MR)<sup>۱</sup>، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه رودخانه ماربر را شناسایی کرده و آن را به لحاظ خطر رخداد زمین‌لغزش پهنه‌بندی کند. بنابراین انتخاب معیارها و استانداردها، تهیه لایه‌های رقومی عوامل، تهیه نقشه پهنه‌بندی و دستیابی به مدل پیش‌بین دقیق‌تری از حوضه، از جمله اهداف اصلی این پژوهش بوده تا مناطق حساسی که بیشترین احتمال خطر وقوع زمین‌لغزش در آنها وجود دارد، شناسایی شود.

### 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  $51^{\circ} 52' 54''$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه ماربر حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع بوده و در ۵۵ کیلومتری جنوب شهر سمیرم،

واقع در جنوبی‌ترین بخش استان اصفهان و تقریباً شمال استان فارس قرار دارد. ناحیه مورد نظر در سلسله‌جبال زاگرس در زون زاگرس مرتفع جای گرفته و در واقع به دلیل عملکرد راندگی دنا، بیده و کوه سیاه، ناگهان به پیکر بلندی در کنار و موازی با بخش زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است (شیرانی، ۱۳۸۳: ۱۷). بالاترین ارتفاع منطقه ۴۴۹۷ متر و پایین‌ترین ارتفاع آن به ۱۹۷۱ متر می‌رسد. منطقه مورد مطالعه جزئی از کلان حوضه خلیج فارس است، سطح این حوضه برابر با ۲۶/۲۲ درصد مساحت ایران است. حوضه ماربر در واحد هیدرولوژیک ۱-۲-۳-۴ به نام کهردان واقع شده است (موحددانش، ۱۳۸۷: ۱۱۶). با توجه به تقسیم‌بندی مسعودیان (۱۳۸۷) در مورد نواحی اقلیمی ایران، حوضه ماربر از نظر موقعیت جغرافیایی جزء اقلیم «بلندی‌ها» و برحسب ویژگی‌های اقلیمی جزء اقلیم «سرد، بارش‌مند و خشک» قرار می‌گیرد. متوسط بارش سالانه در منطقه ۵۶۶/۸ میلی‌متر گزارش شده است.



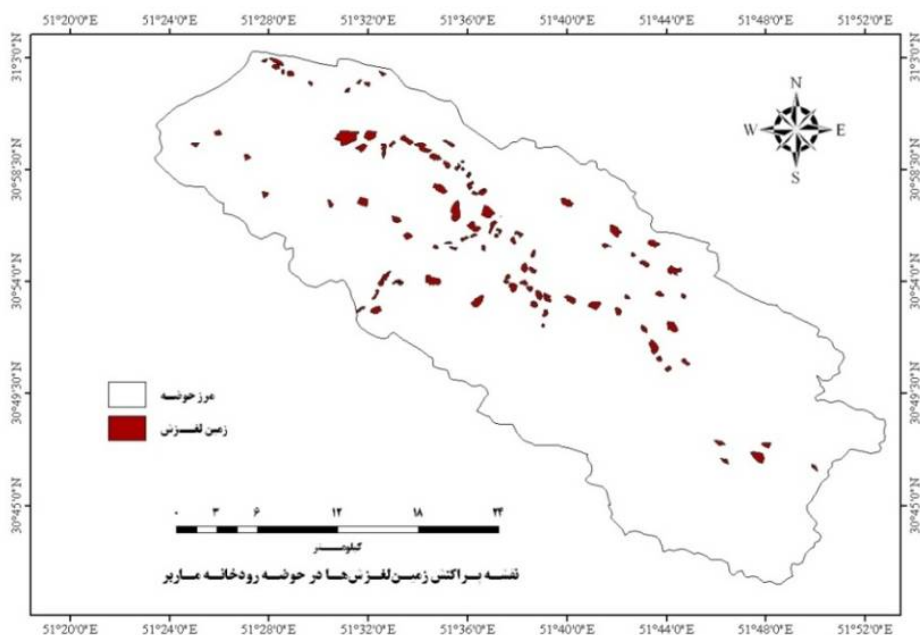
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه ماربر

## مواد و روش‌ها

مدل رگرسیون چندمتغیره یک روش آماری است که از طریق آن می‌توان رابطه یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل را تجزیه و تحلیل کرد. رگرسیون چندمتغیره یک ابزار استنباطی است که برای بررسی روابط موجود میان پارامترهای مستقل و تأثیر همزمان آنها بر پارامتر غیرمستقل به کار گرفته می‌شود (بهشتی‌راد، فیض‌نیا، سلاجقه و احمدی، ۱۳۸۹: ۳۴). از آنجایی که پدیده‌های طبیعی مانند زمین‌لغزش، از عملکرد همزمان چند متغیر رخ می‌دهند، لذا استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره مناسب این پژوهش دانسته شد. از سوی دیگر، به دلیل حجم زیاد اطلاعات و تلفیق

پدیده‌های اطلاعاتی (نقشه پارامترها) برای ایجاد واحدهای زمینی (واحدهای همگن)، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اجتناب‌ناپذیر است. در واقع هر واحد همگن همچون یک مشاهده، در تحلیل آماری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر، از روش رگرسیون چندمتغیره استفاده شده است. این روش رابطه متقابل بین متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) نسبت به هم و نسبت به یک متغیر وابسته (رخداد زمین‌لغزش) را یک‌جا در نظر می‌گیرد و در آن، داده‌های اولیه و نتایج حاصل از پردازش به صورت کمی ارائه می‌شوند. بنابراین در پژوهش حاضر برای انجام معادله رگرسیونی، از رگرسیون خطی و داده‌های گسسته استفاده شده است. در انجام رگرسیون چندمتغیره، روش گام‌به‌گام<sup>۱</sup> با اطمینان بیش از ۹۵ درصد انتخاب شد. به بیان دیگر، سطح معناداری (p-value) ۵ درصد تنظیم شده است، بنابراین چنانچه این سطح برای متغیری بیش از ۵ درصد باشد، متغیر مورد نظر معنادار نبوده و از معادله حذف می‌شود. در معادله، متغیرهایی باقی می‌مانند که سطح معناداری آنها ۵ درصد و کمتر باشد (قربانی و اونق، ۱۳۹۱: ۲۴).

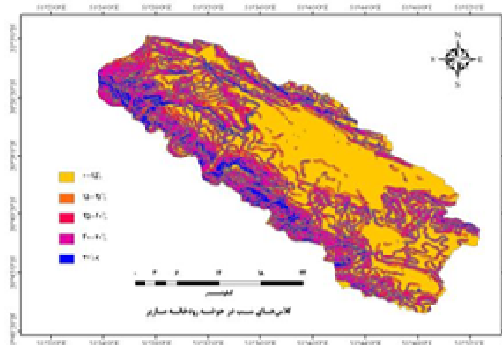
با توجه به موقعیت منطقه، مورفومتری حوضه، روش پهنه‌بندی مورد استفاده و نیز نتایج پژوهش‌های گذشته، نه عامل، شامل شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش و پوشش گیاهی، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت که هر یک از این عوامل به رده‌های مختلفی تقسیم شد و در مجموع ۵۴ پارامتر برای انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد. در ادامه با تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات صحرایی و استفاده از دستگاه GPS، موقعیت ۱۰۳ زمین‌لغزش رخ داده شده در حوضه ماربر مشخص شد و به منظور پردازش‌های بعدی، در محیط GIS رقومی شدند (شکل ۲).



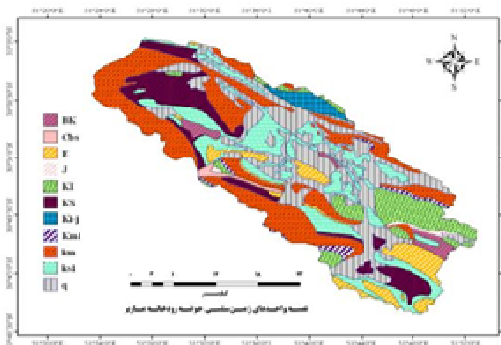
شکل ۲. نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه ماربر

## تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر

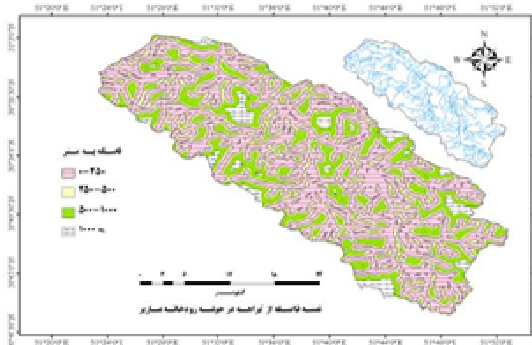
به منظور تهیه لایه‌های مورد نیاز برای پهنه‌بندی، از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ برای تهیه لایه سنگ‌شناسی استفاده شد (شکل ۳-الف). لایه‌های شیب (شکل ۳-ب) و جهت شیب (شکل ۳-ج) با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و از طریق ابزار SpatialAnalyst و استفاده از گزینه‌های slope و Aspect در نرم‌افزار Arc Gis به دست آمد. لایه‌های فاصله از آبراهه (شکل ۳-د)، فاصله از گسل (شکل ۳-س) و فاصله از جاده (شکل ۳-ش) در نرم‌افزار Arc Gis و از طریق ابزار Distance در SpatialAnalyst تهیه شد. نقشه‌های کاربری اراضی (شکل ۳-ن) و پوشش گیاهی (شکل ۳-و) منطقه، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و سپس با انجام مشاهدات میدانی و استفاده از اطلاعات موجود در مرکز تحقیقات منابع طبیعی اصفهان، تهیه شد و لایه‌های رقومی آنها برای انجام تحلیل‌های بعدی، در محیط GIS به دست آمد. برای بررسی پارامترهای مربوط به بارندگی، دوره آماری سی ساله مد نظر قرار گرفت (۱۳۸۹-۱۳۵۹) و با توجه به رابطه همبستگی بین ایستگاه‌ها، به تکمیل و بازسازی آماری در موارد مربوط به نقصان آماری در ایستگاه‌های مورد نظر اقدام شد. سپس با استفاده از ارقام میانگین سالانه بارندگی و ارتفاع ایستگاه‌های موجود، متوسط بارندگی را در کل منطقه محاسبه کرده و نقشه هم بارش حوضه ماربر در نرم‌افزار Surfer به دست آمد (شکل ۳-ی).



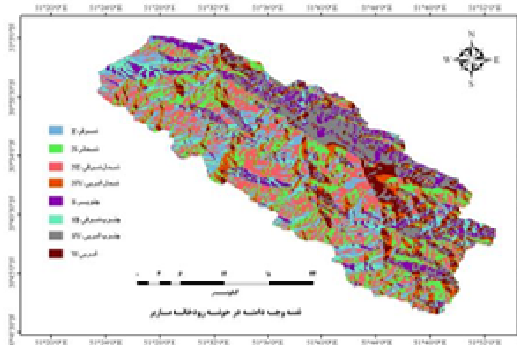
ب: شیب



الف: سنگ‌شناسی

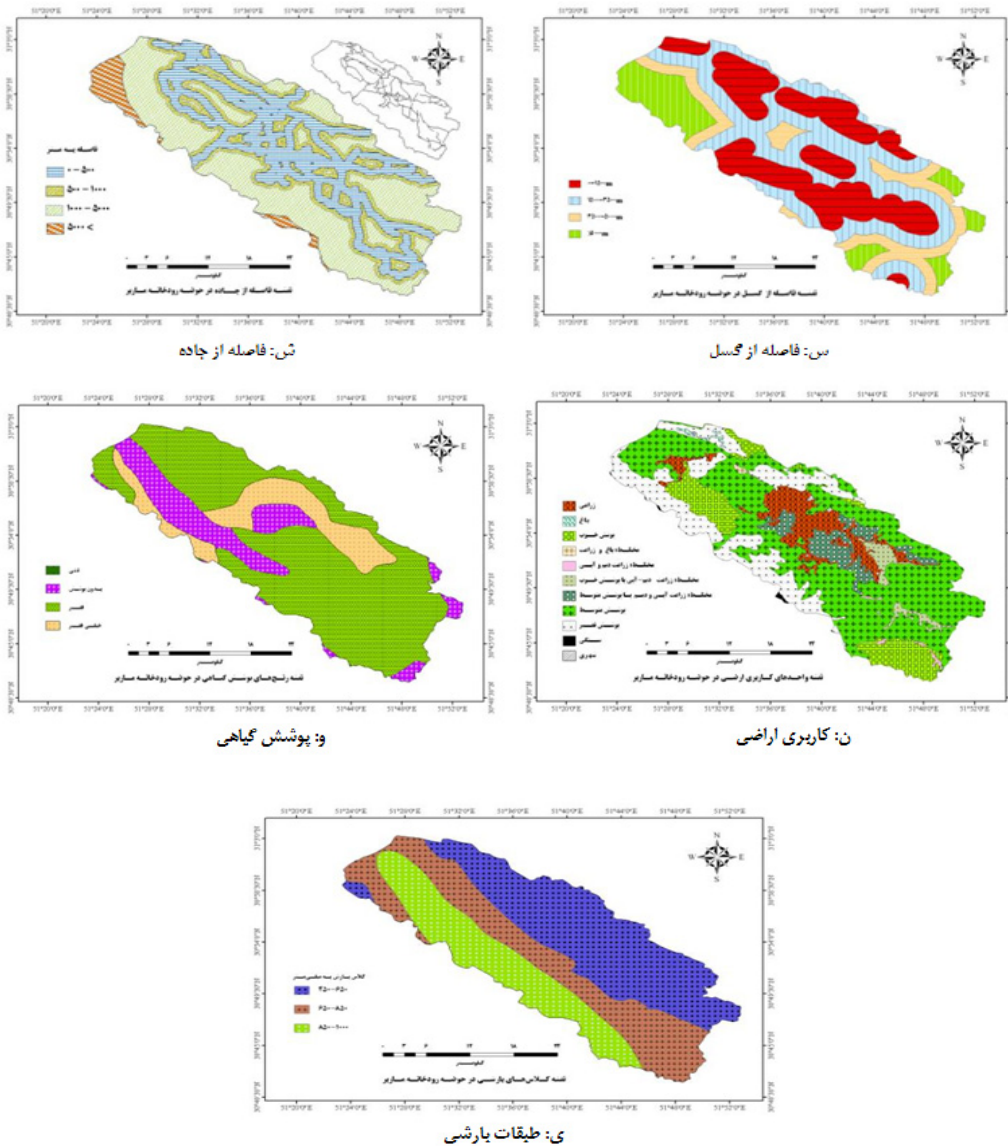


د: فاصله از آبراهه



ج: جهت شیب

شکل ۳. لایه‌های عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر



ادامه شکل ۳. لایه‌های عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر

### یافته‌های پژوهش

#### تعیین واحدهای همگن

به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه ماربر با روش رگرسیون خطی چند متغیره، لایه‌های رقومی عوامل مؤثر و لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، در محیط GIS و به کمک ابزار Union برای به‌دست آوردن واحدهای همگن، همپوشانی شدند و در نهایت ۲۷۴۶۶ واحد همگن ایجاد شد. از میان واحدهای همگن به‌دست آمده، ۲۰۰۱ واحد آنها لغزش داشته‌اند. واحدهای همگن، واحدهایی هستند که ویژگی‌های مشترکی از نظر عوامل لیتولوژی (LIT)، شیب (SLP)، کاربری اراضی (LUS)، بارش (RAN)، پوشش گیاهی (RNG)، جهت شیب (ASP) و عناصر خطی، مانند جاده (ROD)، گسل (FLT)، آبراهه (DRN) و زمین‌لغزش (SLD) دارند و به دلیل داشتن اختلاف با واحدهای مجاور خود، به لحاظ یکی از عوامل

مذکور، از آنها متمایز می‌شوند. به این ترتیب در مورد هر عامل می‌توان تعداد واحدهای همگن دارای لغزش را انتخاب کرده و مقدار تأثیر آن را در وقوع زمین‌لغزش‌ها بررسی کرده و به مقادیر کمی تبدیل نمود.

### کلاسه‌بندی و کمی نمودن داده‌ها

کلاسه‌بندی عامل شیب، بارش و عناصر خطی، با توجه به شکست‌های طبیعی<sup>۱</sup> نمودار فراوانی تجمعی به‌دست آمد و برای دیگر عوامل، از دانش کارشناسی و واقعیت موجود استفاده شد. برای نمونه، عامل بارش به سه کلاس Ran1 (۴۵۰-۶۵۰ میلی‌متر)، Ran2 (۶۵۰-۸۵۰ میلی‌متر) و Ran3 (۸۵۰-۱۰۰۰ میلی‌متر) تقسیم شد (جدول ۱).

جدول ۱. عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش و کلاس‌های مربوطه به آنها

کد	کلاس	عامل	کد	کلاس	عامل
RNG1	بدون پوشش	پوشش گیاهی	DRN1	۰-۲۵۰	فاصله از آبراهه (متر)
RNG2	فقیر		DRN2	۲۵۰-۵۰۰	
RNG3	خیلی فقیر		DRN3	۵۰۰-۱۰۰۰	
RNG4	غنی		DRN4	>۱۰۰۰	
ASP1	E	جهت شیب	RAN1	۴۵۰-۶۵۰	بارش (میلی‌متر)
ASP2	N		RAN2	۶۵۰-۸۵۰	
ASP3	NE		RAN3	۸۵۰-۱۰۰۰	
ASP4	NW	شیب (درصد)	SLP1	۰-۱۵	
ASP5	S		SLP2	۱۵-۲۵	
ASP6	SE		SLP3	۲۵-۴۰	
ASP7	SW		SLP4	۴۰-۷۰	
ASP8	W		SLP5	>۷۰	
FLT1	۰-۱۵۰۰	فاصله از گسل (متر)	ROD1	۰-۵۰۰	فاصله از جاده (متر)
FLT2	۱۵۰۰-۳۵۰۰		ROD2	۵۰۰-۱۰۰۰	
FLT3	۳۵۰۰-۵۰۰۰		ROD3	۱۰۰۰-۵۰۰۰	
FLT4	>۵۰۰۰		ROD4	>۵۰۰۰	
LUS1	کشاورزی	کاربری اراضی	LIT1	بختیاری	سازندهای زمین‌شناسی
LUS2	باغ		LIT2	میلا	
LUS3	رنج خوب		LIT3	کشکان	
LUS4	مختلط (کشت دیم، آبی و رنج متوسط)		LIT4	سورمه	
LUS5	مختلط (رنج متوسط، کشت دیم و آبی)		LIT5	گورپی	
LUS6	رنج متوسط		LIT6	ایلام	
LUS7	رنج فقیر		LIT7	ایلام-سروک	
LUS8	شهر		LIT8	گورپی ۲	
LUS9	مختلط (کشت دیم و آبی)		LIT9	کواترنر	
LUS10	سنگ		LIT10	داریان	
LUS11	مختلط (زراعت و باغ)		LIT11	داریان - فهلیان	

منبع: نویسندگان



متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین‌لغزش در مواردی کمی (مانند عناصر خطی، بارش و شیب) و در مواردی نیز به صورت کیفی هستند (مانند جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و لیتولوژی). بنابراین از آنجایی که روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌کنند و روش رگرسیون چندمتغیره خطی نیز یک روش آماری است، لذا لازم است داده‌های کیفی به داده‌های کمی تبدیل شوند. برای این منظور از روش متغیرهای مجازی یا تصنعی<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این روش پس از تهیه نقشه واحدهای همگن برای تمامی واحدهایی که دارای زمین‌لغزش هستند کد یک و برای واحدهایی که در آن زمین‌لغزش رخ نداده است، کد صفر در نظر گرفته می‌شود. همچنین وجود یا نبود هر طبقه از هر یک از پارامترهای موجود در یک واحد همگن، به ترتیب با کد یک و صفر مشخص می‌شود.

### انجام روش رگرسیون چندمتغیره (MR) با استفاده از داده‌های گسسته

به منظور انجام رگرسیون چندمتغیره بین عوامل مؤثر، پس از کددهی اولیه طبقات مختلف مربوط به هر یک از عوامل، اطلاعات به محیط نرم‌افزار SPSS وارد شد. در این نرم‌افزار ۵۴ کلاس مربوط به ۹ عامل مورد نظر، به منزله متغیرهای مستقل در برابر واحدهای همگن به تعداد ۲۷۴۶۶ قرار گرفت. عامل زمین‌لغزش نیز، متغیر وابسته در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات رگرسیونی از میان ۵۴ پارامتر دخالت داده شده در رگرسیون، ۲۳ پارامتر به دلیل داشتن ضریب معنی‌داری کمتر از ۹۵ درصد و نداشتن رابطه آماری قوی با درصد سطح لغزش‌های رخ داده در واحدهای همگن، حذف شده‌اند. ۳۱ پارامتر باقی‌مانده در سطح اطمینان بین ۹۵ تا ۹۹ درصد معنی‌دار بوده و مقدار R آنها ۰/۸۰ به دست آمد که کاملاً قابل قبول است (جدول ۲). در نهایت مدل به صورت رابطه ۱ به دست آمد.

$$Y \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه:

Y: وزن واحد همگن؛

W: وزن رگرسیونی کلاس؛

C: کلاس مربوطه (اگر کلاس در واحد همگن دارای لغزش باشد، عدد یک و اگر لغزش نداشته باشد، عدد صفر

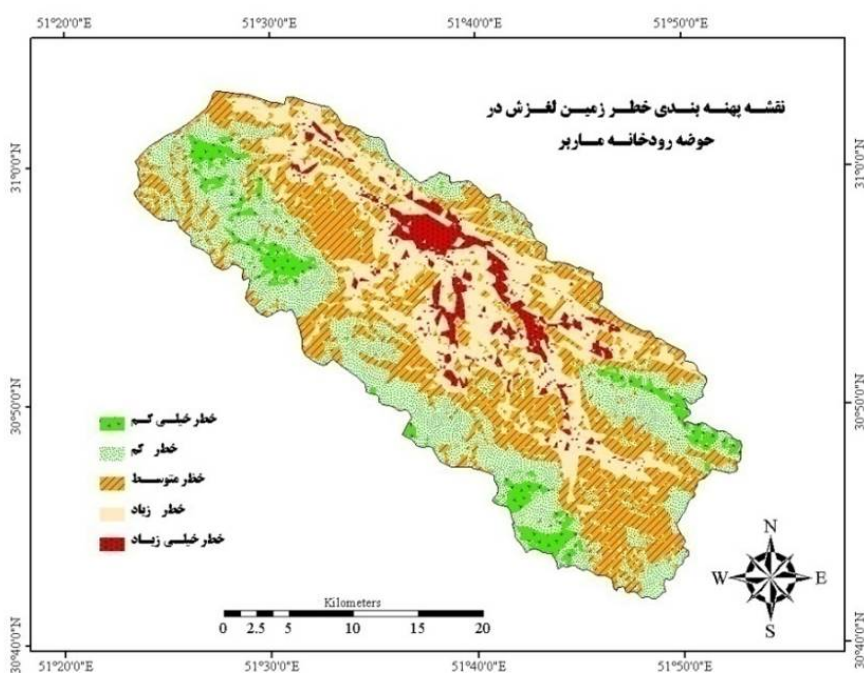
اختصاص داده می‌شود).

مدل فوق در محیط اکسل برای کلیه واحدهای همگن اعمال شد و وزن‌های به دست آمده برای واحدهای همگن به جدول اطلاعاتی لایه رقومی آنها در محیط GIS اضافه شد. پس از ترسیم نمودار فراوانی براساس وزن‌های به دست آمده برای واحدهای همگن، حوضه رودخانه ماربر را از نظر حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش به پنج کلاس تقسیم کرده (جدول ۳) و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره به کمک داده‌های گسسته به دست آمد (شکل ۴).

جدول ۲. مدل رگرسیون خطی به روش گام به گام

ردیف	متغیر	ضرایب رگرسیونی استاندارد	سطح اطمینان	ردیف	متغیر	ضرایب رگرسیونی استاندارد	سطح اطمینان
	ضریب ثابت	۰/۰۰۰	۱/۰۰				
۱	ROD3	-۰/۰۶۴	۰/۰۰۰	۱۶	LUS2	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰
۲	LIT9	۰/۱۰۴	۰/۰۰۰	۱۷	ASP3	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰
۳	LUS1	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰	۱۸	RNG1	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰
۴	FLT1	۰/۱۲۲	۰/۰۰۰	۱۹	LUS6	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰
۵	FLT2	۰/۰۷۰	۰/۰۰۰	۲۰	LIT8	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰
۶	SLP1	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰	۲۱	ASP1	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰
۷	LIT10	-۰/۰۳۶	۰/۰۰۰	۲۲	ASP7	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰
۸	LIT11	-۰/۰۶۴	۰/۰۰۰	۲۳	ASP2	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰
۹	RNG3	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰	۲۴	LIT3	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰
۱۰	RAN3	-۰/۰۸۱	۰/۰۰۰	۲۵	RAN2	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۰
۱۱	DRN4	-۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	۲۶	ASP5	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳
۱۲	LUS7	۰/۰۶۹	۰/۰۰۰	۲۷	LUS9	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۳
۱۳	ROD1	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۲۸	LUS8	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۴
۱۴	DRN3	-۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۲۹	DRN1	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳
۱۵	LUS11	-۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۳۰	LIT2	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹
				۳۱	LIT5	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵

منبع: نویسندگان



شکل ۴. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر به روش رگرسیون چند متغیره (MR)

جدول ۳. گستره‌های لغزشی حوضه رودخانه ماربر در روش رگرسیون چند متغیره

گستره‌های با خطر خیلی کم	$Y < -4$
گستره‌های با خطر کم	$-4 < Y < 9$
گستره‌های با خطر متوسط	$9 < Y < 22$
گستره‌های با خطر زیاد	$22 < Y < 36$
گستره‌های با خطر خیلی زیاد	$36 < Y$

منبع: نویسندگان

### ارزیابی مدل

ارزیابی مدل مورد استفاده، از طریق روابط شاخص زمین‌لغزش و نسبت تراکمی (رابطه ۲ و ۳) انجام گرفت. شاخص زمین‌لغزش از درصد نسبت سطح لغزشی در هر پهنه به مساحت آن پهنه، تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها به دست می‌آید (رابطه ۲).

$$LI = ((S_i/A_i)/(\sum \ln(S_i/A_i))) \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

LI: شاخص خطر رخداد زمین‌لغزش در هر پهنه خطر به درصد؛  $S_i$ : مساحت لغزش در هر پهنه خطر؛  $A_i$ : مساحت

هر پهنه خطر؛  $n$ : تعداد پهنه‌ها.

اگر درصد سطح لغزش در کلاس‌های با خطر بالا بیشتر باشد و روند توزیع درصد سطح لغزش از کلاس‌های کم خطر به سمت کلاس‌های با خطر بالا افزایش یابد و روند صعودی داشته باشد، بیانگر این است که روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مناسب است. اگر این روند نزولی یا تقریباً به صورت یکسان باشد، نشان‌دهنده کارایی ضعیف مدل خواهد بود. شاخص نسبت تراکمی (DR) از طریق رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$DR = \text{درصد مساحت} / \text{درصد زمین‌لغزش‌ها} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در این رابطه، درصد زمین‌لغزش‌ها عبارت است از: نسبت مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر رده خطر نسبت به مساحت زمین‌لغزش‌ها در منطقه. همچنین درصد مساحت عبارت است از نسبت مساحت رده خطر به مساحت کل منطقه. نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌لغزش و نسبت تراکمی به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. ارزیابی مدل با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳

گستره لغزشی	شاخص زمین‌لغزش	نسبت تراکمی (DR)
خطر خیلی کم	۱/۰۷۶	۰/۰۵۷
خطر کم	۲/۱۶۴	۰/۱۱۴
خطر متوسط	۱۳/۹۲۰	۰/۷۳۵
خطر زیاد	۴۵/۳۷۹	۲/۳۹۶
خطر خیلی زیاد	۳۷/۴۶۰	۱/۹۷۸

منبع: نویسندگان

در مرحله بعد، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه و نقشه پهنه‌بندی خطر تهیه شده با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، با هم تلاقی داده شد. نتیجه این تقاطع در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از تقاطع نقشه پهنه‌بندی خطر و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

ردیف	گستره لغزشی	مساحت گستره ( $Km^2$ )	سطح لغزش ( $Km^2$ )	مساحت گستره (درصد)	سطح لغزش (درصد)
۱	خطر خیلی کم	۴۶/۶۴۷	۰/۰۵۵	۵/۸۳۰	۰/۳۳۱
۲	خطر کم	۲۴۶/۶۷۸	۰/۵۸۴	۳۰/۸۲۹	۳/۵۲۴
۳	خطر متوسط	۲۵۶/۱۲۸	۳/۸۹۸	۳۲/۰۱۰	۲۳/۵۳۰
۴	خطر زیاد	۲۰۳/۵۵۷	۱۰/۰۹۸	۲۵/۴۴۰	۶۰/۹۶۲
۵	خطر خیلی زیاد	۴۷/۱۳۶	۱/۹۳۰	۵/۸۹۱	۱۱/۶۵۳

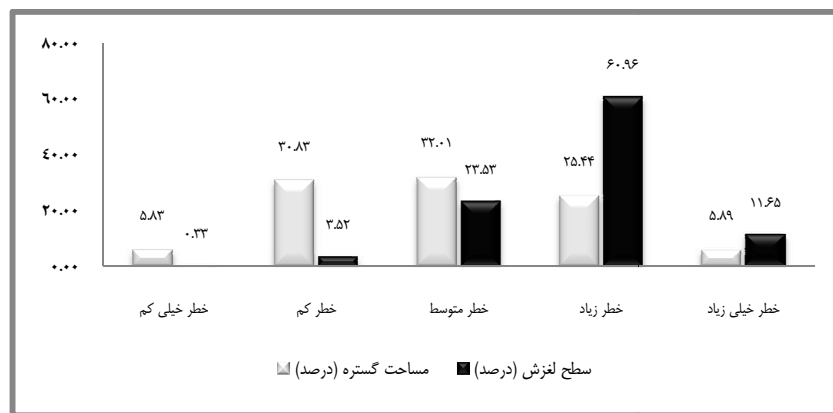
منبع: نویسندگان

## بحث و نتیجه گیری

از آنجایی که حوضه رودخانه ماربر در منطقه‌ای کوهستانی قرار دارد، وقوع پدیده زمین لغزش در مناطق مستعد یکی از معضلات عمده‌ای است که حوضه مذکور در اکثر مواقع با آن روبه‌رو است. بنابراین ایجاد یک استراتژی منطقه‌ای برای حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از وقوع آن، بسیار مهم و ضروری بوده و ارائه یک مدل مناسب و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت محیطی منطقه مطالعاتی کمک شایانی به مراکز ذی‌صلاح باشد.

برای پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش در حوضه رودخانه ماربر، از روش رگرسیون چندمتغیره استفاده شده است. روش رگرسیون چندمتغیره رابطه متقابل بین متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر) نسبت به هم و نسبت به یک متغیر وابسته (رخداد زمین لغزش) را یک‌جا در نظر می‌گیرد. در این روش داده‌های اولیه و نتایج حاصل از پردازش به صورت کمی ارائه می‌شود. در روش رگرسیون چندمتغیره، رابطه تک‌تک عوامل با متغیر وابسته (Y) و نیز نسبت به همدیگر به صورت رگرسیون خطی در نظر گرفته می‌شود و نحوه کلاس‌بندی و کدگذاری عوامل مختلف روی همدیگر تأثیرگذار خواهند بود و در نهایت برای مدلی که برآورد می‌شود، عواملی انتخاب می‌شوند که ضریب معنی‌داری بالایی با متغیر وابسته (Y) داشته باشند و عوامل با ضریب معنی‌داری کمتر که باعث کاهش دقت کار پهنه‌بندی می‌شوند، حذف خواهند شد. به گفته دیگر، چنانچه سطح معناداری (p-value) برای متغیری بیش از ۵ درصد باشد، متغیر مورد نظر معنادار نبوده و بایستی از معادله حذف شود. بنابراین برای نیل به این مقصود، پس از انجام عملیات رگرسیونی از میان ۵۴ پارامتر دخالت داده شده، ۲۳ پارامتر به دلیل داشتن ضریب معنی‌داری کمتر از ۹۵ درصد و نداشتن رابطه آماری قوی با درصد سطح لغزش‌های رخ داده در واحدهای همگن، حذف شدند. با توجه به وزن واحدهای همگن و عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، حوضه رودخانه ماربر به لایه‌های مختلف طبقه‌بندی شده است. در نهایت، منطقه مورد مطالعه به لحاظ پتانسیل وقوع زمین لغزش به پنج طبقه مواجه با خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و خیلی کم، تقسیم شد (شکل ۴).

نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پهنه‌بندی خطر تهیه شده به کمک روش رگرسیون چند متغیره با استفاده از داده‌های گسسته، روند صعودی نسبت تراکمی و شاخص زمین‌لغزش را برای گستره‌های مواجهه با خطر خیلی کم تا گستره‌های مواجهه با خطر زیاد را نشان می‌دهد که صعودی بودن این روند کاملاً صحت نقشه را تأیید می‌کند. روند شاخص از گستره با خطر زیاد به سمت گستره با خطر خیلی زیاد، برعکس می‌شود. با این حال، درصد سطح لغزش‌یافتگی گستره با خطر خیلی زیاد کمابیش دو برابر درصد مساحت این گستره است (شکل ۵) که این پارامتر نیز از قدرت بالای مدل برای تفکیک نواحی مستعد لغزش خبر می‌دهد.



شکل ۵. نمودار درصد مساحت گستره‌های لغزشی و درصد سطح لغزش‌یافتگی

با توجه به شکل ۵ و جدول ۵، گستره با خطر زیاد از مجموع مساحت سطح زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه ماربر، بیشترین سطح لغزش‌یافتگی (۶۱ درصد برابر با ۱۰/۰۹۸ کیلومترمربع از کل لغزش‌های منطقه) را به خود اختصاص داده است؛ با وجودی که مساحت کل این گستره لغزشی (از مساحت ۸۰۰ کیلومترمربعی حوضه) فقط ۲۵/۴۴ درصد، یعنی ۲۰۳ کیلومترمربع است. در رده‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط، سطح لغزش‌یافتگی کمتر از مساحت رده است که این پارامتر باز قدرت نسبی مدل را نشان می‌دهد. در رده با خطر خیلی کم، سطح لغزش‌یافتگی بسیار ناچیز بوده و گستره با خطر کم با ۳۰/۸۳ درصد (۲۴۶/۶۹ کیلومترمربع) از مساحت کل حوضه، فقط ۳/۵۲ درصد (۰/۵۸۴ کیلومترمربع) از زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. گستره‌های با خطر خیلی کم و خیلی زیاد به‌طور تقریباً برابر، کمترین مساحت (۵/۸ درصد) منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته‌اند. با این تفاوت که رده با خطر خیلی زیاد ۱۱/۶۵ درصد زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. گستره‌های لغزشی با خطر کم و متوسط در مجموع ۶۲/۸۴ درصد (۵۰۲/۶۸ کیلومترمربع) مساحت کل حوضه ماربر را به خود اختصاص داده‌اند؛ این در حالی است که میزان سطح لغزش‌یافتگی این دو رده در مجموع ۲۷/۰۵ درصد (۴/۴۸ کیلومترمربع) بوده است (شکل ۵).

با توجه به مطالب فوق و اطلاعات حاصل از جدول ۵ و شکل ۵، در پروژه‌ها و برنامه‌ریزی‌های عمرانی منطقه، چنانچه بخواهیم از مدل به‌دست‌آمده برای پهنه‌بندی خطر لغزش استفاده کنیم، باید تا حد امکان از گستره‌های لغزشی با

خطر زیاد و خیلی زیاد و نیز از گستره لغزشی با خطر متوسط اجتناب شود. اگر به هر دلیلی در این پهنه‌ها تصمیم به انجام کارهای عمرانی گرفته شد، این‌گونه مناطق جزء مناطق با خطر نسبی بالا مد نظر قرار گیرند. تا تمهیدات و اقدامات لازم و پیشگیرانه مناسب لحاظ شود.

با توجه به ضرایب رگرسیونی به دست آمده از معادله رگرسیون خطی، بیشترین تأثیر در رخداد زمین لغزش‌های منطقه را کلاس فاصله از گسل ۰-۱۵۰۰ متر داشته است. بنابراین توجه به این پارامتر نیز بسیار اهمیت دارد. همچنین بررسی و مقایسه نقشه تهیه شده برای پهنه بندی خطر و نقشه‌های عوامل مؤثر نشان می‌دهد که عامل فاصله از گسل بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های حوضه ماربر دارد. علاوه بر تأثیر بالای عامل گسل در رخداد لغزش، تراکم بالایی از زمین لغزش‌ها نیز در اطراف جاده‌ها دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از تغییر کاربری واحدهای زمینی و دخالت بشر در طبیعت باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که قبل از انجام هر گونه عملیات عمرانی در منطقه، مطالعات دقیق تری به منظور بررسی تأثیر گسل‌ها بر وقوع زمین لغزش و همچنین تأییراتی که احداث جاده می‌تواند بر وقوع زمین لغزش داشته باشد، صورت گیرد و در ترانشه‌زنی‌ها و راه‌سازی‌های منطقه اصول لازم رعایت شده و اقدامات مورد نیاز برای جلوگیری از وقوع لغزش انجام گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود بررسی‌های دقیق ژئوفیزیکی و سائزموکتونیک در منطقه مورد مطالعه انجام شود.

## منابع

- Alijani, B., Ghohrodi, M., AmirAhmadi, A., 2007, **Landslide Hazard Zonation in the Northern Slopes of ShahJahan-Case Study: Estarkhi Shirvan Watershed**, Geographical Research Quarterly, Vol. 22, No. 84, PP.117-132.
- Ashgholi Farahani, A., 2001, **Evaluation of Natural Slope Unstability Hazard in Rudbar Using Fuzzy logicTheory**, M.Sc. Thesis in Engineering Geology Tarbiat Moaalem University, Tehran.
- BeheshtiRad, M., Feiznia, S., Salajaghe, A., Ahmadi, H., 2011, **Landslide Hazard Zonation Using Multivariate Regression Method and GIS**, Physical Geography Quarterly, Islamic Azad University, Vol.3, No.7, PP. 33-40.
- Emami, S.N., Ghayomian, J., 2004, **Research on Landslide Mechanism on Colluvial, Case Study: Afsarabad in Chaharmahal and Bakhtiari Province**, Third Conference of Engineering Geology and the Environment, University of Bu-Ali Sina, Hamadan, Iran.
- Feiznia, S., Kalarestaghi, A., Ahmadi, H., Safaee, M., 2005, **Investigation of Effective Factor on Landslides Occurrence and Landslide Hazard Zonation, Case Study: Shirin Rood Drainage Basin**, Journal of Natural Resources of Iran, Vol. 57, No.1, PP. 3-22.
- Garaei, P., Soleimani K., Mousavi S.R., Kaviani, A., 2009, **Regional Modeling of Landslide Hazard Zonation, Using Multivariate Statistic Method in Lajemrood- Sari Basin**, Journal of Earth Science, Geological and Mineral Exploration of Iran, Vol.19, No.73, PP.29-36.

- Gee, M. D., 1992, **Classification of Landslides Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability**, Bell, Davi, H(Ed.), Proceedings 6<sup>th</sup> International Symposium on Landslide.
- Ghanbarzadeh, H., Behniafar, A., 2009, **Landslide Hazard Zonation in CallShur Basin (Neyshabur)**, Journal of Geographic Space, Vol. 9, No. 28, PP.103-123.
- Ghorbani, M.S., Aunagh, M., 2012, **Zoning of Karst Evolution and Vulnerability, using Multiple Linear Regression Model in the Shaho Area**, Quantitative Geomorphological Research Quarterly, Vol.1, No. 1, PP.19-32.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., Carrara, A., 2000, **Comparing Landslide Maps, Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy**, Journal of Environmental Management, Vol. 25, No. 3, PP. 247-263.
- Haghshenas, E., 1996, **Landslide Hazard Zonation and its Relation to Sediment Production in Taleghan**, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University.
- Hattanji, T., Moriwaki, H., 2009, **Morphometric Analysis of Relic Landslides Using Detailed Landslide Distribution Maps: Implications for Forecasting Travel Distance of Future Landslides**. Journal of Geomorphology, Vol. 103, No.3, PP. 447-454.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Li, R.H., 2004, **Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojiang Watershed**, Yunnan, China Engineering Geology, Vol. 76, No. 1-2, PP.109-128.
- Lee, S., 2007, **Application and Verification of Fuzzy Algebraic Operators to Landslide Susceptibility Mapping**, Environmental Geology, Vol. 52, No. 4, PP. 615-623.
- Masoudian, S.A., Kaviani, M. R., 2008, **Climate of Iran**, University of Isfahan Press.
- Moghimi, E., Alavi Panah, S.K., Jafari, T., 2008, **Evaluation and Zonation of Effective Factors in Landslide Occurrence in Northern Slopes of Aladagh, Case Study: Chenaran Drainage Basin**, Geographical Research Quarterly, Vol. 40, No. 64, PP.53-75.
- Mosaffaie, J., Ownegh, M., Mesdaghi, M., Shariat Jafari, M., 2009, **Comparing the Efficiency of Statistical and Empirical Landslide Hazard Zonation Models in Alamout Watershed**, Iranian Journal of Soil and Water Conservation, Vol.16, No.4, PP.43-61.
- Movahhed Danesh, A.A., 2008, **the Hydrology of the Surface Waters of Iran**, Samt Publication, Tehran.
- Pradhan, B., 2011, **An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model With Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps**, Journal of Data Science, No. 9, PP. 65-81.
- Ramesht, M.H., Shahzeydi, S., 2011, **Application of Geomorphology in Regional, National, Economic and Tourism**, 2<sup>rd</sup> Edition, University of Isfahan Press.
- 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.

Shirani, K., 2005, **Evaluation of Against Suitable Model Selection for Semirom**, Final Report of Investigative Scheme Research Center of Watershed Management and Soil Conservation, No. 961.

Van Westen, C.J., Van Asch, Th. W. J., Soeters, R., 2005, **Landslide Hazard and Risk Zonation: Why is it Still so Difficult?** Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 65, No. 2, PP. 176-184.