مهندسی جغرافیایی سرزمین
شاپای چاپی ۱۴۹۰-۲۵۳۸
شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲-۲۵۳۸
www.jget.ir

دوره ۷، شماره ۲ (پیاپی ۱۶)، تابستان ۱۴۰۲، صص. ۳۳۳-۳۵۰
DOI: 10.22034/JGET.2023.147993
DOR: 20.1001.1.25381490.1402.7.2.5.1

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی حساسیت وقوع زمین لغزش در محدوده‌های روستایی و شهری (مطالعه موردی: حریم مناطق تابع شهرستان گرگان در حوضه آبخیز زرین گل)

یوسف درویشی [۱*]، سیدمعین موسوی‌ندوشن [۲]

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

۲. مربی گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: phddarvishi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۰۴ خرداد ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۲۳ فروردین ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه: زمین‌لغزش‌ها فرایندهای طبیعی زمین‌شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهند. زمین لغزش یکی از پدیده‌های مهم و قابل‌توجه در مسائل زیست‌محیطی، آبخیزداری و منابع طبیعی می‌باشد. مهم‌ترین دلیل با اهمیت بودن این پدیده، تلفات جانی و مالی ناشی از به وقوع پیوستن آن‌ها می‌باشد حوضه آبخیز زرین گل به دلیل توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، پتانسیل طبیعی برای زمین‌لغزش‌های گسترده را دارد.

هدف: در این راستا با توجه به موضوع، هدف پژوهش فوق پهنه‌بندی و ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش در محدوده شهرگرگان در حوضه آبخیز زرین گل با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است.

روش‌شناسی: تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع تحقیقی و از حیث مطالعات کاربردی است. جهت تحلیل فضایی حساسیت وقوع زمین لغزش معیارهایی از قبیل: (شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از مراکز سکونتی، انحنای زمین، بارش، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک، تراکم آبراهه، فاصله از جاده مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند. به‌منظور محاسبه تراکم و میزان سبزی پوشش گیاهی از پروداکت (Mod13Q1) سنجنده مودیس ماهواره Terra استفاده گردید و خروجی نهایی با روش هم‌پوشانی، هم‌پیوند در محیط GIS محاسبه شد. تمامی فرایندها و تجزیه تحلیل داده‌ها در محیط (Spss,Excell) و نرم‌افزار (GIS) انجام گردید. همچنین جهت ارزیابی و اعتبار سنجی مدل‌ها از منحنی (ROC) استفاده شد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: این پژوهش نیز بر روی حریم مناطق تابع شهرستان گرگان در حوضه آبخیز زرین گل انجام شده است.

یافته‌ها و بحث: نتایج بدست آمده نقشه نهایی حساسیت وقوع زمین لغزش نشان‌دهنده آن است که طبقه ۵ با ضریب لغزش بالا ۱۳/۹۰ درصد از کل مساحت منطقه، طبقه۴ با ضریب لغزش زیاد ۱۷/۸۹ درصد، طبقه۳ با ضریب متوسط ۳۳/۹۰ درصد، طبقه ۲ با ضریب کم۲۲/۹۱ درصد، طبقه۱ با ضریب خیلی کم۱۱/۴۰ درصد را به خود اختصاص داده‌اند در نتیجه ۳۱/۷۹ درصد از کل منطقه در معرض لغزش شدید قرار دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که روستاهای در محدوده خطر زیاد شامل روستاهای (مرتع قزلق، مرتع شکر علی، خیرات، نومل، توسکستان، فیض‌آباد، مریم آباد) می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: اقلیم، حساسیت، زمین لغزش، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، شهرگرگان.

مقدمه

زمین لغزش به علت ماهیت خطرناک خود در مناطق کوهستانی مورفولوژی را به طور ناگهانی برهم می‌زند و خسارت-هایی عمده به مناطق مسکونی، جاده‌ها زمین‌های کشاورزی و ... وارد می‌کند. دید یکپارچه تصاویر سنجش از دور راداری آن را به ابزاری قدرتمند برای تهیه نقشه‌های پراکنش و ارزیابی خطر و ریسک وقوع زمین لغزش‌ها و ناپایداری-ها در فواصل زمانی مختلف تکرار شونده تبدیل نموده است (قشلاق و همکاران،۱۴۰۰: ۱۱۳). زمین لغزش‌ها از جمله مخاطرات طبیعی هستند که همه ساله موجب خسارات جانی و مالی زیاد، به ویژه در نواحی کوهستانی می-شوند(حجازی و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۱). حرکات توده‌ای، ازجمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندد و مهم‌ترین آن‌ها زمین‌لغزش در اشکال مختلف است. یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یابنده‌ای پایین‌دست و مخاطرات آن در حوضه‌های آبخیز است (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۷: ۷۲). زمین لغزش‌ها و ناپایداری‌های دامنه از جمله مخاطرات طبیعی مهمی هستند که همه ساله موجب خسارت‌های جانی و مالی و از دست رفتن منابع اقتصادی می-شوند. این مخاطرات بیشتر در شیب‌های طبیعی یا تغییر یافته به دست انسان اتفاق می‌افتد. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از جمله روش‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان مناطقی را که در معرض خطر وقوع زمین لغزش هستند تعیین کرد و با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی شده جهت تقلیل خسارات ناشی از آن برنامه‌ریزی و مدیریت انجام داد (روستایی و جانانه،۱۳۹۸: ۱۶۹). زمین لغزش‌ها فرایندهای فعالی هستند که در فرسایش و تحول چشم - اندازها مشارکت دارند (گزوتی و همکاران،۲۰۰۵: ۱). بررسی موجودی زمین لغزش‌ها، تیپولوژی و توزیع فضایی آن‌ها ابزارهای ضروری برای تحدید نشانه‌های فضایی و زمانی زمین لغزش‌ها است (غلامی و همکاران،۱۳۹۸: ۱۶). بسیاری از زمین لغزش‌ها کاملاً طبیعی هستند که به علت مسائل طبیعی ازجمله شرایط خاک و آب و هوا ایجاد می‌شوند وقتی پایداری یک شیب کاهش می‌یابد یا تغییر می‌کند، حتی اگر تغییر خیلی کمی باشد، ممکن است سطح شیب‌دار ناپایدار شود. بنابراین تغییرات بزرگ یا حتی کوچک می‌تواند زمین‌لغزش ایجاد کند (کرم و محمودی، ۱۳۹۴: ۲). زمین لغزش‌ها از جمله مخاطرات کاتاستروفیک هستند که شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد آن، نقشی مهم در ارزیابی خطرات محیطی و مدیریت حوضه آبخیز ایفا می‌کند (مقصودی و همکاران،۱۳۹۸: ۱).از عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش‌ها می‌توان به پارامترهای مربوط به عوامل هیدرولوژی، اقلیم، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، اشاره کرد (پتسچیکو[1]و همکاران، ۲۰۱۴ :۹۵-۱۱۸). علاوه بر عوامل طبیعی شامل لیتولوژی، زمین‌ساخت و اقلیم، نقش انسان نیز قابل توجه است. راه‌سازی، دیم زارهای کم بازده، ایجاد سکونتگاه‌های غیر اصولی از جمله عوامل انسانی دخیل در حرکات دامنه‌ای هستند. شناخت این عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، استعدادهای بالقوه منطقه را بهتر سنجیده و یک ناحیه را از نظر خطرپذیری به چند زیر ناحیه تقسیم می‌کند تا کار برنامه‌ریزی آسان‌تر گردد(یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰).

با توجه به این مطلب که حرکات توده‌ای و زمین لغزش‌ها تابعی از عوامل محیطی می‌باشند، بنابراین سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاری ابزار مناسب برای پهنه‌بندی زمین در رابطه با خطر لغزش می‌باشند. پیش زمینه استفاده تلفیقی از این دو سامانه شناسایی عوامل مؤثر در هدف است. پس از شناسایی عوامل مؤثر با استفاده از سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاری؛ این عوامل اولویت‌بندی و وزن دهی شده و در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به‌صورت مکانی نمایش داده می‌شود و در نهایت با توجه به وزن‌های اولویت بندی، عوامل با یکدیگر تلفیق می‌شود (کاظمی‌گرجی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۶۵). در حال حاضر می‌توان از روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌صورت تلفیقی در امر تهیهٔ نقشه پهنه-بندی زمین لغزش و آگاهی از مناطق پر خطر موجود استفاده کرد؛ که از جمله نیازهای اساسی در امر مدیریت بحران است که مدیران بر اساس آن اقدام به تصمیم‌گیری می‌کنند (صفایی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۷). امروزه به واسطه

[1] . Petschko

توسعه سریع قدرت پردازش کامپیوترها و فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تعداد زیادی از روش‌های آماری در ارزیابی حساسیت رخداد زمین لغزش گسترش یافته است (وانگ، ۲۰۱۳: ۸۱). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌هایی مثل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1])، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP[2])، شبکه عصبی مصنوعی (ANN[3])، مدل LNRF[4] و مدل منطق فازی و غیره اشاره کرد (معزز و همکاران،۱۳۹۸: ۲). بر همین اساس این کار ممکن است به روش‌های مختلف مانند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای مناطق مستعد و تهیه‌ی دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌ها برای استفاده مناسب یا پرهیز از این مناطق توسط مطالعه موردی یک زمین لغزش و ارائه‌ی راه حل برای کنترل آن یا هر روش دیگر صورت گیرد. با توجه به وقوع زمین لغزش‌های مخرب در حوضه آبخیز زرین گل واقع در(استان گلستان، شهرستان گرگان) و قرار گرفتن روستاها و تاسیساتی همچون کانالهای آبرسانی، خطوط انتقال نیرو، جاده‌های ارتباطی، و تاسیسات کشاورزی در دامنه‌های ارتفاعات منطقه‌ی مورد مطالعه، تهیه نقشه خطر زمین لغزش منطقه جهت بهبود مدیریت، مهم به نظر می‌رسد. با توجه به موارد ذکر شده در این مطالعه با استفاده از مدل نسبت فراوانی و شاخص F به تهیه نقشه زمین لغزش پرداخته شده است. مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، آمار به دست آمده از یک نقشه را به صورت عینی برای پیش‌بینی مناطقی که ممکن است در آن لغزش رخ دهد نشان می-دهند. به طورکلی هدف نهایی از بررسی و مطالعه‌ی زمین لغزش‌های منطقه موردمطالعه یافتن راه‌های کاهش خسارت‌های ناشی از آن می‌باشد

سرسکانرود و همکاران(۱۳۹۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب - نیر) به این نتیجه رسیده‌اند که میزان بارش و ارتفاع نسبت به سایر عوامل تأثیر بیشتری در ایجاد نواحی پر خطر ایفا می‌کنند که بعد از این دو عامل، مناطق با پوشش گیاهی کم، مناطق دارای سنگ‌های سست و نواحی نزدیک به گسل به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشتند. رستمی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز سد چم گردلان ایلام) به این نتیجه دست یافته‌اند که از میان اپراتورها و عملگرهای فوق، عملگر گاما با لاندای ۰/۹ به دلیل فازی سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین لغزش‌های رخ‌داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها در این منطقه محسوب می‌شود. فنی و قشمی(۱۳۹۷)، در تحقیقی تحت عنوان پهنه‌بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات چهارگانه محیطی زمین لغزش، سیل، زلزله و فرونشست موردپژوهی: مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به این نتیجه رسیده‌اند که مؤثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش عواملی همچون: درجه شیب و فاصله از جاده می‌باشد. در ادامه چنین عنوان می‌کنند که بررسی مخاطرات طبیعی از یک سو به منظور شناسایی مناطق در معرض خطر و از سویی جهت شناسایی مکان‌های امن جهت توسعه زیستگاهها و تأسیسات جدید ضرورت دارد، تا از اثرات مخاطرات طبیعی که همه ساله در بیشتر مناطق کشور موجب خسارات اقتصادی به خطوط ارتباطی، خطوط انتقال نیرو، کانالهای آبیاری و آبرسانی و تأسیسات شهری بویژه در مناطق مختلف می‌گردد کاسته شود. عباسی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی به تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده مجتمع‌های زیستی شهری در استان لرستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که که اکثر شهرهای استان لرستان به دلیل عبور رودخانه‌های اصلی از محدوده شهرها، در معرض خطر سیلاب قرار دارند. همچنین مشخص شد که شهرهای واقع در غرب استان در معرض خطر سیلاب و شهرهای شرق استان در معرض خطر زلزله و رخدادهای ژئومورفیک ناشی از زلزله مانند زمین‌لغزش و روانگرایی قرار دارند. قنبری و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی به بررسی استعداد بروز زمین لغزش‌های احتمالی در محدوده شهر تبریز پرداختند و در این راستا ابتدا زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه شناسایی شدند و با استفاده از تحلیل

---

[1] . Analytical Hierarchy Process
[2] . Analytical Network Process
[3] . Artificial Neural Networks
[4] . Landslide Nominal Risk Factor

این داده‌ها در نرم افزار ILWIS معیارها و زیر معیارها شناسایی و طیف‌بندی شدند. سپس با استفاده از مدل فازی-تاپسیس میزان اهمیت معیارها و زیر معیارها در واحدهای پیکسلی مشخص شد و در نهایت با تلفیق مدل فازی-تاپسیس و تابع همپوشانی در محیط GIS نقشه نهایی استخراج شد. نتایج حاکی از آن است که ۶ درصد اراضی شهر در پهنه خطر بسیار بالا و بیش از ۳۰ درصد اراضی آن در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا قرار دارند. ایران به دلیل مستعد بودن شرایط اقلیمی و طبیعی، عدم برخورداری از مدیریت جامع محیطی و عدم رعایت آستانه‌های محیطی یک کشور پر خطر به شمار می‌آید؛ به طوری که جزء چند کشور مخاطره آمیز جهان قرارگرفته و هرساله مخاطره زمین‌لغزش در لندفرم کوهستانی و مرتفع کشور زیان‌ها و صدمات قابل‌توجهی به بار می‌آورد (فرخنیا و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۶). با توجه به مطالعه پیشینه پژوهش و تئوری نظری مطرح‌شده طی سالیان سال در خصوص موضوع موردمطالعه می‌توان این‌گونه بیان نمود که پژوهش‌های مطالعه شده در این رابطه دارای شکاف علمی، در خصوص مطالعه زمین لغزش با رویکرد آینده نگری و با در نظر گرفتن چتر توسعه پایدار محیط طبیعی روستاها است. به همین منظور در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است.

روش شناسی

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع موردبررسی، از نوع تحقیقی است و از نوع مطالعات کاربردی است. هدف سنجش و ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش در محدوده‌های روستایی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. بر همین اساس با توجه به تئوری نظری موجود و شاخص‌های سنجش زمین لغزش و درک جامعه از رویکرد آینده‌نگری با نظر اجماع علمی ۱۲ متغیر اصلی جهت شناسایی مکان‌های دارای پتانسیل لغزش استخراج‌شده است. که ۱. شیب۲. جهت شیب۳.کاربری اراضی۴. فاصله از مراکز سکونتی ۵. انحنای زمین۶. بارش۷. ارتفاع ۸. تراکم پوشش گیاهی ۹. زمین‌شناسی۱۰. خاک ۱۱. تراکم آبراهه ۱۲. فاصله از جاده می‌باشد که این متغیرها در دیدگاه‌های علمی افراد صاحبت نظر مطابق با متن پیشینه بالا بهره گرفته‌شده است. به‌منظور محاسبه تراکم و میزان سبزی پوشش گیاهی از از پروداکت (Mod13Q1)سنجنده مودیس ماهواره Terra استفاده گردید.. بهمنظور تعیین همبستگی بین نقاط لغزشی و هریک از عوامل مؤثر بر لغزش، از مدل احتمالی نسبت فراوانی استفاده شده‌است. برای تعیین نسبت فراوانی ابتدا با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، درصد مساحت نقاط لغزشی و فاقد لغزش در منطقه مورد مطالعه تعیین و سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه های عوامل، از تقسیم نسبت درصد مساحت نقاط لغزشی به درصد مساحت مناطق غیر لغزشی محاسبه گردید. پس از تعیین وسعت و درصد زمین لغزش‌ها در طبقات مختلف، کمی‌کردن عوامل مؤثر و وزندهی به طبقات با توجه به عوامل مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح صورت پذیرفت و در پایان نقشه‌های عوامل براساس مقادیر وزنی LOOKUP تهیه شد تمامی فرایندها و تجزیه تحلیل داده‌ها در محیط (Spss,Excell) و نرم‌افزار (GIS) انجام گردید. اولویت‌بندی عوامل مؤثر در حساسیت وقوع لغزش منطقه: پس از بررسی عوامل مؤثر در وقوع لغزش و تهیه نقشه‌های مربوط به آن، وزن‌دهی به هر عامل و تهیه نقشه‌ای که مناطق مختلف حساسیت لغزش را در آن نشان دهد در اولویت کار قرار می‌گیرد. لذا در این بخش بررسی انواع روش‌های اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع این پدیده پرداخته می‌شود: روش شاخص لغزش(رابطه ۱)، روش شاخص لغزش معیاری جهت تعیین تراکم لغزش‌ها است (van Westen, 1993) و بر اساس لگاریتم طبیعی (ln) تراکم لغزش‌ها در هر کلاس به تراکم لغزش‌های کل نقشه می‌پردازد (Lakhera, 2000 & Rautela). رابطه آن (رابطه شماره ۱) به‌صورت زیر است:

$$W_i = \ln \frac{Densclass}{Densmap} \ln \frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{SNpix(S_i)}{SNpix(N_i)}}$$

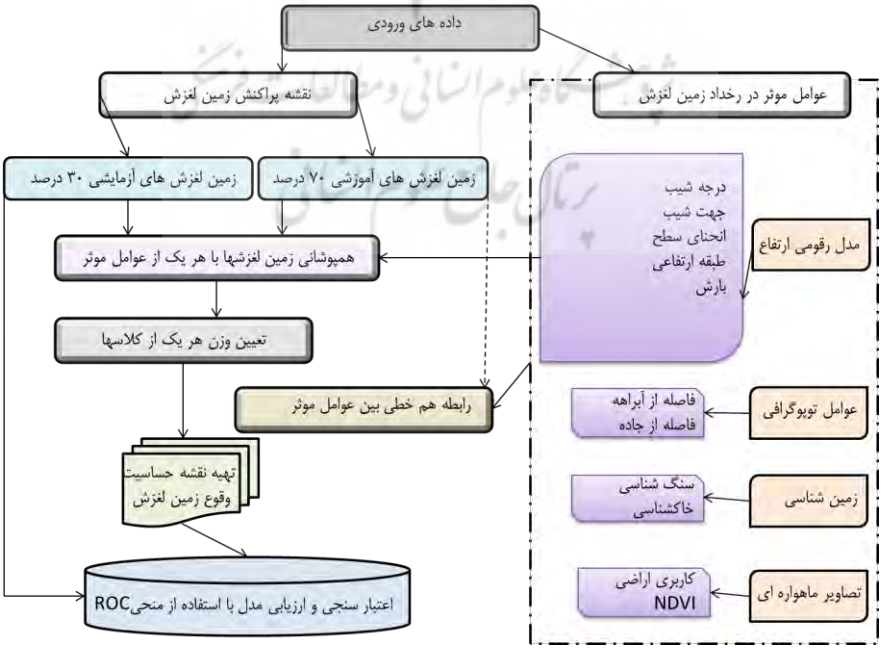
رابطه(۱)

که در آن، Wi: وزن به‌دست‌آمده برای هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر Densclass: تعداد لغزش در هر یک از کلاس‌ها؛ Densmap: تراکم زمین‌لغزش در کل نقشه(Si) NPIX : تعداد کل پیکسل‌ها در یک کلاس مشخص (Si) SPIX: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی نقشه؛ (Ni) SPIX: تعداد کل پیکسل‌های نقشه، با توجه به رابطه ۱ هر طبقه دارای وزن مخصوصی شده است. هرچه میزان وزن اکتسابی به هر طبقه بیشتر باشد. نشان‌دهنده ارتباط بهتر آن عامل در وقوع لغزش‌ها می‌باشد. در مرحله بعد تمام طبقات در محیط GIS روی‌هم قرارگرفته و وزن آن‌ها جمع شدند. سپس از طریق میانگین تجمعی وزن‌های به‌دست‌آمده توسط این روش به ۴ طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید.

روش نسبت فراوانی: نسبت احتمال رخداد یک پدیده به عدم رخداد آن پدیده را نسبت فراوانی می‌نامند. اگر تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در یک منطقه را A معرفی کنیم و عوامل مؤثر در پدیده زمین‌لغزش را B بنامیم آن وقت نسبت فراوانی برای B همان احتمال وقوع معرفی می‌شود. حال اگر این نسبت بزرگ‌تر از ۱ باشد ارتباط بزرگ‌تری میان وقوع زمین لغزش با عوامل مؤثر در وقوع آن داشته و اگر کوچک‌تر از ۱ باشد این ارتباط کمتر است. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش مشخص، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد.

$$FR=A/B \quad \text{رابطه(۲)}$$

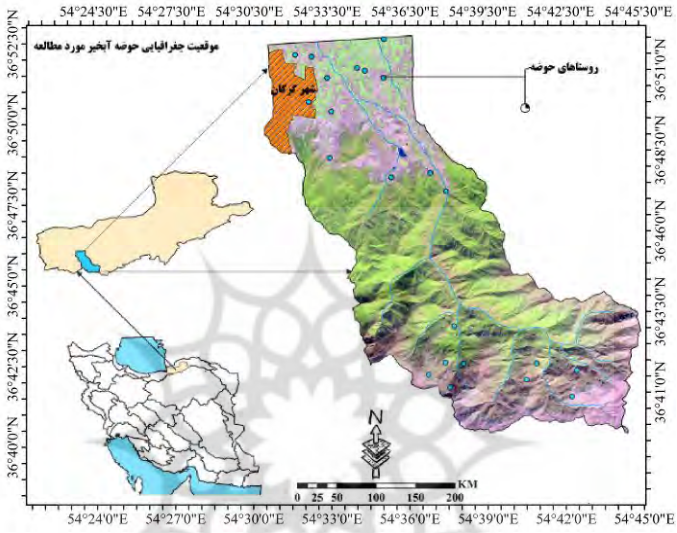
مرحله‌ی نهایی اعتبارسنجی مدل مورد استفاده است. یکی از گام‌های اساسی در واکاوی ریسک زمین لغزش، سنجش اعتبار تخمین ریسک با استفاده از روش‌های مختلف است. کیفیت حساسیت یک مدل در برآورد ریسک زمین لغزش معمولا با استفاده از آمار مستقلی که برای ساخت مدل در دسترس است برآورد می‌شود. در این مقاله، برای اعتبار سنجی مدل مورد استفاده از منحنی ROC استفاده شده است. در ادامه با توجه به رویکرد پژوهش حاضر فلوچارتی از مراحل تحقیق (شکل ۱) ارائه می‌گردد.



شکل ۱. فلوچارت مراحل انجام کار

قلمرو جغرافیایی پژوهش

زیر حوضه آبخیز زرین گل واقع در حوضه گرگان رود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع است. حوضه از جنوب مشرف‌به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبریز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبریز قره‌سو محدود می‌شود این حوضه در محدوده مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۴ درجه و۱۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه واقع گردیده است شکل ۲ موقعیت حوضه آبخیز گرگان رود در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد حوزه آبخیز گرگان رود از لحاظ اقلیمی بسیار متنوع بوده و بر طبق طبقه‌بندی این حوضه دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است همچنین عموماً در کلیه مناطق حوضه ماه‌های آذر، دی و خصوصاً بهمن و اسفند مرطوب‌ترین و خرداد لغایت شهریور خشک‌ترین ماه‌های سال است.



شکل ۲. موقعیت زیر حوضه آبخیز زرین گل در استان گلستان

یافته‌ها و بحث

به‌منظور سنجش تأثیرگذاری عوامل مؤثر برای لغزش زمین از نرم افزارهای تحلیلی ذکرشده در قسمت روش پژوهش استفاده گردید و همچنین برای تعیین شاخص‌های مؤثر در تعیین عرصه‌های با خطر کم و بالا در جهت شناسایی درجه لغزش و ارزش‌گذاری زمین‌ها برای انواع فعالیت‌ها و میزان اهمیت هر یک از این معیارها (جدول شماره ۱) نسبت به هم با توجه به وضعیت موجود و اطلاعات گردآوری شده، هم‌چنین بررسی و مطالعه کتب، طرح‌های پیشین و نظر کارشناسان این امر انجام‌گرفته است که در نهایت به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی شده در مرحله بعدی، به لایه‌های اطلاعاتی وزن‌هایی متناسب با درجه اهمیت و تأثیر آن‌ها در انتخاب عرصه مناسب داده می‌شود جهت دستیابی به این شاخص‌ها، نیاز به یک سری نقشه‌ها و پایگاه اطلاعاتی بود که این‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی آماده گردید و پس از آماده‌سازی این نقشه‌ها، جهت تحلیل آن‌ها از روش‌های همپوشانی هم پیوند استفاده گردید. در اینجا، معیارهای موردنظر بر اساس تعداد لغزش‌های رخ داده از ۵-۱ طبقه‌بندی گردید که رتبه ۱ کمترین ارزش و رتبه ۵ دارای ارزش فوق‌العاده زیاد است. همپوشانی به روش LOOKUP: تابع LOOKUP یک مقدار ورودی را در یک بردار یا آرایه جستجو کرده و یک مقداری که از نظر جایگاه با آن مقدار ورودی مطابقت و همترازی داشته باشد را باز می‌گرداند. در این پژوهش برای همسان‌سازی متغیرها بعد از فرآیند رتبه بندی به روش نسبت فرآوانی (FR) تمام پارامترها به وسیله ابزار LOOKUP استاندارد شدند (جدول شماره ۲). سپس

جهت تلفیق جمعی آنها از ابزار رستر کلکلویتر استفاده گردید و خروجی نهایی در غالب نقشه نهایی حساسیت وقوع زمین لغزش تولید گردید.

جدول ۱. *معیارهای انتخابی جهت پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با روش وزنی*

معیار اصلی	زیر معیار	معیار اصلی	زیر معیار
توپوگرافی	شیب	کاربری و تراکم پوشش	کاربری اراضی
	انحنای زمین		تراکم پوشش گیاهی
	جهات شیب	هیدروگرافی	تراکم رودخانه
	ارتفاع		بارندگی
تأسیسات زیر بنایی	فاصله از جاده	زمین و خاک	زمین‌شناسی
	فاصله از سکونتگاه		خاک

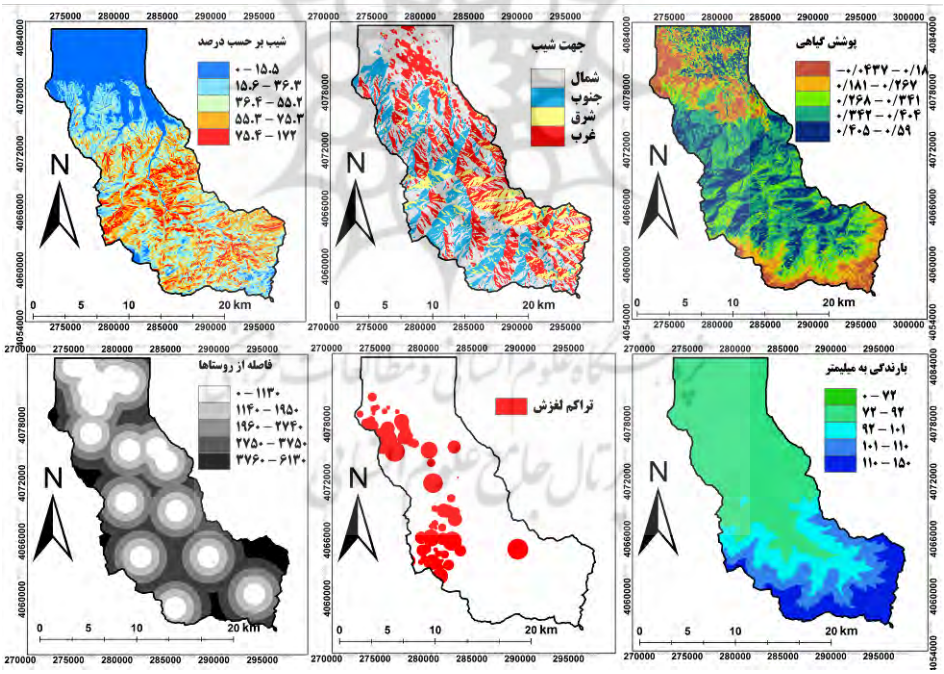
کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آنها در یک ناحیه می‌باشد. کاربری زمین ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تغییر رفتار آن در مقابل فرایندهای زمین-شناسی حاکم بر منطقه از جمله هوازدگی و فرسایش می‌شود. تاثیر این عامل را می‌توان اینطور بیان نمود که، به دلیل تنگنای مورفولوژیکی حاکم بر منطقه زرین گل و نبود اراضی برای احداث باغات، غالب باغات که تأمین‌کننده مایحتاج ساکنین هستند بر روی پهنه‌های شیب‌دار احداث شده‌اند. با توجه به اینکه گونه‌های گیاهی عموما از نوع درختان تنومند با تنه‌های پهن و وزن سنگین نظیر گردو، چنار، سپیدار و... هستند، سبب افزایش وزن دامنه و ارتفاع زیاد آن‌ها سبب می‌شود که اثرگذاری باد بر روی تاج آن‌ها بیشتر شده که نهایتاً نیروی باد به‌وسیله شاخه‌ها به تنه و از تنه به ریشه انتقال و سبب تحریک و افزایش تنش برشی مواد روی دامنه می‌شود. از طرف دیگر ریشه دوانی سبب تخریب مکانیکی و هوازدگی شیمیایی مواد به سبب وجود اسید هومیک شده که سبب کاهش مقاومت برشی مواد می‌شود. لذا در بین عوامل مؤثر در افزایش تنش برشی مواد و وقوع زمین لغزش‌ها این عامل به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور تلقی می‌گردد. تأثیر عامل پوشش گیاهی، در پایدارسازی دامنه‌ها به دو صورت است. گاهی به‌عنوان یک شاخص مثبت عمل کرده و سبب مقاوم‌سازی دامنه‌ها می‌شود و گاهی به‌عنوان یک عامل منفی عمل کرده و سبب عدم تثبیت دامنه‌ها می‌گردد. در این حوضه نقاط با شاخص تراکم پوشش گیاهی غنی که منطبق بر باغات و اراضی آبی هستند، بیشترین درصد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند بااین‌وجود تأثیر این واحد شبیه تأثیر واحد کاربری اراضی باغی در حوضه بوده که، سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود. به‌گونه‌ای که در نقاط با شاخص تراکم پوشش گیاهی کمتر این روند به‌شدت کاهش می‌یابد.ارتفاع، این عامل به‌طور غیرمستقیم، تعیین‌کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین لغزش مانند بارش سالانه، بارش‌های شدید و رگباری، نوع بارش، تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ، تخریب فیزیکی و هوازدگی شیمیایی است. بااین‌وجود این عامل در وقوع زمین لغزش‌ها می‌تواند بسیار مهم و اثرگذار باشد. ارتفاع: این عامل به طور غیرمستقیم، تعیین‌کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین‌لغزش مانند بارش سالانه، نوع بارش، تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ، تخریب فیزیکی و هوازدگی شیمیایی است. با این وجود این عامل در وقوع زمین لغزش می‌تواند بسیار مهم و اثر گذار باشد. بررسی ارتباط متغیر ارتفاع و حرکات لغزشی نشانگر می‌دهد، در منطقه زرین‌گل طیف‌های مرتفعی وجود دارند که عموما دچار حرکات لغزشی شده‌اند. نقش گسل‌خوردگی، را در خرد شدن سنگ‌های تشکیل‌دهنده دامنه، مهیا کردن شرایط جهت عبور آب‌های سطحی و زیرزمینی، افزایش میزان هوازدگی و آلتراسیون و کاهش مقاومت سنگ‌های اطراف توده‌های لغزشی، و تنش‌های انتقالی ناشی از لرزش آن‌ها نشان می‌دهد. این عامل به‌طور اساسی فاکتوری مهم در ناپایداری شیب‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تلقی می‌گردد. ضمن بررسی شبکه‌های هیدروگرافی، منطقه زرین گل مشاهده شد که، اغلب توده‌های لغزشی حوضه در نقاط نزدیک رودخانه‌ها داده‌اند و رابطه معکوسی بافاصله گرفتن از آن‌ها وجود دارد. نتایج حاصل از بکار کیری روش همپوشانی هم‌پیوند نیز مبین این

واقعیت است که واحدهای بافاصله صفرتا ۲۵۰ متری از رودخانه بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج بیانگر تأثیر این متغیر به صورت برداشت تکیه‌گاه جانبی و زیرین دامنه براثر فرسایش وزیری رودخانه است که نهایتاً منجر به تغییر در هندسه شیب دامنه و تند شدن آن می‌شود. اثرات نامبرده به طور منفعل توسط انسان هنگام احداث کانال‌های آب نیز صورت می‌گیرد این عامل علاوه بر اینکه منجر تغییر هندسه شیب دامنه، سبب نفوذ بیشتر آب از طریق خطوط آبراهه‌ها به لایه‌های حساس و نفوذ ناپذیر دامنه و سنگینی وزن آن می‌شود.

جدول ۲. *رله‌سازی واحدهای زیر معیارها از معیارهای اصلی*

شیب	طبقات	تعداد پیکسل‌ها هر طبقه واحدB	تعداد پیکسل‌ها لغزش A	نسبتAبهB(FR)	رتبه(مقیاس)(SI)
	۰-۵	۱۶۳۸۹۱	۸۶۵۷	۰/۰۵	۱
	۵-۱۵	۵۷۰۲۷	۱۴۸۸۶	۰/۲۶	۵
	۱۵-۳۰	۱۰۵۹۴۰	۲۵۷۷۳	۰/۲۴	۴
	۳۰-۶۰	۳۰۹۳۴۰	۴۸۴۹۹	۰/۱۶	۳
	۶۰ به بالا	۱۹۴۱۹۹	۲۸۳۳۳	۰/۱۵	۲
انحنای زمین	۱/۵- تا ۷-	۲۳۲۱۶	۳۲۱۲	۰/۱۴	۳
	۰/۴۶- تا ۱/۴-	۱۱۸۶۹۷	۱۸۳۲۰	۰/۱۵	۴
	۰/۲۱ تا ۰/۴۵-	۴۴۱۷۳۶	۶۴۹۷۳	۰/۱۵	۴
	۰/۹۴ تا ۰/۲۲	۱۸۹۵۴۳	۳۲۲۵۲	۰/۱۷	۵
	۶/۵ تا ۰/۹۵	۵۷۲۰۵	۷۳۹۱	۰/۱۳	۲
ارتفاع	۵۱۱ تا ۰	۳۰۶۸۹۹	۵۳۸۷۹	۰/۱۸	۴
	۱۱۲۰تا ۵۱۲	۱۳۸۰۰۱	۲۱۸۷۴	۰/۱۶	۳
	۱۷۴۰ تا ۱۱۳۰	۱۴۹۶۶۴	۳۴۱۶۱	۰/۲۳	۵
	۲۳۲۰ تا ۱۷۵۰	۱۶۸۶۷۳	۱۵۸۷۸	۰/۰۹	۲
	۳۲۳۰ تا ۲۳۳۰	۶۷۱۶۰	۳۵۶	۰/۰۱	۱
جهت شیب	۴۵ تا ۰	۳۶۱۶۹۳	۴۷۵۷۶	۰/۱۳	۲
	۱۳۵ تا ۴۵	۱۵۷۶۰۷	۳۷۷۰۰	۰/۲۴	۵
	۲۲۵ تا ۱۳۵	۱۰۳۰۲۷	۱۳۶۱۰	۰/۱۳	۲
	۳۱۵ تا ۲۲۵	۲۰۸۰۷۰	۲۷۲۶۲	۰/۱۳	۲
	۳۱۵ به بالا	۳۶۱۶۹۳	۴۷۵۷۶	۰/۱۳	۲
کاربری اراضی	مزرعه کشاورزی	۱۲۶۰۱۱	۴۴۱۱	۰/۰۴	۳
	دیم‌کاری	۵۶۹۳۴	۷۳۰۰	۰/۱۳	۴
	جنگل	۵۸۳۸۸۸	۱۱۱۷۶۲	۰/۱۹	۵
	مسکونی	۱۹۲۴۱	۲۶۷۵	۰/۱۴	۴
	مرتع	۴۴۳۲۳	۰	۰	۱
تراکم پوشش گیاهی	۰/۱۸ تا ۰/۴۰-	۴۶۲۹۹	۶۱۴۰	۰/۱۳	۳
	۰/۲۶ تا ۰/۱۸	۴۹۳۳۱	۴۴۱۹	۰/۱۱	۲
	۰/۳۴ تا ۰/۲۶	۶۸۷۳۰	۱۰۶۸۰	۰/۱۶	۴
	۰/۴۰ تا ۰/۳۴	۱۲۲۲۲۷	۱۹۹۴۰	۰/۱۶	۴
	۰/۵۹ تا ۰/۴۰	۸۲۳۵۳	۱۳۷۹۱	۰/۱۷	۵

بررسی و تحلیل نتایج نقشه‌های رستری (شکل شماره۳) که عوامل مؤثر در حساسیت زمین‌لغزش‌های منطقه را با استفاده از مدل همپوشانی LOOKUP نشان می‌دهند، گویای این مطلب است که به دلیل عدم تفاوت پذیری جهت شیب در زمین لغزش‌های ثبت شده، تأثیر این عامل نسبت به سایر عوامل کمتر است.عامل بعدی که میزان کمتری از تأثیر گذاری را به خود اختصاص داده است، عامل فاصله از گسل می‌باشد؛ در منطقه مورد مطالعه یک گسل فرعی (گسل زیارت) وجود دارد که به دلیل فاصله‌ی نسبتا کم از موقعیت زمین لغزش‌ها و نیز از ارتفاعات و طبعا دامنه‌های لغزش پذیر، تأثیر نسبتا بیشتری از این عامل در زمین لغزش در مقایسه با سایر عوامل دیده می‌شود. بیشترین میزان تأثیر بر زمین لغزش منطقه زرین گل، به ترتیب مربوط به عوامل لیتولوژی، فاصله از رود، ارتفاع، شیب، گسل، بارش و کاربری اراضی و کمترین میزان تأثیر نیز مربوط به پارامترهای جهت شیب و فاصله از جاده است. همچنین مناطقی با پوشش گیاهی کم (جدول ۲)، مناطقی با نفوذپذیری زیاد خاک، وجود لایه‌های رسی، مارنی و تبخیری و نفوذ آب‌های ناشی از آبیاری باغات و بارندگی از داخل درز و شکاف‌های متعدد در منطقه، سبب تجمع زیاد آب در سطح بین مواد هوازده و پی‌سنگ شده و درنتیجه باعث لغزنده شدن، کاهش نیروی اصطکاک و مقاومت برشی مواد و تشدید حرکت لغزشی تحت تأثیر نیروی ثقل روی سطح شیب‌دار به طرف پایین دامنه‌ها می‌شود. (جدول ۲)، دامنه‌های رو به شرق و شمال شرق به دلیل اینکه امکان یخبندان طولانی مدت و ذوب در آن‌ها بیشتر است. در بلندمدت یخبندان طولانی مدت نسبت به دامنه‌های دیگر مواد هوازده بیشتر فراهم می‌کند (جدول ۲) و کاربری زمین به صورت باغات به طریق افزایش وزن ناشی از رشد درختان در باغات و افزایش تنش برشی دامنه‌ها (جدول ۲) مناطق مستعد برای زمین لغزش است. واحدهای سنگی مرکب از سنگ‌های ولکانیکی و توفی (جدول ۲)، طبقات شیب ۳۳-۱۷ درصد (جدول۲)، و دیگر عوامل به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند.

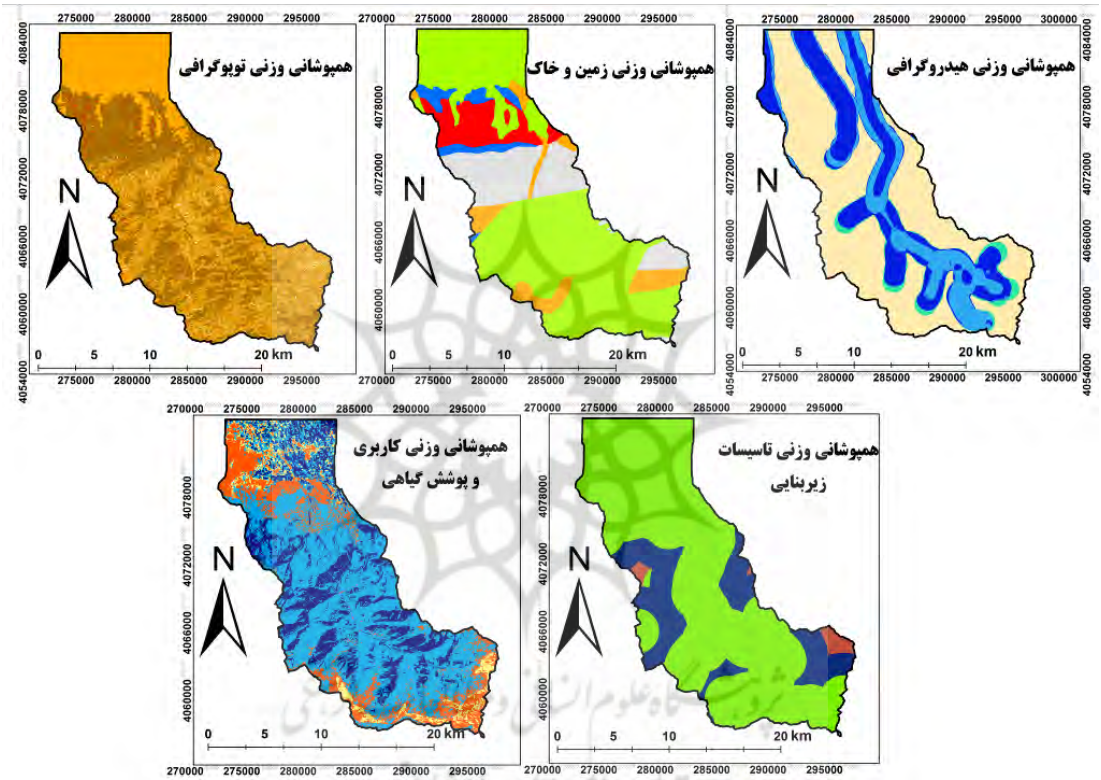


شکل ۳. نشان‌دهنده بعضی از معیارهای انتخابی در پژوهش به منظور پهنه‌بندی نهایی

در این مرحله با تلفیق نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه و نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده همانند (جهت شیب، شیب، انحنای زمین، خاک- فرسایش، ارتفاع،بارش، تراکم رودخانه، تراکم پوشش گیاهی) هر یک از این معیارها با زیر معیارهای خود تجمیع شده و در غالب نقشه‌های مربوطه که در شکل شماره ۴ آورده شده نمایان گردیده است. در منطقه موردمطالعه با مشاهده رده‌های شیب و زاویه شیب بیشترین وزن به‌دست‌آمده مربوط به شیب با میانگین(۵ تا ۳۰

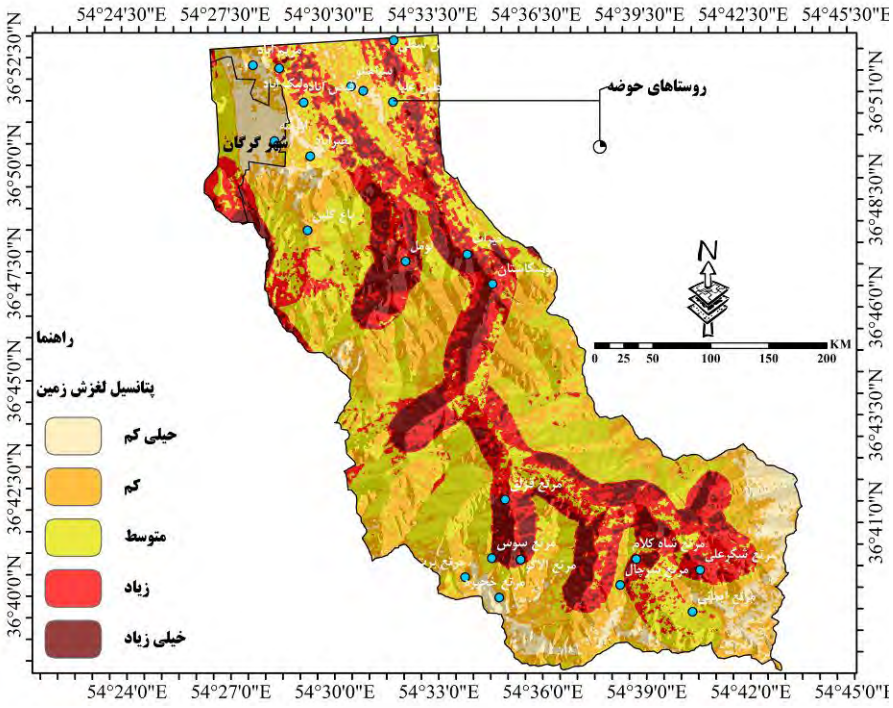
درجه) است، درشیب‌های کم برآیند نیروها به‌گونه‌ای صورت گرفته که نیروهای مقاوم بیشتر از نیروهای محرک است و درشیب‌های بالا به دلیل افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی حساسیت به فرسایش کاهش می‌یابد، و فرآیند خاک سازی ضعیف و ستبرای واریزه‌ها کمتر می‌شود، برای لایه سوی شیب، دامنه‌های غربی و دامنه‌های میانی بیشترین رخداد زمین‌لغزش را نشان داده‌اند، این شرایط به دلیل رطوبت و بارندگی است. دامنه‌های با بارندگی زیاد سریع‌تر به حالت اشباع می‌رسند و درنتیجه فشار منفذی دامنه‌ها افزایش می‌یابد. با این‌وجود این مسئله به ظرفیت نفوذ دامنه بستگی دارد، که توسط متغیرهای مختلفی مانند شیب و توپوگرافی، نوع خاک، نفوذپذیری، تخلخل، مواد آلی تشکیل‌دهنده، پوشش گیاهی و غیره کنترل می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در بررسی عامل زمین‌شناسی نشان می‌دهد که لیتولوژی پی‌سنگ در منطقه مورد مطالعه عمدتاً از شیل‌های رسی و سیلتی، سیلتستون، ماسه سنگ، مارن، سنگ‌های کربناته و گچ و آهک تشکیل شده است و با توجه به اینکه این سنگ‌ها از کانی‌های رسی و لایه‌های گچی و مارنی غیر قابل نفوذ تشکیل شده است؛ لذا آب در حد فاصل بین پی‌سنگ و مواد هوازده جمع شده و در نتیجه مواد هوازده به شکل تودهای (ریزش و جریان خاکی) تحت تأثیر نیروی ثقل به طرف پایین حرکت می‌کند. نتایج مربوط به لایه کاربری اراضی، رده‌های کشاورزی، و مراتع خوب را به‌عنوان مستعدترین مناطق نسبت به زمین‌لغزش به دلیل اشباع شدن خاک سطحی و کاهش نتش مؤثر معرفی کرده است. این نتیجه با کشاورزی در دامنه شیب‌دار منطقه مطابق است. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها در این منطقه، حفر و فرسایش در رده‌ها صورت می‌پذیرد که سبب شسته شدن مصالح پای دامنه‌ها و افزایش زاویه شیب دامنه‌ها می‌شود، و عامل نگه‌دارنده را از پای دامنه‌ها حذف می‌کند. نقشه‌های خطر زمین لغزش به‌دست‌آمده در این مطالعه نشان می‌دهد، که مساحت زیادی از منطقه دارای پتانسیل خطر زیاد و بسیار زیاد است. بر پایه وزن به دست آمده برای متغیرهای مؤثر درروش نسبت فراوانی و مقایسه نتایج آن‌ها متغیرهای سنگ‌شناسی، میزان بارش و کاربری زمین از عوامل بسیار مهم در ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند. برای جلوگیری از این‌گونه حوادث از یک روش مناسب برای پایدارسازی توده‌ای لغزنده لازم و ضروری است. روش‌های ثابت سازی بسیار زیاد است که از ناحیه‌ای به ناحیه‌ای دیگر متفاوت است. برای مقاوم سازی بعضی از انحناها از اصول سکوبندی یا تراس‌بندی دامنه‌ها استفاده شود، در این روش تراس‌بندی به عرض تقریبی ۶ متر بر روی پله‌هایی به ارتفاع ۱۳ متر قرار می‌گیرد و منجر به پراکندگی و توزیع مجدد بار وارد آمده و تثبیت لغزش‌های چرخشی در سنگ ضعیف می‌شوند. با شکست‌ها و لغزش‌های کوچک بر روی دامنه شیب‌دار این پلکان‌ها بدون خطر بر روی سکوها فرود می‌آیند. بعضی‌اوقات کانال‌های پهنی را در کنار جاده‌ها و در بخش پائین دامنه‌های شیب‌دار که در معرض خطر لغزش قرار دارند تعبیه می‌کنند تا مواد لغزنده در آنجا جمع شوند . این روش بیشتر در خاک‌های کوهستانی و دامنه‌های دارای شیب متوسط تا تند مورداستفاده قرار می‌گیرد. استفاده از دیواره‌های حائل ازجمله روش‌های تایید شده در تثبیت زمین لغزش است. ارتفاع، طول، عرض و شیب‌های دیواره‌های حائل و نوع آن‌ها به‌ویژه پیش‌بینی زهکشی آب از میان دیوار با توجه به ساختار زمین‌شناسی محل و شکل هندسی زمین لغزش طراحی می‌شود. این روش در پایدارسازی زمین مستعد رانش نقش بسیار مهمی دارد آهک‌دهی در رس‌ها باعث کاهش خاصیت خمیری آن‌ها به دلیل تغییر حالت مونت موریلونیت سدیم دار به انواع کلسیم‌دار می‌گردد و به تثبیت سازی دامنه‌ها کمک می‌کند. عناصر دانه‌ریز مانند رس و مارن که دارای ویژگی تیکر و تروپی هستند (وجود آب در داخل مواد) و از رسیدن آب به مقدار کافی موجب جابه‌جایی مواد به شکل توده‌ای که فواراژ معروف است می‌شود و برای جاده‌های کناره‌ای دامنه‌ها مزاحمت ایجاد می‌کنند و در این مورداستفاده از روش بارباکان جهت تخلیه آب می‌تواند در پایداری نسبی دامنه‌ها مؤثر باشند. با این وجود با توجه به اثرات مرکب عوامل طبیعی و مصنوعی در وقوع این پدیده‌ی طبیعی در مناطق مختلف می‌توان از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای تعین مناطق حساس به فرسایش و ارزیابی آن استفاده نمود و هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزار GIS به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش پرداخت. انجام عملیات مربوط به کاهش آب زیرزمینی، زهکشی، جلوگیری از نفوذ آب، مقاوم سازی سکوهای دامنه‌ای، احداث دیواره حائل، جلوگیری از تخریب گونه‌های گیاهی و کاشت گیاهان محلی، جلوگیری از فعالیت‌های نادرست انسانی، جلوگیری از گسترش

منـاطق مسـکونی و یـا مراکـز عمـومی در مناطق مستعد مخصوصاً مناطق با پهنه‌های خطر بالا قبل از پایدارسازی آن‌ها جلـوگیری شـود، سنجش مناطق آسیب‌پذیر و پهنه‌بندی زمین لغزش ،کاهش سطوح شیب‌دار، تأسیس گروه مطالعاتی مسـتقل زمین لغزش و از همه مهم‌تر آموزش همگانی به‌ویژه ساکنان اطراف مناطق حساس به زمین‌لغزش به منظور توجه بیشتر به صدمات ناشی از آن و کاهش سرمایه‌گذاری در آینده می‌توان از وقـوع زمین‌لغزش در سطح این مناطق پیشگیری نمود. همچنین جلوگیری احداث غیراصولی جاده‌ها است. بـرای پیشگیری از اثرات تخریب این کار از کارشناسان آبخیزداری در هنگام طراحی‌ها و احداث جاده‌ها به خصوص جنگلی استفاده گردد. در نهایت ارائه‌ی یک الگوی مناسب برنامه‌ریزی برای مقابلـه بـا بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی که می‌تواند اثرات قابل‌توجهی داشته باشـد و طـرح جـامع بلایـای مـدیریت بحران باید در سطح اصلی اقدامات فوریتی بعد از حادثه و نیز در سطح پیش‌بینی‌های کوتاه مدت و بلند مدت در جهت کاستن از آثار مخرب و مصیبت بار فاجعـه تنظـیم گـردد کـه در ایـن رابطـه مـدیریت یکپارچه‌ی حوضه رودخانه مورد نیاز است.



شکل ۴. نشان‌دهنده تلفیق معیارهای فرعی از گروه معیارهای اصلی موردسنجش واقع شده

پس از طبقه‌بندی نقشه حساسیت وقوع زمین لغزش منطقه موردمطالعه طبق معیارهای تعیین‌شده در پنج طبقه و با نظر به اینکه پتانسیل لغزش تابعی از چند معیار است که متناسب با هر معیار می‌توان نقشه آسیب‌پذیری را تولید نمود، در نهایت از همپوشانی یا ترکیب این نقشه‌ها، نقشه پتانسیل زمین لغزش نهایی (شکل شماره ۵) تهیه شد. با توجه به این‌که معیارهای مؤثر در پتانسیل لغزش در چند گروه طبقه‌بندی شده‌اند بنابراین نقشه نهایی نیز با توجه به مقادیر هر معیار به ۵ طبقه خطر رانش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد پهنه‌بندی شده است. در تحقیق حاضر از همپوشانی وزنی برای ترکیب نقشه‌ها استفاده شده است.



شکل ۵. خروجی نهایی پتانسیل حساسیت وقوع زمین لغزش

ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش

به‌منظور دستیابی به مدل منطقه‌ای مناسب برای مناطق کوهستانی از روش ROC استفاده شد (جدول شماره۳). در ارزیابی به روش ROC هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به‌طورکلی تقسیم‌بندی ۰/۹ -، ۱، عالی، ۰/۹ – ۰/۸، خیلی خوب، ۰/۸ – ۰/۷، خوب، ۰/۷ – ۰/۶، متوسط و ۰/۶ – ۰/۵، ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند.

جدول ۳. *خروجی محاسبه منحنی ROC در مدل*

فواصل اطمینان مجانبی ۹۵٪		درجه اهمیت مجانبی.[b]	انحراف معیار.[a]	مساحت زیر منحنی
حد بالایی	حد پایینی			
۰/۹۶۹	۰/۹۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۵۳	۰/۹۳

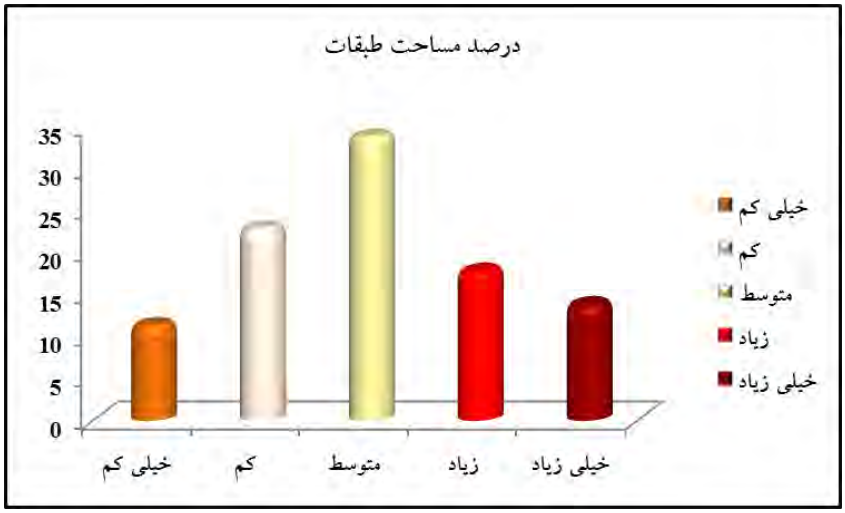
[a]. فرض غیر پارامتریک بودن داده‌ها

[b]. فرض صفر: صحت مساحت زیر منحنی = ۰/۵

جدول ۴. *موقعیت جغرافیایی روستاهای در محدوده وقوع لغزش بالا*

روستا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	روستا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
خیرات	۵۴,۵۷۱۴۸۲°	۳۶,۷۹۴۸۰۱°	توسکستان	۵۴,۵۸۳۵۰۱°	۳۶,۷۸۱۵۸۵°
مریم آباد	۵۴,۴۷۲۷۷۷°	۳۶,۸۶۹۰۳۵°	مرتع شکر علی	۵۴,۵۶۷۴۱۵°	۳۶,۷۴۷۷۱۸°
فیض‌آباد	۵۴,۴۹۶۹۰۲°	۳۶,۸۵۶۲۹۵°	مرتع قزلق	۵۴,۳۵۵۶۸۸°	۳۶,۴۱۵۰۸۳°

بر اساس خروجی مساحت طبقات طبق نقشه نهایی (شکل شماره۶) می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین مساحت بدست آمده به ترتیب مربوط به طبقه متوسط با میانگین ۳۵ درصد،طبقه کم با میانگین ۲۳ درصد، طبقه زیاد با میانگین۱۸درصد،طبقه خیلی کم با میانگین۱۱ درصد و طبقه خیلی زیاد ۱۳ درصد را به خود اختصاص داده است.

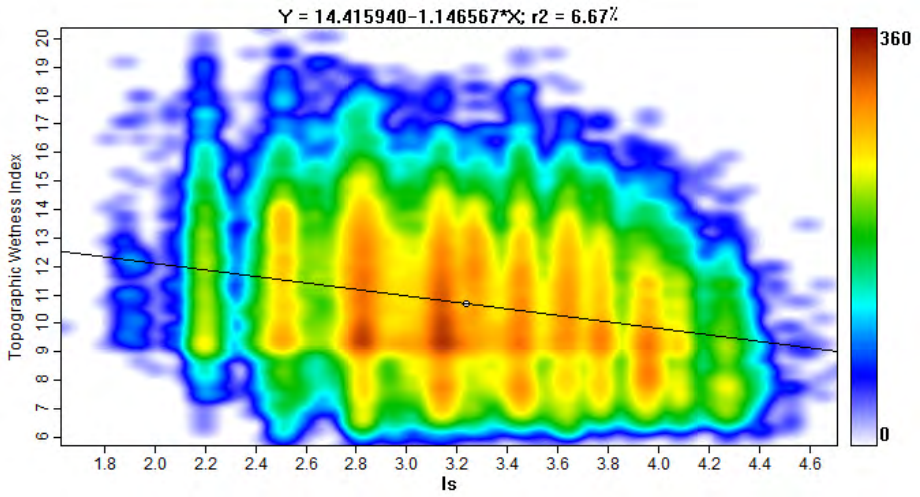


شکل ۶. مساحت و درصد هریک از طبقه‌ها در نقشه نهایی

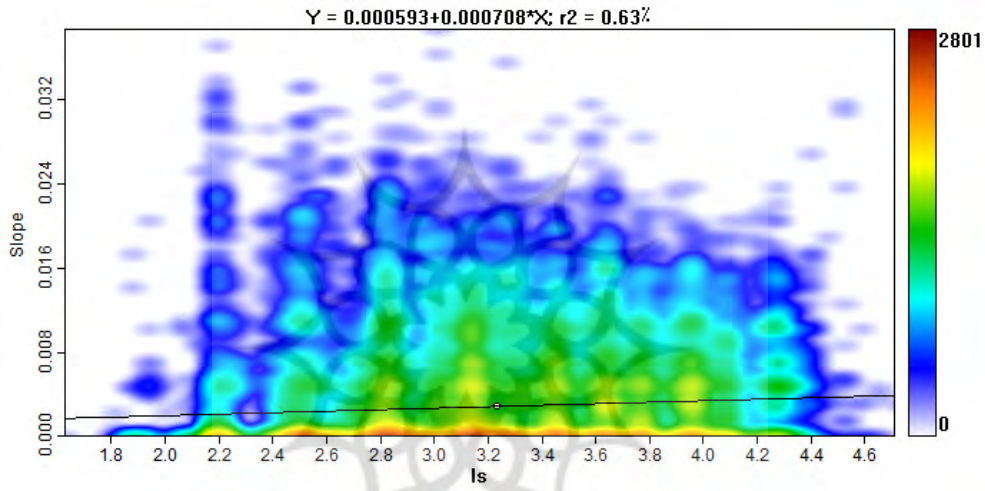
جدول ۵. *مساحت و درصد طبقات*

کلاس	درصد	مساحت/هکتار
خیلی کم	۱۱,۴۰	۳۷۸۳,۲۴
کم	۲۲,۹۱	۷۶۰۰,۴۱
متوسط	۳۳,۹۰	۱۱۲۴۹,۱۰
زیاد	۱۷,۸۹	۵۹۳۶,۰۴
خیلی زیاد	۱۳,۹۰	۴۶۱۲,۱۴

طبق اشکال(۷-۸) که در آن بردار افقی دامنه حساسیت وقوع زمین لغزش را نمایان می‌کند و بردار عمودی دامنه شاخص رطوبت توپوگرافیک و شیب را نشان می‌دهد. شیب سطح زمین به عنوان یکی از پارامترهای هندسی که سیستم فعالیت و بدنبال آن لغزش را کنترل می‌کند بطور غیر مستقیم منعکس کننده تأثیر لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و ... می‌باشد. بر این اساس میتوان نتیجه گرفت که هر چه شاخص رطوبتی و شیب افزایش می‌یابد حساسیت لغزش به همان نسبت بیشتر می‌شود.



شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین خروجی نهایی و شاخص رطوبت توپوگرافی



شکل ۸. رابطه رگرسیونی بین خروجی نهایی و شیب منطقه

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله در مناطق کوهستانی خسارات زیادی را به مراتع، اراضی کشاورزی و تأسیسات زیربنایی وارد می‌کند. به نقل از پرادهان و همکاران(۱۳۹۰) از منظر زمین لغزش ۳ درصد از مساحت کل کشور در محدوده خیلی خطرناک و ۷ درصد در محدوده خطرناک، ۲۰ درصد در محدوده خطرمتوسط ۳۰ درصد در محدوده کم‌خطر و ۴۰ درصد در محدوده بی خطر قرار گرفته است. همچنین طبق آمار بدست آمده از سازمان زمین شناسی کشور ۳۰,۳۶ درصد سطح استان گلستان در پهنه با خطر زیاد زمین لغزش واقع شده است. در اثر لغزش علاوه بر وارد شدن خسارات بر شهرها و روستاها و راه‌ها، محیط طبیعی نیز به‌واسطه فرسایش خاک آسیب می‌بیند. به طورکلی، ترکیبی از هندسه شیب، دامنه کوه، پوشش گیاهی، خاک و خصوصیات سنگ، ساختار توده سنگی، بارش و شرایط رطوبتی (شامل آبهای سطحی و زیرزمینی) اثرات مستقیمی بر بی ثباتی دامنه به جای می-گذارند. نتایج جدول ۳ و وزن‌های به دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی توسط انسان به‌صورت باغات و زمین‌های زراعی و درنهایت تغییر شیب دامنه‌ها در ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش‌ها نقش دارند و از عوامل تشدیدکننده زمین لغزش‌ها در منطقه است. عامل گسل کمترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشته است. اما نمی‌توان گفت که هیچ تأثیری ندارد زیرا با بررسی نتایج وزن‌های

به‌دست‌آمده در مدل تحلیل شبکه و انقطاع نقشه گسل. با نقشه پراکنش زمین‌لغزش معلوم شد که در فاصله ۲۰۰ الی ۳۰۰ متری از گسل زمین‌لغزش‌هایی رخداده است. تأثیر گسل بدین گونه است که گسل‌ها باعث خردشدگی و ایجاد درز و شکاف در توده‌های سنگی اطراف شده و نفوذ عوامل فرسایشی به داخل توده را آسان می‌کنند. نفوذ آب‌های سطحی به داخل درز و شکاف‌ها با افزایش فشار منفذی و کاهش اصطکاک همراه بوده و ناپایداری دامنه را افزایش می‌دهد. نتایج وزن‌های به دست آمده خطوط آبراهه‌ای نشان داد که بیشترین لغزش‌ها در فاصله ۵۰-۰ متری از رودخانه رخداده است (جدول ۲). تأثیر این عامل به‌صورت برداشت تکیه‌گاه جانبی و زیرین دامنه‌ها براثر فرسایش و زیر بری رودخانه است که درنهایت سبب تغییر هندسه و تند شدن آن را می‌شود. همچنین نتایج خطوط ارتباطی نشان می‌دهد که خطوط ارتباطی با تغییر هندسه شیب دامنه‌ها، حذف تکیه‌گاه جانبی براثر تنش‌های انتقالی زمین در زمین لغزش‌های منطقه مؤثر است. بررسی نقشه بارندگی حوضه و نتایج حاصل از وزن‌های به‌دست‌آمده در هر طبقه از بارش نشان می‌دهد، که نقاط با بارش بیشتر، کمتر دچار لغزش شده‌اند. یعنی رابطه بارش با حرکات لغزش یک نوع رابطه معکوس است، و دلیل آن نحوه توزیع مکانی بارش است و می‌توان آن را با رابطه بارش و ارتفاع توجیه کرد. بدین معنی با افزایش ارتفاع حوضه، متوسط بارش سالانه آن نیز افزایش می‌یابد اما دیگر شرایط لازم برای وقوع زمین‌لغزش با افزایش ارتفاع و شیب از بین می‌رود. یعنی در ارتفاعات و شیب‌های تند جنس سازندها سخت شده و حرکات از حالت لغزشی به ریزش تغییر می‌یابد که نتایج حاصل از جداول ارتفاع و شیب نیز گواه این مسئله است چنانچه بیشترین حرکات لغزشی در ارتفاعات و شیب‌های کم رخداده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که خاک‌های با نفوذپذیری زیاد بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. چنانچه اگر نفوذپذیری خاک زیاد باشد باعث کاهش مقاومت برشی و افزایش تنش برشی مواد روی دامنه می‌شود و سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد. منطقه موردمطالعه با توجه به لندفرم عموما کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی، و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی را برای ایجاد بخش وسیعی از زمین لغزش‌ها داراست و این حرکت دامنه‌ها سالیانه تبعات مالی فراوانی به محدوده مورد مطالعه وارد می‌سازند اما متأسفانه تا به امروز، تمام بررسی‌ها مقطعی و بدون برنامه‌ریزی منسجم و کارآمد از سوی مسئولان ذی ربط انجام گرفته است پس مطالعه و پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش با یک دید کاملاً علمی لازم و ضروری است. بنابراین روش نسبت فراوانی به روش ارزش آماری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این منطقه زرین‌گل، روش کارآمدتری به حساب می‌آید که از لحاظ شباهت با نتایج سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، صفایی پور و همکاران (۱۳۹۵)، روستایی و جانانه (۱۳۹۸) که روش هم پیوند را جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناسب ارزیابی کردند. از لحاظ تفاوت با نتایج حجازی و همکاران (۱۳۹۸) و خدائی قشلاق و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد. پیشنهادهای زیر ارائه می گردد:

۱ـ فرار از مناطق لغزشی و عدم هرگونه فعالیت در آن‌ها ۲- پذیرش خطر و در نظر گرفتن هزینه‌های امداد رسانی بعد از وقوع ۳- داشتن اطلاعات پایه در مورد پدیده زمین لغزش ۴- درک درست مسئولان محلی از اهمیت موضوع ۵- درون نگری با اعمال پیشگیری و کنترل قبل از وقوع ۶- افزایش کارایی و توان علمی کارشناسان اجرایی و تصمیم گیران در مورد پدیده زمین لغزش ۷- استفاده از سامانه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به‌منظور شناسایی و کاهش هزینه‌های اجرایی ۸- برای پایدارسازی بعضی از دامنه‌ها از روش سکوبندی یا تراس‌بندی دامنه‌ها استفاده شـود ۹- استفاده از دیواره‌های حائل در تثبیت زمین‌لغزش ۱۰- آهک‌دهی در رس‌ها جهت کاهش خاصیت خمیری مناطق لغزشی ۱۱- استفاده از روش باباکـان جهت تخلیه آب به‌منظور پایداری نسبی دامنه‌ها مؤثر ۱۲- ایجاد سیستم‌های زهکشی سطحی و عمیق و احداث دیواره‌های مصنوعی در دو طرف رودخانه و همچنین آموزش روستائیان در مورد نوع استفاده از خاک، نوع کشت و آبیاری از جمله عواملی هستند که می‌تواند به پایداری دامنه‌هایی که دارای پتانسیل لغزش هستند، کمک کند. ۱۳- در مناطقی که با خطر خیلی زیاد و زیاد مشخص‌شده‌اند، باید مطالعات پایداری شیب‌ها برای احداث سازه‌ها صورت گیرد و سازه‌های متمرکز باید در محل‌های کم خطر تر احداث شوند.

منابع

حجازی، سید اسد اله، روستایی، شهرام، رنجبریان شادباد، مریم(۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور، در حوضه آبریز حاجیلرچای. *جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۴۴)، ۵۱-۶۵.

رستمی، ذبیح اله، المدرسی، سید علی، جمالی، علی اکبر(۱۳۹۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیر سد چم گردلان ایلام). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۸(۲۲)، ۱-۱۸.

سلیمانی، نجمه؛ فرخ‌نیا، علیرضا، معتمدی، حسین(۱۳۹۶). پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در محدوده‌ی سایت حفاری چاه A با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، *ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز*، ۱۴۸، ۱-۶۶.

روستایی، شهرام، جانانه، کریستینه (۱۳۹۸). پهنه بندی خطر وقوع ناپایداری دامنه ای در حوضه آبریز بالقلو چای اردبیل با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۳(۷۰)، ۱۶۹-۱۸۸.

اصغری سراسکانرود، صیاد، پالیزبان، دلنیا، امامی، هادی، قلعه، احسان (۱۳۹۹). تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب - نیر). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۴(۷۳)، ۲۲-۱.

صفایی‌پور، مسعود؛ شجاعیان، علی و آتش افروز، نسرین(۱۳۹۵). پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP در محیط GIS (منطقه مورد مطالعه روستای دره گز قلندران شهر دهدز)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۱)، ۱۰۵-۱۱۸.

عابدینی، موسی، فتحی، محمدحسین(۱۳۹۷). پهنه بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۲(۴)،۷۱-۸۵.

عظیم‌پور، علیرضا، صدوق، حسن، دلال اوغلی، علی و ثروتی، محمدرضا(۱۳۸۸). ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه‌موردی: حوضه‌آبریز اهرچای)، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، ۹(۲۶)، ۸۷-۷۱.

عباسی حامد، شرفی سیامک، مریانجی زهره(۱۳۹۶). تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده مجتمع های زیستی شهری در استان لرستان، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴ (۲)،۱۰۷-۱۲۵.

غلامی، معصومه، قنواتی، عزت اله، احمدآبادی، علی(۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین های پشتیبان بردار (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن). *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۸(۱)، ۱۶-۳۳.

فنی، زهره، قشمی، سید محمدرضا (۱۳۹۷). پهنه بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات چهارگانه محیطی زمین لغزش، سیل، زلزله و فرونشست موردپژوهی: مناطق ۲۲ گانه شهر تهران. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۷(۱۰۸)، ۸۹-۷۷.

قنبری، ابوالفضل، کرمی، فریبا، سالکی، محمدعلی(۱۳۹۶). ارزیابی استعداد بروز زمین لغزش های احتمالی در محدوده شهر تبریز، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴ (۱)،۱-۱۶.

خدائی قشلاق، لیلا، روستایی، شهرام، مختاری، داود، ولیزاده کامران، خلیل (۱۴۰۰). پایش زمین‌لغزش‌ها با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری InSAR (مطالعه موردی : منطقه اهر تا ورزقان). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۵(۷۵)، ۱۱۳-۱۲۶.

کرم، عبدالامیر؛ محمودی، فرج ا...(۱۳۸۴). مدلسازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (حوضه‌ی آبریز سر خون، استان چهارمحال و بختیاری)، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۷ (۵۱)، ۱۴-۱.

خدائی قشلاق، لیلا، روستائی، شهرام، حجازی، سید اسدالله(۱۳۹۶). ارزیابی روش رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه حاجیلر چای. *جغرافیای طبیعی*، ۱۰(۳۷)، ۴۵-۵۷.

معزز، سمیه، روستایی، شهرام، رحیم پور، توحید(۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۸(۲)، ۲۳-۳۷.

مقصودی، مهران، محمدخان، شیرین، پیرانی، پریسا، ریاهی، سمانه، گراوند، فاطمه(۱۳۹۸). بررسی عوامل مؤثر بر مخاطره زمین‌لغزش‌های بالادست سد لتیان با استفاده از روش‌های ارزیابی آنتروپی و فازی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۷(۴)، ۱۸-۱.

یمانی، مجتبی، خداپور، سیروس، مصطفایی، ابولفضل، شادمان رود پشتی، مجید(۱۳۹۱). نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS ، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳ (۴)، ۵۶-۳۹.

Guzzeti, F. Reichenbach, P. Cardinal, M. Galli, M. and Ardizzone, F .2005. ProbilisticLandslide Hazard Assessment At The Basin Scale, Geomorphology, Natural Hazard in Developing countries, Geomorphology, Vol. 47. Pp.107 – 124.

Hadmoko DS, Lavigne F, Sartohadi J, Hadi P, Winaryo .2012. Landslide Hazard and Risk Assessment and Their Application in Risk Management and Landuse Planning in Eastern Flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia.

Oh, H.-J., & Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers & Geosciences, 37(9), 1264-1276.

Petschko, H., Brenning, A., Bell, R., Goetz, J., Glade, T.2014. Assessing the quality of land slide susceptibility maps- case study Liwer Austria. Natural Hazards Earth System Sciences, 14(1), 95-118.

Roering, J. J. Kirchner, J.W. Dietrich, W. E .2005. Characterizing Structural and Lithological Controls on Deep-Seated Land Sliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in The Oregon Coast Range, USA. Geological Society of America Bulletin 117, 654–668.

ww.wiki2.5040.ir

Wang, L.j., Kazuhide, S., Shuji, M. 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based On FCM sampling strategy, Computers & Geosciences, Volume 57, 81-92.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی