جغرافیا و توسعه شماره ۳۷ زمستان ۱۳۹۳
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱۱/۳۰
تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۳/۲۲
صفحات : ۱۰۲ - ۸۵

مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک
مطالعه موردی : استان کردستان، شهرستان بیجار

دکتر موسی عابدینی[۱]، بهاره قاسمیان[۲]، عطاا... شیرزادی[۳]

چکیده

زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ای مخاطرات مهمی برای فعالیّت‌های انسانی هستند که اغلب سبب ازدست رفتن منابع اقتصادی، خسارات به اموال و تأسیسات می‌شوند. این مخاطرات در شیب‌های طبیعی و یا شیب‌هایی که به دست انسان تغییر یافته‌اند اتفاق می‌افتد. هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های شهرستان بیجار واقع در استان کردستان و ارزیابی مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش جهت تهیه‌ی نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک می‌باشد در این پژوهش ابتدا با استفاده از بازدیدهای میدانی، پرسشنامه‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و مرور مطالعات انجام شده، ۹ عامل مؤثر شامل متغیّرهای ارتفاع از سطح دریا، درجه‌شیب، جهت‌شیب، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر خطی گسل، جاده، رودخانه، بارندگی و کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. پس از شناسایی آن‌ها اقدام به پردازش با استفاده از نرم‌افزارهای ARC GIS10، ILWIS 3.3، گردید. سپس از ۱۴۴ دامنه مستعد به زمین‌لغزش به عنوان داده‌های لغزشی(کد یک) و همسو با آن ۱۴۴ دامنه پایدار به زمین‌لغزش به صورت کاملاً تصادفی در سراسر منطقه برای داده‌های بدون لغزش (کد صفر) به عنوان متغیّر وابسته استفاده شد. با روی هم‌اندازی مجموع این داده‌ها بر روی هرکدام از متغیّرهای مستقل، داده‌های لازم برای ورود به نرم‌افزار SPSS 18 استخراج شدند. نتایج نشان داد که شیب مهم‌ترین نقش را در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه بر عهده دارد، پس از آن به ترتیب لایه‌های کاربری اراضی، جهت‌دامنه، گسل، فاصله از شبکه زهکش، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده و لیتولوژی در درجه بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.

نتایج ارزیابی صحت نشان داد که مدل آماری رگرسیون لجستیک با مقدار ۸۳/۴ برای شاخص PCPT و ۲۲۹/۲۲۶ برای شاخص 2LL- و ۹۸/۵ درصد برای شاخص ROC همچنین نقشه خطر پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر اساس شاخص SCAI از صحت بالایی برخوردار می‌باشند. بر این اساس ۷۵/۴۸۹ درصد از مساحت منطقه در محدوده با خطر بسیارکم ، ۱۰/۰۳۷ درصد با خطر کم، ۳/۶۲۸ درصد با خطر متوسط، ۴/۰۶۲ درصد با خطر بالا و ۶/۷۸۴ درصد با خطر بسیار بالا مواجه است. این نتایج می‌تواند در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش‌های آینده، کاهش خطرات همراه آن‌ها و برنامه‌ریزی جهت کاربری زمین مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر، رگرسیون لجستیک، شاخص ROC، شاخص SCAI، شهرستان بیجار.

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسؤول) Abedini@uma.ac.ir
۲- دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دان+شگاه محقق اردبیلی gasemyan@uma.ac.ir
۳- کارشناس ارشد مهندسی آب و آبخیزداری، دانشگاه کردستان A.Shirzadi@uok.ac.ir

مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیک به عنوان پدیده‌ای بالقوه زیان‌بار مطرح است که مهم‌ترین آن‌ها حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها هستند *(Burton & kates, 1964: 425)*. این حرکت‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهند که شناخت این عوامل در بررسی پتانسیل، پیش‌بینی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش نقش اساسی دارد. زمین‌لغزش به حرکت نسبتاً سریع مواد دامنه، اعم از خاک و سنگ اطلاق می‌شود که تحت تأثیر مستقیم نیروی ثقل به طرف پایین صورت می‌گیرد. طبق این تعریف، خزش (به علت کُند بودن آن)، فرونشست (به علت دامنه‌ای بودن آن)، پدیده‌های مرتبط با یخزدگی و توده‌های حرکت کرده توسط آب یا باد (به علت مستقیم نبودن تأثیر ثقل در حرکت آن‌ها) زمین‌لغزش محسوب نمی‌گردند *(Coates, 1977: 6)*. پهنه‌بندی لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل حساسیت ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌هاست *(شریعت‌جعفری،۱۳۷۷: ۱۴۸)*. زمین-لغزش‌ها در دنیا هرساله خسارات زیادی به مناطق مسکونی، جاده‌ها، تأسیسات، زمین‌های کشاورزی، باغات، مراتع و غیره وارد می‌کند *(بلادپس، ۱۳۸۸: ۵۲)*. همچنین باعث کشته شدن و مجروح شدن افراد زیادی می‌شود که ضرورت توجه به این امر خطرناک را نمایان می‌سازد*(محمدی،۱۳۸۶: ۷۹)*. در واقع سابقه‌ی مطالعات و پژوهش‌ها در مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در کشورهای توسعه‌یافته به دهه‌ی ۶۰ میلادی بازمی‌گردد *(کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۲)*.

پژوهش‌هایی که در خارج از کشور در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون‌لجستیک انجام شده است عبارتند از: گریگوری[1] و همکاران (۲۰۰۳)، چن و وانگ[2] (۲۰۰۷)، داس[3] و همکاران (۲۰۱۰)،پرادهان و لی[4] (۲۰۱۰)، اتکینسون و ماساری[5] (۲۰۱۱). علاوه بر بانک اطلاعاتی پژوهش‌های تحقیقاتی مختلفی نیز در کشور انجام شده است، از جمله: خامه‌چیان و همکاران (۱۳۸۴)، شیرزادی و همکاران (۱۳۸۶)، حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، طلایی و همکاران (۱۳۸۸)، موسوی خطیر و همکاران (۱۳۸۹)، عابدینی (۱۳۹۱، ۱۳۹۳).

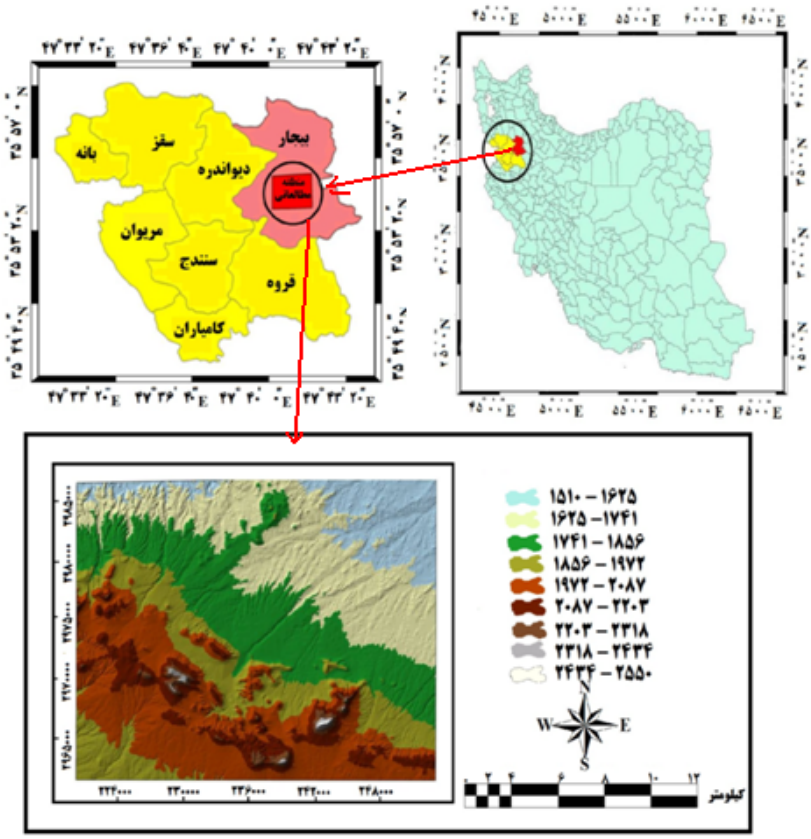
با توجه به عامل تغییر کاربری اراضی و جاده‌سازی در منطقه‌ی مورد مطالعه و عوامل مستعدّ لغزش در منطقه که منجر به مستعد شدن دامنه‌ها جهت وقوع زمین‌لغزش شده، لزوم تهیه‌ی نقشه‌های پیش‌بینی مکانی خطر زمین‌لغزش به صورت کمّی بیش از پیش اهمیت می‌یابد. عابدینی (۱۳۹۳) در مورد در علل وقوع زمین‌لغزش‌های ارتفاعات غربی قره داغ (جنوب هادیشهر آذربایجان‌شرقی) به صورت کمّی تحلیل‌های مورفومتری و آماری نموده است. رگرسیون لجستیک که یکی از انواع مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است، برای تجزیه و تحلیل وجود یا عدم وجود متغیّر وابسته بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی ناپایداری دامنه‌ای استفاده شده است *(Dai & Lee, 2002: 195)* . متغیّر در برخی از مسائل رگرسیون، پاسخ دوحالتی است، در این‌گونه مسائل استفاده از الگوی خطی نرمال مناسب نیست، زیرا نمی‌توان خطاهای نرمال را متناظر با صفر و یک دانست. روشی که در این‌حالت استفاده می‌شود، رگرسیون لجستیک خوانده می‌شود. هر چند روش‌های ارزیابی زمین‌لغزش‌ها و پیش‌بینی آن‌ها در نقاط مختلف دنیا مورد آزمون قرار گرفته‌اند اما در منطقه‌ی مورد نظر بررسی‌های علمی دقیق، کمتر صورت گرفته است. شهرستان بیجار یکی از شهرستان‌های استان کردستان نیز به دلیل دارا بودن موقعیت کوهستانی و داشتن شیب زیاد همواره این پدیده را تجربه می‌کند. همچنین به‌دلیل وجود آهک آسماری و مارن، تغییرات

1-Gregory
2-Chen&Wang
3-Das
4-Pradhan& Lee
5-Atkinson&Massari

کاربری اراضی،افزایش فعالیّت‌های کشاورزی، طرح‌های عمرانی و ساخت‌وسازها مانند احداث راه‌های ارتباطی، منطقه‌ی مطالعاتی مستعد وقوع این پدیده می‌باشد که به نوبه‌ی خود مشکلات و خسارت‌های زیادی را برای روستاییان (بیانلو و چنگیز قلعه) واقع در منطقه‌ی مطالعاتی به وجود آورده است لذا با وجود مسائل ذکر شده تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش و شناسایی مناطق با درجات خطر متفاوت و شناخت مهم‌ترین عوامل رخداد آن به ضرورتی مهم تبدیل شده است که هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده‌ی زمین‌لغزش و ارزیابی مناطق دارای پتانسیل لغزش جهت پهنه‌بندی لغزش‌های اطراف شهرستان بیجار با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک می‌باشد.

الف- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان بیجار با وسعتی معادل ۵۹۸/۰۵ کیلومتر مربع و محیطی معادل ۹۸/۵۷ کیلومترمربع یکی از شهرستان‌های استان کردستان می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال‌شرقی استان کردستان در فاصله‌ی طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۱۲ ثانیه شمالی گسترده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه (شهرستان بیجار)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

این منطقه از شمال به استان آذربایجان غربی، از غرب به دیواندره و سنندج، از جنوب به قروه و دهگلان در استان کردستان، از شرق به استان‌های زنجان و همدان محدود می‌باشد.شهر بیجار مرکز این شهرستان در ۱۵۰کیلومتری شمال شرقی سنندج و در ارتفاع ۱۹۲۰ متری از سطح دریا واقع شده، که یکی از مرتفع‌ترین شهرهای ایران می‌باشد. این شهر از تهران ۷۷۰ متر و از سنندج ۴۲۵ متر بلندتر است. بطور کلی شهرستان بیجار در دشتی موسوم به دشت بیجار که حوزه‌ای محدود به ارتفاعات جنوب دشت و ارتفاعات شمال رودخانه قزل‌اوزن واقع شده است. رودخانه‌ی قزل‌اوزن با جهتی غربی، شرقی و با شیب یک درصد در این دشت جریان دارد. ارتفاع متوسط این دشت ۱۷۵۰ متر از سطح دریا بوده و مساحت آن حدود ۵۳۰۰۰ هکتار می‌باشد. آب و هوای غالب منطقه‌ی مطالعاتی سرد و متوسط بارندگی منطقه‌ی مطالعاتی ۳۴۵میلیمتر در سال می‌باشد. طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن بیجار جزو اقلیم D یعنی سرد و در طبقه‌بندی به روش گوسن جزو اقلیم استپی سرد و در طبقه‌بندی به روش آمبرژه جزو اقلیم فوقانی سرد می‌باشد و از نظر دمایی طبق روش تورنت‌وایت در مرز اقلیمی مزوترمال (میانه دما) قرار دارد *(طرح جامع شهرستان بیجار، ۱۳۸۶: ۳۲).*

ب- مواد و روش‌ها

جهت مطالعه‌ی دقیق تعداد و پراکنش زمین‌لغزش‌ها مراحل زیر ملاک عمل بوده است:

۱- انجام مطالعات کتابخانه‌ای به منظور گردآوری اطلاعات مورد نیاز و شناخت روش تحقیق و داده‌های مورد نیاز؛

۲- انجام بررسی‌های میدانی و ثبت مشخصات هریک از زمین‌لغزش‌ها (طول، ارتفاع، موقعیت، مساحت) با بهره‌گیری از GPS و استفاده از GIS جهت رقومی کردن آن‌ها؛

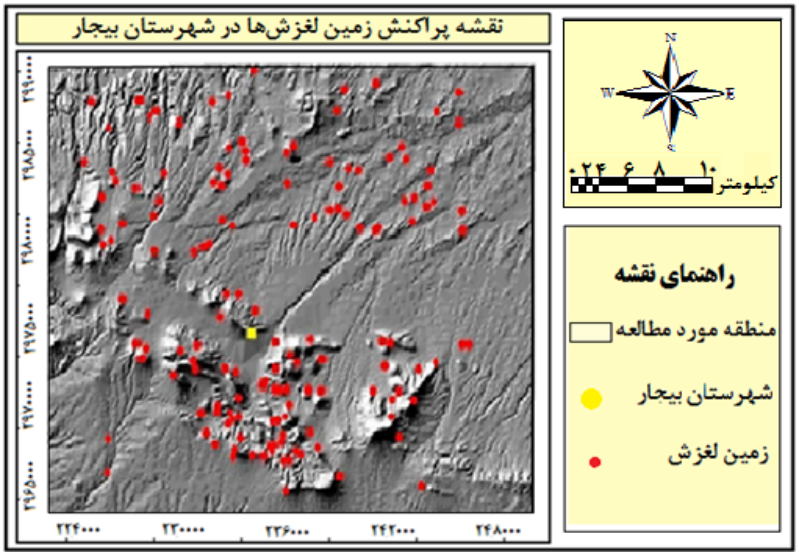
۳- تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش لغزش‌های موجود با استفاده از داده‌های سازمان‌جنگل‌ها ومراتع و آبخیزداری کشور و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و به روز نمودن آن از طریق بررسی‌های میدانی (شکل ۲) و تهیه‌ی نقشه‌های عوامل مؤثر در وقوع پدیده‌ی زمین‌لغزش، شامل نقشه‌های عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه‌ی زهکشی، فاصله از گسل و نقشه‌ی هم‌باران؛

۴- استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ رقومی شده شامل (خطوط توپوگرافی، راه‌ها، چشمه‌ها) و نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (به منظور شناخت واحدهای لیتولوژیکی، گسل‌ها، محورهای طاقدیس)، تصاویر ماهواره‌ای به منظور آگاهی از پوشش گیاهی منطقه و عکس‌های هوایی به منظور آگاهی از کاربری اراضی منطقه و شناخت لندفرم‌ها؛

۵- استفاده از نرم‌افزارهای ARC GIS10، ILWIS 3.3 جهت ترسیم نقشه‌ها؛

۶- استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 جهت تحلیل آماری داده‌ها؛

۷- نهایتاً ترسیم نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در پهنه‌های خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از تلفیق نه لایه مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها.



شکل ۲: نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بحث و نتایج

ج- نحوه‌ی انتخاب و بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش منطقه‌ی مطالعاتی

مدل رگرسیون لجستیک با گنجاندن متغیّرهای مستقل بیشتری که نقش مهمی در تعیین متغیّر وابسته داشته باشد، مدل کامل‌تری را ایجاد می‌کند لایه‌های مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه مورد مطالعه عبارتند از: ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از شبکه‌ی زهکشی و لایه هم‌باران. نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر ذکر شده در نرم‌افزار ARC GIS 10 تهیه و مورد پردازش قرار گرفتند.

۱- درجه شیب: نقشه شیب در محیط Arcmap، از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[1] ساخته شده. سپس با دستور Reclassify در۶ رده طبقه‌بندی گردید. مبنای این‌محاسبات به درجه می‌باشد.حداقل و حداکثر شیب منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۰-۱۰ و۵۰ < درجه واقع شده است. در منطقه‌ی مورد مطالعه بطور کلی تا شیب ۳۰ درجه با افزایش شیب تعداد لغزش‌ها زیاد شده و از شیب ۳۰ درجه به بالا از تعداد آن کاسته شده است (شکل ۳)، که این مسأله با سخت شدن جنس سازند و کاهش رتبه‌ی آبراهه‌ها مرتبط است. زیرا به سمت شیب‌های بالاتر جنس سازند سخت شده و نیز آب‌های جاری فرصت کمتری برای نفوذ به داخل زمین و تمرکز پیدا می‌کند در نتیجه از میزان زمین-لغزش‌ها نیز کاسته می‌شود. با بررسی‌های انجام شده در منطقه این عامل مهم‌ترین عامل در منطقه‌ی مطالعاتی شناخته شد.

۲- ارتفاع از سطح دریا: تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای محسوب می‌شود. این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه‌ی‌زهکشی را کنترل می‌کند(*حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹*). حداکثر ارتفاع در منطقه‌ی مورد مطالعه ۲۵۵۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۵۸۰ متر می‌باشد، در نتیجه اختلاف ارتفاع کلی منطقه ۹۷۰ متر خواهد بود برای این منظور نقشه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه در شش کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۴).

1- **Digital elevation model**

بر این اساس بیشترین درصد پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه در طبقات ۱۹۰۰-۱۷۰۰ و ۲۱۰۰ - ۱۹۰۰ متر و کمترین آن در طبقات ۲۵۰۰-۲۳۰۰ و ۲۵۰۰ < متر واقع شده است.

۳- *گسل:* برای تهیه‌ی این لایه اطلاعاتی، ابتدا خطوط مربوط به‌گسل‌های منطقه از روی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ شهرستان بیجار استخراج گردید که پس از رقومی‌سازی، لایه رستری فاصله از گسل تهیه و در ۵ طبقه وارد مدل شد. پس می‌توان گفت با توجه به ضرایب به دست آمده (ضریب β) از اجرای مدل نشان داد که برابر ۱/۰۰۵ بود مشخص گردید که زمین-لغزش‌ها عمدتاً در نزدیکی گسل‌ها رخ می‌دهند. بدین ترتیب که در منطقه مورد مطالعه در فاصله ۱۵۰۰-۰ متر بیشترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش و در فاصله بیشتر از ۶۰۰۰ متر کمترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش وجود دارد که ارتباط معناداری را با رخداد زمین‌لغزش نشان می‌دهد (شکل ۵).

۴- *جهت شیب:* در این پژوهش نقشه‌ی جهات با استفاده از تحلیل‌گر (GIS) از روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) با استفاده از گزینه Surfaceanalysis را از منوی 3DAnalysis انتخاب کرده و گزینه Aspect را اجرا می‌کنیم تا نقشه جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه در ۸ جهت که شامل جهت‌های شمال، جنوب، شرق، غرب، شمال‌غرب، شمال‌شرق، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق ترسیم شود (شکل ۶). بر این اساس بیشترین پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه در جهت شمال غرب و کمترین آن در جهت جنوب غرب واقع شده است.

۵- *کاربری‌اراضی:* کاربری اراضی از شاخص‌های مهم در ناپایداری دامنه‌هاست،که ویژگی‌های زمین را تحت تأثیر قرار داده و سبب تغییر رفتار آن می‌شود *(ارومیه‌ای، ۱۳۷۷: ۳۷)*. در این پژوهش لایه‌ی کاربری اراضی با توجه به نقشه‌های قابلیت اراضی تحقیقات منابع آب و خاک، اطلاعات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، مطالعات میدانی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شد و نه نوع کاربری شامل: ۱- زمین‌کشاورزی ۲- باغ ۳- زراعت دیم ۴- مخلوط زراعت دیم و باغ ۵- مخلوط مرتع متوسط و دیم ۶- مخلوط زراعت ضعیف و دیم ۷- مرتع با تراکم متوسط ۸- مرتع با تراکم ضعیف ۶- مناطق مسکونی در منطقه‌ی مورد مطالعه شناسایی شد. پس می‌توان گفت با توجه به ضرایب به‌دست آمده (ضریب β) از اجرای مدل که برابر ۱/۷۲۰بود مشخص گردید که عمدتاً وقوع زمین‌لغزش‌ها در لایه‌ی زراعت دیم با توجه به تغییرات اعمال شده به وسیله عامل انسانی بیشتر شده است. بدین ترتیب که در منطقه‌ی مورد مطالعه، بیشترین درصد وقوع زمین-لغزش‌ها در کاربری زراعت دیم (۲۹/۸۶)، مرتع با تراکم متوسط (۲۵/۶۹۴) و کمترین فراوانی وقوع لغزش‌ها در طبقات باغ (۰/۶۹۴) و زمین کشاورزی (۰/۶۹۴) می‌باشد، وجود دارد که ارتباط معناداری را با رخداد زمین‌لغزش نشان می‌دهد (شکل ۷).

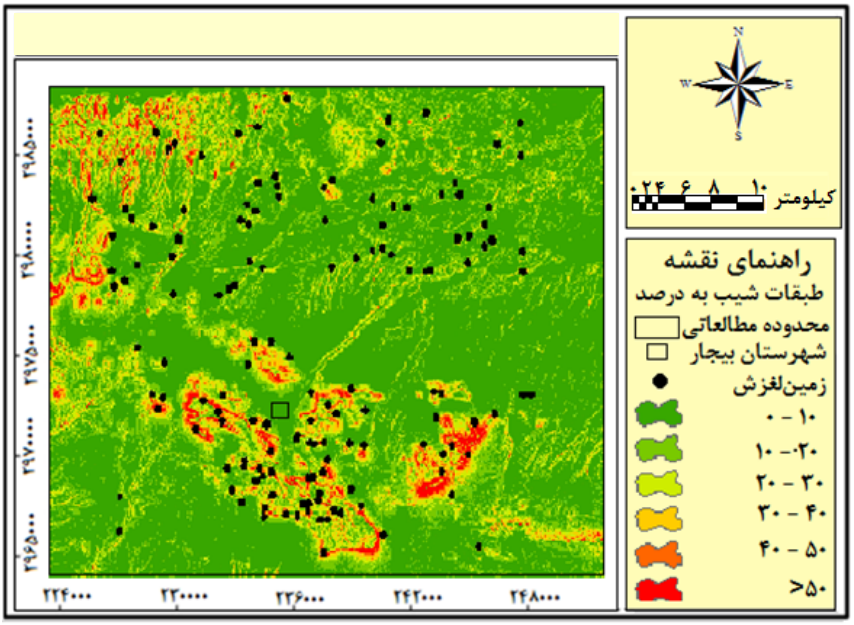
۶-*فاصله از شبکه زهکشی:*این‌لایه با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰با پیکسل سایز ۱۰متر تهیه گردید. لایه‌ی مورد نظر در شش طبقه ترسیم شده است که بیشترین درصد فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۱۰۰- ۵۰ متر و کمترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه۲۵۰-۲۰۰ متر و ۲۵۰< متر می‌باشد(شکل۸).

۷- *بارندگی:* شدت بارش و دوام آن نقش عمده‌ای در وقوع زمین‌لغزش دارد که بستگی به عوامل اقلیمی، توپوگرافی،زمین‌شناسی‌وشیب‌دارد*(Lydia,2002:183)*. بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه به هفت طبقه ترسیم شده است. بارش و ذوب برف با تأمین آب در خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. البته این پارامتر با وجود دیگر عوامل اثرگذار، بیشتر خودنمایی می‌کند، زیرا طبقاتی در منطقه وجود دارد که میزان بارش آن زیاد است، ولی زمین‌لغزش اتفاق

نیفتاده است. بدین‌سبب بارش به‌تنهایی نمی‌تواند عامل وقوع زمین‌لغزش محسوب گردد. بیشترین درصد وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۳۲۰-۳۱۰ و کمترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۳۵۰-۳۴۰ می‌باشد (شکل ۹).

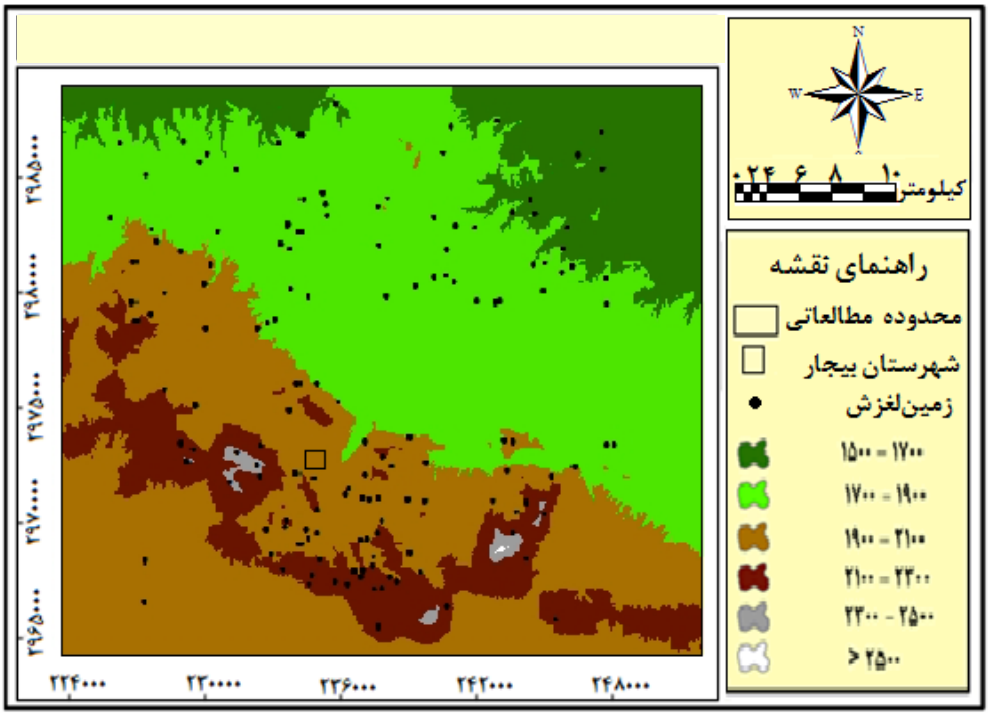
۸- *لیتولوژی:* به منظور استخراج این لایه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان بیجار استفاده گردید. این نقشه ابتدا رقومی شده سپس سازندهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه از آن استخراج شد و در نهایت لایه جنس سازند به صورت لایه رقومی شده در مدل مورد استفاده قرار گرفت پس می‌توان گفت با توجه به ضرایب به دست آمده (ضریب β) از اجرای مدل نشان داد که این عامل با رخداد زمین‌لغزش ارتباط معناداری را نشان می‌دهد و این مقدار اگرچه خیلی هم ضعیف نیست ولی نشان‌دهنده‌ی این است که در منطقه با سست شدن سازند میزان خطر زمین‌لغزش نیز افزایش می‌یابد. در نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی و هم‌پوشانی نقشه‌ی حرکت‌های لغزشی با نقشه‌ی سنگ‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که غالب لغزش‌های این منطقه در مناطق پوشیده از سازندهای کم‌مقاوم و نامقاوم رخ داده‌اند (شکل ۱۰).

۹- *فاصله از جاده:* لایه‌ی مربوطه از روی نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و رقومی گردید، سپس برای آن‌ها به منظور تعیین فاصله آن‌ها با پهنه‌های لغزشی با فواصل ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و بیشتر از ۱۵۰۰ بافر تهیه شد. بیشترین درصد فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۳۰۰-۰متر و کمترین درصد فراوانی وقوع‌زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۱۵۰۰-۱۲۰۰ متر می‌باشد. بطوری که هرچه فاصله از جاده بیشتر می‌شود میزان تراکم حرکات توده‌ای در منطقه کاهش می‌یابد. این عامل به دلیل زیربری دامنه‌ها و تغییرات شیب آن‌ها به نوعی بر تشدید ناپایداری افزوده است (شکل ۱۱).



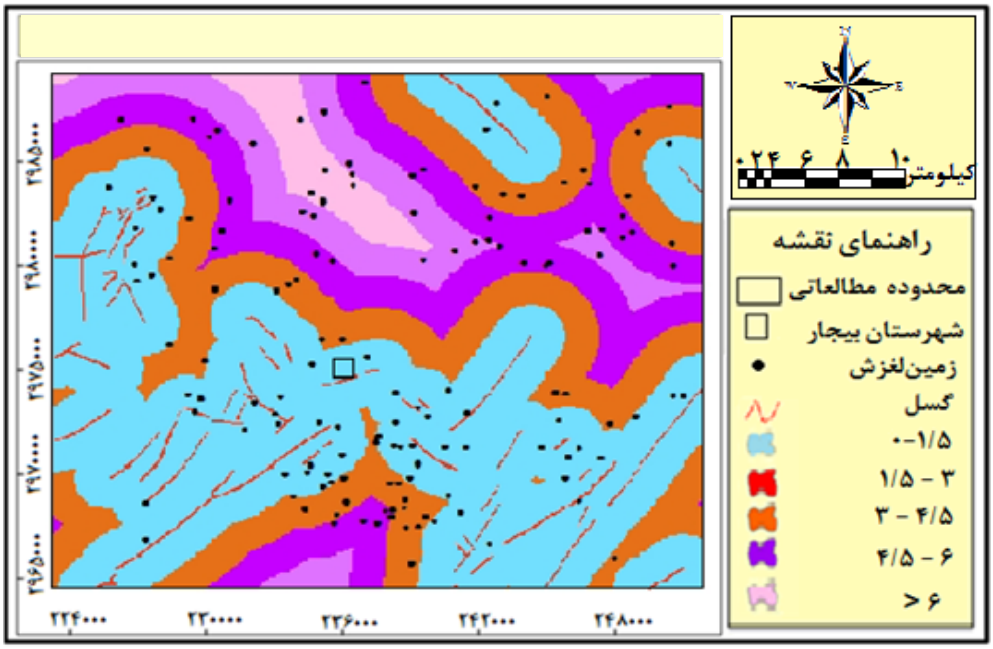
شکل ۳: نقشه‌ی درجه شیب شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



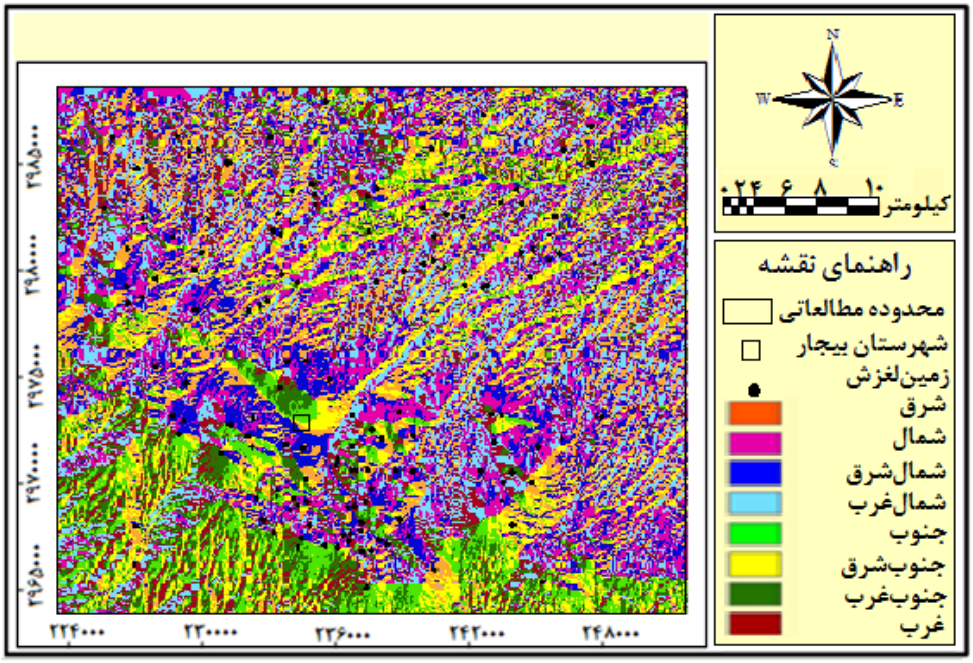
شکل ۴: نقشه‌ی طبقات ارتفاعی شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



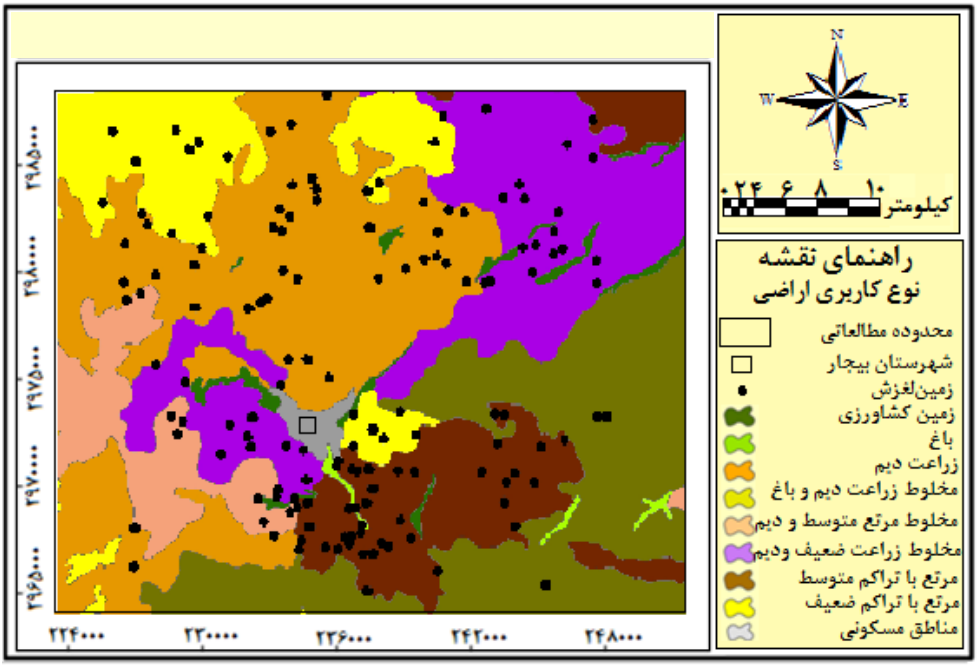
شکل ۵: نقشه‌ی فاصله از گسل شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



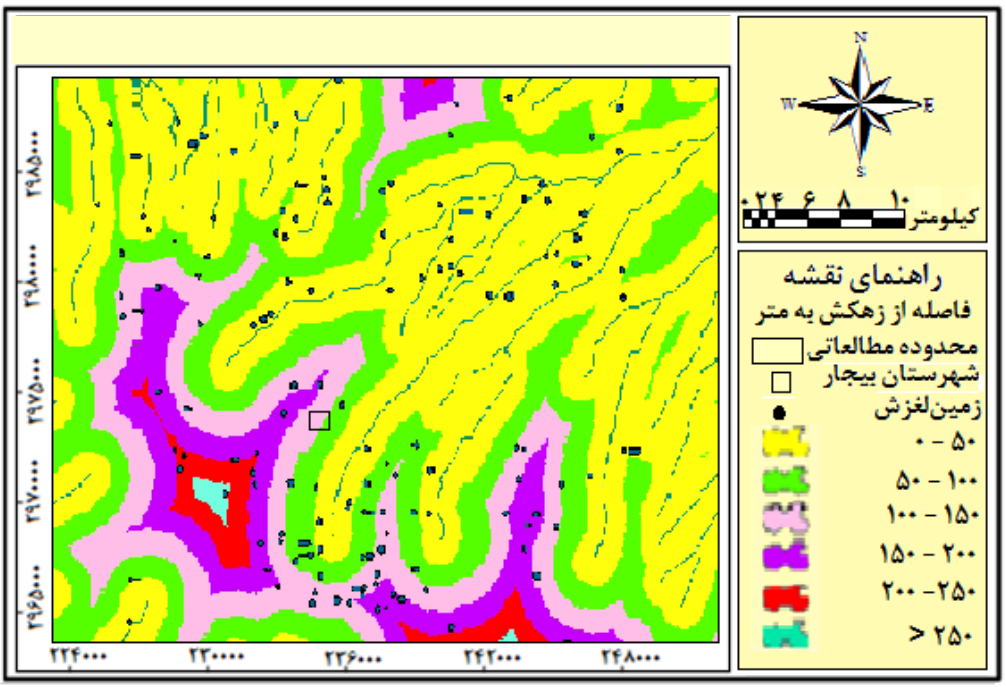
شکل ۶: نقشه جهت شیب شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



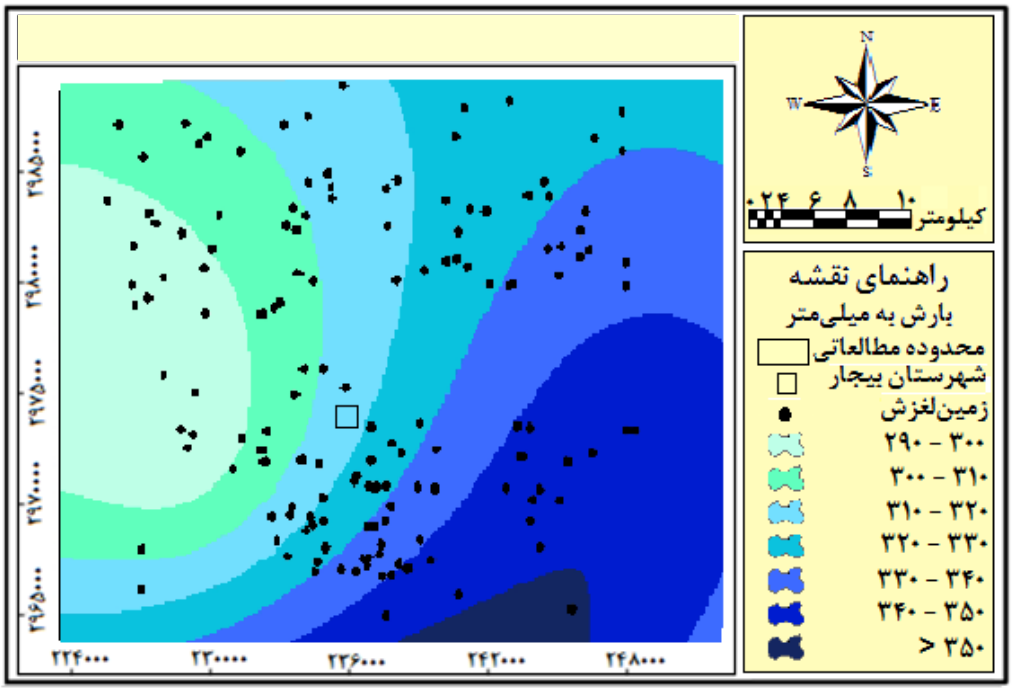
شکل ۷: نقشه‌ی کاربری اراضی شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



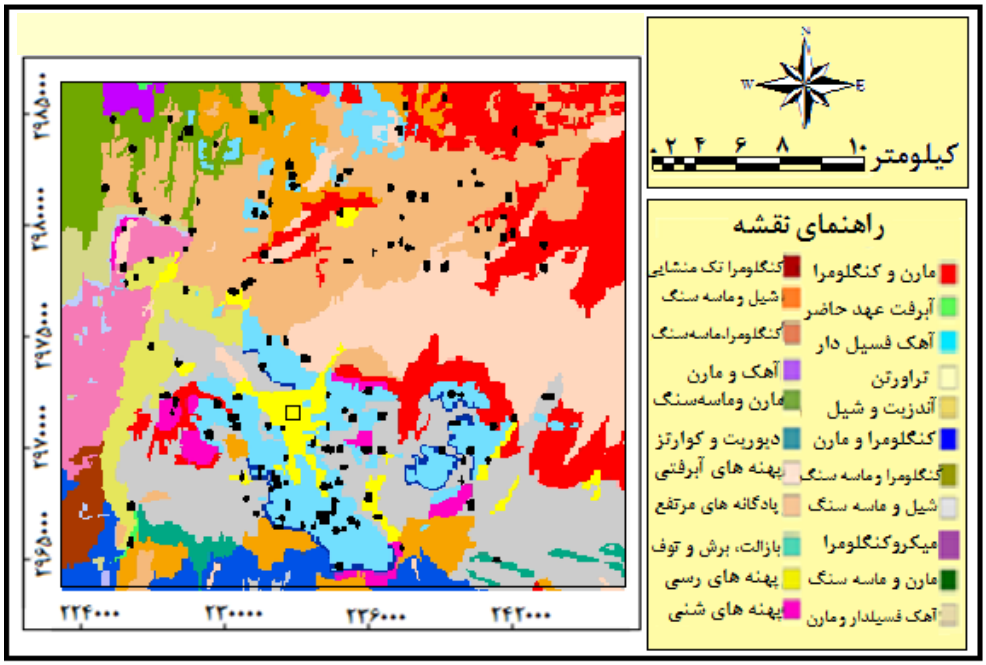
شکل ۸: نقشه‌ی فاصله از شبکه زهکشی شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



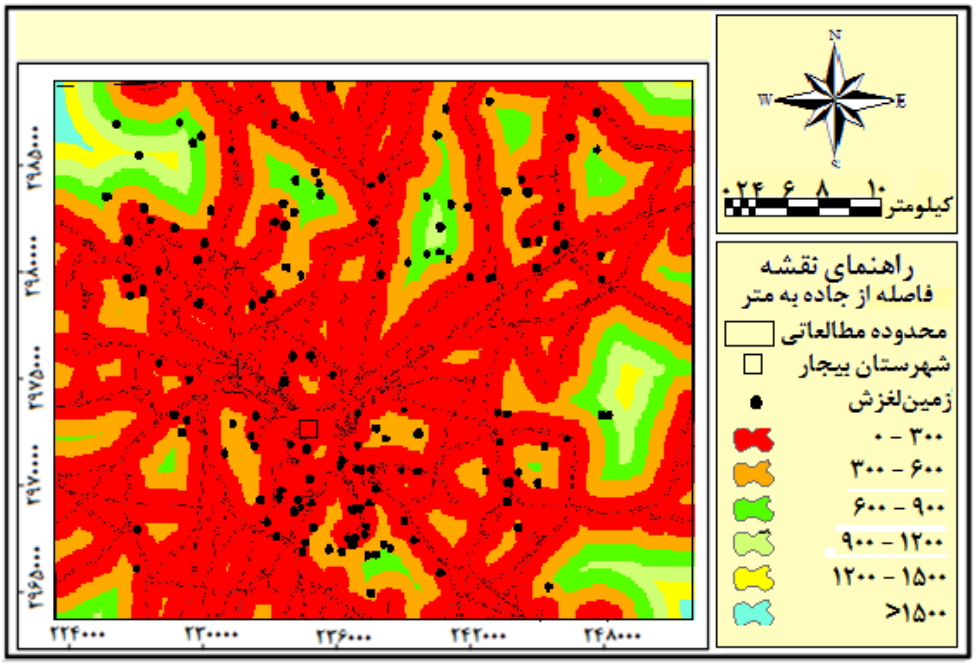
شکل ۹: نقشه‌ی همباران شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۰: نقشه‌ی لیتولوژی شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۱: نقشه‌ی فاصله از جاده شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

د- مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یک تکنیک چند متغیّره است که چند پارامتر فیزیکی را که ممکن است بر احتمال تأثیر بگذارند، مورد توجه قرار می‌دهد. مقادیر متغیّر مستقل در این روش می‌توانند به صورت باینری (۰ و ۱) و هم به صورت کمیت عددی بیان شوند، از این رو استفاده از متغیّرهایی که کاملاً پیوسته نیستند و یا به صورت کیفی هستند امکان‌پذیر خواهد بود مدل رگرسیون لجستیک تعمیمی از مدل خطی عمومی (GLM) است، و هر مدلی که با مدل خطی عمومی تطبیق کند می‌تواند با روش رگرسیون لجستیک نیز تطبیق نماید *(شیرزادی، ۱۳۸۶: ۲۱)*. مدل عموم ی آن به شکل (رابطه ۱) می‌باشد.

رابطه ۱:

$$Y = logit(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = c_0 + c_1x_1 + \cdots + c_{nx_n}$$

P= احتمال رخداد حادثه (در این تحقیق احتمال وقوع زمین‌لغزش)

C_0= عرض از مبدأ یا ضریب ثابت است

$\frac{P}{1-P}$ = نسبت شانس[1]

$X_1X_2\ldots X_n$ ضرایب مربوط به متغیّرهای مستقل $C_1C_2\ldots C_N$ هستند.

مزیّت مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چند متغیّره مانند رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی این است که متغیّر وابسته می‌تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است *(Dai & Lee, 2002: 185)*.

جهت تفسیر مناسب در معادله فوق از ضرایبی با لگاریتم طبیعی در مبنای عدد نپرن استفاده شد. چنانچه ضریب مثبت باشد، مقدار لگاریتم تغییر یافته بزرگتر از یک خواهد بود که احتمال وقوع حادثه بیشتر می‌شود، چنانچه ضریب منفی باشد این مقدار از یک کمتر خواهد شد و احتمال وقوع حادثه کمتر می‌شود. از آنجا که کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل‌ناپایداری شیب و متغیّر وابسته دو حالته یعنی وقوع و عدم وقوع زمین‌لغزش است، علاوه بر ۱۴۴ نقطه‌ی زمین‌لغزشی شناسایی شده در منطقه، ۱۴۴ نقطه‌ی دیگر به‌طور تصادفی در سراسر منطقه انتخاب شده و پس از هم‌پوشانی با لایه‌های عوامل مؤثر به کلاس‌های شامل حضور نقاط وقوع کد ۱ و به سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت. این امر در مورد نقاط غیرلغزشی نیز صادق است، با ورود داده‌ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک تجزیه و تحلیل آماری در محیط SPSS 18 صورت گرفت. با این توصیف احتمال (زمین لغزش) برابر است با:

رابطه ۲:

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

که p احتمال وقوع پدیده z پارامتر یا فاکتور خطی می‌باشد و از (رابطه ۳) به دست می‌آید:

رابطه ۳:

$$Z = b_1x_1 + \cdots b_2x_2 + b_nx_n$$

β_0 = ضریب ثابت مدل

X_i= متغیّرهای مستقل

β_i = ضرایب متغیّرهای مستقل

ذ) اعتبارسنجی مدل آماری رگرسیون لجستیک

ضرایب معادله‌ی به دست آمده در جدول ۱ نشان می‌دهد که همه‌ی متغیّرها اثر معنی‌داری بر روی وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند، بر اساس مقادیر ضریب β و مقدار ضریب ثابت معادله ۲/۸۲۸ به دست آمده تعیین شده است. مقادیر ضرایب β توسط آزمون والد(Wald) آزمون شده و مقدار p-value در ستون Sig همچنین شانس وقوع زمین‌لغزش‌ها در ستون Exp(B) ارائه گردیده است.

1-Odds ratio

جدول۱: ضرایب، معنی‌داری آماری، شانس وقوع و آزمون والد از تجزیه و تحلیل آماری با رگرسیون لجستیک

متغیّر مستقل	علامت	β (ضریب متغیّر)	Wald	Sig	$Exp^{(\beta)}$
ارتفاع ۱۹۰۰-۱۷۰۰	A۲	-۰/۸۴۹	۳/۹۸۵	۰/۰۴۶	۰/۴۲۸
ارتفاع ۲۱۰۰-۱۹۰۰	A۳	-۲/۰۵۱	۱۸/۶۰۷	۰/۰۰۰	۰/۱۲۹
فاصله از جاده	D۴	-۱/۴۶۳	۴/۷۷۰	۰/۰۲۹	۰/۲۳۱
شیب (۱۰-۰)	B۱	۲/۶۲۲	۴۵/۲۵۲	۰/۰۰۰	۱۳/۷۵۸
آهک	E۸	-۲/۲۲۴	۱۹/۸۳۹	۰/۰۰۰	۰/۱۰۸
پهنه‌های مارنی	E۱۸	-۲/۴۶۷	۴/۸۰۶	۰/۰۲۸	۰/۰۸۵
پادگانه مرتفع	E۲۰	-۱/۰۹۴	۵/۵۵۵	۰/۰۱۸	۰/۳۳۵
زراعت دیم	F۴	۱/۷۲۰	۸/۰۲۰	۰/۰۰۵	۵/۵۸۴
جهت شمال‌غرب	G۶	۱/۰۲۶	۵/۰۷۷	۰/۰۲۴	۲/۷۸۹
زهکش (۵۰-۰) متر	H۱	۰/۷۲۶	۴/۴۲۳	۰/۰۳۵	۲/۰۶۸
گسل (۱/۵-۰) کیلومتر	I۱	۱/۰۰۵	۶/۰۲۲	۰/۰۱۴	۲/۷۳۲
مقدار ثابت	constant	۲/۸۲۸	۱۱/۲۴۹	۰/۰۰۱	۱۶/۹۱۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

معادله نهایی به صورت رابطه (۴) نوشته شد، بر اساس این رابطه مقادیر Z برای هر سلول به دست آمد. رابطه (۵) معادله احتمال وقوع لغزش برای منطقه را نشان می‌دهد.

رابطه ۴ :

$$Z= ۲/۸۲۸ - ۰/۸۴۹(A2)-۲/۰۵۱(A3)-۱/۴۶۳\ (D4) +۲/۶۲۲\ \ (B1) - ۲/۲۲۴(E8) - ۲/۴۶۷\ (E18)$$
$$-۱/۰۹۴\ (E20) + ۱/۷۲۰(F4) + ۱/۰۲۶(G6) + \ ۰/۷۲۶(H1) + ۱/۰۰۵(I1) - ۱/۳۳۰\ (I4)$$

رابطه ۵ :

$$P= \frac{1}{1+e-2.827+0.849a2+2.051a3+1.463d4+2.622b1+2.224e8+2.467e18+ 1.964e20+1.720f4+ 1.026g6+0.726h1+1.005i1+1.334i4}$$

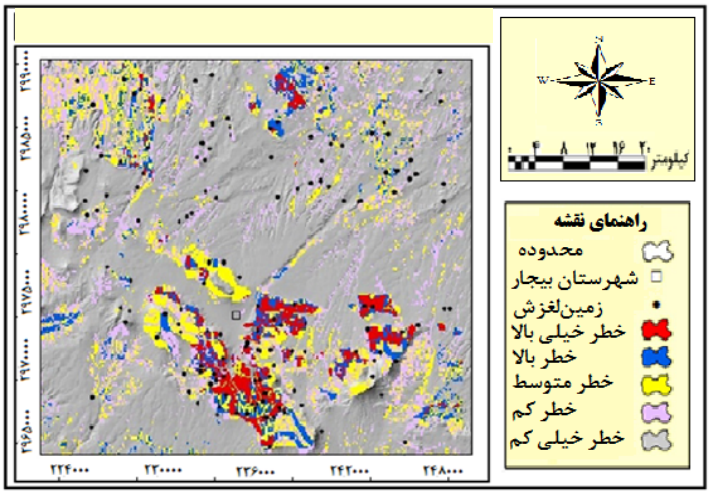
بعد از آماده‌سازی لایه‌ها به منظور اجرای رگرسیون لجستیک درمحیط SPSS 18، لایه‌های عامل به صورت جداگانه در مدل وارد شدند بر این اساس لایه‌هایی که ارتباط معناداری را نشان ندادند از مدل حذف شدند و لایه‌های باقی‌مانده وارد مدل مورد نظر شدند و ضرایب آن‌ها به‌دست آمدند که تأثیرگذارترین عوامل در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه شناخته شدند. بر اساس جدول ۱ متغیّرهای شیب بین۱۰-۰ درجه، کاربری اراضی از نوع زراعت دیم، دامنه‌های رو به جهت شمال غرب، فاصله از گسل ۱/۵-۰ و ۶-۴/۵ کیلومتر، ارتفاع ۱۹۰۰-۱۷۰۰ و ۲۱۰۰-۱۹۰۰ متر، فاصله از جاده ۹۰۰-۶۰۰ متر، سازندهای آهکی و پهنه‌های مارنی، فاصله از شبکه زهکش ۵۰-۰ متر تأثیر بیشتری (در سطح احتمال ۹۵ درصد) در احتمال وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. شاخص‌های اعتبارسنجی مدل آماری رگرسیون لجستیک برای هر کدام از متغیّرها در جدول (شماره ۲) ارائه شده است که صحت مدل به‌دست آمده با ۸۳/۴درصد و فاکتور -2LL با ۲۹۹/۲۶۶ و R^2 کوکس و انسل با ۰/۴۴۹و R^2 ناگلگرک با ۰/۵۹۸ و درصد مساحت زیر منحنی با ۰/۹۸۵ یا ۹۸/۵ درصد می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی تطابق مدل با داده‌ها و معنی‌داری آماری متغیّرهای مستقل با وقوع زمین-لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه است.

در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس معادله‌ی به دست آمده از تجزیه و تحلیل آماری با رگرسیون لجستیک با معادلات رابطه‌ی ۴ و ۵ در نرم‌افزار ARC GIS 10 با استفاده از گزینه‌ی raster calculator به دست آمد (شکل ۱۲). جهت طبقه‌بندی پهنه‌ها از روش فاصله‌ی ژئومتریک (G.L)[1] به دلیل تطابق بیشتر آن با واقعیت منطقه انتخاب شد. نهایتاً منطقه از نظر خطر زمین‌لغزش به ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید. همچنین تعداد زمین‌لغزش‌ها، محدوده‌ی احتمال‌وقوع، درصد مساحت، تعداد پیکسل‌ها به تفکیک کلاس‌ها آورده شده است، جدول (شماره ۳).

جدول ۲ : شاخص‌های اعتبارسنجی مدل آماری رگرسیون لجستیک منطقه مورد مطالعه

متغیّرها	درصد صحت پیش‌بینی مدل (PCPT)	-2LL	Nagelkerk R^2	Cox and Snell R^2	درصد مساحت زیرمنحنی (AUC)ROC
با حضور تمام متغیّرها	۸۳/۴	۲۲۹/۲۶۶	۰/۵۹۸	۰/۴۴۹	۰/۹۸۵
بدون ارتفاع از سطح دریا	۸۰/۷	۲۵۲/۴۵۲	۰/۵۳۷	۰/۴۰۳	۰/۹۵۰
بدون شیب	۷۴/۸	۲۸۹/۶۶۳	۰/۴۲۸	۰/۳۲۱	۰/۸۷۹
بدون همباران	۸۳/۴	۲۹۹/۲۶۶	۰/۵۹۸	۰/۴۴۹	۰/۹۸۲
بدون متغیّرجاده	۸۰/۳	۲۳۷/۸۷۹	۰/۵۷۶	۰/۴۳۲	۰/۹۵۶
بدون لیتولوژی	۸۳/۱	۲۳۶/۶۱۴	۰/۵۸۰	۰/۴۳۵	۰/۹۶۵
بدون کاربری اراضی	۷۷/۶	۲۶۴/۱۹۸	۰/۵۰۴	۰/۳۷۸	۰/۹۰۲
بدون جهت شیب	۷۷/۶	۲۹۴/۱۹۸	۰/۵۰۴	۰/۳۷۸	۰/۹۱۳
بدون فاصله از شبکه‌ی زهکشی	۸۱	۲۵۹/۰۸۵	۰/۵۱۹	۰/۳۸۹	۰/۹۳۸
بدون گسل	۷۵/۲	۲۹۲/۷۵۹	۰/۴۱۹	۰/۳۱۴	۰/۹۱۸

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱۲: نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش شهرستان بیجار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۳: محدوده‌ی احتمال وقوع، تعداد زمین‌لغزش‌ها و پیکسل‌ها به تفکیک هر یک از کلاس‌ها

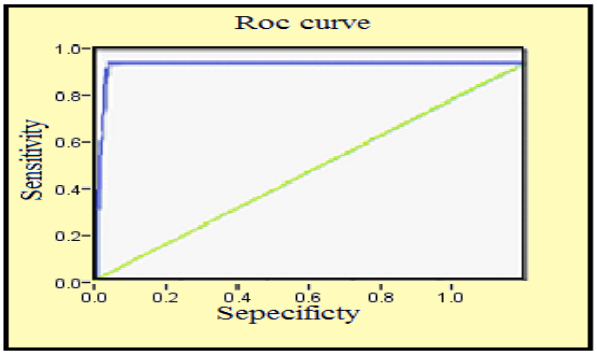
کلاس خطر	محدوده‌ی احتمال وقوع	تعداد زمین‌لغزش	تعداد پیکسل
بسیار پایین	۰/۰۰۰۰ -۰/۱۹۹۵	۷۰	۵۶۹۰۰
پایین	۰/۱۹۹۵ – ۰/۳۹۹۰	۲۵	۷۵۶۴
متوسط	۰/۳۹۹۰ – ۰/۵۹۸۵	۱۰	۲۷۳۵
زیاد	۰/۵۹۸۵ – ۰/۷۹۷۹	۱۲	۳۰۶۲
بسیار زیاد	۰/۷۹۷۹ -۰/۹۹۷۴	۲۷	۵۱۱۴
جمع کل	-	۱۴۴	۷۵۳۷۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

- ارزیابی صحت مدل آماری رگرسیون لجستیک

برای ارزیابی مدل آماری از شاخص‌های PCPT، 2LL- و شاخص ROC[1] استفاده شد. با رجوع به جدول شماره ۲ که اعتبار سنجی مدل آماری را نشان می‌دهد مشخص شد که مقادیرPCPT، 2LL- و شاخص ROC با وجود همه‌ی متغیّرهای مستقل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها به ترتیب دارای بیشترین (۸۳/۴)، کمترین (۲۲۹/۲۲۶) و بیشترین (۹۸/۵درصد) مقادیر نسبت به حذف تک‌تک متغیّرهای مستقل بوده است. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه‌ی خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست *(Swets, 1988: 1293)*.

منحنی ROC میزان دقت مدل را به صورت کمّی نیز نشان می‌دهد. سطح زیرمنحنی ROC(AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم تخمین آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵-۱ است *(پورقاسمی، ۱۳۸۹: ۷۷)*. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی تخمین زند. مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد، بهترین دقت را از نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است: (۱ - ۰/۹، عالی؛ ۰/۹- ۰/۸، خیلی خوب؛ ۰/۸- ۰/۷، خوب؛ ۰/۷- ۰/۶، متوسط؛ و ۰/۶- ۰/۵، ضعیف) *(Yasilnssar, 2005: 423)*. شکل شماره ۱۳ بیانگر ارزیابی عالی مدل رگرسیون لجستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می باشد.



شکل ۱۳: شاخص ROC مدل با حضور تمامی متغیّرهای مستقل

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

1-Receiver operating characteristic (ROC)

جدول۴: ارزیابی صحت مدل بر اساس منحنیROC با حضور تمامی متغیّرهای مستقل

ضریب معنی‌داری در اعتماد آماری ۹۵٪		ضریب معنی‌داری	انحراف معیار	مساحت زیرمنحنی
حد بالا	حد پایین			
۱/۰۰۰	۰/۹۶۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۹۸۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

ارزیابی نقشه‌ی خطر پهنه‌بندی زمین‌لغزش با شاخص SCAI[1]

نتایج ارزیابی نقشه‌ی خطر پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از شاخص SCAI در (جدول ۴) نشان داده شده است. شاخص SCAI در واقع نسبت درصد مساحت هر یک از کلاس‌های پهنه‌بندی خطرلغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر کلاس است.

روش مذکور دقت را به صورت کیفی ارائه می‌کند و بیانگر صحت یا سقم نقشه پهنه‌بندی لغزش با توجه به مقدار SCAI است (منظور از صحت یعنی کاهش مقدار SCAI از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر زیاد است). ارزیابی دقت در جدول ۵ نشان می‌دهد که با پیش رفتن هر چه بیشتر از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر خیلی زیاد، مقدار SCAI کاهش می‌یابد.

جدول ۴: ارزیابی نقشه خطر زمین‌لغزش منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از شاخص SCAI

کلاس حساسیت	درصد مساحت	درصد زمین‌لغزش	شاخص SCAI
بسیار پایین	۷۵/۴۸۹	۴۸/۶۱۱	۱/۵۵۲
پایین	۱۰/۰۳۷	۱۷/۳۶۱	۰/۵۷۸
متوسط	۳/۶۲۸	۶/۹۴۴	۰/۵۲۲
زیاد	۴/۰۶۲	۸/۳۳۳	۰/۴۸۷
بسیار زیاد	۶/۷۸۴	۱۸/۷۵۱	۰/۳۶۱
جمع کل	٪۱۰۰	۱۰۰	-

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نتیجه

با توجه به نتایج جدول ۱ مشخص می‌گردد که عوامل شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی، گسل و فاصله از شبکه زهکشی با دارا بودن ضرایب مثبت، همبستگی بیشتر و عوامل ارتفاع، لیتولوژی و فاصله از جاده با دارا بودن ضرایب منفی، همبستگی کمتر را نشان می‌دهند. در واقع ضرایب منفی نشان‌دهنده‌ی عدم همبستگی نمی‌باشد بلکه به معنای همبستگی ضعیف‌تر نسبت به سایر عوامل دیگر است. بر این اساس به ترتیب اهمیت عوامل شیب، کاربری اراضی، جهت دامنه، فاصله از گسل، فاصله از شبکه‌ی زهکشی، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده و لیتولوژی بیشتر می‌باشند. بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه در دامنه‌های متشکل از مارن که رو به شمال هستند به خاطر برخورداری از رطوبت بیشتر، تعداد حرکت‌های توده‌ای بیشتر بوده و بیشترین وقوع زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های شمال‌غربی با تأثیر بیشتر و شیب‌های شمال‌شرقی با تأثیر کمتر را نیز می‌توان در وقوع زمین‌لغزش سهیم دانست. شیب‌های شرقی و جنوبی به علت دریافت تابش آفتاب در مدت زمان بیشتر، خشکتر بوده و پتانسیل کمتری را جهت وقوع زمین‌لغزش دارند و بیشترین فراوانی وقوع لغزش‌ها در کلاس‌های زراعت دیم، مرتع با تراکم ضعیف و مرتع با تراکم متوسط می‌باشد همچنین بیشترین فراوانی زمین‌لغزش‌ها در محدوده‌ی بارش ۳۲۰-۳۱۰ میلیمتر

1-The seed cell area index (SCAI)

و در سازندهای مستعد لغزش یعنی آهک، ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا و در کلاس شیب ۱۰-۰ می‌باشد.

گریگوریو همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه‌ی زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی کانزانس، شیب و لیتولوژی، چن و وانگ (۲۰۰۷) با مطالعه‌ی دره مکنزی کانادا شیب و زمین-شناسی، داس و همکاران (۲۰۱۰) در هیمالایای شمالی (هند) شیب و دخالت انسان با تغییر کاربری اراضی، پرادهان و لی (۲۰۱۰) با مطالعه‌ی دره کلانک مالزی، بارندگی، زمین‌شناسی و شیب، اتکینسون و ماساری (۲۰۱۱) با مطالعه‌ی کوه‌های مرکزی ایتالیا زمین‌شناسی، شکل و جهت شیب، یالسین و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه در ترابزون ترکیه زمین‌شناسی، ارتفاع، جاده، کاربری اراضی، را مهمترین عوامل در وقوع لغزش معرفی کردند.بالا بودن مقدار شاخص ROC و نزدیک بودن آن به عدد یک نشان‌دهنده‌ی آن است که زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد و ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با شاخص SCAI نشان داد که همبستگی بالایی بین نقشه خطر تهیه شده با نقاط لغزشی موجود و بازدیدهای صحرایی منطقه وجود دارد،که با دیدگاه کینسال[1](۲۰۰۹) مبنی بر کاهش SCAI به ویژه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد مطابقت دارد و نشان‌دهنده‌ی همبستگی بالای نقشه‌ی. خطر تهیه شده با نقاط لغزشی و بازدیدهای میدانی در منطقه است. در نهایت می‌توان گفت با توجه به ماهیّت حرکت‌های توده‌ای به‌خصوص زمین‌لغزش‌ها مدل آماری رگرسیون لجستیک مدلی مناسب جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (به ویزه در کنار خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی) در امر برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی می‌باشد به شمار می‌رود. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیر اصولی نقش مهمی را بر وقوع لغزش دارد،که جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه‌ها با توجه به شرایط حاکم بر منطقه لازم است از تغییر اکوسیستم و کاربری اراضی موجود اجتناب نموده و هرگونه سیاست‌گذاری به منظور احداث سازه‌ها باید متناسب با شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه باشد.

1-Kincal

منابع

- ارومیه‌ای علی؛ مهرداد صفایی (۱۳۷۷). کاربری زمین و تأثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها در نکارود، خلاصه گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بلادپس علی (۱۳۸۸). پژوهشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ماکو تا دشت بازرگان، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. دانشگاه تهران.
- پورقاسمی حمیدرضا (۱۳۸۹). پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. سال یکم. شماره نهم.
- حسین‌زاده محمدمهدی؛ محمدرضا ثروتی‌محمدرضا؛ عادل منصوری؛ بابک میرباقری؛ سعید خضری (۱۳۸۸). پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل‌رگرسیون‌لجستیک محدوده مسیرسنندج-دهگلان، فصلنامه زمین‌شناسی ایران. شماره ۱۱.
- خامه‌چیان، ماشاءالله؛ پرویز عبدالملکی (۱۳۸۴). به کارگیری تحلیل رگرسیون لجستیک برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه سفیدار گله، استان سمنان. مجله پژوهش های جغرافیایی. ش۶۲.
- شریعت‌جعفری، حسن (۱۳۷۷). زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه. تهران.
- شیرزادی، عطاءا.... (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از مدل منطقه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه مازندران.
- طرح جامع شهر بیجار (۱۳۸۶). شناخت وضع موجود مهندسین مشاور پرویس شهر معماری و شهرسازی، جلد اول.

- طلایی، رضا؛ سردار صمداف ضیاالدین شعاعی؛ محسن شریعت‌جعفری (۱۳۸۸). مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک در منطقه هشتجین (جنوب استان اردبیل) ششمین همایش‌زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه تربیت مدرس.
- عابدینی،موسی(۱۳۹۱).پهنه‌بندی خطروقوع‌زمین‌لغزش‌های حوضه گیوی‌چای بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، طرح پژوهشی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.
- عابدینی، موسی؛ حسن ستایش (۱۳۹۳) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، جغرافیا و برنامه‌ریزی: مطالعه موردی: آبخیز گلجه. شماره ۴۳.
- عابدینی، موسی (۱۳۹۳). پژوهشی کمّی در علل وقوع زمین‌لغزش‌های ارتفاعات غربی قره‌داغ (جنوب هادیشهر آذربایجان‌شرقی)،مجله جغرافیا و چشم‌انداز. شماره ۱۹.
- کرم، عبدالامیر؛ فرج ا... محمودی (۱۳۸۴). مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین خورده (حوضه‌ی آبریز سرخون، استان چهارمحال و بختیاری). پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۱.
- محمدی، مجید (۱۳۸۶). تحلیل حرکت‌های توده‌ای و ارائه مدل منطقه‌ای با استفاده ازGIS (مطالعه موردی بخشی از جاده هراز)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم‌دریایی.
- موسوی‌خطیر، زهره؛ عطاءا... کاویان؛ کریم سلیمانی (۱۳۸۹). تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش حوضه‌ی آبخیز سجارود با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. ش۱۴(۵۳).
- Atkinson, P., Massari, R (2011). Logistic modeling susceptibility to land sliding in the Apennines, Italy Geomorphology.Vol.130.
- Burton, I, Kates, R.W; 1964.the perception of natural hazard in resource management. Geomorphology, Vol.30.
- Chen, Zhaohua. Wang, Jinfei (2007). Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada. Geomorphology, Vol.42.
- Coates, D.R (1977). Landslide Perspectives, In: landslides, Coates (Ed.) Geological Society of America.
- Dai,F.C&Lee,C.F(2002).Landslide characteristics anslope instability modeling using GIS,Landau Island, Hong Kong, Geomorphology 31.
- Das,I.,Sahoo.S,Westen,A.Stein,A.Hack,A(2010). Lanslidesusceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along road section in the northern Himalayas (India). Geomorphology, Vol.1147.
- Gregory C.Ohlmacher, John C. Davis (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. Geomorphology,Vol 69.
- Kincal, C., Akuna, A. and Koca, M.Y (2009). Landslide Susceptibility Assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) City Center and Its Near Vicinity by the Logistic Regression Method. *Environmental Earth Science*, Doe: 10.1007/s 12665-009-0070-0.
- Lydia Elena Espizuajorge Daniel Bengochea (2002). Land slide Hazard and Risk Zonation Mapping in the Rio Grande Basin, central Andes of Mendoza, Argentina, Mountain Research and Development,Vol.22, No2.
- Parthian,B.,Lee,S(2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: bad propagation artificial neural networks and comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. Geomorphology, Vol. 25.
- Sweets, J.A (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. Science, 240.
- Yalcin, A. Reis, S. Aydinoglu, AA. Yomralioglu, T.2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Geomorphology, Vole 85.
- Yesilnacar, E. K (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. PhD Thesis, Department of Geometrics the University of Melbourne.