

مطالعه لرزه‌خیزی تهران بزرگ و مجاورت آن با استفاده از داده‌های ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری شهر تهران

فرزام یعینی‌فرد^{۱*}، علی سیاهکالی مرادی^۲، مازیار حسینی آ و رحیم نوروزی^۲

^۱ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

^۲ مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۰۴

چکیده

از تاریخ خرداد ۱۳۸۳ تا آذر ۱۳۸۷ فعالیت لرزه‌ای بسیار کمی در مجاورت گسل‌های شمال تهران، طالقان، کهریزک و محدوده شهر تهران ثبت شده است. در مقابل، فعالیت لرزه‌ای در امتداد گسل‌های مشا، گرمسار، کندوان و گسل‌های حاشیه جنوبی دریای خزر قابل توجه است. به طور کلی شاهد کاهش فعالیت لرزه‌ای در منطقه البرز مرکزی از طول جغرافیایی ۵۱°۵۱' خاوری به سمت باختر هستیم. دو زمین‌لرزه در باختر شهر تهران با ژرفاهای ۱۵ و ۱۷ کیلومتر تعیین محل شده‌اند که یکی از آنها دارای سازوکار کاملاً امتدادلغز می‌باشد. لرزه‌خیزی قابل توجهی در امتداد گسل مشا بویژه در مجاورت شهرهای دماوند و بومهن و منطقه لواسانات بزرگ ثبت شده است. سازوکارهای محاسبه شده در امتداد این گسل ترکیبی از حرکات امتدادلغز و معکوس را نشان می‌دهد که بر حرکت فشاری-عبوری گسل مشا با مؤلفه چیره امتداد لغز چپگرد و ادامه این نوع حرکت تا منطقه لواسانات در جنوب انتهای خاوری گسل شمال تهران دلالت می‌کند. تعیین محل دقیق تحدادی از وقایع، نشانگر وقوع وقایع در بازه ژرفای ۴ تا ۳۲ کیلومتر است. به طور کلی سازوکارهای تعیین شده در منطقه، ترکیبی از سازوکارهای امتداد لغز و معکوس هستند و به نظر می‌رسد هرچه از حاشیه جنوبی البرز به سمت شمال ایران مرکزی پیش می‌رویم سازوکارهای معکوس، بیشتر چیره می‌شوند که می‌تواند نشان‌دهنده جدایش لغزش در حاشیه جنوبی البرز باشد.

کلیدواژه‌ها: شهر تهران، گسل، لرزه‌خیزی، سازوکار کانونی، جدایش لغزش

*نویسنده مسئول: فرزام یعینی‌فرد

۱- مقدمه

تهران، پایتخت ایران با جمعیت شناور بیش از ده میلیون نفر در کنار گسل‌های فعال واقع شده است. این شهر در قسمت جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده و به وسیله گسل‌های فعال احاطه شده است. تحدادی از این گسل‌ها، به نقشه در آورده شده است اما هندسه لرزه‌خیزی همراه شده با آنها و سینماتیک آنها به طور دقیق شناخته نشده است. زلزله‌های تاریخی بیشتر با گسل‌های مشا، طالقان، پارچین و گرمسار مرتبط بوده و بزرگ‌ترین وقایع با بزرگ‌گای ۷/۶ در قرن سوم و ۷/۷ در قرن دهم به ترتیب به گسل‌های گرمسار و طالقان نسبت داده شده‌اند (شکل ۱) (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian, 1994). آخرین زمین‌لرزه تاریخی که بخش‌های شمالی تهران را متاثر کرده است به سال ۱۸۳۰ برمی‌گردد که به گسل مشا منتسب شده است (Berberian and Yeats, 1999). نتایج مطالعات انجام گرفته در منطقه تاکنون نشان می‌دهد که شناخت بهتر منطقه البرز به مطالعات دقیق‌تر و بلندمدت نیازمند است. در حال حاضر سؤالات زیادی درباره هندسه گسل‌ها و لرزه‌خیزی همراه شده با آنها و ادرکنش بین آنها و سازوکار تغییر شکل در منطقه باقی مانده است. با توجه به این که در بعضی مناطق اطراف تهران بویژه بخش‌های شمال خاوری، شواهد زمین‌شناختی کمی مبنی بر فعالیت گسل‌ها وجود دارد، مطالعات لرزه‌ای می‌تواند نقش مهمی در شناخت بهتر گسل‌های این منطقه ایفا نماید. در این مقاله با تلفیق داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در تمامی ایستگاه‌های موجود بویژه شبکه لرزه‌نگاری شهر تهران وابسته به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران از خرداد ۱۳۸۳ تا آذر ۱۳۸۷ گامی در جهت شناخت لرزه‌خیزی تهران و مناطق اطراف آن بویژه بخش شمال خاوری تهران که محل تلاقی چند گسل مهم چون گسل مشا و راندگی شمال تهران است برداشته شده است.

۲- سیمای کلی از ساختار زمین‌ساختی منطقه

رشته کوه‌های فعال البرز با امتداد تقریباً خاور - باختر با پهنای ۱۰۰ کیلومتر و طول

۶۰۰ کیلومتر با برخورد تکه‌ای از گندوانا با اوراسیا در تریاس پسین تشکیل شده است (Sengor et al., 1988). مرز آن با ساحل جنوبی دریای خزر به عنوان باقی مانده پوسته اقیانوسی که در حال فرورفتن سریع است، تفسیر شده است و با لایه‌ای از رسوبات به ستبرای در حدود ۲۰ کیلومتر پوشیده شده است (Brunet et al., 2003). رشته کوه‌های البرز در باختر با کوه‌های تالش و از خاور به وسیله کوه‌های کپه‌داغ محدود شده است و شامل چندین لایه آتشفشانی و رسوبی با سن‌های کاسبرین تا ائوسن می‌شود که در طی برخورد در سنوزویک پسین تشکیل شده‌اند (Alavi, 1996). کوتاه‌شدگی کلی آن از پلیوسن پیشین در طول جغرافیایی تهران، در حدود ۳۰ کیلومتر برآورد شده است (Allen et al., 2003).

البرز مرکزی تحت تأثیر چندین گسل فعال قرار دارد. بیشتر آنها با روند کلی رشته کوه‌ها موازی هستند و همگرایی مایل عهد حاضر را در عرض رشته کوه‌ها تحویل می‌کنند. در شمال این گستره، گسل‌های معکوس خزر و شمال البرز شیپی به سوی جنوب و کمی مؤلفه امتداد لغز چپگرد دارند (Allen et al., 2003). مرز شروع توپوگرافی شدید در جنوب البرز، گسل‌های فعال مشا، طالقان و شمال تهران هستند. گسل شمال تهران آشکارا به عنوان یک گسل رورانده و دو گسل دیگر در دوره کواترنری به عنوان گسل‌های امتداد لغز چپگرد رفتار نموده‌اند (Ritz et al., 2003). مهم‌ترین این گسل‌ها، گسل مشا با طول تقریبی ۱۸۰ کیلومتر است که به وضوح الگوی حوضه آبریز را تغییر داده و یک جابه‌جایی کلی چپگرد ۳۵-۳۰ کیلومتری را باعث شده است. زمان شروع این حرکت هنوز مشخص نیست و آهنگ لغزش متوسط فعلی حدود ۳ میلی‌متر در سال محاسبه شده‌است (Ritz et al., 2003). در جنوب تهران نیز گسل‌های ایک، پارچین، گرمسار و پیشوا حرکت معکوس با مؤلفه چپگرد را نمایش می‌دهند. چندین گسل کواترنری با طول‌های کوچک داخل شهر

پوسته به میدان تنش واقع شده در اطراف آن است و لزوماً بیانگر لغزش محدود روی گسل‌ها نیست. اما با این وجود محورهای P و T بایستی در جهش تنش‌های اصلی باشند. مطالعات خرد زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که جهت متوسط محورهای P از جهت $10^\circ N$ حرکت بین صفحه عربی و اوراسیا متفاوت است که نشان می‌دهد ایران تحت تأثیر تغییر شکل داخلی قرار گرفته است (Vernant et al., 2004).

به طور خلاصه دقیق‌ترین نتایج حاصل از مطالعه خرد زمین‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه موقت ذکر شده در مدت سه ماه نشان می‌دهد که فعالیت لرزه‌ای کمی در قسمت باختری گسل مشا و باختر تهران واقع شده است. از طرف دیگر همانطور که لرزه‌خیزی تعیین محل شده توسط شبکه TDSN نشان می‌دهد، بیشتر فعالیت به قسمت خاوری گسل مشا (منطقه مهلهزه‌ای زلزله 1830 با بزرگی $7/1$) و به گسل گرمسار (منطقه مهلهزه‌ای زلزله قرن چهارم با بزرگی $7/6$) ارتباط دارد. رسم مقاطع ژرفی خرد زمین‌لرزه‌ها تجمع فعالیت در شمال گسل‌های مشا و گرمسار را نشان می‌دهد و لرزه‌خیزی دوباره تعیین محل شده با روش تفاضل دوتایی یک شیب واضح به سوی شمال همراه شده با گسل‌های مشا و گرمسار را نشان می‌دهد. این شیب به سمت شمال با مشاهده‌های زمین‌شناسی شیب گسل‌ها توافق دارد. بیشتر سازوکارها با حرکت چپگرد روی هر دو گسل مشا و گرمسار سازگاری دارند که با حرکت زمان حاضر این گسل‌ها همخوانی دارند.

نتایج مدل سازی شکل موج به غیر از زمین لرزه بلده (2004) در البرز ژرفاهای کمتر از 15 کیلومتر را تعیین نموده است. با این حال زلزله بلده اولین زمین لرزه‌ای است که برای آن ژرفای 22 کیلومتر تعیین شده و ژرفای پس لرزه‌های آن که توسط داده‌های شبکه محلی تعیین شده است تا 35 کیلومتر نیز ادامه داشته است (Tatar et al., 2007). خرد زمین لرزه‌های ثبت شده در شبکه موقت متراکم $25 - 3$ کیلومتر ژرفا داشته‌اند (Ashtari et al., 2005).

۵- داده و روش پردازش داده

در این مطالعه از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری شهر تهران متشکل از 13 ایستگاه لرزه‌نگاری کوتاه دوره سه مؤلفه‌ای وابسته به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران (TCSN)، شبکه لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران (INSN) وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استفاده شده است (شکل ۳). برای تشکیل بانک داده وقایع و پردازش داده‌ها از نرم‌افزار "SEISAN" استفاده شده است (Havskov and Ottemöller, 2005). برای تعیین محل زمین لرزه‌ها برنامه (Lienert et al., 1986) "Hypocenter" و مدل سرعت استفاده شده، مدل ارائه شده توسط (Ashtari et al., 2005) است (جدول ۱). سازوکارهای کانونی زمین لرزه‌ها نیز توسط برنامه "FOCMEC" مورد بررسی قرار گرفتند (Snoke et al., 1984). بسیاری از وقایع ثبت شده مربوط به انفجارهای معادن داخل و اطراف شهر تهران بوده‌اند که به کمک امواج سطحی بسیار آشکار تولید شده توسط آنها، از داده‌ها حذف شده‌اند و در نهایت 435 واقعه طبیعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و 27 سازوکار کانونی با معیار قرائت حداقل 8 پلاریته (Polarity) و نبود آزیموتی (Azimuthal Gap) تعیین محل کمتر از 180 درجه محاسبه شده است.

۶- لرزه‌خیزی

مجموع رویدادهای ثبت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری شهر تهران (TCSN) از خرداد ماه 1383 تا آذر ماه 1387 ، در فاصله کمتر از 100 کیلومتری 435 واقعه است (شکل ۳). بیشترین وقایع ثبت شده توسط این شبکه در خارج آن واقع هستند لذا از دقت کافی برای نسبت دادن وقایع به گسل خاص و یا بررسی ژرفاهای آنها برخوردار نیستند. در مقابل، با توجه به تراکم ایستگاه‌ها در اطراف شهر تهران توانایی

تهران وجود دارند. به نظر می‌رسد گسل مشا یکی از فعال‌ترین گسل‌ها است و چندین زمین لرزه بزرگ تر از $6/5$ را در سال‌های 958 ، 1665 و 1830 میلادی تجربه کرده است (Berberian and Yeats, 1999). (Ambraseys and Melville, 1982). (Berberian and Yeats, 1999) که یکی از بزرگ‌ترین زلزله‌ها ($7/6 \sim SM$) در قرن سوم روی گسل گرمسار رخ داده است که واقعه بزرگ دیگری را نیز در سال 743 تجربه کرده است. زمین لرزه بزرگی ($7/7$) در قرن دهم به گسل طالقان نسبت داده شده است. از قرن 19 میلادی تا امروز واقعه بزرگی نزدیک تهران تعیین محل نشده است اما چندین زلزله با بزرگی بیش از 5 به فعالیت گسل‌های مشا، ایبک (واقع شده در 120 کیلومتری باختر تهران) و شمال البرز نسبت داده شده‌اند.

۳- سینماتیک منطقه

تحلیل ریخت‌زمین ساخت ساختاری توسط Ritz et al. (2006) پیشنهاد می‌کند که شروع حرکت به سوی شمال باختر حوضه خزر جنوبی نسبت به اوراسیا و (یا) دوران ساعت‌گرد از زمان پلیستوسن شروع شده است (شکل ۲). این حرکت نه فقط باعث تغییرات از فشارش در جهت NS به عبوری-فشاری در جهت NNE-SSW شده است، بلکه موجب کشش در داخل گستره نیز شده است. به همین علت نه تنها حرکات افقی در امتداد گسل‌های امتداد لغز در البرز باختری معکوس شده است بلکه مؤلفه قائم گسل‌های معکوس در بخش‌های داخلی گستره مشاهده می‌شود که حکایت از پدیده کشش (برای مثال در امتداد گسل‌های طالقان و فیروزکوه) داخل یک زون چیره فشاری دارد. داده‌های GPS مقدار 2 ± 5 میلی‌متر در سال کوه‌شدگی 2 ± 4 میلی‌متر در سال حرکت امتداد لغز چپگرد را در البرز مرکزی نشان داده است (Vernant et al., 2004). حرکت کلی چپگرد مایل در عرض البرز بین گسل‌های امتداد لغز و معکوس جدا از هم تقسیم شده است و به نظر می‌رسد در این تقسیم‌شدگی گسل‌های امتداد لغز در مرکز یا قسمت جنوبی گستره با توپوگرافی به نسبت زیاد واقع شده‌اند در حالی که گسل‌های معکوس در دامنه‌های شمالی و جنوبی واقع شده‌اند (Tatar et al., 2007).

۴- سابقه لرزه‌خیزی منطقه

داده‌های ثبت شده به وسیله شبکه محلی TDSN وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران نشان می‌دهد، لرزه‌خیزی در عرض البرز مرکزی توزیع شده است و پیشنهاد می‌دهد که تمام ناحیه در حال تغییر شکل است. لرزه‌خیزی مشاهده شده با لرزه‌خیزی حاصل از مطالعه امواج دور توافق دارد و در جنوب تهران و دریای خزر جنوبی فعالیت لرزه‌ای مشاهده نمی‌شود. بیشتر فعالیت لرزه‌ای در خاور تهران واقع شده است و چندین خوشه اطراف تعدادی از گسل‌ها مانند گسل گرمسار، گسل مشا، گسل شمال البرز و جنوب گسل رباط کریم واقع در جنوب باختری تهران مشاهده می‌شود (Ashtari et al., 2005). نتایج حاصل از تعیین محل دوباره با روش تعیین محل نسبی نشان می‌دهد که فعالیت لرزه‌ای به دو گسل مشا، گرمسار و به احتمال پارچین یا قصر فیروزه در خاور تهران مرتبط هستند. دقیق‌ترین نتایج موجود، لرزه‌خیزی تعیین محل شده با شبکه متراکم موقت نصب شده توسط (Ashtari et al., 2005) به مدت مجموع 3 ماه شامل 20 ایستگاه نشان می‌دهد که لرزه‌خیزی دوباره در خاور تهران نزدیک گسل‌های مشا و قصر فیروزه واقع شده است و لرزه‌خیزی قابل توجهی در جنوب و اطراف گسل رباط کریم ثبت نشده است. لرزه‌خیزی حاصل از این عملیات با لرزه‌خیزی حاصل از داده‌های شبکه TDSN تفاوت دارد، بویژه در اطراف گسل گرمسار لرزه‌خیزی زیادی مشاهده نمی‌شود.

سازوکارهای کانونی حاصل از عملیات مذکور مؤلفه قابل توجهی حرکت امتداد لغز چپگرد در امتداد گسل‌های با امتداد NNW-SSE یا WSW-ENE نشان می‌دهند. باید در نظر داشت که سازوکار خرد زمین لرزه‌ها به طور عموم پاسخ حجمی از

عدم گستردگی وقایع در راستای عمود بر مقطع AA' به ثبت داده‌های بیشتری برای نسبت دادن این وقایع با شیب مشاهده شده به گسل خاص با قطعیت بالا نیاز است که با توجه به لرزه‌خیزی به نسبت کم منطقه ضرورت ادامه اندازه‌گیری در زمان طولانی‌تر را تأکید می‌نماید. با توجه به تعداد کم زمین‌لرزه‌های تصویر شده بر روی مقطع BB' نتیجه‌گیری در مورد ویژگی‌های توزیع ژرفای زمین‌لرزه‌ها امکان‌پذیر نیست و با عدم قطعیت فراوان شیئی به سمت جنوب در شمال گسل قصر فیروزه قابل استنباط است.

۷- بررسی سازوکارهای کانونی

۲۷ سازوکار کانونی محاسبه شده در منطقه حکایت از توزیع تغییر شکل در منطقه، بین حرکات امتداد لغز و معکوس دارد (شکل ۷؛ جدول ۲). در مجاورت گسل مشا حرکت امتداد لغز چپ‌چرخه است. چنانچه صفحه‌های در امتداد راستای گسل را به عنوان صفحه‌های اصلی در نظر بگیریم، دلالت بر حرکت چپگرد بر روی این گسل دارد. زمین‌لرزه آذر ماه ۱۳۸۵ با بزرگای ۲/۸ در شمال بومهن که در تهران نیز احساس شد دارای سازوکار امتداد لغز است (سازوکار شماره ۸ در شکل ۷). با این وجود تعدادی سازوکار معکوس نیز در مجاورت این گسل محاسبه شده است (سازوکارهای شماره ۱۰ و ۱۲). با نگاهی به سازوکارهای محاسبه شده در جنوب انتهای خاوری گسل شمال تهران که به طور عمده مربوط به فعالیت فوج‌گونه مرداد ۱۳۸۶ در منطقه لواسانات هستند، رفتاری مشابه رفتار یاد شده برای گسل مشا مشاهده می‌شود (سازوکارهای شماره‌های ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). وجود سازوکارهای معکوس در مناطق یاد شده و وجود همزمان دو رژیم فشاری و امتداد لغز احتمال حرکت فشاری-عبوری گسل مشا و ادامه این حرکت تا منطقه لواسان را تقویت می‌کند. دیگر سازوکارهای محاسبه شده حکایت از غلبه رژیم فشاری در مجاورت گسل‌های قصر فیروزه، ری، آراد و رباط کریم دارند. اما تعداد سازوکارهای محاسبه شده برای اثبات این ادعا با قطعیت، کافی نیست (سازوکارهای شماره ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۲۳، ۲۴). سازوکار شماره ۲۷ با کیفیت C بین دو گسل پارچین و قصر فیروزه دارای سازوکار امتداد لغز است. تنها سازوکار حل شده در شهر تهران سازوکار شماره ۲۶ با کیفیت A از نوع امتداد لغز با امتداد صفحه‌هایی شمال-خاور جنوب-باختر و شمال-باختر جنوب-خاور است که متفاوت از امتداد گسل‌های شمال تهران و شهرری در شمال و جنوب آن است.

به نظر می‌رسد با حرکت به سوی حاشیه جنوبی البرز مرکزی مؤلفه فشاری مؤلفه چپ‌چرخه است و سازوکار تقسیم شدگی تغییر شکل در حاشیه جنوبی البرز بین حرکات امتداد لغز و معکوس را در ذهن‌اللقاء می‌کند. فراوانی آزمون‌های محاسبه شده برای محور P نشان‌دهنده بازه ۱۰-۶۰ درجه با میانگین $N 29^{\circ}$ است که متفاوت از $N 10^{\circ}$ همگرایی صفحه عربی و اوراسیا است که می‌تواند از تغییر شکل داخلی در منطقه البرز مرکزی ناشی شده باشد (شکل ۸). مطالعات میدان تنش نوزمین‌ساختی در لبه جنوبی البرز مرکزی توسط (Abbaei and Shabanian, 2005) جهت $N 40^{\circ}$ را نشان می‌دهد که با یک رژیم زمین‌ساختی راست‌الغز در بخش کوهستانی آن سازگاری دارد و با دور شدن از پیشانی البرز و نزدیک شدن به لبه شمالی ایران مرکزی رژیم زمین‌ساختی فشاری جایگزین می‌شود که با نتایج به دست آمده با مطالعه خردزمین لرزه‌ها سازگاری دارد.

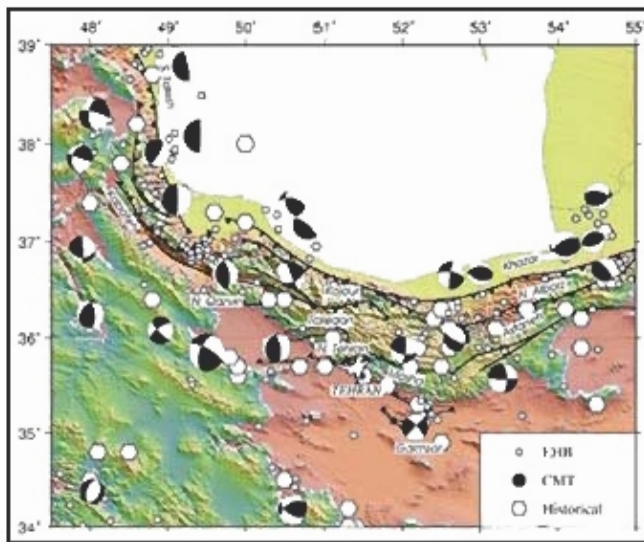
۸- نتیجه‌گیری

چهار سال و نیم داده شبکه متراکم لرزه‌نگاری شهر تهران نشانگر ثبت تنها چند زمین‌لرزه در محدوده جغرافیای شهر تهران است که دلالت بر فعالیت لرزه‌ای بسیار کم گسل‌های عبوری شناخته شده یا پنهان احتمالی از شهر تهران دارد. البته این عدم فعالیت لرزه‌ای نمی‌تواند دلیلی بر عدم فعال بودن این گسل‌ها باشد. در مقابل، فعالیت لرزه‌ای در خاور و بویژه شمال خاوری شهر تهران قابل توجه است. تعیین محل دقیق تعدادی از وقایع با ترکیب داده‌های سه شبکه IRSC، TCSN و INSN

این شبکه برای مطالعه زمین‌لرزه‌های داخل شهر تهران و مجاورت آن بسیار بالا است. با این وجود توزیع مشاهده شده با نتایج به دست آمده توسط (Ashtari et al., 2005) همخوانی به نسبت خوبی نشان می‌دهد که حکایت از آن دارد که بر خلاف قرار گرفتن بسیاری از وقایع در خارج از شبکه، رومرکز این زمین‌لرزه‌ها با دقت قابل قبولی تعیین شده است که می‌تواند به علت تعداد به نسبت زیاد ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری شهر تهران و الگوریتم به کار رفته برای تعیین محل باشد.

توزیع رومرکز زمین‌لرزه‌ها گویای آن است، که طی چهار سال و نیم اندازه‌گیری رویدادهای کمی در مجاورت گسل شمال تهران ثبت شده است. فعالیت فوج‌گونه در مرداد ۱۳۸۶ در منطقه لواسانات بزرگ (شمال سد لثیان) قابل توجه‌ترین فعالیت لرزه‌ای ثبت شده نزدیک تهران در فاصله کمی از منتهی‌الیه خاوری این گسل در جنوب آن است. در محدوده جغرافیای شهر تهران نیز تنها دو زمین‌لرزه در ناحیه باختری شهر ثبت شده است که با توجه به قرارگیری آنها در داخل شبکه ژرفاهایشان با خطای کمتر از ۲ کیلومتر بین ۱۵ تا ۱۷ کیلومتر تعیین شده است. در فاصله‌ای بیشتر به سمت شمال، عدم فعالیت لرزه‌ای در مجاورت گسل طالقان قابل توجه است اما کمی بالاتر فعالیت قابل توجهی در مجاورت گسل کندوان مشاهده می‌شود. کمی بیشتر به سوی شمال پس‌لرزه‌های زمین لرزه خرداد ۱۳۸۳ بلده ($M_L = 6/2$) هستند که با نتایج به دست آمده از داده‌های محلی توافق خوبی نشان می‌دهد (Tatar et al., 2007). توزیع وقایع ثبت شده گویای لرزه‌خیزی بیشتر در خاور تهران (از طول جغرافیایی 51°) نسبت به باختر آن است که با نتایج پیشین نیز همخوانی دارد (Ashtari et al., 2005). در جنوب تهران زمین‌لرزه‌های محدودی در مجاورت منتهی‌الیه باختری گسل پارچین و چند زمین‌لرزه هم کمی دورتر در مجاورت گسل آراد و رباط کریم و بویژه جنوب آنها ثبت شده است. در خاور تهران چند زمین‌لرزه در مجاورت گسل قصر فیروزه ثبت شده‌اند و کمی بیشتر به سمت خاور وجود لرزه‌خیزی با روند به نسبت شمال-جنوب قابل توجه است. لرزه‌خیزی در مجاورت گسل گرمسار نیز روند این گسل را دنبال می‌کند اما از آنجا که در فواصل دور، تشخیص انفجار از زمین‌لرزه بسیار دشوار می‌شود به علت انفجارهای متعدد در معادن نمک واقع شده در راستای گسل گرمسار، در صحت لرزه‌خیزی همراه شده با گسل گرمسار جای تردید وجود دارد. فعالیت لرزه‌خیزی قابل توجهی نیز در مجاورت نیمه خاوری گسل مشا با همان روند خاوری-باختری مشاهده می‌شود. بارزترین فعالیت لرزه‌ای در مجاورت گسل مشا رخداد زمین‌لرزه ۲۹ آذر ۱۳۸۵ ($M_L = 3/8$) و پس‌لرزه‌های آن در شمال بومهن (روستای آردینه) است که در شهر تهران نیز احساس شد. در مجاورت شهر دماوند نیز وجود گروهی از وقایع با امتداد گسل مشا قابل توجه هستند.

برای تعیین محل دقیق‌تر وقایع رخداده بویژه در نزدیک شهر تهران اقدام به ترکیب داده‌های ثبت شده مشترک در شبکه IRSC، TCSN و INSN شد که توزیع رومرکز ۸۶ واقعه دوباره تعیین محل شده، همچنان گویای فعالیت لرزه‌ای قابل توجه در امتداد گسل مشا و فعالیت پراکنده در شمال خاوری و خاور شهر تهران است (شکل ۴). با نگاهی به ژرفای ۵۰ زمین‌لرزه که با دقت بالایی تعیین محل شده‌اند (نبود آزمون‌های کمتر از ۱۸۰ درجه) مشاهده می‌شود که ژرفای وقایع در بازه ۴ تا ۳۲ کیلومتر با بیشترین تمرکز در ژرفاهای ۱۰ تا ۱۴ کیلومتر قرار دارد (شکل ۵). برای مطالعه احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ها بر روی گسل‌های مهم منطقه دو مقطع در امتداد خطوط AA' و BB' عمود بر گسل شمال تهران و مشامورد بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۴ و ۶). توزیع زمین‌لرزه‌ها در مقطع AA' شیب تندی به سمت شمال با زاویه 75° را در جنوب انتهای خاوری گسل شمال تهران نشان می‌دهد (شکل ۵). بیشترین وقایع نشان داده شده در مقطع AA' مربوط به فعالیت فوج‌گونه مرداد ۱۳۸۶ در منطقه لواسانات بزرگ هستند که رومرکز آنها در فاصله بسیار کمی از تاج سد لثیان (۲- کیلومتر) در شمال باختر آن تعیین محل شده‌اند. با توجه به



شکل ۱- نقشه زمین‌ساخت ناحیه تهران و مجاورت نزدیک آن در شکل لرزه‌خیزی تاریخی، مستگاهی و محل‌های تلسور میان (CMT) نیز نمایان شده است (Ambraseys and Melville, 1982; Engdahl et al., 1998).

جدول ۱- مدل سرعت به کار رفته برای تعیین مدل زمین‌لرزه (Aubert et al., 2005)

لایه	مرز بالای لایه (km)	سرعت موج P (Km/s)	سرعت موج S (Km/s)
۱	۰	۵٫۶	۳٫۱
۲	۲	۵٫۷	۳٫۳
۳	۸	۶٫۰	۳٫۵
۴	۱۲	۶٫۳	۳٫۶

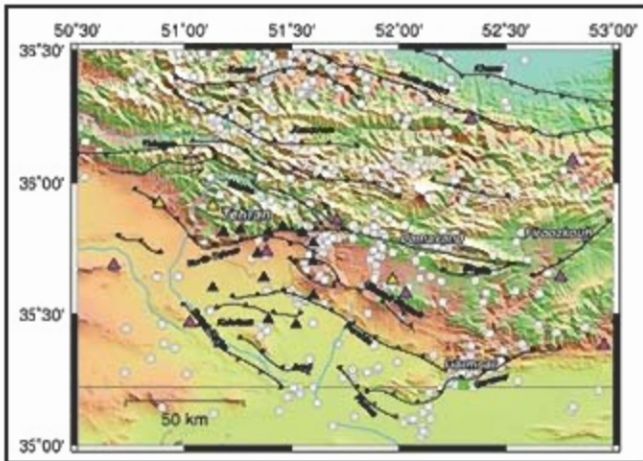
نشانهگر وقوع و وقوع در بازه ژرفای ۶ تا ۲۲ کیلومتر است و در جنوب انتهای خاوری گسل شمال تهران شیب تند به سوی شمال قابل استنباط است. سازوکارهای تعیین شده در منطقه، ترکیبی از سازوکارهای امتداد لغز و معکوس هستند و هر چه از حاشیه جنوبی، لیز به سمت شمال ایران مرکزی پیش می‌رویم سازوکارهای معکوس بیشتر چهره می‌شوند که می‌تواند نشان‌دهنده جهایش لغزش در حاشیه جنوبی البرز باشد. وجود در سازوکار امتداد لغز و معکوس در مجاورت گسل مشا دلالت بر حرکت تراشاری یا مؤلفه چیره امتداد لغز چه‌گرد در این زون گسل‌خورده دارد. در منطقه واقع در جنوب انتهای خاوری گسل شمال تهران در شمال سد تیان نیز رفتار مشابهی مشاهده می‌شود که ادامه لغزش روی گسل مشا به سمت باختر در منطقه لوامانات را در ذهن ایجاد می‌کند. مشاهده سازوکارهای امتداد لغز و معکوس در دو منطقه یاد شده که دلرایی وسعت کمی هستند را می‌توان به سهم واتش در مقیاس منطقه‌ای نسبت داد. تنها سازوکار حل شده در شهر تهران مربوط به زمین‌لرزه تیت شنه در باختر تهران با ژرفای ۱۵±۲ کیلومتر، دارای سازوکار امتداد لغز عمال با امتدای متفاوت از امتداد گسل‌های اصلی واقع در شمال و جنوب آن دارد.

سپاسگزاری

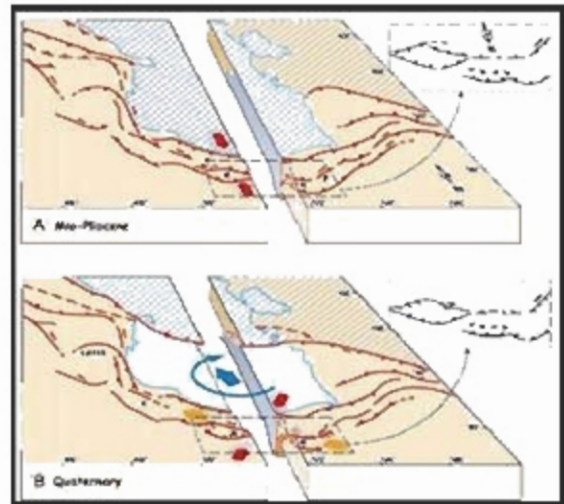
به این وسیله از آقایان حکمر مهدی رضایی و رئیس وقت شبکه لرزه‌نگاری کشوری و دکتر غلام جوان دولتی رئیس وقت شبکه لرزه‌نگاری یاند پهن ایران به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌های رلومی وقایع لرزه‌ای سپاسگزاری می‌شود. از آقای حکمر کارن آسانویانس برای نوشتن برنامه تغییر فرمت داده، سپاسگزاری می‌شود. از آقایان حکمر محمد تاتار و حکمر محمد عباسی به خاطر نظرات بسیار ارزنده برای بهبود نتایج، کمال تشکر را دارد. از آقایان مهندس علیرضا ثابتی، محمد مختاری، سید هادی متولی عنبران، مجتبی نقوی، سعید نویخت و مهدی فلاح که در نصب ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و نگهداری آن و برداشت داده‌ها زحمات فراوانی را تقبل نموده‌اند سپاسگزاری می‌شود.

جدول ۲- پارامترهای مربوط به سازوکار کتونی زمین‌لرزه Lab Lon و Depth مشخصات زمین‌لرزه هستند. R1, Az1, Az2, Az3, Az4, Az5 قطب اروپ آرسوت شیب و لغزش مسنده‌های ۱ و ۲ هستند. Azp, Azd, dep, det آرسوت و میل محورهای P و T هستند. A, B و C صرفاً کیفیت سازوکار حل شده هستند.

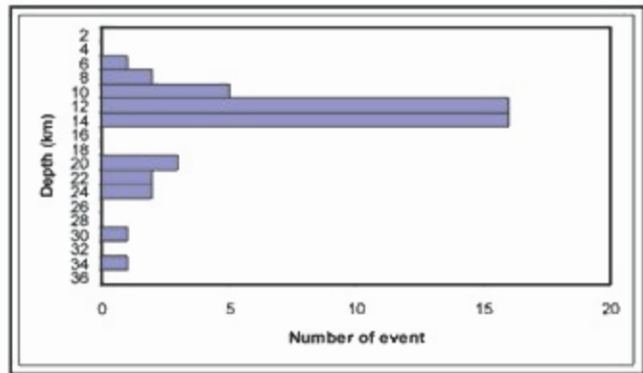
No	Date	Time	Lat	Lon	Depth	det1	Az1	R1	det2	Az2	R2	Azp	dep	Azd	det	Q
1	20040815	625	51.859	35.784	12	64.34	267.14	16.1	75.32	4.27	153.43	228.03	28.88	133.9	7.44	C
2	20040911	2121	51.864	35.611	12.7	69.3	86.62	40.89	52.24	339.39	133.43	209.55	10.55	309.58	43.08	C
3	20041113	1505	51.885	35.717	10	60.5	266.23	5.73	85.02	173.4	150.38	223.49	16.67	125.77	24.18	B
4	20060114	2302	51.626	35.773	12.8	26.02	101.05	-87.72	64	278.31	91.11	186.1	70.97	9.74	19	A
5	20060421	2149	51.89	35.791	9.6	41.03	277.9	11.69	82.36	178.43	130.43	237.73	26.06	124.52	38.87	B
6	20060815	33	51.577	35.832	12.5	52.24	255.34	-50.77	52.24	128.47	129.23	191.9	0	101.9	60	C
7	20061030	1355	51.878	35.817	10.8	80.15	280.83	28.48	61.98	16.13	168.83	235.03	26.95	331.34	12.2	C
8	20061220	439	51.93	35.808	12.1	71.25	248.83	-7.1	83.28	341.12	161.12	206.39	18.06	113.66	8.31	B
9	20061220	537	51.921	35.795	12.3	50.73	272.09	8.29	83.59	176.82	140.43	230.92	21.63	126.7	31.77	B
10	20061220	1457	51.922	35.799	12.1	46.92	252.92	69.25	46.92	101.94	110.75	177.43	0	87.43	75	B
11	20070207	2215	51.957	35.601	11.9	26.67	268.73	62.41	56.56	119.05	103.1	199.2	20.52	52.2	65.95	B
12	20070210	2349	51.851	35.809	12.5	32.25	83.35	82.48	58.09	282.32	94.71	8.8	12.97	206.53	76.41	C
13	20070302	1210	51.58	35.679	15.7	41.41	258.63	40.89	64.34	135.63	123.69	201.89	12.95	91.34	56.77	B
14	20070422	1815	50.973	35.587	20.4	39.67	74.55	57.6	57.39	294.06	113.96	7.14	9.39	252.32	67.73	B
15	20070729	1024	51.657	35.805	12.1	90	83.33	30	60	353.33	180	214.23	20.7	312.44	20.7	B
16	20070730	823	51.668	35.792	9	54.23	100.95	82.9	36.43	293.48	100.14	196.24	8.95	341.87	79.2	A
17	20070730	1335	51.659	35.821	12.1	41.41	258.63	40.89	64.34	135.63	123.69	201.89	12.95	91.34	56.77	C
18	20070731	308	51.681	35.807	10.8	80	270	0	90	180	170	225.44	7.05	134.56	7.05	B
19	20070731	318	51.676	35.809	10.8	64.34	267.14	-16.1	75.32	4.27	153.43	228.03	28.88	133.9	7.44	B
20	20070731	709	51.657	35.801	10.9	77.3	83.41	15.58	74.81	349.9	166.85	216.37	1.71	306.99	19.92	B
21	20070731	1134	51.658	35.806	10.9	46.05	266.81	54.04	54.37	133.06	121.33	201.42	4.53	101.84	64.54	C
22	20070731	1313	51.664	35.809	10.4	86.6	220.99	19.72	70.32	129.77	176.38	353.74	11.31	87.09	16.27	B
23	20070812	1640	51.588	35.22	23.8	72.72	136.81	73.22	13.91	1.24	132.86	239.92	25.87	23.52	58.92	B
24	20070915	701	51.825	35.838	9.5	61.98	266.13	11.17	80.15	170.83	131.52	221.34	12.2	125.03	26.95	C
25	20071122	1603	51.382	35.582	12.9	67.48	83.93	45.9	48.44	332.36	149.21	204.06	11.44	206.91	47.73	B
26	20080606	0019	51.246	35.717	14.6	87.77	46.96	-2.01	87.99	137.04	177.77	2.00	3.00	272.00	0.16	A
27	20080821	1629	51.858	35.503	12.2	76.57	286.72	-22.47	68.18	11.21	165.51	242.09	25.29	335.68	5.86	C



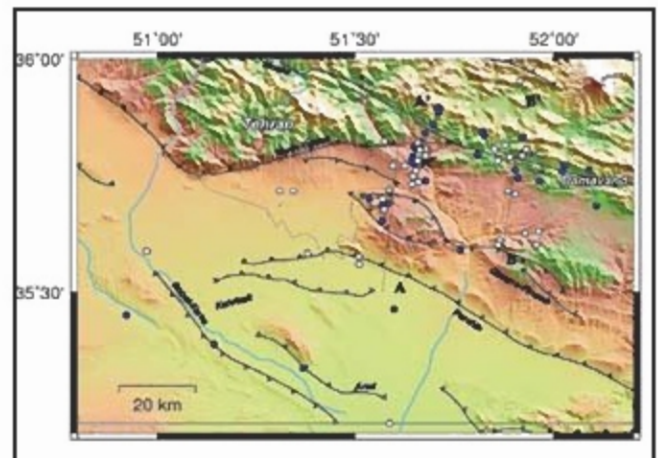
شکل ۳- تزه‌نیزی شهر تهران و مجاورت آن از مرداد ماه ۱۳۸۴ تا آذر ماه ۱۳۸۷ با استفاده از داده‌های شبکه TCSN. مثلث‌های مشکی رنگ ایستگاه‌های شبکه TCSN، صورتی رنگ IRSC و زرد رنگ INSN را نشان می‌دهند. گسل‌ها از Anbari et al. (2005).



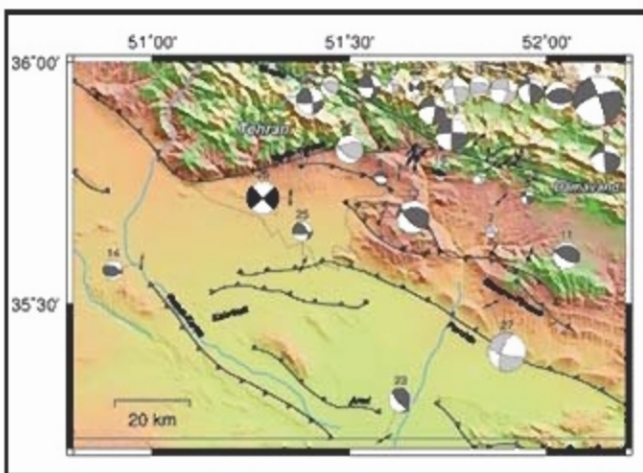
شکل ۴- تمایش سه‌بعدی تغییرات اخیر سینماتیکه لیرز مرکزی که با حرکت رویه شمال‌پس‌تر حوضه خزر جنوبی و (یا) چرخش آن همراه شده است. فلش‌های سرخ محور فشاری در عرض لیرز مرکزی و فلش‌های نارنجی محورهای کششی در حوضه داخلی گسترده در امتداد تون پهن‌گرد پرسی موازی با گستره را نشان می‌دهند (Ritz et al., 2006).



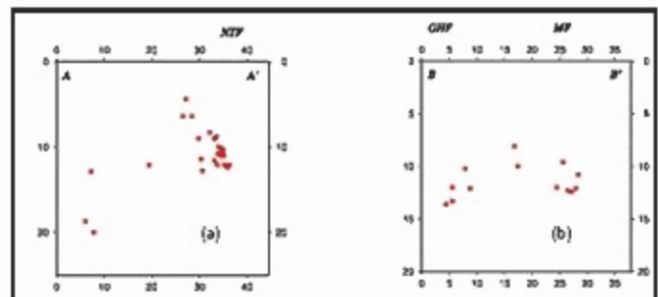
شکل ۵- نمودار فراوانی ژرفای زمین‌لرزه‌های تعیین محل شده با لیرز آزیسوتی کمتر از ۱۸۰ درجه.



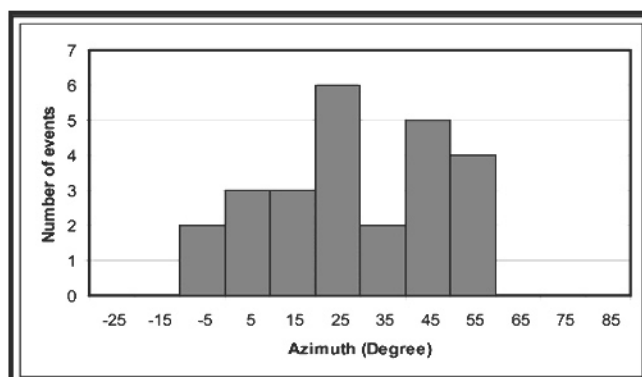
شکل ۶- توزیع دور مرکز زمین‌لرزه‌های تعیین محل شده با ترکیب داده‌های سه شبکه TCSN، IRSC و INSN. خطوط AA' و BB' امتداد مقاطع نشان داده شده در شکل ۶ را نشان می‌دهند. دایره‌های سفید زمین‌لرزه‌های هستند که با لیرز آزیسوتی کمتر از ۱۸۰ درجه تعیین محل شده‌اند. علامت ستاره محل تاج سد تهران را نشان می‌دهند.



شکل ۷- سازه‌نگارهای کاتونی مناسب شده در تزه‌نگی شهر تهران نشان دهنده وجود هر سازوکار لغز و فشاری در منطقه است. رنگ‌های میانه خاکستری پر رنگه و خاکستری کم رنگه به ترتیب نشانگر حل‌های با کیفیت B، A و C هستند.



شکل ۸- توزیع ژرفای زمین‌لرزه‌های تعیین محل شده با لیرز آزیسوتی کمتر از ۱۸۰ درجه (a) در راستای خط AA'؛ (b) در راستای خط BB' با پهنای (km) ۲۰ برای مشخص شدن محل مقاطع به شکل ۶ در چرخش.



شکل ۸- فراوانی آزیموت‌های محور P حاصل از محاسبه سازوکارهای کانونی، جهت چپ را ۲۹۰ نشان می‌دهد.

References

- Abbasi, M. R., E. & Shabanian Boroujeni, 2005- Determination of stress state and direction by inversion of fault-slip data in the southern of flank of Central Alborz, *Geosciences*, 12: 2-17.
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran, *J. Geodyn.*, 21: 1-33.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003- Accomodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *J. Struct. Geol.*, 25: 659-672.
- Ambraseys, N. N., Melville, C.P., 1982- A history of Persian Earthquakes. Cambridge Earth Science Series. Cambridge University Press, London, 212 p.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D., Kamalian, N., 2005- Microseismicity in the region of Tehran, *Tectonophysics*, 395: 193-208.
- Berberian, M., 1994- Natural hazards and the first earthquake catalog of Iran. Vol. 1: historical hazards in Iran prior 1900, I.I.E.E.S. report.
- Berberian, M. & Yeats, R.S., 1999- Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian plateau, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89: 120-139.
- Brunet, M. F., Korotaev, M. V., Ershov, A., Nikishin, A. M., 2003- The south Caspian basin: a review of its evolution from subsidence modeling, *Sediment. Geol.* 156: 119-148.
- Engdahl, E. R., Van der Hilst, R. D., Buland, R. P., 1998- Global teleseismic earthquakes relocation with improved travel times and procedures for depth determination, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88: 722,-743.
- Harvard, 2002- Department of Geological Sciences, Centroid Moment Tensor catalogue, available on line at: <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>.
- Havskov, J., Ottemöller, L., 2005- SEISAN: the earthquake analysis software, version 8.1.
- Lienert, B. R., Berg, E., Frazer, L.N., 1986- Hypocenter: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76: 771-783.
- Ritz, J. F., Balescu, S., Soleymani, S., Abbasi, M., Nazari, H., Fegghi, K., Shabanian, E., Tabbassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J., L., Massault, M., Chéry, J., Vernant, P., 2003- Determining the long-term slip rate along the Moshafault, Central alborz, Iran. Implications in Terms of Seismic Activity, S.E.E. 4 meeting, Tehran, 12-14 May.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Soleymani, S., Vernant, P., 2006- Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics, *Geology*, 34: 477-480.
- Sengor, A. M. C., Altiner, D., Cin, A., Ustaomer, T., Hsu, K.J., 1988- Origin and assembly of the Tehyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. In: Audley-Charles, M. G., Hallam, A. (Eds.), *Gondwana and Thetys.*, Geol. Soc. London Spec. Publ., 37: 119-181.
- Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teagus, A. G., Bollinger, G.A., 1984- A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data, *Earthquake notes*, 55: p15.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D., Bergman, E., 2007- The 2004 May 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.
- Vernant, P. et al., 2004a- Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157: 381-398.
- Vernant, P. et al., 2004b- Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 223: 177-184.

Seismicity of Tehran City Region and its Vicinity Based on Tehran City Seismic Network (TCSN) Data

F. Yamini-Fard^{1*}, A. S-Moradi², M. Hosseini³, R. Norouzi⁴

¹ International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran.

² Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

³ Islamic Azad University, Science and Research Campus, Tehran, Iran.

⁴ Tehran Disaster Management and Mitigation Organization, Tehran, Iran.

Received: 2008 March 02

Accepted: 2008 December 24

Abstract

From June 2004 to December 2008 low seismic activity was recorded near North-Tehran, Taleghan and Kahrizak faults and inside of Tehran city. In contrast, seismic activity along Mosha, Garmsar and North-Alborz faults is considerable. Generally seismic activity decreases from 51 degrees longitude to west. Two earthquakes with 15 and 17 km depth were located in the west of Tehran city. The calculated focal mechanism for one of them is pure strike-slip. High seismic activity is observed along Mosha fault close to Damavand, Boumehen cities and Lavasant-e-Bozorg region. Calculated focal mechanisms along this fault includes both strike-slip, and reverse mechanisms that implies transpression motion, dominantly left-lateral slip along this fault that continued to Lavasanat region in south of the eastern end of the North Tehran fault. Precise location of some events shows depth range of 4-32 km. Generally, calculated focal mechanisms in studied region include both strike-slip and reverse mechanisms and seems that in southern part, approaching Central Iran, reverse mechanisms are dominant. It implies slip partitioning in southern margin of Central Alborz.

Key words: Tehran city, Fault, Seismicity, Focal mechanism, Slip partitioning

For Persian Version see pages 133 to 138

*Corresponding author: F. Yamini - Fard; E-mail: faryam@iiees.ac.ir

Depositional Environment and Sequence Stratigraphy of the Pabdeh Formation in Shiraz area

R. Mirzaee Mahmoodabadi^{1*}, Y. Lasemi² & M. Afghah³

¹ Islamic Azad University, Science & Research Campus, Tehran, Iran.

² Tarbiat Moalem University, Tehran, Iran.

³ Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran.

Received: 2007 October 14

Accepted: 2008 December 10

Abstract

Shaley Pabdeh Formation (Paleocene-Oligomiocene) expanded in Fars, Khozestan and Lorestan. Lower Lithostratigraphical limit with Gurpi Formation recognized by purple shale. Upper Lithostratigraphical limit with Asmari Formation is transitional. In order to study sedimentary environments and sequence stratigraphy of Pabdeh Formation two stratigraphic sections were chosen (Zanjiran and Shahneshtin). Petrographic study indicated 9 pelagic and calciturbidite microfacies. These microfacies in deep marine deposited. Calciturbidite facies were formed during sea level highstand, when high rate of carbonate production result in transportation of carbonate sediment in deep sea. Sequence stratigraphy study shows that Pabdeh Formation consists of two depositional sequences. In Zanjiran section lower and upper contact of first sequence is type two and upper contact of second depositional sequence is conformity with unconformity. In Shahneshtin section the lower contact is type two and upper contact is correlative conformity with unconformity.

Keywords: Pabdeh formation, Shiraz, Purple Shale, Zanjiran Section, Shahneshtin Section, Depositional Sequence.

For Persian Version see pages 139 to 146