

# پیشینه لرزه‌ای و برآورد آهنگ رسوبگذاری در آبرفت‌های جوان باختر تهران (چیتگر) با استفاده از داده‌های پارینه لرزه‌شناسی

آمنه کاوه فیروز<sup>۱\*</sup>، حمید نظری<sup>۲</sup>، مهران آراین<sup>۱</sup>، علیرضا شافعی<sup>۳</sup>، طاهره مجیدی<sup>۱</sup> و محمدعلی شگری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۳</sup> سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۸/۱۲

## چکیده

گسل شمال تهران با درازایی نزدیک به ۱۱۰ کیلومتر در شمال تهران از بخش جنوبی البرز مرکزی، با راستای خاوری-باختری (N25°E) و شیب (30°NE) در ادامه باختری گسل مشاء قرار دارد. شاخه چیتگر مانند گسل‌های میلاد و وردآورد در قالب سامانه گسلی افزایشی (Propagation Fault) به سوی جنوب پیش‌رونده است. مطالعات پیشین ریخت‌زمین‌ساختی در راستای گسل شمال تهران، نشان‌دهنده برش رسوبات کواترنری و سازوکار فشاری با مؤلفه چپ‌گرد است. تعیین پارامترهای لرزه‌ای و رفتار لرزه‌ای حاصل از جنبش این سامانه گسل، نیازمند انجام پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی است. در این نوشتار با بهره‌گیری از روش تطابق چینه‌ای، برآورد آهنگ رسوبگذاری ۰/۱۶ mm/yr، لوگ برداری با نسبت  $\frac{1}{10}$  و روش عکس‌برداری اورتو، ۳ تا ۶ رخداد لرزه‌ای کهن با بزرگای ۷/۴-۶/۴ با دوره بازگشتی معادل ۳۶۵۰ سال بروی پهنه گسل شمال تهران (ترانشه چیتگر) مشخص شد.

**کلیدواژه‌ها:** ترانشه، پارینه لرزه‌شناسی، دوره بازگشت، بزرگا، گسل شمال تهران.

\*نویسنده مسئول: آمنه کاوه فیروز

E-mail: amaneh.kaveh@gmail.com

## ۱- مقدمه

گسل شمال تهران به عنوان بزرگ‌ترین گسل لرزه‌ای نزدیک به گستره تهران، از جمله پرخطرترین و پربحث‌ترین مباحث لرزه‌خیزی و خطر زمین‌لرزه در گستره تهران است. تاکنون این گسل موضوع تحقیقات مختلفی به شرح زیر بوده است. شاید برای اولین بار (Rieben (1955) به وجود یک گسل اصلی و مهم در مرز میان کوهپایه و سنگ‌های سبز کوه‌های البرز (سازند اتوسن کرج) اشاره کرده است. حضور این گسل در برش زمین‌شناسی شمالی-جنوبی گستره تهران که توسط Dresch (1961) تهیه شد نیز دیده می‌شود.

(Asserto (1965) گسل یادشده را بالاراندگی توچال نامید (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). (Knill and Jones (1968) این گسل را گسل مرز البرز نام نهادند. (Tchalenko et al. (1974) به مطالعه این گسل پرداختند و آن را گسل شمال تهران نامیدند. (Berberian et al. (1985) به مطالعه این گسل در طول ۷۵ کیلومتر آن پرداختند. (Abbasi and Farbod (2009) بر فعال بودن یا نبودن گسل شمال تهران و اثر آن بر چین‌خوردگی نهشته‌های کواترنری کوهپایه تهران اشاره می‌کنند. (Nazari (2006) از دیدگاه پارینه‌لرزه‌شناسی با هدف تعیین بزرگا و دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های قدیمی بر روی شاخه‌ای از پهنه گسل شمال تهران در منطقه وردآورد به اجرای ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی پرداخت.

(Solaymani (2009) نیز به مطالعه ویژگی هندسی و سازوکار گسل شمال تهران در بخش خاوری آن اشاره داشته است. برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه و آشنایی با پیشینه لرزه‌خیزی در منطقه، بررسی ژرف تاریخچه زمین‌لرزه‌های گذشته (پیش از تاریخ، تاریخی و دستگامی) ضرورت دارد. بنابراین برای دستیابی به ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی گسل‌ها و ارزیابی خطر زمین‌لرزه‌ها، باید تاریخچه زمین‌لرزه‌ها بر روی گسل‌های فعال گردآوری و بررسی شود. از این رو در این پژوهش به سؤالات پیش روی باید پاسخ داده شود: لوگ برداری، شمارش رخدادها و همچنین نمونه برداری با چه روشی برای تعیین سن واحدها صورت می‌گیرد؟ دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها به چه صورت است؟ اهمیت شمارش رخدادها و برآورد آهنگ (نرخ) رسوبگذاری چیست؟

پارینه‌لرزه‌شناسی به عنوان دانشی نوین، رابط بین پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی -نوزمین‌ساخت و لرزه‌شناسی است که می‌تواند پاسخگوی این پرسش‌ها باشد. با بهره‌گیری از این دانش و روش‌های گوناگون حفاری و سن‌سنجی (مقایسه با داده‌های از پیش موجود ترانشه تهران توسط (Nazari (2006)، داده‌های قابل توجهی در مورد آهنگ رسوبگذاری منطقه، زمان، تعداد رخدادها قدیمی و دوره بازگشت آنها به دست آمده است.

## ۲- زمین‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی پهنه گسل شمال تهران در البرز مرکزی

بلندی‌های البرز بخشی از رشته کوه‌های آلپ-همیالیا در آسیای باختری است که از سوی جنوب در کنار پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار می‌گیرد و از سوی شمال به دریاچه خزر (بلوک کاسپین جنوبی) متصل می‌شود (Alavi, 1996). البرز مرکزی محل همگرایی دو امتداد البرز خاوری و باختری است (آقنابتی، ۱۳۸۳). این بخش خمش جنوبی دریای خزر را شامل می‌شود که از سمنان تا قزوین ادامه دارد. بخش شمالی آن، زیرپهنه البرز شمالی یا پهنه گرگان-رشت را تشکیل می‌دهد. بخش جنوبی که زمین‌شناسی آن بهتر مطالعه شده با عنوان البرز مرکزی نامیده می‌شود که بیشتر با البرز باختری و آذربایجان یکی در نظر گرفته می‌شود. در مورد هندسه ساختاری البرز مدل‌های متفاوتی ارائه شده است که قدیمی‌ترین آنها مربوط به (Stocklin (1974) است، از دیدگاه او، البرز یک ناودیس حاشیه‌ای از ایران مرکزی است و پی سنگ البرز نیز در تغییر شکل‌های آن درگیر بوده و نوعی زمین‌ساخت ستبر پوسته بر این گستره از ایران حاکم است. در حالی که (Alavi (1996)، زمین‌ساخت نازک پوسته با توسعه ورقه‌های ساختاری و سامانه دوپلکسی را برای البرز مطرح می‌کند. به نظر وی دو گروه سامانه راندگی در طول دوره‌های کوهزایی سیمیرین و آلپی جوان ایجاد شده است. (Axen et al. (2001) سیستم ترافشارش چپ‌گرد از پلیوسن را حاکم بر هندسه ساختارهای البرز مرکزی-باختری دانسته و معتقدند که بیشتر گسل‌ها با یک هندسه گل مانند به درون رشته کوه شیب پیدا کرده و جدایش معکوس از خود

گرفته شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴ و Nazari and Ritz, 2008). بر اساس Berberian and Yeats (1999,2001) این گسل می‌تواند سبب رخداد زمین‌لرزه‌های تاریخی (7.2-1177AD, Ms) در گستره تهران باشد.

### ۳- پارینه لرزه‌شناسی

پارینه لرزه‌شناسی مطالعه زمین‌لرزه‌های گذشته در بازه‌ای چند هزارساله است که با هدف تعیین مکان، زمان و بزرگای زمین‌لرزه‌های مشابه با رخدادهای لرزه‌ای گذشته در آینده بر روی یک گسل مشخص است.

#### ۳-۱. مراحل اجرای پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی

به‌طور خلاصه در اجرای ترائشه و پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی به مراحل چندگانه زیر می‌توان اشاره داشت:

- ۱- انتخاب محل مناسب برای حفر ترائشه.
- ۲- حفر ترائشه عمود و یا موازی بر پرتگاه گسل.
- ۳- شبکه‌بندی و برداشت شاخص‌های زمین‌شناسی از دیواره ترائشه.
- ۴- نمونه‌برداری و تعیین سن به روش‌های رادیو کربن و یا لومینسانس.
- ۵- بازسازی سناریو و یا الگوی زمین لرزه‌های قدیمی و تفسیر داده‌ها، در راستای برآورد بزرگی و دوره بازگشت زمین لرزه‌ها (Nazari, 2006; McCalpin, 2009).

#### ۴- اجرای پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی بر روی گسل چیتگر، پهنه گسل شمال تهران

گسل شمال تهران، به عنوان بزرگ‌ترین گسل با احتمال لرزه‌زایی نزدیک به گستره تهران، از جمله پرخطرترین و پربحث‌ترین مباحث لرزه‌خیزی و خطر زمین‌لرزه در گستره تهران در نظر گرفته می‌شود (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ Nazari, 2006). برای شناخت هر چه بیشتر این پهنه مطالعات پارینه لرزه‌شناسی بر روی یکی از شاخه‌های پیشرونده گسل شمال تهران (گسل چیتگر) به شرح زیر انجام شد: به منظور انجام مطالعات پارینه لرزه‌شناسی، بهره‌گیری از دانش ریخت‌زمین‌ساخت، مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای (LandSat, SRTM, Spot...) و استفاده از ابزارهای دقیق نقشه‌برداری همانند GPS و همچنین مطالعات صحرایی گسترده، در انتخاب محل ترائشه ضروری است (شکل ۱).

بهترین محل برای انجام این پژوهش‌ها از نظر چینه‌شناسی، محل‌هایی هستند که با رسوبگذاری سریع همراه هستند، به طوری که نشانگرهای ژئومورفیکی را به سرعت می‌پوشانند. در میان روش‌های مختلف لوگ‌برداری ترائشه، از نظر ارتفاع زیاد دیواره ترائشه و عدم توانایی در شبکه‌بندی تمام ارتفاع دیواره (به صورت فیزیکی)، از روش عکس‌برداری و میدانی (Audio and Video) استفاده شده است.

تهیه لوگ به روش عکس‌برداری در ترائشه‌هایی که نیاز به استناد دارند و نیز در انواعی که نیاز به ترکیب لوگ‌ها است، کاربرد دارد. در این روش ابتدا، تمامی همبری‌های سنگ‌شناسی، ساخت‌ها و گسل‌ها با بستی روی دیواره ترائشه در عکس تشخیص داده شود. برای کالیبره کردن تصاویر از ۴ نقطه کنترلی (با محورهای X، Y و Z) روی دیواره ترائشه استفاده می‌شود. در مرحله سوم، برداشت‌های زمین‌شناسی و طرح‌هایی برای برقراری روابط میان عوارض زمین‌شناسی و نقاط کنترلی انجام می‌گردد. در مرحله بعد، دیواره ترائشه از فاصله ثابت (۲ تا ۳ متری) عکس‌برداری می‌شود، به صورتی که هر عکس با عکس بعدی در حدود ۶۰ درصد همپوشانی داشته باشد. استفاده از روش عکس‌برداری برای تولید لوگ نهایی به حدود یک چهارم تا یک ششم روش دستی زمان نیاز دارد. بزرگ‌ترین مزیت این روش، دقت بالای آن (± میلی‌متر) است (McCalpin, 2009).

#### ۴-۱. پارینه لرزه‌شناسی دیواره خاوری گسل چیتگر

ترائشه مورد مطالعه در باختر شهر تهران و درون پارک جنگلی چیتگر (شکل ۲)، در

نشان می‌دهند. (Allen et al., 2003) بر این باورند که تغییر شکل در البرز به صورت کوتاه‌شدگی مایل بوده و سبب تجزیه دگرریختی به دو مؤلفه راستالغز چپ‌بر موازی رشته کوه و رانندگی عمود بر آن شده است. منبع این تغییر شکل را حرکت رو به شمال ایران مرکزی و نزدیک‌شدگی صفحات عربی - اوراسیا و حرکت رو به جنوب باختر حوضه خزر جنوبی نسبت به البرز و ایران مرکزی می‌دانند.

همچنین بر اساس پژوهش‌های انجام شده (Nazari and Ritz, 2008) و (Shahidi 2008) ساختار البرز مرکزی را یک ساختار رزگون مثبت در نظر گرفته‌اند. گستره تهران در کوهپایه جنوبی کوه‌های البرز مرکزی قرار گرفته است. کوه‌های البرز در شمال تهران در بردارنده ساختارهای چین‌خورده و گسلیده‌ای با راستای خاوری - باختری است که از آسۀ مرکزی البرز کوه بر روی هم و به سمت خارج (شمال و جنوب) رانده شده‌اند. شدت دگرریختی در دو کناره شمالی (گسل خزر) و کناره جنوبی (گسل شمال تهران) به بیشترین مقدار خود رسیده و بلندی‌های البرز کوه به ترتیب بر روی دشت کناری خزر در شمال و دشت تهران در جنوب رانده شده است. پهنه آبرفتی تهران با شیب ملایم شمال به جنوب به وسیله بلندی‌ها و فرونشست‌های خاوری - باختری به بخش‌های گوناگون قابل تقسیم است. بربریان و همکاران (۱۳۶۴) از دیدگاه فیزیوگرافیکی، گستره تهران و پیرامون آن را به چند بخش زیر تقسیم می‌نمایند:

- ۱- بلند البرز
- ۲- چین‌های کناری البرز
- ۳- گستره کوهپایه‌ای تهران
- ۴- فرونشست شمالی ایران مرکزی (دشت تهران).

در مطالعات ژئودتیک چند سال اخیر (NCC) با هدف تعیین ویژگی‌های پوسته و الگوی تنش و واتش در البرز مرکزی از ۴۱ ایستگاه GPS در بخش مرکزی کمربند البرز بهره گرفته شده است. بر اساس داده‌های منتشر شده (Vernant et al., 2004; Djamour, 2004)، البرز مرکزی در دو راستای شمالی - جنوبی (±۴/۷ میلی‌متر در سال) و خاوری - باختری (±۱/۵ میلی‌متر در سال) در حال دگرشکلی است. بر همین پایه گسل‌های شمال البرز و خزر نشانگر کوتاه‌شدگی (±۳/۲ میلی‌متر در سال) بین حوضه خزر و پهنه داخلی البرز مرکزی هستند و به سمت جنوب نیز، یک کوتاه‌شدگی به میزان ±۱/۵ میلی‌متر در سال در طول پهنه گسل شمال تهران و سامانه گسل‌های پارچین، پیشوا و جنوب خاوری گرمسار قابل مشاهده است (Ritz et al., 2008).

بر اساس نقشه لرزه‌زمین‌ساخت البرز مرکزی (Nazari et al., 2005)، شمالی‌ترین گسل البرز مرکزی، گسل خزر است که در بخش جنوبی دریای خزر واقع شده است. این گسل از نوع پنهان با شیب به سوی جنوب در نظر گرفته شده است. گسل شمال البرز با شیب به سوی جنوب به عنوان یک گسل پنهان دیگر، از جمله بزرگ‌ترین ساختارهای بنیادی در البرز مرکزی است که تکاپوی ساختاری آن در تاریخ زمین‌شناسی، سبب بالا آمدن و دو پوسته شدن بخشی از پوسته بلورین و رسوبی در بلندی‌های مرکزی البرز و دامنه شمالی آن شده است. تغییر در سازوکار گسل‌های بنیادی چون گسل‌های پارچین، مشاء، طالقان، کندوان و شمال البرز با راستای خاوری - باختری در طی دوره تکوین زمین‌ساختی با توجه به ویژگی‌های ساختاری از مهم‌ترین عناصر کنترل‌کننده رژیم رسوبگذاری در البرز است (Nazari and Ritz, 2008).

سامانه گسل شمال تهران در همبری بلندی‌های البرز مرکزی و پهنه آبرفتی دامنه جنوبی قرار دارد. این سامانه در بردارنده گسل‌های پیشرونده متعددی مانند وردآورد، چیتگر، محمودیه، نیاوران و میلاد است که به سوی جنوب از صفحه اصلی گسل شمال تهران در مرز واحدهای سنگی ائوسن و نهشته‌های یخچالی پلیو کواترنری جدا شده‌اند (Nazari, 2006). این گسل از نوع رانندگی با مؤلفه راستالغز چپ‌گرد در نظر

مختصات جغرافیایی 0517487, 3954580 و 0517549, 3955156 (دیواره خاوری ترانشه، T<sub>E</sub>) قرار دارد. مختصات 0517595, 3954885 و 0517608, 3955021 در دیواره خاوری لوگ شده است (شکل ۳).

لوگ خاوری دارای ۷۰ متر درازا و کمی بیش از ۱۴ متر ارتفاع است. ۱۳ واحد رسوبی - چینه‌ای از جنس ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت و آندزیت بازالت، در زمینه‌ای سیلتی - رسی به همراه گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از آن تشخیص داده شد که به ترتیب شماره‌های موجود در لوگ (از جدید به قدیم)، این واحدها عبارتند از: ۱- افق خاکستری تا کرم رنگ، با زمینه ماسه‌ای - سیلتی، متشکل از ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت، دارای ستبرای ۱ تا ۳ متر، فاقد جهت‌یافتگی در لایه‌بندی، سطح بالایی واحد فرسایش یافته، به صورت پراکنده دارای پوشش گیاهی، دارای جورشدگی ضعیف و گردشدگی ضعیف تا متوسط. لازم به بیان است که بخش بالایی واحد ۱ را خاک دستی فرا گرفته است.

۲- افق خاکستری تیره با بخش‌های کرم رنگ به طور پراکنده و خطی در زمینه‌ای سیلتی، دارای ستبرای بین ۱ تا ۳ متر، ۸۰ درصد این افق دانه (از ۲ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر) و ۲۰ درصد آن زمینه (ماتریکس)، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد دارای قله‌سنگ، دارای جورشدگی ضعیف و گردشدگی ضعیف تا متوسط.

۳- اولین افق سرخ، به صورت عدسی (لنزی) دارای ذرات ریزدانه ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت بازالت، ستبرای ۱ متر، بیشترین قطر دانه‌ها ۱۰ سانتی‌متر، دارای زمینه‌ای سیلتی - رسی، به راحتی تفکیک‌پذیر از دیگر واحدها به دلیل رنگ متمایز نسبت به دیگر واحدها.

۴- افقی به رنگ کرم تا خاکی در زمینه‌ای سیلتی، دارای لایه‌بندی لنزی شکل متشکل از ذرات خیلی ریزدانه (در حد ۲ میلی‌متر) ماسه سنگ تا قطعات درشت تر توفیت، آندزیت و آندزیت بازالت، به علت قرار گرفتن بین دو واحد سرخ رنگ رسی به راحتی تفکیک‌پذیر، دارای ستبرای ۰/۵ تا ۱ متر، شامل ۵ درصد قله‌سنگ، دارای گردشدگی ضعیف تا متوسط.

۵- دومین افق سرخ رنگ در زمینه‌ای از جنس سیلت و رس، خیلی ریزدانه (کمتر از ۲ میلی‌متر)، متشکل از ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت بازالت، دارای ستبرای ۱ تا ۱/۵ متر، وجود لایه لنزی شکل متشکل از ذرات ریزدانه در پایین واحد، دارای زمینه رسی‌تر در بخش بالایی واحد، وجود ۱۰ درصد قله‌سنگ در واحد.

۶- افق خاکی تا خاکستری تیره رنگ در زمینه‌ای سیلتی با سختی کم، شامل ذرات و قطعات ماسه سنگ، توفیت و آندزیت، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دارای دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه، ذرات از ۲ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر، جهت‌یافتگی قطعات، وجود لایه‌بندی موازی و مورب به صورت تناوبی از ریزدانه و درشت دانه، دارای ستبرای ۳ متر، پوشش گیاهی پراکنده.

۷- افق خاکی تا خاکستری روشن در زمینه‌ای سیلتی با سختی کم، شامل ذرات و قطعات ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه، وجود لایه‌بندی موازی، دارای ستبرای ۲ تا ۲/۵ متر، جورشدگی ضعیف و گردشدگی متوسط.

۸- سومین افق سرخ، سرخ روشن تا خاکی در زمینه‌ای سیلتی - رسی، بسیار ریزدانه (کمتر از ۲ میلی‌متر) تا قله‌هایی به قطر ۵ تا ۶ سانتی‌متر، متشکل از ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت و آندزیت بازالت، دارای ۲۰ درصد دانه و زمینه، وجود لایه‌های لنزی شکل در واحد، دارای ستبرای ۱ متر، به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها به علت رنگ شاخص، گردشدگی ضعیف و جورشدگی ضعیف تا متوسط.

۹- افقی به رنگ کرم تا خاکی روشن در زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی و با سختی کم، شامل ۵۰ تا ۶۰ درصد دانه و ۴۰ تا ۵۰ درصد زمینه، متشکل از توفیت و ماسه سنگ، دارای لایه‌بندی موازی در ریزدانه‌ها، وجود لایه لنزی شکل در بخش بالایی واحد، ۳ متر ستبرای به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها، جهت‌یافتگی قطعات

در بخش‌های پایین واحد. وجود ۲۰ درصد قله‌سنگ با قطر ۵ تا ۶ سانتی‌متر. ۱۰- چهارمین افق سرخ رنگ، به صورت لنزی دارای لایه‌های خاکستری رنگ، زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی - رسی و با سختی بالا، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه، متشکل از آندزیت، آندزیت بازالت، ماسه سنگ و توفیت، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد واحد شامل قله‌سنگ‌هایی با قطر ۱۰ سانتی‌متر، وجود حالت لنزی شکل در لایه‌های واحد، بین ۱ تا ۱/۵ متر ستبرای، به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها، گردشدگی ضعیف و جورشدگی ضعیف تا متوسط.

۱۱- افقی به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای در زمینه‌ای از جنس سیلت و با سختی کم، متشکل از ماسه‌سنگ و توفیت، شامل ۸۰ تا ۹۰ درصد دانه و ۱۰ تا ۲۰ درصد زمینه، وجود جهت‌یافتگی در قطعات، به راحتی قابل تشخیص و تفکیک (به علت واقع شدن بین دو واحد سرخ)، دارای ستبرای ۱ متر، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد واحد متشکل از قله‌سنگ‌ها و تخته‌سنگ‌هایی با قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر، جورشدگی و گردشدگی ضعیف تا متوسط.

۱۲- پنجمین افق سرخ، دارای رنگ سرخ - خاکستری، که در بخش‌های زیرین سرخ روشن تر و در بخش‌های بالایی سرخ تیره و خاکستری رنگ در زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی - رسی و با درجه سختی بالا (به علت وجود رس)، متشکل از ماسه سنگ، توفیت، آندزیت و آندزیت بازالت، دارای لایه‌های لنزی شکل، شامل ۶۵ تا ۷۰ درصد دانه و ۲۵ تا ۳۰ درصد زمینه، با ستبرای ۱ متر، وجود شکستگی‌های زیاد در لایه، وجود ۱۰ تا ۱۵ درصد تخته‌سنگ و قله‌سنگ‌هایی با سطح فرسایش یافته و با بیشترین قطر ۲۰ سانتی‌متر، جورشدگی و گردشدگی متوسط، وجود گور گسل به اندازه ۳ تا ۴ میلی‌متر بر روی سطح گسل.

۱۳- افقی به رنگ خاکستری تا سبز روشن در زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی و با سختی کم، شامل ذراتی به اندازه ۲ میلی‌متر تا ۲۵ سانتی‌متر، متشکل از ماسه سنگ، توفیت، آندزیت و آندزیت بازالت‌های ارغوانی با هوازدگی تیره، دارای لایه‌بندی از ریزدانه تا درشت دانه، بین ۸۰ تا ۸۵ درصد دانه و ۱۵ تا ۲۰ درصد زمینه، ۴۰ تا ۵۰ درصد قله‌سنگ و تخته‌سنگ‌هایی با قطر ۲۵ سانتی‌متر، دارای جورشدگی و گردشدگی متوسط، دارای ستبرای ۲ متر.

#### ۴-۲. پارینه لرزه‌شناسی دیواره باختری گسل چیتگر

دیواره باختری ترانشه چیتگر (T<sub>W</sub>) در مختصات جغرافیایی 0517327, 3954151 و 0517535, 3954826 واقع است. مختصات 0517561, 3954880 و 0517577, 3955014 در این دیواره لوگ شده است (شکل ۴).

لوگ باختری دارای ۵۸ متر درازا و کمی بیش از ۷ متر ارتفاع است. ۷ واحد رسوبی - چینه‌ای در دیواره باختری از جنس ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت به همراه گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از آن تشخیص داده شد (که این واحدها در حقیقت ادامه واحدهای دیواره خاوری بوده و تفسیر مشابهی دارند اما کف ترانشه خاوری قدیمی‌تر از باختری است) که به ترتیب شماره‌های موجود در لوگ (از جدید به قدیم)، این واحدها عبارتند از:

۱- افق خاکستری تا کرم رنگ، با زمینه ماسه‌ای - سیلتی، متشکل از ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت، دارای ستبرای ۱ تا ۴ متر، فاقد جهت‌یافتگی در لایه‌بندی، سطح بالایی واحد فرسایش یافته، به صورت پراکنده دارای پوشش گیاهی، جورشدگی ضعیف و گردشدگی ضعیف تا متوسط.

۲- اولین افق سرخ، به صورت لنزی دارای ذرات ریزدانه ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت بازالت، ستبرای ۱ تا ۱/۲۰ متر، بیشترین قطر دانه‌ها ۱۰ سانتی‌متر، دارای زمینه‌ای سیلتی - رسی، به راحتی تفکیک‌پذیر از دیگر واحدها به خاطر رنگ متمایز نسبت به دیگر واحدها.

۳- افق خاکی تا خاکستری تیره رنگ در زمینه‌ای سیلتی با سختی کم، شامل ذرات و قطعات ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد

از گسیختگی‌های نامبرده می‌تواند منتقل شود. تصور یک سری گسل با ژرفای زیاد از نظر مکانیک و هندسه گسلش ناممکن است.

سن‌های به دست آمده از ترانسه تهران، ایستگاه وردآورد TE1، به روش لومینسانس نوری (OSL) حاصل شده است. اساس این روش در تعیین زمان تاریکی حاصل از پوشیده شدن نهشته‌ها است (Fattahi, 2009). در صورت نبود نهشته‌های آلی، از این روش که بیشتر بر روی نهشته‌های ماسه‌ای و یا سیلتی صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. در این روش لوله‌های فلزی با درازای حدود ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و قطر حدود ۱۰ سانتی‌متر را که از پیش فراهم شده بودند، با وارد کردن ضربه، درون دیواره ترانسه فرستاده و نمونه‌های لازم از رسوباتی که دانستن سن آنها در شناسایی رخداد‌های کهن لرزه‌ای ضروری بود، برداشت شد. باید توجه داشت که نمونه‌های برداشت شده به هیچ وجه نباید در معرض نور قرار گیرند و ابتدا و انتهای لوله‌های دارای رسوبات باید به طور دقیق بسته شود، چون این روش بر اساس ویژگی موجود در برخی کانی‌ها، مانند کوارتز شکل گرفته که در آن، سن پوشیده شدن این کانی‌ها توسط رسوبات و قطع ارتباط آنها با نور خورشید، تعیین می‌شود. براساس تعیین سن لومینسانس نوری (OSL) در ترانسه تهران، ایستگاه وردآورد (Ritz et al., 2012) نتایج زیر به دست آمده است:

$$1) 7.9 \pm 1.2 \text{ ka}, \quad 2) 26.7 \pm 2.9 \text{ ka}, \quad 3) 29.0 \pm 3.6 \text{ ka}$$

(فرض دوم: اگر رسوبگذاری به صورت پیوسته و بدون دخالت عامل خارجی چون گسل خوردگی انجام شده باشد) برای محاسبه آهنگ رسوبگذاری در یک سال، تفاضل بین سن اول و سوم را به دست آورده و با اندازه‌گیری فاصله قائم بین واحدهای تعیین سن شده به روش لومینسانس نوری (۳۳۵ cm)، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

$$29000 - 7900 = 21100 \text{ yr} \quad \text{or} \quad 21.1 \text{ ka}$$

$$335 \text{ cm} \quad 21100 \text{ yr} \\ X \quad 1 \text{ yr} \rightarrow X = 0.016 \text{ cm / yr} \times 10 = 0.16 \text{ mm / yr}$$

به این ترتیب آهنگ رسوبگذاری به میزان ۰/۱۶ میلی‌متر طی یک سال برآورد می‌شود.

#### ۴-۴. برآورد آهنگ رسوبگذاری بیشینه و کمینه

با توجه به همخوانی چینه‌ای موجود بین ترانسه وردآورد (Nazari, 2006) و ترانسه چیتگر، از تعیین سن‌های صورت گرفته به روش OSL در ترانسه وردآورد به عنوان مرجعی برای برآورد آهنگ رسوبگذاری شاخه گسل چیتگر از پهنه گسل شمال تهران استفاده می‌شود (شکل ۶) همچنین با توجه به فاصله قائم ۳۳۵ سانتی‌متر بین دو سن اول و سوم، و فاصله قائم ۶۵ سانتی‌متر بین سن‌های دوم و سوم در ترانسه وردآورد، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

$$7.9 \pm 1.2 \rightarrow 7.9 + 1.2 = 9.1 \text{ ka}$$

$$29.0 \pm 3.6 \rightarrow 29.0 + 3.6 = 32.6 \text{ ka}$$

$$7.9 - 1.2 = 6.7 \text{ ka}$$

$$29.0 - 3.6 = 25.4 \text{ ka}$$

$$25400 - 9100 = 16300 \text{ yr}$$

$$32600 - 6700 = 25900 \text{ yr}$$

$$335 \text{ cm} \quad 16300 \text{ yr}$$

$$X \quad 1 \text{ yr} \rightarrow X = 0.2 \text{ mm / yr (Max of sedimentary)}$$

$$335 \text{ cm} \quad 25900 \text{ yr}$$

$$X \quad 1 \text{ yr} \rightarrow X = 0.12 \text{ mm / yr (Min of sedimentary)}$$

زمینه، ذرات از ۲ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر، جهت یافتگی قطعات، وجود لایه‌بندی موازی و مورب به صورت تناوبی از ریزدانه و درشت‌دانه، دارای ستبرای ۱/۵ تا ۳ متر. ۴- افق خاکی تا خاکستری روشن در زمینه‌های سیلتی با سختی کم، شامل ذرات و قطعات ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه، وجود لایه‌بندی موازی، دارای ستبرای ۳ متر، جورشدگی ضعیف و گردشدگی متوسط.

۵- دومین افق سرخ، سرخ روشن تا خاکی در زمینه‌های سیلتی-رسی، بسیار ریزدانه (کمتر از ۲ میلی‌متر) تا در نهایت قله‌هایی به قطر ۵ تا ۶ سانتی‌متر، متشکل از ماسه‌سنگ، توفیت، آندزیت و آندزیت بازال، دارای ۲۰ درصد دانه و زمینه (ماتریکس)، وجود لایه‌های لیزی شکل در واحد، دارای ستبرای ۷۰ سانتی‌متر، به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها به علت رنگ شاخص، گردشدگی ضعیف و جورشدگی ضعیف تا متوسط.

۶- افقی به رنگ کرم تا خاکی روشن در زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی و با سختی کم، شامل ۵۰ تا ۶۰ درصد دانه و ۴۰ تا ۵۰ درصد زمینه، متشکل از توفیت و ماسه‌سنگ، دارای لایه‌بندی موازی در ریزدانه‌ها، وجود لایه لیزی شکل در بخش بالایی واحد، ۸۰ سانتی‌متر ستبرای، به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها، جهت یافتگی قطعات در بخش‌های پایین واحد، وجود ۲۰ درصد قله‌سنگ با قطر ۵ تا ۶ سانتی‌متر.

۷- سومین افق سرخ رنگ، به صورت لیزی دارای لایه‌های خاکستری رنگ، زمینه‌ای از جنس سیمان سیلتی-رسی و با سختی بالا، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد دانه و ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه، متشکل از آندزیت، آندزیت بازال، ماسه سنگ و توفیت، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد واحد شامل قله‌سنگ‌هایی با قطر ۱۰ سانتی‌متر، وجود حالت لیزی شکل در لایه‌های واحد، بین ۱ تا ۱/۵ متر ستبرای، به راحتی قابل تشخیص از دیگر واحدها، گردشدگی ضعیف و جورشدگی ضعیف تا متوسط.

#### ۴-۳. برآورد آهنگ رسوبگذاری

از آن جاکه گسل چیتگر به همراه گسل‌های وردآورد، نیاوران، محمودیه و میلاد به عنوان پهنه گسل شمال تهران در نظر گرفته می‌شود، از این رو فرض‌هایی (فرض اول، اگر لایه سرخ بالایی در لوگ ترانسه شمال تهران (Nazari, 2006) برابر لایه سرخ بالایی در لوگ دیواره خاوری و باختری چیتگر باشد) را در نظر می‌گیریم که قابل تعمیم از گسل شمال تهران به گسل چیتگر است. با توجه به محدودیت‌های انجام تجزیه‌های تعیین سن، از تطابق چینه‌ای موجود (شکل ۵) بین دو واحد شماره ۶۸ در ترانسه وردآورد و واحد شماره ۳ در دیواره خاوری چیتگر می‌توان مقادیر مطلق به دست آمده از روش تعیین سن لومینسانس نوری در ترانسه وردآورد (7.9±1.2 ka) را با توجه به مقادیر برآورد شده از آهنگ رسوبگذاری در این پژوهش، هم‌ارز سن واحد ۳ از لوگ خاوری و واحد ۲ از لوگ باختری در دیواره‌های پارینه لرزه‌شناسی چیتگر دانست. با در نظر گرفتن فرض بالا و تفکیک واحدهای دیواره ترانسه، نیازمند تعیین سن برای ادامه کار هستیم، از آنجاکه برای واحد یاد شده در ترانسه وردآورد توسط (Nazari, 2006) سن 7.9 ± 1.2 ka از روش لومینسانس نوری ارائه شده است، بنابراین با در نظر گرفتن محاسبات انجام شده در بازه زمانی ۷۹۰۰ و ۲۹۰۰۰ سال (لوگ ترانسه وردآورد) و آهنگ رسوبگذاری برآورد شده (0.16 mm/yr) (کاوه، ۱۳۸۸) می‌توان برای برش چیتگر نیز سن هر واحد را از بالا به پایین و از پایین به بالا (نسبت به لایه سرخ کلیدی ۳) با احتساب خطای اولیه در تعیین سن و برابری آهنگ رسوبگذاری و فرسایش در محل هر دو ترانسه وردآورد و چیتگر، در گذر ۵۰۰۰۰ سال گذشته محاسبه کرد. گسل چیتگر از شاخه‌های جوان و پیشرونده (Propagation Fault) گسل شمال تهران به سمت جنوب بوده و با فرض لایه لرزه‌زا (Nazari, 2006; Tatar, 2001) و هندسه گسله شمال تهران، زمین‌لرزه احتمالی باید بر روی صفحه اصلی گسل شمال تهران رخ دهد که شکست سطحی آن روی هر کدام

هستیم که به عنوان لایه راهنما (key bed) از آن به منظور تطابق واحدهای رسوبی و چینه‌ای استفاده شد و در نهایت با استفاده از لایه‌های رسی (paleosoils) تطابق بین واحدهای دو دیواره برقرار گردید. لازم به بیان است که واحدهای تشکیل دهنده کف دیواره خاوری، قدیمی‌تر از دیواره باختری است. با توجه به وجود گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان و جابه‌جایی‌های موجود در واحدها، رخدادهای لرزه‌ای نیز بر اساس شواهد زیر به دست آمده است: (افق رویداد (Event horizon) در واقع نشانگر سطح زمین در هنگام زمین لرزه است و جوان‌ترین واحد چینه‌ای است که تحت تأثیر گسل واقع شده است).

در این پژوهش با توجه به میزان احتمال خطای فردی حاصل از دقت شبکه‌بندی، عکس‌برداری و تفکیک واحدها بر اساس ویژگی‌های نوری و فیزیکی، سعی در به کمینه رساندن بازه عدم قطعیت در ارائه داده‌ها، نتایج و تفسیر تالی آن شده است. از آنجا که شبکه‌بندی پروژه‌های پارینه لرزه‌شناسی در مقیاس‌های یک دهم و یا یک بیستم (Nazari, 2006; McCalpin, 2009) انجام می‌شود بنابراین عدد ۱۵ سانتی‌متر بر روی ساختار گسل با دو پارامتر افقی و شاقولی به عنوان حد میانگین در ارائه واقعی تر داده‌ها در این نوشتار در نظر گرفته می‌شود. بنا بر فرض صورت گرفته، جابه‌جایی کمتر از ۱۵ سانتی‌متر بین واحدها به عنوان یک افق رویداد مستقل در نظر گرفته نمی‌شود. اولین افق رخداد (دیواره خاوری) شامل ماسه‌سنگ، توفیت و آندزیت در زمینه‌ای ماسه‌ای-سیلتی است (واحد ۱)، که نشانگر جوان‌ترین رخداد زمین‌لرزه‌ای بر روی گسل چیتگر است به گونه‌ای که گسل F1 تا سطح زمین قابل مشاهده است. شکستگی‌های زیادی که در طول این واحد مشاهده می‌شود نیز حاکی از رخداد زمین‌لرزه است. گسل‌های F2 و F3 در این رخداد نقشی ندارند چرا که درون واحد ۱ اثری نداشته‌اند. در مجموع در این افق، ۲/۳۷ متر جابه‌جایی بر روی سطح گسل در برش قائم داشتیم. قطع‌شدگی واحد ۲ در زمینه‌ای سیلتی-ماسه‌ای به همراه قلوه سنگ‌هایی از جنس توفیت که دارای تناوب لایه‌بندی از ریزدانه و درشت‌دانه هستیم، بیانگر دومین رخداد لرزه‌ای کهن است. این رخداد در شمال گسل F1 مشاهده نمی‌شود زیرا واحد ۲ در این بخش به علت فرسایش از بین رفته است (احتمال می‌دهیم که واحد ۲ در این بخش نازک‌تر از واحد ۲ در بخش جنوبی بوده و در نتیجه بر اثر فرسایش از بین رفته است و واریزه‌های ناشی از آن در بخش جنوبی تجمع یافته است، در نتیجه ستبرای واحد ۲ در بخش جنوبی گسل F1 بیشتر است). گسل‌های F2 و F3 جدیدترین افقی را که تحت تأثیر قرار می‌دهند افق ۲ است. میزان جابه‌جایی کل در این افق، ۲/۵۴ متر بر روی سطح گسل در برش قائم است. سومین رخداد لرزه‌ای در واحد ۳ روی داده است. این واحد شامل رس و ماسه است که گسل‌های F1 و F2 و F3 هر کدام در این افق متوقف شده‌اند و اثرات گسترش این گسل‌ها در واحدهای رسوبی جوان‌تر مشاهده نمی‌شود. لازم به بیان است که واحد ۳ در بخش شمالی گسل F1 ممکن است رخداد دوم را تجربه کرده باشد، اگر این واحد با واحد ۲ بالادست آن که از بین رفته، اختلاف جابه‌جایی کمی داشته باشند آنگاه در این بخش هر دو واحد ۲ و ۳ یکی در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه فقط رخداد دوم را تجربه کرده است، اما حالت دیگر آن زمانی است که هر کدام به عنوان یک افق رویداد مجزا در نظر گرفته می‌شوند که در این صورت افق ۳، رخداد سوم را تجربه کرده است. برای گسل‌های F2 و F3 این آخرین رویداد لرزه‌ای است چرا که واحدهای ۴، ۵ و ۶ به همراه واحد ۳ در مجموع یک واحد در نظر گرفته می‌شوند و در نتیجه همه آنها رویداد سوم را با هم تجربه کرده‌اند و ۱/۳۲ متر جا به جایی بر روی سطح گسل در برش قائم داشته‌اند. توقف حرکت گسل در میان افق ۴، به همراه شکستگی‌هایی که مشاهده می‌شود نمایانگر رخداد چهارم بر روی گسل F1 است. اما در بخش جنوبی گسل F1، واحد ۴ دارای دو احتمال است: اگر گسل F1b اثر داشته باشد آنگاه رخداد چهارم است که ۰/۲۷ متر جابه‌جایی بر روی سطح گسل در برش قائم داشته، اما اگر عملکرد گسل F2 برای این واحد (۴)

$$26.7 \pm 2.9 \rightarrow 26.7 + 2.9 = 29.6 \text{ ka}$$

$$29.0 \pm 3.6 \rightarrow 29.0 + 3.6 = 32.6 \text{ ka}$$

$$26.7 - 2.9 = 23.8 \text{ ka}$$

$$29.0 - 3.6 = 25.4 \text{ ka}$$

$$29600 - 25400 = 4200 \text{ yr}$$

$$32600 - 23800 = 8800 \text{ yr}$$

$$65 \text{ cm} \quad 4200 \text{ yr}$$

$$X \quad 1 \text{ yr} \quad \rightarrow X = 0.15 \text{ mm / yr (Max of sedimentary)}$$

$$65 \text{ cm} \quad 8800 \text{ yr}$$

$$X \quad 1 \text{ yr} \quad \rightarrow X = 0.07 \text{ mm / yr (Min of sedimentary)}$$

بدین ترتیب و با توجه به شکل ۷، A1 و B1 بیشینه آهنگ رسوبگذاری، A2 و B2 کمینه آهنگ رسوبگذاری در پهنه گسل شمال تهران بر روی ترانشه وردآورد است. بنابراین بر اساس تطابق چینه‌ای موجود در این پژوهش مقادیر به دست آمده (A1) به عنوان مرجعی برای برآورد سن دیگر واحدهای به نمایش درآمده در لوگ دیواره خاوری چیتگر به کار می‌رود (جدول‌های ۱ و ۲).

در پایان پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی، بازسازی سناریوی رخداد زمین‌لرزه‌ها بر اساس الگوی برگشتی لوگ تهیه شده، انجام می‌گیرد و سپس با استفاده از روابط Wells and Coppersmith (1994) و داده‌های حاصل از تعیین سن، بزرگای زمین‌لرزه‌های روی داده و دوره بازگشت آنها برآورد می‌شود.

## ۵- بحث

دیواره مورد بحث در باختر شهر تهران واقع در پارک جنگلی چیتگر بوده، که دارای دو بخش خاوری و باختری است. دیواره‌های این ترانشه دارای گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های زیادی است که از میان تمام گسل‌های دو دیواره، تنها گسل F1 که شمالی‌ترین گسل دیواره خاوری است به سطح رسیده و رسوبات کواترنری را بریده و جابه‌جا کرده است. این گسل دارای سازوکار نرمال است. از آنجا که در برش‌های قائم ترانشه‌های پارینه لرزه‌شناسی، این گونه پژوهش‌ها فقط قادر به برآورد جابه‌جایی‌های شاقولی و مؤلفه شیب‌لغز نرمال یا فشاری هستند از این رو مؤلفه راستالغز چپ‌بر مطرح شده برای گسل‌های ترانشه چیتگر (پهنه گسل شمال تهران) بر پایه حرکات شاقولی و پژوهش‌های سطحی ریخت‌زمین‌ساختی انجام شده توسط (Nazari (2006); Abbassi and Farbod (2009); Nazari et al. (2009); Ritz et al. (2006); Solaymani (2009) در گستره تهران است. گسل‌های F2 و F3 نیز به طور چیره دارای سازوکار نرمال بوده اما به دلیل شیب نزدیک به قائم (به ویژه گسل F3) دارای مؤلفه راستالغز چپ‌گرد نیز هستند اما نرمال بودن این گسل‌ها حاکی از وجود کشش در منطقه است که فروزمین (گراین) موجود در بین گسل‌های F2 و F3 گویای این مطلب است. در دیواره باختری نیز گسل‌های F1 و F2 دارای سازوکار نرمال و مؤلفه راستالغز چپ‌گرد هستند اما گسل F3 احتمالاً از نوع Synsedimentary (همزمان با رسوبگذاری واحد ۱) با سازوکار نرمال است چرا که جابه‌جایی آشکار تنها در واحد ۱ مشاهده می‌شود و در واحدهای پایین‌تر اثر کمتری از جابه‌جایی دیده می‌شود. جنس رسوبات دو دیواره مشابه هم بوده و به طور عمده از توفیت، آندزیت، آندزیت بازالت و ماسه‌سنگ در زمینه‌ای سیلتی-رسی، تشکیل شده است. در سراسر دو دیواره شاهد واحد رسی سرخ‌رنگی

با توجه به سن رخدادها، دوره بازگشت رخدادها در عصر یخبچالی (هولوسن) تغییر یافته یعنی پیش از آن دوره بازگشت‌ها با فاصله زیاد و پس از آن کم است بنابراین برای محاسبه دوره بازگشت در سایت چیتگر، دوره بازگشت میانگین پس از هولوسن را محاسبه کردیم زیرا نشان‌دهنده جوان‌ترین رویدادهای گسل چیتگر است. دوره بازگشت میانگین از تقسیم عدد حاصل از تفاضل رخداد اول و آخر بر تعداد Interval رخدادها بر اساس روابط زیر به دست می‌آید:

$$12000-4700=7300 \text{ yr}, \quad \text{yr} \rightarrow \frac{7300}{2}=3650$$

### ۶- نتیجه‌گیری

- آهنگ رسوبگذاری در بازه زمانی ۲۱۰۰۰ سال: ۰/۱۶ میلی‌متر در سال.
- بیشترین و کمترین میزان جا به جایی بر روی سطح گسل در برش قائم: ۲/۵۴ متر برای رخداد ۲ و ۰/۲۷ متر برای رخداد ۴.
- بزرگای محاسبه شده براساس میزان جا به جایی هر رخداد و معادلات (Wells and Coppersmith 1994) برابر با ۶/۴ تا ۷/۴ است.
- تعداد رخداد لرزه‌ای ۳ تا ۶ رخداد با شمارش رخداد شماره ۱ که در آن گسل F1 پوشش رسوبات عهد حاضر را در برش خاوری بریده است. در سناریوی بازسازی لرزه‌های قدیم رخ داده بر روی ترانسه چیتگر، رخدادهای ۱ با بازه زمانی ۴.7ka، ۲ با بازه زمانی 6.7ka، ۳ با بازه 7.9ka احتمال رخداد قابل قبول‌تری نسبت به رخدادهای لرزه‌ای ۴ با بازه زمانی 12ka، ۵ با بازه زمانی 33ka و ۶ با بازه زمانی 50ka دارد. اگرچه داده‌های چینه‌ای ارائه شده در نوشتار نشانگر احتمال رخدادهای ۶ گانه لرزه‌ای، در یک پیشینه زمانی ۵۰۰۰۰ ساله است.
- دوره بازگشت (میانگین) برابر با ۳۶۵۰ سال برآورد می‌شود. (لازم به بیان است که دوره بازگشت محاسبه شده در ایستگاه وردآورد از پهنه گسل شمال تهران که تطابق چینه‌ای با ایستگاه چیتگر داشت برابر ۴۰۷۵-۳۱۷۵ سال است).

### سپاسگزاری

در پایان از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین مساعدت آقایان مهندس سلامتی و مهندس فروتن، کمال تشکر را داریم.

در نظر گرفته شود، رویداد سوم در نظر گرفته می‌شود. رشد میزان جابه‌جایی رو به پایین واحد ۵ در ناحیه گسل F1 و شکستگی‌های موجود در زمینه افق، دلایلی از وجود رخداد ۵ در واحد ۵ است. در بخش شمالی گسل F1، واحد ۵ و ۶ به دلیل اختلاف جا به جایی کمی که دارند در مجموع یک واحد در نظر گرفته می‌شوند، همچنین در بخش جنوبی دو حالت برای واحد ۵ امکان دارد: یکی آن که اگر این واحد با گسل F1b در نظر گرفته شود رخداد ۵ را تجربه می‌کند که ۰/۳۲ متر جا به جایی بر روی سطح گسل در برش قائم داشته، اما اگر برای گسل F2 در نظر گرفته شود همان رخداد سوم را تجربه کرده است. واحد ۷ در بخش شمالی و جنوبی گسل F1، تنها واحدی است که دارای بیشترین جابه‌جایی بوده و ۶ رخداد لرزه‌ای را تجربه کرده است. این واحد ۰/۹۲ متر جا به جایی بر روی سطح گسل در برش قائم داشته است. در دیواره باختری تنها یک رخداد (واحد ۳) در مجموع به عنوان یک افق رویداد به شمار می‌رود چرا که اختلاف جا به جایی کمتری نسبت به فرض ما دارند) مشاهده می‌شود. واحد ۲ (لایه رسی) در بخش شمالی گسل F1 دیده نمی‌شود، تصور ما و شواهد بر این است که سترای این واحد در بخش شمالی لوگ کم بوده و بخش‌هایی از آن بر اثر فرسایش و هوازدگی از بین رفته است.

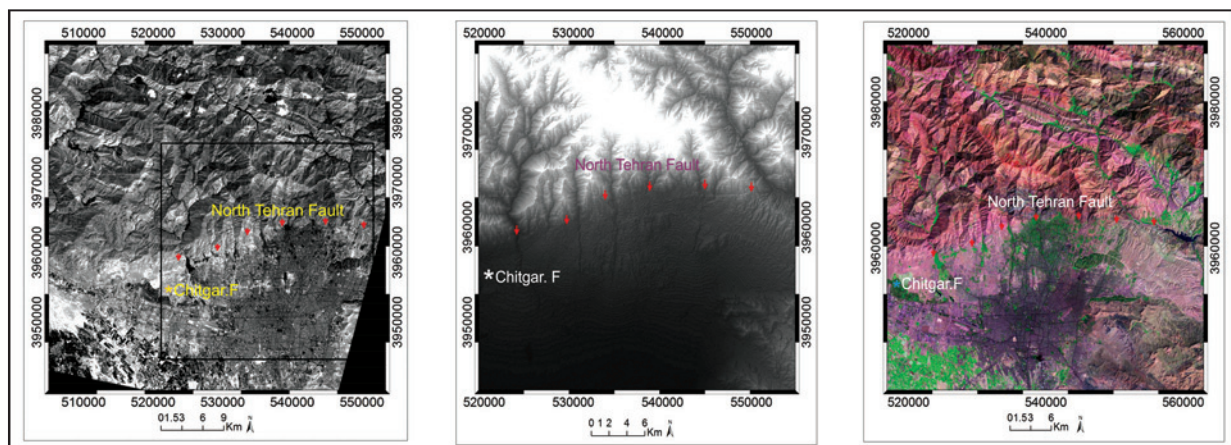
با استفاده از روابط (Wells and Coppersmith 1994) و داده‌های حاصل از جابه‌جایی‌ها، بزرگای زمین‌لرزه‌های روی داده به دست می‌آید. روابط به کار گرفته شده بر اساس سازوکار گسل است بنابراین با توجه به نرمال و راستالغز بودن گسل چیتگر از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$F_N = M_w = 6.78 + 0.65 \text{ Log (AD)}$$

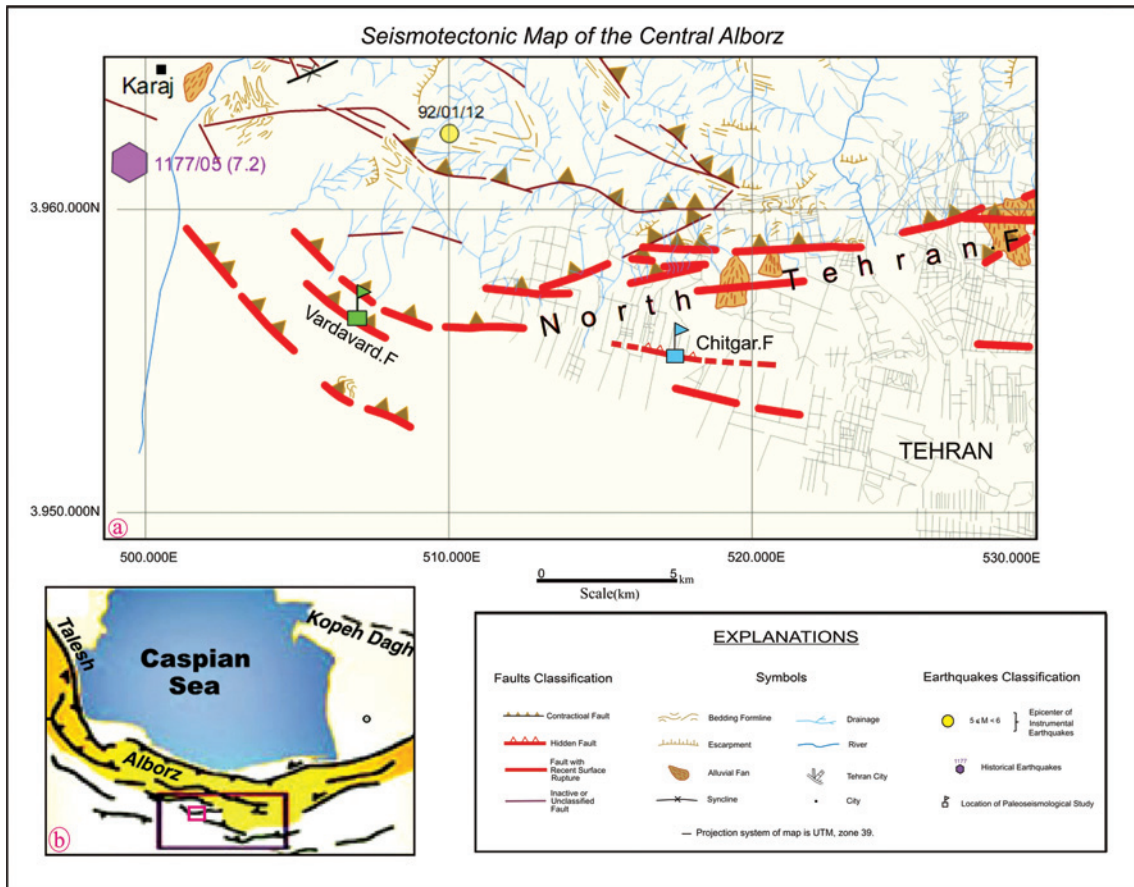
$$F_S = M_w = 7.04 + 0.89 \text{ Log (AD)}$$

$$F_G = M_w = 6.93 + 0.82 \text{ Log (AD)}$$

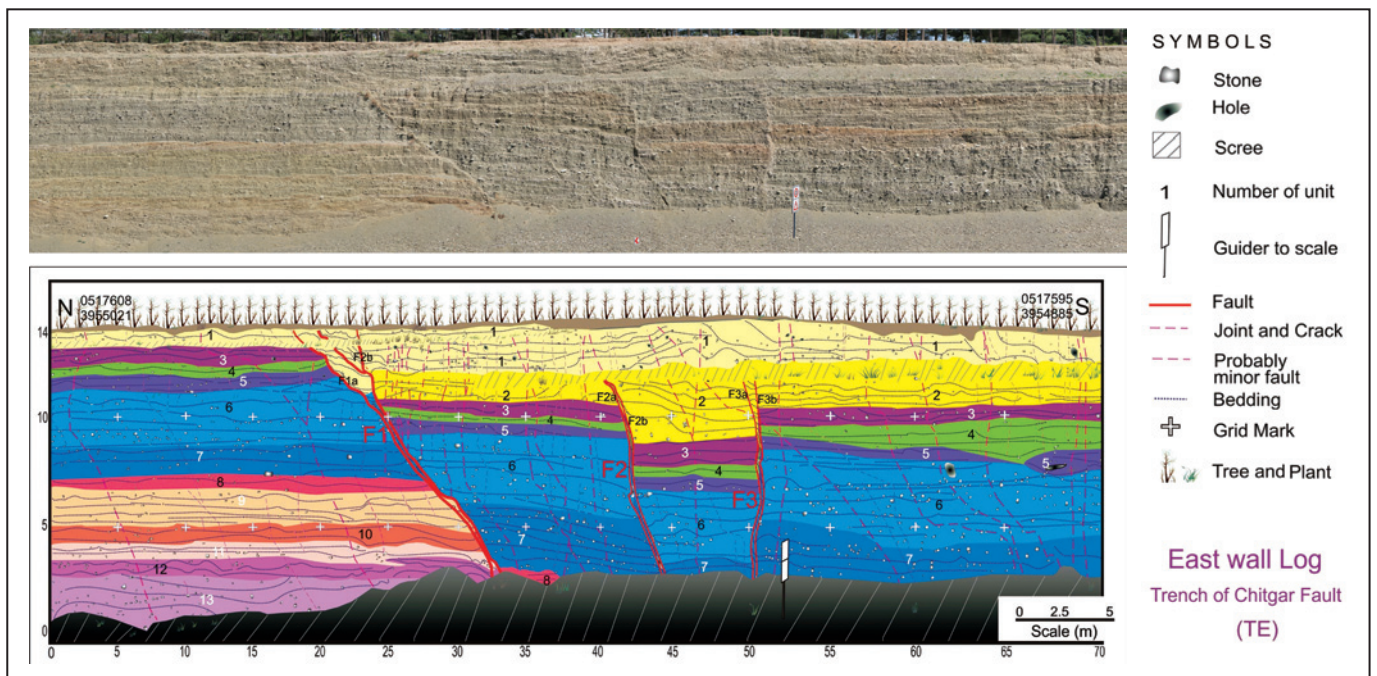
$F_N$  و  $F_S$  و  $F_G$  به ترتیب بزرگی‌های به دست آمده در گسل‌های نرمال، راستالغز و بزرگی کل است. AD نیز میانگین جابه‌جایی بر حسب متر بوده، اگر جابه‌جایی کل (Total offset) را داشته باشیم مقدار آن را به جای AD در رابطه گذاشته اما در شرایطی که این مقدار را نداشتیم از بیشترین مقدار جابه‌جایی (عمودی یا سطح گسله) استفاده خواهیم کرد (در چیتگر از مقدار جابه‌جایی سطح گسل برای روابط بالا استفاده شد).



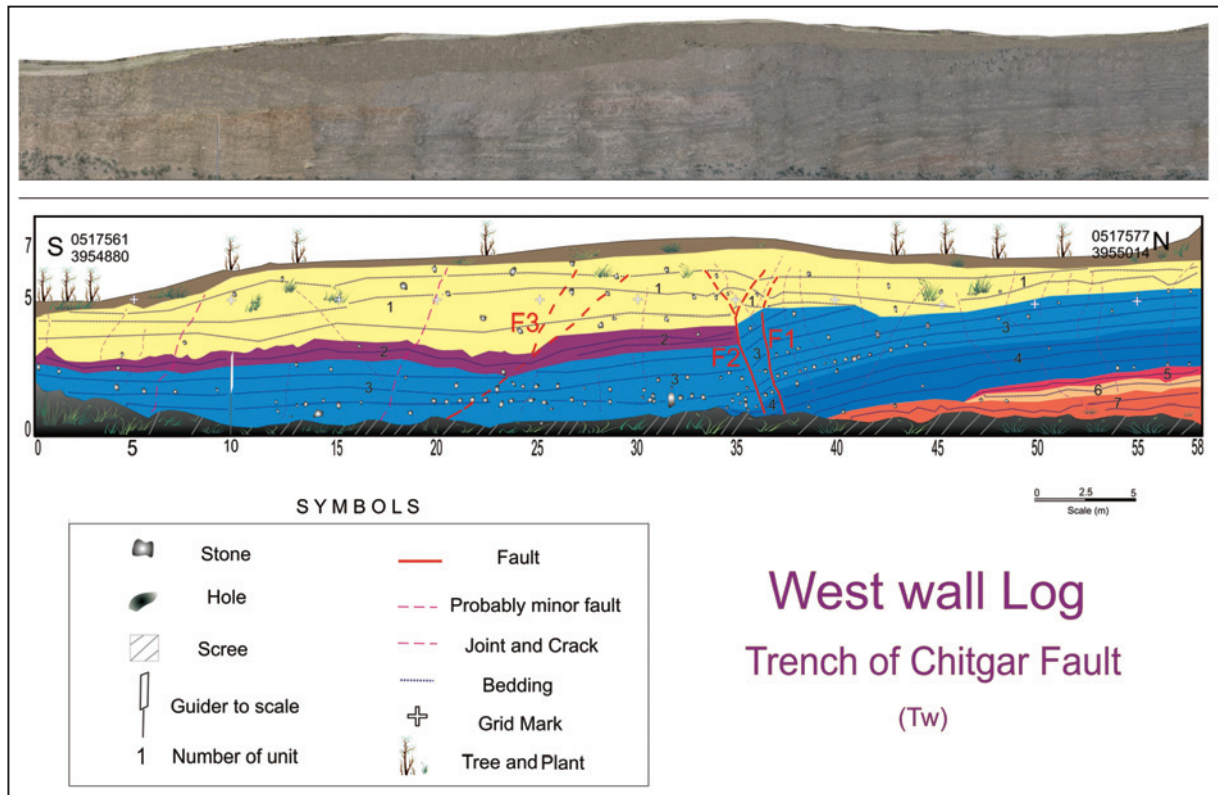
شکل ۱- تصاویر Landsat (سمت راست)، SRTM (وسط) و Spot (سمت چپ) از پهنه گسل شمال تهران و موقعیت گسل چیتگر.



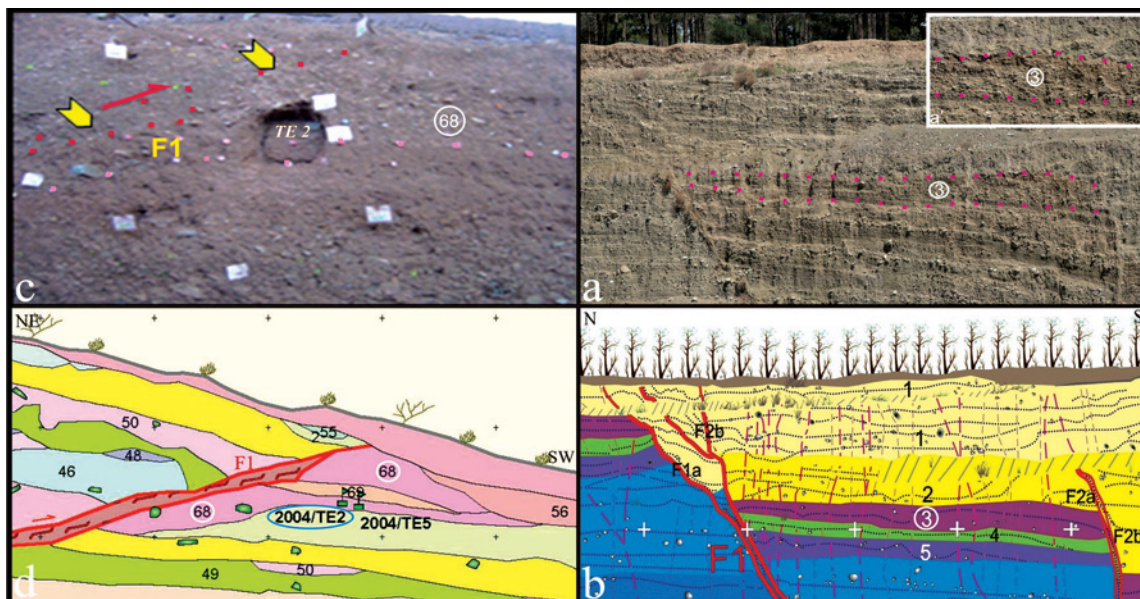
شکل ۲- (a) موقعیت مکانی ترانسه های چیتگر و وردآورد بر روی نقشه سائز موتکتونیک البرز مرکزی (after Nazari et al., 2005) (b) موقعیت تصویر a (مستطیل صورتی رنگ) در کمربند البرز.



شکل ۳- تصاویر بانوراما (تصویر بالا) و لوگ ترانسه خاوری چیتگر (تصویر پایین).

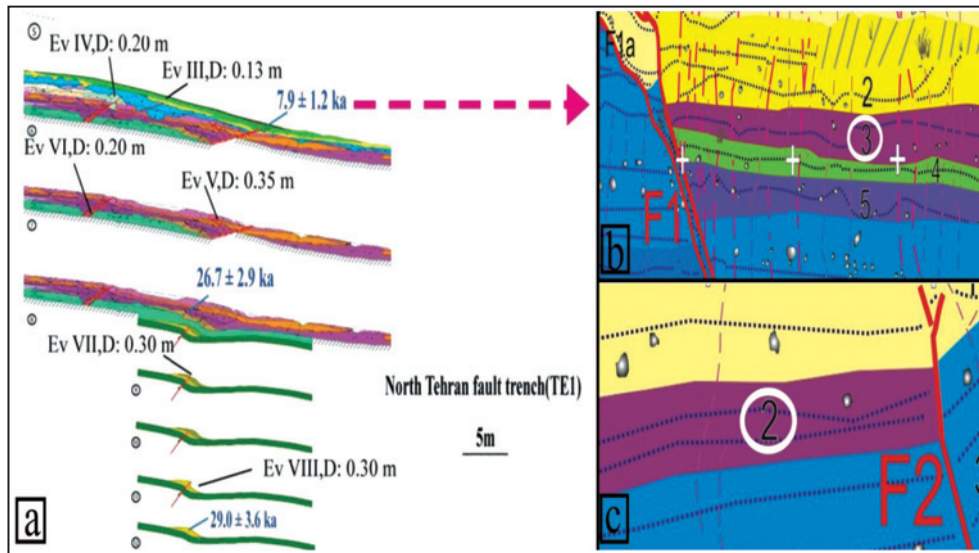


شکل ۴- تصاویر پانوراما (تصویر بالا) و لوگ ترانشه باختری چیتگر (تصویر پایین).

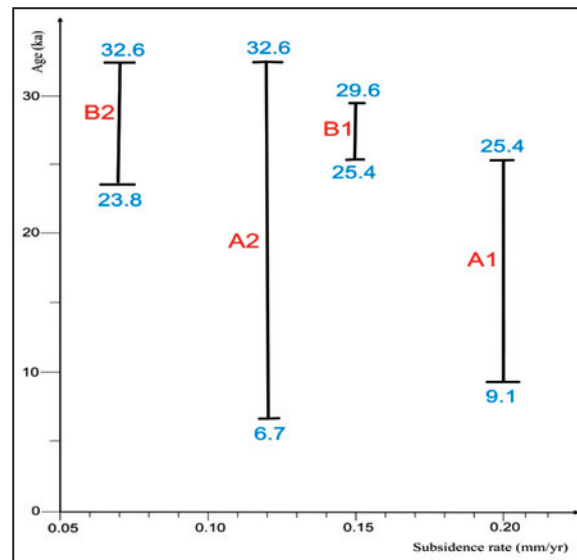


شکل ۵- تصاویر تطابق چینه‌ای موجود بین ترانشه‌های ایستگاه چیتگر (a,b) و وردآورد، TE1 (Nazari, 2006) (c,d) از پهنه گسل شمال تهران (a) نمای دیواره خاوری چیتگر با نگاه به سوی خاور. (a') تصویری با بزرگنمایی بیشتر از واحد شماره ۳ لوگ خاوری. (b) لوگ رسم شده از همان دیواره. (c) دیواره خاوری ترانشه T1 وردآورد نشانگر محل نمونه برداری OSL و خط گذر گسل، شماره واحد با عدد، شماره نمونه با حروف F1، TE2، نشانگر شاخه اصلی گسل که محل آن با نقاط سرخ رنگ و پیکان‌های زرد مشخص شده است، پیکان سرخ نشانگر سوی راندگی در فرادیاره گسله F1 است. (d) لوگ رسم شده از دیواره به نمایش در آمده در شکل c. واحدهای شماره ۳ ترانشه خاوری چیتگر (این واحد به صورت عدسی و شامل ذرات ریزدانه ماسه سنگ و درشت دانه توفیت و آندزیت بازالت در زمینه‌ای سیلتی-رسی است) و شماره ۶۸ ترانشه وردآورد (این واحد نیز دارای زمینه‌ای سیلتی-رسی با قلوه سنگ‌هایی از جنس آذرین و ماسه سنگ است) تطابق چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی داشته، افزون بر این که فاصله واحد شماره ۳ نسبت به سطح زمین ۸-۹ متر بوده و این فاصله برای واحد شماره ۶۸ نسبت به سطح زمین در حدود ۷-۸ متر است.





شکل ۶- بخشی از لوگ و سناریوی بازسازی شده برای دیواره خاوری ترانشه TE1 وردآورد بر روی گسل شمال تهران (Nazari, 2006) (شکل a)، واحد شماره ۶۸ در ترانشه TE1 وردآورد به عنوان مرجع هم‌ارز چینه‌ای واحد شماره ۳ دیواره‌های خاوری (شکل b) و واحد شماره ۲ دیواره باختری (شکل c) چیتگر در نظر گرفته شد.



شکل ۷- نمودار آهنگ رسوبگذاری بیشینه و کمینه، A1 و B1 بیشینه آهنگ رسوبگذاری، A2 و B2 کمینه آهنگ رسوبگذاری در پهنه گسل شمال تهران (براساس نتایج OSL ایستگاه وردآورد، Nazari, 2006).

جدول ۱- واحدهای تعیین سن شده دیواره خاوری.

دیواره خاوری (۰۵۱۷۶۰۸,۳۹۵۵۰۲۱), (۰۵۱۷۵۹۵,۳۹۵۴۸۸۵)		
واحد	ستبرای واحدها	تعیین سن واحدها براساس آهنگ رسوبگذاری به میزان ۰/۱۶ میلی‌متر در سال (هزارسال)
1	309cm	3.512 ka - 5.912 ka
2	139cm	5.913 ka - 7.84 ka
3	100cm	7.9 ± 1.2 ka
4	54cm	11.225 ka - 13.625 ka
5	97cm	13.762 ka - 15.462 ka
6	435cm	32.349 ka - 34.749 ka
7	397cm	49.261 ka - 51.661 ka

جدول ۲- واحدهای تعیین سن شده دیواره باختری.

دیواره باختری (۰۵۱۷۵۶۱,۳۹۵۴۸۸۰), (۰۵۱۷۵۷۷,۳۹۵۵۰۱۴)		
واحد	ستبرای واحدها	تعیین سن واحدها براساس آهنگ رسوبگذاری به میزان ۰/۱۶ میلی‌متر در سال (هزارسال)
1	280cm	0.5 ka - 2.9 ka
2	91cm	7.9 ± 1.2 ka
3	250cm	14.425 ka - 16.825 ka

**کتابخانه**

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.  
 بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ‌روش، ب.، مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۶۴- پژوهش و بررسی ژرف نوزمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمینلرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه‌زمین‌ساخت ایران زمین)، سازمان زمین‌شناسی کشور.  
 کاوه، آ.، ۱۳۸۸- بررسی‌های پارینه لرزه‌شناسی بر روی پهنه گسله شمال تهران (پاره گسله چینگر)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

**References**

- Abbassi, M.-A. Farbod, Y., 2009- "Faulting and folding in quaternary deposit of Tehrant's piedmont (Iran)." *Asian journal earth science* 34, 522-531.
- Alavi, M., 1996- "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran." *J. Geodynamic*. V.21, 1-33.
- Allen, M., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M., Ghorashi, M., 2003- "Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran." *Journal of Structural Geology*. V.25, 659-672.
- Axen, G.-J., Lam, P.-J., Grove, M., Stockli, D.-F., Hassanzadeh, J., 2001- "Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subidence, and collision-related tectonics." *Geology*, V.29, No.6.
- Berberian, M., Yeats, R.-S., 1999- "Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau." *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Berberian, M., Yeats, R.-S., 2001- "Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau." *J. Struct. Geol.*, 23, 563-584.
- Berberian, M., Ghorashi, M., Argangraves, B., Mohajer Ashjaie, A., 1985- "Seismotectonic and Earthquake fault hazard investigations in the Tehran region (In Persian)." Tehran, GSI.
- Djamour, Y., 2004- "Contribution de la Geodesie (GPS et nivellment) a l etude de la deformation tectonique et de l a lea seismique sur la region de Teheran (montagne de l Alborz, Iran)." *Science de la Terre et de l Eau. Montpellier, Luniversite Motpellier II*: 180.
- Dresch, J., 1961- "Le Piemontde teheran, In observations de geographie physique en Iran septentrional." *Centre Docum. Cart. Geogr., Mem. et Docum*: 85-101.
- Fattahi, M., 2009- "Dating past earthquake and related sediments by thermoluminescence methods." *A review, Quaternary International Journal* (199): 104-146.
- Knill, J. L., Jones, K. S., 1968- "Ground water condition in Greater Tehran." *Quart. J. Eng. Geol.* 1: 181-194.
- McCalpin, J. P., 2009- *Paleoseismology*, New York, Academic Press.
- Nazari, H., 2006- "Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Tehran: Approche morphotectonique et paleoseismologique." *Science de la terre et de l'eat. Montpellier*.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., 2008- "Neotectonic in Central Alborz." *Geosciences, Special Issue, Vol.17. No.1*: 74-93. GSI, Tehran, Iran.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Oghbaee, S., 2006- "New insight to paleogeography and Structural evolution of the Alborz in Tethyside." *Geosciences* 60, GSI.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Talebian, M., Moosavi, A., 2005- "Seismotectonic map of the Central Alborz." *Scale 1:250000*, Tehran, GSI.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, J.-L., Massault, M., Ghorashi, M., 2009b - "Morphological and Paleoseismological analysis along the Taleghan fault (Central Alborz)." *Geophys. J. Int.*, 178, 1028-1041.
- Riben, E. H., 1955- *The geology of the Tehran plain*, Am.J.Sci.
- Ritz, J. F., Djamour, Y., Vernant, P., Hatam, Y., Bayer, R., Hinderer, J., Luck, B., Le Moigne, N., Sedighi, M., Boy, J.P., 2008- "The present-day deformation in Alborz (Iran) depicted by GPS and gravity observations." Paris; SGF conference.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M., Saidi, A., 2012- "Paleoearthquakes of the past 30000 years along the North Tehran Fault, Iran." *Journal of Geophysical Research*, Vol 117, doi: 10.1029/2012JB009147, pp. 1-15.
- Shahidi, A.-R., 2008- "Tectonic evolution in North of Iran (Alborz and kopet-Dagh) since Mesozoic." *Pierre and Marie Curie (Paris6)*. Paris, France.
- Solaymani, S., 2009- "Evaluation de l'alea seismique pour les villes de Teheran, Tabriz et Zandjan dans le NW de l'Iran Approche morphotectonique et paleoseismologique." *Science de la terre et de l'eau. Montpellier, Montpellier II*: 150.
- Stocklin, J., 1974- "Northern Iran: Alborz Mountain, Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belt, data for Orogenic Studies." *Geol.Soc.London*.
- Tatar, M., 2001- "Etude Seismotectonique de deux Zones de collision continental: Le Zagrose Central et l'Alborz (Iran)." *Thesise Phd, Joseph Fourier. Geol. Surv. Iran*.
- Tchalenko, J. S., Berberian, M., Iranmanesh, H., Bailly, M., Arsovsky, M., 1974- "Tectonic framework of the Tehran region in: Materials for the study of seismotectonics of Iran." *North central Iran*, pp.7-46, GSI, Tehran.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004b- "Deciphering oblique shortening of central alborz in Iran using geodetic data." *Earth & Planetary Science Letters*, 233, 177-185.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994- "Emprical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement." *Bull, Seismo. Soc. Am.* (84) : 974-1002.