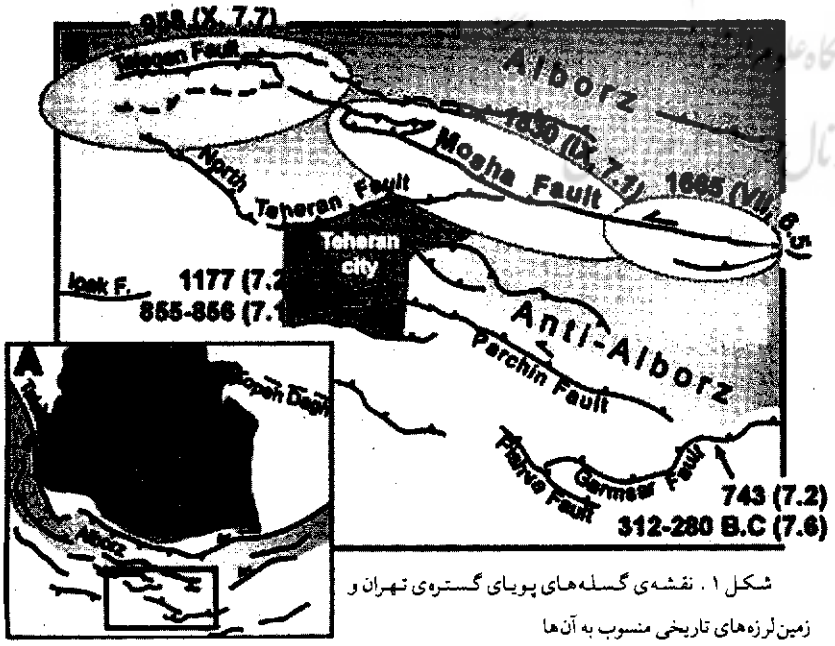
دیرینه لرزه شناسی کلیدی بر معمای میزان لرزه تهران

حمید نظری*

چکیده

از زمین‌لرزه در کلان‌شهری چون تهران، هم‌چون کابوسی دهشتناک یاد شده است که هر از گاهی، با جنبش دوباره‌ی بخش خفته‌ای از فلات ایران‌زمین، رنگ تازگی به خود می‌گیرد و چندی گرمی بازار سخنوران و ناباوری محفل‌نشینان را فراهم می‌آورد. اما آیا به‌راستی بر این تابوی ترس و نومیدی رنگی به حقیقت فراتر از حدس و گمان و آمار باقی است؟ و یا به بیان دیگر، آیا خطر زمین‌لرزه‌ای بزرگ ساکنان گستره‌ی تهران را، با جمعیتی نزدیک به ۱۵ میلیون نفر، تهدید می‌کند؟ این مقوله‌ای است که سایر پژوهشگران علوم زمین نیز در شاخه‌های لرزه‌شناسی، نوزمین‌ساخت و لرزه زمین‌ساخت، با توجه به دریچه‌ی نگاه خود، بدان پرداخته‌اند.

براساس نوشتارهای تاریخی به نقل از منابع متعدد [Berberian et al, 1985, 1993, 1999 & 2001; Ambraseys and Mellvile, 1982]، تاکنون گستره‌ی تهران دستخوش زمین‌لرزه‌های بزرگی چون زمین‌لرزه‌های سال‌های ۸۵۶، ۹۵۸، ۱۶۶۵ و ۱۸۳۰ میلادی شده است که از آن میان، از زمین‌لرزه‌ی «ری- طالقان» در سال ۹۵۸، به عنوان بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ی تاریخی (Mw = ۷/۷) در گستره‌ی البرز مرکزی یاد شده است [Ambraseys and Mellvile, 1982]. اما به‌راستی کانون و چشمه‌ی لرزه‌زای کدام یک از این زمین‌لرزه‌ها در گستره‌ی یاد شده قرار داشته و کدام یک از این رویدادها، حاصل جنبش مستقیم گسله و یا گسله‌هایی در این گستره بوده است؟ گسله‌هایی چون گسله‌ی مشا در شمال خاور تهران، گسله‌ی شمال تهران، و گسله‌ی طالقان در سوی شمال باختری شهر تهران (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه‌ی گسله‌های پویای گستره‌ی تهران و زمین‌لرزه‌های تاریخی منسوب به آن‌ها

(به نقل از: Berberian and Yeats, 2001)

پژوهش‌های «دیرینه لرزه‌شناسی» چند سال گذشته روی گسله‌های فیروزکوه، مشا، طالقان و شمال تهران، و محاسبه‌ی پارامترهای لرزه‌های روی‌دادهای ویرانگر لرزه‌ای کهن که حاصل جنبش بخش‌هایی از این گسله‌های بنیادین و پویای دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی است، بیانگر رخ‌داد لرزه‌هایی با ویژگی‌های بیشتر تکرارشونده با بزرگایی بین ۶/۵ تا ۷/۴ در مقیاس ریشتر است.

کلید واژه‌ها: دیرینه لرزه‌شناسی، ریخت زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت، دوره‌ی بازگشت، تهران، البرز.

مقدمه

از تاریخ اولین مطالعات علمی به نسبت دقیق در گستره‌ی تهران در سده‌ی گذشته، نزدیک به ۵۰ سال می‌گذرد [Rieben, 1955]. با استمرار مطالعات زمین‌شناختی و نوزمین‌ساختی در گستره‌ی تهران، «سازمان زمین‌شناسی کشور» پس از ۳۰ سال، گزارشی با نام گزارش تهران [Berberian et al, 1985] ارائه کرد که به تحلیل بزرگای این فاجعه با توجه به ویژگی‌های ناامیدکننده‌ی مهندسی این کلان‌شهر و ساختار زمین‌شناسی ناحیه‌ی یادشده می‌پرداخت. با پیشرفت روزافزون دانش در زمینه‌ی لرزه‌ی زمین‌ساخت و زمین‌شناسی زمین لرزه‌ها، به‌ویژه در ۱۵ـ۱۰ سال گذشته، شاخه‌ای نو از این علوم با نام دیرینه لرزه‌شناسی توسط پژوهشگران علوم زمین به خدمت گرفته شد که با توجه به اهمیت بسیار دامنه‌های جنوبی البرز و کلان‌شهر تهران از دیدگاه تجمع انسانی ـ صنعتی و خطر زمین لرزه، از دیرینه لرزه‌شناسی به عنوان روشی مناسب در بازنگری و به روز سازی محاسبات و گزارش‌های پیشین می‌توان یاد کرد.

از دیرباز، حافظه‌ی تاریخ به‌ویژه در مناطقی چون ایران با داشتن تمدنی دیرینه، نگهبان و انتقال‌دهنده‌ی تاریخ و گستره‌ی تخریب و یا اثر روی‌دادهای کهنی چون زمین لرزه بوده است که در قالب نوشتارهایی چون سفرنامه، گزارش سفرا و اشعار، از پیشینیان به روزگار ما رسیده است. از دیگر سو در سده‌ی بیستم، با ساخت و بهینه‌سازی قابل توجه و به نسبت سریع ابزارهای لرزه‌نگاری دست‌کم در ۴۰ـ۳۰ سال گذشته، پژوهشگران به شناخت قابل توجه‌ای از ماهیت و چگونگی فیزیک پوسته‌ی زمین و ارتباط آن با زمین‌لرزه‌ها، در عهد حاضر که از آن با نام زمین‌لرزه‌های دستگاهی یاد می‌شود، دست یافتند.

و یگانه هدف انسان از این همه، از دیرباز شناخت طبیعت و پیش‌بینی رخ‌دادهای طبیعی چون زمین‌لرزه بوده است. در این رهگذر، محدودیت‌های بسیاری با توجه به ویژگی‌های گوناگون جغرافیای طبیعی و انسانی پیش‌روی پژوهشگران این شاخه از دانش بوده و هست. افزون بر آن، نیاز بشر به شناخت روشی نو، مستقل و جدا از تاریخ و روایت‌های گاه مخدوش آن از سویی، و محدودیت‌های دستگاهی به‌ویژه در نیمه‌ی آغازین سده بیستم در ثبت پارامترهای زمین‌لرزه‌ای از دیگر سو، سبب ابداع و به‌کارگیری روشی نو از مجموعه دانش علوم زمین با نام «دیرینه لرزه‌شناسی»[1] در دهه‌ی ۸۰ میلادی شد که به سرعت در دهه‌ی پسین، مراحل رشد و تکامل خود را با فراهم آمدن اسباب مطالعات گسترده روی پاره گسله‌های سیستم گسله‌ی پویایی «سان آندراس»[2] در آمریکا طی کرد [McCalpin, 1996].

از آن پس، دیرینه لرزه‌شناسی حلقه‌ی رابطی شد، از سویی بین پژوهش‌های معمول لرزه زمین‌ساختی با عنوان «ریخت زمین‌ساخت»[3] و «نوزمین ساخت»[4] که گرچه گستره‌ی عمل آن‌ها در بازه‌ی زمانی کواترنری (دو میلیون سال) است، ولی هم‌چنان از محدوده‌ی زمانی عهد حاضر و روی‌دادهای آن بسیار دور هستند، و از سوی دیگر، یافته‌های مربوط به رخ‌دادهای بسیار نزدیک پژوهشگران در زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی که محدود به حافظه‌ی کوتاه‌مدت تاریخ (حدود پنج هزار سال) است.

ایران، با داشتن پوسته‌ای جوان و پرتکاپو و با توجه به جایگاه طبیعی ویژه‌ی آن در کمربند لرزه‌خیزی آلپ ـ هیمالیا و سابقه‌ی درازمدت تاریخی و لرزه‌خیزی، یکی از مناسب‌ترین نواحی برای پژوهش در زمینه‌ی تکتونیک پویا و زمین‌شناسی زمین لرزه‌ها به شمار می‌رود. بر این اساس، پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی روی گسله‌های پویا و بنیادینی چون طالقان، مشا و شمال تهران، و به‌دنبال آن‌ها فیروزکوه و ری آغاز شد و در پاره‌ای موارد به سرانجام رسید. نزدیکی گسله‌های یادشده به عنوان چشمه‌های احتمالی زمین‌لرزه‌ی آتی به گستره‌ی تجمع انسانی ـ صنعتی و قطب سیاسی و اداری کشور (تهران)، اهمیت انجام پژوهش‌هایی از این دست را در گستره‌ی تهران آشکار می‌سازد.

روش اجرای پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی

دیرینه لرزه‌شناسی، علم بررسی و به تقویت کشیدن زمین‌لرزه‌های کهن، یا به عبارت دیگر، پیش از تاریخ است که در راستای شناخت پارامترهای بسیار اساسی و کلیدی چون بزرگای زمین‌لرزه، و مکان و زمان رخ‌داد، به زمین‌شناسی زمین‌لرزه‌ها می‌پردازد. به بیان دیگر، دیرینه لرزه‌شناسی را می‌توان نوعی جراحی روی سطح گسله‌ی لرزه‌زا در راستای شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی زمین‌لرزه‌های کهن به‌شمار آورد که به طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب محل مناسب[5]؛

۲. اجرای ترانشه‌های عمود و یا موازی بر پرتگاه گسله[6]؛

۳ . شبکه‌بندی و نقشه‌برداری شاخص‌های زمین‌شناسی از دیواره‌ی ترانشه[۷] ؛

۴ . نمونه‌برداری و تعیین سن به روش‌های رادیوکربن و یا لومینسانس[۸] ؛

۵ . بازسازی سناریوی زمین‌لرزه‌های کهن روی داده و تفسیر داده‌ها .[۹]

گام اول : از آن‌جا که سطح گسیخت لرزه‌های کهن[۱۰] ، از جمله ناپایدارترین ریخت‌واره‌های زمین است که به دلایل گوناگون طبیعی و انسانی به سرعت ناپود می‌شود، یافتن مکانی مناسب با ویژگی‌های مورد نظر پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی (از جمله داشتن پرتگاه گسله‌ی آشکار و نهشته‌های آلی- ریزدانه و جوان) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که گاه در عمل بسیار مشکل می‌نماید . برای مثال، در طول ۱۱۰ کیلومتر درازای گسله‌ی شمال تهران، پس از سال‌ها پژوهش و بررسی روی تصاویر ماهواره‌ای و هوایی افزون بر مطالعات صحرایی در مقیاس‌های گوناگون، تنها دو سه محل برای اجرای این پژوهش‌ها مناسب دانسته شده است .

در این مرحله، زمین‌شناسان با به‌کارگیری دانش ریخت زمین‌ساخت، ابزارهای دقیق نقشه‌برداری و ثبت دقیق جنبش بلوک‌ها و پهنه‌های گوناگون چون GPS، سعی در انتخاب محل مناسب برای اجرای عملیات حفاری و ترانشه‌زنی دارند . وجود عوامل گوناگون مؤثر بر ریخت‌واره‌های ناشی از زمین‌لرزه، چون شکل پرتگاه گسله، سطح گسیخت و محدودیت‌های شناخت دقیق آن‌ها، این گام از مطالعات را از جمله مراحل بسیار اساسی و پرریسک در پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی ساخته است .

گام دوم : شامل اجرای عملیات ترانشه‌زنی روی گسله‌ی مشخص شده در مرحله‌ی نخست پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی است . ترانشه‌های دیرینه لرزه‌شناسی با توجه به هندسه و ساز و کار گسله‌ی هدف، به صورت عمود و موازی بر پرتگاه و خط اثر گسله، اجرا می‌شوند . درازا و ژرفای این گونه ترانشه‌ها، ارتباط ناگسستنی با ویژگی‌های هندسی حوضه‌ی به تله افتاده[۱۱]، اثر گسیخت سطحی هنگام زمین‌لرزه‌ی کهن و ویژگی پرتگاه گسله دارد .

درازای این ترانشه‌ها، گاه به ۱۰۰ متر و ژرفای آن‌ها به بیش از ۱۰ متر می‌رسد . ترانشه‌زنی با روش‌های گوناگون به صورت دستی و یا با بهره‌گیری از ماشین‌آلات حفاری قابل اجراست .

امروزه، ترانشه‌های متداول به دو سیستم ژاپنی (شکل ۲) با دیواره ۴۵° و غربی (شکل ۳) با دیواره قائم هستند که هر کدام با توجه به قابلیت‌ها و برتری‌های خاص خود، در این مطالعات به‌کار گرفته می‌شوند . سایت پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی تهران، بررسی شاخه‌ای از گسله‌ی شمال تهران را با داشتن ترانشه‌ای به درازای بیش از ۷۰ متر، ژرفای نزدیک به ۵ متر و پهنایی نزدیک به ۴ متر، برعهده دارد . این ترانشه یکی از بزرگ‌ترین و با توجه به دستاوردهای آن، یکی از مهم‌ترین ترانشه‌ها از این نوع است

شکل ۲ . اجرای ترانشه‌ی دیرینه لرزه‌شناسی به روش ژاپنی (به نقل از : McCalpin, 1996)

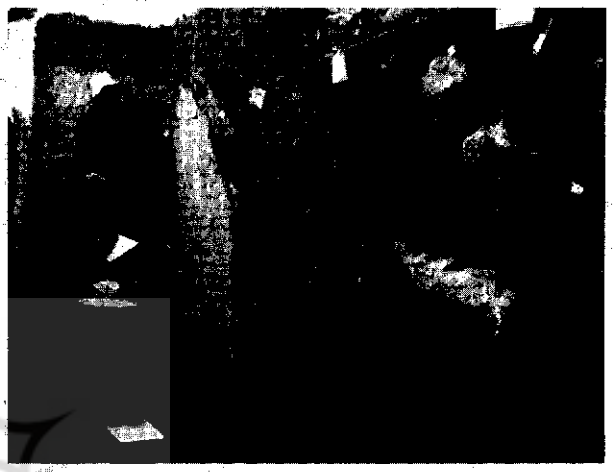
(شکل ۳) .

گام سوم : در این مرحله، پس از حفر ترانشه در اندازه‌ی

شکل ۳ . اجرای ترانشه دیرینه لرزه‌شناسی به روش غربی پایگاه پژوهشی گسله‌ی شمال تهران (به نقل از : Nazari, 2006)

مناسب، در صورت موفقیت ترانشه‌زنی متناسب با اهداف اولیه‌ی عملیات، دیواره‌ی طولی ترانشه در اندازه‌ی ۱×۱ متر، با بیشینه‌ی خطایی برابر ۵mm به‌وسیله‌ی رشته‌های نایلونی و یا فلزی شبکه‌بندی و شماره‌گذاری می‌شود. از این پس با بهره‌گیری از شبکه‌ی اجرا شده روی دیواره‌ی ترانشه، تمامی عوارض و واحدهای دیواره نسبت به نقطه‌ی ۰/۰ ترانشه (گوشه‌ی سمت چپ و پایین شبکه‌ی ایجاد شده) دارای مختصات و مرجع y و x هستند (شکل ۴).

«لوگینگ»[12] یا نقشه‌برداری دیواره‌ی شبکه‌بندی شده‌ی

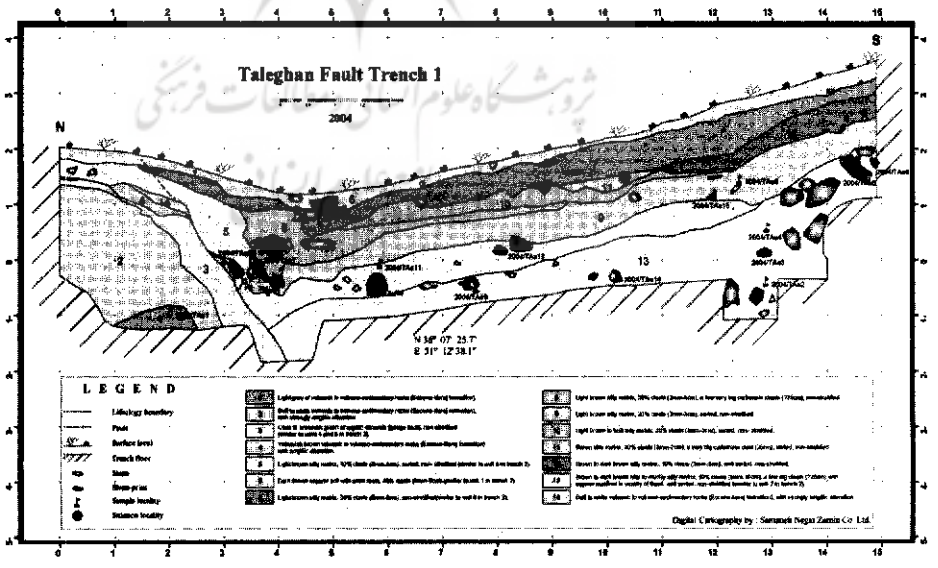


شکل ۴. اجرای ترانشه‌ی دیرینه لرزه‌شناسی به روش غربی در پایگاه پژوهشی گسله‌ی طالقان در بلندایی بیش از ۳۳۰۰ متر از سطح دریا (به نقل از: Nazari, 2006)

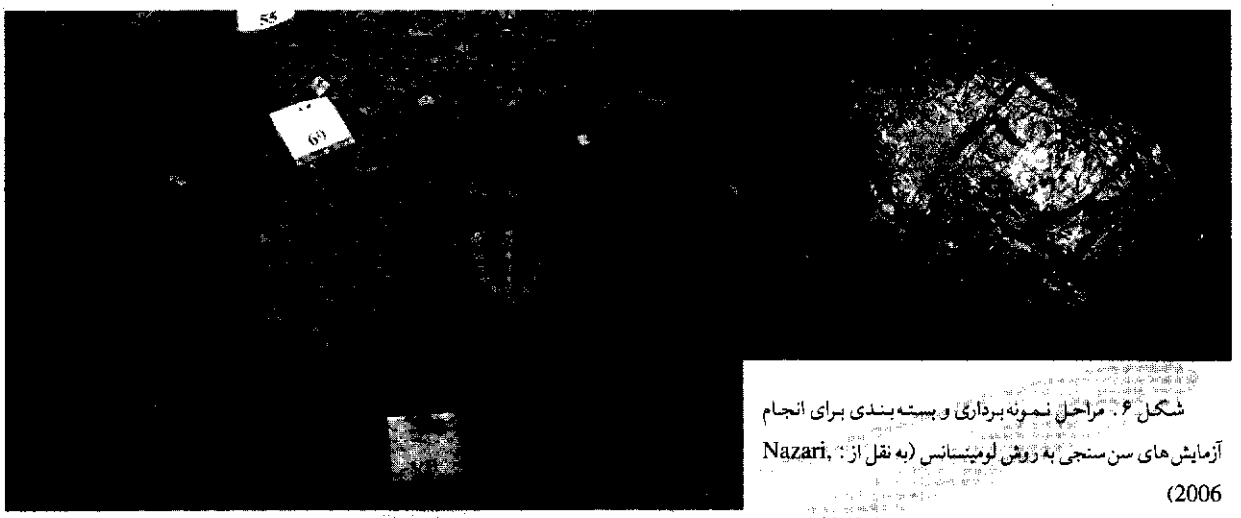
ترانشه، به تمامی مراحلی گویند که شمال تفکیک واحدهای گوناگون از دیدگاه رسوب- چینه‌ای است. تفکیک واحدها با استفاده از ثبت علائمی بر مرز واحدها، با روبان‌های کوچک رنگی با نام پرچم انجام می‌شود (شکل ۵).

گام چهارم: پس از نقشه‌برداری از دیواره‌ی ترانشه، در راستای شناسایی شواهد دیرینه زمین‌لرزه‌ها، با توجه به جنس نهشته‌های کواترنری و متشکله‌های درون آن، به‌منظور تعیین سن واحدهای گوناگون و پیرو آن، زمان روی‌داد زمین‌لرزه‌های کهن، برای انجام آزمایش‌های تعیین سن به روش‌های مرسوم برای نهشته‌های کواترنری نمونه‌برداری می‌شود. نمونه‌برداری برای رادیوکربن‌ها، روی ذرات آلی چون باقی‌مانده‌های چوب و استخوان و یا دیرینه خاک‌های آلی انجام می‌شود و درصورتی که نهشته‌های مورد مطالعه فاقد باقی‌مانده‌های آلی باشند، روش‌های دیگری چون «لومینسانس» روی نهشته‌های ماسه‌ای و یا سیلتی به‌کار گرفته می‌شود (شکل ۶). صفحه(۸)

گام پنجم: در مرحله‌ی پایانی، پس از تلفیق داده‌های حاصل از تعیین سن و بازسازی الگوی رخ‌دادهای کهن لرزه‌ای براساس انجام الگوی برگشتی[13] روی لوگ تهیه شده از دیواره‌ی ترانشه‌ها، با بهره‌گیری از روابط [Wells and Coopersmith, 1994]، بزرگای زمین‌لرزه‌های روی‌داده و دوره‌ی بازگشت آن‌ها محاسبه و تخمین‌زده می‌شود.



شکل ۵. لوگ ترانشه‌ی دیرینه لرزه‌شناسی گسله‌ی طالقان (به نقل از: Nazari, 2006)



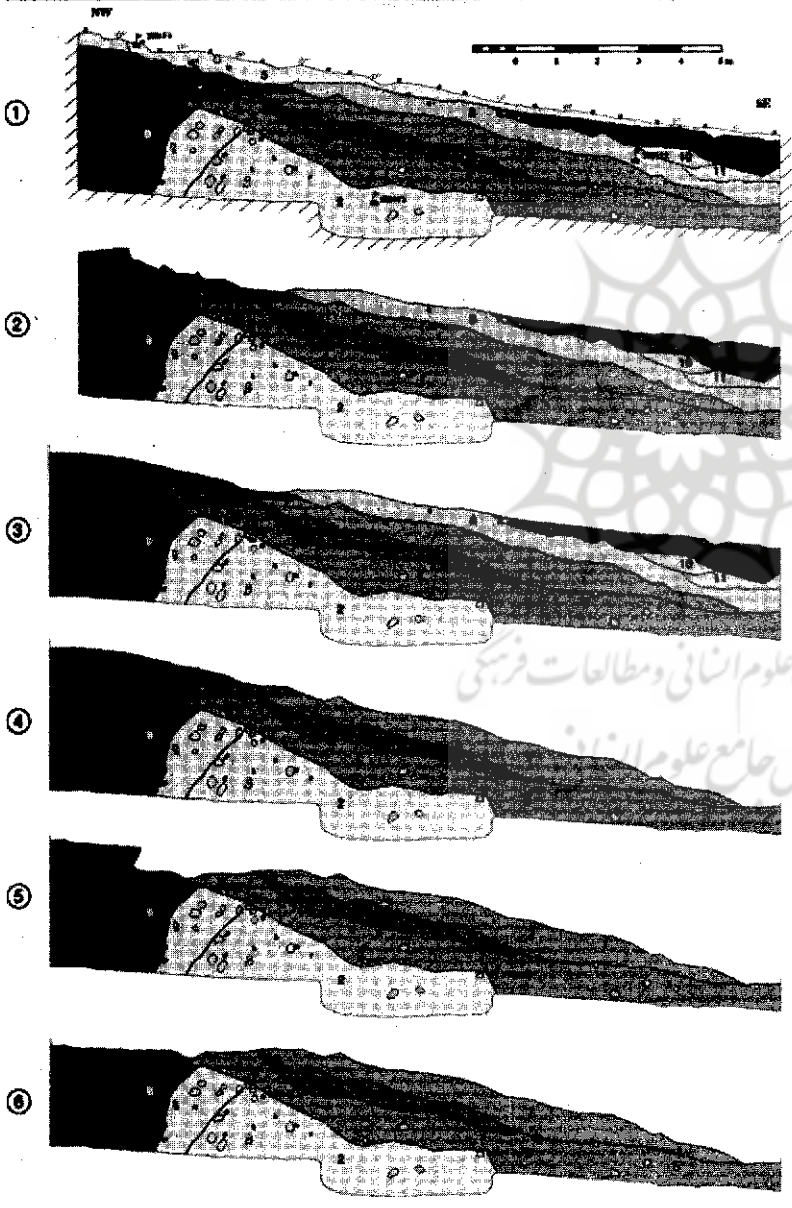
شکل ۶. مراحل نمونه‌برداری و بسته‌بندی برای انجام آزمایش‌های سن‌سنجی به روش لومینسانس (به نقل از : Nazari, 2006)

با شناخت دوره‌ی بازگشت زمین‌لرزه‌ها و بزرگای هر یک از آن‌ها، میزان لغزش و نرخ شکست روی سطح گسله را می‌توان محاسبه کرد (شکل ۷).

دیرینه لرزه‌شناسی در گستره‌ی تهران

این پژوهش‌ها به طور گسترده از شش سال پیش در قالب پروژه‌ای منسجم با همکاری‌های علمی-پژوهشی ایرانی-فرانسوی روی گسله‌های شمال تهران، طالقان، مشا، فیروزکوه و ری صورت گرفت. هدف این پژوهش‌ها، دست‌یابی به نرخ حرکت گسله‌های یادشده و محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت و بزرگای زمین‌لرزه‌ی احتمالی روی هر یک از گسله‌های پویای پیرامون تهران بود؛ گسله‌هایی که جنبش هریک از آن‌ها به تنهایی و یا به صورت گروهی، سبب ویرانی بخشی و یا تمامی گستره‌ی تهران می‌شود؛ رخ‌دادی که از آن با نام بزرگ‌ترین فاجعه‌ی طبیعی در طول تاریخ بشر یاد شده است.

حاصل پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی تهران با اجرای ۲۱ ترانشه (۷ عدد روی گسله‌ی فیروزکوه، شش عدد روی گسله‌ی مشای خاوری، پنج عدد روی گسله‌ی طالقان، ۲ عدد روی گسله‌ی شمال تهران و یک عدد روی پرتگاه موسوم به گسله‌ی شمال ری) عمود بر گسله‌های پویای گستره‌ی تهران عبارت است از: محاسبه‌ی بزرگای نسبی



شکل ۷. بازسازی و تحلیل پارامترهای دیرینه لرزه روی لوگ ترانشه‌ی دیرینه لرزه‌شناسی گسله‌ی فیروزکوه (به نقل از : Nazari, 2006)

بزرگ‌تر از ۶/۵ = Mw در مقیاس ریشتر [Ritz et al, 2003; Nazari, 2006] برای تمامی زمین‌لرزه‌های کهن، و دوره‌ی بازگشتی نزدیک به هزار سال برای جنبش دوباره روی گسله‌ی مشای خاوری [Ritz et al, 2003]، ۱۱۰۰ سال و ۳۰۰۰ سال برای جنبش دوباره‌ی گسله‌های طالقان و شمال تهران [Nazari, 2006]، به همراه سرعت لغزشی برابر mm/yrs ۲/۲ برای گسله‌های مشا [Ritz et al, 2003] و mm/yrs ۱ و mm/yrs ۰/۲۵، برای گسله‌های طالقان و شمال تهران [Nazari, 2006].

دستاورد

ثبت و اندازه‌گیری پارامترهای لرزه‌ای روی بیش از ۱۰ رخ‌داد لرزه‌ای کهن روی گسله‌ی مشا [Ritz et al, 2003]، هشت رخ داد لرزه‌ای روی گسله‌ی شمال تهران [Nazari, 2006]، چهار رخ‌داد لرزه‌ای روی گسله‌ی طالقان، و چهار رخ‌داد دیگر روی گسله‌ی فیروزکوه [Nazari, 2006]، و محاسبه‌ی زمان طی شده از تاریخ آخرین زمین‌لرزه‌ی تاریخی احتمالی روی داده در گستره‌ی تهران، افزون بر تأییدی مکرر بر لرزه‌خیزی این خطه از فلات ایران زمین، احتمال بسیار بالای رخ‌داد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای برابر با ۴/۷ـ۶/۵ = Mw در گستره‌ی تهران با پیشینه‌ی بازه‌ی زمانی برابر با دوره‌ی بازگشت زمین‌لرزه‌ها روی هر یک از گسله‌های پویای گستره‌ی تهران و پیرامون آن را آشکار می‌سازد. و از آن‌جا که دوره‌ی بازگشت رخ‌داد زمین‌لرزه روی گسله‌های یادشده در تمامی و یا بخشی از بازه‌ی زمانی خود با دیگر رخ‌دادهای احتمالی هم‌پوشانی دارند، از این‌رو از دیدگاه احتمال رخ‌داد خطر زمین‌لرزه‌ی احتمالی که گستره‌ی تهران و ساکنان آن را متأثر سازد، جدا از مقادیر محاسبه‌شده برای گسله‌ی عامل، به مراتب فراتر از مقادیر محاسبه‌شده برای هر یک از گسله‌ها به‌طور مستقل است.

* کارشناس ارشد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه لرزه زمین‌ساخت

زیرنویس

1. Paleoseismology
2. San Anderas
3. Morphotectonic
4. Neotectonic
5. Site selection
6. Trenching
7. Girding & Logging
8. Sampling and Dating
9. Interpretation & reconstruction of paleo-event
10. rupture
11. Sag pond
12. Logging
13. Iinversion method

منابع

1. Ambraseys, N. N., Melville, C. P. (1982). "A history of Persian earthquakes." Cambridge University press, New York: 219.

2. Berberian, M., Ghorashi, M., Arjangravesh, B., Mohajer Ashjaie, A. (1993). Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the great Ghazvin Region (In Persian), GSI: 61.

3. Berberian, M., Ghorashi, M., Argangravesh, B., Mohajer Ashjaie, A. (1985). Seismotectonic and Earthquake fault hazard investigations in the Tehran region (In Persian). Tehran, GSI.

4. Berberian, M., Yeats, R. S. (1999). "Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau." Bulletin of seismological Society of America 89 (1): 120-139.

5. Berberian, M., Yeats, R. S., (2001). "Contribution of archeological data to studies of earthquake hisoty in the Iranian Plateau." Journal of Structural Geology 23: 563-584.

6. McCalpin, J. P. (1996). Paleoseismology, New York, Academic Press.

7. 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'eau. Montpellier, Montpellier II: 247.

8. Rieben, E. H. (1955). "The geology of the Tehran plain." Am. J. Sci. (253): 617-639.

9. Ritz, J. F., Balescu, S., Soleymani, S., Abbassi, M., Nazari, H., Feghhi, K., Shabanian, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J. L., Massault, M., Chery, J., Vernant, P. (2003). Determining the long-term slip rate along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran. 4th. International Conferance on Seismology and Earthquake Engineering, (See 4), Tehran, Iran.

10. Wells, D. L., Coppersmith, K. J. (1994). "Emprical relationships among magnitude, rupture lenght, rupture area, and surface displacement." Bull. Seismo. Soc. Am. (84): 974-1002.