



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۲، صص ۴۶۳-۴۴۰

بررسی زمین لغزش حوضه آبخیز زیارت با مدل ahp

عقیل مددی* ۲- زهرا نظری گزیک

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Aghil48madadi@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

چکیده

ارزیابی زمین به منظور شناخت و پهنه‌بندی عرصه‌های حساس به حرکات دامنه‌ای به ویژه زمین لغزش از پژوهش‌های مربوط به جغرافیدانان طبیعی به ویژه ژئومورفولوژیست‌ها است. مطالعه و بررسی پدیده زمین لغزش در مناطق شمالی کشور به خصوص نواحی کوهستانی شیبدار، به دلیل بارش‌های فراوان، کاربری‌های ناصحیح و سازندهای حساس به فرسایش، دارای اهمیت زیادی می‌باشد. شناسایی و تعیین مناطق حساس و مستعد لغزش می‌تواند ضمن جلوگیری از بروز خسارت‌ها، زمینه را برای اجرای طرح‌های پایدار سازی دامنه‌ها فراهم آورد. در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز زیارت از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد، متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش شامل شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و نقاط هم باران می‌باشد همچنین به منظور شناخت بهتر زمین لغزش‌های منطقه ارتباط آنها با عامل فاصله از گسل مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد این عامل تاثیر زیادی در زمین لغزش‌های منطقه نداشته است. عوامل طبیعی منطقه مهم ترین تاثیر را در رخداد زمین لغزش حوضه داشتند. به ترتیب اهمیت این عوامل، شامل فاصله از آبراهه، کاربری زمین که اکثر لغزش‌ها در اراضی جنگلی اتفاق افتاده اند و عامل زمین‌شناسی حوضه می‌باشد که در بین سازندهای مختلف، سازند جیروود بخاطر شرایط لیتولوژی آن دارای بیشترین زمین لغزش بوده است. در بررسی ارتباط زمین لغزش‌ها با عوامل طبیعی دریافتیم که بیشتر لغزش‌های صورت گرفته در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری در طبقه شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه و همچنین در جهت‌های شرق و غرب حوضه اتفاق افتاده است و بیشتر مساحت حوضه آبخیز زیارت (حدود ۳۴ درصد) در محدوده با خطر زیاد قرار گرفت.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، ahp، حوضه زیارت، پهنه‌بندی، لیتولوژی

مقدمه

ارزیابی حساسیت و خطر زمین لغزش مهمترین گام در تهیه نقشه زمین لغزش است (رجبی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا شناخت مکانیزم و پهنه بندی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در مدیریت بحران نقش مهمی ایفا می کند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۸).

لغزش در ایران به عنوان بلایای طبیعی، سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می سازد. این پدیده هر ساله در اکثر استان های کشور موجب خسارت های حیاتی به شهرها و روستاها، کارخانه ها و مراکز صنعتی، دریاها و دریاچه ها، جنگل ها و مراتع و بویژه مزارع و مناطق مصنوعی گشته و یا آنها را مورد تهدید قرار می دهد. از جمله خسارت مهم زمین لغزش می توان به فاجعه دفن شدن روستای قتلک در خرداد ماه ۶۹ در رودبار، زمین لغزش های سال ۷۳ ناشی از بارندگی های شدید در استان گیلان با ۶ کشته و تخریب ۱۶ خانه مسکونی اشاره نمود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از وظایف عمده دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط های انسانی آسیب پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است. پدیده مخاطرات در ژئومورفولوژی، ناشی از ناپایداری ویژگی های سطح زمین است که به دلیل، دخالت انسان و زیرساخت های بشری به حوادثی مخاطره آمیز تبدیل می شوند (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۲). مددی و همکاران (۱۳۹۲) در ارزیابی خطر زمین لغزش و پهنه بندی آن با استفاده از مدل LIM و به کارگیری تکنیک GIS در حوزه آبخیز گیوی چای، اردبیل مناطقی با بارش ۳۷۵ تا ۴۰۵ میلی متر بیشتر از مناطق دیگر برای وقوع زمین لغزش مساعد می باشد طبقه ارتفاعی بین ۱۵۱۲ تا ۱۹۲۷ متر از سطح دریا بیشتر از طبقات ارتفاعی دیگر بهترین شرایط را برای ایجاد زمین لغزش مهیا می کند. هم چنین مناطقی با پوشش گیاهی کم، مناطق با نفوذپذیری زیاد خاک، دامنه های رو به شرق و شمال شرق به دلیل اینکه امکان یخبندان طولانی مدت و در آنها بیشتر است در بلند مدت یخبندان طولانی مدت نسبت به دامنه های دیگر مواد هوازده بیشتر فراهم می کند و کاربری زمین به صورت باغات به طریق افزایش وزن ناشی از رشد درختان در باغات و افزایش تنش برشی دامنه ها، مناطق مستعد برای زمین لغزش است. واحدهای سنگی سازند کرج مرکب از سنگ های ولکانیکی و توفی، طبقات شیب ۱۷ تا ۳۳ بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش ها داشتند.

بن و همکاران (۲۰۱۳)، در استان سیچوان چین جریان واریزه غول پیکر سال ۲۰۱۰ را بررسی نمودند. آن ها با اندازه گیری آستانه بارش برای وقوع جریان واریزه در سال ها و مکان های مختلف نتیجه گیری نمودند که آستانه بارش برای رخ داد جریانان واریزه ای بعد از زلزله به شدت کاهش می یابد. آنبالگان و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله ای به پهنه بندی خطر زمین لغزش در دره لاچونگ، در منطقه سیکیم هند پرداختند. آنها در این پژوهش از فراوانی نسبی زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه و روش منطق فازی در محیط GIS استفاده نمودند. در اینجا شیب، جهت شیب، و امتداد نسبی از مدل رقومی ارتفاعی DEM استخراج شدند و از روش منطق فازی برای ادغام عوامل موثر در وقوع زمین لغزش به منظور ترسیم مناطق حساس به خطر زمین لغزش استفاده شد. بر این اساس، مناطق دارای شیب بین ۳۵ تا ۴۵ درجه، با جهت های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب، با جنس زمین لوم شنی-راک، و سنگ کوارتزیت و میگماتیت از لحاظ رخداد زمین لغزش، نسبت به مناطق دیگر مستعدتر و آسیب پذیرند. از این رو می توان نتیجه گرفت

که ادغام عوامل موثر در وقوع زمین لغزش با استفاده از منطق فازی، برای دره لاچونگ نتایج خوبی را بدست می دهد. یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله خود تحت عنوان شناسایی و پایش ناپایداری دامنه ای به روش پردازش ایتر فو متری تفاضلی (DInSAR) مطالعه موردی حوضه آبریز گرمی چای میانه دریافتند که برخی دامنه های حوضه آبریز گرمی چای همچنان ناپایدار بوده و انطباق موقعیت مکانی زمین لغزش های شناسایی با برخی مناطق لغزشی قدیمی بیانگر فعال بودن پهنه های لغزشی پیشین منطقه است. از نظر توزیع مکانی، مناطق لغزشی شناسایی شده عمدتاً در مجاورت شبکه زهکشی حوضه قرار داشته است. یافته های این تحقیق از طریق شواهدات صحرایی و تعیین موقعیت مکانی توده لغزشی از طریق GPS و اندازه گیری های مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفته است. کرنزادی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله پهنه بندی خطر و خسارت زمین لغزش مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیز زیارت، استان گلستان برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از دو روش آماری چند متغیره (رگرسیون لجستیک) و مدل LNRf استفاده کردند. پس از اعمال نرخ به طبقات پارامترها، نقشه ی شدت خطر زمین لغزش برای هر یک از مدل ها تهیه شد. مدل برتر به وسیله چهار شاخص جمع کیفیت ها (Qs)، دقت نتایج پیشبینی شده (P, ROC) و آزمون کای اسکور انتخاب شد و مبنای تهیه ی نقشه ی خسارت قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که مدل رگرسیون لجستیک برای پهنه بندی خطر زمین لغزش کارایی بیشتری دارد و ۶۲/۱۳ درصد و ۰۴/۹ درصد از حوضه ی آبخیز زیارت - شامل روستای زیارت - به ترتیب در پهنه ی خطر و خسارت زیاد و خیلی زیاد قرار می گیرند. کالیموتو و همکاران (۲۰۱۵) یک ارزیابی و پهنه بندی از استعداد زمین لغزش در ارتفاعات کامرون کشور مالزی از طریق روش نسبت فراوانی انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که شیب های ۰۴ تا ۹۴ درجه، ارتفاعات بالای ۱۴۴۴ متر، مناطق نزدیک جاده ها و مناطق با بارندگی بیش از ۲۴۴ میلیمتر، جزو متغیرهای اصلی مؤثر بر زمین لغزش هستند. مختاری اصل و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله خود تحت عنوان "ارزیابی و پهنه بندی احتمال خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز بایگیلو با مدل AHP به تحلیل داده ها و نقشه ها با استفاده از نرم افزار GIS و مقایسه وجی آنها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش AHP به دلیل استواری بر مبنای مقایسه زوجی می تواند موجب دقت در محاسبات گشته و ۲/۳۶ درصد از حوضه دارای احتمال وقوع زمین لغزش خیلی زیاد بوده و ۳/۲۱ درصد دارای احتمال وقوع خیلی کم می باشد. عقلمند و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله خود تحت عنوان ارزیابی عوامل تأثیر گذار در ناپایداری دامنه های جنوب استان اردبیل دریافتند ویژگی های طبیعی منطقه مورد مطالعه مانند شرایط ترکیب سنگ و خاک، فعالیت های تکتونیکی، شرایط اقلیمی و پستی و بلندی ها بستر مناسبی را برای وقوع زمین لغزش بوجود آورده است. چناری و همکاران (۱۳۹۵) در پهنه بندی خطر و خسارات زمین لغزش حوزه آبخیز زیارت استان گلستان دو مدل رگرسیون لجستیک و LnrF را مقایسه نمودند که بر اساس نتایج مدل برتر (رگرسیون لجستیک)، عوامل زمین شناسی و فاصله از رودخانه و شیب مهم ترین عوامل طبیعی و فاصله از جاده مهم ترین عامل انسانی مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز زیارت است. الوندی و همکاران (۱۳۹۶) در مدل سازی تناسب زمین برای توسعه شهری با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه و GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت استان گلستان به بررسی سازگاری بین کاربری های موجود در حوضه آبخیز زیارت استان گلستان پرداخته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از مدل سازی تناسب زمین، وسعت مناطق دارای شرایط توسعه شهری با استفاده از تکنیک های TOPSIS و SAW به ترتیب ۳۷ و ۷۹/۴ هکتار از کل مساحت حوضه آبخیز زیارت محاسبه

شده است، اما در حال حاضر وسعت مناطق مسکونی در این حوضه ۱۴۱/۳ هکتار می باشد. در مدل سازی تناسب زمین برای توسعه شهری با توجه به وجود وابستگی های مکانی میان نقشه های معیار، بهترین روش در تلفیق معیارها و محاسبه میزان تناسب کاربری، استفاده از تکنیک TOPSIS است. نتایج سازگاری کاربری ها نشان داد، کاربری اراضی مسکونی با میزان سازگاری ۰/۱۱۸۲۴۵ کم ترین سازگاری را بین کاربری های فعلی موجود در این حوضه دارد. اکبری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل تلفیقی فازی-فرآیند تحلیل شبکه ای به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه فاروب رومان پرداختند. نتایج نشان دهنده کارایی بالای این روش در مدل سازی حساسیت زمین لغزش این حوضه بوده است. متخصصین ژئومورفولوژی تکتونیک به ویژه شاخه مخاطرات آن لازم است آنالیز مقدماتی خطر (AHP) را به عنوان اولین گام در تحلیل ایمنی سامانه و طبقه بندی خطرات بالقوه فرآیندی و کارکردی زیرسامانه ها مدنظر قرار دهد و بر پایه ارزیابی و مستندسازی ریسک خطرات سامانه های پایه ریزی شده جدید یا تغییر یافته از طریق تحلیل و ارزیابی گروهی از خطرات عمومی تحت تاثیر قرار دهنده سامانه و ارایه پیشنهادات پایش خطرات عمل نماید. در مناطق احداث شده در جنوب صحرای آفریقا شامل کشورهای اتیوپی، کنیا، اوگاندا، نیجر و سنگال را که از لحاظ ویژگی های جغرافیایی و میزان توسعه متفاوت می باشند، ریسک زمین لغزش با استفاده از سه عامل خطر زمین لغزش، عوارض در معرض خطر و درجه آسیب پذیری ارزیابی و نتایج بیانگر آنست که شهرسازی و توسعه و زیرساخت های آسیب پذیر در کالس های خطر کم تا متوسط باعث افزایش ریسک زمین لغزش این محدوده ها شده است (ردشاو و همکاران، ۲۰۱۷). عبدالله زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مقایسه ی دو روش تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان در مدل دو متغیره حدود ۴/۴ درصد مساحت منطقه در پهنه ی خطر خیلی زیاد و ۱۴/۵ درصد در پهنه ی خیلی کم، و در مدل غیروزی LNRD حدود ۱۴/۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه ی خطر خیلی زیاد و ۸/۸ درصد در پهنه ی خیلی کم قرار می گیرند. مقایسه ی پهنه های خطر در هر دو روش پهنه بندی خطر زمین لغزش، با استفاده از شاخص نسبت تراکمی (DR)، نشان داد که با افزایش درجه ی خطر، قابلیت تفکیک میان پهنه های خطر افزایش می یابد که نشان دهنده ی قابلیت شاخص مذکور در مقایسه ی نتایج است. ارزیابی صحت مدل بر اساس شاخص جمع مطلوبیت (QS) و شاخص دقت (P) به ترتیب در مدل آماری دو متغیره ی وزنی AHP به میزان ۰/۸۱ و ۰/۹۶ در مدل غیروزی LNRD حدود ۰/۲۷ و ۰/۸۹ است، که بر این اساس مدل آماری دو متغیره ی وزنی AHP به منزله ی مدل برتر معرفی گردید. زندی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرجه-درود (مشهد - نیشابور) به این نتیجه رسیدند که عوامل کاربری اراضی، نوع شیب و بارش به عنوان موثرترین عوامل و شاخص توان ابراهه و حمل رسوب کم تاثیر ترین عامل در رخداد زمین لغزش در منطقه برآورد گردیدند. نقشه تهیه شده به چهار کلاس حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای حساسیت لغزش بالا و خیلی بالا بوده که نشان از پتانسیل زمین لغزش بالای منطقه دارد. نقشه تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید دقت پیش بینی بسیار خوبی در وقوع رخداد زمین لغزش دارد. پیامدهای تهدید ساز و زیانبار پدیده زمین لغزش در قبال محیط زیست ما را بر آن می دارد تا به فکر مقابله و تخفیف خطرات و آسیب های ناشی از این مخاطره برآیم. در این راستا، تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت یا خطر زمین لغزش ضرورت می یابد. حساسیت زمین لغزش عبارت است

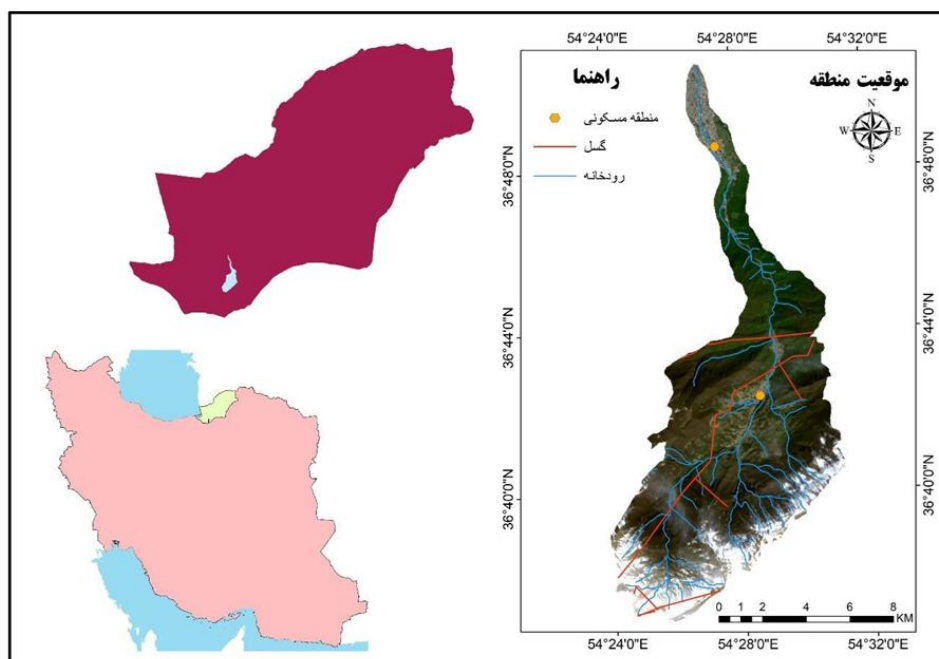
از احتمال وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه بسته به شرایط محیطی که در نهایت، به برآورد کجایی احتمال رخداد زمین‌لغزش می‌انجامد (ریچنباچ و همکاران، ۲۰۱۸). روبک و همکاران (۲۰۱۸) طی بررسی خصوصیات حوادث زمین‌لغزشی ناشی از بروز یک زمین‌لرزه بزرگ در کشور نپال به این نتیجه رسیدند که تراکم زمین‌لغزش‌ها از طریق ترکیبی از خصوصیات منبع زمین‌لرزه، توزیع شیب، و تأثیر بارندگی روی مقاومت سنگ تعیین می‌شود.

در ایران به دلیل شرایط خاص توپوگرافی، تکتونیک فعال، چینه‌شناسی و اقلیم، زمین‌لغزش‌ها همه ساله در اکثر استان‌های کشور موجب وارد آمدن خسارت‌های اقتصادی به راه‌های ارتباطی، خطوط انتقال نیرو، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، مراکز صنعتی و مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و همچنین تصریح فرسایش می‌گردند. علاوه بر این عوامل، در دهه‌های گذشته به دلیل دخالت انسان در محیط طبیعی و به خصوص دامنه‌ها، رخداد این پدیده تشدید شده‌است. حوضه آبخیز زیارت در جنوب شهرستان گرگان واقع در استان گلستان دارای پوشش گیاهی اراضی جنگلی و از نوع انبوه و متراکم است و بدلیل دریافت نزولات جوی کافی، جنگل‌زدایی، ایجاد ترانشه، سازه‌های مسکونی، تأثیر زلزله و شسته‌شدن پاشنه دامنه‌های توسط رود، مستعد وقوع زمین‌لغزش است که علاوه بر این عوامل، در ارتفاعات این منطقه به سبب وجود شیب‌های تند، فعالیت‌های تکتونیک، وجود زون‌های خرد شده، بارندگی و وجود رواناب، خطر وقوع انواع ناپایداری‌ها عموماً بسیار زیاد است. از سوی دیگر، فعالیت زمین‌لغزش‌ها معمولاً در اثر وقوع زلزله تشدید شده که این مسئله می‌تواند در بر خسارات ناشی از آن بی‌افزاید. در مجموع هدف از این تحقیق ارزیابی مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز زیارت گرگان می‌باشد.

منطقه

حوضه آبخیز زیارت با مساحت ۱۰۲ کیلومتر مربع، یکی از زیر حوضه‌های رودخانه قره سو که در بالادست جنوب شهر گرگان قرار دارد. این آبخیز در محدوده جغرافیایی $36^{\circ} 36' 10''$ تا $36^{\circ} 51' 55''$ عرض شمالی و 47° تا $54^{\circ} 23' 11''$ طول شرقی واقع شده‌است. میانگین بارش سالانه منطقه ۵۷۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. شیب متوسط حوضه ۲۳/۱۸ درصد است، پائین‌ترین ارتفاع آن ۱۳۹ متر و بالاترین ارتفاع آن ۳۰۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد است (شکل ۱). این حوضه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان گرگان قرار گرفته و یکی از زیر حوضه‌های رودخانه قره سو به شمار می‌رود. دسترسی به این حوضه از طریق بلوار ناهارخوران گرگان میسر است. آبراهه اصلی حوضه آبخیز زیارت در جهت کلی شمالی - جنوبی می‌باشد در این حوضه میانگین بارندگی سالیانه در دوره آماری ۱۳۷۹ - ۱۳۹۳، ۹۵۵۰۶ میلی‌متر بوده‌است در آذرماه بیش‌ترین میزان بارندگی و در مردادماه کم‌ترین میزان ارتفاع بارندگی در این حوضه ثبت شده‌است متوسط دما نیز در همین بازه زمانی ۱۴/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شیب متوسط حوضه ۳۳/۵ درصد است که بالا بودن آن در رسوب‌دهی و ایجاد انواع فرسایش و حرکات توده‌ای نقش زیادی دارد. محدوده مورد مطالعه، تماماً از بخش کوهستانی و ارتفاعات تشکیل شده‌است. گونه‌های مرتعی چون بروموس-آچپلا، جانپروس سابین و گونه‌های جنگلی مانند توسکا، ممرز، بلوط، راش و انجیلی این پوشش گیاهی حوضه را تشکیل داده‌اند و سطح حوضه آبخیز را از کاربری‌های جنگل مرتع، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی پوشیده‌است. از مهم‌ترین منابع تامین آب کشاورزی و آشامیدنی این

حوضه، رودخانه‌ها و چشمه‌ها می‌باشند. گزارش مهندسین مشاور پژوهاب شرق سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان)



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا به جمع‌آوری اطلاعات به روش کتابخانه‌ای از کتب و مقالات و سایت‌های مختلف پرداختیم، همچنین جهت شناسایی و درک بهتر منطقه مورد مطالعه یک بازدید میدانی نیز صورت گرفت. سپس به وسیله نرم‌افزارهای IDRISI SILVA و ARC GIS به تجزیه و تحلیل داده‌های مورد نیاز این پژوهش پرداختیم.

ابتدا به وسیله نرم افزار Arc GIS با استفاده از نقشه رقومی ۳۰ متر نقشه‌های مورد نیاز مانند: نقشه شیب و جهت شیب و هیپسومتری از طریق ابزار spatial analyz tools تهیه شد و سپس با ابزار Clip از مسیر analyz tools نقشه‌های آبراهه، جاده، کاربری اراضی، زمین‌شناسی برای مدل AHP تهیه گردید. همچنین از دو نقشه گسل و نقاط همباران نیز برای شناسایی بهتر نقاط زمین‌لغزشی استفاده گردید. سپس نقشه‌های تولید شده را در نرم‌افزار IDRISI SILVA مورد بررسی قرار دادیم و از طریق جدول ماتریسی این نرم افزار، اطلاعات وزنی هر لایه را بدست آورده و در نرم افزار Arc GIS وزن هر لایه را در خودش ضرب و حاصل ضرب همه لایه‌ها را با هم جمع کردیم تا نرم افزار یک نقشه نهایی خروجی دهد، که میزان خطرپذیری لغزش را در پهنه‌های مختلف به ما نشان می‌دهد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP یکی از معروف‌ترین و کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس. ال. ساعتی، عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. این روش در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و

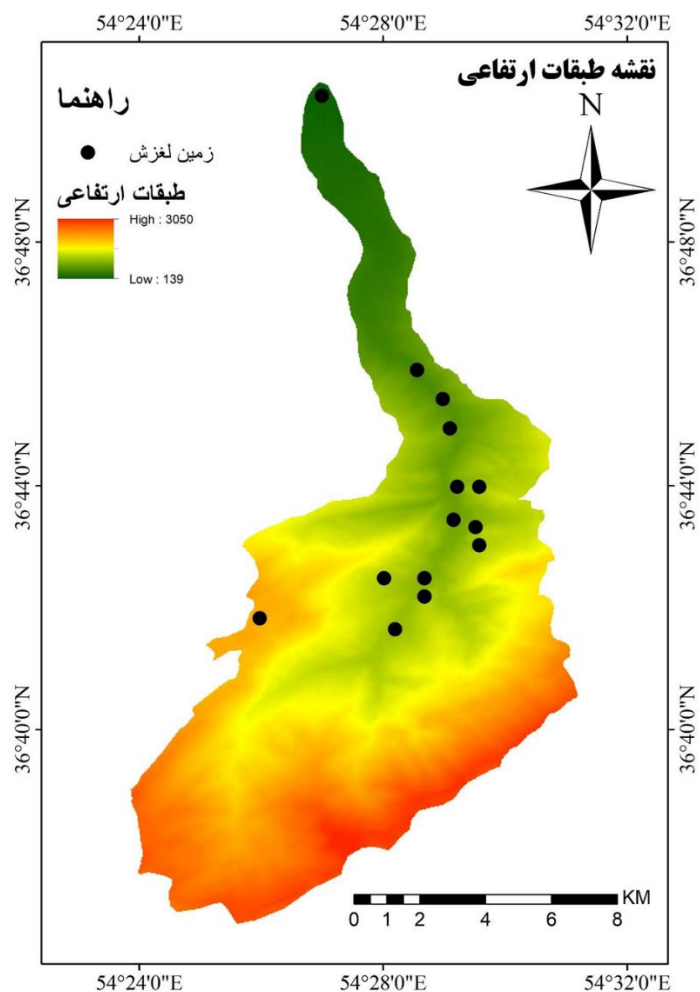
کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله‌مراتب تصمیم، آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات، وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد. در نهایت منطق AHP به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با هم‌دیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم‌بینه حاصل آید.

یافته‌ها

به منظور تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط نرم افزار GIS و تهیه نقشه آسیب‌پذیری، تعداد ۷ فاکتور کنترل‌کننده بر اساس ارتباط نزدیک آنها در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز مورد مطالعه انتخاب شد که این فاکتورها شامل شیب، جهت‌شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه و طبقات ارتفاعی می‌باشند و همچنین بعد از انتخاب فاکتورها، هر فاکتور به چندین کلاس طبقه‌بندی شد. برای تهیه لایه‌های مربوط به فاکتورهای مختلف و تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط GIS از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های بارش، استفاده شد. نقشه‌های موضوعی شیب، جهت‌شیب و ارتفاع به طور مستقیم با فرمت رستری از DEM منطقه به دست آمد ولی دیگر نقشه‌های موضوعی از قبیل نقشه گسل، فاصله از گسل و آبراهه، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی با فرمت وکتوری تهیه و سپس به منظور تلفیق لایه‌ها به فرمت رستری تبدیل گردید. در مرحله بعدی مقادیر وزن‌ها به ترتیب به لایه‌های رستری و کلاس‌های هر یک از لایه‌ها اختصاص داده شد که برای این منظور از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. سپس بر اساس هم‌پوشانی نقشه‌های موضوعی، نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از وزن‌های به دست آمده تهیه گردید.

نقشه طبقات ارتفاعی :

ارتفاع از عوامل مهم کنترل‌کننده ناپایداری یک دامنه می‌باشد. در دو دامنه مشابه و با مقدار شیب ثابت دامنه‌ای که مرتفع‌تر است از پتانسیل ناپایداری بیشتری برخوردار است. سطوح ارتفاعی منطقه از ۱۳۹ متر در خروجی حوضه تا ۳۰۵۰ متر در ارتفاعات حوضه متغیر است. با توجه به چهارده نقطه لغزشی که در حوضه مورد مطالعه رخ داده‌است و ارتفاع حوضه، نتایج زیر به دست آمد: تا ارتفاع ۵۰۰ متری یک زمین‌لغزش، از ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری هفت زمین‌لغزش، ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری پنج زمین‌لغزش و بالاتر از آن فقط یک زمین‌لغزش داشتیم. بیشترین خطر زمین‌لغزش در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر وجود دارد. (شکل ۲)



شکل ۲: طبقات ارتفاعی و ارتباط آن با زمین لغزش های حوضه آبخیز زیارت

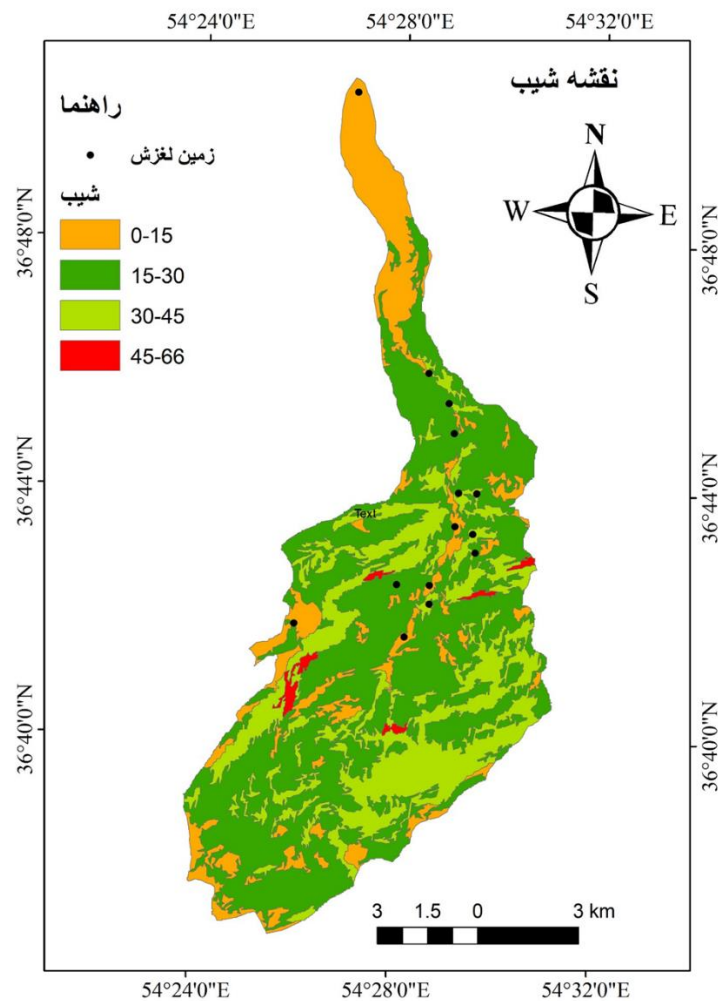
نقشه شیب

شیب دامنه تأثیر بسیار زیادی در وقوع زمین لغزش دارد و در صورت ثابت بودن دیگر عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش، هر قدر دامنه ای پرشیب تر باشد، بیشتر مستعد ناپایداری است. جهت بررسی عامل شیب با استفاده از فایل DEM، نقشه شیب را بر حسب درجه در محیط ARC GIS تولید کردیم که شیب منطقه از ۰ تا ۶۶ درجه بوده و به چهار طبقه تقسیم بندی کردیم. بیشترین مساحت مربوط به طبقه شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه می باشد که بیش از نیمی از حوضه را شامل می شود و کمترین مساحت نیز به شیب ۴۵ تا ۶۶ درجه اختصاص دارد. (جدول ۱)

جدول ۱: طبقات شیب حوضه و نسبت مساحت تشکیل دهنده حوضه آبخیز زیارت

طبقات شیب (درجه)	درصد مساحت تشکیل دهنده حوضه	مساحت km^2
۰-۱۵	۱۶.۵۲	۱۸.۶۲
۱۵-۳۰	۵۷.۰۶	۶۴.۳۲
۳۰-۴۵	۲۵.۴۳	۲۸.۶۷
۴۵-۶۶	۰.۹۹	۱.۱۲
مجموع	۱۰۰	۱۱۲.۷۳

با توجه به نقشه شیب منطقه و زمین لغزش‌های موجود در حوضه (شکل ۳) تعداد چهار زمین لغزش در طبقه شیب ۰ تا ۱۵ درجه، در طبقه شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه شش زمین لغزش، در طبقه شیب ۳۰ تا ۴۵ درجه چهار زمین لغزش داشتیم و در طبقه شیب ۴۵ تا ۶۶ نیز زمین لغزشی صورت نگرفته است. در مجموع طبقه شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه که اکثر زمین لغزش‌ها در آن اتفاق افتاده است بیش از طبقات شیب دیگر مستعد خطر زمین لغزش می‌باشد.



شکل ۳: ارتباط طبقات شیب منطقه با زمین لغزش‌های حوضه آبخیز زیارت

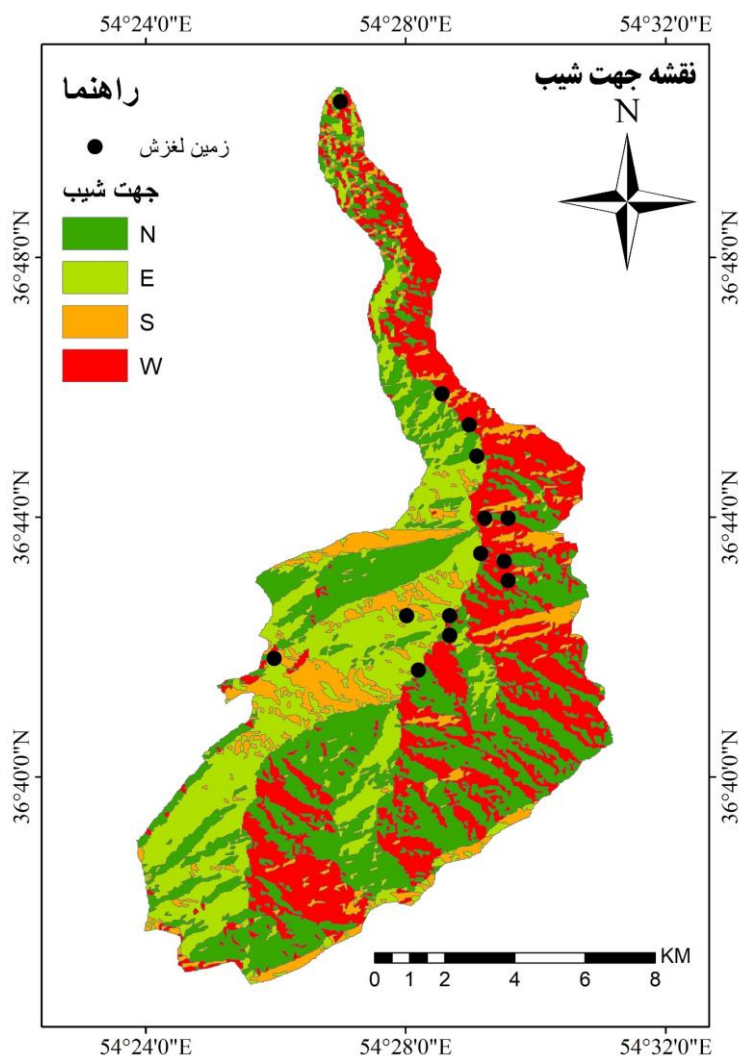
نقشه جهت شیب

جهت شیب به علت اینکه در ارتباط با پارامترهایی نظیر درصد جذب نورخورشید، بادهای خشک‌کننده و باران می‌باشد به عنوان یک فاکتور مهم در تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین لغزش در نظر گرفته می‌شود در این بررسی با استفاده از فایل DEM، نقشه جهت شیب را بر اساس چهار جهت اصلی جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق، غرب) در محیط ARC GIS ساختیم. (جدول ۲) بر این اساس جهت شمال حوضه با ۳۹ کیلومتر مربع که ۳۵ درصد از حوضه را تشکیل می‌دهد، بیش‌ترین مساحت حوضه را در بر دارد. همچنین جهت جنوب که تنها ۱۲ کیلومتر مساحت دارد و ۱۰ درصد از حوضه را شامل می‌شود کم‌ترین مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد.

جدول ۲: جهات شیب و نسبت مساحت تشکیل دهنده حوضه آبخیز زیارت

جهت شیب	درصد تشکیل دهنده حوضه	مساحت جهات km^2
شمال	۳۵.۱۱	۳۹.۵۸
شرق	۲۵.۰۶	۲۸.۲۵
جنوب	۱۰.۸۵	۱۲.۲۳
غرب	۲۸.۹۷	۳۲.۶۶
مجموع	۱۰۰	۱۱۲.۷۲

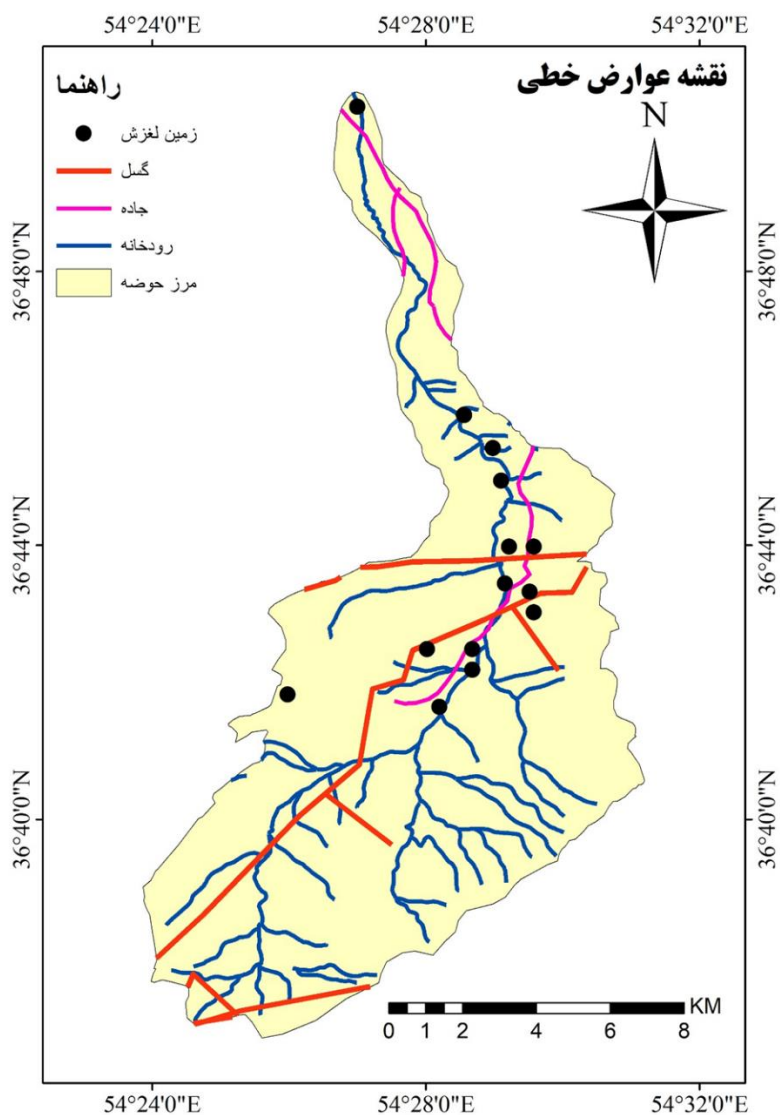
بر اساس نقشه جهات شیب و نقاط لغزشی (شکل ۴) از مجموع چهارده زمین لغزش سطح حوضه دو زمین لغزش در جهت شمال، پنج زمین لغزش در جهت شرق، دو زمین لغزش در جهت جنوب و پنج زمین لغزش نیز در جهت غرب حوضه اتفاق افتاده است که بدین ترتیب جهت‌های شرق و غرب حوضه با توجه به اینکه دارای بیشترین تعداد زمین لغزش رخ داده بوده‌اند، خطر پذیری بیشتری نسبت به دیگر جهت‌ها دارا می‌باشند.



شکل ۴: ارتباط بین جهت شیب و زمین لغزش‌های رخ داده حوضه آبخیز زیارت

نقشه عوارض خطی

عوارض خطی این پژوهش همچون (گسل، جاده و آبراهه) را در قالب یک نقشه نشان دادیم و ارتباط نقاط زمین لغزشی را با این عوارض بررسی نمودیم. (شکل ۵) طبق نقشه بیشتر زمین لغزش‌ها در راستای شبکه آبراهه می‌باشد و تعداد اندکی از زمین لغزش‌ها در نزدیکی جاده و گسل اتفاق افتاده است. بنابراین نواحی اطراف شبکه آبراهه حوضه، مستعدترین نواحی خطر زمین لغزش را تشکیل می‌دهند.



شکل ۵: ارتباط بین عوارض خطی با زمین لغزش های حوضه آبخیز زیارت

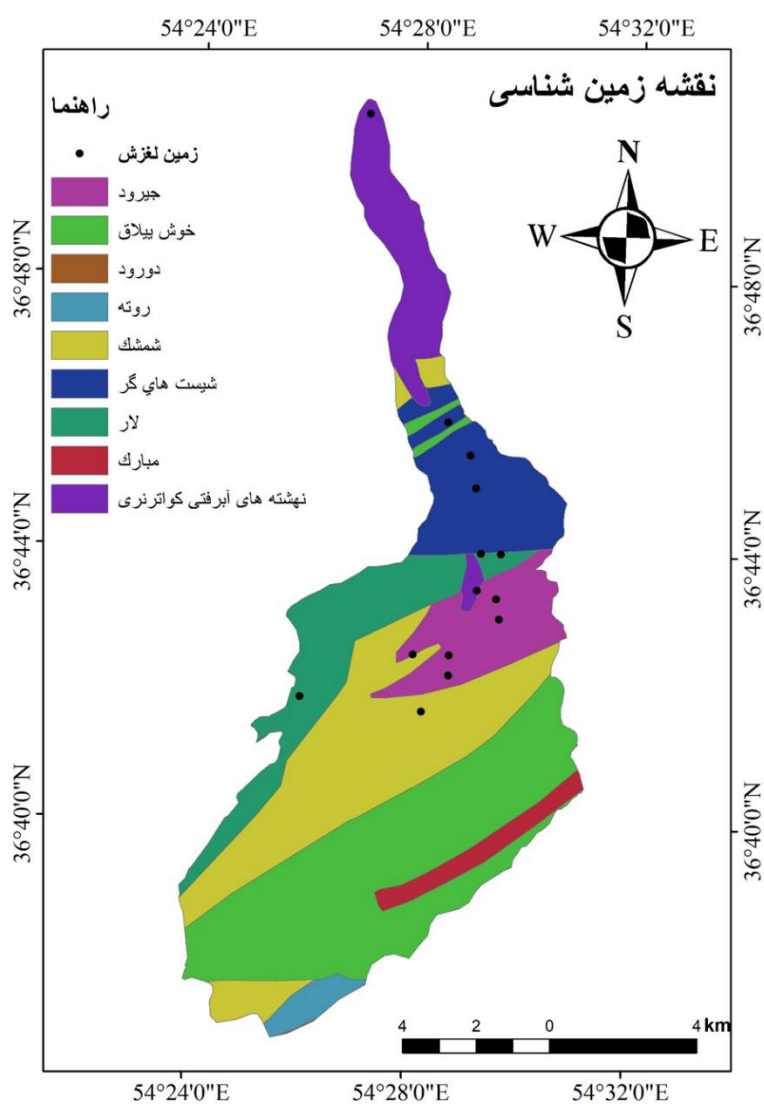
نقشه زمین شناسی

سازندهای تشکیل دهنده حوضه آبخیز زیارت شامل (جیرود، خوش ییلاق، دورود، شمشک، شیست گرگان، لار، مبارک و نهشته های آبرفتی کواترنری) می باشد که در این بین سازند خوش ییلاق بیشترین مساحت از حوضه را در برمی گیرد و حدود 30 درصد از حوضه زیارت را تشکیل می دهد. همچنین سازند درود کمترین مساحت و درصد تشکیل دهنده حوضه را داراست. سایر سازندها نیز مطابق جدول ۳ می باشد.

جدول ۳: سازندهای تشکیل دهنده حوضه آبخیز زیارت و نسبت مساحت آنها

درصد تشکیل دهنده حوضه		نوع سازند		مواد تشکیل دهنده سازند	
مساحت km ²					
۰.۰۳	۰.۰۳	درود	درود		
۱.۹۵	۱.۷۳	کلسیم و منیزیم - آهن، منگنز، سدیم و استرانسیم - مخلوط کلسیت-آراگونیت	روته		
۳.۲۱	۲.۴۸	مبارک	مبارک		
۲۷.۶۱	۲۴.۵۲	ماسه ای / شیلی، ماسه های کانالی، شیل سیاه، ماسه پایینی، شیل دریایی و ماسه بالایی.	شمشک		
۱۳.۷۱	۱۲.۱۸	لار	لار		
۹.۶۶	۸.۵۸	کنگلومرا، کوارتزیت، ماسه سنگ، سیلتستون، شیل، و سنگ های کربناته	جیرود		
۱۱.۹	۱۰.۵۷	شپست گرگان	شپست گرگان		
۳۴.۸۲	۳۰.۹۳	شیل، ماسه سنگ، و لایه های زغال	خوش ییلاق		
۹.۷	۸.۶۲	نهشته آبرفتی	نهشته های آبرفتی		
۱۱۲.۵۹	۱۰۰		مجموع		

بعد از قرار دادن نقاط زمین لغزشی بر روی نقشه زمین شناسی حوضه (شکل ۶) دریافتیم، که بیشترین تعداد زمین لغزش در سازند جیروود رخ داده که با توجه به خصوصیات لیتولوژی آن که از جنس آهک است، بیشتر تحت تاثیر فرسایش آبی قرار می گیرد و باعث رخداد زمین لغزش می شود. اکثر زمین لغزش های دیگر حوضه نیز در سازندهای شیست گرگان، لار و شمشک رخ داده است.



شکل ۶: ارتباط بین زمین لغزش با نوع سازند حوضه آبخیز زیارت

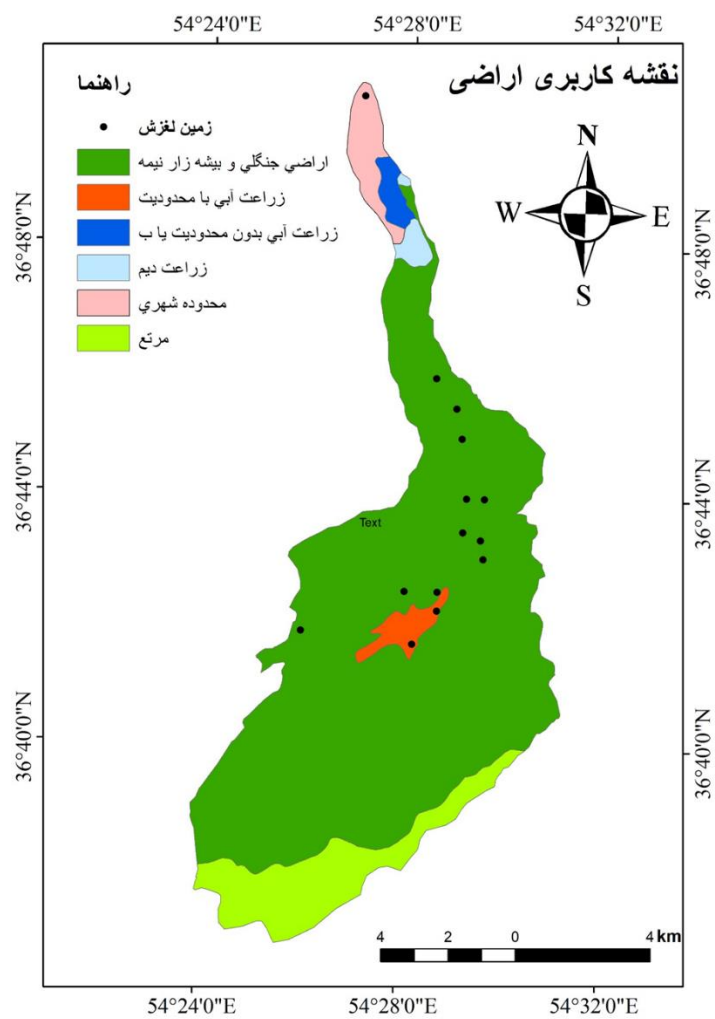
نقشه کاربری اراضی

کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه زمین لغزش ها و پهنه‌بندی خطر آنها در یک ناحیه می‌باشد. با توجه به کاربری‌های حوزه آبخیز زیارت دریافتیم که بیشتر حوضه تحت پوشش کاربری از نوع اراضی جنگلی و بیشه زار نیمه می‌باشد که حدود 80 درصد حوضه را تشکیل می‌دهد. و همچنین کاربری زراعت دیم کم‌ترین مساحت از حوضه را در بر می‌گیرد که کمتر از 1 درصد می‌باشد. (جدول ۴)

جدول ۴: کاربری اراضی حوزه آبخیز زیارت و نسبت مساحت تشکیل دهنده آن‌ها

نوع کاربری	درصد تشکیل دهنده	مساحت زمین km^2
مرتع	۱۰.۹۴	۱۲.۳۷
اراضی جنگلی و بیشه زار	۸۲.۲۹	۹۳.۰۴
زراعت آبی با محدودیت	۱.۸	۲.۰۳
زراعت دیم	۰.۹۶	۱.۰۹
محدوده شهری	۲.۵۸	۳.۲۲
زراعت آبی بدون	۱.۱۷	۱.۳۲
مجموع	۱۰۰	۱۱۳.۷۰

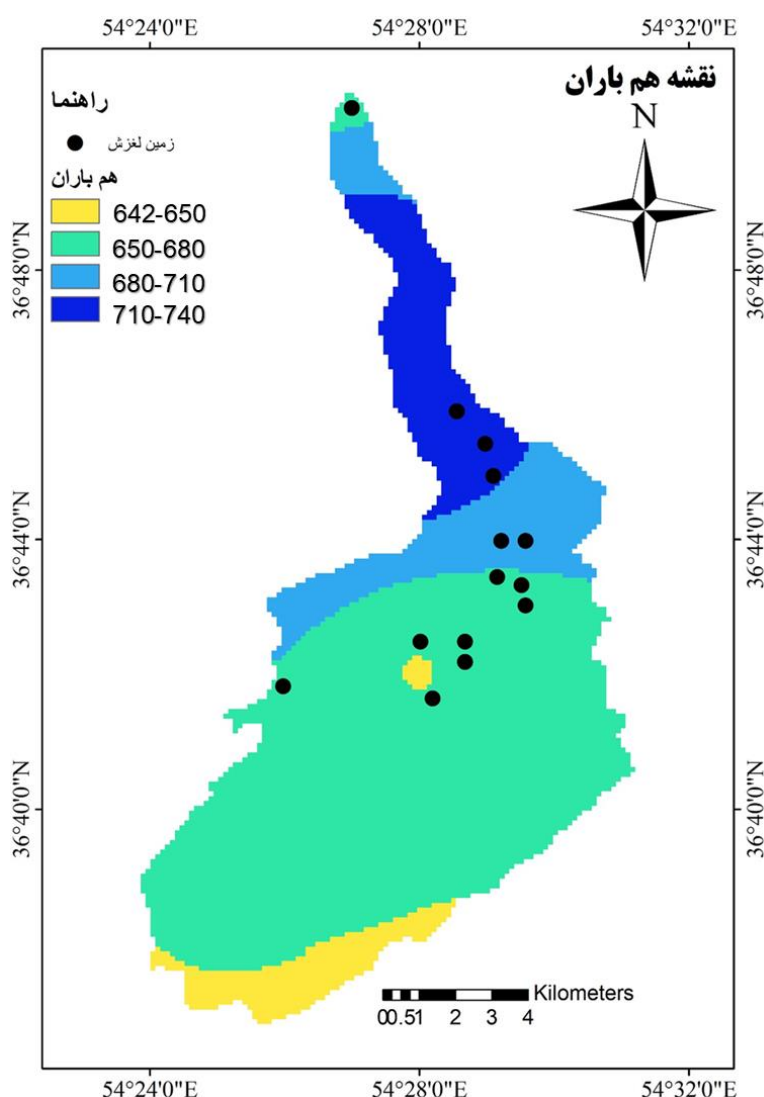
با توجه به نقشه ساخته شده در محیط نرم‌افزار **ARC GIS** شش نوع کاربری برای حوزه آبخیز زیارت در نظر گرفتیم و زمین‌لغزش‌های سطح حوضه را در ارتباط با این نوع کاربری‌ها بررسی نمودیم که ببینیم در کدام یک از کاربری‌های حوضه بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها صورت گرفته‌است (شکل ۷). اکثر این زمین‌لغزش‌ها در محدوده کاربری، اراضی جنگلی و بیشه زار نیمه رخ داده‌است. و سایر زمین‌لغزش‌ها در کاربری‌های مربوط به محدوده شهری و زراعت آبی با محدودیت اتفاق افتاده‌است. بر این اساس اراضی جنگلی و بیشه‌زار مستعدترین کاربری رخداد زمین‌لغزش می‌باشند.



شکل ۷: ارتباط بین زمین لغزش با کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز زیارت

نقشه نقاط هم باران

الگوی مکانی بارش وابستگی بسیار نزدیکی با زمین لغزش دارد به وسیله تأثیر فشار آب بر دامنه‌های ناپایدار که از طریق نفوذ بارش ایجاد می‌گردد با توجه به اهمیت نقش بارش در اشباع خاک و بروز ناپایداری دامنه‌ای، این عامل مورد بررسی قرار گرفته است. نقشه بارش منطقه با توجه به داده‌های اقلیمی و گرادیان بارش در رابطه با ارتفاع منطقه در فرمت رستری با استفاده از تکنیک‌های اطلاعات مکانی استخراج گردید. بیش‌ترین میزان بارش در سطح حوضه آبخیز زیارت 739 میلی‌متر و کم‌ترین مقدار بارش 642 میلی‌متر و همچنین میانگین بارش منطقه زیارت 575 میلی‌متر می‌باشد (شکل ۸). بر اساس داده‌های باران سنجی ایستگاه زیارت نقشه هم باران حوضه آبخیز زیارت را در محیط نرم‌افزار ARC GIS تولید کردیم. طبق این نقشه بیشتر زمین‌لغزش‌ها در محدوده بارشی بین 650 تا 680 میلی‌متر رخ داده‌است و همچنین در محدوده بارشی 642 تا 650 میلی‌متر هیچ زمین‌لغزشی نداشتیم.



شکل ۸: ارتباط بین طبقات بارش و زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز زیارت

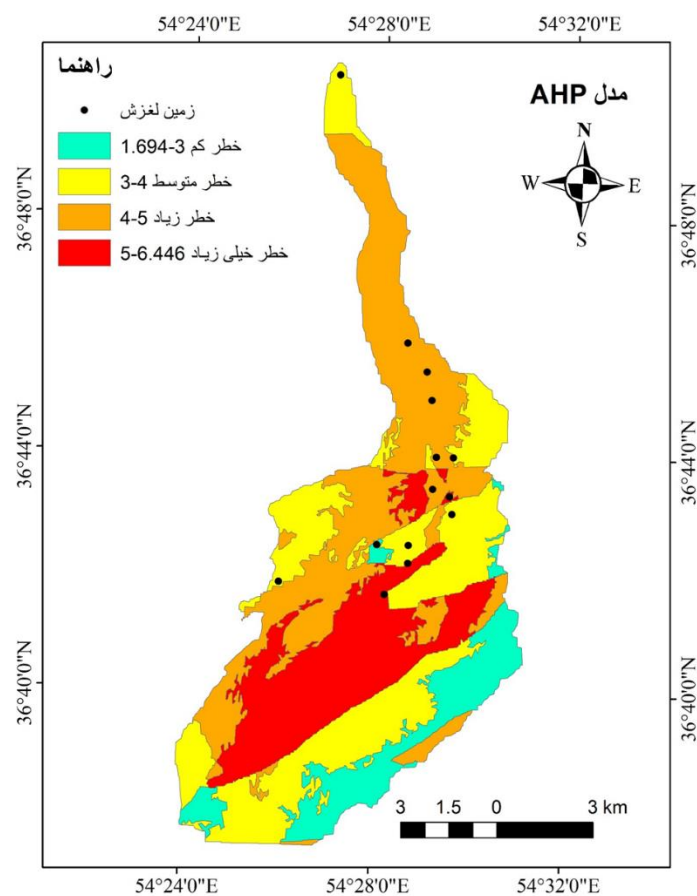
نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل AHP

حوضه مورد مطالعه خود را به چهار منطقه با خطرپذیری (کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم نمودیم (جدول ۵) که به این قرار می‌باشد: بیش‌ترین مساحت خطرپذیری حوضه آبخیز زیارت با ۳۷ کیلومتر مربع که ۳۰ درصد از حوضه را شامل می‌شود، به محدوده با خطر زیاد اختصاص دارد و از شمال تا جنوب منطقه ادامه می‌یابد. با توجه به اینکه محدوده با خطرپذیری کم مساحت کمتری (۱۳ کیلومتر مربع) را نسبت به سایر محدوده‌های دیگر دارد و در قسمت جنوبی قرار دارد، محدوده با خطرپذیری خیلی زیاد در قسمت مرکزی قرار گرفته و حدود ۲۴ کیلومتر مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود بنابراین می‌توان دریافت که حوضه آبخیز زیارت در مجموع دارای پتانسیل خطرپذیری بالایی نسبت به رویداد زمین‌لغزش می‌باشد.

جدول ۵: مساحت تشکیل دهنده محدوده‌های خطرپذیری حوضه آبخیز زیارت

خطرپذیری	تشکیل دهنده	مساحت km^2	درصد مساحت
خطر کم	۱۲.۲۳	۱۳.۲۸	
خطر متوسط	۳۱.۷۳	۳۴.۴۴	
خطر زیاد	۳۴.۲	۳۷.۱۲	
خطر خیلی زیاد	۲۱.۸۴	۲۳.۷۱	
مجموع	۱۰۰	۱۰۸.۵۵	

بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر حوضه آبخیز زیارت در محیط ARC GIS و قرار دادن نقاط لغزشی بر روی این نقشه دریافتیم که از مجموع چهارده لغزش مورد نظر در سطح حوضه، در محدوده خطرپذیری کم یک زمین‌لغزش، در محدوده با خطر متوسط چهار زمین‌لغزش، در محدوده با خطر زیاد شش زمین‌لغزش و در محدوده خطر خیلی زیاد سه زمین‌لغزش رخ داده است. بدین ترتیب با توجه به نقشه پهنه‌بندی و زمین‌لغزش‌های حوضه مشخص شد که اکثر زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز زیارت در محدوده با خطر زیاد اتفاق افتاده است که این امر صحت و درستی مدل AHP را در پهنه‌بندی خطر منطقه مورد مطالعه تایید می‌نماید. (شکل ۹)



شکل ۹: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز زیارت با مدل AHP



شکل ۱۰: نمونه از زمین‌لغزش‌های منطقه

نتیجه گیری

طبق مطالعات انجام گرفته در این پژوهش می توان نتیجه گرفت که در واقع در حوضه آبخیز زیارت عوامل طبیعی منطقه مانند شیب، زمین شناسی، آبراهه و... دارای تاثیر خیلی بیشتری نسبت به عوامل انسانی در وقوع خطر زمین لغزش هستند. در بررسی ارتباط زمین لغزش ها با عوامل طبیعی دریافتیم که بیشتر لغزش های صورت گرفته در ارتفاع 500 تا 1000 متری در طبقه شیب 15 تا 30 درجه و همچنین در جهت های شرق و غرب حوضه اتفاق افتاده است. ارتباط معناداری نیز بین لغزش های صورت گرفته در سطح حوضه با شبکه آبراهه وجود داشت بدین صورت که اکثر زمین لغزش ها در راستای شبکه آبراهه پراکنده شده اند و بعنوان مهم ترین عامل زمین لغزش در منطقه شناخته شد. در بررسی ارتباط بین زمین لغزش ها و زمین شناسی حوضه به این نتیجه رسیدیم در سازند جیروود بیشتر لغزش صورت گرفته است که بدلیل لیتولوژی آن می باشد که از نوع آهک است. از لحاظ کاربری زمین بیشتر زمین لغزش ها در محدوده اراضی جنگلی رخ داده است. اگر بخواهیم زمین لغزش های حوضه را از نظر میزان بارش نیز در نظر بگیریم باید گفت که بیشتر لغزش ها در محدوده بارشی 650 تا 680 میلی متر اتفاق افتاده است. در کل با توجه به نقشه پهنه بندی خطر حوضه آبخیز زیارت اکثرا زمین لغزش ها در محدوده با خطر زیاد اتفاق افتاده است که این امر صحت و درستی مدل AHP را در پهنه بندی خطر منطقه مورد مطالعه تایید می نماید.

در منطقه زیارت جهت کنترل و کاهش مخاطرات دامنه ای بویژه زمین لغزش میتوان اقدامات زیر را انجام داد:

- ۱- با توجه به اینکه منطقه زیارت جزء مناطق با خطر زیاد از نظر رویداد زمین لغزش محسوب می شود لذا باید توسعه شهر و ساختمان سازی را در نواحی با خطر پایین و کم انجام دهیم.
- ۲- از عملیات خاک برداری جهت احداث جاده در مناطقی که در محدوده خطر پذیری زیاد و بسیار زیاد زمین لغزش قرار گرفته اند خودداری شود.

منابع

- اکبری، الهه، درویشی، علی، نیسانی، نجمه (۱۳۹۶). تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل تلفیقی فازی- فرآیند تحلیل شبکه ای. نشریه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۸، شماره ۳ - شماره پیاپی ۲۸. صفحه ۷۳-۸۸
- الوندی، احسان، فروتن دانش، مهتاب، و دهمرده قلعه نو، محمدرضا. (۱۳۹۶). مدل سازی تناسب زمین برای توسعه شهری با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه و GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت استان گلستان. اطلاعات جغرافیایی، ۲۶ (۱۰۱)، ۱۸۱-۱۶۹.
- جعفری، محسن، آقاپاھر، رضا، فلاح ززولی، محمد، زرافشار، مهرداد (۱۳۹۵). ارائه نقشه پهنه بندی مراکز مستعد دفاعی در مناطق جنگلی با تکیه بر AHP و GIS مطالعه موردی: علی آباد کتول-استان گلستان. نشریه: اطلاعات جغرافیایی. دوره: ۲۴ شماره: ۹۵. صفحات: ۹۲-۸۱
- خضری، سعید، احمدی، محمد، محمدی مطلق، احمد (1394). تحلیل و پهنه بندی خطر جریانات واریزه ای و مخروط های آن در منطقه کوهستانی پاوه. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره 4، بهار 1394. صص. 16-1.
- رجبی، علی محمد، و خسروی، حسین. (۱۳۹۵). انتخاب مدل بهینه در پهنه بندی زمین لغزش های ناشی از زلزله (مطالعه موردی: منطقه چلکاسر و چهارمحل). همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- زندی، رحمان، امیراحمدی، ابوالقاسم، محمدنیا، ملیحه (۱۳۹۷). استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرqbه-درود (مشهد - نیشابور). جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۷، دوره ۱، شماره ۲.
- زنگنه تبار، زهرا، عبدالله زاده، اصغر، بهمنی، سیران ۱۳۹۷. پهنه بندی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل (AHP) مطالعه موردی: بخش جنوبی حوضه آبریز خرم آباد). چهارمین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست. تعداد صفحات: ۱۳.
- سازمان آب منطقه ای استان گلستان؛ 1395؛ داده های هیدرومتری ایستگاه زیارت.
- شفقتی، مهدی، مصلحت جو، عطاء الله. 1391. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش آنبالاگان در محیط ArcGIS. مطالعه موردی حوضه آبخیز چاکرود- گیلان. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال نهم، شماره 45.

- صابرچناری، کاظم، شیخ، واحد، سلمانی، حسین 1395. ارزیابی مدل LNRf در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از GIS در حوزۀ آبخیز زیارت گرگان. پژوهش های آبخیز داری (پژوهش و سازندگی) (شماره 112، پاییز 1395).
- عابدینی، موسی، پیروزی، الناز (۱۳۹۸). پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق روش های Hot Spot, ANP و WIC (مطالعه موردی: شهرستان خلخال). جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۸، شماره ۴ - شماره پیاپی ۳۲، صفحه ۱۹-۳۶.
- عبدالله زاده، علی، اونق، مجید. (مقایسه ی دو روش تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان. فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران. شماره نهم).
- علقلمند، مجید، طلائی، رضا، مخبری، مهدی. 1395. ارزیابی عوامل تاثیرگذار در ناپایداری دامنه های جنوب استان اردبیل. دومین همایش ملی توسعه پایدار در راهسازی با رویکرد حفظ محیط زیست. 20 آبان 1395- شیراز. کاویانی، محمد رضا؛ علیجانی، بهلول؛ 1385؛ مبانی آب و هوا شناسی، انتشارات سمت.
- کرنژادی، آیدینگ. 1392. در ارزیابی خطر، خسارت و مدیریت زمین لغزش (مطالعه موردی: آبخیز زیارت، استان گلستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مددی، عقیل، نوعی، بهنام، اسمعیلی، اباذر. 1392. ارزیابی خطر زمین لغزش و پهنه بندی آن با استفاده از مدل LIM و بکارگیری تکنیک GIS. مطالعه موردی حوضه آبخیز گیوی چای- اردبیل. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی دانشکده جغرافیا، سال 17، شماره 43، صفحات 307-326.
- مختار یاصل، ابوالفضل، رنجبریان شادباد، مریم ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه بندی احتمال خطر زمین لغزش در حوضه آبریز یاجیلو با مدل AHP. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی سال چهارم بهار ۱۳۹۵ شماره ۴ (پیاپی ۱۶).
- مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی؛ رحیمی هرآبادی، سعید (۱۳۹۲). ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی - شماره ۴. صص ۱۱۸-۱۰۳.
- یار احمدی، جمشید، روستایی، شهرام، شریفی کیا، محمد، روستایی، مه آسا (1394). شناسایی و پایش ناپایداری دامنه ای به روش پردازش اینترفرومتری تفاضلی. مطالعه موردی حوضه آبریز گرمی چای میانه.
- Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S and Neethu, S. 2015. Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim, Geo environmental Disasters, 1 – 17.
- Bin, Y., Yu, M. and Yufu, W., 2013, Case study of a giant debris flow in the Wenjia Gully, Sichuan Province, China, Nat Hazards. Vol. 65, pp. 835-849.
- Kalimuthu H, Tan, WN, Lim SL, Fauzi MFA., 2015. Assessing frequency ratio method for landslide susceptibility mapping in Cameron Highlands, Malaysia. In 2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORed) (pp. 93-99). IEEE.

- Redshaw, P., Dijkstra, T., Free, M., Jordan, C., Morley, A., & Fraser, S. 2017. Landslide risk assessment for the built environment in Sub-Saharan Africa. In Workshop on World Landslide Forum (pp. 5 -12). Springer, Cham.
- Reichenbach P, Rossi M, Malamud BD, Mihir M, Guzzetti F., 2018. A review of statisticallybased landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60-91.
- Roback K, Clark MK, West AJ, Zekkos D, Li G, Gallen SF, Godt JW., 2018. The size, distribution, and mobility of landslides caused by the 2015 Mw7. 8 Gorkha earthquake, Nepal. *Geomorphology*, 301, 121-138.
- Shariat Jafari, M. 1996. Landslide principles of natural slope stability. Sazeh. Press, 218p. (In Persian)