

علل تشدید وقوع زمین لغزشهای ناشی از بارشهای سال آماری ۹۸-۱۳۹۷

سعید محمد صبوری*؛ استادیار زمین شناسی، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران
سیدامیرحسین گرکانی؛ دانشیار گروه معماری، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

چکیده

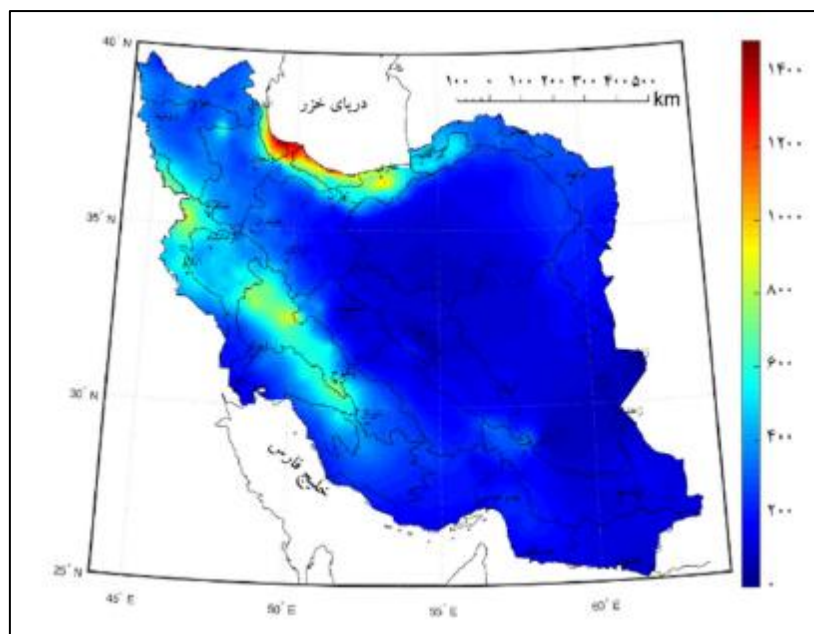
رخدادهای زمین لغزش در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب در بسیاری از استانهای کشور از جمله خراسان شمالی، گلستان، سمنان، مازندران، گیلان، همدان، لرستان، کردستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی و غربی، زنجان صورت گرفت. در این پژوهش با مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی به بررسی اثرات بالآمدگی تراز آب زیرزمینی و وقوع زمین لغزشها پرداخته شده و با مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی و شرایط رخداد هر زمین لغزش میزان اثر بالآمدن سطح آب زیرزمینی بیان گردیده و تعداد رخداد زمین لغزشهای ناشی از بالآمدن سطح آب زیرزمینی و اشباع لحظه‌ای مشخص گردید. با توجه به مشاهدات صحرایی هنگام رخداد زمین لغزشها و مشاهدات سطح تراز آب زیرزمینی در گملنه‌های حفر شده، در ۲۸ مورد از زمین لغزشها، بدلیل بارشهای با شدت - مدت زیاد اشباع لحظه‌ای توده خاک شکل گرفته و منجر به رخداد زمین لغزش شده است، که در ۵ مورد این حرکات دامنه‌ای بصورت گلوله‌ای اتفاق افتاده است. در ۲۵ مورد از زمین لغزشها که در گملنه‌های حفر شده در محل توده خاک لغزشی، سطح آب مشاهده گردیده بود، بالآمدن سطح تراز آب زیرزمینی (ناشی از بارشهای با شدت - مدت زیاد و نفوذ آب آن به داخل توده) باعث ناپایداری دامنه و رخداد زمین لغزش شده است. همچنین مشخص گردید که تعداد زیادی از این زمین لغزشها در پهنه با خطر متوسط قرار گرفته است که نشان دهنده تحریک فعالیت زمین لغزشها بوسیله بالآمدن سطح آب زیرزمینی بوده است.

واژه‌های کلیدی: روستا، آب زیرزمینی، زمین لغزش، سیلاب ۱۳۹۸، ایران

مقدمه

بدنبال وقوع بارندگی‌های شدید اواخر سال ۱۳۹۷ و نوروز سال ۱۳۹۸ زمین لغزش‌های متعددی در مناطق کوهستانی و دامنه‌های مستعد ناپایداری در بسیاری از نقاط کشور روی داده است. زمین لغزش یکی از مخاطرات بزرگ زمین شناسی با تلفات جانی و خسارات اقتصادی قابل توجه در مناطق کوهستانی جهان است (پتلی، ۲۰۱۲؛ هاگو و همکاران، ۲۰۱۶؛ فرود و پتلی، ۲۰۱۸). سوترز و وان واستن (۱۹۹۶) عوامل محرک مختلفی مانند بارندگی، زلزله، دستکاری انسان، انفجار، فرسایش توسط رودخانه‌ها، نوسانات سطح آب زیرزمینی و غیره برشمردند که باعث ناپایداری و حرکت به سمت پایین شیب مصالح در یک دامنه کوه در حالت‌ها و سرعت‌های مختلف می‌شوند. در اغلب مواقع، بزرگترین و مخرب‌ترین زمین لغزش‌ها در اثر رویدادهای بزرگ طبیعی مانند زلزله، بارندگی‌های شدید، سیل و غیره رخ می‌دهند، در حالی‌که رویدادهای جزئی زمین لغزش غالباً به دلیل فعالیت‌های انسانی که شرایط شیب دامنه‌ها را تغییر می‌دهند، ایجاد می‌شوند (هاگو و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژانگ و هونگ، ۲۰۱۸؛ لین و وانگ، ۲۰۱۸). احتشامی معین آبادی (۲۰۲۲) ارتباط پهنه‌های گسلی با رخداد زمین لغزش را در دو دسته زمین لغزش‌های ناشی از رخداد زمین لرزه‌ها و زمین لغزش‌های ناشی از بارش‌های شدید که در مناطق گسلی رخ می‌دهند تقسیم نموده است. رخداد زمین لغزش در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب در بسیاری از استان‌های کشور از جمله خراسان شمالی، گلستان، سمنان، مازندران، گیلان، همدان، لرستان، کردستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی و غربی، زنجان صورت گرفت.

میانگین بارش در ایران ۲۵۰ میلی متر است. در عین حال مقدار بارش ایران در بازه ۱۳۹۷/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۸/۰۳/۱۲ در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بیش از ۳۶۰ میلیمتر بوده است. در مقیاس حوضه‌های درجه دو اگر بارش انباشته از آغاز سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در نظر گرفته شود، تقریباً تمامی حوضه‌ها بارش‌های بیش از میانگین بلندمدت را از همان آغاز سال آبی تجربه کرده‌اند، اما ناهنجاری بارش در اواخر اسفند ۱۳۹۷ تا میانه فروردین ۱۳۹۸ به بیشترین مقدار خود رسیده است. اگرچه ایران کشوری خشک است و میانگین بارش آن حدود ۲۵۰ میلیمتر است، اما بدلیل تنوع آب و هوایی و تغییرات ویژگی‌های بارش بر اثر گرمایش جهانی، رخداد بارش‌های سیل‌زا از ویژگی‌های آن است. باتوجه به مساحت ایران حجم بارش دریافتی کشور حدود ۴۰۰ میلیارد متر مکعب در سال است، اما این حجم از بارش بطور یکنواخت پراکنده نشده است (مسعودیان، ۱۴۰۲). در زاگرس برخی حوضه‌های آبی به دلیل اثر ارتفاعات بر سامان‌های باران‌زا، بارش زیادی دریافت می‌کنند. در کرانه‌های خزر نیز برخی حوضه‌ها به دلیل برقراری جریان‌های شمالی بر روی دریای خزر از بارش‌های بیشتری بهره‌مند می‌شوند. پربارش‌ترین حوضه‌ها آبی ایران حوضه تالش است که میانگین بارش سالانه آن ۹۵ میلیمتر است. در مقابل حوضه هیرمند کم بارش‌ترین حوضه آبی کشور است که سالانه حدود ۱۰۰ میلیمتر بارش دریافت می‌کند. در شکل (۱) پراکندگی میانگین بلندمدت (۱۳۴۹-۱۳۹۴) بارش بارش سالانه ایران نشان داده شده است.



شکل شماره ۱: پراکندگی میانگین بلندمدت (۱۳۴۹-۱۳۹۴) بارش بارش سالانه ایران، برگرفته از مسعودیان ۱۴۰۲

واسیلوا و همکاران (۲۰۲۳ و ۲۰۲۲) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و بررسی در سری های زمانی مختلف، تاثیر آبیگری سد کالپوش و بالا رفتن سطح آب مخزن را در فعال شدن زمین لغزش قدیمی روستای حسین آباد کالپوش را بررسی نمودند و بیان نمودند که فعال شدن مجدد زمین لغزش قدیمی با آبیگری مخزن سد و بالا رفتن سطح آب مخزن ارتباط داشته است. آنها با بررسی دو دهه تصاویر ماهواره ای نشان دادند که زمین لغزش قدیمی در مجاورت سد که در سال ۹۸ رخ داد، قبل از احداث سد هیچ گونه فعالیت و حرکتی نداشته ولی بعد از ایجاد سد و آبیگری آن، این زمین لغزش قدیمی فعال شده و همزمان با افزایش سطح و حجم مخزن، سرعت حرکت زمین لغزش نیز به مرور زمان بیشتر شده است. غیور بلورفروشان و همکاران (۱۴۰۳ و ۱۴۰۲) به ارزیابی عملکرد بارش سنگین در فعال شدن مجدد پالئولنداسلاید روستای حسین آباد کالپوش و رفتارشناسی فضایی - زمانی فعالیت مجدد زمین لغزش قدیمی روستا پرداختند و بیان نمودند که عامل محرک بارش سنگین سبب ایجاد تنش و شکست در سطح لغزشی گردیده است. همچنین، تغییرات نرخ جابجایی در مدار بالاگذر از ۱۲- میلیمتر تا ۱۹ میلیمتر در یکسال برای لغزش حسین آباد ثبت گردیده است. موقعیت مکانی این جابجایی ها با ویژگیهای فضایی - مکانی لغزشهای جدید در طبیعت مطابقت دارد این جابجاییها در زون های برداشت و انباشت لغزش باعث تخریب منازل زیادی در روستای حسین آباد کالپوش شده اند.

برای بررسی های تراز آب زیرزمینی علاوه بر داده های مستقیم بدست آمده از حفاری های ژئوتکنیکی، بررسی ها و برداشت ژئوالکتریکی نیز قابل انجام بوده و داده هایی از سطح آب زیرزمین را ارائه می نماید. دراینخصوص افرادی از جمله لشکری پور و نحی (۲۰۰۵)، رمزی و مصطفایی (۱۳۹۱)، رحمانیان (۱۳۹۱) و رضانی و همکاران (۱۳۸۸) پژوهش هایی را انجام داده اند.

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی زمین لغزش های رخ داده در مناطق لسی استان گلستان پرداختند و نشان دادند که وجود ترکهای قائم در ارتباط با زمین لغزش باعث انتقال جریان آب ناشی از باران به درون نهشت های لسی و تجمع آب در قسمتهای پایینی درزه های قائم می گردد. به علت نفوذپذیری بسیار کم نهشته های لسی مناطقی با میزان

اشباع شدگی متفاوت درون بلوکهای لسی به وجود می آید که به طبع آن مقاومت بخشهایی با اشباع شدگی بیشتر نیز کمتر شده و تفاوت در مقاومت باعث تفاوت در تغییر شکل و میزان تنش درون بلوکهای لسی می شود و در نهایت این تغییر در تنش باعث نشست نامتقارن و ایجاد یک گشتاور نیرو در پایینترین و بیرونی ترین بخش بلوک می گردد این گشتاور نیرو باعث لغزش به صورت چرخشی در بلوکهای لسی می گردد. سوری و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی عوامل موثر بر رخداد زمین لغزش در حوضه کشوری در استان لرستان پرداختند و نشان دادند که عوامل اقلیمی یکی از شاخص های تاثیرگذار در رخداد می باشد. محمدی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اولویت بندی عوامل موثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز) پرداختند و نشان دادند که شرایط خاص آب و هوایی و فیزیوگرافی در محدوده یکی از عوامل تاثیرگذار در پتانسیل رخداد زمین لغزش است. تلخابلو و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی رخداد و رفتار زمین لغزش سورین بانه در استان کردستان بر پایه مطالعات زمین شناسی مهندسی پرداختند و نشان دادند که سطح لغزش در بخش زیرین لایه خاکی رسی و نزدیک به مرز زون هوازده شیبستی قرار دارد و بر اثر بارندگی شدید و اشباع دامنه ضریب اطمینان کاهش پیدا کرده و باعث رخداد زمین لغزش شده است.

پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن پرداختند و شاخص توان جریان و فاصله از رودخانه بعنوان دو نمونه از شاخص های تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش و مورد استفاده در پهنه بندی را بیان نمودند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی ویژگی های زمین شناسی محیطی و نقش آنها در وقوع زمین لغزش های اطراف سد لتیان پرداختند و بیان نمودند که زمین لغزش ها همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در سراسر جهان برجای می گذارند، به منظور جلوگیری از خسارات و خطرات ناشی از لغزش می بایست علل رویداد آن را شناخت و علاوه بر تعیین ویژگی های سنگ شناسی، زمین شناسی، ریخت شناسی و زمین ساختی ناحیه اطراف سد، عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش های منطقه بررسی نموده در تکیه گاه های سد علت وقوع زمین لغزش ها را وجود سنگ شناسی سست، ناپیوستگی های متعدد و شیب توپوگرافی دانستند و علل رخداد زمین لغزش های اطراف دریاچه سد را علاوه بر عوامل موثر بر زمین لغزش های تکیه گاه شد، اثر افزایش فشار آب منفذی و تغییر تراز سطح آب دریاچه سد معرفی نمودند. است. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی در مطالعه موردی منطقه رودبار پرداختند و شاخص بارندگی را بعنوان یکی از شاخص های تاثیرگذار در پهنه بندی خطر زمین لغزش در نظر گرفتند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی ارزیابی کارایی روش های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش پرداختند و علاوه بر شاخص بارندگی را بعنوان یکی از شاخص های تاثیرگذار در پهنه بندی خطر زمین لغزش، وزندهی به شاخص ها را نیز مدنظر قرار دادند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی تعیین مناسب ترین روش کنترل زمین لغزش با استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم (DSS)، مطالعه موردی زمین لغزش باریکان در شهرستان طالقان پرداختند و در مورد زمین لغزش باریکان، زهکشی سطحی و زیرسطحی به عنوان مناسب ترین گزینه کنترل را برای این زمین لغزش معرفی نموده اند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی پهنه بندی زمین لغزش های سرعین ناشی از زلزله ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ با استفاده از روش کیفی پرداختند و شاخص رطوبت را بعنوان یکی از شاخص های تاثیرگذار پهنه بندی خطر زمین لغزش در نظر گرفتند. شعاعی (۱۳۹۲) به بررسی امکان استفاده از روش دیرین ریخت شناسی در ارزیابی و تدقیق روش های پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش ها پرداخت و بیان نمود که با استفاده از نتایج این ارزیابی، روش "دیرین ریخت شناسی" بخوبی می توان با هزینه کم و زمانی مناسب، نقشه پهنه بندی بزرگ مقیاس را در اختیار کاربران قرار داد و نتایج حاصل از انجام این روش باعث ارتقاء چشم گیر قابلیت اعتماد به مدل اصلاح شده با روش

"دیرین‌ریخت‌شناسی" داشته است. طلایی و جعفری (۱۳۸۷) به شناخت و بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه خلخال و بومی سازی مدل‌های آماری آن پرداختند و نشان داد که عامل لیتولوژی در صدر عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه بوده و با توجه به نوع عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه راهکارهایی را برای کاهش خسارات مستقیم و غیر مستقیم زمین لغزش پیشنهاد دادند. داوودی و احدی عالی (۱۳۸۷) به بررسی تثبیت زمین لغزش‌های خاکی با فناوری کاربرد تکنیک استفاده از محلول اشباع آهک پرداختند و نشان می‌دهد که بهره برداری از این تکنیک در پروژه‌های عمرانی قبل استفاده بوده و باتوجه به کم بودن هزینه‌های آن در مقایسه با روش‌های معمول، می‌تواند به عنوان یک گزینه قبل رقابت در فعالیت‌های تثبیت زمین لغزش مورد توجه جدی قرار گیرد. شریعت جعفری (۱۳۸۷) ارزیابی ریسک ویژه زمین لغزش در بخشی از البرز جنوبی را انجام داده و ریسک ویژه زمین لغزش را عبارت از درجه آسیب‌پذیری مورد انتظار ناشی از وقوع رخداد لغزش زمین بیان نموده و اجزای اصلی ریسک پذیر را شامل تراکم جمعیت، سازه‌ها، منابع طبیعی و کشاورزی تعیین نموده و در نهایت نقشه ریسک ویژه منطقه، سطح آسیب‌پذیری مجموع عوامل آسیب‌پذیر در هر نقطه را ارائه نموده است. ستایشی راد و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی خطر زمین‌لغزش به روش AHP در ساحل دریای خزر، محدوده نوشهر تا رامسر پرداختند و بیان نمودند که عوامل لیتولوژی، شیب و گسل از جمله مهم ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد پژوهش هستند و بیش از ۳۰ درصد از اراضی منطقه در رده خطر بالا قرار دارد. کرمانی و شعاعی (۱۳۸۹) به بررسی پایش تغییرات غلظت کاتیون‌ها در آب‌های نشستی پای لغزش‌ها بمنظور استفاده در اعلام پیش‌هشدار گسیختگی شیب‌ها پرداختند و نشان دادند که با توجه به تنوع در ترکیب خاک‌ها، شناخت دقیق عناصر حساس به آبشویی در هر منطقه و پایش میزان و نحوه تغییرات یونی در آب‌های خروجی از پای شیب‌ها می‌تواند به عنوان علائم پیش‌هشدار دهنده آغاز حرکت شیب‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. سوری و همکاران (۱۳۹۲) به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه کشوری) پرداختند و شاخص‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه مور استفاده قرارداد داده و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه را ارائه دادند. شهیدی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی سازوکار وقوع زمین لغزش گردنه صائین (جاده نیر- سراب) با نگرشی بر هیدرولوژی و شرایط ریخت‌شناسی آن منطقه پرداختند و نشان دادند که شرایط محلی زمین‌ریخت‌شناسی دیرین و وجود یک محدوده فروافتاده سبب زهکش شدن آب از منطقه بالادست به سمت توده لغزشی گردیده است، لذا افزایش سطح آب زیرزمینی در محدوده توده لغزیده به دلیل بارندگی استثنایی فصل زمستان و بهار سال آبی ۸۴-۸۳ را بعنوان مسبب اصلی ایجاد زمین‌لغزش معرفی نمودند. بلالی و همکاران (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی استعداد زمین‌لغزش با استفاده از روش منطق‌فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز نکارود) پرداختند و شاخص‌های درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع از سطح دریا، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از شبکه آبراهه را مورد استفاده قرارداده و نشان داد که نقشه استعداد زمین‌لغزش تهیه شده با استفاده از تابع عضویت مثلثی، با شاخص جمع کیفی دارای دقت و صحت بالایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. دهبان ایوان استخری و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی پتانسیل زمین‌لغزش در مخزن سد خاکی پلرود با رویکرد چند معیاره فازی پرداختند و شاخص‌های متغیری شامل شیب زمین، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، بارش باران، شتاب افقی زلزله، شاخص پوشش گیاهی و انحنای دامنه جهت ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفتند. آنها بیان نمودند که مدل نسبت فراوانی، مدل ساده و خوبی برای محاسبه شاخص حساسیت زمین‌لغزش متغیرها می‌باشد. محمدی و اووسرس و همکاران (۱۳۹۳) به تعیین آستانه شدت-مدت بارندگی به‌منظور پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های کم‌عمق در حوضه آبریز رودخانه‌های تجن و نکارود پرداختند و بیان

نمودند که عامل اصلی تحریک زمین لغزش‌های کم‌عمق و جریان‌های واریزه‌ای در شرق مازندران نیز رخدادهای بارندگی است و از بین رخدادهای بارندگی مختلف، رخدادهای بارندگی کوتاه‌مدت با شدت بیشتر نسبت به رخدادهای بارندگی طولانی‌تر که شدت کمی دارند سبب تحریک زمین لغزش‌های بیشتری شده‌اند. آنها این پدیده بصورت احتمالی به دلیل زهکشی بالا در توده خاک کم‌عمق و نیز خردشدگی سنگ‌بستر ماری و مارن آهکی دانسته‌اند. همانطور که در بررسی سوابق مطالعاتی صورت گرفته درخصوص علل رخداد زمین لغزش‌ها و شاخص‌های بررسی شده، اغلب شاخص‌ها و علی تحت عنوان اقلیم، آب و هوا، میزان بارش، فاصله از رودخانه و امثالهم مورد بررسی و بحث قرار گرفته است و شاخص تحت عنوان آب زیرزمینی بدلیل نبود داده‌های در دسترس و قابل اطمینان مورد بررسی قرار نگرفته است. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را برای کل کشور با چهار پهنه خطر بالا، خطر متوسط، خطر پایین و خطر خیلی پایین تهیه نموده است که در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل شماره ۲: نقشه پهنه بندی زمین لغزش‌های کشور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

در این پژوهش با بررسی زمین لغزش‌های رخ داده در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب در برخی استان‌های کشور و با استفاده از داده‌های سطح آب زیرزمینی برداشت شده گمانه‌های حفر شده در محدوده لغزش‌ها و مقایسه و نتایج بدست آمده از تحلیل‌های پایداری صورت گرفته در تثبیت زمین لغزش‌های رخ داده به بررسی تاثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی در وقوع زمین لغزش و مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش‌های رخ داده با نقشه

پهنه بندی خطر زمین لغزش کشور پرداخته شده است. همچنین به لحاظ آماری تعداد زمین لغزش های ناشی از بالآمدن سطح آب زیرزمینی بررسی و تعیین شده است.

مواد و روش ها

روش تحقیق در پژوهش حاضر مبتنی بر بررسی ها و مطالعات کتابخانه ای و مشاهدات میدانی می باشد. در این خصوص اطلاعات مربوط به وضعیت زمین شناسی، زمین ساختی و زمین لغزش های رخ داده در محدوده روستا بصورت کتابخانه ای مورد بررسی قرار می گیرد و در ادامه نسبت به بررسی اثرات بالآمدگی تراز آب زیرزمینی و وقوع زمین لغزش ها اقدام گردیده و با مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی و شرایط رخداد هر زمین لغزش میزان اثر بالآمدن سطح آب زیرزمینی بیان خواهد شد. در ادامه نسبت به بررسی آماری میزان تاثیر بالآمدن سطح آب زیرزمینی و درصد رخداد زمین لغزش های ناشی از بالآمدن سطح آب زیرزمینی و مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش ها با نقشه پهنه بندی زمین لغزش کشور پرداخته خواهد شد.

در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب در بسیاری از استان های کشور از جمله خراسان شمالی، گلستان، سمنان، مازندران، گیلان، همدان، لرستان، کردستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی و غربی، زنجان صورت گرفت. از میان زمین لغزش های رخ داده در گستر کشور و استان های مذکور تعداد ۵۳ زمین لغزش در محدوده بافت کالبدی روستاها به وقوع پیوسته و باعث ایجاد خسارت گردیده است که در جدول شماره (۱) مشخصات آنها ارائه شده است. لازم به ذکر است جهت نامگذاری زمین لغزش ها از نام روستا جهت سهولت استفاده شده است. در شکل شماره (۳) نقشه پراکندگی زمین لغزش های رخ داده را نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تمرکز رخداد زمین لغزش ها منطبق بر نواحی پربارش نمایش داده شده در شکل شماره (۱) می باشد. لذا به منظور ایمن سازی و تثبیت و پایدارسازی روستاهای درگیر زمین لغزش، حفاری های ژئوتکنیکی صورت گرفت که از داده های زیرسطحی برداشت شده درخصوص آب زیرزمینی و جنس لایه در این پژوهش استفاده خواهد شد.



شکل شماره ۳: نقشه پراکندگی زمین لغزش های رخ داده در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب

جدول شماره ۱: مشخصات مکانی زمین لغزش های رخ داده در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع

سیلاب

ردیف	نام روستا	استان	شهرستان	ردیف	نام روستا	استان	شهرستان	ردیف	نام روستا	استان	شهرستان
۱	سورین	کردستان	بانه	۱۹	نرگسلوعلیا	گلستان	بجنورد	۳۷	پنو	گلستان	گالیکش
۲	تفین	کردستان	سروآباد	۲۰	گلی	خراسان شمالی	بجنورد	۳۸	قلعه قافه بالا	گلستان	مینودشت
۳	کیش گله بید	لرستان	الیگودرز	۲۱	عرب	خراسان شمالی	بجنورد	۳۹	حسین آباد کالیوش	سمنان	میامی
۴	قلعه رستم	لرستان	ازنا	۲۲	قلعه شبان	خراسان شمالی	بجنورد	۴۰	چراغ آباد	لرستان	دلفان
۵	چال پره	لرستان	الیگودرز	۲۳	سرانی	خراسان شمالی	شیروان	۴۱	پسیل	لرستان	خرم آباد
۶	موباه	لرستان	الیگودرز	۲۴	دارتوت	ایلام	ایلام	۴۲	کاظم آباد	لرستان	الیگودرز
۷	قرناوه علیا	گلستان	مراوه تپه	۲۵	راه سفید	ایلام	ایلام	۴۳	بیوند سقلی	کرمانشاه	جوانرود
۸	آزداران	گلستان	مینودشت	۲۶	گل حیدر	همدان	نهایوند	۴۴	زور	کرمانشاه	گیلانغرب
۹	کشکک	گلستان	رامیان	۲۷	برقیان	همدان	تویسرکان	۴۵	گلیباغی	کرمانشاه	جوانرود
۱۰	خاک پیرزن	گلستان	علی آباد	۲۸	ده حیدر	همدان	نهایوند	۴۶	چشمه گذار	کرمانشاه	جوانرود
۱۱	آبیدک	چهارمحال و بختیاری	لردگان	۲۹	منارجان	چهارمحال و بختیاری	لردگان	۴۷	دره شیخ عالی	چهارمحال و بختیاری	کوهرنک
۱۲	امام عبدالله	گلستان	مینودشت	۳۰	مله خان	لرستان	دلفان	۴۸	نراب	گلستان	آزادشهر
۱۳	بلمجرک	گلستان	مینودشت	۳۱	ازارسی	مازندران	بابل	۴۹	دم باغ	لرستان	دلفان
۱۴	کفچرین	آذربایجان غربی	خوی	۳۲	خانقاه	آذربایجان شرقی	میانه	۵۰	خویه	چهارمحال و بختیاری	کوهرنک
۱۵	گرماوله علیا	لرستان	خرم آباد	۳۳	آرکا	مازندران	بابل	۵۱	کمرپشت	مازندران	سوادکوه
۱۶	دولت آباد	لرستان	خرم آباد	۳۴	سی پی	مازندران	سوادکوه	۵۲	هلول	کرمانشاه	ثلاث باباجانی
۱۷	گنجعلی پایین	لرستان	کوهدهشت	۳۵	استخرسر	مازندران	سوادکوه	۵۳	دومانی	گلستان	کالاله
۱۸	طالقان	لرستان	خرم آباد	۳۶	ممشی	مازندران	سوادکوه				

زمین شناسی

زمین لغزش های رخ داده در روستاهای ذکر شده در بالا باتوجه به مشاهدات میدانی و نقشه های زمین شناسی موجود، عمدتاً در آبرفت های درشت دانه و ریزدانه کوهپایه ای، واریزه ها، خاک های رسی – سیلتی، رس های ماسه ای، مارن ها، شن یا ماسه رسی، رس های شنی، رس های ماسه ای، رس و خاک نباتی، لس، پادگانه های آبرفتی، خاک های رسی با سیمان آهکی، خاک های بادرفتی – رسی رخ داده است. سنگ کف در محل لغزش های روستاهای مورد بررسی عمدتاً شامل کنگلومرا، ماسه سنگ و گلسنگ، سنگ آهک، سنگ آهک ضخیم لایه، اسلیت و فلیت ضعیف، آهک، ماسه سنگ، آهک های شیلی، شیل ذغالدار، مارن، شیل، آهک های مارنی، گلسنگ، شیل های آهکی، تناوب مارن و شیل، ماسه سنگ آهکی، توالی گچ و مارن با میانلایه های ماسه سنگی بوده است.

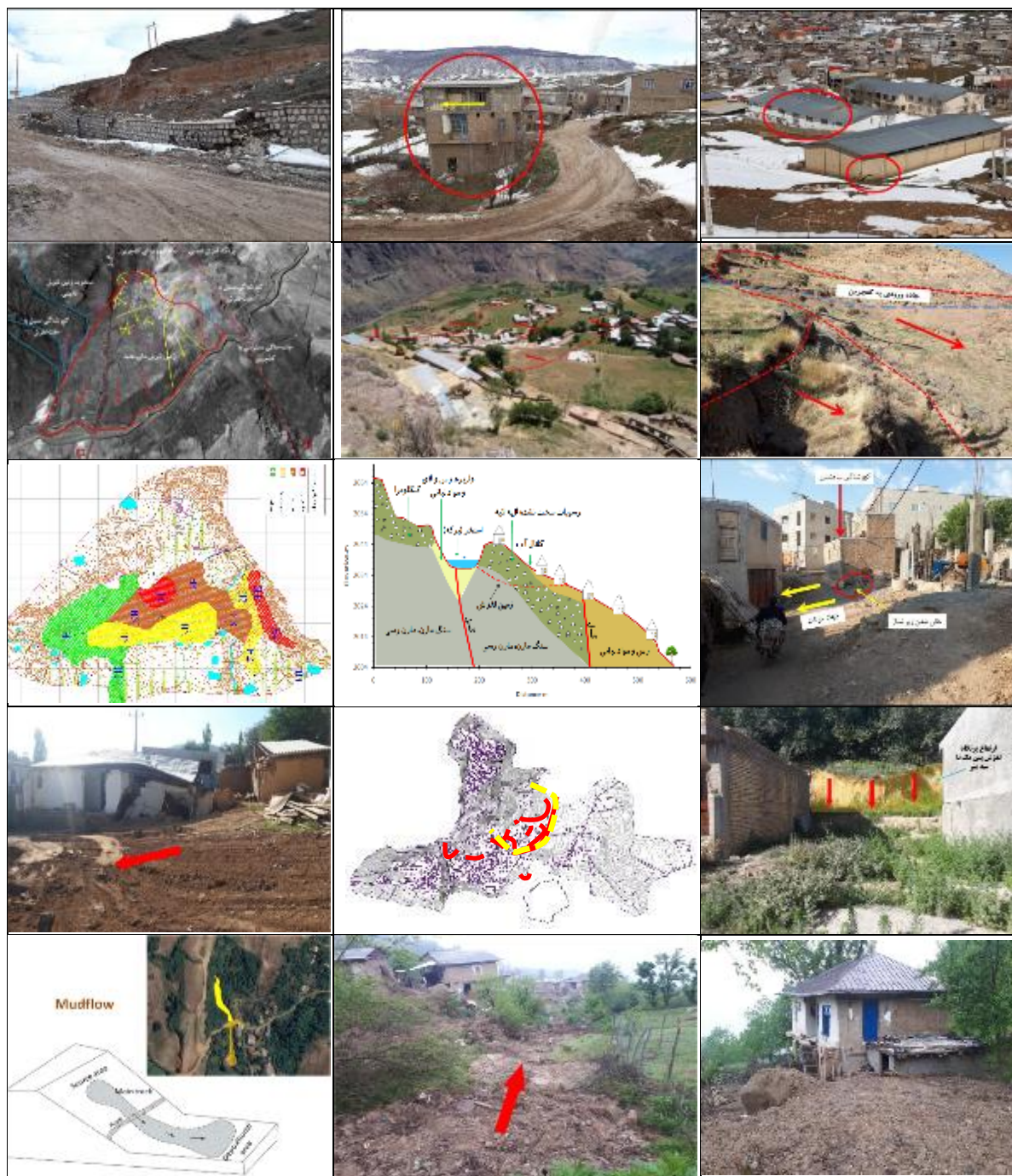
یافته های پژوهش:

۱- معرفی زمین لغزش های رخ داده

۱-۱- زمین لغزش های رخ داده در پهنه کپه داغ و البرز

از زمین لغزش های مورد بررسی در این پژوهش، تعداد ۲۳ مورد زمین لغزش در پهنه کپه داغ و البرز رخ داده است. این زمین لغزش ها عبارتند از زمین لغزش های رخ داده در محدوده روستاهای کشکک، خاک پیرزن، آزاداران، قرناوه علیا، امام عبدالله، بلمجرک، کفچرین، نرگسلوعلیا، گلی، عرب، قلعه شبان، سرانی، ازارسی، خانقاه، ارکا، سی پی، استخرسر، ممشی، پنو، قلعه قافه بالا، حسین آباد کالیوش، نراب، کمرپشت و دومانلی در استان های خراسان شمالی، گلستان، مازندران،

سمنان، آذربایجان شرقی و غربی می باشد. در شکل های ۴، ۵، ۶ و ۷ نمایی از برخی زمین لغزش های فوق نشان داده شده است.





شکل شماره ۴: ردیف ۱: زمین لغزش حسین آباد کالپوش، ردیف ۲: زمین لغزش کفچرین، ردیف ۳: زمین لغزش خانقاه، ردیف ۴: زمین لغزش قلعه قافه بالا، ردیف ۵: زمین لغزش آزداران و ردیف ۶: زمین لغزش بلمجرک، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها





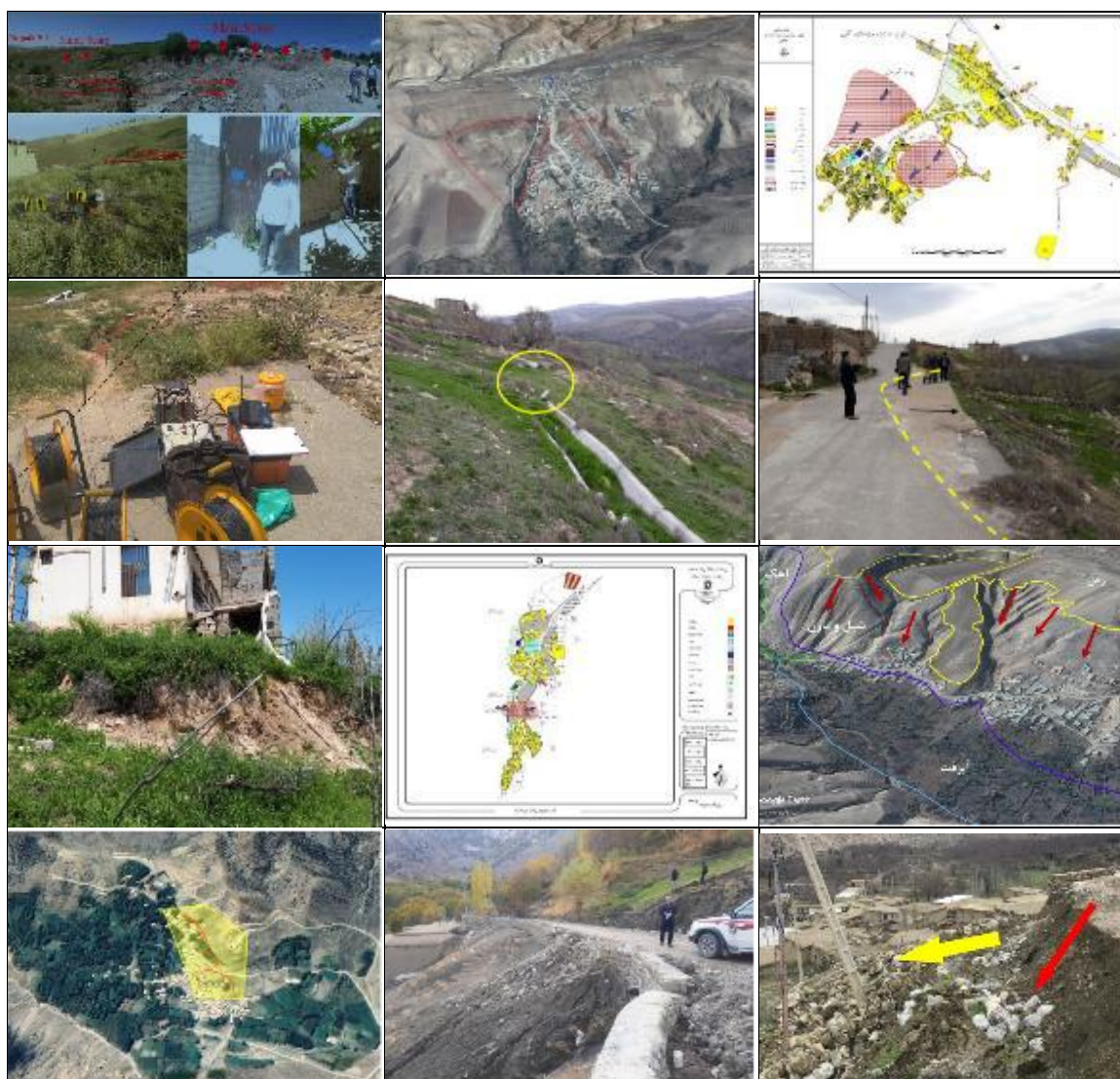
شکل شماره ۵: ردیف ۱: زمین لغزش امام عبدالله، ردیف ۲: زمین لغزش دومانلی، ردیف ۳: زمین لغزش قرناوه علیا، ردیف ۴: زمین لغزش خاک پیرزن، ردیف ۵: زمین لغزش نراب و ردیف ۶: زمین لغزش پنو، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها





شکل شماره ۶: ردیف ۱: زمین لغزش کشکک، ردیف ۲: زمین لغزش کمربشت، ردیف ۳: زمین لغزش سی پی، ردیف ۴: زمین لغزش ممشی، ردیف ۵: زمین لغزش استخرسر و ردیف ۶: زمین لغزش ازارسی، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها





۱-۲- زمین لغزش های رخ داده در پهنه زاگرس

از زمین لغزش های مورد بررسی در این پژوهش، تعداد ۳۰ مورد زمین لغزش در پهنه زاگرس رخ داده است. این زمین لغزش ها عبارتند از زمین لغزش های رخ داده در محدوده روستاهای سورین، تفین، کیش گله بید، قلعه رستم، چال پره، موباه، آبیدک، کفچرین، گرماوله علیا، دولت آباد، گنجعلی پایین، طالقان، دارتوت، راه سفید، گل حیدر، برفیان، ده حیدر، منارجان، مله خان، چراغ آباد، پسیل، کاظم آباد، بیوند سفلی، زرور، گلباغی، چشمه گدار، دره شیخ عالی، دم باغ، خویه و هلول در استان های لرستان، کرمانشاه، چهارمحال و بختیاری، ایلام و همدان می باشد. در شکل های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نمایی از برخی زمین لغزش های فوق نشان داده شده است.



شکل شماره ۸: ردیف ۱: زمین لغزش قلعه رستم، ردیف ۲: زمین لغزش گنجعلی پایین، ردیف ۳: زمین لغزش چال پره، ردیف ۴: زمین لغزش کیش گله بید، ردیف ۵: زمین لغزش موباه و ردیف ۶: زمین لغزش گرماوله علیا، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها



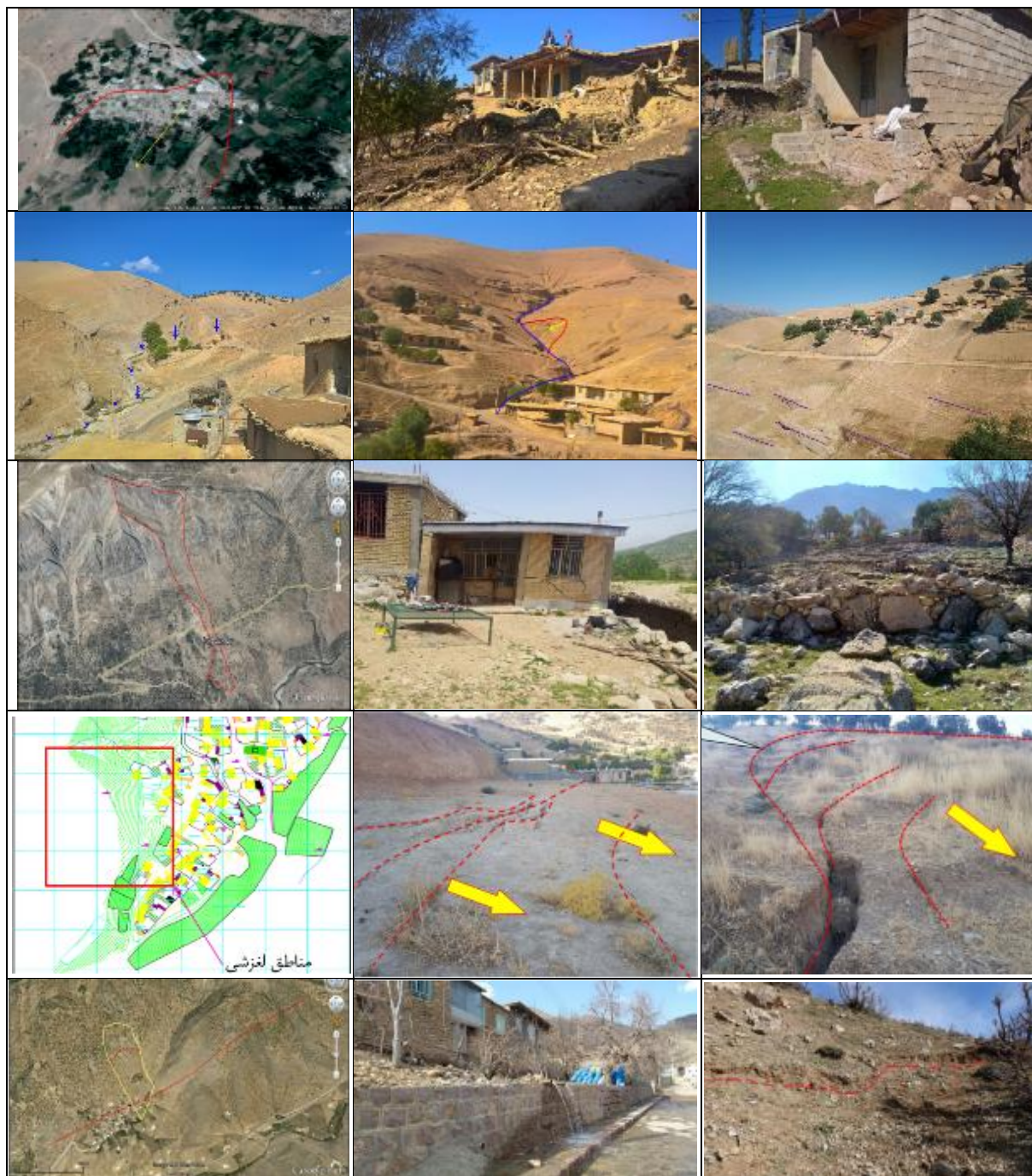
شکل شماره ۹: ردیف ۱: زمین لغزش دولت آباد، ردیف ۲: زمین لغزش طالقان، ردیف ۳: زمین لغزش پسیل، ردیف ۴: زمین لغزش

چراغ آباد، ردیف ۵: زمین لغزش دمیباغ و ردیف ۶: زمین لغزش مله خان، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها



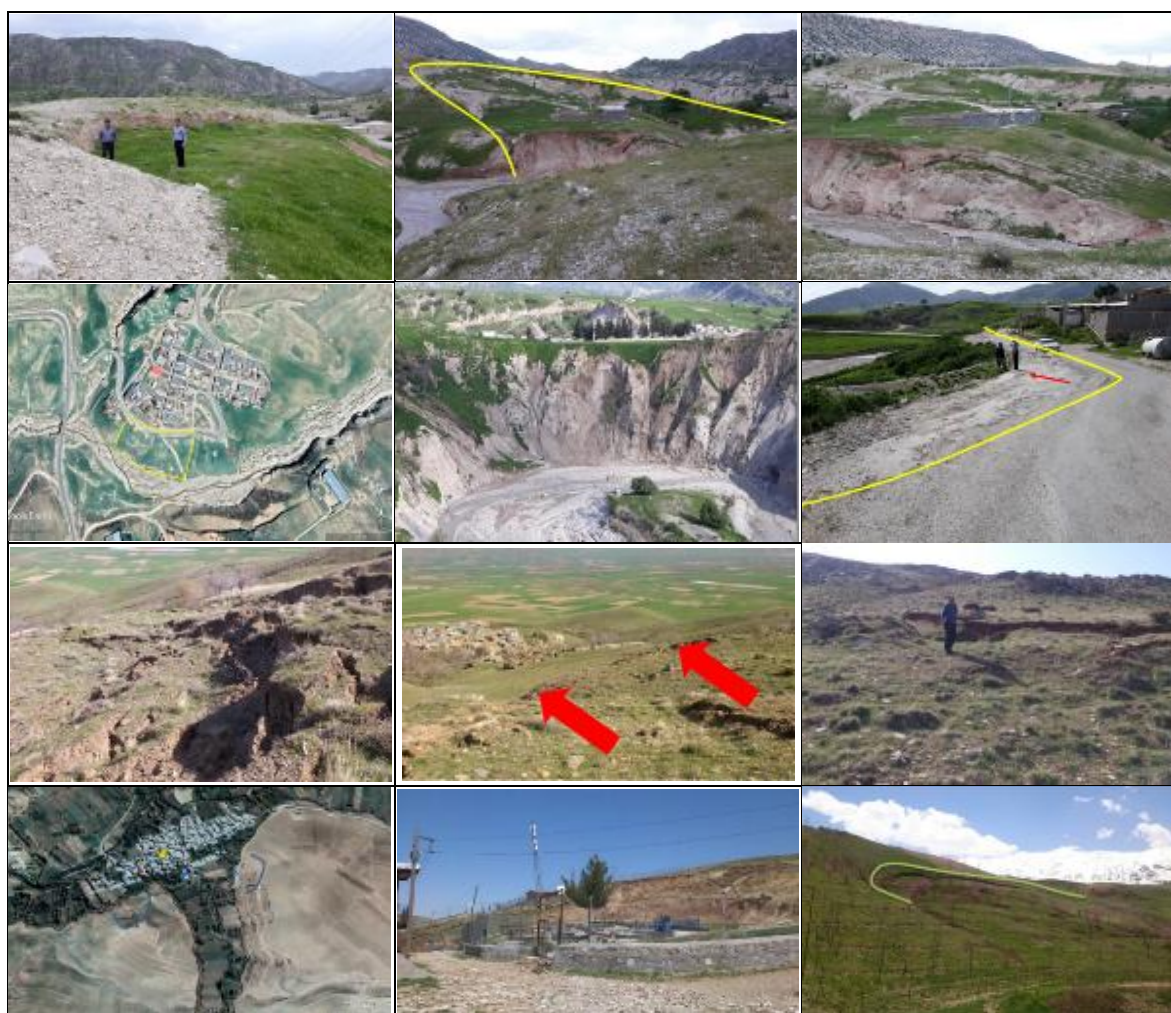
شکل شماره ۱۰: ردیف ۱: زمین لغزش کاظم آباد، ردیف ۲: زمین لغزش زورور، ردیف ۳: زمین لغزش گلباغی، ردیف ۴: زمین لغزش چشمه گذار، ردیف ۵: زمین لغزش بیوند سفلی و ردیف ۶: زمین لغزش منارجان، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و

گزارش بازدید اولیه روستاها





شکل شماره ۱۱: ردیف ۱: زمین لغزش خویه، ردیف ۲: زمین لغزش آبدک، ردیف ۳: زمین لغزش دره شیخ عالی، ردیف ۴: زمین لغزش هلول، ردیف ۵: زمین لغزش نراب و ردیف ۶: زمین لغزش پنو، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها





شکل شماره ۱۲: ردیف ۱: زمین لغزش دارتوت، ردیف ۲: زمین لغزش راه سفید، ردیف ۳: زمین لغزش برفیان، ردیف ۴: زمین لغزش ده حیدر، ردیف ۵: زمین لغزش گل حیدر، برگرفته از گزارش پایدارسازی زمین لغزش ها و گزارش بازدید اولیه روستاها

۲- وضعیت آب زیرزمینی در زمین لغزش های مورد بررسی

از تعداد ۵۳ زمین لغزش بررسی شده و براساس نتایج حفاری ها و لاگ گمانه های حفر شده، در گمانه های حفر شده در محدوده زمین لغزش در ۲۵ زمین لغزش رخ داده سطح تراز آب زیرزمینی مشاهده گردیده و در گمانه های حفر شده ۲۸ مورد زمین لغزش آب زیرزمینی مشاهده نشده است که در جدول شماره ۲ نتایج مشاهدات آب زیرزمینی به اختصار نشان داده شده است.

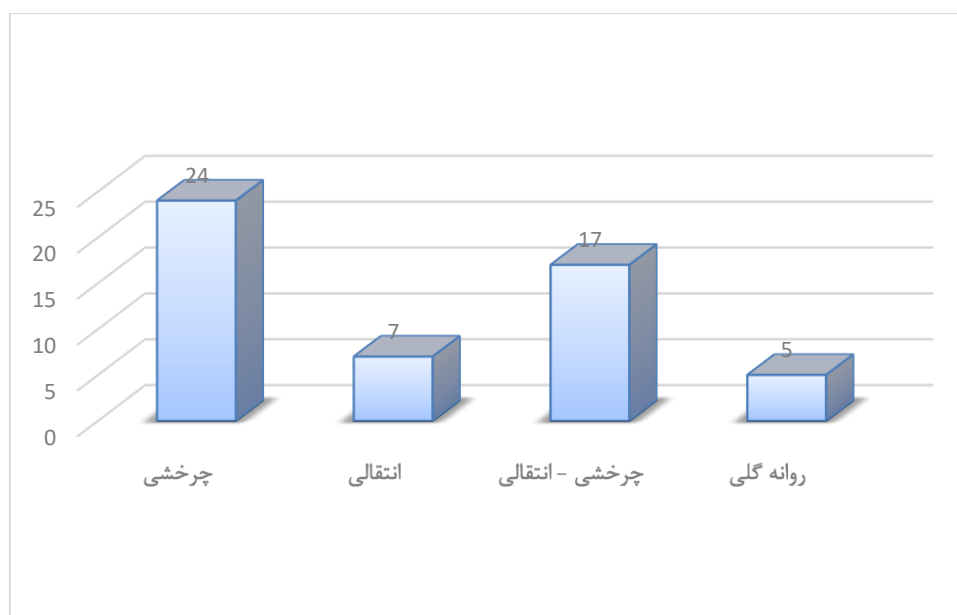
در زمین لغزش هایی که سطح آب در گمانه ها مشاهده شده است جنس توده لغزشی عمدتاً شامل خاک هوازده، مصالح لغزشی قدیمی، رس با خاک نباتی با زهکشی مناسب، خاک ریزدانه رسی به همراه شن و ماسه، خاک رسی ریزدانه به همراه گراول و تخته سنگ، توالی مارن و شیل سازند گورپی، مصالح درشت دانه با مقداری خاک ریزدانه رسی، مارن رس دار با میان لایه های آهک و ماسه بوده است. از تعداد ۲۳ زمین لغزش که دارای سطح آب زیرزمینی در گمانه های حفر شده بوده اند، ۱۵ مورد در پهنه زاگرس و ۱۰ مورد در پهنه کپه داغ و البرز بوده است. در زمین لغزش هایی که در گمانه های حفر شده در توده لغزشی سطح آب مشاهده نشده است، جنس توده لغزشی عمدتاً ریزدانه رس و سیلت با نفوذپذیری کم بوده است. در برخی از زمین لغزش ها علی رغم وجود خاک های با جنس خاک هوازده و ماسه ای و شنی، توپوگرافی موجود در محدوده زمین لغزش گونه ای بوده است که امکان تشکیل تراز آب زیرزمینی وجود نداشته و آب موجود در مصالح دامنه زهکشی شده و از توده خارج می گردد. تعداد ۱۴ مورد از زمین لغزش هایی که در گمانه های حفر شده در آنها سطح آب زیرزمین مشاهده نشده است در پهنه زاگرس و ۱۴ مورد دیگر در پهنه کپه داغ و البرز بوده است. عدم مشاهده سطح تراز آب زیرزمینی در گمانه های دلیل بر نبود آب در توده خاک لغزشی در هنگام رخداد زمین لغزش نیست. به این دلیل که در برخی زمین لغزش ها شرایط توپوگرافیکی محدوده لغزش منجر به زهکش شدن آب توده می گردد و در مدت زمانی که متناسب با نفوذپذیری توده است، کل آب موجود در توده لغزشی تخلیه گردیده است. عبارتی صرفنظر از شرایط جنس خاک و نفوذپذیری آن، شرایط توپوگرافی از باقی ماندن آب در توده خاک بصورت دراز مدت جلوگیری می کند. رخداد زمین لغزش در این محدوده ها، بدلیل شدت و مدت بارش زیاد و عدم جوابگویی سیستم زهکش طبیعی خاک برای تخلیه آب بوده که منجر به اشباع لحظه ای توده خاک گردیده و درنهایت زمین لغزش اتفاق افتاده است.

جدول شماره ۱: مشخصات آب زیرزمینی در زمین لغزش های رخ داده در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب

ردیف	نام زمین لغزش	مشاهده آب در گمانه	عمق متوسط سطح آب در گمانه	ردیف	نام روستا	مشاهده آب در گمانه	عمق متوسط سطح آب در گمانه	ردیف	نام روستا	مشاهده آب در گمانه	عمق متوسط سطح آب در گمانه
۱	سورین	ندارد	---	۱۹	نرگسلوعلیا	دارد	۷/۵	۳۷	پنو	دارد	۵
۲	تفین	دارد	۳/۵	۲۰	گلی	دارد	۶	۳۸	قلعه قافه بالا	ندارد	---
۳	کیش گله بید	دارد	۳	۲۱	عرب	دارد	۲	۳۹	حسین آباد کالیوش	دارد	متغیر
۴	قلعه رستم	دارد	۴	۲۲	قلعه شبان	دارد	۸	۴۰	چراغ آباد	دارد	۵
۵	چال پره	ندارد	---	۲۳	سرانی	دارد	۶	۴۱	پسیل	دارد	۱۴
۶	موباه	ندارد	---	۲۴	دارتوت	ندارد	---	۴۲	کاظم آباد	ندارد	---
۷	قرناوه علیا	ندارد	---	۲۵	راه سفید	ندارد	---	۴۳	بیوند سفلی	دارد	۷
۸	آزداران	ندارد	---	۲۶	گل حیدر	ندارد	---	۴۴	زرور	ندارد	---
۹	کشکک	ندارد	---	۲۷	برقیان	ندارد	---	۴۵	گلباغی	دارد	۹
۱۰	خاک پیرزن	ندارد	---	۲۸	ده حیدر	دارد	۱۱/۸	۴۶	چشمه گذار	دارد	۱۴/۵
۱۱	آبیدک	ندارد	---	۲۹	منارجان	ندارد	---	۴۷	دره شیخ عالی	دارد	۱۵
۱۲	امام عبدالله	ندارد	---	۳۰	مله خان	دارد	۱۴/۵	۴۸	نراب	ندارد	---
۱۳	بلمجرک	ندارد	---	۳۱	ازارسی	دارد	۱۰/۵	۴۹	دم باغ	دارد	۵/۵
۱۴	کفچرین	دارد	۱۲	۳۲	خانقاه	دارد	متغیر	۵۰	خویه	ندارد	---
۱۵	گرماوله علیا	دارد	۸	۳۳	آرکا	ندارد	---	۵۱	کمرپشت	ندارد	---
۱۶	دولت آباد	ندارد	---	۳۴	سی پی	ندارد	---	۵۲	هلول	دارد	۱۱
۱۷	گنجعلی پایین	ندارد	---	۳۵	استخرسر	ندارد	---	۵۳	دومانلی	ندارد	---
۱۸	طالقان	دارد	۵	۳۶	ممشی	ندارد	---	---	---	---	---

۴- نوع حرکت در زمین لغزش های مورد بررسی

باتوجه به بررسی های بعمل آمده و مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل حفاری های ژئوتکنیکی و برداشت های ژئوفیزیکی انجام شده در محدوده زمین لغزش های مورد مطالعه، نوع حرکت در زمین لغزش ها به چهار دسته چرخشی، انتقالی، چرخشی - انتقالی و روانه گلی تقسیم شده است. از تعداد ۵۳ مورد زمین لغزش بررسی شده، تعداد ۷ مورد زمین لغزش دارای حرکت انتقالی، تعداد ۲۴ مورد زمین لغزش دارای حرکت چرخشی، تعداد ۱۷ مورد زمین لغزش دارای حرکت چرخشی - انتقالی داشته و ۵ مورد نیز بصورت روانه گلی بوده است.



شکل شماره ۱۳: نمودار نوع حرکت در زمین لغزش های رخ داده

نتیجه گیری

رخدادهای زمین لغزش در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ پس از وقوع سیلاب در بسیاری از استان های کشور از جمله خراسان شمالی، گلستان، سمنان، مازندران، گیلان، همدان، لرستان، کردستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی و غربی، زنجان صورت گرفت.

باتوجه به تعداد زیاد رخداد زمین لغزش در مناطق روستایی کشور، رویکرد و دیدگاه جابجایی به مکان دیگر و فرار از زمین لغزش تغییر کرده و رویکرد پایدارسازی زمین لغزش های رخ داده و درجاسازی جایگزین گردید. لذا تثبیت و پایدارسازی تعداد زیادی از زمین لغزش های رخ داده در اواخر سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸ در دستور کار دستگاه های اجرایی مسئول قرار گرفت. باتوجه به نتایج بررسی ها و داده های بدست آمده از حفاریها و مشاهدات صحرایی، در زمین لغزش هایی که در گمانه های حفر شده سطح آب مشاهده نشده است، علت آن جنس زمین و شرایط توپوگرافی محدوده لغزش می باشد. در این زمین لغزش ها شرایط توپوگرافی امکان شکل گیری آب زیرزمینی را نداده و تخلیه و زهکشی آب توده متاثر از شیب توپوگرافی صورت می گیرد. از طرفی نیز توده خاک دارای زهکشی ضعیف است که دلیل آن بخاطر جنس زمین عمدتاً ریزدانه است. لذا در هنگام رخداد بارندگی شدید و طولانی مدت اواخر سال ۱۳۹۷ و اوایل سال ۱۳۹۸، توده خاک به دلیل عدم زهکشی مناسب، به حالت اشباع کامل رسیده و دامنه ها ناپایدار گردیده و منجر به رخداد زمین لغزش ها شده است. در تعدادی از این موارد میزان بارش زیاد و جنس خاک ریزدانه و عدم وجود زهکشی در توده خاک، باعث رخداد روانه گلی شده است که در روستاهای امام عبدالله، فرناوه علیا، پنو، بیوند سفلی و آزاداران این نوع حرکت رخ داده است. البته در برخی زمین لغزش ها جنس خاک درشت دانه و مصالح لغزش قدیمی نیز مشاهده شده که دارای زهکشی مناسبی در حالت عادی می باشد، ولی در هنگام بارش های فوق الذکر، میزان زهکشی توده جوابگوی آب های نفوذ کرده به توده نبوده و منجر به اشباع توده خاک و حرکت دامنه ای شده است. در زمین لغزش هایی که سطح آب زیرزمینی در گمانه های حفر شده در آنها مشاهده گردیده است، شرایط توپوگرافی منجر به تخلیه آب زیرزمینی نشده و در گمانه ها سطح آب مشاهده شده است. لازم به توضیح است حفر گمانه ها در محدوده زمین لغزش های رخداد در بازه زمانی یک

الی پنج ماهه بعد از رخداد زمین لغزش بوده است. لذا شرایط آب زیرزمینی با قضاوت مهندسی و مشاهدات صحرایی برای زمان رخداد زمین لغزش ها، تعیین و تفسیر شده است. در زمین لغزش هایی که در گمانه های حفر شده در آن ها سطح آب زیرزمینی مشاهده شده است، واجد هر دو مصالح ریزدانه (با زهکشی نامناسب) و درشت دانه (با زهکشی مناسب) بوده اند و شرایط ناپایداری و حرکت توده خاک ناشی از بالا رفتن سطح آب زیرزمینی و ایجاد شرایط ناپایداری دامنه بوده است. بطوری که در تحلیل های ناپایداری انجام شده با بالارفتن سطح آب زیرزمینی شرایط دامنه ناپایدار می گردد، که در نهایت برای تثبیت و پایدارسازی این نوع زمین لغزش ها گزینه طراحی زهکش های سطحی و زیرسطحی مدنظر قرار گرفته است که منجر به پایین انداختن سطح آب زیرزمینی و پایداری دامنه ها می گردد. باتوجه به مشاهدات صحرایی هنگام رخداد زمین لغزش ها و مشاهدات سطح تراز آب زیرزمینی در گمانه های حفر شده، در ۲۸ مورد از زمین لغزش ها، بدلیل بارش های با شدت - مدت زیاد اشباع لحظه ای توده خاک شکل گرفته و منجر به رخداد زمین لغزش شده است، که در ۵ مورد این حرکات دامنه ای بصورت گل روانه اتفاق افتاده است. در ۲۵ مورد از زمین لغزش ها که گمانه های حفر شده در محل توده خاک لغزشی، سطح آب مشاهده گردیده بود، بالا آمدن سطح تراز آب زیرزمینی (ناشی از بارش های با شدت - مدت زیاد و نفوذ آب آن به داخل توده) باعث ناپایداری دامنه و رخداد زمین لغزش شده است. با مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش های رخ داده در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش کشور که توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است، مشخص گردید که تعداد زیادی از این زمین لغزش ها در پهنه با خطر متوسط قرار گرفته است که نشان دهنده تحریک فعالیت زمین لغزش ها بوسیله بالا آمدن سطح آب زیرزمینی بوده است.

سیاسگذاری

بدینوسیله از پژوهشکده سوانح طبیعی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ادارات کل بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان های گلستان، ایلام، خراسان شمالی، لرستان، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، همدان، کرمانشاه، سمنان، چهارمحال و بختیاری و مازندران که در انجام این پژوهش مساعدت و همکاری نمودند، صمیمانه تقدیر و تشکر می گردد.

منابع:

- افشاری، ا.، قهرودی تالی، م.، صدوق، ح.، احتشامی معین آبادی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی ناپایداری دامنه ها در ناحیه راه آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (Dinsar)، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی. سال هشتم، شماره ۳، صفحات ۱۸۳-۲۰۲.
- بلالی، ف.، وهابزاده، ق.، پورقاسمی، ح.ر.، فروزانفر، م. ۱۳۹۵. پهنه بندی استعداد زمین لغزش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز نکارود، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد نهم، شماره ۳ و ۴، صفحات ۱۹-۳۰).
- بهاروند، س.، سوری، س.، رهنماد، ج.، جودکی، م. ۱۳۹۷. تحلیل فعالیت زمین ساختی و ارتباط خطواره ها با خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه وارک، لرستان)، نشریه زمین شناسی مهندسی، سال ۱۲، شماره ۲، صفحات ۲۳۷-۲۵۸.
- پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۹۸، گزارش بازدید از زمین لغزش های رخ داده در استان های کشور.
- پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۹۸، گزارش پایدارسازی زمین لغزش های رخ داده در استان های کشور.
- ستایشی راد، م.ر.، نیکودل، م.ر.، ارومیه ای، ع. ۱۳۸۹، بررسی خطر زمین لغزش به روش AHP در ساحل دریای خزر، محدوده نوشهر تا رامسر، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایرن، جلد ۳، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱-۱۴.
- سوری، س.، لشکری پور، غ.، غفوری، م.، فرهادی، ط. ۱۳۹۲، اولویت بندی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کشوری)، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد ششم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱-۱۲.
- شریعت جعفری، محسن. ۱۳۷۶. زمین لغزش، انتشارات سازه. تهران.
- شریعت جعفری، م. ۱۳۸۷، ارزیابی ریسک ویژه زمین لغزش در بخشی از البرز جنوبی. نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد اول، شماره ۳ و ۴، صفحات ۱-۱۴.
- شعاعی، ض. ۱۳۹۲، بررسی امکان استفاده از روش "دیرین ریخت شناسی" در ارزیابی و تدقیق روش های پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش ها، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۷ شماره ۲۱، صفحات ۲۹-۴۰.
- شهیدی، ف.، شعاعی، غ.، محمدی واوسری، م. ۱۳۹۴، بررسی سازوکار وقوع زمین لغزش گردنه صائین (جاده نیر- سراب) با نگرشی بر هیدرولوژی و شرایط ریخت شناسی منطقه، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد هشتم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱۳-۳۳.
- داوودی، م.ه.، احدی عالی، و. ۱۳۸۷، تثبیت زمین لغزش های خاکی با فن آوری SLS. نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد اول، شماره ۳ و ۴، صفحات ۲۵-۳۴.
- دهبان ایوان استخری، م.، غفوری، م.، لشکری پور، غ.، زارع صفت، م. سیار، ا. ۱۳۹۳، ارزیابی پتانسیل زمین لغزش در مخزن سد خاکی پلرود با رویکرد چند معیاره فازی، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد هفتم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱-۱۴.
- رحمانیان، م. ۱۳۹۲، طراحی و ساخت مدل فیزیکی شبیه سازی زمین لغزش با هدف ارزیابی توانایی روش های ژئوالکتریک در آشکار سازی هندسه زمین لغزش ها، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شیراز، <https://civilica.com/doc/181405>
- رمضانی، ع.، مشین چی اصل، م.س.، شریعت جعفری، م.، عباسی، م. ۱۳۸۸، طراحی وساخت مدل فیزیکی شبیه سازی زمین لغزش با هدف ارزیابی توانایی روش های ژئوالکتریک در آشکار سازی هندسه زمین لغزش ها، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد دوم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۴۷-۵۸.
- رمضی، ح. ر.، و مصطفائی، ک. ۱۳۹۱، ارائه آرایه جدید CRSP در برداشت های ژئوالکتریکی و مزایای استفاده از آن، اولین کنفرانس ملی فناوریهای معدنکاری ایران، یزد، <https://civilica.com/doc/191258>
- صبوری، س.م. ۱۴۰۲، بررسی ارتباط بین رخداد زمین لغزش با پهنه های گسلی در ایران، دو فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۹، شماره ۱ و ۲، صفحات ۸۰-۱۰۷.
- صبوری، س.م.، گرکانی س.ا. ح. ۱۴۰۳، آسیب شناسی جابه جایی سکونتگاه های روستایی با رویکرد کاهش آثار مخاطرات طبیعی در سایت های جدید روستاها، نشریه مسکن و محیط روستا، دوره ۴۳، شماره ۱۸۵، صفحات ۷۵-۹۲.
- طلائی، ر.، شریعت جعفری، م. ۱۳۸۷، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در جنوب غرب خلخال با استفاده از جداول توافقی و آزمون های آماری مربع کای، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد اول، شماره ۲، صفحات ۴۳-۶۲.
- غیور بلورفروشان، م.، حسین زاده، س.ر.، لشکری پور، غ.، مینائی، م.، مربی هروی، ح. ۱۴۰۲، ارزیابی عملکرد بارش سنگین در فعال شدن مجدد پالئولنداسلاید روستای حسین آباد کالپوش، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال یازدهم، شماره ۴، صفحات ۲۲-۳۸.
- فاطمی عقدا، س. م.، مهدوی فر، م. ر.، باقری، و. ۱۳۹۳، پهنه بندی زمین لغزش های سریع ناشی از زلزله ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ با استفاده از روش کیفی، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد هشتم، شماره ۳، صفحات ۲۳۰۱-۲۳۲۸.
- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۲، ارزیابی کارایی روش های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش، فصلنامه علمی علوم زمین، سال یازدهم، شماره ۴۷-۴۸، صفحات ۲۸-۴۷.
- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه لب، م.، اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۴، بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و یکم، شماره ۱، صفحات ۴۳-۶۴.

- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، عطائی، ا.، داودی، م. ه.، نوروزی، ع. ا. ۱۳۸۴، تعیین مناسب ترین روش کنترل زمین لغزش با استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم (DSS)، مطالعه موردی زمین لغزش "باریکان"، فصلنامه علمی علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۵۶، صفحات ۸۴-۹۳.
- فاطمی عقدا، م.، رهبر، م.، معجزی، م.، اسدالله فردی، غ. ۱۳۸۸، بررسی ویژگی های زمین شناسی محیطی و نقش آنها در وقوع زمین لغزش های اطراف سد لتیان، فصلنامه علمی علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۷۴، صفحات ۶۹-۷۶.
- فاطمی عقدا، س. م.، بهرامی، ک.، جمالی زاده، ح. ۱۳۹۵، بررسی مکانیسم تشکیل زمین لغزش در نهشته های لسی شمال استان گلستان، نهمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران.
- قبادی، م. ح.، بهزاد تبار، پ.، خدابخش، س.، ایزدی کیان، ل. ۱۳۹۳، مطالعه عوامل زمین شناسی موثر بر وقوع زمین لغزش های منطقه زمان آباد، جنوب شرق همدان، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد هفتم، شماره ۳ و ۴، صفحات ۱-۱۴.
- کرمانی، ا.، شعاعی، ض. ۱۳۸۹، پایش تغییرات غلظت کاتیون ها در آب های نشستی پای لغزش ها بمنظور استفاده در اعلام پیش هشدار گسیختگی شیب ها، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد سوم، شماره ۳ و ۴، صفحات ۱۳-۲۲.
- کیانی، ط.، هیراد، ن.، غفورپور عنبران، پ. ۱۳۹۹، بررسی ویژگی های زمین ساخت فعال در گستره رودبار با نگرش ویژه بر زمین لغزش های منطقه، نشریه تحلیلی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، صفحات ۶۵-۸۸.
- گرگانی، س. ا. ح.، بشیری، م. ۱۳۹۷، ملاحظات بر جابجایی سکونتگاه های روستایی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.
- محمدی، م.، مرادی، ح. ر.، فیض نیا، س.، پورقاسمی، ح. ر. ۱۳۸۸، اولویت بندی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز). فصلنامه علمی علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۴، صفحات ۲۷-۳۲.
- محمدی واوسری، م.، شعاعی، غ.، شهیدی، ف. ۱۳۹۲، تعیین آستانه شدت-مدت بارندگی به منظور پیش بینی زمین لغزش های کم عمق در حوضه آبریز رودخانه های تجن و نکارود (شرق مازندران)، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد هفتم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱۵-۲۸.
- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش کشور، ۱۳۹۸، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

- Donny, R.W., Hidayati, S., Muslim, D., and Sulaksana, N. (2015). Control morphology to the landslide Induced Earthquake: Case Study Padang Pariaman, Sumatra. 10th Asian Regional Conference of IAEG. doi: 10.13140/RG.2.1.4268.8487.
- Ehteshami-Moinabadi, M. Properties of fault zones and their influences on rainfall-induced landslides, examples from Alborz and Zagros ranges. *Environ Earth Sci* 81, 168 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10283-2>
- Haque U, Blum P, Da Silva PF, Andersen P, Pilz J, Chalov SR, Malet JP, Auflīč MJ, Andres N, Poyiadji E, Lamas PC (2016) Fatal landslides in Europe. *Landslides* 13(6):1545–1554. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0689-3>
- Lashkaripour G.R. and M. Nakhaei, Geoelectrical investigation for the assessment of groundwater conditions: a case study. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, VOL. 48, N. 6, December 2005. Q2
- Lin Q, Wang Y (2018) Spatial and temporal analysis of a fatal landslide inventory in China from 1950 to 2016. *Landslides* 15(12):2357–2372. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1037-6>
- Magdalena Vassileva, Mahdi Motagh, Sigrid Roessner, Zhuge Xia, 2023, Reactivation of an old landslide in north-central Iran following reservoir impoundment: Results from multisensor satellite time-series analysis, *Engineering Geology*, Volume 327, ISSN 0013-7952, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107337>.
- Petley D (2012) Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40(10):927–930. <https://doi.org/10.1130/G33217.1>
- Soeters R, Van Westen CJ (1996) Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides* 247:129–177
- Zhang F, Huang X (2018) Trend and spatiotemporal distribution of fatal landslides triggered by non-seismic effects in China. *Landslides* 15(8):1663–1674. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1007-z>
- Vassileva, M., Motagh, M., Roessner, S., and Akbari, B.: Evolution analysis of the April 2019 Hoseynabad-e Kalpush landslide in Iran inferred from multi-sensor satellite remote sensing and in-situ measurements, *EGU General Assembly 2022*, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-10402, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-10402>, 2022.