

بررسی شواهد تکتونیک فعال و ویژگی‌های حریم گسل کوشک و آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی، استان قزوین

سعید محمد صبوری*، حسین حاجی علی بیگی**

تاریخ دریافت مقاله:

۱۴۰۰/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۴۰۰/۱۲/۲۶

چکیده

در این مقاله به بررسی فعالیت گسل کوشک از طریق مشاهدات صحرایی زمین‌لغزش‌های مرتبط با فعالیت گسل کوشک و سایر شواهد فعالیت آن و تحلیل موقعیت مکانی سکونتگاه‌های روستایی محدوده‌ی مطالعاتی گسل کوشک پرداخته شده است. منطقه‌ی موردبررسی در محدوده‌ی استان قزوین و در زون ساختاری البرز و در امتداد گسل کوشک بین مختصات طول جغرافیایی ۵۰/۲۵ تا ۵۰/۵۰ واقع شده است. در مقاطع انتخاب‌شده برای بررسی فعالیت گسل شواهدی از خردشدگی سنگ‌ها، چشمه‌های متعدد و زمین‌لغزش‌های قدیمی و جدید فراوانی مشاهده گردید که مشخص‌کننده‌ی فعالیت گسل است. با توجه به بررسی‌ها و مشاهدات صحرایی پهنه گسلی گسل کوشک در مقاطع بررسی‌شده، به میزان ۲۶۰ متر در طرفین گسل اندازه‌گیری شد. از آنجایی که در محدوده‌ی گسل کوشک تعدادی روستا وجود دارد که از بین آن‌ها کل بافت کالبدی روستای علی‌آباد بر روی پهنه گسل و بخشی از روستاهای کوشک، زرآباد، گرمارود بالا، سیمپاردشت و حسن‌آباد بر روی پهنه گسیختگی گسل واقع شده‌اند. برای روستای علی‌آباد که کل بافت کالبدی آن واقع بر روی گسل کوشک است و همچنین برای روستاهای کوشک، زرآباد، گرمارود بالا، سیمپاردشت و حسن‌آباد که بخشی از بافت کالبدی آن‌ها بر روی پهنه‌ی گسل کوشک واقع شده است، برای جلوگیری از مرگ‌ومیر ناشی از گسیختگی سطحی حین زلزله و یا رخداد زمین‌لغزش ناشی از فعالیت گسل به‌منظور حفظ جان انسان‌ها، جابه‌جایی روستا به نقطه‌ی دیگر و یا اصلاح سمت توسعه‌ی آتی روستا به خارج از حریم گسیختگی گسل کوشک ضروری است. بدین منظور می‌توان در تهیه و یا بازنگری طرح هادی این روستاها، زون برشی تعیین‌شده برای گسل کوشک را ملاک توسعه‌ی آتی روستاها قرار داده و در تعیین سمت توسعه آتی این روستاها ساخت‌وساز جدید بر روی پهنه‌ی زون برشی گسل کوشک را ممنوع اعلام کرد و در نقشه‌ی طرح هادی روستا گنجانده شود.

کلمات کلیدی: حریم گسیختگی، گسل کوشک، زمین‌لغزش، آسیب‌پذیری، سکونتگاه روستایی.

* استادیار پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی و دکتری زمین‌شناسی گرایش تکتونیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

saeedsabouri@yahoo.com

** استادیار گروه حوضه‌های رسوبی و نفت دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

ساخت و ساز در مکان‌های ایمن جهت توسعه‌ی سکونتگاه‌های شهری و روستایی جزء الزامات اساسی برای تعیین این مکان‌ها و یا جابه‌جایی آن‌ها است. در این خصوص بررسی فعالیت گسل و رعایت حریم گسیختگی سطحی گسل موضوعی است که در مکان‌یابی سکونتگاه‌ها مغفول مانده است. به همین دلیل در هنگام رخداد زلزله منازل بسیار زیادی بر اثر جابه‌جایی گسل و گسیختگی سطحی گسل تخریب می‌شوند. همچنین بررسی‌های تکتونیک فعال نشان می‌دهد که فعالیت‌های تکتونیکی به وسیله‌ی رخداد زمین‌لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالا آمدگی‌های تکتونیکی، شکستگی‌ها و خردشدگی‌های ناشی گسلش، ایجاد درز و شکاف در سنگ‌ها و تسریع فرایند هوازگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گور گسلی و برش گسلی به عنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه‌های زمین‌شناسی باعث رخداد زمین‌لغزش‌ها می‌گردد. منطقه‌ی مورد بررسی بخشی از محدوده‌ی استان قزوین است که از دیدگاه تکتونیکی در زون ساختاری البرز باختری و در مختصات طول جغرافیایی ۵۰/۲۵ تا ۵۰/۵۰ واقع شده است، این محدوده مشتمل بر گسل کوشک و پیرامون آن است (تصویر شماره‌ی a۱). آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی به وسیله‌ی گسیختگی سطحی ناشی از فعالیت گسل موضوعی است که در مکان‌یابی و توسعه‌ی سکونتگاه‌ها مغفول مانده است و باعث خساراتی در حین رخداد زلزله‌ها شده است؛ لذا نیاز است که به موضوع حریم گسلش و آسیب‌پذیری ناشی از آن به صورت جدی پرداخته شود.

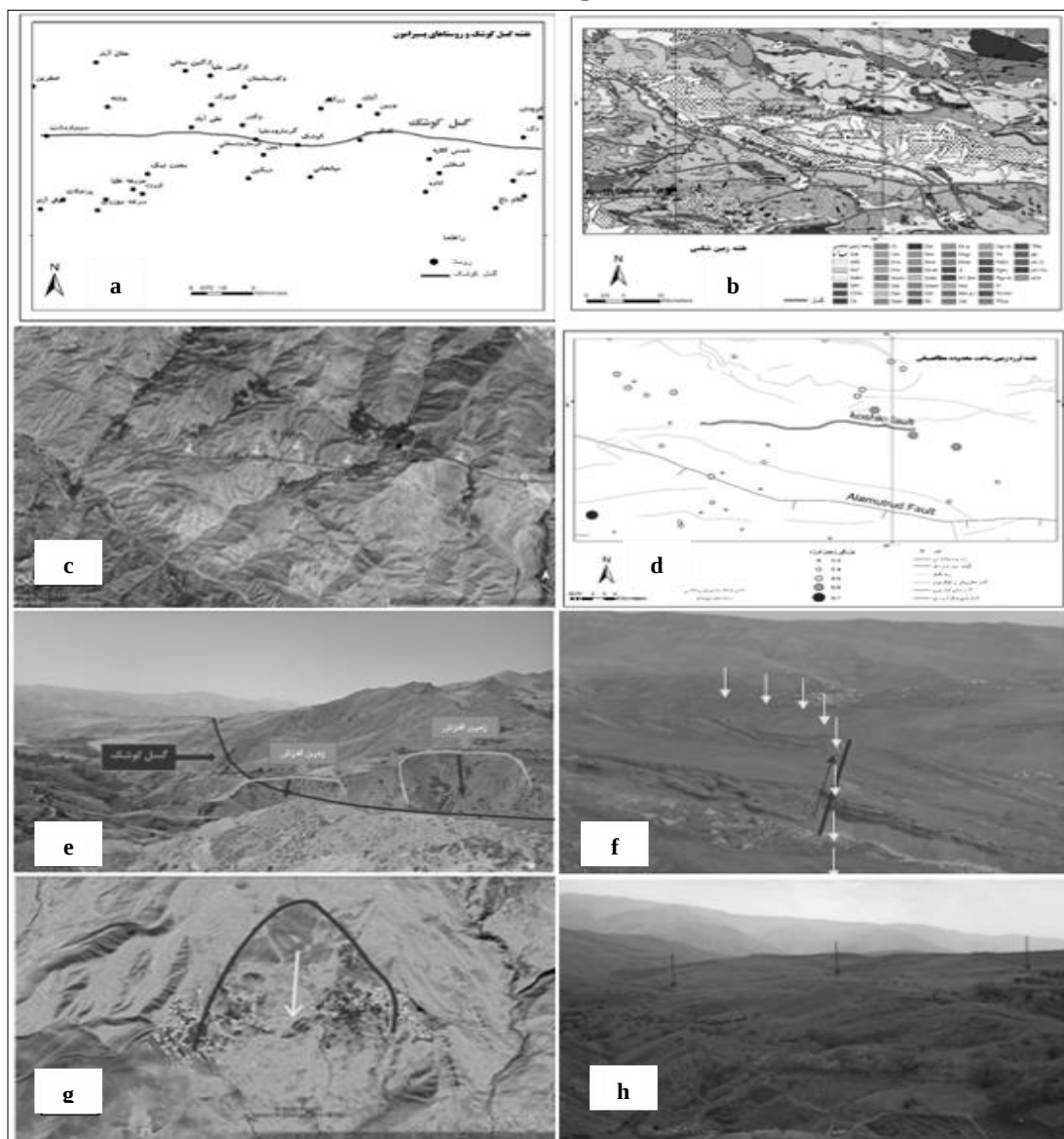
ادبیات موضوع

مبحث تکتونیک فعال در موضوع علوم زمین تحت عنوان حرکات نئوتکتونیکی که احتمال وقوع آن‌ها در زمان‌های آتی وجود داشته و جوامع بشری را تهدید می‌نماید، تعریف شده است (Burbank et al., 2001). پدررا^۱ و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که مطالعات تکتونیک فعال از مباحث مهم در علوم زمین بوده و نتایج آن برای ارزیابی مخاطرات طبیعی و برنامه‌های توسعه و مدیریت کاربری اراضی در مناطق پرجمعیت کاربرد زیادی دارد. تکتونیک فعال به عنوان یک فرایند طبیعی، مخاطرات زیادی را برای جوامع انسانی ایجاد می‌کند (پروین، ۱۳۹۹). همچنین حرکات توده‌ای شامل همه‌ی حرکت‌هایی است که تحت تأثیر وزن توده حادث می‌شوند. زمین‌لغزش که یک نوع از این حرکات است، عبارت از لغزش زمین در جهت شیب دامنه و یا سقوط یک توده‌ی سنگی و یا مخلوطی از خاک و سنگ است (شریعت جعفری، ۱۳۷۶). در طول دامنه‌ها عوامل زیادی در وقوع زمین‌لغزش دخالت دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها فعالیت تکتونیکی است که شامل رخداد زلزله، گسل‌های منفرد، گسل‌های فعال، شکستگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها و خردشدگی‌ها است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸). در میان روش‌های زمین‌شناختی برای بررسی زمین‌ساخت فعال، بررسی‌های ژئومورفولوژی و مطالعات مورفوتکتونیک نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند، چون که بسیاری از عوارض ژئومورفیک در مقابل حرکات تکتونیکی فعال حساس هستند (جباری و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص‌های ژئومورفیک ابزار سودمندی برای مطالعه‌ی فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف

و حتی کند قرار دارند را به دست آورد (زرگرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

محسوب می‌شوند و به وسیله‌ی آن‌ها می‌توان اطلاعاتی در مورد نواحی که در معرض فعالیت تکتونیکی سریع



ت ۱. a: موقعیت گسل کوشک و موقعیت روستای پیرامون، b: نقشه‌ی زمین‌شناسی، c: نقشه‌ی موقعیت گسل کوشک و موقعیت مقاطع برداشت صحرایی، d: نقشه‌ی لرزه‌زمین‌ساخت، e: موقعیت گسل کوشک در نزدیکی روستای علی‌آباد (دید به سمت غرب)، f: جابه‌جایی ایجادشده در شرق روستای علی‌آباد بر اثر فعالیت گسل کوشک پیکان‌های زردرنگ امتداد گسل و پیکان قرمز رنگ جهت جابه‌جایی را نشان می‌دهد (دید به سمت شرق)، g: موقعیت و محدوده‌ی زمین‌لغزشی قدیمی روستای علی‌آباد، h: چشمه‌های موجود در نزدیکی روستای علی‌آباد دید به سمت جنوب، (صبوری، ۱۴۰۰).

در ایران با توجه به کمبود اطلاعات از موقعیت دقیق گسل‌ها در مناطق شهری، اغلب به جای انجام مطالعات دقیق ساختمانی جهت تعیین موقعیت گسل و گسل‌های همراه، پیشنهادهایی برای انتخاب فواصل تا دو هزار متر به عنوان حریم ذکر می‌شود که با مقاومت مالکان روبه‌رو می‌گردد. در صورتی که انجام مطالعات ساختمانی ضمن کمک به شناسایی دقیق موقعیت گسل، منجر به انتخاب حریم طبق معیارهای معتبر علمی و همچنین موقعیت دقیق گسل، قابل قبول برای سرمایه‌گذاران و صاحبان املاک خواهد بود (شفیعی بافتی و همکاران، ۱۳۸۹).

در زمینه بررسی زمین‌ساخت فعال و ارتباط زمین لغزش با آن تاکنون پژوهش‌های متعددی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره نمود:

استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعه‌ی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی توسط بول^۲ و همکاران (۱۹۷۷) آغاز گردید. این شاخص‌ها توسط سایر پژوهشگرانی همچون راکول^۳ و همکاران (۱۹۸۵) در جنوب غربی آمریکا، ولز^۴ و همکاران (۱۹۸۸) در سواحل کاستاریکا، سیلوا^۵ و همکاران (۲۰۰۳) در سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا، گارنیر و پیروتن^۶ (۲۰۰۸) در شمال شرقی سیسیل مورد استفاده قرار گرفته است. الحمدونی^۷ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص نسبی فعالیت زمین‌ساختی، زمین‌ساخت فعال جنوب اسپانیا را طبقه‌بندی نموده و مناطق فعال آن را مشخص کردند. وی‌دونگ^۸ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تئوری فازی اقدام به ارزیابی میزان حساسیت حرکات توده‌ای انجام شده در استان کوئیژو در چین کردند. نتایج نشان دادند که مدل به کار رفته روش کارآمدی برای پهنه‌بندی

حرکات توده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه است. سانچز^۹ و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی ارتباط بین تکتونیک فعال و زمین لغزش و تغییرات آب و هوایی در جنوب غربی آلپ پرداختند و رخداد زمین لغزش‌ها را با تکتونیک فعال منطقه بررسی نمودند. عبدالله^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای خطواره‌های جنوب غربی بخشی از منطقه‌ی تایز یمن را شناسایی و با بررسی‌های صحرایی نتایج را کنترل نموده و نشان دادند که روش به کار گرفته شده دقت زیادی دارد. گالو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تحلیل فضایی شاخص گرادیان طولی رودخانه، به بررسی زمین لغزش‌های منطقه‌ی کوهپایه‌ای بخش جنوب شرقی املیا رومانیا در شمال منطقه‌ی اپنی در ایتالیا پرداختند. دانی^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی نقش عوامل مورفولوژیکی و ساختاری در زمین لغزش‌هایی که در پی زلزله‌ی منطقه‌ی پادنگ در سوماترای غربی که در سال ۲۰۰۹ اتفاق افتاد پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با فعالیت متوسط تکتونیکی بوده است. شارما و سارما^{۱۳} (۲۰۱۷) به تحلیل مورفوتکتونیکی قسمت‌هایی از شمال هندوستان پرداختند. آن‌ها نشان دادند که منطقه از نظر تکتونیکی نسبتاً فعال است.

شریفی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی ارتباط تکتونیک فعال و پهنه‌های لغزشی در قالب شاخص‌های مربوطه، پهنه‌بندی تکتونیکی را در حوضه‌ی آبریز رودخانه کرج ارائه نمودند. عزتی و آق‌آتابای (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی به تحلیل زمین‌ساخت حوضه‌ی فعال بجنورد پرداختند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف نشان دادند که بخش شرقی حوضه، فعالیت تکتونیکی نسبتاً بیشتری دارد. میرنظری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل سلسله مراتبی به

شامل شیب گسل، میزان جابه‌جایی، عوامل نوع سازه و پی ساختمان و حساسیت سازه و با در نظر گرفتن مباحث ژئوتکنیکی، حریم ساخت‌وساز را با دقت طراحی کرده‌اند. آن‌ها برای تعیین حریم ساخت‌وساز در مجاورت مناطق زلزله‌خیز، ابتدا نقشه‌ی گسلش فعال و نقشه‌ی نوع خاک منطقه بر پایه‌ی مطالعات ژئوتکنیک با مقیاس ۱:۵۰۰ تهیه و رسم شده و بر پایه‌ی فرمول‌های محاسباتی ژرفا، شکل و اهمیت سازه مشخص شده است. در انتها با در نظر گرفتن نتایج به‌دست‌آمده، ساختمان‌ها ساخته شده‌اند.

با توجه به اینکه روند ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تهران رو به افزایش است، یکی از مهم‌ترین مطالعات مقدماتی برای جلوگیری از آسیب‌پذیری لرزه‌ای رعایت حریم گسل است. اثر حوزه‌ی نزدیک در مناطق کوهستانی و دارای شیب، باعث پدیده‌هایی چون زمین‌لغزش و سنگ افت می‌شود. در مناطق حوزه‌ی نزدیک گسل، ساخت‌وساز اهمیت ویژه‌ای دارد و باید برای ساخت‌وساز، حریمی ایمن نسبت به گسل لرزه‌زا در نظر گرفته شود. منظور از حریم مهندسی گسلش، حریمی است که برای یک گسل لرزه‌زا در نظر گرفته می‌شود تا سازه‌ها از آثار حوزه‌ی نزدیک گسل مانند گسیختگی سطحی، جنبش شدید زمین، جابه‌جایی و زمین‌لغزش در مناطق با توپوگرافی و شیب زیاد، کمتر تأثیر بپذیرند (مجرب و زارع، ۱۳۸۸).

زارع (۱۳۸۰)، با مطالعه‌ی گسل شمال تبریز به بررسی وضع ساخت‌وساز در حریم این گسل پرداخت. در بررسی انجام‌شده بر روی پهنه گسل شمال تبریز مشخص شده است که بسیاری از ساخت‌وسازهای کنونی در شمال و شمال شرقی شهر تبریز بر روی پهنه‌ی گسل قرار گرفته است.

همان‌طور که در بالا بیان گردید ارتباط بین رخداد

ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز پشت تنگ، در منطقه‌ی سرپل ذهاب پرداختند. حبیبی (۱۳۹۴) برای بررسی زمین‌لغزش‌های رخ داده و تعیین ارتباط آن با وضعیت تکتونیکی در حوضه‌های ایزه، مرغاب، دشت ملک، صیدون، دالون-میداوود، جایزان و بهبهان در استان خوزستان از شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده کرده و فعالیت بالای تکتونیکی منطقه را نشان داده است. جمال‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی عوامل مؤثر در تکامل مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی منطقه‌ی جغتای با تأکید بر نقش تکتونیک پرداختند. آن‌ها نشان دادند که منطقه‌ی بررسی‌شده به لحاظ نیروهای تکتونیکی در وضعیت فعال و نیمه فعال قرار دارد. بهاروند و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ارتباط تکتونیک فعال و رخداد زمین‌لغزش‌ها در حوضه وارک منطقه لرستان پرداختند. آن‌ها نشان دادند که ارتباط نزدیکی بین خطواره‌های گسلی و رخداد زمین‌لغزش‌ها وجود دارد. کیانی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی زمین‌ساخت فعال در محدوده‌ی رودبار با تکیه بر زمین‌لغزش‌ها پرداختند. آن‌ها نشان دادند که زمین‌لغزش‌های شناسایی و بررسی‌شده در محدوده‌های تکتونیکی با فعالیت متوسط و بالا قرار گرفته‌اند.

پروین (۱۳۹۹) تکتونیک فعال حوضه‌ی کرند غرب در شمال غربی زون فعال زاگرس چین‌خورده و گسل فعال کرند در این محدوده را با استفاده از پارامترهای مورفومتری بررسی نموده است و بر اساس نتایج این بررسی‌ها کلاس فعالیت تکتونیکی حوضه‌ی کرند غرب مشخص شده و نتایج آن با شواهد ژئومورفیک موجود در حوضه تطبیق داده شده است.

ایران بدی و زارع (۱۳۹۳)، با تلفیق روش‌های بر پایه نوع گسل و مشاهدات صحرائی (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴) و یا بر پایه‌ی کد بین‌المللی ساختمان (IBC) که

زمین لغزش و فراوانی رخداد آن و تکتونیک فعال در بررسی ها و پژوهش های زیادی در مناطق مختلف به اثبات رسیده است. فعالیت های تکتونیکی به وسیله ی رخداد زمین لرزه و ایجاد نیروی محرک، بالا آمدگی های تکتونیکی، شکستگی ها و خردشدگی های ناشی گسلش، ایجاد و درز و شکاف در سنگ ها و تسریع فرایند هوازدگی مکانیکی و شیمیایی، ایجاد گور گسلی و برش گسلی به عنوان مصالح مستعد لغزش، افزایش نفوذپذیری سنگ ها، تغییر در جهت و میزان شیب لایه های زمین شناسی باعث رخداد زمین لغزش ها می گردد. لذا با بررسی زمین لغزش های رخ داده در یک منطقه و فراوانی آن ها می توان نسبت به فعالیت تکتونیکی منطقه اظهار نظر نمود. هدف از این پژوهش بررسی و تعیین زون برشی گسل کوشک و تعیین میزان آسیب پذیری روستاهای واقع در حریم گسل و اثبات فعالیت تکتونیکی گسل کوشک با بررسی زمین لغزش های رخ داده و فراوانی آن ها و مقایسه موقعیت مکانی آن ها با گسل کوشک در منطقه است.

روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش حاضر مبتنی بر بررسی ها و مطالعات کتابخانه ای و مشاهدات و برداشت های صحرایی است. در این خصوص اطلاعات مربوط به وضعیت زمین شناسی و زمین ساختی منطقه به صورت کتابخانه ای و صحرایی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، اطلاعات و شواهد فعالیت های تکتونیک فعال از جمله زمین لغزش های رخ داده جمع آوری گردید و نسبت به بررسی صحرایی لغزش های قدیمی و جدید اقدام شد. پس از تکمیل اطلاعات زمین شناسی، زمین لغزش های رخ داده و موقعیت مکانی آن ها، به تجزیه و تحلیل داده ها پرداخته شد. برای انجام این تحلیل ها از نرم افزار ArcGis استفاده شد. مقایسه ی

موقعیت مکانی زمین لغزش ها با گسل اصلی و شکستگی های مرتبط با آن در منطقه نیز انجام شد. در نهایت با تلفیق نتایج حاصل از مقایسه ی رخداد زمین لغزش ها با موقعیت گسل ها نسبت به ارزیابی زمین ساخت فعال اقدام گردید.

در این مقاله به بررسی فعالیت گسل کوشک از طریق بررسی تکتونیک فعال مشتمل بر شواهد فعالیت گسلی از جمله رخداد زمین لغزش ها و مقایسه ی موقعیت مکانی سکونتگاه های واقع در محدوده ی این گسل پرداخته شده و میزان فعالیت تکتونیکی آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش سعی شده است به چند سؤال در همین زمینه پاسخ داده شود. برخی از این سؤالات عبارت اند از: چه تعداد سکونتگاه در پهنه ی گسلی گسل کوشک واقع شده اند؟ ارتباط بین فراوانی رخداد زمین لغزش ها و فعالیت تکتونیکی چگونه است؟ آیا فعالیت زمین ساختی باعث رخداد زمین لغزش در محدوده ی مطالعاتی شده است؟ میزان آسیب پذیری سکونتگاه ها و توسعه ی آتی روستاها با توجه به فعالیت تکتونیکی چگونه است؟

زمین شناسی منطقه ی مورد مطالعه

از دیدگاه زمین شناسی، منطقه ی مورد مطالعه در محدوده ی البرز باختری قرار دارد. از نظر مورفولوژیکی، کوه های این محدوده از یک سری چین ها و راندگی های خاوری- باختری ساخته شده است که به سمت جنوب رانده شده اند. البرز به صورت سلسله کوه هایی به شکل V باز در حاشیه ی جنوبی حوضه ی کاسپین واقع شده است. گسل ها بیشتر به موازات سلسله کوه ها و بیشتر چین ها نیز با فعالیت دوباره ی این گسل ها شکل گرفته اند. گسل های اصلی راندگی و امتداد لغز روند خاوری- باختری تا شمال خاوری- جنوب باختری دارند. این گسل های موازی با سلسله جبال شیب تندی

دو بخش روستا به خوبی قابل مشاهده است (تصویر شماره ۱ c,d,f,e,g). بخش های شرقی و غربی روستا به ترتیب بر روی بستری کنگلومرای و مارنی به سن میوسن واقع شده و قسمت های میانی روستا بر روی واحدهای کواترنری حاصل از زمین لغزشی قدیمی توسعه یافته است. در مقطع روستای کوشک (تصویر شماره ۶b)، فعالیت این گسل باعث رانده شدن واحدهای کنگلومرای ضخیم لایه تا توده ای خاکستری تیره با سخت شدگی خوب و ماسه سنگ ها بر روی مارن های قرمز رنگ با بین لایه هایی از ماسه سنگ، کنگلومرا و گچ شده است و در بخش هایی نیز واحدهای کنگلومرای ضخیم لایه تا توده ای خاکستری تیره با سخت شدگی خوب و ماسه سنگ ها بر روی مارن سبز - قرمز رنگ با عدسی هایی از گچ رانده است.

از نکات قابل توجه، وجود شواهد و پدیده های تکنونیک فعال مشتمل بر قطع شدگی آبرفت های کواترنر، زمین لغزش های فراوان در مقاطع مختلف از جمله مقطع روستای علی آباد، مقطع شرق روستای علی آباد، مقطع جنوب روستای زرا باد، مقطع شمال شهر معلم کلايه و مقطع جنوب روستای وشته در پیرامون این گسل است. همچنین چشمه های گسلی مرتبط با فعالیت گسل در مقطع روستای علی آباد و نزدیک روستای کوشک وجود دارد که در این مقاله به آن ها پرداخته شده است.

بحث و نتایج

با توجه به اینکه گسل کوشک دارای طولی حدود ۲۲ کیلومتر بوده، بررسی شواهد تکنونیک فعال و مطالعه ی پیرامون حریم گسل اهمیت ویژه ای دارد. از آنجایی که پیرامون طول گسل سکونتگاه های زیادی وجود دارند که احتمال می رود روی پهنه ی گسل واقع شده باشند، اهمیت گسل کوشک را از دیدگاه تکنونیک فعال

دارند. این شیب زیاد بیانگر آن است که بیشتر گسل های راندگی، همان گسل های عادی کهن هستند که در زمان نئوژن و کواترنری دوباره فعال شده اند. مشاهدات و مطالعات زمین شناسی صحرایی (تصویر ۱b) مبتنی بر بررسی های جزئی تر در محدوده ی پیرامون گسل کوشک نشان می دهد از نظر چینه شناسی بیشتر شامل تراس ها و پادگانه های آبرفتی به علاوه واحدهای سنگی شامل بازالت خاکستری، تراکی بازالت و آندزیت بازالت، مارن های قرمز رنگ با میان لایه های ماسه سنگی و توالی ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ و آبرفت کواترنر است. بستر سنگی در بخش آبرفتی از کنگلومرا و ماسه سنگ تشکیل شده است. جنس رسوبات آبرفتی کواترنر نسبتاً قدیمی (Qt1) عمدتاً ریزدانه تا متوسط و بعضاً درشت دانه (رس و شن و ماسه و قلوه سنگ و قطعات سنگی) است.

گسل کوشک

این گسل با امتداد تقریبی خاوری - باختری و شیب نزدیک به ۳۰ درجه به سوی شمال، درازایی بالغ بر ۲۲ کیلومتر دارد - در درازا دارای خمش است - و در شمال شرقی استان قزوین و در مجاورت روستای کوشک، در فاصله ی ۳۵ کیلومتری شمال غربی شهر قزوین واقع شده است. سازوکار این گسل راندگی بوده و بیشتر طول آن در داخل واحد کنگلومرای نئوژن است، اما در بخش خاوری سبب رانده شدن سنگ های آتش فشانی ائوسن بر روی گنگلومرای میوسن گشته است. در مقطع روستای علی آباد مرز واحدهای مارنی در بخش های جنوبی تر و توالی کنگلومرا و ماسه سنگ یک مرز گسلی با سازوکار راندگی با شیب به سوی شمال است. در اثر این راندگی واحدهای متشکل از توالی ماسه سنگ و کنگلومرا بر روی واحدهای مارنی رانده شده است. در نقشه و تصویر هوایی، عبور گسل در این مقطع از میانه

دوچندان می‌کند. روستاهای علی‌آباد، کوشک، اوان، گرمارود بالا و پایین از جمله روستاهایی هستند که در نزدیکی گسل واقع شده‌اند. برای بررسی فعالیت گسل و تعیین ویژگی‌های پهنه‌ی زون گسلی در چندین نقطه اقدام به انجام مطالعات زمین‌شناسی صحرایی گردید. این مطالعات شامل بررسی شواهد گسلی مانند خردشدگی‌ها و تعیین شواهد تکتونیک فعال، وجود چشمه‌ها، تغییرات لیتولوژی و رخداد زمین‌لغزش هستند. به دلیل رخداد تعداد بسیار زیاد زمین‌لغزش در محدوده‌ی گسل کوشک، بررسی این زمین‌لغزش‌ها به‌صورت ویژه‌ای انجام شده است.

زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده‌ی روستای علی‌آباد (مقطع D)

این مقطع در مختصات جغرافیایی ۵۰/۳۷ طول شرقی و ۳۶/۴۷ عرض شمالی در محل روستای علی‌آباد برداشت شده است. بخش‌های مختلف روستای علی‌آباد بر روی توالی کنگلومرا و ماسه‌سنگ، مارن با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی و واحدهای کواترنر که خود از مصالح زمین‌لغزشی قدیمی تشکیل شده، واقع شده است. آثار حرکات دامنه‌ای در محدوده‌ی روستای علی‌آباد از سال ۱۳۸۰ مشاهده شده است اما بر اساس گفت‌وگوهای شفاهی با اهالی روستا در اوایل سال ۱۳۹۹ این حرکات سرعت بیشتری پیدا کرده و منجر به ایجاد درز و ترک در ساختمان‌های واقع در بخش میانی روستا شده است (تصاویر شماره‌ی ۳ و ۴). در بخش‌های شرقی و غربی روستا که در حاشیه‌ی محدوده‌ی زمین‌لغزشی قدیمی واقع شده، از این حرکات مصون مانده‌اند. در این محدوده تعداد زیادی زمین‌لغزش منفرد وجود دارد که در زمان‌های مختلف فعالیت کرده و باعث شکل‌گیری مورفولوژی پلکانی در آن محدوده شده است. فعالیت این زمین‌لغزش‌ها در

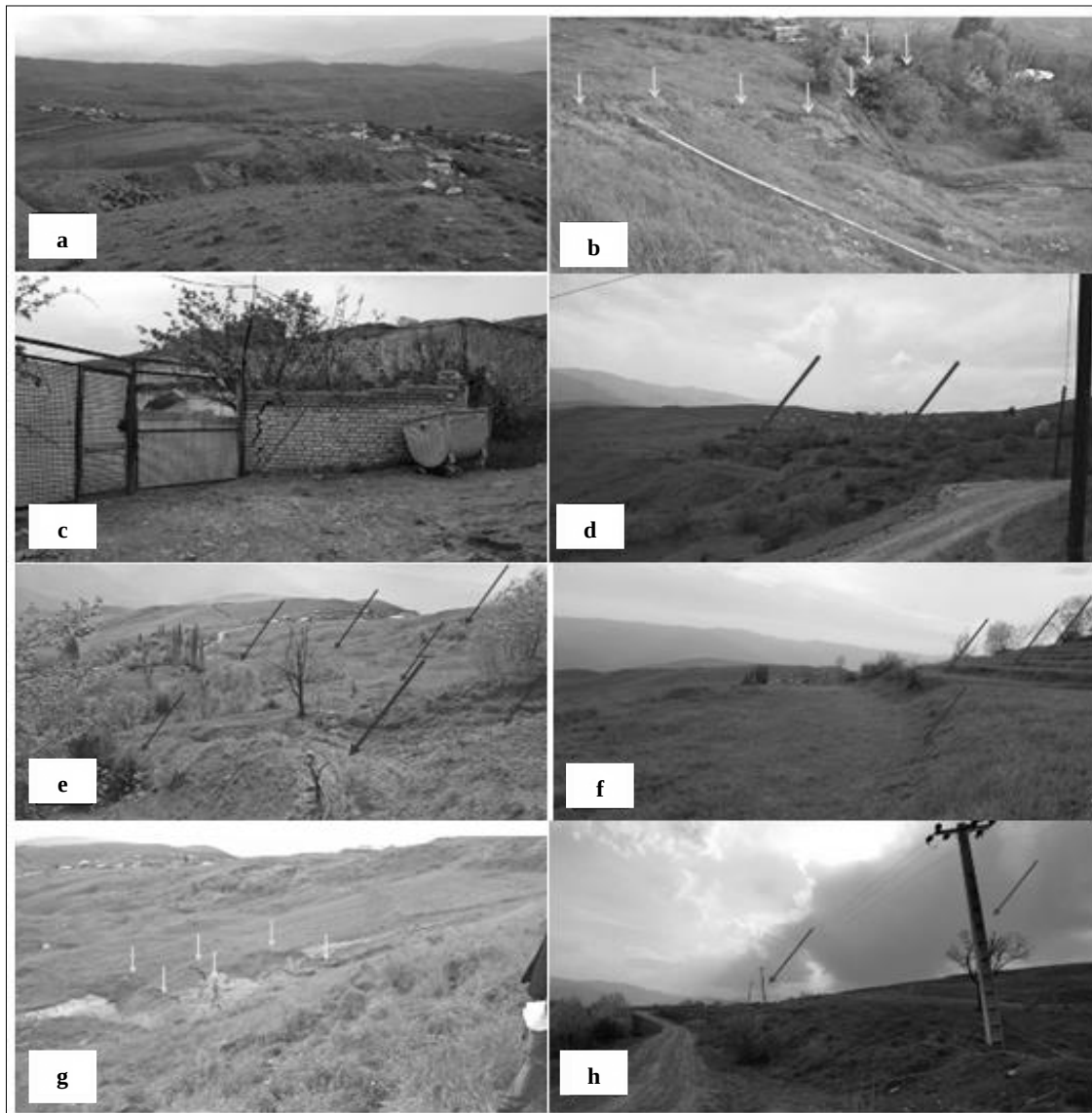
سال‌های اخیر و به‌خصوص در سال ۱۳۹۹ باعث آسیب به منازل مسکونی و سایر سازه‌ها در محل روستای علی‌آباد شده است.

روستای علی‌آباد دارای دو بخش است. بخش قابل توجهی از روستای علی‌آباد از بخش شرقی و غربی روستا بر روی واحدهای کواترنری که از مصالح زمین‌لغزشی تشکیل شده‌اند، واقع شده است (تصویر شماره‌ی ۲).

با توجه به سابقه‌ی زمین‌لغزش، مشاهده می‌شود عوامل ایجادکننده پتانسیل رخداد زمین‌لغزش در گذشته نیز این محدوده وجود داشته‌اند. این عوامل می‌توانند نوع مصالح تشکیل‌دهنده‌ی دامنه و وجود مخازن آب زیرزمینی و یا گسل رانندگی کوشک باشد که به روند شرقی-غربی از بخش میانی بافت مسکونی روستا عبور کرده است. این گسل رانندگی می‌تواند نقش کریدور انتقال آب به زیر دامنه را ایفا کند و یا با حرکت خزشی موجبات تحریک نهشته‌های دامنه‌ای را ایجاد کند. به‌هرحال، به دلیل عملکرد هر یک از عوامل مذکور، یکسری حرکات بطئی در نهشته‌های دامنه‌ای که روستای علی‌آباد بر روی آن قرار دارد، وجود دارد که رخداد زمین‌لغزش‌های متعدد در محدوده‌ی بالادست، پایین‌دست و مجاورت روستا را ایجاد کرده است.

زمین‌لغزش‌های بررسی شده در مقطع C

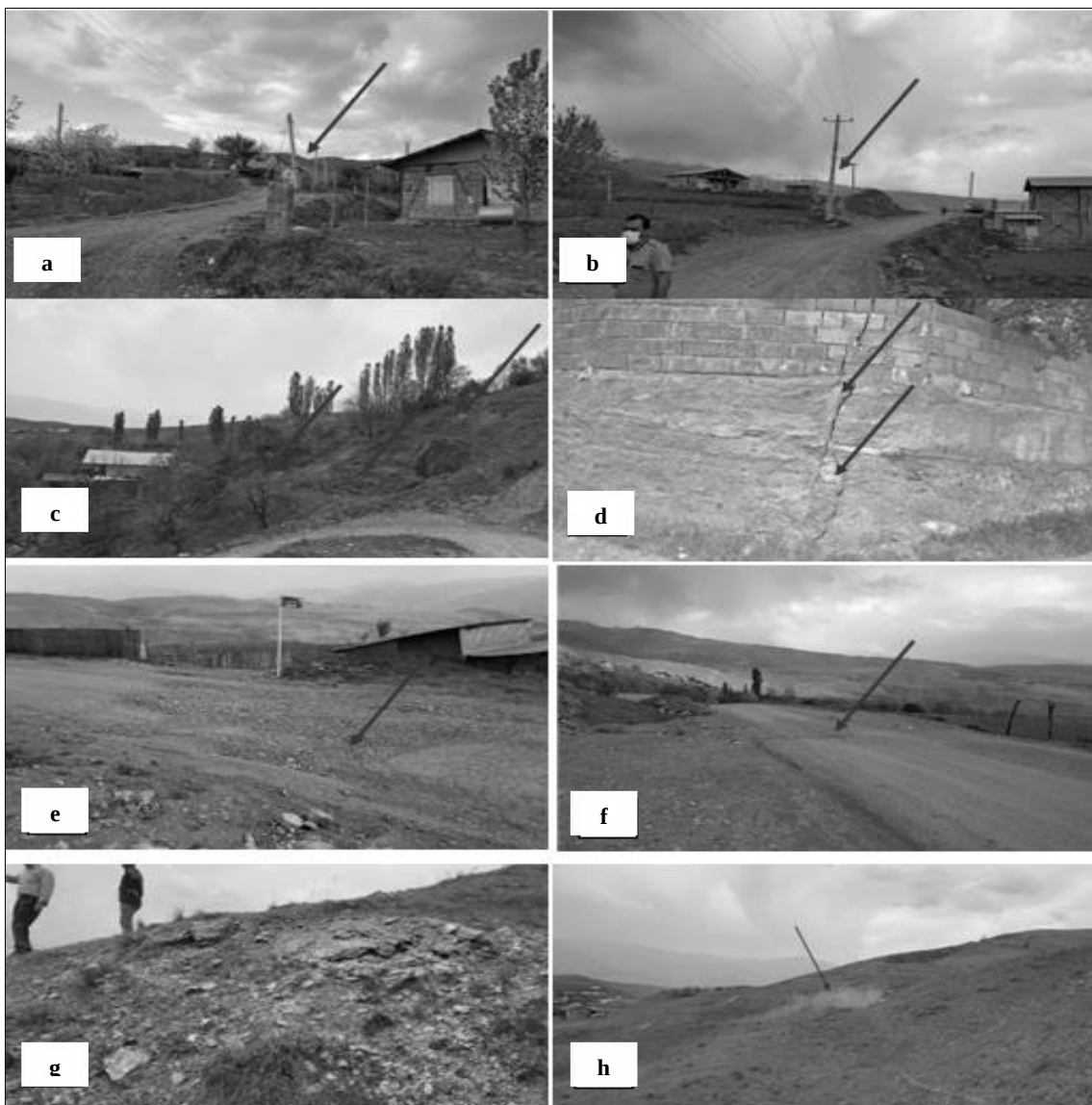
این مقطع در مختصات جغرافیایی ۵۰/۴۱ طول شرقی و ۳۶/۴۷ عرض شمالی در شرق روستای علی‌آباد برداشت شده است. در این قسمت عملکرد گسل کوشک، باعث ایجاد سطوح ضعف، شکستگی‌ها و به‌هم‌ریختگی دامنه‌ای شده است؛ در نتیجه باعث افزایش تعداد زمین‌لغزش‌ها در این محدوده شده است. لذا تعداد زمین‌لغزش‌های رخ داده به‌صورت منفرد بسیار زیاد بوده به‌طوری‌که کل این محدوده به‌صورت



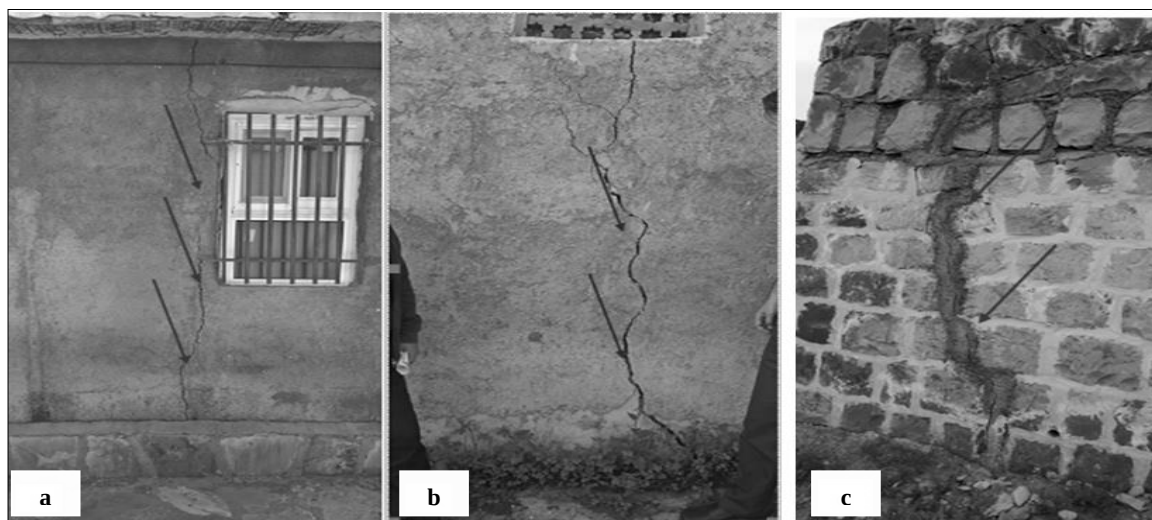
ت ۲. a: به هم ریختگی دامنه و اسکارپ‌های لغزش، b: تراس‌های ایجاد شده توسط زمین لغزش (دید به سمت شرق)، c: گسیختگی ایجاد شده در دیوار حیاط در بخش غربی روستای علی آباد، d: تراس‌های ایجاد شده در محدوده‌ی روستای علی آباد بر اثر رخداد زمین لغزش‌های ناشی از فعالیت گسل (دید به سمت غرب)، e: به هم ریختگی دامنه در روستای علی آباد در اثر رخداد زمین لغزش‌های ناشی از فعالیت گسل (دید به سمت غرب)، f: تراس‌بندی‌های انجام شده جهت کشاورزی در دامنه‌ی بالادست روستا در بخش شرقی که می‌تواند باعث نفوذ بیشتر آب به دامنه و تشدید رخداد زمین لغزش شود (دید به سمت غرب)، g: زمین لغزش در دامنه‌ی مجاور بخش شرقی و بین دو بخش روستا که اخیراً در سال ۱۳۹۹ رخ داده و منجر به روانه گلی شده است. فلش‌های زرد رنگ ترک‌های کششی ناشی از زمین لغزش را نشان می‌دهد (دید به سمت غرب)، h: کج شدگی تیر برق، دید به سمت غرب، (صیوری، ۱۴۰۰).

از ۱۰۰ متر است. جنس پادگانه آبرفتی عمدتاً ریزدانه‌ی رسی سیلتی و بیشتر از فرسایش واحدهای آهکی و رسوبی بالادست روستا است که طی دوره‌ی کواترنر فرسایش پیدا کرده و تشکیل پادگانه داده‌اند.

همان‌طور که ذکر شد ناپایداری دامنه‌ای روستای زرآباد بیشتر مربوط به بخش‌های حاشیه‌ای و لبه‌های پرتگاه پادگانه در بخش‌های شرقی که مشرف به رودخانه‌ی زرآباد است. ارتفاع دیواره‌ی پادگانه از محل رودخانه تا لبه‌ی پادگانه بیش



ت ۳. آثار رخداد زمین‌لغزش در روستای علی‌آباد. a و b: کج شدگی تیر برق، c: به هم ریختگی دامنه و اسکارپ‌های لغزش، d: ترک در دیوار ساختمان، e و f: تخریب جاده توسط زمین‌لغزش، g: رخنمون گچ و گلسنگ، h: چشمه (صبوری، ۱۴۰۰).



ت ۴. a و b: وجود ترک بر روی دیواره‌ی ابنیه‌ی روستا، c: ترک خوردگی دیوار سنگی در اثر حرکت خزشی زمین لغزش روستای علی آباد در بخش غربی روستا (صبوری، ۱۴۰۰).

زمین لغزش‌های بررسی شده در مقطع E

این مقطع در مختصات جغرافیایی ۵۰/۳۳ طول شرقی و ۳۶/۴۷ عرض شمالی در جنوب روستای وشته برداشت شده است. در این قسمت نیز همانند مقطع C عملکرد گسل کوشک، باعث ایجاد سطوح ضعیف، شکستگی‌ها و به هم ریختگی دامنه‌ای و در نتیجه باعث افزایش تعداد زمین لغزش‌ها در این محدوده شده است. تعداد زمین لغزش‌های رخ داده به صورت منفرد بسیار زیاد بوده به طوری که کل این محدوده به صورت یک پهنه‌ی بزرگ لغزشی در نظر گرفته شد (تصویر شماره‌ی ۶ f,g).

چشمه‌های موجود در محدوده‌ی گسل کوشک

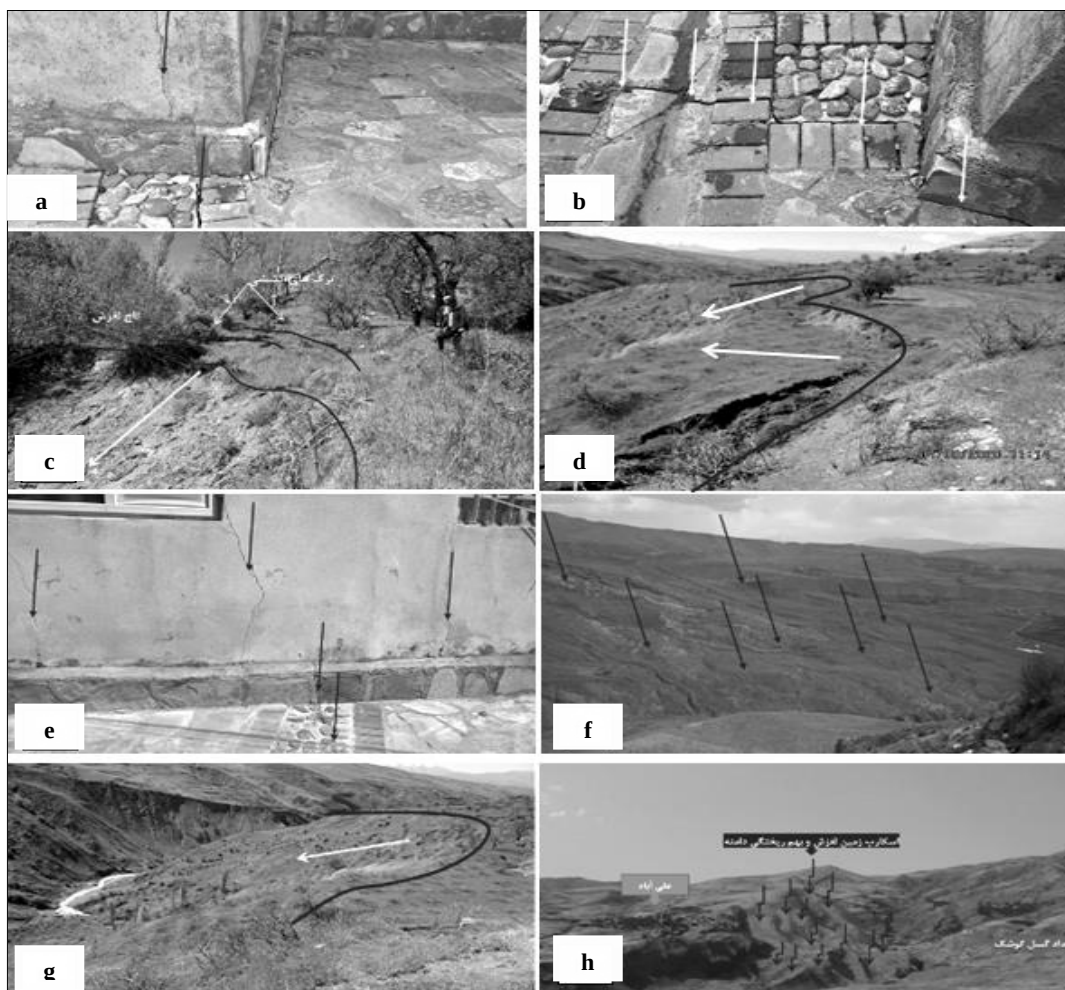
طی بررسی‌های صحرایی در محدوده‌ی گسل کوشک، چندین چشمه در نزدیکی روستاهای پیرامون این گسل (از جمله روستاهای کوشک، زرآباد، علی آباد، گرمارود پایین) مشاهده شد. سازوکار شکل‌گیری این چشمه‌ها را می‌توان به فعالیت گسل کوشک مرتبط نمود.

زمین لغزش‌های بررسی شده در مقطع A

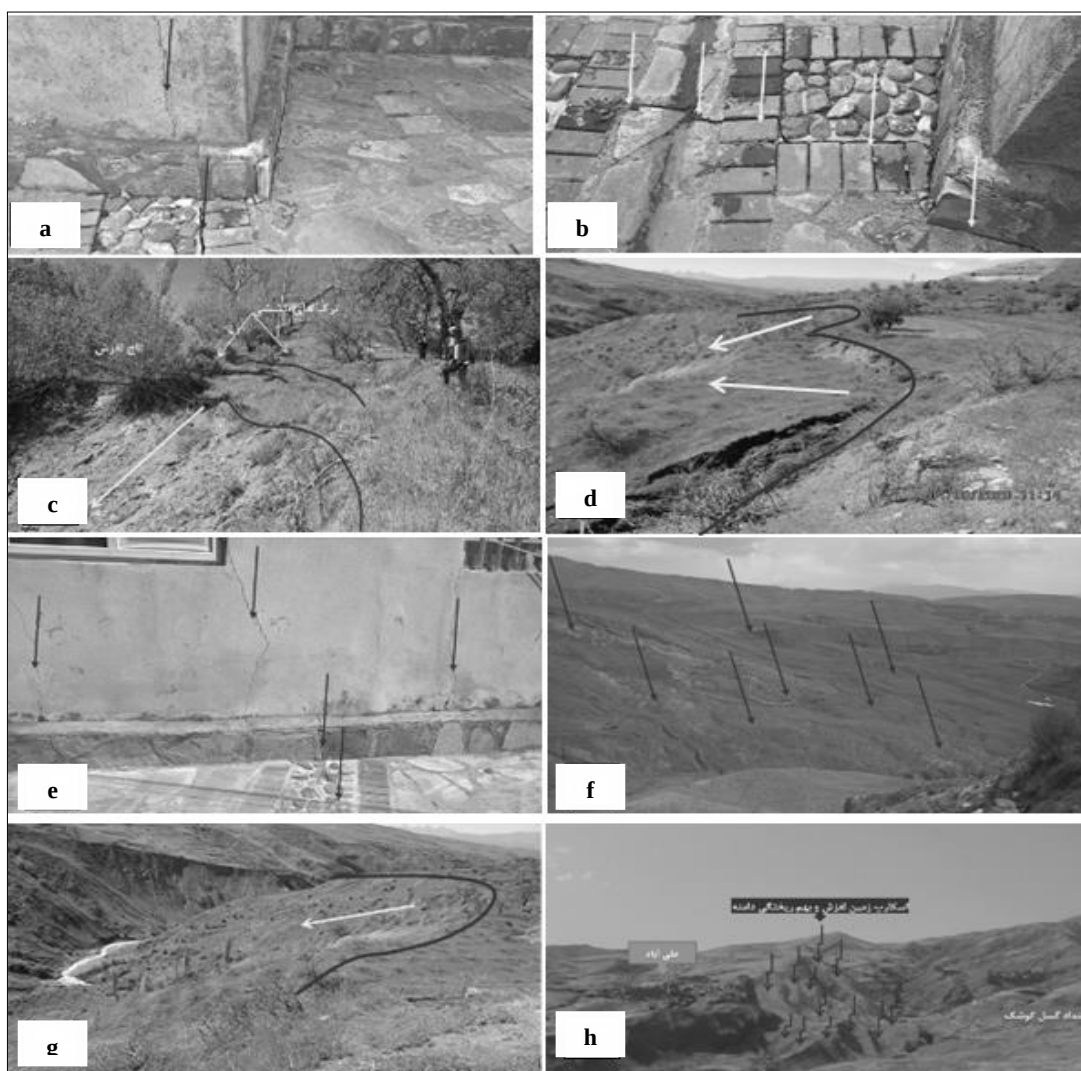
این مقطع در مختصات جغرافیایی ۵۰/۴۷ طول شرقی و ۳۶/۴۷ عرض شمالی در شمال شهر معلم کلایه برداشت شده است. زمین لغزش معلم کلایه یک زمین لغزش قدیمی است که احتمالاً طی رخداد لرزه‌ای فعال شده است. این زمین لغزش در سازند متشکل از کنگلومرای ضخیم لایه تا توده‌ای خاکستری تیره با سخت‌شدگی خوب و ماسه‌سنگ رخ داده، به صورت بهمن سنگی به سمت پایین حرکت کرده و تا مسافت بیش از چهار کیلومتر مصالح لغزش به پایین‌دست حرکت نموده است. محدوده‌ی تحت تأثیر آن حدود ۶۰۰ هکتار بوده و از تاج لغزش با پنجه لغزش حدود ۴/۵ کیلومتر و در عرض حدود ۱/۵ کیلومتر است. تاج لغزش در ارتفاع ۲۳۰۰ متری از سطح دریا و پنجه لغزش در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا واقع شده و اختلاف ارتفاع تاج با پاشنه‌ی لغزش حدود ۷۰۰ متر است (تصویر شماره‌ی ۶ d,e).

نشان‌دهنده‌ی این است که شکل‌گیری شکستگی‌های ناشی از فعالیت گسل کوشک و توسعه و تحول بعدی آن‌ها برای خروج آب زیرزمینی از طریق این چشمه‌ها مؤثر بوده است (تصویر شماره‌ی h۱ و h۳ و h۶).

به این ترتیب اغلب این چشمه‌ها از نوع چشمه‌های گسلی محسوب می‌شوند. چشمه‌های موجود در منطقه‌ی مطالعاتی در محدوده‌ی طول گسل کوشک دارای فراوانی بیشتری هستند. احتمالاً این فراوانی



ت ۵. a: وجود ترک‌های کششی در کف جدول معابر روستا و برخی منازل مسکونی، b: وجود ترک‌های کششی در کف جدول معابر روستا و برخی منازل مسکونی، c: موقعیت زمین‌لغزش رخ داده در محدوده‌ی شمال شرقی بافت مسکونی روستا که در مجاورت روستای زرآباد قرار دارد (دید به سمت غرب)، d: نمایی از زمین‌لغزش جدید دربر روی پهنه‌ی زمین‌لغزش قدیمی در جنوب روستای زرآباد (دید به سمت غرب)، e: ترک‌های کششی ایجادشده در کف معبر دیوار واحد مسکونی، f: پهنه‌ی زمین‌لغزشی و تراس‌های زمین‌لغزش ایجادشده در محدوده‌ی شرقی روستای علی‌آباد بر اثر رخداد زمین‌لغزش‌های ناشی از فعالیت گسل کوشک (دید به سمت شرق)، g: نمایی از زمین‌لغزش قدیمی در جنوب روستای زرآباد (دید به سمت غرب)، h: نمایی از زمین‌لغزش‌های شرق روستای علی‌آباد، دید به سمت شمال، شمال غرب (صبوری، ۱۴۰۰).



ت ۶. a: پهنه لغزشی در شرق روستای علی آباد، b: نمایی از جهت حرکت گسل کوشک در شرق روستای علی آباد (دید به سمت شمال غرب)، c: نمایی از به هم ریختگی دامنه در روستای علی آباد بر اثر رخداد زمین لغزش های ناشی از فعالیت گسل (دید به سمت شمال)، d: محدوده ی زمین لغزش معلم کلايه، e: زمین لغزش معلم کلايه (دید به سمت شمال، شمال غرب)، f: پهنه ی لغزشی در جنوب روستای وشته، g: پهنه ی زمین لغزشی و تراس های زمین لغزش ایجاد شده در محدوده ی جنوب روستای وشته بر اثر رخداد زمین لغزش های ناشی از فعالیت گسل کوشک (دید به سمت شمال غربی)، h: وجود چشمه در محدوده ی زون گسلی کوشک در نزدیک روستای کوشک، دید به سمت جنوب (صبوری، ۱۴۰۰).

تأثیرگذاری گسل کوشک برای رخداد زمین لغزش ها، پهنه ی زون برشی گسل کوشک به میزان ۲۶۰ متر از طرفین گسل اندازه گیری شد.

با توجه به بررسی شواهد زمین شناسی صحرایی صورت گرفته در مقاطع مختلف گسل کوشک و وجود چشمه ها، سنگ ها و زون خرد شده، پهنه های لغزشی و

با توجه به تعیین پهنه‌ی زون برشی گسل کوشک و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis موقعیت مکانی روستاهای محدوده‌ی مطالعاتی با پهنه‌ی زون برشی گسل مقایسه گردید و روستای علی‌آباد به‌صورت کامل در پهنه‌ی گسلی قرار گرفته و بخشی از روستاهای کوشک، زرآباد، گرمارود بالا، سیمیارداشت و حسن‌آباد بر روی پهنه‌ی گسیختگی گسل واقع شده‌اند.

لذا با توجه به فعالیت گسل کوشک و تحریک زمین‌لغزش‌ها، روستای علی‌آباد در معرض خطر رخداد زمین‌لغزش بوده و با توجه به وسعت محدوده‌ی لغزشی کنترل زمین‌لغزش هزینه‌بر و سخت خواهد بود. ازاین‌رو منازل مسکونی این روستا در معرض خطر جدی زمین‌لغزش هستند. روستاهای دیگری که بخشی از آن‌ها در محدوده‌ی پهنه‌ی گسلی کوشک واقع شده‌اند، به‌صورت موردی و مقطعی ممکن است در معرض خطر رخداد زمین‌لغزش قرار بگیرند، بنابراین اتخاذ تمهیدات مهندسی در ساخت‌وساز منازل حائز اهمیت است.

نتیجه

با توجه به بررسی‌ها و مشاهدات صحرایی انجام‌شده بر روی مقاطع برداشت پنج‌گانه در محدوده‌ی پیرامونی گسل کوشک و مناطق پیرامون طول آن، شواهد فعالیت گسل شامل خردشدگی در سنگ‌ها، وجود چشمه‌ها، زمین‌لغزش‌های فراوان رخ داده در محدوده‌ی گسلی ثبت و مشخص گردید. با عنایت به این مطالعات و مشاهدات، چشمه‌های گسلی، به‌هم‌ریختگی‌های دامنه‌ای، پهنه‌ی گسلی گسل کوشک در مقاطع بررسی‌شده، به میزان میانگین حدود ۲۶۰ متر در طرفین گسل اندازه‌گیری گردید. در محدوده‌ی گسل کوشک تعداد زیادی روستا وجود دارد که برخی از آن‌ها ازجمله روستای علی‌آباد کاملاً بر روی پهنه‌ی گسل واقع شده‌اند. همچنین بخشی از بافت کالبدی

تعدادی از روستاها ازجمله روستاهای کوشک، زرآباد، گرمارود بالا، سیمیارداشت و حسن‌آباد، بر روی پهنه‌ی گسلی واقع شده است. برای روستای علی‌آباد که کل بافت کالبدی آن واقع بر روی گسل کوشک واقع شده و برای روستاهای کوشک، زرآباد، گرمارود بالا، سیمیارداشت و حسن‌آباد که بخشی از بافت کالبدی آن‌ها بر روی پهنه‌ی گسل کوشک واقع شده است، به‌منظور جلوگیری از مرگ‌ومیر ناشی از گسیختگی سطحی حین زلزله و یا رخداد زمین‌لغزش‌های ناشی از فعالیت گسل و کاهش آسیب‌پذیری، جابه‌جایی روستا به نقطه‌ی دیگر و یا اصلاح سمت توسعه‌ی آتی روستا به خارج از حریم گسیختگی گسل کوشک ضروری است. بدین منظور می‌توان در تهیه‌ی و یا بازنگری طرح هادی این روستاها، زون برشی تعیین‌شده برای گسل کوشک را ملاک توسعه‌ی آتی روستاها قرار داده و در تعیین سمت توسعه‌ی آتی این روستاها ساخت‌وساز جدید بر روی پهنه‌ی زون برشی گسل کوشک را ممنوع اعلام نمود.

پی‌نوشت

1. Pedrera
2. Bull
3. Rockwell
4. Wells
5. Silva
6. Guarnieri and Pirrotta
7. El Hamdouni
8. Wei dong
9. Sanchez
10. Abdullah
11. Galve
12. Donny
13. Sharma & Sarma

فهرست منابع

— ایران بدی، دی‌ناز؛ زارع، مهدی. (۱۳۹۳). حریم ساخت‌وساز روی گسل‌های شیب‌لغز، مطالعه‌ی گسل پیشوا در جنوب تهران. فصلنامه‌ی علوم زمین، شماره‌ی ۹۴.

- زرگرزاده، مرضیه؛ رنگزن، کاظم؛ چرچی، عباس؛ آبشیرینی، احسان. (۱۳۸۸). کاربرد GIS و شاخص‌های ژئومورفیک در پهنه‌بندی تکتونیک فعال زون زاگرس، همایش و نمایشگاه ژئوتوماتیک، تهران.

- شریعت جعفری، محسن. (۱۳۷۶). زمین لغزش، انتشارات سازه. تهران.

- شفیع بافتی، امیر؛ شاکر اردکانی، علیرضا؛ الهی، علی؛ تراز، حمید؛ ایرانمنش، مهدی (۱۳۸۹). بررسی زون مخرب گسل‌های امتدادلغز با نگرشی جدید در تعیین حریم گسل و نقش آن در تعیین ضریب ایمنی جهت احداث سازه‌های مهندسی، کنفرانس بین‌المللی سبک‌سازی و زلزله، کرمان.

- صبوری، سعیدمحمد. (۱۴۰۰). زمین ساخت جنوب در نیمه جنوبی البرز مرکزی (از کرج تا قزوین) رساله دکتری زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

- عزتی، مریم؛ آق آتابای، مریم. (۱۳۹۴). تحلیل زمین ساخت فعال حوضه‌ی بجنورد با کمک شاخص‌های مورفوتکتونیک، نشریه‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۲) ۷۱۱-۷۹۰.

- کیانی، طیبه؛ هیراد، ندیم؛ غفورپور عنبران، پرستو. (۱۳۹۹). بررسی ویژگی‌های زمین ساخت فعال در گستره‌ی رودبار با نگرش ویژه بر زمین لغزش‌های منطقه‌ی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. (۱) ۷: ۶۵-۸۸.

- مجرب، مسعود؛ زارع، مهدی. (۱۳۸۸). تعیین حریم مهندسی گسل شمال تهران. جهاد دانشگاهی، سال چهارم، شماره ۱.

- میرنظری، جواد؛ شهابی، هیمن؛ خضری، سعید. (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه‌ی آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، نشریه‌ی جغرافیا و توسعه، (۱۲) ۳۷-۵۳-۷۰.

- Abdullah. A., Nasser. S., and Ghaleeb. A. (2013). Landsat ETM-7 for Lineament Mapping using Automatic Extraction Technique in the SW part of Taiz area, Yemen. Global Journal of HUMAN SOCIAL SCIENCE Geography, Geo Sciences, Environmental & Disaster Management, 13(3), 34-38.
- Bull, W. B., and McFadden, L. D., (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In Geomorphology in arid regions. Proceedings of the eighth annual geomorphology symposium. State University of New York,

- بربریان، مانوئل؛ قریشی، منوچهر؛ ارژنگ روش، بهرام؛ مهاجرآشجعی، ارسلان. (۱۳۶۴). پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در گستره‌ی تهران بزرگ و پیرامون، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره‌ی ۵۶.

- بهاروند، سیامک؛ سوری، سلمان؛ رهنماد، جعفر؛ جودکی، مسعود. (۱۳۹۷). تحلیل فعالیت زمین ساختی و ارتباط خطواره‌ها با خطر زمین لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی وارک، لرستان). نشریه‌ی زمین شناسی مهندسی. ۱۲ (۲) ۲۳۷-۲۵۸.

- پروین، منصور. (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتری و ژئومورفیک (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی کرندغرب). فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۰ (۲) ۷۵-۹۲.

- حبیبی، علیرضا. (۱۳۹۴). بررسی زمین لغزش‌ها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک. مهندسی و مدیریت آبخیز، (۱) ۷، ۹۸-۱۰۸.

- جمال آبادی، جواد؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر در پیدایش و تکامل مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی ارتفاعات جغتای با تأکید بر نقش تکتونیک (در محدوده‌ی غرب سبزوار)، نشریه‌ی جغرافیا و توسعه، (۴۷) ۸۸-۶۹.

- جباری، ندا؛ حسین زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمدرضا؛ حسین زاده، محمد مهدی. (۱۳۹۱). مطالعه‌ی مورفوتکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز حصارک شمال غرب تهران (با استفاده از شاخص‌های مورفومتری). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۱۷-۳۴، (۲) ۱.

- رضائی، بهمن؛ ابراهیمی، هدی. (۱۳۸۸). شناخت عوامل مؤثر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز سد برنجستانک قائمشهر. فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی (۴) ۱۲۷-۱۳۶.

- زارع، م. (۱۳۸۰). خطر زمین لرزه و ساخت و ساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین لرزه‌ای ایران. پژوهشنامه‌ی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره‌ی دوم و سوم.

Binghamton. 115-138.

- Burbank, D., Anderson, R., 2001. Geomorphic markers. Burbank, DW & Anderson, RS, Tectonic Geomorphology. Malden:(ed.) Blackwell Publishing, 13-32.

- 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.

- Galve, J. P., Piacentini, D., Troian, F., and Della Seta, M. (2014). Stream length-gradient index mapping as a tool for landslides identification. In Mathematics of Planet Earth, Springer, Berlin, Heidelberg . 343-346.

- Guarnieri, P., and Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology, 95(3), 260-273.

- Pedrera, A., Pérez-Peña, J. V., Galindo-Zaldívar, J., Azañón, J. M., & Azor, A. 2009.

- Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). Geomorphology, 105(3-4), 218-231.

- <https://doi.org/10.22034/41.177.29>