پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گوگرد، شهرستان خوی

محمدمهدی حسین‌زاده [۱*]، مصطفی امینی [۲]، بابک میرباقری [۳]

۱-استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳-هیئت علمی مرکز سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۹

چکیده

وقوع زمین لغزش‌های متعدد و گسترش روزافزون آن‌ها در حوضه آبخیز گوگرد از شهرستان خوی و ظهور مخرب آن‌ها در روستای گوگرد و تهدید اهالی آن، نیازمند انجام مطالعه برای اقدامات برنامه‌ریزی است. اهداف عمده این تحقیق، شناسایی حساسیت منطقه مورد مطالعه در وقوع زمین‌لغزش و تعیین عوامل موثر کنترل کننده رخداد زمین‌لغزش است. در این میان، روش رگرسیون لجستیک به عنوان یک روش آماری چندمتغیره با استفاده از متغیرهای مستقل، مانند عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی و انسانی و متغیر وابسته (زمین‌لغزش‌های موجود آموزشی) و لایه ژئوتکنیک و عملیات میدانی مدل مناسبی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در این مدل، احتمال رخداد زمین‌لغزش با توجه به عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش و پهنه‌های زمین‌لغزش‌های موجود تخمین زده می‌شوند. نتایج نشان داد که فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از رودخانه به ترتیب با ضرایب بتای ۵۷/۹۵۹-، ۲۰/۵۹۶- و ۱۵/۴۰۴- دارای بیش‌ترین تأثیر در وقوع زمین-لغزش‌ها بوده و مناطق با حساسیت زیاد در مرکز حوضه متمرکز شده‌اند. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی برای اعتبارسنجی با زمین‌لغزش‌های آزمایشی و نقشه ژئوتکنیک مقایسه شد و نتایج، اعتبار مدل رگرسیون لجستیک را تأیید کرد.

واژه های کلیدی: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، رگرسیون لجستیک، حوضه گوگرد.

*- نویسنده مسئول: ۲۹۹۰۲۶۰۲ Email: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

مقدمه

ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل زمین نقش موثری دارند و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد می‌تواند به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود (عقدا و همکاران، ۱۳۸۲). در شکل ریاضی آن، حساسیت زمین‌لغزش از احتمال وقوع فضایی شکست شیب با توجه به مجموعه‌ای از شرایط زمینی- محیطی شناخته می‌شود (گازتی و همکاران، ۲۰۰۶). شناسایی عوامل مؤثر، اساس بسیاری از روش‌های پایداری و حساسیت است (لانگ، ۲۰۰۸). ارزیابی زمین‌لغزش به یک موضوع مهم برای مقامات مسئول در امر آمایش سرزمین منطقه‌ای و حفاظت از محیط زیست تبدیل شده است. در نتیجه، تحقیقات فزاینده‌ای در مورد این موضوع که در ارتباط با ایجاد نقشه‌های حساسیت یا خطر که تهدیدهای حال حاضر یا آینده ناشی از شیب-های ناپایدار را توصیف می‌کنند، انجام شده است (نوهار و توهارست، ۲۰۰۷). زمین‌لغزش از جمله مخاطراتی است که در سطح کشور ایران سالانه موجب خسارات فراوانی می‌شود و براساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور سهم خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است (خسروزاده، ۱۳۸۷).

روستای گوگرد (در معرض خطر زمین‌لغزش)، از توابع دهستان زری در بخش قطور شهرستان خوی استان آذربایجان غربی می‌باشد که در حوضه آبخیز گوگرد قرار دارد. حوضه آبخیز گوگرد در زون لرزه زمین‌ساخت ارومیه - تبریز واقع شده (پورکرمانی و اسدی، ۱۳۷۴) و با توجه به حساسیت زمین‌شناسی، رخداد پدیده زمین-لغزش در این منطقه بالا است و نیز این منطقه براساس گزارش کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین، پژوهشکده سوانح با تحلیل عاملی اقلیمی در زیرناحیه نیمه‌خشک سرد با ارزش اطلاعاتی ۰/۱۶ و با تعداد ۷۱۴ زمین‌لغزش می‌باشد (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵) که نشان دهنده تراکم زیاد زمین‌لغزش در این منطقه است. بنابر گزارش بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و بازدیدهای میدانی که توسط نگارنده از منطقه مورد مطالعه صورت گرفت، این روستا در معرض خطر زمین-لغزش قرار دارد و اهالی روستای گوگرد از این بلای طبیعی ایمن نیستند و سالانه موجب خسارات مالی فراوان می‌شود و با توجه به ناپایداری‌های شدید در منطقه، بازسازی در مکان اولیه روستا نمی‌تواند صورت بگیرد و باید روستای مذکور به مکانی بهینه انتقال یابد. با توجه به موارد فوق ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه احساس می‌شود.

دومان و همکاران (۲۰۰۶) با موضوعی تحت عنوان "کاربرد رگرسیون لجستیک برای پهنه-بندی حساسیت زمین‌لغزش" به مطالعه زمین-لغزش در منطقه سکمسه ترکیه پرداختند و با استفاده از این روش توانستند ۳۷ متغیر (وابسته و مستقل) را برای ارزیابی زمین‌لغزش به کار گیرند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای سنگ-شناسی، شیب و شاخص قدرت جریان بیش‌ترین نقش را دارند. در مطالعه‌ای که توسط ازدمیر و آلچورال (۲۰۱۳) در جنوب غرب ترکیه انجام گرفته است، با استفاده از سه روش رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و وزن شواهد و با به کارگیری ۱۸ عامل، به پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش در این منطقه اقدام کرده‌اند و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که قابلیت پیش‌بینی روش-های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک، و وزن شواهد در این منطقه در زیر منحنی به ترتیب

۰/۹۵۲، ۰/۹۷۶ و ۰/۹۳۷ است و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین نتایج نسبت فرکانس با روش های وزن شواهد و رگرسیون لجستیک به ترتیب ۰/۷۷۱ و ۰/۷۲۷ است. در تحقیقی که توسط متولی و همکاران (۱۳۸۸) در منطقه واز استان مازندران صورت گرفته از روش آماری رگرسیون لجستیک که به بررسی روابط بین وجود و عدم وجود زمین لغزش (متغیر وابسته) و عوامل مستقل مانند لیتولوژی، شیب و غیره در پهنه-بندی زمین‌لغزش می‌پردازد، استفاده کرده‌اند. در این تحقیق، لیتولوژی، زاویه شیب، جهت دامنه، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از جاده و گسل به عنوان متغیرهای مستقل قرار گرفته‌اند و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که لیتولوژی، فاصله از جاده و شیب، نقش مهمی در وقوع و توزیع زمین-لغزش‌ها دارند. در تحقیق دیگر که توسط بهشتی-راد و همکاران (۱۳۸۹) در باغ‌دشت قزوین انجام شده است از روش رگرسیون لجستیک برای پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند. در این تحقیق ابتدا زمین‌لغزش‌های موجود شناسایی و نقشه پراکنش آن‌ها به عنوان متغیرهای وابسته و لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، شیب، کاربری زمین، جهت شیب، گسل، فاصله از راه و فاصله از رودخانه به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بین اعداد و رده-های خطر این مدل با مساحت زمین‌لغزش‌های موجود همبستگی وجود داشته و ارتباط معنی-داری در سطح یک درصد برقرار است و عوامل لیتولوژی، شیب، کاربری زمین، جهت شیب، گسل، فاصله از راه و فاصله از رودخانه به عنوان مؤثرترین متغیرها در رخداد زمین‌لغزش شناخته شده‌اند.

مواد و روش ها

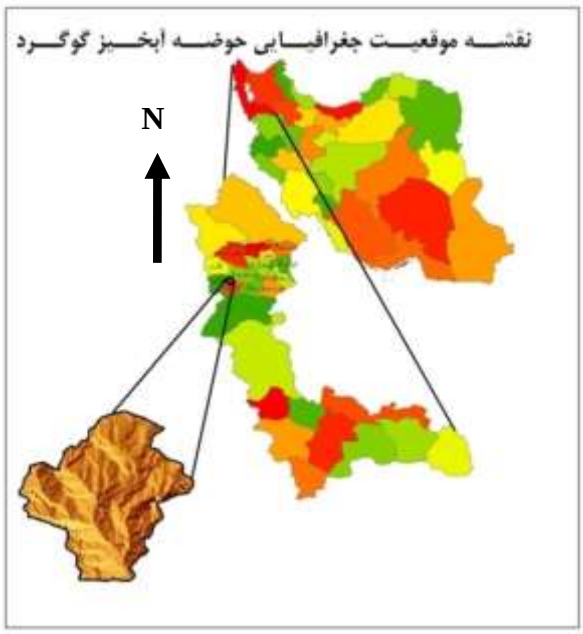
استان آذربایجان غربی بین طول‌های جغرافیایی ´ ۲۳ °۴۷ ـ ´ ۲ ° ۴۴ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۴۷ ° ۳۹ ـ ´ ۵۸ ° ۳۵ شمالی قرار دارد. این استان از شمال با کشور آذربایجان، از شرق با آذربایجان شرقی و دریاچه ارومیه، و از غرب با کشورهای ترکیه و عراق و از جنوب با استان کردستان هم مرز می‌باشد. مساحت استان ۳۷۴۶۳ کیلومترمربع بوده و مرکز آن شهرستان ارومیه بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۳ متر می‌باشد. حوضه آبخیز گوگرد از نظر سیاسی در داخل محدوده آذربایجان غربی بوده و در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه ۱۵ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ۴۴ درجه ۳۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۴۴ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی با مساحت ۴۱ کیلومترمربع در داخل بخش قطور از شهرستان خوی می‌باشد (شکل ۱).

فاصله این حوضه تا نقطه مرزی با ترکیه ۱۵ کیلومتر می‌باشد. با توجه به طول دورهٔ آماری ۱۹۸۶ لغایت ۱۹۹۶ متوسط درجه حرارت گرم-ترین ماه ۳۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۱۴/۶ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط سالانه ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه آبخیز گوگرد ابتدا با استفاده از دستگاه GPS به صورت پلیگونی برداشت و به محیط کامپیوتری انتقال داده شدند. لایه زمین‌لغزش‌های موجود شامل دو قسمت بود:

۱-زمین‌لغزش‌های آموزشی برای آموزش مدل رگرسیون لجستیک جهت پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش.

۲-زمین‌لغزش‌های آزمایشی جهت اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک و میزان صحت نقشه بدست آمده.

در حالت کلی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش نیاز به دو گروه عوامل مستقل و وابسته بود. عوامل وابسته شامل زمین‌لغزش‌های آموزشی بودند و عوامل مستقل شامل توپوگرافی (شیب، جهت شیب، ارتفاع، پروفیل انحنا، شاخص قدرت جریان و فاصله از رودخانه)، زمین‌شناسی (لیتولوژی، گسل و چشمه‌ها)، کاربری ارضی (فاصله از آبادی، فاصله از جاده، کاربری‌ها) که به ترتیب از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ ارتفاعی رقومی، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شدند.



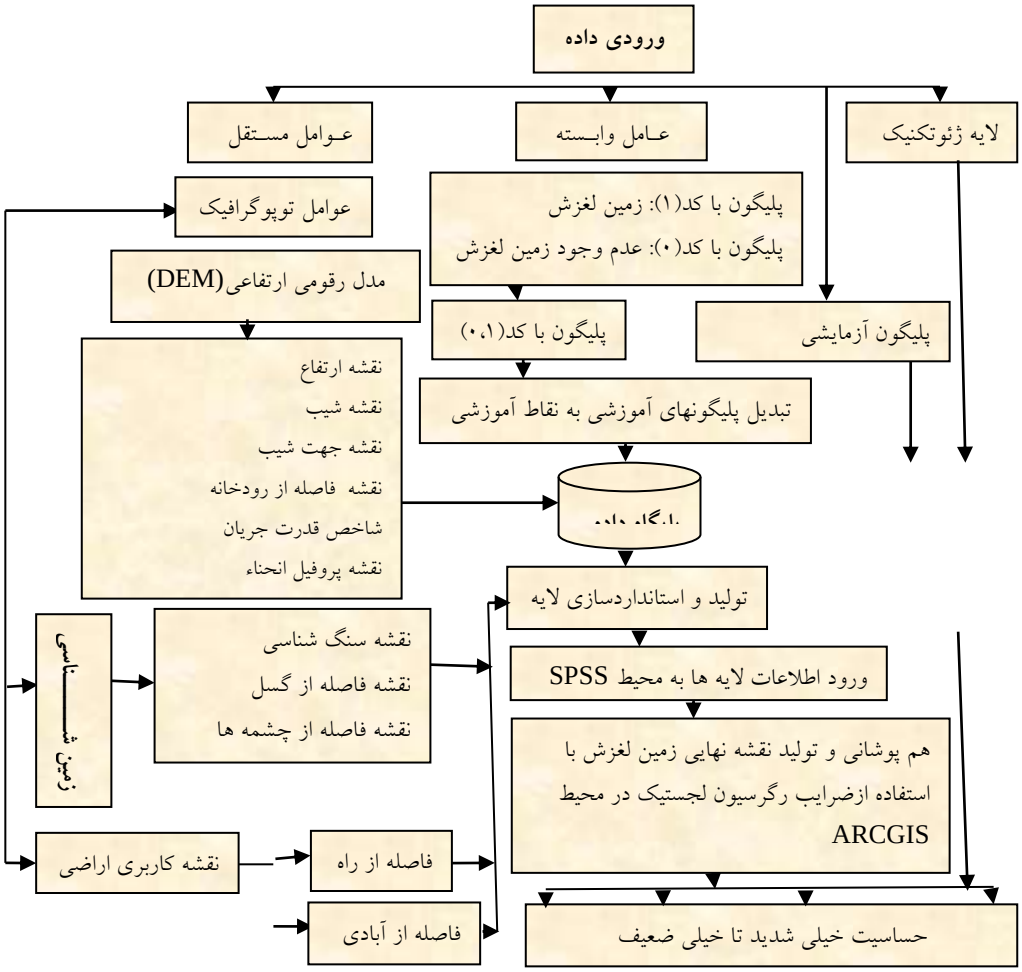
شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گوگرد

لازم به ذکر است که لایه‌های کاربری ارضی، آبادی، جاده و چشمه‌ها در روند عملیات میدانی با استفاده از دستگاه GPS برداشت و به روز شدند تا امکان نمایش جزییات روی نقشه میسر باشد و لایه شبکه آب با توجه به دائمی، فصلی و خشک بودن مورد بررسی قرار گرفت و شاخه‌هایی که دارای آب بودند وارد تحلیل شدند و برای اطلاع از ویژگی رودها از مردم بومی در روند عملیات میدانی کمک گرفته شد. همه این لایه‌ها بعد از تهیه، رقومی‌سازی و به روزسازی به محیط ARCGIS برای تشکیل پایگاه داده منتقل شدند. لایه آموزشی زمین‌لغزش‌های موجود با کد (۱) و بقیه حوضه که دارای زمین‌لغزش نبودند با کد (۰) برای ورود به روند تحلیل از حالت سطحی به نقطه‌ای تبدیل گردیدند، سپس تمامی این نقاط با لایه‌های دخیل در زمین‌لغزش انطباق داده شده و به محیط SPSS منتقل شدند. به این ترتیب ضرایب بتای عوامل موثر در زمین‌لغزش بدست آمد. در نهایت برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کلیه لایه‌های استفاده شده در این تحلیل، با استفاده از رابطه (۱) استاندارد شده و در محاسبه-گر رستر در ضرایب بتای متناظر خود ضرب و باهم جمع جبری شدند. برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از روش رگرسیون لجستیک (رابطه ۲)

استفاده شد. در این نوع مدل، متغیر وابسته بیانگر دو حالت یا دو وضعیت است، این حالت‌ها می‌تواند به صورت بلی و خیر، و یا وجود یا عدم وجود حالتی یا کیفیتی باشد که به صورت صفر و یک نشان داده می‌شوند. با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک پیش‌بینی‌های احتمال متغیر وابسته در دامنه‌ای از صفر تا یک قرار می‌گیرد (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹) و در نهایت نقشه پهنه‌بندی بدست آمده از روش رگرسیون لجستیک با لایه ژئوتکنیک و زمین‌لغزش‌های آزمایشی مقایسه شد تا اعتبار مدل مورد آزمایش قرار گیرد. روند این پژوهش در حالت نظری از شکل ۲ پیروی می‌کند.

رابطه ۱)
$$\frac{X-\mathrm{Min}(x)}{\mathrm{Max(x)}-\mathrm{Min(x)}}$$

رابطه ۲)
$$P\frac{1}{i2}، \ldots، im = \frac{e^{\mathrm{logit}(p\frac{1}{i2}، \ldots، \mathrm{im})}}{1+e^{\mathrm{logit}(p\frac{1}{i2}، \ldots، \mathrm{im})}}$$

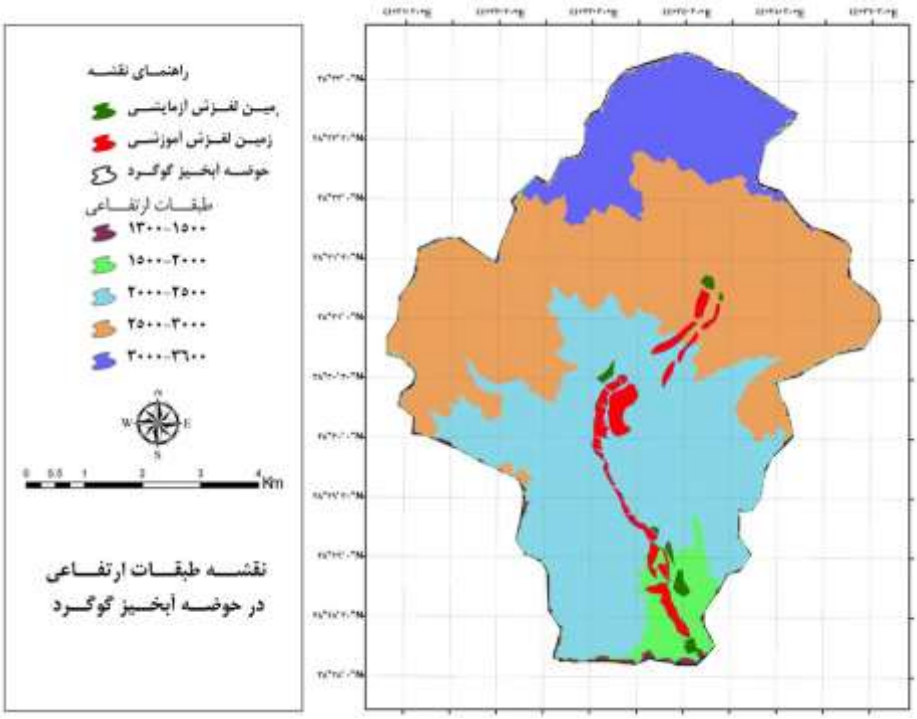


شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش

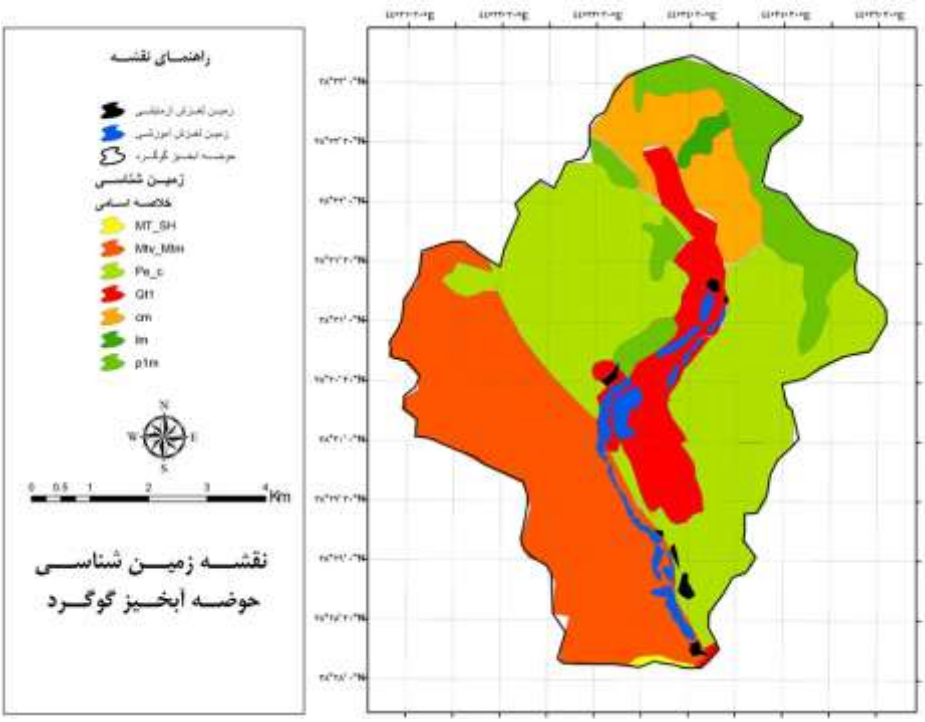
نتایج

برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش، لایه‌های موثر در زمین‌لغزش که در محیط GIS تهیه و با نقاط ۰ و ۱ انطباق داده شدند در شکل های ۳ تا ۱۲ نشان داده شده است. در این شکل لایه‌های عوامل موثر در زمین‌لغزش که قابلیت استفاده در روش رگرسیون لجستیک را داشتند، نمایش داده شده و امکان دید بصری بر روی عامل‌های مؤثر در

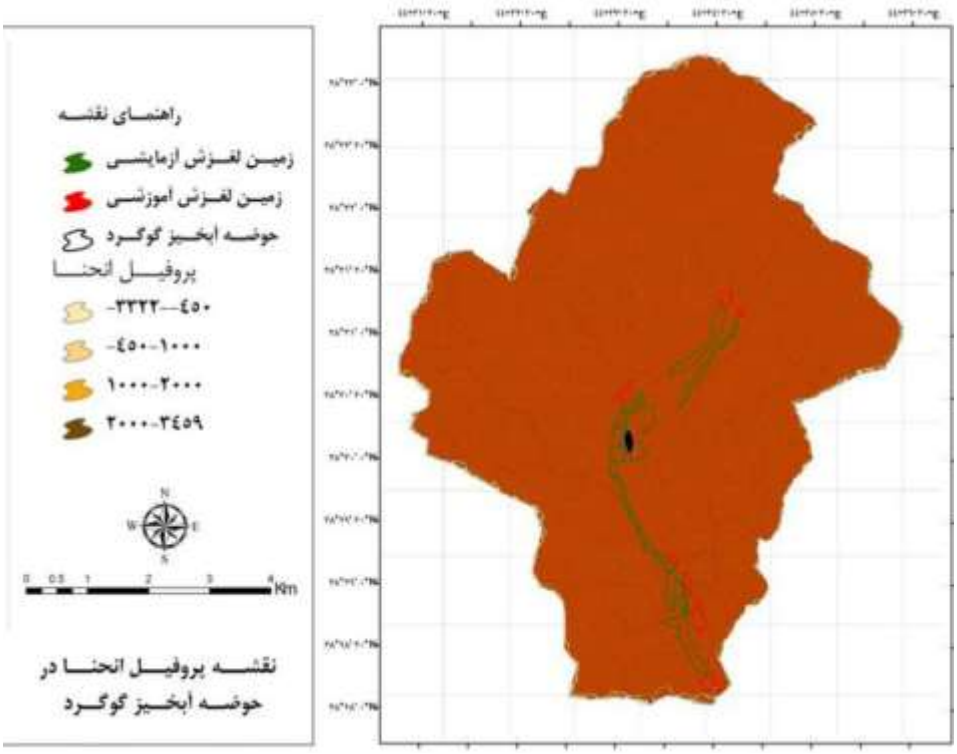
زمین‌لغزش و امکان مقایسه آن‌ها با یکدیگر را فراهم آورده است. لازم به ذکر است که در شکل های ۳ تا ۱۲؛ علاوه بر لایه‌های موثر در زمین-لغزش، همراه آن‌ها زمین‌لغزش‌های (آموزشی و آزمایشی) نیز موجود می‌باشند که امکان مقایسه این اشکال با نتایج آن را فراهم می‌کند.



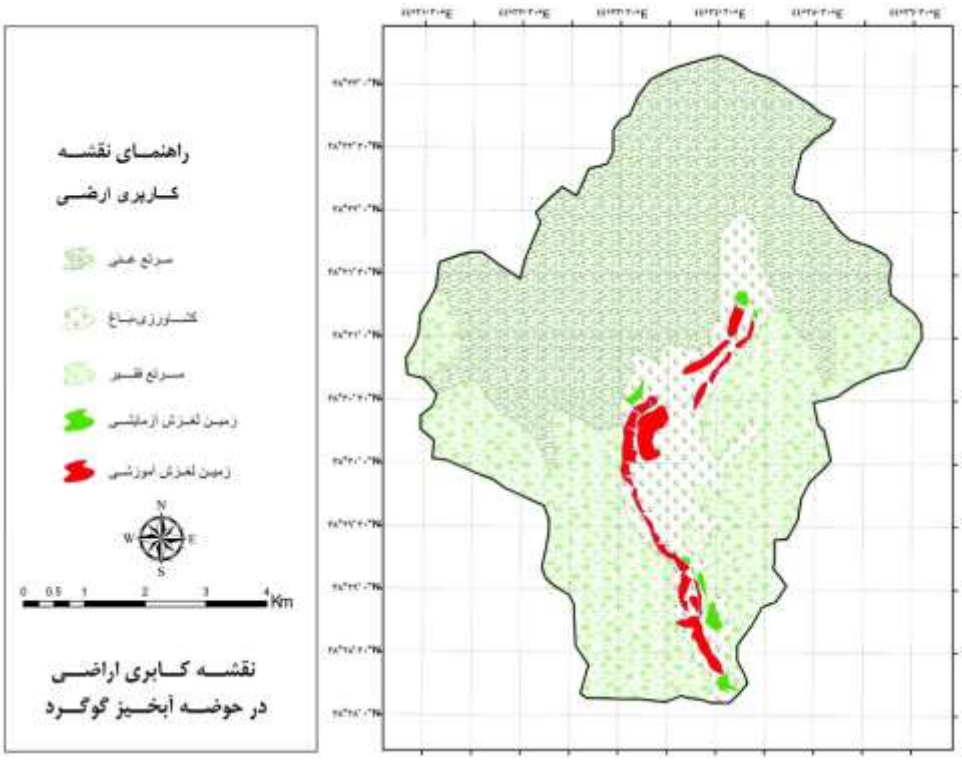
شکل ۲: نقشه طبقات ارتفاعی در حوضه آبخیز گوگرد



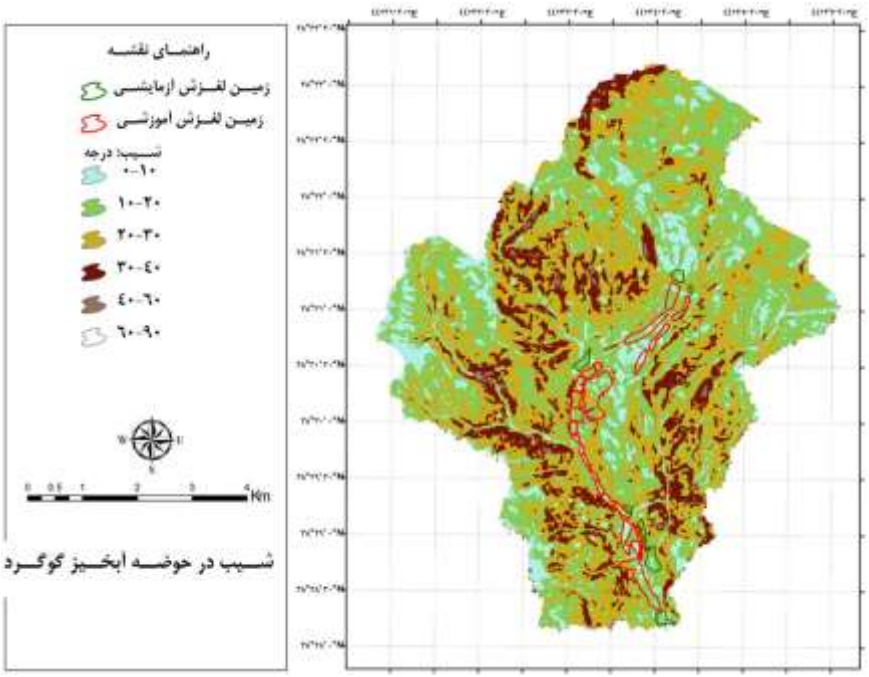
شکل ۲: نقشه زمین شناسی در حوضه آبخیز گوگرد



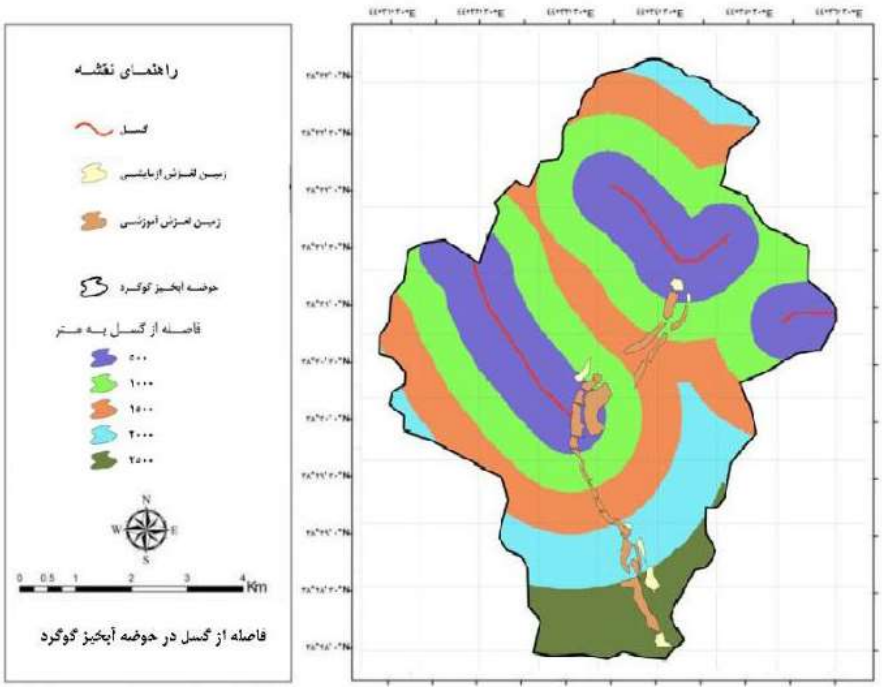
شکل ۴: نقشه پروفیل انحناء در حوضه آبخیز گوگرد



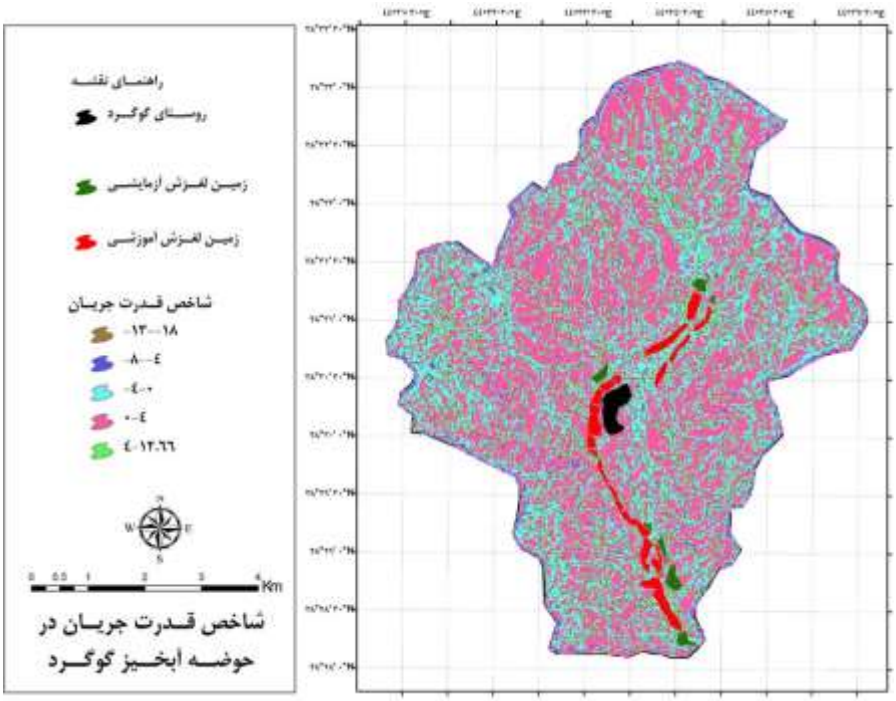
شکل ۵: نقشه کاربری اراضی در حوضه آبخیز گوگرد



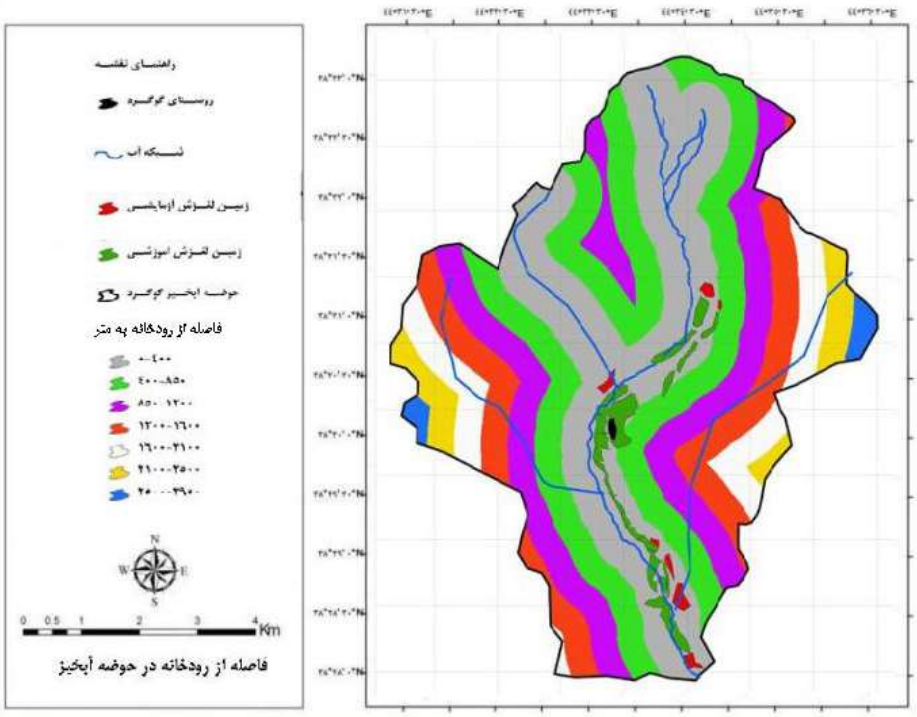
شکل ۶: نقشه شیب در حوضه آبخیز گوگرد



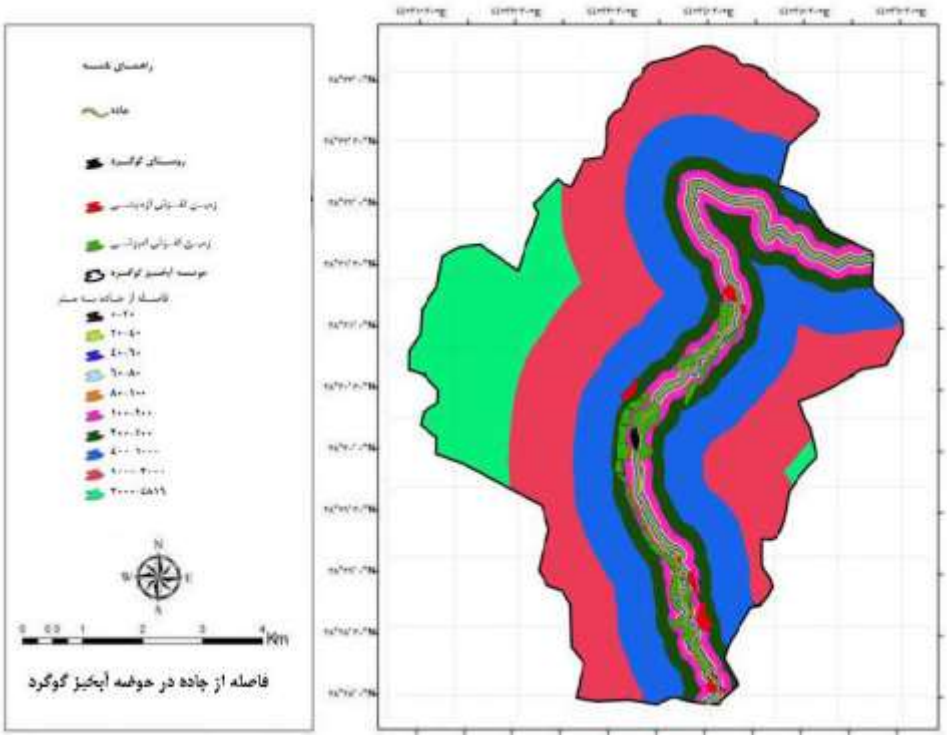
شکل ۷: نقشه فاصله از گسل در حوضه آبخیز گوگرد



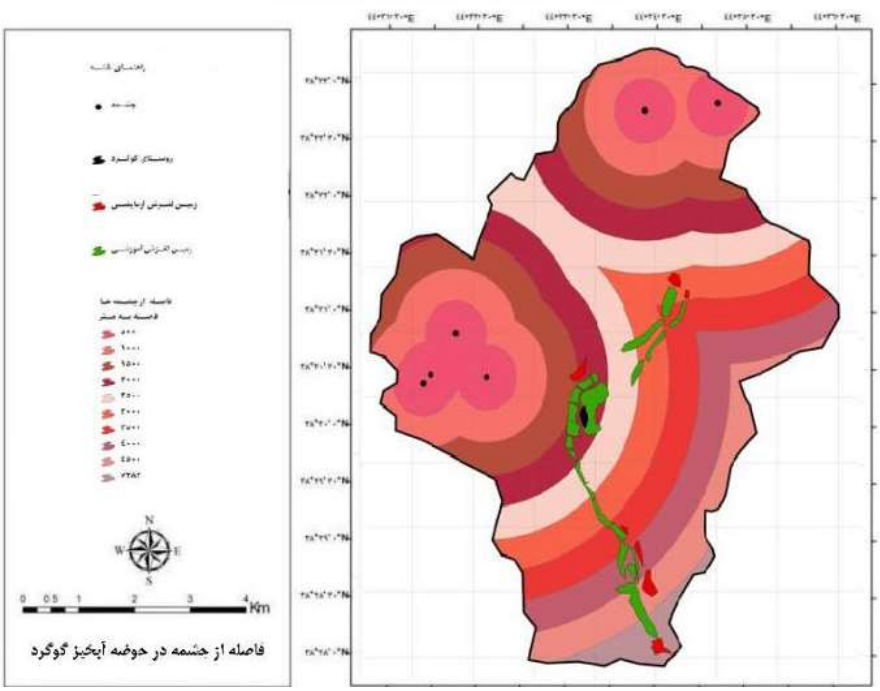
شکل ۸ : نقشه شاخص قدرت جریان در حوضه آبخیز گوگرد



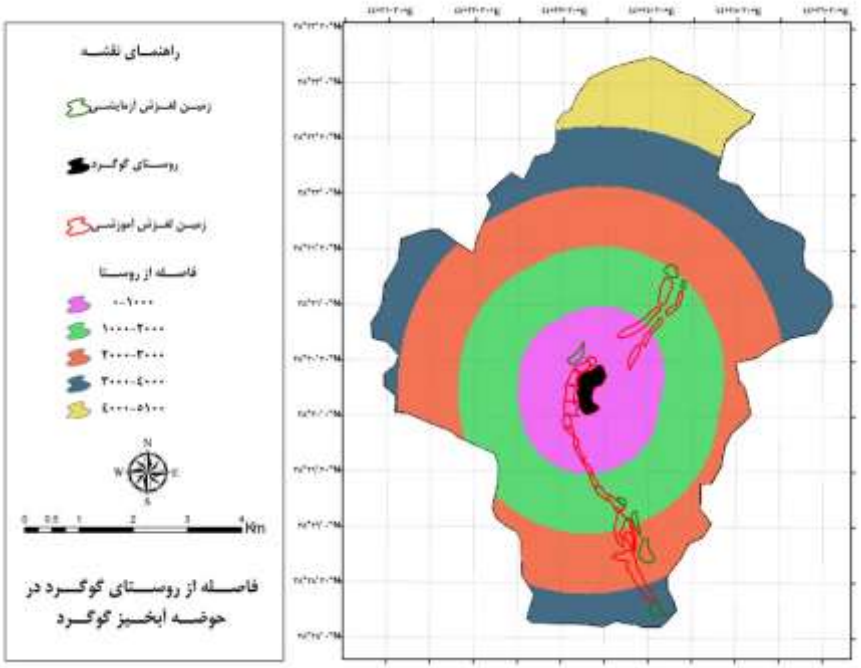
شکل ۹ : نقشه فاصله از رودخانه در حوضه آبخیز گوگرد



شکل ۱۰: نقشه فاصله از جاده در حوضه آبخیز گوگرد



شکل ۱۱: نقشه فاصله از چشمه در حوضه آبخیز گوگرد

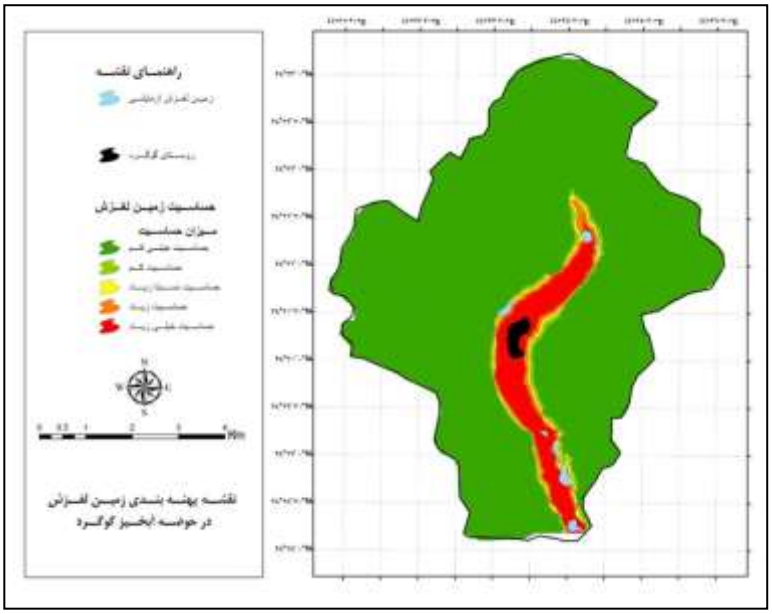


شکل ۲: نقشه فاصله از روستای گوگرد در حوضه آبخیز گوگرد

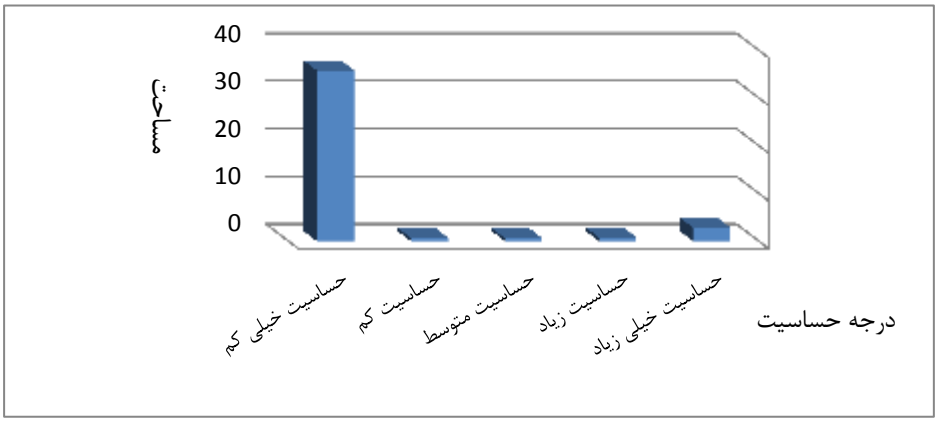
برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ضرایب بتای ۸ عامل موثر در زمین‌لغزش (جدول۱)، در لایه‌های متناظر خود ضرب گردیده و باهم تلفیق شدند و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گوگرد بدست آمد (شکل ۱۳) و این نقشه مکان-های دارای احتمال خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گوگرد را نشان می‌دهد. پهنه‌های حاصل از این مدل باهم برابر نبوده و توزیع یکسانی در کل حوضه نداشته اند (شکل ۱۴). همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود بیش‌ترین میزان مساحت به درجه با حساسیت خیلی کم اختصاص داده شده است و پهنه با حساسیت خیلی زیاد از نظر مساحت در درجه بعدی قرار دارد و پهنه‌های با درجه حساسیت‌های زیاد تا کم دارای مساحت خیلی کمتری در مقایسه با بقیه پهنه‌ها می‌باشند.

جدول ۱: ضرایب بتای رگرسیون لجستیک

عوامل	بتا	خطای استاندارد	سطح معناداری
فاصله از رودخانه	-۱۵/۴	۰/۹۲	۰/۰
کاربری اراضی	۵/۵۶	۰/۴۴	۰/۰
طبقات ارتفاعی	-۲۰/۵۹	۱/۴۶	۰/۰
فاصله از گسل	-۳۱/۲	۰/۵۶	۰/۰
شیب	-۲/۰۱	۰/۳۲	۰/۰
فاصله از آبادی	-۷/۱۶	۰/۴۹	۰/۰
فاصله از جاده	-۵۷/۹۶	۲/۲۱	۰/۰
فاصله از چشمه	۷/۷۲	۰/۵۳	۰/۰
عدد ثابت	۱۲/۶۴	۰/۸۵	۰/۰



شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز گوگرد



شکل ۱۴ : مساحت پهنه‌ها در حوضه آبخیز گوگرد

بحث

به منظور اعتبارسنجی، لایه حساسیت زمین‌لغزش با یافته‌های حاصل از ژئوتکنیک- که حاصل مطالعه گروه سوانح طبیعی گروه مخاطرات زیست محیطی و انتشار آن در طرح پژوهشی علل ناپایداری زمین در روستای گوگرد با هدایت سازمان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی است و در آن، قسمت‌های با برجستگی زیاد دارای ناپایداری شدید است- و زمین‌لغزش‌های آزمایشی مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه این اعتبارسنجی، اعتبار مدل رگرسیون لجستیک را تأیید می‌کند و شکل ۱۵ این انطباق را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود قسمت‌های با حساسیت بیش‌تر با مکان‌های دارای مقاومت الکتریکی کم‌تر مطابقت می‌کند و این بدین مفهوم است که مکان‌هایی که دارای مقاومت الکتریکی کم‌تری بوده و دارای نهشته‌های ریزتری در آب-های زیرزمینی هستند با زمین‌های دارای حساسیت زیاد که در حواشی روستا هستند،

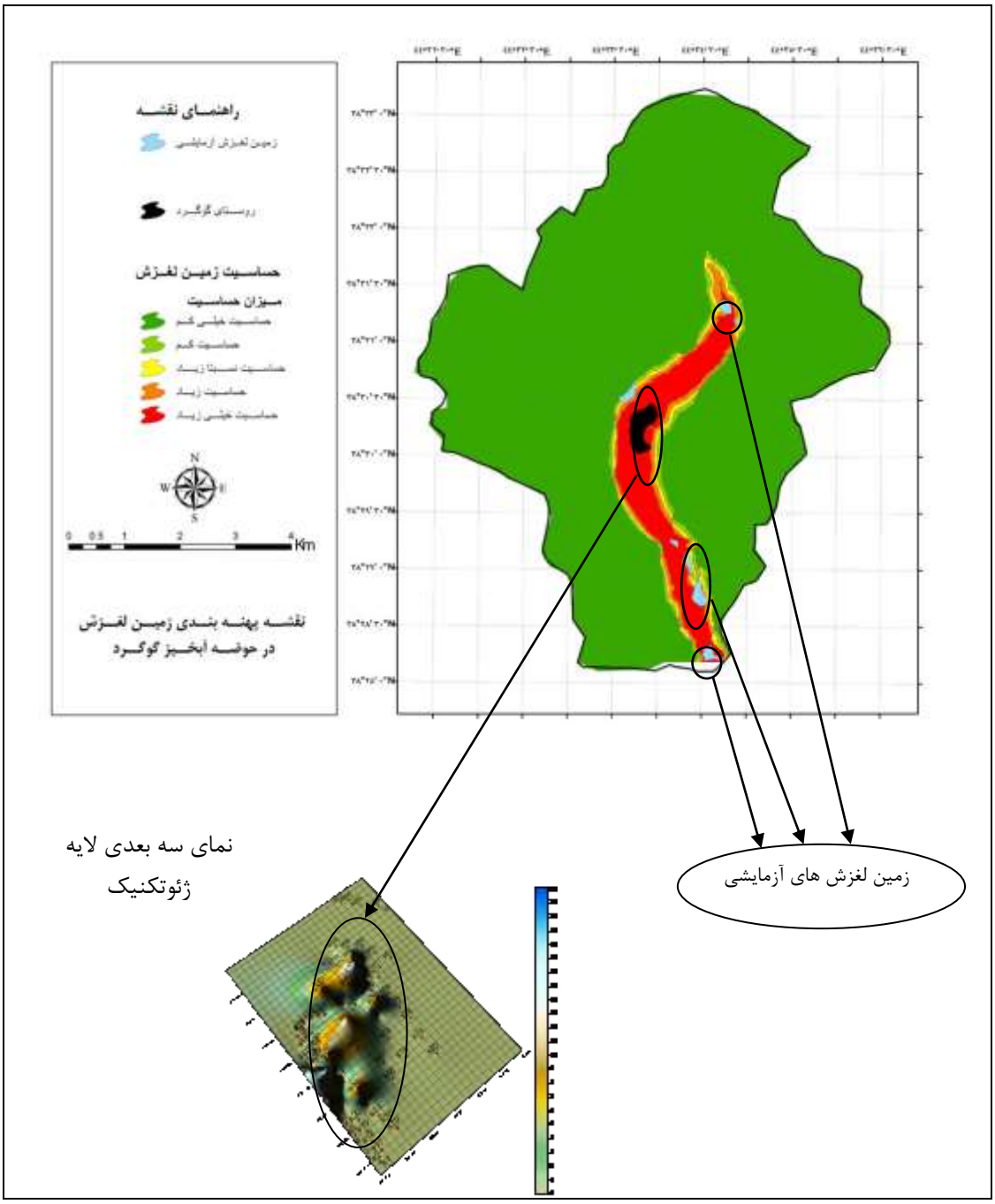
منطبق گردیدند (شکل ۱۵). تعدادی از زمین-لغزش‌های برداشت شده در مرحله عملیات میدانی، وارد تحلیل‌های رگرسیونی نشدند تا بعد از تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با آن‌ها مقایسه شده و اعتبار مدل مورد سنجش قرار دهند و همان طور که در شکل۱۵ ملاحظه می-شود تمام زمین‌لغزش‌های آزمایشی در محدوده-های با حساسیت زیاد قرار دارند. به این ترتیب اعتبار مدل رگرسیون لجستیک تایید شده و نتایج حاصل از آن قابل اطمینان است. از بین ۱۱ متغیر مستقل موثر در وقوع زمین‌لغزش، ۸ متغیر با سطح اطمینان ۹۹ درصد، دارای رابطه معنی‌داری با متغیر وابسته هستند. این لایه‌ها به ترتیب بزرگی ضرایب بتا عبارتند از: فاصله از جاده، فاصله از روستا، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از چشمه، فاصله از آبادی، کاربری اراضی، فاصله از گسل. آنچه که در این پژوهش بیش‌تر مورد توجه است رد آماری فرض تاثیر متغیر زمین‌شناسی در وقوع زمین‌لغزش است. موقعیت زمین‌لغزش‌ها در نقشه زمین‌شناسی با دو سازند پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و متاداسیت و متاریوداسیت، مجموعه غیرقابل تفکیکی از متاریولیت، متاولکانیک، متابازالت، متادیوریت، شیست، آمفیبولیت، گنایس و مرمر بیش‌ترین ارتباط را نشان می‌دهند محل ایجاد زمین‌لغزش‌ها در روی نقشه، بیش‌تر روی این سازندها رخ داده است. مساحت تقریبی این دو به ترتیب برابر با ۴/۶۳ و ۱۲/۳۴ کیلومترمربع می‌باشند (جدول ۲).

جدول ۲ : سازندهای زمین شناسی در حوضه آبخیز گوگرد

شماره	علامت	توضیحات	مساحت: کیلومترمربع	تراکم نقاط با کد۱
۱	Mtv_Mtm	متاداسیت و متاریوداسیت، مجموعه غیرقابل تفکیکی از متاریولیت،متاولکانیک، متابازالت، متادیوریت، شیست، آمفیبولیت، گنایس و مرمر	۱۲/۳۴	۳۰۴۳
۲	Qt1	پادگانه های آبرفتی قدیم	۴/۶۳	۶۴۰۴
۳	Pe_c	کنگلومرای قرمز مایل به سبز همراه با عدسی های سنگ اهک و شیل	۱۵/۸۵	۰
۴	MT_SH	کلریت، سریسیت شیست سبز رنگ، البیت اپیدوت شیست همراه با کمی متاولکانیت و سنگ آهک بلورین	۱/۵۸	۰
۵	p1m	میکرومونزونیت کوارتزدارتا میکروگرانودیوریت پرفیری، داسیتی،آندزیت بصورت گنبد(پلیوسن،	۹/۲۶	۰
۶	cm	شیست سبز، میکاشیست،سرینتینیت، سنگهای اولترامافیک، دیوریت_گابروبا سنگ اهک بلورین	۰/۳۵	۰
۷	lm	سنگ آهک بلورین _کرتاسه بالا	۰/۳	۰

با توجه به اینکه مساحت مربوط به این دو سازند، نسبت به بقیه سازندها کم‌تر بوده و پراکنش زمین‌لغزش‌ها از هندسه این دو سازند پیروی نمی‌کنند فرض تأثیر سازندها بر روی زمین‌لغزش-ها از نظر آماری رد شده است. علی رغم استعداد سازندها، زمین‌لغزش‌ها بیش‌تر به دلیل

تأثیرگذاری عوارضی مثل روخانه، شکل خطی به خود گرفته‌اند. با وجود تأثیر سازندها در رخداد زمین‌لغزش‌ها، عامل ایجاد زمین‌لغزش‌ها محلّی بوده و در این ارتباط، جاده و رودخانه به عنوان عوامل محلی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شناخته شده‌اند و جدول ۱ این ارتباط را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ : اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک

از متغیرهای دارای هم‌بستگی منفی، جاده با ۵۷/۹۵- دارای بالاترین ضریب است و ملاحظه می‌شود که پدیده زمین‌لغزش، بیش از همه عوامل، از عامل فاصله از جاده به عنوان یک عامل انسانی تاثیر پذیرفته است و سطح معناداری آن، ارتباط معنادار با زمین‌لغزش را نشان می‌دهد (شکل های ۳ تا ۱۲، جدول۱). این هم‌بستگی به این معنی است که با افزایش فاصله از جاده، زمین‌لغزش‌ها کاهش یافته می‌یابند و به عبارت دیگر در موقعیت‌های نزدیک جاده، تراکم زمین-لغزش‌ها به حداکثر رسیده است. از دیگر پارامترهای تأثیرگذار در زمین‌لغزش‌ها که با جاده در یک راستا می‌باشند رودخانه است. به همین علت، بررسی این دو عارضه بطور همزمان برای روشن‌تر شدن مطلب ضروری می‌نماید. طول رودخانه اصلی از قسمت خروجی حوضه آبخیز تا رأس آن برابر با ۱۳/۶۹۵ کیلومتر است. بیش‌ترین تراکم زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۵۰۰ متر از رودخانه قرار دارد و حداکثر فاصله زمین‌لغزش‌ها از رودخانه‌ها برابر با ۲۳۴۱ متر است. ضریب بتای فاصله از رودخانه برابر با ۱۵/۴- است که نشان از رابطه رگرسیونی بالای بین زمین‌لغزش و فاصله از رودخانه است و این رابطه منفی است؛ به این معنی که با افزایش فاصله از رودخانه میزان زمین-لغزش‌ها کم می‌شود و بالعکس. یکی از پدیده‌هایی که در ارتباط با رودخانه مشاهده شد، زیربری رودخانه در طول مسیر و ایجاد تخریب دامنه حاصل از آن بود. زیربری‌های طول مسیر رودخانه و تخریب حاصل از آن ما را در تفکیک نقش موثرتر بین رودخانه و جاده یاری می‌کنند و اهمیت بیش‌تر رودخانه را در ایجاد زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهند. ضریب بتای طبقات ارتفاعی برابر با ۲۰/۵۹۶- است (جدول۱) و معنی و مفهوم آن این است که با افزایش ارتفاع از میزان زمین-لغزش‌ها کاسته می‌شود. با توجه به اینکه فرآیندهای طبقات مختلف باهم فرق می‌کند در بالادست با کریوکلاستی و تناوب یخبندان و ذوب یخ در زمستان و بهار و در مدتی که زمین از حصار یخ آزاد می‌شود این حوضه با فرسایش آب-های روان روبرو بوده و در پایین‌دست در تمام سال فرسایش آب‌های روان غلبه دارند. ضریب بتای فاصله از آبادی برابر با ۷/۱۵۷- است (جدول ۱) که همبستگی بین پراکنش زمین‌لغزش‌ها با فاصله از روستای گوگرد را نشان می‌دهد و معنی و مفهوم آن این است که با افزایش فاصله از روستا از میزان زمین‌لغزش‌ها کم می‌شود و بالعکس (شکل ۳). ضریب بتای فاصله از گسل ۲/۳۱۲- است (جدول ۱) و معنی و مفهومش این است که با افزایش فاصله از گسل از میزان زمین‌لغزش‌ها کم می‌شود با وجود ارتباط آماری بین زمین-لغزش‌ها و شبکه گسلی از ورود آنها به تحلیل پهنه‌بندی به دلیل عدم اطمینان از تأثیر آن‌ها در زمین‌لغزش‌ها و ماشه‌ای بودن آن‌ها خودداری شد. ضریب بتای شیب برابر با ۲/۰۱۴- است (جدول۱) که نسبت به عوامل دیگر دارای ضریب بتای کم-تری بوده و همبستگی آن منفی است و معنی و مفهوم آن این است که با افزایش شیب از میزان لغزش کم می‌شود. بیش‌ترین تراکم زمین‌لغزش‌ها در طبقات شیب بین۱۰ تا ۲۵ درجه است که با نتایج مطالعات دیگر (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵) مطابقت نموده و از لحاظ منطقی نیز قابل قبول است. ضریب بتای مربوط به کاربری اراضی برابر با ۵/۵۶۹ است که نشان از تأثیر کاربری اراضی در ایجاد زمین‌لغزش‌ها با سطح معنی‌داری بالای ۹۹ درصد است. (جدول ۳) گویای تأثیر کاربری کشاورزی و باغ بر زمین‌لغزش می باشد و این نشان از تأثیر عمیق کاربری کشاورزی و باغ در ایجاد زمین‌لغزش است؛ به این معنی که

کاربری اراضی به صورت غیرمستقیم برخی از فاکتورهای دیگر مثل میزان رطوبت خاک و مواد آلی در دسترس خاک را که در زمین‌لغزش تأثیر دارند القا می‌کند.

جدول۳ : کاربری اراضی و تراکم زمین‌لغزش‌ها

نوع کاربری	مساحت (مترمربع)	تعداد نقاط با کد۱
مراتع فقیر	۱۵/۴۲	۲۶۲
ترکیب کشاورزی و باغ	۴۶/۴۶	۱۰۰۹۹
مراتع غنی	۱۹/۰۳۵	۰

در حوضه آبخیز گوگرد شش چشمه موجود است که چهار مورد آن در قسمت غرب و دو مورد در شمال حوضه واقع‌اند (شکل ۲). ضریب بتای فاصله از چشمه‌ها برابر با ۷.۷۱۸ است (جدول ۱) و معنی و مفهوم آن این است که با افزایش فاصله از چشمه‌ها زمین‌لغزش‌ها افزایش پیدا می‌کنند و بالعکس. یعنی در جوار چشمه‌ها زمین‌لغزشی موجود نمی‌باشد و این می‌تواند ناشی از این باشد که در بالا دست حوضه آبخیز گوگرد، خاک‌سازی نسبت به پایین‌دست به دلیل شیب بیش‌تر، کم‌تر صورت می‌گیرد و این خود باعث محدود شدن زمین‌لغزش‌ها در بالادست حوضه می‌شود. علاوه بر وجود چشمه‌ها در حوضه آبخیز گوگرد که می‌توانند زمین‌لغزش‌های این منطقه را تشدید کنند وجود سطح آب‌های زیرزمینی بالا در این منطقه خود عامل دیگری است که در کنار عامل چشمه می‌تواند زمین‌لغزش‌های این منطقه را تحت تأثیر قرار دهد و وجود برخی از گمانه‌زنی‌ها در این منطقه، موضوع فوق را تأیید می‌کند (جدول۴).

جدول ۴ : چاهک‌ها و عمق آنها در حوضه آبخیز گوگرد

مقاومت الکتریکی	عمق به متر	Y	X
۳	۵	۴۲۶۱۷۸۷	۴۶۱۹۳۱
۲.۵	۴	۴۲۶۱۷۵۵	۴۶۱۸۸۶
۳	۴	۴۲۶۱۹۳۹	۴۶۱۹۰۰
۳.۵	۵	۴۲۶۱۹۷۱	۴۶۱۹۰۰
۳.۵	۴	۴۲۶۱۸۹۹	۴۶۲۰۳۶
۱.۵	۳	۴۲۶۱۵۲۶	۴۶۶۱۸۰۹
۴	۵	۴۲۶۱۶۱۴	۴۶۱۸۵۹
۶	۸	۴۲۶۱۶۳۰	۴۶۱۸۱۹
۴	۶	۴۲۶۱۷۳۸	۴۶۱۸۲۵
۵.۵	۷	۴۲۶۱۶۶۸	۴۶۱۷۷۹
۲	۳	۴۲۶۱۴۹۵	۴۶۱۷۱۸
۳.۵	۵	۴۲۶۱۹۱۹	۴۶۲۰۰۶
۵	۶	۴۲۶۲۰۲۷	۴۶۲۱۵۰
۵	۶	۴۲۶۲۰۲۷	۴۶۲۲۲۶

طرح‌ها، مطالعات ژئوتکنیکی و مقالاتی که در این منطقه انجام شده‌اند؛ بیش‌تر عامل آب‌های زیرزمینی و عمق توده لغزشی، بارش سنگین، شیب و استعداد سازند و تأثیر گسل‌ها را به عنوان عامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها معرفی کرده‌اند (پورحسن و حاجی حسینلو، ۱۳۸۹)، اما در این پژوهش که تا حدی نیز با نتایج پژوهش-های قبلی هم‌پوشانی دارد به دستاوردهایی فراتر از پژوهش‌های قبلی رسیده است. عامل‌های زیربری رودخانه، جاده، کاربری ارضی، چشمه‌ها و عوامل انسانی در روستای گوگرد از جمله عواملی هستند که در هیچ کدام از پژوهش‌های قبلی به آن‌ها اشاره نشده و کشف این عوامل به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار مختص این پژوهش می-باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به پهنه‌بندی انجام شده، نسبت پهنه‌های با حساسیت خیلی زیاد تا کم برابر با ۱۶ درصد می‌باشند و نسبت پهنه با حساسیت خیلی کم از کل حوضه برابر با ۸۴ درصد می‌باشد که در حاشیه حوضه آبخیز قرار گرفته است. زمین‌لغزش-های آموزشی موجود، نسبت به کل حوضه برابر با ۲/۵۲ درصد هستند ولی با توجه به اینکه در سطح حوضه آبخیز توزیع مناسبی نداشته و از هندسه عوارض خطی (رودخانه و جاده) تأثیر پذیرفته و در وسط حوضه آبخیز قرار گرفته‌اند؛ حساسیت‌های ضعیف تا شدید را تحت تأثیر قرار داده و شکل طولی به آن‌ها داده‌اند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از رودخانه دارای بیش‌ترین تأثیر در وقوع زمین-لغزش‌ها هستند و عوامل شیب، کاربری ارضی، فاصله از آبادی از نظر میزان اهمیت و تأثیری که دارند در مرحله بعدی قرار می‌گیرند. انطباق پهنه-ها با لایه ژئوتکنیک و زمین‌لغزش‌های آزمایشی اعتبار مدل رگرسیون لجستیک را تأیید کرد و نشان داد که نتایج حاصل از این تحقیق صحیح بوده و می‌توان به نتایج آن اطمینان کرد. اما ذکر این نکته نیز ضروری است که با وجود توانمندی خاص مدل رگرسیون لجستیک در تحلیل و شناسایی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش؛ از بازدیدهای میدانی به عنوان مکمّل برای بالابردن صحت و دقت نتایج استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، انجام مطالعات رودخانه‌ای در بازه رودخانه اصلی و مکان‌یابی مناسب برای ایجاد سازه‌های هیدرولیکی، اصلاح عادت‌های کشت و شخم‌زنی بی‌رویه، پایش مسیر رودخانه و پایدارسازی آن و ایجاد زهکش در داخل روستا می‌توانند به عنوان پیشنهادات حاصل از پژوهش در مدیریت مخاطره زمین‌لغزش و پایدارسازی آن در حوضه آبخیز گوگرد مناسب باشند. و اگر روستای در معرض زمین‌لغزش با توجه به خسارات عمده آن بخواهد به مکان دیگر انتقال یابد مکان‌های با حساسیت کم‌تر می‌توانند مکان‌های بهینه‌ای برای انتقال روستای گوگرد باشند و پیشنهاد می‌شود مطالعه-ای در رابطه با مکان‌یابی بهینه روستای گوگرد صورت گیرد. از دیگر نتایج این پژوهش این بود که صرف استفاده از مدل‌های آماری (رگرسیون لجستیک) بدون اعتبارسنجی، کنترل زمینی و انطباق آن با واقعیت ممکن است نتایج اشتباهی را در پی داشته باشد.

تشکر و قدرانی

از سازمان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی به خاطر حمایت مالی و همکاری در ارائه داده‌ها تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

-بهشتی راد، م.، فیض‌نیا، س.، سلاجقه، ع.، و احمدی، ح.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل رگرسیون لجستیک چندمتغیره با استفاده از GIS، مجله جغرافیای طبیعی، شماره۷، ص۳۳-۴۰.

-پژوهشکده سوانح طبیعی گروه مخاطرات زیست محیطی.، ۱۳۸۷. طرح پژوهشی علل ناپایداری زمین در روستای گوگرد از توابع شهرستان خوی، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۳۹ ص.

-پورحسن، ع.، و حاجی حسینلو، ح.، ۱۳۸۹. بررسی پدیده زمین‌لغزش در جنوب‌غربی خوی، شمال باختری ایران، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.

-پورکرمانی، م.، و اسدی، ه.، ۱۳۷۴. تقسیم‌بندی لرزه زمین‌ساختی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۳۲۵ص.

-خسروزاده، ش.، ۱۳۸۷. مطالعه حرکت های توده‌ای (زمین لغزش) از لحاظ شکل زمین مطالعه موردی: سری ارز فون، صنایع چوب و کاغذ مازندران، اولین کنفرانس بین المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری، دانشگاه مازندران، بابلسر.

-زارع چاهوکی، ع.، ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم افزار spss، انتشارات جهاد دانشگاه تهران، ۲۸۴ ص.

-سازمان زمین شناسی کشور.، ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خوی.

-سازمان نقشه برداری کشور.، ۱۳۷۳. نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰.

-سازمان نقشه برداری کشور.، ۱۳۷۳. نقشه کاربری اراضی ۱/۵۰۰۰۰.

-سازمان بنیاد مسکن.، ۱۳۸۶. نقشه ژئوتکنیک ۱:۲۵۰۰۰.

-فاطمه عقدا، م.، غیومیان، ج و واشقلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین توانمندی خطر زمین‌لغزش، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال یازدهم، شماره ۴۷، صفحه ۴۷-۲۸.

-میرصانعی، ر.، و مهدیفر، م.، ۱۳۸۵. گزارش روش‌ها و معیارهای بهینه، جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، پژوهشکده سوانح طبیعی.

-متولی، ص.، اسماعیلی، ر.، و حسین‌زاده، م.م.، ۱۳۸۸. تعیین حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز واز (استان مازندران)، جغرافیای طبیعی، شماره ۵، ص ۸۵-۷۴.

-Duman, T., Can, C., Gokceoglu, H., Nefeslioglu, A., and Sonmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. Environal Geology, v. 51, p. 241–256.

-Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., and Galli, M., 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models., Geomorphology, v. 81, p.166–184.

-Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M and Ardizzone, F., 2005. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, Northern Italian Apennines, Geomorphology, v. 72, p. 272–299.

-Long, N.T., 2008. Landslide susceptibility mapping of the mountainous area in a Luoi district, Thua thien Hue Province. Vietnam. Universiteit Brussel, Faculty of Engineering, Department of Hydrology

-Ozdmir, A., and Altural. T., 2013. Comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains. Journal of Asian Earth Sciences, v. 64, p.180–197.

and Hydraulic Engineering, PhD Thesis, p .229.

-Neuhauser, B., and Terhorst, B., 2007. Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SWGermany), Geomorphology, v. 86, p.12–24.