



فصلنامه زمین ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۹۴
۱۵-۲۵

تحلیل یافته‌های مقدماتی پارینه‌لرزه‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی گسل قلعه‌سرخ، خاور ایران

حسام یزدان پناه^{۱*}، محمد مهدی خطیب^۲، حمید نظری^۳، ابراهیم غلامی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۲. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۳. استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

چکیده

در خاور ایران زمین‌لرزه‌های متعدد تاریخی و دستگامی خسارت بار گزارش شده است، لذا مطالعات دقیق ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی نقش مهمی در تهیه مدل لرزه‌زمین‌ساخت این بخش از ایران دارد. گسل قلعه‌سرخ با داشتن سابقه لرزه‌خیزی و شواهد ریخت‌زمین‌ساخت جوان، نمونه مناسبی برای مطالعات پارینه‌لرزه‌شناسی است. گسل قلعه‌سرخ با راستای شمالی - جنوبی و طول ۵۷ کیلومتر و سازوکار امتدادلغز راست‌بر، یکی از گسل‌های فعال و لرزه‌زای بخش شمالی پهنه زمین درز سیستان است. بررسی ریخت‌زمین‌ساختی این گسل با تلفیق داده‌های حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل ارتفاعی زمین و بازدید میدانی، بریدگی رسوبات کواترنر و جابجایی آبراهه‌ها به صورت راست بر را نشان می‌دهد. به منظور بررسی‌های پارینه‌لرزه زمین‌ساختی سایتی با موقعیت جغرافیایی تقریبی "۵۹°۲۵' شرقی و ۳۳°۳۲'۴۰" شمالی، بر روی گسل قلعه‌سرخ انتخاب شده است. در این سایت یک ترانشه اصلی به طول ۲۱ متر، عمق ۴/۵ متر و راستای $N80^{\circ}E$ ، و دو ترانشه جانبی جهت جستجوی شواهد بیشتر از عملکرد گسل حفر شده است. مقادیر برآورد شده از ویژگی‌های هندسی گسل قلعه‌سرخ همچون راستا و شیب، برابر $72^{\circ}E$ و $N7^{\circ}W$ است که نشانگر گسلی با سازوکار و لغزش راستالغز راست‌بر و کمی مولفه معکوس است.

کلمات کلیدی: خاور ایران، پارینه‌لرزه‌شناسی، ریخت‌زمین‌ساخت، گسل قلعه‌سرخ، گسلش فعال

* . مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: hesam.yazdanpanah@yahoo.com

۱ - مقدمه

و زمین‌لرزه‌های اصلی خاور ایران صورت گرفته و سپس نتایج بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی و یافته‌های مقدماتی دستاوردهای پژوهش پارینه‌لرزه‌شناسی گسل قلعه سرخ ارائه شده است که اطلاعات نوینی جهت شناخت دقیق‌تر از چگونگی جنبش جوان این گسل را بیان می‌کند.

۲ - زمین‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی گستره

در سیستم کوهزایی آلپ - هیمالایا، توسعه کوه‌های خاور ایران تحت عنوان زیر پهنه زمین درز سیستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گسل قلعه سرخ در بخش میانی زون زمین درز سیستان واقع شده است. این گستره در برگیرنده نهشته‌هایی از میانه‌زیستی و نوزیستی شامل نهشته‌های آواری از کرتاسه فوقانی تا الیگومیوسن است که از پدیده‌های آتشفشانی پس از کرتاسه تأثیر پذیرفته‌اند. این نهشته‌ها شامل تناوبی از شیل، ماسه‌سنگ با میان لایه‌های نازک از سنگ آهک آواری می‌باشد. واحدهای آتشفشانی حاصل از کشش پوسته (با ترکیب ریولیت، داسیت، آندزیت و بازالت) نیز در پاره‌ای از نواحی رخنمون دارند (نظری، ۱۳۷۱). منطقه قلعه سرخ از نظر لیتولوژی شامل: رسوبات کواترنر، کنگلومرای نتوزن، شیل‌های اتوسن و واحدهای آندزیتی می‌باشد.

۳ - لرزه‌زمین‌ساخت و پیشینه لرزه‌خیزی گستره

عامل اصلی تغییر شکل فعال در فلات ایران، همگرایی بین پوسته عربی و اوراسیا می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده با GPS، مقدار و سمت حرکت صفحه عربی به سمت شمال باعث ایجاد برش راستبر شمالی - جنوبی در شرق ایران می‌شود (Walker and Jackson, 2002). لذا تغییر شکل‌های فعال و اخیر شرق ایران توسط گسل‌های امتدادلغز راست بر با روند شمالی - جنوبی ایجاد و کنترل می‌شوند.

داده‌های لرزه‌های دستگاهی و تاریخی اهمیت زیادی در شناخت ماهیت لرزه‌زمین‌ساختی یک منطقه دارد ولی استناد به این داده‌ها به تنهایی نمی‌تواند گویای واقعیت زمین‌ساختی یک منطقه فعال زمین‌ساختی مانند خاور ایران باشد. علم پارینه‌لرزه‌شناسی (Paleoseismology) با بررسی ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های بزرگ به وقوع پیوسته در بازه زمانی هلوسن، داده‌های کاملتری نسبت به داده‌های تاریخی در اختیار ما قرار می‌دهد. به اعتقاد Freund (1970)، Vernant et al. (1983)، Parsons et al. (2006) و al. (2004) خاور ایران وابسته به برش راست بر بین ایران و افغانستان می‌باشد و بخشی از همگرایی مایل سبب فعالیت گسل‌های حاشیه لوت می‌گردد. (Berberian 2000). (2001) با بررسی گسل‌های فعال در خاور ایران بر این باور است که گسل‌های شمالی - جنوبی با سازوکار امتدادلغز راست بر در پایانه‌ها، به گسل‌های شمال باختری - جنوب خاوری (با مؤلفه غالب راندگی) منتهی می‌شوند. (Walker and Khatib 2006) تکتونیک فعال در ناحیه بیرجند را نتیجه تأثیر متقابل روندهای گسلی اصلی (شمالی - جنوبی و خاوری - باختری) می‌دانند و معتقدند که فرایند انتقال از گسلش امتدادلغز راست بر در جنوب با روند غالب شمالی - جنوبی، به گسلش امتدادلغز چپگرد در شمال با روند غالب خاوری - باختری، سبب توزیع گسترده گسلش فعال در مناطق بین آن‌ها گردیده است. گسل قلعه سرخ با روند شمالی - جنوبی و طول ۵۷ کیلومتر در بخش شمالی پهنه لوت واقع شده است (شکل ۱). این گسل نخستین بار در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (نظری، ۱۳۷۱) و به خاطر نزدیکی به روستای قلعه سرخ (واقع در شمال شرق شهر سریشه) و با ذکر شواهدی از حرکت‌های امتدادلغز راست بر در رسوبات شناسایی و بدین نام معرفی شده است. در این تحقیق ابتدا بررسی اجمالی از گسلش فعال

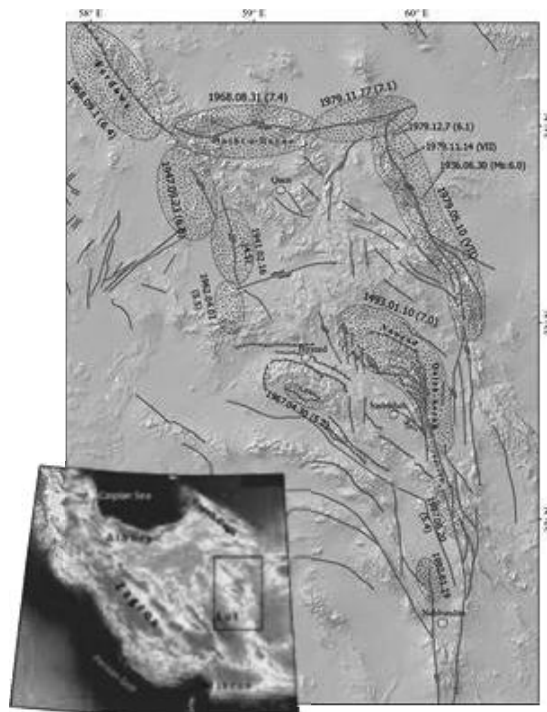
دگرریختی شدید دامنه کوه شد که بعدها به عنوان گسل نوزاد نامیده شد.

- زمین‌لرزه ۱۵ فوریه ۱۵۴۹ میلادی بیرجند: در طی این رخداد، بیرجند و روستاهای اطراف آن تخریب شد و ۳۰۰۰ تن جان باختند. هیچ سطح شکستی از زلزله‌شناسایی نشده است.

زمین‌لرزه ۱۶ فوریه ۱۹۴۱ میلادی محمدآباد: در اوایل شب زمین‌لرزه‌ای به منطقه تنک جمعیت شمال غرب بیرجند آسیب سنگینی رساند. روستای محمدآباد به کلی ویران شد و ۶۸۰ تن از ساکنان آن کشته شدند. بزرگی این زمین‌لرزه، ۶/۱ در مقیاس ریشتر برآورد شده است و آثار این گسلش هنوز قابل مشاهده است.

شناسایی گسل‌های فعال در تعیین میزان فعالیت یک منطقه از نظر تکنیکی و لرزه‌زمین‌ساختی مهم می‌باشند. بررسی زمین‌لرزه‌های گذشته یک ناحیه، الگوی لرزه‌خیزی و سیمای لرزه‌زمین‌ساختی آن ناحیه را آشکار می‌سازد. از این رو شناخت عامل و جایگاه رویداد زمین‌لرزه‌های گذشته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Berberian *et al.*, 1999). لذا در این بخش اشاره‌ای مختصر به رخداد‌های لرزه‌ای مهم در منطقه می‌شود (Ambraseys & Melville, 1982):

- زمین‌لرزه ۹ ژانویه ۱۴۹۳ میلادی نوزاد: این زمین‌لرزه منطقه کوهستانی مؤمن‌آباد در شرق بیرجند را در هم کوبید. بیشتر ساکنان روستای نوزاد جان باختند و در مسک نیز بسیاری کشته شدند. گسلش سطحی این زمین‌لرزه بین نوزاد تا مسک موجب



شکل ۱. نقشه لرزه‌زمین‌ساخت خاور ایران شامل گسل‌های فعال (خطوط قرمز رنگ) و محدوده‌های کانون سطحی زمین‌لرزه‌های بزرگ پیشین. (اقتباس از (Berberian *et al.*, 1999).

بیرجند را لرزاند. رومرکز این زمین‌لرزه در روستای گیو واقع شده بود. در اثر این رویداد روستای گیو به

- زمین‌لرزه ۱۰ فوریه ۱۹۴۶ میلادی گیو: اوایل شب زمین‌لرزه شدیدی در دشت مختاران در جنوب

کیلومتر در بخش شرقی گسل دشت بیاض و در حد فاصل روستاهای چاه زندر و بنیاباد ایجاد کرد. این ناحیه کم جمعیت است و زمین لرزه کشته نسبتاً کمی داشت.

- زمین لرزه ۱۰ می ۱۹۹۷ میلادی اردکول: در روز شنبه ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زلزله‌ای با بزرگی ۷/۲ ریشتر در مقیاس امواج درونی در ناحیه‌ای بین اردکول و حاجی‌آباد در بخش زیرکوه قاین روی داد. سازوکار غالب گسل از نوع راست بر با مؤلفه فشاری است. این زمین لرزه موجب رخنمون شواهد سطحی گسلش امتداد لغز راست بر اردکول به طول ۱۲۶ کیلومتر با روند غالب N340 گردیده است.

۴- ریخت زمین ساخت گسل قلعه سرخ

با توجه به نتایج بازدیدهای میدانی گسل قلعه سرخ، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌های رقومی برگرفته از نقشه برداری دقیق با GPS Kinematic، امکان بررسی ریخت زمین ساختی جهت پردازش هندسه و سازوکار این گسل فراهم شده است. با حرکت در راستای این گسل، پرتگاه‌ها و نشانه‌های آشکار زمین ساختی قابل مشاهده است. همچنین شبکه آبراه‌های جابجا شده در محل عبور گسل، نشانگر مؤلفه غالب راست‌لغز راست بر در راستای N-S برای گسل قلعه سرخ است (شکل ۲).

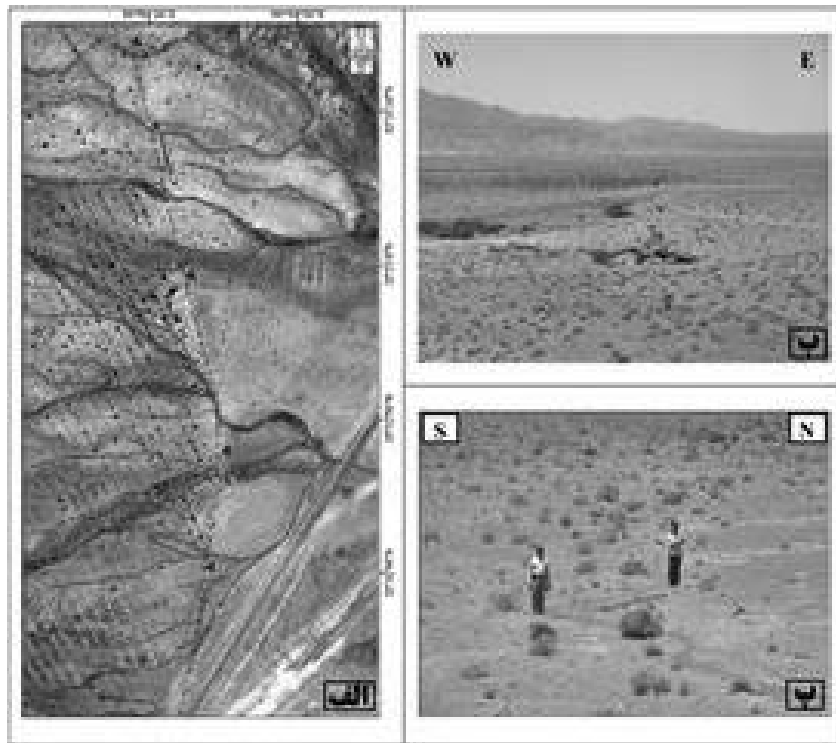
کلی ویران شد. این زمین لرزه با گسلش سطحی نیز همراه بوده و آثار آن به صورت پرتگاه‌های گسلی مشهود بوده است.

- زمین لرزه ۱ آوریل ۱۹۶۲ م. موسویه: هنگام سپیده دم ۱ آوریل ۱۹۶۲ میلادی، زمین لرزه‌ای خسارت‌بار (با بزرگی ۵/۵ در مقیاس ریشتر) تعدادی از روستاهای واقع در شمال بیرجند (موسویه چاهک، چلونک و تاجکوه)، در منطقه‌ای که در اثر زمین لرزه ۱۶ فوریه ۱۹۴۱ در هم کوبیده شده بود، را به ویرانه تبدیل کرد.

- زمین لرزه ۳۱ اوت ۱۹۶۸ میلادی دشت بیاض: در اوایل بعد از ظهر ۹ شهریور ۱۳۴۷ زمین لرزه فاجعه باری با بزرگی ۷/۱ ریشتر، خاور ایران را لرزاند و طی آن منطقه وسیعی از شمال غرب قائن آسیب دید. تمرکز اصلی آسیب‌ها در دره نیمبلوک بود که در آن بیش از ۲۵۰۰ تن جان باختند. در دشت بیاض همه خانه‌ها کاملاً فروریخت و ۱۲۳۰ تن از ساکنان آن کشته شدند. یکی از نشانه‌های بارز این زمین لرزه، حدود هشتاد کیلومتر گسلش سطحی است.

- زمین لرزه ۱ سپتامبر ۱۹۶۸ میلادی فودوس: در حدود ۲۱ ساعت پس از زمین لرزه دشت بیاض، زمین لرزه شدیدی با بزرگی ۶/۴ در مقیاس ریشتر، منطقه فودوس را لرزاند و این شهر را تقریباً به کلی ویران کرد.

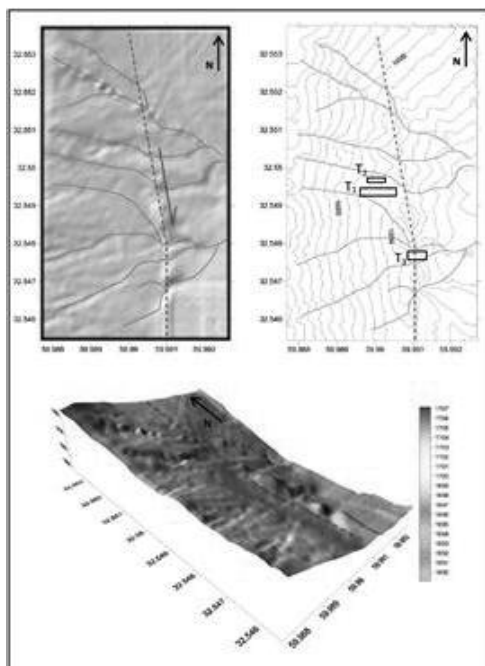
- زمین لرزه ۲۷ نوامبر ۱۹۷۹ میلادی کولی - بنیاباد: این حادثه با بزرگی $M_w=7/1$ ، سطح شکستی به طول ۶۰



شکل ۲. شواهد عملکرد فعال گسل قلعه سرخ در منطقه جنت آباد. الف: تصویر ماهواره‌ای از شبکه توزیع آبراهه‌ها (خطوط آبی‌رنگ) و تشکیل پشته‌های فشارشی (محدوده‌های زردرنگ) ایجاد شده در راستای عملکرد گسل قلعه سرخ. ب: بالا آمدگی سمت خاوری گسل قلعه سرخ و تشکیل پشته‌های فشارشی مسدود کننده در راستای آن. پ: جابه‌جایی راست‌بر مسیر آبراهه جوان در راستای گسل قلعه سرخ.

در محل عبور گسل فراهم می‌کند. البته به دلیل نبود داده‌ای دقیق از آهنگ فرسایش در منطقه، همیشه مقادیر محاسبه شده از این روش کمتر از میزان واقعی، به ویژه در برآورد جابه‌جایی افقی است. بر این اساس در ۳ محل بیشینه جابه‌جایی قائم و افقی راست‌بر اندازه‌گیری شده بر روی ستیخی عمود بر راستای گسل به ترتیب برابر 20 ± 1 متر و 150 ± 1 متر است.

با توجه به شواهد مشاهده شده در تصاویر ماهواره‌ای، سازوکار گسل قلعه‌سرخ با طول تقریبی ۵۷ کیلومتر، راست‌الغز راست‌بر با کمی مؤلفه معکوس است (شکل ۲). به استناد به مشاهدات میدانی شیب گسل قلعه‌سرخ به سمت غرب است. برش‌های توپوگرافی ترسیم شده بر روی داده‌های SRTM و بررسی‌های دقیق و بزرگ مقیاس میدانی در راستای بخش‌های مختلف گسل قلعه‌سرخ امکان برآورد میزان جابه‌جایی قائم و افقی را



شکل ۳. مدل توپوگرافی تهیه شده با GPS Kinematic از افزاز گسل قلعه سرخ در نزدیک روستای جنت آباد، جهت بررسی سازوکار گسل و مقدار دقیق جابه‌جایی افقی و قائم در راستای گسل. خطوط خط چین قرمز و ممند آبی رنگ به ترتیب مسیر عبور گسل و آبراهه‌ها را نشان می‌دهند. به دلیل بالا آمدگی سمت خاوری گسل، پشته‌های فشاری در راستای گسل تشکیل شده است. کادراه‌های مشکی موجود در شکل محل حفر ترانشه‌ها را نشان می‌دهد.

۵ - پارینه لرزه شناسی در راستای گسل قلعه

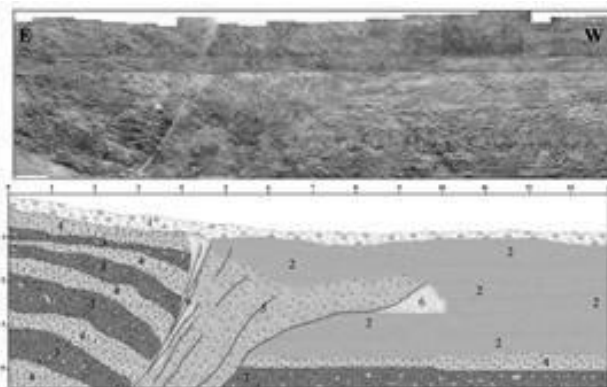
سرخ

مطالعه زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته قدیمی بر اساس تفسیر تاریخچه زمین‌شناسی مناطقی که تحت تأثیر این زلزله‌ها قرار گرفته‌اند، علم پارینه‌لرزه‌شناسی نامیده می‌شود. لذا هدف اصلی از اینگونه مطالعات تعیین زمان، مکان و بزرگای زلزله‌های گذشته است. با توجه به آرامش لرزه‌ای حال حاضر گسل‌های منطقه مورد بررسی، می‌توان فعالیت‌های گذشته آن‌ها را توسط مطالعات پارینه‌لرزه‌شناسی بررسی نمود. از آنجا که در این نوع از مطالعات، دگرشکلی‌های رسوبی سطحی زمین در هنگام وقوع زمین‌لرزه بررسی می‌گردد، لذا روشی تقریباً دقیق بوده و امکان بررسی توزیع مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌های تاریخی را تا گذشته‌های دور فراهم می‌کند. از مهمترین مراحل انجام پژوهش پارینه‌لرزه‌شناسی انتخاب محل مناسب به منظور حفر

به کمک تهیه مدل رقومی برگرفته از نقشه برداری دقیق با GPS Kinematic، امکان بررسی جابه‌جایی افقی و قائم در راستای گسل جهت محاسبه هندسه (شیب و سمت شیب) و سازوکار گسل قلعه سرخ فراهم شده است. بر این اساس در ساختگاه انتخاب شده جهت حفر ترانشه در ناحیه‌ای موسوم به جنت آباد، جابجایی قائم و افقی راست بر اندازه‌گیری شده بر روی پشته‌های گسلی و آبراهه‌های جابه‌جا شده واقع در مسیر عملکرد پهنه گسلی برابر $2/5 \pm 0/03$ متر و $14 \pm 0/03$ متر است. محاسبه این مقادیر امکان محاسبه هندسه (شیب و سمت شیب صفحه دگرریختی) و سازوکار گسلش را فراهم می‌آورد (شکل ۳ و ۴). گسل قلعه سرخ، یک گسل با سازوکار امتدادلغز راست‌بر است که جابجایی قائم آن ناشی از مؤلفه فشاری (معکوس) شرق به غرب گسل است.

ترانشه است که مستلزم انجام مطالعات ریخت‌زمین‌ساخت دقیق و هدفدار می‌باشد. بایستی توجه کرد که محل حفر ترانشه به گونه‌ای باشد که در آن مکان رسوبات جوان تحت تأثیر گسلش قرار گرفته باشد و پهنه گسل را بتوان به راحتی تشخیص داد. همچنین به دلیل اهمیت بالای حفظ شواهد زمین‌لرزه-های تاریخی در محل ترانشه، وجود تعادل بین نرخ رسوبگذاری و فرسایش از عوامل مهم در انتخاب مکان مناسب است. جابه‌جایی‌های مشاهده شده در راستای گسل قلعه‌سرخ به لحاظ ریخت‌زمین‌ساختی گویای فعال بودن این گسل است. جهت پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی این گسل، ابتدا بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، بازدید میدانی و مشاهدات GPS Kinematic، محل مناسب حفر ترانشه انتخاب و سپس با حفر ترانشه، پدیده‌های ساختاری و نهشته‌های رسوبی تفکیک و برداشت شده است. پس از انتخاب محل مناسب، با توجه به هندسه و سازوکار گسل، ترانشه به صورت عمود بر امتداد گسل حفر شده است. طول و عمق ترانشه ارتباط مستقیمی به پهنه گسلی (یا افراز گسلی) و نوع حوضه رسوبی درگیر با گسلش موردنظر دارد. در تحقیق حاضر بر اساس بررسی شاخص‌های مربوطه، ساختگاه مناسبی با مختصات تقریبی "۵۹°۵۹'۲۵" شرقی و "۳۳°۳۲'۴۰" شمالی به منظور حفر ترانشه پارینه‌لرزه‌شناسی انتخاب و سپس ترانشه‌ای (T₁) به طول ۲۱ متر، عمق ۴/۵ متر و راستای

۸۰°E (عمود بر راستای گسل قلعه‌سرخ) حفر گردید (شکل ۴). همچنین در فاصله ۲ متری در سمت شمالی این محل، ترانشه دیگری (T₂) با عمق ۱/۵ متری جهت رؤیت مجدد صفحه دگرریختی گسل و افزایش اطمینان به شواهد مشاهده شده در ترانشه اصلی، حفر گردید (شکل ۵). از طرفی نیز به فاصله ۳۵ متری در سمت جنوبی ترانشه T₁، ترانشه دیگری (T₃) با عمق ۲ متر و طول ۳ متر در راستای گسل حفر گردید که در آن می‌توان شواهد روانگرایی (Liquefaction) را در دیواره-های ترانشه مشاهده کرد (شکل ۶). محل ترانشه‌های حفر شده بر روی گسل قلعه‌سرخ در شکل ۴ نشان داده شده است. این ترانشه‌ها در جایی که گسل قلعه‌سرخ رسوبات آبرفتی جوان را بریده و موجب ایجاد افراز گسلی به ارتفاع حداکثر سه متر به سمت خاور شده است. بعد از مرحله یکسان‌سازی دیواره جنوبی به کمک برس‌های پلاستیکی، ترانشه به فواصل کنتوری نیم متری گریزبندی شده است. در ترانشه T₁ اثر عملکرد گسل به خوبی قابل مشاهده است. به گونه‌ای که تعدادی از واحدهای زمین‌شناسی موجود در فرادیواره گسل را در بخش فرودیواره نمی‌توان مشاهده کرد که حاکی از اثر مؤلفه فشاری گسل از سمت خاور است (شکل ۴). بر اساس نتایج حاصل از حفر ترانشه، گسل دارای راستای ۷°W و شیب ۷۲ درجه به سمت خاور می‌باشد.



شکل ۴. تصویر دیواره جنوبی ترانشه اصلی (T₁) حفر شده بر روی گسل قلعه‌سرخ به همراه لوگ ترسیم شده (پایین).

فرسایشی متشکل از تناوب رس، سیلت، مقدار کمی گل و دارای لایه بندی نسبی.

- **واحد ۳:** لایه ماسه‌ای درشت دانه خاکستری تا قهوه‌ای تیره، زمینه ماسه‌ای سیلتی، دارای لایه بندی و جورشدگی خوب.

- **واحد ۴:** لایه ماسه‌ای ریز دانه خاکستری تا قهوه‌ای روشن و دارای لایه بندی ضعیف و جورشدگی خوب.

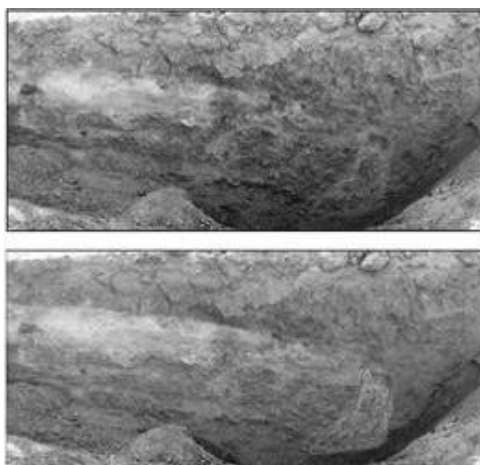
- **واحد ۵:** نهشته‌های قهوه ای روشن که فاقد لایه بندی می باشد. این واحد غالباً از گل رس تیره رنگ است و متناسب با پهنه گسلی انتظام یافته اند.

- **واحد ۶:** نهشته‌های نخودی رنگ که دارای ماهیت Colluvium است.

نهشته‌های رسوبی موجود در ترانسه بر اساس تفاوت جنس، رنگ، اندازه دانه‌ها، جورشدگی و سختی به ۶ واحد تفکیک شده است که از لحاظ محیط رسوبی از نهشته‌های آبرفتی، کانال فرسایشی و کوهرفتی (Colluvial) تشکیل شده اند. ماهیت این واحدها به شرح ذیل است (نام واحدها در شکل ۵ نشان داده شده است):

- **واحد ۱:** نهشته‌های خاکستری تا نخودی روشن که دارای دانه بندی بسیار ریز می باشد. این واحد به خاطر نزدیکی به اسکارپ گسلی، غالباً رسوبات حاصل از فرسایش و متشکل از تناوب رس و سیلت و فاقد لایه بندی می باشد.

- **واحد ۲:** نهشته‌های قهوه‌ای روشن تا نخودی تیره



شکل ۵. تصویر دیواره جنوبی ترانسه T₂ حفر شده بر روی گسل قلعه سرخ به همراه لوگ ترسیم شده با رنگ های مختلف (پایین) جهت رویت بهتر و مجدد صفحه دگرریختی گسل و افزایش اطمینان از بافته‌های ترانسه (T₁).



شکل ۶. مشاهده پدیده روانگرایی (Liquefaction) در ترانسه (T₃) حفر شده عمود بر راستای گسل. جهت مشاهده بهتر این پدیده، در تصویر پایین به صورت شماتیک نشان داده شده است.

شمال ایران مرکزی تنش برشی را در خاور ایران ایجاد می‌کند که این تنش به نوبه خود موجب حرکت امتدادلغز راست بر گسل‌های این بخش از ایران می‌گردد (Walker and Jackson, 2004). از طرفی نیز، زمان فعالیت اکثر گسل‌های فعال ایران، مربوط به ۵ میلیون سال اخیر است (Falcon, 1974) و بر این اساس جهت تخمین نرخ نسبی لغزش در راستای گسل، این زمان در نظر گرفته می‌شود.

در این تحقیق با استفاده از مشاهدات GPS Kinematic، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی، جابجایی‌های زمین‌شناسی (انحراف مسیر آبراهه‌ها و واحدهای لیتوژیک) بر روی گسل قلعه‌سرخ اندازه‌گیری شده و سپس نرخ لغزش برای آن برآورد شده است. میزان جابه‌جایی برای گسل قلعه‌سرخ در ۷ ناحیه که در آن‌ها به وضوح می‌توان برش و جابه‌جایی راست بر را مشاهده کرد، اندازه‌گیری گردیده شده است. در جدول ۱ داده‌های اندازه‌گیری نرخ لغزش زمین‌شناسی را بر اساس پارامترهای مختلف ارائه شده است.

در این پژوهش، بر اساس روابط موجود (Wells and Coppersmith, 1994) و داده‌های حاصل از محاسبه میزان جابجایی‌ها، بزرگای زمین‌لرزه‌های دیرینه را بررسی نموده‌ایم. این روابط مبتنی بر سازوکار گسله‌ها است که با توجه به داشتن مؤلفه معکوس در گسل راستالغز قلعه‌سرخ، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$F_R: M_w = 6.64 + 0.13 \log(AD)$$

که در این رابطه F_R و AD به ترتیب بزرگای محاسبه شده برای گسل‌های معکوس و میانگین جابجایی بر حسب متر است.

بر اساس جابجایی شاقولی تجمعی قابل مشاهده بر روی لوگ ترانشه به مقدار بین ۲۵ سانتی‌متر تا ۲۳۰ سانتی‌متر، می‌توان بزرگای بیش از ۶/۵ ریشتر را برای زمین‌لرزه‌های دیرینه بر روی گسل قلعه‌سرخ در نظر گرفت.

۶- محاسبه نرخ لغزش در راستای گسل

از نظر ساختاری جابه‌جایی در راستای گسل‌های امتدادلغز شرق ایران ارتباط مستقیمی با نحوه تغییر شکل و میزان کوتاه‌شدگی در ایران دارد. به این مفهوم که به علت صلب بودن بلوک افغانستان، حرکت به سوی

جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری مقادیر جابه‌جایی زمین‌شناسی و شواهد عملکرد گسل قلعه‌سرخ.

مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	مسیر آبراهه (به سن کواترنو)	واحد پیروکسنیت (به سن به سن اوایل کرتاسه پسین)	شاخص استفاده شده جهت تعیین میزان جابجایی
۱۰ m	۴ m	۱۲ m	۳۰ m	۴۵ m	۷۵ m	۱۰۰۰۰ m	میزان جابجایی مشاهده شده (m)
			۰/۱ - ۰/۲				نرخ لغزش (mm/yr.)

Kinematic، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی، نرخ لغزش تعیین شده برای این گسل 0.2 mm/yr. است. بر اساس جابجایی شاقولی تجمعی قابل مشاهده بر روی لوگ ترانشه و شواهد رسوبی موجود در ترانشه حفاری شده بر روی پهنه گسیختگی زمین‌لرزه‌ای گسل قلعه‌سرخ، می‌توان بزرگای بیش از

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ویژگی‌های هندسی و سازوکار جوان گسل قلعه‌سرخ را با دقتی قابل توجه به عنوان بخشی از گسل با درازای حدود ۵۷ کیلومتر ارائه شد. بررسی‌های ریخت‌زمین‌شناسی و پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی این گسل حاکی از جنبایی این گسل در بازه زمانی پلیوسن پایانی - هلوسن دارد. بر اساس نتایج مشاهدات GPS

- ۶/۵ در مقیاس ریشتر را برای زمین‌لرزه‌های دیرینه بر روی گسل قلعه سرخ در نظر گرفت.
- منابع:**
- Parsons, B., Wright, T., Rowe, P., Andrews, J., Jackson, J., Walker, R., Khatib, M.M., Talebian, M., Bergman, E. and Engdahl, E.R., 2006. The 1994 Sefidabeh (eastern Iran) earthquakes revisited: new evidence from satellite radar interferometry and carbonate dating about the growth of an active fold above a blind thrust fault, *Geophys. J. Int.*, 164.
 - Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J., Camp, V. E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94, 134-150.
 - Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., Chéry, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International* 157, 381-398.
 - Walker, R., Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics* 23, TC5010.
 - Walker, R.T., and Khatib, M.M., 2006. Active faulting in the Birjand region of in eastern Iran. *Tectonics*, 25, 1-17.
 - Walker, R.T., Gans, P., Allen, M.B., Jackson, J., Khatib, M.M., Marsh, N., Zarrinkoub, M., 2009. Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran. *Geophysical Journal International* 177, 783-805.
 - Wells, D. L., Coopersmith, K. J., 1994. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. *Bull, Seismo. Soc. Am.* (84): 974-1002.
 - خطیب، م.م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز (با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران)، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
 - نظری، ح.، ۱۳۷۷. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سریشه. سازمان زمین‌شناسی کشور.
 - Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. A history of Persian earthquakes. Cambridge University press, Cambridge, UK, 219pp.
 - Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M., and Ghafari-Ashtiani, M., 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'emat) earthquakes (Mw=7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. *Geophys. J.* 136.
 - Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. M., and Priestley, K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: Blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan Suture zone, *Geophys. J. Int.*, 142, 283-299.
 - Berberian, M., Yeats, R.S., 2001. Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *Journal of Structural Geology* 23, 563-584.
 - Falcon, N.L., 1974. Southern Iran: Zagros Mountains. In: Spencer, A. (ed.) *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts*. Geological Society, London, Special Publications, 4, 199-211
 - Freund, R., 1970. Rotation of strike slip faults in Sistan, southeast Iran. *Jour. of st. geology*.

Analysis of preliminary paleoseismic results and seismotectonic data in Qaleh-Sorkh fault; East of Iran

H. Yazdanpanah¹ *, M. M. Khatib², H. Nazari³, E. Gholami⁴

1. Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

Abstract

The Qaleh-Sorkh Fault with N-S trend, 57 km length and right-lateral strike-slip Mechanism is one of the seismic and active faults in north of Sistan suture zone. Combining data obtained from satellite imagery, geological maps, shaded rather elevation model and field observations use for morphotectonic investigations in this fault, which shows quaternary sediments cut, bend or move the direction of streams with right-lateral component. Until now has been reported numerous disasters historical and instrumental earthquake in east of Iran. So, morphotectonic and paleoseismology studies have been important role in the provider of the seismotectonic models. According to this, determination of seismic parameter and seismic action in the Qaleh-Sorkh fault needed to do paleoseismologic investigation. So, this fault site locate selected in 33°32'40" Latitude and 59°59'25" Longitude that has named Jannat-Abad site. In this location excavated one main trenching with 21 m length, 4.5 m depth and N80°E trends and two secondary trenching for more evidence. Preliminary results on main trench of Qaleh-Sorkh fault in Jannat-Abad site show at N7°W, 72°E in this faults that have a right-lateral slip with thrusting component.

Keywords: east of Iran, paleoseismology, morphotectonic, Qaleh-Sorkh fault, active fault.

*. Correspondent author [Email: hesam.yazdanpanah@yahoo.com](mailto:hesam.yazdanpanah@yahoo.com)