نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، تابستان ۱۳۹٤، صفحات ۲۲۷-۲۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۷/۲۰

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

موسی عابدینی[۱]
بهاره قاسمیان[۲]

چکیده

زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ای مخاطرات مهمی برای فعالیت‌های انسانی هستند که اغلب سبب از دست رفتن منابع اقتصادی و 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 تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) می‌باشد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از بازدیدهای میدانی، پرسشنامه‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و مرور مطالعات انجام شده، ۹ عامل مؤثر شامل متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر خطی گسل، جاده، رودخانه، بارندگی و کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت، در مرحله بعد با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی عوامل مورد بررسی در مرحله پیشین به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است محاسبه شده است. با توجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هریک از عوامل گردیده است. نتایج حاصل از این بررسی نشانگر این است که عامل شیب با وزن نسبی ۳۰۷/ ۰ و عامل کاربری اراضی با وزن نسبی ۰/۲۱۸

۱ـ استادیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشگاه محقق اردبیلی. Email:musaabedini@yahoo.com
۲ـ دانشجوی کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشگاه محقق اردبیلی.

به ترتیب بیش‌ترین تأثیر و عامل بارندگی با وزن نسبی ۰/۰۱۹ کمترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌ها در شهرستان بیجار داشته است 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.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر، زمین‌لغزش، تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، شهرستان بیجار.

مقدمه

کشور ما ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها داراست (نیک‌اندیش، ۱۳۷۸: ۱۲۱). این حرکات تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهند که شناخت این عوامل در بررسی پتانسیل، پیش‌بینی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش نقش اساسی دارد. شهرستان بیجار به دلیل ویژگی‌های کوهستانی و توپوگرافی (ارتفاع و شیب زیاد) و جنس سازندها که مستعد پدیده زمین‌لغزش هستند و قرارگرفتن در مسیر توده‌های هوای مرطوب و دریافت نزولات جوی مورد نیاز، از این امر مستثنی نبوده و زمین لغزش‌هایی رخ می‌دهند که اگر به‌موقع شناسایی و مدیریت نشوند برای مردم و حوضه‌نشینان صدمات جبران ناپذیری را ایجاد می‌کنند. متأسفانه به‌نظر می‌رسد قبل از انجام فعالیت‌های عمرانی و توسعه‌ای، هیچ‌گونه طرح آمایشی از جمله پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی در منطقه صورت نگرفته است بر این اساس و بر اساس مدیریت کامل بر منابع طبیعی ارائه تحقیقاتی در زمینه پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد و انتظار می‌رود که نتایج تحقیق بتواند در مکان‌یابی مناسب و بهینه جهت اجرای طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار گیرد. در مورد پهنه‌بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تاکنون کارها و بررسی‌های زیادی در سراسر جهان انجام شده است. از جمله (هونگ‌وو و چین‌چن[۳]، ۲۰۰۹) در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مرکز تایوان به این نتیجه

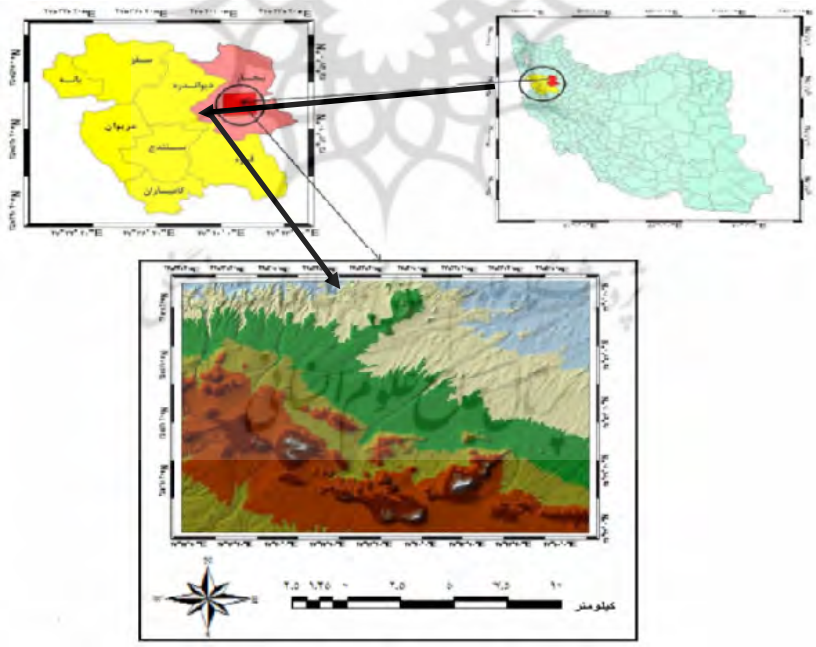
1- Hung wu and Chin Chen

رسیدند که بارش، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، جاده و ریزش تاریخی کوه مهم‌ترین عوامل ایجاد زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند. هم‌چنین (یالسین[۴] و همکاران، ۲۰۱۱) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS در ترابزون ترکیه به این نتیجه رسیدند که زمین‌شناسی، ارتفاع، فاصله از جاده و تغییر کاربری اراضی به عنوان پارامترهای مهم وقوع زمین‌لغزش در منطقه می‌باشند. وقوع زمین‌لغزش در سه کلاس با درصد بالا، پایین و بسیار پایین می‌باشد در ایران نیز (مرادی و همکاران، ۱۳۸۸) با تحلیل برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش AHP در بخشی از جاده هراز به این نتیجه رسیدند که سه عامل واحدهای زمین‌شناسی، فاصله از جاده و شیب به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه داشته‌اند، در حالی که دو عامل گسل و بارش کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه به خود اختصاص داده است (عظیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). با ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز اهر چای به این نتیجه رسیدند که عامل زمین‌شناسی بیش‌ترین وزن (نقش) و عامل انسانی کاهش وزن را داشته‌اند و عواملی نظیر سنگ‌شناسی، شیب، گسل، جهت دامنه‌ها، ارتفاع، نوع کاربری، و فاصله از جاده‌ها به‌ترتیب اولویت به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در پهنه‌بندی لغزش مورد مطالعه قرار گرفـته‌اند سپس نقشه خطر زمین‌لغزش در سه کلاس زیاد، متوسط و کم تهیه شد. هم‌چنین (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۸۹) در پژوهشی دیگر تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP حوضه آبخیز چلاوآمل به این نتیجه رسیدند که تأثیر زمین‌شناسی از سایر عوامل در منطقه بیش‌تر بوده و بعد از آن به ترتیب عوامل خاک‌شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع می‌باشند. هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده زمین‌لغزش و ارزیابی مناطق دارای پتانسیل لغزش جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های شهرستان بیجار با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ارائه راهکارهای لازم جهت برنامه‌ریزی بـهینه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش سلسله مراتبی روشی جهت تعیین اهمیت و تقدم معیارها در فرآیند تحلیل و ارزیابی است (قدسی‌پور، ۱۳۸۵: ۵).

2- Yalcin

موقعیت جغرافیایی شهرستان بیجار

شهرستان بیجار با وسعتی معادل ۵۹۸/۰۵ کیلومتر و محیطی معادل ۹۸/۵۷ کیلومترمربع یکی از شهرستان‌های استان کردستان می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی استان کردستان در فاصله 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). این منطقه از شمال به آذربایجان غربی، از غرب به دیواندره و سنندج، از جنوب به قروه و دهگلان، از شرق به استان‌های زنجان و همدان محدود می‌باشد. طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن بیجار جزو اقلیم D یعنی سرد و در طبقه‌بندی به‌روش گوسن جزو اقلیم استپی سرد و به‌روش آمبرژه جزو اقلیم فوقانی سرد می‌باشد از نظر دمایی طبق روش تورنت‌وایت در مرز اقلیمی مزوترمال (میانه دما) قرار دارد (طرح جامع شهرستان بیجار، ۱۳۸۶: ۳۲).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهرستان بیجار)

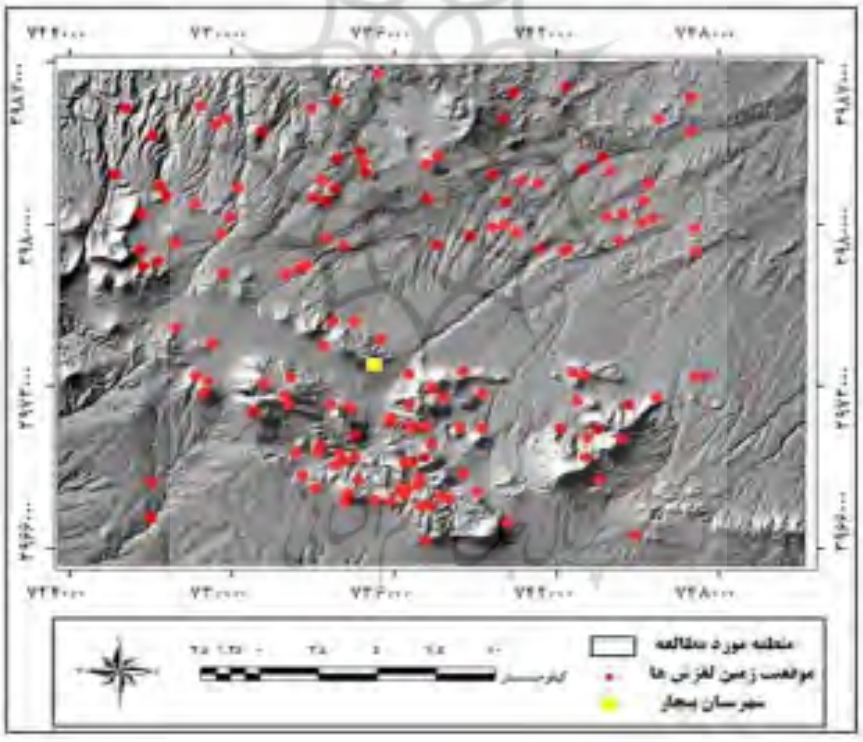
مواد و روش‌ها

جهت مطالعه 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 هر یک از زمین‌لغزش‌ها (طول، ارتفاع، موقعیت، مساحت) با بهره‌گیری از GPS و استفاده از ARC GIS جهت رقومی کردن آن‌ها ۳- تهیه نقشه پراکنش لغزش‌های موجود با استفاده از داده‌ها و پرسشنامه‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و به روز نمودن آن از طریق بررسی‌های میدانی و تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر در وقوع پدیده زمین‌لغزش، شامل نقشه‌های عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از گسل و نقشه همباران ۴- استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی شده شامل (خطوط توپوگرافی، راه‌ها، چشمه‌ها) و نقشه 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- نهایتاً ترسیم نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش درمنطقه مورد مطالعه با استفاده از تلفیق نه لایه مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها. جهت پهنه‌بندی نقشه خطر زمین‌لغزش به هر کدام از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش بر اساس نقش آن‌ها وزنی اختصاص می‌یابد که در نهایت ضرایبی به‌دست می‌آید و بر اساس آن مدل نهایی تهیه می‌شود در واقع این روش بر پایه مقایسه زوجی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌ها و زیرعامل‌های مربوط به عوامل اصلی استوار بوده، ابتدا با وزن‌دهی به تک تک عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها برای پهنه‌بندی و سپس امتیازدهی به هر کدام از کلاس‌های مربوط از عوامل ضرایبی به دست می‌آید که بر اساس آن مدل نهایی را ارائه می‌شود (احمدی، ۱۳۸۵، ۹۱). در فرآیند پهنه‌بندی منطقه می‌بایست معیارهای مختلفی مورد ملاحظه قرار گیرد، بنابراین کاربرد روش‌هایی که قادر به تأمین معیارهای مورد نظر باشند ضروری است. بدین منظور در این پژوهش ابزار GIS و مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP مورد استفاده قرار گرفته است.

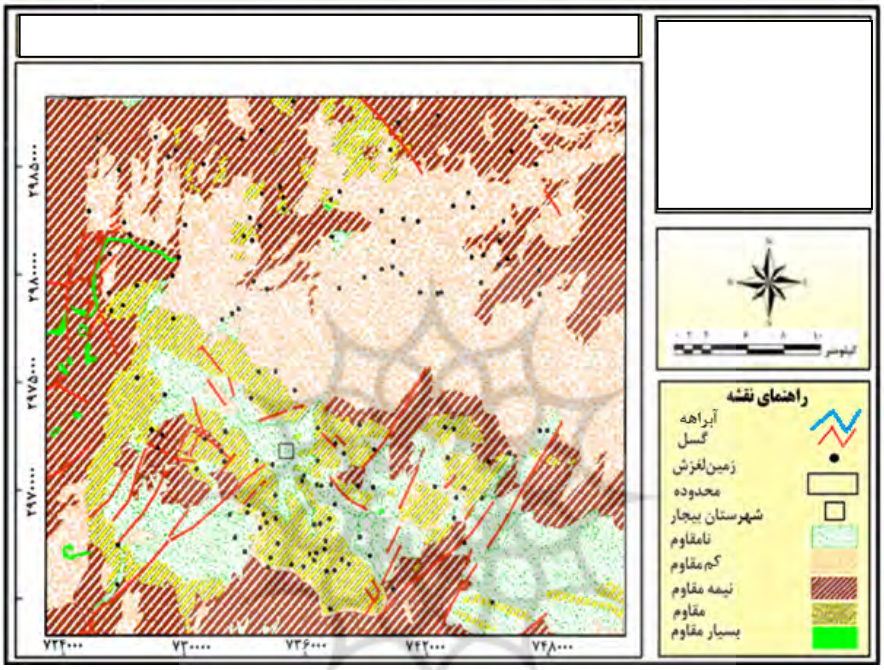
نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

با استفاده از داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و تفسیر عکس‌های هوایی منطقه، مناطق مستعد به وقوع لغزش شناسایی شدند و مناطقی را که مورفولوژی آن‌ها نشان‌دهنده زمین‌لغزش بود علامت‌گذاری شده تا در منطقه مورد بازبینی قرار گیرند، سپس با بازدیدهای منطقه‌ای و بررسی‌های میدانی و ثبت مشخصات (طول، عرض، موقعیت، مساحت) هر یک از لغزش‌ها با بهره‌گیری از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و استفاده از GIS جهت رقومی کردن آن‌ها نقشه پراکنش لغزش‌ها به‌عنوان یک لایه جهت تلفیق با لایه‌های دیگر آماده شد (شکل ۲).



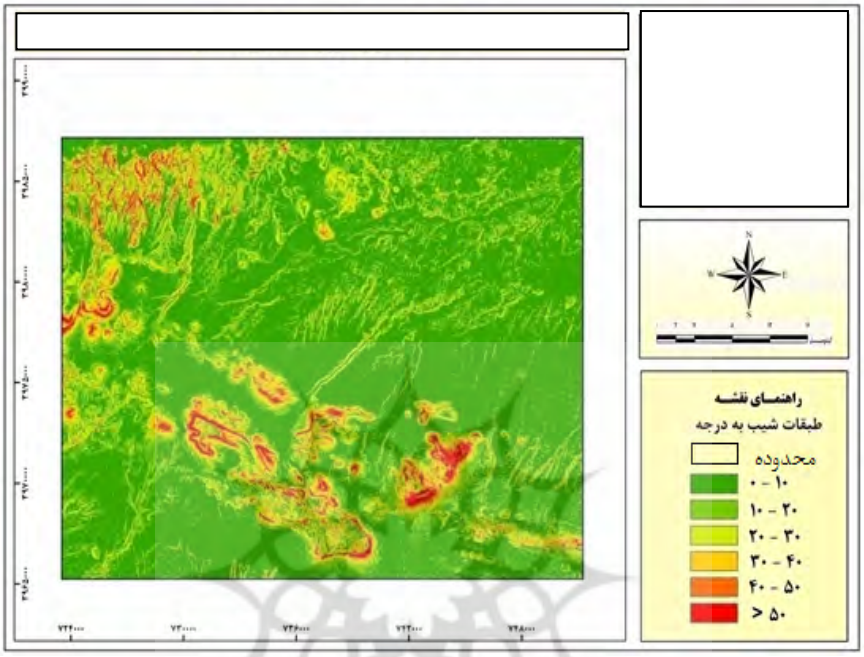
شکل (۲) نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در شهرستان بیجار

نقشه‌های عوامل مؤثر



شکل (۳) پراکنش گسل‌ها، آبراهه‌ها و زمین‌لغزش‌ها در سازندهای مختلف از لحاظ لیتولوژی

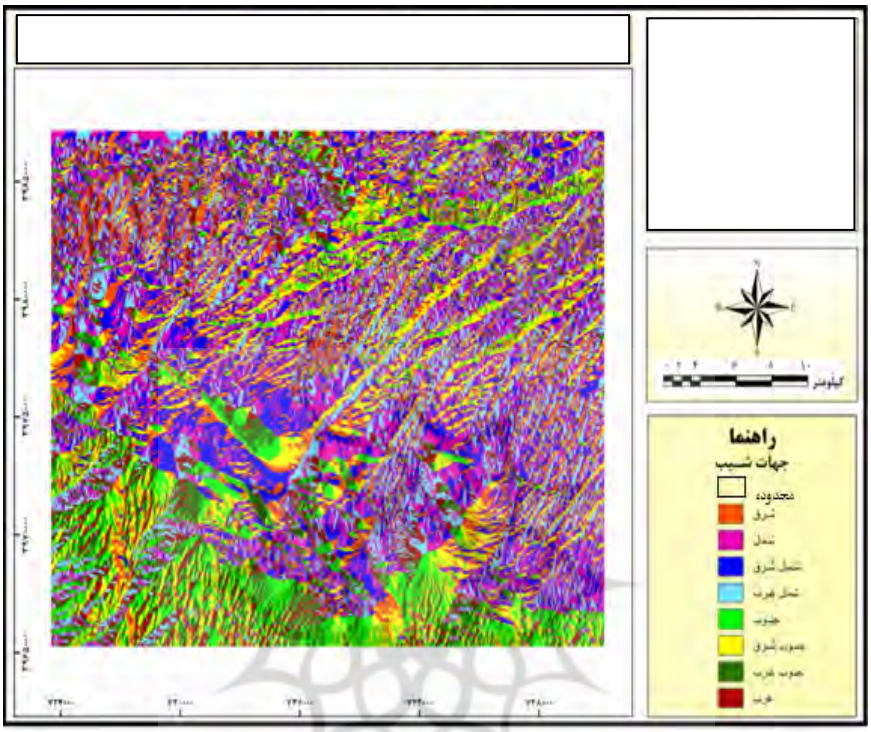
نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در منطقه مورد مطالعه شامل ارتفاع از سطح دریا، فاصله از گسل، درجه شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه زهکشی و نقشه همباران توسط نرم‌افزار ARC GIS 10 تهیه و مورد پردازش قرار گرفتند و به منظور کمی‌کردن عوامل با توجه به قابلیت‌های مربوط به هر نقشه به چند کلاس طبقه‌بندی شدند که در برگیرنده نقشه‌های زیر می‌باشند (اشکال ۴ الی ۱۲).



شکل (٤) نقشه شیب شهرستان بیجار

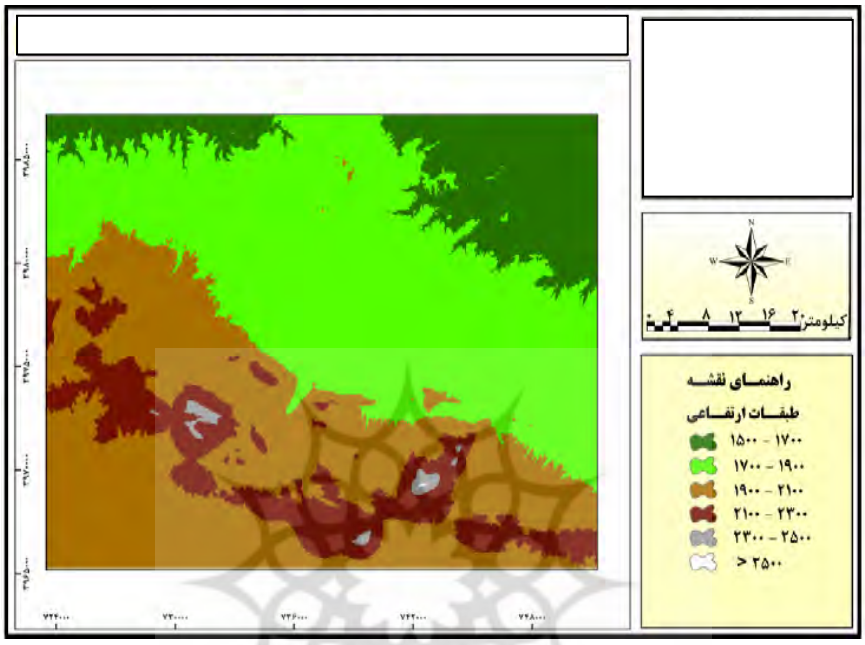
عامل درجه شیب: نقشه شیب در محیط Arc map، از روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[5] ساخته شده. سپس با دستور Reclassify در۶ رده طبقه‌بندی گردید. مبنای این محاسبات به درجه می‌باشد. حداقل و حداکثر شیب منطقه مورد مطالعه بین ۱۰– ۰ و ۵۰< درجه واقع شده است. در منطقه مورد مطالعه به طور کلی تا شیب ۳۰ درجه با افزایش شیب تعداد - لغزش‌ها زیاد شده و از شیب ۳۰ درجه به بالا از تعداد آن کاسته شده است (شکل ۴)، که این مسئله با سخت شدن جنس سازند و کاهش رتبه 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 زمین‌لغزش‌ها نیز کاسته می‌شود. با بررسی‌های انجام شده در منطقه این عامل مهم‌ترین عامل در منطقه مطالعاتی شناخته شد.

3- Digital elevation model



شکل (۵) نقشه جهت شیب شهرستان بیجار

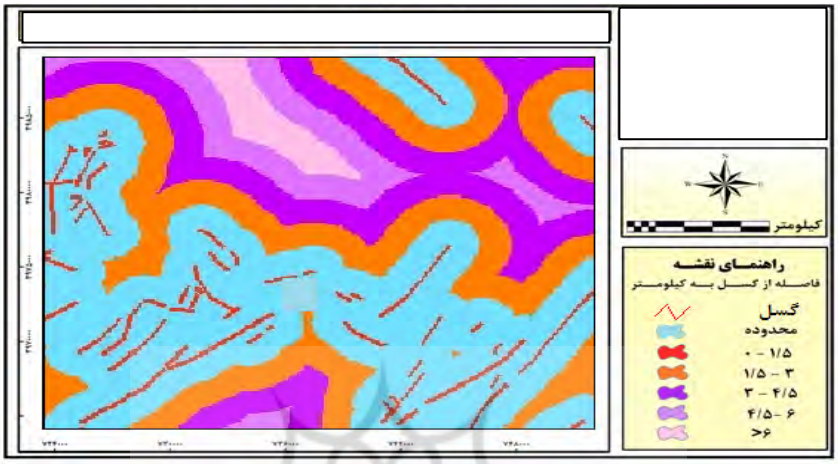
جهت شیب: در این پژوهش نقشه جهات با استفاده از تحلیل‌گر (GIS) از روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) با استفاده از گزینه Surface analysis را از منوی 3D Analysis انتخاب کرده و گزینه aspect را اجرا می‌کنیم تا نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه در ۸ جهت که شامل جهت‌های شمال، جنوب، شرق، غرب، شمال‌غرب، شمال‌شرق، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق ترسیم شود (شکل ۵). بر این اساس بیش‌ترین پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه در جهت شمال شرق و کم‌ترین آن در جهت جنوب غرب واقع شده است.



شکل (٦) نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان بیجار

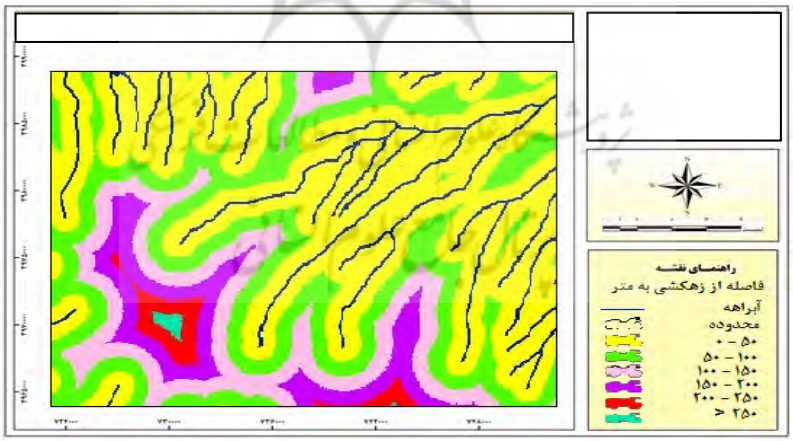
طبقات ارتفاعی: حداکثر ارتفاع در منطقه مورد مطالعه ۲۵۵۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۵۸۰ متر می‌باشد، در نتیجه اختلاف ارتفاع کلی منطقه ۹۷۰ متر خواهد بود برای این منظور نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در شش کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۶). بر این اساس بیش‌ترین درصد پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه در طبقات ۱۹۰۰ – ۱۷۰۰ و ۲۱۰۰ – ۱۹۰۰ متر و کم‌ترین آن در طبقات ۲۵۰۰ – ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰< متر واقع شده است.

گسل: برای تهیه این لایه اطلاعاتی، ابتدا خطوط مربوط به گسل‌های منطقه از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ شهرستان بیجار استخراج گردید که پس از رقومی‌سازی، لایه رستری فاصله از گسل تهیه و در ۵ طبقه وارد مدل شد. 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 ۷).



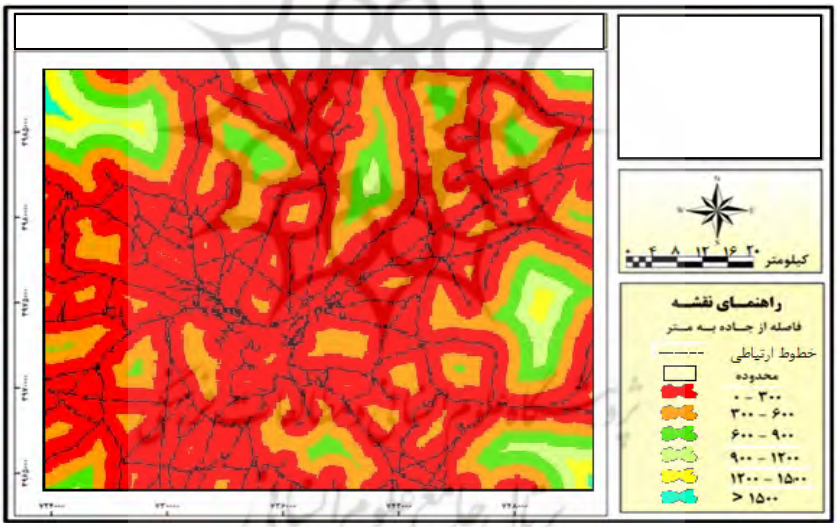
شکل (۷) نقشه گسل شهرستان بیجار

فاصله از شبکه زهکشی: این لایه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با پیکسل سایز ۱۰ متر تهیه گردید (شکل ۸). لایه مورد نظر در شش طبقه ترسیم شده است که بیش‌ترین درصد فراوانی وقوع لغزش‌ها در طبقه ۱۰۰ – ۵۰ متر و کم‌ترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۲۵۰ – ۲۰۰ متر و بیش‌تر از ۲۵۰ متر می‌باشد.



شکل (۸) نقشه فاصله از شبکه زهکش شهرستان بیجار

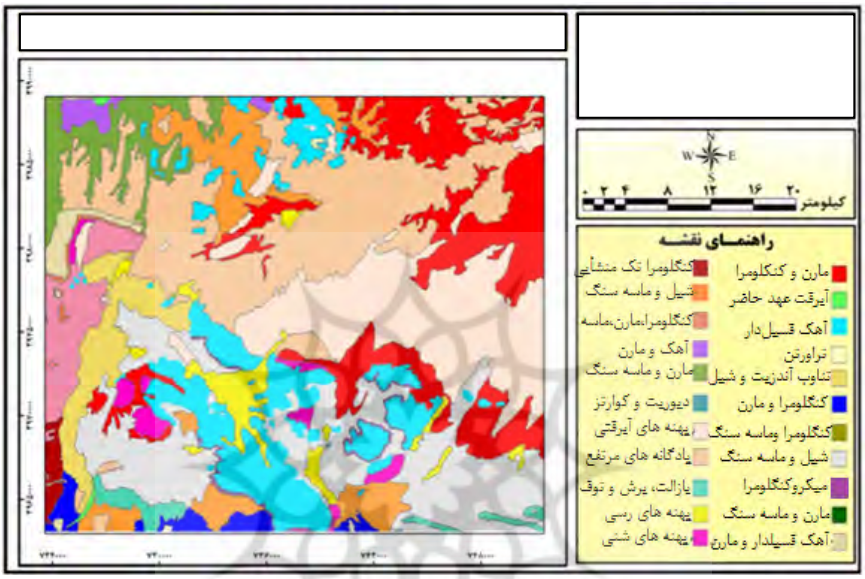
فاصله از جاده: لایه مربوطه از روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه، سپس وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شده و رقومی گردید، سپس به منظور تعیین فاصله آن‌ها با پهنه‌های لغزشی با فواصل ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و بیش‌تر از ۱۵۰۰ بافر تهیه شد و برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی آماده شد (شکل ۹) بر این اساس بیش‌ترین درصد فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۳۰۰ – ۰ متر و کم‌ترین درصد فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۱۵۰۰ – ۱۲۰۰ متر و ۱۵۰۰< می‌باشد). در نتیجه می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه جاده نیز در ایجاد حرکات توده‌ای نقش داشته است به‌طوری که هر چه 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 (۹) نقشه فاصله از جاده شهرستان بیجار

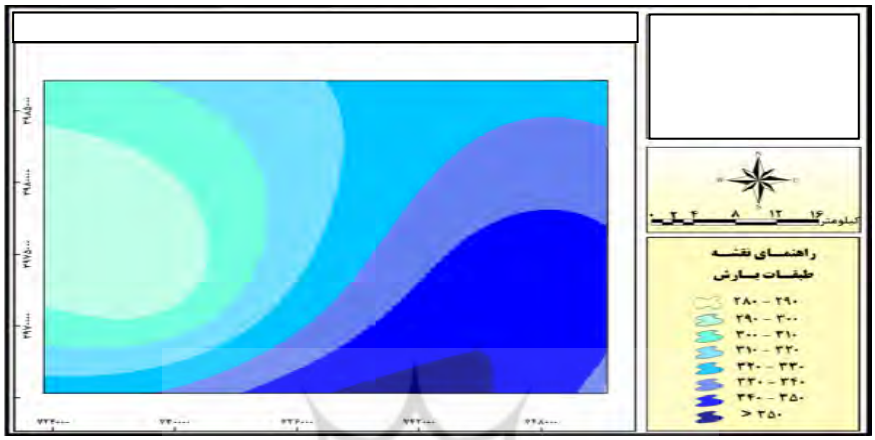
زمین‌شناسی: عامل زمین‌شناسی به‌عنوان یکی از پارامترها در ایجاد زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌رود. زیرا زمین‌شناسی و ساختار متنوع آن باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و هم‌چنین تنوع در بافت خاک می‌شود (Ayalew & Yamahishi, 2005: 439). جهت

استخراج این لایه، از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردیده است که پس از رقومی‌سازی و کلاس‌بندی در مدل مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۰).



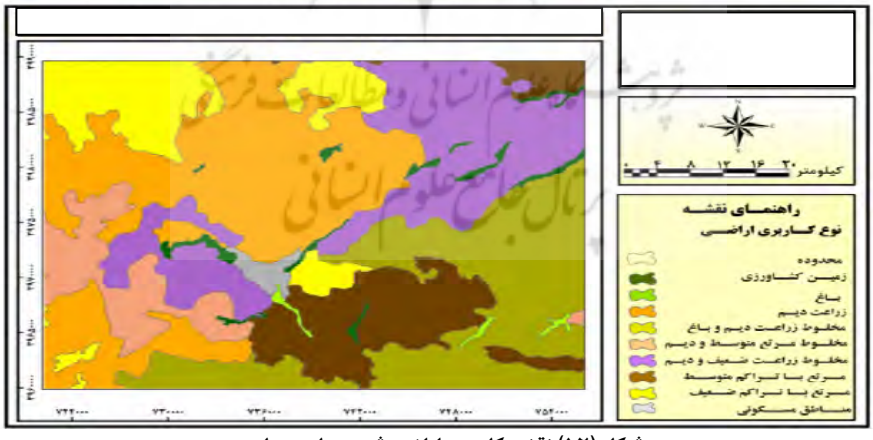
شکل (۱۰) نقشه زمین‌شناسی شهرستان بیجار

همباران: نقشه همباران منطقه مورد مطالعه در هفت طبقه ترسیم شده است (شکل ۱۱). 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. بدین سبب بارش به تنهایی نمی‌تواند عامل وقوع زمین‌لغزش محسوب گردد. همان‌طور که شکل ۱۱ نشان داده شـده است، بیش‌ترین درصد وقوع زمین‌لغزش‌ها در طبقه ۳۲۰ – ۳۱۰ و کم‌ترین فراوانی وقوع زمین‌لغزش در طبقه ۳۵۰ – ۳۴۰ می‌باشد.



شکل (۱۱) نقشه همباران شهرستان بیجار

کاربری اراضی: در این پژوهش لایه 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 (شکل ۱۲). نه نوع کاربری ۱- زمین کشاورزی 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 ۹- مناطق مسکونی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد.



شکل (۱۲) نقشه کاربری اراضی شهرستان بیجار

یافته‌ها و بحث

با توجه بـه متفاوت بـودن درجه اهمیت عوامل مؤثر در ایـجاد لغزش‌ها، شناسایـی و اولویت‌بندی درست عوامل نیز الزامی است که بخشی از این کارتوسط پرسشنامه و بخش دیگربا مقایسه تک‌تک عوامل با یکدیگر انجام می‌گیرد بنابر این با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند درصد سطح لغزش یافته مربوط به هر کلاس عوامل و نحوه پراکنش زمین‌لغزش‌های هر کلاس (پراکنده یا تجمع) و با توجه به بررسی‌های صحرایی، مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه به‌ترتیب اولویت به‌صورت زیر شناسایی شدند: ۱- شیب ۲- کاربری اراضی ۳- جهت دامنه ۴- فاصله از گسل ۵- فاصله از شبکه زهکش ۶- طبقات ارتفاعی ۷- فاصله از جاده ۸- زمین‌شناسی ۹- بارش.

ابتدا به‌منظور تعیین ارجعیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (از نظر کارشناسی) استفاده می‌شود به طوری که ارجحیت یک عامل نسبت به عوامل دیگر به صورت (جدول ۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) مقادیر ترجیحات یا قضاوت شفاهی در سیستم نه‌تایی جهت مقایسه زوجی

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	معادل لاتین	مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	معادل لاتین	مقدار عددی
کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر	Moderately preferred	۳	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	Extremely preferred	۹
اهمیت با مطلوبیت یکسان	Equally preferred	۱	اهمیت با مطلوبیت خیلی قوی	preferred Very strongly	۷
اولویت‌های بین عوامل	-	۲-۴-۶-۸	اهمیت با مطلوبیت قوی	preferred Strongly	۵

در سطح اول جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان بیجار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مؤلفه‌ها و اجزای مؤثر در لغزش در این پژوهش به ۵ عامل اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۲).

جدول (۲) سلسله مراتب تصمیم‌گیری در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

مورفولوژی	ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب
عوامل انسانی	کاربری اراضی، فاصله از جاده
هیدرولوژی	فاصله از رود
زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی، فاصله از گسل
اقلیمی	بارندگی

پس از تشکیل جدول فوق، برای انجام مقایسه ماتریسی به ابعاد ۵×۵ ایجاد می‌شود. سپس عوامل مختلف دوتایی با هم مقایسه می‌شوند و مقادیر مربوط به آن‌ها اختصاص می‌یابد (جدول۳).

جدول (۳) ماتریس سطح ۱

	مورفولوژی	انسانی	هیدرولوژی	زمین‌شناسی	اقلیمی
مورفولوژی	۱	۳	۵	۷	۹
انسانی	۱/۳	۱	۳	۵	۷
هیدرولوژی	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۵
اقلیمی	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳
زمین‌شناسی	۱/۹	۱/۷	۱،۵	۱/۳	۱
مجموع	۱،۷۵	۴،۶۴	۹،۵	۱۶،۳	۲۵

برای محاسبه مقادیر و بردار ویژه ستون‌ها با هم جمع شده، هر سلول ماتریس بر جمع ستون مربوط تقسیم می‌شود که این عمل جهت نرمال کردن ماتریس انجام می‌گیرد. در مرحله‌ی بعدی محاسبه میانگین سطرهای ماتریس است که از آن به‌عنوان وزن نسبی در این سطح استفاده می‌شود سپس در مرحله بعدی محاسبه میانگین سطرهای ماتریس محاسبه می‌شود که از آن به‌عنوان وزن نسبی در این سطح استفاده می‌شود (جدول ۴).

جدول (٤) محاسبه وزن نسبی عوامل سطح

	مورفولوژی	انسانی	هیدرولوژی	زمین‌شناسی	اقلیمی	وزن نسبی
مورفولوژی	۰/۵۷۱	۰/۶۴۶	۰/۵۲۶	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۵۰۴
انسانی	۰/۱۹۰	۰/۲۱۵	۰/۳۱۵	۰/۳۰۶	۰/۲۸	۰/۲۶۱
هیدرولوژی	۰/۱۱۴	۰/۷۱۸	۰/۱۰۵	۰/۱۸۴	۰/۲	۰/۲۶۴
اقلیمی	۰/۰۸۱	۰/۰۴۳	۰/۰۳۵	۰/۰۶۱	۰/۱۲	۰/۰۶۸
زمین‌شناسی	۰/۰۶۳	۰/۰۳۰	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۴	۰/۰۳۴

که وزن معیار برای عوامل اقلیمی ۰/۵۰۴، عوامل انسانی ۰/۲۶۱، عوامل هیدرولوژی ۰/۲۶۴، عوامل اقلیمی ۰/۰۶۸، و عوامل زمین‌شناسی ۰/۰۳۴ محاسبه شده است. در مرحله بعد با توجه بـه عوامل مؤثر در زمین‌لغزش سطح ۲ همانـند مراحل قـبل با هم مـقایسه می‌شوند. ابتدا ماتریسی به ابعاد ۱۰ × ۱۰ ایجاد می‌شود. سپس عناصر مختلف ۲ تایی با هم مقایسه می‌شود و مقادیر مربوط به آن‌ها اختصاص می‌یابد (جدول ۵).

جدول (۵) مقایسه دو به دو عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

لایه‌ها	شیب	کاربری اراضی	جهت شیب	گسل	رودخانه	ارتفاع	لیتولوژی	جاده	باران
شیب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
کاربری اراضی	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
جهت شیب	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
گسل	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
رودخانه	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵
ارتفاع	۰/۱۶۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴
لیتولوژی	۰/۱۴	۰/۱۶۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳
جاده	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
باران	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱
مجموع	۲/۸۲۵	۴/۷۱۴	۷/۵۸۹	۱۱/۴۴۹	۱۶/۲۸۳	۲۲/۰۸۳	۲۸/۸۳۳	۳۶/۵	۴۵

برای محاسبه مقادیر و بردار ویژه، ستون‌ها با هم جمع و هر سلول ماتریس بر جمع ستون مربوط بر جمع ستون مربوط تقسیم می‌شود که این عمل جهت نرمال کردن ماتریس انجام می‌گیرد وزن نهایی هرکدام از معیارها در منطقه مورد مطالعه در جدول شماره ۶ آورده شده است.

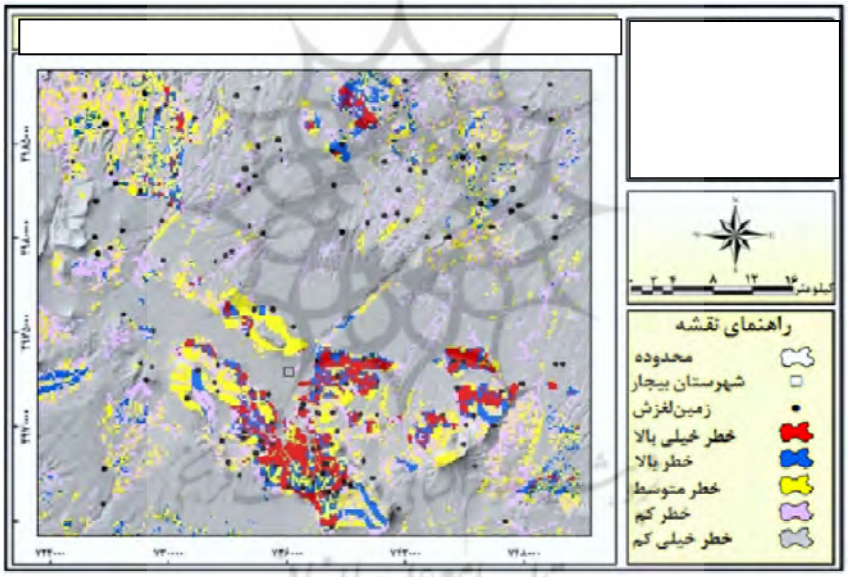
جدول (٦) وزن عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

عوامل	شیب	کاربری اراضی	جهت شیب	گسل	رودخانه	ارتفاع	لیتولوژی	جاده	باران	جمع	وزن نسبی
شیب	۰/۳۵۴	۰/۴۲۴	۰/۳۹۵	۰/۳۴۹	۰/۳۰۷	۰/۲۷۱	۰/۲۴۲	۰/۲۱۹	۰/۲	۲/۷۶۳	۰/۳۰۷
کاربری اراضی	۰/۱۷۷	۰/۲۱۲	۰/۲۶۳	۰/۲۶۲	۰/۲۴۵	۰/۲۲۶	۰/۲۰۸	۰/۱۹۱	۰/۱۷۷	۱/۹۶۴	۰/۲۱۸
جهت شیب	۰/۱۱۷	۰/۱۰۶	۰/۱۳۱	۰/۱۷۴	۰/۱۸۴	۰/۱۸۱	۰/۱۷۳	۰/۱۶۴	۰/۱۵۵	۱/۳۸۹	۰/۱۵۴
گسل	۰/۰۸۸	۰/۰۷۰	۰/۰۶۵	۰/۰۸۷	۰/۱۲۲	۰/۱۳۵	۰/۱۳۸	۰/۱۳۶	۰/۱۳۳	۰/۹۸۰	۰/۱۰۹
رودخانه	۰/۰۷۱	۰/۰۵۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۶۱	۰/۰۹۱	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۱	۰/۰۶۸	۰/۰۷۶
ارتفاع	۰/۰۵۹	۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۶۹	۰/۰۸۲	۰/۰۸۹	۰/۰۴۷	۰/۰۵۳
لیتولوژی	۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۰/۰۵۵	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳۷
جاده	۰/۰۴۴	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶
باران	۰/۰۳۹	۰/۰۳۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۹

ابتدا تمامی لایه‌هایی را که توسط مدل AHP وزن دهی شده را در محیط ARCGIS 10 به صورت رقومی درآورده سپس هر یک از لایه‌ها از حالت برداری به حالت رستر تبدیل شده، و از طریق ابزار Spatial analyst (تحلیل فضایی) با استفاده از دستور Reclassify لایه‌های مذبور را بر اساس وزن‌دهی به دست آمده طبقه‌بندی کرده و در نهایت با استفاده از ابزار Model bolder در محیط GIS عملیات وزن‌دهی و با استفاده از دستور Raster calculater هـمگی لایه‌ها را با هم جمع مـی‌بندیم. در نهایت نقشه پـهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به ۵ کلاس خطر خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد که به ترتیب ۷۵/۴۸۹، ۱۰/۰۳۷، ۳/۶۲۸، ۴/۰۶۲، ۶/۷۸۴ درصد از کل مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است (جدول ۷) (شل ۱۳). همان‌طور که در شکل ۱۳ قابل مشاهده است ابتدا با افزایش شیب و ارتفاع تراکم زمین‌لغزش‌ها زیاد شده و سپس کاهش پیدا کرده است. که این امر به‌دلیل قرارگیری سازندهای سخت در نواحی مرتفع منطقه بوده است. وجود نواحی پرخطر در نواحی پایین دست منطقه نیز به‌دلیل وجود عوامل شیب، تغییرات کاربری اراضی، رودخانه، و جنس سازند سست دانه بوده است.

جدول (۷) تعداد و درصد زمین‌لغزش‌ها به تفکیک هر یک از کلاس‌ها

کلاس خطر	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	تعداد پیکسل
بسیار پایین	۷۵/۴۸۹	۷۰	۵۶۹۰۰
پایین	۱۰/۰۳۷	۲۵	۷۵۶۴
متوسط	۳/۶۲۸	۱۰	۲۷۳۵
زیاد	۴/۰۶۲	۱۲	۳۰۶۲
بسیار زیاد	۶/۷۸۴	۲۷	۵۱۱۴
جمع کل	٪۱۰۰	۱۴۴	۷۵۳۷۵



شکل (۱۳) نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در شهرستان بیجار

نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه پهنه‌بندی به دست آمده، بر اساس نه عامل مؤثر بر زمین‌لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی سطوح با خطر بسیار زیاد تا بسیار کم شناسایی شدند. بر این اساس به ترتیب اهمیت عوامل شیب، کاربری اراضی، جهت دامنه، فاصله از گسل، فاصله از

شبکه زهکشی، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده و لیتولوژی می‌باشند. بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه 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 شمالی خواهد بود شیب‌های شمال‌غربی با تأثیر بیش‌تر و شیب‌های شمال‌شرقی با تأثیر کم‌تر را نیز می‌توان در وقوع زمین‌لغزش سهیم دانست. بعد از این گروه، شیب‌های غربی تعداد لغزش بیش‌تری را در خود دارند، 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 محدوده بارش ۳۲۰–۳۱۰ میلیمتر و در سازندهای مستعد لغزش یعنی آهک، ماسه سنگ، مارن، کنگلومرا و در کلاس شیب ۱۰–۰ می‌باشد. مناطق با خطر بسیار زیاد با تراکم ۶/۷۸۴ درصد مساحت نسبت به کل مساحت منطقه، محدوده با خطر زیاد ۴/۰۶۲ درصد مساحت، خطر متوسط ۳/۶۲۸ درصد از مساحت منطقه، محدوده با خطر کم ۱۰/۰۳۷ درصد از مساحت منطقه و خطر خیلی کم ۷۵/۴۸۹ درصد از مساحت شهرستان بیجار را در برمی‌گیرد. در نهایت می‌توان گفت با توجه به ماهیت حرکت‌های توده‌ای به خصوص زمین‌لغزش‌ها مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مدلی مناسب جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه (به‌ویژه در کنار خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی) در امر برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی می‌باشد به‌شمار می‌رود. به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیراصولی نقش مهمی را بر وقوع لغزش دارند.

منابع

- احمدی، امیر، (۱۳۸۵)، «بررسی نقش اقلیم در حرکات دامنه‌ای در ارتفاعات شمال خراسان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS جهت کنترل بلایای طبیعی در راهکارهای مقابله با آن»، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت معلم تهران.

- بهنیانفر، ابوالفضل و همکاران (۱۳۸۸)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه با استفاده از مدل AHP و احتمال مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه کنگ»، ***مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی***، سال نهم، شماره ۲۷، صفحه ۷۸ –۵۵.

- پناهنده، محمد و همکاران (۱۳۸۸)، «کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)»، ***فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران دوره دوم***، شماره چهارم، صفحه ۲۸۳– ۲۷۶.

- حاتمی‌فرد، رامین و همکاران (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد»، ***جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی***، دوره ۲۳، شماره ۳، صفحه ۶۰ – ۴۳.

- خسروزاده و همکاران (۱۳۸۷)، «مطالعه حرکت‌های توده‌ای از لحاظ شکل زمین، مطالعه موردی: سری ارزفون، صنایع کاغذ و چوب مازندران»، اولین کنفرانس بین‌المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری دانشگاه مازندران، بابلسر.

- طرح جامع شهر بیجار (۱۳۸۶)، «شناخت وضع موجود مهندسان مشاور پرویس شهر معماری و شهرسازی»، جلد اول، ۱–۲۶۲.

- عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق، حسن؛ دلال اوغلی، علی؛ ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۸)، «ارزیابی مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای)، ***مجله فضای جغرافیایی***، ش ۹(۲۶)، ص۸۷–۷۱.

- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۴)، «***ژئومورفولوژی ایران***»، تهران، چاپ سوم، نشر قومس، ۱–۳۶۰.

- قدسی‌پور (۱۳۷۹)، «***فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP***»، انتشارات دانشگاه امیرکبیر ۱–۲۲۴.

ـ کرم، عبدالامیر (۱۳۸۰)، «مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگروس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخون، استان چهار محال و بختیاری)»، رساله دکترای جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صفحه ۳۵۴.

ـ گرایی، پرویز (۱۳۸۵)، «بررسی حرکت‌های توده‌ای (زمین‌لغزش) به‌منظور ارائه مدل منطقه‌ای پهنه‌بندی خطر در حوضه آبخیز لاجیم رود»، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه مازندران، دانشکده منابع طبیعی ساری، صفحه ۱۲۱.

ـ مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ پورقاسمی، حمیدرضا، فیض‌نیا، سادات (۱۳۸۸)، «تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در بخشی از جاده هراز»، ***برنامه‌ریزی و آمایش فضا***، ش(۲)۱۴، ص ۲۴۷-۲۳۴.

– محمودی، فرج ا... (۱۳۸۲)، «***ژئومورفولوژیک دینامیک***»، انتشارات دانشگاه تهران، ۱– ۳۲۶.

– میرصانعی، رضا و مهدیفر، محمدرضا (۱۳۸۵)، «روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش»، پژوهشکده سوانح طبیعی، صفحه ۲۷۷– ۱.

– میرنظری، جواد و همکاران (۱۳۹۳)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)»، ***جغرافیا و توسعه***، دوره ۱۲، شماره ۳۷، صفحه ۷۰-۵۳.

– نوجوان، محمدرضا و حیاتی غلامرضا (۱۳۹۲)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سیاه‌خور اسلام‌آباد غرب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی»، ***جغرافیایی سرزمین***، دوره ۱۰ شماره ۳۸، صفحه ۹۲-۸۱.

-Bertolini, M., Braglia, M. (2006), "Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract", 17 January.

-Burton, I, Kates, R.W; (1964), "The perception of natural hazard in management", ***Geomorphology***, vol.30, pp. 412-447.

-Hung Wu, SH. Chin Chen, SU. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factorsusing analytical hierarchy process method Original Article, ***Geomorphology***. VOL112 PP., 190-204

-Makhodoum, M., (2002), "Degradation model: a quantitative EIA instrument, acting asa decision support system (DSS) for enviromental management", ***Enviromental Management***, 30(1):151-156.

-Theresa Mau-Crimmins, J.E. (2003), "De Steiguer and Donald Dennis AHP as a means for improving public participation: a pre–post experiment with university students 14 August".

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی