بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای برپایه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)

کورش شیرانی [۱*]، عبدالله سیف [۲] و احمد نصر [۳]

[۱] استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، اصفهان، ایران
[۲] استادیار، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
[۳] کارشناس، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۲۶

چکیده

حرکات توده‌ای با توجه به ماهیت و تنوع‌شان و مخاطراتی که برای جان و مال انسان‌ها دارند، همواره مورد توجه و مطالعه دانشمندان رشته‌های مختلف علوم‌زمین، همچون زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌ریخت‌شناسی، آبخیزداری و... بوده‌اند. با توجه به این که رخداد این پدیده، سازوکار پیچیده‌ای دارد و عوامل و متغیرهای پیچیده‌ای می‌توانند در ایجاد آن مؤثر باشند، مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناخت عوامل مؤثر، دسته‌بندی، پهنه‌بندی و مدل‌سازی این فرایند صورت گرفته است. در این پژوهش، لغزش‌های حوضه کهردان، در جنوب شهرستان سمیرم و ارتفاعات دنای زاگرس، از توابع استان اصفهان، مورد مطالعه قرار گرفت و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره تهیه گردید. در مرحله بعد، مناسب‌ترین روش که بالاترین صحت و دقت را نیز دارد، معرفی شد. همچنین بر اساس تجزیه و تحلیل‌های به عمل آمده، اولویت و ترتیب تأثیر عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش تعیین شد. بر پایه بررسی‌های انجام گرفته، شش عامل شیب، سوی شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، بارندگی و فاصله از آبراهه، انتخاب و بررسی شد. در ادامه نقشه پراکنش خطر زمین‌لغزش و محاسبات آماری مربوط به چهار روش ارزش اطلاعات، تراکم سطح، رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی بررسی و در پایان نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه شد. نتایج حاصل نشان داد که مناسب‌ترین نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش، نقشه حاصل از روش آماری ارزش اطلاعات است که امکان استفاده در کارهای عمرانی و برنامه‌ریزی را دارد. همچنین اهمیت عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب شامل سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، کاربری زمین، شیب، جهت شیب و بارندگی هستند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، حوضه کهردان، دنا، زاگرس

***نویسنده مسئول:** کورش شیرانی
E-mail: k_sh424@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

زمین‌لغزش‌ها، همانند پدیده‌های طبیعی دیگر همچون زمین‌لرزه، آتشفشان و غیره توجه انسان را به خود جلب کرده‌اند. زیرا از یک سو، زمین‌لغزش یکی از عوامل تهدیدکننده جان و مال انسان‌هاست و از سوی دیگر خسارات زیادی به زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، خطوط انتقال نیرو و گاز، معادن، سازه‌های مهندسی و ساختمان‌ها وارد می‌کند، که از دیدگاه اقتصادی مسائل و مشکلات بزرگی را به همراه دارد (صفاری و مقیمی، ۱۳۸۸). با شناخت ویژگی‌ها و عوامل ایجاد و گسترش زمین‌لغزش‌ها، امکان دست‌یابی به روش‌های پیش‌بینی خطرات و جلوگیری از خسارات ناشی از گسترش آنها فراهم می‌شود.

افزون بر این، رشد سریع جمعیت در دهه‌های اخیر، گسترش شهرها به سوی نواحی کوهستانی و پرشیب‌تر و دخالت هر چه بیشتر بشر در طبیعت، سبب‌شده است که این دو عامل به صورت نگران‌کننده‌ای، سبب افزایش بی‌شمار رخداد زمین‌لغزش‌ها و بالا رفتن میزان خسارات و تلفات این پدیده در سال‌های اخیر شوند. با وجود افزایش دانش بشری در مورد سازوکار رخداد زمین‌لغزش‌ها و عوامل کنترل‌کننده آنها که در سایه تلاش بسیاری از پژوهشگران و علاقمندان در کشورهای مختلف حاصل شده است، پیش‌بینی می‌شود که در آینده به علت ادامه فزاینده تغییرات انسان در طبیعت و استفاده از نواحی کوهستانی و مستعد لغزش، رخداد زمین‌لغزش‌ها و خسارات حاصل از آنها ابعاد گسترده‌تری پیدا کند (محمودی، ۱۳۸۰). در ایران، با توجه به ناهمواری شدید مناطق کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط گوناگون زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی برای ایجاد طیف گسترده‌ای از زمین‌لغزش‌ها فراهم است و سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌شود.

بر این پایه مطالعه و بررسی مناطق مستعد لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کمک شایانی به کارشناسان در امر برنامه‌ریزی و فعالیت‌های عمرانی می‌کند. بنابراین در این پژوهش سعی شده نقاط حساس به زمین‌لغزش، در حوضه کهردان شناسایی و پس از تشخیص و بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در محدوده حوضه مورد مطالعه، نقشه پهنه‌بندی خطر به روش‌های آماری مختلف تهیه و در پایان نیز اولویت اهمیت عوامل مؤثر در زمین‌لغزش مشخص شود.

۲- پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در داخل و خارج از کشور در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شده، که بیشتر شامل استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و چند متغیره است. پیشینه استفاده از روش‌های آماری برای پیش‌بینی خطر ناپایداری دامنه‌ها در دنیا به طور کلی از دهه ۱۹۹۰ به بعد مشاهده می‌شود.

Lee & Kyungduck (2001) با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره به پهنه‌بندی و ایجاد نقشه حساسیت نسبت به زمین‌لغزش در منطقه یانگین کشور کره پرداخته است. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده شامل شیب، برای شیب، ستبرای خاک، فاصله از آبراهه، کاربری زمین و پوشش گیاهی هستند. در این پژوهش درستی نقشه پهنه‌بندی لغزش با نقشه پراکندگی لغزش‌ها مقایسه شده و بر پایه روش آماری رگرسیونی، نتایج خوبی به‌دست آمده است. Guzzetti et al. (2000) در ایتالیا نقشه عوامل مؤثر در لغزش را با روش آماری چندمتغیره، زمین ریخت‌شناسی و نقشه خطر زمین‌لغزش مقایسه و اشاره کرده‌اند که هر چه نقشه‌های عامل دقت بیشتری داشته باشند، پهنه‌بندی زمین لغزش دقیق‌تر خواهد بود. Ercanogla & Gokceoglu (2002) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره، روش هندسی، زمین ریخت‌شناختی و منطق فازی و عوامل شیب، سوی شیب، کاربری زمین، وضعیت آب و هوایی، ارتفاع به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در شمال باختر ترکیه پرداخته‌اند. نقشه تهیه‌شده با زمین‌لغزش‌های رخ‌داده انطباق خوبی داشته است.

Van Westen et al. (1993) افزون بر بیان کاربرد GIS، روش‌های دومتغیره و چندمتغیره را با همدیگر مقایسه و برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل‌های مشخصی معرفی کرده‌اند.

اشقلی‌فراهانی (۱۳۸۰) با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی)، آماری چندمتغیره خطی، کم‌ترین مربعات وزن‌دار، تحلیل ممیزی، لجستیک با داده‌های گسسته و پیوسته و منطق فازی منطقه رودبار استان گیلان را پهنه‌بندی کرد، که در این پژوهش روش‌های تحلیل‌های آماری چندمتغیره و رگرسیون لجستیک بالاترین میزان دقت را نشان داده‌اند. حق‌شناس (۱۳۷۵) با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره (ارزش اطلاعاتی)، رگرسیون چندمتغیره و روش تحلیل ممیزی حوضه آبخیز طالقان را پهنه‌بندی کرد. در این پژوهش روش رگرسیون چندمتغیره به عنوان مناسب‌ترین روش معرفی شد و روش‌های تحلیل ممیزی و ارزش اطلاعاتی در مراحل بعدی قرار دارند. شیرانی (۱۳۸۳) حوضه رودخانه ماربر در منطقه سمیرم در جنوب استان اصفهان را با استفاده از هفت روش از روش‌های متداول، پهنه‌بندی کرده و نتیجه گرفته است که پس از روش‌های دومتغیره ارزش اطلاعاتی، روش چندمتغیره مناسب‌ترین مدل است. فتاحی اردکانی (۱۳۷۹) با استفاده از چهار روش وزن متغیرها، ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و روش تجربی نیلسن حوضه آبخیز لتیان را پهنه‌بندی کرد. در این پژوهش روش وزن متغیرها به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد و پس از آن روش‌های ارزش اطلاعاتی، نیلسن و تراکم سطح قرار گرفتند. نیک‌اندیش (۱۳۷۸) با استفاده از روش آماری ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و تراکم سطح، منطقه کارون میانی در استان چهارمحال بختیاری را پهنه‌بندی کرد. لایه‌های به کار رفته شامل سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی هستند. در این پژوهش روش ارزش اطلاعاتی به عنوان مناسب‌ترین روش برگزیده شده و وزن متغیرها و تراکم سطح در مراحل بعدی قرار گرفتند. در جدول ۱ برخی دیگر از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران ارائه شده است.

در یک جمع‌بندی کلی از سابقه پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد، در صورتی که عوامل مؤثر در هر منطقه با دقت تعیین شوند، از میان روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، روش‌های آماری، متناسب با شرایط مناطق مختلف انعطاف بیشتری دارند.

۳- مواد و روش‌ها

روش‌های مختلفی برای مطالعه و بررسی زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آن وجود دارد که از میان آنها روش‌های آماری، کاربرد بیشتری دارند و نتایج دقیق‌تری از آنها حاصل می‌شود (فاطمی‌عقدا، ۱۳۸۲). بنابراین در این پژوهش از روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره استفاده شده است. در روش آماری دومتغیره، از روش های ارزش اطلاعات و تراکم سطح و در روش آماری چندمتغیره، از روش‌های رگرسیون خطی (Linear Regression) و تحلیل ممیزی (Discriminant Analysis) بهره گرفته شده است.

به منظور اعمال این روش‌ها ابتدا از میان عوامل مؤثر در رخداد لغزش، آن دسته از عوامل که بر پایه پژوهش‌های انجام گرفته در مناطق مشابه و نیز نظر کارشناسی، تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشته‌اند، انتخاب شدند. در پایان از میان عوامل بی‌شمار، عامل شیب، سوی شیب، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، بارندگی و فاصله از آبراهه، به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه، شناسایی و تجزیه و تحلیل شد. در مرحله بعد هر کدام از این عوامل که به عنوان یک لایه اطلاعاتی به شمار می‌آیند جداگانه با نقشه پراکندگی لغزش‌ها تقاطع داده شد. در روش آماری دومتغیره، وزن هر لایه به روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح در جدول‌های مربوطه، جداگانه محاسبه گردید. در نهایت با جمع جبری هر ۶ لایه در هر دو روش، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر تهیه و میزان درستی و دقت آنها بررسی و مقایسه شد.

اما در روش آماری چندمتغیره، بر مبنای اعمال روابط آماری چند متغیره مورد نظر، ابتدا نقشه‌های وزنی ایجاد و سپس نقشه‌های خطر لغزش حاصل گردید. در پایان، نقشه‌های خطر با نقشه پراکنش لغزش‌ها تقاطع داده شد و بر اساس شکست‌های طبیعی منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها، هر یک از نقشه‌های یاد شده به پنج رده تقسیم شدند. لازم به ذکر است برای برازش معادله‌های رگرسیونی، از تراکم لغزش‌ها در هر رده از نقشه‌های عامل استفاده و اقدام به تهیه ماتریسی با ۲۲ ستون (۱۲متغیرمستقل شامل رده‌های عوامل مؤثر و ۱ متغیر وابسته شامل تراکم سطح لغزش) و ۱۳۶۵ سطر (تکرارها) در محیط GIS گردید. ماتریس مورد نظر وارد نرم‌افزار Excel و سپس SPSS شده و پس از تحلیل آماری و تعیین بهترین رگرسورها، معادله‌های مورد نیاز برای ایجاد دو نقشه پهنه‌بندی خطر (شامل رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی) استخراج شدند.

در پایان، چگونگی تأثیر هر کدام از عوامل و ترتیب اهمیت آنها مشخص شد، که در برنامه‌ریزی‌ها و کارهای عمرانی بسیار مفید و دارای اهمیت است.

۳-۱. موقعیت جغرافیایی منطقه

این حوضه طبق نام‌گذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲-۱-۴-۳ به‌نام کهردان در حد فاصل عرض جغرافیایی ′۴۱ °۳۰ تا ′۳۰ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی ′۲۳ °۵۱ تا ′۵۲ °۵۱ خاوری در جنوب استان اصفهان قرار گرفته است (شرکت مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۸). این منطقه از سمت باختر به شهرستان لردگان در چهار محال و بختیاری، از سمت خاور به استان فارس و از سمت جنوب به استان کهگیلویه و بویراحمد محدود می‌شود. گستردگی این حوضه ۱۴۳۸کیلومتر مربع و بیشینه ارتفاع حوضه ۴۰۰۰ متر و کمینه آن ۱۹۰۰ متر است. منطقه مورد مطالعه در رشته‌کوه زاگرس و از دید زمین‌شناسی در پهنه زاگرس مرتفع جای گرفته است (شکل ۱).

۳-۲. پراکنش زمین‌لغزش‌ها

در حوضه کهردان زمین‌لغزش‌های زیادی رخ‌داده است و از جنبه ناپایداری دامنه‌ها، پتانسیل بالایی دارد. به منظور انجام این پژوهش که اساس آن نقشه پراکنش لغزش‌های حوضه است، برداشت محدوده لغزش‌ها بر پایه پیمایش صحرایی و با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در منطقه مورد مطالعه انجام شد (شیرانی و سیف، ۱۳۹۱؛ شیرانی و همکاران، ۱۳۹۱). برداشت لغزش‌ها در مناطق صعب‌العبور و غیر قابل دسترس با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۲ و تصاویر ماهوارهای ASTER 2002 امکان‌پذیر شد. بر این پایه، موقعیت ۱۰۳ زمین‌لغزش رخ‌داده در حوضه کهردان برای انجام پهنه‌بندی مشخص شد و سپس تصحیح زمینی محدوده لغزش‌ها با پیمایش صحرایی صورت گرفت. در مرحله بعد موقعیت محدوده‌های لغزشی در محیط GIS وارد شده و نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. این نقشه مبنای تهیه نقشه پهنه‌بندی در منطقه، مورد استفاده قرار گرفته و از آن به عنوان نقشه واقعیت زمینی لغزش نام‌برده شده‌است (شکل ۲).

۳-۳. تعیین عوامل مؤثر

با توجه به موقعیت منطقه، ریخت‌سنجی (مورفومتری) حوضه، بررسی‌های میدانی، مرور مطالعات انجام‌شده در مناطق مشابه با حوضه‌های کارون شمالی و دز علیا، نقشه‌های موضوعی موجود و نیز روش‌های پهنه‌بندی مورد استفاده، ۶ عامل کاربری زمین، شیب، سوی شیب، سنگ‌شناسی، بارش، فاصله از آبراهه برای هر چهار روش پهنه‌بندی به صورت یکسان انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. هرکدام از این عوامل به رده‌های مختلفی تقسیم شد و روی هم رفته ۴۹ متغیر برای انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست آمد.

۳-۴. تهیه نقشه‌های عوامل موثر

نقشه‌های عوامل مؤثر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، نقشه‌های تدقیق شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، لایه رقومی زمین‌شناسی ایران، نقشه DEM حاصل از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، تفسیر عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای ASTER 2002 و نتایج به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌ها و بررسی مطالعات انجام‌شده در مناطق مشابه، در محیط GIS تهیه

شدند (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۷۷، سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۷۲ و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۸). نقشه هم‌باران منطقه نیز با استفاده از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های منطقه و با روش میان‌یابی در محیط Surfer تهیه شد. لازم به ذکر است به منظور ایجاد و محاسبه واحدهای همگن و کمی کردن عوامل شیب، بارندگی، فاصله از آبراهه، از شکست طبیعی منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها در برابر ارزش هر پیکسل استفاده شد. بر روی این منحنی جایی که شیب منحنی تغییر پیدا می‌کند به‌عنوان مرز یک رده با رده دیگر در نظر گرفته‌شد. در مورد نقشه‌های سوی‌شیب، زمین‌شناسی، کاربری زمین، با توجه به اطلاعات هر لایه، رده‌بندی انجام گرفت.

۳-۵. به‌کارگیری روش آماری دومتغیره در منطقه مورد مطالعه

در روش آماری دومتغیره، برای محاسبه نقشه‌های وزنی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از دو روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح استفاده شد که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

– **روش آماری ارزش اطلاعات:** در این روش با انتخاب یک سلول (pixel) با اندازه مشخص به عنوان مبنای واحد زمینی و رابطه عوامل (متغیر) مؤثر در رخداد زمین‌لغزش با پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، به ارزیابی خطر زمین‌لغزش پرداخته و بر پایه این ارزیابی، وزن و سهم هر یک از طبقات و واحدهای عوامل (متغیر) مؤثر در رخداد زمین‌لغزش طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Ilwis Applications Guide, 1997).

$$Ln_{Wi} = Ln\left[\frac{Densclas}{Densmap}\right] = Ln\left[\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\Sigma Npix(S_i)}{\Sigma Npix(N_i)}}\right] \quad \text{رابطه(۱)}$$

W_i = وزن مربوط به رده مشخص از یک متغیر

Densclass= تراکم زمین‌لغزش در یک رده مشخص

Densmap= تراکم زمین‌لغزش در کل حوضه

Npix (S_i)= تعداد پیکسل‌ها یا مساحت زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در هر رده از متغیر

Npix (N_i) = تعداد پیکسل‌ها یا مساحت کل هر رده از متغیر

در منطقه مورد مطالعه برای محاسبه وزن هر عامل، ابتدا متغیرهای مربوطه از رابطه ۱ به طور جداگانه، محاسبه و در پایان نقشه وزنی هر لایه اطلاعاتی تهیه شد. سپس با جمع جبری نقشه وزنی هر شش عامل و رده‌بندی نقشه نهایی به رده‌های "خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد"، اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به روش ارزش اطلاعات شد (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴). شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش ارزش اطلاعات را نشان می‌دهد.

– **روش آماری تراکم سطح:** در این روش همانند روش ارزش اطلاعات با استفاده روابط ۲ و ۳ برای هر نقشه عامل یا متغیر، تراکم زمین‌لغزش محاسبه و در مرحله بعد همانند روش ارزش اطلاعات به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداخته شد (Haeri & Sameiee, 1995).

$D=Npix(Sx_i)/Npix(X_i)$ رابطه (۲)

$W=1000\times(D-(\sum Npix(Sx_i)/\sum Npix(X_i))$ رابطه (۳)

D = تراکم زمین‌لغزش در هر رده از هر متغیر یا متغیر I ام از عامل J ام

W= وزن متغیر در هر رده از هر متغیر

Npix (Sx_i) = مساحت لغزش‌های رخ‌داده در هر رده یا متغیرxi

Npix (x_i) = مساحت هر رده یا متغیرxi

سپس با جمع جبری نقشه‌های وزنی برای ۶ عامل، نقشه وزن پایانی تهیه و بر پایه نمودار ستونی (هیستوگرام) حاصل، رده‌های خطر تعیین و رده‌بندی انجام شد. بدین ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر پایه روش آماری تراکم سطح به‌دست آمد (شکل ۴).

۳-۶. به‌کارگیری روش‌های آماری چند متغیره در منطقه مورد مطالعه

همان گونه که بیان شد برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از دو روش آماری چندمتغیره شامل روش رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی استفاده شده که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

– **روش آماری رگرسیون خطی:** رگرسیون خطی، یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کاربرد فراوانی دارد. بر پایه این روش، اطلاعاتی همچون ضریب رگرسیون، ضریب رگرسیون استانداردشده، ضریب اطمینان و از همه مهم‌تر، متغیر وابسته به دست می‌آید (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵، Chung et al., 1995).

در این روش با استفاده از نرم افزار SPSS و روش Stepwise با استفاده از ۵۸۳۲ واحد همگن (تکرارها) به تعیین بهترین معادله و رگرسورها (عوامل) پرداخته می‌شود. این ۵۸۳۲ واحد همگن حاصل تلفیق ۶ متغیر هستند. در بهترین مدل مطابق جدول، متغیرهای A04، A03، D01، D02، F01، F02، G01، G02، L02، L03، L05، R02، S02، S03، S05، V01 و V07 در معادله رگرسیون وارد شده‌اند. به عبارت دیگر از میان ۳۶ متغیر، تنها ۱۷ متغیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ضریب همبستگی (R) معادله ۰/۸۵ و سطح اطمینان هر متغیر در حدود ۹۹ درصد است. ضرایب هر متغیر به همراه سطوح اطمینان آنها در جدول ۲ آمده است. ضرایب مثبت در معادله رگرسیون نشانگر افزایش ناپایداری و ضرایب منفی نشانگر کاهش ناپایداری هستند. پس از تعیین معادله رگرسیونی بر اساس ضرایب موجود مطابق معادله استاندارد رگرسیون چند متغیره ($Y= (Bo+B1X1+B2X2+...+BnXn)$، y لغزش (متغیر وابسته) و ضرایب Bo تا Bn همان ضرایب موجود در جدول ۲ و X1 تا Xn هفده متغیر مستقل به عنوان رده های هر پارامتر)، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی اولیه برای کل منطقه نموده، سپس بر اساس نقاط شکست طبیعی منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها پنج رده خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد برای پهنه های زمین لغزش تهیه می‌شود (جدول ۲ و شکل ۵). در پایان، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش رگرسیون خطی لازم است معادله رگرسیونی به دست آمده در محیط GIS بر روی نقشه‌های تلفیقی اعمال و نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش تهیه شود (شکل ۵).

– **روش آماری تحلیل ممیزی:** این روش، یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از آن بهره گرفته شده است. این روش با استفاده از مقادیر متغیرهای مستقل، امتیازی برای عضویت در هر گروه محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر با استفاده از معادله خطی که بهترین جدایش را میان دو گروه واحد زمینی ناپایدار (کد یک) و واحد زمینی پایدار (کد صفر) ایجاد می‌کند، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌پردازد. بدین منظور با استفاده از ماتریس (۲۲×۱۳۶۵) در نرم افزار SPSS، به محاسبه معادله یا تابع تشخیص پرداخته‌شد. همچنین آزمون خی دو تابع تشخیص (Chi Sqare=۱۲۱/۰۷۳) در سطح اطمینان ۰/۹۹ کاملاً معنی‌دار است (Van Westen, 1993).

در این روش، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، باید معادله تابع تشخیص حاصل از داده‌های گسسته به‌دست آید تا بر پایه آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شود (شکل ۶).

۳-۷. تعیین میزان درستی و دقت روش‌های آماری

حال برای بررسی، تجزیه و تحلیل و تعیین میزان دقت و صحت روش های استفاده شده در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش و انتخاب بهترین نقشه پهنه بندی خطر، از رابطه های زیر استفاده می شود.

دقت روش (P): عبارت است از مساحت لغزش‌یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا به مساحت آن پهنه‌ها (Jade & Sarkar, 1993). رابطه ۴ بیانگر این تعریف است:

$P=K_S/S$ رابطه (۴)

P = دقت روش در پهنه‌های متوسط به بالا

K_S = مساحت سطح لغزش‌یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا

S = مساحت پهنه‌های خطر مربوطه

درستی روش بر پایه نسبت تراکمی طبق فرمول ۵ به‌دست می‌آید (Gee, 1992).

رابطه (۵) درصد مساحت/ درصد زمین لغزش‌ها = Dr

درصد زمین‌لغزش‌ها (Dr) عبارت است از: نسبت مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر رده خطر نسبت به مساحت زمین لغزش‌ها در منطقه.

مقدار مجموع کیفیت (Qs) که توسط رابطه ۶ محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده صحت یا خوشایندی عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. به طور معمول مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می‌گیرد. اگرچه از دید تئوری حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هرچه مقدار مجموع کیفیت(Qs) بیشتر باشد، روش درستی یا مطلوبیت بیشتری در جدایش دارد. مقدار مجموع کیفیت از رابطه ۶ به دست می‌آید (Gee, 1992):

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} ((Dr-1)^2 \times S) \quad \text{رابطه (۶)}$$

Qs = مجموع کیفیت، Dr= نسبت تراکم، S= نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه و n= تعداد رده خطر

به طور کلی از مطالب گفته‌شده، در مورد چهار روش به کار برده‌شده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه، با توجه به میزان درستی و دقت آنها می‌توان به یک نتیجه نهایی دست یافت و آن این است که روش ارزش اطلاعات، بهترین و مناسب‌ترین پهنه‌بندی را برای منطقه ارائه می‌دهد (جدول ۳).

۴–بحث

۴–۱. بررسی عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای (Mass Movement) منطقه

با توجه به این که عوامل بسیاری در رخداد زمین‌لغزش مؤثر هستند، لازم است مهم‌ترین این عوامل که نقش تعیین‌کننده‌ای در رخداد زمین‌لغزش دارند به صورت مشروح بیان شوند. ولی در این پژوهش ۶ عامل مهم شیب، جهت‌شیب، سنگ‌شناسی، بارندگی، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر در منطقه انتخاب شدند که با توجه به پهنه‌های خطر زمین‌لغزش بر پایه روش‌های آماری، در منطقه مورد مطالعه، نقش و جایگاه این عوامل در رخداد زمین‌لغزش مشخص شد. در ادامه به بیان این عوامل و چگونگی تأثیر آن در رخداد حرکات توده‌ای پرداخته شده است.

– **شیب:** شیب یکی از عوامل بسیار مؤثر در رخداد زمین‌لغزش است (Chowdhury & Flentje, 2003). مطالعات انجام شده در این زمینه نشان از این دارد که بیشترین سطح در منطقه، مربوط به شیب‌های بین ۰ تا ۱۲ درصد بوده و مساحت ۴۲۲ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است. در مرتبه دوم شیب‌های بین ۱۲ تا ۲۵ درصد هستند که مساحتی معادل ۳۹۱ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند.

اما نکته قابل توجه این است که رده ۰ تا ۱۲ درصد که بیشترین سطح منطقه را به خود اختصاص داده است، کمترین میزان لغزش را دارد و بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های میان ۱۲ تا ۲۵ درصد رخ‌داده‌اند. این مسئله شاید به دلیل آن باشد که در شیب‌های ۱۲تا ۲۵ درصد به‌دلیل وجود خاک و پوشش سطحی سست، ناپایداری وزن توده خاک مناسب‌تر است (شکل ۷). همچنین در شیب‌های بالاتر از ۲۵ درصد معمولاً سطح رخنمون سنگی و لخت که بدون خاک است، موجب شده است تا در این رده نیز درصد زمین‌لغزش‌های رخ‌داده به دلیل پیوستگی توده سنگی، کمتر باشد.

– **سوی‌شیب:** بیشترین گسترش سوی‌شیب، در سوی‌شمال با گستره ۴۰۱ کیلومتر مربع و کمترین آن در سوی جنوب با گستره ۳۲۳ کیلومتر مربع است. بیشترین میزان لغزش‌ها در سوی شمال خاوری و کمترین آن در سوی جنوب است. شیب‌های با سوی شمال خاوری، بیشترین میزان لغزش با گستره ۳۷۷ کیلومتر مربع را دارند که می‌تواند ناشی از وجود رطوبت بیشتر در این دامنه‌ها به دلیل نبود یا کاهش تابش خورشیدی و شار تابشی باشد.

– **سنگ‌شناسی:** منطقه مورد مطالعه سنگ‌شناسی متنوعی دارد و بیشتر سازندهای آن مربوط به دوران مزوزوییک است. بیشترین رخنمون را سازند بختیاری با گستره ۲۷۷ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده که از دید سنگ‌شناسی ترکیبی از کنگلومرا، مارن، سیلت و ماسه‌سنگ است و سازند داریان به گستره ۲۶۶ کیلومتر مربع، در مرتبه دوم با سنگ‌شناسی سنگ‌آهک توده‌ای تا مطبق تیره با میان‌لایه‌های شیل و مارن تیره قرار دارد. همچنین بیشترین میزان لغزش در سازند شیلی و مارنی گورپی رخ‌داده است (شکل ۸).

– **کاربری زمین‌ها:** رده کاربری باغات و چراگاه‌هایی با تراکم متوسط، گستره ۵۸۷ کیلومتر مربع بوده و بیشترین گستره منطقه را به خود اختصاص داده است. همچنین این رده بیشترین میزان لغزش و فرسایش توده‌ای را به دلیل زهکشی ناشی از آبیاری و فقر پوشش در چراگاه‌های متوسط در بر دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰). ولی کمترین گستردگی، مربوط به رخنمون سنگی(Rock) با گستره ۴ کیلومتر مربع است.

– **فاصله از آبراهه:** بیشترین گستردگی فاصله از آبراهه، اختصاص به رده ۰ تا ۱۵۰۰ متر، با مساحت ۷۶۱ کیلومتر مربع دارد، که بیشترین میزان لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. گفتنی است که این عامل که ناشی از عملکرد جریان آب یا به عبارت دیگر فرسایش آبی است، سبب ناپایداری دامنه‌ها و رخداد لغزش در منطقه شده است (شکل ۱۱).

– **میزان بارندگی:** معمولاً میزان بالای تراکم یا شدت بارش نقش فزاینده‌ای در رخداد فرسایش توده‌ای دارد ولی از آنجا که معمولاً اندازه‌گیری آن در حوضه نیازمند اطلاعات حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی است و در منطقه چنین اطلاعاتی در دسترس نیست، میزان بارندگی سالانه که تا حدی این عامل در آن نهفته است، در نظر گرفته شده است (Ayalew, 1999). با توجه به میزان بالای بارندگی سالانه منطقه، می‌توان چنین بیان کرد که بیشترین مساحت مربوط به رده بارندگی سالانه میان ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر است، که از شمال تا جنوب حوضه و پیرامون رودخانه ماربر را در بر گرفته است؛ در حالی که کمترین میزان بارندگی مربوط به گوشه شمال خاوری حوضه (کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر) است. بیشترین سطح لغزش‌یافته نیز مربوط به رده بارندگی ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متری است.

به طور کلی با استفاده از روش آماری چند متغیره رگرسیون خطی، اولویت تأثیر عوامل در رخداد زمین‌لغزش در منطقه تعیین شد (جدول ۴).

با توجه به ترتیب این عوامل، سنگ‌شناسی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل در رخداد زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است که نشان می‌دهد نقاط پوشیده‌شده از شیل، مارن و کنگلومرا، بیشترین ناپایداری دامنه را دارند و شرایط را برای رخداد لغزش فراهم می‌کنند. بنابراین مطالعه و توجه به این عامل در شناسایی مناطق حساس به لغزش کمک فراوانی به مسئولان در کار برنامه‌ریزی می‌کند.

۵– نتیجه‌گیری

– با بررسی عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش میدانی، ۱۰۳ لغزش در حوضه کهردان به نقشه در آمد که شامل لغزش‌های ژرف، لغزش‌های سطحی و سنگ‌افت است.

– در روش آماری چندمتغیره رگرسیون خطی از میان ۳۶ متغیر، تنها ۱۷ متغیر استفاده شده‌اند، که ضریب همبستگی (R) معادله ۰/۸۵ و سطح اطمینان هر متغیر در حدود ۹۹ درصد است.

–درروش آماری چندمتغیره تحلیل ممیزی بااستفاده از ۱۷ متغیر، تابع تشخیص تشکیل شد.

– در روش تحلیل ممیزی، کای اسکوئیر تابع تشخیص برابر با ۱۲۱ می‌باشد که در سطح اطمینان ۰/۹۹ قابل قبول است.

– به طور کلی بر پایه مقادیر دو متغیر مجموع کیفیت (Qs) و دقت روش (P) از میان چهار روش به کار برده‌شده، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، روش ارزش اطلاعات، بهترین و مناسب‌ترین کارآیی را در منطقه دارد.

– رده‌های سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، کاربری زمین، شیب، سوی‌شیب، بارندگی سالانه، به ترتیب بیشترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش دارند.

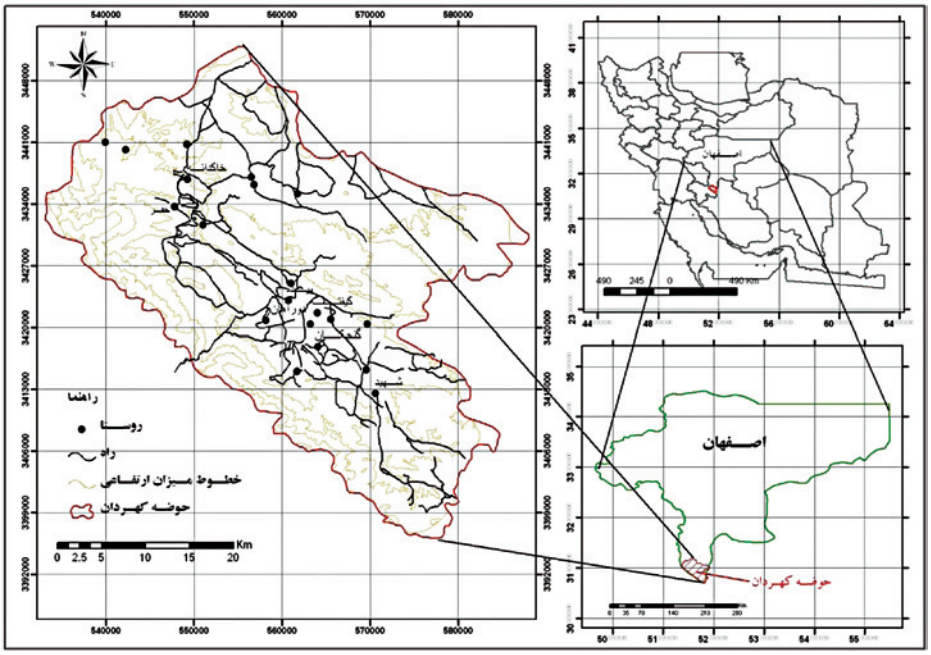
– در امتداد رودخانه به صورت خطی شاهد تراکم لغزش هستیم که علت آن ناپایداری حاشیه رودخانه به دلیل زیرشویی خاک و وجود چشمه‌های فراوان در منطقه است.

– در بخش‌های شمال خاوری منطقه با توجه به سنگ‌شناسی آن که بیشتر از واحدهای سنگ‌آهک و کنگلومرا تشکیل شده است، امکان رخداد لغزش وجود ندارد و دامنه‌ها در حالت پایدار قرار دارند.

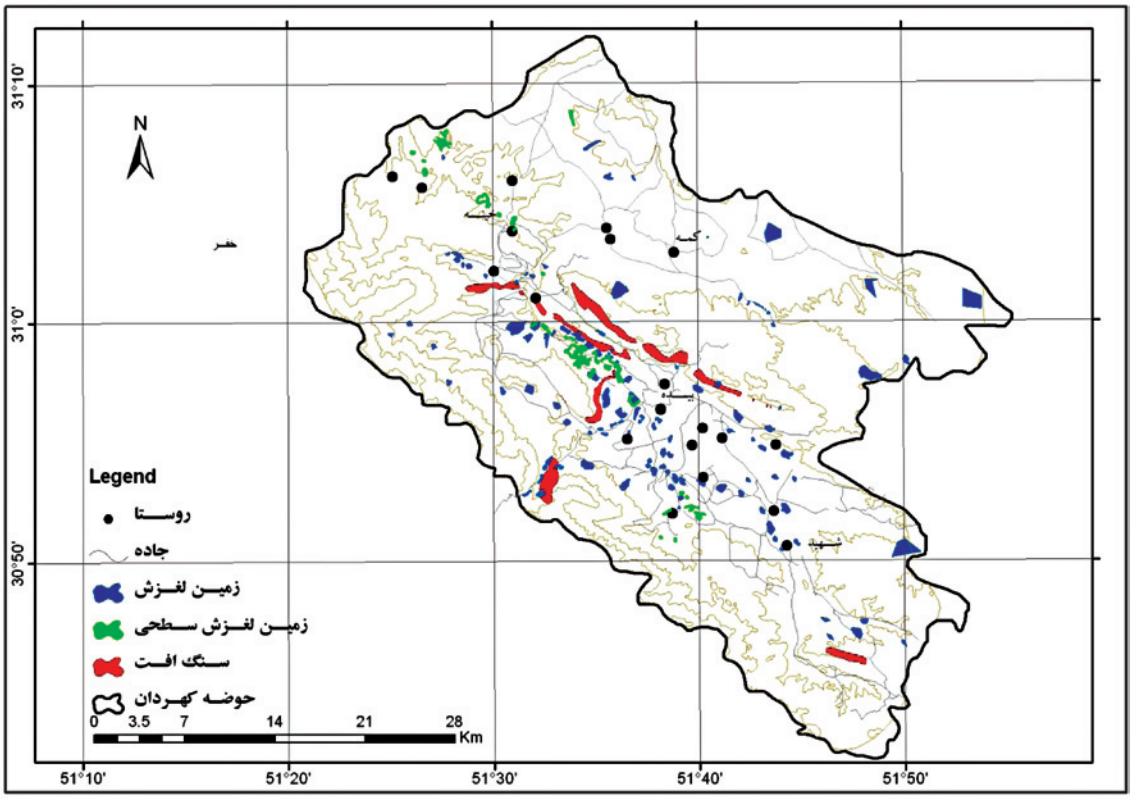
با توجه به گوناگونی و فراوانی عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها، پیشنهاد می‌شود، عواملی همچون فاصله از جاده، برای لایه‌بندی واحدهای زمین‌شناسی در روش‌های آماری با مقیاس بزرگ‌تر بررسی شوند.

به منظور بررسی دقیق‌تر، رابطه شتاب گرانش افقی زمین‌لرزه و فاصله از گسل با لغزش‌های منطقه، بررسی‌های دقیق ژئوفیزیکی و لرزه‌زمین‌ساخت در منطقه انجام گیرد.

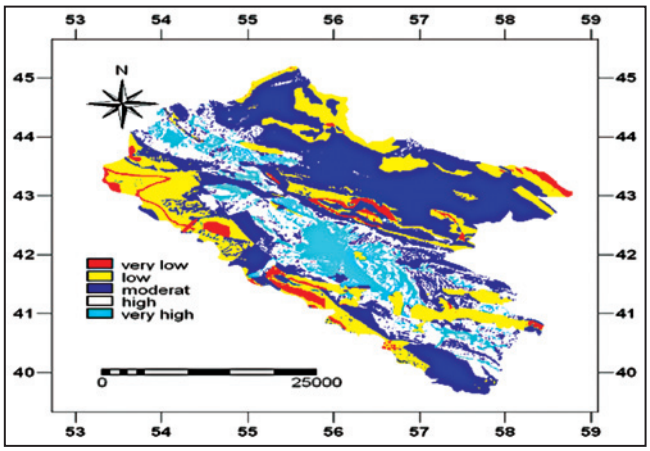
با توجه به نقشه عامل سنگ‌شناسی در رخداد لغزش در محدوده مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود، مطالعه ویژه‌ای روی سنگ‌شناسی و ویژگی‌های واحدهای زمین‌شناسی منطقه صورت پذیرد.



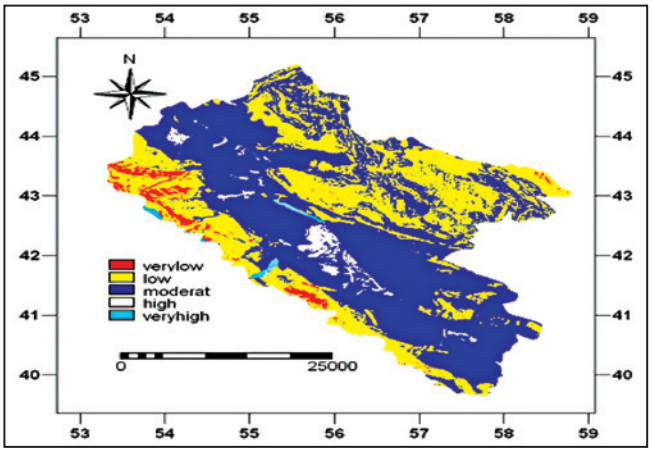
شکل ۱– موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



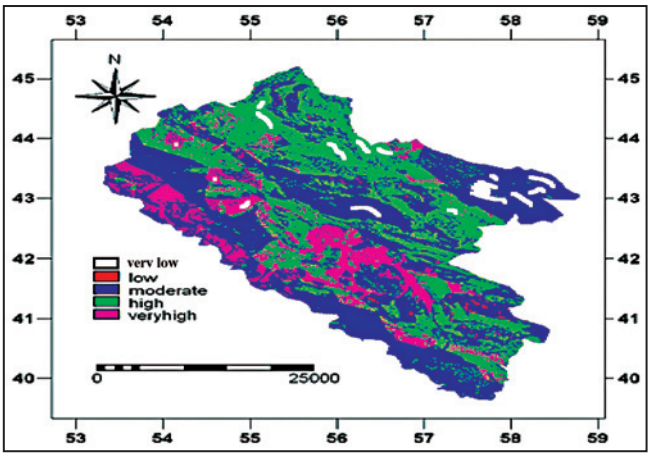
شکل ۲– نقشه پراکنش انواع حرکات توده‌ای در حوضه کهردان



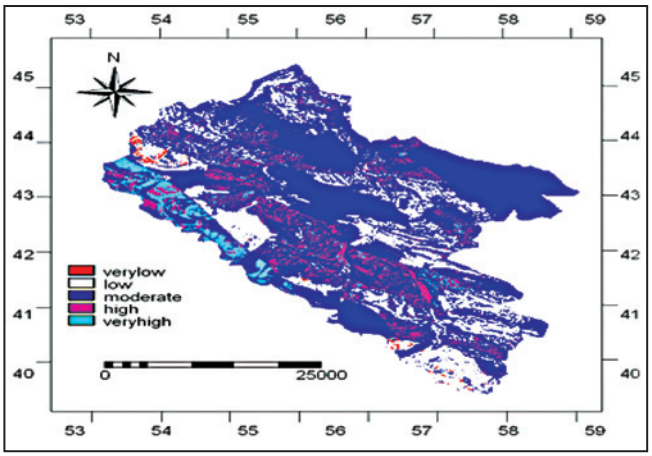
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کهردان به روش ارزش اطلاعات



شکل ۴- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کهردان به روش تراکم سطح



شکل ۵ - نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کهردان به روش رگرسیون خطی



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کهردان به روش تحلیل ممیزی

شکل ۷- زمین‌لغزش باختر روستای خفر در سازند سست مارنی و شیلی گورپی به‌همراه شیب زیاد

شکل ۸- رخداد زمین‌لغزش‌های بی‌شمار در سازند سست شیلی و مارنی گورپی (باختر روستای خفر)

شکل ۹- گسترش کاربری باغات و چراگاه‌های با تراکم متوسط در بخش مرکزی حوضه

شکل ۱۰- پوشش گیاهی با تراکم متوسط روی سازند گورپی و رخداد فرسایش توده‌ای (سطحی)

شکل ۱۱- ناپایداری دامنه‌های مجاور نسبت به آبراهه‌ها و افزایش فرسایش توده‌ای و بار رسوبی در پی آن

جدول ۱- پیشینه پژوهش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش در ایران

پژوهشگر	سال پژوهش(شمسی)	روش‌های پهنه‌بندی	منطقه مورد مطالعه	لایه‌های اطلاعاتی
بداغی	۱۳۷٦	آماری چندمتغیره	حوضه آبخیز شاهرود	شیب، سوی شیب، ارتفاع، زمین‌لرزه
پژم	۱۳۷۵	آماری چندمتغیره	حوضه آبخیز الموت رود قزوین	شیب، سوی جغرافیایی، زمین‌شناسی، ارتفاع، زمین‌لرزه
حائری	۱۳۷۵	مورا و وارسون	استان مازندران	سنگ‌شناسی، شیب، طول راه و رودخانه، فاصله از گسل، بارندگی، زمین‌لرزه، درصد رطوبت
سعدالدین	۱۳۷٦	آماری دومتغیره و چندمتغیره	حوضه آبخیز چاشم و خطیرکوه استان سمنان	شیب، زمین‌شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی، کاربری زمین، زهکشی
سفیدگری	۱۳۸۱	آماری دومتغیره و چندمتغیره، کاناگاوا، حائری	حوضه آبخیز دماوند استان تهران	سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، سوی شیب، شکل دامنه شیب، فاصله از گسل، بارندگی، طبقات ارتفاعی، شتاب زمین‌لرزه
سیارپور	۱۳۷۸	حائری و آماری دومتعیره	حوضه آبخیز کلور استان اردبیل	سنگ‌شناسی، شیب دامنه، طول راه و رودخانه، فاصله از گسل، بارندگی، زمین‌لرزه،
کهی میانجی	۱۳۷۷	آماری چندمتغیره و قضاوت کارشناسی	حوضه آبخیز طالقان رود	زمین‌شناسی، سوی شیب، پوشش گیاهی، زمین‌لرزه، بارندگی

جدول ۲- مدل رگرسیون خطی به روش گام‌به‌گام با داده‌های گسسته

متغیر	ضرایب رگرسیون	ضرایب رگرسیون استانداردشده	سطح اطمینان
(Constant)	-0.169		0.00
A03(S)	-0.024	-0.026	0.05
A04(W)	-0.039	-0.042	0.00
D01(0-500)	0.199	0.250	0.00
D02(500-1000)	0.091	0.108	0.00
F01(0-1000)	0.117	0.149	0.00
F02(1000-2000)	0.046	0.054	0.00
G01(0.16-0.20)	-0.082	-0.044	0.00
G02(0.20-0.22)	-0.081	-0.099	0.00
L02(Kgu+peEKn+Emas-ja+Kgu-slide)	0.141	0.170	0.00
L03(Qtl +Qt3+Qd+Qal+Plb+Plb-slide)	0.101	0.104	0.00
L05(Kdr+Ksr+Kil-sr+Kdr-slide+jn)	0.037	0.039	0.01
R02(600-800)	0.064	0.077	0.00
S02(5-12%)	0.041	0.045	0.00
S03(12-40%)	0.065	0.074	0.00
S05(>70%)	-0.055	-0.049	0.00
V01(Bu-He)	0.061	0.066	0.00
V07(Sh-Bu)	0.106	0.135	0.00

جدول ۳- ارزیابی مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

روش پهنه‌بندی	رده خطر	مساحت (ha)	سطح لغزش در رده (ha)	نسبت مساحت	نسبت تراکم (Dr)	مجموع کیفیت x (Qs)	دقت (P)
ارزش اطلاعات	خیلی کم	۲۸۶۴۵/۱۹	۱۹۶/۱۷	۲/۹۲	۰/۱۵	۳/۶۲	۰/۰۷۲۲
	کم	۳۹۶۶۴/۳۶	۱۰۶۹/۳۸	۱۵/۹۳	۰/۵۸		
	متوسط	۵۲۸۰۴/۱۳	۱۷۷۷/۲۴	۲۶/۴۷	۰/۷۲		
	زیاد	۱۶۱۳۶/۴۳	۷۲۳/۱۴	۱۰/۷۷	۰/۹۶		
	خیلی زیاد	۶۵۴۹/۸۸	۲۹۴۸/۲۲	۴۳/۹۱	۹/۶۴		
تراکم سطح	خیلی کم	۸۴۸/۴۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۱۹	۰/۰۵۷۲
	کم	۲۶۱۵۰/۶۰	۳۴/۱۰	۰/۵۱	۰/۰۳		
	متوسط	۱۰۷۴۵۸/۵۴	۳۸۹۴/۱۲	۵۸/۰۰	۰/۷۸		
	زیاد	۹۰۲۵/۱۰	۲۷۸۵/۹۲	۴۱/۴۹	۶/۶۱		
	خیلی زیاد	۳۱۷/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		
رگرسیون خطی	خیلی کم	۶۰۴۳۱/۶۱	۹۶۶/۱۵	۱۴/۳۹	۰/۳۴	۱/۶۹	۰/۰۶۷۵
	کم	۸۹۵۱/۶۵	۷۲۱/۲۷	۱۰/۷۴	۱/۷۳		
	متوسط	۵۲۱۲۰/۰۱	۱۲۶۰/۸۳	۱۸/۷۸	۰/۵۲		
	زیاد	۱۲۵۴۸/۲۹	۱۳۶۸/۳۰	۲۰/۳۸	۲/۳۴		
	خیلی زیاد	۹۷۴۸/۴۴	۲۳۹۷/۵۹	۳۵/۷۱	۵/۲۷		
تحلیل ممیزی	خیلی کم	۱۴۴۳۸/۷۵	۱۰۵/۲۶	۱/۵۷	۰/۱۶	۱/۵۹	۰/۰۶۳۷
	کم	۴۸۶۱۶/۲۹	۱۴۶۳/۸۰	۲۱/۸۰	۰/۶۴		
	متوسط	۴۵۳۲۲/۶۱	۹۶۴/۰۴	۱۴/۳۶	۰/۴۶		
	زیاد	۲۳۸۴۳/۰۱	۱۴۱۰/۴۷	۲۱/۰۱	۱/۲۷		
	خیلی زیاد	۱۱۵۷۹/۳۳	۲۷۷۰/۵۷	۴۱/۲۶	۵/۱۲		

جدول ۴- ترتیب اهمیت عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش

ردیف	عوامل مؤثر در زمین‌لغزش	میانگین رده‌های هر عامل
۱	سنگ‌شناسی	۰/۲۱۱
۲	فاصله از آبراهه	۰/۱۸۲
۳	کاربری زمین	۰/۱۸۱
٤	شیب	۰/۱٦۸
۵	سوی شیب	۰/۱٦۷
٦	بارندگی	۰/۱٦۳

کتابنگاری

اشقلی‌فراهانی، غ.، ۱۳۸۰- ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۲۵ تا ۳۸.

بداغی، ب.، ۱۳۷۶- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص ۳۰ تا ۶۵.

پژم، م.، ۱۳۷۵- پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه آبخیز الموت‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص ۵۰ تا ۷۵.

حائری، س. م. و سمیعی، ا. ج.، ۱۳۷۶- روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تأکید بر پهنه‌های مازندران، فصلنامه علوم‌زمین، سال ششم، شماره ۲۳ و ۲۴، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱۴۰.

حق‌شناس، ا.، ۱۳۷۵- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۶۰ تا ۹۵.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۸- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه رودخانه ماربر.

سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۷- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه رودخانه ماربر.

سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۲- عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ منطقه رودخانه ماربر.

سعدالدین، ا.، ۱۳۷۶- بررسی اثرات هیدروژئومورفولوژیک بر حرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوضه آبخیز چاشم- خطیر کوه سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۴۰ تا ۷۰.

سفیدگری، ز.، ۱۳۸۱- ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ص ۵۰- ۸۵.

سیارپور، م.، ۱۳۷۸- پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال، استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ص ۴۵ تا ۹۰.

شرکت مهندسین مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۷۸- گزارش حوضه کارون، طرح جامع آب کشور.

شیرانی، ک. و سیف، ع.، ۱۳۹۱- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون‌شهر)، فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۸۵، پاییز ۱۳۹۱، ص ۱۵۸-۱۴۹.

شیرانی، ک.، چاوشی، س. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۵- بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادنای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، (ویژه‌نامه زمین‌شناسی) ص ۲۳ تا ۳۸.

شیرانی، ک.، حاجی‌هاشمی‌جزی، م.ر.، نیک‌نژاد، س. ع. و رخشا، س.، ۱۳۹۱- پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) (مطالعه موردی: سراب حوضه کارون شمالی)، فصلنامه مرتع و آبخیزداری، سال شصت و پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۱، ص ۳۹۵- ۴۰۵.

شیرانی، ک.، ۱۳۸۳- ارزیابی مهم‌ترین روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور انتخاب روشی مناسب برای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم، وزارت جهاد کشاورزی، ۱۰۴ص.

شیرانی، ک.، غیومیان، ج. و مختاری، ا.، ۱۳۸۴- بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره در پهنه‌بندی خطر لغزش، نشریه علمی پژوهشی آب و آبخیزداری، شماره ۲، ص ۳۶-۴۸.

صفاری، ا. و مقیمی، ا.، ۱۳۸۸- ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال چهل و یکم، شماره ۶۷، ص ۵۳ تا ۷۳.

فاطمی‌عقدا، م.، ۱۳۸۲- ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم‌زمین، شماره ۴۷.

فتاحی‌اردکانی، م. ع.، ۱۳۷۹- بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز لتیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش عالی امام خمینی، ص ۶۰ تا ۷۵.

کهی‌میانجی، ی.، ۱۳۷۷- تحلیل چندمتغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۷۰ تا ۹۵.

محمودی، ف.، ۱۳۸۰- ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

نیک‌اندیش، ن.، ۱۳۷۸- بررسی عوامل هیدرواقلیم در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه کارونی میانی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، ص ۲۵ تا ۳۰.

References

Ayalew, L., 1999- The Effect of Seasonal Rainfall on Landslides in the Highlands of Ethiopia, Bull. Geol. Env., 58: 9-19.

Chowdhury, R. & Flentje, P., 2003- Role of Slope Reliability Analysis in Landslide Risk Management, Bull. Eng. Geol. Env. 62:41-46.

Chung, C. F., Fabbri, A. G. & Van Westen, C. J., 1995- Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, Geographic Information System In Assessing Natural Hazards. A., Carrara & F. Guzzeti, eds., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.107-133.

Ercanogla, M. & Gokceoglu, C., 2002- Assessment of Landslide Susceptibity for a Landslide Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, Environmental geoloy ,41:720-730.

Gee, M. D., 1992- Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability. Bell, Davi, H(Ed.), Proceedings 6th Internaional Symposium on Landslide, PP. 48-56.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P. & Carrara, A., 2000- Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, Enviromental management, vol. 25,No. 3, pp. 247-263.

Haeri, S. M. & Sameiee, A. H., 1995- Some Methods of Landslide Microzonation, 10 th European Conf. on Earthquake Engineering, Duma (ed.), Balkema, Rotteredam.

Ilwis Applications Guide,1997- Ilwis 2.1 for windows, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science(ITC), Ensched, Netherlands.

Jade, S. & Sarkar, S., 1993- Statistical models for Slope Instability classifications Engineering Geology, 36, PP. 91-98.

Lee, S. & Kyungduck, M., 2001- Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, Enviromented Geology, 40:1095-1113.

Van Westen, C. J., 1993- Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ), Volume I, II.

Van Westen, K., Soeters, R. & Rengers, N., 1993– Geographic Information Systems as Applied to Landslide Hazard Zonation Mapping Awareness & GIS In Europe vol 7 no 5 June 1993.

Investigation of Effective Parameters on Mass Movement by Using of Landslide Hazard Zonation Maps (Case Study: Northern Karoon Basin)

K. Shirani [1*], A. Seif [2] & A. Nasr [3]

[1]Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran.
[2]Assistant Professor, Geographic Sciences and Planning Faculty, Isfahan University, Isfahan, Iran.
[3]Master, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran.

Received: 2010 September 18 Accepted: 2011 may 16

Abstract

Regarding their nature and their variety, and hazards that landslides have for humans life and properties, landslides have always been the center of attention and study by scientist from different fields of study such as geology, engineering geology, geomorphologies. These phenomena have a complex mechanism and different factors and variables could be effective in their occurrence, the numerous studies have been done to recognize the effective factors, classification, zonation and modeling. Accordingly, it was tried to study the landslides in Kahredan basin in northern part of Semirom, Dena Mountain in Zagros zone suburban area in Isfahan province and provide a landslide hazard zonation map by using the statistical method and the hazard map which has the most accuracy and precision will be selected. So finally it was specified the order of effective parameters in landslides. According, by selecting following six parameters including to slope aspect, lithology, land use, rainfall and distance to drainage, it was provided landslide inventory map by using following four methods. Information value, linear regression, discriminate analysis and area density. The statistical method of information value was recognized the best method of landslide hazard zonation which is capable of using in planning and urban developments. The effective parameters in landslides according to their importance are including to lithology, distance to drainage, land use, slope, aspect and rainfall respectively.

Keywords: Landslide, Landslide Hazard Zonation, Kahredan Basin, Dena, Zagros

For Persian Version see pages 3 to 10

*Corresponding author: K. Shirani; E-mail: k_sh424@yahoo.com