

## تحلیل خطر زمین‌لرزه و عدم قطعیت گسل‌های کهریزک، جنوب ری و شمال ری

عبداله سهرابی بیدار<sup>۱\*</sup>، ابراهیم اصغری کلجاهی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷



### چکیده

هدف اصلی در مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه برآورد هرچه دقیق‌تر بارگذاری لرزه‌ای و پارامترهای آن است تا از این طریق طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و هزینه‌های آن بهینه گردد. گسل‌های کهریزک، جنوب ری و شمال ری در جنوب تهران قرار دارند که در خصوص وجود یا عدم وجود آن‌ها مباحثی مطرح گردیده است؛ در این مقاله پس از مرور مباحث صورت گرفته در خصوص وجود یا عدم وجود ساختارهای ذکر شده، اثر آن‌ها بر پارامتر خطر لرزه‌ای بیشینه شتاب سطح زمین بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که در نظر گرفتن گسل‌های مذکور در تحلیل خطر زمین‌لرزه افزایشی تا قریب به ۱۰۰٪ در پارامتر بیشینه شتاب زمین را در بخش گسترده‌ای از تهران سبب می‌شود. علاوه بر تغییر مقادیر بیشینه شتاب زمین، مشخصات زمین لرزه طراحی نیز از نظر بزرگی و فاصله در دو وضعیت وجود یا عدم وجود ساختارهای ذکر شده تفاوت اساسی خواهند داشت. بر اساس این نتایج و با توجه به اثرات شگرفی که عدم قطعیت گسل‌های جنوب تهران بر پارامترهای خطر لرزه‌ای در منطقه دارد، تبیین دقیق وجود یا عدم وجود این گسل‌ها از طریق مطالعات بیشتر ضروری می‌نماید.

**کلید واژه‌ها:** خطر زمین‌لرزه، گسل کهریزک، گسل شمال ری، گسل جنوب ری، عدم قطعیت.



## ۱- مقدمه

تحلیل خطر زمین‌لرزه اولین گام برای طراحی مقاوم برابر زمین‌لرزه و کاهش ریسک ناشی از این رخداد طبیعی است. تا پیش از تدوین روش صریح تحلیل خطر احتمالاتی زمین‌لرزه توسط کرنل (Cornell, 1968) تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش‌های تعینی و بعضاً احتمالاتی غیر صریح و ضمنی صورت می‌گرفت. امروزه روش‌های احتمالاتی با توجه به مزیت‌های آن و امکان انتخاب خطر لرزه‌ای برای سطوح مختلف طراحی بیشتر مورد توجه بوده و توسط محققین مختلفی برای پهنه‌بندی و برآورد خطر لرزه‌ای استفاده می‌شود. داگلاس و دانسیو (Douglas and Danciu, 2019) اخیراً نمودارهایی مبتنی بر تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی برای برآورد سریع بیشینه شتاب زمین و حدود خسارات ناشی از آن ارائه نموده‌اند.

نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای دارای عدم قطعیتی است که از دو منبع عدم قطعیت ذاتی و عدم قطعیت شناختی سرچشمه می‌گیرد (Rocquigny, 2012). عدم قطعیت ذاتی وابسته به طبیعت تصادفی پارامتر برآورد شده و عدم قطعیت شناختی، ناشی از ناکافی بودن دانسته‌های بشری در خصوص رخداد زمین‌لرزه و جنبش‌های شدید ناشی از آن هستند.

راینویتز و همکاران (Rabinowitz et al., 1998) بررسی حساسیت سنجی و استفاده از درخت منطقی را برای غلبه بر عدم قطعیت شناختی در برآورد خطر زمین‌لرزه معرفی و استفاده کردند. پس از آن عموماً روش درخت منطقی در تحلیل خطر زمین‌لرزه به کار گرفته شده و در حال حاضر نیز در بسیاری از مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه استفاده می‌شود. پورتر و همکاران (Porter et al., 2012) روش استفاده از درخت منطقی با ۴۸۰ شاخه نهایی برای برآورد خطر زمین‌لرزه در ایالت کالیفرنیا را تشریح نموده‌اند. اندرسون (Anderson, 2018) ضمن بررسی اثر چهار پارامتر شیب گسل، نرخ لغزش، بزرگی و رابطه کاهندگی از درخت منطقی برای برآورد خطر در غرب نوادا استفاده و نتایج حساسیت سنجی را به صورت آماری ارائه کرده است. نتایج حاصله حاکی از اثرگذاری شاخص شیب گسل بر جنبش شدید زمین در سوی فرادیواره گسل‌ها می‌باشد. گرونتال و همکاران (Grunthal et al., 2018)

ضمن تشریح فرایند تحلیل خطر لرزه‌ای برای آیین نامه لرزه‌ای کشور آلمان، از درخت منطقی با ۴۰۴۰ شاخه نهایی استفاده کرده‌اند. این تعداد از شاخه‌های نهایی متأثر در نظر گرفتن تعداد قابل توجهی از پارامترها در تنظیم درخت منطقی می‌باشد. آنبازاگان و همکاران (Anbazhagan et al., 2019) نیز از درخت منطقی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت چهار پارامتر مدل چشمه لرزه‌ای، پارامتر لرزه‌خیزی چشمه، بیشینه بزرگی چشمه و رابطه کاهندگی در تحلیل خطر زمین‌لرزه منطقه پاتنا هند استفاده کرده‌اند.

علیرغم در اختیار بودن درخت منطقی جهت غلبه بر عدم قطعیت‌های ذکر شده، در برخی موارد ممکن است عدم قطعیت پارامترهای پایه آنچنان بر نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای اثر گذار باشد، که استفاده از این روش برای غلبه بر عدم قطعیت را فاقد توجیه منطقی نماید. سهرابی بیدار و اصغری (۱۳۹۸) با بررسی مناقشات موجود در خصوص وجود یا عدم وجود گسل‌های کهریزک، شمال ری و جنوب ری، در جنوب تهران، اثرات آن در برآورد خطر لرزه‌ای بخشی از تهران را بررسی نموده‌اند. این گسل‌ها با توجه به موقعیت آنها تأثیر مهمی بر خطر لرزه‌ای برآورد شده در گستره زیادی از کلانشهر تهران خواهند داشت. در نظر گرفتن این عوارض در تحلیل خطر لرزه‌ای (در صورتی که یک چشمه لرزه‌ای واقعی نباشند) منجر به برآورد محافظه کارانه از خطر لرزه‌ای و تحمیل هزینه‌های غیر ضروری بر عملیات عمرانی خواهد شد و از سوی دیگر، در نظر نگرفتن این عوارض در تحلیل خطر لرزه‌ای (در صورتی که یک چشمه لرزه‌ای واقعی باشند) منجر به برآوردی کمتر از واقع و در معرض آسیب قرار گرفتن سرمایه‌های مادی و معنوی خواهد شد. در هر دو صورت برآوردها غیر دقیق و نیازمند نگاهی دوباره خواهد بود. این مقاله ضمن مرور استنادات ارائه شده در خصوص گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک خطر لرزه‌ای در گستره تهران را در دو وضعیت ملاحظه یا عدم ملاحظه گسل‌های ذکر شده بررسی و مقایسه نموده است. علاوه بر این اثرات این مسئله بر مشخصات زمین‌لرزه طراحی در یک ساختگاه نزدیک به گسل کهریزک نیز بررسی شده است.



## ۲- منطقه مورد مطالعه و گسل‌های جنوب تهران

گستره تهران که بخشی از پهنه زمین‌ساختی البرز به شمار می‌رود، به تبع جای‌گیری در میانه کمربند لرزه‌خیز آلپ-همالیا، گستره‌ای لرزه‌خیز محسوب می‌شود. در طی دوره ثبت زمین‌لرزه‌های دستگامی، زمین‌لرزه‌های متعددی نظیر زمین‌لرزه بزرگ ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ رودبار با بزرگی ۷/۳ و بسیاری دیگر از زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ در پهنه البرز رخ داده است. در گستره تهران و در فاصله کمتر از ۱۵۰ کیلومتری آن نیز دو زمین‌لرزه بزرگ ۱۱ تیر ۱۳۳۶ سنگچال با بزرگی ۷/۰ و زمین‌لرزه ۱۰ شهریور ۱۳۴۱ بویین‌زهر با بزرگی ۷/۲، بزرگترین زمین‌لرزه‌های رویداده طی دوره دستگامی هستند. آخرین نمونه از زمین‌لرزه‌های مهم این گستره، زمین‌لرزه نه‌چندان بزرگ ۲۹ آذر ۱۳۹۵ ماهدشت کرج با بزرگی ۵/۲ است که سبب نگرانی بسیاری از مردم ساکن در محدوده کلاتشهرهای کرج و تهران گردید. این گستره در طی دوره ثبت زمین‌لرزه‌های تاریخی نیز متأثر از زمین‌لرزه‌های بزرگی بوده است. با صرف‌نظر از یک زمین‌لرزه در سده سوم پیش از میلاد مسیح، حداقل چهار زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۷ گستره تهران و پیرامون را طی تنها چهار قرن، از ۷۴۳ تا ۱۱۷۷ میلادی، ویران کرده است؛ پس از آن تنها یک زلزله با شرایط مشابه در ۱۸۳۰ میلادی، طی ۸۰۰ سال اخیر به وقوع پیوسته است (Berberian and Yeats, 1999, 2001).

مهمترین منابع لرزه‌ای قابل ذکر در گستره کلاتشهر تهران گسل‌های مشا، شمال تهران، کهریزک، شمال ری، جنوب ری، رباط کریم، پارچین، کرج - کردان، پیشوا و ماهدشت - جنوب کرج می‌باشد. اگرچه با توجه به شواهد زمین‌ساختی و نیز سوابق لرزه‌خیزی در خصوص بسیاری از گسل‌های ذکر شده اتفاق نظر وجود دارد، اما گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک از طرف برخی از محققین مورد مناقشه قرار گرفته‌اند (Nazari et al., 2010).

اولین بار بربریان و همکاران (۱۳۶۴) در گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک را معرفی نمودند. آنها با توصیف افراز گسل‌های مذکور، برای گسل کهریزک طول بیش از ۴۰ کیلومتر، برای گسل جنوب ری طول ۱۸/۵ کیلومتر و برای گسل شمال ری طول ۱۶/۵ کیلومتر را بیان و برای هر سه گسل سازوکار راندگی با جهت شیب به سوی شمال را پیشنهاد کردند. بر پایه این مطالعات در راستای گسل‌های

ذکر شده عموماً سیلت‌های رسی کهریزک در شمال بر روی آبرفت‌های کنونی در جنوب رانده شده و دشت پایین افتاده شهر ری تشکیل شده است. آنها در امتداد گسل شمال ری شواهدی از جابه‌جایی چپگرد آبراهه‌ها در شمال باختری خلاریز بیان نموده و در امتداد این گسل به یک ناهنجاری آب زیرزمینی در شمال و شمال غرب شهر ری اشاره کرده‌اند. در امتداد گسل جنوب ری نیز به جابه‌جایی چپگرد آبراهه‌ها در حدود قلعه نو حاج موسی اشاره شده است. همچنین به باقیمانده یک تمدن کهن احتمالاً با سن هزاره دوم پیش از میلاد در بالای دیواره گسل کهریزک در سرتختی کهریزک اشاره شده است، اگرچه در محل برش قنات کهریزک عدم مشاهده شواهد عملکرد گسل را بیان نموده‌اند.

دمارتینی و همکاران (DeMartini et al., 1998) براساس شواهد زمین‌ریخت‌شناختی نظیر شکل‌گیری نهرهای متعدد با حفر قائم قابل توجه در بلوک شمالی گسل در مقابل تعداد اندک رودخانه‌های بزرگ در بلوک جنوبی، گسل کهریزک را گسلی فعال تلقی نمودند، و اختلاف در بلندای توپوگرافی دو سوی گسل را به کارکرد گسل و فرونشست بلوک جنوبی نسبت داده‌اند. بر اساس تغییر ناگهانی جهت جریان رودخانه جاجرود با زوایه حدود ۹۰ درجه در امتداد گسل کهریزک، سازوکار جابه‌جایی راستگرد را برای گسل پیشنهاد و این سازوکار را بر اساس شواهد کوچک مقیاس در بخش میانی گسل تصدیق کردند. آنها جابه‌جایی راستگرد برخی آبراهه‌ها در امتداد گسل کهریزک تا حد ۵۰ متر و متروک شدن برخی قنات‌ها در پی رخداد زمین‌لرزه و بازسازی و نوسازی آنها با چاه‌های جدید را گزارش کردند. همچنین، بر اساس یافته‌های زمین‌ریخت‌شناختی برای گسل کهریزک امتداد متوسط ۷۰ تا ۸۰ درجه شمال شرقی، شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال و طول حداکثر بین ۳۵ تا ۵۵ کیلومتر را ارائه کردند. آنها با حفر دو ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی بر روی افراز گسل کهریزک، گسلش در لایه‌های رسوبی هولوسن را گزارش نموده و با بهره‌گیری از نتایج سن‌یابی نهشته‌های آبرفتی به روش رادیوکربن،  $^{230}\text{Th}$ - $^{232}\text{U}$ ، و داده‌های تاریخی و باستان‌شناختی، رخداد حداقل دو رویداد لرزه‌ای را با سن کمتر از حدود ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال بر روی گسل کهریزک شناسایی نمودند. آنها بر اساس سن قنات متروک و رخداد حداقل یک رویداد پس



### ۳- اثرات گسل‌های جنوب تهران بر خطر زمین‌لرزه

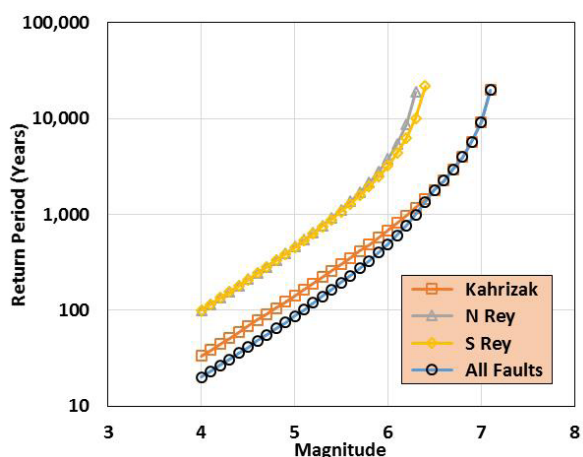
از زمان مناقشه مورد اشاره در خصوص گسل‌های شمال‌ری، جنوب‌ری و کهریزک، این گسل‌ها در مطالعات و نقشه‌های بعدی ارائه شده توسط برخی محققین حذف (Ritz et al., 2012) و در برخی دیگر کم‌رنج (Talebian et al., 2016) گردیده است. این گسل‌ها یا به تعبیر برخی دیگر از محققین، عوارض مورفولوژیک اثرات مهمی در برآورد خطر لرزه‌ای بخش گسترده‌ای از کلان‌شهر تهران دارد. به منظور نشان دادن اثرات این عوارض خطر زمین‌لرزه در گستره کلانشهر تهران در دو حالت، با در نظر گرفتن گسل‌های شمال‌ری، جنوب‌ری و کهریزک و بدون در نظر گرفتن آنها محاسبه و مقایسه شده است. با توجه به آنکه هدف اصلی این مطالعه بررسی اثرات وجود یا نبود گسل‌های جنوب تهران بر خطر لرزه‌ای منطقه است، صرفاً این موضوع مد نظر قرار گرفته و در راستای ساده سازی تحلیل‌ها تنها از یک نوع مدل چشمه و یک نوع رابطه بازگشتی برای بزرگای زمین‌لرزه‌ها استفاده شده است.

### ۳-۱- پارامترهای لرزه خیزی چشمه‌ها

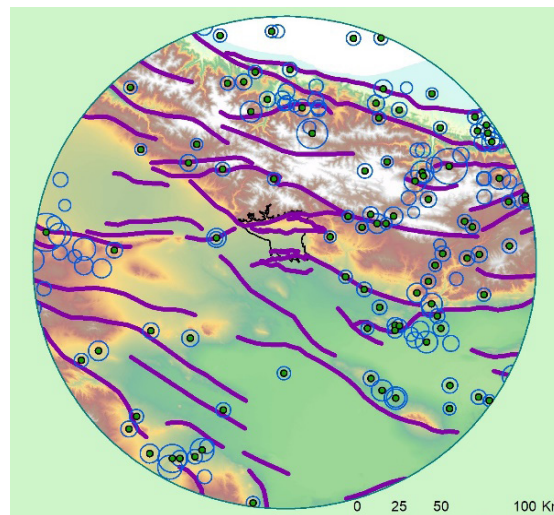
در محاسبه خطر لرزه‌ای، چشمه‌های لرزه‌ای در قالب چشمه‌های خطی منطبق بر گسل‌ها و با در نظر گرفتن هندسه گسل منظور گردیده و پارامترهای لرزه‌خیزی آنها بر حسب لرزه‌خیزی منطقه‌ای و متناسب با طول آنها تعیین شده است. لرزه‌خیزی منطقه‌ای با توزیع نمایی و در گستره‌ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتر برآورد شده است. شکل ۱ توزیع زمین‌لرزه‌های دستگاهی گستره ۱۵۰ کیلومتری از جنوب تهران را نشان می‌دهد. در شکل کلیه زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیش از ۴ نشان داده شده و زمین‌لرزه‌های اصلی و مستقل با نقاط توپر مشخص گردیده‌اند. در این گستره در بازه‌ای ۸۸ ساله از ۱۹۳۰ تا ۲۰۱۸ میلادی ۱۳۹ زمین‌لرزه رویداده است که پس از حذف رویدادهای وابسته تعداد ۹۳ زمین‌لرزه مستقل باقیمانده است. فهرست کلیه زمین‌لرزه‌های دستگاهی مورد استفاده برای محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی در جدول پیوست الف ارائه شده است. شکل ۲ برآزش رابطه نمایی گوتنبرگ-ریشتر برای گستره ۱۵۰ کیلومتری را نشان می‌دهد. در شکل مذکور، برآزش هم برای فراوانی تجمعی و هم برای فراوانی تجمعی سالیانه (نرخ رویداد سالیانه) نشان داده شده است. مقادیر ضرایب لرزه‌خیزی نسبی و مطلق به ترتیب برابر با ۱/۴۱ و ۵/۹۶ به دست آمده است.

از احداث آن، زمان سپری شده از آخرین رویداد را بین ۸۰۰ سال (زمان در دسترس برای آخرین رویداد تاریخی منطقه) تا ۵۰۰۰ سال (سن قنات متروک) برآورد کردند. نهایتاً سازوکار گسلش، راستالغز راستگرد با مؤلفه فشاری معرفی گردیده و بر اساس شواهد پارینه‌لرزه‌شناختی نرخ لغزش حدود ۱ و ۳/۵ میلیمتر در سال به ترتیب برای مؤلفه‌های قائم و افقی به دست آمد. همچنین بر اساس روابط تجربی توان لرزه‌زایی گسل، بزرگای گشتاوری ۷/۰ تا ۷/۴ پیشنهاد شد. نظری و همکاران (Nazari et al., 2010) با اشاره به ارتفاع ثابت پرتگاه متناسب به گسل کهریزک، علیرغم تغییر امتداد آن و گسترش معمول حفر قائم آبراهه‌ها به مناطق دور از افراز در بلوک شمالی گسل و نیز عدم مشاهده جابه‌جایی و انحراف آبراهه‌ها در اثر عملکرد این گسل‌ها در بخش‌های میانی آن، در گسلی بودن پرتگاه‌های کهریزک، شمال‌ری و جنوب‌ری تشکیک نمودند. آنها سپس با حفر سه ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی و بررسی دیواره یک آبکنده در عرض افراز کهریزک، ضمن اشاره به وجود گسل غیر فعال در رسوبات نئوژن، به عدم کارکرد گسل در رسوبات هولوسن و همچنین به قرارگیری افقی لایه‌های رسوبی در طرفین پرتگاه اشاره کردند. با حفر ترانشه بر روی گسل شمال‌ری و ملاحظه ترانشه طبیعی در امتداد گسل جنوب‌ری، بررسی مشابهی انجام و عدم مشاهده گسلش در نهشته‌های هولوسن و وجود رخنمون لایه‌های افقی و تغییر شکل نیافته در دو سوی گسل گزارش گردید. آنها با اشاره به پیروی پرتگاه‌های مورد اشاره از خم‌های تراز توپوگرافی با بلندی یکسان برای هر افراز، و با تکیه بر شواهد ریخت زمین‌شناختی، رد سطحی عوارض کهریزک، شمال‌ری و جنوب‌ری را به پدیده‌های فرسایشی مربوط به خط ساحلی یک دریاچه قدیمی نسبت دادند.

همزمان، آزادی و همکاران (Azadi et al., 2010) طی یک بررسی با روش‌های ژئوفیزیکی لرزه‌ای انکساری، مقاومت سنجی الکتریکی و مغناطیس‌سنجی به شواهد گسل در جابه‌جایی لایه‌های سطحی و نیز عملکرد آن تا عمق حداقل ۲۰۰ متری اشاره نمودند. بر اساس یافته‌های آنها گسل کهریزک، گسلی پرشیب است که شیب آن به سمت جنوب بوده و دارای سازوکار نرمال می‌باشد.



شکل ۳. دوره بازگشت زمین‌لرزه برای گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک



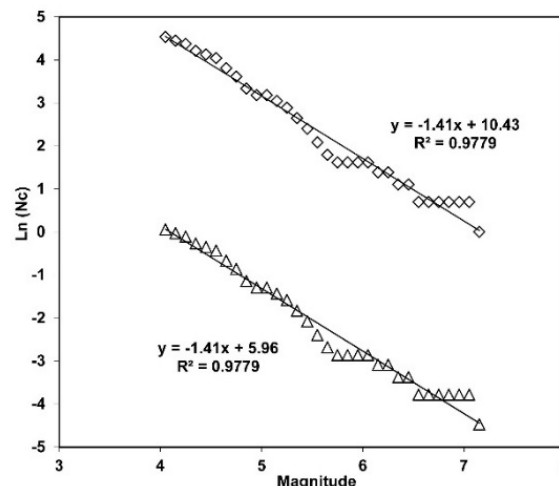
شکل ۱. زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره ۱۵۰ کیلومتری از جنوب تهران

### ۳-۲- محدوده محاسبات و نقاط شبکه

محاسبه خطر لرزه‌ای با استفاده از نرم افزار (EZ-FRISK Risk Engineering, 2011) انجام شده است. جدول پیوست ب فهرست گسل‌های در نظر گرفته شده در تحلیل خطر لرزه‌ای و مقدار نرخ لرزه‌خیزی برای بزرگای آستانه ۴/۰ در هر یک از گسل‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴ محدوده محاسبات و شبکه‌بندی منطقه جهت تحلیل خطر را نشان می‌دهد. فاصله نقاط شبکه از یکدیگر ۰/۱ درجه جغرافیایی است و محاسبات برای ۷۲ نقطه انجام شده است. علاوه بر محاسبه خطر لرزه‌ای برای نقاط شبکه، یک ساختمان در جنوب تهران و حدفاصل گسل‌های کهریزک و جنوب ری جهت بررسی بیشتر انتخاب و جزئیات بیشتری از نتایج تحلیل خطر برای این ساختمان ارائه شده است. این ساختمان در شکل ۴ با نماد مثلث نشان داده شده است.

### ۳-۳- روابط کاهندگی

در محاسبه خطر لرزه‌ای از شش رابطه کاهندگی طیفی قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2008)، آمبرسیز و همکاران (Ambraseys et al., 2005)، بور و اتکینسون (Boore and Atkinson, 2008)، کمپل و بزرگنیا (Camp-Chiou and Bozorgnia, 2008)، چپو و یانگز (Chiou and Youngs, 2008) و آبراهامسون و سیلوا (Abrahamson and Silva, 2008) استفاده شده و میانگین نتایج ارائه شده است. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2008)، رابطه کاهندگی طیفی خود را بر اساس شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در شبکه شتاب‌نگاری ایران توسعه داده‌اند،

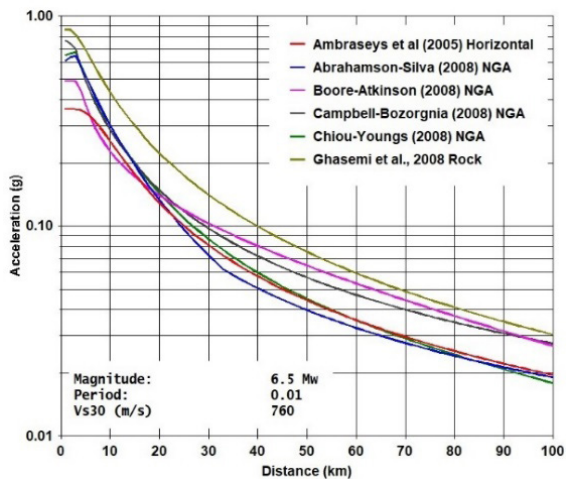


شکل ۲. ضرایب لرزه‌خیزی در گستره ۱۵۰ کیلومتری جنوب تهران

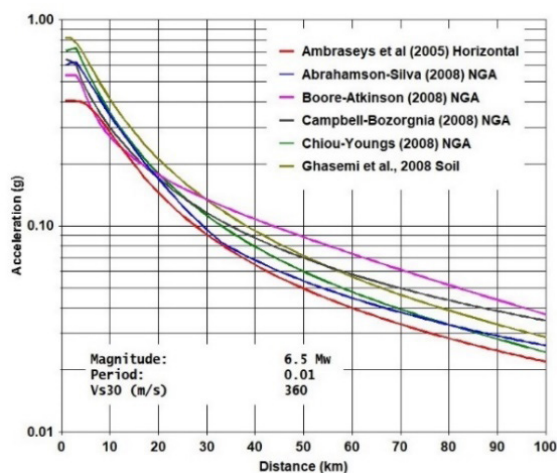
با فرض توزیع یکنواخت لرزه‌خیزی و متناسب با طول گسل‌های گستره ۱۵۰ کیلومتری، مقادیر نرخ لرزه‌خیزی برای بزرگای آستانه ۴/۰ به ترتیب برای گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک ۰/۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ در نظر گرفته شد. برای برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها از روابط تجربی استفاده شده و مقدار بزرگای بیشینه برای آنها به ترتیب ۶/۴، ۶/۵ و ۷/۲ به دست آمده است. شکل ۳ دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگای مختلف بر روی گسل‌های کهریزک، شمال ری و جنوب ری را در کنار دوره بازگشت برای مجموعه سه گسل مذکور را نشان می‌دهد. چنان‌که دیده می‌شود بر اساس مدل در نظر گرفته شده، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵، ۶ و ۷ در مجموعه گسل‌های مورد اشاره به ترتیب حدود ۱۰۰، ۵۰۰ و ۹۰۰۰ سال خواهد بود.



در دو حالت ساختگاه سنگی و ساختگاه آبرفتی با در نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک به انجام رسیده است. در محاسبات اخیر اثرات حوزه نزدیک با روش هوانگ و همکاران (Huang et al., 2008)، جهت محاسبه مؤلفه افقی دارای بیشترین دامنه استفاده شده است.



شکل ۵. مقایسه روابط کاهندگی جنبش شدید برای ساختگاه سنگی و بزرگی ۶/۵

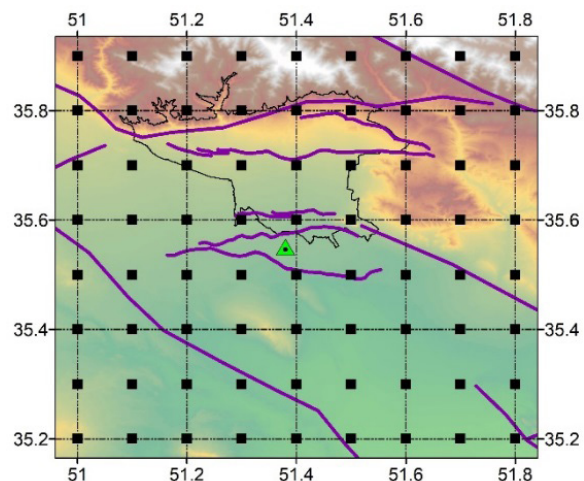


شکل ۶. مقایسه روابط کاهندگی جنبش شدید برای ساختگاه آبرفتی و بزرگی ۶/۵

شکل های ۷ و ۸ مقادیر بیشینه شتاب افقی زمین در حالت ساختگاه سنگی، برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در دو وضعیت در نظر گرفتن گسل های شمال ری، جنوب ری و کهریزک و بدون در نظر گرفتن آنها را نشان می دهند. چنان که مشخص است بودن یا نبودن این گسل ها در فرایند تحلیل خطر زمین لرزه گستره تهران اثرات قابل توجهی دارد. شکل ۹ تفاضل بیشینه شتاب زمین در دو وضعیت تحلیل شده را

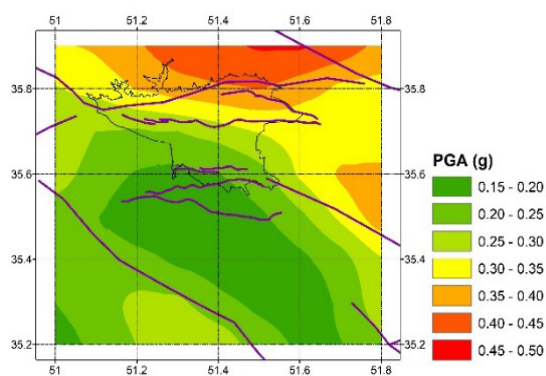
آبرسیز و همکاران (Ambraseys et al., 2005) رابطه کاهندگی خود را بر اساس شتاب نگاشت های زمین لرزه های کم عمق پوسته ای رویداده در اروپا و خاورمیانه توسعه داده اند، بور و اتکینسون (Boore and Atkinson, 2008)، کمپل و بزرگنیا (Campbell and Bozorgnia, 2008)، چیو و یانگ (Chiou and Youngs, 2008)، و آبراهامسون و سیلوا (Abrahamson and Silva, 2008) محققین مرکز تحقیقات زمین لرزه دانشگاه برکلی بوده اند که بر اساس بانک داده های شتاب نگاری زمین لرزه های پوسته ای کم عمق نقاط مختلف جهان روابط کاهندگی خود را ارائه نموده اند. روابط اخیر علی رغم استفاده از بانک داده های یکسان دارای تفاوت هایی است که ناشی از نوع پارامترهای در نظر گرفته شده و شکل روابط مورد استفاده توسط محققین می باشد. در کلیه روابط ارائه شده برآورد بیشینه شتاب، و شتاب طیفی برای میرایی ۵ درصد مد نظر قرار گرفته است. شکل های ۵ و ۶ نحوه کاهندگی بیشینه شتاب افقی زمین با افزایش فاصله از چشمه را برای بزرگای ۶/۵ در دو حالت ساختگاه سنگی و آبرفتی مقایسه کرده است.

### ۳-۴- نتایج محاسبات بیشینه شتاب زمین

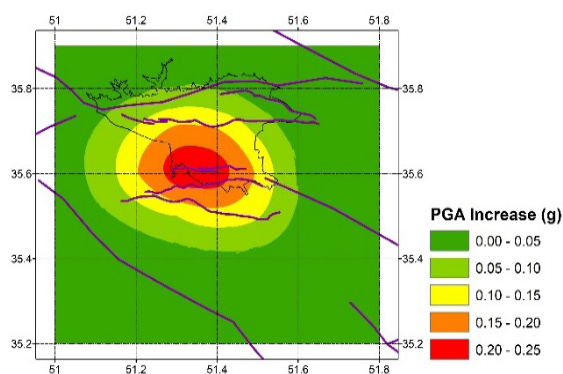


شکل ۴. نقشه موقعیت نقاط محاسباتی و ساختگاه منفرد مورد مطالعه در جنوب تهران

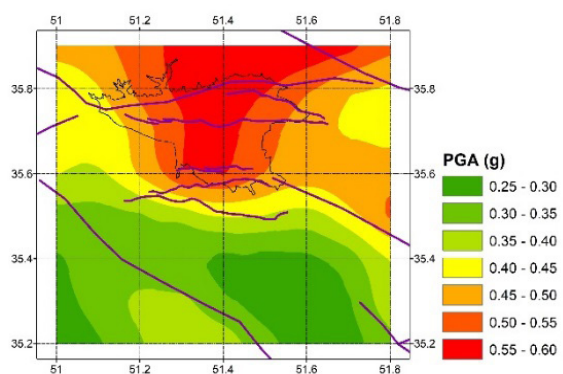
طی محاسبات شتاب های طیفی افقی برای دوره های تناوب مختلف محاسبه گردیده و نتایج مربوط به بیشینه شتاب افقی زمین در این مقاله ارائه گردیده است. محاسبات



شکل ۸. بیشینه شتاب افقی ساختگاه سنگی بدون در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران



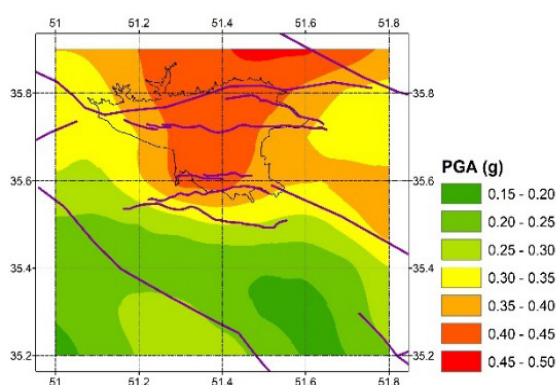
شکل ۹. افزایش بیشینه شتاب افقی در ساختگاه سنگی ناشی از در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران



شکل ۱۰. بیشینه شتاب افقی در ساختگاه آبرفتی و لحاظ نمودن اثرات حوزه نزدیک، با در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران

نشان می‌دهد. چنان که دیده می‌شود مقادیر اختلاف بیشینه شتاب افقی زمین تا حدود  $0.25 \text{ g}$  نیز می‌رسد. این افزایش با توجه به شیب در نظر گرفته شده برای گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک در بخش‌های شمالی ساختارهای ذکر شده متمرکز می‌باشد. بررسی افزایش نسبی بیشینه شتاب زمین در مقایسه با وضعیت عدم در نظر گرفتن گسل‌های مذکور نشان می‌دهد در برخی نقاط، بیشینه شتاب زمین ناشی از زلزله تا بیش از ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد.

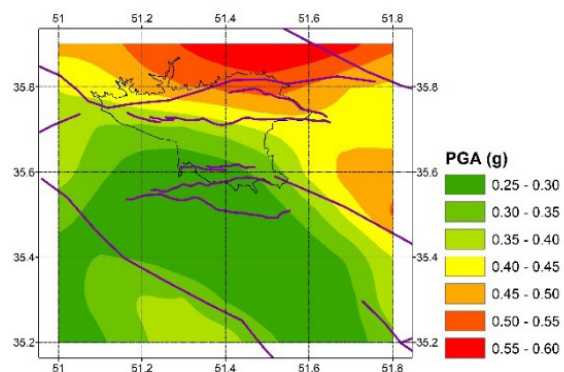
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مقادیر بیشینه شتاب افقی زمین در حالت ساختگاه آبرفتی و در نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک گسل برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال را در دو وضعیت در نظر گرفتن گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک و بدون در نظر گرفتن آن‌ها نشان می‌دهند. شکل ۱۲ نیز تفاضل بیشینه شتاب زمین در دو وضعیت تحلیل شده را نشان می‌دهد. چنان که دیده می‌شود مقادیر اختلاف بیشینه شتاب افقی زمین تا حدود  $0.30 \text{ g}$  نیز می‌رسد. مقدار افزایش شتاب با فرض ساختگاه آبرفتی و در نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک با توجه به بالاتر بودن سطوح بیشینه شتاب افقی زمین در این وضعیت، بیشتر می‌باشد. در این حالت نیز در برخی نقاط، افزایش بیشینه شتاب زمین ناشی از زلزله تا بیش از ۱۰۰ درصد می‌رسد.



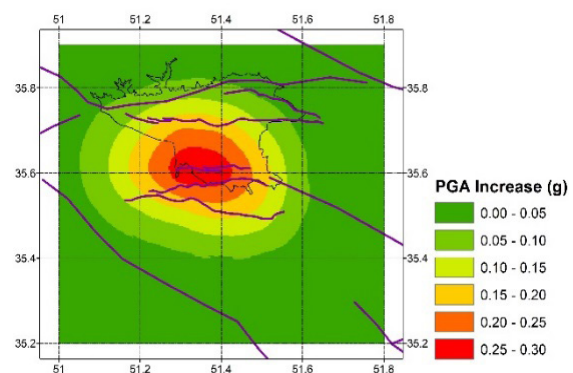
شکل ۱۱. بیشینه شتاب افقی ساختگاه سنگی با در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران

زمین لرزه طراحی در هر سطح خطر بر اساس بزرگ‌گها و فواصل دارای بیشترین مشارکت در ایجاد خطر لرزه‌ای تعریف می‌گردد، که متأثر از وضعیت چشمه‌های لرزه‌ای ساختگاه است. جهت تبیین این مسئله مشخصات زمین لرزه طراحی با استفاده از فرایند تفکیک خطر لرزه‌ای (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 199) برای ساختگاه مشخص شده در شکل ۴ بررسی و نتایج آن ارائه شده است. شکل ۱۳ نتایج تفکیک خطر لرزه‌ای یک بعدی برای بزرگای زمین لرزه در دوره بازگشت ۴۷۵ سال را برای دو وضعیت در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران و بدون در نظر گرفتن آنها نشان می‌دهد. شکل ۱۴ نیز نتایج تفکیک خطر لرزه‌ای یک بعدی فاصله از چشمه را برای ساختگاه ذکر شده در هر دو وضعیت نشان می‌دهد. چنان که دیده می‌شود، سهم زمین لرزه‌های با بزرگی‌های مختلف در دو سناریوی ذکر شده کاملاً متفاوت است. در سناریوی وجود گسل‌های جنوب تهران، بیشترین خطر لرزه‌ای ناشی از بزرگی‌های متوسط ۵/۵ تا ۶/۵ می‌باشد، این در حالی است که در سناریوی نبود گسل‌های جنوب تهران خطر لرزه‌ای در این نقطه علیرغم کاهش بیشینه شتاب زمین لرزه، ناشی از زمین لرزه‌های عمدتاً بزرگ حدود ۶/۵ تا ۷ می‌باشد. همچنین از نظر فاصله نیز چنان که انتظار می‌رود در سناریوی وجود گسل‌های جنوب تهران بیشترین خطر لرزه‌ای مربوط به فواصل نزدیک و کمتر از ۲۰ کیلومتر است، در حالی که در سناریوی نبود گسل‌های جنوب تهران سهم فواصل دور در ایجاد خطر لرزه‌ای غالب بوده و فاصله حدود ۳۰ کیلومتر بیشترین سهم را در ایجاد خطر لرزه‌ای دارد.

با ترکیب نتایج تفکیک خطر لرزه‌ای برای بزرگا و فاصله می‌توان گفت، زمین لرزه طراحی دوره بازگشت ۴۷۵ سال در سناریوی وجود گسل‌های جنوب تهران، زلزله‌های با بزرگی متوسط و فاصله کم را شامل می‌شود، در حالی که در سناریوی نبود گسل‌های جنوب تهران، زمین لرزه طراحی شامل زمین لرزه‌ای با فاصله متوسط و بزرگی نسبتاً زیاد خواهد بود. این مسئله به خصوص در تدوین طیف طراحی ویژه ساختگاه و نیز انتخاب شتاب‌نگاشت‌های طراحی جهت تحلیل دینامیکی سازه اثرات قابل توجهی خواهد داشت.



شکل ۱۱. بیشینه شتاب افقی در ساختگاه آبرفتی و لحاظ نمودن اثرات حوزه نزدیک، بدون در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران



شکل ۱۲. افزایش بیشینه شتاب افقی در ساختگاه آبرفتی و لحاظ نمودن اثرات حوزه نزدیک، ناشی از در نظر گرفتن گسل‌های جنوب تهران

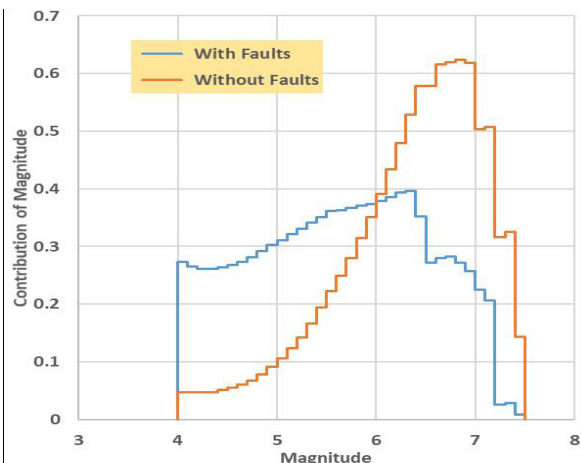
### ۳-۵- زمین لرزه طراحی

در بخش پیشین نشان داده شد که در نظر گرفتن یا در نظر نگرفتن گسل‌های جنوب تهران در فرایند تحلیل خطر زمین لرزه اثرات شگرفی بر مقادیر پارامتر بیشینه شتاب زمین خواهد گذاشت؛ با این حال اثرات این مسئله و عدم قطعیت موجود در خصوص این گسل‌ها منحصر به مقادیر بیشینه شتاب زمین نبوده و مقادیر شتاب‌های طیفی را نیز تغییر می‌دهد. علاوه بر این از منظر زمین لرزه طراحی نیز مشخصات بارگذاری لرزه‌ای را متأثر خواهد نمود. برخلاف تحلیل خطر تعیینی، در تحلیل خطر احتمالاتی بزرگ‌گها و فواصل مختلفی در محاسبه خطر لرزه‌ای نقش دارند. تعیین میزان سهم بزرگ‌گها و فواصل مختلف در هر سطح خطر لرزه‌ای با استفاده از فرایند تفکیک خطر لرزه‌ای صورت می‌گیرد.

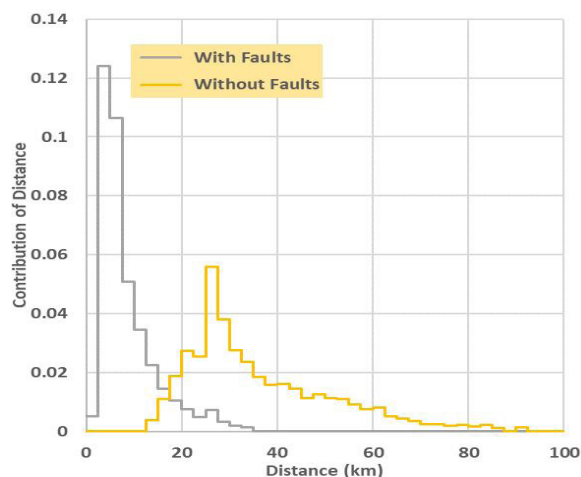


#### ۴- نتیجه‌گیری

بودن گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک در فرایند تحلیل خطر زمین‌لرزه، سبب می‌گردد در گستره زیادی از شهر تهران، که همه روزه در معرض توسعه و عمران است، مقادیر بیشینه شتاب زمین تا حد بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با نبودن آنها افزایش یابد. این افزایش به معنی افزایش هزینه‌های توسعه و سرمایه‌گذاری در بخش بزرگی از کلانشهر تهران است. بررسی استنادات ارائه شده در تثبیت یا رد وجود و نیز فعالیت گسل‌های شمال ری، جنوب ری و کهریزک مستلزم مذاقه بیشتری است که از هدف این مقاله به دور است. اما آنچه که مشخص است بودن یا نبودن این گسل‌ها اثرات شگرفی بر خطر لرزه‌ای بر آورد شده در گستره بزرگی از تهران دارد. اگرچه عموماً عدم قطعیت‌های شناختی در فرایند تحلیل خطر زمین‌لرزه با روش‌هایی نظیر درخت منطقی و یا قضاوت‌های کارشناسی در فرایند تحلیل خطر زمین‌لرزه قابل حل به نظر می‌رسد، اما میزان اثرگذاری این موضوع و عواقب آن به قدری گسترده و عمیق است که نیازمند توجه بیشتر و رسیدن به جواب شایسته می‌باشد. در این مورد خاص کاهش عدم قطعیت با انجام بررسی‌های بیشتر ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات پارینه‌لرزه‌شناختی تفصیلی و نیز ایجاد یک شبکه متراکم لرزه‌نگاری محلی روش‌هایی است که امکان رسیدن به یک جواب شایسته را فراهم خواهد کرد.



شکل ۱۳. سهم بزرگ‌گام‌های مختلف در ایجاد خطر لرزه‌ای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۱۴. سهم فواصل مختلف در ایجاد خطر لرزه‌ای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



## منابع

زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶.  
سهرابی بیدار ع.، و اصغری ا.، (۱۳۹۸)، گسل‌های کهریزک، جنوب ری و شمال ری، بودن یا نبودن؟، هفتمین همایش ملی زمین‌ساخت و زمین‌شناسی ساختاری ایران، دانشگاه تهران.

بربریان م.، قریشی م.، ارژنگ‌روش ب. و مهاجر اشجعی ا. (۱۳۶۴)، «پژوهش و بررسی ژرف‌نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون»، سازمان

## Reference:

- Abrahamson, N. A., and W. J. Silva, 2008, Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, *Earthquake Spectra*, 24(1), 67-97.
- Ambraseys N.N., John Douglas, S.K. Sarma, P. M. Smit, 2005, Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Springer Verlag, 3 (1), pp.1-53.
- Anbazhagan, P., Bajaj, K., Matharu, K., Moustafa, S. S. R., and Al-Arifi, N. S. N., 2019, Probabilistic seismic hazard analysis using the logic tree approach – Patna district (India), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 2097–2115.
- Anderson, J. G., 2018, Quantifying the Epistemic Uncertainty in the Probabilistic Seismic Hazard from Two Major Faults in Western Nevada. *Earthquake Spectra*, 34(2), 549–568. doi:10.1193/080717eqs156m.
- Azadi A., Hessami K., Javan-Doloei G., 2010, Integrated geophysical methods for determining geometry of the Kahrizak Fault, Tehran, Iran, *Nat Hazards*. 54:813–825.
- Bazzurro P., Cornell C.A., 1999, Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(2):501–520.
- Berberian M., and Yeats R.S., 1999, Patterns of historical earthquakes rupture in the Iranian plateau, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 89, pp. 120–139.
- Berberian, M., and Yeats R.S., 2001, Contribution of Archaeological Data to Studies of Earthquake History in Iran Plateau, *J. struct. Geol.*, Vol. 23, pp. 563-584.
- Boore D.M., and Atkinson G.M, 2008, Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra*, Vol 4(1), , pp. 99-138.
- Campbell K.W. and Bozorgnia Y., 2008, NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, Vol 4(1), , pp. 139-17.
- Chiou, B. S.-J. and Youngs R. R., 2008, An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthquake Spectra*, 24(1), 173-215.
- Cornell CA, 1968, Engineering seismic risk analysis. *Bull Seismol Soc Am* 58(5):1583–1606.
- DeMartini P.M., Hessami K., Pantosti D., D’Addezio G. and Alinaghi H., 1998, The geologic contribution to the evaluation of the seismic potential of the Kahrizak fault (Tehran, IRAN), *Tectonophysics*, Vol. 287, pp. 187-199.
- Douglas J and Danciu L., 2019, Nomogram to help explain probabilistic seismic hazard, *J Seismol*, <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09885-4>.
- Ghasemi H., Zare M., Fukushima Y. and koketsu K., 2008, An empirical spectral ground-motion model for Iran, *J Seismology*, DOI 10.1007/s10950-008-9143-x.
- Grunthal, G., Stromeyer, D., Bosse, C. et al., 2018, The probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability. *Bull Earthquake Eng* 16, 4339–4395.
- Huang Y., Whittaker A.S. and Luco N., 2008, Maximum Spectral Demands in the Near-Fault Region, *Earthquake Spectra*, Vol 4(1), pp. 319-341.
- McGuire RK, 1995, Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. *Bull Seismol Soc Am* 85(5):1275–1284.
- Nazari H., J. F. Ritz, R. Salamati, A. Shahidi, H. Habibi, M. Ghorashi and A. Karimi Bavandpur, 2010, Distinguishing between fault scarps and shorelines: the question of the nature of the Kahrizak, North Rey and South Rey features in the Tehran plain (Iran), *Terra Nova*, 22, 227–237.
- Porter KA, Field EH, and Milner K, 2012, Trimming the UCERF2 Hazard Logic Tree, *Seismological Research Letters*, 83(5), 815-828.
- Rabinowitz N., Steinberg D.M. and Leonard G., 1998, Logic Trees, Sensitivity Analyses, and Data Reduction in Probabilistic Seismic Hazard Assessment, *Earthquake Spectra*, Vol. 14, pp. 189-201.
- Risk Engineering, 2011, EZ-FRISK Version 7.52, Software for Earthquake Ground Motion Estimation, Boulder Colorado, US.
- Ritz J.-F., H. Nazari, S. Balescu, M. Lamothe, R. Salamati, A. Ghassemi, A. Shafei, M. Ghorashi, and A. Saidi, 2012, Paleoequakes of the past 30,000 years along the North Tehran Fault (Iran), *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, B06305.
- Rocquigny E., 2012, Modelling under risk and uncertainty: An introduction to statistical phenomenological and computational methods, *Wiley Series in Probability and Statistics*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Talebian M., A.C. Copley, M. Fattahi, M. Ghorashi, J.A. Jackson, H. Nazari, R.A. Sloan and R.T. Walker, 2016, Active faulting within a megacity: the geometry and slip rate of the Pardisan thrust in central Tehran, Iran, *Geophysical Journal International*, 207, 16881699-.



1973-09-17	36.54	51.11	10.0	4.7
1973-10-27	35.77	52.57	29.0	4.3
1974-01-10	35.81	51.95	33.0	4.6
1975-04-11	35.62	50.26	15.0	4.7
1977-05-25	34.84	52.01	23.0	5.3
1979-02-22	35.20	52.10	33.0	4.6
1979-03-18	36.34	52.65	33.0	4.5
1979-03-25	34.87	52.45	26.0	4.6
1980-12-19	34.47	50.65	12.0	6.2
1980-12-19	35.25	52.38		4.5
1980-12-22	34.43	50.63	18.0	5.7
1981-03-29	34.37	50.86	21.0	4.4
1981-08-04	36.45	51.27		4.7
1982-07-05	34.74	50.98	33.0	4.5
1982-10-25	35.11	52.31	15.0	5.4
1983-03-25	36.04	52.29	20.0	5.5
1983-03-26	35.99	52.24	20.0	5.4
1983-05-29	35.20	52.13	15.0	4.4
1985-02-11	34.47	50.69	62.0	4.7
1985-02-16	36.78	51.85	33.0	4.3
1985-10-14	35.58	52.66	15.0	4.7
1988-03-01	34.48	50.79	16.0	4.5
1988-08-22	35.32	52.34	23.0	5.3
1988-08-23	35.38	52.25	25.0	5.2
1988-08-23	35.28	52.33	25.0	4.6
1988-08-23	35.64	52.40	10.0	4.0
1988-09-03	35.10	52.46	10.0	4.7
1988-10-24	35.17	52.26	15.0	4.9
1988-10-26	35.12	52.23	6.0	4.7
1988-11-12	35.45	52.51	33.0	4.2
1988-12-03	35.15	52.21	10.0	4.4
1990-01-20	35.90	52.97	30.0	6.0
1991-01-22	35.44	52.32	33.0	4.5
1992-09-22	36.29	52.72	35.0	5.1
1993-03-08	36.54	51.00	15.0	4.4
1993-05-12	36.78	52.03	33.0	4.3
1993-08-19	35.17	52.10	16.0	4.6
1994-11-21	36.05	51.91	44.0	4.5
1995-06-26	36.60	51.19	22.0	4.2
1996-08-25	35.88	52.97	15.0	4.2
1997-06-07	36.51	50.36	28.0	4.2
1997-11-05	34.94	51.37	44.0	4.2
1998-01-02	36.50	52.20	10.0	4.0
1998-01-09	36.38	52.15	15.0	4.6
1998-12-03	36.06	50.97	46.0	4.3
1998-12-19	36.80	50.96	15.0	4.2
2001-05-16	36.26	52.66	26.0	4.4
2002-04-08	36.42	51.99	9.0	4.8
2002-05-21	36.29	51.55	12.0	4.1
2002-10-10	35.89	52.33	33.0	4.7
2002-10-15	35.82	52.23	10.0	4.0

## جداول پیوست‌ها

### جدول الف: فهرست زمین‌لرزه‌ها

Date	Lat	Lon	Depth	Mag
1930-01-01	36.39	50.48		5.4
1930-10-02	35.76	51.99		5.2
1930-10-07	35.80	52.10		5.0
1935-04-12	36.00	52.80	17.0	5.4
1937-04-07	34.80	52.10		5.5
1940-09-25	36.50	52.04	14.0	5.0
1945-05-11	35.18	52.40	33.0	4.7
1951-04-22	34.80	52.10		5.0
1954-09-02	35.30	52.00		4.5
1955-11-24	35.76	52.05		4.0
1957-05-06	36.40	51.50		4.8
1957-07-02	36.07	52.47		7.0
1957-07-02	36.08	52.37		4.6
1957-07-02	36.20	52.70		5.0
1957-07-02	35.98	52.87		4.3
1957-07-02	35.90	52.70		4.5
1957-07-02	36.16	52.26		4.3
1957-07-04	35.90	52.20		4.5
1957-07-07	36.00	52.70		4.2
1957-07-07	36.16	52.30		4.5
1957-07-09	36.00	52.70		4.5
1958-01-16	36.13	52.55	45.0	4.7
1958-06-17	36.21	52.76		4.5
1958-11-02	36.61	51.42	63.0	4.5
1959-05-01	36.38	51.16	33.0	5.3
1960-06-01	35.80	51.80		4.0
1960-07-10	36.20	50.80		4.0
1960-07-23	34.50	50.50		5.1
1962-09-01	35.71	49.81		7.2
1962-09-01	35.86	49.93	40.0	4.0
1962-09-11	36.00	49.90		4.5
1962-09-12	35.60	49.90		4.5
1962-10-13	35.62	50.06	15.0	5.5
1962-12-02	35.53	50.06	53.0	5.0
1962-12-02	35.58	50.00	24.0	4.2
1963-01-02	35.70	49.90	20.0	5.5
1963-05-28	35.40	49.80	33.0	4.3
1964-05-15	35.76	49.86	29.0	4.5
1964-11-03	35.52	50.18	15.0	5.1
1966-11-08	36.10	50.75	15.0	4.8
1967-02-16	35.40	51.90	144.0	4.5
1968-04-26	35.06	50.16	22.0	5.2
1970-06-27	35.13	50.76	25.0	4.8
1970-10-03	36.01	51.31	78.0	4.1
1971-03-31	34.70	50.41	39.0	4.4
1971-04-30	34.64	50.36	15.0	4.7
1971-08-09	36.20	52.76	30.0	5.2



جدول ب: فهرست گسل‌ها و لرزه‌خیزی آن‌ها

ردیف	نام گسل	طول گسل (Km)	لرزه‌خیزی نرخ	تاریخ	معمق	سطح	شدت
۱	مشا	۲۵۰	۰/۱۵	2002-10-18	36.28	52.42	75.0
۲	شمال تهران	۷۵	۰/۰۴	2003-03-09	35.69	51.68	9.0
۳	لويزان	۲۰	۰/۰۱	2003-06-21	35.63	52.86	24.0
۴	طرشت	۴۵	۰/۰۳	2003-06-22	35.36	52.69	33.0
۵	کرج-کردان	۲۷/۵	۰/۰۲	2003-12-24	35.17	50.50	15.0
۶	شمال ری	۱۶/۵	۰/۰۱	2004-05-28	36.26	51.57	27.0
۷	جنوب ری	۱۸/۵	۰/۰۱	2004-05-28	36.44	51.59	37.0
۸	کهریزک	۵۵	۰/۰۳	2004-05-28	36.39	51.61	28.0
۹	گرمسار	۷۰	۰/۰۴	2004-05-28	36.43	51.40	25.0
۱۰	پیشوا	۳۴	۰/۰۲	2004-05-29	36.49	51.40	14.0
۱۱	پارچین	۸۰	۰/۰۵	2004-05-29	36.42	51.38	28.0
۱۲	رباط کریم	۶۰	۰/۰۴	2004-05-29	36.45	51.37	28.0
۱۳	ایپک	۱۰۰	۰/۰۶	2004-05-30	36.40	51.61	28.0
۱۴	شمال اشتهارد	۶۰	۰/۰۴	2004-05-30	36.41	51.45	28.0
۱۵	جنوب اشتهارد	۵۰	۰/۰۳	2004-05-30	36.52	51.60	7.0
۱۶	ماهدشت - کرج	۳۰	۰/۰۲	2004-05-30	36.52	51.60	7.0
۱۷	شمال قزوین	۶۰	۰/۰۴	2005-03-25	35.01	50.05	14.0
۱۸	طالقان	۶۰	۰/۰۴	2006-12-20	35.74	51.89	14.0
۱۹	کندوان	۸۰	۰/۰۵	2007-06-18	34.52	50.84	17.0
۲۰	کجور	۵۰	۰/۰۳	2007-06-19	34.54	50.87	14.0
۲۱	الموتروند	۱۵۰	۰/۰۹	2007-08-25	34.91	51.94	24.0
۲۲	بنان	۷۰	۰/۰۴	2008-03-26	36.25	52.73	14.0
۲۳	شمال البرز	۳۰۰	۰/۱۸	2009-03-05	34.23	51.17	18.0
۲۴	خزر	۶۰۰	۰/۳۵	2009-07-29	36.17	50.43	15.0
۲۵	آلاشت	۷۰	۰/۰۴	2009-08-14	36.34	52.01	14.0
۲۶	بایجان	۵۰	۰/۰۳	2009-08-14	36.34	52.01	14.0
۲۷	کوشک نصرت	۱۵۰	۰/۰۹	2010-01-20	35.87	52.86	14.0
۲۸	جنوب پرندک	۱۰۰	۰/۰۶	2010-01-20	35.87	52.86	14.0
۲۹	دوازده امام	۴۰	۰/۰۲	2010-11-21	34.80	52.64	18.0
۳۰	سیاهکوه	۴۰	۰/۰۲	2010-11-21	34.80	52.64	18.0
۳۱	کوه گچاب	۴۰	۰/۰۲	2011-02-20	35.47	51.78	26.0
۳۲	البرز (شمال قم)	۹۰	۰/۰۵	2011-08-28	34.74	52.45	14.0
۳۳	ایندهس	۷۰	۰/۰۴	2011-08-28	34.74	52.45	14.0
۳۴	مجموعه گسلی جنوب قم	۵۰	۰/۰۳	2012-02-10	35.59	52.42	14.0
۳۵	مرنجاب	۶۰	۰/۰۴	2012-07-27	36.82	51.30	6.0
۳۶	بیدهند	۵۰	۰/۰۳	2012-07-27	36.82	51.34	7.0
				2012-07-27	36.82	51.34	7.0
				2013-09-27	34.78	52.71	14.0
				2014-05-10	36.10	52.06	14.0
				2014-05-10	36.10	52.06	14.0
				2014-08-16	36.02	52.30	6.0
				2014-08-16	36.02	52.30	6.0
				2015-08-13	35.19	51.92	9.0
				2015-08-13	35.19	51.92	9.0
				2015-08-25	35.56	52.58	17.0
				2015-08-25	35.56	52.58	17.0
				2016-03-23	36.47	52.36	14.0
				2016-03-23	36.47	52.36	14.0
				2017-12-20	35.69	50.93	14.0
				2017-12-20	35.69	50.93	14.0
				2017-12-26	35.68	50.93	15.0
				2017-12-26	35.68	50.93	15.0
				2018-01-15	35.74	52.62	6.0
				2018-01-15	35.74	52.62	6.0
				2018-04-01	35.53	52.37	15.0
				2018-04-01	35.53	52.37	15.0



## **Seismic hazard analysis and uncertainty of Kahrizak, South Rey and North Rey faults**

**Abdollah Sohrabi Bidar<sup>1\*</sup>, Ebrahim Asghari-Kaljahi<sup>2</sup>**

1. Associate Professor, School of Geology, College of Sciences, University of Tehran.

2. Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz



### **Abstract:**

The main purpose of seismic hazard analysis is to estimate the seismic loading parameters more accurately to optimize the seismic design of the structures and their costs. Kahrizak, South Rey and North Rey faults are located in the south of Tehran and some discussions have been raised about their presence. In this paper, after reviewing the discussions about the presence or absence of the mentioned structures, their effect on the peak ground acceleration is investigated in the Tehran area. The results show that considering these faults in the analysis, increases PGA values up to 100% at a great part of the study area in the south of Tehran. In addition to the variation of the PGA values, the design earthquake characteristics (in terms of the magnitude and the source to site distance) also differ substantially between the two cases of the presence and absence of the mentioned structures. Based on these results and considering the dramatic effects of uncertainties of south Tehran faults on seismic hazard parameters in the region, further studies on the presence or absence of these faults are necessary.

**Keywords:** Seismic Hazard, Kahrizak Fault, North Rey Fault, South Rey Fault, Uncertainty.

---

\* asohrabi@ut.ac.ir