



## اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از روش رگرسیون

### چندمتغیره‌ی خطی

### مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز وهرگان-غرب استان اصفهان

محمد شریفی پیچون<sup>۱\*</sup>، کوروش شیرانی<sup>۲</sup>، مائده شیرانی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران

۳- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

### چکیده

کشور ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های تکتونیکی و لرزه‌خیزی، تنوع اقلیمی و زمین‌شناسی شرایط طبیعی مستعدی را برای طیف وسیعی از زمین‌لغزش داراست. هدف این پژوهش بررسی رخداد زمین‌لغزش، اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر آن و پهنه‌بندی خطر آن در حوضه‌ی آبریز وهرگان واقع در پیش‌کوه‌های زاگرس است. منطقه‌ای که به شکل طبیعی و با داشتن لیتولوژی نامقاوم، خاک ضخیم، شیب و بارش نسبتاً زیاد از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش برخوردار بوده و دخالت‌های انسانی به عنوان عامل تحریک‌کننده نقش پررنگی در تشدید آن ایفا نموده است. ویژگی‌های مستعد طبیعی و دخالت نابجای انسانی سبب رخداد دست کم ۱۴۰ زمین‌لغزش جدید در منطقه‌ی مورد مطالعه شده است. برای انجام این تحقیق از روش رگرسیون چندمتغیره خطی استفاده گردید. بنابراین، نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های رخ داده به عنوان متغیر وابسته و دوازه عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، گسل، بارش، آبراهه، جاده‌های ارتباطی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، SPI و TWI به عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ایجاد راه‌های ارتباطی بر روی دامنه‌های پرشیب با خاک سست و ضخیم، با ضریب استاندارد ۰,۴۱۱ مهمترین عامل در ایجاد زمین‌لغزش بوده است. همچنین، عوامل طبیعی شامل لیتولوژی و بارش با ضریب تأثیر ۰,۳۶۲ و ۰,۲۹۹ و کاربری اراضی با ضریب ۰,۲۸۶ بیشترین نقش و عوامل پوشش گیاهی و شاخص TWI هر کدام با ضریب تأثیر ۰,۱۰۳ و ۰,۱۲۷ کمترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه ایفا کرده‌اند. نتایج نهایی حاصله از پهنه‌بندی حوضه بر اساس شاخص‌های به کار گرفته شده نشان داد که بخش عمده حوضه در محدوده‌ی خطر بسیار زیاد و زیاد رخداد زمین‌لغزش قرار دارد. بر اساس نتایج حاصله پیشنهاد می‌گردد که با توجه به حساسیت بسیار بالای بخش‌های زیادی از حوضه به زمین‌لغزش، همه فعالیت‌ها و کاربری‌های زمین متناسب با ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی و همچنین شیب دامنه در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی، وهرگان، اصفهان

#### ۱- مقدمه

زمین لغزش فرایند تغییر در حالت تنش-کشش یک توده زمین بر روی یک دامنه است که منجر به جدایی توده و حرکت زمین به پایین دست می شود (کازیو و پوستیو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷: ۲). اما ارتباط بین توده در حال لغزش و دامنه به شکل مداوم باقی می ماند. براین اساس، مکانیسم شکل گیری و توسعه ی یک زمین لغزش، توالی سیستمی تغییر در حالت تنش-کشش یک توده دامنه ای تحت تأثیر پارامترهای طبیعی و انسانی است (لی و مو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹: ۶۸). تخریب دامنه ها و حرکات آنها به سمت پایین دست یکی از مخاطرات طبیعی و ویرانگر است که سالانه تلفات جانی و خسارت های مادی زیادی به بار می آورد (کلاوژ و رابرت<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲: ۲). بر این اساس، رخداد زمین لغزش شدیدترین و جدی ترین عامل تخریب دامنه ها به شمار می رود و یکی از عوامل اصلی تخریب سکونت گاه ها و زیرساخت های انسانی در مناطق کوهستانی است (مونتلنو و سباتینو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴: ۲۴). افزایش سریع جمعیت در نیم قرن اخیر و گسترش مراکز سکونت گاهی به سمت نواحی کوهستانی پرتیب از یک طرف و دخالت های نابجای انسان در تخریب دامنه ها و تغییر شیب آنها از طرف دیگر سبب افزایش فراوانی زمین لغزش ها و به تبع آن افزایش میزان خسارت و تلفات این رخداد شده است. با این وجود، ارزیابی ناپایداری دامنه ها مانند بسیاری دیگر از موضوعات زمین شناسی محیطی، به دلیل تنوع و تعدد عوامل مؤثر در وقوع آن پیچیده است (سوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۶۹). عدم قطعیت و گنگ بودن مفاهیم مرتبط با پارامترهای دخیل در وقوع زمین لغزش مانند زمین شناسی، هیدرولوژی، لرزه خیزی، بارش، پوشش گیاهی و غیره بر این پیچیدگی افزوده است (فاطمی عقدا و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۴). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت های تکتونیکی و لرزه خیزی زیاد و همچنین شرایط متنوع اقلیمی و زمین شناسی شرایط طبیعی مناسبی را برای طیف وسیعی از لغزش داراست (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۶؛ قنبری و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). به همین دلیل سالانه خسارت های زیادی از طریق لغزش ها بر کشور تحمیل و تخریب مناطق سکونت گاهی، زیرساخت ها و تاسیسات انسانی و در برخی موارد تلفات جانی را سبب می شود. بنابراین، مطالعات زمین لغزش، شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر بر آن و مشخص نمودن مناطق پر خطر و آسیب پذیر در سطح جهان و همچنین در کشور ایران مورد توجه جدی واقع شده است. از جمله این مطالعات می توان به لی و همکاران، ۲۰۰۲؛ لی و چوی، ۲۰۰۴؛ یلچین، ۲۰۰۸؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۴؛ یمانی و شادفر، ۱۳۸۶؛ عظیم پور و همکاران، ۱۳۸۸؛ سوری و همکاران، ۱۳۹۰؛ شیرانی و سیف، ۱۳۹۱؛ کرمی، ۱۳۹۱، شیرانی، ۱۳۹۷ اشاره کرد. تحقیق در مورد زمین لغزش و مشخص نمودن مناطق با مقادیر متفاوت خطر اغلب به شکل کمی و بر اساس مدل های مختلف کمی انجام گرفته است؛ از جمله

1. Kazeev and Postoev  
 2. Li & Mo  
 3. Clauge and Roberts

4. Monteleno and Sabatino

روش AHP توسط بای و حاجی میررحیمی، ۱۳۸۷ و حاتمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱؛ روش آماری دو متغیره توسط نصرآزادانی و شیرانی، ۱۳۸۸، روش نیلسن توسط شریفی و دریاباری، ۱۳۸۴؛ روش رگرسیون چندمتغیره توسط جوادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ روش آنالیز توست مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ روش فاکتور اطمینان توسط بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸؛ روش منطق فازی توسط فرداد و همکاران، ۱۳۹۰ و روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی توسط راکعی و همکاران، ۱۳۸۶ و سوری و همکاران، ۱۳۹۰ اشاره کرد. روش رگرسیون چندمتغیره نیز توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است از جمله: دویت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ ناندی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ دشتی مرویلی، ۱۳۸۷؛ گرایبی، ۱۳۸۹؛ بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۹؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۱، کردی و همکاران، ۱۳۹۱، رسایی و همکاران، ۱۳۹۴، شیرانی و عرب‌عامری، ۱۳۹۴، و بابلی مؤخر و همکاران، ۱۳۹۷.

رگرسیون لجیستیک از روش‌های مؤثر در پهنه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت مناطق مختلف به زمین لغزش است که توسط محققین مختلفی از جمله دومان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه‌ی چک‌میس<sup>۴</sup> در استان بول ترکیه، وانگ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۱) در شهر میزونامی<sup>۶</sup> ژاپن، سان<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، در رودخانه‌ی جین‌شا<sup>۸</sup> در جنوب غرب چین و هدایت<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه هامبالانگ<sup>۱۰</sup> در اندونزی به کار گرفته شده است. همچنین، باید در نظر داشت که یکی از مهم‌ترین مسائل مرتبط با زمین‌لغزش‌ها و کنترل و مدیریت‌شان، شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد آنهاست. اگر چه عوامل مختلف و متعددی در شکل‌گیری زمین‌لغزش‌ها دخالت دارند، اما این عوامل در حوضه‌های مختلف آبریز به شکل متفاوتی عمل می‌کنند و در هر حوضه یک یا دو تا از عوامل نقش کلیدی و اساسی را در وقوع آنها بر عهده دارند که برخی طبیعی و برخی نیز حاصل دخالت‌های انسانی است. در برخی حوضه‌ها بارندگی نقش اصلی را در رخداد زمین‌لغزش ایفا می‌کند (روستایی و همکاران، ۱۰۱: ۱۳۹۴؛ تیموری و اسدی، ۱۳۹۸: ۱۵۵)، در برخی دیگر از دامنه‌ها لیتولوژی عامل اصلی اثرگذار بر ایجاد آن است (روستایی و همکاران، ۱۰۱: ۱۳۹۴؛ نجفی و روستایی (۱۳۹۹: ۸۰)، و در برخی مناطق دیگر جهت شیب دامنه، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر وقوع زمین لغزش است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹). عامل انسانی نیز در دهه‌های اخیر با تغییر در توپوگرافی، تغییرات کاربری اراضی و ایجاد زیرساخت بر روی دامنه‌ها سبب تشدید وقوع زمین‌لغزش شده است (جابوی‌داف<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۱۷). احداث جاده و راه‌های ارتباطی بر روی دامنه‌های پرشیب با خاک ضخیم، لیتولوژی

1. Dewitte  
2. Nandi  
3. Duman  
4. Cekmece  
5. Wang  
6. Mizunami

7. Sun  
8. Jinsha  
9. Hidayat  
10. Hambalang  
11. Jaboyedoff

نامقاوم و بارندگی زیاد از جمله دخالت‌های انسانی تشدیدکننده‌ی زمین‌لغزش در چند دهه‌ی اخیر بوده است (اسکیلودیمون<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ زارع، ۱۳۹۰ و محمدی و پورقاسمی، ۱۳۹۶). تغییرات کاربری زمین توسط انسان نیز از جمله عوامل مؤثر دیگر بر رخداد زمین‌لغزش در مناطق مختلف بوده که در پژوهش‌های جداگانه‌ای مورد اشاره قرار گرفته است (مویس‌برگر و آله‌ول<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸: ۵۰۹)، شعبانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵۷ و پورقاسمی و همکاران، ۱۰۹: ۱۳۹۳). هدف اصلی این پژوهش بررسی پتانسیل رخداد زمین‌لغزش و مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر آن در حوضه آبریز وهرگان است. به دلیل آنکه منطقه مورد مطالعه به دلیل لیتولوژی نامقاوم، شیب و بارندگی کافی به شکل طبیعی پتانسیل بالایی برای زمین‌لغزش دارد و از سوی دیگر فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر به عنوان عامل محرک این رخداد را افزایش داده است، لذا برای کاهش خطر و به تبع آن کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از آن ارزیابی و مطالعه این رخداد در منطقه ضروری است. از این رو، توجه به نتایج این پژوهش می‌تواند برای انجام فعالیت‌های انسانی و تعیین کاربری‌های برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی اهمیت بنیادی داشته باشد. بعلاوه، در این پژوهش از روش رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شده است که در آن همه فاکتورها و عوامل مهم و مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در منطقه ارزیابی شده و در نهایت اهمیت و اولویت هر یک از مولفه‌ها مشخص شده است. شناخت مؤلفه‌های مهم و اصلی گام اولیه و اساسی در کاهش خطر زمین‌لغزش است.

## ۲- مواد و روش

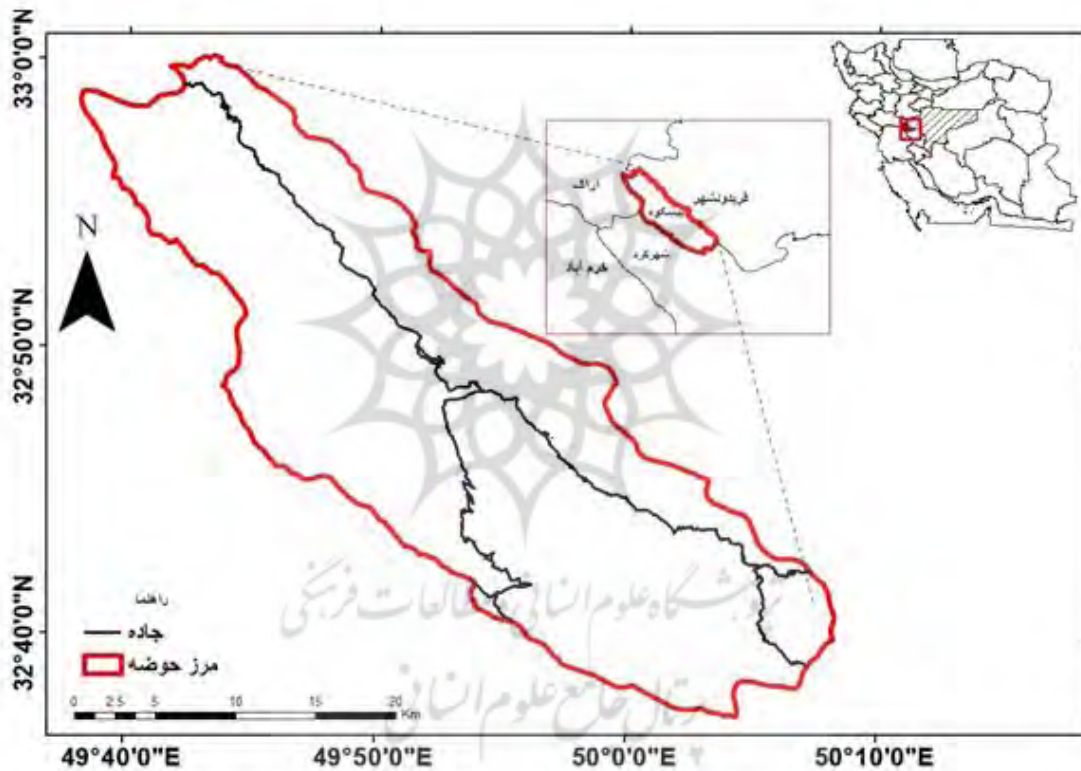
### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی

فریدونشهر غربی‌ترین شهرستان استان اصفهان است که در دل رشته کوه‌های زاگرس واقع شده و دارای پنج دهستان با اسامی: برف انبار، چشمه لنگان، عشایری قلعه سرخ، پیشکوه موگوئی و پشتکوه موگوئی است. همچنین دارای دو شهر فریدونشهر و برف انبار و در حدود ۸۵ روستا است. فریدونشهر، مرکز شهرستان می‌باشد و با قرار گرفتن در ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا بلندترین شهر کشور و در واقع بام ایران بشمار می‌آید. منطقه مورد مطالعه منطقه‌ی پیشکوه فریدونشهر است که در حد فاصله طول‌های جغرافیایی  $49^{\circ}36'$  تا  $50^{\circ}08'$  طول شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ}37'$  تا  $33^{\circ}00'$  عرض شمالی و در مرز استان‌های اصفهان، خوزستان و چهارمحال و بختیاری قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه آبریز وهرگان جزئی از زون ساختمانی سنندج سیرجان بوده که یکی از فعال‌ترین زون‌های ساختمانی ایران به شمار می‌رود و فازهای دگرگونی و ماگماتیسم مهم و شدیدی را تا به حال پشت سر گذاشته است. وجود سنگ‌های دگرگون شده و سست، سنگ‌های شیل، ماسه‌سنگ،

1. Skilodimon

2. Meusburger & Alewell

کنگلوما و بویژه توده‌های آهکی با میان لایه‌های ماری با داشتن گسل‌های فعال سبب شده که منطقه از نظر زمین‌لغزش پتانسیل بالایی داشته باشد. همچنین، حجم زیادی بارندگی در سال این پتانسیل را افزایش داده است به گونه‌ای که متوسط بارش منطقه بیش از ۷۰۰ میلی‌متر در سال بوده و ارتفاعات آن بارش بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر را نیز در سال تجربه می‌کنند.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه  
 Fig (1): Geographical location of the study area

## ۲-۲- داده‌ها و شاخص‌های مورد استفاده

برای تحلیل احتمال وقوع زمین‌لغزش بر حسب پارامترهای مؤثر در زمین‌لغزش، شناسایی دقیق مناطق لغزشی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برای تهیه‌ی این نقشه از عکس‌های هوایی سال ۱۳۷۲ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و تفسیر آنها بهره گرفته شد. بدین ترتیب، مناطق لغزشی و موقعیت آنها در نرم‌افزار گوگل ارث تعیین گردید. در ادامه، با بررسی‌های میدانی و با کمک اطلاعات و نقشه‌های موجود و استفاده از سامانه GPS، ۱۳۸ زمین‌لغزش رخ داده در حوضه‌ی آبریز وهرگان مشخص و با استفاده از نرم‌افزار GIS به شکل نقشه درآمد (شکل ۲). در ادامه،

با استفاده از مرور منابع و تجربیات گذشته (برای نمونه بابلی مؤخر و همکاران، ۱۳۹۷؛ دومان و همکاران، ۲۰۰۶، وانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین شناخت اجمالی و اولیه از منطقه مورد مطالعه، ۱۲ عامل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، طبقات ارتفاعی، خشکسالی SPI، شاخص TWI، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و پوشش گیاهی به عنوان عوامل اصلی و مؤثر در ایجاد زمین لغزش تشخیص داده شد.

#### ۲-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

برای بررسی و ارزیابی میزان دخالت عوامل مؤثر در زمین لغزش و احتمال وقوع آن در حوضه‌ی آبریز وهرگان، هر کدام از عوامل مذکور به شکل لایه‌های اطلاعاتی درآمدند. در ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نقشه‌ی رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه گردید و با استفاده از این نقشه، لایه‌ی اطلاعاتی طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب تهیه شد. با بهره‌گیری از نقشه‌ی توپوگرافی و نقشه‌ی راه‌ها، لایه‌ی اطلاعاتی فاصله از آبراهه و فاصله از جاده با استفاده از منوی Distance در محیط Arc GIS تهیه شد. نقشه‌ی لیتولوژی و نقشه‌ی فاصله از گسل بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه و در سیستم اطلاعات جغرافیای رقومی شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی بارندگی از آمار بارش متوسط منطقه و از رابطه‌ی رگرسیونی موجود بین ارتفاع و بارش استفاده شد و در GIS نقشه رستری مناطق هم‌باران ترسیم گردید. نقشه‌ی کاربری اراضی نیز از سازمان حفاظت خاک اصفهان تهیه و رقومی گردید.

#### ۲-۴- روش تحقیق

در این پژوهش از روش رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی استفاده شده است. این روش توسط محققین زیادی برای پهنه‌بندی زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است (بگورین، ۱۹۹۹، چانگ، ۱۹۹۵، وان وسترن و همکاران، ۱۹۹۷). با توجه به اینکه روش‌های آماری چندمتغیره، امکان استفاده همزمان تعدادی متغیر را فراهم می‌نماید، جهت ارزیابی خطر زمین لغزش که به طور ذاتی پدیده‌ای چندمتغیره است، حائز اهمیت می‌باشد (ایزدی، ۱۳۸۵). در واقع در روش رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی، متغیر وابسته‌ای را بررسی می‌کنیم که به صورت خطی، با چند متغیر کنترل شده ارتباط دارد (بهبودیان، ۱۳۸۸). در واقع در این مدل با در دست داشتن مقادیر  $X_1$  (متغیر مستقل)، مقادیر  $Y_1$  (متغیر وابسته) را می‌توان به صورت خطی برآورد کرد. مدل کلی تابع رگرسیون به شکل رابطه‌ی زیر (رابطه‌ی ۱) است:

$$Y_1 = B_1 + B_2 + \dots + B_j X_i \quad (1)$$

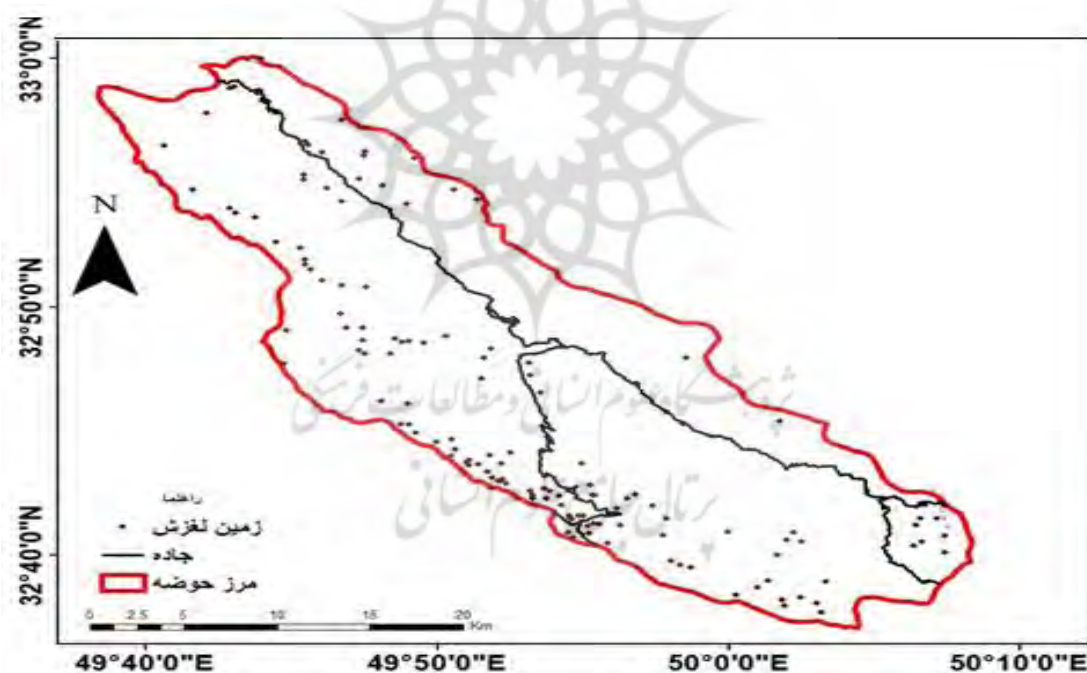
که در آن  $Y_1$  تخمین متغیر وابسته،  $B_1$ : ضریب ثابت یا عرض از مبدأ،  $B_2$ : ضریب متغیر،  $X_i$  متغیر مستقل است.

در این پژوهش نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش به‌عنوان متغیر وابسته و ۱۲ عامل (لایه اطلاعاتی) مؤثر بر زمین لغزش به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. بر این اساس، نقشه‌ی زمین لغزش به نقشه‌ی درصد تراکم سطحی و نقشه‌های کیفی به کمی (با توجه به تعداد طبقات) تبدیل شد. پس از جدا کردن واحدهای کاری و درصد زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در هر واحد کاری (متغیر وابسته)، درصد تشکیل‌دهنده‌ی زمین لغزش‌ها در هر یک از عوامل مؤثر نسبت به واحد کاری (متغیر مستقل) نیز تعیین گردید. این امر در محیط GIS و دستور Zonal Statistic انجام پذیرفت (مردخپور، ۱۳۸۹). بدین شکل مقدار متوسط لغزش در طبقات مختلف لایه‌ها مشخص گردید. بر اساس مقادیر درصد سطحی زمین لغزش در هر واحد کاری به‌عنوان متغیر وابسته و لایه‌های اطلاعاتی محاسبه شده به‌عنوان متغیر مستقل و ورود اطلاعات به نرم افزار SPSS 16.0 مدل رگرسیون چندمتغیره به دست آمد. بدین ترتیب، همه متغیرهای مستقل از طریق مسیر تحلیل رگرسیون و انتخاب روش پلکانی پس‌رونده وارد محیط اصلی رگرسیون شدند و اگر دارای شرایط لازم جهت باقیماندن در مدل (همبستگی معنی‌دار) نبودند، از مدل حذف می‌شدند (جوادی، ۱۳۹۱). میزان ضرایب نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت آنها در وقوع زمین لغزش است. علامت مثبت در فرمول به معنای رابطه مستقیم و علامت منفی نشانه‌ی رابطه‌ی معکوس است. بدین معنی با افزایش عامل دارای علامت مثبت، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش و افزایش عامل دارای علامت منفی، احتمال وقوع زمین لغزش کاهش می‌یابد. بدین روی، رابطه رگرسیون به دست آمده در مرحله‌ی قبلی برای محاسبه درصد وقوع زمین لغزش در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه و پهنه‌بندی آن در محیط ArcGIS اعمال و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر تهیه شد. برای ارزیابی دقت روش کار، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه‌ی پهنه‌بندی مقایسه گردید. اگر درصد سطح زمین لغزش در کلاس‌های خطر زیاد بیشتر باشد و روند توزیع درصد سطحی لغزش از کلاس‌های کم خطر به سمت کلاس‌های پر خطر افزایش یابد و دارای روند صعودی باشد؛ نشان‌دهنده‌ی مناسب و کارآمد بودن روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. اگر این روند نزولی یا نسبتاً یکسان باشد، حاکی از ضعف و ناکارآمدی مدل است (جوادی و همکاران، ۱۳۹۱).

### ۳- یافته‌ها و بحث

عوامل مختلفی در رخداد زمین لغزش دخالت دارند. ارزش و اولویت هر کدام از این عوامل و عناصر آنها بسته به موقعیت منطقه و هدف متفاوت می‌باشند. در این پژوهش از دوازده عامل مؤثر در رخداد زمین لغزش‌های حوضه وهرگان شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، طبقات ارتفاعی، خشکسالی SPI، شاخص TWI، فاصله از آبراهه،

فاصله از جاده، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب و پوشش گیاهی برای مشخص نمودن مناطق مستعد خطر زمین لغزش استفاده شده است. همچنین، برای ارزیابی دقیق نقش این عوامل در زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه در ابتدا نقشه پراکنش لغزش‌های حادث شده در آن ترسیم گردید. حوضه رودخانهی وهرگان دارای پتانسیل بالای زمین لغزش بوده و زمین لغزش‌های زیادی در آن رخ داده است. جهت به نقشه در آوردن زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه مورد بررسی، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰، سال ۱۳۷۲ منطقه تفسیر گردید و مناطق لغزشی و موقعیت آنها در نرم‌افزار google earth تعیین شد. سپس موقعیت دقیق تر زمین لغزش‌ها با بررسی میدانی و به کمک اطلاعات و نقشه‌های موجود بدست آمد. در نهایت ۱۳۸ زمین لغزش رخ داده در حوضه آبریز وهرگان به نقشه در آمد (شکل ۲).



شکل (۲): نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (2): Landslide distribution map in the studied area

### ۳-۱- نسبت پراکنش زمین لغزش‌ها به عوامل مؤثر

به منظور تحلیل پراکنش زمین لغزش‌ها نسبت به عوامل مؤثر و هریک از رده‌های این عوامل، ابتدا مساحت کل منطقه‌ی مورد مطالعه، مساحت کل پهنه‌های لغزش‌یافته و مساحت هر یک از کلاس‌ها برای تمامی عوامل مؤثر محاسبه گردید. سپس با تلاقی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها با همه عوامل مؤثر، مساحت پهنه‌های لغزش‌یافته



برای تمامی کلاس‌ها محاسبه گردید. لازم به ذکر است که تمام محاسبات فوق در محیط GIS و بر روی لایه‌های کلاس‌بندی شده عوامل مؤثر صورت گرفته است. در مرحله بعد درصد کلاس‌های هر عامل و درصد سطح لغزش یافته آنها به صورت زیر محاسبه گردید (روابط ۲ و ۳):

$$(۲) \quad ۱۰۰ * \text{مساحت کل منطقه} / \text{مساحت کلاس} = \text{درصد مساحت هر کلاس}$$

$$(۳) \quad ۱۰۰ * \text{مساحت کل لغزش‌ها} / \text{مساحت لغزش‌های کلاس} = \text{درصد لغزش‌ها در هر کلاس}$$

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به شیب: نقشه شیب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و DEM در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شد. برای طبقه‌بندی این نقشه‌ها (شیب و جهت شیب) بخصوص نقشه‌ی شیب، استاندارد مشخصی وجود ندارد و این کار با توجه به دید کارشناسی و وضعیت پستی و بلندی منطقه صورت می‌گیرد. برای این منطقه محدوده لغزش‌ها در محیط GIS با نقشه شیب تلاقی داده شد. سپس نمودار فراوانی شیب‌ها ترسیم گردید. این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی مربوط به شیب بیش از ۴۰ درصد می‌باشد که 4556,21 کیلومتر مربع از وسعت منطقه را به خود اختصاص داده است. سطح لغزش در این محدوده شیب 16200.90952 کیلومتر مربع می‌باشد. بنابراین با افزایش شیب درصد لغزش‌ها افزایش یافته است که شاید به دلیل پوشش سطحی سست و عاری از پوشش گیاهی باشد (شکل ۵).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به جهت شیب: نقشه جهت شیب منطقه نیز مانند نقشه‌ی شیب تهیه شد. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین وسعت شیب، در جهت W و به وسعت ۱۴۰۰۸/۲۸۹ کیلومتر مربع می‌باشد و کم‌ترین آن در جهت SE به وسعت ۵۲۵۱,۶۵۹۰۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد. بنابراین شیب‌هایی که در جهت W قرار دارند، دارای بیشترین میزان لغزش می‌باشند که وسعت ۵۰۷۶/۹۹۱۴۷ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است (شکل ۴).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به طبقات ارتفاعی: ارتفاع جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه‌ی زهکشی را کنترل و در میزان رطوبت خاک و شیب نقش اساسی بر عهده دارد. تغییرات ارتفاع در منطقه از ۱۵۵۰ تا ۷۲۷۱ متر در خط‌الراس‌ها متغیر است. بنابراین منطقه‌ی مورد مطالعه کوهستانی می‌باشد و بیشترین وسعت منطقه در طبقه ارتفاعی بین ۳۰۰۰-۳۵۰۰ قرار دارد. انطباق نقشه توزیع زمین‌لغزش‌ها و نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌ها در طبقه ارتفاعی ۳۰۰۰ متر تا ۳۵۰۰ متر قرار می‌گیرد (شکل ۴).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به واحدهای زمین‌شناسی: جنس زمین و ساختار متنوع آن سبب اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک می‌شود (آیالا و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۸). نوع سازند زمین‌شناسی

نقش زیادی را در افزایش خطر زمین لغزش دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۸۵۱). برخورد نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش و واحدهای زمین‌شناسی (شکل ۷) حساسیت سازندها را نسبت به وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد که با استفاده از بازدید میدانی و تعیین محدوده‌های آن با GPS و انتقال آن به تصاویر گوگل ارث و استخراج محدوده‌ی لغزشی از آن تعیین گردید.

پراکنش زمین لغزش نسبت به فاصله از گسل: نقشه‌ی گسل منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و DEM در محیط GIS تهیه و به ۴ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۶) و سپس نمودار فراوانی فاصله از گسل ترسیم گردید (شکل ۳). این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی مربوط به فاصله‌ی ۱۵۰۰-۳۰۰۰ متر می‌باشد که نسبت به کل لغزش‌ها ۶۱ درصد بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد.

پراکنش زمین لغزش نسبت به بارش: بارندگی یکی از عوامل بسیار مهم در ایجاد و یا تسریع زمین لغزش‌ها می‌باشد. نقش آب در گسیختگی شیب‌ها و وقوع آن‌ها و همچنین به صورت عامل کاهش دهنده مقاومت برشی سطوح می‌باشد. با توجه به اینکه با افزایش ارتفاع میزان بارندگی نیز افزایش می‌یابد، می‌توان یک رابطه‌ی خطی بین این دو برقرار نمود (Ayelew, I 1999). با توجه به نقشه بارندگی سالانه می‌توان بیان کرد که بیشترین مساحت مربوط به رده‌ی بارندگی سالیانه ۱۱۰۰-۱۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد که ۱۹۵۳۳,۶۸۰۴۲ کیلومتر مربع از منطقه را در بر گرفته است که بیشترین میزان لغزش مربوط به رده بارندگی ۱۱۰۰ تا ۱۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۸).

پراکنش زمین لغزش نسبت به فاصله از آبراهه: از تلاقی نقشه پراکنش لغزش‌ها و لایه‌ی کلاس‌های فاصله از آبراهه اینگونه استنباط می‌گردد که فاصله ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر بیشترین مساحت از منطقه‌ی مورد مطالعه ۲۰۹۸,۶۳۲۴۰۳ کیلومتر مربع می‌باشد که بیشترین لغزش هم در این طبقه که به مقدار ۵۷۹۲/۶۳۵۷۴ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۳).

پراکنش زمین لغزش نسبت به فاصله از جاده: راه‌های ارتباطی و جاده‌های انسان ساخت یکی از مهم‌ترین دخالت‌های انسان در بریدن دامنه‌ها و ناپایدار کردن آنهاست. جاده با تغییر در میزان شیب دامنه‌ها و زیربری آنها که با بارگذاری و باربرداری همراه است، سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود از تلاقی نقشه‌ی پراکنش لغزش‌ها و لایه کلاس‌های فاصله از جاده اینگونه استنباط می‌شود که در طبقه ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر میزان لغزش در این طبقه زیادت‌تر می‌باشد و با فواصل بیشتر از جاده‌ها میزان لغزش‌ها کاهش پیدا کرده است (شکل ۱۱) که به وسعت ۹۷۵۵/۸۳۸۳۷۱ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۳).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به خشکسالی (SPI): نقشه‌ی spi با استفاده از DEM در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شد. که با نقشه‌ی لغزش انطباق داده شد و نشان داده شد که در طبقه‌ی ۱/۸-۰/۱ بیشترین خشکسالی به وسعت ۲۱۴۸,۴۲۹۵۴۶ کیلومتر مربع در منطقه می‌باشد که بیشترین لغزش در این محدوده به وسعت ۷۳۵۰/۹۵۹۴۴۶ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۳).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به شاخص TWI: نقشه Twi با استفاده از DEM در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شد و با نقشه‌ی لغزش انطباق داده شد. نتایج نشان داد که بیشترین وسعت منطقه‌ی مربوط به رده‌ی ۱/۸-۳/۹ به وسعت ۲۱۹۰/۳۲۵۰۸۶ کیلومتر مربع می‌باشد. اما بیشترین لغزش در رده‌ی ۷/۵-۳/۹ به وسعت ۶۸۲۸/۳۷۵۵۵۷ کیلومتر مربع را در بر گرفته است (شکل ۳).

پراکنش زمین‌لغزش نسبت به کاربری اراضی: از تلاقی نقشه پراکنش لغزش‌ها و لایه کلاس‌های کاربری اراضی اینگونه استنباط می‌گردد (شکل ۱۳) که بیشترین مساحت را طبقه سنگی به وسعت ۳۵۳۹/۵۵۰۹۰۵ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است (شکل ۳).

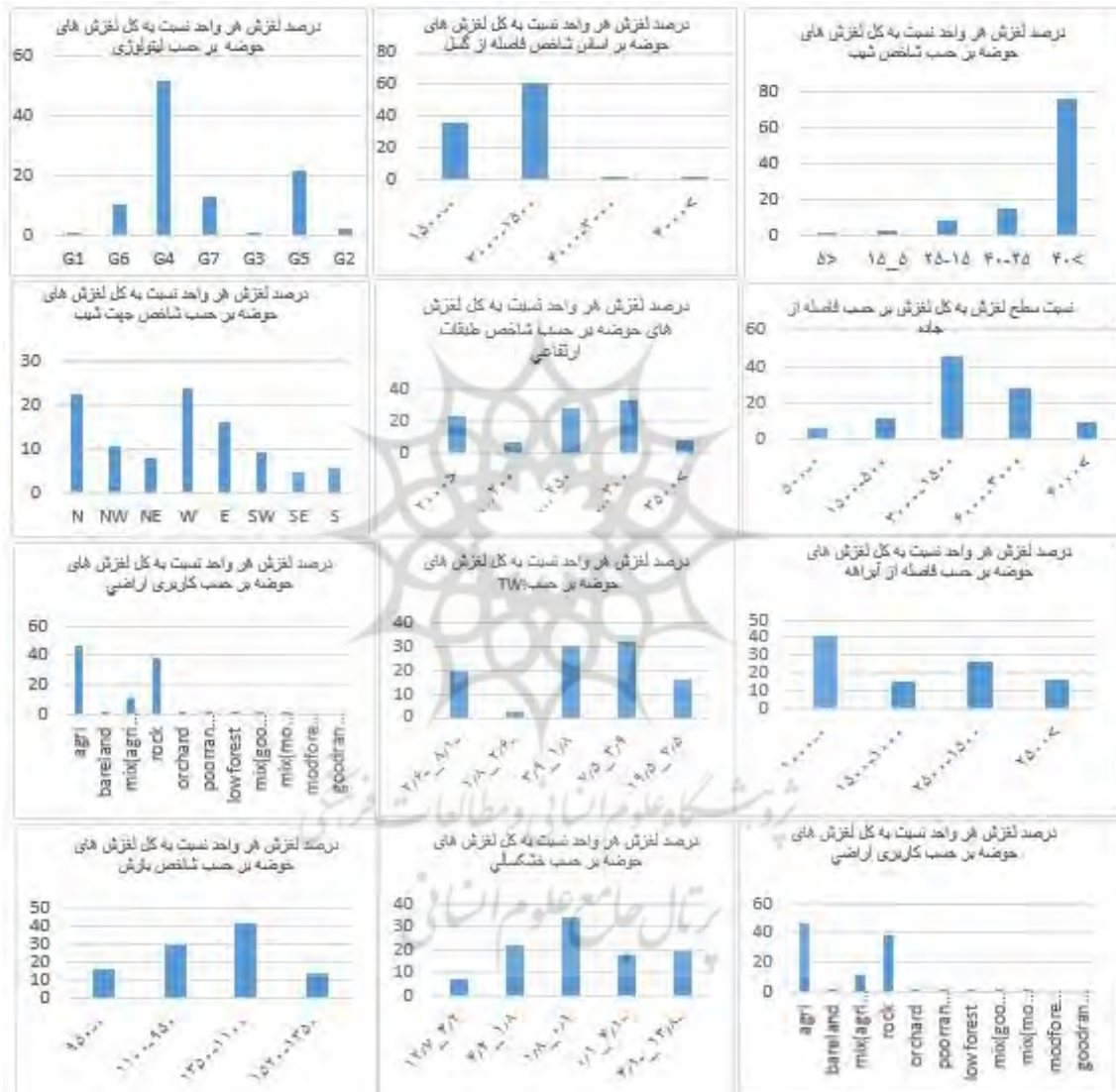
پراکنش زمین‌لغزش نسبت به پوشش گیاهی: پوشش گیاهی در بسیاری از موارد سبب تثبیت و پایداری دامنه‌ها می‌شود و از لغزش و پایین آمدن دامنه‌ها جلوگیری می‌نماید یا دست کم شدت و سرعت ناپایداری را کم و کند می‌کند. بر این اساس، هر چه پوشش گیاهی یک دامنه متراکم‌تر باشد، احتمال زمین‌لغزش در آن کمتر خواهد شد (شکل ۱۲).

### ۳-۲- آماده‌سازی داده‌ها و تحلیل رگرسیونی

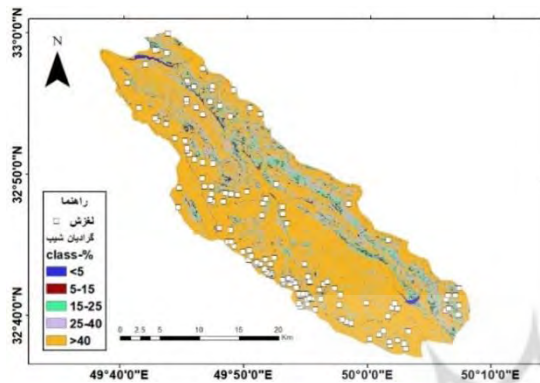
متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین‌لغزش در مواردی کمی (عناصر خطی، بارش، شیب، SPI، شاخص TWI، طبقات ارتفاعی) و در مواردی کیفی (جهت شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و پوشش گیاهی) می‌باشند. از آنجایی که روش‌های آماری از داده‌های کمی استفاده می‌کنند و روش رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی نیز یک روش آماری است؛ لذا لازم است داده‌های کیفی به داده‌های کمی تبدیل گردند (شیرانی، ۱۳۸۴). برای تبدیل داده‌ها از روش داده‌های پیوسته استفاده شده است. بدین منظور قبلاً تمامی داده‌ها (عوامل مؤثر) را به رده‌هایی تقسیم نموده و به هر رده با استفاده از حروف الفبای لاتین یک کد اختصاص داده شد (جدول ۴-۱۳) و بر مبنای این دسته‌بندی لایه‌های اطلاعاتی طبقه‌بندی و بخش‌های مؤثر و کم‌اثر لایه‌ها مشخص شدند (جدول ۱).

جدول (۱): کلاس بندی عوامل موثر رخداد زمین لغزش و کدهای اعمال شده برای آنها  
Table (1): Classification of effective factors of landslide and codes applied for them

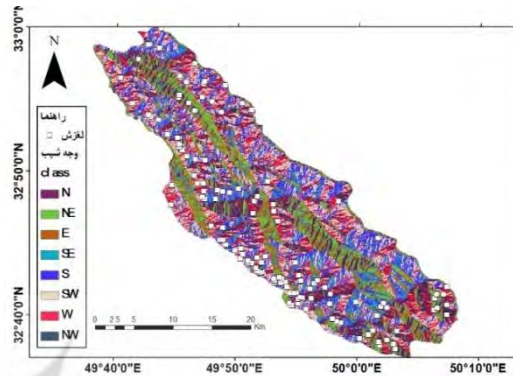
عامل	کلاس	کد	عامل	کلاس	کد
بارش (میلی متر)	0-950	RAN1	فاصله از گسل (متر)	0-1500	FLT1
	950-1100	RAN2		1500-3000	FLT2
	1100-1350	RAN3		3000-4000	FLT3
	1350-1520	RAN4		>4000	FLT4
شیب (درصد)	<5	SLP1	فاصله از جاده (متر)	0-500	ROD1
	5-15	SLP2		500-1500	ROD2
	15-25	SLP3		1500-3000	ROD3
	25-40	SLP4		3000-6000	ROD4
	>40	SLP5		>6000	ROD5
سنگ شناسی	G1	LIT1	طبقات ارتفاعی (متر)	<2000	HPS1
	G2	LIT2		2000-2500	HPS2
	G3	LIT3		2500-3000	HPS3
	G4	LIT4		3000-3500	HPS4
	G5	LIT5		>3500	HPS5
	G6	LIT6			
	G7	LIT7			
شاخص (SPI)	-13.8_ -4.1	SPI1	فاصله از آبراهه (متر)	0-1000	DRN1
	-4.1_ 0.1	SPI2		1000-1500	DRN2
	0.1_ 1.8	SPI3		1500-2500	DRN3
	1.8_ 4.2	SPI4		>2500	DRN4
	4.2_ 12.7	SPI5			
جهت شیب		ASP1	کاربری اراضی	agri	LUS1
		ASP2		bareland	LUS2
	N	ASP3		mix(agri_X)	LUS3
	NW	ASP4		rock	LUS4
	NE	ASP5		orchard	LUS5
	W	ASP6		poorange	LUS6
	E	ASP7		lowforest	LUS7
	SW	ASP8		mix(goodrang_x)	LUS8
	SE			mix(۱۵·idran_x)	LUS9
	S			mix(۱۵·idran_ge_x)	LUS10
				modforest	LUS11
		goodrange			
پوشش گیاهی	Non range	RNG1	شاخص TWI	-8.1_ -2.6	TW11
	Astragalus-ferula	RNG2		-2.6_ 1.8	TW12
	Astragalus-eryngium	RNG3		1.8_ 3.9	TW13
	Astragalus-daphnae	RNG4		3.9_ 7.5	TW14
	Astragalus-circium	RNG5		7.5_ 19.5	TW15
	Astragalus	RNG6			
	-agropyrum	RNG7			
Anabasis aphylla-astragalus					



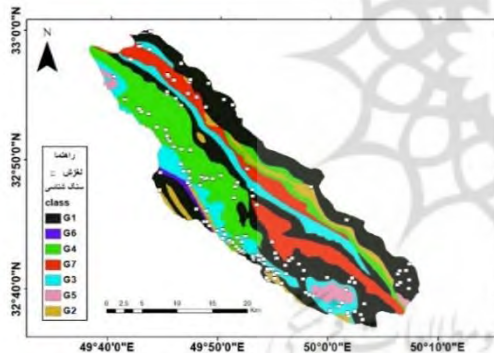
شکل (۳): نمایش درصد سطوح لغزشی واحدهای مختلف هر یک از پارامترهای مؤثر بر زمین‌لغزش با استفاده از نمودار  
 Fig (3): Presentation the percentage of slip surfaces of different units of each of the parameters affecting the landslide using graph



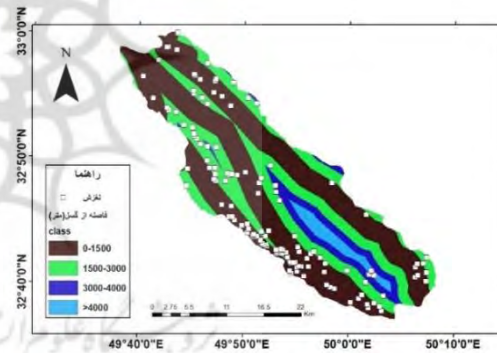
شکل (۵): نقشه‌ی نسبت شیب با زمین لغزش  
Fig (5): Map of the ratio of slopes to landslides



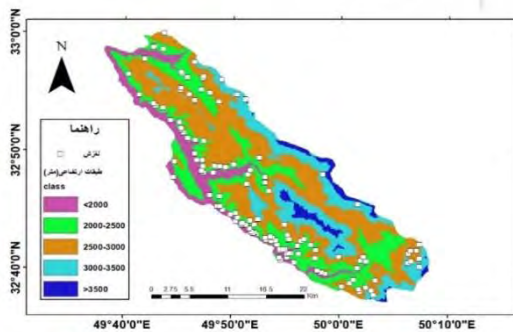
شکل (۴): نقشه‌ی نسبت جهت شیب با زمین لغزش  
Fig (4): Map of the ratio of aspects to landslides



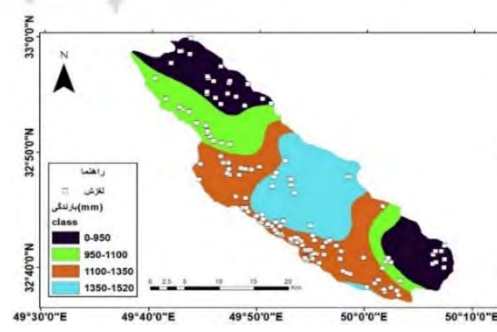
شکل (۷): نقشه‌ی نسبت لیتولوژی با زمین لغزش  
Fig (7): Map of the ratio of lithology to landslides



شکل (۶): نقشه‌ی نسبت فاصله‌ی گسل‌ها با زمین لغزش  
Fig (6): Map of the ratio of faults distances to landslides

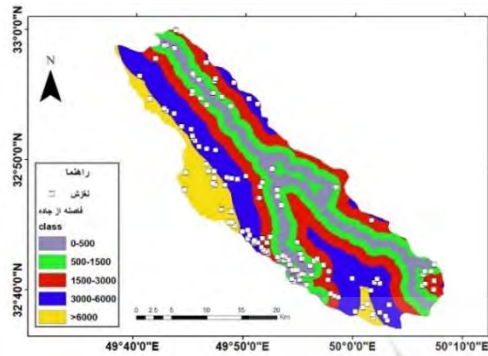


شکل (۹): نقشه‌ی طبقات ارتفاعی به نسبت زمین لغزش  
Fig (9): Map of the ratio of elevation classes to landslides

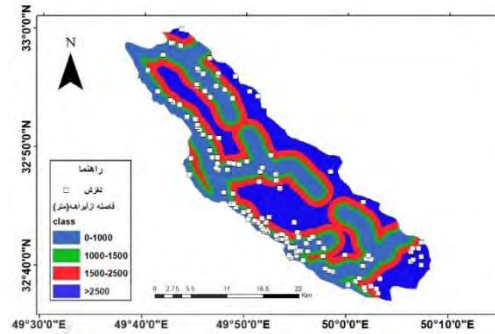


شکل (۸): نقشه‌ی نسبت بارش‌ها به زمین لغزش  
Fig (8): Map of the ratio of precipitation to landslides

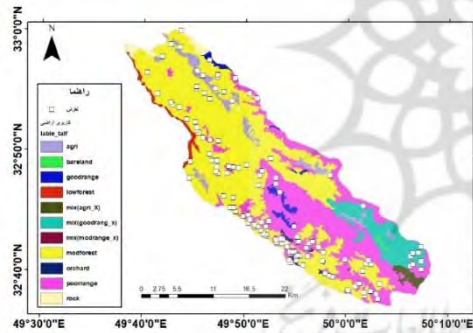




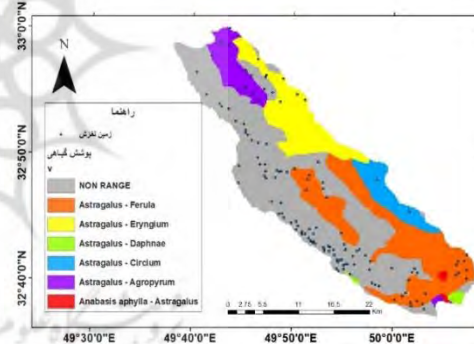
شکل (۱۱): نقشه‌ی نسبت فاصله از جاده به زمین‌لغزش  
 Fig (11): Map of the ratio of distance from roads to landslides



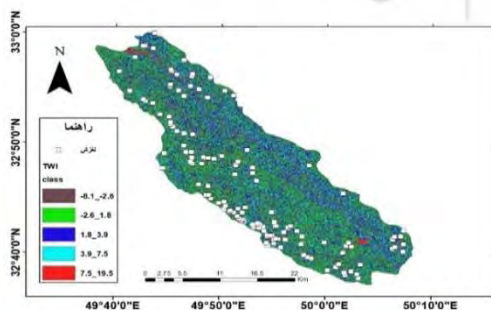
شکل (۱۰): نقشه‌ی فاصله از آبراهه‌ها به نسبت زمین‌لغزش  
 Fig (10): Map of the ratio of distance from rivers to landslides



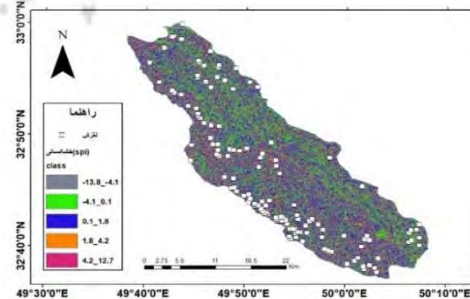
شکل (۱۳): نقشه‌ی نسبت کاربری اراضی به زمین‌لغزش  
 Fig (13): Map of the ratio of land uses to landslides



شکل (۱۲): نقشه‌ی نسبت پوشش گیاهی به زمین‌لغزش  
 Fig (12): Map of the ratio of vegetation to landslides



شکل (۱۵): نقشه‌ی نسبت TWI به زمین‌لغزش  
 Fig (15): Map of the ratio of TWI to landslides



شکل (۱۴): نقشه‌ی نسبت SPI به زمین‌لغزش  
 Fig (14): Map of the ratio of SPI to landslides

در مرحله‌ی بعد جدول اطلاعاتی به محیط Excel منتقل گردید و مساحت هر کلاس، سطح لغزش یافته آن و نسبت لغزش یافتگی هر کلاس بدست آمد. نسبت لغزش یافتگی به دست آمده (داده‌های پیوسته) با استفاده از رابطه زیر برای تمامی واحدها و کلاس‌های موجود اعمال گردید. در واقع از نسبت لغزش یافتگی کلاس‌ها به عنوان وزن اولیه یا نسبی (داده‌های پیوسته) آنها برای انجام معادله‌ی رگرسیونی استفاده می‌شود. در مرحله‌س بعد با استفاده از نرم‌افزار SPSS وزن هر واحد از عوامل مؤثر را با استفاده از معادله رگرسیون ۲۷۶ متغیر وارد شدند. نتایج نشان داد که کاربری اراضی، فاصله از جاده و طبقات ارتفاعی به ترتیب بیشترین تأثیر را در رخداد زمین لغزش منطقه‌ی مورد نظر داشته‌اند.

جدول (۲): محاسبات رگرسیون ارتباط زمین لغزش‌ها و عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش

Table (2): Regression calculations of the relationship between landslides and factors affecting them

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-4.566E-15	0.000		0.000	1.000					
	lithoCF	1.000	0.000	0.362	179702433.538	0.000	0.511	1.000	0.336	0.863	1.159
	landuseCF	1.000	0.000	0.286	146870147.646	0.000	0.085	1.000	0.275	0.924	1.082
	hypsoCF	1.000	0.000	0.195	100032304.026	0.000	0.231	1.000	0.187	0.926	1.080
	vilCF	1.000	0.000	0.278	127504899.385	0.000	0.276	1.000	0.239	0.739	1.354
	SPICF	1.000	0.000	0.218	67236083.765	0.000	0.499	1.000	0.126	0.332	3.009
	TWICF	1.000	0.000	0.127	39864653.217	0.000	0.358	1.000	0.075	0.346	2.887
	slopeCF	1.000	0.000	0.129	62776066.266	0.000	0.232	1.000	0.117	0.833	1.200
	roadCF	1.000	0.000	0.411	188972141.833	0.000	0.422	1.000	0.354	0.741	1.349
	riverCF	1.000	0.000	0.261	109473602.739	0.000	0.307	1.000	0.205	0.618	1.618
	rainCF	1.000	0.000	0.299	136960407.431	0.000	0.423	1.000	0.256	0.733	1.363
	soilCF	1.000	0.000	0.119	387636534.124	0.000	0.354	1.000	0.064	0.365	2.842
	VegCF	1.000	0.000	0.103	35254622.125	0.000	0.326	1.000	0.059	0.338	2.823
	faultCF	1.000	0.000	0.244	119761117.122	0.000	0.157	1.000	0.224	0.843	1.187
	aspectCF	1.000	0.000	0.279	145842998.348	0.000	0.238	1.000	0.273	0.954	1.049

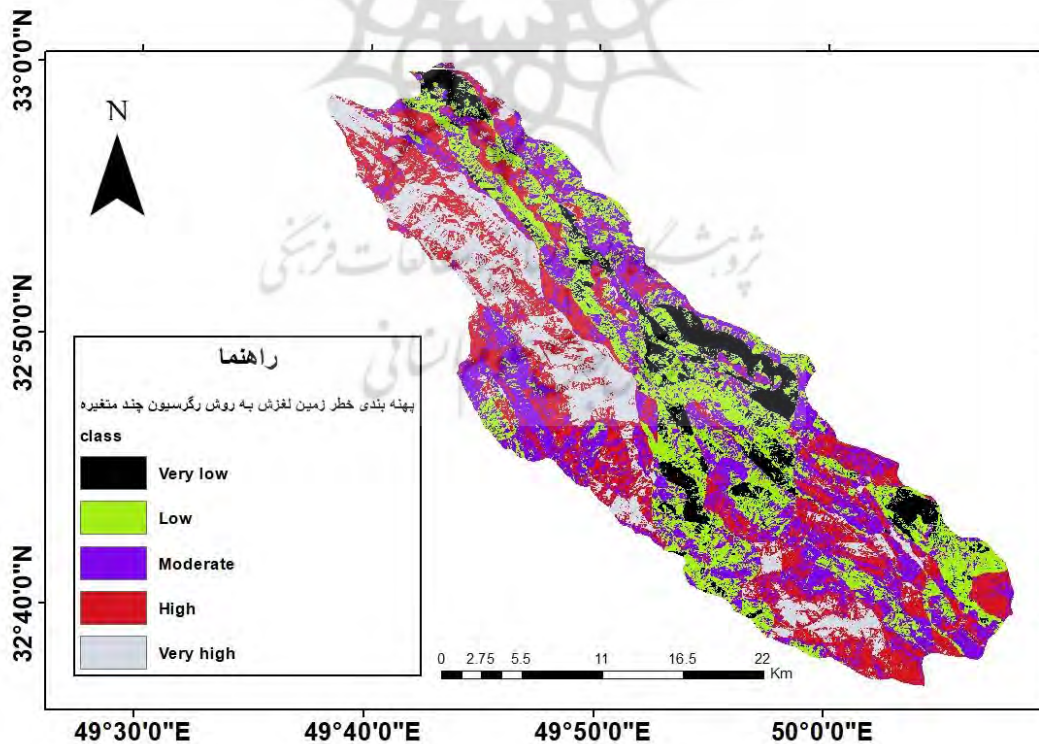
بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که مؤثرترین عوامل در زمین لغزش‌های حوزه آبریز وهرگان بر اساس روش رگرسیون چندمتغیره، به ترتیب عوامل فاصله از جاده، لیتولوژی، بارش، کاربری اراضی، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، خشکسالی SPI، طبقات ارتفاعی، شیب و شاخص TWI با ضریب همبستگی ۰/۸۵۱ رخداد زمین لغزش داشته‌اند. مقدار ضریب R آنها نیز ۰/۸۵۱ می‌باشد که قابل قبول است. بنابراین، بر اساس نتایج حاصله از همبستگی بین زمین لغزش‌های رخ داده و مولفه‌های اصلی اثرگذار بر آن مشخص گردید که منطقه با داشتن لیتولوژی سست و خاک ضخیم و ریزدانه و همچنین بارش نسبتاً زیاد، بویژه در تر سالی‌ها که متوسط



آن به بالای ۱۰۰۰ میلیمتر می‌رسد، و ارتفاع و شیب زیاد به شکل طبیعی زمینه قوی برای رخداد زمین‌لغزش دارد و هر گونه عامل محرکی، چه انسانی و چه طبیعی، می‌تواند بزرگی و فراوانی و میزان خطر را افزایش دهد. در چند دهه اخیر، عامل انسانی با تغییر کاربری و مهمتر از آن ایجاد راه‌های ارتباطی متعدد و احداث جاده بر روی دامنه‌های پرشیب از مهم‌ترین عامل محرک بوده که سبب ایجاد زمین‌لغزش‌های متعدد شده است.

### ۳-۳- تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر

پس از اعمال معادله‌ی رگرسیونی و محاسبه میزان حساسیت به رخداد زمین‌لغزش، مقادیر به دست آمده در رده‌های لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در زمین‌لغزش در محیط سیستم اطلاعات جغرافیای اعمال گردید و با تلفیق آنها، نقشه نهایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش تهیه گردید. بدین ترتیب، منطقه به پنج گستره با حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نسبت به رخداد زمین‌لغزش تقسیم و نقشه‌ی نهایی رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون خطی تهیه گردید (شکل ۱۶).



شکل (۱۶): نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون خطی  
Fig (16): Landslide hazard zonation map using linear regression method

### ۳-۴- روش‌های ارزیابی دقت مدل پهنه‌بندی

جهت بررسی و تجزیه و تحلیل میزان دقت و صحت مدل پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش از روابط مختلفی استفاده می‌شود. برای ارزیابی دقت و صحت مدل‌های پهنه‌بندی تهیه شده در این پژوهش از روابط شاخص زمین‌لغزش، دقت مدل (P) و صحت مدل (QS) به شرح زیر استفاده شده است:

#### ۳-۴-۱- شاخص زمین‌لغزش

شاخص زمین‌لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها رابطه‌ی ۴ بیانگر این تعریف می‌باشد (واستن، ۱۹۹۸).

$$li = \left( \frac{Si}{Ai} \right) / \left( f \sum n (Si/Ai) \right) * 100 \quad (4)$$

I = شاخص خطر رخداد زمین‌لغزش در هر پهنه به درصد، Si مساحت لغزش در هر پهنه، Ai مساحت هر پهنه‌ی خطر و L تعداد پهنه‌ها

دقت روش (P): عبارت است از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا به مساحت آن پهنه‌ها (شیرانی، ۱۳۸۳: ۹۵) رابطه‌ی زیر (رابطه‌ی ۵) بیانگر این تعریف است:

$$P = KS/S \quad (5)$$

که در آن P، دقت روش در پهنه‌های متوسط به بالا، KS مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر متوسط به بالا، S مساحت پهنه‌های خطر مربوطه

صحت روش (QS): براساس نسبت تراکمی طبق روابط زیر (روابط ۶ و ۷) بدست می‌آید (شیرانی، ۱۳۸۴: ۱۰):

$$DR = (\% \text{مساحت} / \text{درصد زمین لغزش ها}) \quad (6)$$

$$Q = \sum (DR - 1) 2 * Area(\%) \quad (7)$$

درصد زمین‌لغزش‌ها عبارت است از نسبت مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر رده خطر نسبت به مساحت زمین‌لغزش‌ها در منطقه.

#### ۳-۵- ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر بر اساس شاخص‌های فوق

پس از برخورد نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها با مدل پیش‌بینی خطر تهیه شده به روش رگرسیون چندمتغیره اطلاعات جدول زیر (جدول ۳) حاصل شد. بر اساس نتایج حاصله از نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در حوضه‌ی آبریز وهرگان مشاهده می‌شود که منطقه‌ی مورد مطالعه یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق ایران از نظر خطر لغزش زمین است به گونه‌ای که بیش از ۵۰ درصد منطقه در محدوده‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. حساسیت بسیار زیاد این منطقه در برابر حرکات توده‌ای زمین به دلیل ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و بارش زیاد ضرورت بازنگری در فعالیت‌ها و اقدامات انسانی را در رابطه با کاربری زمین و هر گونه دخالت در محیط را نشان می‌دهد.

جدول (۳): ارزیابی میزان صحت و دقت نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش رگرسیون چندمتغیره  
Table (3): Assessing of accuracy of the landslide zonation map drawn by linear multivariate regression method

روش پهنه‌بندی	کلاس خطر	مساحت (ha)	سطح لغزش در کلاس (ha)	نسبت مساحت	نسبت تراکم (Dr)	مجموع کیفیت (Qs)	دقت (P)
	خیلی کم	۶۲۱۵	۵۱	۲/۱۳	۰/۲۴		
	کم	۱۶۲۶۴	۳۱۳	۱۳/۰۸	۰/۵۷		
چندمتغیره	متوسط	۱۸۵۴۲	۶۶۶	۲۷/۸۶	۱/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۵
	زیاد	۱۸۰۴۵	۸۰۹	۳۳/۸۳	۱/۳۲		
	خیلی زیاد	۱۱۵۰۶	۵۵۳	۲۳/۱۰	۱/۴۲		
مجموع		۷۰۵۷۰/۹۸	۲۳۹۱/۹۳				

#### ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های حاصله از پژوهش حاضر می‌توان بیان داشت که منطقه به دلیل داشتن لیتولوژی نامقاوم و تناوب لایه‌های رسوبی نفوذپذیر و نفوذناپذیر، شیب و همچنین بارش زیاد استعداد بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارد. با این حال به نظر می‌رسد که عوامل ماشه‌ای و محرک اعم از طبیعی (فعالیت گسل و ایجاد زمین‌لرزه) و انسانی (از قبیل تغییر کاربری و تغییر هندسه دامنه‌ها) از عوامل اصلی رخداد زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند. استمرار در فعالیت‌ها و دخالت‌های نادرست و نابجای انسانی در حال حاضر مهم‌ترین عامل زمین‌لغزش در حوضه آبریز وهرگان است. بر این اساس، بیشترین رخداد زمین‌لغزش‌های جدید منطبق بر نزدیکی به جاده‌ها و راه‌های ارتباطی هستند. به سخن دیگر، می‌توان گفت زیربری دامنه‌ها توسط انسان بر فراوانی و بزرگی زمین‌لغزش‌ها افزوده است. بعد از راه‌های ارتباطی، با ضریب استاندارد ۰/۴۱۱، عامل لیتولوژی با ضریب استاندارد ۰/۳۶۲ و سطح معنی‌داری صفر به عنوان عامل طبیعی مهم‌ترین نقش را در شکل‌گیری و رخداد زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی آبریز وهرگان بازی می‌کنند. بررسی و تحلیل نقشه زمین‌شناسی نشان داد که منطقه در داخل زون ساختمانی سنندج-سیرجان قرار گرفته که ویژگی بارز آن دگرگونی سنگ‌های آن است. با این وجود، سطح زیاد آبرفت‌های کواترنر و در درجه بعد مارن‌ها و شیل‌ها در دامنه‌های نسبتاً پرسیب زمینه بسیار مساعد و مطلوبی را برای وقوع زمین‌لغزش بوجود آورده است. همچنین بارش و تغییرات کاربری اراضی با

ضریب استاندارد ۰/۲۹۹ و ۰/۲۸۶ و سطح معنی‌داری صفر از عوامل مهم و مؤثر دیگر در بوجود آوردن زمین لغزش در این منطقه هستند. بدین ترتیب با ترسیم نقشه نهایی مشخص گردید که بیش از ۵۰ درصد وسعت حوضه در محدوده‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. بر این اساس، در همه‌ی فعالیت‌های انسانی، بویژه در امر برنامه‌ریزی و مدیریت محیط باید ویژگی‌های محیطی، بویژه لیتولوژی مورد توجه قرار بگیرد.



#### ۵- منابع

- Azimpour, A. R., Sadough, Hasan, Dalal oghli, A., Sarvati, M. R., (2009). Evaluation of AHP Model Results in Landslide Risk Zoning (Case Study of Aharchay Watershed), *Geographical space*, 26, Vol.71-87. [In Persian].
- Aylaew, L., (1999). The Effect of Seasonal Rainfall on Landslide in the Highlands of Ethiopia, *Bull. Geol. Env*, 58:9-19.
- Babolimoakher, H., Taghian, A., Shirani, K., (2018). Assessment of Landslide Susceptibility Zoning Map Using Confidence Factor-Logistic Regression Hybrid Method By Means of Geomorphometric Indices, *Quantitative geomorphological researches*, Vol .7 (3), 91-116. [In Persian].
- Bay, N., Hajimirrahimi, S. M., (2008). Landslide risk zoning using AHP method, Geomatic conferences. [In Persian] [https://www.civilica.com/Paper-GEO87-GEO87\\_078](https://www.civilica.com/Paper-GEO87-GEO87_078)
- Beheshti Rad, M., Feyznia, S., Selajgeh, A., Ahmadi, H., (2009). Evaluation of the efficiency of landslide risk (CF) zoning model: A case study of Moallem Kalayeh watershed, *Physical geography researches*, Vol. 5, 2-19. [In Persian].
- Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M.K., Gupta, N.K (2010). Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network, *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 12: 340-350.
- Clague, J.J., Roberts, N., (2012). Landslide hazard and risk. In: Clague, J.J., Stead, D. (Eds.), *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling*. Cambridge University Press, London, 1-9.
- Dashti, M. M., (2008). Landslide risk zoning using logistic regression statistical method in Gamasiab catchment, M.A. thesis, Tarbiat Modares University, 73 p. [In Persian].
- Dewitte, O., C. Chung., Y. Cornet., M. Daoudi., and A. Demoulin., (2010). Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: a likelihood ratio-based approach in W Belgium. *Geomorphology*, 122: 153-166.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., & Sonmez, H. (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51(2), 241-256.
- Fardad, M., AlShaikh, A. A., Hakimpour, F., Vafaiynejad, A. R., (2011). Landslide Sensitivity Hazard Zoning with Fuzzy Logic and Neural Network Neural Network, GIS Case Study of Mal Khalifa Area, *15th conference of the Iranian Geological Society*, Tehran. [In Persian].
- Hidayat, S., Pachri, H., & Alimuddin, I. (2019). Analysis of Landslide Susceptibility Zone using Frequency Ratio and Logistic Regression Method in Hambalang, Citeureup District, Bogor Regency, West Java Province. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 280, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

- Fatemi Aghda M., Ghiomian J., Eshgheli Farahani A., (2006). Investigation Landslide hazard using Fuzzy logic (Case study: Roudbar area), *J. science Tehran University*, 31(1) 43-64.
- Ghanbari, A., Karami, F., Saleki, M. A., (2017). Assessing the susceptibility of possible landslides in the city of Tabriz, Environmental hazards, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards 1396*, No. 1, 1-16. [In Persian].
- Geraee, P., (2010), Landslide Susceptibility Map Preparation Using Multiple Regression Method (Case Study: Ilam Dam Basin), *Watershed management research*, Vol. 1, 1-16. [In Persian]
- Hatami Fard, R., Mousavi, H., Alimoradi, M., (2012). Landslide risk zoning using AHP model and GIS technique in Khorramabad city, *Geography and environmental planning*, Vol. 23, 43-60. [In Persian].
- Kazeev, A., Postoev, G., (2017). Landslide investigations in Russia and the former USSR. *Natural Hazards*, 1-21, DOI: 10.1007/s11069-016-2688-z
- Khaledi, S., Darafshi, K., Mehrjoonejad, A., Gharechahi, S., (2012). Evaluation of effective factors in landslide event and its zoning using logistic regression model in GIS environment (Case study: Taleghan watershed), *Geography and environmental hazards*, Vol. 1, 65-82. [In Persian]
- Kordi, A., Dashtimarvili, M., Motamedvaziri, B. (2013), Landslide Hazard Zoning Using Multivariate Linear Regression (case Study: Kohsar watershed), *Quarterly Journal of Environmental Erosion Researches*, No. 8, pp: 49-61. [In Persian].
- Jaboyedoff, M., Michoud, C., Derron, M. H., Voumard, J., Leibundgut, G., Sudmeier-Rieux, K., & Leroi, E. (2018). Human-induced landslides: Toward the analysis of anthropogenic changes of the slope environment. *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 217-232.
- Javadi, M.R., Tehranipour, h., Gholami, S. A., Fatahi Ardakani, M. A., (2011). Comparing Methods of Mora and Varson and Multivariate Regression in Zoning Landslide Hazard of Kan Watershed, Vol. 5, 92-105. [In Persian].
- Lanni C, Borga M, Rigon R, Tarolli P., (2012). Modelling shallow landslide susceptibility by means of a subsurface flow path connectivity index and estimates of soil depth spatial distribution. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11): 3959-3971.
- Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damreiromal area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models, *Journal of Environmental Geology*, 50, 847-855
- Lee, S., choi, J., Min. K., (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model, *Environ.Geol*, 43: 120-131.
- Lee, S., Choi, J., (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-ofevidence model, *Intle.J. Geograph. Inform. Sci.* 18(8):789-814.

- Li, Y., Mo, P., (2019). A unified landslide classification system for loess slopes: a critical review, *Geomorphology*, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.020>.
- Mandy, L.G., Andrew, W.M., Richard, A., and Stephana, G.C., (2001). Assessing Landslide Potential Using GIS, Soil Wetness Modeling and Topographic Attribute, Payette River, Idaho, *Geomorphology*. 37: 149- 165.
- Meusburger, K., & Alewell, C. (2008). Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 509-520.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H., R., (2017). Prioritization of landslide-conditioning factors and its landslide susceptibility mapping using random forest new algorithm (case study: a part of golestan province), *Journal of watershed management research*, Vol. 8, No. 15, 151-170. [In Persian].
- Moore ID, Grayson RB. (1991). Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. *Water Resources Research*, 27(6): 1177-1191.
- Monteleno, S., Sabatino, S., (2014). Hydrogeological hazards and weather events: Triggering and evolution of shallow landslides, *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 2, No. 2, 2014, 23-29.
- Moghimi, E., Bagheri seyedshokeri, S., Safarrad, T., (2012). Zoning of Landslide Hazard Using Entropy Model, (Case study: Nesar Anticline at North West Zagros), *Physical geography research quarterly*, Vol. 79, 77-90. [In Persian]
- Mohamadnia, M., Amirahmadi, A., Akbari, E., Bahrami, S., (2016). Landslide risk zoning in Jagharq and Darrud basins (new proposed Torqabeh-Darrud route), *Geographical space*, Vol. 55, 77-90. [In Persian].
- Mohammdi, M., Mostafazadeh, R., Goli jirandeh. A., (2013). Landslide hazard zoning using bayesian theory. *Jwss - Isfahan University of technology* 62, 109-123. [In Persian].
- Moore ID, Grayson RB. 1991. Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. *Water Resources Research*, 27(6): 1177-1191.
- Najafi, E., A., Roostaei, S., (2020). Prioritization of affecting factors on the landslide occurrence using the logistic regression model (Case study: Nazlochai basin), *Hydrogeomorphology*, Vol.6, No.23, pp. 59-81. [In Persian].
- Nasrazadani, A., Shirani, K., (2009). Evaluation and comparison of bivariate statistical zoning methods using GIS (Case Study of Upper Dez Watershed), *Geomatic Conference*. [In Persian] [https://www.civilica.com/Paper-GEO88-GEO88\\_018](https://www.civilica.com/Paper-GEO88-GEO88_018).
- Pourghasemi. H. R., Moradi, H. R., Mohammdi, M., Mostafazadeh, R., Goli jirandeh. A., (2013). Landslide hazard zoning using bayesian theory. *Jwss - Isfahan University of technology*, 62, 109-123. [In Persian].

- Rakei, B., Khamechian, M., Abdolmaleki, P., Giahchi, P., (2008). Application of artificial neural network system in landslide risk zoning, Case study: Sefidar Gale area in Semnan province, *Journal of Science*, Vol, 33, 57-64. [In Persian].
- Rasai, A., Khosravi, K., Habibnejad Roshan, M., Heidari, A., Mashayekhyan, A., (2015). Lnadslide Hazard Zonation using Multivariate Regression in GIS Environment (Case Study: Aghmashhad Watershed, Mazandaran), *Journal of Watershed Management Research* Vol. 6, No. 12, 205-215. [In Persian].
- Roostaei, S., Mokhtari, D., Hosseini, Z., Etmani Hagviran, M., (2017). The Study of Land Slide Occurance Potential in Mimeh River Ccachment in Ilam Proviencie Based on Analysis Network Process (ANP), *Hydrogeomorphology*, Vol. 1, Issue 4, 101-123. [In Persian].
- Roostaei, S., Mokhtari, D., Asharafi, F. Z., (2020). Landslide hazard zonation in Taleghan watershed using Shannon entropy index, *Geography and Planning*, Vol. 24 (71), 125-150. [In Persian].
- Shadfar, S., Ghodosi, J., Khalkhali, S.A., Kelarestaghi, A., (2008). Assesment and evaluation bivariate statistical and LNRF models in landslide hazard zonation case study: Gennatrodobar catchment, *Pajouhesh & Sazandegi*, No: 78, 56-64. [In Persian].
- Shabani, E., Javadi, M. R., Maryam Zare, K. E. M., (2014). Landslide Hazard Zonation using Information Value and Analytical Hierarchy Process (AHP) Methods (A Case Study: Shalmanrood Watershed), *Journal of Watershed Management Research*, Vol. 5, No. 10, Pp. 157-169. [In Persian].
- Sharifi, R., Dariabari, S. J., (2005). Nelson method and its optimization in landslide hazard zoning, *Geographical researches*, Vol. 76, 78-89. [In Persian].
- Shirani, K., Seif, A., (2013). Landslide Hazard Zonation by Using Statistical Methods (Pishkuh Region in Fereydonshahr Province), *Geosciences*, Vol. 85, 149-158. [In Persian].
- Shirani, K., Arabameri, A. R., (2015). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study: Dez-e-Oulia Basin), *Journal of Water and Soil Science*, Vol. 19 (72), 321-334. . [In Persian].
- Shirani, K., (2018). On the Efficiency of Geomorphometric Parameters in Increasing the Accuracy of the Landslide Zoning Maps (Case Study: Dezolia Basin, Isfahan Province), *Geography and environmental planning*, Vol. 29 (3), 110-130.
- Skilodimou, H. D., Bathrellos, G. D., Koskeridou, E., Soukis, K., & Rozos, D., (2018). Physical and anthropogenic factors related to landslide activity in the Northern Peloponnese, Greece. *Land*, 7(3), 85.
- Shroder, J.F., Cverckova, L., Mulhern, K.L., (2014). Slope-failure analysis and classification: *Review of a century of effort. Physical Geography* 26, 216-247.



- Souri, S., Lashkaripour, G. R., Ghafouri, M., (2011). Landslide risk zoning using artificial neural network (Case study: National Basin of Nojian), *Journal of Engineering Geology*, Vol. 2, 1268-1289. [In Persian].
- Sun, X., Chen, J., Bao, Y., Han, X., Zhan, J., & Peng, W. (2018). Landslide susceptibility mapping using logistic regression analysis along the Jinsha River and its tributaries close to Derong and Deqin County, southwestern China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 438.
- Teimouri, M., Asadi Nalivan, O., (2020). Susceptibility Zoning and Prioritization of the Factors Affecting Landslide Using MaxEnt, Geographic Information System and Remote Sensing Models (Case study: Lorestan Province), *Hydrogeomorphology*, Vol. 6, No. 21, pp. 155-179. [In Persian].
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J. and Soeters, R. (1997). Predication of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation, *Geologisches Rundschau*, 86, 404-414.
- Wang, L., Sawada, K., & Moriguchi, S. (2011). Landslide susceptibility mapping by using logistic regression model with neighborhood analysis: A case study in Mizunami City. *Int J Geomate*, 1, 99-104.
- Yamani, M., Shadfar, S. (2008). Landslide Zoning in Jolesan Basin with Using of LNRF Model, *Geographical researches*, Vol. 62, 11-23. [In Persian].
- Yamani, M., Shirzadi, H., Bakhishi, K., (2011). Road Geomorphology and Landslides Case study: New Ways of Sanandaj – Marivan, *Geographical planning of space quarterly journal*, Vol. 1, Issue 1, 103-121. [In Persian].
- Zare, M., (2010). Land slide hazard zoning using some methods (A Case study: Vaz Watershed), M.Sc. Thesis, *Watershed Management*, Tehran University, 120 pp. [In Persian].