

ارزیابی پهنه‌های خطر زمین لغزش در جاده اردبیل - سرچم

رسول صمدزاده*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۴

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۵/۱۲

چکیده

حرکات توده‌ای به ویژه زمین لغزش از رایج ترین مخاطرات ژئومورفیک در جاده تازه تاسیس اردبیل - سرچم می‌باشد. هدف اصلی پژوهش حاضر پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده اردبیل - سرچم است. در نخستین مرحله بر اساس مطالعات میدانی، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در قالب نقشه فهرستی تهیه گردید. به منظور بالا بردن دقت، سرعت و سهولت تجزیه و تحلیل، تمامی اطلاعات مکانی و توصیفی شامل لایه‌های سنگ شناسی، گسل‌ها، شبکه‌های زهکشی، شیب، منحنی‌های همبارش و کاربری اراضی رقومی گردیده و برای تحلیل آماری داده‌های تهیه شده از تحلیل‌های آماری (SPSS ۱۶) استفاده شد. سپس به منظور تعیین درجه حساسیت واحدهای شبکه‌ای به وقوع لغزش، نسبت به وزن دهی عوامل موثر پرداخته و در نهایت نقشه حساسیت پذیری به وقوع زمین لغزش، تهیه شد. در نهایت نمودار فراوانی رده‌های مختلف خطر ترسیم و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با شش پهنه بسیار بالا تا بدون خطر تهیه گردید. در مرحله بعدی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با نقشه پراکنش لغزش پوشش داده و بر اساس نتایج حاصله از جداول، حدود ۱۳۶۱ پیکسل در محدوده خطر خیلی زیاد، ۶۶۸ پیکسل در محدوده زیاد، ۶۵۶ پیکسل در محدوده متوسط، ۳۳۳ پیکسل در محدوده خطر کم و ۱۱۵ پیکسل در محدوده بدون خطر که لغزش در آنجا رخ نداده است، استخراج گردید. براساس مقادیر فی و ضرایب رابطه‌ای می‌توان ویژگی‌های سنگ شناسی را مهم ترین عامل ناپایداری دامنه‌ها در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت، بدین ترتیب که دگرسانی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی تحت‌تاثیر محلول‌های هیدروترمالی و استقرار جاده بر روی این بسترهای دگرسان شده باعث رویداد زمین لغزش و ناپایداری جاده می‌گردد. عواملی که در مرحله بعدی اهمیت قرار دارند عبارتند از: بارش، پوشش گیاهی، درجه شیب، فاصله از رودخانه (زیربری) و فاصله از گسل‌ها.

واژگان کلیدی: پهنه بندی خطر زمین لغزش، جاده اردبیل - سرچم، پهنه‌های خطر، حرکات توده‌ای.

مقدمه

مطالعات پهنه بندی خطر زمین لغزش ابتدا در کشورهای فرانسه، ایتالیا و سپس در اسپانیا، استرالیا، آمریکا و جمهوری چکسلواکی انجام پذیرفته است (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۳). امروزه بسیاری از کشورهای دنیا دارای موسسه‌های مستقلی جهت مطالعه و بررسی این پدیده هستند. تقریباً از چهار دهه گذشته تاکنون مطالعات گسترده‌ای در دنیا در مورد علل ساز و کارها، میزان خطر، طبقه‌بندی و پهنه‌بندی و حتی کنترل و راه‌های پیشگیری حرکات توده‌ای به عمل آمده است، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

از جمله افرادی که روابط ژئومورفولوژیکی بین الگوی زمین لغزش‌ها در رابطه با موقعیت‌های زمین شناختی و ساختمانی ناحیه امبریای ایتالیا را مطالعه نموده‌اند، می‌توان به کارهای: گازتی و همکاران (۱۹۹۲) و کروزیرو و همکاران (۲۰۱۵) اشاره نمود. کولار و همکاران (۲۰۰۰) با تلفیق نقشه‌های شیب، توپوگرافی و نقشه فهرستی زمین لغزش موجود، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش موثر ناحیه نیرودان در شمال خاوری هند را تهیه و اظهار نموده‌اند که نقشه تهیه شده با زمین لغزش‌های موجود مطابقت دارد. ناگارجان و همکاران (۲۰۰۰) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در نواحی گرمسیری هند از روش وزن دهی به فراسنج‌های آب و هوایی و دیگر عوامل محیطی استفاده نموده و با در نظر گرفتن فراوانی لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف، عوامل ایجاد زمین لغزش‌ها، کلاس نهایی را پس از وزن دهی کارشناسانه برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انتخاب نمودند. تورتستون و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تهیه نقشه توان خطر زمین لغزش منطقه دربی شایر نمودند. رموند و

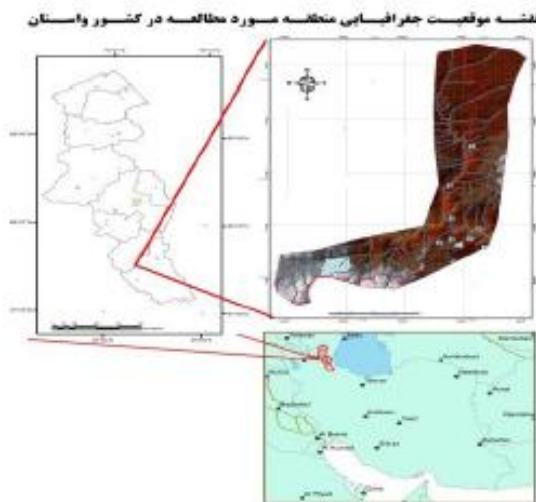
همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تکنیک GIS رابطه بین عوامل مربوط به ویژگی‌های محیطی و رویداد زمین لغزش را به دست آورده و یک ارزیابی کمی از خطر زمین لغزش را انجام دادند. سوسوکی و همکاران (۲۰۰۷) در منطقه کلون پروگو اندونزی با به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده از مدلی کمی به نام تیپ II که در آن عواملی مانند سنگ‌شناسی، ساختمان زمین، بارندگی، وضعیت آب‌های زیرزمینی، شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی و فعالیت انسانی امتیازدهی می‌گردد، اثر و سهم هر کدام از عوامل یاد شده را بر زمین لغزش‌های منطقه تعیین نموده‌اند. پینتو و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تفصیلی علل شکل‌گیری زمین لغزش‌های بزرگ حوضه نئوژن منطقه تارایاکاما واقع در شمال شیلی پرداخته‌اند. اورلین و همکاران (۲۰۰۹) در مورد مورفولوژی و ساختار پیچیده زمین لغزش‌های موجود در شمال ایسلند واقع در حاشیه پهنه‌های فعال زمین ساختی این جزیره پژوهش‌های ارزنده‌ای انجام داده‌اند. سانجیت و همکاران ضمن مطالعه در مورد ارزیابی حساسیت زمین لغزش‌های کم عمق در اوهایو و هاوایی در شرایط آب و هوایی با بارش‌های سنگین بدین نتیجه رسیدند که سطوح شیب‌دار متشکل از سازندهای دانه ریز در زمان بارش‌های سنگین به مرحله اشباع رسیده و مقاومت و اصطکاک درونی خاکدانه به حداقل ممکن می‌رسد و زمینه رویداد حرکت‌های توده‌ای فراهم می‌گردد (اورلین و همکاران ۲۰۰۹). چینگ و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه در مورد اثرات بارندگی‌ها بر گسیختگی‌های کم عمق دامنه‌ای به روش تجربی بدین نتیجه رسیدند که با پیدایش هرگونه گسیختگی در پای دامنه تحت هر عاملی، گسیختگی‌های متوالی به بخش بالا دست دامنه سرایت می‌کند و ارتباط تنگاتنگی بین عوامل درونی و بیرونی در شکل‌گیری

که به موازات آن در حال ساخت می‌باشد، از مسیرهای است که می‌تواند در آینده به گذرگاه اصلی گردشگری استان‌های باختری و جنوب باختری و همچنین زنجان با استان اردبیل تبدیل گردد. این جاده علی‌رغم مزیت‌های نسبی بخصوص در اتصال مستقیم استان اردبیل به شاهراه ایران - اروپا در قسمت‌های مختلف همواره با خطر زمین لغزش مواجه می‌باشد. هر چند که تا به حال آمار دقیقی از تعداد و تراکم لغزش و سطح زیر پوشش آن‌ها وجود ندارد. لذا ارزیابی پهنه‌های خطر زمین لغزش و تاثیر آن‌ها بر روی جوامع انسانی، شبکه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی در مقیاس محلی مستلزم پژوهش‌های علمی است. بدین جهت تحقیق حاضر تلاشی است در راستای نیل به این خلا مطالعاتی در خصوص زمین لغزش‌های تهدید کننده این جاده که علاوه بر اتصال استان اردبیل به شاهراه ایران- اروپا و خارج ساختن استان از بن بست نسبی، فاصله سومین شهر بزرگ شمال باختری ایران را با پایتخت دست کم دو ساعت کوتاه تر نموده است. شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و تعیین عوامل موثر در وقوع آن‌ها، و در نهایت تعیین پهنه‌های خطر زمین لغزش هدف اصلی این پژوهش است.

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه:
مسیر مورد مطالعه تقریباً ۴۲ کیلومتر از جاده اردبیل - سرچم را پوشش می‌دهد که با مختصات ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع متوسط ۱۲۷۷ متر از سطح دریا در جنوب غربی استان اردبیل و ۴۸ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع متوسط ۱۱۴۵ متر از

گسیختگی‌های دامنه‌ای وجود دارد. نترا و همکاران (۲۰۱۰) اقدام به ارزیابی حساسیت اراضی به زمین لغزش‌ها با استفاده از مدل‌های موجود جهت شناخت تغییرات مشاهده شده در دامنه‌ها نموده‌اند. پوپرود (۲۰۱۴) با استفاده از رویکرد چند روشی اقدام به تهیه نقشه دقیق حساسیت به زمین لغزش حوضه ترشیاری پوین لاین ولای واقع در ماسیف سانتال فرانسه نمود. تیمیلیسینا و همکاران (۲۰۱۴) مناطق احتمالی رویداد زمین لغزش‌های بزرگ مقیاس و همچنین پراکنش این پدیده را در بخشی از ارتفاعات هیمالیا واقع در نپال مرکزی، تعیین نمودند. گوئریز و همکاران (۲۰۱۵) زمین لغزش‌های گسترده رویداده در اثر چین‌های دیپیری را در ارتفاعات پیرنه اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند. هاونیث و همکاران (۲۰۱۵) اقدام به ایجاد پایگاه اطلاعاتی در مورد زمین لغزش‌ها و زمین لرزه مخصوصاً زمین لغزش‌های رویداده در اثر زمین لرزه‌های ویرانگر در ارتفاعات تیان شان، نمودند. در سطح کشور مطالعات متعددی در مورد حرکات دامنه‌ای مخصوصاً زمین لغزش‌ها صورت گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: نیک- اندیش (۱۳۷۸)، بیاتی خطیبی (۱۳۷۹)، محمودی و کرم (۱۳۸۰)، کلارستاقی (۱۳۸۱)، الماس پور (۱۳۸۴). نخستین گزارش پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخش‌های جنوبی استان اردبیل در سال ۱۳۷۷ در ۲ جلد توسط سازمان مسکن و شهر سازی منتشر شد. در ادامه این روند، مطالعات زیادی از طرف پژوهشگران مختلفی در قالب طرح‌های پژوهشی و یا پایان‌نامه‌های دانشجویی صورت گرفته است که به طور خلاصه می‌توان به کارهای مهدوی فر (۱۳۷۵)، ایمانی (۱۳۸۶)، صلاحی (۱۳۷۹)، ایرانی (۱۳۸۹) و صمدزاده (۱۳۹۰) اشاره نمود. جاده اردبیل- سرچم که در پاییز ۱۳۹۰ به بهره برداری رسید، به همراه خط آهن اردبیل-میانه

خلخال شروع و حد جنوبی آن نیز در روستای کجل که دامنه‌ها شیب خود را از دست داده و آثاری از ناپایداری در سطح آن‌ها دیده نمی‌شود، خاتمه می‌یابد. از نزدیکی شهر فیروزآباد تا سه راهی جدید کیوی که جاده و خط آهن به موازات هم امتداد یافته‌اند تاثیر ناپایداری‌ها بر روی خط آهن نیز مدنظر قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مسیر مورد مطالعه در جنوب استان اردبیل (سمت چپ) و همچنین در تصویر ماهواره‌ای (سمت راست)

مواد و روش‌ها

شناسی، گسل‌های اصلی و فرعی، رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، درجه شیب و سپس نقشه فهرستی پراکنش لغزش‌ها (جدول ۱) و در نهایت نقشه واحد کاری به صورت واحد شبکه‌ای تهیه شده است. لازم به یاد آوری است که کل محدوده به ۳۳۲۱ واحد شبکه‌ای (پیکسل) تقسیم گردیده است.

در این پژوهش برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از تکنیک GIS و تحلیل‌های آماری نیز از روش مربع کای (کمی) استفاده شده است، که شامل موارد زیر می‌باشد. الف-در نخستین مرحله، تمام اطلاعات به دست آمده از مطالعات میدانی با تطبیق نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ در قالب لایه‌های اطلاعاتی: نقشه‌های همباران، سنگ

جدول ۱: مشخصات زمین لغزش‌های محدوده مورد مطالعه که با شماره در نقشه‌های لایه‌های اطلاعاتی مربوطه مشخص گردیده است.

شماره زمین لغزش	مختصات ریاضی		موقعیت مکانی	عوامل تاثير گذار در رویداد زمین لغزش	ابعاد لغزش	
	عرض شمالی	طول خاوری			عرض	طول
۱	۳۷° ۲۵' ۴۰"	۴۸° ۸' ۴۲"	بعد از سه راهی جدید کیوی-خلخال در سمت چپ جاده	خاک برداری در ته نشست های نرم و نیمه مقاوم نئوژن برای احداث خط آهن میانه-اردبیل	۷۰	۵۰
۲	۳۷° ۲۶' ۶۰"	۴۸° ۱۵' ۱۴"	روبروی سه راهی گنجگاه	خاک برداری در ته نشست های نرم و نیمه مقاوم نئوژن برای احداث خط آهن میانه-اردبیل	۲۳۰	۶۰
۳	۳۷° ۲۶' ۳۷"	۴۸° ۱۴' ۴۸"	روبروی سه راهی فیروز آباد - میانه	خاک برداری در ته نشست های نرم و نیمه مقاوم نئوژن برای احداث خط آهن میانه-اردبیل	۱۷۰	۸۰
۴	۳۷° ۲۶' ۴۷"	۴۸° ۱۵' ۲۵"	بعد از سه راهی فیروز آباد	خاک برداری در توف های ائوسن برای احداث جاده	۲۰۰	۹۰
۵	۳۷° ۲۷' ۹"	۴۸° ۱۳' ۲۲"	نرسیده به سه راهی هشتجین و پل قزل اوزن	خاک برداری در توف های ائوسن برای احداث جاده	۱۵۰	۵۵
۶	۳۷° ۲۷' ۹"	۴۸° ۱۳' ۲۲"	بعد از پل قزل اوزن	نفوذ اب های سطحی و خاک برداری برای احداث جاده	۱۰۰	۶۵
۷	۳۷° ۱۷' ۹"	۴۸° ۱۳' ۵۵"	بعد از تونل شماره ۱۲	نفوذ محلول های هیدروترمالی و دگرسانی شیمیایی سنگ های آتشفشانی و خاک برداری	۲۰۰	۱۰۰

به وزن دهی عوامل موثر پرداخته و در نهایت نقشه حساسیت پذیری نسبت به وقوع لغزش تهیه شده است. که در آن تراکم سطح رده به تراکم سطح نقشه تقسیم می‌شود (سانجیت و همکاران، ۲۰۰۹) (رابطه ۱):

رابطه ۱:

$$= \text{Ln} \left[\frac{N_{pix}(S_i)}{N_{pix}(N_i)} \right] / \frac{\sum N_{pix}(S_i)}{\sum N_{pix}(N_i)} \Bigg/ \text{Ln} w_i$$

ب- تهیه جدول خروجی از نقشه‌ها برای هر سلول (واحد شبکه‌ای) و بر اساس متغیر وابسته (y) دارای لغزش، که در آن مساحت هر عامل به صورت متغیر مستقل تعیین گردیده و یا این که وقوع لغزش (۱) و عدم وقوع آن (۰) نشان داده شده است. برای تحلیل داده‌های تهیه شده از نرم افزار (spss ۱۶) استفاده شده است:

د- به منظور تعیین درجه حساسیت واحدهای شبکه‌ای به وقوع لغزش بر اساس فرمول زیر نسبت

گفت که در جامعه پژوهش، بین نوع لیتولوژی و وقوع لغزش تفاوتی وجود داشته؟ جهت پاسخ به این سؤال می‌توان مقادیر اتفاقات لغزشی در هر لیتولوژی را مقایسه نمود. مقایسه تعداد پیکسل‌ها نشان می‌دهد که بیشترین لغزش‌ها در واحدهای سنگ شناسی پیروکسن آندزیت دگرسان شده Eb2 (اشکال ۲ و ۳)، توف Et (شکل ۴)، رسوبات آبرفتی جوان Qt2، آندزیت‌های دگرسان شده Ku1 و مارن و ماسه سنگ Ngms اتفاق افتاده است. مقایسه درصد احتمال مقادیر مورد انتظار و مشاهده شده از پیکسل‌ها نشان می‌دهد که گسترش لغزش‌ها در لیتولوژی‌های فوق قابل توجه است (شکل ۳). حال اگر فرضیه صفر صحیح باشد یعنی وقوع اتفاقات با نوع لیتولوژی ارتباط نداشته باشد یا به عبارتی مستقل باشند، انتظار می‌رود نسبت درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در گروه‌های مختلف لیتولوژیکی با هم برابر باشند، البته انتظار نداریم که تعداد و مساحت لغزش‌ها در گروه‌ها با هم یکسان باشند؛ چرا که تعداد واحدهای شبکه‌ای (پیکسل‌ها) و مساحت گروه‌های مختلف لیتولوژیکی با هم برابر نیستند. برای دستیابی به نتیجه‌ای منطقی در هر یک از خانه‌ها مقادیر منتظره و مشاهده شده درج گردیده و آخرین عدد هر یک از آن‌ها اختلاف بین این مقادیر نامیده شده است. مثبت بودن باقیمانده‌ها به این معنی است که مقدار مشاهده شده از مقدار منتظره بیشتر است، منفی بودن باقیمانده‌ها به این معنی است که مقدار مشاهده شده از مقدار منتظره کم تر بوده است. با مقایسه باقیمانده‌ها می‌توان گروه‌های سنگ‌های آندزیت، ماسه سنگ، شیل، توف و نهشته‌های کواترنر را تفکیک کرد. باید به باقیمانده‌های منفی سایر واحدهای لیتولوژیکی نیز توجه کرد، که حکایت از وقوع لغزش اما کم تر از توزیع طبیعی آن‌ها در منطقه است (جدول ۲).

که $Wi =$ وزن داده شده به یک رده عامل ویژه (مثلا یک نوع سنگ یا یک رده شیب)

L_n یا مولفه تراکم سطح که برابر است با = چگالی زمین لغزش در رده عامل بر چگالی زمین لغزش در کل نقشه

$N \text{ pix (Si)}$ = تعداد واحدهای شبکه‌ای که در یک رده از عامل ویژه دارای زمین لغزش‌اند.

$N \text{ pix (Ni)}$ = تعداد کل واحدهای شبکه‌ای در رده‌های عامل ویژه.

و- بر اساس روش وزن دهی فوق مقادیر به دست آمده برای هر سلول (واحدکاری) از نقشه تهیه و با رسم نمودار فراوانی رده‌های مختلف خطر تهیه و نقشه نهایی ترسیم شده است.

بحث و نتایج

تحلیل آماری بر اساس روش مربع‌کای و شاخص‌های رابطه‌ای آن: حدود ۵۳۰/۳ هکتار از مساحت کل محدوده درگیر زمین لغزش است. همچنین با توجه به این که شرایط سنگ شناختی، پوشش گیاهی، شیب و سایر شرایط طبیعی و مصنوعی حاکم بر عرصه‌های لغزشی مشخص شده است، لذا بعد از بررسی مقدماتی مجموعه داده‌ها اقدام به انتخاب روش‌های تجزیه و تحلیل آماری گردید.

پراکندگی لغزش‌ها نسبت به لایه‌های مختلف اطلاعاتی: در این پژوهش جهت تعیین رابطه بین متغیرها با حالات یا مقادیر محدوده، از واحد شبکه-ای (به تعداد ۳۳۲۱ پیکسل متشکل از ۹ واحد سنگی، ۴ محدوده فاصله از گسل، ۶ محدوده کلاسه شیب، ۴ محدوده فاصله از رودخانه، ۳ محدوده کاربری اراضی و ۵ محدوده بارشی) استفاده شده است. براساس جداول متقاطع بین متغیر واحدهای سنگ شناسی و رویداد حرکات توده‌ای، این سوال قابل طرح است که آیا بر اساس این نتایج می‌توان

حداقل به بزرگی اعداد محاسباتی باشد، بنابراین چون سطح معنی دار مشاهده شده بسیار کوچک اند می توان فرضیه صفر را رد نمود و اختلاف معنی دار بین گروه های لیتولوژیکی و وقوع لغزش را به اثبات رساند.

نتایج آزمون آماری مربع کای بر اساس جدول متقاطع را می توان چنین بیان کرد که سطح معنی داری مشاهده شده برای مقادیر مربع کای پیرسون کم تر از ۰/۰۰۰۵ می باشد، معنی این اعداد این است که اگر فرضیه صفر صحیح باشد کم تر از ۵ در ۱۰۰۰۰ انتظار می رود که مقدار مربع کای

جدول ۲: ضرایب سنگ شناسی

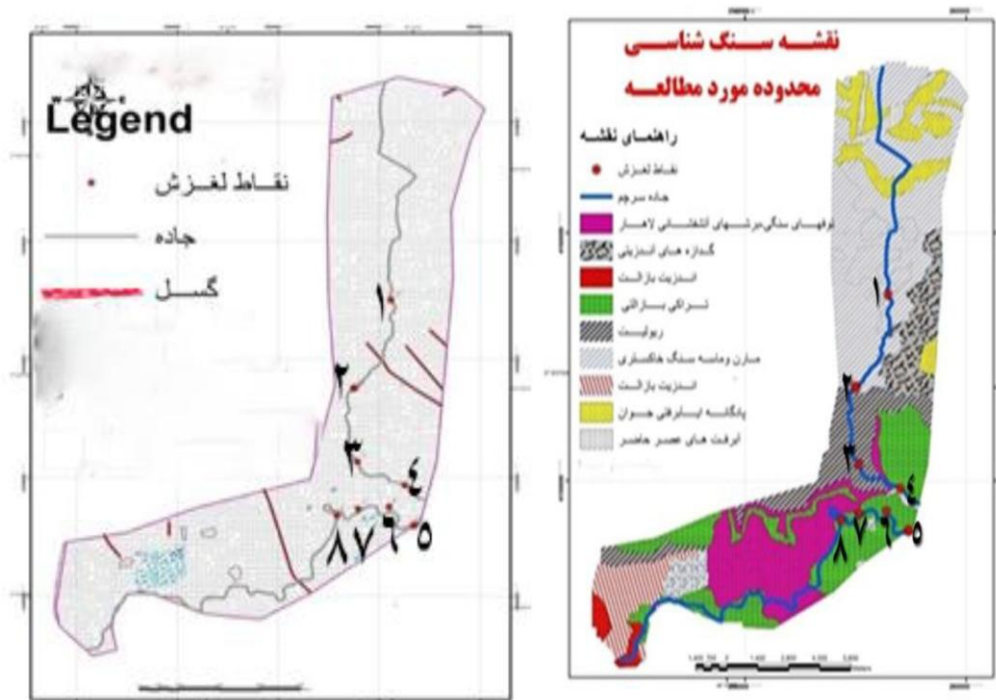
گنگلو مرا Ngc	پیروکسن آندزیت Eb2	آهک EV	رسوبات آبرفتی جوان Qt2	مگاپرفیر آندزیت Ep	توف و توف برش Et	سنگ آهک IKU	گدازه آندزیتی Ku1	Ngms مارن وماسه سنگ	نوع مصالح
۰/۲۶۹	۱/۳۵۸	۰	۰/۸۶۶	۰	۱/۰۱۸	-۱/۳۳	۰/۴۱۲	۰/۹۷۲	ضریب

واحدهای شبکه ای درگیر لغزش و فاقد آن بدست آمده است، لذا مقایسه تعداد واحدهای شبکه ای واجد و فاقد لغزش در فواصل مختلف از گسله ها نشان می دهد که وقوع حداکثر لغزش ها در فواصل نزدیک به گسل های مهم منطقه صورت گرفته است (جدول ۳ و شکل ۴).

پراکنش زمین لغزش ها نسبت به گسل های منطقه: از گسله های اصلی و بنیادی منطقه می توان به گسل نئور، گسل هیر، دوپل و فیروز آباد اشاره نمود. جهت بررسی اثرات آن ها در وقوع زمین لغزش در منطقه، تحلیل آماری صورت گرفته و مقایسه تعداد و مواد مشاهده شده و منتظره در جدول ۳ ارائه شده است. این اطلاعات بر اساس تجزیه و تحلیل تعداد

جدول ۳: ضرایب فاصله از گسل

فاصله از اصلی گسل	کم تر از ۵۰۰ متر	۵۰۰-۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر	۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر
ضریب	۰/۱۲۳	-۰/۳۵	۰/۰۶۹	۰/۱۶



شکل ۳: پراکنش زمین لغزش‌ها در واحدهای سنگ شناختی / شکل ۴: پراکنش زمین لغزش‌ها در رابطه با فاصله از گسل‌ها

آزمون نشان می‌دهد که بین فاصله از رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی منطقه و وقوع لغزش‌ها اختلاف معنی‌دار بوده و ضرایب بدست آمده قدرت قوی تا متوسط را نشان می‌دهند، در فاصله کم‌تر از ۵۰۰ متری و ۱۰۰۰-۵۰۰ متری نیز رابطه معنی‌داری نشان می‌دهد و در فاصله ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متری و ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متری رابطه معنی‌داری کمی نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان برای پیش‌بینی احتمال وقوع لغزش از مسیر رودخانه‌ها استفاده نمود (جدول ۴).

پراکنش زمین لغزش‌ها نسبت به رودخانه‌های منطقه: نتایج نشان می‌دهد که با دور شدن از مسیر رودخانه‌های اصلی از تعداد واحدهای شبکه‌ای دارای لغزش نیز کاسته می‌شود که دلیل آن علاوه بر عوامل دیگر، بخصوص مورفولوژی می‌تواند زیر شونی رودخانه‌های منطقه نیز باشد. ۱۰۰ درصد از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله‌ای کم‌تر از ۱۵۰۰ متری از بستر رودخانه‌های اصلی اتفاق افتاده‌اند (شکل ۵). بررسی‌های میدانی نیز نشان می‌دهد که در وقوع زمین لغزش‌ها، عامل زیرشویی رودخانه‌ها دخالت مستقیم داشته است. نتایج این

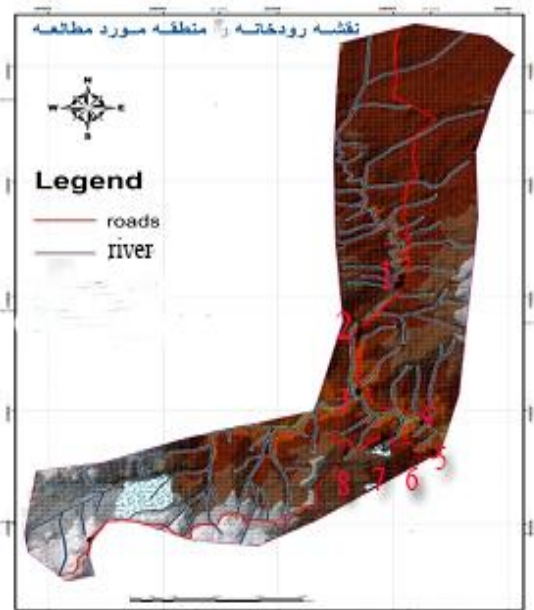
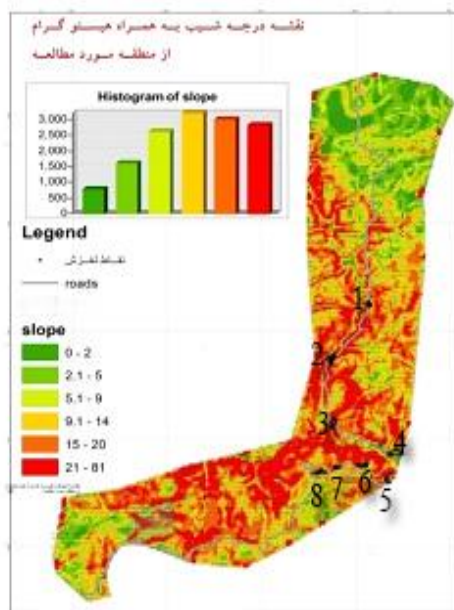
جدول ۴: ضرایب رودخانه و آبراهه

فاصله از رودخانه اصلی	کم‌تر از ۵۰۰ متر	۵۰۰-۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر
ضریب	۰/۰۴۹	۰/۳۳۱	-۱/۱۷	۰/۷

و وابستگی وقوع حرکات دامنه‌ای با درجه شیب منطقه را نشان می‌دهد. با دانستن وابستگی وقوع حوادث به درجه شیب دامنه‌ها باید به این سؤال پاسخ داد که، احتمال وقوع در کلاس‌های مختلف شیب یکسان است یا خیر؟ از مقایسه باقیمانده‌های تعداد واحدهای شبکه‌ای معلوم می‌شود که وقوع حوادث در شیب ۱۶-۲۰ مقادیر مورد انتظار بالاتر بوده و احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای نیز در آنها به مراتب بیشتر است (جدول ۵ و شکل ۶).

جدول ۵: ضرایب کلاس‌های شیب

کلاس شیب	۰-۲	۸-۲	۱۶-۸	۲۰-۱۶	۲۰-۳۰	۳۰-۸۶
ضریب	۰/۱۱۹	۰/۰۲۴	-۰/۰۴۶	۰/۴۴۷	۰/۴۶۵	۰/۱۲



شکل ۵: پراکنش زمین لغزش‌ها در رابطه با فاصله از روخانه‌ها شکل ۶: پراکنش زمین لغزش‌ها در رابطه با شیب محدوده

را می‌توان به عبارت ساده‌تری نیز بیان کرد؛ که وقوع حرکات دامنه‌ای کاملاً به رده‌های شیبی بالاتر از ۸ درصد وابسته می‌باشد. مقادیر ضریب فی، کرامر و توافق رابطه‌ای کاملاً قوی بین وقوع حوادث و رده شیب را ثابت کرد.

با مطالعه مقادیر مربع کای و نسبت درستنمایی محاسبه شده و سطح معنی‌دار آنها می‌توان فرضیه صفر را رد نمود (یعنی استقلال رده‌های شیب با وقوع حوادث) و اختلافات معنی‌دار بین کلاس‌های مختلف شیب و وقوع لغزش را ثابت کرد، این مطلب

پراکنش لغزش‌ها نسبت به کاربری اراضی منطقه: برای لغزش خیزی می‌باشند. در این رابطه بیشترین نوع پوشش گیاهی در وقوع لغزش تاثیرگذار است و زمین‌هایی که تحت زراعت قرار می‌گیرند مستعد (شکل ۷ و جدول ۶).

جدول ۶: ضرایب کاربری اراضی

نوع پوشش گیاهی	مرتع	زراعی	جنگل
ضریب	۰/۳۹۵	۰/۳۶	-۰/۵۰

پراکنش لغزش‌ها نسبت به رژیم بارندگی: برای مطالعه فراسنج آب و هوایی بارندگی محدوده مورد مطالعه به دلیل نبود ایستگاه در سطح آن از داده‌های آماری ۲۰ ساله پنج ایستگاه سینوپتیک پیرامونی استفاده شده است. سپس با استفاده از روش درون یابی منحنی‌های همبارش تهیه و با لایه اطلاعاتی زمین لغزش‌ها ترکیب گردید.

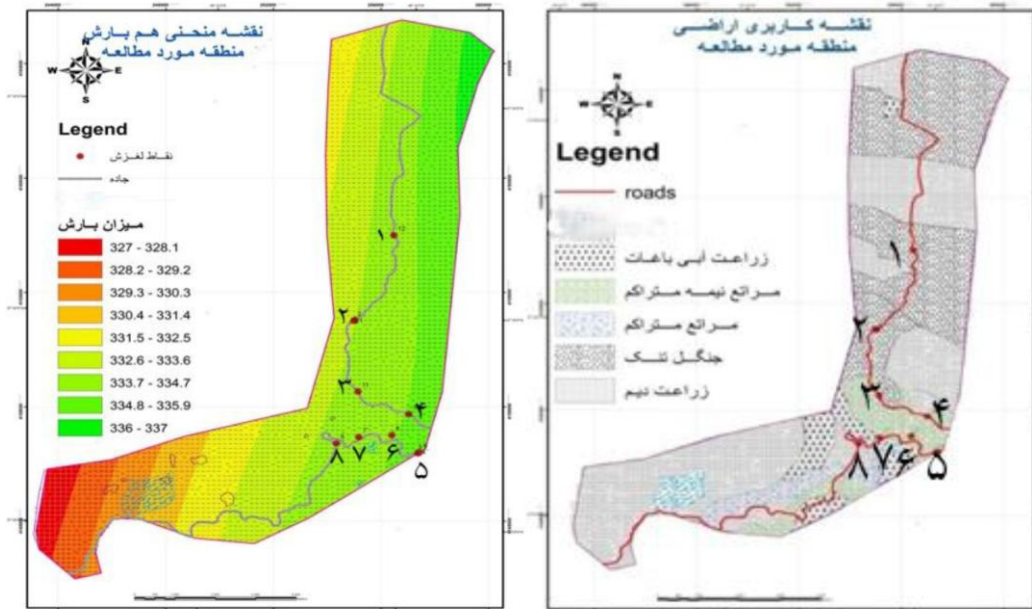
جدول ۷: مشخصات ایستگاه‌های پیرامونی محدوده مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی				دوره آماری مورد مطالعه	نوع ایستگاه
		عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی			
خلخال	۱۷۹۶	۳۷	۳۸	۴۸	۳۲	۱۹۸۷-۲۰۰۵	سینوپتیک
سراب	۱۶۸۲	۳۷	۵۶	۴۷	۲۹	۱۹۸۷-۲۰۰۵	سینوپتیک
زنجان	۱۶۶۳	۳۶	۴۱	۴۸	۱۷	۱۹۸۷-۲۰۰۵	سینوپتیک
اردبیل	۱۳۳۲	۳۸	۱۵	۴۸	۴۲	۱۹۸۷-۲۰۰۵	سینوپتیک
میانه	۱۱۱۰	۳۷	۲۷	۴۷		۱۹۸۷-۲۰۰۵	سینوپتیک

اگر مقادیر جدول متقاطع مقایسه گردد مشخص می‌شود درصد پیکسل‌های درگیر زمین لغزش از بارش‌های پائین تا بالا دارای تغییرات قابل توجهی نمی‌باشد. از مقایسه باقیمانده‌های تعداد واحدهای شبکه‌ای معلوم می‌شود که وقوع حوادث در بارندگی (پهنه‌های بارشی ۵ و ۴) مقادیر مورد انتظار تقریباً بالاتر بوده و احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای نیز در آن‌ها نسبتاً بیشتر است (جدول ۸ و شکل ۸).

جدول ۸: ضرایب منحنی‌های هم باران

باران	باران ۱	باران ۲	باران ۳	باران ۴	باران ۵
ضریب	۰/۳۱۷	-۰/۷۶	-۱/۲	۰/۷۸	-۰/۹۲



شکل ۷: پراکنش زمین لغزش‌ها در رابطه با کاربری اراضی شکل ۸: پراکنش زمین لغزش‌ها در رابطه با محدوده‌های همبارش



شکل ۹: دیواره سنگی حفاظی نزدیک تونل شماره ۸ جاده اردبیل - سرچم که در اثر جریان‌های زیر سطحی باعث جابجایی توف‌های نرم و ترک برداشتن دیوار شده است.



شکل ۱۰: دگرسانی شیمیایی سنگ‌های آندزیتی و رویداد فعال ترین زمین لغزش محدوده مورد مطالعه

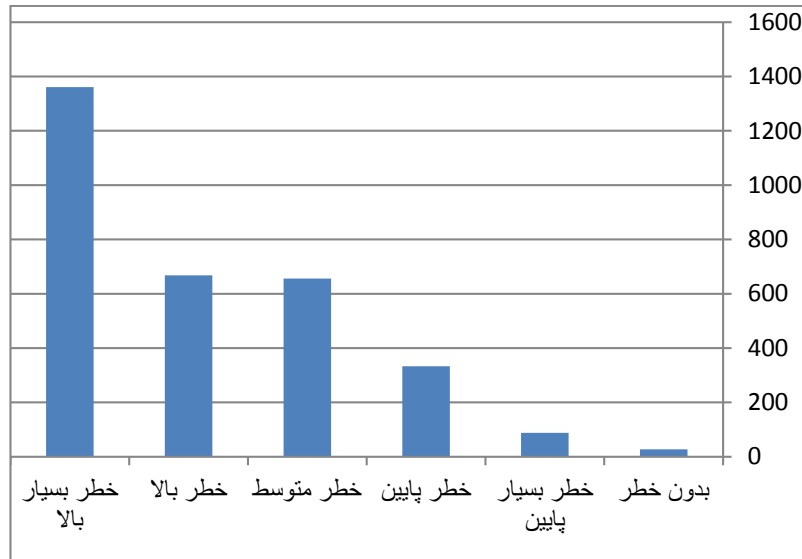


شکل ۱۱: پدیده زمین لغزش (زمین لغزش شماره ۸) و شکستگی دیوار حفاظی جاده

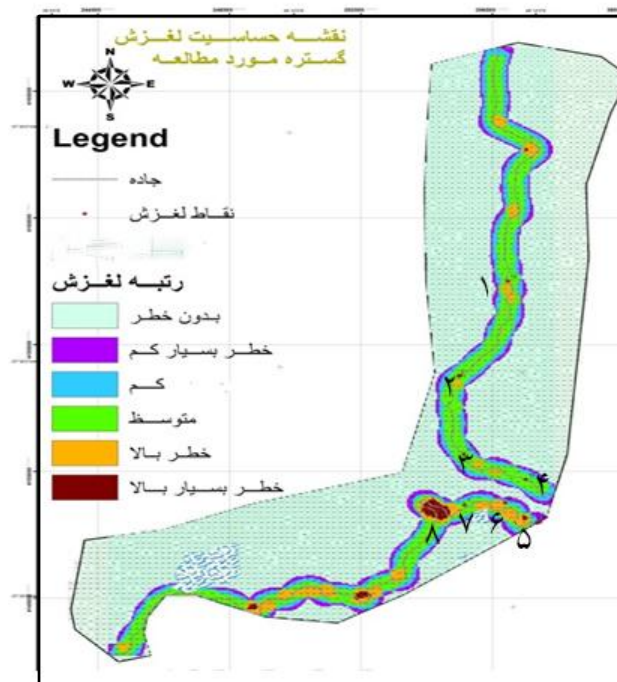
نتیجه‌گیری

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از نقشه‌های عامل زمین‌شناسی، درصد شیب، جهت شیب، فاصله از گسله و رودخانه‌ها و پوشش گیاهی استفاده شده، سپس هر کدام از نقشه‌های عامل را با نقشه پراکنش لغزش تقاطع داده و بعد از اندازه‌گیری تعداد واحدهای شبکه‌ای، چگالی زمین لغزش‌ها محاسبه و در قالب جداول مربوطه (جداول ۲ تا ۷) ارائه گردیده است. لذا شش گروه خطر تفکیک گردید (شکل ۱۳). براساس این گروه‌ها نقشه پهنه‌بندی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ترسیم شد. به این ترتیب براساس مقادیر فی و ضرایب

رابطه‌ای می‌توان به ترتیب عوامل نوع لیتولوژی، بارش، پوشش گیاهی، درجه شیب، فاصله از رودخانه (زیرشویی)، فاصله از گسل را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه موثر دانست. سپس پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با نقشه پراکنش لغزش پوشش داده و براساس نتایج حاصله از جداول، حدود ۱۳۶۱ پیکسل در محدوده خطر خیلی زیاد، ۶۶۸ پیکسل در محدوده زیاد، ۶۵۶ پیکسل در محدوده متوسط، ۳۳۳ پیکسل در محدوده خطر کم و ۱۱۵ پیکسل در محدوده بدون خطر قرار دارند که لغزش در آنجا رخ نداده است. نتایج حاصله در نمودار نشان داده شده است.



شکل ۱۲: نمودار مساحت پهنه‌های خطر زمین لغزش



شکل ۱۳: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش جاده اردبیل - سرچم

آزاد اسلامی واحد اردبیل انجام یافته است، که در این راستا از زحمات این معاونت محترم بی‌نهایت قدردانی می‌شود.

سیاس و قدردانی
این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۹۱/۱۱/۱ پ/۵/۸۹/۳۸۶۲ می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه

منابع

- الماس پور، ف. و رضایی، م. ج.، ۱۳۸۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تکنیک GIS و داده‌های ماهواره‌ای، مطالعه موردی حوضه قزلچه اهرچای، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، تهران.
- ایرانی، و.، ۱۳۸۹. ممیزی عوامل اقلیمی و توپوگرافی در تصادفات جاده‌ای مسیر اردبیل - آستارا، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.
- دولتی مهر، ع.، ۱۳۸۷. بررسی نقش عوامل اقلیمی در تصادفات جاده‌ای، مطالعه موردی: جاده اردبیل - مشکین شهر، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.
- حق شناس، ا. و نیک اندیش، ن.، ۱۳۷۳. زمین لغزش و منابع طبیعی، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه در کشور، انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۴۲۶ صفحه.
- صلاحی، ب.، ۱۳۷۹. بررسی پدیده‌های مورفولوژیک تهدید کننده جاده ارتباطی اردبیل - آستارا، طرح پژوهشی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.
- صمدزاده، ر.، ۱۳۸۱. تحلیل سیستم‌های محیطی دامنه‌های باختری ارتفاعات با غرو داغ و نقش آن‌ها در پیدایش بیوم جنگلی فندقلو، فصلنامه علمی پژوهشی سرزمین، سال هشتم، شماره دوم، ص ۸۵-۱۰۷.
- صمدزاده، ر.، توانگر، ف. و فیض، ن.، ۱۳۹۰. رفتار سنجی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده
- اردبیل-آستارا و ارائه راهکارهای لازم برای مقابله با آن، طرح پژوهشی معاونت پژوهش و فن آوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.
- کمک پناه، ع.، ۱۳۷۳. روش‌های پهنه بندی خطر لغزش، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه در کشور، انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۶۲۵ صفحه.
- کلارستاقی، ع.، ۱۳۸۱. بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز شیرین رود ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- مصفايي، ج.، ۱۳۸۶. مقایسه کارایی مدل‌های آماری و تجربی در پهنه بندی خطر زمین لغزش و توسعه یک طرح مدیریتی در حوضه الموت، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- محمودی، ف. و کرم، ع.، ۱۳۸۰. مدل سازی آماری و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از Gis و داده های سنجش از دور، مطالعه موردی حوضه آبخیز سرخون چهار محال و بختیاری، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور ص ۱۴۷-۱۵۵.
- مهدوی فر، م.، ۱۳۷۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم خلخال - پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- نیک اندیش، ن.، ۱۳۷۸. بررسی نقش عوامل هیدرواقليم در وقوع حرکات توده‌ای درحوضه کارون میانی با توجه به نقش رسوب زایی آن‌ها، پایان نامه دکتری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.

- Aurelien, L., Bruno, C., Vendeville, R., Lies, L. and Maxime, L., 2009. Morphology and structure of a Landslide complex in an active margin setting: the waitawhiti complex, North island, New Zealand: *journal of Geomorphology*, v. 109(3-4), p. 149-167.
- Ching, C. H. and She, C.Y., 2010. Experimental investigation of rainfall Criteria for shallow slope failures: *journal of Geomorphology*, v. 22, p. 326-338.
- Crozier, M. j. and Glade, T., 2005. *landslide hazards and Risk.*, John Wiley & Sons Ltd London, p. 1-40.
- Crozier, M., 2004. *Encyclopedia of Geomorphology*, volume 2 Edited by Goudie, Routledge Ltd, London, p.1350.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1996. The influence of structural setting and lithology on landslide type and pattern: *journal of Environmental and Engineering Geoscience*, v. 2, p. 531-555.
- Gutiérrez, F., Linares, R., Roqué, C., Zarroca, M. and Carbonel, D., 2015. Large landslides associated with a diapiric fold in Canelles Reservoir (Spanish Pyrenees): Detailed geological–geomorphological mapping, trenching and electrical resistivity imaging: *Geomorphology*, v. 241, p. 224–242.
- Havenith, H.B., Strom, A., Torgoev, I., Lamair, L. and Ischuk, A., 2015. Tien Shan Geohazards database: Earthquakes and landslides, *Journal of GEOMORPHOLOGY*-05089, v. 243, p. 12-14
- Khullar, V., Sharam, K. and Paramanik, K., 2000. A Gis approach in the landslide zone of Lawngthlia in southern mizoram, Lansliding: proceeding of the 8th internaianal symposium on landslide, v. 3, p. 461-472.
- Nagarjan, R., Mukherjee, A., Roy, A. and Khire, M.V., 2000. landslide hazards susceptibility mapping based on terrain & climatic factors for tropical monsoon region, *Bull Engineering Geology Environmental*, p. 45-60.
- Netra, R., Rick, G., Vitek, J., Vishnu, D., 2010. Assessing susceptibility to Landslinds using models to understand observed changes in Slopes: *journal of Geomorphology*, v.122, p. 25- 38.
- Pinto, G., Mahler, L., Harmon, J. and Jonathan, B. L., 2008. Neogene giant Landslide in Tarapaca, northern Chile: A signal of instability of the westernmost Altiplano and Palaeoseismicity effects, v. 109 (3-4), p. 532- 541.
- Poiraud, A., 2014. Landslide susceptibility–certainty mapping by a multi-method approach: A case study in the Tertiary basin of Puy-en-Velay (Massif central, France): *journal of Geomorphology*, v. 216, p. 208–224.
- Remondo, J., Soto, J., Gonzalez, D., terin, G. R. and Gendrero, A., 2007. Quantitative Landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences: *journal of Geomorphology*, v. 80, p. 35-45.
- Su Su kyi, J., NGUYEN, T., Kenji, A. and Yoshitad, M., 2007. Landslide risk microzonation by using multivariate statistical analysis & Gis. *International Journal of the JCRM*, v. 3(1), p. 7-15.
- Thurston, N. and Degg, M., 2000. Transferability and terrain reconstruction with GIS and Landslide hazard Mapping method; Derby Distrc Landslides: proceeding of the 8 th international symposium and Landslide hazards, p.1461-1472.
- Timilsina, M., Bhandary, N., Kumar, P., Dahal, R. and Yatabe, R., 2014. Distribution probability of large-scale landslides in central Nepal: *journal of Geomorphology*, v. 226, p. 236–248.