

تحلیل خطر زمین‌لغزش برای شناسایی محدودیت‌های توسعه کالبدی سکونتگاه‌های روستایی؛ مطالعه موردی: منطقه سوادکوه مازندران

علی عبدی‌نژاد*، مجتبی یمانی**، جعفر حسن‌پور***، ابوالقاسم گورابی****، مصطفی کریمی احمدآباد*****

۱۴۰۲/۰۵/۱۸

۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

زمین‌لغزش بعد از سیل و زلزله یکی از مهم‌ترین مخاطره‌های طبیعی در جهان است که سالانه باعث خسارات جانی و مالی قابل توجهی می‌شود. منطقه سوادکوه در دامنه‌های شمالی البرز متأثر از عوامل اقلیمی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و انسانی - بیولوژیکی مستعد بروز زمین‌لغزش بوده است. هدف از این تحقیق، تحلیل خطر زمین‌لغزش برای شناسایی محدودیت‌های توسعه کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در منطقه سوادکوه مازندران است. به این منظور، ابتدا بر اساس سوابق، مشاهدات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و...، بالغ بر ۳۱۹ زمین‌لغزش تدقیق و شناسایی شد. با بررسی و تحلیل عوامل طبیعی و انسانی مؤثر بر زمین‌لغزش شد بارش در وقوع بیش از ۱۸۰ زمین‌لغزش نقش کلیدی و محوری در منطقه داشته است. در این پژوهش، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه از مدل مارکوس (MARCOS) (عنوان یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد، که با استفاده از نرم‌افزار GIS با تلفیق لایه‌های شیب، جهت‌شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، رودخانه و گسل، بارش و زلزله نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه در پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. خروجی مدل نشان می‌دهد که بیش از ۶۳ درصد سطح منطقه و ۱۴۶ روستا در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش متوسط تا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که عمدتاً در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر، شیبهای ۲۰ تا ۳۰ درجه، بستر سنگ‌های غنی از کانی‌های رسی (سازند شمشک)، سازند سری قاره‌ای، رسوبات آبرفتی کواترنری...) و در فاصله ۱۰۰ متری جاده‌ها و رودخانه‌ها گسترش دارند. اعتبارسنجی مدل مذکور به روش نسبت تراکمی نشان داد که میزان دقت مدل مارکوس ۸۹/۱ درصد است که بیانگر دقت خیلی خوب روش مذکور است که وقوع ۲۸۳ زمین‌لغزش در پهنه‌های با خطر متوسط تا خیلی زیاد و وقوع ۳۸ زمین‌لغزش در بافت کالبدی روستاهای ۱۳۷ زمین‌لغزش به فاصله ۳۰۰ متری بافت روستاهای در پهنه‌های مذکور، نشان از همخوانی بسیار خوب نتایج این مطالعه با تجربیات حاصل از مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک انجام گرفته در منطقه است. از نتایج حاصل می‌توان در تهیه طرح‌های توسعه و عمران (جامع) ناجیه ای، طرح‌های پیشرفت و آبادانی مظلومه‌های روستایی و طرح‌های هادی روستایی برای شناسایی سکونتگاه‌های روستایی در معرض زمین‌لغزش و همچنین شناسایی قابلیتها و محدودیت‌های توسعه کالبدی سکونتگاه‌های روستایی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: خطر زمین‌لغزش، مدل مارکوس، ژئوتکنیک، سکونتگاه‌های روستایی، طرح هادی روستایی

* دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

** استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. myamani@ut.ac.ir

*** دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

**** دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

***** دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقدمه

افزایش جمعیت در کشور و گسترش سکونتگاه‌ها، تخریب جنگل‌ها و مراتع، بهره‌برداری غیراصلی از اراضی در سطوح شیبدار برای احداث جاده و خطوط انتقال نیرو و همچنین ساخت و سازهای گسترده در این اراضی بدون توجه به اصول فنی و مهندسی، همراه با سایر عوامل محرك از جمله زلزله و بارش باعث افزایش وقوع حرکات دامنه‌ای در سطح گستردگی از مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور به‌ویژه در پیرامون سکونتگاه‌های شهری و روستایی شده است. امروزه بعد از مخاطرات سیل و زلزله بیشترین خسارات و تلفات جانی در جهان و کشور ایران ناشی از زمین‌لغزش است. شناسایی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش‌ها و تثبیت و پایدارسازی دامنه‌های بالقوه ناپایدار با چنین حجمی نیازمند انجام مطالعات خاص و اجرای طرح‌های ایمن‌سازی سکونتگاه‌ها و پایدارسازی دامنه‌ها با صرف هزینه‌های هنگفت است که در شرایط موجود امکان تأمین اعتبار برای ایمن‌سازی سکونتگاه‌ها و پهنه‌های در معرض خطر زمین‌لغزش فراهم نیست. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در اجرای وظایف قانونی خود از سال ۱۳۶۶ تا پایان سال ۱۴۰۱ برای بالغ بر ۴۱۰۰۰ سکونتگاه روستایی طرح‌های تهیه کرده است (بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۴۰۲) و بررسی آسیب‌پذیری روستاهای در مقابل سوانح طبیعی و ایمن‌سازی روستاهای یکی از مفاد شرح خدمات تهیه طرح‌های هادی است که بر اساس طرح‌های بالادست همچون ساماندهی کالبدی سکونتگاه‌های روستایی، طرح‌های آبادانی و پیشرفت منظومه‌های روستایی، طرح‌های جامع شهرستان و ناحیه‌ای و مشاهدات میدانی مشاور با بررسی سوابق بروز مخاطرات طبیعی توسط مشاورین ذیصلاح تهیه می‌شود که نتیجه منجر به تهیه نقشه محدوده‌های در

معرض سوانح طبیعی روستا می‌شود. در همین چهارچوب در محدوده موردمطالعه نیز برای بالغ بر ۲۵۰ روستا طرح هادی روستایی تهیه شده است. علی‌رغم این موضوع، به دلیل گسترش ساخت و سازها و بدون توجه به مطالعات مذکور و نظرارت ضعیف دستگاه‌های متولی از یک طرف و عدم شناسایی صحیح مناطق آسیب‌پذیر توسط مشاورین و یا نبود مرجع خاص تخصصی در ارائه ضوابط ساخت و ساز در پهنه‌های آسیب‌پذیر در مقابل زمین‌لغزش به مرجع صدور پروانه و... از سوی دیگر، باعث بروز خسارات جدی در مناطق روستایی کشور و منطقه سوادکوه شده است.

به استناد جزء ۸ بند الف ماده ۲۷ قانون برنامه ششم توسعه کشور «شناسایی روستاهای در معرض خطر سوانح طبیعی جهت اجرای طرح‌های ایمن‌سازی این سکونتگاه‌ها با همکاری دستگاه‌های مسئول و مشارکت مردم و نهادهای محلی، به‌نوعی که حداقل ۳۰ درصد روستاهای در معرض خطر تا پایان اجرای قانون برنامه ایمن‌سازی شوند» به عنوان تکلیف قانونی جزء وظایف دولت بوده است و به همین منظور مطالعات اولیه شناسایی و اولویت‌بندی روستاهای در معرض خطر در گام اول توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی به انجام رسیده و گام دوم آن نیز در دست تهیه است. علاوه بر آن، مطالعات تخصصی متعددی برای تثبیت و پایدارسازی دامنه‌های مستعد زمین‌لغزش به‌ویژه در بافت و پیرامون سکونتگاه‌های روستایی در اقصی نقاط کشور توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی انجام شده است، اما این مطالعات برای ایمن‌سازی روستاهای کشور کافی نبوده و همسو با این مطالعات وظیفه جامعه دانشگاهی و مراکز پژوهشی مرتبط است که با به‌کارگیری روش‌های کارآمد، به‌روز و ابتکاری، در

کاربردی، مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی و پهنه‌بندی کرد. نمونه‌هایی از این زمین‌لغزش‌ها و خسارات ناشی از رخداد آن‌ها در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است.

انجام این مطالعات دستگاه‌های اجرایی را یاری کنند و یکی از این سوانح تأثیرگذار در سکونتگاه‌های شهری و روستایی مخاطره زمین‌لغزش است که ضروری است با انجام مطالعات هدفمند و با استفاده از مدل‌های مختلف



ت ۱. نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های رخداد ناشی از بارندگی‌های سال ۱۳۹۸-۱۴۰۰ در منطقه سوادکوه- (الف) روستای ولیاب (ب) روستای مشی‌ج) کارمزد (د) روستای کمرپشت (ه) جاده آلاشت-له بند (و) روستای ازراسی

خود در مناطق مختلف که اغلب منطبق بر حوضه‌های آبخیز بوده است؛ ضمن شناسایی و طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌ها، عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش را بررسی و بر مبنای روش‌ها و مدل‌های مختلف اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش کرده‌اند. در برخی از پژوهش‌ها نیز متناسب با موضوع تحقیق، نقشه پهنه‌بندی خطر و حساسیت زمین‌لغزش نیز تهیه شده است و هریک از محققین در انجام تحقیقات خود به تناسب شرایط آن منطقه از روش‌ها و مدل‌های مختلفی استفاده کرده‌اند.

امروزه تحلیل و ارزیابی خطر، یک ابزار بسیار سودمند برای پیشگیری از رویداد فجایع عظیم انسانی و خسارت‌های کلان اقتصادی در مواجهه با بلایای طبیعی به حساب می‌آید. کاربردهای رسمی‌تر در اصول مدیریت و ارزیابی خطر زمین‌لغزش‌ها، به طریقی کیفی، در دهه ۱۹۷۰ میلادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

این تحقیق با هدف تحلیل خطر زمین‌لغزش برای شناسایی محدودیت‌های توسعه کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در منطقه سوادکوه انجام شده است و برای دستیابی به آن از مدل آماری مارکوس^۱ استفاده شده است و بر پایه مدل مذکور، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه بر اساس شاخص‌ها و معیارهای محیطی تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش تهیه شد.

ادیبات موضوع

تاکنون محققان در رشته‌ها و تخصص‌های مختلف در زمینه زمین‌شناسی، هیدرولوژی، منابع طبیعی و ژئومورفولوژی در سراسر دنیا مطالعات بسیار زیادی را در زمینه حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش انجام داده‌اند و تعاریف و طبقه‌بندی‌های مختلفی در مورد حرکات دامنه‌ای ارائه شده است. بر پایه تعاریف صورت گرفته از زمین‌لغزش، محققین در انجام مطالعات

در مدیریت شبیب بزرگراه‌ها و برنامه‌ریزی شهری تجربه شده است. در دهه‌های اخیر روش‌های ارزیابی خطر در جهت کمی شدن و برای مدیریت شبیه‌های منفرد، مسیرهای خطوط لوله، شبیه‌های زیر سطح آب و مدیریت سایر شبیه‌ها در جهان و در شرایط مختلف، گسترش یافته‌است (Fell et al., 2005). در ارزیابی خطر به طورکلی، به کارگیری روش‌های احتمالی، چه با رویکرد کیفی (توصیفی) و چه با رویکرد کمی (مقداری)، مطرح است (Morgenster, 1997). در سال‌های اخیر، تحلیل و ارزیابی خطر به یک ابزار مهم در تحلیل عدم قطعیت‌های ذاتی در خطر زمین‌لغزش تبدیل شده است (Dai et al., 2002).

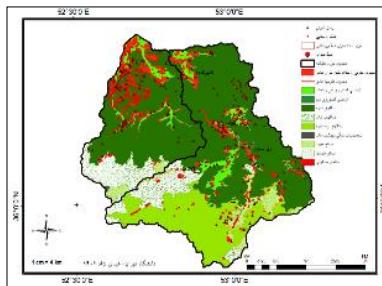
در ایران، بیشتر مطالعات مربوط به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از زمان رویداد زلزله منجیل (۱۳۶۹) که موجب ایجاد ۷۶ زمین‌لغزش مهم (حائزی و همکاران، ۱۳۷۲) شد، آغاز و در اوخر دهه هفتاد رو به فزونی نهاد (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۸۸). در دهه‌های اخیر برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها از روش‌های مختلفی همچون تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) توسط اسلامی و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه رودبار الموت، روش رگرسیون خطی و رگرسیون لجستیک، توسط کرم و تورانی (۱۳۹۱) در محور هراز از رودهن تا رینه، روش ارزیابی چندمعیاره به روش ترکیب خطی وزین (WLC) توسط کرم (۱۳۸۳) در منطقه سرخون چهارمحال و بختیاری، مدل ترکیبی نوین GWR توسط حائزی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه دز علیا، روش حائزی - سمیعی، توسط صیادی، هندوست (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز خلین دره استان گلستان و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها و پایش آن‌ها به کمک تصاویر راداری Sentinel-1، PALSAR، ASTER، Landsat.

روش تحقیق محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با مساحتی بالغ بر ۲۷۵۰ کیلومتر مربع در شرق استان مازندران و در مختصات جغرافیایی "۴۴°۰'۴۴" تا "۵۲°۰'۳۰" طول شرقی و "۳۰°۱'۳۰" تا "۳۵°۰'۵۰" عرض شمالی در دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی واقع شده است و از نظر موقعیت سیاسی منطبق با مرز سیاسی شهرستان‌های سوادکوه، سوادکوه شمالی و بخش‌هایی از شهرستان‌های بابل و ساری است (تصویر شماره ۲)، که از نظر هیدرولوژیکی منطبق بر حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های تالارو با بلرود (از زیر حوضه‌های آبریز دریای خزر) هستند و از منظر توپوگرافی بخش‌های جنوبی آن کوهستانی با شبیه‌های تن است که به سمت شمال و ساحل دریای خزر به تدریج از ارتفاع و میزان شبیه دامنه‌ها کاسته می‌شود و شبیه متوسط منطقه ۱۹/۶ درجه است که میزان آن به تبع از شرایط مورفولوژی در مناطق مختلف منطقه متغیر است. همچنین ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۱۰ متر از سطح دریای آزاد است که میزان آن حداقل از ۴۰۰۵ متر تا حداقل ۱۴ متر در نوسان است.

نیمه مرطوب و مدیترانه‌ای است. متوسط دمای سالانه منطقه ۱۴/۶ درجه سانتی گراد و میانگین بارندگی سالانه بیش از ۶۳۰ میلی‌متر (حداصل ۵۰۰ میلی‌متر در ایستگاه آلاشت تا بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های شیرگاه، فیروز جاه و قرآن تالار) نشان از شرایط اقلیمی مرطوب در این منطقه است، به طوری که فصل پاییز با حدود ۳۰ درصد از بارندگی سالانه مرطوب‌ترین فصل سال و ماه‌های مهر و شهریور پرباران‌ترین و خرداد و مرداد کم‌باران‌ترین ماه‌های سال در منطقه هستند. همچنین حداکثر بارش ۲۴ ساعته منطقه با ۱۴۲ میلی‌متر در ۲۸ اسفند ۱۳۹۷ در ایستگاه پل سفید ثبت شده است که بر اثر بارندگی مذکور و ادامه آن در روزهای بعد منجر به وقوع چندین زمین‌لغزش در سطح منطقه شده است.

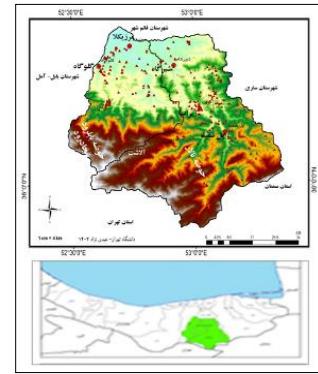
بر اساس نقشه کاربری اراضی (تصویر شماره ۴) بیش از ۷۲/۷ درصد از سطح منطقه دارای پوشش جنگلی است و ۲۰/۴ درصد نیز دارای کاربری زمین‌های کشاورزی و باغات در بخش‌های شمالی منطقه و در اراضی کم شیب آبرفتی هستند و مراع و سکونتگاه‌های انسانی و رخنمون‌های سنگی سایر کاربری‌های منطقه را شامل می‌شوند.



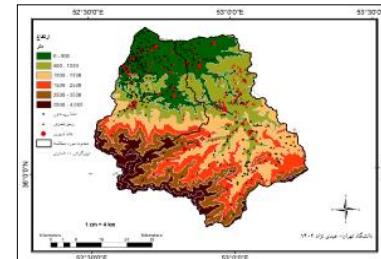
ت ۴. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

بر اساس طبقه‌بندی اشتوکلین، منطقه مورد مطالعه در زون ساختمانی البرز مرکزی و زیر زون‌های نشوزن شمالی و زون شمالی-مرکزی آن واقع شده است و شامل واحدهای چینه‌شناسی مختلفی از تریاک بالایی-ژوراسیک تا عهد حاضر است که در چینه‌شناسی البرز

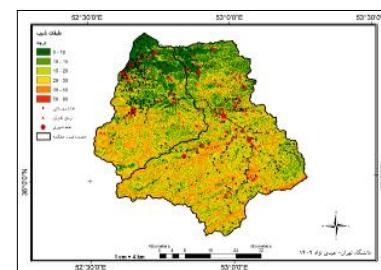
تصویر شماره ۳، نقشه‌های مورفو‌لولژی (شیب و ارتفاع) محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



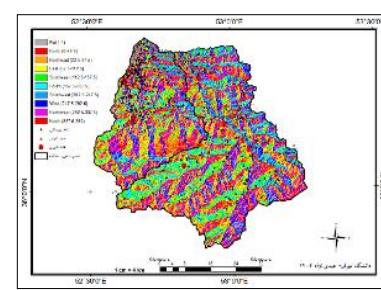
ت ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه (سجادکوه) در استان مازندران



الف



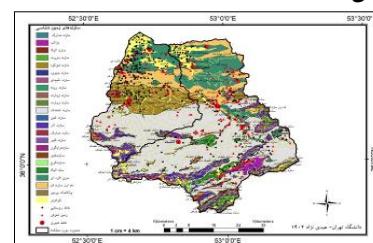
ب



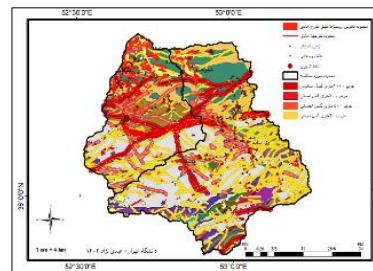
ج

ت ۳) نقشه‌های مورفو‌لولژی منطقه- (الف) طبقات ارتفاعی (ب) طبقات شیب (ج) جهات شیب منطقه سجادکوه با توجه به شرایط مورفوکلیماتیکی حاکم بر آن، دارای تیپ‌های اقلیمی متفاوت مرطوب و

جهت انجام تحقیق متناسب با اهداف پژوهش، از داده‌ها و اطلاعات دستگاه‌های مرتبط با موضوع استفاده شده است به طوری که به منظور تحلیل اقلیم منطقه از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی و وزارت نیرو واقع در محدوده مورد مطالعه و پیرامون آن از سال ۱۹۷۰ لغایت سال ۲۰۲۲، برای بررسی و تحلیل منابع آب از داده‌های هیدرومتری مربوط به رودخانه‌های تالارو با بلرود شرکت تماش و وزارت نیرو، برای تحلیل شرایط زلزله‌خیزی منطقه از کاتالوگ زلزله‌های ثبت شده در شاعع ۵۰ کیلومتری منطقه (سایت مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی)، برای تحلیل شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه از لایه‌های رقومی شده زمین‌شناسی ورقه‌های قائم شهر، پل سفید و دماوند و شبکه گسل‌های منطقه با دقیق ۱/۱۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، برای تحلیل ویژگی‌های مورفو‌لولوژی منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر در باند L تصاویر ماهواره‌ای استر خروجی از سایت ASF، جهت تهیه بانک اطلاعات زمین‌لغزش منطقه از بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های استان مازندران (سازمان جنگل‌ها و مراتع ۱۴۰۲)، مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندهست و گوگل ارت، جهت تهیه پوشش گیاهی به روش (NDVI) از تصاویر ماهواره‌ای لندهست در فصول مختلف سال، برای تحلیل و بررسی ویژگی‌های جغرافیایی سکونتگاه‌های روستایی منطقه از نتایج سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران و جهت تحلیل سکونتگاه‌های روستایی در معرض زمین‌لغزش از نقشه‌ها و گزارش طرح‌های هادی روستایی تهیه شده توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و شامل سازندهای شمشک، دلیچای، لار، تیزکوه، ولکانیک کرتاسه، سنگ‌های آهکی و آهک مارنی کرتاسه بالایی، فجن، زیارت، معادل قم، معادل قرمز بالایی، سری‌های قاره‌ای و نهشته‌های کواترنری می‌شوند. همان‌طور که در تصویر شماره ۵ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ملاحظه می‌شود، اغلب این واحدها (به استثنای بخش کوچکی از ولکانیک واقع در منطقه) از نوع سنگ‌های رسوبی بوده و از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً از ۱) شیل و ماسه‌سنگ زغال‌دار، ۲) مارن، گل‌سنگ، سیلتستون و ماسه‌سنگ ضعیف و ۳) سنگ‌آهک و دولومیت و آهک مارنی، تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها نسبت به پدیده هوازدگی حساسیت متفاوتی داشته و بسته به ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها، نوع و تراکم پوشش گیاهی، میزان شب دامنه و نوع غالب هوازدگی (با توجه به اقلیم منطقه) خاک‌هایی با خصامت و ویژگی‌های ژئوتکنیکی متفاوت بر روی آن‌ها گسترش یافته است.



الف) نقشه سازندهای زمین‌شناسی



ب) نقشه زمین‌ساخت (گسل‌ها)
ت ۵. نقشه زمین‌شناسی (سازندهای) و زمین‌ساخت
(گسل‌های) منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-03] [DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

جهت انجام تحقیق متناسب با اهداف پژوهش، از داده‌ها و اطلاعات دستگاه‌های مرتبط با موضوع استفاده شده است به طوری که به منظور تحلیل اقلیم منطقه از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی و وزارت نیرو واقع در محدوده مورد مطالعه و پیرامون آن از سال ۱۹۷۰ لغایت سال ۲۰۲۲، برای بررسی و تحلیل منابع آب از داده‌های هیدرومتری مربوط به رودخانه‌های تالارو با بلرود شرکت تماش و وزارت نیرو، برای تحلیل شرایط زلزله‌خیزی منطقه از کاتالوگ زلزله‌های ثبت شده در شاعع ۵۰ کیلومتری منطقه (سایت مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی)، برای تحلیل شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه از لایه‌های رقومی شده زمین‌شناسی ورقه‌های قائم شهر، پل سفید و دماوند و شبکه گسل‌های منطقه با دقیق ۱/۱۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، برای تحلیل ویژگی‌های مورفو‌لولوژی منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر در باند L تصاویر ماهواره‌ای استر خروجی از سایت ASF، جهت تهیه بانک اطلاعات زمین‌لغزش منطقه از بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های استان مازندران (سازمان جنگل‌ها و مراتع ۱۴۰۲)، مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندهست و گوگل ارت، جهت تهیه پوشش گیاهی به روش (NDVI) از تصاویر ماهواره‌ای لندهست در فصول مختلف سال، برای تحلیل و بررسی ویژگی‌های جغرافیایی سکونتگاه‌های روستایی منطقه از نتایج سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران و جهت تحلیل سکونتگاه‌های روستایی در معرض زمین‌لغزش از نقشه‌ها و گزارش طرح‌های هادی روستایی تهیه شده توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و

در مرحله دوم بر اساس مقادیر ایدئال (AI) و ضدایدئال (AAI)، معیارها بر اساس تأثیرشان بر وقوع زمین‌لغزش (عبارت B به معنی معیارهایی که رابطه مستقیم و عبارت C به معنی معیارهایی که رابطه غیرمستقیم با وقوع زمین‌لغزش دارند) بر اساس روابط زیر مورد سنجش قرار گرفتند.

$$AI = \max_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (1)$$

$$AAI = \max_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (2)$$

در مرحله سوم، با استفاده از روابط ۳ و ۴ معیارها در محیط GIS استانداردسازی (نرمال) شدند.

$$n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \text{ if } j \in C \quad (3)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \text{ if } j \in B \quad (4)$$

در مرحله چهارم با استفاده از رابطه ۵ وزن معیارها (خروجی از AHP) را در ماتریس نرمال لایه‌های اطلاعاتی استانداردشده ضرب کردیم تا ماتریس وزن‌دار حاصل شود.

$$V_{ij} = n_{ij} \times W_j \quad (5)$$

در مرحله پنجم، بر اساس روابط ۶ و ۷ درجه مطلوبیت ایدئال (K+) و ضدایدئال (K-) گزینه‌ها محاسبه شد.

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (6)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aa}} \quad (7)$$

در روابط بالا $(i = 1, 2, \dots, m)$ جمع مقادیر هر سطر در ماتریس وزن‌دار است که از رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (8)$$

در مرحله ششم، با استفاده از رابطه ۹، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه شد.

نهایتاً برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از مطالعات از مشاهدات میدانی صورت گرفته و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک طرح‌های مطالعاتی تشییت و پایداری روستاهای استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹) تهیه شده توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (پژوهشکده سوانح طبیعی ۱۳۹۸) استفاده شده است.

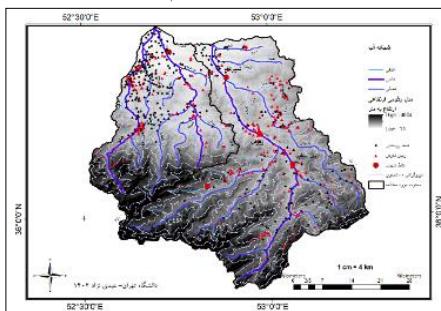
ابزارها و مدل‌های مورداستفاده

در این پژوهش جهت پردازش، تلفیق و تحلیل اطلاعات کمی و کیفی (رقومی شده) جمع‌آوری شده از منطقه و بررسی نقش عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه‌های موضوعی و کاربردی از نرم‌افزارهای ARCMAP10.8.1-EXPERTCHOICE-SPSS-EDRISI-OFFICE-SLIDE و...، استفاده شده است.

همچنین برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه با بهره‌گیری از مطالعات و تجارب به دست آمده از مطالعات پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها به روش‌های مختلفی همچون تاپسیس^۲ و تراکم سطح، از مدل جدیدی به نام مارکوس استفاده شده است. در این روش، ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه حل سازشی انجام می‌گیرد. این روش در زمرة تکنیک‌های رتبه‌بندی گزینه قرار دارد و یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط استیویک^۳ و همکاران در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است و شباهت بسیار زیادی به روش آراس^۴ دارد و همانند روش تاپسیس به تعیین ایدئال‌های مثبت و منفی در ۷ مرحله به شرح زیر می‌پردازد:

در مرحله اول معیارهای اصلی تأثیرگذار در زمین‌لغزش‌ها از قبیل بارش، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زلزله و کاربری اراضی مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفتند.

تکتونیکی ناشی از گسل‌های فعال در البرز مرکزی، به لحاظ مورفولوژی دارای شرایط خاصی است؛ اختلاف ارتفاع حدود ۴۰۰۰ متری منطقه با شیب متوسط ۱۹/۶ درجه، تنوع سازندهای زمین‌شناسی منطقه به ویژه گسترش سازند شمشک و تنوعی از سنگ‌های مارن، شیل و...، شرایط اقلیمی مطبوب و نیمه‌مطبوب منطقه با متوسط بارش سالانه ۶۳۰ میلی‌متر، شبکه آب‌های جاری دائمی و فصلی همچون رودخانه‌های تالار و بابلرود، وجود صدھا چشمھ با آبدھی متفاوت، تنوع و تراکم پوشش گیاهی جنگلی متراکم و...، مساعد برای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی بوده و زمینه برای تشکیل خاک در منطقه در طول زمان فراهم شده است و در نیم قرن اخیر نیز به کمک عوامل انسانی ناشی از ساخت‌وسازهای شهری و روستایی و گسترش تأسیسات زیربنایی همچون جاده‌ها، خطوط انتقال انرژی، بهره‌برداری از معادن و...، زمینه برای وقوع زمین‌لغزش در منطقه بیشتر فراهم شده است.



ت ۶. نقشه پراکنش جغرافیایی زمین‌لغزش‌های محدوده مورد مطالعه

به طوری که با توجه به انتbeck زمان و قوع زمین‌لغزش‌ها با تاریخ بارندگی‌های ۲۴ ساعته و ۴۸ ساعته بیانگر آن است که عامل اصلی و قوع اکثر زمین‌لغزش‌ها در منطقه بارش بوده است؛ به طوری که از مجموع ۳۱۹ زمین‌لغزش در منطقه، بارش در وقوع ۱۸۰ زمین‌لغزش نقش کلیدی داشته و در ۴۸ زمین‌لغزش دیگر نیز بارش

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}$$

در رابطه بالا $f(K_i^-)$ عملکرد مطلوبیت ضدایدئال و $f(K_i^+)$ عملکرد مطلوب ایدئال برای هر گزینه است که از روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه شده است.

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (10)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (11)$$

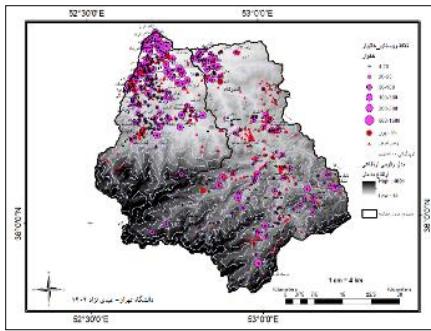
در مرحله نهایی با استفاده از مقادیر به دست آمده از رابطه ۱۱، رتبه‌بندی صورت گرفت و بر مبنای آن نقشه پنهان‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به روش مارکوس تهیه شد و بر اساس نتایج حاصل، منطقه مورد مطالعه به ۵ پنهان خطر زمین‌لغزش خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد.

یافته‌ها

الف. عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه
بر پایه زمین‌لغزش‌های شناسایی شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور ۲۲۱ (زمین‌لغزش) و زمین‌لغزش‌های ناشی از بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و بهار سال ۱۳۹۸ (زمین‌لغزش) و زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در مشاهدات میدانی و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث^۱ (زمین‌لغزش) با انک اطلاعاتی زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه با ۳۱۹ زمین‌لغزش با مساحتی بالغ بر ۹۱۴ هکتار تشکیل شد و این با انک مبنای مطالعات حاضر جهت بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش قرار گرفت.

نتایج حاصل از بررسی‌های به عمل آمده در خصوص عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه بیانگر آن است که این منطقه با توجه به موقعیت استقرارش در دامنه‌های شمالی البرز متأثر از تحولات

زمین‌لغزش (۸۲/۴ درصد) در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر و ۵۴ زمین‌لغزش در طبقات شیب کمتر از ۱۵ درجه اتفاق افتاده‌اند که بیانگر ارتباط معنادار توزیع جغرافیایی زمین‌لغزش‌ها با سکونتگاه‌های روستایی در محدوده موردمطالعه است (جدول شماره ۲).



۷. توزیع جغرافیایی سکونتگاه‌های روستایی و توزیع جمعیت به تفکیک خانوار در منطقه سوادکوه

۲. ارتباط سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش در طبقات ارتفاعی

طبقات ارتفاعی	زمین‌لغزش	درصد	مساحت/هکتار	درصد	تعداد روستا	درصد
۵۰۰-۰	۱۱۳	۳۵/۴	۶۹۳۱/۲	۲/۶	۱۶۳	۵۱/۷
-۵۰۰ ۱۰۰۰	۱۵۰	۴۷/۰	۴۰۴۴/۷	۱۵/۳	۸۷	۲۷/۶
-۱۰۰۰ ۱۵۰۰	۲۹	۹/۱	۴۴۹۷۶/۴	۱/۷	۲۸	۸/۹
-۱۵۰۰ ۲۰۰۰	۲۳	۷/۲	۵۴۴۷۹	۲۰/۷	۲۶	۸/۳
-۲۰۰۰ ۳۰۰۰	۴	۱/۳	۵۶۱۸۷/۶	۲۱/۳	۱۱	۳/۵
-۳۰۰۰ ۴۰۰۵	۰	۰/۰	۶۰۷۴۲/۸	۲۳	۰	۰
کل	۳۱۹	۱۰۰	۲۶۳۷۹۱/۶	۱۰۰	۳۱۵	۱۰۰

بر اساس نقشه کاربری اراضی، ۱۰۴ روستا در پهنه کاربری اراضی زراعی و باغی، ۱۹۳ روستا در پهنه‌های جنگلی واقع شده‌اند که به ترتیب ۷۳ و ۲۳۲ زمین‌لغزش در کاربری‌های مذکور اتفاق افتاده است.

مطابق جدول شماره ۴، ۸۴ روستا در بستر رسوبات آبرفتی کواترنری، ۶۴ روستا در سازند شمشک، ۵۷ روستا در سازند سری قاره‌ای واقع شده‌اند که با توجه به

عامل ثانویه داشته است و زمین‌شناسی در وقوع ۶۰ زمین‌لغزش تأثیر داشته و ترانشه جاده‌ها، رودخانه‌ها، گسل‌ها، زلزله‌ها و سایر عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در منطقه بوده است و اغلب این لغزش‌ها در دامنه‌های با شیب بیش از ۱۰ درجه و در بستر خاک‌های نسبتاً کم عمق تا عمیق، کوهرفت‌ها و تراس‌های آبرفتی رودخانه‌ها رخداده‌اند.

ب. تحلیل ارتباط فضایی سکونتگاه‌های روستایی با عوامل زمین‌لغزش در منطقه

بر اساس آمار سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، بالغ بر ۳۱۵ سکونتگاه روستایی با جمعیتی بالغ بر ۷۸۹۹۷ نفر در منطقه موردمطالعه ساکن هستند که از این تعداد، ۲۳۷ روستا بالای ۲۰ خانوار (۲۵/۲ درصد) و ۷۸ آبادی (۲۴/۸ درصد) زیر ۲۰ خانوار هستند که در این بین ۳ روستا بالای ۵۰۰ خانوار، ۱۲ روستا ۳۰۰ تا ۵۰۰ خانوار، ۴۹ روستا ۱۰۰ تا ۳۰۰ خانوار، ۷۴ روستا ۵۰ تا ۱۰۰ خانوار و ۹۹ روستای دیگر بین ۲۰ تا ۵۰ خانوار هستند (جدول شماره ۱) و (تصویر شماره ۷).

ج. توزیع جغرافیایی سکونتگاه‌های روستایی و توزیع جمعیت به تفکیک خانوار در منطقه سوادکوه

خانوار	تعداد روستا	درصد	جمعیت	درصد
بالای	۳	۱/۰	۷۴۲۸	۹/۴
۵۰۰-۳۰۰	۱۲	۳/۸	۱۳۳۶۴	۱۶/۹
۳۰۰-۱۰۰	۲۹	۱۵/۶	۲۷۳۸۲	۳۴/۷
۱۰۰-۵۰	۷۴	۲۳/۵	۱۶۵۰۶	۲۰/۹
۵۰-۲۰	۹۹	۳۱/۴	۱۰۳۷۱	۱۳/۱
کمتر از ۲۰	۷۸	۲۲/۷	۳۹۴۶	۵/۰
کل	۳۱۵	۱۰۰	۷۸۹۹۷	۱۰۰

نقشه‌های مورفوژوئی منطقه (سطوح ارتفاعی و طبقات شیب) نشان می‌دهد که ۷۹/۳ درصد (۲۵۰ روستا) از روستاهای منطقه در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و ۲۱۴ روستا (معادل ۶۷/۹ درصد) در شیب کمتر از ۱۵ درجه استقرار یافته‌اند و همچنین ۲۶۳

گسترده‌گی سازندهای مذکور در منطقه و ارتباط آن با سایر پارامترهای محیطی، ۷۶ زمین‌لغزش در سازند شمشک، ۶۸ زمین‌لغزش در سازند سری قاره‌ای ۶۲ زمین‌لغزش در سازند هم‌ارز سازند قم و ۴۵ زمین‌لغزش نیز در رسوبات کواترنری رخ داده است که متأثر از پارامترهای دیگر همچون شیب دامنه‌ها، تراکم زهکشی، بهره‌برداری از معادن زغال‌سنگ و...، تعداد و تراکم زمین‌لغزش‌ها در این سازندها بیشتر از سایر سازندهای منطقه همچون لار، زیارت، مبارک، کرج، فجن، کهر، جirod، الیکا و...، است.

ج. ۳. ارتباط سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش در

پهنه‌های کاربری اراضی

نتایج حاصل از بررسی ارتباط فضایی سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش‌ها در منطقه سوادکوه، بیانگر آن است که به تبعیت از مورفولوژی منطقه، اغلب روستاهای در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر با شبکه کمتر از ۲۰ درجه استقرار یافته‌اند که اغلب این اراضی را کوهپایه‌ها با کاربری زراعی و بااغی واقع در مخروط‌افکنهای رسوبات آبرفتی رودخانه‌های تالار، بابل رود و انشعبات آن‌ها تشکیل می‌دهند که به دلیل موقعیت جغرافیایی منطقه سوادکوه و واقع شدن در خط آهن شمال-جنوب و محور ارتباطی بین استان‌های تهران، سمنان، گلستان و مازندران، تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی زراعی و بااغی به سکونتگاه‌ها، ساخت‌وساز در منطقه گسترش زیادی داشته است.

بر اساس اطلاعات اخذشده از بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (۱۴۰۲)، تا پایان سال ۱۴۰۱ برای ۲۵۰ روستا در محدوده مورد مطالعه طرح هادی تهیه شده است که با بررسی موقعیت زمین‌لغزش‌ها نسبت به محدوده طرح‌های هادی مصوب، بالغ بر ۳۸ زمین‌لغزش در بافت مسکونی روستاهای ۱۳۷ و ۳۰۰ زمین‌لغزش به فاصله ۳۰۰ متری از خط محدوده مصوب طرح‌های هادی روستایی اتفاق افتاده است که به نوعی روستاهای را تهدید می‌کنند که در این تحقیق تلاش شده این پهنه‌ها بر اساس خروجی مدل مارکوس مشخص و مبنای برنامه‌ریزی برای توسعه آتی روستاهای فرایند بازنگری طرح‌های هادی روستایی قرار گیرد.

ج. پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لغزش

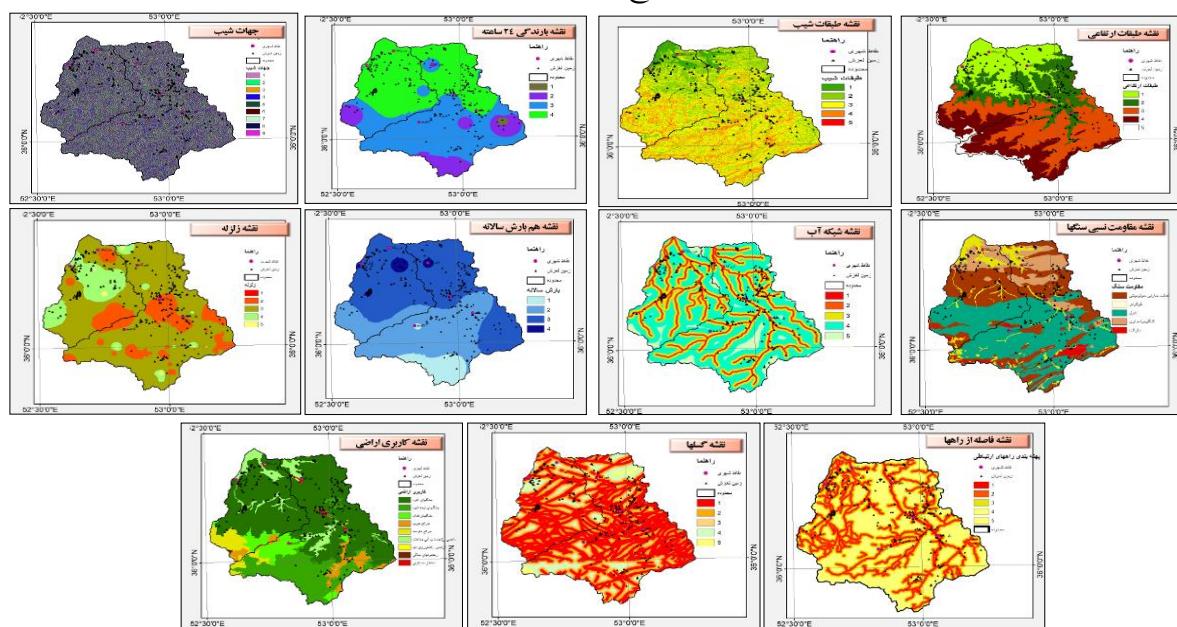
برای انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش به مدل مارکوس بر اساس مراحل هفت‌گانه اشاره شده، ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه را بر حسب میزان اثر آن‌ها (به صورت مستقل و وابسته) بر وقوع زمین‌لغزش (از جمله: شبکه، جهت شبکه، میزان بارش (بارش ۲۴

نوع کاربری	مساحت به هکtar	درصد	تعداد زمین‌لغزش	درصد	تعداد روستا	درصد
اراضی کشاورزی آبی و باغات	۱۸۵۷/۸	۰/۷	۶۴	۲۰/۱	۱۰۱	۳۲/۱
اراضی کشاورزی دیم	۱۳۹/۵	۰/۱	۱	۰/۳	۱	۰/۳
جنگل‌های انبو	۱۵۴۲۹۰/۹	۵۸/۷	۱۸۴	۵۷/۶	۱۴۷	۴۶/۷
جنگل‌های ننک	۱۸۱۵۶/۹	۶/۹	۵	۱/۶	۱۴	۴/۴
جنگل‌های نیمه انبو	۴۵۷۶۳/۵	۱۷/۳	۴۳	۱۳/۵	۳۲	۱۰/۲
رختمنهای سنگی	۱۷۷/۸	۰/۱	۰	۰/۰	۰	۰/۰
مراتع خوب	۱۲۲۸۵/۵	۴/۷	۱۲	۳/۸	۱۷	۵/۴
مراتع متوسط	۱۳۱۸۱/۷	۵/۰	۲	۰/۶	۱	۰/۳
مناطق مسکونی	۱۲۱۸/۳	۰/۵	۸	۲/۵	۲	۰/۶
جمع کل	۲۶۳۷۹۱/۹	۱۰۰	۳۱۹	۱۰۰	۳۱۵	۱۰۰

ج. ۴. ارتباط سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش بر اساس نقشه زمین‌شناسی

سازند	مساحت هکtar	درصد	زمین‌لغزش	درصد	تعداد روستا	درصد
سازند شمشک	۱۱۰۳۸۱/۸۵	۴۱/۷	۷۶	۲۳/۸	۶۴	۲۰/۳
سری قاره‌ای	۳۶۳۵۵/۸۳	۱۳/۸	۶۸	۲۱/۳	۵۷	۱۸/۱
هم‌ارز سازند قم	۲۸۱۴۱/۱۳	۱۰/۷	۶۲	۱۹/۴	۴۸	۱۵/۲
کواترنر	۲۲۲۱۵/۵۹	۸/۴	۴۵	۱۴/۱	۸۴	۲۶/۷
سازند تیزکوه	۲۳۲۱۵/۰۸	۸/۸	۴۲	۱۳/۲	۲۳	۷/۳
سازند فین	۱۱۷۰/۰۳	۰/۴	۹	۲/۸	۷	۲/۲
سازند الیکا	۷۹۷۵	۳	۷	۲/۲	۷	۲/۲
بازالت	۴۵۳۹	۲/۵	۵	۱/۶	۸	۲/۶
سایر سازندها	۳۱۱۵۰	۱۲	۵	۱/۶	۱۷	۵/۴
کل	۲۶۳۷۹۱/۹	۱۰۰	۳۱۹	۱۰۰	۳۱۵	۱۰۰

حاصله شده به ترتیب لیتولوژی با ضریب وزنی ۰/۲۸۰، بیشترین درجه اهمیت و معیارهای بارش با ۰/۲۰۷، شیب ۰/۲۰۱، جاده با ۰/۱۰۴، رودخانه با ۰/۰۶۹، کاربری اراضی با ضریب ۰/۰۵۱، گسل با ۰/۰۳۸ و زلزله با ۰/۰۳۰ و جهت شیب با ۰/۰۲۰ به ترتیب در رتبه‌های بعدی از نظر درجه اهمیت قرار گرفتند که نتایج حاصله شده برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش مارکوس استفاده شده است.



ت.۶. نقشه‌های استانداردشده جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

مساحت منطقه (معادل ۱۱۲۲۳۳ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش متوسط، ۳۰/۶ درصد معادل ۸۰۶۱ هکتار در پهنه با خطر زمین‌لغزش کم، ۱۸/۹ درصد ۴۹۸۵۶ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش زیاد، ۶/۵ درصد ۱۷۲۵۸ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش خیلی کم و ۱/۵ درصد (کمتر از ۳۸۳۴ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش خیلی زیاد قرار دارند.

نتایج حاصل از نقشه تهیه شده مؤید آن است که پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش متوسط، زیاد و خیلی زیاد (بالغ بر ۶۲/۹ درصد از سطح منطقه) در شیب‌های بین

ساعته)، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از رودخانه (تراکم آبراهه)، فاصله از گسل بر حسب نوع گسل (تراکم گسل)، شدت زلزله، فاصله از جاده بر حسب نوع جاده (تراکم جاده) مطابق تصویر شماره ۶، استاندارد سازی (نرمال‌سازی) شد و سپس بر اساس روش AHP تمامی معیارها و زیرمعیارها بر حسب درجه اهمیت نسبی در بازه ۱-۹ به حالت مقایسه‌های جفتی (دو دوئی) امتیازدهی گردید و بر پایه نتایج

بر اساس خروجی حاصل از پهنه‌بندی زمین‌لغزش صورت گرفته به مدل مارکوس در محیط GIS مطابق تصویر شماره ۷، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه با اعمال ضرایب و وزن‌ها مربوطه به تفکیک برای لایه‌های نه‌گانه فوق الذکر ترسیم شد و بر پایه نقشه خروجی منطقه مورد مطالعه به ۵ پهنه با خطر زمین‌لغزش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

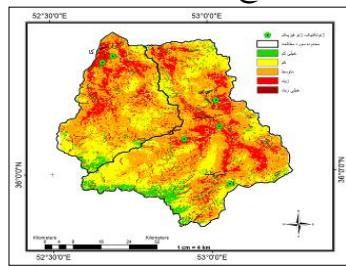
بر اساس نتایج حاصل از نقشه تحلیل خطر زمین‌لغزش به روش مارکوس، بیش از ۴۲/۵ درصد از

تا ۵۰ درجه، در طبقات ارتفاعی ۵۰۰ تا ۳۰۰ متری از سطح دریا، در سازندهای قرمز بالایی، هم ارز سازند قم، سازند شمشک و رسویات آبرفتی دوران چهارم و سنگ‌های مارن و رس و شیل، در پهنه کاربری اراضی جنگلهای نیمه‌ابو و تنک و اراضی زراعی و باغی، در فاصله ۳۰۰ متری جاده‌های ارتباطی، در حیرم ۷۰۰ متری گسل‌های اصلی و نزدیکی کانون زلزله‌ها و در اقلیم مرطوب و خیلی مرطوب با بارش سالانه ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌متر و حداقل بارش ۲۴ ساعته بالای ۵۰ میلی‌متر واقع شده‌اند و در مقابل پهنه‌های با خطر آسیب‌پذیری کم و خیلی کم عمدتاً در شبکه‌های کمتر از ۵ درجه و بالاتر از ۵۰ درجه، ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر و بالاتر از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا، بازالت و سنگ‌آهک دولومیتی و دشت آبرفتی، مراتع ضعیف و بایر و صخره‌ای و دور از جاده‌ها و خطوط گسل و کانون‌های زلزله و میزان بارش کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است که در این‌ین، نقش بارش، زمین‌شناسی و همچنین نزدیکی به جاده‌ها و روختانه‌ها و عوامل انسانی بیشتر از سایر عوامل در تعیین پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد تأثیرگذار هستند و با توجه به واقع شدن در دامنه‌های شمالی البرز و شرایط اقلیمی مرطوب حاکم بر منطقه، جهت شبکه‌ها بر عکس سایر مناطق اقلیمی تأثیر چندانی در توزیع فراوانی زمین‌لغزش‌ها ندارد و همچنین با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه سوادکوه به دلیل استقرار در حدفاصل دریای خزر و ارتفاعات البرز، افزایش ارتفاع و دوری از دریا به عنوان منبع رطوبت در بارش ارتباط مستقیم دارد، به‌طوری‌که در ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر شاهد کاهش میزان بارش نسبت به سطوح ارتفاعی کمتر از ۵۰۰ متر و به تناسب آن افزایش میزان شبکه‌های و کاهش حجم آبرفت‌ها و ضخامت کم خاک و...، تعداد زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده کمتر

بوده و به تناسب آن، پهنه‌های با خطر خطر زمین‌لغزش زیاد در این مناطق کمتر از سایر مناطق مورد مطالعه بوده است. همچنین یکی دیگر از نتایج تحقیق حاضر تعداد کم زمین‌لغزش‌ها در پیرامون خطوط گسل و کانون زلزله‌های حادث‌شده در منطقه است که علت آن را می‌توان موقعیت گسل‌ها و زلزله در ارتفاعات و در خطوط تغییر شبکه (کنیک‌ها) و ضخامت کم رسویات دامنه‌های به دلیل شبکه زیاد دامنه‌ها دانست، البته محدودیت‌های شناسایی زمین‌لغزش در این مناطق به دلیل فاصله از جاده‌های ارتباطی و نداشتن جاده ارتباطی مناسب، صعب‌العبور بودن امکان شناسایی میدانی زمین‌لغزش در این مناطق برای محققین فراهم نبود؛ هرچند در این تحقیق از ابزارهای مختلفی همچون سنجش از دور با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای (نوری و راداری) برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها استفاده شده است که به دلیل شکل متفاوت حرکات دامنه‌ای در این مناطق که اغلب واریزه‌های سنگی و سنگ افتان هستند، شناسایی آن‌ها برای دستیابی به اهداف کامل پژوهش کافی نبود؛ هرچند در ارتباط با ایمن‌سازی سکونتگاه‌های روستایی نتایج مطالعات حاضر کافی و قابل اطمینان است.

۰. انطباق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک (ژئوکتریک)

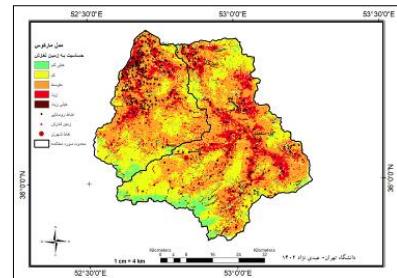
انطباق زمین‌لغزش‌های منطقه با پهنه‌بندی صورت گرفته بیانگر آن است که بر اساس جدول شماره ۵، از مجموع ۳۱۹ زمین‌لغزش در منطقه، بیش از ۱۷۴ زمین‌لغزش (معادل ۵۴/۵ درصد) در پهنه با خطر زمین‌لغزش زیاد، ۱۰۰ زمین‌لغزش (۳۱/۳ درصد) در پهنه با خطر زمین‌لغزش متوسط، ۲۹ زمین‌لغزش در پهنه با خطر زمین‌لغزش کم و ۷ زمین‌لغزش دیگر به



ت ۸. موقعیت زمین‌لغزش‌های ارکا، ازراسی، ممشی، استخیرسر، کمرپشت و سی پی در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش مارکوس

نتایج حاصل از مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک در این زمین‌لغزش‌ها نیز نشان داد که بارندگی و اشباع شدن دامنه اثر قابل توجهی بر ضربی ایمنی پایداری خاک دارد، به گونه‌ای که هنگامی که دامنه اشباع از آب باشد (یعنی زمانی که بارندگی‌های با شدت و مدت زیاد رخ می‌دهند) ضربی ایمنی دامنه در مقابل گسیختگی‌های از نوع شبیب نامحدود و دایره‌ای کمتر از ۱ خواهد بود. همچنین، جنگل‌زدایی و به دنبال آن اشباع شدن بیش از حد خاک در فصول پربارش در چنین مناطقی به تسريع وقوع پدیده زمین‌لغزش کمک نموده است که به عنوان مثال در محدوده زمین‌لغزش‌های واقع شده در روستاهای سی پی، ازراسی، ارکا با وجود

ترتیب در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش خیلی زیاد و خیلی کم واقع شده‌اند.



ت ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه به روش

مارکوس

همچنین مطابق جدول شماره ۵، از ۳۱۵ سکونتگاه روستای واقع در محدوده موردمطالعه ۷ روستا در پهنه خطر زمین‌لغزش خیلی کم، ۱۶۲ روستا (معادل ۵۱ درصد) در پهنه خطر زمین‌لغزش کم، ۱۰۳ سکونتگاه روستایی (معادل ۳۳ درصد) در پهنه خطر زمین‌لغزش متوسط و ۳۷ روستا معادل ۱۲ درصد در پهنه خطر خطر زمین‌لغزش زیاد و ۶ روستا در پهنه خطر زمین‌لغزش خیلی شدید قرار گرفته‌اند.

ج ۵. توزیع جغرافیایی زمین‌لغزش‌ها و نقاط روستایی در

پهنه‌های خطر زمین‌لغزش

خطه زمین لغزش	زمین لغزش	در صد	تعداد روستا	درصد	مساحت به هکتار	درصد	دقت
خیلی کم	۷	۲	۷	۲	۱۷۲۵۸	۷	۸۹
کم	۲۹	۹	۱۶۲	۵۱	۸۰۶۱۱	۳۱	
متوسط	۱۰۰	۳۱	۱۰۳	۳۳	۱۱۲۲۳۳	۴۲	
زیاد	۱۷۴	۵۵	۳۷	۱۲	۴۹۸۵۷	۱۹	
خیلی زیاد	۹	۳	۶	۲	۳۸۳۳	۱	
کل	۳۱۹	۱۰۰	۳۱۵	۱۰۰	۲۶۳۷۹۲	۱۰۰	

همان طور که قبل از اشاره شد، ناشی از بارندگی‌های اسفند ۱۳۹۷ و بهار ۱۳۹۸، تعداد زیادی زمین‌لغزش در نقاط مختلف حوضه به وقوع پیوست. برخی از این زمین‌لغزش‌ها به دلیل اثر مستقیم بر سکونتگاه‌های روستایی در سال ۱۳۹۸ موردمطالعه دقیق قرار گرفتند.

شیب کم حرکت توده لغزشی در ابعاد نسبتاً وسیع رخ داده است (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۹۸).

اعتبارسنجی مدل به روش نسبت تراکمی نشان داد که دقت مدل مارکوس ۸۹/۱ درصد است که بیانگر دقت خیلی خوب روش مذکور است که وقوع ۲۸۳ زمین لغزش در پهنه های با خطر متوسط به بالا نشان از همخوانی نسبتاً خوب نتایج این مطالعه با تجربیات حاصل از مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک انجام گرفته در منطقه است. نتایج این مطالعه نشان داد که منطقه سوادکوه مازندران در معرض خطر زمین لغزش است و برنامه های مدیریتی برای کاهش خطر زمین لغزش ضروری است. این برنامه ها باید بر

کاهش عوامل مؤثر بر زمین لغزش مانند بارش، شیب و کاربری اراضی تمرکز کنند. بر اساس نتایج حاصل از بررسی های صورت گرفته از برخی از طرح های هادی روستایی تهیه شده در محدوده موردمطالعه (بالغ بر ۳۰ طرح از مشاورین مختلف در مناطق مختلف محدوده موردمطالعه) مشخص شد در فرایند تهیه طرح های هادی روستاهای مذکور صرفاً به پهنه بندی خطر منطقه در برابر زلزله بر اساس مطالعات مرکز تحقیقات مسکن وزارت راه و شهرسازی و اعمال حرامی مربوط به رودخانه ها به عنوان پهنه های در معرض سوانح طبیعی بستنده شده است و به موضوع زمین لغزش که اغلب روستاهای منطقه را تهدید می کند توجه خاصی نشده است و صرفاً در ضوابط مربوط به طرح های هادی به صورت کلی به آن اشاره شده است. بنابراین با توجه به مقیاس این مطالعه (ناحیه ای) از مشاورین طرح های جامع شهرستان، طرح های توسعه پایدار منظمه های روستایی و نهایتاً مشاورین طرح های هادی روستایی انتظار داشت تا در فرایند تهیه طرح های مذکور، توجه ویژه ای به مخاطرات طبیعی و ترجیحاً این نوع مخاطره

نتیجه

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه سوادکوه نشان داد که بارش، زمین شناسی و همچنین نزدیکی به جاده ها و رودخانه ها و عوامل انسانی در تعیین پهنه های با خطر خطر زمین لغزش از نقش بیشتری نسبت به سایر عوامل برخوردار هستند. همچنین جهت شیب ها و نزدیکی به کانون های زلزله و نزدیکی به خطوط گسل و نزدیکی به چشممه ها، برخلاف سایر مناطق تأثیر چندانی در توزیع فراوانی زمین لغزش ها ندارد. در این بین، بارش در وقوع زمین لغزش ها نقش محوری و کلیدی داشته است، به طوری که بررسی ارتباط میان فاصله زمانی بارش ها با وقوع زمین لغزش ها نشان داد که همخوانی و همبستگی قابل قبولی بین بارش و وقوع زمین لغزش در منطقه سوادکوه وجود دارد، به طوری که بارش در وقوع ۱۸۰ زمین لغزش نقش کلیدی و مؤثر داشته است که این موضوع هشداری است برای برنامه ریزان محیطی در منطقه سوادکوه که در مطالعات طرح های مرتبط با ایمن سازی سکونتگاه های روستایی و کاهش خطر به نقش بارش در زمین لغزش تأثیر بیشتری داشته باشد.

ضروری است. این برنامه‌ها باید بر کاهش عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش مانند بارش، شیب و کاربری اراضی تمرکز کنند. در پایان توصیه می‌شود بر پایه نتایج این تحقیق در گام اول برای شناسایی و تدقیق روستاهای واقع در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش بالا (پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد) اقدام شود. در گام بعدی در اراضی مستعد زمین‌لغزش در بافت و پیرامون روستاهای به ویژه در طرح‌های هادی (بازنگری) روستایی شناسایی و نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰ در سطح روستا و ۱:۲۵۰۰ در سطح منطقه تهیه شود. در گام سوم ضوابط، توصیه‌ها، دستور کارهای اجرایی لازم تحقیق نتایج مطالعات صورت گرفته با نتایج مطالعات

ژئوتکنیک و ژئوفیزیک انجام گرفته در روستاهای ارکا، از راسی، ممشی، استخرسر، کمر پشت، فیروزجاه، کارمزد، ولیلا، لاجیم، سی پی و... در منطقه نشان می‌دهد که اشباع شدن دامنه‌ها پس از بارندگی اثر قابل توجهی بر ضربی ایمنی پایداری خاک دارد، به گونه‌ای که هنگامی که دامنه اشباع از آب باشد (زمانی که بارندگی باشد و مدت زیاد رخ می‌دهند) ضربی ایمنی دامنه در مقابل گسیختگی‌های از نوع شیب نامحدود و دایره‌ای کمتر از ۱ خواهد بود و در تیجه وقوع زمین‌لغزش در این دامنه‌ها بسیار محتمل خواهد بود.

اعتبارسنجی مدل به روش نسبت تراکمی نشان داد که دقت مدل مارکوس ۸۹/۱ است که بیانگر دقت خیلی خوب روش مذکور است که وقوع ۲۸۳ زمین‌لغزش در پهنه‌های با خطر متوسط به بالا نشان از همخوانی نسبتاً خوب نتایج این مطالعه با تجربیات حاصل از مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک انجام گرفته در منطقه است. نتایج این مطالعه نشان داد که منطقه سوادکوه مازندران همواره در معرض خطر زمین‌لغزش است و برنامه‌های مدیریتی برای کاهش خطر زمین‌لغزش

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت پژوهشکده سوانح طبیعی در قالب طرح پژوهشی تحت عنوان «ارتباط مورفولوژی و لیتوالوژی دامنه‌های البرز شمالی با آستانه‌های بارش و وقوع زمین‌لغزش (منطقه سوادکوه مازندران)» انجام شده است. بدین‌وسیله از زحمات و حمایت‌های آقایان دکتر گرانی و دکتر صبوری رییس و معاون محترم مالی پژوهشکده و سایر دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها و نهادها و...، که نهایت همکاری را در ارائه آمار و اطلاعات موردنیاز پژوهش داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌کنیم.

پی‌نوشت

1. Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS)

(سنجه و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه حل سازشی)

فهرست منابع

- کرم، امیر؛ تورانی، مریم. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به موقع لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی: محور هراز از رودهن تا رینه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۲۸، بهار ۹۲
- گورابی، ابوالقاسم. (۱۳۹۶). کمی سازی زمین‌لغزش بزرگ ملک‌کبود ناشی زمین‌لرزه سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از ایست‌فرمومتری، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره ۲۱، ۶۳-۴۷.
- مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره MARCOS و CODAS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی
- یمانی، مجتبی؛ مقامی مقیم، غلامرضا؛ عرب عامری، علیرضا؛ شیرانی، کوروش. (۱۳۹۶). ارائه مدل ترکیبی نوین به‌منظور افزایش دقت تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با تأکید بر مدل GWR (مطالعه موردی: حوضه ذرعیا، استان اصفهان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، ۴، ۴۰-۱۹.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. Eng Geol 64:65-87
- Morgenstern, N.R. (1997). Toward landslide risk assessment in practice. In: Cruden D, Fell R.Editors. Landslide risk assessment. AA Balkema, Rotterdam, pp 15– 23.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2019). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution .MARCOS.. Computers & Industrial Engineering, 140, 106231.
2. TOPSIS
3. Stević
4. ARAS
5. google earth
- اسلامی، محمود؛ شادر، صمد؛ محمدی ترکاشوند، علی؛ پذیرا، ابراهیم. (۱۳۹۷). ارزیابی عوامل مؤثر در پدیده زمین‌لغزش با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودبار الموت، نهمین همایش سراسری محیط‌زیست ایرانی و منابع طبیعی پایدار، تهران
- بنیاد مسکن انقلاب اسلامی. (۱۴۰۲). دفتر امور فنی و تهیه طرح‌ها، گزارش عملکرد بنیاد تا پایان سال ۱۴۰۱، منتشرشده
- بنیاد مسکن انقلاب اسلامی - پژوهشکده سوانح طبیعی. (۱۳۹۸). گزارش مطالعات پایدارسازی روستاهای ازرسانی، ارکا، سی‌پی، استخرسر، کمر پشت و ممشی در برابر خطر زمین‌لغزش (شهرستان‌های سوادکوه، سوادکوه شمالی و بابل، استان مازندران)، منتشرشده.
- پژوهشکده سوانح طبیعی. (۱۳۸۸). انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دو مقیاس منطقه‌ای و متوسط در دو منطقه الگو (گزارش نهایی).
- حائری، سید محسن؛ ستاری، محمدحسین، ذوقفاری، محمدرضا. (۱۳۷۲). ناپایداری‌های زمین براثر زلزله ۳۱ خردادماه ۱۳۶۹ منجیل، هشتمین سمینار بین‌المللی پیش‌بینی برای زلزله، تهران. ۱۳۸۶
- کرم، عبدالامیر. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی؛ منطقه سرخون در استان چهار محال و بختیاری . جغرافیا و توسعه، ۲(پیاپی ۴)، ۱۳۱-۱۴۶.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور. (۱۴۰۲). گروه زمین‌لغزش، آمار و اطلاعات زمین‌لغزش‌های استان مازندران
- سیلاخوری، زهراء؛ وهاب‌زاده، قربان؛ پور قاسمی، حمیدرضا. (۱۴۰۲). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل بیزین در حوضه آبخیز تالار مازندران، فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۵۰، ۱۴۰-۱۲۲
- صیادی، محمد جمیل؛ هنردوست، فرهاد. (۱۳۹۱). ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش حائزی- سمیعی در حوضه آبخیز خلین دره استان گلستان