بررسی تحلیلی زمان احتمال رخداد زمین‌لرزه درگستره تهران: مروری بر پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی

حمید نظری [1*]

[1] استادیار، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۴

چکیده

تاکنون پژوهش‌های بسیاری با هدف به نقشه کشیدن سامانه‌های گسلی فعال پیرامون تهران با رویکرد برآورد خطر زمین‌لرزه احتمالی در آینده این کلان شهر به انجام رسیده است. اگرچه با توجه به نبود شناخت کافی از ژرفا و ماهیت لایه لرزه‌زا و همین طور فراهم نبودن داده‌های عددی از نرخ دگرشکلی پوسته، پیشینه و ویژگی‌های لرزه‌ای سرچشمه‌های لرزه‌زا همچون مکان احتمالی گسلش زمین‌لرزه‌ای، بزرگا و زمان رخداد در این پهنه لرزه‌زمین‌ساختی، انجام این مهم تاکنون به شایستگی مهیا نبوده است. با توجه به پژوهش‌های به سامان رسیده دهه گذشته در زمینه لرزه‌شناسی، ژئودینامیک و پارینه‌لرزه‌شناسی، در این پژوهش تلاش بر ارائه تحلیل و هم‌سنجی آماری برآمده از نتایج حاصل از پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در گستره البرز مرکزی است که روی گسل‌های بنیادین و پویای پیرامون تهران - گسل‌های آستانه، فیروزکوه، مشا، طالقان، شمال تهران، پیشوا و افرازهای شمال ری و کهریزک- به سرانجام رسیده است. گسل‌هایی که جنبش احتمالی هر یک از آنها را با توجه به هندسه، سازوکار و گستره مه لرزه‌ای اثر و تخریب احتمالی می‌توان زمین‌لرزه تهران نامید. از تلفیق و هم‌سنجی نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در گستره البرز مرکزی بیراه نخواهد بود اگر رخداد احتمالی زمین‌لرزه تهران را در وضعیت هشدار رخدادی با بزرگای احتمالی ۶/۵-۷/۲ در بازه زمانی ۵۰ سال برآورد کرد.

کلید واژه‌ها: احتمال خطر زمین‌لرزه، پارینه‌لرزه‌شناسی، تهران.

***نویسنده مسئول:** حمید نظری

E-mail: hamidnazari@hotmail.com

۱- پیش‌گفتار

پیش‌بینی زمان رخداد زمین‌لرزه‌های سترگ ویرانگر آینده و یا به‌عبارتی مناسب‌تر، برآورد احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های سترگ در گستره‌های تجمع انسانی و صنعتی ازآرزوهای دیرین انسان است که برخلاف گذشت سالیان دور و پیشرفت چشمگیر دانش و فناوری همچنان در هاله‌ای از احتمال باقی است. از زمین‌لرزه در کلان شهری چون تهران مانند کابوسی دهشتناک یاد شده است که هر از گاهی با جنبش دوباره بخش خفته‌ای از فلات ایران زمین رنگ تازگی به‌خود می‌گیرد. ولی آیا به‌راستی خطر زمین‌لرزه‌ای بزرگ ساکنان گستره تهران را با جمعیتی بیش از ۱۳ میلیون نفر (مرکز آمار ایران، گزارش سرشماری ۱۳۸۵ خورشیدی) هدف خود ساخته است؟ و در این صورت احتمال چنین رخدادی بر پایه داده‌های عددی و یافته‌های نوین فراهم آمده از زمین‌شناسی زمین‌لرزه در گستره البرز مرکزی چگونه قابل ارزیابی است؟ این مقوله‌ای است که پژوهشگران علوم‌زمین در شاخه‌های لرزه‌شناسی، نوزمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت با توجه به دریچه نگاه خود بدان پرداخته‌اند. بر پایه نوشتارهای تاریخی بربریان و همکاران (۱۳۷۱ الف و ۱۳۷۵) ;Tchalenko (1975) ; Ambraseys & Mellvile (1982); Berberian & Yeats(1999 & 2001) گستره تهران (ری باستان) در سال‌های دور زمین‌لرزه‌های بزرگی چون زمین‌لرزه‌های (M 7.9) 856 ، (M 7.7) 958 ، (M 7.1) 1830 و (M 6.5) 1665 میلادی را تجربه کرده است. اما به‌راستی کانون و چشمه لرزه‌زای کدامیک از این زمین‌لرزه‌ها در گستره یادشده قرار داشته و کدامیک از این رویدادها حاصلی از جنبش مستقیم گسل و یا گسل‌هایی در این گستره بوده است، گسل‌هایی مانند گسل مشا در شمال خاور تهران، گسل شمال تهران در شمال و گسل طالقان در سوی شمال باختری شهر تهران (شکل ۱).

در تدوین و راهبرد گسترش زیرساخت‌های کلان صنعتی و شهری که در کلان شهری چون تهران با مرکزیت سیاسی کشور نیز در پیوستگی کامل است نیاز به پاسخ و بیان کمی و تا حد ممکن دقیق به سه سؤال پایه (مکان رخداد زمین‌لرزه احتمالی درآینده، بزرگای این رخداد احتمالی و زمان چنین رویدادی) در هر پژوهش لرزه‌زمین‌ساختی است. بی‌گمان پاسخ به چنین سوالات بنیادین و پایه جز با شناخت هرچه بیشتر و بهتر از رفتار و پیشینه لرزه‌ای گسل‌های فعال منطقه به‌عنوان سرچشمه‌های لرزه‌ای در گستره مورد پژوهش ممکن نیست. بنابراین در پژوهش پیش روی بررسی ویژگی‌های هندسی و سازوکار گسل‌های البرز مرکزی در ابتدا نیاز به جدایش گسل‌های جنبا و لرزه‌زا از گسل‌های غیر فعال و کهن یعنی گسل‌های بدون نشان از جنبش جوان خواهد بود. این مهم فراهم نمی‌آید جز با هم‌سنجی داده‌های لرزه‌ای چند دهه گذشته (Jackson et al., 2002; Ashtari & Hatzfeld, 2005; Tatar et al., 2012)، ژئودتیک (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010) و داده‌های فراهم آمده از مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی که در مقیاس‌های گوناگون به انجام رسیده است (Tchalenko et al., 1974; Nazari ,2006; Abbassi & Farbod, 2009; Solaymani Azad et al., 2011).

۲- زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت گستره تهران

تهران پایتخت کنونی ایران زمین در دامنه‌های البرز مرکزی در همسایگی کهن شهر راگا «ری» در گذر حیات ۲۰۰ ساله خود با رشدی فزایند به بزرگ‌ترین مرکز تجمع انسانی و اقتصادی کشور تبدیل شده است. هم‌مکانی و تمرکز همزمان جمعیت، اقتصاد و محوریت سیاسی این شهر و گستره پیرامون آن به‌همراه گزارش‌های بسیار تاریخی که نشان از زمین‌لرزه‌های ویرانگر گذشته دور و نزدیک منسوب به‌گستره ری باستان (Berberian & Yeats, 1999 & 2001; Ambraseys & Mellvile, 1982) دارند، چالش و نگرانی درباره احتمال دوباره چنین رخدادی را پیوسته در چشم‌انداز آینده تهران و ساکنین آن قرار می‌دهد.

گستره تهران روی پهنه آبرفتی نهشته‌های فراهم آمده از تخریب و نشست دوباره واحدهای سنگی سنوزوییک در بلندای بخش مرکزی البرز در گستره‌ای نزدیک به $600\ km^2$ توسط گسل‌های بنیادین و جنبای چون گسل طالقان در (شمال باختری)،گسل شمال تهران وگسل مشا در (شمال خاوری)،گسل فیروزکوه(خاور)، گسل ایوان‌کی ـ پارچین (خاور)،گسل گرمسار(جنوب خاوری) و گسل پیشوا (جنوب) در برگرفته شده است، (شکل ۲). نتایج حاصل از پژوهش‌های ۱۰ساله گذشته در حوزه مطالعات لرزه‌شناسی (Tatar & Hatzfeld 2009;

(Tatar et al., 2007 & 2012 ; Zare et al., 1999)؛ ژئودتیک (GPS) (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010) و پارینه لرزه‌شناسی (Ritz et al., 2006 a,b; Nazari, 2006; Nazari et al., 2007 & 2008, 2009 a,b,) (2010 & 2011 a,b; Solaymani Azad et al., 2011; Solaymani Azad, 2009

در گستره البرز مرکزی با تمرکز روی ویژگی‌های لرزه خیزی کلان‌شهر تهران برای نخستین بار نه تنها امکان شناخت و برآورد مناسبی از رفتار و نرخ دگرشکلی پوسته و جنبش گسل‌های جنبا و لرزه‌زا فراهم آورده است که سبب بازخوانی دوباره داده‌های از پیش منتشرشده نیز شد (شکل ۲). نظر به اهمیت هندسه گستره لرزه‌ای و اثر یک زمین‌لرزه سترگ با سرچشمه خطی در برآورد احتمال رخداد زمین‌لرزه نیاز به بررسی نشانه‌ها، ویژگی‌ها و پیشینه لرزه‌ای گسل‌های جنبای پیرامون چون زمان، مکان و بزرگای گشتاوری زمین‌لرزه‌های کهن رخ داده از جنبش گسل‌های لرزه‌زا است، بنابراین با توجه به تاریخچه زمین‌لرزه‌های تاریخی منسوب به‌گستره سرزمین کلان شهر تهران و راستای عمومی گسل‌های جنبای پیرامون آن ناگزیر به مطالعه و بررسی گسل‌های جنبا در گستره‌های خاوری ـ باختری و بیضوی شکل با درازای تقریبی جغرافیایی شهرهای دامغان در خاور و قزوین در باختر هستیم (شکل ۲). در این میان بی‌گمان جنبش دوباره هر یک از گسل‌های آستانه، فیروزکوه، مشا و طالقان و یا سامانه گسلی شمال تهران به عنوان گسل‌های جنبا و لرزه‌زا با توجه به فاصله مکانی یا هندسه، سازوکار گسل و سوی بردارهای تنش سبب ویرانی و تخریب سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی یک گستره شهری می‌شود.

برپایه داده‌های ژئودتیک (GPS)، گستره البرز مرکزی در راستایی شمالی ـ جنوبی سالیانه پذیرای کوتاه‌شدگی نزدیک به 6mm و بـرش چپ‌گردی برابر با 3mm است (Djamour et al., 2010). در البرز بخش بیشتری از این دگرشکلی به صورت شکننده (Brittle) و روی صفحه‌های گسل شکل می‌گیرد (Masson et al., 2007). از این دگرشکلی شکننده که از رهایی ناگهانی تنش در نقاط سستی صفحه‌های جدایش رخ می‌نماید به‌عنوان زمین‌لرزه یاد می‌شود. درگذشته تاریخی گستره مورد پژوهش برخلاف داده‌های دستگاهی سده بیستم موارد بسیاری از زمین‌لرزه‌های ویرانگر چون زمین‌لرزه‌های 856AD کومس (M 7.9, Io X) و 958AD طالقان (M 7.7, Io X) را می‌توان پی‌گرفت که از آنها با عنوان بزرگ‌ترین رخدادهای لرزه‌ای در تاریخ این سرزمین یاد شده است (Ambraseys & Mellvile,1982; Berberian & yeats, 1999 & 2001).

در بازخوانی کاتالوگ لرزه‌ای سده گذشته و ۱۰ ساله آغازین سده بیست ویکم در گستره البرز مرکزی، بیش از ۵ زمین‌لرزه با بزرگای میانه و سترگ نمی‌توان یافت، که با زمین‌لرزه سنگچال ۱۹۵۷ AD در محور هراز در شمال خاوری تهران آغاز و به زمین‌لرزه ۲۰۰۴ فیروزآباد کجور در ۷۰کیلومتری شمال پایتخت پایان می‌پذیرد (شکل ۲).

در برآورد خطر لرزه‌ای، همزمان با شناخت هندسه و سازوکار گسل‌های جنبا (Nazari et al.,2005) نیاز به‌تطابق داده‌ها و گزارش زمین‌لرزه‌های تاریخی و سرچشمه لرزه‌ای هریک به‌عنوان گسل لرزه‌زای مسبب رخداد و همچنین تعیین تعداد و آخرین رخداد لرزه‌ای کهن روی هر یک گسل‌های جنبا است. براین پایه پژوهش‌های بسیاری با بهره‌گیری و اجرای گسترده مطالعات پارینه لرزه‌شناسی روی گسل‌هایی چون گسل آستانه در شمال دامغان، گسل فیروزکوه در همبری جنوبی شهر فیروزکوه و گسل مشا در ادامه باختری آن به‌سوی تهران در کنار گسل‌های طالقان در شمال باختری کرج و گسل پیشوا و افرازهای منسوب به "گسل"های شمال ری و کهریزک پارامترهای لرزه‌ای شامل تعداد رخداد لرزه‌ای، بزرگای آنها، زمان نسبی رخداد و زمان گذشته از آخرین رخداد لرزه‌ای منسوب به‌گسل‌های یادشده فراهم آمد.

از اجرای مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی که روی گسل آستانه (شمال دامغان) با درازای 100KM و راستای NE-SW و نرخ لغزشی نزدیک به 2mm/y (Rizza, 2010) انجام شده است، (شکل ۳) با روش‌های لومینسانس نوری وکربن 14 رخداد دست کم ۳ زمین‌لرزه سترگ دربازه زمانی ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ سال حاصل از جنبش چند باره همه و یا بخش‌هایی از گسل آستانه آشکار می‌شود (Hollingsworth et al., 2010; Rizza et al., 2011) که از این میان به مهم‌ترین آنها می‌توان به‌زمین‌لرزه 856AD کومس که سبب ویرانی بقایای شهر صد دروازه اشکانی و کومس در جنوب باختری دامغان کنونی اشاره داشت (Hollingsworth et al., 2010) .

گسل فیروزکوه با درازای ۵۵ کیلومتر و راستای NE-SE و راست پله نسبت به گسل آستانه در دامنه شمالی بلندی‌های جنوب فیروزکوه قابل مشاهده است (شکل ۴). نرخ لغزش سالیانه برآورد شده برای گسل فیروزکوه نیز حدود 2mm/y و مشابه گسل‌های آستانه و مشا در دو سوی خاوری و باختری آن است (Nazari et al., 2011b). به عنوان مهم‌ترین زمین‌لرزه روی داده در گستره گسل فیروزکوه می‌توان به زمین‌لرزه ۱۹۹۰ گدوک (M 5.8 , I0 VII) اشاره داشت (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵؛ نظـری و همکاران، ۱۳۹۰). بر خلاف کمبود داده‌های لرزه‌ای دستگاهی، پژوهش‌های انجام شده روی این گسل لرزه‌زا دست کم نشان از رخدادهای لرزه‌ای چهارگانه‌های درگذشته لرزه‌ای این سامانه لرزه‌زا دارد که از این میان آخرین رخداد لرزه‌ای با توجه به سن به‌دست آمده از استخوان بقایای انسانی باید در دوره‌های زمانی پس از 799AD است (Nazari et al., 2013؛ نظری و همکاران، ۱۳۹۰) که در کاتالوگ تاریخی زمین‌لرزه‌ها از آن هیچ‌گونه نشانی یافت نمی‌شود (Ambraseys & Melville, 1982).

باتوجه به‌بازه خطای احتمالی موجود در نتایج آزمایش‌های تعیین سن مطلق، آرایش هندسی و موقعیت جغرافیایی دو گسل آستانه و فیروزکوه نسبت به یکدیگر و همین طور جایگاه جغرافیایی ری باستان پیوسته احتمال همسانی و یا هم‌اثری رخداد زمین‌لرزه‌های 856AD کومس که منسوب به گسیخت و جنبش گسل آستانه دانسته شده است و زمین‌لرزه 799AD فیروزکوه که حاصل از جنبش گسل فیروزکوه در بازه زمان تقریبی ۵۰ سال پیش از زمین‌لرزه کومس رخ داده است قابل تأمل است (Nazari et al., 2011b & 2013).

از آنجا که برپایـه گزارش‌هـای زمین‌لـرزه‌های تـاریخی (Ambraseys & Melveille, 1982; Berberian & Yeats, 1999 & 2001) به‌احتمال بسیار شهر ری باستان در جنوب باختری در حاشیه باختری گستره مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌ای856AD کومس قرار داشته است، بنابراین شاید بتوان براین پندار تأکید کرد که در هنگام رخداد زمین‌لرزه کومس هر دو گسل آستانه و فیروزکوه با درازای کل تقریبی 150 Km~ فعال وگسیخته شده است که در این حالت نظر به‌موقعیت شهر ری نسبت به پایانه باختری گسل زمین‌لرزه‌ای آستانه و فیروزکوه (Nazari et al.,2011b) این شهر در شوم‌ترین شرایط برای ویرانی قرار داشته است. از این‌رو با توجه به بزرگای برآورد شده برای زمین‌لرزه‌های منسوب به‌گسل‌های یادشده بی‌گمان جنبش دوباره گسل‌های آستانه و فیروزکوه برای کلان شهر تهران به‌عنوان یک تهدید لرزه‌ای مهم به‌شمار می‌رود.

با گذر به‌سوی باختر از پایانه باختری گسل فیروزکوه، گسل مشا برپایه داده‌های لرزه‌ای دستگاهی از جنباترین گسل‌ها با خطر لرزه‌ای برای تهران در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵). گسل مشا خاوری با درازای 100Km و راستای تقریبی EW دارای نرخ لغزش میانه‌ای حدود 2mm/y است که نشانه‌هایی از رخداد ۱۰ زمین‌لرزه سترگ را در گذشته ده هزار ساله خود به‌همراه دارد که به‌عنوان آخرین زمین‌لرزه از آن میان می‌توان به‌زمین‌لرزه دماوند 1830AD (Ms 7.1,Io IX) اشاره داشت. (Nazari et al., 2007; Ritz et al., 2003; Solaymani Azad, 2009) انتقال تنش راستالغز چپ‌گرد از البرز خاوری به باختر البرز مرکزی در بلندی‌های درونی البرز مرکزی از سامانه گسل‌های آستانه، فیروزکوه و مشا به گسل طالقان منتقل می‌شود، (Nazari et al., 2007 & 2009a) (شکل ۶).

پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه لرزه‌شناسی روی گسل طالقان موفق به‌تعیین نرخ لغزش برشی 1mm/y وکششی نزدیک به 0.5mm/y برروی؛ این گسل ۹۰ کیلومتری با راستای خاوری باختری شد (Nazari et al., 2007؛ نظری و ریتز،۱۳۸۸) (شکل ۷). تعیین نشانه‌های رخداد از ۴ زمین‌لرزه سترگ در یک بازه زمانی پنج هزارساله در ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی اجرا شد. روی این گسل افزون‌بر شناخت گسل طالقان به‌عنوان سرچشمه لرزه‌ای زمین‌لرزه 958AD طالقان - ری (M 7.7, Io=X) نشانه‌هایی از اثرات سنگ افت حاصل از لرزش زمین ناشی از زمین‌لرزه 1665 AD(Ms 6.5, Io=XIII) که حاصل جنبش گسل مشا دانسته شده است را نیز به نمایش گذارد(Nazari et al., 2009a) .

باتوجه به پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی انجام شده در بخش درونی البرز مرکزی روی گسل‌های طالقان، مشا، فیروزکوه و آستانه می‌توان چنین انگاشت که مؤلفه کششی دیده شده روی این گسل‌ها از باختر به خاور نزدیک بـه هشت برابر کاهش می‌یابد (Ritz et al., 2003 & 2006b; Nazari, 2006; Nazari et al., 2009a & 2013; Rizza et al., 2011).

نزدیک‌ترین گسل جنبا به‌گستره شهری تهران از دیدگاه جغرافیایی گسل شمال تهران است که با درازای نزدیک به 110km و دست کم با دو راستای تقریبی EW در بخش خاوری و NW-SW دربخش باختری به‌صورت یک پهنه گسل و ساختار نردبانی از مرز کوه و دشت در جنوب بلندی‌های شمال تهران تا جنوب گسل‌های پیش‌رونده در سطح شهر قابل مشاهده است (شکل ۸). اگرچه به‌نظر می‌رسد که امروزه به‌طور کلاسیک گسل شمال تهران در مرز کوه دشت که سبب راندگی سنگ نهشته‌های سازند کرج روی نهشته‌های یخچالی کواترنری آغازین شده است در شمار گسل‌های جنبا قرار نمی‌گیرد و فعالیت آن روی شاخه‌های جنوبی آن منتقل شده است (Nazari, 2006; Nazari et al., 2011a; Abbassi & Farbod, 2009; Ritz et al., 2012)، ولی به هر روی با توجه به ژرفای لایه لرزه‌زا در البرز مرکزی (Tatar et al., 2012) باید پذیرفت که رهایی و شکست پایانی در هنگام رخداد زمین‌لرزه احتمالی آتی روی صفحه اصلی گسل شمال تهران خواهد بود، اگرچه گسلش وگسختیت سطحی زمین‌لرزه روی هر یک از شاخه‌های پیشرونده آن چون گسل میلاد (Nazari et al., 2005 & 2008; Ritz et al., 2012) و یا گسل‌های نیاوران ومحمودیه (Abbassi & Farbod, 2009 Solaymani Azad et al.,2011) قابل تصور خواهد بود (شکل۸).

تاکنون پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناختی چندی روی بخش‌های گوناگون پهنه گسلی شمال تهران اجرا شده است. افزون بر داده‌های ارائه شده از رخنمون‌های سطحی گسلش جوان که سبب گسیخت و جابه‌جایی نهشته‌های سازندهای کواترنری و جوان در پهنه آبرفتی دشت تهران در دست است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱ ب) روی یکی از افرازهای گسلی این سامانه گسلی با بلندای نزدیک به ۴ متر در منطقه وردآورد کرج یکی از بزرگ‌ترین ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی ایران به اجرا درآمد (Nazari, 2006) (شکل ۹).

نتایج برآمده از این مطالعات نشان از رخداد تا ۹ زمین‌لرزه سترگ در گذشته ۳۰ هزار ساله این گسل دارد. بهره‌گیری از روش تعیین سن لومینسانس نوری(OSL)، امکان تعیین بازه زمانی هر رخداد را آشکار ساخته و امکان تطابق سنی چینه‌ای یکی از واحدهای سرخ چینه‌ای را به‌عنوان لایه کلیدی در گستره آبرفتی تهران فراهم آورده است. مطالعات پارینه‌لرزه‌شناسی در منطقه وردآورد کرج با داده‌های برآمده از ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در دوسوی باختر (Nazari et al., 2011b) و خاور به‌ویژه در برشی از منطقه چیتگر (کاوه و همکاران، ۱۳۹۱) که با هدف تعیین تعداد و بزرگای رخداد و همین‌طور درازای گسلش سطحی در زمان رخداد لرزه‌ای کهن اجرا و مقایسه شد.

بر پایه پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی نرخ لغزش گسل شمال تهران در راستای شمالی ـ جنوبی نزدیک به 0.5mm/y برآورد شده است (Nazari et al., 2008; Nazari et al., 2011a ; Ritz et al., 2012 ; Nazari, 2006) باتوجه به الگوی هندسی و سازوکار گسل‌های جنبای بخش درونی البرز مرکزی چون گسل مشا و پهنه گسلی شمال تهران می‌توان گفت که این میزان از نرخ حرکت به‌سوی بخش‌های خاوری‌تر این پهنه گسلی به‌عنوان کمینه نرخ حرکت ولی با سازوکار چیره برشی چپ‌گرد نسبت به سازوکار فشاری آشکار می‌شود.

از دیگر گسل‌هایی که در بخش‌های جنوبی پهنه آبرفتی کوهپایه‌های تهران با راستای شمال باختری ـ جنوب خاوری و درازای ۶۰ کیلومتر از نزدیکی شهر پیشوا در سوی باختر و مسیل رودخانه جاجرود در سوی خاور روی تصاویر ماهواره‌ای و هوایی به‌خوبی قابل مشاهده است، پیش از این با نام گسل پیشوا به نقشه در آمده است (بربریان وهمکاران، ۱۳۷۱ الف). گسل پیشوا با شیب به‌سوی شمال و سازوکار چیره فشاری به همراه مؤلفه دوم چپ‌گردی در گذشته تکوین خود سبب بالا آمدگی واحدهای سنگی نئوژن در قالب ساختار چین و گسل شده است (شکل۱۰). مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی مقدماتی روی گسل پیشوا افزون‌بر شناخت سازوکار فشاری چیره به همراه سازوکار برشی چپ‌گرد برای این گسل موفق به تعیین دقیق هندسه گسل در یک برش سه‌بعدی فراهم آمده در ترانشه‌های متقاطع شد (مجیدی نیری و همکاران، ۱۳۹۰). رخداد دست کم چهار زمین‌لرزه‌های سترگ وکهن با بزرگای بیش از 6.5 از مطالعه لوگ ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی گسل پیشوا استنتاج شده است (مجیدی نیری وهمکاران، ۱۳۹۰) که از آن میان می‌توان به آخرین و جوان‌ترین رخداد لرزه‌ای که قابل برابری و هم‌سنجی با زمین لرزه 1384AD است و سبب ویرانی شهر ری در سده‌های میانه شده است، اشاره کرد. پیش از این با توجه به جایگاه جغرافیایی ری باستان به‌عنوان مهم‌ترین مرکز شهری که پیوسته با نشانه‌های اسکان و توسعه در دوهزاره پیشین همراه بوده است بیشتر زمین‌لرزه‌های اشاره شده در گزارش‌های به‌جای مانده تاریخ منسوب به " گسل‌های" شمال ری و جنوب ری و همین‌طور " گسل" کهریزک دانسته شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱ الف؛ Berberian & Yeats, 1999; Ambraseys & Melville, 1982). همان گونه که حتی امروزه روی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای در مقیاس‌های گوناگون قابل دیدن است بلندترین افراز با راستای خاوری ـ باختری در جنوب شهر ری با نام افراز کهریزک شناخته می‌شود. پیش از این افراز کهریزک در شمار افرازهای گسلی شناخته‌شده که با توجه به‌جایگاه جغرافیایی آن نسبت به تهران و ری از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی از اهمیت بسیار برخوردار دانسته شده و به‌عنوان سرچشمه پاره‌ای از زمین‌لرزه‌های کهن منسوب به منطقه ری در نظر گرفته شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱ الف ;De Martini et al., 1998) (شکل‌های ۱ و ۲).

اگرچه در سالیان اخیر پژوهش‌های اخیر ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی در تلفیق با مشاهدات زیر سطحی ژئوفیزیکی افراز کهریزک را در شمار افرازهای به‌جای مانده (در تراز ۱۰۰۰متری از سطح دریا) از خط اثر نوسانات سطح آب در کرانه‌های یک دریاچه کهـن در کواترنری پسیـن دانسته‌اند (Nazari et al., 2010؛ نظری و همکـاران، ۱۳۸۸).

افرازهای شمالی‌تر نسبت به افراز کهریزک نیز که در ترازهای 1050,1095 متر همچنان کم و بیش قابل دیدن هستند، نیز درگذشته باعنوان " گسل" جنوب ری و "گسل" شمال ری یاد شده است. اگرچه از افرازهای شمال و جنوب ری با درازای تقریبی هر یک نزدیک به ۲۰کیلومتر و راستای عمومی خاوری- باختری (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱ الف) اثر چندانی در سطح زمین به‌جای نمانده است ولی در مورد این افرازها نیز پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی، پارینه‌لرزه‌شناختی و ژئوفیزیکی انجام شده در دهه اخیر آنها را چون افـراز کهریـزک منطبـق بـر ریـخت‌وارهـای کرانـه‌ای و دریاچـه‌ای در نـظر می‌گیـرد (Nazari et al., 2010؛ نظری و همکاران، ۱۳۸۸).

بازنگری در ماهیت و چرایی وجود افرازهای جنوب تهران و شناخت همزمان سرچشمه لرزه‌ای پاره‌ای زمین‌لرزه‌های کهن که پیش از این منسوب به جنبش "گسل"های ری و کهریزک دانسته شده‌اند از مهم‌ترین نتایج برآمده از مطالعات هدفمند و سیستماتیک ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناختی است که با هدف برآورد احتمال خطر یک زمین‌لرزه بزرگ درآینده پیش روی و نه چندان دور کلان شهری چون تهران به‌شمار می‌رود.

از دیگر داده‌های موجود از پژوهش‌های مقدماتی پارینه‌لرزه‌شناسی می‌توان به ترانشه حفر شده عمود بر راستای خاوری ـ باختری گسل جنوب اشتهارد از سامانه گسلی ایپک (شکل ۱)، در جنوب باختری کرج اشاره داشت. از گسل جنوب اشتهارد که از آن به عنوان سرچشمه زمین‌لرزه ۱۳۴۱ بوئین زهرا (بلورچی، ۱۳۷۶) یاد می‌شود. این پژوهش با بهره‌گیری سفال‌های یافت شده در ترانشه اشتهارد و برآورد نسبی زمان باستان شناختی آنها، به رخداد ۱۰ پارینه‌لرزه در پیشینه لرزه‌ای گسل جنوب اشتهارد در بازه زمانی ده هزارساله گذشته آن اشاره دارد. بر این پایه آخرین زمین‌لرزه کهن ثبت شده روی گسل جنوب اشتهارد با نرخ لغزشی نزدیک 0.5mm/y به ۸۰۰–۹۰۰ سال پیش بازگردد.

اگرچه جایگاه جغرافیایی، هندسه و سازوکار گسل‌هایی چون گرمسار و پارچین ـ ایوان‌کی نسبت به‌گستره شهری تهران و شهرهای پیرامون آن نقش و اهمیت آنها را در برآورد خطر لرزه‌ای انکارناشدنی می‌نماید، (شکل ۱) ولی شوربختانه به‌سبب محدودیت‌های گوناگون تاکنون به‌خلاف انجام پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی که گاه با دستاوردهای قابل توجه‌ای نیز همراه است (هروی و همکاران،۱۳۹۲) هیچ‌گونه پژوهش پارینه‌لرزه‌شناختی روی هیچیک از گسل‌های یادشده به‌انجام نرسیده است. از دیدگاه تاریخی زمین‌لرزه 743 AD (Ms 7.2, Io VIII) بیشتر درگستره اثر گسل گرمسار دانسته شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۱ الف Ritz et al., 2012) (شکل ۱).

اگرچه گمانه نسبت دادن سرچشمه خطی و حتی تعیین موقعیت دقیق کانون زمین‌لرزه برای زمین‌لرزه‌های با بزرگای کوچک به‌درستی شدنی نمی‌نماید ولی نظر به‌موقعیت مکانی کانون سطحی زمین‌لرزه ۱۷ اکتبر ۲۰۰۹ (ML 3.9)، و ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی گستره رخداد لرزه‌ای شاید بتوان چنین انگاشت که این زمین‌لرزه از جنبش گسل ایوان‌کی و یا گسل پارچین روی داده است (Nazari et al., 2010) (شکل ۱).

۳–بحث و نتیجه گیری

تلفیق و هم‌سنجی داده‌های برآمده از پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی روی بیشتر گسل‌های پیرامون تهران بزرگ (شکل ۱۱) ارائه‌کننده داده‌هایی چون نرخ لغزش گسل، تعداد رخداد لرزه‌ای و بزرگای برآورد شده برای زمین‌لرزه‌های کهن ناشی از جنبش لرزه‌ای هر یک ازآنها در بازه زمانی چند هزارساله است. شناخت ویژگی‌های لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های کهن به همراه بازه زمانی آخرین رخداد و زمان طی شده از رویداد آخرین زمین‌لرزه شناخته شده برای گسل‌های جنبای پیرامون گستره تهران بزرگ چون گسل‌های آستانه، فیروزکوه، مشا و طالقان در بخش درونی البرز مرکزی وگسل شمال تهران و پیشوا در بخش جنوبی لبه البرز مرکزی که با بازنگری در ماهیت افرازهای ری وکهریزک، هندسه و سازوکار گسل گرمسار تکمیل شده است (Nazari et al., 2010 و هروی و همکاران، ۱۳۹۲) از یک سوی و مقایسه میزان و سوی بردار تنش در ساختارهای گسلی پویای البرز مرکزی نشانگر افت نرخ تنش و از دست دادن ناگهانی نزدیک به 1mm/y از آهنگ لغزش دیده شده روی گسل‌های خاوری چون گسل آستانه (Rizza et al., 2011)،گسل فیروزکوه (Nazari et al., 2009b & 2014) و گسل مشا (Ritz et al., 2003 & 2006) نسبت به گسل طالقان (Nazari et al., 2009a) و گسل شمال تهران (Ritz et al., 2012) در سوی باختر است (شکل۱۲a).

با توجه به این که پیش از این چگونگی دگرشکلی و هزینه کرد تنش برآورد شده از اندازه‌گیری‌های ژئودتیک (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010) در پهنه البرز مرکزی برخلاف زاگرس بیشتر از نوع لرزه‌زا در نظر گرفته می‌شود (Masson et al., 2007). بنابراین ناگزیر به پذیرش یکی از دو احتمال خواهیم بود که 1mmتنش برشی گم‌شده در بخش مرکزی گسل مشا و یا بخش خاوری پهنه گسلی شمال تهران در حال تجمع است و به‌عبارتی دیگر این بخش از گسل مشا به‌صورت یک گسل قفل‌شده با احتمال به‌نسبت بالایی از شکست لرزه‌ای در آینده تکامل لرزه‌زمین‌ساختی خود قابل انگاشت است.

احتمال دوم، انگاره وجود ساختارهای ناشناخته دیگری از گسل و یا چین در گستره پایانه باختری گسل مشا خاوری تا پایانه خاوری گسل طالقان است که سبب هزینه کرد سالیانه یک میلی‌متر دگرشکلی برشی در بلندی‌های شمال تهران در بخش درونی البرز مرکزی است (شکل۱۲b).

مقایسه دوباره داده‌های برآمده از مشاهدات ژئودتیک (Vernant et al., 2004; Djamour et al., 2010) و داده‌های فراهم‌آمده از پژوهش‌های لرزه‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناختی در گستره البرز مرکزی (Ritz et al., 2003; Nazari, 2006 ; Nazari et al., 2005, 2007, 2009a , 2011a, 2010; Solaymania Azad, 2009; Hollingsworth et al., 2010; Rizza et al., 2011; Ritz et al., 2012).

در یک هم‌سنجی آماری که فقط برپایه دانسته‌ها و دانش کنونی ما از پیشینه و رفتار لرزه‌ای گسل‌های شناخته شده و بنیادین البرز مرکزی استوار است، دوره بازگشت لرزه‌ای برآورد شده هر گسل و زمان سپری شده از آخرین رخداد لرزه‌ای کهن حاصل از جنبش گسل به الگوی احتمالی رخداد زمین‌لرزه دست خواهیم یافت (شکل‌های ۱۱ و۱۳).

همان‌گونه که در شکل ۱۳ دیده می‌شود بر پایه داده‌های فراهم آمده از پژوهش‌هایی پارینه‌لرزه‌شناختی، نرخ لغزش و دوره بازگشت زمین‌لرزه سترگ احتمالی گسل‌هایی چون گسل طالقان، فیروزکوه، آستانه وپیشوا به دوره زمانی خطر رخداد نوین لرزه‌ای نزدیک است.

بر این پایه، گسل آستانه مسبب زمین‌لرزه ویرانگر ۸۵۶ ، گسل فیروزکوه سرچشمه زمین‌لرزه ۷۹۹، گسل مشا مسبب زمین‌لرزه‌های ۱۶۶۵ و ۱۸۳۰، جنبش گسل طالقان سبب رخداد زمین‌لرزه سترگ ۹۵۸ و گسل پیشوا در جنوب تهران عامل زمین‌لرزه ۱۳۸۴ میلادی بوده‌اند. اگرچه گسل‌هایی چون گسل مشا (شمال خاوری تهران) و سامانه گسلی شمال تهران در دامنه جنوبی البرز در ۱/۳ پایانی دوره بازگشت لرزه‌ای خود قرار دارند ولی دوره بازگشت زمین‌لرزه ویرانگر احتمالی حاصل از جنبش دوباره گسل‌هایی چون طالقان (شمال باختری تهران)، فیروزکوه (خاور تهران)، آستانه (شمال دامغان) و پیشوا (جنوب تهران) با دوره بازگشت‌های لرزه‌ای ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ ساله، به دوره زمانی خطر رخداد آتی بسیار نزدیک است.

از آنجا که با توجه به‌بزرگی برآورد شده برای زمین‌لرزه احتمالی نتیجه چنین رخدادی باتوجه به‌فاصله سرچشمه لرزه‌ای از گستره شهری درآینده ساکنین کلان‌شهری چون تهران چندان با سرچشمه لرزه‌ای آن رخداد در ارتباط نمی‌باشد. بدیهی است که جنبش لرزه‌ای دوباره هرگسل سبب ویرانی بیشتر در گستره نزدیک‌تر به منطقه اثر جنبش گسل می‌شود ولی برای زمین‌لرزه احتمالی آتی با بزرگایی بیش از ۶/۵ ویرانی و خسارت احتمالی پهنه چند ده کیلومتری از گستره شهری و روستایی را متأثر خواهد ساخت. از دیگر سوی با توجه به یافته‌های نوین در مورد سرچشمه زمین‌لرزه تاریخی856 AD موسوم به زمین‌لرزه کومس و ماهیت افرازهای ری وکهریزک در مورد زمین‌لرزه تاریخی855 AD شهر ری که پیش از این از نتایج جنبش احتمالی "گسل" ری دانسته شده بود (بربریان و همکاران،

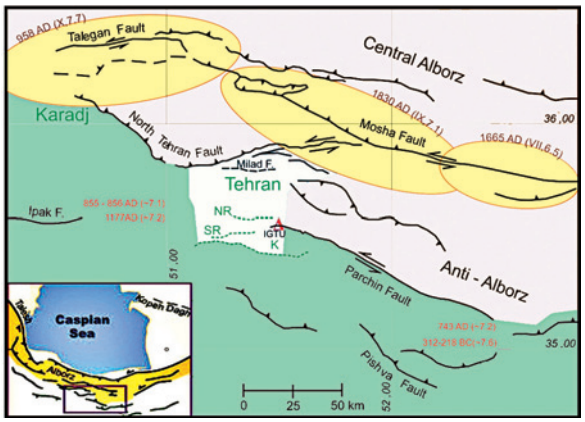
۱۳۷۱ الف). می‌توان چنین انگاشت که تصور رخداد پیاپی دو زمین‌لرزه سترگ با بزرگای گشتاوری بزرگ‌تر از ۷ در فاصله زمانی یک سال اگرچه ناممکن نمی‌باشد ولی بسیار مشکل می‌نماید، بنابراین شاید بتوان گفت که زمین‌لرزه گزارش شده باعنوان زمین‌لرزه 855 AD ری همان زمین‌لرزه 856 AD کومس با سرچشمه لرزه‌ای گسل آستانه و یا پاره گسل‌های آستانه و فیروزکوه است که به سبب شرایط و محدودیت‌های ارتباطی زمان رخداد به‌اشتباه به‌عنوان دو زمینلرزه جداگانه در حافظه تاریخی پیشینه لرزه‌ای این گستره جغرافیایی در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی ثبت شده است و اگر چنین برداشتی درست باشد از آنجا که شناخت ما از آخرین رخداد لرزه‌ای مرتبط با گسل شمال تهران فقط به یادآوری وجود دو رخداد لرزه‌ای سترگ در طی هفت هزارسال گذشته اشاره دارد (Nazari et al., 2011a; Ritz et al., 2012).

بنابراین با حذف زمین‌لرزه 855 AD از کاتالوگ پیشینه لرزه‌ای گسل شمال تهران می‌توان گفت که آخرین زمین‌لرزه روی داده از جنبش گسل شمال تهران به زمانی به مراتب کهن‌تر از سال 855 میلادی باز گشته و به بیانی دیگر تا به امروز شاید که نیمی از دوره بازگشت لرزه‌ای برآورد شده برای گسل شمال تهران (3-4ka) سپری شده است (شکل ۱۳).

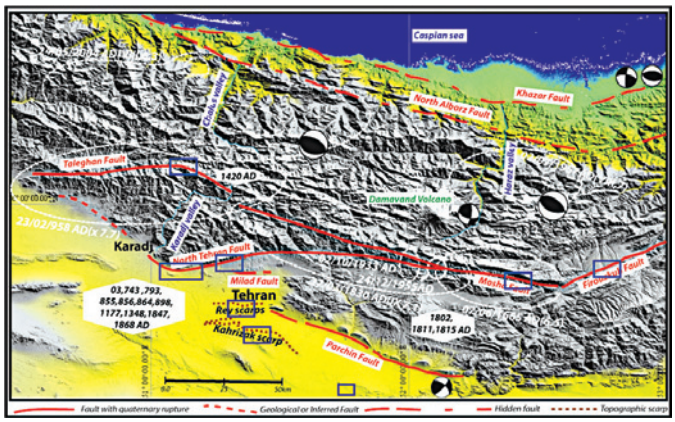
این انگاره بی‌گمان نشان از شرایط لرزه‌زمین‌ساختی بحرانی در گستره تهران بزرگ با توجه به مقایسه و برابری داده‌های برآمده از زمین‌لرزه‌های تاریخی، پیش از تاریخ و زمان تکرار برآورد شده برای هر رخداد سترگ لرزه‌ای خواهد داشت. بنابراین بیراه نخواهد بود اگر رخداد احتمالی زمین‌لرزه تهران را با در نظر داشتن جمعیت و استانداردهای بین‌المللی احتمال رخداد زمین‌لرزه در گستره‌های شهری در وضعیت هشدار برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگای میانه تا بزرگ در چند دهه پیش روی برآورد نمود.

سپاسگزاری

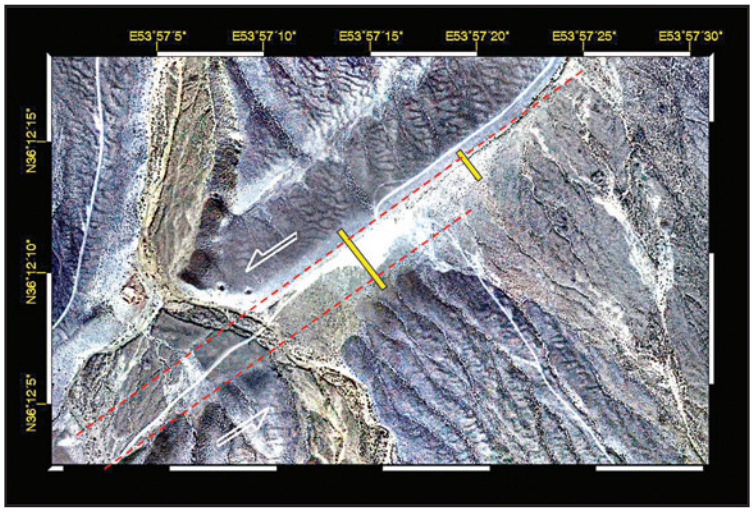
انجام پژوهش‌های گسترده پارینه‌لرزه‌شناسی البرز مرکزی با رویکرد رهیافتی بر برآورد احتمال رخداد زمین‌لرزه آتی تهران بدون همکاری گسترده پژوهشگران ایرانی و بین‌المللی و پشتیبانی پیوسته سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور امکان پذیر نبود، از این رو نگارنده از همه همکارانی که در این پژوهش بزرگ یاری‌گر بودند، سپاسگزاری می‌نماید، به‌ویژه از دکتر منوچهر قرشی به سبب همکاری مستمر در اجرای پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی، بازنویسی و ویرایش نوشتار و از خانم مهندس معصومه نوروزی به سبب همکاری در آماده‌سازی تصاویر صمیمانه قدردانی می‌شود.



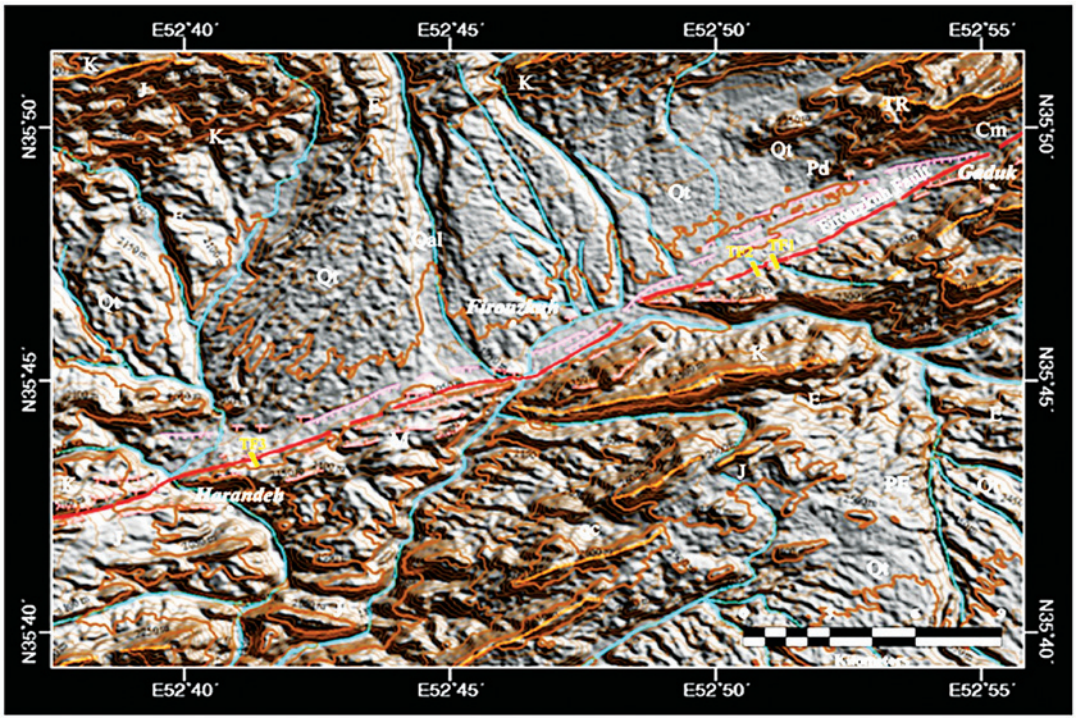
شکل ۱- نقشه ساده شده از گسل‌های پیرامون تهران (برگرفته با تغییرات از Nazari et al., 2010) و گستره مه لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های تاریخی به نقل از Berberian & Yeats (1999 & 2001)، رو مرکز زمین‌لرزه ۱۷ اکتبر ۲۰۰۹ (ML 3.9) از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.



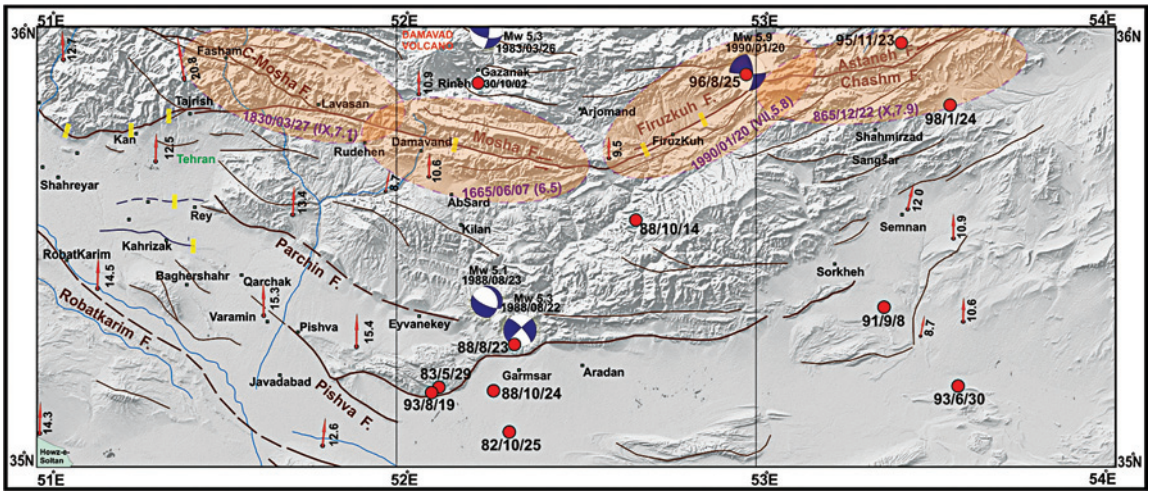
شکل ۲- موقعیت مکانی سایت‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در البرز مرکزی بر زمینه‌ای از نقشه لرزه‌زمین‌ساخت البرز مرکزی (برگرفته از نظری و ریتز، ۱۳۸۸).



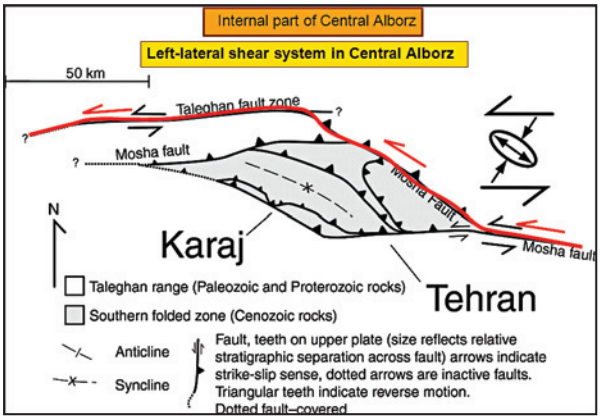
شکل ۳- نمایی از گسل برشی چپ‌گرد آستانه در شمال دامغان به‌همراه موقعیت مکانی یکی از سایت‌های پارینه‌لرزه‌شناسی اجرا شده روی این گسل بر زمینه‌ای از تصویر ماهواره‌ای Quick Bird.



شکل ۴- موقعیت مکانی ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی روی گسل فیروزکوه بر زمینه‌ای از مدل ارتفاعی رقومی ASTER با دقت ۳۰ متر، Qt : کواترنری، E: ائوسن، PE: پالئوسن- ائوسن، K: کرتاسه و J: نشانگر گسترش واحدهای منسوب به ژوراسیک است.

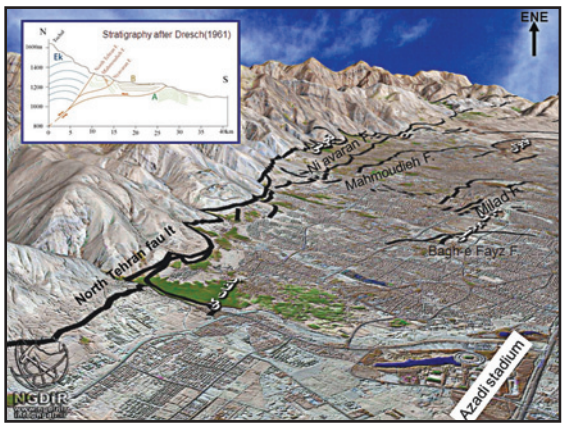


شکل ۵- نقشه لرزه‌زمین‌ساخت و گستره مه لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های تاریخی منسوب به جنبش گسل‌های فیروزکوه و مشا (برگرفته از Talebian et al., 2008)، بر زمینه‌ای از داده‌های رقومی SRTM با دقت مکانی ۹۰ متر به‌همراه داده‌های لرزه‌ای از زمین‌لرزه‌های دستگاهی.



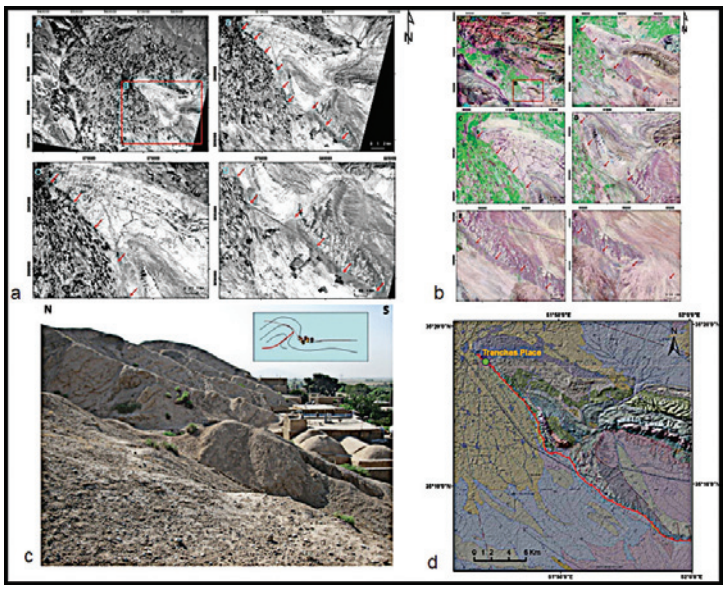
شکل ۶- الگوی هندسی گسلش در بخش درونی البرز مرکزی (برگرفته از Guest et al., 2006). رنگ سرخ نشانگر سامانه گسلی با سازوکار برشی چپ‌گرد در محدوده گسل‌های مشا و طالقان است.

شکل ۷- نمایی از ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناسی اجرا شده روی گسل طالقان.

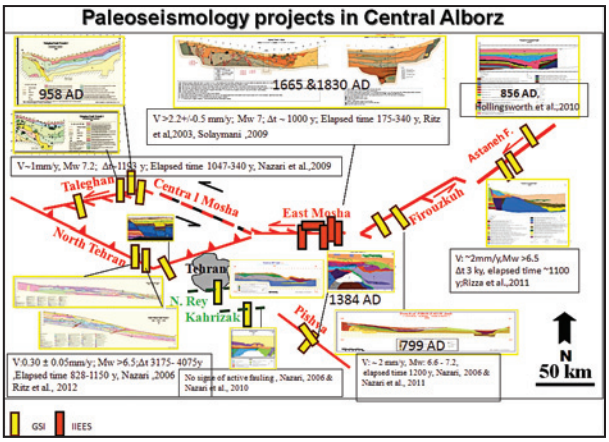


شکل ۸- مدل رقومی ارتفاعی از گستره شهری تهران بر زمینه‌ای از تصویر ماهواره‌ای لندست، خطوط سیاه رنگ نشانگر گسل‌های فعال مرتبط با سامانه گسلی تهران در گستره تهران بزرگ است که مدل نمادین از برش ساختاری و الگوی هندسی آن در گوشه بالا وچپ تصویر دیده می‌شود.

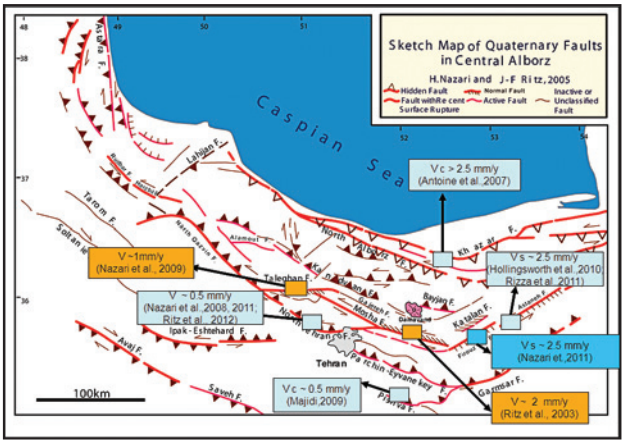
شکل ۹- نمایی از ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناختی اجرا شده روی سامانه گسلی شمال تهران، a و b)ترانشه TE1، c) گالری قنات روی فرادیواره گسل دیده شده در دیواره پارینه‌لرزه‌شناختی؛ d و e) نشانگر میل پر شده قنات و گالری بازسازی شده در زیر آن است. F) نمایی از دیواره پارینه‌لرزه‌شناسی از ترانشه چیتگر است.



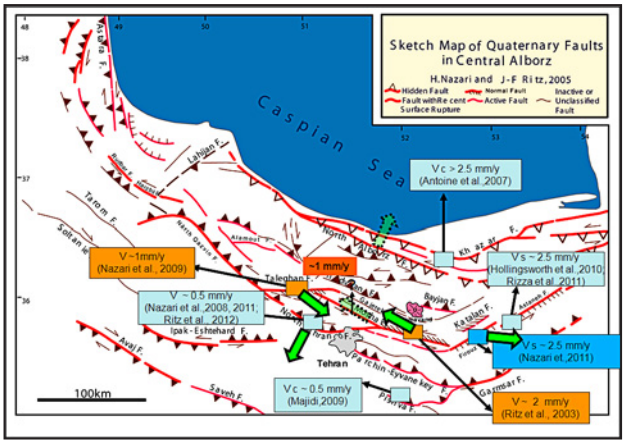
شکل ۱۰- نمایی از گسل پیشوا در جنوب خاوری تهران، a و b) گسل پیشوا در لبه چین مخروطی از نهشته‌های نئوژن روی تصاویر ماهواره‌ای SPOT و LANDSAT ؛ C) نمایی صحرایی از افراز گسل و چین نامتقارن حاصل از عملکرد آن در لبه جنوب خاوری پیشوا؛ d) نمایی دیگر از گسل پیشوا بر زمینه‌ای از نقشه زمین‌شناسی و مدل ارتفاعی رقومی SRTM، دایره سبز رنگ نشانگر موقعیت ترانشه‌های اجرا شده روی این گسل است.



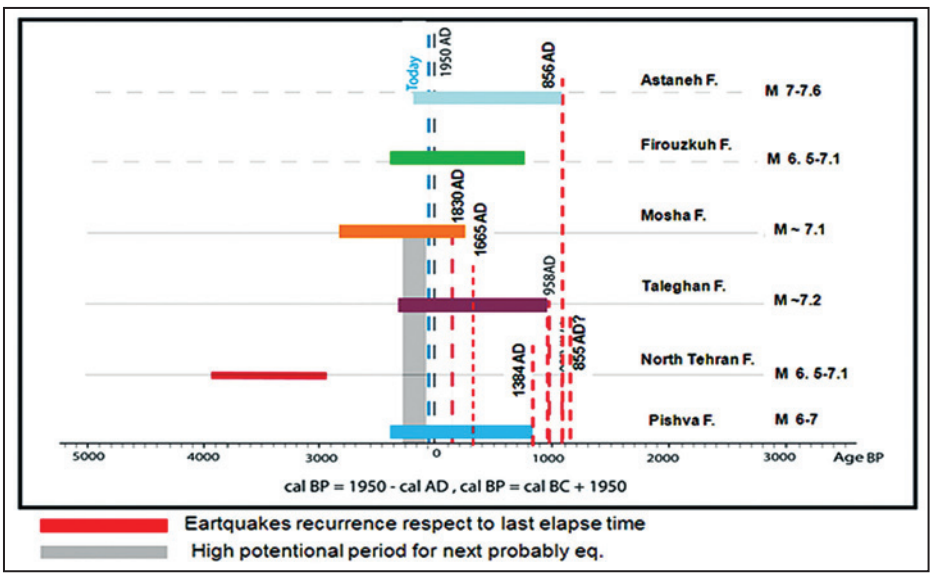
شکل ۱۱- مدل نمادین هندسی از گسلش جنبا پیرامون تهران بزرگ در گستره البرز مرکزی و موقعیت سایت‌های پارینه‌لرزه‌شناختی روی هر یک به همراه داده‌های فراهم آمده از آنها (برگرفته با تغییرات از Nazari et al., 2007).



شکل ۱۲- a) نقشه ساده‌شده از گسل‌های جنبا در گستره البرز مرکزی به‌همراه نرخ جنبش برآورد شده از پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی و پارینه‌لرزه‌شناسی در گستره چهارگوشه‌های مشخص شده روی گسل‌های طالقان، مشا، فیروزکوه و آستانه در بخش درونی البرز مرکزی و گسل‌های شمال تهران و پیشوا و همچنین افرازهای شمال ری و کهریزک در لبه جنوبی و گسل خزر در لبه شمالی بلندی‌های البرز مرکزی (برگرفته با تغییرات از Nazari et al., 2007).



شکل ۱۲- b) سوی نسبی تنش (پیکان‌های سبز) و کاهش نسبی نرخ لغزش گسل‌های جنبا از خاور به باختر که نشانگر تفاضل نسبی نرخ جنبشی حدود ۱میلی‌متر بر سال در گذر از گسل مشا در سوی شمال خاور به‌گسل طالقان در شمال باختری تهران است (برگرفته با تغییرات از Nazari et al., 2007).



شکل ۱۳- الگوی آماری از احتمال رخداد زمین‌لرزه حاصل از جنبش هر یک از گسل‌های فعال و شناخته شده در گستره البرز مرکزی بر پایه داده‌های برآمده از پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی چون زمان برآورد شده از آخرین رویداد لرزه‌ای مشاهده شده و دوره بازگشت برآورد شده برای زمین‌لرزه‌های سترگ روی هر یک از گسل‌ها، (برگرفته با تغییرات از Nazari et al., 2007).

کتابنگاری

بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۱ الف - پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره‌ی تهران و پیرامون، چاپ دوم. گزارش شماره ۵۶، ۳۱۵ رویه، سازمان زمین شناسی کشور.

بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ب.، ۱۳۷۱ - پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، گزارش شماره ۶۱، ۱۹۷ رویه، سازمان زمین‌شناسی کشور.

بربریان، م.، قرشی، م.، طالبیان، م. و شجاع طاهری، ج.، ۱۳۷۵- پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در گستره ی سمنان، گزارش شماره ۶۳، ۲۶۶ رویه، سازمان زمین‌شناسی کشور.

بلورچی، م.، ۱۳۷۶- بررسی پارینه لرزه‌شناسی گسل جنوب اشتهارد (سیستم گسلی ایپک، مسبب زمین‌لرزه بوئین زهرا، ۱۳۴۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۷۲ رویه.

کاوه فیروز، آ.، نظری، ح.، آرین، م.، شافعی، ع.، مجیدی، ط. و شکری، م.، ۱۳۹۱- پیشینه لرزه‌ای و برآورد آهنگ رسوبگذاری در آبرفت‌های جوان باختر تهران (چیتگر) با استفاده از داده‌های پارینه‌لرزه‌شناسی، فصلنامه علوم‌زمین، جلد ۲۲، شماره ۸۴ ، صفحه ۱۶۹-۱۷۸ .

مجیدی نیری، ط.، نظری، ح.، قرشی، م.، طالبیان، م. و کاوه فیروز، آ.، ۱۳۹۰- اولین نشانه‌های زمین‌لرزه تاریخی AD۱۳۸۴ شهر ری، روی گسل پیشوا بر پایه پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی، جنوب خاوری تهران، فصلنامه علوم‌زمین، جلد ۲۱، شماره ۸۱، صفحه ۱۶۹-۱۷۸.

نظری، ح.، ریتز، ژ. ف.، واکر، ر.، سلامتی، ر.، قاسمی، ع. و شافعی، ع.، ۱۳۹۰- گاه نگاری جوان‌ترین جنبش لرزه‌ای گسل فیروزکوه با استفاده از روش کربن ۱۴، فصلنامه علوم‌زمین، جلد ۱۹، شماره ۷۶، صفحه ۹۵-۹۸.

نظری، ح. و ریتز، ژ. ف.، ۱۳۸۸- ویژگی‌های هندسی و سازوکار جوان گسل طالقان: بر پایه بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی، فصلنامه علوم‌زمین، جلد ۱۸، شماره ۷۱، صفحه ۱۷۳-۱۷۷.

نظری، ح.، ریتز، ژ. ف.، سلامتی، ر.، قرشی، م.، قاسمی، ع.، حبیبی، ح.، جمالی، ف. و جوادی‌پور، ش.، ۱۳۸۸- ساختارهای خطی جنوب تهران (سری گسل‌های ری- کهریزک): پرتگاه گسل یا پدیده‌ای زمین‌ریخت‌شناختی، فصلنامه علوم‌زمین، جلد ۱۸، شماره ۷۳، صفحه ۱۰۹-۱۱۴.

هروی،آ.، نظری، ح.، شهیدی، ع. و طالبیان، م.، ۱۳۹۲- هندسه و سازوکار گسل گرمسار از دوره نئوژن تا به امروز، فصلنامه علوم‌زمین، سال ۲۲، شماره ۸۸، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۷۵-۱۸۶.

References

Abbassi, M. R. & Farbod, Y., 2009- Faulting and folding in Quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran), J. Asian Earth Sci., 34, 522–531, doi:10.1016/j.jseaes.2008.08.001.

Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge University press,New York: 219.

Ashtari, M. & Hatzfeld, D., 2005- Kamalianb Microseismicity in the region of Tehran, Tectonophysics, 395 193– 208.

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.

Berberian, M. & Yeats, R. S., 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau, Journal of Structural Geology, 23: 563-584.

De Martini, P. M., Hessami, K., Pantosti, D., Addezio, G. D., Alinaghi, H. & Ghafory-Ashtiani, M., 1998- A geological contribution to the evaluation of the seismic potential of the Kahrizak fault (Tehran, Iran), Tectonophysics, 287, 187–199, doi:10.1016/S0040-1951(98)80068-1.

Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Hatam, Y., Ritz, J.-F., Hinderer, J., Luck, B., Nankali, H., Le Moigne, N. & Sedighi, M., 2010- Geodetic signatures of present-day tectonic deformation in central Alborz and Tehran region (Iran), Geophys. J. Int., 183, 1287–1301, doi:10.1111/j.1365- 246X.2010.04811.x.

Guest, B., Axen, G., Lam, P. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, Geosphere, 2(1), 35–52, doi:10.1130/GES00019.1.

Hollingsworth, J., Nazari, H., Ritz, J.-F., Salamati, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Walker, R., Rizza, M. & Jackson, J., 2010- Active tectonics of the East Alborz mountains, NE Iran; rupture of the left-lateral Astaneh fault system during the great 856AD Qumis earthquake. Journal of Geophysical Research, VOL. 115, B12313, doi:10.1029/2009JB007185.

Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian Basin, Geophys. J. Int., 148, 214–245.

Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daigni`eres, M., Nankali, H. & Van Gorp, S., 2007- Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. FAST TRACK PAPER, *Geophys. J. Int.*, GJI Tectonics and geodynamics, 170, 436–440 doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.

Nazari, H., 2006- Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran:Approche morphotectonique et paleoseismologique. Science de la terre et de l'eau. Montpellier, Montpellier II: 247.

Nazari, H., Ritz, J. F., Salamati, R., Shafei, A., Ghassemi, A., Michelot, J. L., Massault, M. & Ghorashi, M., 2009a- Morphological and Paleoseismological analysis along the Taleghan Fault (Central Alborz, Iran), GJI ,Volume 178 Issue 2, Pages 1028 -1041 , doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04173.x.

Nazari, H., Ritz, J. F., Salamati, R., Solaymani, S., Balescu, S., Michelot, J.-L., Ghassemi, A., Talebian, M., Lamothe, M., Massault, M. & Ghorashi, M. , 2007- Paleoseismological analysis in Central Alborz, Iran, the 1957 Gobi-Altay Earthquake Commemorating Conference 25 July-08 August 2007, Ulaanbaatar-Mongolia.

Nazari, H., Ritz, J. F., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Talebian, M., Ghorashi, M. & Saidi, A., 2008- Paleoseismological analysis of the North Tehran Fault, Iran: Analysing prehistoric ruptures for the past 30.000 ka., 33IGC, 6-8 August Oslo.

Nazari, H., Ritz, J. F., Walker, R., Alimohammadian, H., Salamati, R., Shahidi, A., Patnaik, R. & Talebian, M., 2009b- Chronology of last earthquake on Firouzkuh Fault using by C14, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-4906, 2009, EGU General Assembly, Vienna.

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., 2008- Neotectonics in Central Alborz,special issue,Vol 17 N. 1, Geosciences,GSI.

Nazari, H., Ritz, J. F., Ghassemi, A., Bahar-Firouzi, K., Salamati, R., Shafei, A. & Fonoudi, M., 2011a- Paleoearthquakes Determination of Magnitude ~ 6.5 on the North Tehran Fault, Iran, Vol. 13, No. 1, JSEE.

Nazari, H., Ritz, J. F., Walker, R., Salamati, R., Rizza, M., Ghassemi, A., Patnaik, R., Alimohammadian, H., Hollingsworth, J., Jalali, A. & Shahidi, A., 2011b- Palaeoseismic evidence for a medieval earthquake of magnitude ~ 7 in the Firouzkuh (Central Alborz) region of Iran, Sixth International Conference of Seismology and Earthquake Engineering 16-18 May Tehran, Iran.

Nazari, H., Ritz, J. F., Walker, R. T., Salamati, R., Rizza, M., Patnaik, R., Hollingsworth, J., Alimohammadian, H., Jalali, A., Kaveh Firouz, A. & Shahidi, A., 2014- Palaeoseismic evidence for a medieval earthquake, and preliminary estimate of late Pleistocene slip-rate, on the Firouzkuh Strike-slip fault in the central Alborz Region of Iran. Journal of Asian Earth Science, No.82, P.124-135.

Nazari, H., Ritz, J. F., Salamati, R., Shahidi, A., Habibi, H., Ghorashi, M. & Talebian, M., 2010- Distinguishing between fault scarps and shorelines: the question of the nature of the Kahrizak ,North Rey and South Rey features in Tehran plain (Iran) Terra Nova (doi: 10.1111/j.1365-3121.2010.00938.x).

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. Internatinal Conferance on Seismology and Earthquake Engineering, (See 4), Tehran, Iran.

Ritz , J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006a- Active transtention inside Central Alborz: A new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics. Geology 34(6): 477-480.

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.

Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006b- Active transtension inside Central Alborz: A new insight of the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics, Geology, 34, 477–480, doi:10.1130/G22319.1.

Rizza, M., 2010- Vitesses et déplacements co-sismiques sur des failles décrochantes en Mongolie et en Iran. Apport de la morphotectonique et de la paléosismologie, PhD thesis, Univ. of Montpellier 2, Montpellier, France.

Rizza, M., Mahan, S., Ritz, J. F., Nazari, H., Hollingsworth, J. & Salamati, R., 2011- Using luminescence dating from coarse matrix material to estimate fault slip-rate in arid domain: Example of the Astaneh Fault (Iran). Quaternary Geochronology, doi:10.1016/j.quageo.2011.03.001.

Solaymani, Azad, S., 2009- Evaluation de l_alea sismique pour les villes de Teheran, Tabriz et Zandjan dans le NW de l_Iran Approche morphotectonique et paleoseismologique. Unpublished PhD thesis, University Montpellier II, Montpellier, 150 pp.

Solaymani, Azad, S., Ritz, J. F., Abbassi, M., 2011- Analysing the junction between the Mosha and the North Tehran active faults, Tectonophysics, 497, 1–14.

Talebian, M., Ghorashi, M. & Nazari, H., 2008- Seismotectonic map of the Central Alborz. Scale 1:750000, Tehran, GSI.

Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. & Bergman, E., 2007- The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: Overthrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran, Geophys. J. Int., 170, 249–261, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03386.x.

Tatar, M. & Hatzfeld, D., 2009- Microseismic evidence of slip partitioning for the Rudbar-Tarom earthquake (*Ms* 7.7) of 1990 June 20 in NW Iran. GJI Seismology, *Geophys. J. Int.*, 176, 529–541 doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03976.x.

Tatar, M., Hatzfeld, D., Abbassi, M. & Yamini Fard, A. F., 2012- Microseismicity and seismotectonics around the Mosha fault (Central Alborz, Iran). Tectonophysics, 544-545 (2012) 50–59.

Tchalenko, J. S., 1975- Seismotectonics framework of the North Tehran fault, Tectonophysics, 29, 411–420, doi:10.1016/0040-1951(75)90169-9.

Tchalenko, J. S., Berberian, M., Iranmanesh, H., Baily, B. & Arsovsky, M., 1974- Tectonic framework of the Tehran region, in Materials for the Study of Seismotectonics of Iran, pp. 7– 46, Geol. Surv. of Iran, Tehran.

Vernant, P., Nilforoushan, F., Chéry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M. & Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shortening of Central Alborz in Iran using geodetic data, Earth Planet. Sci. Lett., 223, 177–185, doi:10.1016/j.epsl.2004.04.017.

Zare, M., Bard, P. Y. & Ghafory-Ashtiany, M., 1999- Site characterizations for the Iranian strong motion network. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 101-123.

Analysis and Timing Synthesize of the Probable Earthquake in the Tehran Region: A Review to Paleoseismological Studies

H. Nazari [1*]

[1] Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2013 January 19 Accepted: 2013 May 25

Abstract

Many attempts have been done to prepare active faults map of the greater Tehran region, in order to evaluate of probabilistic seismic hazard of the region. Insufficient data about the depth and nature of seismic layer, lack of enough numerical information about the crustal deformation rate, and little knowledge about the background seismicity and characteristics of seismic sources, such as seismogenic faults, magnitudes and occurrence interval act as barriers to achieve this evaluation perfectly. In this paper, based on the numerous researches done in seismology, geodynamic and paleoseismology during the last decade, attempt has been done to provide statistical analysis on the basis of paleoseismological studies on major faults of the region such as Astaneh, Firouzkuh, Mosha, Taleghan, North Tehran, Pishva and North Rey as well as the Kahrizak scarps. It is worth to mention that reactivation of any of the mentioned faults could be assigned to the Tehran earthquake, certainly with completely different size affects. According to basis of the extensive paleoseismological data together with morphotectonic investigations in the Central Alborz, the occurrence of a 6.5-7.2 magnitude earthquake during the next 50 years, in the vicinity of Tehran might be probable.

Key words: Probability of the earthquake hazard, Paleoearthquake, Tehran

For Persian Version see pages 263 to 272

*Corresponding author: H. Nazari; E-mail:hamidnazari@hotmail.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional