پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل آماری دو متغیرهٔ وزنی AHP در استان گلستان

سولماز خزایی موغانی[1]، ناصر بای[2]، نادر اویسی[3]
۱.دانشجوی دکترای آبخیزداری، گلستان، ایران.
Email:so.khazaei@gmail.com
۲.دکترای اقلیم‌شناسی، مرکز علمی- کاربردی هلال احمر استان گلستان، ایران.
۳.مدیر امورپژوهشی، مؤسسه آموزش عالی علمی- کاربردی هلال ایران، تهران، ایران.

دریافت: ۹۲/۱۱/۱۲ پذیرش: ۹۳/۷/۱

چکیده

مقدمه: زمین‌لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه ساله خسارت جانی و مالی فراوانی در کشور به همراه دارد و باعث تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق کوهستانی، ایجاد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز می‌شود.

روش‌ها: در این پژوهش، خطر زمین‌لغزش واقع در استان گلستان با مدل آماری دو متغیرهٔ تراکم سطحی، وزن‌دهی شده با روش AHP ارزیابی شد. ابتدا با بازدید میدانی و استفاده از اطلاعات محلی از زمین‌لغزش‌های موجود (تعداد و مساحت) فهرست‌برداری شد و نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش به تفکیک شهرستان تهیه گردید.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، نقشهٔ خطر نسبی با ۶ کلاس تهیه گردید که بیشترین و کمترین تعداد زمین‌لغزش‌ها به ترتیب در شهرستان مراوه تپه و آق‌قلا رخ داده است و بیشترین مساحت لغزش در شهرستان علی‌آباد می‌باشد. همچنین شهرستان‌های کلاله کردکوی و علی‌آباد بیشترین درصد از طبقه خطر بسیار زیاد و شهرستان‌های گنبد، رامیان، ترکمن و گمیشان کمترین درصد از طبقه خطر بسیار زیاد را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: تجزیه و تحلیل عوامل وقوع زمین‌لغزش در هریک از شهرستان‌های استان گلستان، نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در زمین‌لغزش از اهمیت متفاوتی برخوردارند.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر، روش AHP

مقدمه

بلاهای طبیعی از زمان‌های بسیار دور، همواره با تهدید منابع و زندگی، مشکلات عدیده‌ای را برای بشر به وجود آورده است. لذا امروزه شناسایی راه حل‌های مناسب برای تسکین، کنترل و کاهش خسارت ناشی از وقوع حوادث طبیعی، مورد توجه مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و سازمان‌های جهانی است. در بین ۴۳ خطر طبیعی تهدید کننده زندگی بشر و منابع طبیعی، پدیده زمین‌لغزش با وجود تفاوت‌های شدید وابسته به شرایط محیطی، از جایگاه خاصی برخوردار است (۱۱). عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژیکی، وضعیت توپوگرافی، مورفولوژی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک دامنه تأثیر می‌گذارند و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند (۱۵). مناطق شمالی کشور از جمله مناطقی هستند که میزان درصد زمین لغزش آنها به طور نسبی زیاد است و همچنین ترکیب عوامل طبیعی و انسانی باعث وقوع خسارت‌های زیاد ناشی از این پدیده شده است. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های یک منطقه و پهنه‌بندی خطرهای حاصل از آن می‌تواند کمک مؤثری در کاهش خسارت‌های حاصل از این پدیده با دوری جستن از این مناطق بنماید، با این هدف لازم است تا نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای این مناطق تهیه گردد. شرایط زمین‌شناسی یکی از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های استان گلستان می‌باشد، وجود رخنمون‌های وسیع از سازندهای حساس به لغزش از قبیل شیست‌های گرگان، سازند شمشک، سازند خوش ییلاق، لس‌های کواترنر و همچنین خاک رویی نسبتاً ضخیمی که روی سازندها تشکیل شده موجب گردیده که سطح قابل توجهی از استان به طور بالقوه دارای شرایط وقوع حرکت توده‌ای باشد. در کنار این عوامل عامل انسانی نیز با استفاده نادرست از منابع طبیعی، تغییر کاربری و احداث جاده‌های متعدد روستایی و جنگلی در سطح استان حرکت‌های توده‌ای را بسیار تشدید می‌کند (۵). اصل و پایه روش‌های کیفی برپایه استفاده از شاخص زمین‌لغزش در نواحی مشخصی با ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مشابه هستند. روش‌های کیفی که از وزن‌دهی و نرخ‌دهی استفاده می‌کنند به عنوان روش‌های نیمه کمّی شناخته می‌شوند. کلارستاقی و همکاران (۱۳۸۶) مطالعهٔ وقوع زمین‌لغزش‌ها را در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده سازی با استفاده از نرم‌افزار GIS در حوضهٔ آبخیز تجن ساری انجام دادند. نتایج آنها نشان داد، بیشتر زمین‌لغزش‌ها در مناطقی با تغییر کاربری از جنگل به اراضی دیم و باغ در دامنه-های شیبدار و نزدیک به جاده رخ داده است. ملکی و قربانپور (۱۳۸۷) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضهٔ چرمله شهرستان سنقر استان کرمانشاه را با استفاده از چهار روش تراکم سطح، قضاوت کارشناسی (تحلیل سلسله مراتبی)، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی نقشه‌های خطر زمین‌لغزش این حوضه تهیه کردند. عظیم پور و همکاران (۱۳۸۸) در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در حوضهٔ آبخیز اهرچای با استفاده از AHP نتیجه‌گیری کردند که عوامل زمین‌شناسی بیشترین وزن و عوامل انسانی

کمترین وزن را دارد. سنگچینی و همکاران (۱۳۸۹) ارزیابی و مقایسهٔ مدل آماری دومتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز چهل‌چای، استان گلستان را با ۴ روش مدل آماری دومتغیره و تراکم عددی انجام دادند. حاتمی‌فرد و همکاران (۱۳۹۱) با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد معیارهای فاصله از آبراهه، جاده و تراکم آبراهه مهم‌ترین عوامل زمین‌لغزش هستند. ایلماز (۲۰۰۹) با تهیهٔ نقشهٔ استعداد زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی، آماری لجستیک و شبکهٔ عصبی در ناحیه تاکات ترکیه به این نتیجه رسید که مدل نسبت فراوانی با یک مقدار داده کافی، می‌تواند به عنوان یک ابزار ساده در ارزیابی استعداد زمین لغزش استفاده شود. ناندی و شکور (۲۰۰۹) ارزیابی حساسیت‌پذیری به زمین‌لغزش را بر پایه GIS با استفاده از آنالیزهای آماری دومتغیره و چندمتغیره رگرسیون لجستیک در حوضهٔ رودخانهٔ کیاهوگا در شمال شرق در امریکا انجام دادند. در این پژوهش درجهٔ شیب، تیپ خاک، فرسایش‌پذیری خاک، شاخص خمیرایی خاک الگوی پوشش گیاهی، بارندگی و نزدیکی به آبراهه به عنوان عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش حوضه انتخاب شدند.

روش تحقیق

روش مورد استفاده در این تحقیق، روش نیمه کمّی ارزش اطلاعاتی است، در این روش مانند سایر روش‌ها ابتدا عوامل اعتبار نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش عمدتاً به مقادیر و کیفیت داده‌های موجود، مقیاس کار و انتخاب روش تحقیق مناسب برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی بستگی دارد. در این تحقیق پس از پهنه‌بندی و شناسایی مناطق مستعد تأثیرگذار در وقوع لغزش مثل شیب، جهت شیب، باران، کاربری ارضی، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، نقشه عوامل مذکور تهیه و با روش سلسله مراتبی از نظر خطر زمین‌لغزش، پهنه‌بندی گردید. یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین لغزش، شناسایی و تهیهٔ نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته می‌باشد. بدین منظور از طریق بازدید میدانی، استفاده از اطلاعات محلی و همچنین نقشهٔ پراکنش زمین لغزش (تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید میدانی) و اطلاعات موجود در ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه گردید. پس از تکمیل پرسشنامه‌های مربوط، ویژگی‌های هر کدام از زمین لغزش‌ها ثبت شد. سپس با استفاده از نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش فراوانی و مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر شهرستان محاسبه شد. با مرور منابع قبلی و با بررسی شرایط محلی منطقهٔ مورد مطالعه (از بین ۱۴ عامل در منابع مختلف) ۸ عامل، شیب، جهت، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و میزان بارندگی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب گردید. پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گلستان، تعداد ۵۷ ایستگاه با دورهٔ آماری مناسب (۱۳۸۷-۱۳۴۷) انتخاب شد. در ادامه، مقادیر بارش سالانه این ایستگاه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از روش کریجینگ، میان‌یابی و

نقشهٔ هم بارش استان گلستان تهیه گردید. نقشهٔ فاصله از گسل در ۵ طبقه (طبق تقسیم‌بندی مصفایی، ۱۳۸۵، ۱۶۵) نقشهٔ فاصله آبراهه در ۷ طبقه، نقشهٔ فاصله از جاده در ۶ طبقه (طبق تقسیم بندی کلارستاقی و همکاران، ۱۳۸۶، ۸۵)، نقشه شیب بر اساس DEM، در ۶ طبقه (طبقه‌بندی حائری و سمیعی، به نقل از کورکی نژاد و همکاران، ۱۳۸۴، ۹۴) و نقشهٔ جهت بر اساس DEM در ۵ طبقه تقسیم‌بندی شد. در ادامه، بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی، همچنین نقشهٔ کاربری اراضی در ۹ طبقهٔ مناطق مسکونی، جنگل، کشت دیم، کشت آبی، جنگل مصنوعی و باغ، دریاچه، مرتع، اراضی شور و باتلاق تهیه گردید.

یافته‌ها

فرایند تحلیل سلسله مراتبی براساس تجزیهٔ مسائل پیچیده به سلسله مراتب استوار است که در رأس آن هدف کلی قرار دارد. بعد از تجزیه مسئله به صورت سلسله مراتب، عناصر سطوح مختلف به صورت دوتایی با هم مقایسه می‌شوند. سپس براساس میزان ارجحیت دو معیار، ارزش‌گذاری انجام می‌شود (۱)

تحلیل سلسله مراتبی ۴ مرحله دارد:

۱- ایجاد درخت سلسله مراتبی: انتخاب معیارها و عوامل مؤثر بر هدف تصمیم؛

۲- مقایسهٔ زوجی: مقایسات زوجی توسط گروه کارشناس خبره انجام شده است. در این مرحله با توجه به عوامل مؤثر، ماتریس وزن برای مقایسه تشکیل، و عوامل مؤثر دو به دو با هم مقایسه شدند. این قضاوت‌ها در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی تبدیل به مقدار کمی بین۱ تا ۹ شده است (جدول شمارهٔ ۱)؛

۳- محاسبهٔ وزن یا میزان اثر بخشی هر یک از عوامل؛

۴- محاسبهٔ نرخ تراکم هر واحد: بدین منظور نقشهٔ هر یک از عوامل مؤثر با نقشه پراکنش زمین‌لغزش همپوشانی داده شد و مساحت و درصد زمین‌لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل محاسبه و بعد با استفاده از معادله تراکم سطح (۷) نرخ هر طبقه محاسبه گردید.

$$R_a = 1000 \times \left(A/B\right) - 1000 \times \left(C/D\right)$$

A: مساحت لغزش‌های هر واحد، B: مساحت هر واحد، C: مساحت کل لغزش در منطقه، D: مساحت کل منطقه، R_a: نرخ تراکم سطح.

در این معادله، برای محاسبهٔ نرخ هر طبقه، تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از تراکم زمین‌لغزش در کل منطقه کم می‌شود. بنابراین اگر تراکم زمین‌لغزش در طبقه، بیشتر از تراکم لغزش منطقه باشد، نرخ آن طبقه مثبت و سبب ناپایداری می‌شود، ولی اگر تراکم زمین‌لغزش در طبقه، کمتر از تراکم لغزش منطقه باشد، نرخ آن طبقه منفی است و سبب پایداری می‌شود. در نهایت به منظور پهنه‌بندی با استفاده از مدل آماری دو متغیرهٔ وزنیAHP، وزن هر عامل در نقشه نرخ آن ضرب شد و نقشهٔ خطر زمین در ۵ طبقه، طبقه‌بندی شد.

بحث

پراکنش زمین‌لغزش‌ها برحسب شهرستان‌های استان گلستان

در شکل شمارهٔ ۱، پراکنش زمین‌لغزش‌ها در شهرستان‌های مورد مطالعه نشان داده شد، و فراوانی هر زمین‌لغزش به تفکیک شهرستان محاسبه گردیده است. با توجه به جدول شمارهٔ ۲ بیشترین و کمترین تعداد زمین‌لغزش‌ها به ترتیب در شهرستان مراوه تپه و آق‌قلا رخ داده است. ولی بیشترین مساحت لغزش در شهرستان علی‌آباد می‌باشد.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش AHP

با مقایسات زوجی توسط ۸ متخصص هیئت علمی و ۶ متخصص اجرایی وزن عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش تعیین شد (جدول شمارهٔ ۳). براساس نظر کارشناسان وزن طبقات شیب ۰/۱۹۲، جهت شیب ۰/۰۵۹، زمین‌شناسی ۰/۲۶۵، فاصله از گسل ۰/۰۸۱، فاصله از آبراهه ۰/۰۳۵، فاصله از جاده ۰/۰۶۳، کاربری اراضی۰/۱۰۷ و میزان بارش۰/۱۹۸ محاسبه شد. نکته با اهمیت در مورد ماتریس زوجی این است که نرخ ناسازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد (۳)، نرخ سازگاری در این پژوهش CR برابر ۰/۰۱ است که نشان‌دهندهٔ سازگاری بالای ماتریس مربوطه می‌باشد. با توجه به وزن‌های محاسبه شده و با استفاده از رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش محاسبه گردید (شکل شمارهٔ ۲). این نقشه در ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. در جدول شمارهٔ ۴ مساحت هر یک از طبقات به تفکیک شهرستان بیان شده است.

مدل آماری دو متغیره AHP روش مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان گلستان ارزیابی گردید که با نتایج شیرانی و همکاران (۱۴)، ملکی و قربانی (۱۰) یالسن (۱۵)، کلارستاقی و همکاران (۲۰۰۹) و کریمی سنگ‌چینی و اونق (۶) که در پژوهش‌های خود این مدل را مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزهٔ مورد مطالعه خود دانسته‌اند همخوانی دارد. با توجه به شکل شمارهٔ ۱ بیشترین تعداد زمین‌لغزش‌ها در شهرستان مراوه تپه رخ داده است که ۴۰ درصد از آنها در کاربری کشت آبی ثبت شده است و سپس کشت دیم بیشترین فراوانی زمین‌لغزش را دارد. البته باید توجه داشت که این شهرستان از وسعت زیادی نسبت به اکثر شهرستان‌ها برخوردارست. شهرستان علی آباد با اینکه تعداد زمین‌لغزش‌های رخ داده در آن مساوی بسیاری از شهرستان‌های دیگر است، ولی بیشترین مساحت زمین‌لغزش‌ها را دارد. با اینکه بیشترین مساحت این شهرستان را سازند خوش ییلاق و مبارک تشکیل داده که مقاوم به لغزش هستند ولی شیب و بارش زیاد این منطقه و عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی ایجاد این زمین‌لغزش‌ها را تشدید کرده است. مراوه تپه برخلاف علی‌آباد در مناطق زمین‌لغزش شامل سازند لس و شبه لس است که بستر خوبی برای زمین‌لغزش است و عامل کاربری که عمدتاً کشت آبی است این عامل را بسیار تشدید کرده است. پراکنش زمین‌لغزش‌ها در طبقات شیب نشان داد که بیشترین تعداد زمین‌لغزش در طبقه شیب ۶ تا ۱۵ درصد رخ داده است، ولی با توجه به مساحت بالای این طبقه می‌توان نتیجه گرفت که

تـراکم سـطحی ایـن زمـین‌لغـزش‌هـا پـایین اسـت، همچنین مساحت زمین‌لغزش‌ها در این طبقـه بسـیار کم است. در مقایسه با مساحت آن می‌توان بیان کـرد که با وجود تعداد بالای زمین‌لغزش، دارای پایـداری می‌باشد. نرخ تراکم سطح محاسبه شده در هر طبقـه نشان از ناپایداری بسیار شیب ۲۶ تا ۳۵ درصد دارد. پراکنش زمین‌لغزش در جهـت‌هـای متفـاوت شـیب نشان داد که بیشترین فراوانی و مساحت مربـوط بـه شیب‌های رو به شمال می‌باشد که از رطوبت بالاتری برخـوردار اسـت. رطوبـت باعـث افـزایش پدیـده خاک‌زایی و ضخامت خاک مـی‌شـود کـه در نتیجـه افزایش زمین لغزش را در این جهت‌ها به دنبال دارد. همچنین نرخ تراکم سطح در این طبقه بیان مـی‌کنـد که این طبقه شیب در این منطقه بسیار ناپایدار است. بیشترین مساحت ایـن منطقـه را سـازند Q_m (پهنـه گلی) تشکیل داده است که سازند مقاومی نسبت بـه لغزش نیست، ولی تعداد زمین‌لغزش‌های رخ داده در این سازند نسبت به مسـاحت آن کـم مـی‌باشـد کـه می‌توان از جمله عوامل پایداری آن را شیب پـایین و بارش کم و نبـود گسـل و همچنـین کـاربری مرتـع دانست. با توجه به نرخ سطح محاسبه شده برخی از سازندها برخلاف مقاوم بودنشان، وضعیتشان از نظـر زمین‌لغزش ناپایدار است که می‌توان به دلیـل همـراه شدن عوامل ناپایـداری ماننـد کـاربری، بـارش زیـاد شیب بالا و نزدیکی به گسل، آبراهه و جاده دانسـت. پراکنش زمین‌لغزش در کاربری‌های موجود در منطقه نشان می‌دهد که بیشترین زمین‌لغزش در جنگـل رخ داده است، ولی با بازدیدهای میدانی از زمین‌لغزش‌ها مشخص گردید که حدود نیمی از این لغـزش‌هـا در قسمت‌هایی از جنگل که جاده ساخته شـده و یـا در حـال احـداث اسـت رخ داده و تعـداد زیـادی در جنگل‌های در حـال بهـره بـرداری و حاشـیه منـاطق مسکونی و تعدادی هـم در جنگـل‌هـای طبیعـی بـه وقوع پیوسـته اسـت، پـس از آن کشـت آبـی دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش بود کـه البتـه ایـن تعـداد زمـین‌لغـزش فقـط در یـک سـوم از مسـاحت ایـن کاربری رخ داده است. همـراه شـدن کشـت آبـی بـا شیب بالا و نزدیک بودن به گسـل از جملـه عوامـل عمدهٔ این زمین‌لغزش است زیرا مسـاحتی کـه فاقـد لغزش می‌باشد در شیب‌های پایین و کم بـاران واقـع شده است. همچنین کشت دیم نیز با همراه شـدن بـا عوامل دیگر باعث تشدید زمین‌لغـزش شـده اسـت. جنگل‌کاری مصنوعی و باغ با وجود اینکـه مسـاحت کمی از منطقه را به خود اختصاص داده اسـت، ولـی تعداد زمین‌لغزش‌های قابل توجهی دارد. همـان‌طـور که ذکر شد اغلب زمـین‌لغـزش‌هـای ثبـت شـده در کاربری جنگل در اطراف و نزدیک بـه جـاده‌هـا رخ داده اسـت. همچنـین نـرخ تـراکم سـطح نیـز نشـان می‌دهد که فاصلهٔ ۷۵ تا ۱۰۰متر و ۷۵ تا ۱۵۰متری از جاده مستعد زمین‌لغزش می‌باشـد و هرچـه از جـاده دورتر می‌شویم تعداد زمـین‌لغـزش‌هـای رخ داده در واحد سطح کاهش یافته اسـت. بـا توجـه بـه اینکـه نتایج طبقه فاصلهٔ ۰ تا ۵۰ متری از آبراهه‌ها می‌باشـد نرخ تراکم سطح محاسبه شـده در ایـن طبقـه نشـان می‌دهد که این طبقه نسبت به لغزش ناپایـدار اسـت. در فاصلهٔ بیشتر از ۴۵۰۰ متـری از آبراهـه بیشـترین تعداد زمین‌لغزش رخ داده است که می‌توان دلیـل آن را مساحت بسیار بالای ایـن طبقـه دانسـت. یکـی از

عوامل مهم در بروز زمین‌لغزش‌ها وجود گسل در منطقه است. با توجه به نقشهٔ فاصله از گسل می‌توان مشاهده کرد که حتی در طبقات بالا که فاصله از گسل زیاد است تعداد زمین‌لغزش‌ها زیاد است. در ارتفاعات بالاتر منطقه که گسل وجود ندارد زمین‌لغزش نیز رخ نداده است. البته در این منطقه فقط فقدان گسل عامل پایداری نیست، بلکه در این منطقه شیب کم، بارش پایین و کاربری عمدتاً مرتع نیز از عوامل پایداری منطقه به شمار می‌آیند. با توجه به افزایش بارندگی به سمت ارتفاعات تعداد زمین‌لغزش‌ها نیز افزایش یافته است و می‌توان بارش را به عنوان عامل مهمی در بروز زمین‌لغزش معرفی کرد. از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن به عوامل مؤثر در بروز پدیده زمین‌لغزش از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و به ترتیب از طریق میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین‌لغزش اقدام به اولویت‌بندی می‌شوند. به طوری که از این طریق می‌توان به نتایج مطمئن‌تری دست یافت. بر اساس وزن‌دهی AHP، به ترتیب عوامل زمین‌شناسی، بارش، شیب، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از راه، جهت و فاصله از آبراهه بیشترین اهمیت هستند. در حالی که در پژوهش یالسین (۲۰۰۸) در اردسن ترکیه بر اساس وزن‌دهی AHP، عوامل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و شیب به ترتیب اولویت به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش شناخته شدند. با توجه به طبقه-بندی شدت خطر در منطقهٔ مورد مطالعه طبقه با خطر متوسط دارای مساحت قابل توجهی است. در این طبقه بارش‌های بالای ۵۰۰ میلی‌متر، شیب بالای ۲۵ درصد، تراکم زیاد جاده در کاربری جنگل و فاصله از آبراهه نسبتاً نزدیک قرار دارد. همچنین وجود گسل نیز این پدیده را تشدید می‌کند. شهرستان مینودشت بیشترین مساحت این طبقه را دارد. بر اساس شکل شمارهٔ ۲ در شهرستان‌های گمیشان، بندر ترکمن، آق قلا کم‌ترین خطر وقوع زمین‌لغزش وجود دارد که کاربری غالب آن مرتع می‌باشد. طبقه با خطر زیاد که نشان دهندهٔ خطر زیاد وقوع زمین‌لغزش است، دارای مساحت ۱۲۵۰ کیلومتر مربع است و عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در این طبقه اغلب شامل بارش‌های بالای ۷۰۰ میلی‌متر، جهت شمال (مرطوب بودن)، سازند Ql (لس و شبه لس)، نزدیک بودن به گسل و جاده و همچنین کاربری کشت آبی است. کاربری این طبقه به ترتیب مساحت: کشت آبی، کشت دیم، باغ و جنگل طبیعی است. طبقهٔ خطر خیلی زیاد که نشان‌دهندهٔ خطر بسیار زیاد است حدود ۲۴۷ کیلومتر مربع مساحت دارد. این طبقه شامل بارش حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر، جهت شمالی، فاصله ۰ تا ۲۰۰ متری از جاده، فاصله ۰ تا ۵۰ متری از آبراهه، نزدیک به گسل و در سازندهای پهنه گلی و لس و شبه لس است. حدود ۶۰ درصد از کاربری این منطقه را کشت آبی، ۳۰ درصد را کشت دیم و ۱۰ درصد را باغ تشکیل می‌دهد. می‌توان از پهنه بندی زمین‌لغزش در استان گلستان نتیجه گرفت که وقوع زمین‌لغزش‌های با مساحت بزرگ بیشتر به عوامل بارش، شیب، زمین‌شناسی و کاربری زمین بستگی دارد. این در حالی است که وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش به عوامل فاصله از جاده، جهت، فاصله

از گسل و آبراهه بستگی دارد و بیشترین زمین‌لغزش‌ها در نزدیکی جاده، آبراهه و گسل و در زمین‌های کشاورزی رخ داده‌اند. درصد بالای کشت آبی که فاقد زمین‌لغزش است این حقیقت را نشان می‌دهد که در مناطقی که کشت وجود دارد و زمین‌لغزش رخ داده است. عوامل دیگر از جمله شیب و بارش بالا باعث تشدید وقوع زمین‌لغزش می‌شود. نقش مؤثرتر شیب، زمین‌شناسی و بارش و پررنگ‌تر شدن این عوامل در اثر عوامل انسانی مثل تغییرکاربری و جاده سازی غیر استاندارد در وقوع زمین‌لغزش را در قسمت شمالی کشور نشان می‌دهد که با نتایج پژوهش‌های شادفر و همکاران (۱۳)، کلارستاقی و همکاران (۸) و کلارستاقی و احمدی (۷) هم راستا می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود از تغییر کاربری اراضی جنگلی که دارای شرایط دیگر وقوع یا مستعد زمین‌لغزش هستند، خودداری شود. در این مناطق احتمال خسارت جانی و مالی زیادی وجود دارد بنابراین مدیریت خطر این مناطق باید براساس اقدامات کنترلی باشد و بدین منظور باید از هر گونه برنامهٔ توسعه ممانعت به عمل آید. با استفاده از روش‌های بیولوژیک و مکانیکی نیز می‌توان از خطر وقوع زمین‌لغزش در این مناطق تا حدی کاست. عملیات پیشنهادی مدیریت بیولوژیک برای این مناطق در کاربری زراعی، یونجه کاری و احداث باغ و در کاربری جنگل، جنگل‌کاری می‌باشد. از جمله عملیاتی که در این مناطق می‌توان در این مناطق پرخطر برای کاهش خطر وقوع زمین‌لغزش انجام داد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

– زهکشی سطحی و خروج آب از بالادست مناطق مسکونی و فراهم کردن شرایط پایداری و افزایش مقاومت برشی خاک در این مناطق؛

– تغییر کاربری از کشت گندم دیم به باغ‌کاری (همراه با تسطیح منطقه لغزشی) و جنگل کاری و احیای جنگل با گونه‌های بومی منطقه؛

– احداث زهکش‌ها برای چشمه‌ها و در اراضی پرشیب و باز کردن مسیر آبراهه‌هایی که باعث خروج آب از این مناطق می‌شوند؛

– طرح سازمان‌دهی فاضلاب روستاها و برنامه‌ریزی برای آن و در مناطق با خطر زیاد جانی تخلیه روستاها؛

– در دامنه‌های ناپایدار اجرای طرح‌های مکانیکی حفاظت از جاده‌ها و آبراهه‌ها مدنظر قرار گیرد؛

– علاوه بر انجام موارد فوق در مناطق با کلاس خطر بالا، از آنجا که در این مناطق احتمال خسارت جانی وجود دارد، باید از سیستم‌های هشداردهندهٔ رفتارسنجی دامنه نیز استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق در راستای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان گلستان با روش آماری دو متغیره AHP انجام گرفت. پس از تعیین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش از جمله عوامل فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، بارش، جهت شیب و طبقات شیب، مشاهده گردید که در هریک از شهرستان‌ها عوامل مذکور دارای اهمیت متفاوتی در وقوع زمین‌لغزش هستند.

جدول شمارهٔ ۱: فاکتورهای مختلف اولویت و تبدیل آنها به ارزش‌های کمّی

ارزش عددی	اولویت فاکتور در مقایسه با دیگر فاکتورها
۹	اولویت حداکثر
۷	اولویت خیلی زیاد
۵	اولویت زیاد
۳	اولویت متوسط
۱	اولویت ضعیف
۸- ۶- ۴ - ۲	اولویت‌های بینابین

جدول شمارهٔ ۲: فراوانی و مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر شهرستان

شهرستان	تعداد زمین‌لغزش	مساحت لغزش (Km^2)	شهرستان	تعداد زمین‌لغزش	مساحت لغزش (Km^2)
گنبد کاووس	۷	۰/۰۴۵	علی آباد	۴۸	۱۴/۳
گرگان	۵۲	۳/۸	رامیان	۲۵	۰/۵۸
گالیکش	۳۸	۰/۵۴	ترکمن	۲	۰/۰۱۷
آزادشهر	۴۹	۰/۲۴	کلاله	۶۹	۱
کردکوی	۲۸	۰/۰۸	بندر گز	۱۰	۰/۰۱۵
مینودشت	۴۴	۰/۷۸	آق قلا	۱	۰/۰۰۰۴
مراوه تپه	۱۷۷	۴/۴۲			

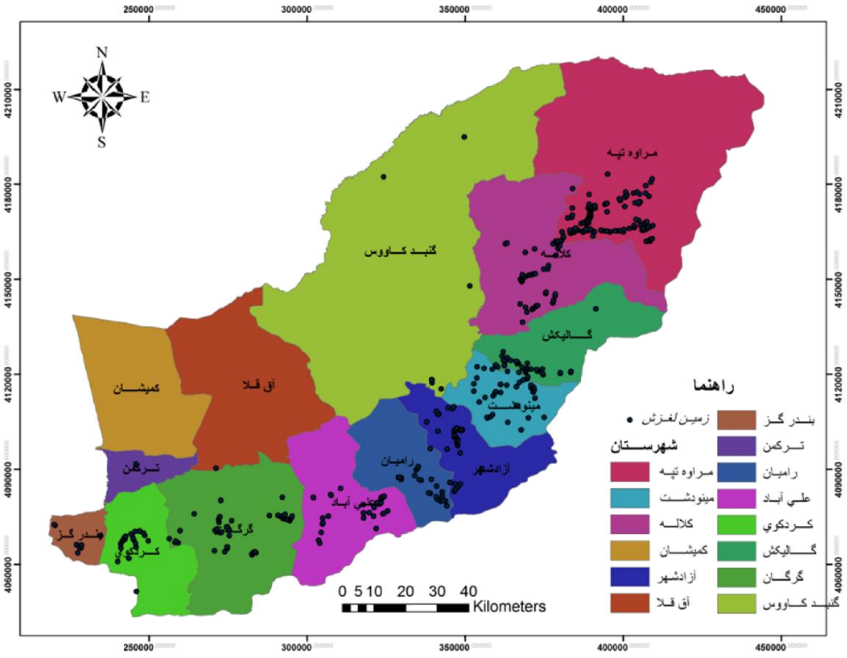
جدول ۳: مقایسات زوجی و وزن نهایی عوامل مختلف مؤثر بر زمین‌لغزش در استان گلستان

	جهت شیب	فاصله از جاده	شیب	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	کاربری	بارش	سنگ‌شناسی
سنگ‌شناسی	۴	۳	۲	۴	۴	۲	۳	۱
بارش	۳	۳	۲	۳	۴	۳	۱	۰/۳۳
کاربری	۳	۲	۰/۳۳	۲	۳	۱	۰/۳۳	۰/۵
فاصله از آبراهه	۰/۳۳	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵
فاصله از گسل	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵
شیب	۵	۳	۱	۳	۴	۳	۰/۵	۰/۵
فاصله از جاده	۳	۱	۰/۳۳	۲	۲	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳
جهت شیب	۱	۰/۳۳	۰/۲	۲	۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵
وزن نهایی	۰/۰۵۹	۰/۰۶۳	۰/۱۹۲	۰/۰۸۱	۰/۰۳۵	۰/۱۰۷	۰/۱۹۸	۰/۲۶۵

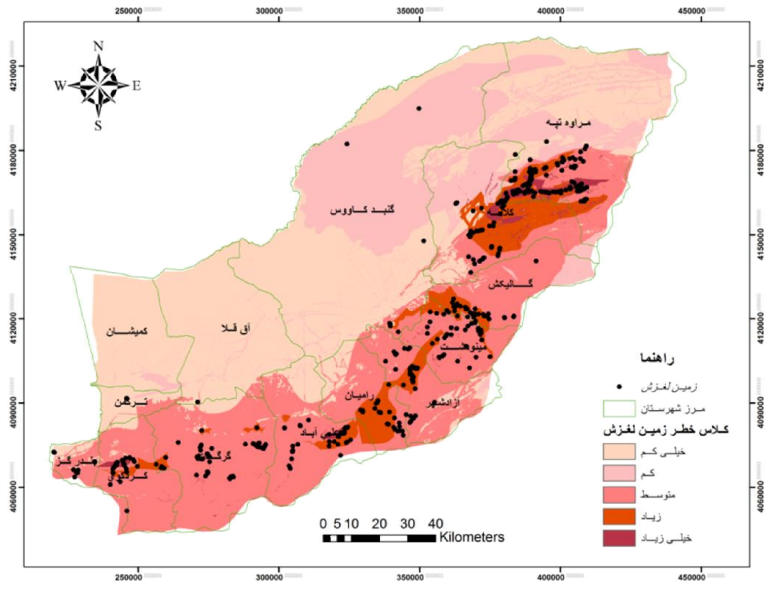
جدول شمارهٔ ۴: مساحت طبقات پتانسیل خطر در هر شهرستان (کیلومتر مربع)

طبقهٔ خطر شهرستان	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
گنبد کاووس	۲۴۴/۶	۲۴۲۸	۱۱۰	۲۵/۲	–
گرگان	۹۱/۶۴	۰/۹۷	۱۴۶۵	۳۴/۸	۳/۸
گالیکش	۱۰/۶۷	۱۱۴/۴۷	۶۵۴/۹	۱۱۰/۶	۰/۱۷۵
کردکوی	۳۵/۴	۱/۱	۷۱۷/۶	۳۸/۴۲	۲۳/۶۸
علی آباد	۱۷۸/۹۵	۱۱/۴۱	۸۰۹	۹۱	۲۱/۴۲
رامیان	۱۴۱	۴/۳	۴۴۰	۱۹۱	–
ترکمن	۲۱۱/۲	۱۲/۷۷	۵۰	۵۰/۴	–
بندر گز	۶۳/۱	۱/۱۸	۱۴۴	–	۰/۲۹
آق قلا	۱۶۶۰	۶۶/۴	۳۴	–	
آزادشهر	۸۲/۳۴	۲۵/۷	۶۴۶	۸۳	۰/۳۲
گمیشان	۱۰۴۱	۶۰/۲۲	–	–	–
مینودشت	۳/۳۶	۰/۱۶	۵۷۷۲۴	۸۲	۴/۸
کلاله	۳۷۸/۹	۵۴۷	۳۳۳/۶	۴۱۳	۷۱/۸۵
مراوه تپه	۱۲۷۹/۹۹	۱۰۱۳	۴۸۵	۱۷۹/۸	۱۴۸

شکل شمارهٔ ۱: نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های استان گلستان



شکل شمارهٔ ۲ : نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدلAHP



References

1. Alijani, B. Ghahroudi, M. Amir Ahmadi, A. *Zoning occurrence risk of landslide in the northern hillside of Shah Jahan using GIS (case study: Astarkhi basin in Shirvan city*). Journal of geographical studies. Vol. 84, PP. 118-131. 2005. [In Persian]
2. Azim pour, A, Sedugh, H. Dallal Oghali, A. Servati, M, R. *Evaluating the results of landslide risk model (case study: Rachae catchment).* Geographical space. Vol. 9, PP. 71-87. 2009. [In Persian]
3. Ghodsipour. S. H., *Analytical Hierarchy Process (AHP),* Amirkabir University of Technology. 2006
4. Hatami Fard, R. Mousavi S, H, Alimoradi, d., *Landslide hazard zonation using AHP and GIS techniques in the city of Khorramabad,* Geography and Environmental Planning. No. 47. PP. 60-43. 2012 [In Persian]
5. Kardan, R. A, Mosaffa, H, R. *Qualitative and quantitative aspects of landslide occurrence in Golestan province. Landslide workshop*, department of agriculture. PP. 13-18. 2006 [In Persian]
6. Karimi Sangchini, A. Onagh, Ma'sad Aldin, A. Najafi Nezhad, A. *Evaluating risk and plan of landslide management in ChehelChae watershed in Golestan province*, MA thesis. Agricultural sciences and natural resources University of Gorgan city, 2010. [In Persian]
7. Kelarestaghi, A. and Ahmadi, H. *Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran*. Arab J Geosci. Vol. 2, PP. 95–101. 2009.
8. Kelarostaghi, A. Habib Nezhad, M & Ahmadi, H. *Studying landslide occurrence in relationship with changing land use and road building.*

Case study: Ta'jan watershed, Sari city. Journal of geographical researches.Vol. 2, PP. 81-91. 2007 [In Persian]

9. Korki Nezhad, M. Onagh, M, Sepehri, A. *The efficiency of two models of zoning landslide risk developed by Haeri & Moor, in Gorgan-Roudbar Siah watershed.* Magazine of agricultural sciences and natural resources. Vol. 12, PP. 91-98. 2005 [In Persian]
10. Maleki,A. Ghorbanpour,E. *Zoning occurrence risk of landslide in chermele Songhor Kermanshah Songhor*. Geography and Develop. No.12 .PP. 187-198. 2008 [In Persian]
11. Mosaffaee, G. *Comparing the efficiency of empirical and statistical models about zoning landslide risk in Alamout watershed and providing management plan*. [In Persian]
12. Nandi, A., Shakoor, A. *GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses*. Engineering Geology. No. 110. PP.11–20. 2009.
13. Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddosi, J. and Ghayoumian, J. *Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method a case study: Chalkrood catchment*. Pajouhesh & Sazandegi. Pp.118-126. 2007. (In Persian)
14. Shirani, K. and Seif, A. 2012. *Landslide hazard zonation by using statistical methods (Pishkuoh region in Fereydonshahr province)*. Scientific Quarterly Journal, Geosciences. Vol. 22, No. 85, PP. 149-158. 2012.
15. Yalcin, A. *GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations*. Catena. No. 72, PP. 1–12. 2008.
16. Yilmaz, I. *Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey),* Geosciences. No.35, PP. 1-14. 2009.
17. Zezere, J. L., Garcia, R. A. J., Oliveira, S. C. and Reis. *Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal),* Journal of Geomorphology. No. 94. PP. 467-495. 2008.