

بهره‌گیری از مدل سرشتی توزیع بزرگا برای گسل شمال تبریز در مطالعات تحلیل خطر و تأثیرات آن در برآورد پارامتر شتاب و منحنی خطر زمین‌لرزه

بهزاد ملکی^۱، حبیب رحیمی^{۲*} و وحید ملکی^۳

۱. دانش‌مؤخره کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانش‌مؤخره دکتری، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷، پذیرش نهایی: ۹۸/۷/۹)

چکیده

با توجه به اهمیت مقادیر شتاب در دوره بازگشت‌های بلندمدت و تأثیر آن در طراحی طیف ویژه ساختگاه، انتخاب مناسب توابع توزیع بزرگا برای چشمه‌های لرزه‌ای مهم بوده و تأثیر قابل‌توجهی در نتیجه تحلیل خطر لرزه‌ای دارد. در گستره شمال‌غرب ایران، گسل شمال تبریز به‌دلیل خصوصیات لرزه‌خیزی منحصربه‌فرد و تاریخچه جنبش آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به مطالعات دیرینه لرزه‌خیزی صورت گرفته و بررسی رفتار این سامانه گسلی، احتمال لغزش سرشتی در بخش میانی آن تأیید شده است. حال اگر این سامانه گسلی رفتاری سرشتی داشته باشد، با انتخاب مدل سرشتی توزیع بزرگا برای محدوده میانی گسل، تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی انجام شده و نتایج بررسی شده است. تأثیرات انتخاب این مدل از توزیع بزرگا بر مقادیر پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین در دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شده است. در نتایج تحلیل خطر، با در نظر گرفتن مدل سرشتی برای این بخش از گسل شمال تبریز، نقشه مناطق هم شتاب برای سنگ‌بستر با ۵ درصد میرایی برای مؤلفه افقی تهیه شده و مقدار آن برای محدوده شهر تبریز در دوره بازگشت ۴۷۵ سال از $0.28g$ تا $0.5g$ متغیر می‌باشد. همچنین پارامتر شتاب حاصل از جنبش زمین برای محدوده گسلی شمال تبریز با دو مدل توزیع بزرگای نمایی و سرشتی، در دوره بازگشت‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت محاسبه و مقایسه شده است. شتاب حاصل از انتخاب مدل سرشتی توزیع بزرگا برای این بخش از گسل، در دوره بازگشت‌های بلندمدت بیشتر از مدل نمایی بوده و برعکس، برای دوره بازگشت‌های کوتاه‌مدت کمتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برآورد خطر زمین‌لرزه، مدل سرشتی، مدل نمایی، چشمه بالقوه زمین‌لرزه، گسل شمال تبریز.

۱. مقدمه

آنها می‌توان به زمین‌لرزه سال ۱۰۴۲ (~7.6Ms)، ۱۷۲۱ (~7.7Ms)، ۱۷۸۰ (~7.7Ms) میلادی اشاره کرد (بربریان و یت، ۱۹۹۹). گسل شمال تبریز به‌دلیل خصوصیات لرزه‌خیزی ویژه و تاریخچه لرزه‌ای آن، از دیگر گسل‌های ایران مستثنا و همواره موردتوجه زلزله‌شناسان و زمین‌شناسان بوده است. حساسی و همکاران (۲۰۰۳) با حفر ترانشه بر روی گسل شمال تبریز مطالعات دیرینه لرزه‌خیزی را انجام داده و در بخش میانی گسل شمال تبریز، احتمال لغزش سرشتی را تأیید کرده‌اند. در این تحقیق مشخص شده که مدل توزیع بزرگای چشمه‌های تعیین شده در مطالعه تحلیل خطر زمین‌لرزه در برآورد شتاب

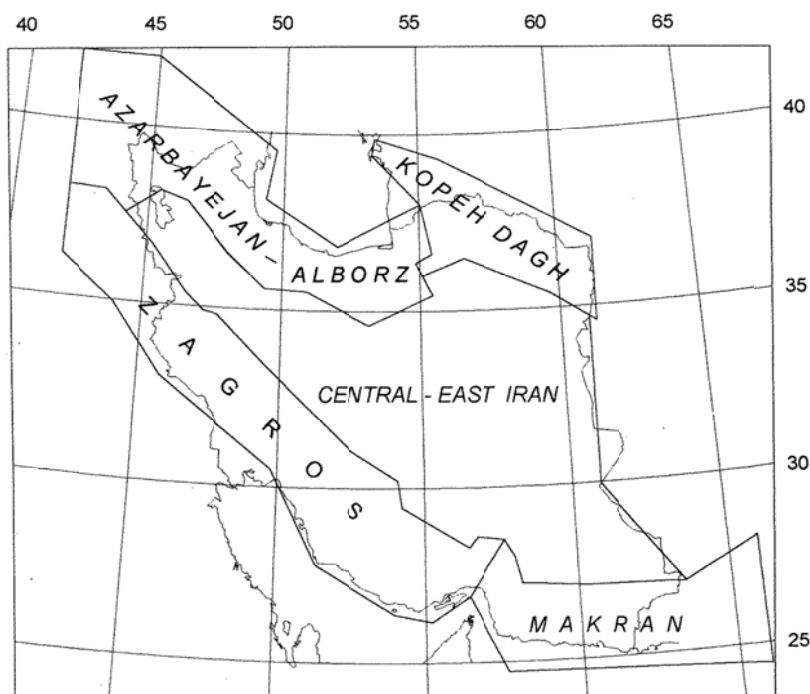
تبریز از شهرهای مهم صنعتی ایران با تراکم جمعیت بالا در آذربایجان قرار دارد که در جوار گسل شمال تبریز و یکی از پرخطرترین مناطق از نظر لرزه‌خیزی می‌باشد. کمبود زلزله در محدوده گسل تبریز، نشان از بی‌خطر بودن این سامانه گسلی نیست. احتمال لغزش سرشتی (Characteristic) برای این سامانه گسلی بنا بر نظر برخی از محققین وجود دارد. مفهوم لغزش سرشتی برای گسل‌هایی که زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای تقریباً یکسان، در بازه‌های زمانی یکسان رخ می‌دهند، تعریف می‌شود. زمین‌لرزه‌های تاریخی گزارش شده در نزدیکی شهر تبریز، موجب خسارت فراوانی در آن شده است. از مخرب‌ترین

۲. لرزه‌زمین ساخت گستره مورد مطالعه

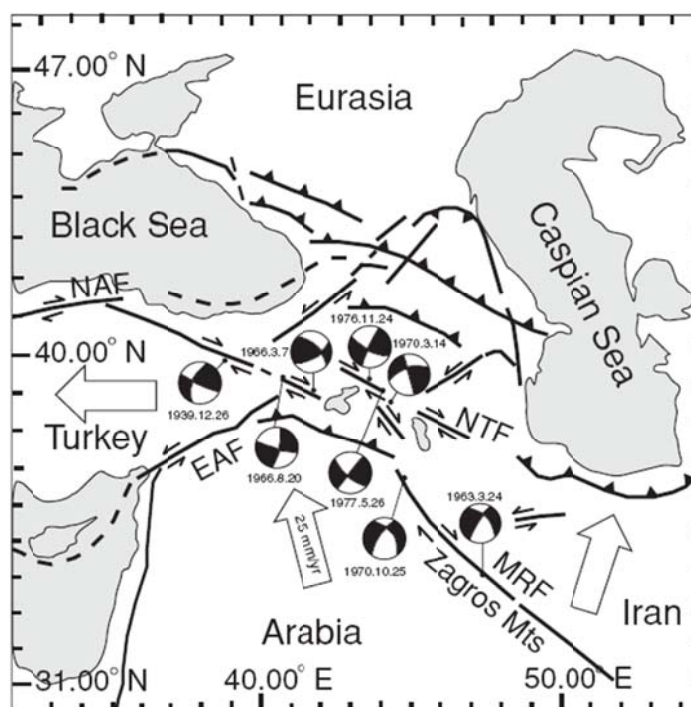
با توجه به مطالعه میرزایی و همکاران در سال ۱۹۹۸، با بررسی داده‌های ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، تکتونیکی و نیز داده‌های لرزه‌خیزی، ایران به پنج ایالات لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم شده است (شکل ۱). بر این اساس، بخشی از ناحیه مورد مطالعه در ایالات لرزه‌زمین‌ساختی البرز-آذربایجان که یک کمربند مهم لرزه‌خیزی می‌باشد و شمال‌غرب ایران تا جنوب دریای خزر را پوشش می‌دهد، قرار دارد. گسل شمال تبریز یکی از گسل‌های فعال کواترنری است که الگوی لرزه‌خیزی آن موجب شده که این گسل مرز جدایش ایالات لرزه‌زمین‌ساختی البرز آذربایجان و ایران مرکزی را تشکیل دهد (میرزایی و همکاران، ۱۹۹۸). شمال‌غرب ایران، سازو کار کانونی زمین‌لرزه‌ها که معرف گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد هستند، همگرایی صفحه عربستان و اوراسیا را نشان می‌دهد. اگرچه گسل‌های امتداد لغز راست‌لغز جنوب‌شرقی ترکیه و شمال‌غرب ایران پیوسته نیستند، اما شامل چند گسل در امتداد یکدیگر با این سازوکار هستند (شکل ۲) (جکسون، ۱۹۹۲). نحوه قرار گیری گسل‌های امتداد لغز در شمال‌غرب ایران (از جمله گسل شمال تبریز، گسل اهر و زون‌های گسل سلیمان و مراغه) از یک الگو مکانی در تغییر شکل منطقه پیروی می‌کند و به درک ما از فرآیندهای ژئودینامیکی ناحیه مورد مطالعه می‌افزاید (تقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۸). گسل‌های فعال واقع در شمال‌غرب ایران، واحدهای سنگی پرکامبرین را جابه‌جا کرده که نشان‌دهنده وجود این واحد سنگی در زیر خردقاره شمال‌غرب ایران می‌باشد همچنین واریانس تنش کلوب در حین گسیختگی یکی از گسل‌ها ممکن است باعث فعال شدن مجدد سایر گسل‌ها در منطقه شود (فریدی و همکاران، ۲۰۱۷).

برای دوره بازگشت‌های مختلف، رفتار متفاوتی دارد لذا این رفتار متفاوت می‌تواند در طراحی طیف ویژه ساختگاه تأثیرگذار باشد. همان‌طور که در ادامه شرح داده خواهد شد، تابع چگالی احتمال توزیع نمایی برای مدل‌سازی توزیع بزرگا، نشان می‌دهد این مدل برای چشمه‌هایی که زمین‌لرزه‌های بزرگ مکرر در آن رخ می‌دهد، مناسب نیست. لذا در این تحقیق تأثیر رفتار سرشتی گسل شمال تبریز با انتخاب مدل سرشتی توزیع بزرگا (شوارتز و همکاران، ۱۹۸۴) در تحلیل خطر زمین‌لرزه با روش احتمالاتی (کرنل، ۱۹۶۸) مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این مطالعه، ناحیه مورد بررسی ۴۴/۵ تا ۴۸ درجه عرض شمالی و ۳۷ تا ۳۹/۵ درجه طول شرقی می‌باشد. بدین منظور از فهرست‌نامه (کاتالوگ) زمین لرزه‌ها، برای سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ از کاتالوگ بازسازی‌شده زمین‌لرزه‌ای ایران بر اساس مطالعه موسوی بفرئی و همکاران (۲۰۱۴) و برای سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و نیز کاتالوگ مرکز لرزه نگاری دانشگاه تهران استفاده و بر اساس روابط ارائه‌شده توسط شاهوار (۲۰۱۳) یکسان‌سازی شده است. با توجه به مطالعات حسامی و همکاران (۲۰۰۳) در بخش میانی گسل شمال تبریز (ناحیه‌ای که لغزش سرشتی در آن محتمل است) با دو مدل سرشتی و نمایی از توزیع بزرگا تحلیل خطر لرزه‌ای انجام شده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده با انتخاب مدل سرشتی نسبت به مدل نمایی در دوره بازگشت‌های مختلف مقادیر متفاوتی از شتاب جنبش زمین محاسبه شده و در نهایت تأثیر هر یک از این دو مدل از توزیع بزرگا برای دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شده است. مدل ریاضی تابع چگالی احتمال توزیع بزرگا برای انواع سرشتی و نمایی در بخش ۳ آورده شده است.



شکل ۱. ایالات لرزه‌زمین‌ساختی ایران بر اساس مطالعه میرزایی و همکاران (۱۹۹۸).



شکل ۲. محدوده شمال‌غرب ایران و شرق ترکیه که توسط جکسون (۱۹۹۲) منتشر شده است. سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های بزرگ ($M_b > 5.3$) برای ناحیه لرزه‌خیز تبریز-چالدران به‌تصویر کشیده شده است (جکسون و همکاران، ۱۹۸۴). گسل شمال تبریز (NTF)، گسل شرق آناتولی (EAF)، گسل اصلی زاگرس (MRF)، گسل شمال آناتولی (NAF).

۳. توابع توزیع بزرگا

۳-۱. مدل نمایی

مدل نمایی توزیع بزرگا در چشمه‌های لرزه‌ای، بر مبنای رابطه بزرگا-فراوانی زمین‌لرزه‌ها توسط گوتنبرگ-ریشتر (۱۹۵۶) ارائه شده و به صورت زیر می‌باشد (گودینیو، ۲۰۰۷):

$$\log \lambda_m = a - bm \quad (1)$$

رابطه استاندارد مدل نمایی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\lambda_m = v_0 \cdot \exp(-\beta m) \quad (2)$$

که در این رابطه خواهیم داشت:

$$\beta = b \ln(10) \approx 2.3b \text{ and } v_0 = 10^a \quad (3)$$

در این رابطه می‌توان به وضوح ملاحظه کرد که بزرگای زمین‌لرزه‌ها به صورت نمایی توزیع می‌شوند و با افزایش پارامتر b (b-value)، مقدار تابع چگالی احتمال بزرگ‌تر می‌شود. بنابراین می‌توان گفت، این تابع زلزله‌های متوسط و کوچک را به خوبی مدل کرده و احتمال ناچیزی برای زمین‌لرزه‌های بزرگ در نظر می‌گیرد.

رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای مقادیر نامتناهی از بزرگا برقرار است اما یک محدوده از بزرگا برای این رابطه در نظر گرفته می‌شود زیرا چشمه‌های لرزه‌ای قادر نخواهند بود یک زلزله با بزرگایی بیشتر از توان خود تولید کنند (M_{\max}). همچنین از دیدگاه مهندسی زلزله حد پایین بزرگی را به زلزله‌هایی نسبت می‌دهند (M_{\min}) که زلزله‌های با بزرگای کمتر از آنها خسارتی ایجاد نمی‌کنند (امبرسون، ۲۰۰۶).

با توجه به تابع چگالی احتمال و استفاده از مقادیر بزرگای بیشینه و بزرگای کمینه رابطه تابع چگالی احتمال توزیع نمایی به صورت زیر خواهد بود:

$$f_m(m) = \frac{\beta \cdot e^{-\beta(m-M_{\min})}}{1 - e^{-\beta(M_{\max}-M_{\min})}} \quad (4)$$

۳-۲. مدل سرشتی

این مدل از توزیع بزرگا برای نخستین بار توسط شوارتز و همکاران (۱۹۸۴) ارائه شد. اساس این مدل برای چشمه‌هایی است که قادر به ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگ و به نسبت یکسان هستند، می‌باشد. پایه و اساس سرشتی گونه زمین لرزه‌ها بر موجود بودن داده‌های زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی سامانه گسلی استوار است (یانگ و کوپرسمیت، ۱۹۸۵).

در مدل زلزله‌های سرشتی که با عنوان مدل "بیشینه بزرگا" شناخته می‌شود، زلزله‌های رخ داده در طول گسل با بزرگای کوچک و متوسط را در نظر نمی‌گیرند؛ زیرا در این مدل فرض بر این است تمام انرژی حاصل از تنش نهفته در گسل، برای زمین‌لرزه‌های سرشتی آزاد می‌شود. به عبارتی این مدل برای گسل‌هایی خاص اعمال می‌شود که در طول آن زلزله‌های با بزرگای بالا رخ می‌دهد (امبرسون، ۲۰۰۶). توزیع بزرگای این مدل با تابع چگالی احتمال نرمال تعریف می‌شود که مقادیر آن با انحراف معیار nsig_{\max} بالاتر از میانگین بزرگای سرشتی خواهد بود (گودینیو، ۲۰۰۷):

$$f_m^{TN}(M) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_m} \frac{1}{\Phi(\text{nsig}_{\max})} \exp\left(-\frac{(M - M_{\text{char}})^2}{2\sigma_m^2}\right) & \text{for } \left| \frac{M - M_{\text{char}}}{\sigma_m} \right| < \text{nsig}_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

که M_{char} مقدار میانگین بزرگای زمین‌لرزه‌ای سرشتی می‌باشد.

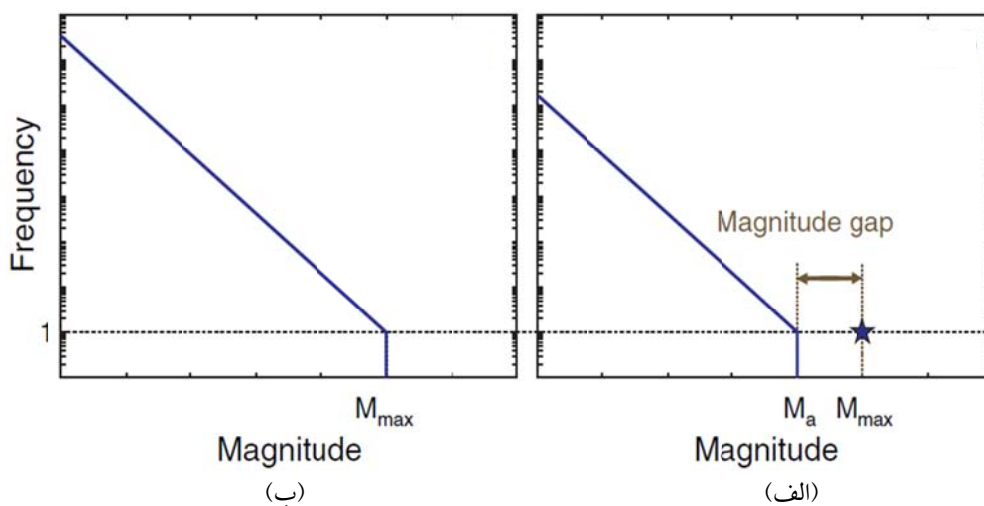
۴. بررسی رفتار سرشتی گسل شمال تبریز

گسل شمال تبریز از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در شمال غرب ایران به شمار می‌آید. این گسل از مرند (دامنه

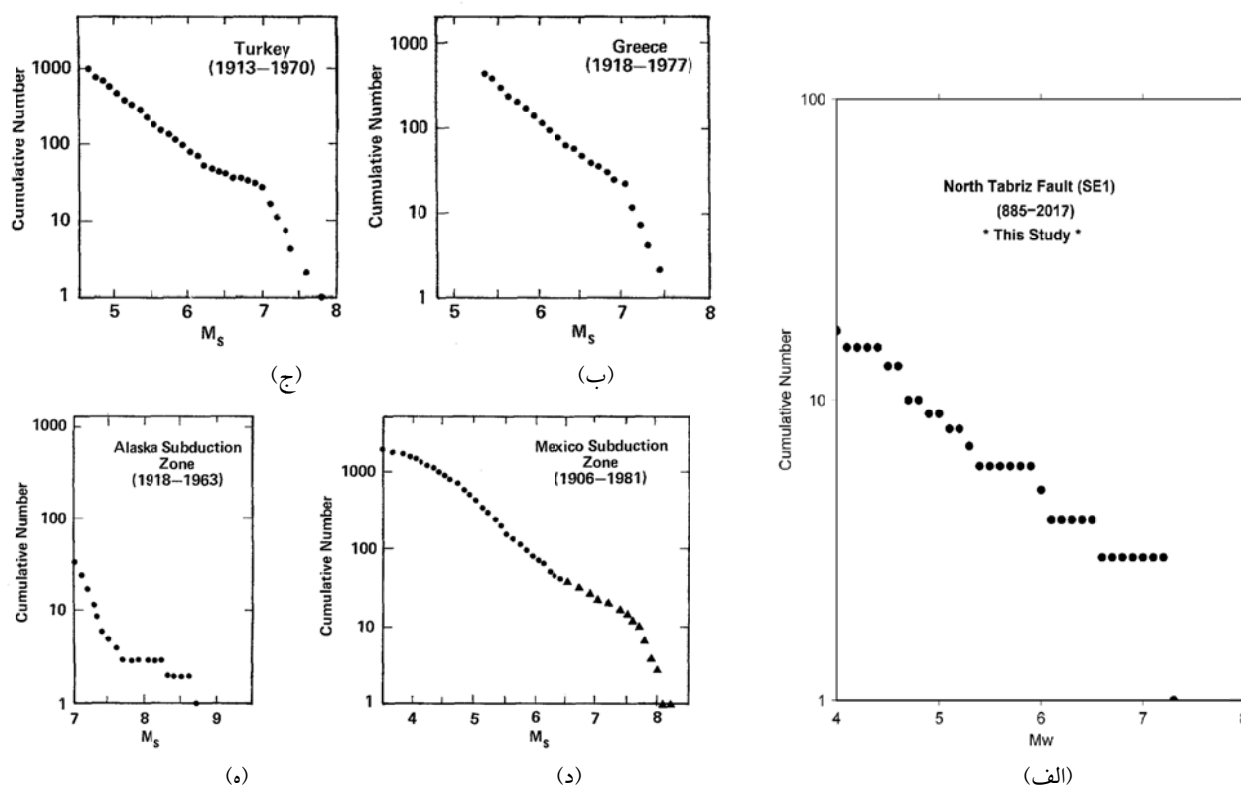
گسیختگی گسل است که با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی دیرین و شناخت لرزه‌خیزی گسل تعیین می‌شود (شوارتز و همکاران، ۱۹۸۴). ترکیب مطالعات زمین‌شناسی دیرین و لرزه‌خیزی در رابطه فراوانی تجمعی برحسب بزرگا برای گسل‌هایی که رفتار سرشتی دارند، روندی غیرخطی خواهد داشت (شوارتز و همکاران، ۱۹۸۴). در واقع در این مدل، یک گسستگی در رابطه فراوانی بر حسب بزرگا ایجاد می‌شود. در شکل ۳ شماتیکی از رابطه فراوانی بر حسب بزرگا برای دو مدل نمایی و سرشتی نمایش داده شده است (ایشب و شیمازاکی، ۲۰۱۲).

گسل‌هایی چون فرورانش آلاسکا (اوتسو، ۱۹۷۱؛ پرکری، ۱۹۷۵؛ لاهر و استفان، ۱۹۸۲؛ دیویسون و اسکولز، ۱۹۸۴) فرورانش مکزیک (سینگ و همکاران، ۱۹۸۱؛ ۱۹۸۳) گسل‌های ترکیه، سوئد، یونان (بات، ۱۹۸۱؛ ۱۹۸۲؛ ۱۹۸۳) ژاپن (وزنوسکی و همکاران، ۱۹۸۳) در سراسر جهان با رفتار سرشتی شناخته شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، رفتار غیرخطی در رابطه فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها برحسب بزرگا برای چهار گسل که لغزش سرشتی دارند (یانگ و کوپرسمیت، ۱۹۸۵) غیرخطی بوده که با گسل شمال تبریز قابل مقایسه هستند.

شمالی رشته‌کوه میشو) تا بستان‌آباد (غرب رشته‌کوه بزقوش) با راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و به طول حدود ۲۴۰ کیلومتر امتداد دارد. بربریان و ارشدی (۱۹۷۶) با بررسی عکس هوایی، سازوکار امتداد لغز راست‌گرد برای این گسل در نظر گرفته‌اند. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی دیرین روی بخش میانی گسل شمال تبریز، میانگین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ای بزرگ ($M > 7$) همراه با گسلش سطحی 170 ± 82 سال محاسبه کرده‌اند. چون در این بخش از سامانه گسلی بعد از سال ۱۷۸۰ میلادی زمین‌لرزه بزرگی مشاهده نشده است، لذا می‌توان فرض بر وجود نرخ ثابتی از لغزش (۳/۱-۶/۴ میلی‌متر در سال) داشت که لغزشی سرشتی با حداقل ۱/۴-۰/۷ متر کرنش در هر زمین‌لرزه برای این بخش از گسل رخ می‌دهد (حسامی و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر این که مطالعه دیرینه لرزه‌خیزی گسل شمال تبریز توسط حسامی و همکاران برای احتمال لغزش سرشتی در بخش میانی گسل تبریز در نظر گرفته شده، در زیر رفتار لرزه‌خیزی این سامانه گسلی، با دیگر گسل‌هایی که لغزش سرشتی داشته و توسط محققین مختلف بررسی شده‌اند مقایسه شده است. مدل زمین‌لرزه سرشتی، یکی از قدرتمندترین مدل‌های



شکل ۳. شماتیکی از رابطه فراوانی بر حسب بزرگا برای گسل‌هایی که الف) رفتار سرشتی و ب) رفتار نمایی دارند. در واقع برای گسل‌هایی که رفتار سرشتی دارند یک فاصله بین بزرگ‌ترین زمین‌لرزه (M_{max}) و دومین زمین‌لرزه (M_a) (از لحاظ بزرگی) (Magnitude Gap) وجود دارد (ایشب و شیمازاکی، ۲۰۱۲).

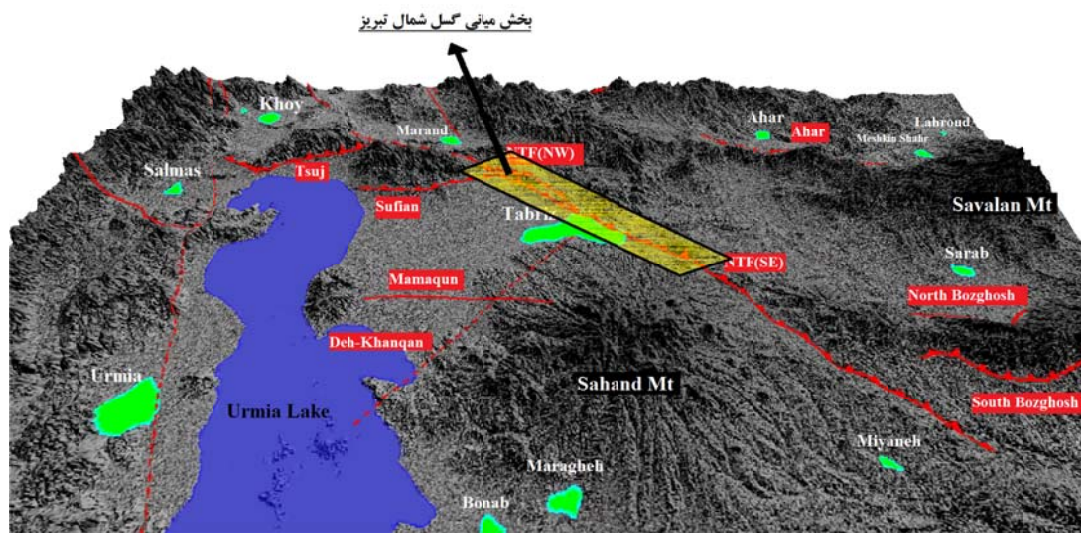


شکل ۴. (الف)، رابطه فراوانی تجمعی برحسب بزرگا رسم شده برای زلزله‌های تاریخی و دستگاهی بخش شمالی گسل شمال تبریز ایران (مطالعه حاضر) و بخش‌های (ب)، (ج)، (د) و (ه) به ترتیب، رابطه فراوانی بر حسب بزرگا برای یونان (باث، ۱۹۸۳)، ترکیه (باث، ۱۹۸۱)، فرورانش مکزیک (سینگ و همکاران، ۱۹۸۳) و ناحیه فرورانش آلاسکا (اوتسو، ۱۹۷۱). برای رابطه فراوانی تجمعی برحسب بزرگا در ناحیه فرورانش مکزیک، مثلث‌ها نمایانگر داده‌های مربوط به دوره زمانی ۱۹۰۶ تا ۱۹۸۱ (سال ۷۵/۵) و دایره‌ها مربوط به داده‌های ۱۹۶۳ تا ۱۹۸۱ برای دوره زمانی ۷۵/۵ سال همانندسازی شده است (یانگ و کوپرسمیت، ۱۹۸۵).

۶. پارامترهای لرزه‌خیزی در تحلیل خطر زمین‌لرزه

در این مطالعه و به منظور تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی (کرنل، ۱۹۶۸)، از گسل‌های فعال در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر تبریز، برگرفته از شیخ‌الاسلامی (۱۳۹۳)، مطالعات حسامی و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شده و چشمه‌های خطی و پهنه‌ای در این راستا تعیین شده‌اند. برای گسل‌هایی که گسترش آنها واضح و اطلاعات کافی از هندسه گسلش آنها موجود است، چشمه لرزه‌ای را به صورت خطی

در نظر گرفته و در غیر این صورت به صورت چشمه‌های ناحیه‌ای در نظر گرفته شده به طوری که تمامی ناحیه تصویر شده صفحه گسل بروی سطح زمین را پوشش دهد (شکل ۸). گسل شمال تبریز به ۲ بخش شمالی-غربی (NTF (NW) و جنوب-شرقی (NTF (SE) تقسیم شده که قسمت جنوب-شرقی آن خود به دو پاره گسل (NTF (SE1) و (NTF (SE2) تقسیم شده که مدل سرشتی برای (NTF (SE1) در نظر گرفته شده است (شکل ۵).



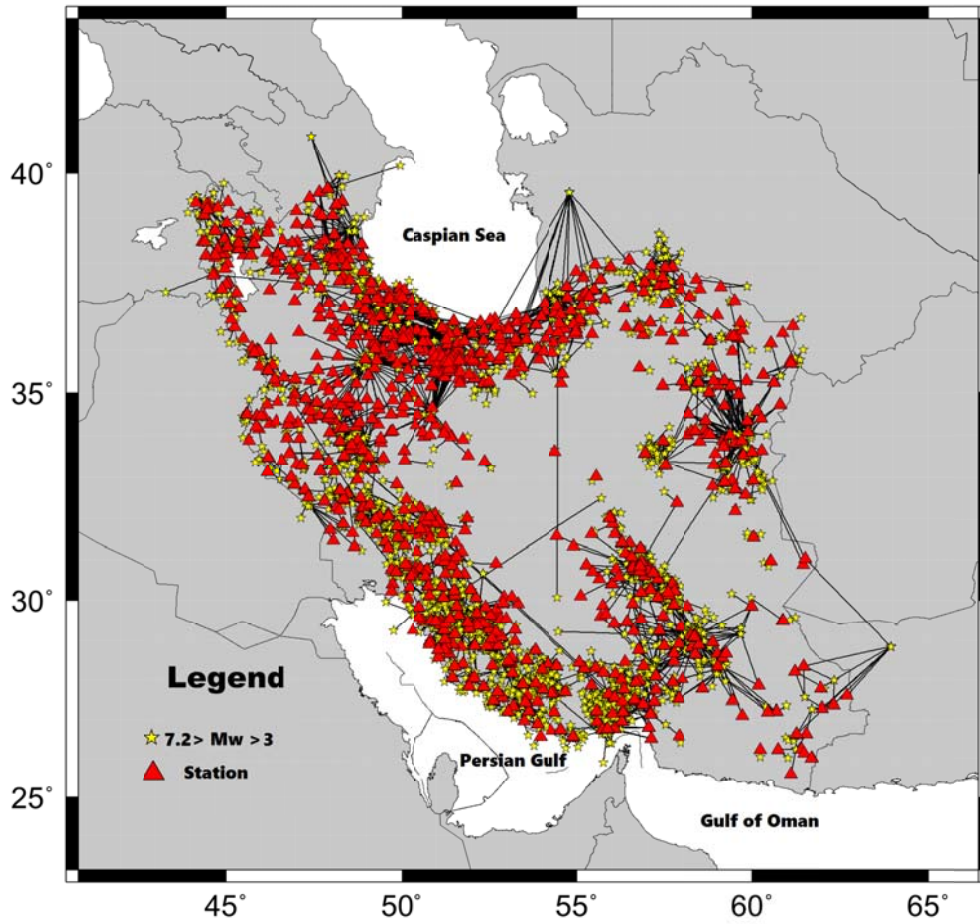
شکل ۵. نمایش سه‌بعدی از گستره مورد مطالعه و نمایش ناحیه‌ای از گسل که مدل سرشتی توزیع بزرگا برای بخش میانی گسل شمال تبریز در نظر گرفته شده است. خطوط قرمز رنگ نمایانگر گسل‌های موجود در ناحیه مورد مطالعه است (ملکی، ۱۳۹۶).

در نظر گرفته شده است). به منظور ایجاد شرایط پوآسونی وقوع زمین‌لرزه‌ها، پسرلرزه و پیش‌لرزه‌ها از روش ارائه شده توسط اورهمر (۱۹۹۶) که همان روش بهبود یافته گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) است حذف شده‌اند.

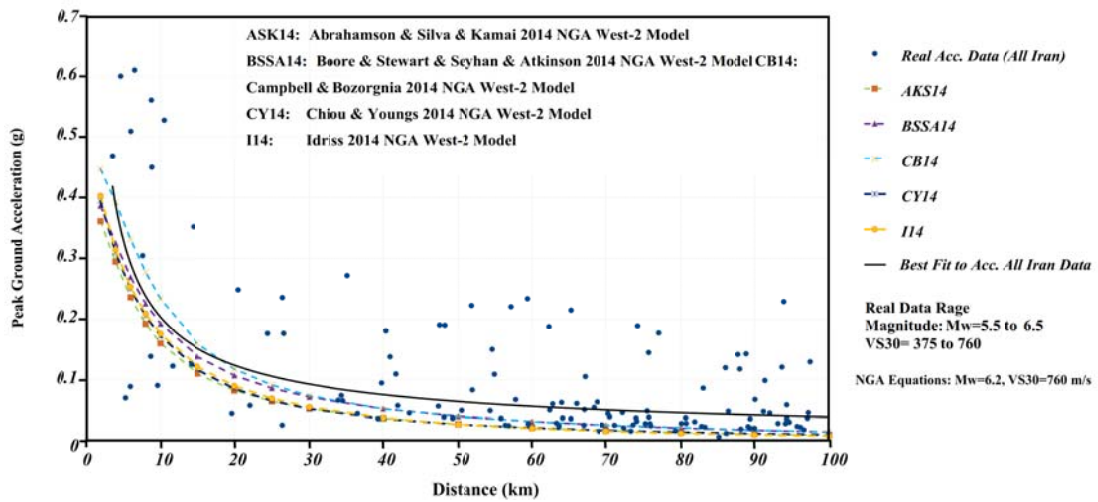
در مرحله بعدی، به منظور برآورد بیشینه شتاب افقی، از روابط کاهندگی کمپل و بزرگنیا پروژه NGA (کمپل و بزرگنیا، ۲۰۱۴)، کامای و همکاران پروژه NGA (۲۰۱۴)، ادیس پروژه NGA (۲۰۱۴)، چپو یانگ و همکاران پروژه NGA (۲۰۱۴)، بور و همکاران پروژه NGA (۲۰۱۴) استفاده شده است. به منظور تصدیق روابط کاهندگی مورد استفاده در این تحقیق، شتاب ایجاد شده در این روابط با داده‌های شتاب‌نگاشتی سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران (شکل ۶) برای گستره ایران مورد قیاس قرار گرفته شده است (شکل ۷). در این قیاس از زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵/۵ الی ۶/۵ استفاده شده است. لازم به ذکر است مقادیر برآورد شده شتاب در روابط کاهندگی (میرایی ۵ درصد) و نیز بیشینه شتاب لرزه‌ای برای هر رکورد (PGA)، بدون اعمال اثر ساختگاه در نظر گرفته شده است.

در مدل‌سازی هندسی گسل‌هایی که به صورت خطی در نظر گرفته شده، از سازوکار محاسبه شده توسط مراکز مختلف (NEIC, ZUR-RMT, HRVD, GCMT) و مطالعه مرادی و همکاران (۲۰۱۱)) استفاده شده است. همچنین عمق ناحیه لرزه‌زا با توجه به داده‌های لرزه‌ای و نیز مطالعه مرادی و همکاران (۲۰۱۱)، ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

پس از مشخص شدن چشمه‌های لرزه‌زا، برای هر یک بیشینه بزرگا در نظر گرفته شده است. با توجه به ارتباط بزرگای زلزله‌ها با پارامترهای گسیختگی (ولز و کوپرسمیت، ۱۹۹۴)، بیشینه بزرگای زلزله برای چشمه‌های لرزه‌ای را می‌توان با استفاده از روابط تجربی بین بزرگا و طول گسل تخمین زد. در این مطالعه بیشینه بزرگای در نظر گرفته شده برای هر چشمه لرزه‌ای، میانگین بزرگای تعیین شده در روابط تجربی نوروزی (۱۹۸۵)، یانگ و کوپرسمیت (۱۹۸۵) و آمبرسیز و جکسون (۱۹۹۸) با در نظر گرفتن بیشینه بزرگای مشاهده‌ای با ضرایب یکسان در نظر گرفته شده است. (لازم به ذکر است در مواردی که متوسط بزرگا از بزرگای مشاهده‌ای کمتر بوده، بزرگای مشاهده‌ای به‌عنوان بیشینه بزرگا



شکل ۶. زمین‌لرزه‌های مورد استفاده و ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران جهت بررسی تصدیق روابط کاهندگی مورد استفاده در گستره ایران.



شکل ۷. انطباق و مقایسه روابط کاهندگی مورد استفاده در این تحقیق با یکدیگر و نیز با داده‌های شتاب‌نگاشت برگرفته از سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC).

دیگر چشمه‌ها پارامترهای لرزه‌ای برای هر یک به‌طور مجزا محاسبه شده است. پارامترهای برآورد شده برای چشمه‌های لرزه‌ای در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است لرزه‌خیزی زمینه (Background Seismicity) نیز به صورت یک دایره به شعاع ۱۵۰ کیلومتر، برای ناحیه مورد مطالعه به‌عنوان چشمه پهنه‌ای، در نظر گرفته شده و پارامترهای لرزه‌خیزی آن بر اساس زمین‌لرزه‌هایی که خارج از محدوده دیگر چشمه‌های تعیین شده هستند، محاسبه شده است. چشمه‌های خطی و ناحیه‌ای تعیین شده به‌همراه سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های محاسبه شده در گستره ۱۵۰ کیلومتری شهر تبریز در شکل ۸ نمایش داده، همچنین پارامترهای لرزه‌ای در نظر گرفته شده برای چشمه‌های لرزه‌ای در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است بزرگای ناکاملی ناحیه بررسی شده در بازه‌های زمانی ۱۹۰۰-۱۹۶۰، ۱۹۶۰-۱۹۹۰ و ۱۹۹۰-۲۰۱۷ بررسی شده که مقدار این بزرگا به‌ترتیب برای بازه‌های زمانی گفته شده ۵/۱، ۴/۴ و ۴/۰ اندازه‌گیری شده است. به‌منظور اطمینان از عدم حذف داده‌ها در کاتالوگ ناحیه مورد مطالعه، کمترین مقدار بزرگی ۴/۰ در نظر گرفته شده است.

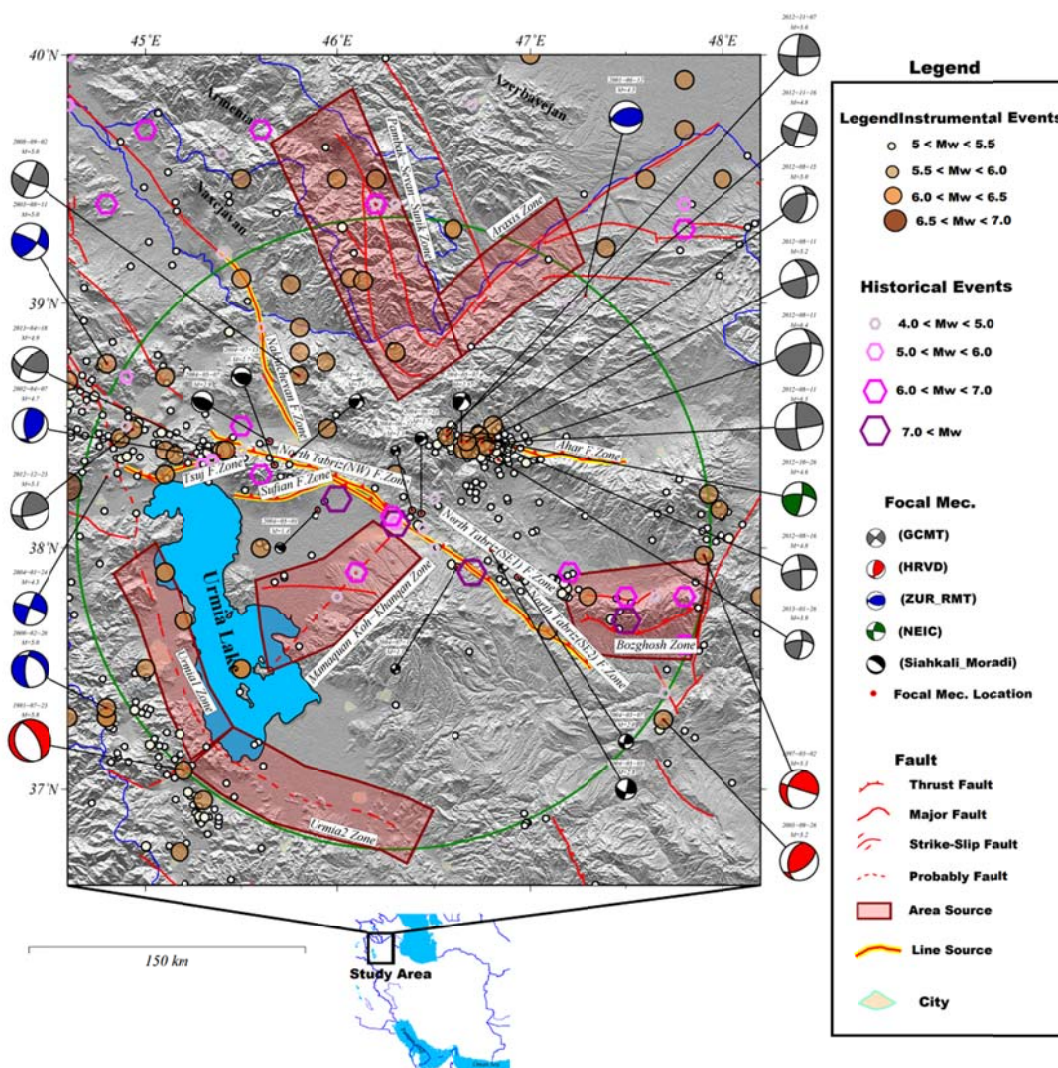
پارامترهای لرزه‌خیزی بر اساس روش ارائه‌شده توسط کیکو (۲۰۰۴) برای زمین‌لرزه‌های دستگامی، تعیین شده که ضریب β و آهنگ رویداد سالیانه λ در گستره ۱۵۰ کیلومتری، به روش کیکو عبارت است از:

$$\beta=1.59, \lambda=1.282 \quad (۶)$$

باید توجه داشت که آهنگ سالیانه چشمه لرزه‌ای که توزیع بزرگا آن به‌صورت سرشتی مدل‌سازی شده (NTF(SE1))، بر اساس بازه زمانی که این زمین‌لرزه‌ها با بزرگی یکسان رخ داده‌اند، محاسبه شده است. در تعیین پارامترهای لرزه‌ای برای چشمه‌های موجود در ناحیه تبریز و ارومیه، به‌دلیل عدم وجود داده‌های کافی برای محاسبه آنها، محاسبات برای هر پهنه انجام شده و پارامترهای حاصل برای آنها بر اساس طول چشمه در نظر گرفته شده است. به‌همین ترتیب پارامترهای لرزه‌ای برای چشمه‌های زون تبریز (NTF(SE1).Zone، NTF(SE2).Zone، Mamaqan_Deh-Khanqan.Zone، NTF(SW).Zone، Sufian_F.Zone) و زون ارومیه (Urmia1.Zone، Urmia2.Zone) محاسبه شده و مقادیر بر حسب طول بین چشمه‌های لرزه‌ای مربوط به هر زون تقسیم شده‌اند و برای

جدول ۱. پارامترهای لرزه‌خیزی استفاده‌شده برای چشمه‌های خطی و پهنه‌ای در محدوده مورد مطالعه.

Seismic Source	Length (km)	M.Min	M.Max	Recurrence Model Type	β	Mechanism	Activity Rate	Seismogenic Depth	Dip
NTF(SE1).Zone	102	7.4	7.7	Characteristic	1.05	Strike Slip	0.00267 4	5 to 20	71
NTF(SE2).Zone	51	4.0	6.7	Exponential	1.05	Strike Slip	0.036	5 to 20	71
NTF(NW).Zone	92	4.0	7.0	Exponential	1.05	Strike Slip	0.036	5 to 20	61
Ahar F.Zone	64	4.0	6.8	Exponential	1.32	Reverse	0.198	5 to 20	73
Nakhichevan F.Zone	94	4.0	7.0	Exponential	2.07	Strike Slip	0.499	5 to 20	89
Tsuj F.Zone	58	4.0	6.8	Exponential	1.9	Reverse	0.480	5 to 20	61
Sufian F.Zone	47	4.0	6.7	Exponential	1.05	Reverse	0.036	5 to 20	50
Pambak-Sevan-Sunik Zone	130	4.0	7.2	Exponential	2.31	Normal	0.110	5 to 20	-
Araxis Zone	68	4.0	6.9	Exponential	1.86	Strike Slip	0.110	5 to 20	-
Urmia1 Zone	91	4.0	7.0	Exponential	1.97	Normal	0.404	5 to 20	-
Urmia2 Zone	94	4.0	7.0	Exponential	1.97	Normal	0.404	5 to 20	-
Bozghosh Zone	55	4.0	7.7	Exponential	2.17	Reverse	0.315	5 to 20	-
Mamaqan_Deh-Khanqan Zone	75	4.0	6.9	Exponential	1.05	Strike Slip	0.036	5 to 20	-
Background Seismicity	-	4.0	5.45	Exponential	1.84	-	0.331	5 to 20	-

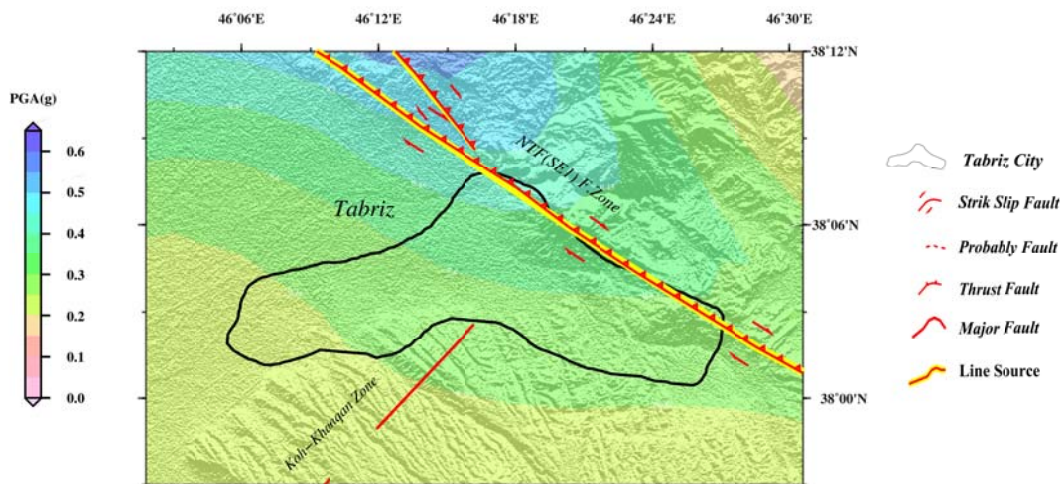


شکل ۸. نقشه لرزه زمین ساخت به همراه چشمه های پهنه ای و خطی تعیین شده در شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهر تبریز. چشمه های خطی با نوار زرد رنگ و چشمه های ناحیه ای با چندضلعی های قرمز رنگ مشخص شده اند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶).

برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰ درصد احتمال وقوع در ۵۰ سال) روی سنگ بستر با ۵ درصد میرایی محاسبه شده است. همان طور که در این تصویر دیده می شود چشمه لرزه ای NTF(SE1) از شمال شهر تبریز عبور کرده و بیشترین تأثیر در ایجاد شتاب در این محدوده را دارد. با انتخاب مدل سرشتی توزیع بزرگای برای چشمه NTF(SE1) شتاب در بازه $g/0.3$ تا $g/0.5$ متغیر است (شکل ۹). شتاب حاصل از مطالعاتی که تاکنون برای شهر تبریز محاسبه شده است، در جدول ۲ آورده شده است.

۶. اعمال تابع توزیع بزرگای مدل سرشتی

۶-۱. بیشینه شتاب برآورد شده در محدوده شهر تبریز در برآورد بیشینه شتاب جنبش حاصل از تحلیل خطر زمین لرزه مجموعه نقاط شبکه بندی شده در فواصل $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ در نظر گرفته شده و مقادیر برای هر یک از این نقاط با استفاده از نرم افزار تخصصی Ez-frisk 7.65 محاسبه شده اند. به منظور مقایسه نتایج برآورد شده در این تحقیق با دیگر مطالعاتی که تاکنون برای محدوده شهر تبریز انجام شده، نقشه نقاط هم شتاب در شکل ۹



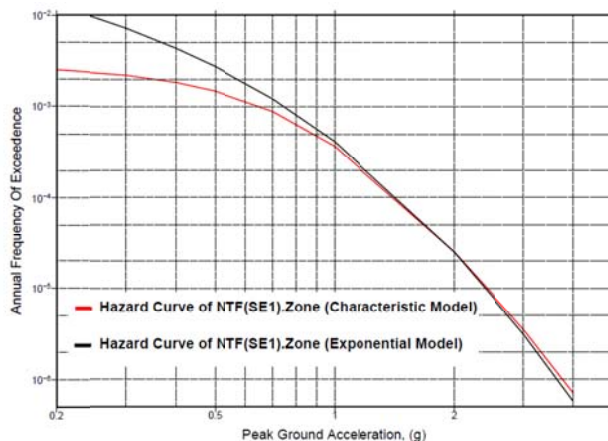
شکل ۹. بیشینه شتاب مؤلفه افقی بر روی سنگ‌بستر با ۵ درصد میرایی برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰ درصد احتمال وقوع در ۵۰ سال) در گستره شهر تبریز.

جدول ۲. شتاب برآورد شده روی سنگ بستر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در مطالعات پیشین در محدوده شهر تبریز.

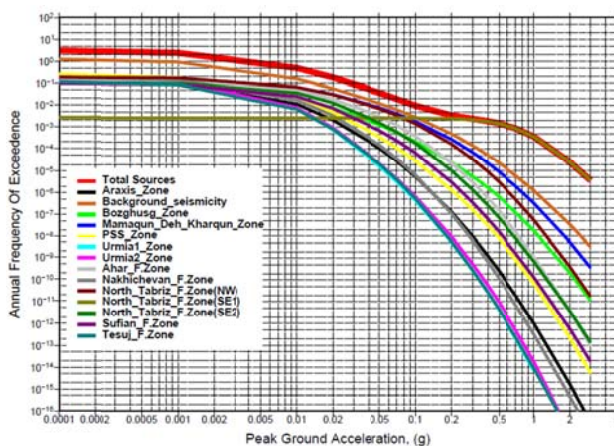
مطالعات مختلف تحلیل خطر زمین‌لرزه برای شهر تبریز	مقدار شتاب محاسبه شده در دوره بازگشت ۴۷۵ سال (g)
مطالعه حاضر	۰/۵-۰/۳
موسوی بفرئی و همکاران، ۱۳۹۳	۰/۳۵۴
حمزه‌لو و همکاران، ۲۰۱۲	۰/۳۵-۰/۴۵
توکلی و همکاران، ۱۹۹۹	۰/۳۵
استاندارد ۲۸۰۰	۰/۳۵

برآورد تحلیل خطر دارد. همچنین به منظور مقایسه منحنی خطر لرزه‌ای برای مدل‌های سرشتی و نمایی توزیع بزرگا، منحنی خطر برای حالتی که چشمه NTF(SE1) سرشتی در نظر گرفته شده با زمانی که به صورت نمایی در نظر گرفته شده مقایسه شده است (شکل ۱۰-الف). در این تصویر نیز به وضوح مشاهده می‌شود که در دوره بازگشت‌های بلندمدت احتمال وقوع برآورد شده در مدل سرشتی بیشتر است ولی برای دوره بازگشت‌های کوتاه‌مدت کمتر می‌باشد.

۲-۶. مقایسه منحنی خطر لرزه‌ای با انتخاب دو مدل سرشتی و نمایی برای توزیع بزرگا به منظور درک بهتر تأثیر مدل سرشتی توزیع بزرگا در منحنی خطر لرزه‌ای، منحنی خطر برای چشمه NTF(SE1) به همراه سایر چشمه‌های مؤثر در مطالعه تحلیل خطر برآورد و ترسیم شده است (شکل ۱۰-ب). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در دوره بازگشت‌های بلندمدت خطر وقوع رخداد زمین‌لرزه در مدل سرشتی توزیع بزرگا بیشتر بوده و تأثیر مستقیمی در منحنی کل خطر لرزه‌ای برای



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. الف) مقایسه منحنی خطر لرزه‌ای چشمه خطی NTF(SE1).Zone در حالت‌های سرشتی (منحنی قرمز رنگ) و نمایی (منحنی مشکی) توزیع بزرگا (ب) منحنی خطر لرزه‌ای چشمه‌های تعیین شده در گستره ۱۵۰ کیلومتری شهر تبریز.

۳-۶. مقایسه مقادیر شتاب و نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای،

در مدل‌های سرشتی و نمایی توزیع بزرگا

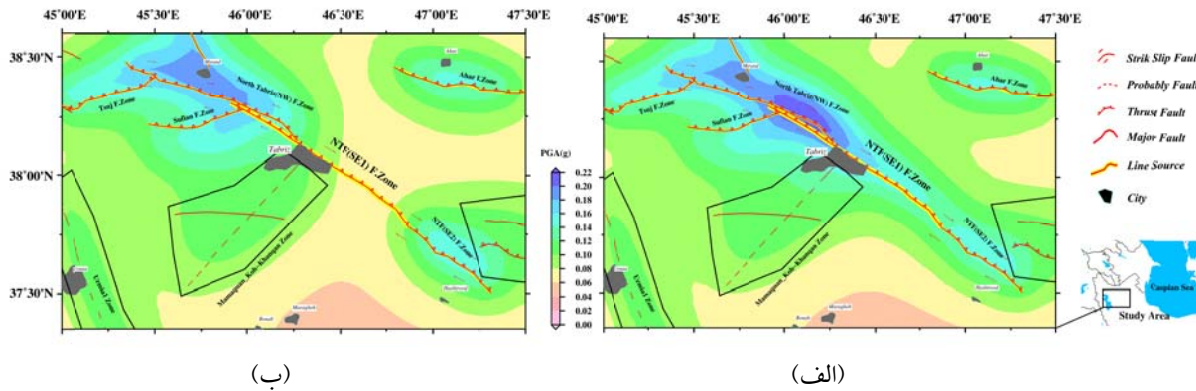
در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل خطر زمین لرزه برای دو مدل نمایی و سرشتی توزیع بزرگا در برآورد شتاب، مورد قیاس قرار گرفته شده است. به منظور قیاس دقیق مقادیر شتاب ایجاد شده برای هر دو مدل، یک نقطه در مجاورت گسل به گونه‌ای که انتخاب مدل‌های نمایی و سرشتی، بیشترین تأثیر را در مقادیر شتاب داشته باشد، برگزیده شده است (طول: ۴۶/۷۵، عرض: ۳۷/۹۵). مقادیر برآورد شده برای دوره بازگشت‌های ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ در جدول ۳ نمایش داده شده است. نتایج برای دوره

بازگشت‌های کوتاه مدت ۵۰ و ۴۷۵ سال به ترتیب مقادیر شتاب ۵۵/۸ درصد و ۵۵/۲ درصد برای مدل نمایی به نسبت مدل سرشتی، افزایش یافته اما در دوره بازگشت بلند مدت ۲۴۷۵ مقدار شتاب برای مدل سرشتی به میزان ۲۵/۷ درصد افزایش داشته است. همچنین نقشه پهنه لرزه‌ای برای حالت‌های مختلف از توزیع بزرگا در چشمه NTF(SE1) برای دوره بازگشت‌های بلندمدت و کوتاه مدت برآورد شده و مورد مقایسه قرار گرفته شده است. شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به ترتیب نقشه پهنه لرزه‌ای را در دوره بازگشت‌های ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود،

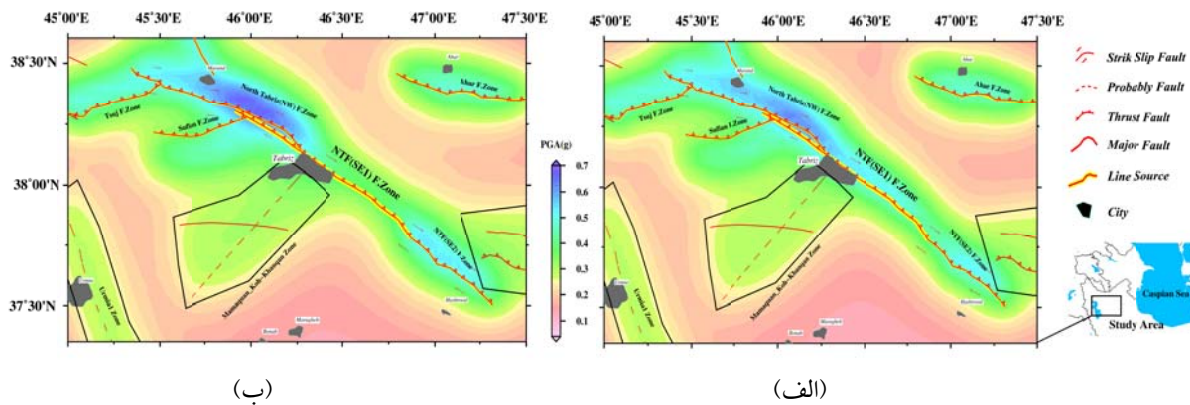
مقدار شتاب ایجادشده در دوره بازگشت ۵۰ و ۴۷۵ سال (دوره بازگشت بلندمدت) مقدار شتاب برای مدل سرشتی بیشتر از مدل نمایی توزیع بزرگا (دوره بازگشت کوتاه‌مدت) برای مدل سرشتی توزیع بزرگا کمتر از مدل نمایی بوده اما در شکل ۱۳ در دوره

جدول ۳. محاسبه مقادیر شتاب برای دوره بازگشت‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت در یک نقطه به مجاورت گسل شمال تبریز.

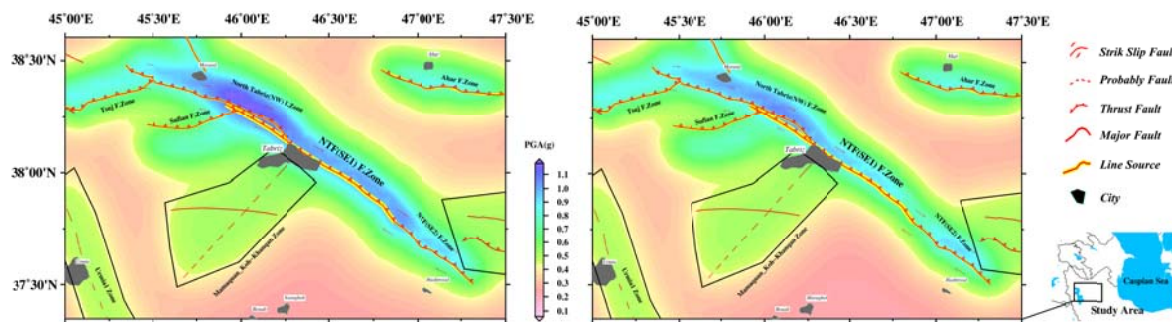
COMPUTATION OF NEAR-FAULT PGA for 46.75 Long., 37.95 Lat			
Recurrence Model Type	PGA in 2475 year	PGA in 475 year	PGA in 50 Year
Exponential	1.03222	0.55465	0.12844
Characteristic	0.76687	0.26539	0.05676



شکل ۱۱. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۵۰ سال (چشمه خطی NTF(SE1).Zone با نوار زردرنگ ضخیم مشخص شده است) (الف) انتخاب مدل نمایی توزیع بزرگا و (ب) انتخاب مدل سرشتی از توزیع بزرگا.



شکل ۱۲. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۴۷۵ سال (چشمه خطی NTF(SE1).Zone با نوار زردرنگ ضخیم مشخص شده است) (الف) انتخاب مدل نمایی توزیع بزرگا و (ب) انتخاب مدل سرشتی از توزیع بزرگا.



(ب)

(الف)

شکل ۱۳. نقشه خطر لرزه‌ای برآورد شده برای شتاب حاصل از جنبش زمین، در دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال (چشمه خطی NTF(SE1).Zone با نوار زرد رنگ ضخیم مشخص شده است) ((الف) انتخاب مدل نمایی توزیع بزرگا و (ب) انتخاب مدل سرشتی از توزیع بزرگا).

۷. نتیجه‌گیری

طراحی طیف ویژه ساختگاه برای سازه‌های عمرانی تأثیر چشم‌گیری دارد به‌ویژه برای سازه‌هایی که بر اساس آیین‌نامه‌هایی (آیین‌نامه ASE7-05، ASE7-10، IBC و آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای نشریه ۰۳۸ (تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت)) طراحی می‌شوند که بر مبنای رخداد زمین‌لرزه نادر (Maximum Considered Earthquake (MCE)) کنترل می‌شوند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۸۹۵۰/۱/۰۵ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران صورت پذیرفته است. از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک برای فراهم آوردن امکان این پژوهش قدردانی می‌نماییم. همچنین از داوران محترم که دقت نظر لازم و پیشنهادات مفید در بررسی این مقاله داشته‌اند، سپاسگزاریم.

مراجع

شیخ الاسلامی، م. ر.، ۱۳۹۳، دانش‌نامه گسل‌های ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
ملکی، ب.، رحیمی، ح. و ملکی، و.، ۱۳۹۶، بررسی مشخصه سرشتی گسل شمال تبریز و تأثیر آن در پارامترهای جنبش نیرومند زمین، کنفرانس ملی ساخت و ساز در مناطق لرزه خیز یادبود زلزله

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که توزیع بزرگای چشمه‌های لرزه‌ای برای تحلیل خطر زلزله تأثیر به‌سزایی در پارامتر شتاب جنبش نیرومند زمین برای دوره بازگشت‌های بلندمدت دارد. بنا بر تعریف مدل سرشتی توزیع بزرگا، نتایج به‌دست‌آمده (افزایش شتاب در دوره بازگشت‌های بلندمدت)، منطقی است زیرا در مدل سرشتی، معمولاً زمین‌لرزه‌های با بزرگای بالا مدل می‌شوند که لازم است برای وقوع، گسل زمان کافی برای تجمع تنش را دارا باشد. مدل نمایی توزیع بزرگا با توجه به تابع چگالی احتمال آن (بخش ۳-۱)، به‌خوبی زمین‌لرزه‌های بزرگ را در برآورد خطر زمین‌لرزه مدل نمی‌کند لذا انتخاب این مدل برای چشمه‌هایی که سابقه تولید زمین‌لرزه‌های بزرگ متعدد رادارند، مناسب نیست. با توجه به سابقه لرزه‌خیزی گسل شمال تبریز، مطالعات دیرینه لرزه‌خیزی حسامی و همکاران (۲۰۰۳) و روند غیرخطی رابطه فراوانی تجمعی برحسب بزرگا بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی این سامانه گسلی، انتخاب مدل سرشتی توزیع بزرگا در انجام تحلیل خطر زلزله منطقی‌تر خواهد بود. همان‌طور که در بخش ۶-۲ ملاحظه شد، تأثیر مدل سرشتی در افزایش پارامتر شتاب جنبش زمین در دوره بازگشت‌های بلندمدت، غیرقابل‌انکار است. این افزایش شتاب در

روش احتمالاتی (PSHA) و شبیه‌سازی زمین‌لرزه
کنترل‌کننده، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه
تهران.

ارسیاران، CEPA01_010.

ملکی، ب.، ۱۳۹۶، تأثیر زمین‌لرزه‌های سرشتی گسل شمال
تبریز در برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین به

- Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., 1998
Faulting associated with historical and recent
earthquakes in the eastern Mediteranean
region, *Geophys. J. Int.*, 133, 390-406.
- Abrahamson, N. A., 2006, Notes on Probabilistic
Seismic Hazard Analysis – An Overview.
Rose School, Pavia, Italy.
- Báth, M., 1981, Earthquake recurrence of a
particular type, *Pure Appl. Geophys.* 119,
1063-1076.
- Báth, M., 1982, Seismic energy mapping applied
to Sweden, *Tectonophysics*, 81, 85-98.
- Báth, M., 1983, Earthquake frequency and energy
in Greece, *Tectonophysics*, 95, 233 252.
- Berberian, M. and Arshadi, S., 1976, On the
evidence of the youngest activity of the North
Tabriz Fault and the seismicity of Tabriz city,
Geol. Surv. Iran Rep., 39, 397-418.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 1999, Patterns of
historical earthquake rupture in the Iranian
plateau, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2014, NGA-
West2 Ground Motion Model for the Average
Horizontal Components of PGA, PGV, and
5% Damped Linear Acceleration Response
Spectra. *Earthquake Spectra*: August 2014,
Vol. 30, No. 3, pp. 1087-1115
- Chiou, B. S. J. and Youngs, R. R., 2014, Update
of the Chiou and Youngs NGA model for the
average horizontal component of peak ground
motion and response spectra. *Earthquake
Spectra*, 30, 1117-1153.
- Cornell, C. A. 1968, Engineering seismic risk
analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 1583-
1606.
- Boore, D. M., Stewart, J.P., Seyhan, E. and
Atkinson, G. M., 2014, NGA-West2
Equations for Predicting PGA, PGV, and 5%
Damped PSA for Shallow Crustal
Earthquakes, *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057-
1085.
- Davison, F. C. and Scholz, C. H., 1984, Test of
the characteristic earthquake model for the
Aleutian Arc (abstract), *EOS* 65, 242.
- Faridi, M., Burg, J.P., Nazari, H., Talebian, M.
and Ghorashi, M., 2017, Active Faults Pattern
and Interplay in the Azerbaijan Region (NW
Iran), *Geotectonics*, 428-437.
- Gardner, J. K. and Knopo, L., 1974, Is the
sequence of earthquakes in Southern
California, with aftershocks removed,
Poissonian? *Bull. Seis. Soc. Am.*, 64(5), 1363-
1367.
- Godinho, J., 2007, Probabilistic seismic hazard
analysis an introduction to theoretical basis
and applied methodology (master's
dissertation) university of patras, Greece.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F., 1956,
Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and
Acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 46,
pp. 105-145.
- Hamzehloo, H., Alikhanzadeh, A., Rahmani, M.
and Ansari, A., 2012, Seismic hazard maps of
Iran, In: Proceedings of the 15th world
conference on earthquake engineering,
Lisbon, Portugal.
- Hessami, K., Pantosti, D. and Tabassi, H., 2003,
Paleoearthquakes and Slip Rates of the North
Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results.
Annals of Geophysics. Vol. 46, N.5.
- Idriss, M., 2014, An NGA-West2 Empirical
Model for Estimating the Horizontal Spectral
Values Generated by Shallow Crustal
Earthquakes. *Earthquake Spectra*: August
2014, 30(3), 1155-1177.
- Ishibe, T. and Shimazaki, K. 2012, Characteristic
Earthquake Model and Seismicity around Late
Quaternary Active Faults in Japan. 1041-
1058.
- Jackson, J., 1992, Partitioning of strikeslip and
convergent motion between Eurasia and
Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus, *J.
Geophys. Res.*, 97, 12471-12479.
- Kijko, A., 2004, Estimation of the maximum
earthquake magnitude, *m* max. *Pure Appl
Geophys* 161(8), 1655-1681.
- Lahr, J. C. and Stephens C. D., 1982, Alaska
seismic zone: possible example of nonlinear
magnitude distribution for faults, *Earthquake
Notes* 53, 66.
- Mirzaei, N., Gao, M. and Chen, Y. T., 1998,
Seismic source regionalization for seismic
zoning of Iran: Major seismotectonic
provinces; *J. Earthquake. Pred. Res.* 7, 465-
495.
- Moradi, A. S., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011,
Microseismicity and seismotectonics of the
North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics* 506,
22-30.
- Mousavi-Bafrouei, S. H., Mirzaei, N. and
Shabani, E., 2014, A declustered earthquake
catalog for Iranian plateau, *Annals of
Geophysics*, under review. Shahvar, M. P., M.
Zare, and S. Castellaro (2013). A unified
seismic catalog for the Iranian plateau (1900-
2011), *Seismol. Res. Lett.* 84, 233-249.

- Nowroozi, A. A., 1985, Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75(5), 1327-1338.
- Purcaru, G., 1975, A new magnitude-frequency relation for earthquakes and a classification of relation types, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 42, 67-69.
- Kamai, R., Abrahamson, N. A. and Silva, W. J., 2014, Nonlinear Horizontal Site Amplification for Constraining the NGAWest2 GMPEs. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1223-1240.
- Schwartz, D. P., Coppersmith, K. J. and F. H. Swan, 1984, Methods for estimating maximum earthquake magnitude, Eighth World Conference on Earthquake Engineering Proceedings 1, 279-286.
- Singh, S. K., Astiz, L. and Havskov H., 1981, Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: a reexamination, *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 827-843.
- Singh, S. K., Rodriguez, M. and Esteva L., 1983, Statistics of small earthquakes and frequency of large earthquakes along the Mexico subduction zone, *Bull. Seisra. Soc. Am.* 73, 1779-1796.
- Taghipour, K., Mahdi Khatib, M., Heyhata, M., Shabani, E. and Vaezihir, A., 2018, Evidence for distributed active strike-slip faulting in NW Iran: The Maragheh and Salmas fault zone, *Tectonophysics*, 742-743, 2018.
- Utsu, T., 1971, Aftershocks and earthquake statistics (III), *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII (Geophys.)* 3, 379-441.
- Urhammer, S. A., Clausen, J. O., Hansen, T., Pedersen, O., 1996, Insulin sensitivity and body weight changes in young white carriers of the codon 64 amino acid polymorphism of the beta 3-adrenergic receptor gene. *Diabetes*, 45, 1115-20.
- Wesnousky, S. G., Scholz, C. H., Shimazaki, K. and Matsuda T., 1983, Earthquake frequency distribution and the mechanics of faulting, *J. Geophys. Res.* 88, 9331-9340.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement," *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- Youngs, R. R. and Coppersmith, K. J. 1985, "Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates," *Bull. Seism.Soc.Am.*, 75, 939-964.

Applying the characteristic magnitude distribution Model for North Tabriz Fault (NTF) in Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) and its effects on acceleration parameter and hazard curve

Maleki, B.¹, Rahimi, H.^{2*} and Maleki, V.³

1. M.Sc. Graduated, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Ph.D. Graduated, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 6 Feb 2019, Accepted: 1 Oct 2019)

Summary

Iranian plateau is a part of Alpine-Himalayan active Mountain, which caused occurring major earthquakes across Iran. Hence, the estimation of seismic hazard parameters is required to design building and structures properly. Importance of acceleration parameter in the long-term return period, consequently affects the on site-specific design spectra for building standard law of countries (ASCE7-5, ASCE7-10, IBC, 038 code and Iranian Seismic Code 2800), so in seismic hazard analyses, selecting recurrence model is an important issue in hazard assessment. North Tabriz Fault (NTF) is one of the most seismotectonically active faults in Iran and it attracts the attention of numerous researchers because of obvious morphologic features and historical seismicity. Probability characteristic slip in intermediate of fault, documented by paleoseismic studies of Hessami et al. (2003), also the mathematical probability density function of the exponential model, are not suitable for sources of repeated large earthquakes.

Exponential model is just able to estimate recurrence of small to moderate earthquakes, while recurrence of large magnitude earthquakes is much higher than the extrapolated exponential model. This difference lead to the development of the characteristic earthquake model (Schwartz and Coppersmith, (1984)). In this study, seismic hazard parameters around Tabriz city based on characteristic recurrence model has been investigated. First step in all hazard studies is determining the seismotectonic of the province. Based on this definition, Mirzaei et al. (1998) divided Iran in five major seismotectonic provinces. The covered area in this study is located in Alborz-Azerbaijan Seismic province. In order to have more information regarding the seismic hazard analysis, seismotectonic map of study area is prepared up to a radius distance of 150km from site. In this study both areal and linear seismic source model are considered. The reason for selecting areal seismic source model is due to the lack of enough information about dip and geometry of the fault. Recurrence models are defined for linear seismic sources, for those that there are enough data about them. In this study North Tabriz fault is considered as three separated segments, in which the characteristic recurrence model are used to define the intermediate segment of seismic source.

Seismic hazard assessment requires the estimation of strong ground motion. The estimation of peak ground acceleration regard to recurrence model of source, magnitude, source-to-site distance, tectonic properties and source type using attenuation relationships that are the main part of seismic hazard assessment process. Estimation of peak ground motion acceleration in this study for horizontal component is based on the next generation of attenuation relationships for the west 2 project (NGA West 2). In this study, we used attenuation equation reported by Campbell-Bozorgnia (2014) NGA West 2, Kamai et al. (2014) NGA West 2, Idriss (2014) NGA West 2, Chiou-Youngs (2014) NGA West 2 and Boore et al. (2014) NGA West 2.

The estimated results show that the segment which modeled by characteristic recurrence model in higher recurrence period, have higher value of acceleration.

Keywords: Characteristic Magnitude Distribution, Exponential Model, North Tabriz Fault, Seismic Hazard Assessment.