

یافته‌های نوین پارینه‌لرزه‌شناختی در پهنه همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز (شمال باختر ایران)

آرام فتحیان بانه^۱، شهریار سلیمانی آزاد^۲، حمید نظری^۲، منوچهر قرشی^۲ و مرتضی طالبیان^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۲ دکتری، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

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

^۴ دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹

چکیده

شهر تبریز به عنوان یک مرکز مهم جمعیتی در شمال باختر ایران، در نزدیکی گسل شمال تبریز با درازای نزدیک به ۱۵۰ کیلومتر، قرار دارد. این گسل راست‌الغز راست‌گرد، متشکل از دو قطعه گسلی اصلی است که این دو، با الگوی راست‌پله نسبت به هم آرایش یافته‌اند. در پهنه همپوشانی شکل گرفته در میان دو قطعه گسلی یاد شده، جنبش‌های راست‌گرد جوان مسبب پدیداری حوضه‌های کششی شده‌اند. کرانه‌های این حوضه، با افشانه‌ها و شاخه‌های گسلی به هم پیونددهنده این دو قطعه گسلی انطباق یافته‌اند. رخداد زمین‌لرزه‌های تاریخی شدید در گستره تبریز شاهدهی بر جنبایی گسل شمال تبریز از نظر لرزه‌های است. از این میان دست‌کم دو زمین‌لرزه ویرانگر سال‌های ۱۷۲۱ (Ms 7.3) و ۱۷۸۰ (Ms 7.4) میلادی را به گسل شمال تبریز نسبت می‌دهند. پس از زمین‌لرزه ۱۷۸۰ میلادی، این گسل تا به امروز هیچ رویداد لرزه‌ای بزرگی را تجربه نکرده است. در طی دهه‌های اخیر، با بهره‌گیری از بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی سعی بر شناسایی شمار بیشتری از زمین‌لرزه‌های کهن شده است. از آن‌جا که مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی صورت گرفته در گستره تبریز تاکنون بر روی قطعات شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز متمرکز بوده، در این پژوهش تلاش بر آن است تا پهنه همپوشانی قطعات گسلی یاد شده را مورد مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی قرار دهیم. از این رو با مطالعه عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های صحرایی، ساختگاه مناسبی برای حفر ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی در ۶ کیلومتری شمال باختر تبریز (بر روی یکی از شاخه‌های جوان گسلی پهنه همپوشانی قطعات شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز)، مکان‌یابی شد. در ادامه، با حفر ترانشه‌های عمود بر راستای افراز گسلی و تمرکز بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی در آن، آثار دست‌کم دو رویداد مهلززه‌های شناسایی شد.

کلیدواژه‌ها: شمال باختر ایران، گسل شمال تبریز، پارینه‌لرزه‌شناسی، پهنه همپوشانی، افشانه‌های گسلی

*نویسنده مسئول: آرام فتحیان بانه

E-mail: aram.fathian@gmail.com

۱- مقدمه

شمال باختر ایران، ناحیه‌ای با دگرشکلی و لرزه‌خیزی تاریخی شدید است که در بین دو کمربند راندگی قفقاز در شمال و زاگرس در جنوب قرار گرفته (Berberian, 1997). سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها در این گستره نشان از آن دارد که همگرایی بین صفحه‌های عربی و اوراسیا، اساساً از طریق گسل‌های راست‌الغز با راستای WNW همساز شده است (Jackson, 1992). به‌طور کلی ساختارهای اصلی گستره شمال باختر ایران، دربرگیرنده گسل‌ها، چین‌ها و آتشفشان‌ها هستند. در این گستره، سه روند ساختاری چیره (W-E و NE-SW، NW-SE) دیده می‌شود که توسط گسل‌های ترانسفورم حاشیه‌ای شمالی-جنوبی (مانند گسل‌های آستارا و اردن) محدود شده‌اند (Solaymani Azad, 2009). گسل‌های با راستای NE-SW به‌طور عمده گسل‌های راست‌الغز چپ‌گرد (مانند گسل خاور آناطولی)، گسل‌های با راستای NW-SE به‌طور عمده گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد (مانند گسل شمال تبریز) و روندهای ساختاری خاوری-باختری به‌طور عمده دربرگیرنده گسل‌های وارون، راندگی‌ها و چین‌ها هستند (Solaymani Azad, 2009) (شکل ۱). بخشی از همگرایی میان صفحه‌های عربی و اوراسیا در شمال باختر ایران، در امتداد سامانه‌های گسلی جنبایی راست‌الغز راست‌گرد با راستای NW-SE، رخ می‌دهد. بخش دیگری از این همگرایی نیز توسط گسل‌های وارون واقع در بخش‌های شمالی‌تر جذب می‌شود. اطلاعات به‌دست آمده از ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌های روی داده و شواهد زمین‌شناختی، گویای فرار ناحیه شمال باختری ایران از قفقاز و رانده شدن آن بر روی پوسته دریای خزر است (Westaway, 1990; Jackson, 1992). به این ترتیب و با توجه به احاطه شدن این ناحیه با گسل‌های چپ‌گرد و راست‌گرد به نظر می‌آید که هم اکنون ناحیه آذربایجان، افزون بر جابه‌جایی‌های انتقالی،

درگیر چرخش‌های پادساعتگرد نیز باشد (Copley and Jackson, 2006). اندازه‌گیری‌های انجام شده با بهره‌گیری از برداشت‌های GPS، سرعت همگرایی میان صفحه‌های عربی و اوراسیا را ۲۲-۲۰ میلی‌متر در سال پیشنهاد کرده‌اند (Nilforoushan et al., 2003; Vernant et al., 2004). از سوی دیگر، برای فراهم شدن نتایج کمی دقیق از حرکت‌های راست‌الغز راست‌گرد، حرکت‌های کششی و حرکت حوضه‌خزر جنوبی، اقدام به نصب یک شبکه مترام GPS در منطقه شمال باختر ایران شد (Masson et al., 2006). Masson et al. (2006) با پیشنهاد آهنگ لغزش راست‌الغز راست‌گرد معادل با ۸ میلی‌متر در سال، برای گسل شمال تبریز (که به نظر ایشان، هماهنگی خوبی نیز با دوره بازگشت‌های ۲۵۰ تا ۳۰۰ ساله برآورد شده توسط ایشان برای زمین‌لرزه‌های مرتبط با این گسل دارد)، بر این نکته تأکید کرده‌اند که میزان واتنش بر روی بلوک جنوبی گسل شمال تبریز صفر بوده و این موضوع نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً صلب بلوک یاد شده است. به بیان دیگر، گسل شمال تبریز، جداکننده بلوک نسبتاً صلب ایران مرکزی و بلوک دگرشکل شده تالش است (اطلس لرزه‌زمین ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ).

بررسی پیشینه لرزه‌خیزی یک گستره، جایگاه ویژه‌ای در مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه دارد. داده‌های لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی، تنها بخش اندکی از ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی (از جمله پتانسیل زمین‌لرزه‌ای) در یک گستره لرزه‌خیز را فراهم می‌آورد تا آن‌جا که کاتالوگ‌های موجود حتی در سرزمین‌های لرزه‌خیزی با تمدن‌های کهن (مانند ایتالیا و ایران) که ثبت تاریخی به‌نسبت طولانی از رویداد زمین‌لرزه‌ها دارند، عموماً برای این منظور ناکافی هستند. از این رو، استفاده

میلادی و نیز ویژگی‌های هندسی شناسایی شده‌اند (Berberian, 1997; Karakhanian et al., 2004; Solaymani Azad, 2009). گسیختگی سطحی زمین‌لرزه سال ۱۷۲۱ میلادی بر روی قطعه جنوب خاوری با درازای ۶۰-۵۰ کیلومتر رخ داده است و گسیختگی قطعه شمال باختری در سال ۱۷۸۰ میلادی روی داده که درازای آن حدود ۶۰ کیلومتر بوده است (Berberian and Yeats, 1999; Hessami et al., 2003; Solaymani Azad, 2009).

۲-۱. زمین‌ساخت جنبا در ارتباط با گسل شمال تبریز: برپایه ویژگی‌های ریخت‌شناختی و هندسی نیز، گسل شمال تبریز را می‌توان به دو بخش اصلی شمال باختری و جنوب خاوری با الگوی نزدیکانی راست‌پله تقسیم کرد (Karakhanian et al., 2004). (Karakhanian et al., 2004) و همچنین (Solaymani Azad, 2009)، نشان داده‌اند که پهنه همپوشانی اصلی شکل گرفته در میان این دو قطعه گسلی، با یک حوضه کششی بزرگ منطبق است که در ناحیه شهر تبریز واقع شده است. در حوضه کششی یادشده، توپوگرافی افزایش گسلی، اساساً به وسیله تنوعی از مؤلفه‌های شیب‌لغز در امتداد شاخه‌های گسلی عمدتاً با افت نرمال کنترل می‌شود که احتمالاً راستای NNW-SSE دارند (Solaymani Azad, 2009). تعدادی افشانه‌های گسلی (Fault splays) عهد حاضر، دو قطعه گسلی یادشده را از داخل شهر تبریز به هم وصل می‌کنند (Hessami et al., 2003; Karakhanian et al., 2004) (شکل ۲-ب).

(Hessami and Jamali, 2008)، با بررسی عکس‌های هوایی، بر این باورند که نهشته‌های مخروط افکنه‌ای شکل گرفته به وسیله تلخ‌رود، در راستای پهنه گسل شمال تبریز و در طول یکی از شاخه‌های گسلی فرعی، به نام شاخه مهران‌رود به میزان حدوداً ۱۱۰۰ متر، به صورت راست‌گرد جابه‌جا شده است (شکل ۳). مشاهده این میزان جابه‌جایی انباشتی راست‌گرد بر روی شاخه‌ای فرعی‌تر، پرسش‌برانگیز است. فتحیان‌بانه و همکاران (۱۳۸۹)، جابه‌جاشدگی ریخت‌شناختی ۱۱۷۰ متری را در خاور روستای آناختون (شمال باختر فرودگاه بین‌المللی تبریز) معرفی کرده‌اند (شکل ۴)؛ همسانی نسبی این مقدار بیشینه از جابه‌جاشدگی انباشتی راست‌گرد با مطالعات (Hessami and Jamali, 2008)، شاید گویای گسترش پایانه‌های خاوری قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز به مناطق مرکزی‌تر شهر تبریز باشد.

۳- پیشینه لرزه‌خیزی

بررسی و مقایسه لرزه‌خیزی دستگاهی و تاریخی گستره شمال باختر ایران، گویای رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی در مقابل زمین‌لرزه‌های اندک دستگاهی است (Solaymani Azad, 2009). هرچند که شواهد تاریخی و کاتالوگ‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی، نشان‌دهنده آن هستند که ناحیه شمال باختر ایران تجربه‌گر زمین‌لرزه‌های ویرانگری بوده است (شکل ۵)، با این حال، بیشینه آگاهی ما در مورد میزان خرابی‌ها و کشته‌ها در طی این زمین‌لرزه‌ها، بیشتر محدود به رویدادهایی است که شهر تبریز را ویران کرده‌اند.

۳-۱. زمین‌لرزه‌های تاریخی: مطالعه زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره شمال باختر ایران (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian, 1997)، نشانگر آن است که منطقه تبریز، رویدادهای زمین‌لرزه‌ای آسیب‌رسانی را تجربه کرده است (جدول ۱). به باور (Berberian and Yeats, 1999)، رویدادهای لرزه‌ای گستره تبریز از نظر زمانی، توزیع خوشه‌ای (رگباری) دارند، به گونه‌ای که در طی ۶۵ سال سامانه گسلی شمال تبریز و گسل‌های وارون مجاور آن، در اثر سه رویداد زمین‌لرزه‌ای سال‌های ۱۷۲۱، ۱۷۸۰ و ۱۷۸۶ میلادی گسیخته شده‌اند. افزون بر این، سلیمانی‌آزاد و همکاران (۱۳۸۸)، بر این باورند که رخداد پنج زمین‌لرزه آسیب‌رسان و پشت سر هم سال‌های ۱۵۹۳، ۱۷۲۱، ۱۷۸۰ و ۱۷۸۶ و ۱۸۰۷ میلادی از سوی مناطق خاوری‌تر (سراب) به سوی باختر (تسوج) می‌تواند گویای برهم‌کنش قطعه‌های گسلی سامانه گسلی بزرگ

از رهیافت پارینه‌لرزه‌شناسی (Paleoseismology) در شناسایی زمین‌لرزه‌های کهن به منظور تکمیل کاتالوگ‌های زمین‌لرزه‌ای و نیز درک صحیح‌تر از رفتار گسل‌های جنبا و لرزه‌خیز ضروری می‌نماید (Vittori et al., 1991).

شهر تبریز به عنوان مرکز تجمع جمعیت (افزون بر ۱,۶۰۰,۰۰۰ نفر؛ مرکز آمار ایران) در شمال باختر ایران، در کنار و نزدیکی پهنه‌های گسلی جنبایی بنا شده است که با توجه به گسترش روزافزون این شهر بزرگ، لزوم شناخت ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی پهنه‌های یادشده، برای انجام مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه، بیشتر نمایان است.

گسل شمال تبریز از جمله گسل‌های جنبا و لرزه‌خیز شمال باختری ایران است. با توجه به موارد مطرح شده‌ای مانند توزیع خوشه‌ای (Clustering) رویدادهای لرزه‌ای گستره تبریز از نظر زمانی (Berberian and Yeats, 1999; Solaymani Azad, 2009)، تمرکز مکانی-زمانی زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسل شمال تبریز (سلیمانی‌آزاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ Hessami et al., 2003) و همچنین عدم رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ طی ۲۳۰ سال گذشته (Masson et al., 2006) به‌عنوان بخشی از محدوده زمانی بین خوشه‌ای، نیاز به تکمیل هرچه بیشتر پیشینه زمین‌لرزه‌های این منطقه احساس می‌شود (اطلس لرزه‌زمین‌ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ). پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در طی دهه‌های اخیر به‌عنوان ابزاری کارآمد، به‌منظور دستیابی هرچه بیشتر به این هدف، طرح و مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، به منظور تکمیل مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی پیشین بر روی قطعه‌های شمال باختری (Hessami et al., 2003) و جنوب خاوری گسل شمال تبریز (Solaymani Azad, 2009)، سعی بر مکان‌یابی ساختگاهی مناسب شده است. بر همین اساس، در نوشتار پیش رو، تلاش بر آن است تا با تمرکز بر روی بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی در ناحیه همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز داده‌های نوینی فراهم شود.

۲- گسل شمال تبریز

گسل شمال تبریز (NTF در شکل ۲)، ساختاری پیچیده با روند شمال باختری است که شواهدی از جابه‌جایی‌های راست‌الغز راست‌گرد را بر روی عکس‌های هوایی نشان می‌دهد. به سبب تکرار گسیختگی‌های سطحی زمین‌لرزه‌ای، رد گسل (Fault trace) شمال تبریز آشکارا بر روی زمین دیده می‌شود (Solaymani Azad, 2009). گمان می‌رود که صفحه گسل اصلی، شیبی نزدیک به قائم داشته باشد (Berberian and Arshadi, 1976; Hessami et al., 2003; Solaymani Azad, 2009). (Solaymani Azad, 1997)، درازای این گسل را ۲۱۰ کیلومتر بیان کرده است. (Hessami et al., 2003)، درازای آن را ۱۵۰ کیلومتر دانسته‌اند و (Solaymani Azad, 2009) نیز با در نظر گرفتن آن به عنوان بخشی از سامانه گسلی بزرگ تبریز، درازای ۱۲۰ کیلومتری را برای آن برآورد نموده است. این گسل که راستای آن به‌طور میانگین $110^{\circ}-135^{\circ}$ N است، به سمت شمال باختر، با دو پهنه از گسل‌های وارون با روند WSW و ENE مستهلک می‌شود (شکل ۲-ا) (Berberian and Yeats, 1999; Solaymani Azad, 2009). بر پایه داده‌های GPS، آهنگ لغزش گسل شمال تبریز، می‌تواند به ۵-۸ میلی‌متر در سال برسد (Hessami et al., 2003; Masson et al., 2006; Vernant & Chery, 2006). نیز بر اساس بررسی توالی آبراهه‌های جابه‌جا شده، آهنگ لغزش ۶/۴-۳/۱ میلی‌متر در سال را برای این گسل برآورد کرده‌اند. همچنین Karakhanian et al. (2004) نیز آهنگ لغزش ۲-۱/۵ میلی‌متر در سال را با توجه به مشاهدات صحرائی و داده‌های زمین‌شناختی پیشنهاد داده‌اند.

گسل شمال تبریز، گسلی به هم پیوسته نیست و قطعه‌های مختلفی دارد. این قطعه‌ها بر اساس مجموعه‌ای از گسیختگی‌های سطحی ناشی از زمین‌لرزه‌های ۱۷۲۱، ۱۷۸۰

(جنوب خاور شهر تبریز)، نشانه‌های دست کم سه رویداد لرزه‌ای بزرگ را در ۳۳۵۰۰ سال گذشته شناسایی کرده است.

مقیاسه داده‌های Hessami et al. (2003) و Solaymani Azad (2009) می‌تواند بیانگر وجود یک اختلاف رفتاری میان قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز باشد (Solaymani Azad, 2009).

لازم به یادآوری است که به‌منظور فراهم آوردن داده‌های نوین پارینه‌لرزه‌شناختی بر روی گسل شمال تبریز، بررسی‌های ما این بار بر روی پهنه همپوشانی دو قطعه گسلی یادشده تمرکز یافته است.

۴-۲. مکان‌یابی ساختگاه حفر ترانشه: برپایه آنچه که در بخش ۲-۱ اشاره شد، افشانه‌های گسلی که از شمال باختر شهر تبریز می‌گذرند، نهشته‌های عهد حاضر را در گستره همپوشانی بخش‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز بریده و شواهد زمین‌ریختی روشنی از رویدادهای گسلش سطحی پی‌درپی نشان می‌دهند (Hessami and Jamali, 2008). براساس مطالعات (Hessami and Jamali, 2008)، بررسی عکس‌های هوایی (در مقیاس ۱:۴۰,۰۰۰) و تصاویر درشت مقیاس ماهواره‌ای (تصاویر ماهواره‌ای IRS-P5 با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ متر و Google Earth)، در امتداد یکی از این شاخه‌ها (در ۶ کیلومتری باختر تبریز) آبراه‌های دیده می‌شود که به‌صورت راست‌گرد جابه‌جا شده است (شکل ۶). در نگاه نخست به‌نظر می‌آید که پدیده یاد شده، در پیوند با دو پادگانه رودخانه‌ای است که در آن، پادگانه جوان‌تر جابه‌جاشدگی در حدود ۵ متر، و پادگانه قدیمی‌تر جابه‌جاشدگی در حدود ۲۲ متری را از جنبایی‌های پیشین گسل شمال تبریز به ثبت رسانده‌اند. با این وجود، بررسی‌های دقیق‌تر (برپایه انجام مشاهدات صحرائی) نشان داد که جابه‌جاشدگی پادگانه قدیمی‌تر به دلیل دست‌خوردگی رویه آن، کاذب است و از این میان، تنها می‌توان جابه‌جاشدگی ۵ متری را به عنوان شاهد ریخت‌زمین‌ساختی روشن‌تر در این ساختگاه پذیرفت (شکل ۷-۵). این جابه‌جاشدگی را می‌توان به یک یا دو رویداد لرزه‌ای نسبت داد که آخرین زمین‌لرزه و یا زمین‌لرزه‌های بزرگ پیشین مسبب پدیداری آن باشند. در همین ساختگاه، بلندای افزایشی که جنبایی‌های جوان این گسل ایجاد کرده است، نزدیک به ۱ متر است. مؤلفه شاقولی حدوداً ۱ متری در قیاس با مؤلفه راستالغز حدوداً ۵ متری دیده‌شده در این ساختگاه، گویای چیرگی جنبش راستالغز در امتداد این شاخه گسلی است. این بررسی‌ها بیان‌گر نسبت جابه‌جایی شاقولی (ΔV) به افقی (ΔH) به میزان ۰/۲ است (فتحیان‌بانه و همکاران، ۱۳۸۹).

بر پایه شواهد ارائه شده در بالا، ساختگاهی در کناره باختری آبراهه جابه‌جاشده ۵ متری برای تکمیل هرچه بیشتر مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی پیشین، در شمال منطقه مایان (۶ کیلومتری شمال باختر شهر تبریز) مکان‌یابی شد (شکل ۷-۵).

۴-۳. ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی مایان: پس از مکان‌یابی، ترانشه مایان به صورت عمود بر راستای افزایش گسلی در ساختگاهی به مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 07' 48''$ N و $46^{\circ} 12' 00''$ E، با راستای $N057^{\circ}$ ، به ژرفای ۵ متر و به درازای حدود ۲۳ متر به‌وسیله بیل مکانیکی حفر شد (شکل ۷-۵). با تمیز کردن دیواره خاوری ترانشه و انجام شبکه‌بندی (شکل ۷-۵)، به دلیل یکنواختی افق‌های رسوبی - چینه‌ای در دو بخش انتهایی ترانشه و نیز نبود پدیده‌های قابل توجه در این بخش‌ها، تنها به تمرکز بررسی‌ها در ۱۰ متری دو سوی افزایش گسلی بسنده شد. در ترانشه فراهم آمده، پهنه‌های گسلی به پهنای دست‌کم ۲/۵ متر دیده شد (شکل ۷-۵). نکته قابل توجه در این مورد، شیب زیاد و به نسبت شاقولی (90° - 80°) این پهنه گسلی با جهت‌گیری به‌سوی شمال است. در این ترانشه، شکستگی‌ها و شاخه‌های گسلی، نسبتاً به شکل خوبی تا سطح زمین گسترش یافته‌اند. در مرحله بعدی، بر اساس تهیه و بررسی لاگ پارینه‌لرزه‌شناختی این ترانشه (شکل ۸)، شواهد زمین‌شناختی رخداد دست‌کم دو رویداد مه‌لرزه‌ای شناسایی شد؛ رویداد قدیمی‌تر، واحد شماره ۶ را تحت تأثیر قرار داده و توسط واحد شماره ۷ پوشیده شده است، از این رو،

تبریز باشد. که در سامانه یاد شده، قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز ایفاگر نقش اصلی در پدیداری گسلش راستالغز راست‌گرد هستند.

۳-۲. زمین‌لرزه‌های دستگاهی: در حالی که داده‌های موجود، نشان‌دهنده رخداد دست‌کم ۱۰ زمین‌لرزه تاریخی آسیب‌رسان در گستره تبریز است، هیچ زمین‌لرزه دستگاهی بزرگی در گستره یادشده به ثبت نرسیده است (Berberian, 1997).

۴- بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی

پارینه‌لرزه‌شناسی، دانش مطالعه زمین‌لرزه‌های کهن (از نظر مکانی، زمانی و بزرگی) است که در آن شواهد زمین‌شناختی ایجاد شده در اثر هر رویداد منفرد پارینه‌لرزه‌ای، مورد تفسیر قرار می‌گیرد. در مقایسه با نوزمین‌ساخت که به مطالعه عمومی حرکات آرام و یا سریع پوسته زمین طی سنوزویک پسین می‌پردازد، تمرکز پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی دگرشکلی‌های ناگهانی زمین‌ریخت‌ها و رسوبات بر اثر رخداد زمین‌لرزه‌ها است که این تمرکز، امکان مطالعه توزیع زمین‌لرزه‌های کهن از نظر مکانی در بازه زمانی چند هزار تا ده‌هزار سال را فراهم می‌آورد. فراهم آمدن چنین پیشینه طولانی از زمین‌لرزه‌های کهن، به درک هر چه بهتر از جنبه‌های نوزمین‌ساختی مانند الگوهای ناحیه‌ای لرزه‌خیزی و دگرشکلی زمین‌ساختی و یا رفتار لرزه‌زای گسل‌های خاص، کمک می‌کند (McCalpin, 2009).

به‌طور کلی برپایه پدیداری کامل و یا ناکامل گسیختگی‌های سطحی در پیوند با گسلش زمین‌لرزه‌ای، انجام بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی به دو صورت بررسی‌های مستقیم (حفر ترانشه در محل مناسبی بر روی افزایش گسلی و تمرکز ادامه مطالعات در آن) و غیر مستقیم امکان‌پذیر است.

انتخاب ساختگاه مناسب برای حفر ترانشه، یکی از مهم‌ترین مراحل در پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی مستقیم است. چنین ساختگاهی باید تا حد ممکن، جوان‌ترین جنبایی‌های زمین‌لرزه‌ای گسل مورد بررسی را به ثبت رسانده باشد. ترانشه، با استفاده از بیل مکانیکی یا به روش دستی، به صورت عمود بر راستای افزایش گسلی حفر می‌شود. در صورت فراهم بودن شرایط مناسب، در بررسی گسل‌های راستالغز، می‌توان از دو ترانشه موازی با افزایش گسلی نیز بهره جست. در ادامه، دیواره ترانشه، تمیز و شبکه‌بندی می‌شود. جداسازی واحدهای رسوبی - چینه‌ای و پدیده‌های زمین‌شناختی و ساختاری، مرحله بعدی بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی مستقیم است که پس از آن لاگ دیواره ترانشه در مقیاس ۱:۲۰ رسم می‌شود.

در مرحله بعدی، با شناسایی افق‌های رویداد (Event Horizon) و پس‌رویداد (Post-event Horizon)، به شمارش و بازسازی رویدادهای پارینه‌لرزه‌ای پرداخته می‌شود. در نهایت، با توجه به وجود نمونه‌های مناسب، نمونه‌برداری برای سن‌سنجی افق‌های یادشده (با بهره‌گیری از روش‌هایی مانند OSL) به‌منظور تعیین سن رویدادهای پارینه‌لرزه‌ای انجام می‌گیرد. لازم به بیان است، سن‌یابی به روش (Optical Stimulated Luminescence) OSL، فراهم‌آورنده مدت زمان سپری شده از آخرین پرتوگیری یک افق سرشار از کوآرتز (مانند افق‌های ماسه‌ای) تا زمان نمونه‌گیری است.

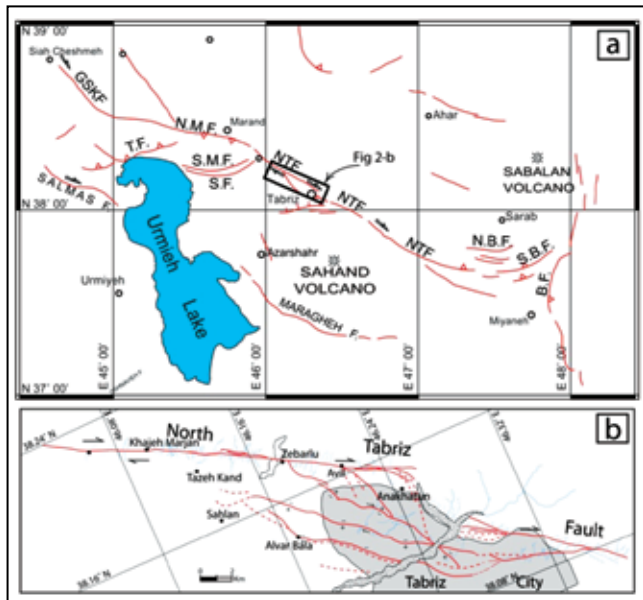
۴-۱. مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی پیشین: نخستین مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی در گستره تبریز، بر روی قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز انجام شده است. در پژوهش یادشده، Hessami et al. (2003)، با حفر دو ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی در نزدیکی روستای خواجه مرجان (شمال باختر شهر تبریز)، نشانه‌های دست‌کم چهار رویداد لرزه‌ای کهن را در ۳۶۰۰ سال گذشته شناسایی کرده‌اند که جوان‌ترین آنها زمین‌لرزه ۱۷۸۰ میلادی است.

در تازه‌ترین پژوهش انجام شده، Solaymani Azad (2009)، بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی خود را بر روی قطعه جنوب خاوری گسل شمال تبریز متمرکز کرده و با مطالعه سه ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی در ناحیه بستان آباد و دریاچه قوری گل

جوان (با بهره‌گیری از بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی)، با مکان‌یابی و حفر ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی بر روی شاخه گسلی یاد شده، شواهد رخداد دست کم دو رویداد پارینه مهلزهای بر روی آن شناسایی شد. جوان‌ترین رویداد مهلزهای می‌تواند در پیوند با یکی از زمین‌لرزه‌های تاریخی ۱۷۲۱ یا ۱۷۸۰ میلادی باشد که با نمونه‌گیری و سن‌سنجی این رویداد می‌توان با قطعیت بیشتری در این باره اظهار نظر کرد. برپایه یافته‌های این پژوهش، از آنجا که شماری از این افشانه‌های گسلی از داخل شهر تبریز گذر کرده و با توجه به گسترش روزافزون این شهر پوشیده می‌شوند، بازبینی و مطالعه بیشتر در زمینه بررسی‌های برآورد خطر زمین‌لرزه برای این شهر بزرگ ضروری به نظر می‌رسد.

سیاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی مالی و فنی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین و دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال به انجام رسیده است، که بدین وسیله از آنها تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

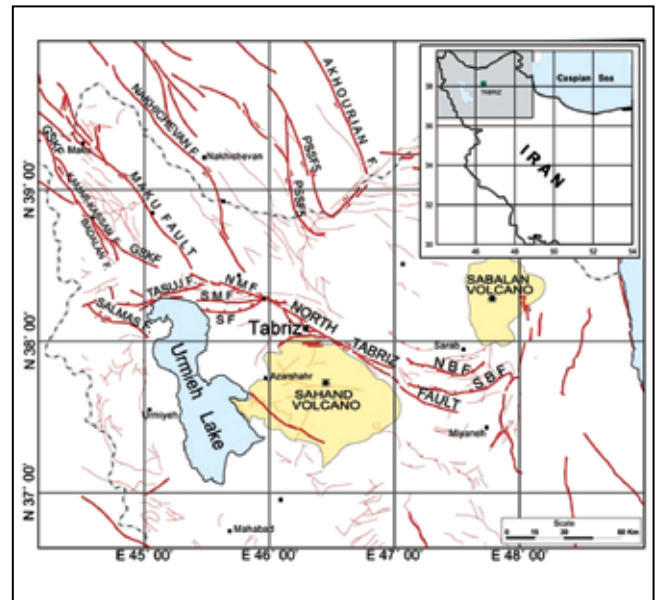


شکل ۲- گسل شمال تبریز. (a) موقعیت مکانی و ساختاری سامانه گسلی تبریز در شمال باختر ایران (برگرفته با تغییر از Solaymani Azad, 2009)؛ اطلس لرزه‌زمین‌ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ). NTF: گسل شمال تبریز؛ NMF: گسل شمال میشو؛ SMF: گسل جنوب میشو؛ SF: گسل صوفیان؛ TF: گسل تسوج؛ NBF: گسله شمال بزقوش؛ SBF: گسل جنوب بزقوش؛ BF: گسل بزقوش؛ GSKF: گسل گیلانو-سیاه چشمه-خوی. (b) همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز (با الگوی راست‌پله) در گستره شهر تبریز (برگرفته از Hessami et al., 2003).

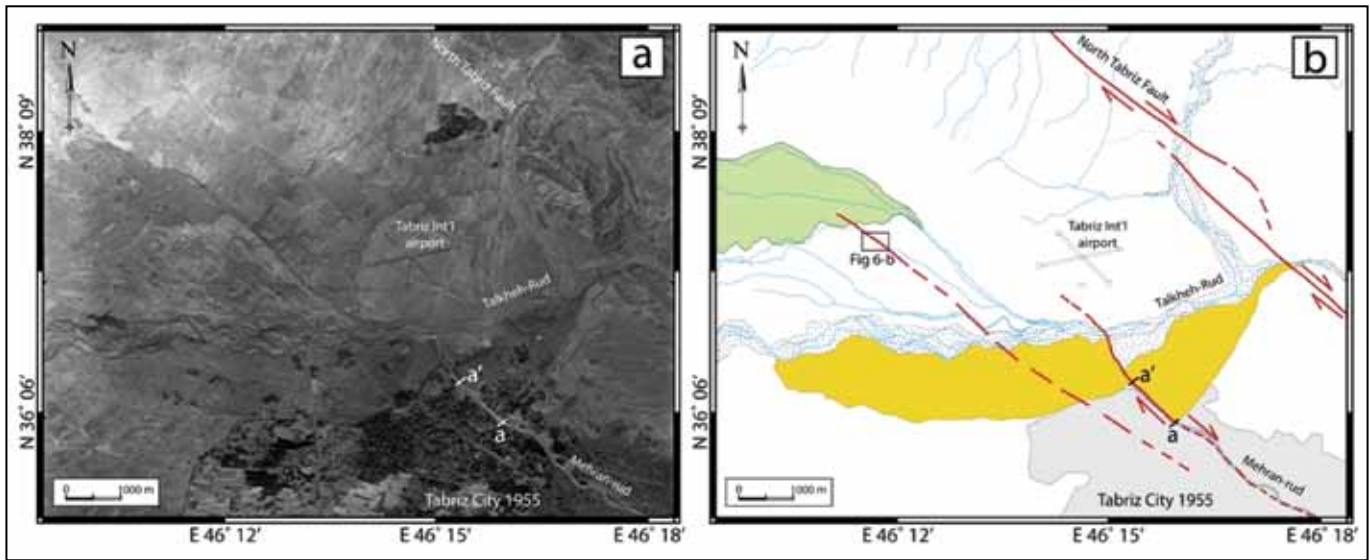
می‌توان واحد شماره ۶ را افق رویداد و واحد شماره ۷ را افق پس‌رویداد معرفی کرد. آثار مربوط به پدیده روانگرایی (Liquefaction) افق ۳ که به افق ۴ تزریق شده است، از جمله شواهد این رویداد است (شکل ۷-f). جوان‌ترین رویداد مهلزهای که افق رویداد آن، واحد شماره ۱۰ است، با واحد واریزه‌های شماره ۱۱ (گوه واریزه‌ای، به عنوان افق پس‌رویداد) پوشیده شده است (شکل ۹). برای تعیین سن جوان‌ترین رویداد مهلزهای به ثبت رسیده در این ترانشه، از جوان‌ترین افق رویداد (افق شماره ۱۰) و گوه واریزه‌ای مرتبط با این رویداد (افق شماره ۱۱)، نمونه‌گیری سن‌یابی به روش OSL انجام شد (شکل ۷-g).

۵- نتیجه‌گیری

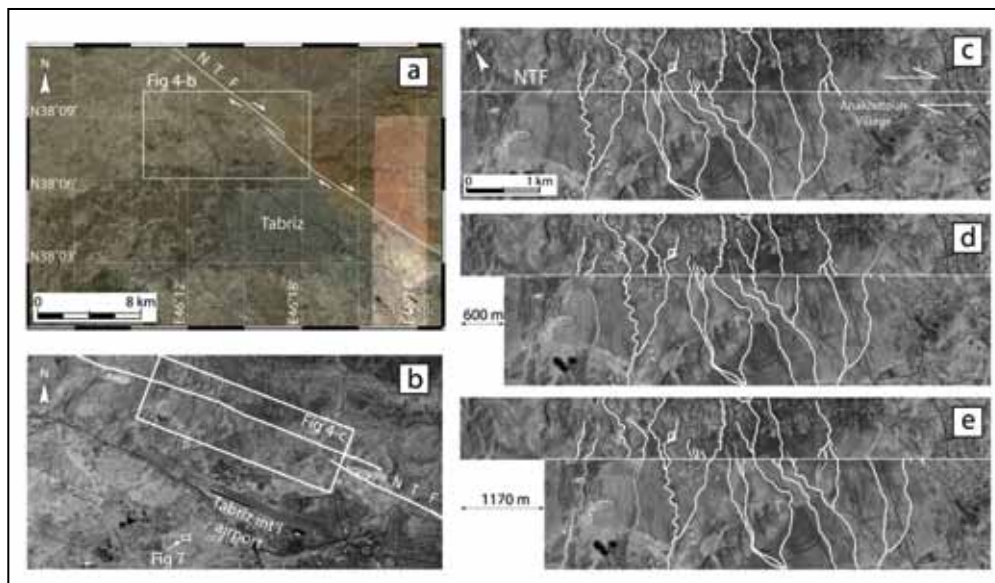
مطالعه تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و همچنین بررسی‌های صحرائی، همگی شواهد روشنی از جنبایی شاخه‌های گسلی جوان (افشانه‌های گسلی) در حوضه کششی شکل گرفته در پهنه همپوشانی دو قطعه شمال باختری و جنوب خاوری گسل شمال تبریز را فراهم آورده‌اند. افزون بر ردگیری یکی از شاخه‌های گسلی



شکل ۱- گستره شمال باختر ایران و گسل‌های جنبای آن (برگرفته با تغییر از اطلس لرزه‌زمین‌ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ). آتشفشان‌های سهند و سبلان با رنگ روشن در نقشه مشخص شده‌اند؛ گسل‌های جنبای خطوط قرمز پهن و گسل‌های فرعی با خطوط قرمز نازک نشان داده شده‌اند. North Tabriz Fault: گسل شمال تبریز؛ NMF: گسل شمال میشو؛ SMF: گسل جنوب میشو؛ SF: گسل صوفیان؛ NBF: گسل شمال بزقوش؛ SBF: گسل جنوب بزقوش؛ GSKF: شبکه گسلی گیلانو-سیاه چشمه-خوی؛ PSS5: قطعه شماره پنج از گسل پامبک-سوان-سانیک است.

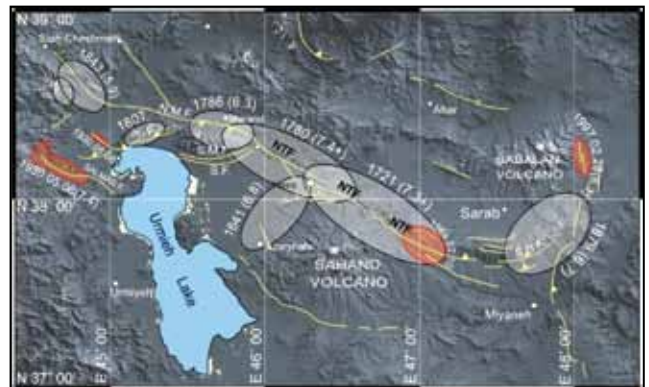


شکل ۳- جابه‌جاشدگی راست‌گرد در امتداد شاخهٔ گسلی مهران‌رود که مخروط‌افکنه شکل گرفته به وسیلهٔ تلخه‌رود را در حدود ۱۱۰۰ متر جابه‌جا کرده است ($a-a'=1100$) (برگرفته از Hessami and Jamali, 2008؛ a) عکس هوایی از ناحیهٔ شهر تبریز و مخروط‌افکنهٔ جابه‌جا شده در شمال باختر شهر. (b) نقشهٔ فراهم آمده بر پایه بررسی عکس هوایی و موقعیت شاخه‌های گسلی شمال باختر تبریز.

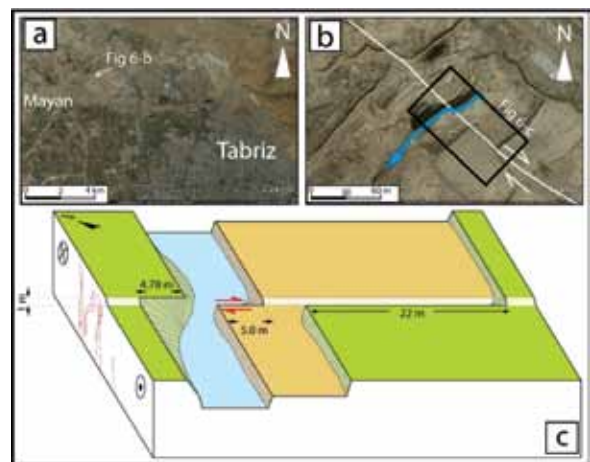


شکل ۴- بازسازی جابه‌جاشدگی افقی ریخت‌شناختی در خاور روستای آناختون (شمال باختر تبریز): (a) تصویر ماهواره‌ای Google Earth از شهر تبریز و موقعیت گسل شمال تبریز در آن. (b) نگاهی نزدیک‌تر در تصویر ماهواره‌ای IRS از شمال باختر تبریز و موقعیت گسل شمال تبریز در آن. (c) قطعهٔ شمال باختری گسل شمال تبریز در نزدیکی روستای آناختون (شمال فرودگاه بین‌المللی تبریز) و موقعیت کانال‌های رودخانه‌ای قبل از بازسازی. (d) مرحلهٔ اول بازسازی جابه‌جاشدگی راست‌الغز کانال‌های رودخانه‌ای با به‌کارگیری جنبش چپ‌گرد به میزان ۶۰۰ متر. (e) مرحلهٔ دوم بازسازی جابه‌جاشدگی راست‌الغز کانال‌ها که با انطباق کامل کانال‌ها در بالادست و پایین‌دست رد گسل (Fault trace)، جابه‌جاشدگی به میزان ۱۱۷۰ متر قابل اندازه‌گیری است (برگرفته از فتیحان بانه و همکاران، ۱۳۸۹).

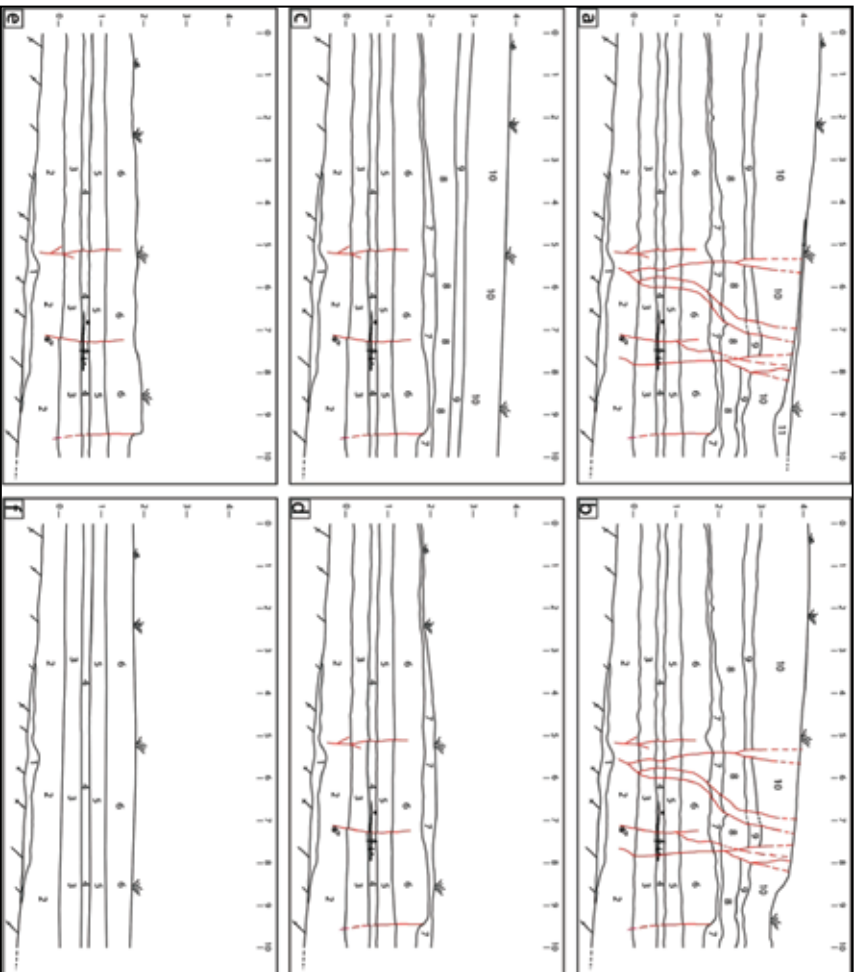
شکل ۵- نواحی کلان‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی گستره تبریز به همراه توزیع زمانی این زمین‌لرزه‌ها (نواحی کلان‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های دستگاهی با رنگ قرمز نشان داده شده است). گسلش زمین‌لرزه‌ای رویدادهای ۱۷۲۱ و ۱۷۸۰ میلادی بر روی قطعه‌های شمال باختری و جنوبی خاوری رخ داده‌اند. ناحیه کلان‌لرزه‌ای بزرگ‌ترین زمین‌لرزه دستگاهی رخ داده در گستره شمال باختر ایران (زمین‌لرزه سال ۱۹۳۰ میلادی سلماس، $M \sim 7.4$) نیز در بخش شمال باختری دریاچه اورمیه، نشان داده شده است (برگرفته از اطلس لرزه‌زمین ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ؛ گسل‌ها برگرفته از (Solaymani Azad, 2009).



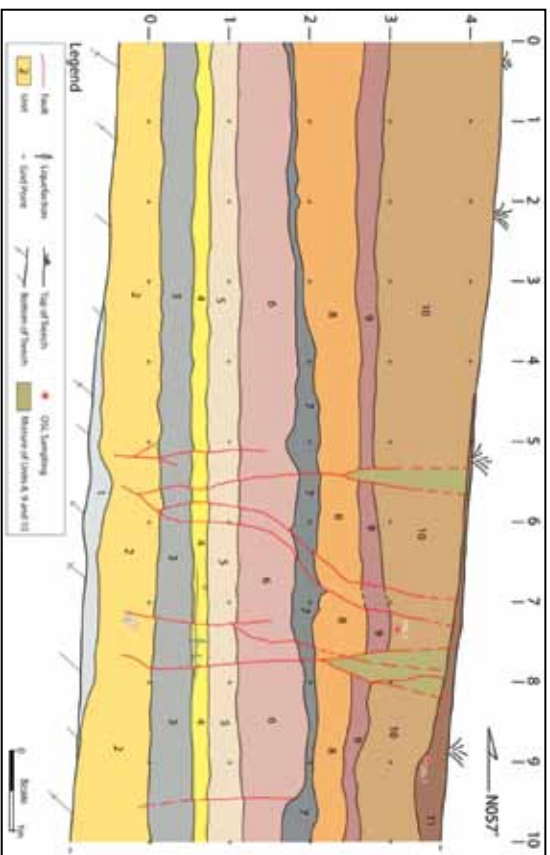
شکل ۶- ساختگاه انتخاب شده برای انجام پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی به روش مستقیم در ناحیه شمال باختر تبریز (در شمال ناحیه مایان). (a) تصویر ماهواره‌ای Google Earth از موقعیت ساختگاه انتخاب شده نسبت به شهر تبریز و ناحیه مایان. (b) جابه‌جاشدگی راست‌گرد کانال آبراهه (به میزان ۵ متر) در ساختگاه مورد بررسی. (c) بلوک نمودار نشان‌دهنده جابه‌جاشدگی ۵ متری آبراهه (جابه‌جاشدگی ۲۲ متری بر اثر دست‌خوردگی پدید آمده است و از این رو ظاهری است) به همراه افزایش ایجاد شده با بلندای حدوداً ۱ متر در امتداد رد گسلی.



شکل ۷- ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی مایان. (a) نمایی از افزایش گسلی (با بلندای ۱ متر) و جابه‌جاشدگی راست‌گرد (به میزان ۵ متر) در کناره باختری آبراهه (برگرفته از اطلس لرزه‌زمین ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ). (b) چگونگی مشخص کردن راستای ترانشه به منظور حفر (برگرفته از اطلس لرزه‌زمین ساخت چهارگوش تبریز، زیر چاپ). (c) تصویری از ترانشه حفر شده به وسیله بیل مکانیکی. (d) نمایی از داخل ترانشه حفر شده پس از تمیز کردن دیواره، شبکه‌بندی و پرچم‌کوبی به منظور جداسازی واحدهای رسوبی - چینه‌ای و پدیده‌های موجود در ترانشه. (e) پهنه گسلی و موقعیت آن نسبت به جابه‌جاشدگی آبراهه. (f) آثار پدیده روانگرایی کهن در افق رسوبی - چینه‌ای شماره ۴؛ تزریق ماسه‌های واحد پایینی به افق یاد شده. (g) نمونه‌گیری از جوان‌ترین افق واریزه‌ای به منظور سن‌یابی رویداد لرزه‌ای مرتبط با آن با استفاده از روش سن‌سنجی OSL (سوی نگاه به سمت جنوب).



شکل ۹- بازسازی سناریوی رویدادهای لرزهای در ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی مایان. (a) وضعیت کنونی دیواره خاوری ترانشه مایان؛ فاز فرسایشی پس از رخداد شماره ۲ (EIV₂)، سبب ته‌نشست واحد وا‌یرزهای شماره ۱۱ را به عنوان جوان‌ترین افق پس رویداد (افق پس رویداد ۲)، بر روی واحد شماره ۱۰ (افق رویداد ۲) شده است. (b) رخداد شماره ۲ (EIV₂)، جوان‌ترین رویداد لرزهای به ثبت رسیده در ترانشه یاد شده؛ تمامی افق‌ها در اثر این رویداد دچار دگرشکلی شده‌اند و گسیختگی تا سطح رسیده است. واحد شماره ۱۰، افق رویداد ۲ است. (c) وضعیت ترانشه قبل از آخرین رویداد (EIV₁) و پس از فاز فرسایشی رخداد شماره ۱؛ لایه‌های ۸ و ۹، پس از این فاز فرسایشی ته‌نشست شده‌اند و دگرشکلی در آنها دیده نمی‌شود. (d) فاز فرسایشی پس از رخداد شماره ۱ (EIV₁)، که در این مرحله واحد شماره ۷ به عنوان افق پس رویداد ۱ بر روی افق رویداد ۱ (واحد شماره ۶) ته‌نشست شده است. (e) وضعیت ترانشه پس از رخداد شماره ۱ از رخداد شماره ۱ (EIV₁) که بر اثر آن گسیختگی سطحی ایجاد شده و افق رویداد آن، واحد شماره ۴ است. در اثر این رویداد، ریزدانه‌های ماسه‌ای از واحد شماره ۳ به واحد ماری شماره ۴ تریق شده‌اند و آثار روانگرایی در این واحد را ایجاد کرده‌اند. (f) وضعیت ترانشه قبل از رخداد شماره ۱ (EIV₁)؛ تمامی لایه بدون گسیختگی و دگرشکلی هستند.



شکل ۸- لایگ پارینه‌لرزه‌شناختی دیواره خاوری ترانشه مایان. افق ۱) واحد ماسه‌ای که به صورت لتری و با رنگ خاکستری دیده می‌شود. اندازه دانه‌های آن ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر است. افق ۲) نهشته‌های ماری با میان‌لایه‌های نازک ماسه‌ای به رنگ قهوه‌ای روشن که در آن آثار آبی از روانگرایی وجود دارد که احتمالاً باید ناشی از نفوذ ریزدانه‌های افق زیرین (افق ۱) از طریق شکستگی‌ها به این واحد باشند. افق ۳) نهشته‌های ماسه‌ای ریزدانه به رنگ کرم - نخودی؛ بخش زیرین آن ماسه‌ای متراکم‌تر است و بخش بالایی لایه‌بندی‌های متقاطع مینی‌توری دیده می‌شود. افق ۴) تپانوب مارن به رنگ نخودی روشن با میان‌لایه‌های ماسه‌ای ریزدانه به رنگ کرم تا نخودی است (میان‌لایه‌ها در تمام درازای این واحد پیوستگی ندارند). افق ۵) واحد خاکی - خاکستری به‌طور عمده ماری با ستبرای نسبتاً یکپارچه. افق ۶) نهشته‌های ماری به رنگ خاکی متمایل به لایگی که مرز بالایی آن در متر ۵/۵ تا ۷ متر (در محاورت گسل) به نظر می‌آید که دچار کشیدگی (Drag) شده باشد. افق ۷) این واحد ماسه‌ای با ستبرای متغیر دارای مواد آلی (از جمله ریشه گیاهان) است. رنگی خاکستری دارد که در بخش‌های بالایی به رنگ خاکستری - صورتی در می‌آید. به دلیل مقاومت کم، حفزه حفزه و فرسوده شده است. افق ۸) واحد عمده ماری به رنگ خاکی تا قهوه‌ای بسیار روشن. افق ۹) نهشته‌های ماری قهوه‌ای روشن که بین متر ۷ و ۸ توسط گسل به صورت شاقولی بریده شده‌اند. افق ۱۰) نهشته‌های عمده رسی و تا حدی ماری به همراه مقدار قابل توجهی ماسه و گاه شن ریز (به اندازه ۰/۵ سانتی‌متر) با رنگ نخودی تیره - قهوه‌ای دیده می‌شود. افق ۱۱) خاک سطحی قهوه‌ای رنگ که قله‌سنگ‌های نسبتاً درشت و زاویه‌دار را می‌تواند در این واحد دید. این افق را می‌توان به عنوان یک گوه وا‌یرزهای در نظر گرفت.

جدول ۱- زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در گستره پیرامون شهر تبریز (برگرفته از Berberian, 1997؛ ردیف نشان داده شده با * برگرفته از Berberian and Yeats, 1999).

تاریخ رویداد (میلادی)	بزرگا (M _l)	بیشینه شدت رومرکزی I ₀ (MMI)	تعداد کشته‌ها (نفر)	گسل مسبب
858	6.0	VIII+	(؟)	گسل شمال تبریز
04/11/1042	7.3	IX	40,000	گسل شمال تبریز
18/01/1273	6.5	VIII+	250	گسل شمال تبریز
07/11/1304	6.7	VIII+	(؟)	گسل شمال تبریز
1345	>5.5	(؟)	(؟)	گسل شمال تبریز (؟)
1550	>5.5	VIII	شمار زیادی	گسل شمال تبریز
05/02/1641	6.8	VIII+	12,613	(؟)
12/03/1717	5.9	VII	700+	گسل شمال تبریز
26/04/1721	7.3	IX+	40,000	قطعه جنوب خاوری گسل شمال تبریز
08/01/1780	7.4	IX+	50,000	قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز
00/10/1786	6.3	VIII	(؟)	گسل شمال میشو - قطعه شمال باختری گسل شمال تبریز *
04/10/1856	4.6	VI	-	گسل شمال تبریز

کتابنگاری

اطلس لرزه‌زمین‌ساخت و گسلش جنبا، چهارگوش تبریز- پلدشت، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور (زیر چاپ).
 سلیمانی آزاد، ش.، فیلیپ، ه.، حسامی آذر، خ. و دومینگز، ا.، ۱۳۸۸- چگونگی رویداد گسلش زمین‌لرزه‌ای در منتهی‌الیه جنوب شرقی شبکه گسلی گیلانو- سیاه چشمه- خوی و نقش آن در بررسی‌های برآورد خطر زمین‌لرزه در شمال غرب ایران، بیست و هفتمین گردهمایی علوم‌زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱ الی ۳ اسفند ماه ۱۳۸۸ خورشیدی، تهران، ایران.
 فتحیان‌بانه، آ.، سلیمانی آزاد، ش.، نظری، ح.، قرشی، م. و طالبیان، م.، ۱۳۸۹- بررسی‌های زمین‌ساخت جنبا بر روی گسل شمال تبریز به منظور انتخاب ساختگاه مناسب در پهنه همپوشانی قطعه‌های شمال باختری و جنوب خاوری برای انجام پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی، بیست و هشتمین گردهمایی علوم‌زمین و چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۵ الی ۲۸ شهریور ماه ۱۳۸۹ خورشیدی، ارومیه، ایران.
 گزارش سرشماری جمعیت کشور، مرکز آمار ایران (www.sci.org.ir).

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982 -A History of Persian Earthquakes, Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, London.
- Berberian, M. & Arshadi, S., 1976- On the evidence of the youngest activity of the North Tabriz Fault and the seismicity of Tabriz city, *Geol. Surv. Iran Rep.*, 39, 397-418.
- 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, pp. 233-311.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 1999- Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian plateau, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Copley, A. & Jackson, J., 2006 - Active tectonics of the Turkish-Iranian Plateau, *Tectonics*, Vol. 25, TC6006, doi:10.1029/2005TC001906.
- Hessami, K., Pantosi, D., Tabassi, H., Shabaniyan, E., Abbassi, M., Feghhi, K., Sholaymani, S., 2003 - Paleoeearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results, *Ann. Geophys.* 46, 903-915.
- Hessami, K. & Jamali, F., 2008- New evidence of earthquake faulting in the Tabriz city, NW Iran, *Geoscience*, vol 17, No. 1, pp. 156-161.
- Jackson, J. A., 1992 - Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus, *J. Geophys. Res.* 97, 12471-12479.
- Karakhaniyan, A., Trifonov, V., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtyan, V. & Adilkhanyan, A., 2004 - Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and Northern Iran, *Tectonophysics*, 380, 189-219.
- Masson, F., Djamour, Y., Van Gorp, S., Chery, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H. & Vernant, P., 2006- Extension in NW Iran driven by motion of the South Caspian Basin, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 252, 180-188.
- McCalpin, J. P., 2009- *Paleoseismology*, Academic Press, New York.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P. & Chéry, J., 2003- GPS network monitors the Arabia- Eurasia collision deformation in Iran, *J. Geody.*, 77, 411-422.
- 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, Université Montpellier II (France), 151 p.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. & Chery, J., 2004- Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurement in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157, 381-398.
- Vernant, P. & Chery, J., 2006- Low fault friction in Iran implies localized deformation for the Arabia-Eurasia collision zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 246, 197-206.
- Vittori, E., Labini, S. S. and Serva, L., 1991- Paleoseismology: Review of the state-of-the-art. *Tectonophysics*, 193, 9-32.
- Westaway, R., 1990- Seismicity and tectonic deformation rate in Soviet Armenia: implications for local earthquake hazard and evolution of adjacent regions, *Tectonics*, 9, 477-503.