

تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده در ارتباط با عوامل محیطی

(مطالعه موردی: شهرستان سنندج)

مهین پیره^۱، حمید گنجائیان^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: mahin.pirah@gmail.com)

۲- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: h.ganjaian@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

چکیده

از جمله مخاطرات محیطی که همواره با خسارات زیادی همراه است، زمین لغزش است. زمین لغزش مخاطره رایج مناطق کوهستانی محسوب که در مناطق غربی کشور ایران از جمله شهرستان سنندج پتانسیل وقوع بالایی دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به تحلیل عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های شهرستان سنندج پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، لایه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه (تهیه از سازمان مراتع و آبخیزداری استان کردستان)، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه استفاده شده است. مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در تحقیق ArcGIS بوده است و همچنین در این تحقیق از مدل تلفیقی منطق فازی و AHP نیز استفاده شده است. این تحقیق به صورت کلی در دو مرحله انجام شده که در مرحله اول تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده در ارتباط با عوامل مختلف محیطی پرداخته شده و در مرحله دوم، مناطق مستعد وقوع زمین لغزش شناسایی شده است. بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از زمین لغزش‌های رخ داده در جهات شیب شمالی (۵۱ زمین لغزش)، طبقات شیب بین ۴۰ تا ۶۰ درصد (۵۱ زمین لغزش)، طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۱۰ متر (۱۱۲ زمین لغزش)، مناطق نزدیک به خطوط گسل، رودخانه و جاده، طبقه کنگلومر، ماسه سنگ و شیل (۷۸ زمین لغزش) و همچنین طبقات مربوط به پوشش ترکیبی مراتع و کشاورزی و مراتع فقیر (به ترتیب ۶۴ و ۳۶ زمین لغزش) رخ داده است. همچنین، نتایج تحقیق بیانگر این است که مناطق جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی شهرستان سنندج به دلیل ارتفاع و شیب زیاد، نوع لیتولوژی و کاربری و همچنین جهات شیب شمالی، پتانسیل بالایی جهت وقوع زمین لغزش دارد.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، عوامل محیطی، شهرستان سنندج

مقدمه

مفهوم زمین لغزش در شکل عامیانه خود در بر گیرنده کلیه حرکات دامنه‌ای است که تحت تأثیر عوامل مختلف بر روی شیب‌ها رخ می‌دهند (گنجائیان، ۱۳۹۹). اما باید خاطر نشان کرد که اصطلاح حرکات توده‌ای در این زمینه واژه‌ای جامع‌تر و رساتر است. در واقع حرکات توده‌ای به حرکت حجم نسبتاً زیادی از مواد شامل سنگ و خاک روی یک زیربنای ثابت به دلایل مختلف گفته می‌شود که بر اساس شکل و عوامل ایجاد کننده آن به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین نوع حرکات توده‌ای، زمین لغزش است (قویمی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین زمین لغزش فرمی از فرایندهای دامنه‌ای است که به جابجایی و حرکت رو به پایین مواد، خاک و سنگ‌ها در دامنه‌ها اشاره دارد (پتسکو^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). در یک تعریف کلی‌تر می‌توان زمین لغزش را به صورت حرکت مجموعه‌ای از سنگ آوار یا خاک تحت تأثیر نیروی جاذبه تعریف کرد (فلیسیسیمو^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). زمین لغزش‌ها از جمله ویرانگرترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار محسوب می‌شوند. خسارات وارده ناشی از زمین لغزش‌ها در سراسر جهان در حال افزایش است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).

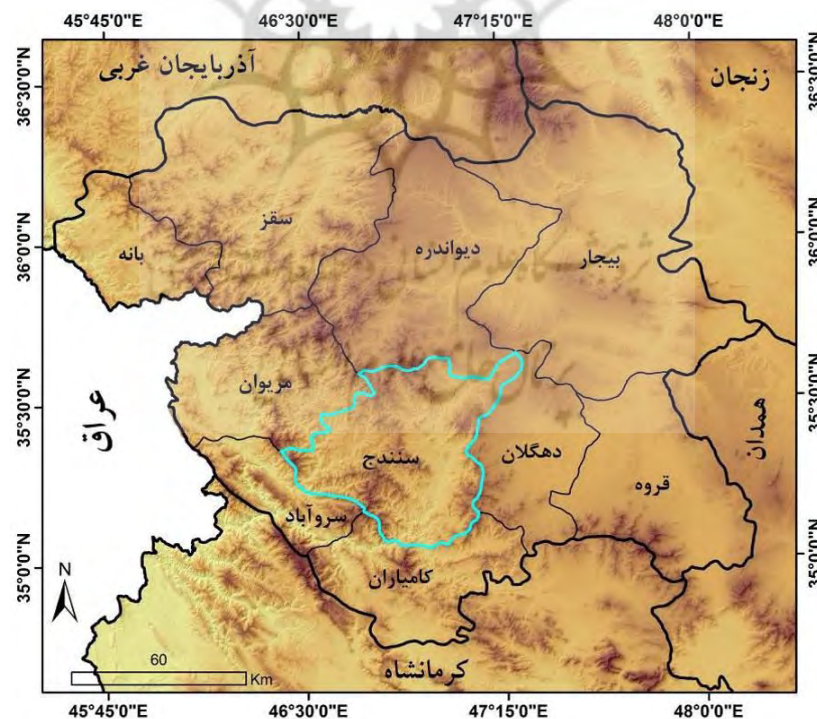
موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا پتانسیل زیادی از نظر وقوع مخاطرات طبیعی داشته باشد (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۸؛ محمدخان و همکاران، ۱۳۹۸؛ گنجائیان^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). از جمله مهم‌ترین مخاطراتی که بسیاری از مناطق ایران را تهدید می‌کند، زمین لغزش است (نگهبان و همکاران، ۱۴۰۰). زمین لغزش‌ها در ایران یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که هر ساله نقش به سزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع، باغ‌ها و مناطق مسکونی و همچنین فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه‌های آبخیز کشورمان دارند (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۶). مناطق مختلف با توجه به وضعیت محیطی که دارند، پتانسیل‌های متفاوتی جهت وقوع زمین لغزش دارند. یکی از مناطقی که پتانسیل بالایی جهت وقوع این مخاطره دارد، شهرستان سنندج است. در واقع، کوهستانی بوده شهرستان سنندج و وضعیت هیدرواقليمی این شهرستان در کنار دخالت‌های انسانی سبب شده تا این شهرستان مستعد وقوع مخاطره زمین لغزش باشد. با توجه به موارد مذکور، در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در شهرستان سنندج پرداخته شده است.

با توجه به اهمیت موضوع، در این مورد تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به بدناریک^۴ و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که با استفاده از توزیع دومتغیره آماری، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی پرداختند. کنستانتین^۵ و همکاران (۲۰۱۱) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز سبیکو^۶ در کشور رومانی پرداختند. میا^۷ و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه چیتاگونگ بنگلادش به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش‌های منطقه و تأثیر آن بر مسائل اجتماعی، اقتصادی مردم محلی پرداخته‌اند. چن^۸ و همکاران (۲۰۱۷) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در لانگ کانتی^۹ چین پرداختند.

-
1. Petschko
 2. Felicisimo
 3. Ganjaeian
 4. Bednarik
 5. Constantin
 6. Sibiciu
 7. Mia
 8. Chen
 9. Long County

دوزینسکی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در جنوب غربی لهستان به مطالعه نقش زمین لغزش‌ها در انتقال تخته‌سنگ‌های حاصل از کاپروک در زمین‌های رسوبی پرداختند. حاجی حسینلو و مقدم دیزج هریک (۱۳۹۵) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاگان پرداختند. بهاروند و همکاران (۱۳۹۶) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در حوضه ده سفید را مورد مطالعه قرار داده‌اند. قنبری و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی استعداد بروز زمین لغزش‌های احتمالی در محدوده شهر تبریز حجازی و نجف‌وند (۱۳۹۹) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در شهرستان پاوه پرداختند. جمال‌آبادی (۱۴۰۰) به شناسایی و پهنه‌بندی منطقه مستعد وقوع زمین لغزش در دهستان ژاورود پرداختند. در راستای تحقیقات پیشین، هدف از این پژوهش، تحلیل عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های شهرستان سنندج و سپس شناسایی مناطق مستعد وقوع این مخاطره است.

منطقه مورد مطالعه: شهرستان سنندج از نظر تقسیمات سیاسی در استان کردستان قرار که از اطراف به شهرستان‌های دهگلان، دیواندره، مریوان، سروآباد و کامیاران منتهی می‌شود (شکل ۱). شهر سنندج با ۴۱۴۰۰۰ نفر جمعیت (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، مرکز شهرستان سنندج و همچنین مرکز استان کردستان نیز محسوب می‌شود. شهرستان سنندج از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در حدفاصل واحدهای سنندج-سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۹) و از نظر تقسیمات حوضه‌ای در زیرحوضه سیروان قرار دارد. از نظر وضعیت ژئومورفولوژی، بخش زیادی از مساحت شهرستان سنندج را واحد کوهستان دربرگرفته است (نیری و همکاران، ۱۳۹۶؛ نگهبان و همکاران، ۱۳۹۸) و از نظر اقلیمی نیز بر اساس روش آمبرژه در اقلیم نیمه خشک سرد واقع شده است که دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد است (حنفی و حاتمی، ۱۳۹۲).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، لایه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه (تهیه از سازمان مراتع و آبخیزداری استان کردستان)، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه استفاده شده است. مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در تحقیق ArcGIS بوده است و همچنین در این تحقیق از مدل تلفیقی منطق فازی و AHP نیز استفاده شده است. این تحقیق به صورت کلی در دو مرحله انجام شده که در ادامه به تشریح این مراحل پرداخته شده است:

مرحله اول (تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده در ارتباط با عوامل مختلف محیطی): در این پژوهش به منظور تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده، ابتدا لایه زمین لغزش‌های رخ داده در شهرستان سنندج تهیه شده است. پس از تهیه لایه زمین لغزش‌های منطقه، موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در جهات شیب، طبقات ارتفاعی، طبقات فاصله از رودخانه، طبقات فاصله از گسل، طبقات لیتولوژی، طبقات پوشش زمین و همچنین طبقات فاصله از رودخانه تحلیل شده و به این صورت تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در هر کدام از طبقات مشخص شده است.

مرحله دوم (شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش): در این مرحله به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش، از نتایج مرحله قبل استفاده شده است. روش کار به این صورت بوده است که ابتدا بر مبنای تعداد زمین لغزش‌های رخ داده، لایه‌های اطلاعاتی به صورت درون لایه‌ای وزن‌دهی شده و سپس بر مبنای آن‌ها، لایه‌ها استانداردسازی شده است. در این مرحله، به منظور شناسایی مناطق کارستیک توسعه یافته از ۹ پارامتر شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، بارش، دما، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، لیتولوژی و کاربری اراضی استفاده شده است. پس از استانداردسازی لایه‌ها، با استفاده از نظرات کارشناسان مربوطه و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌ها اعمال شده است و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر گامای فازی با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش تهیه شده است.

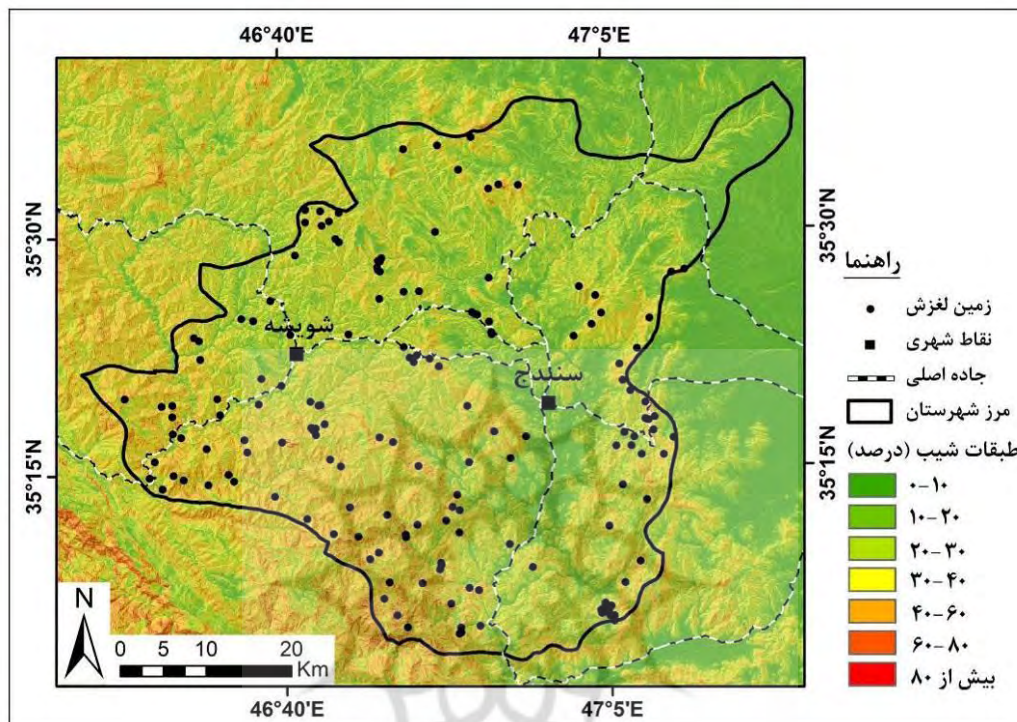
بحث و نتایج

-تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده در ارتباط با عوامل مختلف محیطی

عوامل مختلف هیدرواقليمی تعیین کننده وقوع زمین لغزش‌ها هستند. در واقع شرایط محیطی از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، لیتولوژی، پوشش زمین و همچنین فاصله از جاده، تعیین کننده احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای، از جمله زمین لغزش هستند. در این پژوهش به منظور تحلیل عوامل موثر در وقوع زمین لغزش، ابتدا موقعیت ۱۷۰ زمین لغزش رخ داده تعیین شده و سپس به تحلیل زمین لغزش‌های رخ داده در ارتباط با این عوامل پرداخته شده که در ادامه نتایج حاصله تشریح شده است:

شیب: یکی از عوامل اصلی در ناپایداری دامنه‌ها، شیب است. شیب نقش اصلی را در وقوع زمین لغزش‌ها دارد و به طور معمول، مناطقی که دارای شیب بیش‌تری هستند، در معرض وقوع زمین لغزش قرار دارند. در شکل ۲ نقشه طبقات شیب شهرستان سنندج و و موقعیت

زمین لغزش‌های رخ داده نشان داده شده است. بر اساس نقشه مذکور، بخش‌های غربی شهرستان سنندج دارای شیب بیش‌تری است و تراکم زمین لغزش‌ها نیز در این مناطق بیش‌تر است. در جدول ۱ پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات شیب نشان داده شده است که بر اساس آن، بیش‌ترین تعداد زمین لغزش‌ها با ۵۱ مورد (۳۰ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) در طبقات شیب ۴۰ تا ۶۰ درصد رخ داده است و در یک روند کلی با افزایش میزان شیب، تعداد زمین لغزش‌ها نیز بیش‌تر شده است.



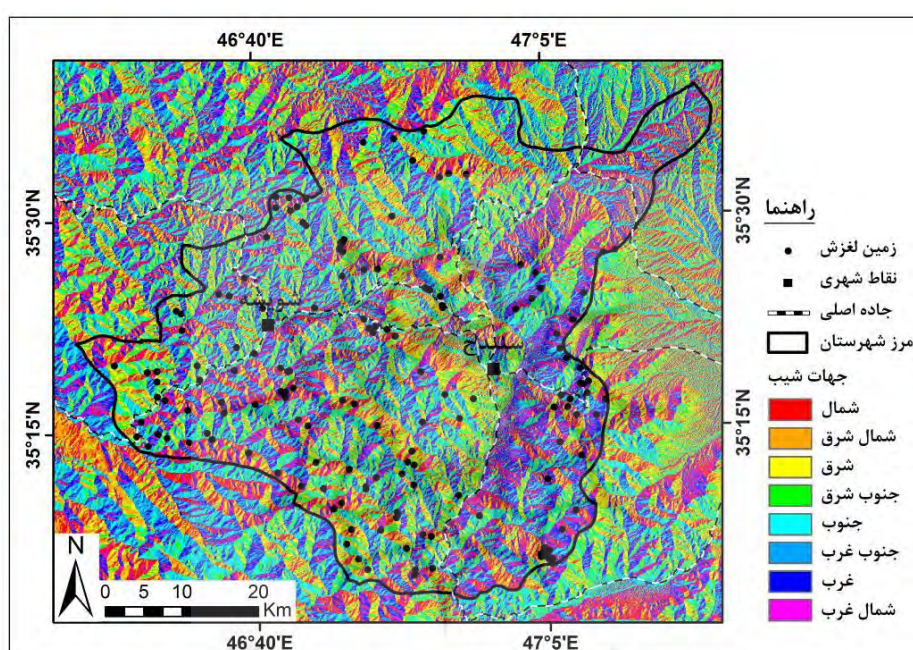
شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات شیب شهرستان سنندج

جدول ۱: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات شیب

بیش از ۸۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	طبقات شیب
۱۸	۴۱	۵۱	۲۸	۲۴	۸	۰	تعداد زمین لغزش
۱۰/۶	۲۴/۱	۳۰	۱۶/۵	۱۴/۱	۴/۷	۰	درصد

جهات شیب: جهات شیب نقش اصلی را در میزان دریافت انرژی دارند. در نیمکره شمالی، جهات شمالی به عنوان جهات پشت به آفتاب محسوب می‌شوند و میزان انرژی کم‌تری نسبت به جهات جنوبی دریافت می‌کنند و همین مسئله سبب شده تا میزان رطوبت و یخبندان در

جهات شمالی بیش تر باشد. با توجه به موارد مذکور، احتمال وقوع زمین لغزش در جهات شیب شمالی نسبت به جهات جنوبی بیش تر است. بر این اساس در این پژوهش، ابتدا موقعیت زمین لغزش های رخ داده در جهات مختلف شیب نشان داده شده (شکل ۳) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش های رخ داده در هر کدام از این جهات پرداخته شده است (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصله، بیش ترین تعداد زمین لغزش های رخ داده با ۵۱ مورد (۳۰ درصد از زمین لغزش ها رخ داده) مربوط به جهات شمالی بوده است و در یک روند کلی، تعداد زمین لغزش ها از جهات شمالی به سمت جهات جنوبی کاهش یافته است، بنابراین می توان گفت که جهات شیب نقش مهمی در وقوع زمین لغزش ها داشته است.

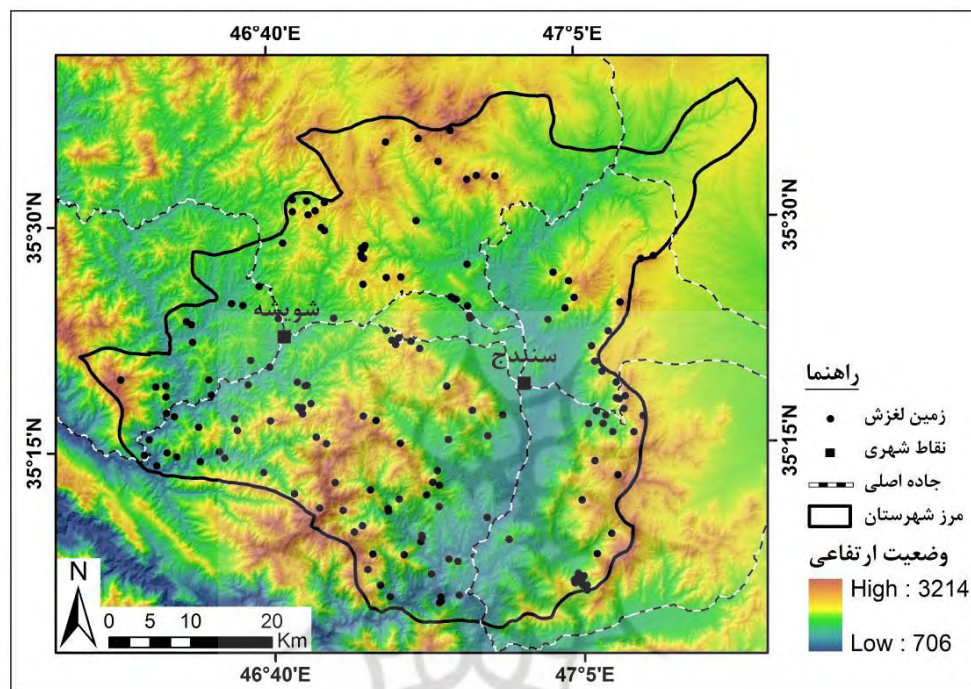


شکل ۳: نقشه پراکنش زمین لغزش های رخ داده در جهات شیب شهرستان سنج

جدول ۲: تعداد زمین لغزش های رخ داده در جهات شیب

جهت شیب	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
تعداد زمین لغزش	۵۱	۱۸	۱۴	۱۱	۶	۱۴	۱۹	۳۷
درصد	۳۰	۱۰/۶	۸/۲	۶/۵	۳/۵	۸/۲	۱۱/۲	۲۱/۸

ارتفاع: ارتفاع به طور مستقیم در میزان رطوبت و یخبندان نقش دارد و همین مسئله سبب شده تا مناطق مرتفع، به دلیل نقش عوامل فرسایشی و رطوبت، بیش تر در معرض زمین لغزش باشند. در شکل ۴ موقعیت زمین لغزش های رخ داده در نقشه ارتفاعی منطقه نشان داده شده است و همچنین در جدول ۳، تعداد زمین لغزش های رخ داده در طبقات مختلف ارتفاعی نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله، بیش ترین تعداد وقوع زمین لغزش با ۵۶ مورد (۳۲/۹ درصد از زمین لغزش های رخ داده) مربوط به طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ و ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متر بوده است.



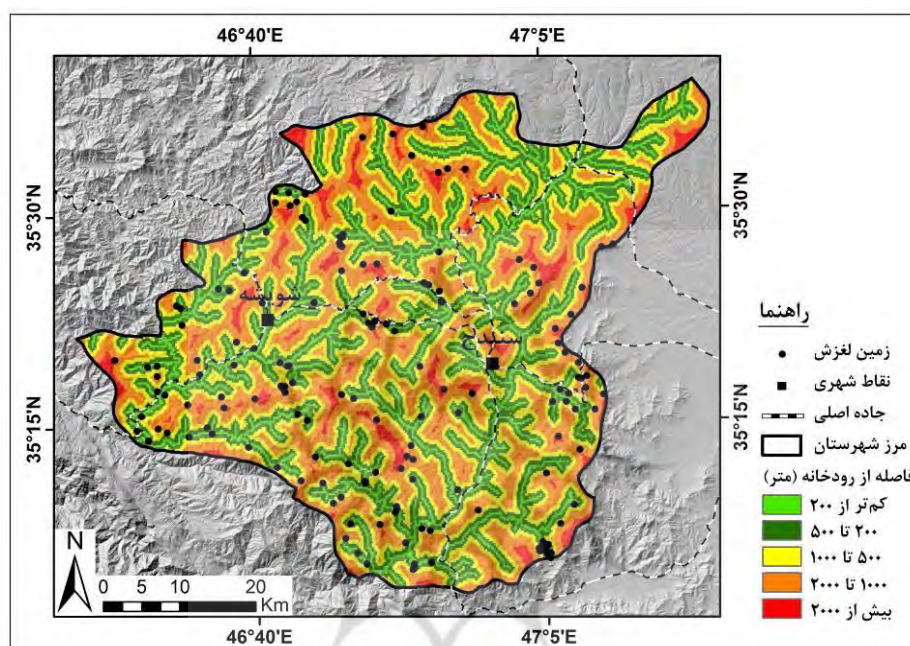
شکل ۴: نقشه پراکنش زمین لغزش های رخ داده در طبقات ارتفاعی شهرستان سنندج

جدول ۳: تعداد زمین لغزش های رخ داده در طبقات ارتفاعی

بیش از ۲۴۰۰	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰	طبقات ارتفاعی
۸	۳۴	۵۶	۵۶	۱۶	تعداد زمین لغزش
۴/۷	۲۰	۳۲/۹	۳۲/۹	۹/۴	درصد

فاصله از رودخانه: رودخانه ها به دلیل فرسایش و زیربری پای دامنه ها، نقش مهمی در تشدید وقوع حرکات دامنه ای دارند. در واقع، رودخانه ها نقش ناپایداری دامنه ها را بر عهده دارند و به همین دلیل دامنه های منتهی به رودخانه پتانسیل بالایی جهت وقوع زمین لغزش

دارند. با توجه به اهمیت رودخانه در تشدید وقوع زمین لغزش، در این پژوهش ابتدا نقش موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از رودخانه نشان داده شده (شکل ۵) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از رودخانه پرداخته شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از زمین لغزش‌های رخ داده در فاصله از ۵۰۰ متری رودخانه رخ داده است به طوری که بیش‌ترین تعداد زمین لغزش‌های رخ داده با ۵۷ مورد (۲۳/۵ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) در فاصله ۲۰۰ تا ۵۰۰ متری از رودخانه رخ داده است.



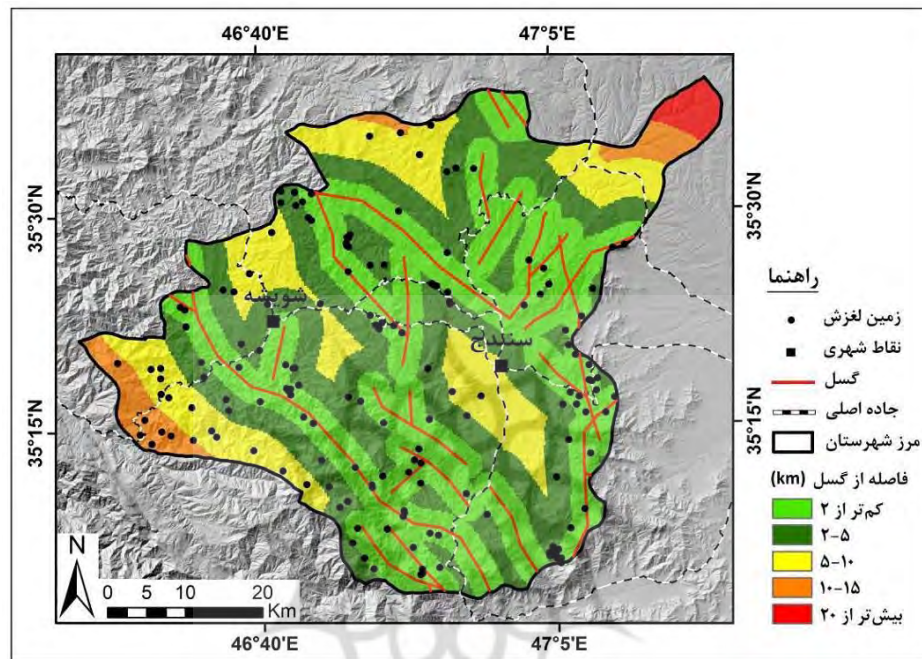
شکل ۵: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از رودخانه شهرستان سندج

جدول ۴: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از رودخانه

فاصله از رودخانه (متر)	۰-۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	بیش از ۲۰۰۰
تعداد زمین لغزش	۲۰	۵۷	۳۷	۴۶	۱۰
درصد	۱۱/۸	۳۳/۵	۲۱/۸	۲۷/۱	۵/۹

فاصله از گسل: یکی از عوامل موثر در تشدید وقوع زمین لغزش، درزه و شکاف‌ها هستند. خطوط گسلی نقش مهمی در تشدید درزه و شکاف‌ها و در نتیجه فراهم کردن شرایط برای زمین لغزش دارند. به طور معمول، مناطقی که دارای خطوط گسلی متراکم هستند، پتانسیل

بالایی از نظر وقوع زمین لغزش دارند. بر این اساس، در این پژوهش ابتدا نقش موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل نشان داده شده (شکل ۶) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل رودخانه پرداخته شده است (جدول ۵). بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از زمین لغزش‌های رخ داده در فاصله کم‌تر از ۲ کیلومتری خطوط گسلی رخ داده است به طوری که بیش‌ترین تعداد زمین لغزش‌های رخ داده با ۸۱ مورد (۴۷/۶ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) در فاصله کم‌تر از ۲ کیلومتری از خطوط گسلی رخ داده است.



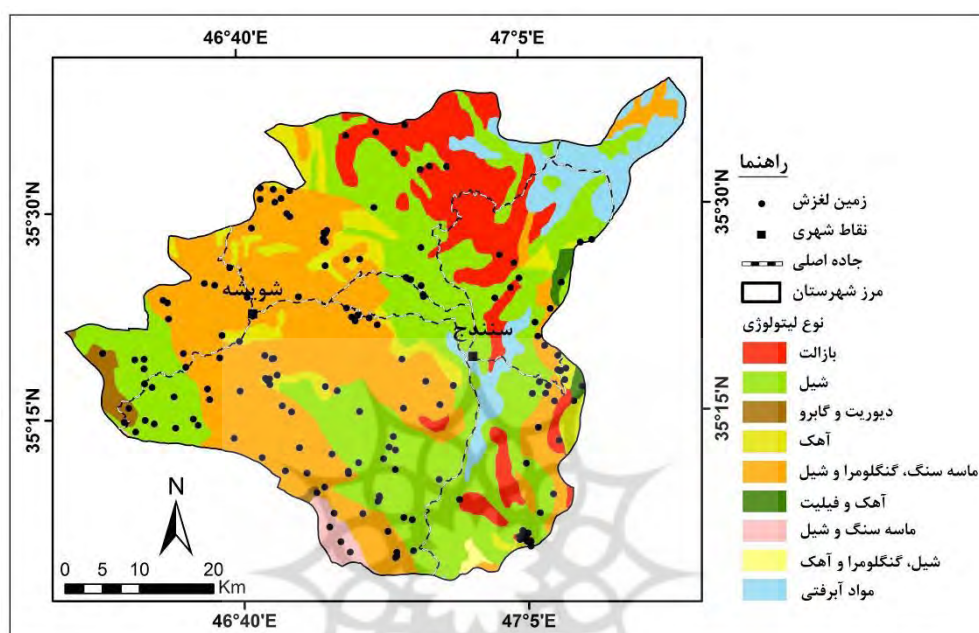
شکل ۶: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل شهرستان سنندج

جدول ۵: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل

فاصله از گسل (کیلومتر)	۰-۲	۲-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	بیش از ۲۰
تعداد زمین لغزش	۸۱	۶۱	۲۰	۸	۰
درصد	۴۷/۶	۳۵/۹	۱۱/۸	۴/۷	۰

لیتولوژی: نوع لیتولوژی نیز از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش است. به طور معمول، مناطقی که دارای لیتولوژی سست‌تری هستند، بیش‌تر در معرض وقوع زمین لغزش قرار دارند. بر این اساس، در این پژوهش ابتدا نقش موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات لیتولوژی نشان داده شده (شکل ۷) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در این طبقات پرداخته شده است (جدول ۶). بر اساس

نتایج حاصله، بیشترین تعداد زمین لغزش‌های رخ داد مربوط به طبقه ماسه، کنگلومرا و شیل بوده است به طوری که در این طبقه ۷۸ زمین لغزش (۴۵/۹ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) رخ داده است. همچنین در طبقه مواد آبرفتی، به دلیل اینکه منطبق بر مناطق کم ارتفاع و کم شیب است، زمین لغزشی رخ نداده است.



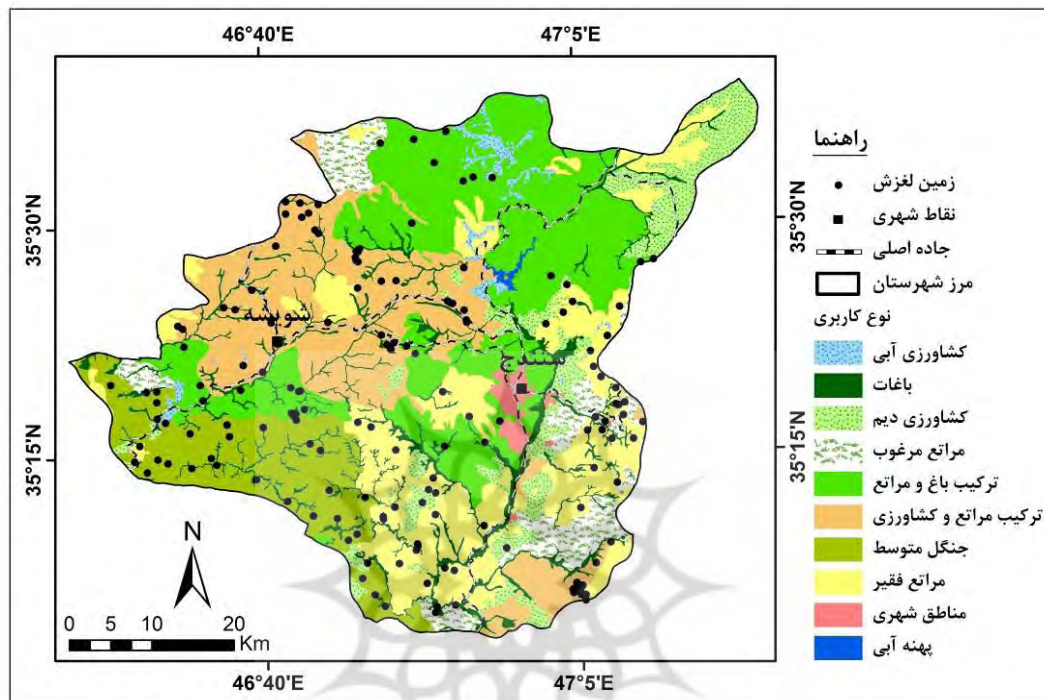
شکل ۷: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات لیتولوژی شهرستان سنندج

جدول ۶: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات لیتولوژی

نوع لیتولوژی	بازالت	شیل	دیوریت و گابرو	آهک	ماسه سنگ، کنگلومرا و شیل	آهک و فیلیت	ماسه سنگ و شیل	شیل، کنگلومرا و آهک	مواد آبرفتی
تعداد زمین لغزش	۱۲	۵۵	۴	۱۳	۷۸	۲	۳	۳	۰
درصد	۷/۱	۳۲/۴	۲/۴	۷/۶	۴۵/۹	۱/۲	۱/۸	۱/۸	۰

پوشش زمین: پوشش زمین نقش مهمی در میزان فرسایش، نفوذ، حفاظت از دامنه‌های، رطوبت و ... دارد و به همین دلیل، از عوامل موثر در تشدید و یا کنترل وقوع زمین لغزش محسوب می‌شود. به طور معمول مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند، پتانسیل کم‌تری

جهت وقوع زمین لغزش دارند. بر این اساس، در این پژوهش ابتدا نقش موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات پوشش زمین نشان داده شده (شکل ۸) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در این طبقات پرداخته شده است (جدول ۷). بر اساس نتایج حاصله، بیش‌ترین تعداد زمین لغزش‌ها رخ داده مربوط به طبقه ترکیب مراتع و کشاورزی بوده که به دلیل قرار گرفتن در دامنه‌های با شیب زیاد، دارای زمین لغزش‌های زیادی بوده است به طوری که در این طبقه ۶۴ زمین لغزش (۳۷/۶ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) رخ داده است.



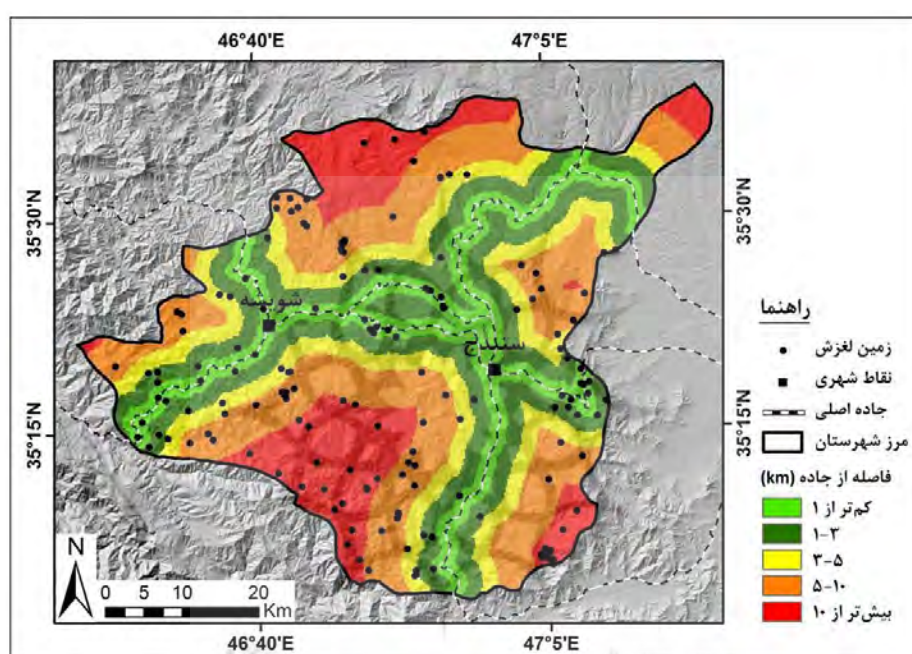
شکل ۸: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات پوشش زمین شهرستان سنندج

جدول ۷: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات پوشش زمین

نوع پوشش زمین	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	باغات	مراتع مرغوب	ترکیب باغ و مراتع	ترکیب مراتع و کشاورزی	جنگل متوسط	مراتع فقیر	مناطق شهری	پهنه آبی
تعداد زمین لغزش	۰	۴	۳	۲	۲۶	۶۴	۳۴	۳۶	۱	۰
درصد	۰	۲/۴	۱/۸	۱/۲	۱۵/۳	۳۷/۶	۲۰	۲۱/۲	۰/۶	۰

فاصله از جاده: مهم‌ترین عامل انسانی موثر در تشدید وقوع زمین لغزش، راه ارتباطی است. در واقع، عملیات جاده‌سازی به دلیل حفر پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن دامنه‌ها از طریق زیربری، شرایط لازم را جهت وقوع زمین لغزش فراهم می‌آورد. با توجه به موارد مذکور، مناطق

نزدیک به جاده، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین لغزش دارد. بر این اساس، در این پژوهش ابتدا نقش موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل نشان داده شده (شکل ۹) و سپس به آنالیز تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از گسل رودخانه پرداخته شده است (جدول ۸). بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از زمین لغزش‌های رخ داده در فاصله کم‌تر از ۱ کیلومتری خطوط گسلی رخ داده است به طوری که بیش‌ترین تعداد زمین لغزش‌های رخ داده با ۳۲ مورد (۱۸/۸ درصد از زمین لغزش‌های رخ داده) در فاصله کم‌تر از ۱ کیلومتری از خطوط گسلی رخ داده است. در واقع، در این طبقه با توجه به وسعت که دارد، بیش‌ترین تراکم زمین لغزش وجود داشته است.



شکل ۹: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از جاده شهرستان سنندج

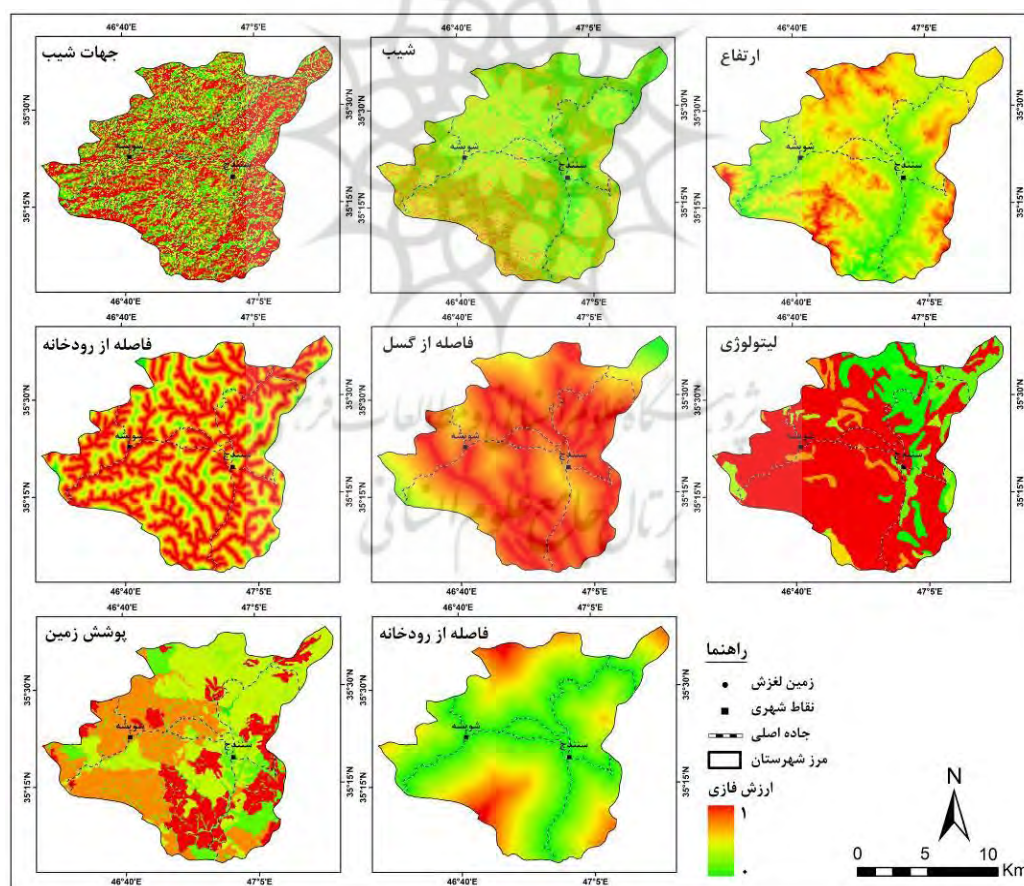
جدول ۸: تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات فاصله از جاده

فاصله از جاده (کیلومتر)	۰-۱	۱-۳	۳-۵	۵-۱۰	بیش از ۱۰
تعداد زمین لغزش	۳۲	۲۴	۱۸	۵۶	۴۰
درصد	۱۸/۸	۱۴/۱	۱۰/۶	۳۲/۹	۲۳/۵

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در آینده

پارامترهای مورد استفاده: پس از تحلیل زمین‌لغزش‌های رخ داده در پارامترهای مورد نظر، بر مبنای اطلاعات بدست آمده، در این بخش به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش پرداخته شده است. به منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، از پارامترهای شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، لیتولوژی، کاربری اراضی و فاصله از جاده استفاده شده است. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به منظور استانداردسازی لایه

ها، از نتایج مراحل قبل استفاده شده است. در واقع، وزن درون لایه‌ای هر لایه، بر مبنای وضعیت پراکنش زمین‌لغزش‌ها رخ داده بوده است. بر این اساس، در لایه جهت شیب، به جهات شمالی به دلیل اینکه دارای بیش‌ترین تعداد زمین‌لغزش بوده‌اند، ارزش نزدیک به ۱ و به جهات جنوبی ارزش نزدیک به صفر داده شده است. در لایه شیب و ارتفاع، به مناطق مرتفع و پرشیب ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق کم شیب و کم ارتفاع ارزش نزدیک به صفر داده شده است. در لایه فاصله از رودخانه، جاده و گسل، به مناطق نزدیک به گسل، رودخانه و جاده، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر، ارزش نزدیک به صفر داده شده است. در لایه لیتولوژی، به طبقه کنگلومرا، شیل و ماسه سنگ بالاترین امتیاز داده شده است و در لایه پوشش زمین نیز به مراتع فقیر و جنگل متوسط، بالاترین امتیاز داده شده است (شکل ۱۰).

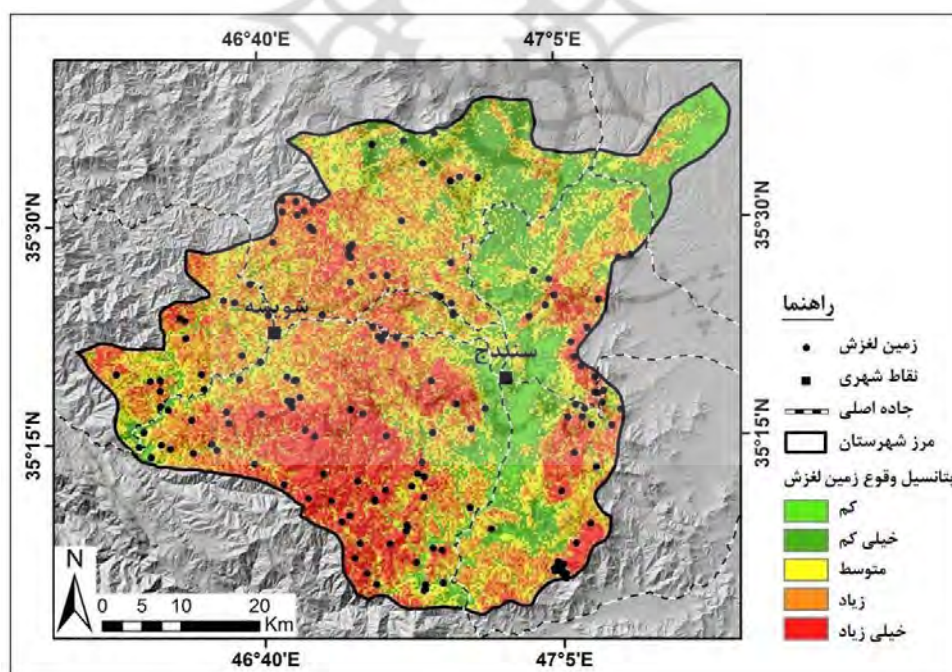


شکل ۱۰: نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی

وزن‌دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی: پس از فازی‌سازی لایه‌ها اطلاعاتی، لایه‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارزش‌گذاری شده است. به منظور ارزش‌گذاری لایه‌ها، پس از مقایسه زوج لایه‌های اطلاعاتی، اطلاعات تهیه شده وارد نرم‌افزار Expert Choice و سپس وزن نهایی معیارها بدست آمده است (جدول ۹). پس از وزن‌دهی لایه، لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر گامای فازی با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش تهیه شده است (شکل ۱۱). بر اساس نقشه مذکور، مناطق جنوبی، جنوب شرقی و جنوب شرقی شهرستان سنندج دارای بالاترین پتانسیل وقوع زمین لغزش هستند.

جدول ۹: وزن لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مدل AHP

پارامتر	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل	لیتولوژی	پوشش زمین	فاصله از جاده
وزن	۰/۱۹۷	۰/۱۲۶	۰/۸۹	۰/۱۲۱	۰/۱۱۳	۰/۷۹	۰/۱۱۷	۰/۱۵۸



شکل ۱۱: نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در شهرستان سنندج

نتیجه گیری

یکی از مخاطرات پیش روی مناطق کوهستانی، زمین لغزش است و شهرستان سنندج با توجه به وضعیت محیطی که دارد، مستعد وقوع این مخاطره است. در مورد مخاطره زمین لغزش تحقیقات مختلفی صورت گرفته است، در این تحقیق بر خلاف بسیاری از تحقیقات پیشین که مناطق مستعد وقوع زمین لغزش بر مبنای پارامترهای مختلف شناسایی شده است، ابتدا به تحلیل زمین لغزش های رخ داده در این پارامترها پرداخته شده و سپس بر مبنای نتایج حاصله از آن، مناطق مستعد وقوع زمین لغزش شناسایی شده است. در این تحقیق به منظور تحلیل زمین لغزش های رخ داده، از اطلاعات ۱۷۰ زمین لغزش استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از زمین لغزش های رخ داده در جهات شیب شمالی (۵۱ زمین لغزش)، طبقات شیب بین ۴۰ تا ۶۰ درصد (۵۱ زمین لغزش)، طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۱۰ متر (۱۱۲ زمین لغزش)، مناطق نزدیک به خطوط گسل، رودخانه و جاده (در یک روند کلی تعداد زمین لغزش به سمت مناطق نزدیک به گسل، رودخانه و جاده روند افزایشی دارد)، طبقه کنگلومر، ماسه سنگ و شیل (۷۸ زمین لغزش) و همچنین طبقات مربوط به پوشش ترکیبی مراتع و کشاورزی و مراتع فقیر (به ترتیب ۶۴ و ۳۶ زمین لغزش) رخ داده است. با توجه به اطلاعات بدست آمده، لایه های اطلاعاتی استانداردسازی شده و نقشه مناطق مستعد وقوع زمین لغزش تهیه شده است. بر اساس نتایج حاصله، مناطق جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی شهرستان سنندج به دلیل ارتفاع و شیب زیاد، نوع لیتولوژی و کاربری و همچنین جهات شیب شمالی، پتانسیل بالایی جهت وقوع زمین لغزش دارد. مجموع نتایج حاصله بیانگر این است که شهرستان سنندج پتانسیل بالایی از نظر وقوع حرکات دامنه ای دارد و لازم است که جهت تثبیت دامنه های آسیب پذیری، اقدامات لازم صورت گیرد.

Reference

1. Abedini, M., Ghobadi-Alamdari, S., Ghasemian, B., 2024. Investigation and zoning of landslide hazard map in the Lighvan Chay watershed using the ANP model. *Geography and Human Relations*, 6 (4), 525-503. <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.399799.1886>
2. Arab Ameri, A., Shirani, K., Rezaei, K., 2017. Zoning of land susceptibility to landslide occurrence using Dempster-Scheffer methods and frequency ratio in the Sarkhon-Karun basin. *Soil and Water Conservation Research*, 24 (3), 41-57. https://journals.iau.ir/article_669655.html?lang=en
3. Baharvand, S., Saroei, H., Sori, S., 2017. Landslide hazard zoning using weighted linear combination method (case study: Deh Sefid basin, Lorestan). *Physical Geography*, 10 (35), 86-75. https://journals.iau.ir/article_532550.html
4. Bednarik, M., Matys, B., Marschalko, M., 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky' Mikulaš Railway Case Study. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 162-171. <https://doi.org/10.1016/J.PCE.2009.12.002>
5. Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, DT., Duan, Z., Ma, J., 2017. A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.032>
6. Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., Vlaicu, M., 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental Earth Sciences*, 63(2), 397-406. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0724-y>

7. Duszyński, F., Jancewicz, K., Kasprzak, M., Piotr, M., 2017. The role of landslides in downslope transport of caprock-derived boulders in sedimentary tablelands, Stołowe Mts, SW Poland. *Geomorphology*, 295, 84–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.06.016>
8. Felicísimo, A., Cuartero, A., Remondo, J., Quiros, E., 2013. Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. *Landslide*, 10 (2), 175–189. <http://dx.doi.org/10.1007/s10346-012-0320-1>
9. Ganjaeian, H., 2019. Geomorphological hazards of urban areas, study methods and control strategies, Entebbe Publishing, 144 pages. <https://www.gisoom.com/book/11628118>
10. Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi, M., Maghsoudi, M., 2024. [Evaluating the Impacts of Earthquake in Ezgele, Kermanshah \(Iran\) \(Occurred on 2017/11/12\)](#). *Current Research in Environmental Science and Ecology Letters*, 1(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.33140/CRESEL.01.01.06>
11. Ghanbari, A., Karami, F., Saleki, M.A., 2017. Assessment of the potential for landslides in the city of Tabriz. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4 (1), 16-1. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2691-fa.html>
12. Ghavimippanah, M. H., Khalidi Darvishian, A., Ghavimippanah, M.R., 2017. Validation of Analytic Hierarchy and Multivariate Regression Methods in Landslide Zoning (Case Study: Vali-Asr Watershed, Ardabil Province). *Ecohydrology*, 4 (3), 775-789. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.62626>
13. Haji Hosseini, H., Moghadam D., Harik, M., 2016. Landslide hazard assessment and zoning in the Valadian region using the Anbalagan method (East of Khoy County). *Geography of the Land*, 13 (52), 38-21. <https://www.sid.ir/paper/116268/fa>
14. Hanafi, A., Hatami, I., 2013 Preparing a climate map of Kurdistan province using a geographic information system. *Sepehr*, 22 (87), 28-24. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25883860.1392.22.87.3.4>
15. Hejazi, A., Najafvand, S., 2019. Potential assessment of landslide-prone areas in Paveh County using Fuzzy Logic. *Geography and Human Relations*, 2 (8), 185-376. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453851.1399.2.4.24.2>
16. Jamalabadi, J., Safari, F., Barabadi, A., Al-Mohammad, M., 2021. Identification and zoning of landslide-prone areas in the rural area of Zhavroud. *Crisis Management*, 10 (2), 47-55. https://journals.iau.ir/article_532550.html
17. Mia, M. T., Sultana, N., Paul, A., 2016. Studies on the Causes, Impacts and Mitigation Strategies of Landslide in Chittagong city, Bangladesh. *Environmental Science and Natural Resources*, 8(2), 1-5. <http://dx.doi.org/10.3329/jesnr.v8i2.26854>
18. Mohammadkhan, S., Ganjaeian, H., Shahri, S., Abbaszadeh, A., 2019. Predicting the trend of urban development towards hazardous areas using multi-temporal images (Case study: Marivan city). *Sepehr*, 28 (110), 117-107. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36615>
19. Nayyeri, H., Salari, M., Ganjaeian, H., Amani, K., 2017. Geomorphological assessment of land suitability for physical expansion of Sanandaj city with the application of prohibited areas. *Research on Urban Planning Geography*, 5 (1), 127-145. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2017.63213>
20. Negahban, S., Ganjaeian, H., Fereidoni-Kordestani, M., Cheshme-Sefidi, Z., 2019. Assessing the physical development of cities and expansion towards geomorphologically restricted areas using LCM

- (Case study: Sanandaj city). *Natural Environment Hazards*, 8(20), 52-39.
<https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21943.1317>
21. Negahban, S., Peysoozi, T., Ganjaeian, H., Norozi, M., 2021. Identification of landslide and vertical displacement prone areas using radar images (Case study: urban area and urban outskirts of Lavasan). *Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 18-1. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.71728.1094>
 22. Petschko, H., Brenning, A., Bell, R., Goetz, J., Glade, T., 2014. Assessing the quality of landslide susceptibility maps—case study Lower Austria. *Hazards Earth*, 14(1), 95-118.
<http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-95-2014>
 23. Statistical Center of Iran. 2016. Statistical report on the population of Sanandaj city. <https://amar.org.ir>
 24. Yamani, M., Ganjaeian, H., Garosi, L., Javedani, M., 2020. Identification of susceptible areas for the development of agricultural lands based on parameters Hydro geomorphology (Case study: Sanandaj city). *Hydrogeomorphology*, 7 (23), 1-20. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.11087>



