

بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه لرزه‌شناختی پاره گسله سهلان، قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز

الهه احمدزاده^(*)، حمید نظری^۲، مرتضی طالبیان^۳، شهریار سلیمانی آزاد^۴ و محمد فریدی^۵

۱. کارشناس ارشد تکتونیک، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۲. دکتری تکتونیک، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۳. دکتری تکتونیک، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۴. دکتری تکتونیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۵. کارشناس ارشد تکتونیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مرکز تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۸

چکیده

گسل شمال تبریز یکی از گسل‌های راست‌الغز - راست‌بر در شمال باختری ایران است که با راستای شمال باختری - جنوب خاوری از صوفیان تا بستان‌آباد امتداد یافته و در قالب دو قطعه گسلی اصلی مشاهده می‌شود. در پژوهش حاضر، به‌منظور مطالعه آخرین جنبش‌های زمین‌ساختی پهنه گسلی شمال تبریز، پدیده‌های ریخت‌زمین‌ساختی جوان و نیز پارینه لرزه‌شناسی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز در گستره سهلان مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش، گسیختگی گسله جوان سهلان با درازای حدود ۱۰ کیلومتر و راستای چیره شمال باختری - جنب خاوری، در شمال باختری فرودگاه بین‌المللی تبریز به نقشه درآمده است. در بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی انجام گرفته در این گستره، جابجایی راست‌بر احتمالاً منسوب به آخرین رویداد مهلزده‌ای (۱۷۸۰ میلادی، $MW=7/4$)، $3/5 \pm 0/5$ متر و جابجایی شاقولی آن بین ۰ و ۰/۵ متر برآورد گردید. بنابراین، با توجه به نسبت بین لغزش افقی و لغزش شاقولی (H/V) می‌توان سازوکار چیره این قطعه از گسل شمال تبریز را راست‌الغز - راست‌بر در نظر گرفت که در تایید با داده‌های جدید GPS این گستره از کشور می‌باشد. بر پایه پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناختی به عمل آمده در پژوهش حاضر، با بررسی دیواره‌ای عمود بر راستای گسل شمال تبریز در شمال روستای سهلان، آثار زمین‌شناختی چهار پارینه زمین‌لرزه با بزرگای نسبی (در مقیاس MW) بیش از $6/4$ شناسایی گردیده است. بزرگای جوان‌ترین رخداد ثبت شده در نهشته‌های ترانشه یاد شده، در محدوده ۷ برآورد شده است که با توجه به موقعیت‌های جغرافیایی، این رویداد را می‌توان در پیوند با زمین‌لرزه تاریخی سال ۱۷۸۰ میلادی ($MW=7/4$) دانست.

واژه‌های کلیدی: پارینه لرزه‌شناسی، ریخت‌زمین‌ساخت، شمال باختر ایران، گسل سهلان، گسل شمال تبریز.

مقدمه

بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره تبریز نشان‌گر رویداد دست‌کم ۱۲ زمین‌لرزه تاریخی ویران‌گر بوده در حالی که هیچ زمین‌لرزه دستگاهی بزرگی در این گستره به ثبت نرسیده است

در شمال باختری ایران چندین گسل راست‌الغز وجود دارد که سامانه گسلی شمال تبریز از بزرگ‌ترین آن‌ها است.

* نویسنده مرتبط e.ahmadzadeh@hotmail.com

تراکشی مسئول ایجاد این گسل‌ها، رژیم زمین‌ساختی عهد حاضر نیست. به گفته دیگر این بخش از گستره مورد بررسی در زمان رسوبگذاری واحدهای سنگی میوسن و میو- پلیوسن انبساط بوده است. برداشت‌های صحرایی ورقه‌های تبریز I (فریدی و خدابنده، ۱۳۹۰- الف) و کرگه (فریدی و خدابنده، ۱۳۹۰- ب) در ارتباط با رسوبات کواترنری، نشان‌گر بالاآمدگی (و نه فرونشست) این رسوبات و قطع شدن ساختارهای انبساطی کهن توسط ساختارهای تراکمی امروزی هستند.

پژوهش‌های انجام گرفته در بخش‌های گوناگون این پهنه گسلی گویای وجود آثار ریخت‌زمین‌ساختی حاصل از جنبایی‌های جوان آن می‌باشد. (Hessami et al., 2003) با تمرکز مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه لرزه‌شناختی بر روی قطعه شمال باختری، لغزش افقی هر رویداد و نرخ لغزش را به ترتیب 4 ± 0.5 متر و $6/4 - 3/1$ میلی‌متر در سال برآورد نمودند. از جمله جدیدترین پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی داده‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، می‌توان به پژوهش Djamour et al., (2011) اشاره نمود. ایشان با استفاده از داده‌های GPS ۲۵ ایستگاه جدید، نرخ لغزش راست‌بر ۸ میلی‌متر در سال محاسبه شده توسط Masson et al., (2006) را تایید می‌کنند ولی کششی کمتر از $1 - 2 \pm 1$ میلی‌متر در سال را بر روی قطعه خاوری گسل شمال تبریز و تالش پیشنهاد می‌کنند. به باور ایشان، به صورت باختر، گسل چالدران و قطعه باختری گسل شمال تبریز به صورت راست‌الغز محض و بدون هیچ کشش یا فشارش خاصی عمل می‌کنند. (Ritz et al., 2011) بر روی شاخه شمال باختری گسل شمال تبریز، از طریق سن سنجی جابجایی میانگین 322 ± 20 متر بر روی بادزن‌های آبرفتی (در خاور روستای خواجه‌مرجان)، نرخ لغزش افقی را حدود ۷ میلی‌متر در سال برآورد نمودند [همخوان با نرخ لغزش حدود ۷ میلی‌متر در سال تخمین زده شده با روش ژئودتیکی (اندازه‌گیری‌های GPS) و روش زمین‌شناختی (Kara- Khanian et al., 1996; Hessami et al., 2003)].

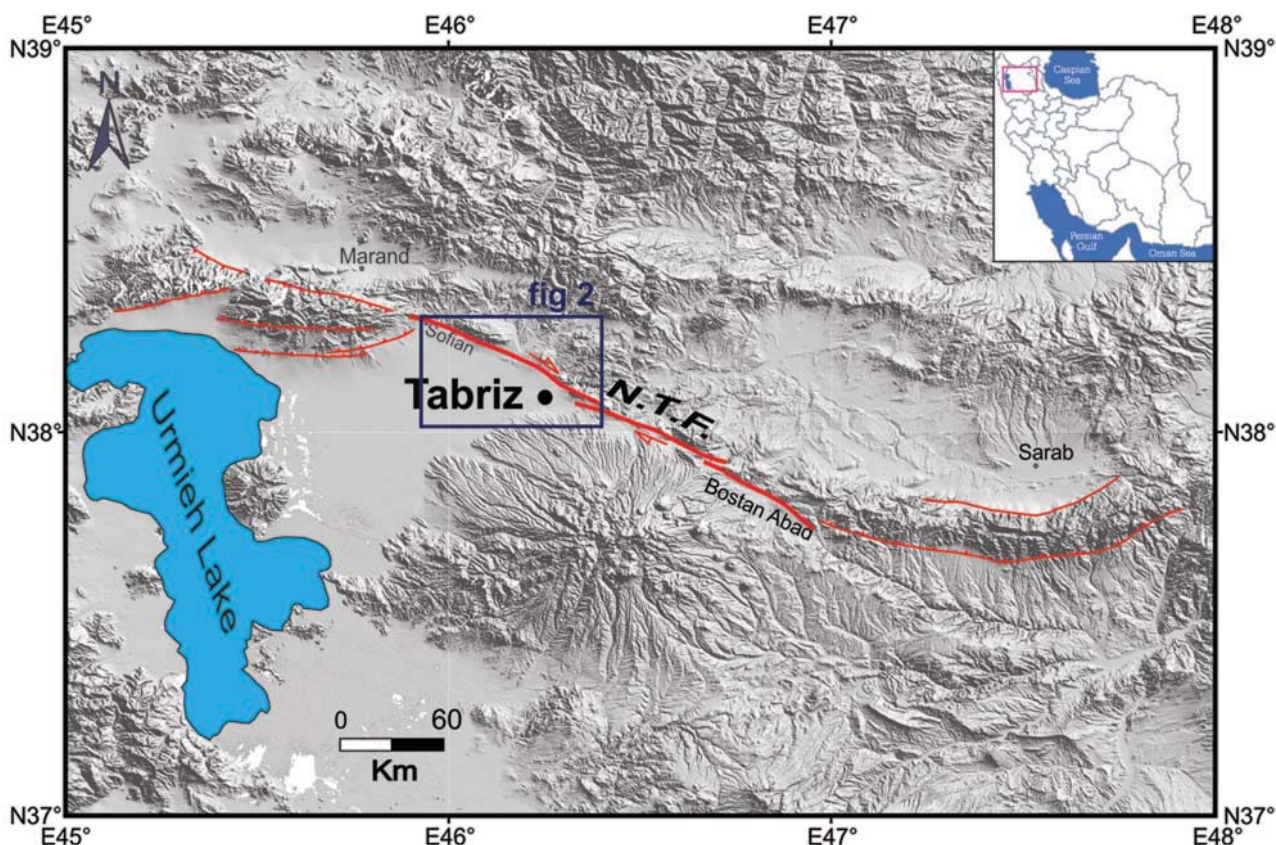
محدوده مطالعاتی

در این پژوهش، با بررسی آثار ریخت‌زمین‌ساختی و نیز بررسی ترانسه پارینه لرزه‌شناسی بر روی یکی از شاخه‌های گسلی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز، سازوکار جوان این پهنه گسلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا با به نقشه کشیدن هر چه بهتر سامانه گسلی شمال تبریز، در برآورد خطر زمین‌لرزه کلان شهر تبریز گامی به پیش برداشته شود. محدوده مورد مطالعه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی $38^{\circ} 00'$ و $38^{\circ} 30'$ و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ} 00'$ و $38^{\circ} 30'$ شمالی واقع گردیده است و وسعتی حدود ۵۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. مختصات محدوده مورد نظر دربرگیرنده مساحت بیشتری از شهرستان تبریز و قسمت جزئی از شهر صوفیان می‌باشد (شکل ۱).

(Ambraseys and Melville, 1982; Berberian, 1997). با توجه به توزیع خوشه‌ای رویدادهای لرزه‌ای گستره تبریز از نظر زمانی (Berberian, 1997; Solaymani Azad, 2009) آزاد و همکاران، (۱۳۸۸)، تمرکز مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسل شمال تبریز (Hessami et al., 2003) و نیز عدم رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ طی ۲۳۰ سال گذشته (Masson et al., 2006) از یک سو و نیز با توجه به گسترش روزافزون شهر تبریز با جمعیتی افزون بر ۱/۶ میلیون نفر، لزوم شناخت ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و نوزمین‌ساختی این پهنه گسلی بیشتر احساس می‌شود. در قطعه شمال باختری سامانه گسلی شمال تبریز، پس از پژوهش‌های پارینه - لرزه‌شناسی انجام شده در قطعه خواجه‌مرجان (Hessami et al., 2003)، در این پژوهش برای نخستین بار با استفاده از برش‌های طبیعی و مصنوعی اجرا شده بر روی نهشته‌های جوان، به بازشماری و بازخوانی تعداد رخداد‌های لرزه‌ای منسوب از زمین‌لرزه‌های سده ۱۸ میلادی گسل شمال تبریز پرداخته شده است.

گسل شمال تبریز که ساختاری پیچیده با درازای ۱۲۰ کیلومتر و روند شمال باختری - جنوب خاوری ($E 135^{\circ} - N 115^{\circ}$) است و شیئی نزدیک به قائم دارد، از بستان آباد تا صوفیان گسترش داشته و شواهدی از جابجایی‌های راست‌الغز راست‌بر را بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد (Berberian and Arshadi, 1976). دیدگاه رویداد زمین لرزه‌های تاریخی، گسل شمال تبریز را به دو قطعه شامل قطعه جنوب خاوری که بر اثر زمین‌لرزه سال ۱۷۲۱ میلادی و قطعه شمال باختری که بر اثر زمین‌لرزه سال ۱۷۸۰ میلادی گسیخته شده‌اند، تقسیم نمودند. بر پایه نظر Kara-khanian et al. (2004) شهر تبریز در یک حوضه واکنشی واقع در میان این دو قطعه گسلی (با الگوی پلکانی راست‌دست) قرار گرفته است و تعدادی شاخه گسلی عهد حاضر این دو قطعه گسلی را در داخل شهر تبریز به هم وصل می‌کنند. (Berberian, 1997; Solaymani Azad, 2009).

با توجه به فراوانی گسل‌های نرمال در گستره شهر تبریز، Kara-khanian et al. (2004) تبریز را به‌عنوان یک حوضه واکنشی که امروزه در حال فرونشست در محل پوش - پله گسل‌های با آرایش نردبانی است، معرفی کرده‌اند، با این حال بررسی‌های حاضر (فریدی و خدابنده، ۱۳۹۰ - الف) حقایق دیگری را آشکار می‌سازد که این نظریه را دچار تردید می‌کند. بررسی‌های اخیر این گستره نشان می‌دهد که واحدهای سنگی دربردارنده این گسل‌های نرمال، دارای سن میوسن، میو- پلیوسن و پلیوکواترنری می‌باشند که پس از گذراندن یک فاز فرسایشی توسط رسوبات جوان‌تر کواترنری به‌طور دگرشیب پوشیده شده‌اند و مهم‌تر این که رژیم کششی یاد شده، رسوبات جوان را تحت تاثیر خود قرار نداده است. افزون بر آن، شواهد دگرریختی‌های کششی همزمان با رسوبگذاری و دگرریختی رسوب نرم، به فراوانی در آن‌ها دیده می‌شود. لذا این شواهد نشان‌گر آن است که سامانه انبساطی یا



شکل ۱. پهنه گسلی تبریز، پایانه‌های گسلی آن و موقعیت شهر تبریز بر روی مدل ارتفاعی رقومی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر. (مستطیل آبی رنگ موقعیت شکل ۲ را نشان می‌دهد).

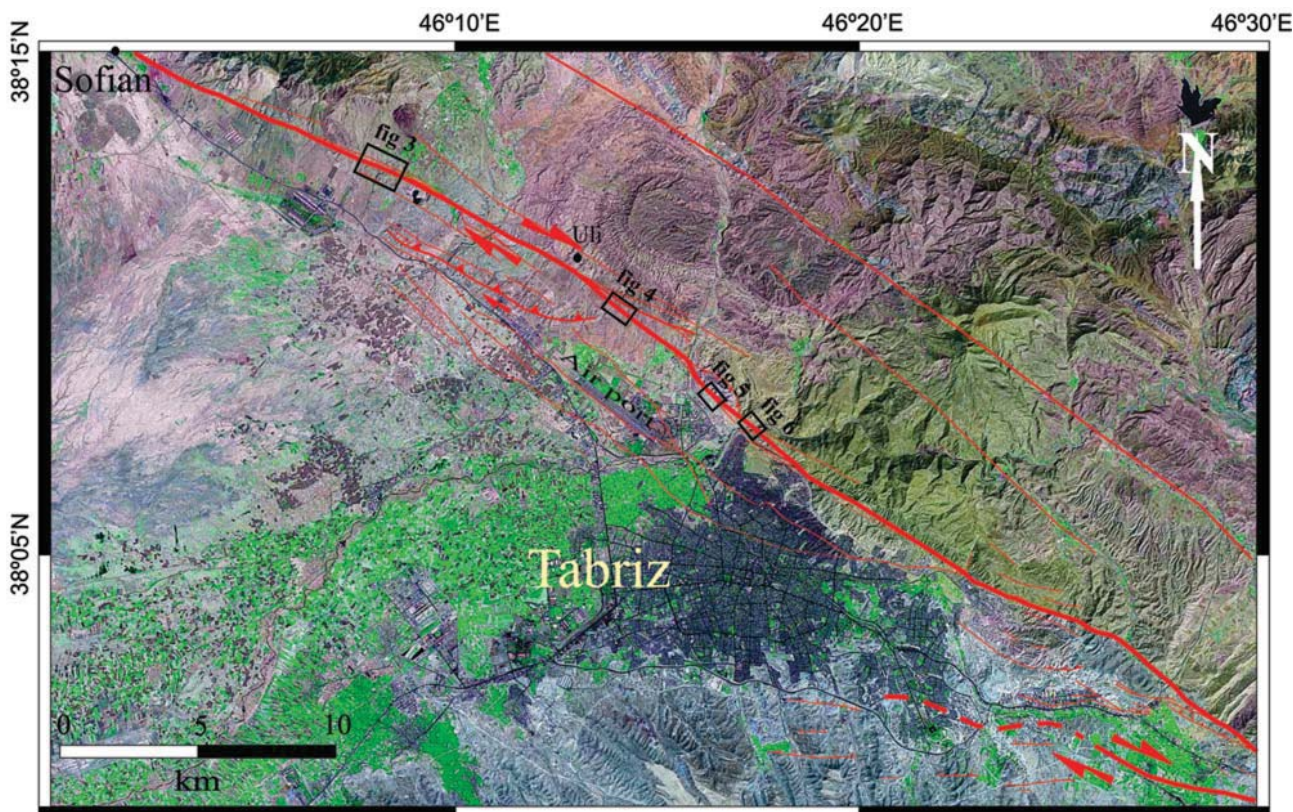
روش کار

رویداد گسلش سطحی را نشان می‌دهد، شاخه‌های گسلی پیرامون آن نیز جابجایی نهشته‌های عهد حاضر را سبب شده‌اند. با بررسی عکس‌های هوایی (با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای با دقت متفاوت، بر روی یکی از این شاخه‌های گسلی در فاصله ۲/۵ کیلومتری جنوبی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز و کم و بیش به موازات جاده تبریز- صوفیان، گسلی با سازوکار معکوس راست‌بر شناسایی گردید. با بررسی‌های میدانی در این محدوده، دیواره‌ای عمود بر این گسل در شمال روستای سهلان به درازای ۴۱ متر و بلندای ۷ متر یافت شد که به‌منظور احداث ساختمان حفر گردیده بود و مطالعات پارینه لرزه‌شناختی بر روی آن متمرکز گردید.

در میان روش‌های مختلف لوگ‌برداری ترانشه به لحاظ طول و ارتفاع زیاد دیواره و عدم توانایی در شبکه‌بندی تمام طول آن (به لحاظ فیزیکی) از روش غیر مستقیم عکس‌برداری و تهیه لوگ بر پایه تصاویر پانوراما شده استفاده گردیده است. در این روش، دیواره ترانشه از فاصله ثابت ۲ تا ۳ متری دیواره عکس‌برداری می‌شود، به‌طوری‌که هر عکس با عکس بعدی ۶۰ درصد هم‌پوشانی داشته باشد. برای عکس‌برداری از ترانشه مورد بررسی در این پژوهش از دوربین‌های ۱۲ و ۱۴ مگاپیکسل استفاده شده است. البته برای پرهیز از خطا در مراحل گوناگون، بازدید میدانی انجام و همسان‌سازی‌ها کنترل گردیده است.

بررسی ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های سطح زمین همچون الگوی سامانه‌های رودخانه‌ای، پشته‌های بریده شده توسط گسل‌ها و ... شاخص‌هایی هستند که در ارزیابی عملکرد زمین‌ساخت جنبا در این بخش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای دستیابی به این منظور، با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و اطلاعات زمین‌شناختی و ... ساختگاه‌های مناسبی جهت تمرکز مطالعات شناسایی شد که در ادامه با انجام بررسی‌های میدانی اطلاعات تکمیلی فراهم آمد. در پژوهش حاضر، برای انجام بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی در پهنه گسلی شمال تبریز، بیشتر مطالعات بر روی بخش مرکزی و باختری قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز متمرکز بوده است (شکل ۲). مهم‌ترین علت این امر بریده شدن آشکار نهشته‌های کواترنری و نیز مشاهده جابجایی‌های بسیار جوان در این بخش از پهنه گسلی می‌باشد. اثر سطحی گسل هم از روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و هم از طریق برداشت‌های صحرائی به روشنی قابل مشاهده و پیگیری است. به سبب تکرار گسیختگی‌های سطحی، اثر گسل شمال تبریز بر روی زمین آشکارا دیده می‌شود (Hessami et al., 2003; Solaymani Azad, 2009).

در گستره مورد پژوهش، علاوه بر گسل شمال تبریز که نهشته‌های عهد حاضر را بریده و شواهد زمین‌ریختی روشنی از



شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای Landsat ۷ از موقعیت شهر تبریز بین دو قطعه اصلی گسل شمال تبریز و موقعیت قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز و شاخه‌های گسلی پیرامون این قطعه گسلی. محل برخی از گسل‌ها برگرفته از Karakhanian et al., (2004) ، Hessami et al., (2003) ، Solaymani Azad (2009) است (مستطیل‌های سیاه رنگ موقعیت شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ را نشان می‌دهند).

نتایج و بحث

دارد ولی وجود صفحه گسلی تقریباً شاقولی و خط خش تقریباً افقی (۱ تا ۵ درجه) ثبت شده بر روی صفحه گسلی می‌تواند نشانی از حرکت جوان گسل به صورت راستالغز راست‌بر باشد. تغییرات شاقولی کم در نیمرخ‌های توپوگرافی می‌تواند نشان از چیرگی حرکات راستالغز در طی جنبش‌های جوان این قطعه باشد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

در طول گسل شمال تبریز، آبراهه‌های جابجا شده فراوانی به چشم می‌خورد که در سرتاسر طول این گسل با جنبش‌های راست‌بر جابجا شده‌اند. گسلش راستالغز گسل شمال تبریز باعث ایجاد انفعال در مسیر آبراهه‌ها شده و خمیدگی آبراهه‌ها را در محل عبور گسل سبب شده است. جابجایی آبراهه‌ها در طول این گسل یکسان نبوده و در نقاط مختلف گسل متفاوت است. تفاوت در میزان جابجایی‌ها، حرکت گسل طی رویداد چند زمین لرزه مجزا و یا تفاوت سن آبراهه‌ها را منعکس می‌کند.

در پژوهش حاضر، کمترین مقدار جابجایی مشاهده شده در طول گسل شمال تبریز جابجایی آبراهه‌ای با میزان جابجایی راست‌بر حدود ۲/۹ متر می‌باشد که در بخش شمال خاوری فرودگاه تبریز (شمال باختر تبریز) اندازه‌گیری گردید (شکل ۵) (تاکنون کمترین مقدار جابجایی افقی بر روی قطعه شمال باختری حدود ۴/۲۰ متر و توسط Hessami et al., (2003) بیان گردیده بود). به احتمال زیاد این جابجایی‌ها در ارتباط با زمین‌لرزه سال

در محدوده پهنه گسلی مورد پژوهش، عوارض زمین‌ریخت‌شناختی بسیاری شناسایی شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به بادزن‌های آبرفتی جابجا شده، پشته‌ها و آبراهه‌های جابجا شده و آبراهه‌های رها شده یا آبراهه‌های بی‌سر اشاره نمود. این عوارض زمین‌ریختی در داخل نهشته‌های پلیوکواترنری بوده و نشان‌دهنده زمین ساخت جنبی در این گستره می‌باشد.

یکی از پشته‌های جابجا شده‌ای که در منطقه مورد مطالعه مشاهده و بررسی شد، پشته‌ای در خاور روستای خواجه‌مرجان و نزدیک جاده منتهی به روستای امید است. میزان جابجایی راستالغز راست‌بر گسل در این ساختگاه حدود ۲۰ متر اندازه‌گیری شده است (شکل ۳). پشته‌هایی با میزان جابجایی حدود ۳/۵ متر و ۴/۸ متر نیز بر روی این قطعه گسلی شناسایی شده است که تفاوت در میزان جابجایی‌ها، رویداد چند زمین‌لرزه مجزا را در اثر حرکت گسل منعکس می‌کند.

از جمله شواهدی که در منطقه مورد توجه قرار گرفت، برش عرضی گسل در مسیر آبراهه‌ها در گذر از نهشته‌های جوان آبرفتی با سن کواترنری بود (شکل ۴). در این برش، اثر گسل کاملاً مشخص و خط خش روی صفحه گسلی به صورت افقی می‌باشد. نهشته‌های جوان کواترنری آشکارا توسط گسل بریده شده‌اند. اگرچه الگوی توپوگرافی نشان از جابجایی شاقولی

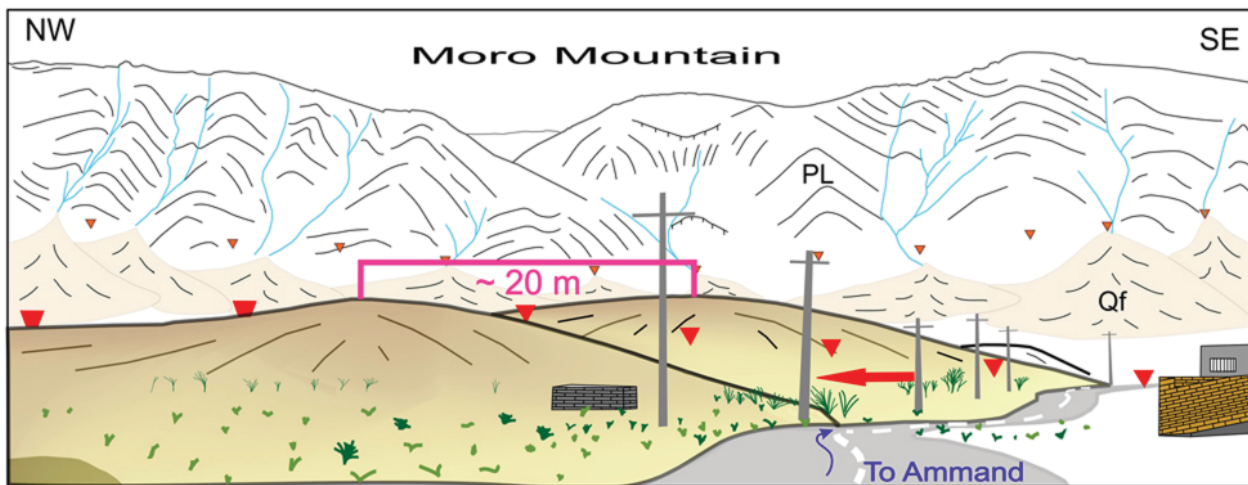
A



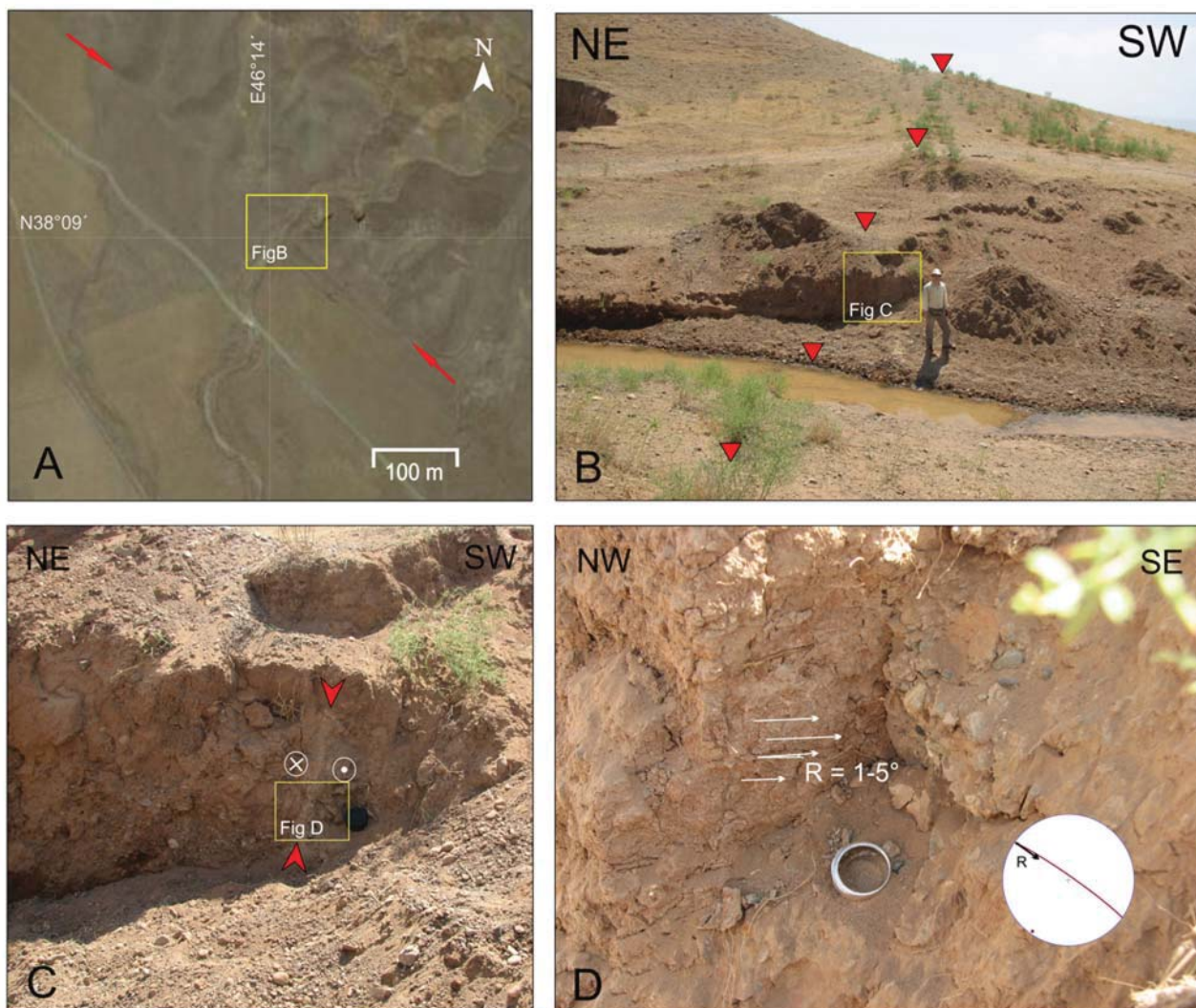
B



C



شکل ۳. (A) تصویر ماهواره ای از Google Earth از محل عکس برداری (دایره سفید رنگ موقعیت عکس برداری را نشان می دهد)، (B) پشته های جایجا شده به صورت راست بر توسط گسل شمال تبریز در نزدیک جاده امد. محل این نقطه در شکل ۲ نیز مشخص گردیده است، (C) تصویر شماتیک از الف. سه گوشه های قرمز رنگ نشان گر موقعیت خط اثر گسل می باشد. (میزان جایجایی تجمعی راستالغز راست بر، حدود ۲۰ متر اندازه گیری گردیده است).



شکل ۴. (A) نمایی از خط اثر گسل شمال تبریز بر روی زمین در جنوب خاور روستای اوغلی (شمال باختر تبریز) در تصویر ماهواره‌ای (Google earth، B) در این ساختگاه، رشد خطی پوشش گیاهی بر روی سطح زمین نشان‌گر موقعیت خط اثر گسل می‌باشد، (C) تصویری از برش عرضی گسل در مسیر آبراهه که شیبی بسیار تند را نشان می‌دهد و نهشته‌های کواترنری در این محل توسط گسل شمال تبریز بریده شده‌اند، (D) نمایی از خط خش گسلی بر روی صفحه گسلی که نشان‌گر سازوکار راستالغز - راست‌بر گسل شمال تبریز می‌باشد.

واحدهای سنگی نئوژن موجود در هسته تاقدیس رخنمون یابند. محدوده شمالی این رشته تپه‌ها به گونه سینوسی و با ماهیت گسل، از زمین‌های مسطح بخش جنوبی این گستره جدا می‌شود (شکل ۷).

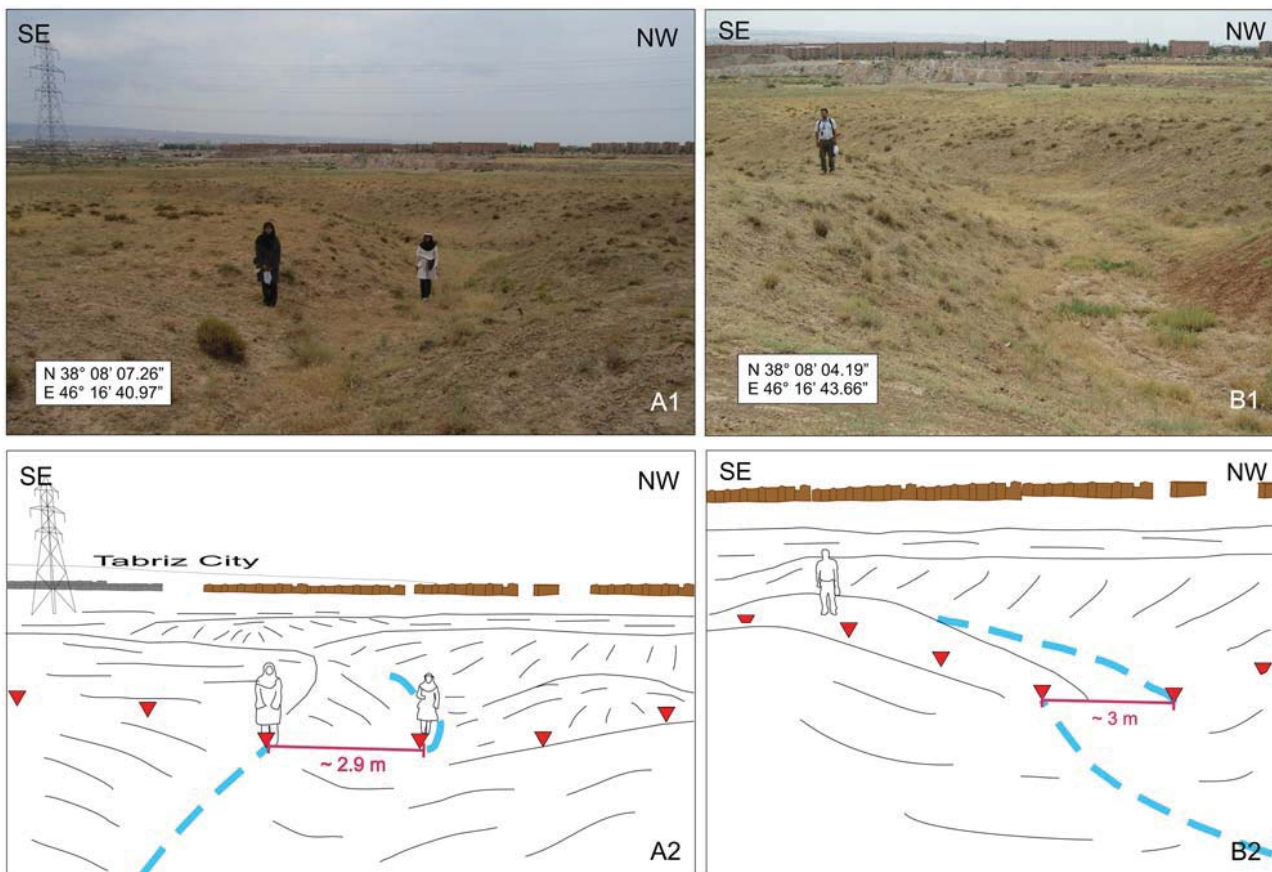
به بیان فریدی و همکاران (۱۳۹۰)، با در نظر داشتن دگرریختی ناحیه‌ای راستالغز همگرا، همچنین با توجه به رد مستقیم و خطی گسل شمال تبریز و رد منحنی و سینوسی گسل سهلان، ساختارها و سیماهای نوزمین - ساختی و ریخت‌زمین‌ساختی در این گستره نشان می‌دهند که بخش مهمی از مؤلفه حرکات افقی توسط گسل شمال تبریز و حرکات شاقولی (سازوکار معکوس) به‌وسیله گسل سهلان جبران می‌شود.

راستای میانگین این گسل $N 120^{\circ}E$ ، شیب آن به سوی شمال خاور و سازوکار آن راندگی همراه با جابجایی راست‌بر می‌باشد. در پژوهش حاضر، برای بررسی‌های بیشتر بر روی این گسل

۱۷۸۰ میلادی می‌باشد.

از جمله پشته‌هایی که در این محدوده مشاهده شد، پشته‌ای در شمال خاور فرودگاه با میزان جابجایی ۳/۵ متر در مجاورت آبراهه‌ای با جابجایی حدود ۱۰ متر است که جابجایی افقی تجمعی و نیز جابجایی منسوب به آخرین رویداد لرزه‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۶). در این ساختگاه، با توجه به این‌که ساحل سمت چپ بیشتر در معرض فرسایش قرار دارد میزان جابجایی در هر دو ساحل یکسان نیست و در ساحل سمت راست جابجایی ۱۰ متر را می‌توان مشاهده کرد.

در فاصله ۲/۵ کیلومتری گسل شمال تبریز و کم و بیش به موازات جاده تبریز - صوفیان، ردیفی از تپه‌ها خودنمایی می‌کنند که ساختاری به شکل تاقدیس نامتقارن را نشان می‌دهند. فرسایش این زمین‌ها که بیشتر در ارتباط با بالآمدگی زمین‌ساختی آن‌ها صورت گرفته است، سبب شده تا نهشته‌های جوان حذف شده و



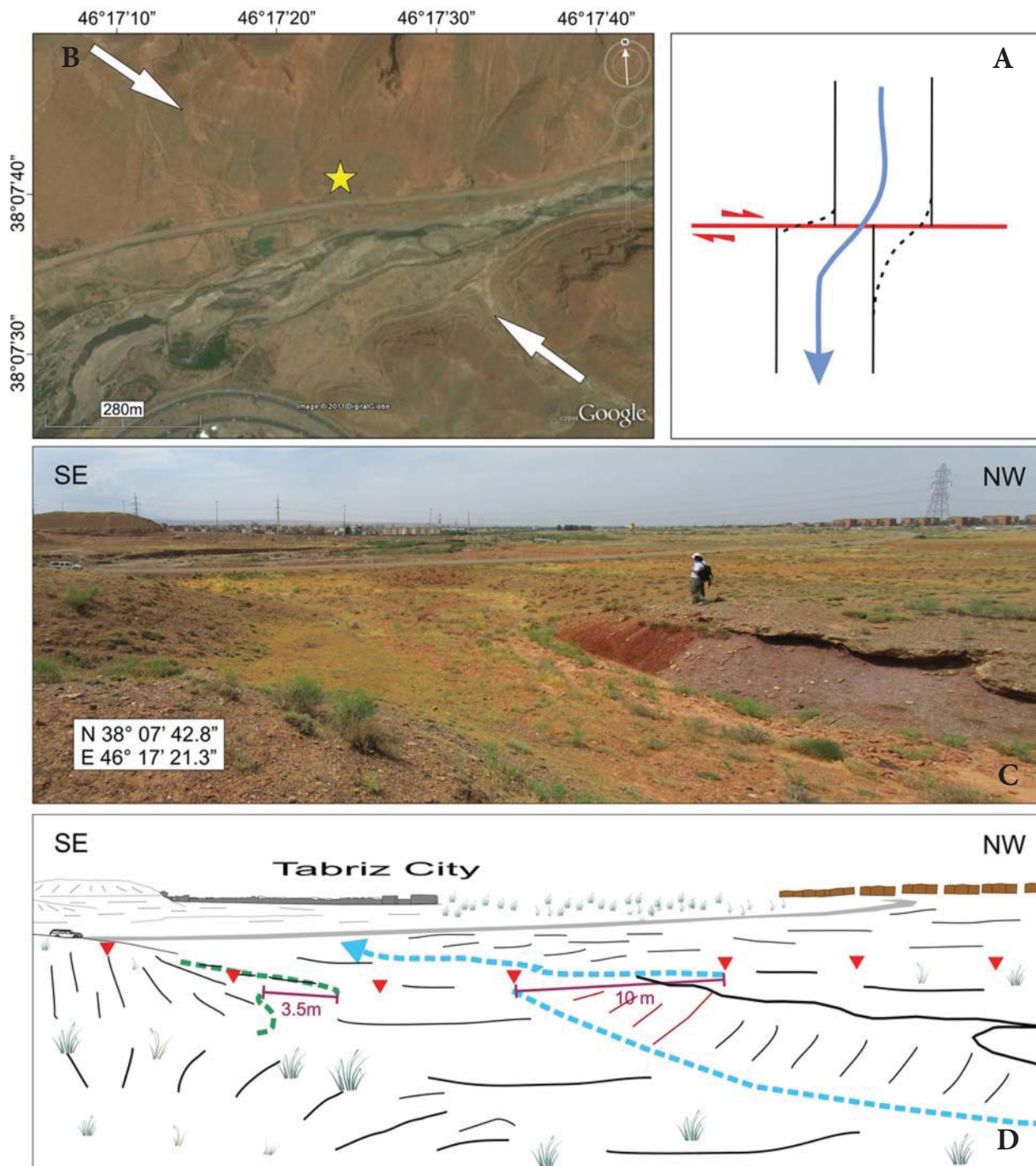
شکل ۵. A1) جابجایی راست بر آبراهه‌ها در شمال خاور فرودگاه تبریز، شمال باختر تبریز، (A2) تصویر شماتیک از شکل A1، میزان جابجایی ۲/۹ متر اندازه‌گیری شده است، B1) جابجایی راست بر آبراهه‌ها در شمال خاور فرودگاه تبریز، شمال باختر تبریز، (B2) تصویر شماتیک از شکل B1، میزان جابجایی حدود ۳ متر اندازه‌گیری شده است. نقطه GPS بیانگر موقعیت عکس‌برداری می‌باشد. سه گوشه‌های قرمز رنگ موقعیت خط اثر گسل و پاره خط‌های صورتی مقدار جابجایی راست بر آبراهه را نشان می‌دهند.

می‌لادی بود. به بیان ایشان، تعداد رویدادهای لرزه‌ای شناسایی شده در بازه زمانی مشخص در طول قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز بیش‌تر از قطعه جنوب خاوری می‌باشد که می‌تواند بیان‌گر کاهش نرخ لغزش هم‌لرز گسلی در طول گسل شمال تبریز از شمال باختر به جنوب خاور باشد (Solaymani Azad, 2009). Fathian Baneh et al., (2011) با بررسی‌های پارینه لرزه‌شناختی در محدوده پهنه همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز، بزرگای جوان‌ترین رویداد مه‌لرزه‌ای ثبت شده در ترانشه پارینه لرزه‌شناختی مورد مطالعه را ۷/۴ برآورد نموده که به نظر ایشان این رویداد می‌تواند در پیوند با زمین‌لرزه سال ۱۷۸۰ میلادی باشد. همچنین بیشینه جابجایی اندازه‌گیری شده در محدوده پهنه همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گزارش شده (۱۱۰۰ و ۱۱۷۰ متر) (هم‌خوان با Hessami and Jamali, 2008) و این موضوع علاوه بر این که می‌تواند گویای گسترش پایانه‌های خاوری قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز به مناطق مرکزی‌تر شهر تبریز باشد، نشان‌گر این نیز هست که پهنه همپوشانی دو قطعه گسلی یاد شده متأثر از جنبایی‌های هر دو قطعه شمال باختری و جنوب خاوری می‌باشد.

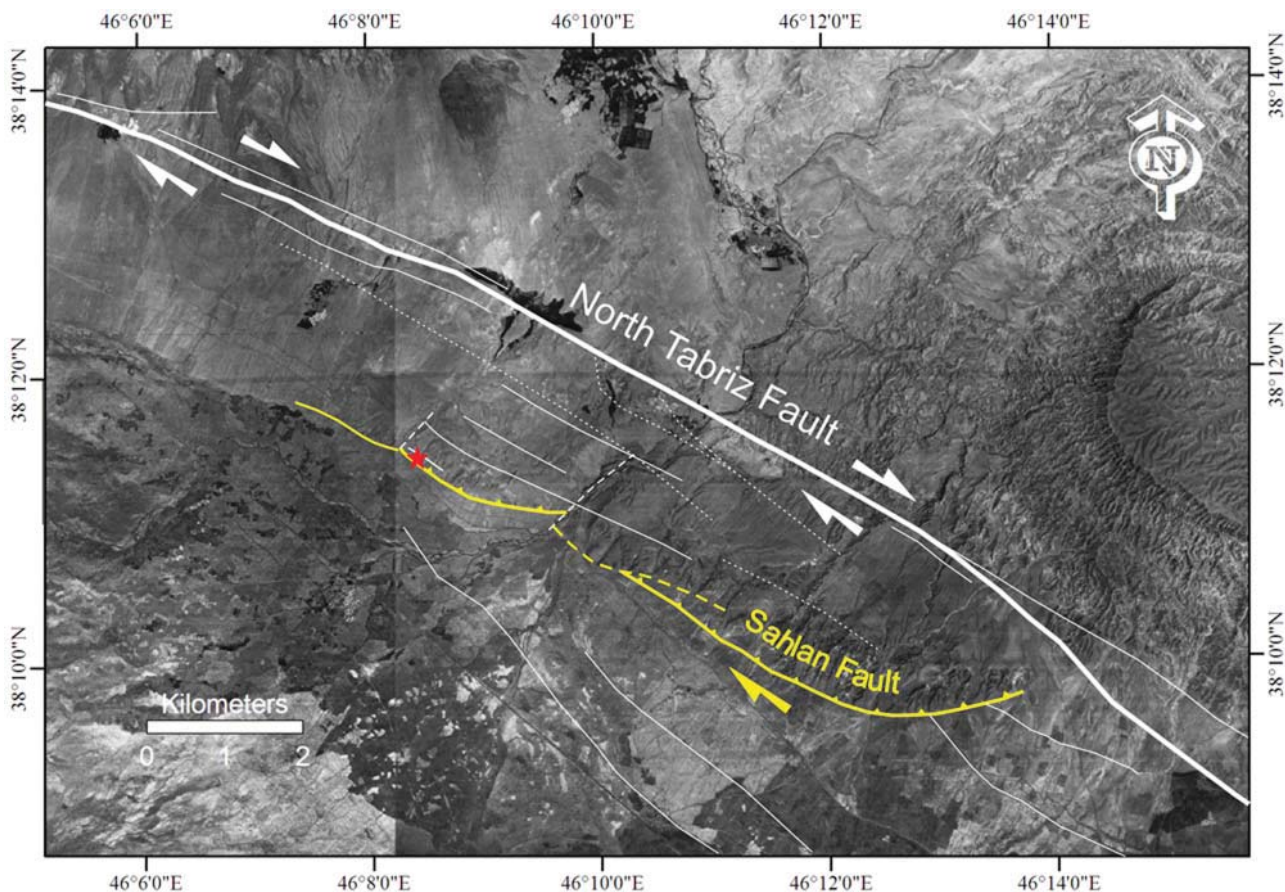
به‌عنوان یکی از گسل‌های جوان در پهنه قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز، مطالعات پارینه لرزه‌شناختی بر روی قسمتی از آن انجام گرفته است.

در گستره تبریز و در قسمت‌های مختلف سامانه گسلی شمال تبریز، چند مورد بررسی پارینه لرزه‌شناسی انجام پذیرفته است. نخستین بررسی پارینه لرزه‌شناسی بر روی گسل شمال تبریز، توسط Hessami et al., (2003) و بر روی بخش باختری قطعه شمال باختری با حفر دو ترانشه پارینه لرزه‌شناختی در نزدیکی روستای خواجه-مرجان (در شمال باختری تبریز) انجام گرفت و در آن نشانه‌های دست کم چهار رویداد لرزه‌ای کهن در ۳۶۰۰ سال گذشته شناسایی گردیده که جوان‌ترین آن‌ها مربوط به زمین‌لرزه سال ۱۷۸۰ میلادی می‌باشد. همچنین لغزش افقی هر رویداد در پژوهش یاد شده، 4 ± 0.5 متر برآورد گردیده است (Hessami et al., 2003).

پس از آن، Solaymani Azad (2009) با تمرکز مطالعات بر روی قطعه جنوب خاوری گسل شمال تبریز و ترانشه‌زنی پارینه لرزه‌شناختی، سه رویداد لرزه‌ای را تا ۳۳/۵ هزار سال گذشته شناسایی نمود که آخرین آن‌ها مربوط به زمین‌لرزه سال ۱۷۲۱



شکل ۶. (A) موقعیت ساختگاه جابجایی افقی آبراهه در شمال خاور فرودگاه، شمال باختر تبریز بر روی تصویر ماهواره‌ای Google Earth، (B) تصویر شماتیک برای توجیه علت فرسایش زیاد ساحل سمت چپ آبراهه، (C) دو مقدار جابجایی راست‌بر ۱۰ متر و ۳/۵ متر در نزدیکی یکدیگر، که بر روی آبراهه و پشته ثبت شده است و نشان از جابجایی افقی تجمعی و منسوب به آخرین رویداد لرزه‌ای دارد، نقطه GPS موقعیت عکس‌برداری را نشان می‌دهد، (D) تصویر شماتیک شکل C که در آن موقعیت شهر تبریز و آبراهه و پشته نمایش داده شده است، سه گوشه‌های قرمز رنگ نشان‌گر خط اثر گسل می‌باشد.



شکل ۷. عکس هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه در باختر تبریز (محل ترانشه بر روی گسل جوان سهلان واقع شده و با ستاره قرمز رنگ نمایش داده شده است).

چین خوردن واحدهای ۵، ۶، ۷ و ۸ از زمان رویداد زمین لرزه سوم صورت گرفته باشد. در جدول ۱، رویدادهای لرزه‌ای شناسایی شده در لوگ ترانشه پارینه لرزه‌شناختی گسل سهلان و شواهد لرزه‌ای زمین لرزه‌های پارینه آورده شده است.

با توجه به این که نمونه‌گیری از افق‌های رویداد به منظور سن‌سنجی انجام نگرفته است، زمان وقوع رویدادهای لرزه‌ای به‌طور نسبی بیان شده است.

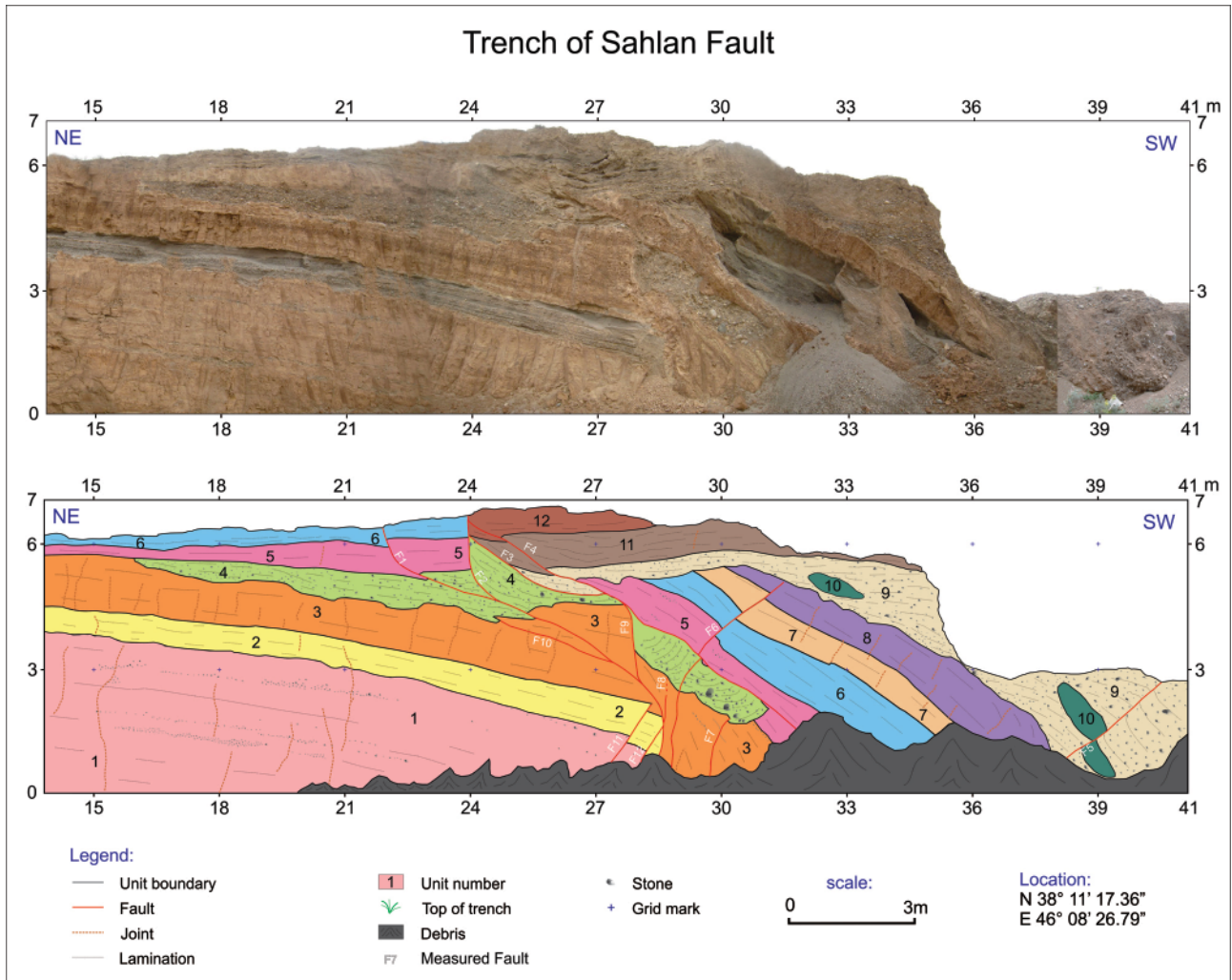
به‌منظور محاسبه مقدار جابجایی شاقولی بر روی صفحه گسلی در هر رویداد (V_f)، عملیات بازسازی لوگ انجام گردید (شکل ۱۰). با در اختیار داشتن مقادیر V_f و H در هر رویداد زمین لرزه پارینه و با توجه به زاویه ریک نزدیک به ۵ درجه که از بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی به‌دست آمد، از یکی از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده گردید و مقادیر جابجایی خالص هر زمین لرزه به‌دست آمد (جدول ۲). در نهایت با داشتن مقادیر جابجایی خالص و با استفاده از رابطه Wells and Coppersmith (1994) (رابطه ۳) مقدار بزرگای زمین لرزه‌های پارینه در گسل‌های راستالغز محاسبه گردید (جدول ۲).

- ۱) $Net\ Slip = H / \cos(Rake)$
- ۲) $Net\ Slip = V_f / \sin(Rake)$
- ۳) $F_{Strike-Slip} : M_W = 7.04 + 0.89 \log(AD)$

ترانشه مورد پژوهش در باختر شهر تبریز و بر روی بلوک جنوبی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز و در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 11' 36.17''$ شمالی و $46^{\circ} 8' 26.79''$ خاوری و عمود بر گسل سهلان قرار دارد (شکل ۸).

افق‌های چینه‌ای که به‌عنوان نهشته اصلی در دیواره از هم تفکیک می‌شوند، دارای ویژگی‌های فیزیکی از جمله سنگ شناختی و هوازدگی یکسان و خاصی مانند رنگ، اندازه و درصد دانه‌ها، جورشدگی و گردشدگی دانه‌ها، ضخامت لایه‌بندی و ... می‌باشند. ۱۲ افق نهشتی - چینه‌ای در این دیواره تشخیص داده شده است. بررسی افق‌های یادشده بیان‌گر نهشتگی آن‌ها در یک محیط مخروط افکنه‌ای می‌باشد.

افق‌های رویداد چهار زمین لرزه پارینه در دیواره سهلان، در شکل ۹ آورده شده است. (افق آخرین رویداد که سطح زمین در نظر گرفته شده است، با رنگ سیاه و به‌صورت خط چین نشان داده شده است). خط‌چین‌های زرد، سفید و آبی تیره به ترتیب نمایش‌گر افق‌های رویداد دوم، سوم و چهارم می‌باشد. افق رویداد دوم در قاعده افق ۹ قرار دارد و بنابراین افق پس از رویداد دوم محسوب می‌گردد. افق رویداد سوم در قاعده افق ۴ و افق رویداد چهارم در قاعده افق ۳ ترسیم گردیده است و این افق‌ها به‌ترتیب افق پس رویداد سوم و چهارم می‌باشند. به‌نظر می‌رسد

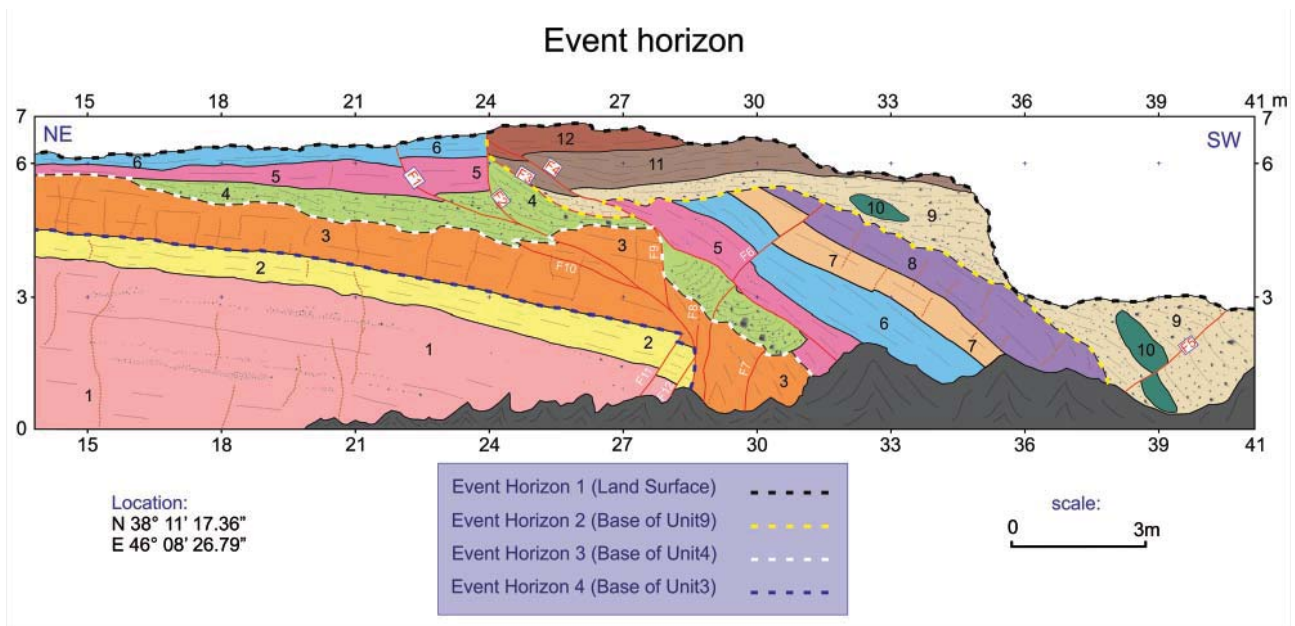


شکل ۸. تصویر پانوراما شده و لوگ ترانشه پارینه لرزه‌شناسی بر روی شاخه گسلی سهلان از پهنه گسلی شمال تبریز در شمال روستای سهلان.

جدول ۱. رویدادهای لرزه‌ای شناسایی شده در لوگ ترانشه گسل سهلان و شواهد لرزه‌ای زمین لرزه‌های پارینه

شواهد	افق لرزه‌ای ^۲	رویداد ^۱
شکل‌گیری گسل‌های F1، F2، F3، F4 و F5 تا سطح زمین	سطح کنونی زمین	رویداد ۱
خاتمه گسل F6 در قاعده افق ۹	قاعده افق ۹	رویداد ۲
خاتمه جابجایی شاقولی گسل‌های F7، F8، F9 و F10 در قاعده افق ۴	قاعده افق ۴	رویداد ۳
خاتمه جابجایی شاقولی گسل‌های F11 و F12 در قاعده افق ۳	قاعده افق ۳	رویداد ۴

1. Event
2. Event Horizon



شکل ۹. نمایش رویداد چهار زمین لرزه پارینه شناسایی شده در پهنه گسلی شمال تبریز بر روی دیواره پارینه لرزه‌شناختی سهلان. خط‌چین‌ها افق رویداد زمین لرزه‌های پارینه را نمایش می‌دهد. خط‌چین سیاه رنگ افق آخرین رویداد زمین لرزه را نشان می‌دهد و خط‌چین‌های زرد، سفید و آبی تیره به ترتیب نمایش‌گر افق‌های رویداد دوم، سوم و چهارم می‌باشد.

مقایسه با جابجایی‌های افقی بسیار کم است و در برخی نقاط به صفر می‌رسد، می‌توان سازوکار چیره قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز را راستالغز راست‌بر در نظر گرفت که با داده‌های جدید شبکه GPS این گستره از کشور نیز مطابقت دارد.

بر پایه پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناختی و با بررسی دیواره عمود بر بخش شمال باختری گسل شمال تبریز در شمال روستای سهلان و بر روی گسل سهلان (که به‌عنوان بخشی از قطعه شمال باختری سامانه گسلی شمال تبریز با درازای حدود ۱۰ کیلومتر و راستای شمال باختری - جنوب خاوری به موازات گسل شمال تبریز معرفی گردیده است)، آثار دست کم چهار زمین لرزه کهن با بزرگای بیش از $M_w=6$ شناسایی شده است.

بزرگای جوان‌ترین رویداد ثبت شده در ترانسه پارینه لرزه‌شناختی مورد مطالعه در حدود ۷ برآورد شده است که به نظر می‌رسد بتوان با توجه به وضعیت چینه‌شناختی و موقعیت مکانی دیواره مورد مطالعه نسبت به سامانه گسلی شمال تبریز و پهنه معرفی شده برای رخداد تاریخی سال ۱۷۸۰ میلادی، این رویداد را در ارتباط با زمین لرزه تاریخی سال ۱۷۸۰ میلادی

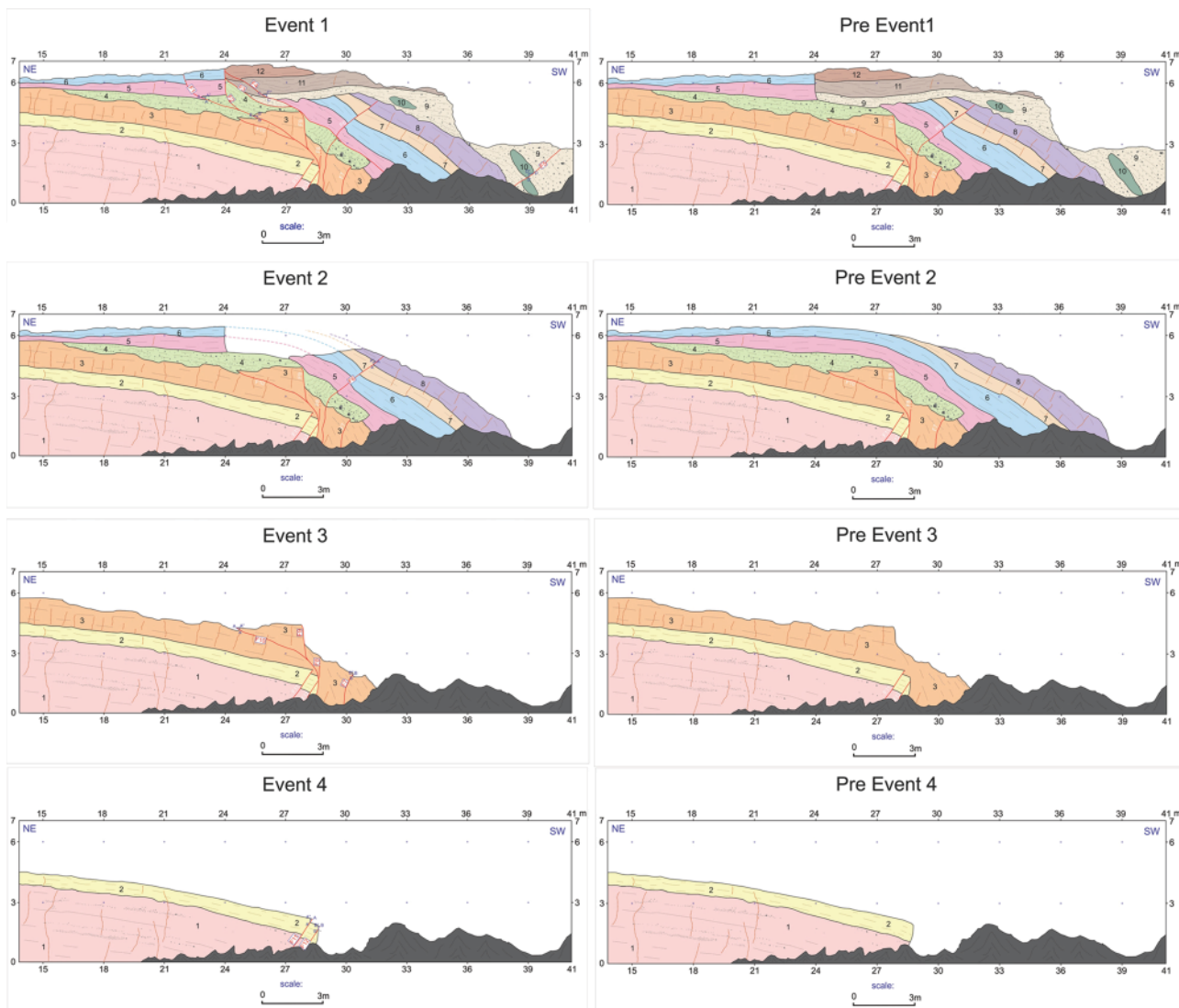
در روابط ذکر شده در بالا، V_f جابجایی روی سطح گسل، H جابجایی افقی، Net Slip مقدار جابجایی خالص برحسب متر، AD جابجایی میانگین و M_w بزرگای زمین لرزه‌های پارینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مطالعات و بازدیدهای صحرایی انجام پذیرفته در قسمت‌های مختلف قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز نمایان‌گر وجود آثار ریخت‌زمین‌ساختی گوناگون ناشی از جنبایی زمین‌ساختی جوان در راستای این گسل است. آبراهه‌های موجود در گستره مورد پژوهش با مقادیر مختلفی از جابجایی راست‌بر، نشان‌گر تاثیر چندین رویداد گسلش یا جابجایی‌های تدریجی هم‌لرز در منطقه می‌باشد. در بررسی‌های انجام گرفته بر پایه روش زمین‌شناختی، جابجایی راست‌بر آخرین رویداد، 0.5 ± 0.3 متر برآورد گردید که با مقادیر جابجایی افقی برآورد شده توسط دیگر پژوهشگران مطابقت می‌کند. جابجایی شاقولی بین ۰ و ۰/۵ متر متغیر است. با توجه به این‌که میزان جابجایی‌های شاقولی در

جدول ۲- برآورد مقادیر جابجایی و بزرگای زمین لرزه‌های پارینه شناسایی شده بر روی گسل سهلان

Number of Event	V_f (m)	H (m)	Net Slip (m)	M_w (AD) SS	M_w (AD) G	M_w
1	0.78	0.72	0.73	7.01	6.9	0.5 ± 7
2	0.2	0.15	0.16	6.42	6.36	0.03 ± 6.4
3	0.25	0.21	0.22	6.5	6.44	0.05 ± 6.4
4	0.39	0.21	0.22	6.7	6.6	0.05 ± 6.65



شکل ۱۰. نمایش مراحل بازسازی لوگ پارینه لرزه شناسی برای چهار زمین لرزه پارینه شناسایی شده بر روی گسل سهلان

طالبیان، م.، علیمردان، س. و شکری، م.ع.، ۱۳۹۰. نشانه های ریخت زمین ساختی از جنبایی راستالغز - راست بر محض بر روی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز، شمال باختری ایران، سی امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- فریدی، م. و خدابنده، ع.، ۱۳۹۰- الف. گزارش نقشه زمین شناسی تبریز I به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- فریدی، م. و خدابنده، ع.، ۱۳۹۰- ب. گزارش نقشه زمین شناسی کرگه به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. ویرایش دوم. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- فریدی، م.، سیدی صاحباری، پ.، وکیل باغمیشه، ف. و زمانی مهر، س.، ۱۳۹۰. گزارش نقشه زمین شناسی سهلان به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- سلیمانی آزاد، ش.، فیلیپ، ه.، حسامی آذر، خ. و دومینگز، ا.، ۱۳۸۸. چگونگی رویداد گسلش زمین لرزه ای در منتهی الیه

($M_s=7/4$) دانست. با این وجود اثبات چنین انگاشتی نیازمند انجام آزمایش های تعیین سن بر روی واحدهای چینهای شماره ۹، ۶ و ۴ با هدف تعیین مرزهای زمانی بالایی و پایینی هر رخداد لرزه ای و تعیین دوره بازگشت رویدادهای مزبور می باشد.

قدردانی

پژوهش حاضر با پشتیبانی علمی و مالی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین و مدیریت منطقه شمال باختری (مرکز تبریز) انجام پذیرفته است که بدین وسیله از ایشان قدردانی به عمل می آید. همچنین از مهندس سعیده علیمردان، مهندس آرام فتحیان و مهندس مرضیه جلال زاده به سبب حضور در بخشی از برداشت های صحرائی سپاسگزاری می گردد.

منابع

- احمدزاده، ا.، سلیمانی آزاد، ش.، فریدی، م.، نظری، ح.،

Eastern Turkey and North-Western Iran. *Tectonophysics*. 380, 189-219.

- Masson, F., Djamour, Y., Van Gorp, S., Chéry, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H. and Vernant, P., 2006. Extension in NW Iran driven by the motion of the South Caspian Basin. *Earth and Planetary Science Letters*. 252, 180-188.

- Ritz, J.-F., Rizza, M., Vernant, P., Peyret, M., Nazari, H., Nankali, H., Djamour, Y., Mahan, S., Salamati, R. and Tavakoli, F., 2011. Morphotectonics and geodetic evidences for a constant slip-rate along the Tabriz Fault (Iran) during the past 45 kyr. *American Geophysical Union (AGU). Fall Meeting. abstract #T44A-07.*

- Rizza, M., Vernant, P., Ritz, J.F., Peyret, M., Nankali, H., Nazari, H., Djamour, Y., Salamati, R., Tavakoli, F., Chery, J., Mahan, S.A. and Masson, F., 2013. Morphotectonics and geodetic evidences for a constant slip-rate over the last 45 kyr along the Tabriz Fault (Iran). *Geophysical Journal International (JGI)*. 193 (3): 1083-1094.

- Solaymani Azad, S., 2009. Evaluation de l'alea sismique pour les villes de Tehran, Tabriz et Zandjan dans le NW de l'Iran approche morphotectonique et paleosismologique, Phd. Thesis, Faculté des Sciences et techniques du Languedoc l'Université Montpellier II (France). 151.

- Solaymani Azad, S., Philip, H., Dominguez, S., Hessami, Kh., Shahpasand zadeh, M., Forutan, M., Tabassi, H. and Lamothe, M., 2012. Paleoseismological and morphological evidence of slip variations along the North Tabriz Fault (NW Iran), in press in *Geophysical Journal International (GJI)*.

- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, 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 (GJI)*. 157, 381-398.

- Wells, D.L., and Coppersmith, K J., 1994. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 84, 974-1002.

جنوب‌خاوری شبکه گسلی گیلاتو - سیه چشمه - خوی و نقش آن در بررسی‌های برآورد خطر زمین- لرزه در شمال باختر ایران. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

- Ambraseys, N. and Melville, C.P., 1982. A history of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, Cambridge, 223.

- Berberian, M., 1997. Seismic sources of the Transcaucasian historical earthquakes. In: Giardini, D., Balassanian, S. (Eds.), *Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, Netherlands, 33-311.

- Berberian, M. and Arshadi, S., 1976. On the evidence of the youngest activity of the North Tabriz fault and the seismicity of Tabriz city, Rep. 39, Geological Survey of Iran.

- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H. and Tavakoli, F., 2010. NW Iran-Eastern Turkey present-day kinematics: results from the Iranian Permanent GPS Network. Accepted in *Geophysical Journal International*, 307, 27-34.

- Eftekharijad, J., 1975. Brief history and structural development of Azarbaijan. Geological Survey of Iran, internal report, 8.

- Fathian Baneh, A., Solaymani Azad, S., Nazari, H., Ghorashi, M. and Talebian, M., 2011. Preliminary results of new paleoseismological investigations along the North Tabriz Fault, NW Iran. *International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne, Australia 28 June-7 July, 2011.*

- Hessami, K. and Jamali., F., 2008. New evidence of earthquake faulting in the Tabriz city, NW Iran. *Geoscience*, 17, 156-161.

- Hessami, K., Pantosi, D., Tabassi, H., Shabaniyan, E., Abbassi, M., Fegghi, K. and Solaymani, S., 2003. Paleoequakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results, *Annals of Geophysics.*, 46, 903-915.

- Karakhanian, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V. and Adilkhanyan, A., 2004. Active faulting and natural hazards in Armenia,