

بررسی ارتباط بین رخداد زمین لغزش با پهنه های گسلی در ایران

سعید محمد صبوری*؛ استادیار زمین شناسی، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۱

چکیده

نحوه تاثیر پهنه های گسلی و فعالیت تکتونیکی بر رخداد زمین لغزش ها و ارتباط بین آنها را می توان از طریق بررسی چگالی رخداد زمین لغزش در پهنه گسلی و حریم آنها و تاثیر فعالیت تکتونیکی بر رخداد زمین لغزش ارزیابی نمود. تاثیر فعالیت تکتونیکی به وسیله رخداد زمین لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالا آمدگی های تکتونیکی، ایجاد شرایط و مصالح مستعد زمین لغزش از طریق ایجاد و توسعه شکستگی ها و خردشدگی های ناشی از گسلش، ایجاد درزه و شکاف در سنگ ها و تسریع فرایند هوازگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گورژ و برش گسلی؛ افزایش نفوذپذیری سنگها، تغییر در میزان و جهت شیب لایه های زمین شناسی و توپوگرافی است. در این پژوهش با مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش های رخ داده شناسایی شده در کشور با گسل های فعال و میزان شیب محل رخداد زمین لغزش ها، مشاهدات و بررسی های میدانی سه نمونه زمین لغزش در منطقه زاگرس، آذربایجان و البرز به منظور شناخت تاثیر فعالیت گسلی در ایجاد مصالح مستعد زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه مشخص گردید که در محدوده نزدیک گسل های فعال تراکم رخداد زمین لغزش های شناسایی شده به میزان ۶۵ درصد بیشتر مناطق دور از گسل است و درصد بالایی از زمین لغزش ها در شیب های بالاتر از ۱۵ درجه رخ داده که ناشی از افزایش میزان شیب و برخاستگی کوه ها تحت تاثیر فعالیت تکتونیکی است. همچنین در بررسی میدانی زمین لغزش های قلعه رستم در منطقه زاگرس، زمین لغزش کفچرین در منطقه آذربایجان و زمین لغزش قلعه قافه بالا در منطقه البرز شرقی مشخص گردید که فعالیت گسل ها باعث ایجاد شکستگی، خردشدگی، افزایش نفوذپذیری، تغییرات در شیب و لایه بندی سنگ ها و از همه مهمتر باعث ایجاد مصالح مستعد زمین لغزش شده است.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، قلعه رستم، کفچرین، قلعه قافه بالا، گسل فعال.

* رایانامه نویسنده مسئول: saedsabouri@yahoo.com

مقدمه

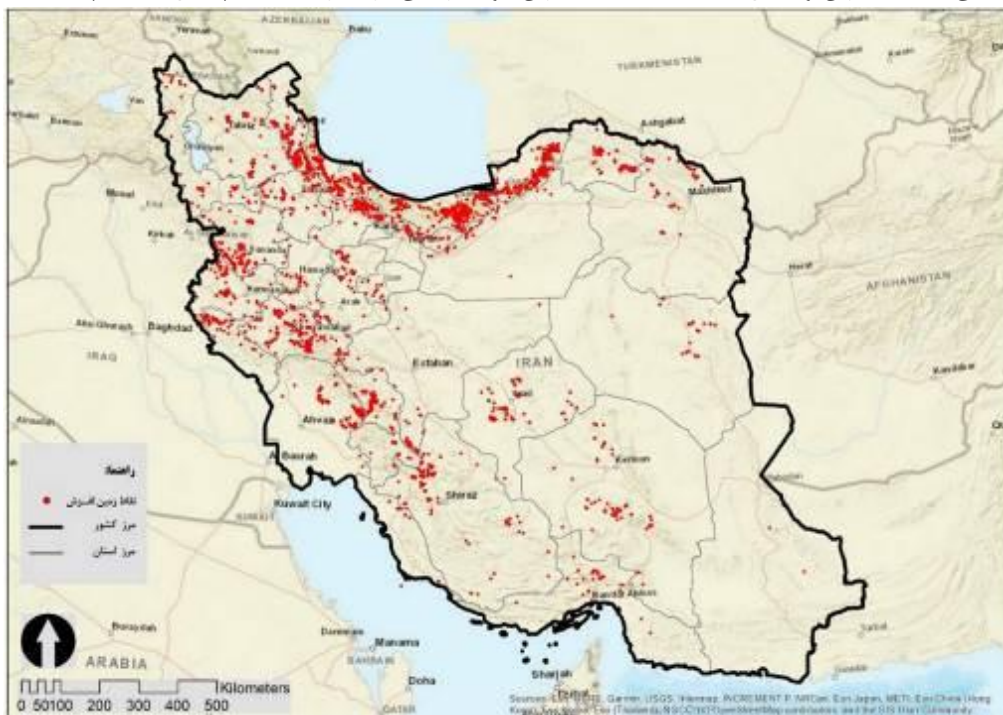
حرکت های توده‌ای شامل همه حرکت‌هایی است که تحت تاثیر وزن توده حادث می شوند. زمین لغزش عبارت است از لغزش زمین در جهت شیب و یا سقوط یک توده سنگی و یا مخلوطی از خاک و سنگ (شریعت جعفری، ۱۳۷۶). زمین لغزش یکی از مخاطرات بزرگ زمین شناسی با تلفات جانی و خسارات اقتصادی قابل توجه در مناطق کوهستانی جهان است (پتلی، ۲۰۱۲؛ هاگو و همکاران، ۲۰۱۶؛ فرود و پتلی، ۲۰۱۸). عوامل بسیار زیادی در وقوع زمین لغزش دخالت دارند که یکی از مهمترین آنها فعالیت تکتونیکی است که شامل رخداد زلزله، گسل-های منفرد، گسل‌های فعال، شکستگی‌ها، چین خوردگی‌ها و خردشدگی‌ها است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸). 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 حالی که 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). صبوری و همکاران (۱۴۰۰) در زمینه ارتباط زمین‌ساخت فعال و رخداد زمین لغزش به بررسی زمین لغزش‌های رخداد در محدوده بین قزوین تا کرج پرداختند و نشان دادند که در محدوده گسل‌ها میزان تراکم رخدادهای زمین لغزش بالاتر از مناطق دور از گسل‌ها است. احتشامی معین‌آبادی (۲۰۲۲) فرایندهای پهنه‌گسلی کنترل‌کننده زمین لغزش‌های مرتبط با بارش را به سه دسته تقسیم نموده است که عبارتند از ۱- افزایش تراکم شکستگی‌ها در نزدیکی گسل‌های اصلی که باعث افزایش مقدار واریزه‌ها و کاهش استحکام سنگ‌ها می‌شود. ۲- افزایش کانی‌های با مقاومت کم در مناطق گسلی که عمدتاً کانی‌های رسی هستند و ۳- ساختارهای توپوگرافیکی ایجاد شده توسط گسل فعال. لذا بررسی ارتباط گسل‌های فعال با رخداد لغزش‌ها و چگونگی تاثیر زون‌های گسلی بر رخداد و فراوانی زمین لغزش‌ها می‌تواند در شناخت محل‌های دارای پتانسیل رخداد زمین لغزش موثر بوده و از طریق مدیریت مکانیابی استقرار سکونتگاه‌ها، تاسیسات، شریان‌های حیاتی و ... باعث کاهش اثرات و خسارات زیانبار رخداد زمین لغزش بر جوامع و سکونتگاه‌ها گردد. الحمدونی و همکاران (۲۰۰۸) در زمینه بررسی زمین‌ساخت فعال و ارتباط زمین لغزش با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و شاخص نسبی فعالیت زمین‌ساختی، زمین‌ساخت فعال جنوب اسپانیا را طبقه‌بندی نموده و مناطق فعال آن را مشخص کردند. سانچز و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی ارتباط بین تکتونیک فعال و زمین لغزش و تغییرات آب‌وهوایی در جنوب غربی آلپ پرداختند و رخداد زمین لغزش‌ها را با تکتونیک فعال منطقه بررسی نمودند. صبوری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی حریم گسیختگی گسل شمال قزوین پرداختند و با استفاده از مشاهدات میدانی و شواهد زون خرد شده گسلی، پهنای زون گسیختگی گسل شمال قزوین را تعیین نمودند. دانی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی نقش عوامل مورفولوژیکی و ساختاری در زمین لغزش‌هایی که در پی زلزله منطقه پادنگ در سوماترای غربی در سال ۲۰۰۹ اتفاق افتاد پرداختند و نتایج حاصله حاکی از آن بوده است که زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با فعالیت متوسط تکتونیکی بوده است.

شارما و سارما (۲۰۱۷) به تحلیل مورفوتکتونیک قسمت‌هایی از شمال هندوستان پرداختند و نشان دادند که منطقه از نظر تکتونیک نسبتاً فعال است. شریفی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی ارتباط تکتونیک فعال و پهنه-های لغزشی در قالب شاخص‌های مربوطه پهنه‌بندی تکتونیک را ارائه نمودند. عزتی و آق‌آتابای (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک به تحلیل زمین‌ساخت حوضه فعال بجنورد پرداختند. آنها با استفاده از شاخص‌های مختلف نشان دادند که بخش شرقی حوضه تکتونیک فعال تری دارد. حبیبی (۱۳۹۴) برای بررسی زمین‌لغزش‌های رخداده و ارتباط آن با وضعیت تکتونیک در حوضه‌های ایذه، مرغاب، دشت ملک، صیدون، دالون-میداوود، جایزان و بهبهان در استان خوزستان از شاخص‌های مورفوتکتونیک استفاده کرده و فعالیت بالای تکتونیک منطقه را نشان داده است. بهاروند و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ارتباط تکتونیک فعال و زمین‌لغزش‌ها در حوضه وارک لرستان پرداختند و نشان دادند که ارتباط نزدیکی بین خطواره‌های گسلی و رخداد زمین‌لغزش‌ها وجود دارد. افشاری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی کاربردهای شاخص‌های مورفوتکتونیک در تحلیل مخاطرات زمین‌لغزش در محدوده راه آهن لرستان پرداختند و نشان دادند که بیش از ۸۰ درصد زمین-لغزش‌های رخداده در بین ایستگاه دورود تا تنگ‌هفت، در محدوده تکتونیک با فعالیت زیاد تا نسبتاً زیاد واقع شده است و تاثیر زمین‌ساخت بر فراوانی رخداد زمین‌لغزش در این منطقه را اثبات نمودند. کیانی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی زمین‌ساخت فعال در محدوده رودبار با تکیه بر زمین‌لغزش‌ها پرداختند و نشان دادند که زمین‌لغزش‌های شناسایی و بررسی شده در محدوده‌های تکتونیک با فعالیت متوسط و بالا قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که در بالا بیان گردید ارتباط بین رخداد زمین‌لغزش و فراوانی رخداد آن و تکتونیک فعال در بررسی‌ها و پژوهش‌های زیادی در مناطق مختلف به اثبات رسیده است. احتشامی معین‌آبادی (۲۰۲۲) ارتباط پهنه‌های گسلی با رخداد زمین‌لغزش را در دو دسته زمین‌لغزش‌های ناشی از رخداد زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لغزش‌های ناشی از بارش‌های شدید که در مناطق گسلی رخ می‌دهند تقسیم نموده است. فعالیت‌های تکتونیک بوسیله رخداد زمین‌لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالآمدگی‌های تکتونیک، شکستگی‌ها و خردشدگی‌های ناشی گسلش، ایجاد و درزه و شکاف در سنگ‌ها و تسریع فرایند هوازگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گوژگسلی و برش گسلی بعنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه‌های زمین‌شناسی و ... باعث رخداد زمین‌لغزش‌ها می‌گردد. لذا با بررسی زمین‌لغزش‌های رخداده در یک منطقه و فراوانی آنها می‌توان نسبت به ارتباط رخداد زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌های گسلی در آن منطقه اظهار نظر نمود. هدف از این پژوهش اثبات تاثیر پهنه‌های گسلی در رخداد زمین‌لغزش‌ها است که از طریق مقایسه زمین‌لغزش‌های رخداده در ایران و بررسی فراوانی و موقعیت مکانی آنها نسبت به گسل‌های ایران به موضوع پرداخته خواهد شد و سعی می‌شود که پاسخی برای سوالات: ۱- ارتباط بین فراوانی رخداد زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌های گسلی چگونه است؟ ۲- آیا فعالیت زمین‌ساختی باعث رخداد زمین‌لغزش‌ها شده است؟ ۳- نحوه تاثیر پهنه‌های گسلی بر رخداد زمین‌لغزش‌ها چگونه است؟ ارائه گردد.

مواد و روش ها

محدوده مطالعاتی مورد بررسی کل کشور را دربر می گیرد. موقعیت مکانی کلیه زمین لغزش های رخ داده شناسایی شده در ایران و گسل های شناخته شده ایران مورد بررسی قرار گرفته است. (شکل شماره ۱).



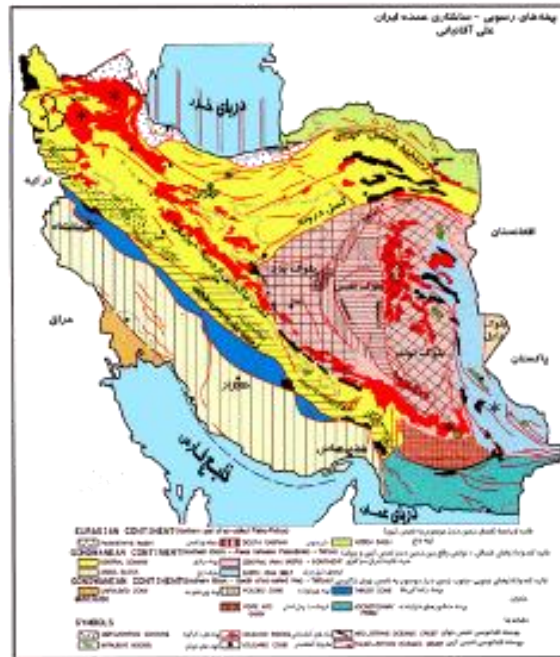
شکل شماره ۱: نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی و زمین لغزش های رخ داده در ایران

روش تحقیق در پژوهش حاضر مبتنی بر بررسی ها و مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی می باشد. در این خصوص اطلاعات مربوط به وضعیت زمین شناسی، زمین ساختی و زمین لغزش های رخ داده در ایران بصورت کتابخانه‌ای مورد بررسی قرار می گیرد و در ادامه اطلاعات زمین لغزش های رخ داده قبلی جمع آوری گردیده و نسبت به بررسی میدانی لغزش های قدیمی و جدید پرداخته می شود. پس از تکمیل اطلاعات زمین شناسی، گسل ها، زمین لغزش های رخ داده و موقعیت مکانی آنها، به تجزیه و تحلیل داده ها پرداخته و بوسیله نرم افزار Arc Gis تحلیل و مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش ها با گسل ها انجام می گیرد. همچنین به عنوان نمونه چند مورد از زمین لغزش هایی که در محدوده گسل های فعال رخ داده اند نیز مورد بررسی قرار گرفته و نحوه تاثیر زون گسلی بر رخداد زمین لغزش مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. در نهایت با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مقایسه رخداد زمین لغزش ها با موقعیت گسل ها نسبت به ارزیابی زمین ساخت فعال اقدام می گردد.

منطقه مورد مطالعه:

از نگاه زمین شناسی، سرزمین ایران در میانه کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا واقع شده است. آقاناتی (۱۳۸۳) با

تلفیق و جمع بندی دیدگاه های گوناگون ایران را به پهنه های رسوبی - ساختاری اصلی ایران شمالی، ایران میانی و ایران جنوبی که هر کدام دارای زیرپهنه های مختلفی هستند تقسیم بندی نموده است (شکل ۲). در گستره سرزمین ایران سازندهای زمین شناسی مختلفی شناسایی و نامگذاری شده است. برخی از این سازندها به لحاظ جنس مواد تشکیل دهنده آنها مستعد وقوع زمین لغزش می باشند.



شکل شماره ۲: نقشه پهنه های رسوبی ساختاری عمده ایران (آقناباتی ۱۳۸۳)

نقشه گسل های فعال ایران در شکل (۳) آورده شده است که مبنای تحلیل ها در این پژوهش قرار گرفته است.



شکل شماره ۳: نقشه گسل‌های محدوده مطالعاتی (حسامی و همکاران ۱۳۸۲)

زمین لغزش‌های بررسی شده در محدوده مطالعاتی شامل تعداد ۴۸۶۲ مورد زمین لغزش بوده که زمین لغزش‌هایی دریافت شده از بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور و شناسایی‌های انجام شده توسط پژوهشکده سوانح طبیعی می باشد که نقشه پراکنش آنها در شکل (۱) نشان داده شده است.

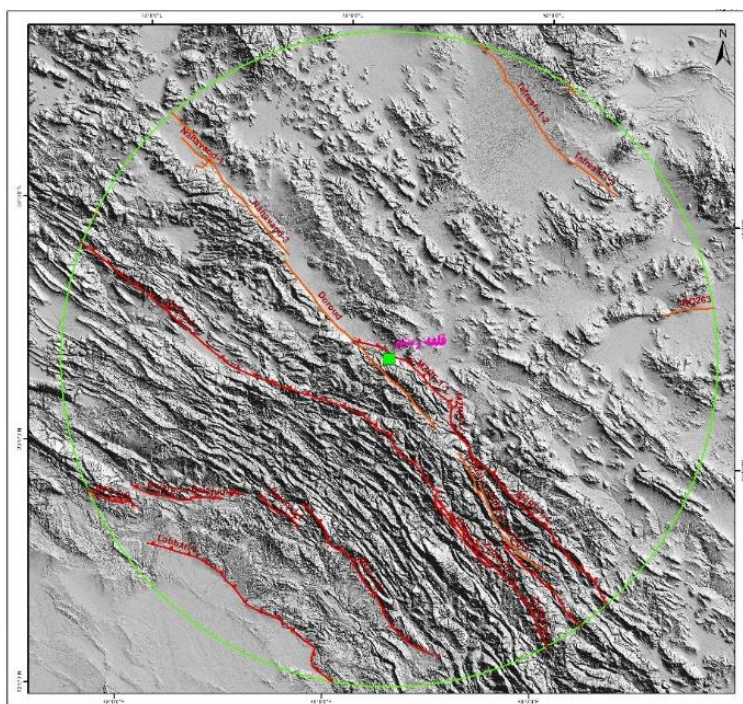
یافته های پژوهش:

برای بررسی نحوه تاثیر زون گسلی بر روی فراوانی و رخداد زمین لغزش‌ها، به عنوان نمونه سه مورد از زمین لغزش‌های رخ داده اخیر در کشور انتخاب گردید. یک مورد زمین لغزش در رشته کوه البرز، یک مورد در رشته کوه زاگرس و یک مورد هم در اقیولیت‌های خوی انتخاب گردید که به لحاظ پراکندگی نمونه‌ها در کل کشور توزیع مناسبی داشته باشد. در ادامه بررسی خصوصیات زمین شناسی و فنی زمین لغزش‌های منتخب پرداخته شده و نسبت به بررسی نحوه تاثیر زون گسلی بر روی رخداد این زمین لغزش‌ها اقدام گردید و نتیجه گیری لازم صورت خواهد گرفت.

زمین لغزش‌های محدوده روستای قلعه رستم

روستای قلعه رستم بر روی یک زمین لغزش بسیار بزرگ قدیمی از نوع سنگ لغزش قرار دارد که باعث گردیده تنوع و پیچیدگی زیادی از نظر لایه‌بندی زمین شناسی در منطقه وجود داشته باشد. همچنین وجود خاک‌های برجای بسیار ضخیم در روستا را می توان ناشی از استعداد شدید هوازدگی توده‌سنگ‌های منطقه در اثر خردشدگی شدید ایجاد شده در اثر این سنگ لغزش قدیمی دانست. تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در نزدیک

روستا، ۱۶ مورد زمین لغزش است. بسیاری از زمین لغزش‌های شناسایی شده از نوع لغزش‌های انتقالی هستند. با توجه به نوع رابطه شیب لایه‌بندی با شیب دامنه که بصورت نسبتاً همسو می‌باشند و نیز ضخامت بسیار زیاد قشر سنگ‌های هوازده (با توجه به شرایط زمین شناسی، خردشدگی زون گسلی و آب و هوای منطقه) به نظر می‌رسد بسیاری از این لغزش‌ها حاصل اشباع شدن لایه‌های ضعیف‌تر رویی بر روی لایه‌های نسبتاً مقاوم‌تر و در امتداد مرز لایه‌های رخ داده‌اند.



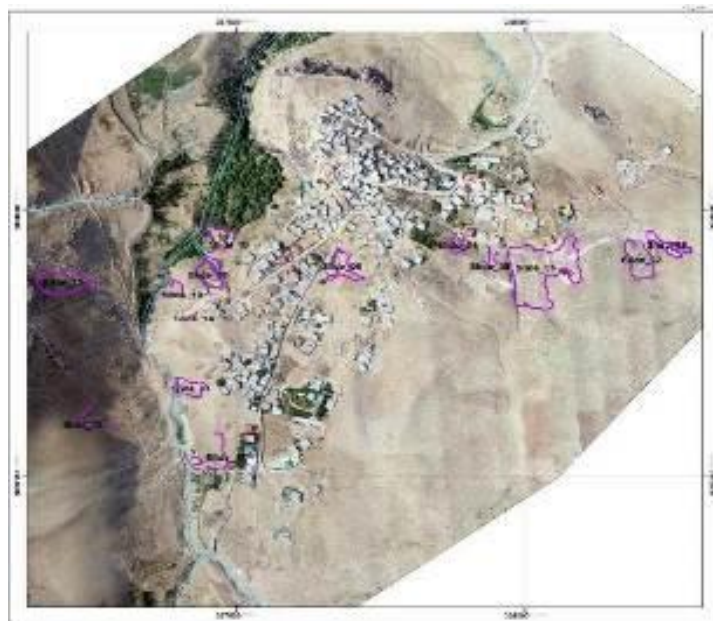
شکل شماره ۴: نقشه گسل‌های محدوده روستای قلعه رستم

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ درود، ترکیب عمومی واحدهای سنگی محدوده روستای قلعه رستم، شیل - مارن و سنگ آهک است و از لحاظ چینه‌شناسی زاگرس، روستای قلعه رستم بر روی سازند پایده قرار دارد. اما بررسی‌های میدانی انجام شده در مطالعه حاضر نشان دهنده توالی چینه‌شناسی متفاوتی در منطقه است به این شکل که حداقل لایه‌های سطحی که بستر بخش اعظم روستا را تشکیل می‌دهند تناوبی از لایه - های مارن، گل‌سنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا هستند. به نظر می‌رسد که وجود راندگی اصلی زاگرس و نیز وقوع لغزش‌های دیرینه بهم ریختگی لایه‌های سازند پایده نقش داشته‌اند. در محدوده روستای قلعه رستم مارن‌های پایده کاملاً هوازده و فرسایش یافته‌اند و افق‌های ضخیمی از خاک را تشکیل داده‌اند. دیگر واحد سنگی محدوده روستا، سنگ آهک‌های سازند تله‌زنگ است. سازند تله‌زنگ واحد کربناته‌ای شامل سنگ آهک‌های صخره‌ساز متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای بیوکلاست است که به شدت در فواصل جغرافیایی نزدیک تغییر ضخامت می‌دهد (آقاباتی، ع. ۱۳۸۳). این سازند تنها در مناطق شرقی و مرکزی لرستان گسترش داشته و

سرشار از فرامنیفرهای بنتیک بزرگ به سن پالتوسن پسین تا اتوسن میانی است. در گستره روستای قلعه رستم، سازند کربناته تله زنگ بصورت زبانه‌ای در میان سازند پابده قرار گرفته است. مرز بین شیل‌های پابده و رسوبات کربناته تله‌زنگ در محدوده روستا، گسلی است و ازین رو بسیار خرد شده‌اند.



شکل شماره ۵: نمای دور از موقعیت روستای قلعه رستم نشان دهند سنگ لغزش دیرینه که روستا بر روی آن بنا شده است.



شکل شماره ۶: موقعیت زمین لغزش‌های روی داده در روستای قلعه رستم

از نقطه نظر ساختاری، روستای قلعه‌رستم در مرز بین توالی‌های دگرگونی پهنه‌ی سنندج-سیرجان و زاگرس خرد شده قرار گرفته است. روستای قلعه‌رستم در فاصله ۲ کیلومتری از گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF)

در شمال و ۶.۲ کیلومتری از گسل دورود در جنوب قرار داشته و روستای قلعه رستم مابین این دو گسل قرار گرفته است. زمین لغزش بزرگ قدیمی، احتمالاً در اثر رخداد زلزله بزرگی رخ داده است. فعالیت گسل ها و بوجود آمدن زون خرد شده گسلی باعث ایجاد مصالح مستعد زمین لغزش گردیده و رخداد زمین لغزش ها را در این محدوده بالا برده است. همچنین وجود خاک های برجای بسیار ضخیم در روستا را می توان ناشی از استعداد شدید هوازدگی توده سنگ های منطقه در اثر خردشدگی شدید ایجاد شده در اثر این سنگ لغزش ماقبل تاریخ دانست.

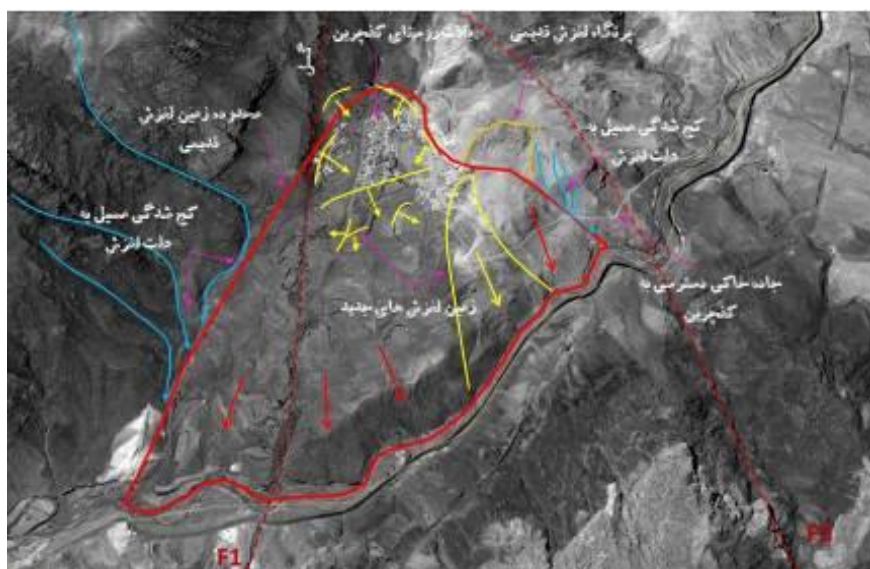


شکل شماره ۷: تصاویری از زمین لغزش های روی داده در روستای قلعه رستم

زمین لغزش کفچرین

شواهد زیاد صحرایی نشان می‌دهد که روستای کفچرین بر روی یک زمین لغزش قدیمی واقع شده است (شکل ۸). کج شدگی قائم مسیل‌ها، اسکارپ‌های لغزش بزرگ، فرسایش پنجه در حاشیه رودخانه دائمی، مورفولوژی خاص زمین‌های لغزشی و همگرایی زمین لغزش‌های جدید با شواهد زمین لغزش قدیمی حکایت از ابعاد و گسترش زمین لغزش قدیمی دارد (شکل ۸). زمین لغزش قدیمی از ارتفاعات غربی و جنوبی روستا به سمت شرق، شمال شرقی حرکت کرده است. در رخدادهای زمین لغزش عموماً سطح مسطحی بر روی هد توده لغزشی ایجاد می‌شود و وسعت این پهنه مسطح بستگی به بزرگی و نوع حرکت زمین لغزش و حجم مصالح لغزشی دارد. زمین لغزش قدیمی روستای کفچرین وسعتی بالغ بر ۸۰ هکتار دارد و یک بخش نسبتاً مسطحی را در دامنه ارتفاعات ایجاد نموده است که روستای کفچرین بر روی آن شکل گرفته است. بارندگی‌های شدید سال جاری باعث افزایش رواناب در رودخانه‌های منطقه شده است. افزایش رواناب و سیلابی شدن قطورچای که در پایین دست روستا جاری است، منجر به زیرشویی و لغزش پنجه شیب شده است. این موضوع باعث تحریک مصالح زمین لغزشی قدیمی و شروع حرکت دومینویی (گسترش پسرونده) در توده لغزشی شده است. البته اشباع بودن دامنه در اثر بارندگی و آبیاری غرقابی زمین‌های کشاورزی پایین دست روستا مزید بر علت بوده است.

انطباق موقعیت زمین لغزش قدیمی با جابجایی گسل F2 موید این موضوع است که این زمین لغزش از نوع لرزه‌ای می‌تواند باشد. گسل F2 یک جابجایی فاحشی را در مسیر رودخانه قطورچای ایجاد کرده است. همچنین شواهد گسل F1 روی توده لغزش قدیمی نمایان است. پس می‌تواند این زمین لغزش قدیمی تر از این گسل باشد (شکل ۹).



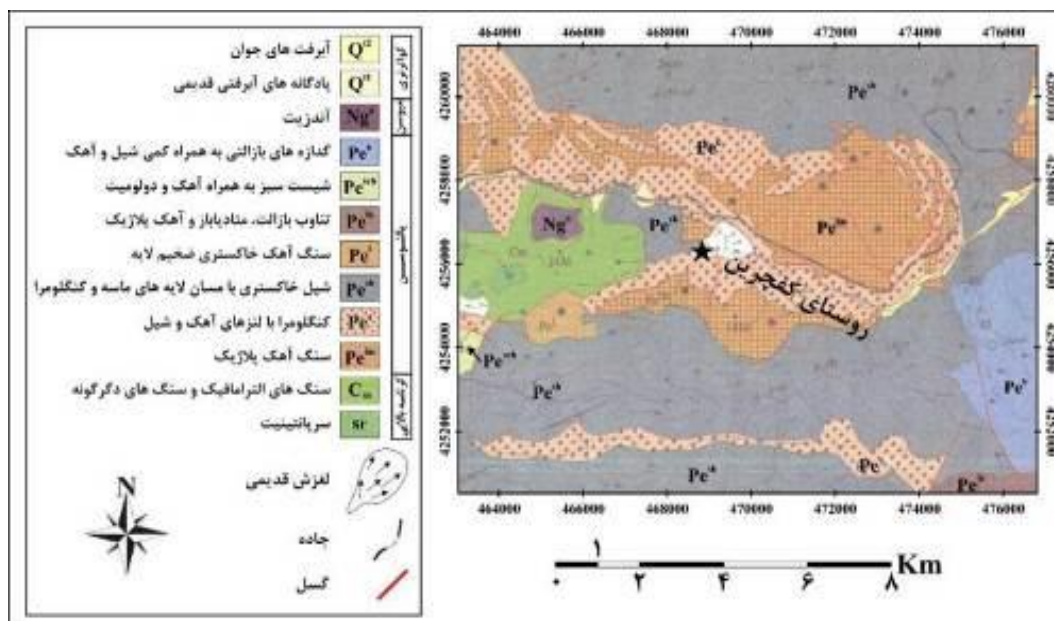
شکل ۸: شواهدی از کج شدگی مسیل‌ها، اسکارپ لغزش و محدوده زمین لغزش قدیمی و ترک‌های کششی زمین لغزش‌های جدید روستای کفچرین



شکل ۹: اسکارپ گسل F1 در محدوده روستای کفچرین

با توجه به استقرار آذربایجان غربی در سه پهنه زمین‌ساختی البرز- آذربایجان، سنج- سیرجان و خوی- مهاباد، این منطقه تحولات زمین‌ساختی پیچیده‌ای را تحمل کرده است. به طوری که فعالیت‌های زمین‌ساختی و کوه-زایی پرشماری از دوران پرکامبرین تا کواترنری شکل توپوگرافی و مورفولوژی کنونی منطقه و گستره استان را به وجود آورده است و رسوبات و نهشته‌های پرشمار مربوط به هر یک از ادوار زمین‌شناسی به همراه عوارض ساختمانی متنوع موجود در منطقه مؤید این مطلب است. برپایه اطلاعات حاصل از نقشه‌ها، گزارشات و پیمایش‌های صحرایی در منطقه، قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی دارای رخنمون در محدوده‌ی روستا شامل سنگ‌های اولترامافیک و سرپانتینیت‌های کرتاسه- پالئوسن (مربوط به مجموعه افیولیتی و آمیزه رنگین) هستند (شکل ۱۰).

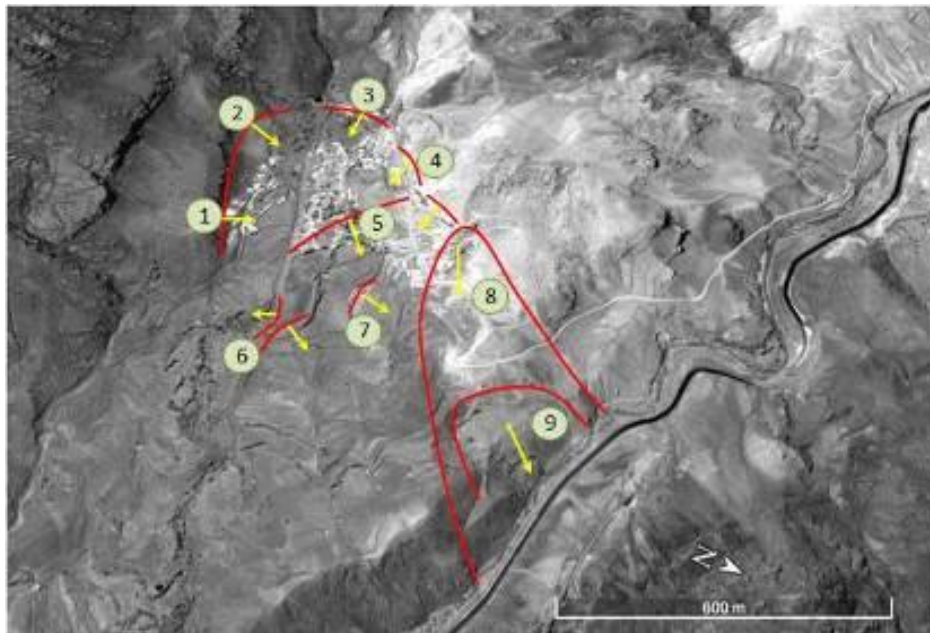
علاوه بر سنگ‌های فوق، سنگ‌های کربناته و آذرآواری‌های پالئوژن (مربوط به البرز)، آندزیت‌های میوسن و پادگانه‌های قدیمی و آبرفت‌های جوان (کواترنری) نیز در محدوده رخنمون دارند. براساس شواهد میدانی در محدوده روستا، سازندهای زمین‌شناسی به دلیل وجود گسل دارای خردشدگی زیادی هستند. رخداد زمین لغزش قدیمی نیز در محل روستا شاهدهی بر زون خردشده و مصالح مستعد لغزش می باشد.



شکل ۱۰: نقشه زمین‌شناسی منطقه روستای کفچرین (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی سلماس با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)

روستای کفچرین بر روی یک دامنه پرشیب واریزه سنگریزه‌ای واقع شده است. داده‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که منطقه روستای کفچرین بر روی پی سنگ کربناته به همراه توده‌های نفوذی قرار گرفته که توسط ساز و کار گسل خوردگی‌های متعدد به بلوک‌های مختلف تقسیم شده است. همچنین طی زمان زمین‌شناسی سنگ‌های سطحی منطقه دچار فرسایش شده و لایه‌های ضخیم خاکی را در برخی نقاط که شرایط توپوگرافی مطلوب داشته‌اند، ایجاد نموده است. علاوه بر این یک رودخانه فصلی در پایین دست روستا وجود دارد که به دلیل سن کم آن در حال رسوب‌گذاری و فرسایش در نقاط مختلف خود می‌باشد. وجود دامنه‌های پرشیب به همراه لایه‌های ضخیم خاکی و همچنین رودخانه‌ها و آبراهه‌های فعال شرایط مناسبی برای وقوع زمین‌لغزش در این ناحیه به وجود آورده است. در همین راستا با بررسی نقشه‌های هوایی و همچنین عکس‌های ماهواره‌ای می‌توان اثرات و نشانه‌های زمین‌لغزش‌های بزرگ قدیمی را در این ناحیه مشاهده نمود.

در سال‌های اخیر با توجه به تغییر الگوی بارش‌ها و وقوع بارندگی‌های سریع و با حجم زیاد، زمین‌لغزش‌های متعددی در این ناحیه فعال شده که در ادامه این بخش تصاویر مربوط به این زمین‌لغزش‌ها و نشانه‌های مربوط به رخداد آنها به صورت عکس‌هایی نمایش داده شده و توضیحات مربوط به هر عکس در زیر آن ارائه شده است.



شکل ۱۱: زمین لغزش‌های رخ داده در بافت روستای کفچرین، انطباق زیاد ترک‌های کششی جدید بر محدوده زمین لغزش قدیمی نشانه فعال شدن مجدد زمین لغزش قدیمی است. شواهد صحرایی از آسیب دیدگی ساختمانها و ترک‌های شناسایی شده در سطح زمین نشان از گستردگی زمین لغزش و فعال بودن قسمتهای اصلی آن دارد. تصاویر تهیه شده از آثار زمین لغزش در شکلهای بعدی آمده است و با شماره های روی عکس بالا موقعیت تقریبی آنها نشان داده شد.



شکل ۱۲: آثار ترک‌های کششی روی زمین در منطقه شماره ۲ شکل ۷-۵، امتداد خط گسیختگی منطق بر زمین لغزش قدیمی و جهت حرکت به سمت درون توده لغزشی است و نشان دهنده شکل‌گیری اسکارپ اصلی زمین لغزش است.



شکل ۱۳: ترکهای کششی ایجاد شده در منطقه ۳ شکل ۱۱، این ناحیه بالاترین حد ایجاد ترکهای کششی است و منطق بر سطح گسیختگی زمین لغزش قدیمی است و سطح گسیختگی حد فاصل بین سنگ بستر و خاک روی آن است.



شکل ۱۴: شکست در دیوارهای با مصالح بنایی، حرکت پی باعث ایجاد تنش کششی در دیوارهای ضعیف شد، منطقه ۳ در شکل ۱۱



شکل ۱۵: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۴ در شکل ۱۱، جهت و مکانیزم حرکت منطبق بر زمین لغزش اصلی و قدیمی است. به علت نبود پی مسلح و صلب با جابجایی آن، دیوارهای آجری و سنگی دچار شکست برشی شدند.



شکل ۱۶: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۵ در شکل ۱۱، در شکل سمت راست خط لغزش جدید کاملاً منطبق بر اسکارپ لغزش قدیمی است این مهم نیز نشانه فعالیت مجدد زمین لغزش بزرگ کفچرین است. در شکل سمت چپ ترکهای کششی در محوطه حیاط دیده می شود و در دیوارها نیز مشهود است؛ با توجه به اینکه جابجایی زیاد نبوده باعث گسیختگی کامل نشد. همچنین المانهای کششی موجود در دیوار تا حدی تاب آوری ساختمان را افزایش داده است.



شکل ۱۷: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۶ در شکل ۱۱.



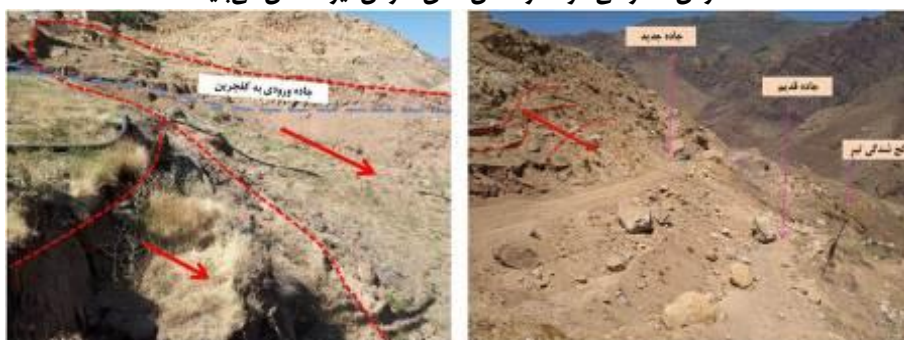
شکل ۱۸: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۵ در شکل ۱۱، زیرسازی ضعیف و نداشتن یک پی صلب و مسلح باعث شده تا با حرکت خاک پی گسیختگی در کف اتاق ها و دیوارها بوجود آید. در دو شکل پایین شکست در زیر یک تیر نشان دهنده ضعف در باربری دیوارهای مصالح بنایی است.



شکل ۱۹: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۷ در شکل ۱۱، شکل سمت راست آثار پرتگاههای لغزش قدیمی را نشان می دهد. شکل سمت چپ مربوط به موقعیت ۷ است. همگرایی بردارهای لغزش جدید و قدیم حاکی از فعالیت مجدد زمین لغزش بزرگ است.



شکل ۲۰: آثار حرکت زمین لغزش در بافت روستا و بخصوص در منطقه ۸ در شکل ۱۱، از آنجا که زمین لغزش کفچرین رفتار پسرونده داشته، شدت گسیختگی و جابجایی در پنجه بیشتر بوده و هر چه به سمت بالادست و اسکارپ اصلی لغزش کمتر می شود. در ضمن عمق لغزش نیز کاهش می یابد.



شکل ۲۱: آثار حرکت زمین لغزش در منطقه ۹ در شکل ۱۱، زمین لغزش پس از رسیدن به ترانشه های جاده دسترسی به روستا بهم ریختگی بیشتری را در سطح زمین بوجود آورد. ترانشه راه عامل تحریک لغزش های محلی است و تأثیری روی وقوع زمین لغزش اصلی نداشته است. میزان جابجایی قائم در برخی نقاط تا ۲/۵ متر بوده است.



شکل ۲۲: افزایش (اسکارپ های) زمین لغزش قدیمی، لغزش های جدید در امتداد آن بوجود آمدند.



شکل ۲۳: در برخی نواحی اختلاف تراز در دامنه‌ها و شیروانی‌های ایجاد شده از یک سو و نامناسب بودن مصالح از سوی دیگر باعث ایجاد خسارت به بناها می‌شود. عمده مصالح بکار رفته در بناهای روستای کفچرین سنگچین و آجر است.



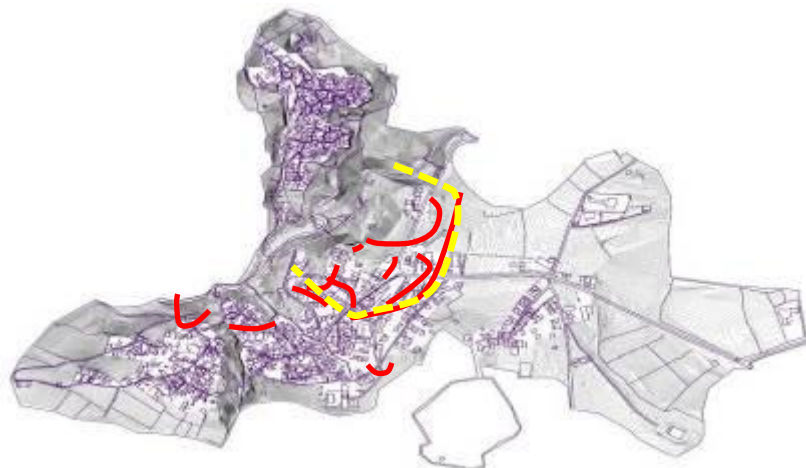
شکل ۲۴: بهم ریختگی کامل زمین در محدوده پنجه لغزش قدیمی، لغزش از پنجه منتهی به رودخانه قطورچای شروع و به صورت پسرونده به سمت بالادست و روستا ادامه یافت.



شکل ۲۵: توسعه رانش زمین به سمت بالادست، ابعاد زمین-لغزش و مکانیزم حرکت نشان دهنده عمق نسبتاً بالا است.

زمین لغزش قلعه قافه

پس از یک بارش شدید و نسبتاً طولانی سال ۹۸ حدود یک سوم بافت روستای قلعه قافه بالا دچار رانش شد و بخش وسیعی از بافت روستا در اثر حرکت زمین لغزش دچار آسیب جدی شد (شکل ۲۶). بررسی اولیه نشان می دهد که سابقه لغزش در این روستا وجود دارد. پی سنگ این روستا را تناوب ماسه سنگ، شیل‌های زغالدار و مارن سازند شمشک تشکیل می دهد (شکل ۲۷).



شکل ۲۶: محدوده های زمین لغزش سال ۹۸ در بافت روستای قلعه قافه بالا

در پرتگاه لغزش که تقریباً در امتداد خیابان اصلی روستا است، آثاری از لغزش و سطح گسیختگی قدیمی دیده می شود و در امتداد همان سطح مجدداً لغزش اتفاق افتاد (شکل ۲۸). در این قسمت به برخی از خسارتهای وارده و ابعاد زمین لغزش اشاره می شود (شکل های ۲۹ تا ۳۱)



شکل ۲۷: رخنمون مارن‌های به شدت هوازده در بالادست منطقه رانشی در یک ترانشه ساختمان، پی سنگ منطقه رانشی در بافت روستای قلعه قافه سازند شمشک است. به نظر می آید که چنانچه آب به سطح بستر مارنی برسد دامنه مستعد حرکت می شود.



شکل ۲۸: پرتگاه لغزشی تقریباً قائم که می تواند نشانه عمیق بودن سطح گسیختگی باشد. همچنین امتداد این پرتگاه بر سطح گسیختگی قدیمی استوار است (در حال حاضر به صورت یک باغ باریک در زیر یک کوچه قرار دارد)



شکل ۲۹: تخریب کامل ساختمان در قسمت بالایی زمین لغزش و ایجاد شیب معکوس

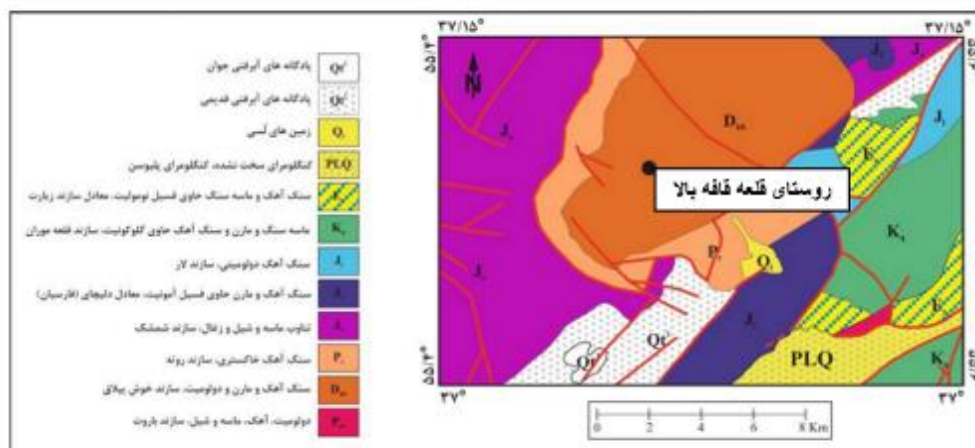


شکل ۳۰: دوران و واژگونی پی ساختمانهای با اسکلت بتنی در اثر حرکت زمین. کج شدگی ساختمان به سمت بالادست کاملاً دیده می شود (جهت حرکت از سمت چپ به راست است)



شکل ۳۱: تخریب و گسیختگی سنگ فرش خیابان در منطقه رانشی

برپایه اطلاعات پایه گردآوری شده از نقشه‌ها و گزارش‌های موجود و پیمایش‌های صحرایی در منطقه، واحدهای زمین‌شناسی منطقه که به نوعی در ارتباط با موضوع طرح قرار می‌گیرند در اینجا بررسی می‌شوند. قدیمی‌ترین واحد رسوبی دارای رخنمون در داخل حوضه آبریز سازند خوش‌بیلاق (شکل ۳۲) با سن دوونین است (حدود ۴۰۰ میلیون سال قبل). البته بیشترین مقدار رخنمون در حوالی روستای قلعه قافه بالا (شکل ۳۲) نیز مربوط به سازند خوش‌بیلاق می‌باشد. علاوه بر سازند سازند خوش‌بیلاق، سازندهای باروت، روته، شمشک، فارسین، لار قلعه موران، معادل زیارت، کنگلومراهای پلیوسن، زمین‌های لسی و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید نیز در منطقه رخنمون دارند که در این بخش به تشریح این سازندها و نهشته‌ها پرداخته خواهد شد.

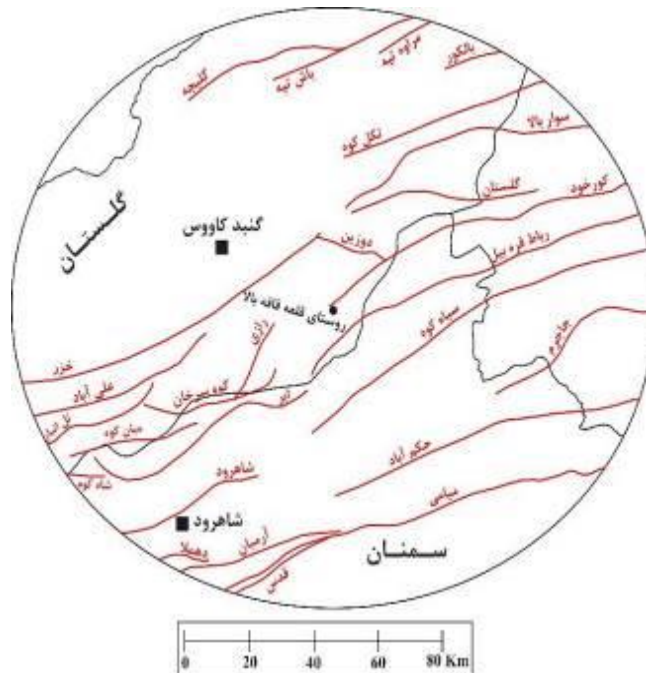


شکل ۳۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه روستای قلعه قافه بالا (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی کوه کورخود و گنبدکاووس با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰)

بر اساس تقسیم‌بندی وضعیت گسل نسبت به طبقات اطراف، گسل‌های محدوده مورد بررسی از نوع گسل شیبی (D.F)، گسل امتدادی (S.F)، گسل مورب (O.F) و گسل طولی (L.F) می‌باشند. گسل شیبی، گسلی است

که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی جهت شیب لایه‌بندی و یا شیب زمین گسل‌های مجاور است. گسل امتدادی، گسلی است که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی است. گسل مورب، گسلی است که امتداد آن نسبت به امتداد لایه‌بندی حالت مورب داشته باشد. گسل طولی، گسلی است که امتداد آن با لایه‌بندی هم‌جهت است. گسل‌های منطقه بر مبنای طبقه‌بندی گسل‌ها بر اساس طرح آن‌ها عمدتاً از نوع گسل‌های موازی هستند. گسل‌های موازی دارای شیب و امتداد یکسان یا تقریباً یکسان بوده و با یکدیگر تا حدی موازی‌اند (شکل ۳۳).

بر اساس طبقه‌بندی زایشی گسل‌ها، گسل‌های منطقه از نوع امتدادلغز (SSF) و تراستی (TF) می‌باشند. در گسل‌های امتدادلغز جابجایی کلی به موازات امتداد گسل است و گسل تراستی گسل معکوسی است که شیب آن کمتر از ۴۵ درجه است. گسل‌های امتدادلغز محصول نیروهای فشاری در جهت امتداد سطح گسل و در گسل‌های تراستی، نیروهای فشاری عمود بر امتداد سطح گسلی است. قدرت تخریبی گسل‌های تراستی در اثر زلزله بیش از تمامی گسل‌هاست و بزرگی ایجادشده توسط این گسل‌ها نیز بیش از بقیه است.



شکل ۳۳: روند عمومی گسل‌های موجود در شعاع ۱۰۰ کیلومتری روستای قلعه قافه بالا برگرفته از نقشه گسل‌های ایران «جوادی، ۲۰۱۳»

همانطور که تشریح گردید، باتوجه به بررسی‌ها و مشاهدات میدانی صورت گرفته در هر سه مورد زمین لغزش بررسی شده، تاثیر گسل بر رخداد زمین لغزش به اثبات رسیده است. این تاثیر از طریق رخداد زمین لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالا آمدگی‌های تکتونیکی، شکستگی‌ها و خردشدگی‌های ناشی گسلش، ایجاد درز و شکاف در سنگ‌ها و تسریع فرایند هوازدگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گوژ گسلی و برش گسلی بعنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه‌های زمین‌شناسی و ... بوده است.

مقایسه موقعیت مکانی گسل ها و زمین لغزش ها

برای بررسی بیشتر درخصوص تاثیر وجود گسل بر رخداد زمین لغزش ها، باتوجه به داده های مکانی موقعیت زمین لغزش های شناسایی شده در ایران نسبت به موقعیت مکانی گسل های فعال شناخته شده ایران از طریق نرم افزار Arc Gis مقایسه انجام گردید. طول کلی گسل های مقایسه شده در این پژوهش باغ بر ۳۹ هزار کیلومتر بوده است. از تعداد کل زمین لغزش های شناسایی شده (۴۸۶۲ مورد)، تعداد ۷۴۳ مورد زمین لغزش در محدوده حریم دو کیلومتری گسل های فعال و تعداد ۱۸۹ مورد زمین لغزش در حریم ۵۰۰ متری گسل های فعال واقع شده اند.



شکل ۳۴: زمین لغزش های واقع در حریم ۵۰۰ متری گسل های فعال



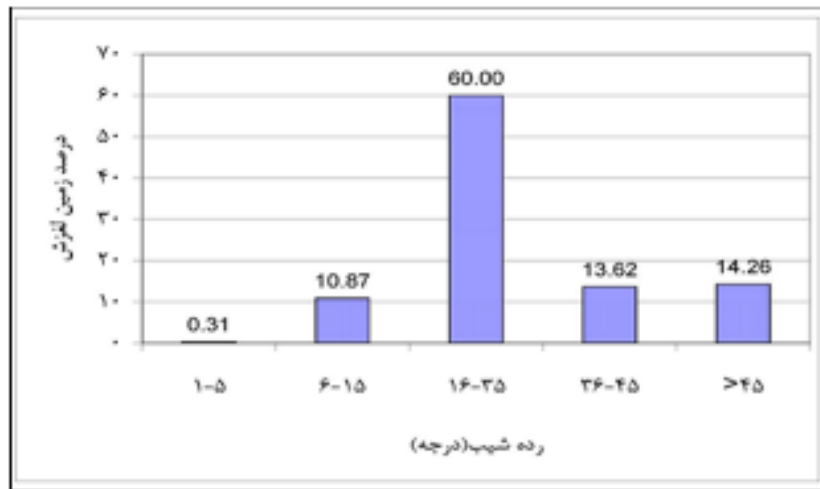
شکل ۳۵: زمین لغزش های واقع در حریم ۲۰۰۰ متری گسل های فعال

بررسی موقعیت مکانی زمین لغزش ها

با توجه به رده بندی کلاس های شیب انجام شده توسط میرصانعی و همکاران (۱۳۸۵) و مقایسه آن با زمین لغزش های رخ داده شناسایی شده کشور درصد زمین لغزشهای رخ داده در هر یک از گروههای مذکور در جدول ۱ و شکل ۳۶ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۳۶ نشان داده شده است هرچه میزان شیب بالاتر باشد میزان رخداد زمین لغزش نیز افزایش می یابد. از آنجا که یکی از علل برخاستگی کوه ها و ارتفاعات و افزایش میزان شیب فعالیت های تکتونیکی می باشد می توان ارتباطی را بین میزان شیب و تاثیر فعالیت گسل ها با رخداد زمین لغزش برقرار نمود. مساحت پهنه های دارای شیب ۱۶-۳۵ درجه در ایران حدود ۳۳ میلیون هکتار است.

جدول ۱: رده بندی شیب جهت استفاده در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش

درصد زمین لغزش رخ داده شناسایی شده	رده شیب
۰/۳۱	<۵
۱۰/۸۷	۵-۱۵
۶۰	۱۶-۳۵
۱۳/۶۲	۳۶-۴۵
۱۴/۲۶	>۴۵



شکل ۳۶: نمودار ستونی درصد فراوانی زمین لغزش در مقابل رده‌های مختلف شیب برگرفته از میرصانعی و همکاران ۱۳۸۵

بحث و نتیجه گیری

همانطور که بالا شرح داده شد ارتباط بین فعالیت های تکتونیکی و رخداد زمین لغزش ها توسط محققین مختلف بررسی و در مناطق مختلف مورد تأیید قرار گرفته است. لذا با توجه به اینکه فعالیت تکتونیکی بوسیله رخداد زمین لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالا آمدگی های تکتونیکی، شکستگی ها و خردشدگی های ناشی گسلش، ایجاد و درزه و شکاف در سنگ ها و تسریع فرایند هوازدگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گوز گسلی و برش گسلی بعنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه های زمین شناسی و ... باعث رخداد زمین لغزش ها می گردند، ارتباط فعالیت تکتونیکی با رخداد زمین لغزش ها مورد بررسی قرار گرفت. لذا با مقایسه موقعیت مکانی زمین لغزش های رخ داده شناسایی شده در کشور با گسل های فعال کشور مشخص گردید که در محدوده نزدیک گسل های فعال تراکم رخداد زمین لغزش ها بیشتر می باشد. بطوری که در محدوده ۵۰۰ متری و ۲۰۰۰ متری حریم گسل های فعال تعداد رخداد زمین لغزش های رخ داده شناسایی شده به میزان ۶۵ درصد بیشتر مناطق دور از گسل می باشد. همانطور که در مشاهدات و بررسی های میدانی سه نمونه زمین لغزش انتخاب شده در منطقه زاگرس، آذربایجان و البرز (شامل زمین لغزش های قلعه رستم، کفچرین و قلعه قافه بالا) مشخص گردید، فعالیت گسل ها باعث ایجاد شکستگی، خردشدگی، افزایش نفوذپذیری، تغییرات در شیب و لایه بندی سنگ ها و از همه مهمتر باعث ایجاد مصالح مستعد زمین لغزش شده است. ولیکن تبدیل این تاثیر به داده های کمی بدلیل شرایط زمین شناسی و کمبود داده ها و ... میسر نبوده و به تفسیر و توصیف کیفی این تاثیر بسنده شده است. همچنین با بررسی موقعیت مکانی زمین لغزش های رخ داده شناسایی در کشور با میزان شیب محل رخداد زمین لغزش ها مشخص گردید که درصد بالایی از زمین لغزش ها در شیب های بالاتر از ۱۵ درجه رخ داده است و بصورت کیفی می توان ارتباطی با میزان شیب و برخاستگی کوه ها با فعالیت تکتونیکی را برقرار نموده و اثر فعالیت تکتونیکی را بر رخداد زمین لغزش ها توصیف نمود. لذا می توان یکی از عوامل اصلی رخداد زمین لغزش ها و فراوانی وقوع آنها را در مناطق گسلی و نزدیک به گسل ها، تاثیر فعالیت تکتونیکی و گسل ها دانست که از طریق رخداد زمین لرزه و ایجاد نیروی

محرک، بالا آمدگی های تکتونیکی، شکستگی ها و خردشدگی های ناشی گسلش، ایجاد و درزه و شکاف در سنگ ها و تسریع فرایند هوازدگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گوژ گسلی و برش گسلی بعنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه های زمین شناسی و ... باعث رخداد زمین لغزش ها می گردند بعبارت دیگر می توان بیان نمود که فعالیت های تکتونیکی باعث افزایش رخداد زمین لغزش ها در کشور شده است. به لحاظ آسیب پذیری مناطق مسکونی و سایر تاسیسات مهم واقع در نزدیکی گسل های فعال و کواترنری علاوه بر امواج لرزه ای و گسیختگی سطحی حین زلزله، با مخاطره زمین لغزش نیز مورد تهدید قرار می گیرند. لذا اتخاذ تمهیدات مهندسی در ساخت و ساز منازل واقع در پهنه های گسلی برای جلوگیری از ایجاد خسارت ناشی از رخداد زمین لغزش و همچنین عدم ساخت و ساز در زمین های شیبدار و دوری از حریم گسیختگی گسل برای ساخت و ساز لازم و ضروری است.

سپاسگذاری

بدینوسیله از پژوهشکده سوانح طبیعی، اداره کل بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان های لرستان، آذربایجان غربی و گلستان که در انجام این پژوهش مساعدت و همکاری نمودند، صمیمانه تقدیر و تشکر می گردد.

منابع

- آقانیاتی، علی. (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افشاری، امیر؛ قهرودی تالی، منیژه؛ صدوق، سید حسن؛ احتشامی معین آبادی، محسن. (۱۳۹۸). ارزیابی ناپایداری دامنه ها در ناحیه راه آهن لرستان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR). (پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۸(۳)، ۱۸۳-۲۰۲).
- بهاروند، سیامک؛ سوری، سلمان؛ رهنماری، جعفر؛ جودکی، مسعود. (۱۳۹۷). تحلیل فعالیت زمین ساختی و ارتباط خطواره‌ها با خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه وارک، لرستان). نشریه زمین شناسی مهندسی، ۱۲ (۲)، ۲۳۷-۲۵۸.
- حیبی، علیرضا. (۱۳۹۴). بررسی زمین لغزش ها با استفاده از شاخص های مورفوتکتونیک. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۱)، ۹۸-۱۰۸.
- حسامی آذر، خالد؛ جمالی، فرشاد؛ طبسی، هادی. (۱۳۸۲). نقشه گسل های فعال ایران. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- رمضانی، بهمن؛ ابراهیمی، هدی. (۱۳۸۸) شناخت عوامل موثر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائمشهر فصلنامه علمی- پژوهشی نگرش های نو در جغرافیای انسانی (۴)، ۱۲۷-۱۳۶.
- شریعت جعفری، محسن. (۱۳۷۶). زمین لغزش، انتشارات سازه. تهران.
- صبروی، سعیدمحمد؛ حاجی علی بیگی، حسین؛ طالبیان، مرتضی؛ فتاحی، مرتضی. (۱۴۰۰). تحلیل موقعیت مکانی روستاها نسبت به حریم گسیختگی (مطالعه موردی: گسل شمال قزوین). مسکن و محیط روستا، ۴۰ (۱۷۳)، ۴۹-۶۰.
- صبروی، سعیدمحمد؛ حاجی علی بیگی، حسین؛ طالبیان، مرتضی؛ فتاحی، مرتضی. (۱۴۰۰). بررسی ارتباط فراوانی رخداد زمین لغزش با تکنونیک فعال در منطقه شمال قزوین. نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۷۴(۲)، ۴۳۶-۴۴۳.
- صبروی، سعیدمحمد؛ حاجی علی بیگی، حسین؛ طالبیان، مرتضی؛ فتاحی، مرتضی. (۱۳۹۸). بررسی حریم گسیختگی گسل شمال قزوین در مقطع روستای نجم آباد، سی و هشتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عزتی مریم؛ آق آتابای، مریم. (۱۳۹۴). تحلیل زمینساخت فعال حوضه بجنورد با کمک شاخصهای مورفوتکتونیک، نشریه پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، (۲) ۷۱۱-۷۹۰.
- کیانی، طیبه؛ هیراد، ندیم؛ غفورپور عنبران، پرستو. (۱۳۹۹). بررسی ویژگی های زمین ساخت فعال در گستره رودبار با نگرش ویژه بر زمین لغزش های منطقه. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷ (۱)، ۶۵-۸۸.
- میرصانعی، رضا؛ مهدوی فر، محمدرضا. (۱۳۸۵). روش ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش؛ گزارش نهایی تهیه راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران، پژوهشکده سوانح طبیعی. پژوهشکده سوانح طبیعی، (۱۳۹۸). مطالعات پایدارسازی زمین لغزش روستای قلعه رستم شهرستان ازنا، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان لرستان.

- پژوهشکده سوانح طبیعی، (۱۳۹۸). مطالعات پایداریسازی زمین لغزش روستای قلعه قافه بالا شهرستان مینودشت، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان گلستان.
- پژوهشکده سوانح طبیعی، (۱۳۹۸). مطالعات پایداریسازی زمین لغزش روستای کفچرین شهرستان خوی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان آذربایجان غربی.
- 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.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., and Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1), 150-17.
- Sanchez, G., Rolland, R., Corsini, M., Braucher, R., Bourlès, D., Arnold, M., and Aumaître, G. (2010). Relationships between tectonics, slope instability and climate change: Cosmic ray exposure dating of active faults, landslides and glacial surfaces in the SW Alps. *Geomorphology*, 117(1-2), 1-13.
- Sharifi, R., Solgi, A., and Pourkermani, M. (2013). A Study of the Relationship between Landslide and Active Tectonic Zones: A Case Study in Karaj Watershed Management, *open journal of Geology*, 3, 233-239.
- Sharma, S., and Sarma, N. J. (2017). Application of drainage basin morphotectonic analysis for assessment of tectonic activities over two regional structures of the northeast India, *Journal of the Geological Society of India*, 89 (3) 271-280.
- 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>
- Haque U, Blum P, Da Silva PF, Andersen P, Pilz J, Chalov SR, Malet JP, Auflič 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>
- 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>
- Froude MJ, Petley DN (2018) Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 18(8):2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- 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>.