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*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

چکیده

زمین‌لغزش بعد از سیل و زلزله یکی از مهم‌ترین مخاطره‌های طبیعی در جهان است که سالانه باعث خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی 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 درمنطقه داشته است. دراین پژوهش، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه از مدل مارکوس (MARCOS) بعنوان یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد، که با استفاده از نرم‌افزار GIS با تلفیق لایه‌های شیب، جهت‌شیب، سنگ‌شناسی، کاربری‌اراضی، فاصله از جاده، رودخانه و گسل، بارش و زلزله نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه در پنج کلاس خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد تهیه شد. خروجی مدل نشان می‌دهد که بیش از ۶۳ درصد سطح منطقه و ۱۴۶ روستا در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش متوسط تا خیلی‌زیاد قرارگرفته‌اند 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 کواترنرو...) 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 خیلی‌خوب روش مذکور است که وقوع ۲۸۳ زمین‌لغزش در پهنه‌های با خطر متوسط تا خیلی‌زیاد و وقوع ۳۸ زمین‌لغزش در بافت کالبدی روستاها و ۱۳۷ زمین‌لغزش به فاصله ۳۰۰ متری بافت روستاها در پهنه‌های مذکور، نشان از همخوانی بسیار خوب نتایج این مطالعه با تجربیات حاصل از مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک انجام‌گرفته در منطقه است. از نتایج حاصل می‌توان در تهیه طرح‌های توسعه و عمران(جامع) ناحیه ای، طرح‌های پیشرفت و آبادانی منظومه‌های 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 زمین شناسی، 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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

مقدمه

افزایش جمعیت در کشور و گسترش سکونتگاه‌ها، تخریب جنگل‌ها و مراتع، بهره‌برداری غیراصولی از اراضی در سطوح شیب‌دار برای احداث جاده و خطوط انتقال نیرو و همچنین ساخت‌وسازهای گسترده در این اراضی بدون توجه به اصول فنی و مهندسی، همراه با سایر عوامل محرک ازجمله زلزله و بارش باعث افزایش وقوع حرکات دامنه‌ای در سطح گسترده‌ای 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 بالغبر ۴۱۰۰۰ سکونتگاه روستایی طرح هادی تهیه کرده است (بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۴۰۲) و بررسی آسیب‌پذیری روستاها در مقابل سوانح طبیعی و ایمن سازی روستاها 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 بالغبر ۲۵۰ روستا طرح هادی روستایی تهیه شده است. علی‌رغم این موضوع، به دلیل گسترش ساخت‌وسازها و بدون توجه به مطالعات مذکور و نظارت ضعیف دستگاه‌های متولی ازیک‌طرف و عدم شناسایی صحیح مناطق آسیب‌پذیر توسط مشاورین و یا نبود مرجع خاص تخصصی در ارائه ضوابط ساخت‌وساز 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» به‌عنوان 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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 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.

ت ۱. نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های رخ‌داده ناشی از بارندگی‌های سال ۱۳۹۸-۱۴۰۰ در منطقه سوادکوه- الف) روستای ولیلا ب) روستای ممشی ج) کارمزد د) روستای کمرپشت ه) جاده آلاشت-لله بند و)روستای ازراسی

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[1] 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.

ادبیات 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 ازجمله زمین‌لغزش انجام داده‌اند و تعاریف و طبقه‌بندی‌های مختلفی در مورد حرکات دامنه‌ای ارائه شده است. بر پایه تعاریف صورت‌گرفته از زمین‌لغزش، محققین در انجام مطالعات 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 به‌تناسب 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 به‌حساب می‌آید. کاربردهای رسمی‌تر در اصول مدیریت و ارزیابی خطر زمین‌لغزش‌ها، به طریقی کیفی، در دهه ۱۹۷۰ میلادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

در مدیریت شیب بزرگراه‌ها و برنامه‌ریزی شهری تجربه شده است. در دهه‌های اخیر روش‌های ارزیابی خطر در جهت کمی شدن و برای مدیریت شیب‌های منفرد، مسیرهای خطوط لوله، شیب‌های زیر سطح آب و مدیریت سایر شیب‌ها در جهان و در شرایط مختلف، گسترش یافتند (Fell et al., 2005). در ارزیابی خطر به‌طورکلی، به‌کارگیری 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 (حائری و همکاران، ۱۳۷۲) شد، آغاز و در اواخر 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 چهارمحال‌وبختیاری، مدل ترکیبی نوین GWR توسط یمانی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه دز علیا، روش حائری - سمیعی، توسط صیادی، هنردوست (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز خلین دره استان گلستان و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها و پایش آن‌ها به کمک تصاویر راداری ASAR، PALSAR، ASTER، landsat، Sentinel-1 و...، با استفاده از تکنیک‌های تداخل‌سنجی توسط گورابی (۱۳۹۶) در روستای مله کبود کرمانشاه، مدل مارکوس توسط مددی و پیروزی (۱۴۰۲) در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل، **مدل بیزین** توسط سیلاخوری و همکاران (۱۴۰۲) در حوضه آبریز تالار مازندران و انواع روش‌ها و مدل‌های تجربی و آماری دیگر برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها استفاده شده است. در این تحقیق به‌منظور تحلیل خطر زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه، از مدل آماری مارکوس استفاده شده است.

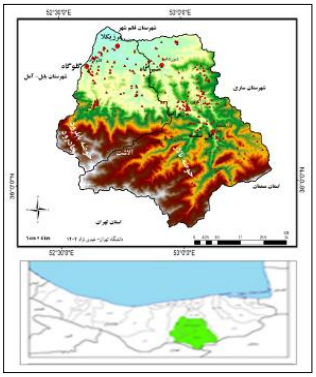
روش تحقیق

محدوده موردمطالعه

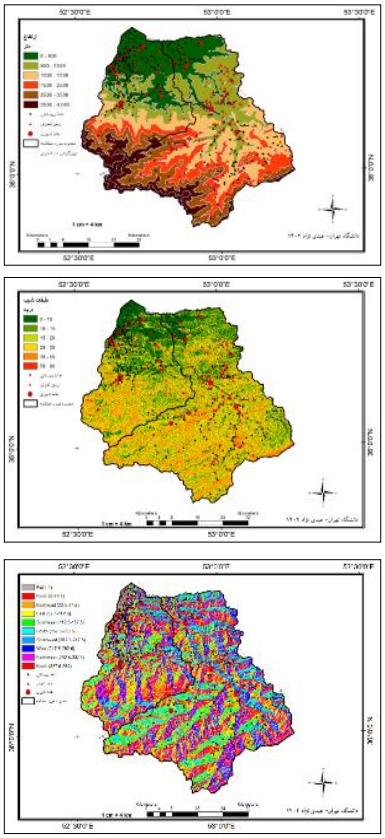
محدوده موردمطالعه با مساحتی بالغ بر ۲۷۵۰ کیلومتر مربع در شرق استان مازندران و در مختصات جغرافیایی "۴۴'۳۰°۵۲ تا "۲۶ '۱۵ °۵۳ طول شرقی و "۳۰ '۵۰ °۳۵ تا "۱۱ '۲۵ °۳۶ عرض شمالی در دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی واقع شده است و ازنظر موقعیت سیاسی منطبق با مرز سیاسی شهرستان‌های سوادکوه، سوادکوه شمالی و بخش‌هایی از شهرستان‌های بابل و ساری است (تصویر شماره ۲)، که ازنظر هیدرولوژیکی منطبق بر حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های تالارو بابلرود (از زیر حوضه‌های آبریز دریای خزر) هستند و از منظر توپوگرافی بخش‌های جنوبی آن کوهستانی با شیب‌های تند است که به سمت شمال و ساحل دریای خزر به‌تدریج از ارتفاع و میزان شیب دامنه‌ها کاسته می‌شود و شیب متوسط منطقه ۱۹/۶ درجه است که میزان آن به‌تبع از شرایط مورفولوژی در مناطق مختلف منطقه متغیر است. همچنین ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۱۰ متر از سطح دریای آزاد است که میزان آن حداکثر از ۴۰۰۵ متر تا حداقل ۱۴ متر در نوسان است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

تصویر شماره ۳، نقشه‌های مورفولوژی (شیب و ارتفاع) محدوده موردمطالعه را نشان می‌دهد.



ت ۲. موقعیت محدوده موردمطالعه (سوادکوه) در استان مازندران



الف

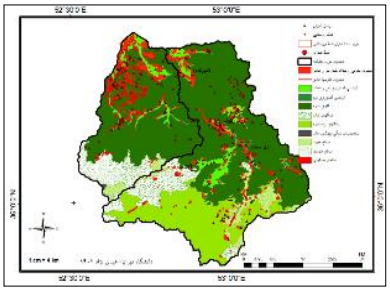
ب

ج

ت ۳) نقشه‌های مورفولوژی منطقه- الف) طبقات ارتفاعی ب) طبقات شیب ج) جهات شیب

منطقه سوادکوه باتوجه‌به شرایط مورفوکلیماتیکی حاکم بر آن، دارای تیپ‌های اقلیمی متفاوت مرطوب و نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای است. متوسط دمای سالانه منطقه ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه بیش از ۶۳۰ میلی‌متر (حداقل 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، به‌طوری‌که 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 ۱۳۹۷در ایستگاه پل سفید ثبت شده است که براثر 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 مراتع و سکونتگاه‌های انسانی و رخنمون‌های سنگی سایر کاربری‌های منطقه را شامل می‌شوند.

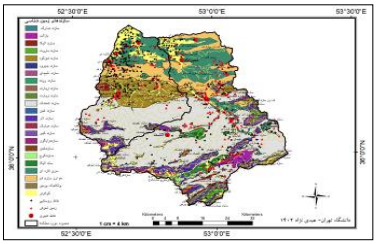


ت ۴. نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه

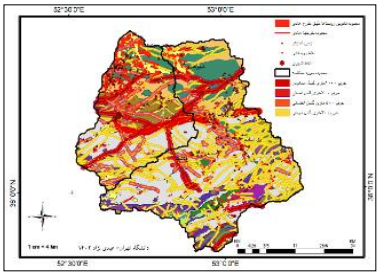
بر اساس طبقه‌بندی اشتوکلین، منطقه موردمطالعه در زون ساختمانی البرز مرکزی و زیر زون‌های نئوژن شمالی و زون شمالی– مرکزی آن واقع‌شده است و شامل واحدهای چینه‌شناسی مختلفی از تریاس بالایی– ژوراسیک تا عهد حاضر است که در چینه‌شناسی البرز

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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 موردمطالعه ملاحظه می‌شود، اغلب این واحدها (به‌استثنای بخش کوچکی از ولکانیک واقع در منطقه) از نوع سنگ‌های رسوبی بوده و ازنظر 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 شیب دامنه و نوع غالب هوازدگی (باتوجه‌به اقلیم منطقه) خاک‌هایی با ضخامت و ویژگی‌های ژئوتکنیکی متفاوت بر روی آن‌ها گسترش یافته است.



الف) نقشه سازندهای زمین‌شناسی



ب) نقشه زمین‌ساخت (گسل‌ها)

ت ۵. نقشه زمین‌شناسی (سازندها) و زمین‌ساخت (گسل‌های) منطقه موردمطالعه

جهت انجام تحقیق متناسب با اهداف پژوهش، از داده‌ها و اطلاعات دستگاه‌های مرتبط با موضوع استفاده شده است به‌طوری‌که به‌منظور تحلیل اقلیم منطقه از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی و وزارت نیرو واقع در محدوده موردمطالعه و پیرامون آن از سال ۱۹۷۰ لغایت سال ۲۰۲۲، برای بررسی و تحلیل منابع آب از داده‌های هیدرومتری مربوط به رودخانه‌های تالارو بابلرود شرکت تماب وزارت نیرو، برای تحلیل شرایط زلزله‌خیزی منطقه از کاتالوگ زلزله‌های ثبت‌شده در شعاع ۵۰ کیلومتری منطقه (سایت مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی)، برای تحلیل شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه از لایه‌های رقومی‌شده زمین‌شناسی ورقه‌های قائم‌شهر، پل سفید و دماوند و شبکه گسل‌های منطقه با دقت ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، برای تحلیل ویژگی‌های مورفولوژی 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 لندست و گوگل ارث، جهت تهیه پوشش گیاهی به روش (NDVI) از تصاویر ماهواره‌ای لندست 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 تهیه‌شده توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

نهایتاً برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از مطالعات از مشاهدات میدانی صورت‌گرفته و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک طرح‌های مطالعاتی تثبیت و پایداری روستاهای استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹) تهیه‌شده توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (پژوهشکده سوانح طبیعی۱۳۹۸) استفاده شده است.

ابزارها و مدل‌های مورداستفاده

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

همچنین برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه با بهره‌گیری از مطالعات و تجارب به‌دست‌آمده 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 راه‌حل سازشی انجام می‌گیرد. این روش در زمره 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.

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 معیارهای که رابطه غیرمستقیم با وقوع زمین‌لغزش دارند) بر اساس روابط زیر موردسنجش قرار گرفتند.

$$AI = \max_i x_{ij} \quad if\ j \in B \quad and \quad \min_i x_{ij}\ if\ j \in C \qquad (۱)$$

$$AI = \max_i x_{ij} \quad if\ j \in B \quad and \quad \min_i x_{ij}\ if\ j \in C \qquad (۲)$$

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

$$n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \quad if\ j \in C \qquad (۳)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \quad if\ j \in B \qquad (۴)$$

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.

$$V_{ij} = n_{ij} \times W_j \qquad (۵)$$

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

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \qquad (۶)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \qquad (۷)$$

در روابط بالا $S_i = (i = 1.2. \ldots .m)$ جمع مقادیر هر سطر در ماتریس وزن‌دار است که از رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} V_{ij} \qquad (۸)$$

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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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

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

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \qquad (۱۰)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i}{K_i^+ + K_i^-} \qquad (۱۱)$$

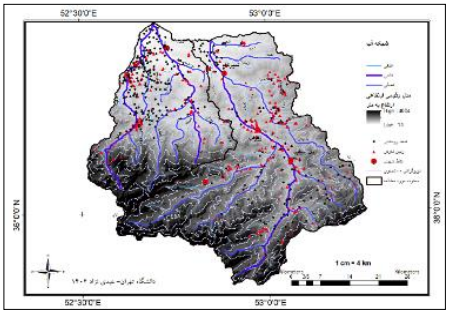
در مرحله نهایی با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه ۱۱، رتبه‌بندی صورت گرفت و بر مبنای آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه به روش مارکوس تهیه شد و بر اساس نتایج حاصل، منطقه موردمطالعه به ۵ پهنه خطر خطر زمین‌لغزش خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد.

یافته‌ها

الف. عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه

بر پایه زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور (۲۲۱ زمین‌لغزش) و زمین‌لغزش‌های ناشی از بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و بهار سال ۱۳۹۸ (۱۷ زمین‌لغزش) و زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده در مشاهدات میدانی و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث[۶] (۸۱ زمین‌لغزش) بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش محدوده موردمطالعه با ۳۱۹ زمین‌لغزش با مساحتی بالغ بر۹۱۴ هکتار تشکیل شد و این بانک مبنای مطالعات حاضر جهت بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش قرار گرفت.

نتایج حاصل از بررسی‌های به‌عمل‌آمده در خصوص عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه بیانگر آن است که این منطقه باتوجه‌به موقعیت استقرارش در دامنه‌های شمالی البرز متأثر از تحولات 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 به‌ویژه گسترش سازند شمشک و تنوعی از سنگ‌های مارن، شیل و...، شرایط اقلیمی مرطوب و نیمه‌مرطوب منطقه با متوسط بارش سالانه ۶۳۰ میلی‌متر، شبکه آب‌های جاری دائمی و فصلی همچون رودخانه‌های تالار و بابلرود ، وجود صدها چشمه با آبدهی 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 نیم‌قرن 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 موردمطالعه

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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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 کم‌عمق تا عمیق، کوهرفت‌ها و تراس‌های آبرفتی رودخانه‌ها رخ‌داده‌اند.

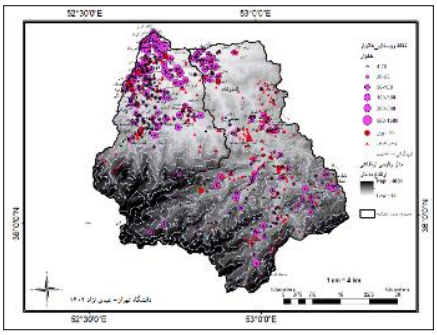
ب. تحلیل ارتباط فضایی سکونتگاه‌های روستایی با عوامل زمین‌لغزش در منطقه

بر اساس آمار سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، بالغ بر ۳۱۵ سکونتگاه روستایی با جمعیتی بالغبر ۷۸۹۹۷ نفر در منطقه موردمطالعه ساکن هستند که از این تعداد، ۲۳۷ روستا بالای ۲۰ خانوار (۷۵/۲ درصد) و ۷۸ آبادی (۲۴/۸ درصد) زیر ۲۰ خانوار هستند که دراین‌بین 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 ۱. توزیع جغرافیایی سکونتگاه‌های روستایی و توزیع جمعیت به تفکیک خانوار در منطقه سوادکوه

درصد	جمعیت	درصد	تعداد روستا	خانوار
۹/۴	۷۴۲۸	۱/۰	۳	بالای ۵۰۰
۱۶/۹	۱۳۳۶۴	۳/۸	۱۲	۵۰۰-۳۰۰
۳۴/۷	۲۷۳۸۲	۱۵/۶	۴۹	۳۰۰-۱۰۰
۲۰/۹	۱۶۵۰۶	۲۳/۵	۷۴	۱۰۰-۵۰
۱۳/۱	۱۰۳۷۱	۳۱/۴	۹۹	۵۰-۲۰
۵/۰	۳۹۴۶	۲۴/۷	۷۸	کمتر از ۲۰
۱۰۰	۷۸۹۹۷	۱۰۰	۳۱۵	کل

نقشه‌های مورفولوژی 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 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).



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

ج ۲. ارتباط سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش در طبقات ارتفاعی

درصد	تعداد روستا	درصد	مساحت/هکتار	درصد	زمین لغزش	طبقات ارتفاعی
۵۱/۷	۱۶۳	۲/۶	۶۹۳۱/۲	۳۵/۴	۱۱۳	۵۰۰-۰
۲۷/۶	۸۷	۱۵/۳	۴۰۴۷۴/۷	۴۷/۰	۱۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰
۸/۹	۲۸	۱۷	۴۴۹۷۶/۴	۹/۱	۲۹	۱۵۰۰-۱۰۰۰
۸/۳	۲۶	۲۰/۷	۵۴۴۷۹	۷/۲	۲۳	۲۰۰۰-۱۵۰۰
۳/۵	۱۱	۲۱/۳	۵۶۱۸۷/۶	۱/۳	۴	۳۰۰۰-۲۰۰۰
۰	۰	۲۳	۶۰۷۴۲/۸	۰/۰	۰	۴۰۰۵-۳۰۰۰
۱۰۰	۳۱۵	۱۰۰	۲۶۳۷۹۱/۶	۱۰۰	۳۱۹	کل

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 شماره۴، ۸۴ روستا در بستر رسوبات آبرفتی کواترنری، ۶۴ روستا در سازند شمشک، ۵۷ روستا در سازند سری قاره‌ای واقع‌شده‌اند که باتوجه‌به

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

گستردگی 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، جیرود، الیکا و...، است.

ج ۳. ارتباط سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش در پهنه‌های کاربری اراضی

نوع کاربری	مساحت به هکتار	درصد	تعداد زمین‌لغزش	درصد	تعداد روستا	درصد
اراضی کشاورزی آبی و باغات	۱۸۵۷۷/۸	۰/۷	۶۴	۲۰/۱	۱۰۱	۳۲/۱
اراضی کشاورزی دیم	۱۳۹/۵	۰/۱	۱	۰/۳	۱	۰/۳
جنگل‌های انبوه	۱۵۴۲۹۰/۹	۵۸/۷	۱۸۴	۵۷/۶	۱۴۷	۴۶/۷
جنگل‌های تنک	۱۸۱۵۶/۹	۶/۹	۵	۱/۶	۱۴	۴/۴
جنگل‌های نیمه انبوه	۴۵۷۶۳/۵	۱۷/۳	۴۳	۱۳/۵	۳۲	۱۰/۲
رخنمون‌های 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/هکتار	درصد	زمین لغزش	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 فجن	۱۱۷۰/۰۳	۰/۴	۹	۲/۸	۷	۲/۲
ساند الیکا	۷۹۷۵	۳	۷	۲/۲	۷	۲/۲
بازالت	۶۵۳۹	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

نتایج حاصل از بررسی ارتباط فضایی سکونتگاه‌های روستایی با زمین‌لغزش‌ها در منطقه سوادکوه، بیانگر آن است که به تبعیت از مورفولوژی منطقه، اغلب روستاها در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر با شیب کمتر از ۲۰ درجه استقرار یافته‌اند که اغلب این اراضی را کوهپایه‌ها با کاربری زراعی و باغی واقع در مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی رودخانه‌های تالار، بابل رود و انشعابات 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 باغی به سکونتگاه‌ها، ساخت‌وساز در منطقه گسترش زیادی داشته است.

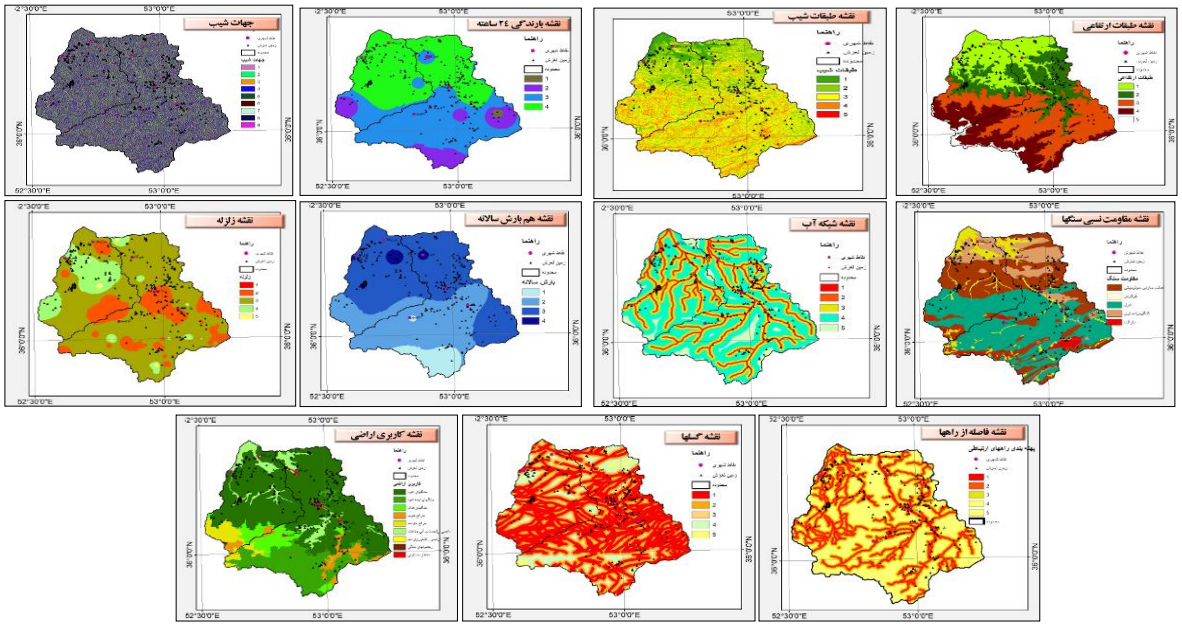
بر اساس اطلاعات اخذشده از بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (۱۴۰۲)، تا پایان سال ۱۴۰۱ برای ۲۵۰ روستا در محدوده موردمطالعه طرح هادی تهیه شده است که با بررسی موقعیت زمین‌لغزش‌ها نسبت به محدوده طرح‌های هادی مصوب، بالغبر ۳۸ زمین‌لغزش در بافت مسکونی روستاها و ۱۳۷ زمین‌لغزش به فاصله ۳۰۰ متری از خط محدوده مصوب طرح‌های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

ج. پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لغزش

برای انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش به مدل مارکوس بر اساس مراحل هفت‌گانه اشاره‌شده، ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه را برحسب میزان اثر آن‌ها (به‌صورت مستقل و وابسته) بر وقوع زمین‌لغزش (ازجمله: شیب، جهت شیب، میزان بارش (بارش ۲۴

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

ساعته)، کاربری اراضی، لیتولـوژی، فاصـله از رودخانـه (تراکم آبراهه)، فاصـله از گسـل برحسـب نـوع گسـل (تراکم گسل)، شدت زلزله، فاصله از جاده برحسب نوع جـاده (تـراکم جـاده) مطـابق تصـویر شـماره۶، استانداردسازی (نرمال‌سازی) شـد و سـپس بـر اسـاس روش AHP تمـامی معیارهـا و زیـرمعیارهـا برحسـب درجه اهمیت نسبی در بازه ۹-۱ به حالت مقایسـه‌هـای جفتی(دودوئـی) امتیـازدهی گردیـد و بـر پایـه نتـایج حاصله‌شده به ترتیب لیتولوژی با ضـریب وزنـی ۰/۲۸۰ بیشترین درجه اهمیـت و معیارهـای بـارش بـا ۰/۲۰۷، شـیب ۰/۲۰۱، جـاده بـا ۰/۱۰۴ رودخانـه بـا ۰/۰۶۹، کاربری اراضـی بـا ضـریب ۰/۰۵۱، گسـل بـا ۰/۰۳۸ و زلزله با ۰/۰۳۰ و جهت شیب بـا ۰/۰۲۰ بـه ترتیـب در رتبه‌های بعدی ازنظر درجه اهمیت قرار گرفتند که نتایج حاصـله‌شـده بـرای پهنـه‌بنـدی زمـین‌لغـزش بـه روش مارکوس استفاده‌شده است.



ت۶. نقشه‌های استانداردشده جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

بر اساس خروجی حاصل از پهنـه‌بنـدی زمـین‌لغـزش صورت‌گرفته به مدل مـارکوس در محـیط GIS مطـابق تصویر شماره ۷، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه با اعمال ضرایب و وزن‌هـا مربوطـه بـه تفکیـک بـرای لایه‌های نه‌گانه فوق‌الذکر ترسیم شـد و بـر پایـه نقشـه خروجـی منطقـه موردمطالعـه بـه ۵ پهنـه بـا خطـر زمین‌لغزش خیلی کم، کم، متوسط، زیـاد و خیلـی زیـاد طبقه‌بندی شد.

بـر اسـاس نتـایج حاصـل از نقشـه تحلیـل خطـر زمین‌لغزش به روش مارکوس، بـیش از ۴۲/۵ درصـد از مساحت منطقه (معادل ۱۱۲۲۳۳ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش متوسط، ۳۰/۶ درصد معـادل ۸۰۶۱۱ هکتـار در پهنه با خطر زمین‌لغزش کـم، ۱۸/۹ درصـد (۴۹۸۵۶ هکتار) در پهنه با خطر زمـین‌لغـزش زیـاد، ۶/۵ درصـد (۱۷۲۵۸ هکتار) در پهنه با خطر زمین‌لغزش خیلی کم و ۱/۵ درصـد (کمتـر از۳۸۳۴هکتـار) در پهنـه بـا خطـر زمین‌لغزش خیلی زیاد قرار دارند.

نتایج حاصل از نقشـه تهیـه‌شـده مؤیـد آن اسـت کـه پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش متوسط، زیاد و خیلی زیـاد (بالغبر ۶۲/۹ درصد از سطح منطقه) درشـیب‌هـای بـین

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

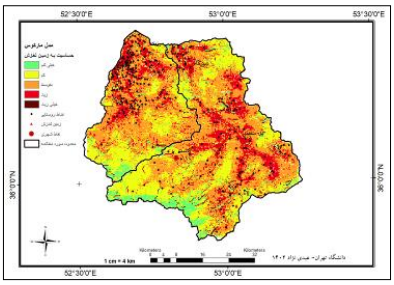
۲۰ تا ۵۰ درجه، در طبقات ارتفاعی ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از سطح دریا، در سازندهای قرمز بالایی، هم‌ارز سازند قم، سازند شمشک و رسوبات آبرفتی دوران چهارم و سنگ‌های مارن و رس و شیل، در پهنه کاربری اراضی جنگل‌های نیمه‌انبوه و تنک و اراضی زراعی و باغی، در فاصله ۳۰۰ متری جاده‌های ارتباطی، در حریم ۷۰۰ متری گسل‌های اصلی و نزدیکی کانون زلزله‌ها و در اقلیم مرطوب و خیلی مرطوب با بارش سالانه ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌متر و حداکثر بارش ۲۴ ساعته بالای ۵۰ میلی‌متر واقع‌شده‌اند و در مقابل پهنه‌های با خطر آسیب‌پذیری کم و خیلی کم عمدتاً درشیب‌های 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 دراین‌بین، نقش بارش، زمین‌شناسی و همچنین نزدیکی به جاده‌ها و رودخانه‌ها و عوامل انسانی بیشتر از سایر عوامل در تعیین پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد تأثیرگذار هستند و باتوجه‌به واقع شدن در دامنه‌های شمالی البرز و شرایط اقلیمی مرطوب حاکم بر منطقه، جهت شیب‌ها برعکس سایر مناطق اقلیمی تأثیر چندانی در توزیع فراوانی زمین‌لغزش‌ها ندارد و همچنین باتوجه‌به موقعیت جغرافیایی منطقه سوادکوه به دلیل استقرار در حدفاصل دریای خزر و ارتفاعات البرز، افزایش ارتفاع و دوری از دریا به‌عنوان 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 به‌تناسب آن افزایش میزان شیب دامنه‌ها و کاهش حجم آبرفت‌ها و ضخامت کم خاک و...، تعداد زمین‌لغزش‌های اتفاق‌افتاده کمتر بوده و به‌تناسب آن، پهنه‌های با خطر خطر زمین‌لغزش زیاد در این مناطق کمتر از سایر مناطق موردمطالعه 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 شیب (کنیک‌ها) و ضخامت کم رسوبات دامنه‌های به دلیل شیب 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 سنجش‌ازدور 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 قابل‌اطمینان است.

ه. انطباق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مشاهدات میدانی و مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک (ژئوالکتریک)

انطباق زمین‌لغزش‌های منطقه با پهنه‌بندی صورت‌گرفته 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 ۹ و ۷ زمین‌لغزش دیگر به

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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



ت ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه به روش مارکوس

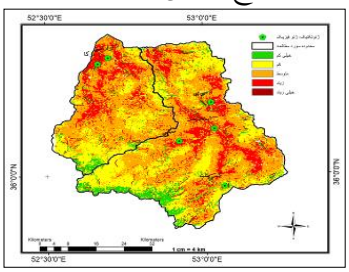
همچنین مطابق جدول شماره ۵، از ۳۱۵ سکونتگاه روستای واقع در محدوده موردمطالعه ۷ روستا در پهنه خطر زمین‌لغزش خیلی کم، ۱۶۲ روستا (معادل ۵۱ درصد) در پهنه خطر زمین‌لغزش کم، ۱۰۳ سکونتگاه روستایی (معادل ۳۳ درصد) در پهنه خطر زمین‌لغزش متوسط و۳۷ روستا معادل ۱۲درصد در پهنه خطر خطر زمین‌لغزش زیاد و ۶ روستا در پهنه خطر زمین‌لغزش خیلی شدید قرار گرفته‌اند.

ج ۵. توزیع جغرافیایی زمین‌لغزش‌ها و نقاط روستایی در پهنه‌های خطر زمین‌لغزش

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

همان‌طور که قبلاً نیز 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.

ازجمله این زمین‌لغزش‌ها، می‌توان به زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در روستای ارکا، ازراسی، ممشی، استخرسر، کمرپشت و سی پی در سطح منطقه سوادکوه در حوضه‌های آبخیز تالار و بابلرود اشاره نمود (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۹۸) که باعث خسارات قابل‌توجهی شدند. در تصویر شماره ۸، موقعیت این زمین‌لغزش‌ها بر روی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، این زمین‌لغزش‌ها در محدوده پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد و خیلی زیاد واقع شدند که نشان از پتانسیل بالای این دامنه‌ها برای وقوع لغزش دارد.



ت ۸. موقعیت زمین‌لغزش‌های ارکا، ازراسی، ممشی، استخرسر، 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 قابل‌توجهی بر ضریب ایمنی پایداری خاک دارد، به‌گونه‌ای که هنگامی‌که دامنه اشباع از آب باشد (یعنی زمانی که بارندگی‌های با شدت و مدت زیاد رخ می‌دهند) ضریب ایمنی دامنه در مقابل گسیختگی‌های از نوع شیب نامحدود و دایره‌ای کمتر از ۱ خواهد بود. همچنین، جنگل‌زدایی و به دنبال آن اشباع شدن بیش‌ازحد خاک در فصول پربارش در چنین مناطقی به تسریع وقوع پدیده زمین‌لغزش کمک نموده است که به‌عنوان‌مثال در محدوده زمین‌لغزش‌های واقع‌شده در روستاهای سی پی، ازراسی، ارکا باوجود

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

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 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 انجام‌گرفته در منطقه است. نتایج این مطالعه نشان داد که منطقه سوادکوه مازندران در معرض خطر زمین‌لغزش است و برنامه‌های مدیریتی برای کاهش خطر زمین‌لغزش ضروری است. این برنامه‌ها باید بر کاهش عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش مانند بارش، شیب و کاربری اراضی تمرکز کنند. بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های صورت‌گرفته از برخی از طرح‌های هادی روستایی تهیه‌شده در محدوده موردمطالعه (بالغ بر ۳۰ طرح از مشاورین مختلف در مناطق مختلف محدوده موردمطالعه) مشخص شد در فرایند تهیه طرح‌های هادی روستاهای مذکور صرفاً به پهنه‌بندی خطر منطقه در برابر زلزله بر اساس مطالعات مرکز تحقیقات مسکن وزارت راه و شهرسازی و اعمال حرایم مربوط به رودخانه‌ها به‌عنوان پهنه‌های در معرض سوانح طبیعی بسنده شده است و به موضوع زمین‌لغزش که اغلب روستاهای منطقه را تهدید می‌کند توجه خاصی نشده است و صرفاً در ضوابط مربوط به طرح‌های هادی به‌صورت کلی به آن اشاره شده است. بنابراین باتوجه‌به مقیاس این مطالعه (ناحیه‌ای) از مشاورین طرح‌های جامع شهرستان، طرح‌های توسعه پایدار منظومه‌های روستایی و نهایتاً مشاورین طرح‌های هادی روستایی انتظار داشت تا در فرایند تهیه طرح‌های مذکور، توجه ویژه‌ای به مخاطرات طبیعی و ترجیحاً این نوع مخاطره در پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش بالا در منطقه سوادکوه داشته باشند. در همین رابطه، ضروری است با بهره‌گیری از دانش متخصصین در رشته‌های زمین‌شناسی مهندسی، منابع طبیعی و جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی) متناسب با اهداف طرح مطالعاتی در ارائه خدمات عمومی-زیربنایی و گسترش آتی روستاها به این سمت از اراضی پرهیز کنند و از نتایج مطالعات مذکور و سایر مطالعات کاربردی دستگاه‌های تخصصی ازجمله سازمان جنگل‌ها و مراتع در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و مدیریت جامع منابع به نحو شایسته‌ای استفاده کنند.

نتیجه

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه نشان داد که بارش، زمین‌شناسی و همچنین نزدیکی به جاده‌ها و رودخانه‌ها و عوامل انسانی در تعیین پهنه‌های با خطر خطر زمین‌لغزش از نقش بیشتری نسبت به سایر عوامل برخوردار هستند. همچنین جهت شیب‌ها و نزدیکی به کانون‌های زلزله و نزدیکی به خطوط گسل و نزدیکی به چشمه‌ها، برخلاف سایر مناطق تأثیر چندانی در توزیع فراوانی زمین‌لغزش‌ها ندارد. دراین‌بین، بارش در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش محوری و کلیدی داشته است، به‌طوری‌که بررسی ارتباط میان فاصله زمانی بارش‌ها با وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان داد که همخوانی و همبستگی قابل‌قبولی بین بارش و وقوع زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه وجود دارد، به‌طوری‌که بارش در وقوع ۱۸۰ زمین‌لغزش نقش کلیدی و مؤثر داشته است که این موضوع هشداری است برای برنامه‌ریزان محیطی در منطقه سوادکوه که در مطالعات طرح‌های مرتبط با ایمن‌سازی سکونتگاه‌های روستایی و کاهش خطر به نقش بارش در زمین‌لغزش تمرکز بیشتری داشته باشند.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

در این مطالعه، مدل مارکوس برای پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لغزش در منطقه سوادکوه مازندران استفاده شد. خروجی مدل نشان داد که بیش از ۶۲/۹ درصد از سطح منطقه در معرض خطر زمین‌لغزش است. مناطق خطر زمین‌لغزش بالا در سطوح ارتفاعی ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر، اراضی با شیب ۲۰ تا ۳۰ درجه، در بستر سنگ‌های غنی از کانی‌های رسی (سازند شمشک، سازند سری قاره‌ای، هم‌ارز سازند قم و رسوبات آبرفتی عهد حاضر) فاصله حداقل ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری جاده‌ها و رودخانه‌ها و خطوط هم‌تراز متوسط بارش سالانه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و حداکثر بارش ۲۴ ساعته بالای ۴۰ میلی‌متر هستند.

تلفیق نتایج مطالعات صورت‌گرفته با نتایج مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک انجام‌گرفته در روستاهای ارکا، ازراسی، ممشی، استخرسر، کمر پشت، فیروزجاه، کارمزد، ولیلا، لاجیم، سی پی و... در منطقه نشان می‌دهد که اشباع شدن دامنه‌ها پس از بارندگی اثر قابل‌توجهی بر ضریب ایمنی پایداری خاک دارد، به‌گونه‌ای که هنگامی‌که دامنه اشباع از آب باشد (زمانی که بارندگی با شدت و مدت زیاد رخ می‌دهند) ضریب ایمنی دامنه در مقابل گسیختگی‌های از نوع شیب نامحدود و دایره‌ای کمتر از ۱ خواهد بود و درنتیجه 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 انجام‌گرفته 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 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 روستاها به‌ویژه در طرح‌های هادی(بازنگری) روستایی شناسایی و نقشه پهنه‌بندی مخاطره زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰ در سطح روستا و ۱:۲۵۰۰۰ در سطح منطقه تهیه شود. در گام سوم ضوابط، توصیه‌ها، دستور کارهای اجرایی لازم جهت مقابله و پیشگیری از وقوع زمین‌لغزش ارائه شود و در گام نهایی بر پایه مطالعات تخصصی ایمن‌سازی، بر پایه نقشه جزئیات اجرایی نسبت به ایمن‌سازی روستاها و تثبیت و پایدارسازی دامنه‌های ناپایدار و مستعد زمین‌لغزش اقدام کرد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت پژوهشکده سوانح طبیعی در قالب طرح پژوهشی تحت عنوان «ارتباط مورفولوژی و لیتولوژی دامنه‌های البرز شمالی با آستانه‌های بارش و وقوع زمین‌لغزش (منطقه سوادکوه مازندران)» انجام شده است. بدین‌وسیله از زحمات و حمایتهای آقایان دکتر گرکانی 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)
(سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه‌حل سازشی)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]

2. TOPSIS
3. Stević
4. ARAS
5. google earth

فهرست منابع

- اسلامی، محمود؛ شادفر، 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 انرژی و منابع طبیعی پایدار*، تهران

- بنیاد مسکن انقلاب اسلامی. (۱۴۰۲). دفتر امور فنی و تهیه طرح‌ها، *گزارش عملکرد بنیاد تا پایان سال ۱۴۰۱*، منتشرنشده

- بنیاد مسکن انقلاب اسلامی- پژوهشکده سوانح طبیعی. (۱۳۹۸). *گزارش مطالعات پایدارسازی روستاهای ازراسی، ارکا، سی پی، استخرسر، کمر پشت و ممشی در برابر خطر زمین‌لغزش (شهرستان‌های سوادکوه، سوادکوه شمالی و بابل، استان مازندران)*، منتشرنشده.

- 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، ذوالفقاری، 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 پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش 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، زهرا؛ 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 حائری- سمیعی در حوضه آبخیز خلین دره استان گلستان

- کرم، امیر؛ تورانی، مریم. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع 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 مله‌کبود ناشی زمین‌لرزه سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینترفرومتری، 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 دزعلیا، 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.

DOI: 10.22034/42.183.107

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-15]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.107]