





دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش ژئوتکنیک

بررسی تاثیر ساختگاه بر حرکات قوی زمین، مطالعه موردی شهرستان شاهرود

نگارنده

رویا رحمتیان

استاد راهنما

دکتر امیر بذرافشان مقدم

بهمن ۹۷

تقدیم به مادرم که بهم یاد داد تو سختی های زندگی هیچ وقت ناامید نشم و دست از تلاش برندارم

شکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای دکتر امیربزرگ افشان مقدم که به عنوان استاد راهنما در انجام این پایان نامه مرایاری کرده اند

کمال شکر و قدردانی را دارم.

تهدیه نامه

اینجانب رویا رحمتیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تاثیر ساختگاه بر حرکات قوی زمین، مطالعه موردی شهرستان شاهرود تحت راهنمایی دکتر امیر بذرافشان مقدم متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

شرایط ساختگاهی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عوامل بر پاسخ دینامیکی ساختگاه می‌باشد. شرایط محلی ساختگاه بر کلیه خصوصیات مهم حرکت نیرومند زمین شامل دامنه، محتوای فرکانسی و مدت، اثر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارند و به عبارتی خصوصیات یک زلزله با توجه به مشخصات فیزیکی و دینامیکی ساختگاه، می‌تواند در فرکانس‌های مشخصی تشدید یا تضعیف شود. در سال ۱۳۳۱ زلزله‌ای به بزرگی ۶/۵ ریشتر در دهستان طرود و در ۱۳۵ کیلومتری جنوب شاهرود رخ داده است که خسارت زیادی داشته است و نزدیک به هزار نفر کشته شدند، که این حادثه اهمیت بررسی این مطالعه برای شهرستان شاهرود را نشان می‌دهد. در این مطالعه برای آنالیز پاسخ زمین نیاز به زلزله ورودی در سنگ بستر در ساختگاه مورد نظر می‌باشد که در این تحقیق به کمک روش تحلیل خطر احتمالاتی پارامترهای زلزله برای دوره بازگشت‌های مختلف تعیین و سپس هر کدام به صورت مصنوعی تولید شده است. تحلیل خطر برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال، ۴۷۵ سال، ۹۷۵ سال، ۲۴۷۵ سال و ۱۰۰۰۰ سال انجام شده است. و با استفاده از طیف‌های تحلیل خطر به دست آمده، ۵ رکورد زلزله تولید شده است. با استفاده از بانک اطلاعاتی آزمایشات ژئوتکنیکی موجود در شهرستان شاهرود ۲ تیپ مختلف برای پروفیل خاک در نظر گرفته شده است و سپس آنالیز پاسخ ساختگاه به روش خطی معادل انجام گرفته است. نتایج به دست آمده از تحلیل خطر نشان می‌دهد که مقادیر طیف ویژه ساختگاه در این مطالعه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال، ۸۹ درصد مقادیر طیف آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. نتایج آنالیز پاسخ ساختگاه نشان می‌دهد که برای نقاط مرکز شهر شاهرود شتاب سطح زمین نسبت به شتاب سنگ بستر در حدود ۷۰ درصد افزایش پیدا می‌کند ولی در سایر نقاط شتاب سطح زمین نسبت به شتاب سنگ بستر برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال، ۴۷۵ سال و ۹۷۵ سال در حدود ۵ درصد افزایش پیدا می‌کند ولی برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال و ۱۰۰۰۰ سال در حدود ۱۲ درصد کاهش پیدا می‌کند.

کلید واژه: تحلیل خطر احتمالاتی، طیف ویژه ساختگاه، آنالیز پاسخ ساختگاه، شهرستان شاهرود

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق	۳
۳-۱ اهداف تحقیق	۳
۴-۱ ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته و مطالعات زمین‌شناسی منطقه شاهرود	۵
۱-۲ مروری بر تحقیقات گذشته	۶
۲-۲ موقعیت ساختگاه	۱۸
۳-۲ گسل‌های اطراف شاهرود	۱۹
۴-۲ جمع‌آوری اطلاعات ژئوتکنیک	۲۱
۵-۲ تخمین سرعت برشی لایه‌های خاک با استفاده از نرم افزار NOVO SPT	۲۷
فصل سوم تحلیل خطر و آنالیز پاسخ زمین	۲۹
۱-۳ مقدمه	۳۰
۲-۳ طیف طرح ویژه ساختگاه	۳۰
۳-۳ تعریف سطوح طراحی	۳۲
۴-۳ جمع‌آوری داده‌های زلزله	۳۳
۱-۴-۳ زلزله‌های دستگاهی (بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی)	۳۳
۲-۴-۳ زلزله‌های تاریخی (قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی)	۳۴
۵-۳ یکسان‌سازی واحد بزرگای زلزله‌ها	۳۵
۱-۵-۳ انواع مختلف بزرگاهای زلزله	۳۵
۱-۱-۵-۳ بزرگای محلی (ML)	۳۵
۲-۱-۵-۳ بزرگای سطحی (MS)	۳۵
۳-۱-۵-۳ بزرگای امواج حجمی (Mb)	۳۶
۴-۱-۵-۳ بزرگای گشتاوری (Mw)	۳۶
۲-۵-۳ روابط تبدیلی بین انواع بزرگاها	۳۶
۶-۳ حذف زلزله‌های وابسته در کاتالوگ	۳۷
۱-۶-۳ عدم قطعیت بزرگای زمین‌لرزه‌ها	۳۸

- ۳-۷ مدل‌های چشمه‌های لرزه‌ای ----- ۳۹
- ۳-۷-۱ چشمه نقطه‌ای ----- ۴۰
- ۳-۷-۲ چشمه خطی ----- ۴۰
- ۳-۷-۳ چشمه پهنه‌ای یا سطحی ----- ۴۱
- ۳-۷-۴ چشمه حجمی ----- ۴۱
- ۳-۸ روابط کاهندگی جنبش نیرومند زمین ----- ۴۲
- ۳-۸-۱ انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب ----- ۴۳
- ۳-۹ روش‌های تحلیل خطر زلزله ----- ۴۴
- ۳-۹-۱ برآورد خطر زمین‌لرزه به روش تعینی ----- ۴۴
- ۳-۹-۲ برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی ----- ۴۵
- ۳-۹-۲-۱ شناسایی همه چشمه‌های بالقوه زمین لرزه ----- ۴۷
- ۳-۹-۲-۲ تعیین تابع چگالی احتمال بزرگای زمین لرزه ----- ۴۸
- ۳-۹-۲-۳ تعیین تابع چگالی احتمال فاصله از سایت ----- ۴۹
- ۳-۹-۲-۴ شدت جنبش زمین ----- ۵۰
- ۳-۹-۲-۵ ترکیب همه‌ی اطلاعات ----- ۵۱
- ۳-۱۰ تاریخچه مربوط به نرم افزارهای تحلیل خطر احتمالاتی ----- ۵۲
- ۳-۱۱ معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده برای برآورد تحلیل خطر احتمالاتی ----- ۵۳
- ۳-۱۱-۱ نرم افزار Arc Gis ----- ۵۳
- ۳-۱۱-۲ نرم افزار Kijko ----- ۵۳
- ۳-۱۱-۳ نرم افزار R-Crisis ----- ۵۴
- ۳-۱۲ معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده در بخش آنالیز پاسخ زمین ----- ۵۴
- ۳-۱۳ تحلیل یک بعدی پاسخ زمین ----- ۵۵
- ۳-۱۳-۱ مقدمه ----- ۵۵
- ۳-۱۳-۲ تحلیل پاسخ زمین در حوزه فرکانس با استفاده از روش خطی معادل ----- ۵۷
- ۳-۱۳-۲-۱-۱ حالت خاک چند لایه بر روی بستر سنگی الاستیک ----- ۵۷
- فصل چهارم نحوه مدل‌سازی، مقایسه و تفسیر نتایج ۶۳
- ۴-۱ نتایج مربوط به مراحل تحلیل خطر احتمالاتی ----- ۶۴
- ۴-۱-۱ کاتالوگ زلزله ----- ۶۴
- ۴-۱-۱-۱ کاتالوگ نهایی زلزله‌های دستگامی ----- ۶۴
- ۴-۱-۱-۲ کاتالوگ زلزله‌های تاریخی ----- ۶۸

۶۹	-----	۲-۴ تعیین چشمه‌های لرزه‌ای
۷۲	-----	۳-۴ تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از نرم‌افزار KIJKO
۷۵	-----	۴-۴ نتایج تحلیل خطر احتمالاتی با استفاده از نرم‌افزار R-CRISIS
۸۱	-----	۵-۴ تولید شتاب نگاشت مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار SEISMO ARTIF
۸۲	-----	۶-۴ نتایج مربوط به آنالیز پاسخ ساختگاه با استفاده از نرم‌افزار DEEP SOIL
۸۲	-----	۱-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۱۰۰ سال
۸۶	-----	۲-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۴۷۵ سال
۹۰	-----	۳-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۹۷۵ سال
۹۴	-----	۴-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال
۹۸	-----	۵-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال
۱۰۳	فصل پنجم پیشنهادات و نتیجه‌گیری
۱۰۴	-----	۱-۵ نتیجه‌گیری
۱۰۵	-----	۲-۵ پیشنهادات
۱۰۷	مراجع
۱۱۱	پیوست

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) تغییرات شتاب ماکزیمم سطح زمین و شتاب طیفی در طول مقطع عرضی به طول 6.4KM..... ۷
- شکل (۲-۲) مقایسه مولفه‌های غربی-شرقی جزایر YERBA BUENA و TREASURE در جریان زلزله..... ۸
- شکل (۳-۲) تاریخچه شتاب زلزله BHUJ 2001..... ۱۰
- شکل (۴-۲) A: تاریخچه شتاب برای سطح زمین در سایت MBH، B: تاریخچه شتاب برای سطح زمین..... ۱۰
- شکل (۵-۲) طیف پاسخ بهدست‌آمده برای لایه‌های مختلف خاک برای شتاب ورودی BHUJ2001..... ۱۱
- شکل (۶-۲) نمودار شتاب- زمان در سنگ بستر- زلزله KOBE..... ۱۲
- شکل (۷-۲) نمودار شتاب- زمان در سطح خاک- زلزله KOBE..... ۱۲
- شکل (۸-۲) A: تاریخچه شتاب مکزیکو، B: مقایسه طیف پاسخ در سایت KAP برای روش‌های EQL، EL و NL،..... ۱۳
- شکل (۹-۲) طیف پاسخ سنگ بستر و سطح زمین سه زلزله برای گمانه شماره ۱۳۰..... ۱۴
- شکل (۱۰-۲) رکورد شتاب ثبت شده از زلزله‌ی TARLAY در ۲۴ مارس ۲۰۱۱ در شمال تایلند..... ۱۵
- شکل (۱۱-۲) شتاب سطح زمین برای زلزله ورودی TARLAY..... ۱۶
- شکل (۱۲-۲) مقایسه طیف پاسخ شتاب سطح زمین بهدست آمده از تحلیل خطی معادل، تحلیل غیر خطی..... ۱۶
- شکل (۱۳-۲) A: مقایسه طیف پاسخ سطح زمین با طیف طراحی لرزه‌ای (TSCB) و (EC8)..... ۱۸
- شکل (۱۴-۲) موقعیت شهرستان شاهرود..... ۱۸
- شکل (۱۵-۲) نقشه گسل‌های فعال ایران..... ۲۰
- شکل (۱۶-۲) موقعیت گمانه‌های جمع‌آوری شده بر روی نقشه شاهرود..... ۲۱
- شکل (۱۷-۲) موقعیت مقاطع عرضی در نقشه شاهرود..... ۲۲
- شکل (۱۸-۲) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۱..... ۲۳
- شکل (۱۹-۲) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۲..... ۲۳
- شکل (۲۰-۲) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۳..... ۲۳
- شکل (۲۱-۲) پروفیل خاک: الف) ناحیه مرکزی شهر تا عمق ۲۰ متر ب) سایر نقاط شهر تا عمق ۲۵ متر..... ۲۴
- شکل (۲۲-۲) موقعیت پروفیل خاک تیپ ۱..... ۲۵
- شکل (۲۳-۲) توزیع مکانی مقدار SPT در لایه‌های خاک سطحی شاهرود..... ۲۶

- شکل (۱-۳) مدل‌های مختلف چشمه برای یک ساختگاه فرضی ۴۲
- شکل (۲-۳) مراحل انجام تحلیل خطر تعیینی ۴۵
- شکل (۳-۳) مراحل انجام تحلیل خطر احتمالاتی ۴۷
- شکل (۴-۳) تعاریف مختلف برای فاصله در روابط کاهندگی ۵۰
- شکل (۵-۳) روند انکسار که سبب انتشار امواج تقریباً عمودی به سطح زمین می‌شوند ۵۵
- شکل (۶-۳) ستون خاک چند لایه بر روی بستر سنگی الاستیک ۵۸
- شکل (۷-۳) انواع حرکت ورودی زلزله ۵۹
- شکل (۸-۳) شماتیک تابع انتقال ۶۰
- شکل (۹-۳) شماتیک استفاده از توابع انتقال ۶۱
- شکل (۱-۴) گسل‌های اطراف شاهرود در شعاع ۱۵۰ کیلومتری ۷۰
- شکل (۲-۴) مدلسازی چشمه‌ها در نرم افزار ARC MAP ۷۰
- شکل (۳-۴) محاسبه مقدار B برای چشمه‌های ۱ تا ۳ ۷۳
- شکل (۴-۴) مقدار B برای چشمه‌های ۴ تا ۶ ۷۴
- شکل (۵-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۷۶
- شکل (۶-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۷۶
- شکل (۷-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۷۷
- شکل (۸-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۷۷
- شکل (۹-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۷۸
- شکل (۱۰-۴) منحنی خطر نهایی بر حسب PGA و احتمال رخداد سالیانه زمین‌لرزه ۷۹
- شکل (۱۱-۴) نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود (بر حسب G) برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۸۰
- شکل (۱۲-۴) نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود (بر حسب G) برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۸۰
- شکل (۱۳-۴) رکورد زلزله تولیدشده از طیف ۱۰۰ سال ۸۱
- شکل (۱۴-۴) رکورد زلزله تولیدشده از طیف ۴۷۵ سال ۸۱
- شکل (۱۵-۴) رکورد زلزله تولیدشده از طیف ۹۷۵ سال ۸۱

- شکل (۴-۱۶) رکورد زلزله تولیدشده از طیف ۲۴۷۵ سال ۸۱
- شکل (۴-۱۷) رکورد زلزله تولیدشده از طیف ۱۰۰۰۰ سال ۸۱
- شکل (۴-۱۸) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر ۸۳
- شکل (۴-۱۹) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۳
- شکل (۴-۲۰) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۴
- شکل (۴-۲۱) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۴
- شکل (۴-۲۲) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال .. ۸۵
- شکل (۴-۲۳) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۵
- شکل (۴-۲۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۶
- شکل (۴-۲۵) تابع تشدید خاک مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۸۶
- شکل (۴-۲۶) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر ۸۷
- شکل (۴-۲۷) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۸۷
- شکل (۴-۲۸) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۸۸
- شکل (۴-۲۹) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۸۸
- شکل (۴-۳۰) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال .. ۸۹
- شکل (۴-۳۱) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۸۹
- شکل (۴-۳۲) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۹۰
- شکل (۴-۳۳) تابع تشدید خاک مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۹۰
- شکل (۴-۳۴) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر ۹۱
- شکل (۴-۳۵) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۱
- شکل (۴-۳۶) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۲
- شکل (۴-۳۷) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۲
- شکل (۴-۳۸) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال .. ۹۳
- شکل (۴-۳۹) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۳

- شکل (۴-۴۰) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۴
- شکل (۴-۴۱) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ۹۴
- شکل (۴-۴۲) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر ۹۵
- شکل (۴-۴۳) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۵
- شکل (۴-۴۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۶
- شکل (۴-۴۵) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۶
- شکل (۴-۴۶) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۷
- شکل (۴-۴۷) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۷
- شکل (۴-۴۸) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۸
- شکل (۴-۴۹) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال ۹۸
- شکل (۴-۵۰) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر ۹۹
- شکل (۴-۵۱) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۹۹
- شکل (۴-۵۲) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۱۰۰
- شکل (۴-۵۳) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۱۰۰
- شکل (۴-۵۴) A: شتاب سنگ بستر B: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر ۱۰۱
- شکل (۴-۵۵) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۱۰۱
- شکل (۴-۵۶) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۱۰۲
- شکل (۴-۵۷) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال ۱۰۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) سرعت موج برشی لایه‌های پروفیل خاک ناحیه مرکزی شهر تا عمق ۲۰ متر..... ۲۷
- جدول (۲-۲) سرعت موج برشی لایه‌های پروفیل خاک سایر نقاط شهر تا عمق ۲۵ متر..... ۲۷
- جدول (۱-۳) (گاردنر-نوپوف ۱۹۷۴)..... ۳۸
- جدول (۱-۴) کاتالوگ نهایی زلزله‌های دستگامی..... ۶۴
- جدول (۲-۴) کاتالوگ زلزله‌های تاریخی..... ۶۹
- جدول (۳-۴) مختصات چشمه‌های سطحی..... ۷۱
- جدول (۴-۴) پارامترهای لرزه‌خیزی هر چشمه..... ۷۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

کشور ایران در منطقه زلزله خیزی واقع شده و توجه به این پدیده که از مخرب ترین بلایای طبیعی است، امری ضروری می باشد. در گذشته نیز همواره شناخت علل وقوع زلزله، روش های پیش بینی و کاهش خسارات مالی و جانی زلزله از دغدغه های مهم مردم و مسئولین بوده و مطالعات گسترده ای در این زمینه انجام شده است. در زمان حاضر نیز به دلیل پیچیدگی های خاص این موضوع به مرور زوایای جدیدی از آن آشکار شده و محققین را به مطالعه بیشتر و عمیق تری وادار می کند.

شرایط ساختگاهی از مهم ترین و تاثیرگذارترین عوامل بر پاسخ دینامیکی می باشد. بعد از زلزله های مهمی که در دهه های گذشته اتفاق افتاده اهمیت شرایط ساختگاهی موجب تغییر نگرش در آیین نامه های معتبر مهندسی و مراجع رسمی کشورهای مختلف شده است. امروزه در طراحی سازه های سطحی و زیرسطحی به خصوص سازه های مهم و حیاتی توجه خاصی به پاسخ دینامیکی ساختگاه و عوامل اثرگذار بر آن می شود [۱].

شرایط محلی ساختگاه بر کلیه خصوصیات مهم حرکت نیرومند زمین شامل دامنه، محتوای فرکانسی و مدت، اثر قابل ملاحظه ای می گذارند و به عبارتی خصوصیات یک زلزله با توجه به مشخصات فیزیکی و دینامیکی ساختگاه، می تواند در فرکانس های مشخصی تشدید یا تضعیف شود. میزان تاثیر گذاری تابع هندسه، خواص مصالح لایه های زیر سطحی، توپوگرافی ساختگاه و خصوصیات حرکت ورودی می باشد. تحلیل پاسخ زمین جهت پیش بینی حرکات زمین و تدوین طیف پاسخ طرح به منظور تعیین تنش ها و کرنش های دینامیکی برای ارزیابی خطرات روان گرای و محاسبه نیروهای ناشی از زلزله که می تواند سبب ناپایداری زمین و دیوارهای حایل گردد، به کار می رود. طی زلزله های گذشته عموماً مشاهده شده که پاسخ زمین در خاک های نرم بسته به شرایط خاک بیش از پاسخ رخنمون سنگی بوده است [۱].

بنابراین می توان گفت در نظر گرفتن شرایط ساختگاهی در سازه های سطحی و حتی زیر سطحی در کنار هندسه و توپوگرافی می تواند از خسارات مالی و جانی به خصوص در سازه های مهم ملی و حیاتی مثل بیمارستانها، ادارات دولتی، سدها، نیروگاهها و ... جلوگیری نماید.

۱-۲ اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به این که ایران روی کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا قرار گرفته است و به طور پیوسته شاهد زلزله های شدید و خانمانسوز بوده است، احتمال وقوع دوباره چنین حوادثی در آینده زیاد می باشد. در سال ۱۳۳۱ زلزله ای به بزرگی ۶/۵ ریشتر در دهستان طرود و در ۱۳۵ کیلومتری جنوب شاهرود رخ داد که خسارت زیادی داشت و نزدیک به هزار نفر کشته شدند [۲]. که این حادثه اهمیت بررسی این مطالعه برای شهرستان شاهرود را نشان می دهد.

۱-۳ اهداف تحقیق

هدف کلی از این پژوهش عبارت است از "بررسی تاثیر ساختگاه بر حرکات قوی زمین، مطالعه موردی: شهرستان شاهرود"

اهداف جزئی زیر نیز در این تحقیق دنبال می شوند:

- تعیین نوع پروفیل خاک شهرستان شاهرود
- محاسبه طیف طرح یکنواخت ویژه ساختگاه
- تهیه نقشه ریزپهنه بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود
- تولید شتابنگاشت مصنوعی با استفاده از طیف طرح ویژه ساختگاه
- بررسی تاثیر لایه های خاک شهرستان شاهرود و حرکات ورودی بر روی پاسخ زمین

۴-۱ ساختار پایان نامه

در فصل اول به اهمیت، ضرورت تحقیق و به طور خلاصه از روند انجام کار گفته شده است و در انتها به موارد ذکر شده از تاثیر ساختگاه پرداخته شده است.

در فصل دوم به ساختار زمین شناسی شهرستان شاهرود و مروری بر تحقیقات گذشته پرداخته شده است.

در فصل سوم در این فصل به معرفی روش‌های تحلیل خطر، انجام روش تحلیل خطر احتمالاتی و نرم افزارهای آن پرداخته شده است. در انتها به روش آنالیز پاسخ زمین و نرم‌افزار Deep soil پرداخته شده است.

در فصل چهارم نتایج محاسبه سرعت موج برشی با استفاده از نرم‌افزار Novo SPT، مراحل انجام تحلیل خطر احتمالاتی در نرم‌افزار R-Crisis و نتایج آن، نتایج تولید شتاب‌نگاشت مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار Seismio Artif، و نتایج مربوط به آنالیز معادل خطی برای دو پروفیل خاک در نرم‌افزار Deep soil آورده شده است.

در فصل پنجم با توجه به خروجی‌ها و نتایج به دست آمده از فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی ارائه شده است.

فصل دوم

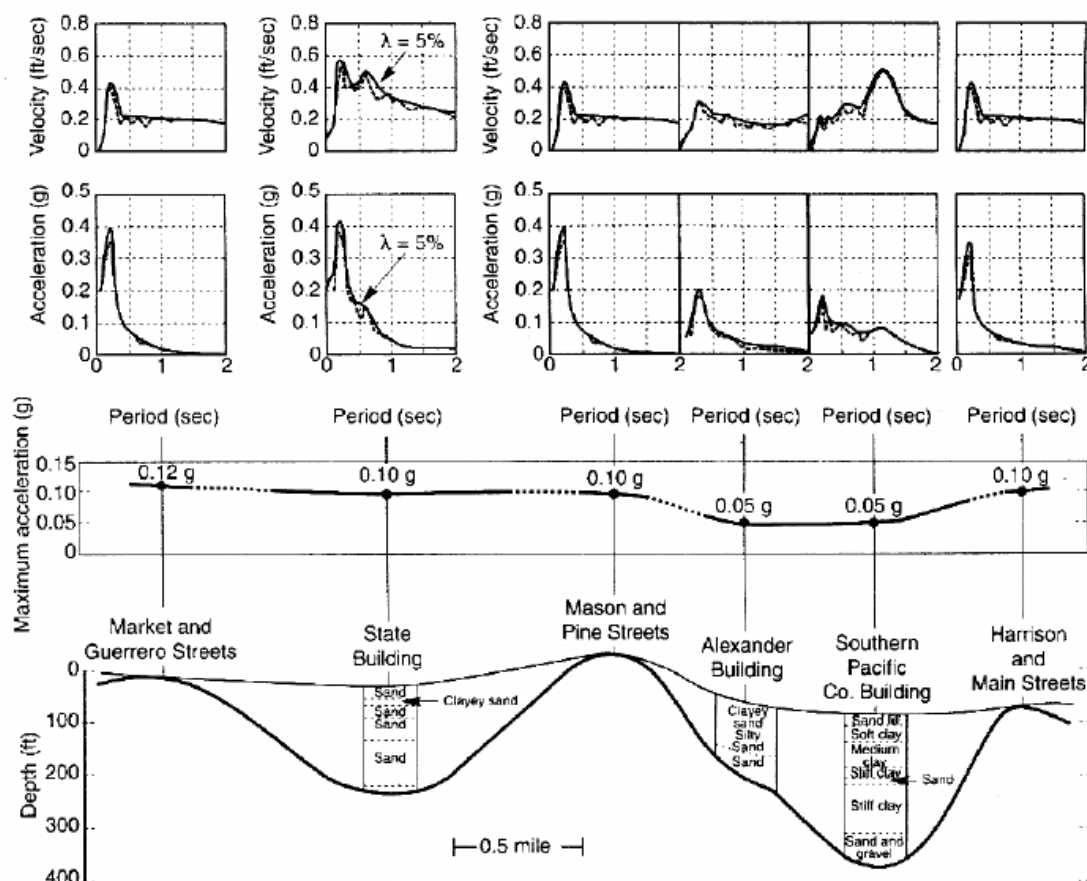
مروری بر تحقیقات گذشته و مطالعات زمین‌شناسی منطقه

شاهرود

۱-۲ مروری بر تحقیقات گذشته

تجربه‌های به‌دست‌آمده از زلزله‌های پیشین همواره تاثیر شرایط محلی ساختگاه را بر جنبش نیرومند زمین مشخص می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد در بررسی اثر ساختگاه، پارامترهای زیادی موثرند که برخی از آنها پارامترهای ذاتی خاک هستند و تعیین کننده رفتار دینامیکی و خواص خاک، برخی دیگر وابسته به مشخصات ورودی و برخی وابسته به هندسه سطحی و لایه‌های زیر سطحی هستند. تاکنون موارد متعددی در ادبیات فنی از اثر ساختگاه محل احداث بر روی پاسخ لرزه‌ای زمین علی‌الخصوص زلزله‌های ویرانگر اشاره گشته است که در ادامه به معرفی تعدادی از آنها پرداخته می‌شود.

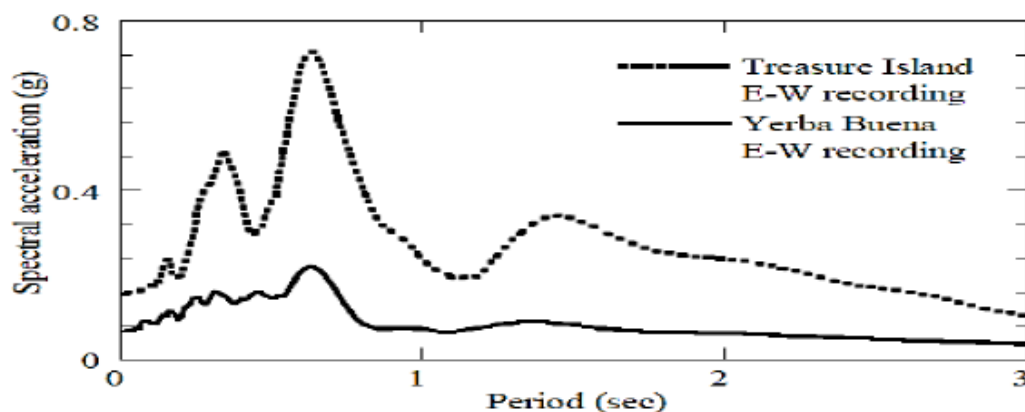
۱- Borchardt در سال ۱۹۷۰ تحقیقی با عنوان " تاثیر شرایط خاک بر حرکات قوی زمین در طول زلزله San Francisco " انجام داده اند که این زلزله در سال ۱۹۵۷ در شهر San Francisco به بزرگای گشتاوری ۵/۳ اتفاق افتاده است. این زلزله توسط ۶ ایستگاه واقع در این شهر ثبت گردیده است. نتایج محتوای تاریخچه زمانی شتاب‌های ثبت‌شده به صورت محسوس و غیرمنتظره‌ای با هم اختلاف داشته است. این تغییرات در محتوای پاسخ لرزه‌ای سطح زمین ناشی از ضخامت لایه‌های خاکی زمین در هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر بوده است شکل (۱-۲).



شکل (۱-۲) تغییرات شتاب ماکزیمم سطح زمین و شتاب طیفی در طول مقطع عرضی به طول 6.4KM [۳]

همان طور که در شکل (۱-۲) مشاهده شده می شود سه شتاب نگاشت ثبت شده بر روی رخنمون سنگی پاسخ نسبتاً یکسانی را از لحاظ شتاب حداکثر شتاب و پاسخ لرزه‌ای نشان داده است. این در حالی است که سه شتاب نگاشت واقع بر روی بستر رسوبی چه از لحاظ محتوای فرکانسی و چه از لحاظ شتاب ماکزیمم اختلاف فاحشی با هم داشته اند. همان طور که از نمودار شتاب طیفی برمی آید شتاب ماکزیمم در دوسایت اول از سایت سومی کمتر بوده است. همان طور که مشاهده شده است یک تشدید قابل ملاحظه در پریودهای بلند در مقایسه با شتاب حاصله از سنگ بستر رخ داده است. همان طور که مشاهده شده است در سایت state building شتاب ماکزیمم در تعامل با آن چه که از رخنمون سنگی به دست آمده است با این تفاوت که یک تشدید محسوس در پریودهای بالاتر از 0.5 ثانیه رخ داده است [۳].

۲- Chin و همکاران در سال ۱۹۹۱ تحقیقی با عنوان " تاثیر شرایط سایت بر روی حرکات قوی زمین در طول زلزله سال ۱۹۸۹ منطقه Loma Prieta " انجام داده اند. زلزله ای به بزرگای ۷/۱ ریشتر در دو ایستگاه جزیره Yerba Buena که بر روی سنگ بستر سست و ایستگاه جزیره Treasure که یک خاکریز هیدرولیکی مصنوعی بر روی خاک ماسه ای سست و نرم حاشیه ساحلی سانفرانسیسکو می باشد ثبت شده است. اگرچه تصور غالب بر این بوده است که به دلیل فاصله یکسان در ایستگاه از منبع زلزله می بایست پاسخ لرزه ای ثبت شده مشابه ای داشته باشند ولیکن نتایج حاصله بر خلاف این مورد را نشان داده است. همانطور که در شکل (۲-۲). نمایش داده شده است، شتاب ماکزیمم پاسخ زمین از مقدار $0.06g$ در جزیره Yerba Buena به مقدار $0.16g$ در جزیره Treasure افزایش یافته است. همچنین بررسی نمودار شتاب طیفی از افزایش مقادیر شتاب و تشدید آنها در کلیه بازه های پریود لرزه ای حکایت دارد. این مسئله موید تاثیر غیر قابل اجتناب لایه های خاکی نرم و سست ساختگاه در تشدید شتاب پاسخ لرزه ای زمین بوه است [۴].

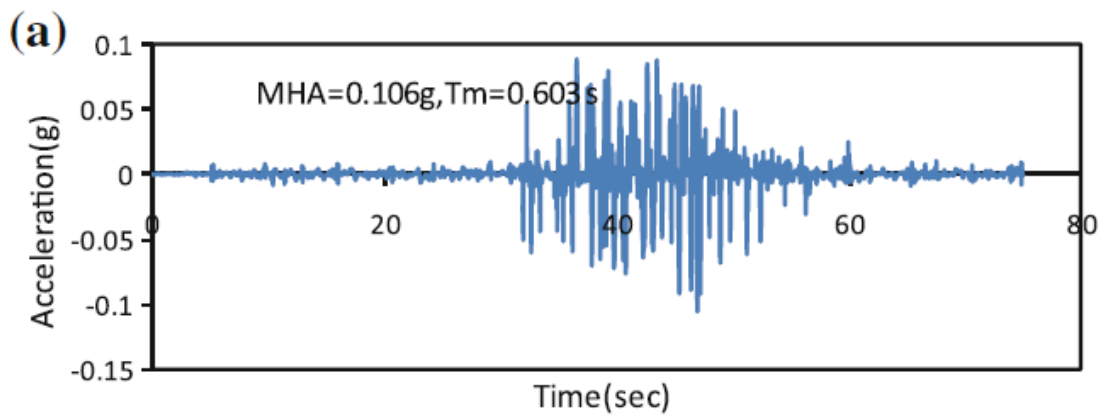


شکل (۲-۲) مقایسه مولفه های غربی-شرقی جزایر Yerba Buena و Treasure در جریان زلزله [۴]

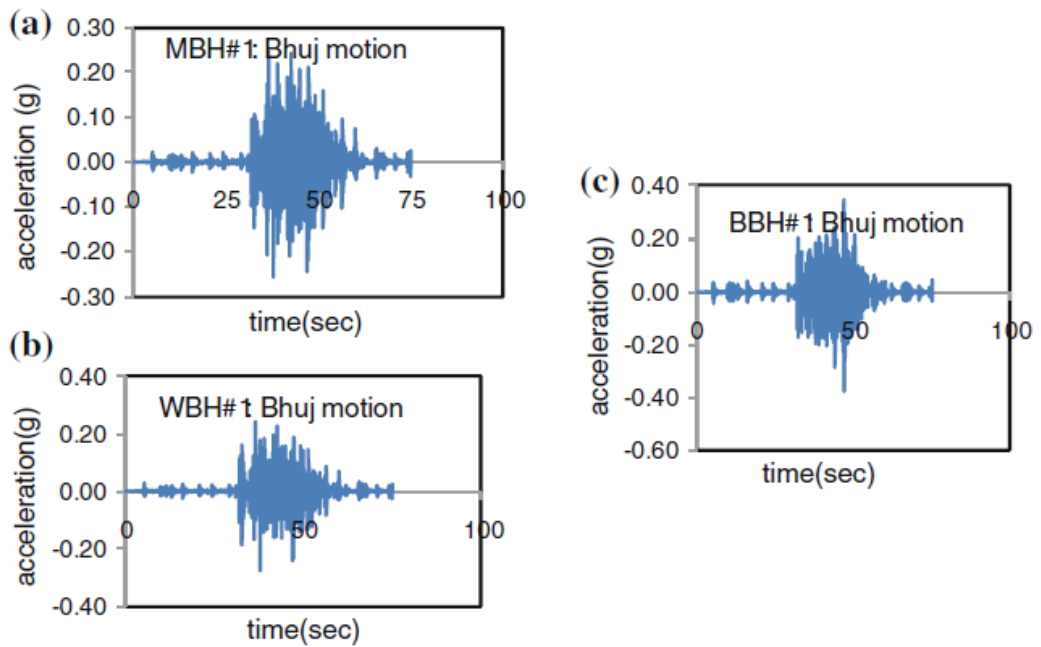
۳- Phanikanth و همکاران در سال ۲۰۱۰ تحقیقی با عنوان " تحلیل پاسخ لرزه ای به روش خطی معادل در برخی منطقه های بمبئی " انجام داده اند. هر رویداد زلزله با یک مکانیزم شکست در منبع همراه است، انتشار امواج لرزه ای از طریق سنگ بستر می باشد و این امواج از طریق لایه های خاک به

محل مورد نظر می روند. حرکت زمین در سطح خاک به طور قابل توجهی به دلیل وجود لایه‌های خاک روی سنگ بستر تغییر کرده است. تخمین ضریب تشدید پاسخ زمین به دلیل سایت های خاکی محلی یک مشکل پیچیده برای طراحان است و این مسئله برای شهرهای بزرگ مثل بمبئی در هند، جایی که جمعیت زیادی ممکن است تحت تاثیر ویرانی های زلزله قرار گیرد، اهمیت بیشتری دارد. در مطالعه حاضر برخی منطقه های بمبئی برای تاثیر خاک منطقه برای تحلیل یک بعدی زمین مورد استفاده قرار گرفته اند. داده های برخی از سایت های معمول در شهر بمبئی مانند سایت Mangalwadi، سایت Walkeswar و سایت BJ Marg در نظر گرفته شده است. پاسخ های زمین مشاهده شده برای حرکات ورودی و نتایج به دست آمده شتاب سطح زمین، نسبت تنش برشی به تنش موثر عمودی در برابر زمان، طیف پاسخ شتاب، نسبت دامنه فوریه نسبت به فرکانس و غیره ارائه شده است. افزایش شتاب زمین با توجه به چهار حرکت قوی زمین با تغییرات گسترده ای از کم تا زیاد محتوای فرکانسی و مدت زمان به دست آمده است. نتایج نشان داده است که مدت زمان و محتوای فرکانس تأثیر قابل توجهی بر افزایش شتاب لرزه ای برای حرکت ورودی Bhuj2001 شکل (۲-۳) داشته است. افزایش شتاب زمین در حدود ۲/۵g برای سایت Mangalwadi، ۲/۶g برای سایت Walkeswar و ۳/۴۵g برای منطقه BJ Marg با استفاده از تحلیل شتاب ورودی Bhuj به دست آمده است شکل (۲-۴). طیف پاسخ در امتداد لایه های مختلف خاک به دست آمده برای طراحان برای طراحی مقاوم سازه ها در برابر زمین لرزه در بمبئی برای سایت های مشابه در غیاب اطلاعات خاص سایت مفید خواهد بود شکل (۲-۵).

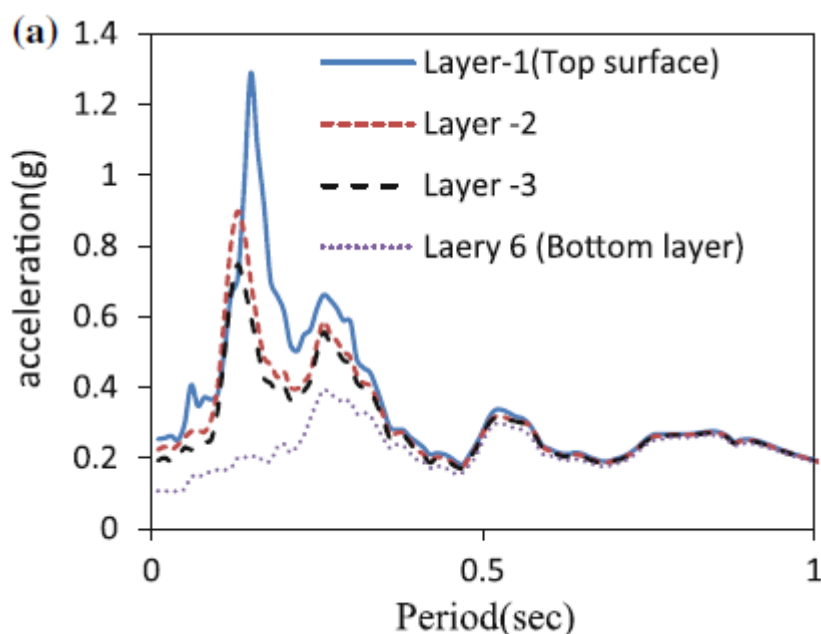
[۵].



شکل (۲-۳) تاریخچه شتاب زلزله $Bhuj\ 2001$ [۵]

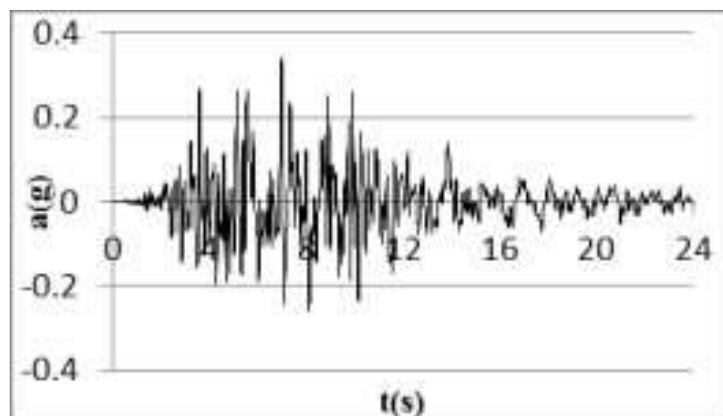


شکل (۲-۴) a: تاریخچه شتاب برای سطح زمین در سایت MBH، b: تاریخچه شتاب برای سطح زمین در سایت WBH، c: تاریخچه شتاب برای سطح زمین در سایت BBH [۵]

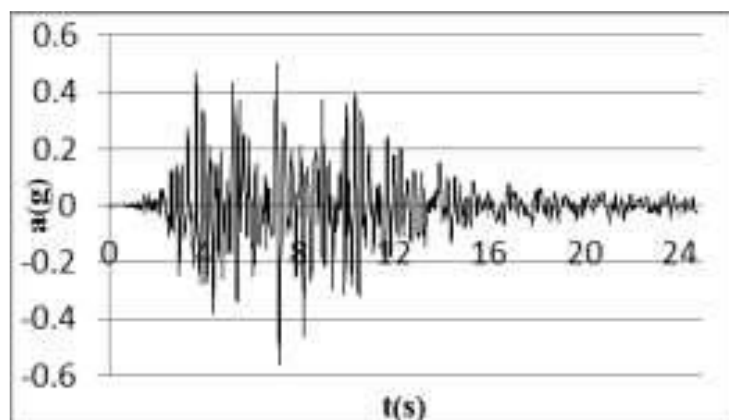


شکل (۲-۵) طیف پاسخ به دست آمده برای لایه‌های مختلف خاک برای شتاب ورودی *Bhuj2001* [۵]

۴- دزفولی و همکاران در سال ۹۲ تحقیقی با عنوان " بررسی موردی تاثیر ساختگاه بر پارامترهای حرکت نیرومند زمین در محل احداث سایت آب شیرین کن مینای قشم " انجام داده‌اند. بدین منظور ۹ زلزله ی مشهور دنیا در سه دسته طبقه بندی شدند. دسته ی اول زلزله هایی با شتاب ماکزیمم ماندگار و زمان تقریبا مشابه و محتوی فرکانس مختلف، دسته ی دوم زلزله هایی با زمان و محتوی فرکانس مشابه و شتاب ماکزیمم ماندگار مختلف و دسته ی سوم زلزله هایی با شتاب ماکزیمم ماندگار و محتوی فرکانسی مشابه و زمان مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از تحلیل نتایج به روش خطی معادل با استفاده از نرم افزار EERA، تاثیر ساختگاه بر پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد اثرات ساختگاه بر پارامترهای مذکور و تغییر پارامترهای حرکت نیرومند زمین قابل ملاحظه می باشد. شکل (۲-۶) نمودار شتاب- زمان زلزله Kobe در سنگ بستر و شکل (۲-۷) نمودار شتاب- زمان در سطح خاک زلزله Kobe را نشان می دهد [۶].



شکل (۶-۲) نمودار شتاب- زمان در سنگ بستر- زلزله Kobe [۶]



شکل (۷-۲) نمودار شتاب- زمان در سطح خاک- زلزله Kobe [۶]

۵- Wenqi Du و همکاران در سال ۲۰۱۵ تحقیقی با عنوان "تحلیل پاسخ سایت با استفاده از آرایه‌های دانه‌پول^۱ در سطوح مختلف خطر لرزه‌ای Singapore" انجام داده‌اند. در این مطالعه، پاسخ‌های سایت با استفاده از روش‌های یک بعدی خطی (LE)^۲، خطی معادل (EQL)^۳ و غیر خطی (NL)^۴ در سطوح مختلف خطر لرزه نگاری سنگاپور انجام شده است. دو ایستگاه لرزه ای، یعنی ایستگاه‌های KAP و BES در مکان‌های نرم خاک کار گذاشته شده‌اند و آن‌ها از شبکه ملی سنگاپور انتخاب شده‌اند در مرحله ی اول، پاسخ سایت با استفاده از نرم افزار (Shake) برای روش خطی و روش خطی معادل و

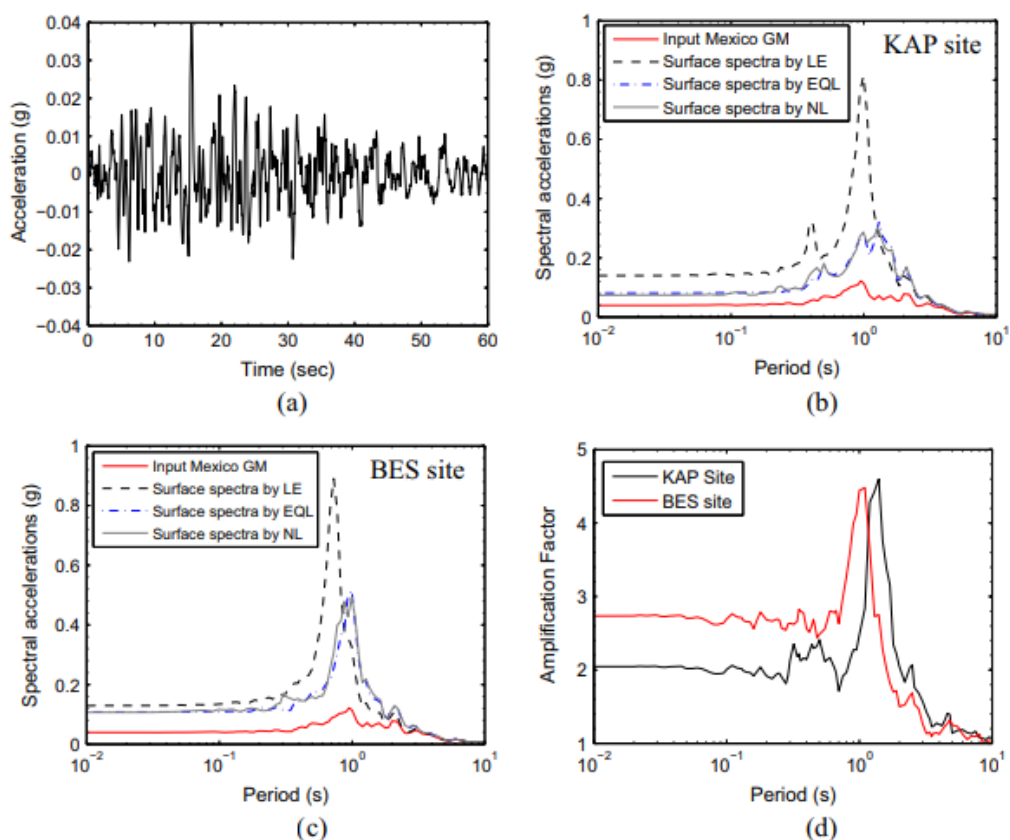
¹ Downhole

² Linear Elastic

³ Equivalent-linear

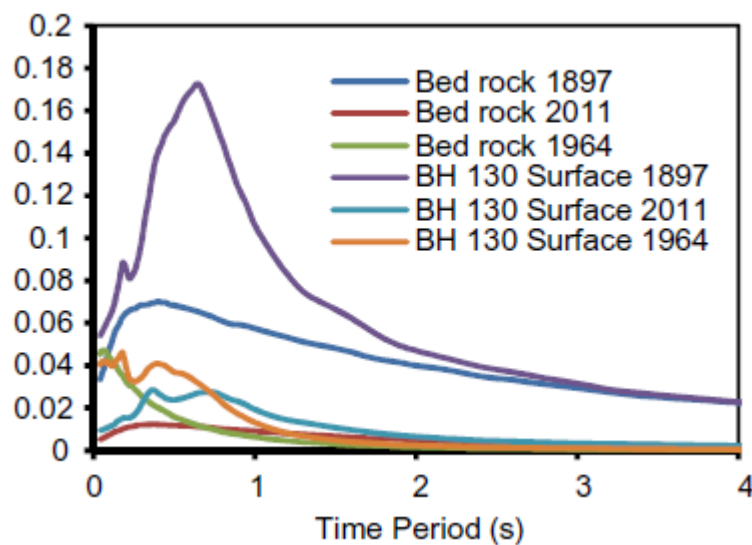
⁴ Nonlinear

نرم افزار Deep soil برای روش غیر خطی تخمین زده شده است و این روش ها با برداشت از نمونه های گرفته شده از گمانه با هم مقایسه شده اند. ثانیاً، کاربرد مدل های LE، EQL و NL در سطوح خطر مختلف سنگاپور مورد بررسی قرار گرفته اند یافته شده است که سطح خطر یک که دوره بازگشت ۴۷۵ سال است، حداکثر کرنش 0.06% محاسبه شده است و از مدل EQL پیش بینی دقیق پاسخ سایت فراهم شده است. با این حال برای سطح خطر، که دوره ی بازگشت ۲۴۷۵ سال است، کرنش ماکزیمم بزرگ تر از 2% محاسبه شده است، که منجر به تفاوت قابل توجه در پیش بینی مدل های مختلف سایت شده است. این مطالعه اهمیت اثرات سایت در تحلیل خطر لرزه ای سنگاپور را برجسته کرده است نمودارهای مربوط به این مطالعه در شکل (۲-۸) نشان داده شده است [۷].



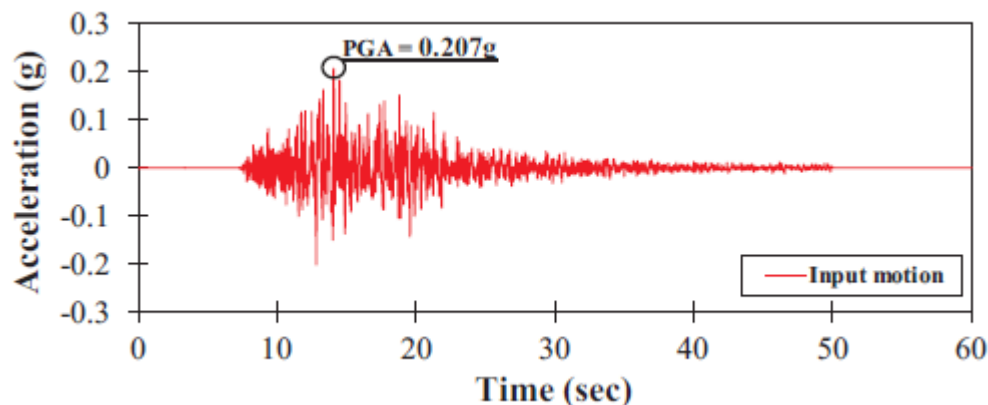
شکل (۲-۸) a: تاریخچه شتاب مکزیکو، b: مقایسه طیف پاسخ در سایت KAP برای روش های LE، EQL و NL، c: مقایسه طیف پاسخ در سایت BES برای روش های LE، EQL و NL، d: فاکتور تقویت در مقابل زمان با استفاده از روش EQL برای جایگاه های KAP و BES [۷]

۶- Amit Shuly و همکاران در سال ۲۰۱۸ تحقیقی با عنوان "بررسی اثرات سایت به دلیل زلزله‌های گذشته در Kollata" انجام داده‌اند. Kollata، مرکز بنگال غربی هند، که در حال حاضر با ساختمان‌های بلند و متوسط پوشیده شده‌است، به خاطر زلزله‌های گذشته متحمل خسارات کمتری شده‌است. در این مطالعه، با توجه به تعدادی از زلزله‌های گذشته، زلزله سال 1897 Kollata، زلزله سال 1964 Kollata و زلزله 2011 Sikkim، پاسخ زمین مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، حرکات مصنوعی زمین به روش تصادفی در سنگ بستر تولید شده اند. با استفاده از روش انتشار موج یک بعدی، برای بررسی پاسخ زمین ۱۴۴ گمانه در این شهر کار گذاشته شده‌است. پارامترهای PGA، PGV و PGD در این شهر برای این سه زلزله کشیده شده است. طیف پاسخ برای این سه زمین‌لرزه نیز محاسبه و طیف پاسخ بهینه تعیین شده‌است. همبستگی خوبی با حرکت زمین پیش‌بینی شده در سطح شهر با شدت و خسارات گزارش شده در ساختمان‌های کلکته در طی زلزله‌های گذشته بدست آمده‌است. سناریوی حرکت زمین شبیه‌سازی شده برای سه زمین‌لرزه گذشته نشان داده است که شهر کلکته در معرض آسیب، حتی به خاطر زمین‌لرزه‌های دور و نزدیک قرار دارد. طیف پاسخ سنگ بستر و سطح زمین در شکل (۲-۹) نشان داده شده است [۸].



شکل (۲-۹) طیف پاسخ سنگ بستر و سطح زمین سه زلزله برای گمانه شماره ۱۳۰ [۸]

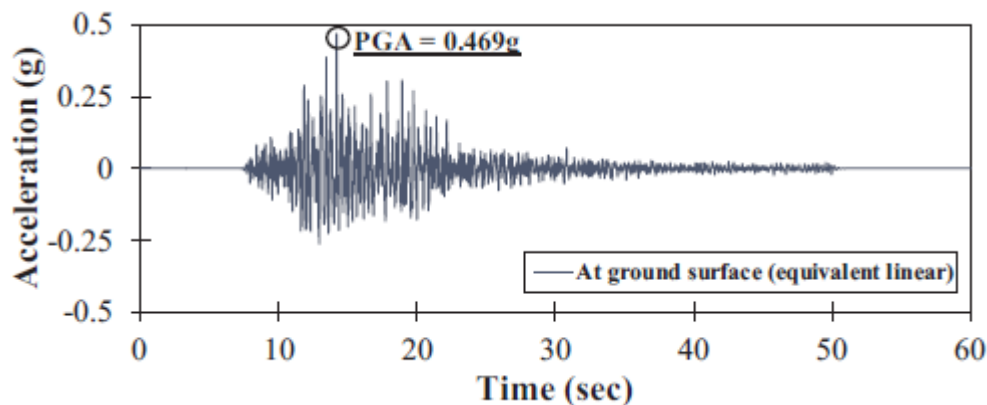
۷- Lindung Zalbuin و همکاران در سال ۲۰۱۸ تحقیقی با عنوان "تحلیل پاسخ زمین در اثر زلزله شدید Tarlay در ۲۴ مارس ۲۰۱۱ در شمال تایلند" انجام داده‌اند. در این مطالعه مدل NGA^۵ برای پیش حرکت زمین به علت نوع رویداد زلزله انتخاب شده است. برای تحلیل پاسخ یک بعدی زمین از روش معادل خطی و روش غیر خطی استفاده شده است. علاوه بر این، پاسخ‌های طیفی ایجاد شده از روش معادل خطی و غیر خطی با طیف لرزه‌ای آیین‌نامه تایلند مقایسه شده است. نتایج نشان داده است که حرکت زمین از مدل NGA با پارامترهای حرکت قوی زلزله Tarlay (۲-۱۰) سازگار است. PGA^۶ به دست آمده در سطح زمین (۲-۱۱) از هر دو روش خطی معادل و غیرخطی منجر به افزایش ضریب تشدید شده است. به طور کلی نتیجه مطالعه می‌تواند به مهندسی منطقه کمک کند تا مقدار طراحی لرزه‌ای برای شمال تایلند در نظر گرفته شود، به خصوص اگر زمین لرزه قوی‌تری در آینده رخ دهد شکل (۲-۱۲) [۹].



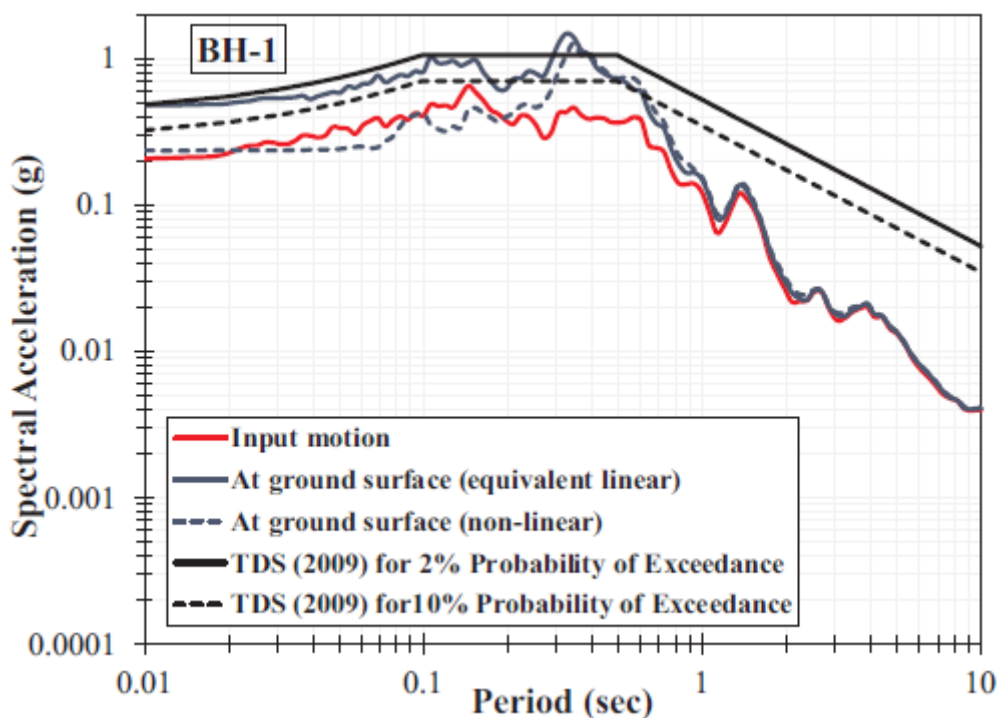
شکل (۲-۱۰) رکورد شتاب ثبت شده از زلزله‌ی Tarlay در ۲۴ مارس ۲۰۱۱ در شمال تایلند [۹]

⁵ Next generation attenuation

⁶ Peak Ground Acceleration



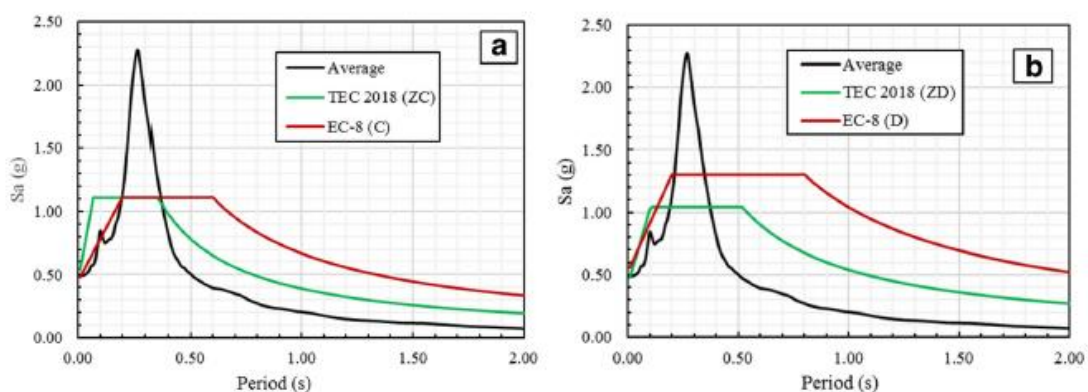
شکل (۲-۱۱) شتاب سطح زمین برای زلزله ورودی Tarlay [۹]



شکل (۲-۱۲) مقایسه طیف پاسخ شتاب سطح زمین به دست آمده از تحلیل خطی معادل، تحلیل غیر خطی، حرکت ورودی و طیف‌های طراحی محلی [۹]

۸- Bulent Sonmezer و همکاران در سال ۲۰۱۸ تحقیقی با عنوان "بررسی ویژگی‌های دینامیکی خاک شهر Elazig با روش تحلیل خطی معادل یک‌بعدی" انجام داده‌اند. توجه به تاثیرات پاسخ ساختگاه در طراحی سیستم‌های سازه‌ای مدنی برای کاهش خسارات به میزان معینی بر روی سازه‌ها و محیط‌زیست اهمیت زیادی دارد. از این‌رو دستیابی به پارامترهای دینامیکی خاک یک شهر در معرض

خطر زمین‌لرزه ضروری است. در این مطالعه بررسی جامع ویژگی‌های دینامیکی خاک شهر Elazig با نزدیکی بسیار زیاد به منطقه گسل آناتومی شرقی (EAFZ) که پتانسیل بالایی برای تولید زمین‌لرزه‌های مخرب دارد، انجام شده است. انجام تحلیل خطر احتمالاتی، بزرگای گشتاوری $M_w=7.7$ با توجه به ۱۰ درصد وقوع در ۵۰ سال تعیین شده است. طیف شتاب سنگ بستر با استفاده از روابط کاهندگی مختلف برای شهر توسعه داده شده است و تحلیل واکنش سایت خطی معادل یک بعدی بر روی یک نمونه از نیم‌رخ خاک این شهر از طریق نرم‌افزار Shake2000 با در نظر گرفتن ۱۶ حرکت زلزله ثبت‌شده در سطح سنگ بستر انجام شده است. طیف‌های شتاب سطح محلی به دست‌آمده از تحلیل با طیف طراحی لرزه‌ای برای ساختمان‌ها (TSCB) و (EC8) برای دستیابی به شناسایی تفاوت‌های بین این دو طیف با هم مقایسه شده‌اند شکل (۲-۱۳). علاوه بر این آزمایش‌های ژئوتکنیکی (SPT) و شکست لرزه‌ای در مکان‌های مختلف منطقه مورد مطالعه انجام شده است. با قراردادن نتایج حاصل از آزمایش‌های میدانی در تحلیل پاسخ سایت، فاکتور تقویت خاک، پریود غالب خاک و حداکثر شتاب زمین برای پریود $T=0.2S$ و $T=1S$ برای منطقه مورد مطالعه به دست‌آمده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان داده است که سازه‌هایی با دوره ارتعاش بالاتر از $T=1S$ تحت شتاب طیفی (SA) پایین‌تر قرار دارند، در حالی که مقادیر بالاتر (SA) برای جاهایی که دوره ارتعاش کمتر از $T=0.2S$ دارند مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].



شکل (۲-۱۳) a: مقایسه طیف پاسخ سطح زمین با طیف طراحی لرزه‌ای (TSCB) و (EC8) برای خاک نوع C, b: مقایسه طیف پاسخ سطح زمین با طیف طراحی لرزه‌ای (TSCB) و (EC8) برای خاک نوع D [۱۰]

۲-۲ موقعیت ساختگاه

این شهر در حاشیه شمالی دشت کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز با موقعیت جغرافیایی $36/40.62$ درجه عرضی و $55/0.163$ درجه طولی با ارتفاعی معادل 1380 متر از سطح دریا در شمال خاوری واقع شده است شکل (۲-۱۴).



شکل (۲-۱۴) موقعیت شهرستان شاهرود [۱۱]

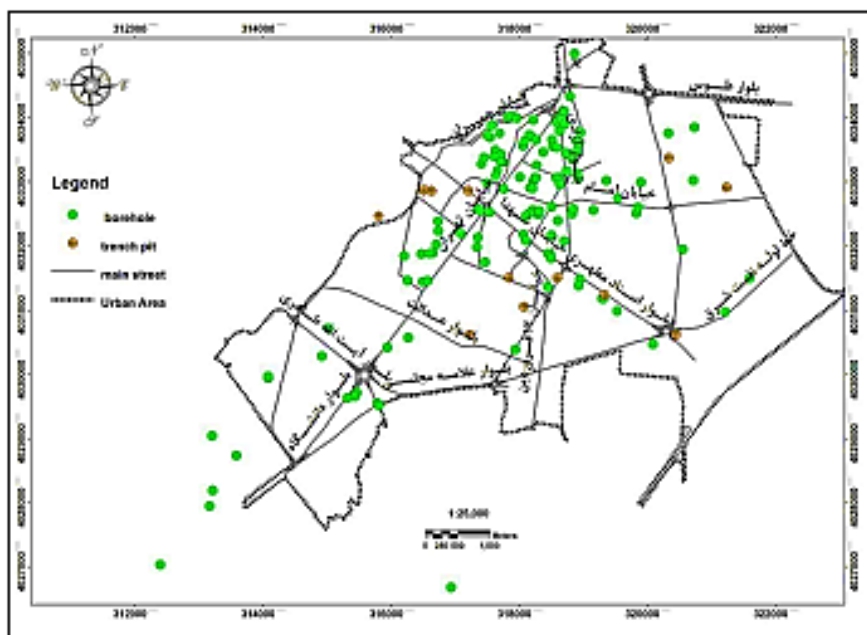
۲-۳ گسل‌های اطراف شاهرود

با توجه به این که تحلیل خطر زلزله تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهزستان شاهرود انجام شده است لذا گسل‌های اطراف آن با توجه به شکل (۲-۱۵) عبارت‌اند از: گسل طرود، گسل میامی، گسل دامغان، گسل عطاری، گسل آستانه، گسل البرز شمالی و گسل شوار می باشد [۲].

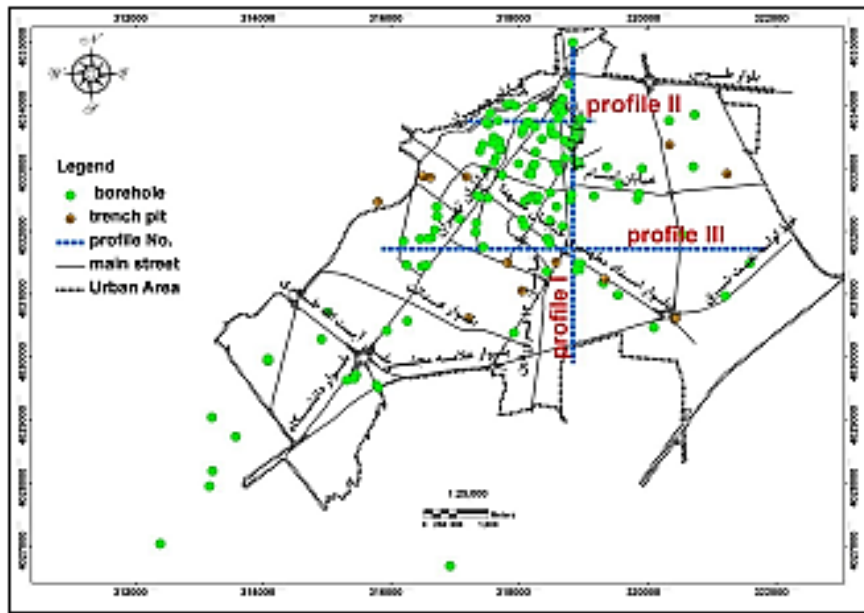
۴-۲ جمع‌آوری اطلاعات ژئوتکنیک

از دیدگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به دو بخش رخنمون‌های سنگی و نهشته‌های سخت نشده قابل تقسیم است. شهر شاهرود بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان دشت شاهرود بنا شده است، از این رو در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه این شهر، بررسی خصوصیات مهندسی نهشته‌های سخت نشده اهمیت بسیار زیادی دارد. با استفاده از بانک اطلاعات ژئوتکنیک جمع‌آوری و بررسی خصوصیات مهندسی خاک‌های منطقه، نقشه زمین‌شناسی شهرستان شاهرود با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS توسط محمدی [۱۲] تهیه شده است.

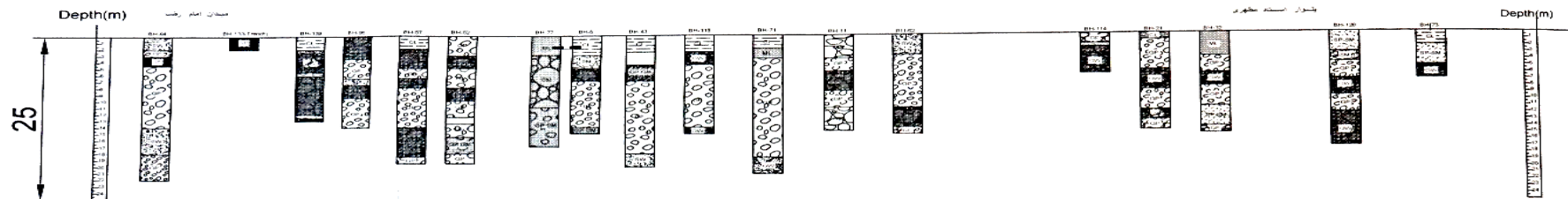
موقعیت گمانه‌های جمع‌آوری شده بر روی نقشه شاهرود در شکل (۲-۱۶) و موقعیت مقاطع عرضی در شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است و تغییر بافت خاک در سه مقطع عرضی به ترتیب در شکل (۲-۱۸)، (۲-۱۹) و (۲-۲۰) نشان داده شده است [۱۲].



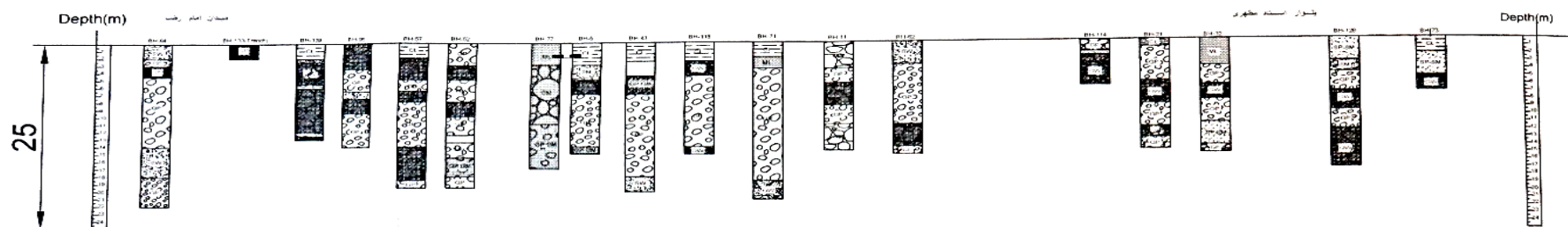
شکل (۲-۱۶) موقعیت گمانه‌های جمع‌آوری شده بر روی نقشه شاهرود [۱۲]



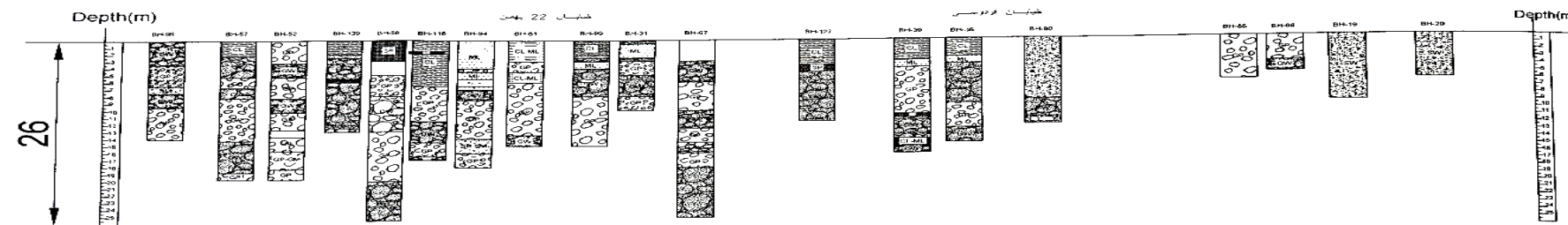
شکل (۱۷-۲) موقعیت مقاطع عرضی در نقشه شاهرود [۱۲]



شکل (۲-۱۸) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۱ [۱۲].

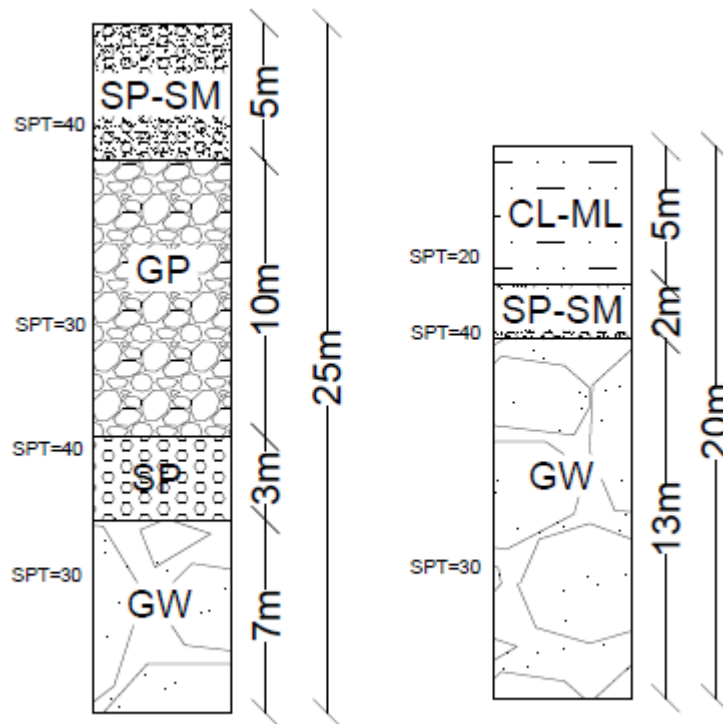


شکل (۲-۱۹) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۲ [۱۲].



شکل (۲-۲۰) تغییر بافت خاک در طول مقطع عرضی شماره ۳ [۱۲].

در این مطالعه با بررسی گمانه‌های فوق، به ترتیب خاک به طور متوسط در نظر گرفته شده است که برای ناحیه مرکزی شهر پروفیل شماره ۱ شکل (۲-۲۱-الف) و برای سایر نقاط پروفیل شماره ۲ شکل (۲-۲۱-ب) انتخاب شده است.



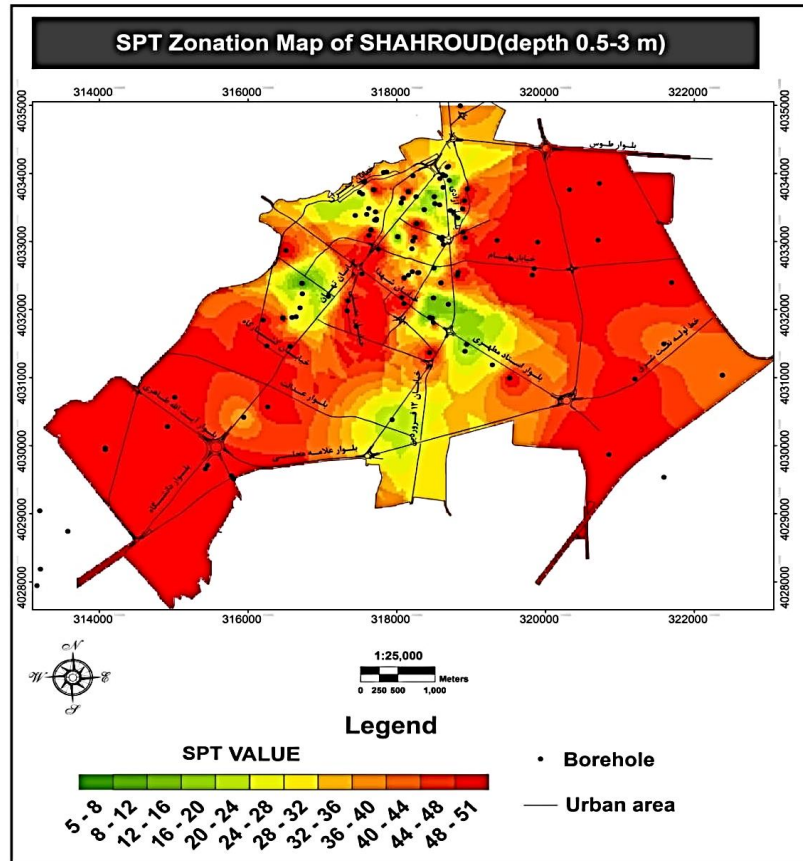
شکل (۲-۲۱) پروفیل خاک شهرستان شاهرود: الف) ناحیه مرکزی شهر تا عمق ۲۰ متر ب) سایر نقاط شهر تا عمق ۲۵ متر

موقعیت پروفیل خاک تیپ ۱ روی شکل (۲-۲۲) به رنگ قرمز نشان داده شده است و سایر نقاط شهر دارای خاک پروفیل تیپ ۲ هستند.



شکل (۲-۲) موقعیت پروفیل تیپ خاک ۱ [۱۱]

به منظور تعیین سرعت موج برشی لایه‌های مختلف خاک از عدد SPT مربوط به گمانه‌های آزمایشگاهی سطح شهر استفاده شده است.



شکل (۲-۲۳) توزیع مکانی مقدار SPT در لایه‌های خاک سطحی شاهرود [۱۲]

بخش‌های شمال شرقی و غربی شهر بواسطه ی نزدیکی به ارتفاعات دارای خاک درشت دانه شنی و ماسه ای هستند. تراکم بالای این خاکها در مناطقی مانند شهرک همت و ذولفقار در بخش شرقی و شهرک البرز، کوثر و دانشگاه در بخش غربی باعث شده که مقدار SPT در این مناطق بیش از ۵۰ ضربه (۵۰) باشد [۱۲].

خاکهای ریز دانه سیلتی-رسی، سست با ضخامت متوسط حدود ۵ تا ۶ متر در بخش مرکزی شهر قرار گرفته اند. از این رو بخش‌هایی چون حاشیه میدان آزادی، خیابان امام و خیابان شبدری (در مرکز شهر) کمترین مقدار SPT را نسبت به دیگر نقاط شهر دارا می باشند. مشاهده میشود در بخش مرکزی شهر پراکندگی مقدار SPT زیاد است. این امر به علت وجود لنزهای گراول و ماسه ای از یک سو و

رسوبات درشت دانه کانال رودخانه ای از سوی دیگر، در پهنه ی رسوبات ریز دانه این بخش می باشد؛ که در نهایت به صورت لزهایی با مقدار SPT بین ۳۰-۵۰ از خاک‌های ریز دانه متمایز می گردند [۱۲]. لذا با توجه به مطالب فوق و نیز شکل (۲-۲۳) مقادیر عدد SPT برای دو پروفیل در نظر گرفته شده به صورت شکل (۲-۲۱) می باشد.

۲-۵ تخمین سرعت برشی لایه‌های خاک با استفاده از نرم افزار Novo SPT

از روابط تجربی Baziar و همکاران [۱۳]، Kramer و همکاران [۱۴]، Bellana [۱۵] و Dikmen [۱۶] برای به دست آوردن سرعت موج برشی استفاده شده است.

نتایج مربوط به سرعت موج برشی لایه‌های پروفیل خاک ناحیه مرکز شهر در جدول (۲-۱) و سایر نقاط شهر در جدول (۲-۲) نشان داده شده است.

جدول (۱-۲) سرعت موج برشی لایه‌های پروفیل خاک ناحیه مرکزی شهر تا عمق ۲۰ متر

نوع خاک	عمق	V_s
CL-ML	۵ متر	۲۱۲
SP-SM	۲ متر	۵۵۷
GW	۱۳ متر	۵۴۱

جدول (۲-۲) سرعت موج برشی لایه‌های پروفیل خاک سایر نقاط شهر تا عمق ۲۵ متر

نوع خاک	عمق	V_s
SP-SM	۵ متر	۵۱۶
GP	۱۰ متر	۴۹۵
SP	۳ متر	۵۹۸
GW	۷ متر	۵۷۹

فصل سوم

تحليل خطر و آناليز پاسخ زمين

۳-۱ مقدمه

به طور کلی زمین لرزه ها در اثر افزایش تدریجی تنش و ایجاد گسیختگی^۷ در یک منطقه، به علت حرکت صفحات تکتونیک پوسته زمین به وجود می آیند. زیرا از نظر فیزیکی هر سنگ تا حد مشخصی توانایی ذخیره (تحمل تنش) را دارد و با رسیدن به آن حد از تنش، در منطقه مورد نظر یک گسیختگی همراه با جابجایی در گسل ایجاد شده و در اثر این جابه جایی، امواج زلزله به وجود آمده و به اطراف محل گسیختگی منتشر می شوند. از آنجا که محل وقوع زمین لرزه های آینده به دقت قابل پیش بینی نیست، روش های آماری و احتمالاتی به عنوان پاسخ عملی برای پیش بینی و برآورد خطر زمین لرزه بکار گرفته می شود [۱۷]. برای انجام کار تحلیل خطر لرزه ای، گردآوری مجموعه ای از داده ها و آشنایی با مفاهیم اصلی آن امری ضروری است که در زیر به توضیح آن ها پرداخته می شود.

۳-۲ طیف طرح ویژه ساختگاه

در برخی موارد، برای طراحی سازه های با شرایط خاص ممکن است طیف طرح استاندارد که به عنوان یک طیف مبنا در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰۰ ارائه شده است، بهینه نبوده و نیاز باشد تا طیف واقع بینانه تری برای آن ها تهیه شود. در این موارد توصیه می شود تا یک طیف مناسب تر برای این سازه ها مورد استفاده قرار بگیرد که به آن طیف طرح ویژه ساختگاه گفته می شود [۱۸].

تهیه طیف طرح ویژه ساختگاه یک پروژه، توسط گروه های کارشناسی و با استفاده از اصول علم تحلیل خطر لرزه ای انجام می شود. طیف طرح ویژه ساختگاه، با استفاده از مشخصات زلزله های منطقه ساختگاه و با توجه به ویژگی های زمین شناسی، تکتونیک، لرزه شناسی، میزان خطر پذیری و مشخصات خاک در لایه های مختلف ساختگاه به دست می آید و برای تعیین آن باید نکات زیر مد نظر قرار بگیرد [۱۸]:

۱- نسبت میرایی سازه برای به دست آوردن طیف ها، برابر ۵ درصد در نظر گرفته می شود.

⁷ Repture

۲- در صورتی که نوع ساختمان و سطح زلزله‌ی مورد نظر نسبت میرایی متفاوتی را ایجاد کند، می‌توان آن را مبنای تهیه طیف قرار داد.

۳- مقادیر محاسبه شده این طیف، باید در ضریب اهمیت (I) و عکس ضریب رفتار $\left(\frac{1}{R_u}\right)$ ضرب گردد.

۴- مقادیر طیف ویژه ساختگاه نباید کمتر از ۸۰ درصد مقادیر طیف طرح استاندارد اختیار شود. طیف طرح ویژه ساختگاه را می‌توان در کلیه‌ی ساختمان‌ها به کار برد، ولی استفاده از آن در حالتی که یکی از دو موضوع زیر مصداق داشته باشد، الزامی می‌باشد:

الف) در موارد زیر باید از طیف ویژه ساختگاه در طراحی استفاده شود و همچنین باید برای تعیین نوع زمین، مطالعات ویژه ساختگاه صورت گیرد:

(۱) برای ساختمان‌هایی که دارای خصوصیتی غیر از زمین‌های نوع I تا IV هستند. برای این‌نوع ساختگاه-ها، امکان ناپایداری زمین تحت نیروی زلزله نیز باید مدنظر قرار بگیرد.

(۲) در ساختگاه‌هایی که لایه‌های خاک با سرعت موج برشی معادل خاک‌های نوع III و IV و ضخامت بین ۵ تا ۲۰ متر روی یک لایه سخت با سرعت موج برشی بیش از 750 m/s قرار گرفته و سرعت موج برشی این لایه سخت، حداقل ۳ برابر متوسط سرعت موج برشی لایه فوقانی می‌باشد. در این مورد، در صورت عدم دسترسی به طیف طرح ویژه ساختگاه، می‌توان از طیف طرح استاندارد برای زمین نوع IV استفاده کرد.

ب) استفاده از طیف طرح ویژه ساختگاه در موارد زیر الزامی است:

(۱) ساختمان‌های با ارتفاع بیش از ۱۵۰ متر از تراز پایه و یا دارای زمان تناوب اصلی (T)، بیش از $3/5$ ثانیه

(۲) ساختمان‌های (با اهمیت زیاد و خیلی زیاد) که بر روی زمین‌هایی غیر از نوع I، II یا III ساخته می‌شوند.

۳) ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر که بر روی زمین‌های غیر از نوع I، II یا III ساخته می‌شوند.

۴) ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر که بر روی زمین‌های نوع II و III، با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر ساخته می‌شوند.

احتمال فراگذشت زلزله‌ها در طول عمر مفید ساختمان (۵۰ سال) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید [۱۷]:

$$T_R = \text{دوره بازگشت زلزله} = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{50}\right) \quad (1-3)$$

۳-۳ تعریف سطوح طراحی

در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مانند ICOLD (1989) [۱۹] و همچنین در استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸] با توجه به درجه اهمیت سازه یکی از ۴ نوع سطح طراحی برای سازه‌ها انتخاب می‌شود که عبارت اند از:

۱- سطح حداکثر زمین‌لرزه قابل وقوع (MCL)^۸

۲- سطح ماکزیمم طراحی (MDL)^۹

۳- سطح مبنای طراحی (DBL)^{۱۰}

۴- سطح ساخت (CL)^{۱۱}

سطح طراحی MCL به صورت پارامترهای بزرگ‌ترین زمین‌لرزه ناشی از نزدیک‌ترین گسل یا بزرگ‌ترین زمین‌لرزه تاریخی یا بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ای که از لحاظ تکتونیکی امکان وقوع در منطقه را دارد تعریف می‌شود، که زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال است.

⁸ Maximum Credible Design Level

⁹ Maximum Design Level

¹⁰ Design Basis Level

¹¹ Construction Level

در سطح طراحی MDL، پارامترهای زمین‌لرزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ساله برای طراحی در نظر گرفته می‌شود.

در صورتی که سازه برای زمین‌لرزه محتمل در عمر مفید سازه (زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۱۵۰ تا ۵۰۰ ساله (معمولا ۴۷۵ ساله)) طراحی شود از سطح طراحی DBL استفاده می‌شود. در این سطح طراحی امکان خرابی جزئی به سازه و اجزای غیرسازه‌ای مورد قبول می‌باشد ولی نایستی سازه به مرحله انهدام برسد.

پایین‌ترین سطح طراحی لرزه‌ای مربوط به سطح ساخت CL می‌باشد، بدین معنی که سازه‌های در حال ساخت بایستی بتوانند حداقل این زمین‌لرزه (زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ سال) را در صورت وقوع تحمل نمایند.

۳-۴ جمع‌آوری داده‌های زلزله

در اولین گام برای تحلیل خطر یک سایت باید به جمع‌آوری داده‌های مربوط به زلزله‌ها و لرزه‌خیزی ناحیه‌ای که سایت در آن واقع است پرداخته شود و با استفاده از آن داده‌ها سرچشمه‌های لرزه‌زا که در ایجاد پاسخ لرزه‌ای تاثیر دارند مشخص شود [۲۰].

در این راستا ابتدا باید تمام زلزله‌های شامل زلزله‌های دستگاهی و زلزله‌های تاریخی ثبت‌شده در منطقه مورد مطالعه شامل دایره‌ای به مرکزیت شهرستان با مختصات طول و عرض جغرافیایی ($55.0163E^{\circ}, 36.4062N^{\circ}$) و شعاع ۱۵۰ کیلومتر جمع‌آوری شود.

۳-۴-۱ زلزله‌های دستگاهی (بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی)

برای جمع‌آوری زلزله‌های دستگاهی از سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی^{۱۲}، برای تهیه‌ی زلزله‌های از سال ۱۹۰۰ به بعد استفاده شده است.

¹² . International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)

تمامی داده های زلزله های بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی باید جمع آوری و اطلاعات زیر تکمیل شود:

۱- زمان وقوع زلزله ۲- موقعیت رومرکز ۳- بزرگای ثبت شده ۴- عمق وقوع زلزله ۵- برآورد عدم قطعیت داده های فوق [۲۰].

۳-۴-۲ زلزله های تاریخی (قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی)

همه داده های مربوط به زلزله های منطقه مورد مطالعه پیش از بکارگیری دستگاه های ثبت زلزله تا آنجایی که امکان پذیر است باید جمع آوری گردد. در این مطالعه برای جمع آوری داده های مربوط به زلزله های تاریخی از سایت مرکز ژئوفیزیک لرزه نگاری دانشگاه تهران^{۱۳} استفاده شده است. مطالعات دیرینه لرزه شناسی نیز در صورت وجود می تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی را در این خصوص در اختیار قرار دهد.

برای هر یک از زلزله های تاریخی لازم است تا حد ممکن اطلاعات زیر مشخص شود:

۱- زمان وقوع زلزله ۲- مکان تخمینی رومرکز ۳- بزرگای تخمینی ۴- عمق تخمینی وقوع زلزله ۵- حداکثر شدت و نیز منحنی هم شدت در مقیاس مرکالی ۶- برآورد عدم قطعیت ها در تخمین پارامترهای فوق [۲۰].

معمولا داده های لرزه ای گزارش شده توسط سازمان های مختلف (مثل ISC، NEIC، EMME، BHRC، HRVD، IGTU و IEES) دارای اختلافاتی می باشد، که این اختلاف عموما به دلیل ویژگی های پیچیده زمین لرزه و خطای موجود در اندازه گیری توسط پایگاه های لرزه ای مربوطه ایجاد می شود. میزان خطا در بزرگا و موقعیت زلزله ها در اوایل قرن حاضر زیاد بوده و بعد از استقرار شبکه لرزه نگاری جهانی در سال ۱۹۶۳ دقت اطلاعات از نظر مکان یابی و بزرگا بیشتر شده است [۲۰].

¹³ International Seismological Centre (ISC)

۳-۵ یکسان سازی واحد بزرگای زلزله ها

۳-۵-۱ انواع مختلف بزرگاهای زلزله

قبل از وارد شدن به موضوع تحلیل خطر زلزله می‌بایست با انواع بزرگاهای مختلف زلزله آشنا گشت.

۳-۵-۱-۱ بزرگای محلی^{۱۴} (ML)

این بزرگا توسط ریشتر^{۱۵} در سال ۱۹۳۵ معرفی گردید. در این روش دامنه حرکت زمین در فاصله ۱۰۰ کیلومتری محل وقوع زلزله توسط دستگاه لرزه‌نگار^{۱۶} Wood-Anderson ثبت می‌شود. پس بزرگای محلی ریشتر به صورت لگاریتم مبنای ۱۰ دامنه لرزه‌نگار فوق در فاصله ۱۰۰ کیلومتری تعریف می‌گردد. این بزرگا براساس مشاهدات انجام شده در کالیفرنیا ابداع شده است. با توجه به اینکه بزرگای محلی محدود به زلزله‌های نسبتاً کوچک، سطحی و لرزه‌نگارهای کالیفرنیا یا اطراف آن است، نیاز به تعریف بزرگاهای دیگر برای سایر نقاط جهان که در برگیرنده زلزله‌های بزرگتر و با عمق کانونی بیشتر و مبتنی بر سایر انواع لرزه‌نگارها باشد، احساس می‌شد [۲۱].

۳-۵-۱-۲ بزرگای سطحی^{۱۷} (MS)

این بزرگا جهانی بوده و مبتنی بر دامنه اندازه‌گیری شده موج رایلی با پریود حدود ۲۰ ثانیه است. این بزرگا عمدتاً برای زلزله‌های مخرب به کار می‌رود. با این وجود با توجه به اینکه امواج رایلی^{۱۸} در عمق‌های کانونی کمتر از ۷۰ کیلومتر و در فواصل بیشتر ۱۰۰۰ کیلومتر به خوبی ایجاد می‌شوند، این بزرگا را نمی‌توان برای زلزله‌های کوچک محلی استفاده نمود [۲۱].

¹⁴ Local Magnitude

¹⁵ Richter

¹⁶ Seismograph

¹⁷ Surface Wave Magnitude

¹⁸ Rayleigh Wave

۳-۱-۵-۳ بزرگای امواج حجمی^{۱۹} (Mb)

این بزرگا نیز جهانی بوده و براساس دامنه اندازه گیری شده چند سیکل اول موج P بر روی مولفه قائم لرزه نگاشت می باشد. این امواج دارای پریودی در حد ۱ ثانیه می باشند. این بزرگا بهترین بزرگا برای ثبت زلزله های عمیق است چرا که در زلزله های عمیق امواج P به خوبی ثبت می شوند. با این وصف کاربرد این بزرگا محدود است، زیرا آن دسته از امواج P که در زیر پوسته گسترش می یابند، در فواصل بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر به راحتی ثبت می شوند. به علاوه با توجه به اینکه بزرگا براساس دامنه چند سیکل اول موج اندازه گیری می شود، برای زلزله های بسیار بزرگ کاربرد ندارد، زیرا در این زلزله ها ممکن است انرژی در سیکل های بیشتری نیز تجمع داشته باشد. بنابراین این بزرگا برای زلزله های کوچک محلی و یا زلزله های خیلی بزرگ کاربرد ندارد [۲۱].

۳-۱-۵-۴ بزرگای گشتاوری^{۲۰} (Mw)

با توجه به محدودیت های مختلف در بزرگای لرزه ای فوق، نیاز به بزرگایی است که برای کلیه بزرگاها، فاصله ها و مکان ها قابل استفاده باشد. به علاوه در بزرگای لرزه ای فوق مشکل اشباع شدن به وجود می آید. به این معنی که هر بزرگا از یک مقدار مشخصی به بعد، ثابت می ماند و نمی تواند زلزله های مخرب تر از زلزله حد اشباع را شناسایی کند. بنابراین نیاز به بزرگایی است که مشکل اشباع نداشته باشد. این بزرگا براساس مفهوم گشتاور لرزه ای تعریف شده و کلیه نقایص فوق را مرتفع می سازد. بزرگای گشتاوری اساسا وابسته به جابجایی گسل، سطح گسیختگی و خواص مصالح ناحیه شکست می باشد [۲۱].

۳-۵-۲ روابط تبدیلی بین انواع بزرگاها

در کاتالوگ زمین لرزه تمام داده ها باید بر اساس یک مقیاس بزرگا قرار گرفته باشند واحدهای متنوعی برای توصیف بزرگای زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. برای تجمیع و تدوین کاتالوگ، لازم است با

¹⁹ Body Wave Magnitude

²⁰ Seismic Moment Magnitude

بهره گیری از روابط مناسب تبدیل بزرگا به یک بیان یکنواخت از بزرگا مثلا بزرگای گشتاوری دست یافت بزرگای گشتاوری (M_w) یک از مناسب ترین معیارها است که ماهیت فیزیکی داشته و مستقل از تجهیزات لرزه نگاری است [۲۲].

برای یکسان سازی بزرگی زمین لرزه ها در گستره ی مورد بررسی از روابط زیر استفاده شده است [۲۳]:

$$M_w = 0.611M_s + 2.314 \quad (M_s < 6.1) \quad (۲-۳)$$

$$M_w = 0.949M_s + 0.243 \quad (M_s > 6.1) \quad (۳-۳)$$

$$M_w = 1.303M_b - 1.292 \quad (۴-۳)$$

$$M_w = 0.763M_L + 1.355 \quad (۵-۳)$$

۳-۶ حذف زلزله های وابسته در کاتالوگ

هدف از حذف داده های وابسته در کاتالوگ داده ها، تفکیک زمین لرزه ها به دو صورت مستقل و وابسته است. پس لرزه ها که وابسته به زمین لرزه های اصلی هستند بصورت خاص در شکل موج دیده نمی شوند و تنها می توان آن ها را بر اساس پنجره های زمان و مکان تفکیک نمود. در این طرح رویدادهای وابسته با استفاده از پنجره های زمان و مکان که توسط Gardner و Knopoff پیشنهاد شده است، حذف گردید [۲۴]. برای رسیدن به برآورد خطر لرزه ای مستقل از زمان، حذف زمین لرزه های وابسته

امری ضروری است. روش Gardner و Knopoff در رابطه ی (۳-۶) و (۳-۷) بیان شده است [۲۴].

$$L(Km) = 10^{0.1238M_w + 0.983} \quad (۶-۳)$$

$$T(days) = \begin{cases} 10^{0.032M_w + 2.7389} & M_w \geq 6.5 \\ 10^{0.5409M_w - 0.547} & M_w < 6.5 \end{cases} \quad \begin{matrix} (۳-۷-الف) \\ (۳-۷-ب) \end{matrix}$$

اگر برای مشخص کردن پس لرزه ها از پنجره ی زمانی - مکانی بزرگی استفاده کنیم، ممکن است زمین لرزه های مربوط به دسته بندی دیگر را بطور فزاینده وارد کار کنیم. چنانچه ابعاد پنجره کاهش یابد،

برخی وقایع وابسته دیگر قابل شناسایی نیستند. جدول (۳-۱) زمان و مکان مربوط به این پنجره ها را در بازه ی بزرگی ۲/۵ تا ۸ بر حسب بزرگای گشتاوری، نشان می دهد.

جدول (۳-۱) (گاردنر-نوپوف ۱۹۷۴) [۲۴].

M	L(Km)	T(days)
۲/۵	۱۹	۶
۳	۲۲/۵	۱۱/۵
۳/۵	۲۶	۲۲
۴	۳۰	۴۲
۴/۵	۳۵	۸۳
۵	۴۰	۱۵۵
۵/۵	۴۷	۲۹۰
۶	۵۴	۵۱۰
۶/۵	۶۱	۷۹۰
۷	۷۰	۹۱۵
۷/۵	۸۱	۹۶۰
۸	۹۴	۹۸۵

به طور مثال زمین لرزه هایی با بزرگای ۴ ریشتر که در فاصله ی مکانی کمتر از ۳۰ کیلومتر و فاصله ی زمانی کمتر از ۴۲ روز رخ داده باشند، پس لرزه می باشند و از کاتالوگ حذف می گردند.

در مجموع مقدار ۲۰۶ زلزله با $M \geq 4$ از پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی دریافت گردید و با استفاده از پنجره ذکر شده به روش دستی، حذف زمین لرزه های وابسته صورت گرفت. در نتیجه تعداد ۱۷۳ زمین لرزه به عنوان رویداد مستقل تعیین شد و این زلزله ها در ادامه برای مطالعه طرح مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۶-۱ عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه ها

در مطالعات انجام شده توسط میرزایی و همکاران [۲۵] عدم قطعیت بزرگی، برای زمین لرزه های ایران براساس کیفیت و کمیت اطلاعات موجود برای سه دوره ی زمانی تعیین شده است: دوره تاریخی (قبل از ۱۹۰۰)، که برای آن از مدارک و اسناد تاریخی و مشاهدات میدانی استفاده شده است، عدم قطعیت بزرگا از ۰/۴ تا ۰/۸ واحد بزرگا متغیر است. برای زمین لرزه های دستگاهی (۱۹۶۳-۱۹۰۰)، که اطلاعات

لرزه ای به همراه داده‌های دستگامی با کیفیت پایین برای تعیین پارامترهای مختلف زمین‌لرزه به کار گرفته می‌شوند، با عدم قطعیت ۰/۳ تا ۰/۵ واحد بزرگا مواجه هستیم و برای دوره‌ای که از ابزار مدرن استفاده می‌شود (۱۹۶۴-۲۰۱۸) عدم قطعیت ۰/۲ تا ۰/۴ واحد بزرگا در نظر گرفته می‌شود.

۷-۳ مدل‌های چشمه‌های لرزه‌ای

تعیین چشمه‌های لرزه‌ای بر اساس شواهد زمین‌شناختی، بخش اساسی و اغلب مشکل تحلیل خطر زمین‌لرزه است. برای شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای علاوه بر داده‌های لرزه‌ای نیاز به اطلاعات زمین‌شناسی مرتبط با زمین‌لرزه نیز می‌باشد و ترکیبی از این دو دسته اطلاعات، منتج به ارائه چشمه‌های لرزه‌ای در منطقه می‌گردد. تحقیقات متعددی در خصوص لرزه‌زمین‌ساخت، برآورد خطر و آسیب‌های زمین‌لرزه در بخش‌های مختلف ایران صورت پذیرفته، اما توجه چندانی به انجام مطالعات زمین‌شناسی با رهیافت تحلیل خطر زمین‌لرزه صورت نگرفته و در واقع توجه چندانی به این بخش مهم از مطالعات زمین‌ساخت فعال در کشور ما نشده است و بمنظور شناسایی چشمه‌های بالقوه لرزه‌ای در ایران، این مطالعات باید بیشتر مورد توجه قرار بگیرد [۲۶]. موقعیت مکانی و طبیعت وقوع زمین‌لرزه‌ها را میتوان به دو نوع ساختارهای لرزه‌زمین‌ساختی و ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم نمود. ساختار لرزه‌زمین‌ساختی را می‌توان یک ساختار زمین‌شناسی قابل شناسایی معرفی کرد که بطور فرضی زمین‌لرزه‌ها در اثر فعالیت آن تولید می‌شوند. یکی از ساختارهای مهم لرزه‌زمین‌ساختی، گسل‌های فعال هستند. ایالت لرزه‌زمین‌ساختی، منطقه یا بخشی از یک منطقه است که در آنجا ساختار لرزه‌زمین‌ساختی مورد نظر از یک روند لرزه‌خیزی پیروی می‌کند. بنابراین چشمه‌های لرزه‌ای می‌توانند به صورت یک منطقه جغرافیایی که از دیدگاه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی دارای شرایط یکسان بوده و در سراسر آن توان لرزه‌ای یکنواخت فرض میشود، تعریف گردد. زمین‌لرزه‌ها ممکن است در بعضی از مکان‌های چشمه‌به صورت متمرکز به وقوع بپیوندند ولی فرض می‌شود که در تمام یک چشمه زمین‌لرزه‌ها با احتمال مساوی روی می‌دهند [۲۷].

در فلات ایران به دو دلیل تراکم بالای گسل های فعال و دقت پایین داده های لرزه ای، چشمه برخی از زمین لرزه ها به بیش از یک گسل ارتباط داده می شود. علاوه بر این گاهی حرکت تدریجی در راستای بسیاری از گسل های فعال در دوره های زمانی طولانی، به صورت خزش بوده و یک زمین لرزه بزرگ را بوجود نمی آورند [۲۷].

به طور کلی چهار نوع چشمه لرزه ای داریم:

۱- چشمه نقطه ای^{۲۱}

۲- چشمه خطی^{۲۲}

۳- چشمه پهنه ای یا سطحی^{۲۳}

۴- چشمه حجمی^{۲۴}

۳-۷-۱ چشمه نقطه ای

برای این نوع از چشمه لرزه ای، فرض می شود که مرکز همه رویدادهای زلزله (گذشته و آینده) در یک نقطه اتفاق می افتد. این مدل معمولاً برای چشمه هایی که از ساختگاه پروژه خیلی دور باشند به کار می رود [۲۷].

۳-۷-۲ چشمه خطی

برای این نوع چشمه لرزه ای، فرض می شود که مرکز زمین لرزه ها در طول یک الگوی خطی قرار می گیرد. [۲۷].

²¹ Point Source

²² Line Source

²³ Area Source

²⁴ Volumetric Source

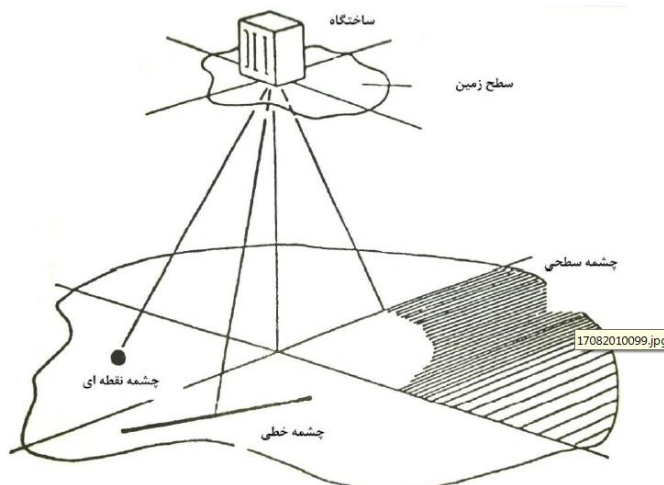
۳-۷-۳ چشمه پهنه‌ای یا سطحی

وقتی مرکز سطحی زمین لرزه‌های گذشته بر روی یک خط قرار نگیرند یا وقتی هیچ اطلاعاتی از مکان گسل‌ها وجود نداشته باشد ولی رویدادهای زمین لرزه در منطقه‌ای محدود پراکنده شده باشد چشمه لرزه‌ای به صورت یک چشمه پهنه‌ای در نظر گرفته می‌شود. [۲۷].

۳-۷-۴ چشمه حجمی

در صورتیکه اطلاعات ما از گسلش کامل باشد می‌توان چشمه را بصورت سه بعدی و بعنوان یک چشمه حجمی در نظر گرفت. نکته‌ای که باید در زمینه تعیین این نوع چشمه در نظر گرفت این است که باید عمق دقیقی از زمین لرزه‌ها برای مدل کردن چشمه‌ها بصورت حجمی وجود داشته باشد. متأسفانه فقدان آزمون‌های ایستگاه‌ها در ایران بالا است و بسیاری از بانک‌های اطلاعاتی نسبت به عمق حساس نیستند. بنابراین عمق‌های تعیین شده از دقت لازم برخوردار نبوده و استفاده از این روش برای مدل کردن چشمه‌ها کاربردی ندارد [۲۷].

موقعیت چشمه بدلیل تضعیف انرژی امواج با فاصله، اهمیت زیادی دارد. روش استاندارد برای تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین لرزه وجود ندارد. در عمل نقشه‌های تکتونیکی و نقشه‌ی رومرکز زمین لرزه‌ها بعنوان راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرد و تصمیم‌نهایی در مورد چگونگی مدل کردن و هندسه چشمه‌های زمین لرزه بر اساس سایر اطلاعات و مدارک علمی موجود و همچنین به میزان قابل توجهی بر پایه دیدگاه‌ها و تجربیات پژوهشگران صورت می‌گیرد مدل‌های مختلف چشمه برای یک ساختگاه فرضی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است [۲۷].



شکل (۱-۳) مدل‌های مختلف چشمه برای یک ساختمان فرضی [۲۷]

در ایران، با توجه به کمیت و کیفیت داده‌های موجود مناسبترین شیوه تعیین چشمه‌های بالقوه زمین لرزه بصورت سطحی است [۲۷].

۳-۸ روابط کاهندگی جنبش نیرومند زمین

روابط کاهندگی، که به صورت تجربی بدست آمده‌اند، رابطه بین پارامتر جنبش نیرومند زمین مانند بیشینه‌ی شتاب با سرعت و یا شتاب طیفی را با بزرگا، فاصله و سایر پارامترها بیان می‌کند. شکل کلی روابط کاهندگی به صورت رابطه زیر است:

$$Y = b_1 \cdot F_1(M) \cdot F_2(R) \cdot F_3(M, R) \cdot F_4(\pi) \cdot \varepsilon \quad (۸-۳)$$

در این رابطه، Y پارامتر مورد نظر جنبش نیرومند زمین مثل بیشینه شتاب، بیشینه سرعت و شتاب طیفی می‌باشد که بطور کلی با بزرگای (M) رابطه‌ی مستقیم و با فاصله‌ی (R) رابطه‌ی معکوس دارد. $F_1(M)$ تابع بزرگا، $F_2(R)$ تابع فاصله، $F_3(M, R)$ تابع مشترک بزرگا و فاصله، $F_4(\pi)$ تابعی از پارامترهای مانند نوع خاک است و ε در این رابطه نشانگر خطای میانگین تصادفی با مقدار میانگین صفر و انحراف معیار معادل با خطای تخمین Y می‌باشد. ضرایب ثابت (b) برای این روابط براساس شتاب نگاشت‌های بدست آمده و با استفاده از روش‌های آماری محاسبه می‌گردد. روابط کاهندگی بر اساس داده‌های

جنبش نیرومند زمین، مربوط به زمین لرزه های رخ داده در نقاط مختلف، بوسیله ی پژوهشگران، برای نواحی مختلف یا برای کل دنیا ارائه شده است.

۳-۸-۱ انتخاب رابطه ی کاهندگی مناسب

با توجه به موارد ذکر شده، انتخاب رابطه ی کاهندگی برای انجام تحلیل خطر از اهمیت ویژه ای برخوردار است و نتیجه تحلیل خطر به شکل قابل ملاحظه ای از این انتخاب تاثیر می پذیرد. با اطمینان می توان گفت که بهترین انتخاب، رابطه ای است که با استفاده از اطلاعات مربوط به منطقه ای که مورد پژوهش قرار گرفته، بدست آمده باشد. اما همیشه امکان چنین انتخابی وجود ندارد. کمبود اطلاعات ثبت شده در منطقه مورد بررسی امکان تخمین یک رابطه آماری مناسب را منتفی می سازد. در این صورت روش منطقی آن است که از روابطی استفاده شود که در مناطقی مشابه، استخراج شده باشند. منظور از تشابه این است که از لحاظ لرزه زمین ساختی و لرزه خیزی، وضعیت کم و بیش یکسانی داشته باشند. با توجه به تاثیر گذاری شرایط زمین شناسی، زمین ساختی، مکانیزم گسلش و عمق کانونی زمین لرزه ها در منطقه ی طرح، بر چگونگی تغییرات جنبش نیرومند زمین با فاصله، بهتر است روابطی برای بیان تغییرات جنبش نیرومند زمین تعریف شوند که این موارد نیز در آن ها لحاظ شده باشد. روابط کاهندگی نسل جدید (NGA^{۲۵}) شامل پنج مدل کاهندگی زمین است که بیشینه ی شتاب (PGA)^{۲۶}، بیشینه ی سرعت (PGV)^{۲۷} و شتاب طیفی (SA)^{۲۸} افقی را برای دوره تناوب های تا ۱۰ ثانیه برآورد می کنند. این روابط جنبه های تازه ای را برای محاسبه ی اثرات کاهندگی، مانند تاثیرات غیرخطی سایت، عمق رسوبات و نوع گسلش را شامل می شوند. این روابط کاهندگی عبارتند از [۲۸ و ۲۹]:

Abrahamson و Silva، Boore و Aktinson، Campbell و Bozorgnia، Chiou و Youngs و Idriss.

شجاع طاهری و همکاران [۲۸] در مقاله ای به بررسی این روابط پرداختند تا قابلیت استفاده آن ها برای

²⁵ Next generation attenuation

²⁶ Peak Ground Acceleration

²⁷ Peak Ground Velocity

²⁸ Spectral Acceleration

ایران نیز مورد بررسی قرار گیرد. براساس این تحقیق ۸۶۳ سری زمانی مربوط به شتاب افقی دو مولفه ای با فاصله ی رومرکزی ۱۰۰ کیلومتر برای ۱۶۶ زمین لرزه در ایران با محدوده بزرگای ۴ تا ۷/۴ ریشتر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی ها بر روی سه رابطه ی Boore و Aktinson، Campbell و Chiou، Bozorgnia و Youngs نشان داد که این سه رابطه با اطمینان کامل می توانند در ایران مورد استفاده قرار بگیرند. از این مدل ها می توان برای بدست آوردن PGV، PGA و شتاب طیفی با میرایی ۵٪ و در بازه دوره تناوبی ۰ تا ۱۰ ثانیه برای همه مولفه های افقی استفاده کرد.

در این مطالعه از رابطه Boore و همکاران که توسعه یافته رابطه Boore و Aktinson می باشد و رابطه Campbell و Bozorgnia که مربوط به سال ۲۰۱۴ می باشد استفاده شده است و از رابطه ی Chiou و Youngs به علت محدودیت در بزرگا صرف نظر شده است. حداکثر بزرگا در این مطالعه ۸ ریشتر بوده است ولی در رابطه Chiou و Youngs حداکثر بزرگا قابل استفاده ۷ ریشتر بوده است [۲۹].

رابطه Boore و همکاران برای زمین لرزه هایی با $3 \leq Mw \leq 8.5$ و فاصله کمتر از ۴۰۰ کیلومتر قابل استفاده است [۲۹].

رابطه Campbell و Bozorgnia برای زمین لرزه هایی با $3 \leq Mw \leq 8.5$ و فاصله کمتر از ۳۰۰ کیلومتر قابل استفاده است [۲۹].

۳-۹ روش های تحلیل خطر زلزله

۳-۹-۱ برآورد خطر زمین لرزه به روش تعیینی

در روش تعیینی، (DSHA)^{۲۹} به طور معمول یک زمین لرزه کنترلی با بزرگا و فاصله معینی از ساختگاه در نظر گرفته می شود. این روش محافظه کارانه، صرفا در مورد بعضی از سازه های خاص نظیر سدها و نیروگاه ها که تخریب آن ها عواقب فاجعه باری ایجاد می کند، به کار می رود. این روش نمی تواند اطلاعاتی راجع به احتمال وقوع زمین لرزه کنترلی، موقعیت آن و میزان لرزش مورد انتظار در فاصله

²⁹ Deterministic Seismic Hazard Analysis

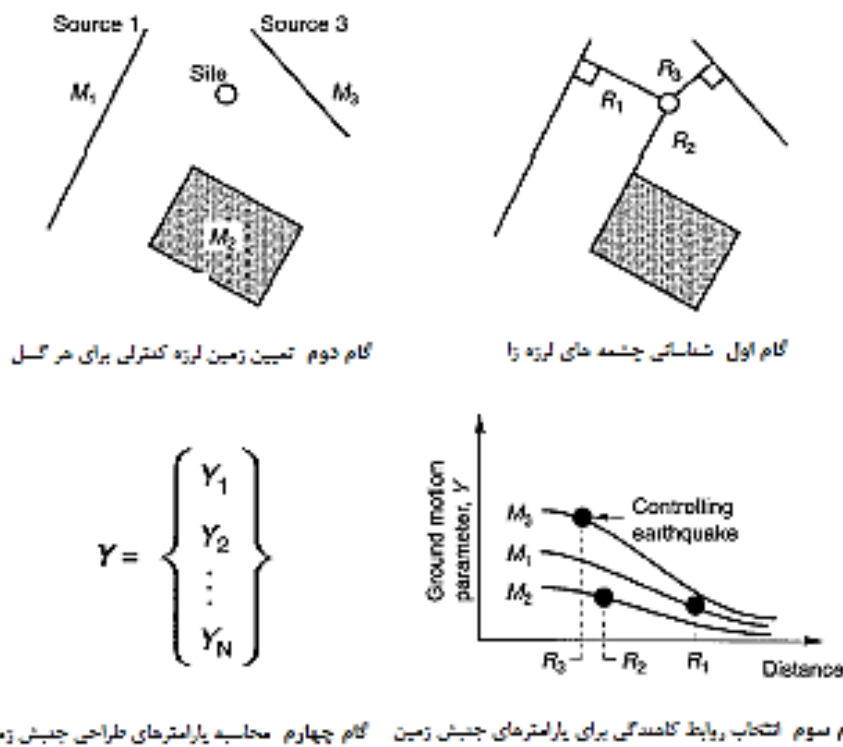
زمانی مشخص مانند عمر مفید سازه ارائه کند. همینطور اثر عدم قطعیت در مراحل انجام تحلیل نیز در این روش دیده نمی شود مراحل انجام تحلیل خطر با روش تعینی عبارتند از:

۱- شناسایی چشمه های بالقوه ی زمین لرزه

۲- انتخاب زمین لرزه ی کنترلی برای هر چشمه

۳- انتخاب رابطه کاهندگی مناسب

۴- برآورد خطر زمین لرزه در گستره ی طرح (شکل ۲-۳)



شکل (۲-۳) مراحل انجام تحلیل خطر تعینی [۲۰]

۳-۹-۲ برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی

برآورد خطر احتمالاتی (PSHA)^{۳۰} اولین بار در دهه ی ۱۹۷۰ توسط Cornell، به منظور تحلیل خطر زمین لرزه و باهدف در نظر گرفتن عدم قطعیت در چشمه های بالقوه زمین لرزه، مسیر انتشار موج و

³⁰ Probabilistic Seismic Hazard Analysis

شرایط ساختگاه به وجود آمد. الگوریتم فرترن^{۳۱} Cornell توسط Mc Guire در سال ۱۹۷۶ توسعه پیدا کرد و تا به امروز به عنوان روش پایه‌ای تحلیل خطر احتمالاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۰]. از این رو گاهی روش احتمالاتی مدرن را به نام روش "Cornll-McGuire" می‌شناسند. در روش احتمالاتی برآورد خطر زمین لرزه، تحلیل بر پایه تمامی حالات ممکن از مقادیر ممکن بزرگای زمین لرزه حاصل از توان لرزه‌ای چشمه‌های مدل شده لرزه‌ای در گستره مورد نظر و در کلیه فاصله‌های ممکن از ساختگاه مورد مطالعه با در نظر گرفتن هر ترکیب و به کمک برنامه‌های نرم افزاری انجام می‌گیرد. در نتیجه با استفاده از روش احتمالی امکان برآورد پتانسیل جنبش نیرومند زمین با در نظر گرفتن احتمال فزونی مشخص ممکن می‌شود. همچنین در این روش این امکان وجود دارد که عدم قطعیت‌های هر یک از پارامترها تخمین زده شده در تحلیل‌های خطر زمین لرزه به منظور برآورد واقعی تر از ماهیت لرزه خیزی جنبش نیرومند زمین وارد محاسبات شوند [۳۱]. مراحل مربوط به تحلیل خطر احتمالاتی را مطابق شکل (۳-۳) می‌توان معرفی کرد

۱- شناسایی همه چشمه‌های بالقوه زمین لرزه

۲- تعیین تابع چگالی احتمال بزرگای زمین لرزه محتمل در پهنه یا ساختگاه مورد نظر $f_M(m)$

۲- تعیین تابع چگالی احتمال فاصله سایت از چشمه زمین لرزه، $f_R(r)$

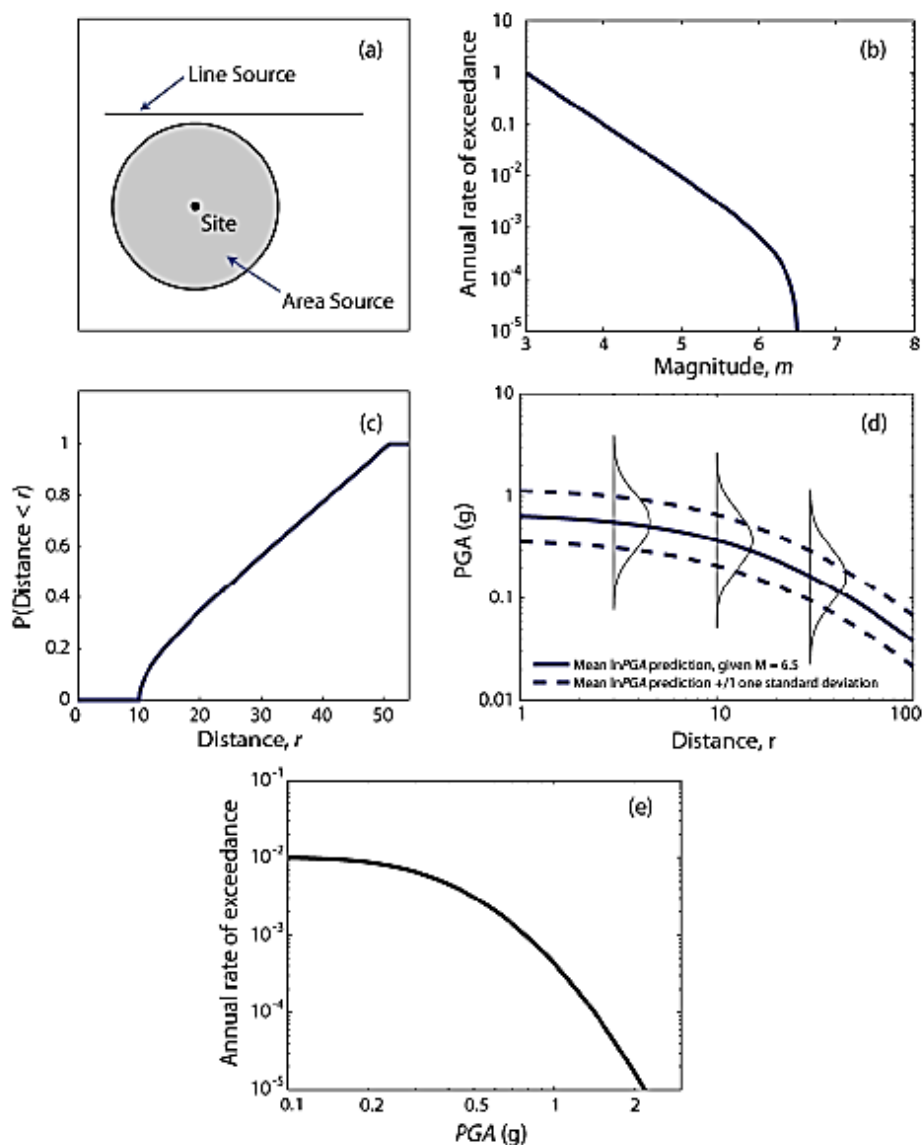
۴- پیش بینی نتایج شدت جنبش زمین با استفاده از روابط کاهندگی

۵- ترکیب عدم قطعیت‌ها در اندازه زمین لرزه، مکان و شدت جنبش زمین با استفاده از قضیه احتمال

کل

۶- برآورد خطر زمین لرزه در گستره طرح [۳۱].

³¹ Fortran



شکل (۳-۳) مراحل انجام تحلیل خطر احتمالاتی [۳۱]

۳-۹-۲-۱ شناسایی همه چشمه های بالقوه زمین لرزه

برخلاف روش تعیینی که بر روی شدیدترین زمین لرزه ها تمرکز دارد، در این روش همه چشمه هایی که قابلیت زمین لرزه آسیب رسان را دارند، بررسی می شوند. چشمه ها می توانند شامل گسل ها باشند و بصورت خطی معرفی شوند که از طریق روش های گوناگون مانند مشاهده مکان زمین لرزه های گذشته و شواهد زمین شناسی شناسایی شده اند. اگر گسل ها قابل شناسایی نباشند چشمه ها بصورت پهنه هایی

در نظر گرفته می شوند که زمین لرزه در آن جا رخ داده است. زمانی که تمام چشمه‌ها شناسایی شد می توان بزرگا و فاصله چشمه تا سایت را که مرتبط با زمین لرزه‌های هرچشمه است، تعیین کرد [۳۱].

۳-۲-۹-۲ تعیین تابع چگالی احتمال بزرگای زمین لرزه

برای کمی سازی لرزه خیزی یک پهنه مشخص، روابط مختلفی با استفاده از نحوه توزیع زمین لرزه ها و بزرگای آن ها ارائه شده است. یکی از معتبر ترین آن ها، رابطه بازگشت گوتنبرگ - ریشتر کلاسیک است [۳۱]:

$$\text{Log}(\lambda_m) = a - bM \quad (9-3)$$

که در آن λ_m نرخ وقوع زمین لرزه های با بزرگای بیشتر از m ، a نرخ وقوع زمین لرزه ها را در کل یک منطقه و b نسبتی از بزرگی های کوچک و بزرگ را نشان می دهد. این رابطه به قانون بازگشت گوتنبرگ - ریشتر معروف است. عدم قطعیت های موجود در بزرگای ثبت شده مربوط به داده های تاریخی و داده های دستگاهی یکسان نیست. برای ترکیب اصولی این داده ها با لحاظ تفاوت در عدم قطعیت های مربوطه، میتوان از روش پیشنهادی Kijko و Sellevoll [۳۲] استفاده کرد. برای این منظور، نخست تابع توزیع تجمعی رخداد زلزله‌های بزرگ‌تر از یک بزرگای حداقل (m_{min}) از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$F_M(m) = P(M \leq m | m_{max} > M > m_{min}) = \frac{N_{m_{min}} - N_m}{N_{m_{min}} - N_{m_{max}}} \quad (10-3)$$

$$= \frac{\lambda_{m_{min}} - \lambda_m}{\lambda_{m_{min}} - \lambda_{m_{max}}} = C(1 - e^{-\beta(m - m_{min})})$$

$$m_{max} > m > m_{min}$$

که در این رابطه $F_M(m)$ تابع توزیع تجمعی برای M است. ضریب C به جهت محدود کردن m به بزرگا حداکثر (m_{max}) است:

$$C = \frac{1}{1 - e^{-\beta(m_{max} - m_{min})}} \quad (11-3)$$

m_{max} یعنی حداکثر زمین لرزه ای که یک چشمه ی زمین لرزه می تواند تولید کند.

با مشتق‌گیری از تابع توزیع تجمعی، تابع چگالی احتمال ($f_M(m)$) محاسبه می‌شود:

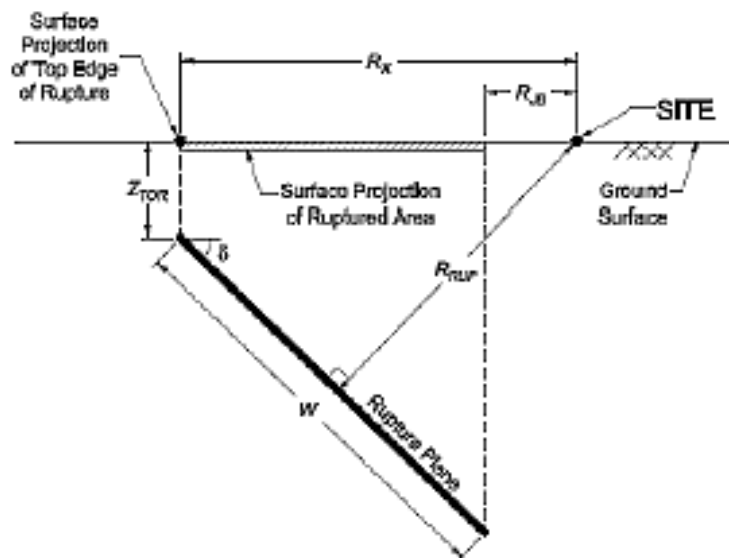
$$f_M(m) = c\beta e^{-\beta(m-m_{min})} \quad (12-3)$$

زمین لرزه‌های دستگاهی و تاریخی را می‌توان به بازه‌های زمانی مختلف تقسیم کرد و با آماده‌سازی ورودی‌های مربوط به هر بازه‌ی زمانی، آستانه‌ی کامل بودن بزرگا، در هر بازه را بدست آورد. پس از آن با استفاده از نرم افزار Kijko می‌توان پارامترهای لرزه خیزی λ و β و همچنین M_{max} مربوط به منطقه مورد نظر را برآورد کرد. ورودی نرم افزار Kijko شامل قسمت‌های مربوط به زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی است که البته بخش دستگاهی، خود می‌تواند به چند بخش تقسیم شود. باید توجه داشت که نرم افزار Kijko این امکان را دارد که برای هر بزرگای زمین لرزه، عدم قطعیت متفاوتی را دریافت کند و از این طریق امکان دخالت عدم قطعیت بزرگاها همراه با بزرگی بیشینه در دوره تناوب‌های متفاوت بمنظور برآورد پارامترهای لرزه خیزی فراهم می‌شود [32].

۳-۲-۹-۳ تعیین تابع چگالی احتمال فاصله از سایت

برای پیش‌بینی جنبش زمین در یک سایت، لازم است که توزیع فاصله زمین لرزه تا سایت مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد. در یک چشمه زمین لرزه فرض بر این است که زمین لرزه‌ها با احتمال مساوی در هر موقعیتی روی گسل رخ می‌دهند [31]. با وجود اینکه این موقعیت‌ها بطور یکنواخت توزیع شده‌اند به سادگی می‌توان تابع توزیع فواصل چشمه زمین لرزه، $F_R(r)$ ، از محل مورد نظر را با شکل هندسی چشمه زمین لرزه بدست آورد و با مشتق‌گیری از آن تابع چگالی احتمال برای R حاصل می‌شود. برای فاصله تعاریف مختلفی وجود دارد. می‌توان فاصله نسبت به رومرکز زمین لرزه در نظر گرفت و یا اینکه می‌توان فاصله را به نزدیک‌ترین نقطه تا گسیختگی سطحی مرتبط دانست. برخی تعاریف مربوط به فاصله برای عمق گسل بکار می‌رود و برای برخی دیگر به بررسی فاصله از سطح گسل می‌پردازند. انتخاب تعریف برای فاصله به مدلی که برای پیش‌بینی جنبش زمین بکار می‌رود، بستگی دارد. در شکل (۳-۴)، ۳ نوع فاصله از چشمه‌ی زمین لرزه تا سایت تعریف شده است. در شکل فوق

R_{JB} ، کوتاهترین فاصله ی افقی از سایت تا تصویر گسیختگی بر روی سطح است. R_X ، فاصله از سایت تا لبه بالایی گسیختگی بر روی سطح است و R_{RUP} ، فاصله سایت تا صفحه گسیختگی است.



شکل (۳-۴) تعاریف مختلف برای فاصله در روابط کاهندگی [۳۱]

۳-۹-۲-۴ شدت جنبش زمین

مرحله بعدی انتخاب مدل پیش بینی جنبش زمین است. این مدل ها به پیش بینی توزیع احتمالی شدت جنبش زمین می پردازند و تابع بسیاری از متغیرهای پیش بینی کننده مانند بزرگا، فاصله، مکانیسم گسل، شرایط نزدیک سطح سایت و غیره است. برای نشان دادن توزیع احتمالی از یک مدل کلی به صورت رابطه زیر می باشد [۳۱]:

$$\ln(IM) = \overline{\ln IM}(M, R, \theta) + \sigma(M, R, \theta) \cdot \varepsilon \quad (۳-۱۳)$$

سمت چپ تساوی لگاریتم طبیعی از پارامتر جنبش نیرومند زمین، مانند شتاب طیفی یا بیشینه شتاب زمین می باشد. سمت راست تساوی خروجی های مدل پیش بینی جنبش زمین را نشان می دهد که شامل مقدار میانگین پیش بینی شده و عدم قطعیت است. M بزرگی زمین لرزه ها و R فاصله از ساختگاه و θ سایر پارامتر را نشان می دهد. عدم قطعیت به صورت توزیع نرمال و انحراف معیار σ نمایش داده

می‌شود. ε نمایش تعداد انحراف معیار است. براساس پژوهش‌های صورت گرفته بهتر است که مقدار ε ، برای روابط کاهندگی جدید حداقل ۳ در نظر گرفته شود. ε نشانگر عدم قطعیت تصادفی در $\ln(IM)$ است. مقادیر مثبت ε منجر به پاسخ‌های بیش از میانگین $\ln(IM)$ و مقادیر منفی، مقادیر کوچک‌تر از میانگین $\ln(IM)$ می‌شوند [۳۱].

۳-۹-۲-۵ ترکیب همه ی اطلاعات

با استفاده از معادلات تحلیل خطر احتمالاتی می‌توان تمام داده‌ها را با هم ترکیب کرد. احتمال فزونی میزان پارامتری که برای جنبش نیرومند زمین در نظر گرفته می‌شود را می‌توان از مدل پیش‌بینی محاسبه کرد. بزرگا و فاصله زمین‌لرزه آینده مشخص نیست ولی می‌توان احتمال توزیع آن را با استفاده از داده‌هایی که جمع‌آوری شده است، پیدا نمود. رابطه زیر قضیه احتمال کل را معرفی می‌کند که امکان ترکیب این داده‌ها را فراهم می‌آورد.

$$P(IM > x) = \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x | m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (۱۴-۳)$$

در این معادله، $P(IM > x | m, r)$ از مدل جنبش زمین نتیجه می‌شود و $f_M(m)$ و $f_R(r)$ توابع چگالی احتمال برای بزرگی و فاصله هستند. به این ترتیب تمام بزرگاها و فاصله‌های در نظر گرفته شده با هم جمع می‌شوند. انتگرال موجب افزایش احتمال فزونی مرتبط با همه بزرگاها و فاصله‌های ممکن می‌شود. این معادله احتمال فزونی زمین لرزه را می‌دهد و اطلاعاتی در مورد اینکه هر چند وقت یکبار زمین لرزه در چشمه‌ی مورد نظر رخ می‌دهد را شامل نمی‌شود. با تغییری کوچک می‌توان نرخ $IM > x$ را به جای احتمال آن به دست آورد

$$\lambda(IM > x) = \lambda(M > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x | m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (۱۵-۳)$$

در این معادله، $\lambda(M > m_{min})$ نرخ زلزله‌های رخ داده بزرگ‌تر از m_{min} چشمه، و $\lambda(IM > x)$ احتمال رخداد سالیانه $IM > x$ است. برای عمومیت دادن به تحلیل، به بررسی مواردی با بیش از یک

چشمه می پردازیم. با توجه به این که نرخ $IM > x$ برای همه‌ی چشمه‌ها، مجموع نرخ تک تک چشمه‌ها محسوب می‌شود. می توان نوشت:

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n \text{ sources}} \lambda(M_i > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x | m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dr dm \quad (۱۶-۳)$$

می توانی توزیع پیوسته برای M و R را به جمع گسسته به صورت زیر تبدیل نمود:

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n \text{ source}} \lambda(M_i > m_{min}) \sum_{j=1}^{nM} \sum_{k=1}^{nR} P(IM > x | m_j, r_k) P(M_i = m_j) P(R_i = r_k) \quad (۱۷-۳)$$

در این رابطه حدود M_i و R_i با گسسته‌سازی به ترتیب به بازه‌های nM و nR تبدیل شده‌اند. این معادله اطلاعات مربوط به نرخ رخداد زمین‌لرزه‌ها، بزرگای ممکن و فاصله از زمین‌لرزه‌ها و توزیع شدت جنبش زمین نسبت به این زمین‌لرزه‌ها در برمی گیرد [۳۱].

۳-۱۰ تاریخچه مربوط به نرم افزارهای تحلیل خطر احتمالاتی

اولین کدهای رایانه‌ای به منظور انجام تحلیل خطر احتمالاتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ و توسط Mc Guire در سال ۱۹۷۶ با نام EQRISK و در سال ۱۹۷۸ با نام FRISK ارائه شدند. در دهه‌های بعدی، گروه‌های تحقیقاتی چند نرم‌افزار باز یا آزادانه در دسترس را منتشر کردند. از نمونه‌ی این نرم‌افزارها می‌توان به گروه نرم‌افزارهای Seisrisk اشاره کرد که در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۷ نسخه‌های ۲ و ۳ آن توسط Bender و Perkins ارائه شدند. نرم‌افزار Crisis توسط Ordaz و همکاران، کدهای فرتن که اخیراً در حین تهیه‌ی نقشه‌های تحلیل خطر ملی در آمریکا توسط USGS، EQHAZ که براساس الگوی شبیه-سازی مونت کارلو توسط Assatourianz و Aktinson در ۲۰۱۳ و Open sha که توسط Field و همکاران در ۲۰۰۳، نمونه‌هایی از نرم‌افزارهای ارائه شده هستند که سهم مهمی در پیشرفت برآورد خطر زمین‌لرزه و در نتیجه بهبود راهکارهای مقابله با این خطر در بسیاری از کشورهای جهان داشته است [۳۳].

۳-۱۱ معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده برای برآورد تحلیل خطر احتمالاتی

در این مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS، KIJKO و R-Crisis برای فرآیند تحلیل خطر احتمالاتی استفاده شده است.

۳-۱۱-۱ نرم افزار Arc Gis

نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی که مجموعه‌ای قوی از امکانات و قابلیت‌ها بوده که به اخذ و ذخیره‌سازی و سپس تحلیل و پردازش داده‌ها می پردازد. مهم‌ترین مرحله در این نرم افزار، ورود اطلاعات است. در GIS دو بخش اطلاعات مکانی (نشان‌دهنده موقعیت و شکل عوارض) و توصیفی (بیانگر ویژگی‌ها و خصوصیات عوارض) موجود در یک نقشه به‌طور مستقل ولی مرتبط وارد می گردد. هدف نهایی در GIS ایجاد یک مدل سه بعدی از دنیای واقعی است چرا که این نرم‌افزار به دلیل مختصات‌دار بودنش، هر عارضه‌ای را که ترسیم می کند با همان مختصات در طبیعت قابل تطابق، دسترسی و مشاهده است. در این مطالعه از این نرم‌افزار برای پیدا کردن مختصات شاهرود با استفاده از طول و عرض جغرافیایی و نشان دادن آن روی نقشه گسل‌های ایران، نشان دادن زلزله‌های دستگاهی و تاریخی با استفاده از مختصات مکانی وقوع آن‌ها، رسم چشمه‌های سطحی و گرفتن خروجی مختصات این چشمه‌ها جهت استفاده در نرم‌افزار R-Crisis و رسم نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زلزله استفاده شده است.

۳-۱۱-۲ نرم افزار Kijko

این نرم‌افزار از نرم‌افزارهای تحلیل خطر می باشد که پارامترهای زمین‌لرزه‌ای λ (نرخ وقوع سالیانه بزرگا)، β (میزان فعالیت لرزه‌خیزی) و M_{max} (حداکثر زلزله قابل انتظار و یا به عبارت دیگر حداکثر بزرگا زمین‌لرزه که یک گسل توان تولید آن را دارد) برای چشمه‌های مشخص شده محاسبه می کند. از خرجی به دست آمده در این نرم‌افزار ر تحلیل خطر و به عنوان یک ورودی برای چشمه‌های لرزه‌ای در نرم‌افزار R-Crisis مورد استفاده قرار می گیرد. کاتالوگ زلزله‌ها تحت فرمت txt و با نرم‌افزار Notepad تهیه می شوند که به عنوان فایل ورودی به نرم‌افزار معرفی می شوند. این نرم‌افزار زلزله‌ها را در قالب دو

دسته به عنوان ورودی می گیرد. دسته اول زلزله‌های دستگاهی و دسته دوم زلزله‌های تاریخی می باشند.

۳-۱۱-۳ نرم افزار R-Crisis

یک نرم‌افزار مبتنی بر ویندوز است که توانایی انجام تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالی (PSHA) را با امکان انتخاب مدل‌های مختلف لرزه‌خیزی و هندسی فراهم می کند. این برنامه با در نظر گرفتن احتمال وقوع زلزله، ویژگی‌های کاهندگی و توزیع جغرافیایی زمین لرزه‌ها، محاسبات را انجام می دهد. نتایج خطر لرزه‌ای عمدتاً برای هر مکان محاسبه می شود و احتمال وقوع زلزله با شدت‌های مختلف و نقشه خطر زلزله را در دوره‌های مختلف زمانی می دهد.

۳-۱۲-۳ معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده در بخش آنالیز پاسخ زمین

در این مطالعه از نرم‌افزار seismo Artif و Deep soil برای فرآیند آنالیز پاسخ زمین استفاده شده است.

۳-۱۲-۳ نرم‌افزار seismo Artif

نرم‌افزاری برای ایجاد حرکات زلزله مصنوعی منطبق با یک طیف پاسخ خاص و با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه و فرضیه‌های گوناگون می باشد. این برنامه قادر به خواندن شتاب و شدت حرکات زمین لرزه و طیف‌های ذخیره شده در فرمت‌های متنی مختلف می باشد. سپس از این مجموعه سوابق و رکورد‌های مربوط به حرکات زمین و طیف‌ها در مرحله شبیه‌سازی استفاده می شود.

در این مطالعه از الگوریتم Hallodorsen و Papageogiou استفاده شده است. الگوریتم رویکرد مدلسازی تصادفی، که از یک مدل لرزه‌نگاری برای توصیف دامنه‌های طیفی حرکت زمین و ارتباط آن با اندازه زلزله استفاده می کند [۳۴].

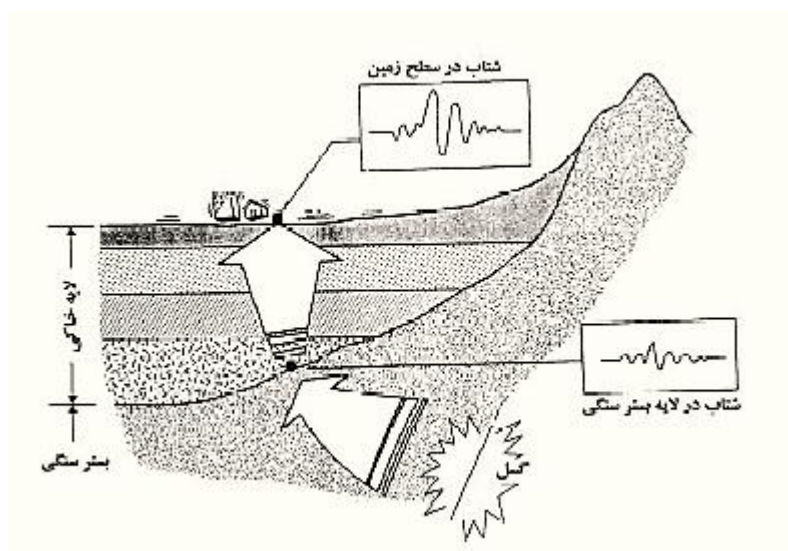
۳-۱۲-۳ نرم‌افزار Deep soil

برنامه Deep soil در بررسی پروفیل خاک در شرایط مختلف و تحت زلزله‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان آنالیز در حوزه فرکانس که شامل حالت (خطی و خطی معادل) و در حوزه زمان که شامل حالت (خطی و غیرخطی) می‌باشد را با آن انجام داد.

۳-۱۳ تحلیل یک بعدی پاسخ زمین

۳-۱۳-۱ مقدمه

هنگامی که یک گسل در زیر سطح زمین گسیخته می‌شود، امواج زلزله از منبع به تمام جهات منتشر می‌شوند. هنگامی که این امواج به مرز بین لایه‌های مختلف زمین می‌رسند، منعکس و منکسر می‌شوند. با توجه به اینکه معمولا سرعت موج برشی در لایه‌های بالایی زمین کمتر از لایه‌های زیرین است لذا با توجه به روابط مربوط به انکسار امواج، حرکات زلزله بطور تقریبا عمود به سطح زمین می‌رسند شکل (۳-۵). با توجه به اینکه تحلیل‌های انجام گرفته بصورت یک بعدی می‌باشد لذا فرضیاتی چون افقی بودن لایه‌های خاک و امتداد آنها تا بینهایت، انتشار قائم امواج SH و مسطح بودن سطح زمین و سنگ بستر برقرار می‌باشد [۱].



شکل (۳-۵) روند انکسار که سبب انتشار امواج تقریبا عمودی به سطح زمین می‌شوند [۱].

۳-۱۳-۲ روش‌های تحلیل پاسخ زمین

روش خطی: در این روش با استفاده از یک تابع تبدیل ویژگی‌های حرکتی و نیرویی براساس یکی از ویژگی‌های حرکتی سنگ بستر تعیین می‌شود. این روش براساس اصل جمع آثار قوا استوار است، لذا حرکت سنگ بستر که به صورت شتاب نگاشت ارائه می‌شود قابل تبدیل به سری فوریه است. این سری فوریه را می‌توان با استفاده از تابع تبدیل مورد اشاره به سری فوریه حرکت سطح زمین تبدیل کرد. بنابراین تابع تبدیل میزان تشدید و یا میرایی حرکت سنگ بستر وقتی به سطح زمین می‌رسد را به راحتی مشخص می‌کند [۱].

روش خطی معادل: از آنجاییکه رفتار غیر خطی خاک به خوبی شناخته شده است، لذا جهت تعیین پاسخ منطقی زمین در مسائل عملی روش خطی باید اصلاح گردد. رفتار واقعی غیر خطی هیسترتیک تنش- کرنش خاک‌های بارگذاری شده به صورت سیکلی را می‌توان با در نظر گرفتن خواص معادل خطی خاک تعیین نمود. مدول برشی معادل خطی، G ، عموماً به صورت مدول برشی سکانت و ضریب میرایی معادل خطی، β ، به صورت ضریب میرایی که اتلاف انرژی یکسانی با آن چه که منحنی هیسترتیک زیس متعلق به یک سیکل واقعی ایجاد می‌نماید، در نظر گرفته می‌شوند [۱].

روش غیر خطی: تحلیل پاسخ غیر خطی واقعی توده خاک با بهره‌گیری از انتگراسیون مستقیم عددی در حوزه‌ی زمان می‌باشد. با انتگرال‌گیری از معادله‌ی حرکت در گام‌های کوتاه‌زمان، هر مدل تنش-کرنش خطی یا غیر خطی یا مدل رفتاری پیچیده‌ای را می‌توان حل نمود. در ابتدای هر گام زمانی به رابطه‌ی تنش-کرنش رجوع شده تا خصوصیات مناسب خاک که بایستی در آن گام زمان به کار روند مشخص گردد. با این روش یک رابطه‌ی تنش-کرنش غیر خطی الاستیک را می‌توان در یک مجموعه گام‌های رشد کوچک خطی به کار برد [۱].

۳-۱۳-۲-۱ تحلیل پاسخ زمین در حوزه فرکانس با استفاده از روش خطی معادل

در این روش رفتار غیرخطی خاک توسط روش خطی معادل در نظر گرفته می شود. که مهم ترین روش تحلیل پاسخ زمین در حوزه فرکانس روش توابع انتقال می باشد که در ادامه شرح داده می شود [۳۵]. معادله حرکت یک بعدی برای انتشار عمودی امواج برشی از یک محیط به صورت زیر می باشد:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (۱۸-۳)$$

که در آن ρ چگالی، τ تنش برشی، u جابه جایی و z عمق زیر سطح زمین می باشد. رفتار تنش- کرنش خاک توسط مدل Kelvin-Voigt به صورت زیر مدل سازی می شود [۱]:

$$\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t} \quad (۱۹-۳)$$

که در γ کرنش برشی و η ویسکوزیته می باشد. با جایگذاری معادله (۱۹-۳) در معادله (۱۸-۳) خواهیم داشت:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (۲۰-۳)$$

۳-۱۳-۲-۱-۱ حالت خاک چند لایه بر روی بستر سنگی الاستیک

در حالی که مدل های یک لایه یکنواخت الاستیک برای تشریح اثر شرایط خاک بر خصوصیات متعدد زمین مفید هستند اما بندرت برای تحلیل مسائل عملی پاسخ زمین مناسب می باشند. مسائل واقعی پاسخ زمین معمولاً شامل توده های خاکی با لایه های دارای سختی و میرایی متفاوت بوده که انرژی الاستیک موج در مرز بین لایه ها منعکس و منتقل می شود. لذا باید توابع تبدیل برای چنین شرایطی محاسبه و بدست آید.

معادله (۲۰-۳) برای یک موج هارمونیک و برای یک ستون خاک چند لایه بصورت زیر حل می گردد:

با توجه به شکل (۳-۶) و با در نظر گرفتن محور مختصات محلی Z برای هر لایه، جابجایی در بالا و پایین هر لایه برابر خواهد بود با:

$$u(z_m = 0, t) = u_m(A_m + B_m)e^{i\omega t} \quad (۳-۲۱)$$

$$u(z_m = h_m, t) = u_{m+1} = (A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (۳-۲۲)$$

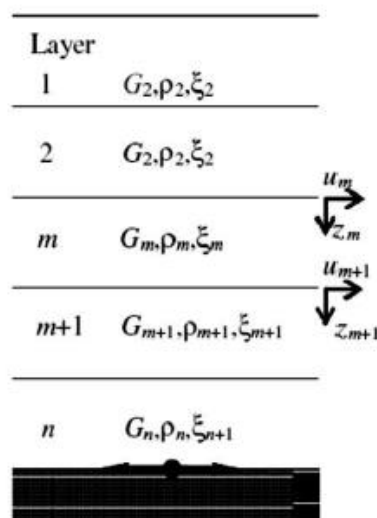
A_m و B_m دامنه امواج منتشرشونده به سمت بالا ($-Z$) و پایین ($+Z$) و h_m ضخامت هر لایه می باشد. با اعمال شرایط مرزی برای کل لایه خواهیم داشت:

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (۳-۲۳)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (۳-۲۴)$$

$$\alpha_{m+1}^* = \frac{\rho_m v_{sm} (1 + i\xi_m)}{\rho_{m+1} v_{sm+1} (1 + i\xi_{m+1})} \quad (۳-۲۵)$$

تغییر مکان در هر لایه i به آسانی از روی تغییر مکان لایه j به کمک تابع انتقال TF_{ij} به صورت زیر قابل محاسبه است [۱]:



شکل (۳-۶) ستون خاک چند لایه بر روی بستر سنگی الاستیک [۱]

$$TF_{ij}(\omega) = \frac{|u_i|}{|u_j|} = \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)} \quad (26-3)$$

که در آن

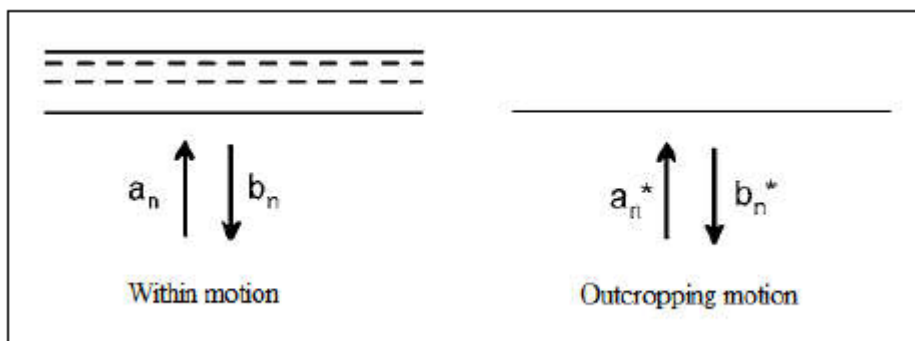
$$A_m = a_m(\omega)A_1 \quad (27-3)$$

$$B_m = b_m(\omega)B_1 \quad (28-3)$$

با توجه به این که حرکات هارمونیک $|\ddot{u}| = \omega|\dot{u}| = \omega^2|u|$ برقرار می باشد لذا از تابع انتقال برای محاسبه سرعت و شتاب نیز می توان استفاده نمود.

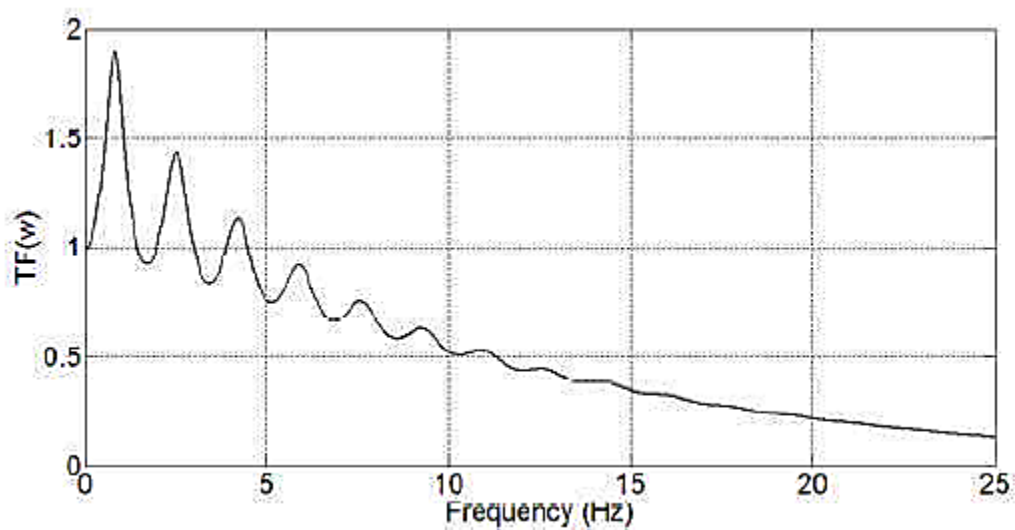
همانند حالت خاک تک لایه، محاسبه توابع انتقال خاکهای چند لایه در سطح بستر سنگی در حالتی که خاک بر روی بستر سنگی وجود دارد با حالتی که وجود ندارد متفاوت می باشد. چنانچه بستر سنگی در سطح قرار داشته باشد دامنه موج برگشتی به سطح برابر با دامنه موج برخوردی می باشد یعنی $a_n^* = b_n^*$ اما در حالتی که لایه خاکی بر روی بستر سنگی قرار داشته باشد به دلیل عبور بخشی از موج برخوردی به داخل لایه خاکی، امکان انعکاس کامل موج ورودی وجود نداشته و لذا $b_n = b_n^*$.

بنابراین چنانچه شتاب اعمالی از نوع رخنمون باشد باید در بستر سنگی از رابطه $TF_{ij} = \frac{a_i(\omega)+b_i(\omega)}{2a_i(\omega)}$ استفاده نمود و اگر در عمق ثبت شده باشد از رابطه $TF_{ij} = \frac{a_i(\omega)+b_i(\omega)}{a_j(\omega)+b_j(\omega)}$ استفاده می شود شکل (3-3). [35] (7)



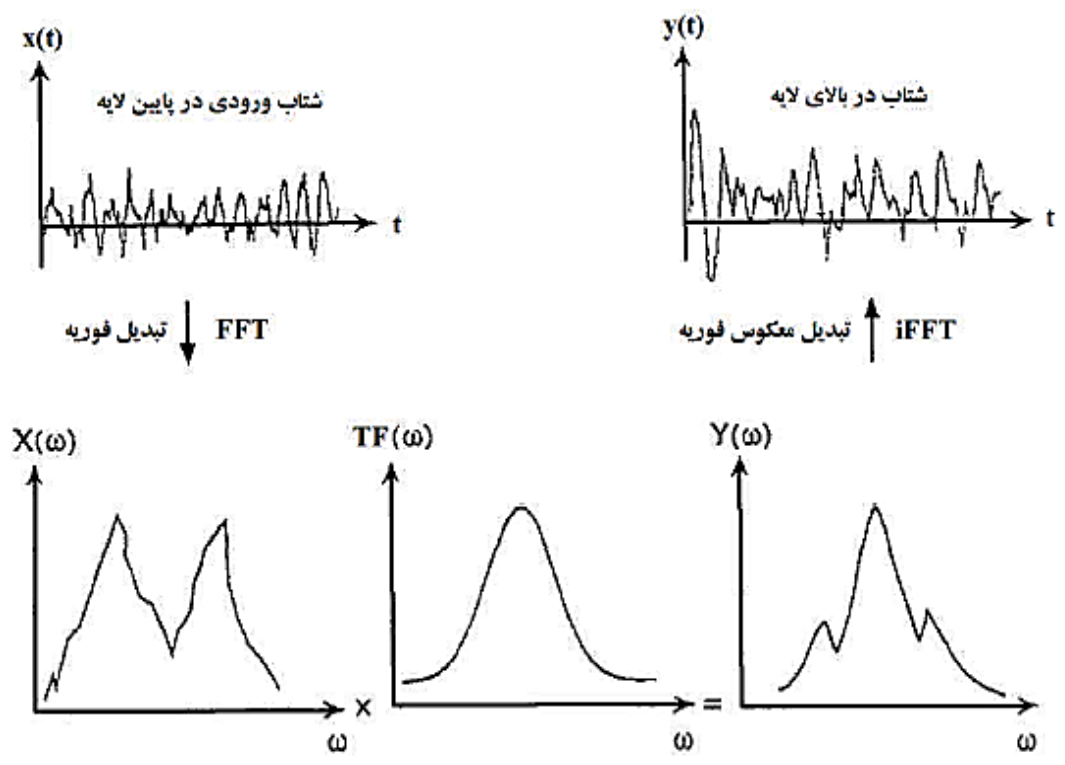
شکل (3-7) انواع حرکت ورودی زلزله [35]

شماتیک یک تابع انتقال بصورت شکل (۸-۳) می باشد. با توجه به شکل (۸-۳) مشاهده می شود که در فرکانسهای کمتر از ۵ هرتز تشدید در دامنه حرکت صورت می گیرد و در فرکانس های بالای ۵ هرتز تقلیل انجام می شود. اما اینکه در چه زمانی از شروع زلزله تشدید و تقلیل روی می دهد قابل تشخیص نیست. این مساله بخصوص در بحث وقوع روانگرایی و پیش بینی زمان آن بسیار با اهمیت می باشد و نیاز به روش های تحلیل در حوزه زمان و فرکانس بطور همزمان را مشخص می سازد [۳۶].



شکل (۸-۳) شماتیک تابع انتقال [۳۶]

با توجه به اینکه شتاب ورودی تابع زمان و توابع انتقال بر حسب فرکانس می باشند لذا جهت اعمال توابع انتقال باید ابتدا شتاب در پایین لایه موردنظر توسط تبدیل فوریه به فضای فرکانسی منتقل شود و بصورت یک سری فوریه بدست آید. سپس هر جمله از سری فوریه شتاب اعمالی در تابع انتقال آن لایه ضرب شده و با گرفتن معکوس تبدیل فوریه از سری فوق، تاریخچه زمانی شتاب در بالای لایه فوق بدست می آید. خلاصه روند فوق به صورت شماتیک در شکل (۹-۳) نشان داده شده است [۱].



شکل (۳-۹) شماتیک استفاده از توابع انتقال [۱]

فصل چهارم

نحوه مدل‌سازی، مقایسه و تفسیر نتایج

۴-۱ نتایج مربوط به مراحل تحلیل خطر احتمالاتی

تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی این امکان را فراهم می‌کند که تمام زمین‌لرزه‌های آسیب‌رسان در هر فاصله‌ای در گستره طرح مورد بررسی قرار گیرد. مواردی مانند اختصاص لرزه‌خیزی متناسب با هر چشمه زمین‌لرزه در این روش امکان‌پذیر است. همچنین در روش احتمالاتی دوره‌های بازگشت لرزه‌خیزی هم مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۱-۱ کاتالوگ زلزله

کاتالوگ زلزله‌ها شامل دو دوره (زلزله‌های تاریخی) قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی و زلزله‌های (دستگاهی) بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی می‌باشد.

۴-۱-۱-۱ کاتالوگ نهایی زلزله‌های دستگاهی

کاتالوگ نهایی زلزله‌های دستگاهی پس از حذف زلزله‌های وابسته به روش جدول (۳-۱) و همسان‌سازی زلزله‌ها با استفاده از روابط (۳-۲) تا (۳-۵)، به صورت جدول (۴-۱) به دست می‌آید.

برای بازه‌های زمانی مختلف میزان عدم قطعیت بزرگای زمین‌لرزه‌ها به شرح زیر است:

از سال ۶۲۱ تا ۱۵۰۰ میلادی = 0.4 ، از سال ۱۵۰۱ تا ۱۹۰۰ میلادی = 0.3 ، از سال ۱۹۰۱ تا ۱۹۶۳

میلادی = 0.2 و از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۸ میلادی = 0.1

جدول (۴-۱) کاتالوگ نهایی زلزله‌های دستگاهی

Longitude	Latitude	Date	Mw	عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه‌ها
54.9	36.5	1/2/1903	5.4	0.2
54.31	36.94	10/24/1917	5.6	0.2
55	35.5	7/3/1924	5.2	0.2
55	35.5	4/14/1928	5.2	0.2
55.4	37.4	4/26/1928	5.2	0.2
53.5	36.5	5/20/1932	5.6	0.2
53.32	36.36	4/11/1935	7.6	0.2
54	35.9	4/15/1935	5	0.2
53.5	36.3	4/17/1935	4.6	0.2
54.4	37.3	9/8/1935	4.9	0.2

Longitude	Latitude	Date	Mw	عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه‌ها
54.56	35.45	4/6/1939	5.6	0.2
55	37.5	5/4/1940	4.2	0.2
55	35.3	4/18/1942	4.5	0.2
54.5	36.7	4/5/1944	5.7	0.2
54.8	36	4/5/1944	4.7	0.2
55	37	9/26/1947	4.9	0.2
55.16	37.16	11/5/1949	5.6	0.2
56	37	7/20/1950	4.8	0.2
53.4	36.6	5/20/1952	5.6	0.2
54.33	36.65	10/9/1952	5.1	0.2
55.08	35.39	2/12/1953	7.7	0.2
54.7	35.6	2/13/1953	4.5	0.2
55.2	35.5	4/1/1953	4	0.2
54.41	36.83	4/18/1953	5	0.2
55.1	35.9	7/11/1953	4.5	0.2
55.4	36.8	7/24/1953	4.5	0.2
55	35.5	7/24/1953	4.7	0.2
54.5	36	8/24/1953	4.8	0.2
56	36.6	8/22/1955	5.1	0.2
56.4	37	5/4/1956	4.8	0.2
55.98	37.24	7/7/1956	5.1	0.2
55.6	37.4	6/9/1957	4.9	0.2
56.2	37.3	6/26/1958	4.9	0.2
54.47	37.41	10/6/1958	5.4	0.2
54.18	36.74	9/5/1961	4	0.2
54.25	37.46	3/19/1962	4.9	0.2
55.5	37	5/24/1962	4	0.2
54.8	36.6	7/8/1962	4.9	0.2
55.21	37.05	7/21/1962	4.9	0.2
54.8	36.6	7/28/1962	5.1	0.2
53.46	36.03	9/29/1962	4.9	0.2
54.79	36.55	12/8/1962	5.2	0.2
55.2	37.1	8/11/1963	4.4	0.2
55.1	37	10/24/1964	4	0.1
54.57	36.8	12/1/1964	4.7	0.1
55.34	36.8	12/3/1964	5.2	0.1
54.82	36.17	5/7/1965	4.7	0.1
56	36	11/28/1965	4	0.1
55.7	36.8	12/6/1965	4	0.1
53.7	36.7	2/3/1967	4.3	0.1
54.94	36.9	8/6/1967	4.6	0.1
53.89	36	11/10/1967	5.2	0.1
53.35	36.61	5/19/1968	4.7	0.1

Longitude	Latitude	Date	Mw	عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه‌ها
53.85	36.72	7/29/1968	5	0.1
53.49	35.8	12/12/1968	5.1	0.1
54.487	36.736	1/26/1969	4.8	0.1
55.12	36.71	9/25/1969	5.4	0.1
55.71	37.44	2/25/1970	5.2	0.1
54.697	37.065	4/3/1970	5.2	0.1
55.28	36.94	4/4/1970	4	0.1
55.87	37.52	7/30/1970	5	0.1
55.68	36.553	2/14/1971	5.7	0.1
54.984	36.887	3/16/1971	5	0.1
54.587	37.332	10/15/1971	5.4	0.1
53.457	36.211	2/23/1972	4.7	0.1
55.541	36.852	3/11/1974	4.1	0.1
55.121	36.352	11/26/1974	4.3	0.1
53.808	36.63	1/31/1976	4.2	0.1
54.306	36.69	4/16/1976	4.3	0.1
54.516	37.521	6/1/1976	4.4	0.1
55.264	36.999	5/2/1977	5.4	0.1
55.968	36.995	9/3/1977	4.7	0.1
54.991	36.702	11/9/1977	5.1	0.1
54.46	37.184	3/2/1978	4.7	0.1
55.616	37.075	6/8/1979	4.4	0.1
55.028	36.696	9/3/1979	4.3	0.1
55.843	37.043	10/2/1979	4.4	0.1
56.26	36.858	7/23/1980	5	0.1
54.653	37.254	4/27/1981	4.1	0.1
55.218	36.855	8/9/1981	5.1	0.1
54.485	36.376	1/9/1982	4.2	0.1
53.678	36.127	2/5/1982	4.6	0.1
54.071	35.472	5/15/1982	4.6	0.1
55.11	36.694	1/7/1983	4.2	0.1
55.215	36.96	9/23/1983	4.4	0.1
54.939	36.617	5/11/1984	5.1	0.1
55.357	37.157	6/15/1984	4.4	0.1
54.791	36.526	8/1/1984	4.3	0.1
55.348	36.881	6/27/1985	4.4	0.1
53.712	36.274	7/8/1985	4.8	0.1
55.214	36.883	8/22/1985	4.3	0.1
53.679	36.011	3/26/1986	4.7	0.1
56.192	37.004	12/26/1986	4.6	0.1
54.398	37.272	1/13/1988	5.1	0.1
54.225	37.242	9/13/1989	5.4	0.1
54.551	35.91	2/16/1990	5	0.1

Longitude	Latitude	Date	Mw	عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه‌ها
56.269	37.065	8/18/1990	5.1	0.1
54.713	36.587	10/31/1990	4.3	0.1
55.669	37.117	11/25/1991	4.8	0.1
56.077	35.579	1/25/1992	4.8	0.1
55.23	36.962	9/9/1992	5.1	0.1
54.826	36.746	6/19/1993	4.6	0.1
55.226	36.877	7/9/1993	4.1	0.1
53.775	36.547	10/18/1993	4.6	0.1
54.815	36.852	3/15/1994	4.4	0.1
54.423	37.426	7/11/1994	4.8	0.1
54.349	37.323	7/23/1994	4.8	0.1
53.41	35.969	11/23/1995	4	0.1
54.904	36.917	12/30/1995	4.3	0.1
54.752	36.873	2/17/1997	4.2	0.1
54.097	36.832	9/16/1997	4.4	0.1
54.481	36.271	11/3/1997	4.6	0.1
53.541	35.824	1/24/1998	4.1	0.1
54.592	36.076	12/10/1998	4	0.1
54.648	36.157	8/10/1999	4.4	0.1
54.405	37.324	11/19/1999	5.4	0.1
54.896	36.953	11/26/1999	5.3	0.1
53.573	36.448	12/9/1999	4.6	0.1
56.497	36.412	6/4/2000	4.4	0.1
54.79	35.943	7/3/2000	4.1	0.1
54.366	36.706	8/16/2000	4.9	0.1
56.149	37.11	5/11/2001	4.4	0.1
55.16	37.59	7/26/2001	4.2	0.1
55.33	36.88	8/25/2001	4.9	0.1
54.048	36.153	6/28/2002	4.2	0.1
54.67	36.9	9/17/2002	4.1	0.1
56.311	37.069	11/27/2002	4.1	0.1
55.28	37.48	3/12/2003	4.1	0.1
54.423	37.36	3/30/2003	5.2	0.1
54.902	37.102	3/7/2004	4.3	0.1
55.045	36.745	3/24/2004	4.4	0.1
55.732	36.835	4/13/2004	4	0.1
53.601	36.14	6/4/2004	4.1	0.1
54.35	35.32	9/2/2004	4.5	0.1
54.58	37.4	10/7/2004	6.1	0.1
56.35	37.01	10/16/2004	4.4	0.1
54.58	37.38	1/10/2005	5.6	0.1
54.35	37.11	8/26/2005	4.6	0.1
54.69	37.59	11/29/2005	5.2	0.1

Longitude	Latitude	Date	Mw	عدم قطعیت بزرگای زمین لرزه‌ها
54.05	37.46	6/16/2006	4.6	0.1
55.6	37.67	11/11/2006	4.4	0.1
54.93	36.62	12/20/2007	4.5	0.1
54.57	37.21	1/6/2008	4.7	0.1
55.54	37.04	3/18/2008	4.5	0.1
54.1	37.34	8/23/2009	4.4	0.1
55.38	36.87	9/29/2009	4.4	0.1
54.3	37.39	3/4/2010	4.8	0.1
54.49	35.46	8/27/2010	5.9	0.1
55.74	36.56	2/8/2011	4.6	0.1
54.81	36.56	8/11/2011	4.9	0.1
54.53	37.18	2/29/2012	4.6	0.1
54.62	37.11	12/19/2012	4.5	0.1
53.69	36.19	3/21/2013	5	0.1
53.47	36.07	7/24/2013	4.6	0.1
56.09	36.92	7/27/2013	4.4	0.1
54.03	37.37	3/31/2014	4.5	0.1
55.12	37.04	6/13/2014	4.6	0.1
54.78	36.55	9/6/2014	4.9	0.1
53.95	36.96	12/5/2014	4.4	0.1
54.52	37.18	1/5/2015	4.6	0.1
54.19	36.29	3/2/2015	4.4	0.1
55.284	36.348	8/17/2015	4.6	0.1
55.151	36.861	8/24/2015	4.4	0.1
54.352	37.322	9/15/2015	4.9	0.1
54.889	36.767	12/2/2016	4.4	0.1
55.871	36.997	12/27/2016	4.9	0.1
54.926	36.708	3/12/2017	4.4	0.1
54.466	37.287	4/22/2017	4.4	0.1
53.96	36.165	6/22/2017	4.7	0.1
55.272	36.848	8/22/2017	4.6	0.1
55.341	36.797	2/17/2018	4.6	0.1
54.835	36.079	7/6/2018	4.7	0.1
55.018	36.709	8/10/2018	4.6	0.1

۴-۱-۱-۲ کاتالوگ زلزله‌های تاریخی

این کاتالوگ از مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران با توجه مختصات شعاع در نظر گرفته جمع‌آوری شده است جدول (۴-۲).

جدول (۲-۴) کاتالوگ زلزله‌های تاریخی

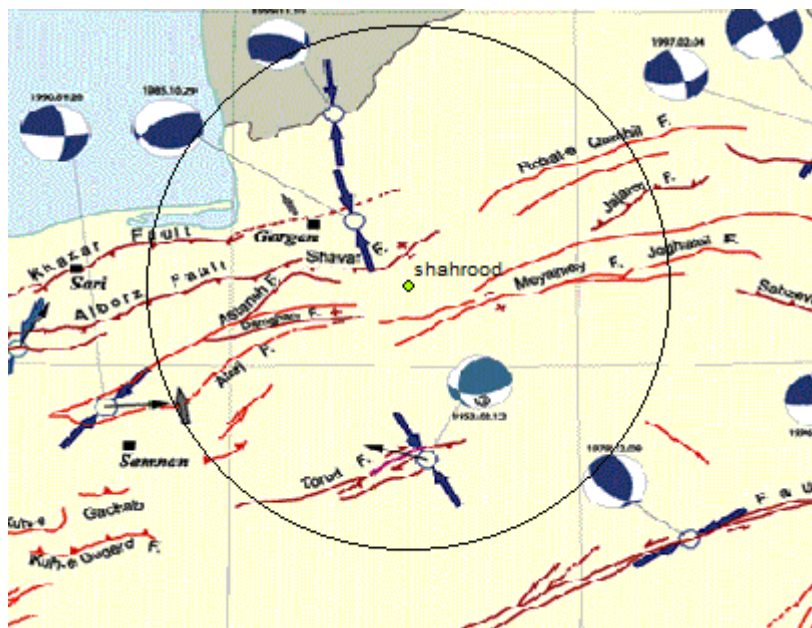
Date	Longitude	Lattitude	Ms	عدم قطعیت بزرگای زمین‌ارزه‌ها
856 12 22	54.3	36.2	7.9	0.4
859	54.3	36.2		0.4
874 11~12	55.28	37.16	6	0.4
1102	54.1	36.3		0.4
1127	53.6	36.3	6.8	0.4
1301	53.2	36.1	6.7	0.4
1436	55.2	37.2	5.3	0.4
1463	55.28	37.16	5.3	0.4
1470	54.6	37.1	5.5	0.4
1498	55.2	37.2	6.5	0.4
1808 06 26	54.5	35.3	6.6	0.3
1852 04 25	54.3	35.9		0.3
1883 04 28	56.2	37	5.8	0.3
1890 07 11	54.6	36.6	7.2	0.3
1898 01 15	54.58	36.6	5.3	0.3

۲-۴ تعیین چشمه‌های لرزه‌ای

برای تعیین چشمه‌ها و به‌دست‌آوردن مختصات آن‌ها از نرم افزار Arc map استفاده شده است.

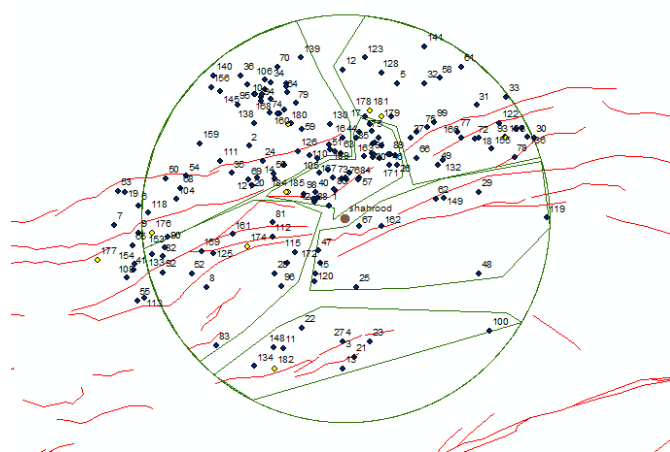
با توجه به قضاوت مهندسی و پراکندگی زلزله‌ها تمام چشمه‌ها به صورت سطحی در نظر گرفته شده است. و در این مطالعه تعداد چشمه‌های سطحی ۶ عدد انتخاب شده است.

مرحله اول: تصویر گسل‌های ایران را در نرم‌افزار Arc map ژئورفرنس می شود و بعد مختصات شاهرود با نرم‌افزار اکسل به برنامه معرفی می شود و در انتها یک شعاع ۱۵۰ کیلومتری به مرکزیت شاهرود زده می شود تا محدوده مورد نظر ما مشخص شود (شکل ۴-۱).



شکل (۱-۴) گسل‌های اطراف شاهرود در شعاع ۱۵۰ کیلومتری

- سپس فایل shp نقشه گسل‌های ایران به نرم‌افزار معرفی می‌شود. و مختصات زلزله‌های دستگامی و تاریخی با استفاده از نرم‌افزار اکسل به برنامه معرفی می‌شود و شعاع مورد نظر زده می‌شود و در انتها چشمه‌ها رسم می‌شود (شکل ۲-۴).



شکل (۲-۴) مدل‌سازی چشمه‌ها در نرم‌افزار Arc map

مرحله بعدی برداشت مختصات چشمه‌ها از نرم افزار Arc map و انتقال به اکسل جهت معرفی به نرم-افزار R-Crisis می‌باشد (جدول ۴-۳).

جدول (۴-۳) مختصات چشمه‌های سطحی

چشمه ۱	
Lon	Lat
54.049	35.26
54.525	35.612
54.84	35.761
56.197	35.713
56.308	35.643
54.335	35.07
54.049	35.26

چشمه ۲	
Lon	Lat
56.515	36.34
56.165	35.977
55.451	35.892
54.751	35.877
54.823	36.32
55.027	36.353
55.275	36.539
55.727	36.701
56.456	36.826
56.515	36.34

چشمه ۳	
Lon	Lat
53.945	35.356
54.272	35.582
54.668	35.946
54.839	36.453
54.725	36.496
54.629	36.535
54.34	36.546
53.533	36.183
53.575	35.991
53.661	35.764
53.801	35.527
53.945	35.356

چشمه ۴	
Lon	Lat
53.533	36.186
53.833	36.318
54.617	36.707
54.876	36.874
55.06	36.862
55.045	37.124
54.831	37.469
54.655	37.862
54.366	37.758
54.132	37.618
53.939	37.45
53.759	37.225
53.617	36.948
53.545	36.696
53.527	36.582
53.517	36.369
53.533	36.186

چشمه ۵	
Lon	Lat
56.447	36.858
55.514	36.659
55.389	37.084
55.112	37.172
54.928	37.528
55.164	37.899
55.358	37.867
55.571	37.8
55.791	37.691
55.978	37.557
56.147	37.392
56.255	37.252
56.311	37.163
56.408	36.966
56.447	36.858

چشمه ۶	
Lon	Lat
54.925	36.4
55.056	36.49
55.432	36.716
55.441	36.79
55.399	36.968
55.36	37.059
55.263	37.109
55.125	37.149
55.077	37.032
55.089	36.842
54.894	36.844
54.468	36.604
54.435	36.568
54.93	36.483
54.925	36.4

مرحله آخر: زلزله‌های دستگاهی و تاریخی هر چشمه تعیین می شود این جدول در پیوست قرار داده شده است.

۳-۴ تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از نرم‌افزار Kijko

مرحله اول: محاسبه مقادیر b برای معرفی به نرم‌افزار kijko برای هر چشمه به صورت جداگانه انجام شده است و در شکل (۳-۴) و (۴-۴) نشان داده شده است.

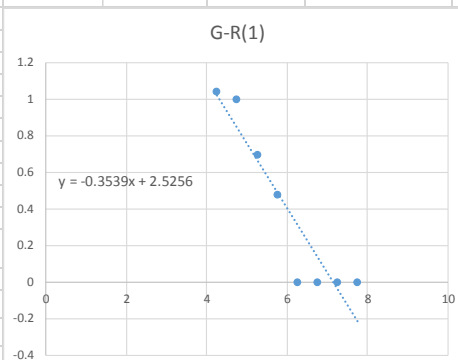
چشمه 1								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	1	5	2	2	0	0	0	1
Nm	11	10	5	3	1	1	1	1
Log(Nm)	1.041392685	1	0.69897	0.477121255	0	0	0	0

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.041392685
4.75	1
5.25	0.69897
5.75	0.477121255
6.25	0
6.75	0
7.25	0
7.75	0

$$\text{Log(Nm)}=a-bM$$

$$b=0.3539$$

$$a=2.5256$$



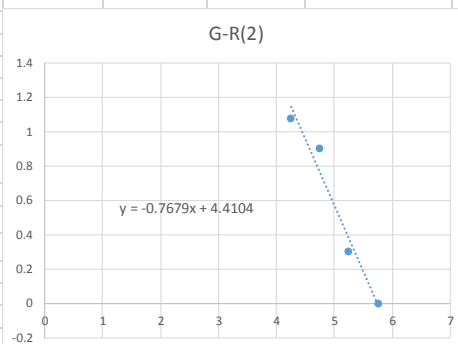
چشمه 2								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	4	6	1	1	0	0	0	0
Nm	12	8	2	1	0	0	0	0
Log(Nm)	1.079181246	0.903089987	0.30103	0				

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.079181246
4.75	0.903089987
5.25	0.30103
5.75	0

$$\text{Log(Nm)}=a-bM$$

$$b=0.7679$$

$$a=4.4104$$



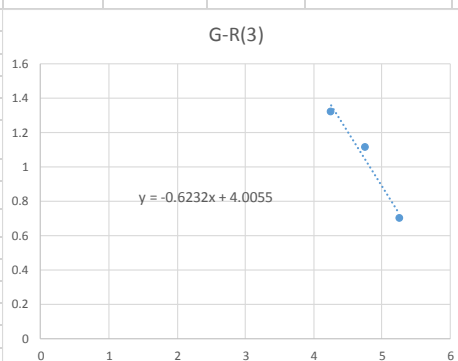
چشمه 3								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	8	8	5	0	0	0	0	0
Nm	21	13	5	0	0	0	0	0
Log(Nm)	1.322219295	1.113943352	0.69897					

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.322219295
4.75	1.113943352
5.25	0.69897

$$\text{Log(Nm)}=a-bM$$

$$b=0.6232$$

$$a=4.0055$$



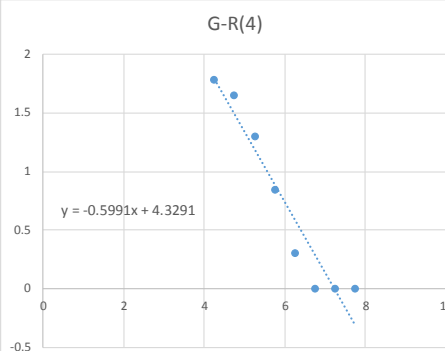
شکل (۳-۴) محاسبه‌ی مقدار b برای چشمه‌های ۱ تا ۳

چشمه 4								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	15	25	13	5	1	0	0	1
Nm	60	45	20	7	2	1	1	1
Log(Nm)	1.77815125	1.653212514	1.30103	0.84509804	0.30103	0	0	0

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.77815125
4.75	1.653212514
5.25	1.30103
5.75	0.84509804
6.25	0.30103
6.75	0
7.25	0
7.75	0

Log(Nm)=a-bM

b=0.5991
a=4.3291

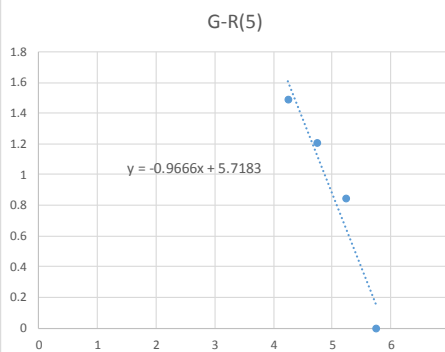


چشمه 5								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	15	9	6	1	0	0	0	0
Nm	31	16	7	1	0	0	0	0
Log(Nm)	1.491361694	1.204119983	0.84509804	0				

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.491361694
4.75	1.204119983
5.25	0.84509804
5.75	0

Log(Nm)=a-bM

b=0.9666
a=5.7183

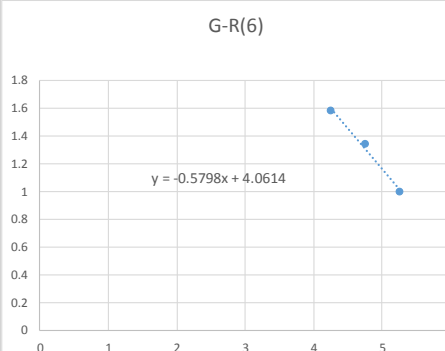


چشمه 6								
M	4- 4.5	4.5- 5	5- 5.5	5.5- 6	6- 6.5	6.5- 7	7-7.5	7.5-8
Mmid	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75
Number	16	12	10	0	0	0	0	0
Nm	38	22	10	0	0	0	0	0
Log(Nm)	1.579783597	1.342422681	1					

Mmid	Log(Nm)
4.25	1.579783597
4.75	1.342422681
5.25	1

Log(Nm)=a-bM

b=0.5798
a=4.0614



شکل (۴-۴) مقدار b برای چشمه‌های ۴ تا ۶

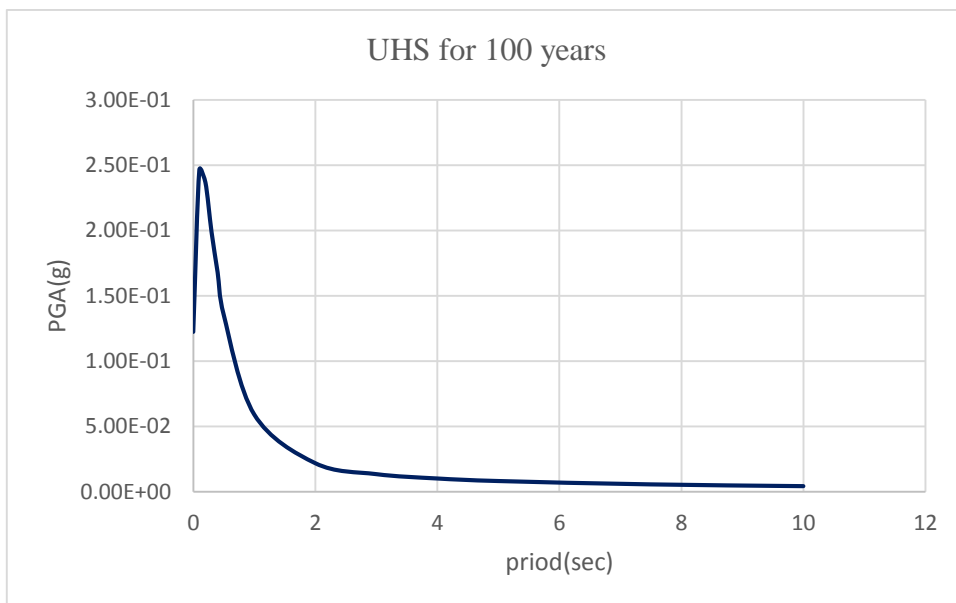
سپس در ادامه مقادیر λ ، β و M_{max} برای هر چشمه با استفاده از نرم افزار Kijko تعیین می شود که نتایج آن در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول (۴-۴) پارامترهای لرزه خیزی هر چشمه

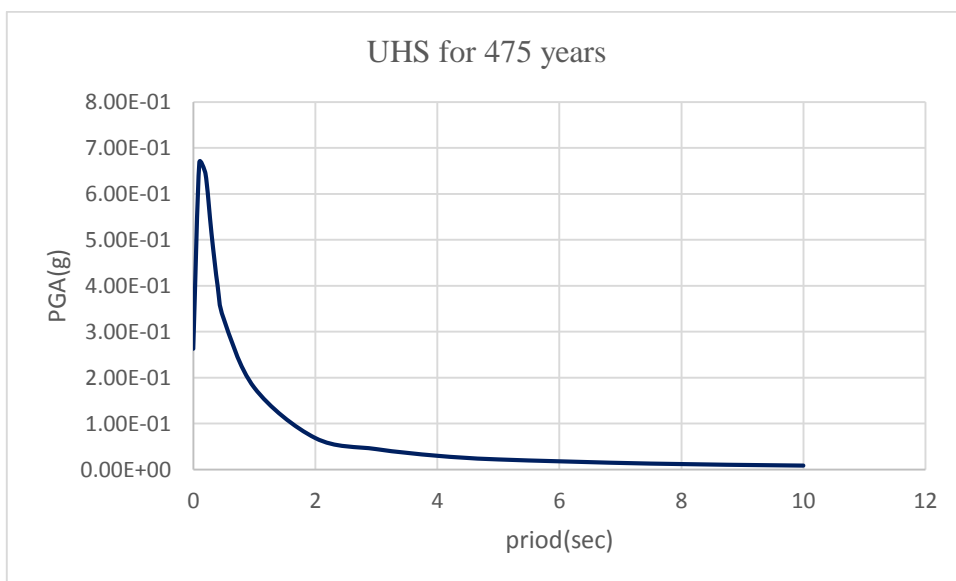
چشمه 1	چشمه 2	چشمه 3
$\beta=1.05$	$\beta=1.73$	$\beta=1.45$
Lambda=0.07 (for Min=3.99)	Lambda=0.1 (for Min=3.99)	Lambda=0.18 (for Min=3.99)
Mmax=7.9 (for SIG(Xmax)=0.2)	Mmax=6.8 (for SIG(Xmax)=0.1)	Mmax=8 (for SIG(Xmax)=0.4)
چشمه 4	چشمه 5	چشمه 6
$\beta=1.70$	$\beta=2.25$	$\beta=1.35$
Lambda=0.35 (for Min=3.99)	Lambda=0.2 (for Min=3.99)	Lambda=0.32 (for Min=3.99)
Mmax=7.5 (for SIG(Xmax)=0.2)	Mmax=6.9 (for SIG(Xmax)=0.4)	Mmax=7.3 (for SIG(Xmax)=0.3)

۴-۴ نتایج تحلیل خطر احتمالاتی با استفاده از نرم افزار R-Crisis

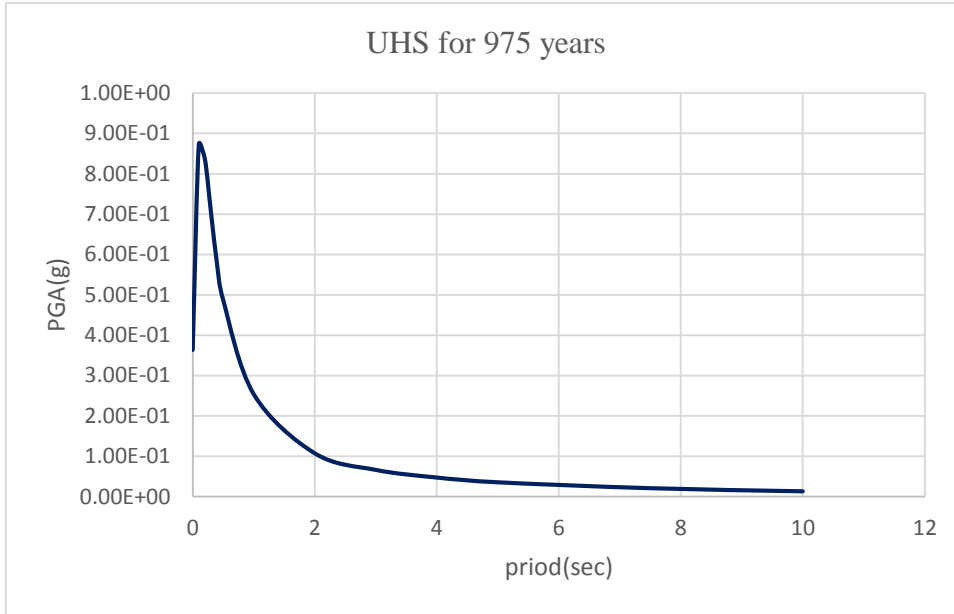
پارامترهای محاسبه شده و روابط کاهندگی به برنامه معرفی می شوند، با توجه به معرفی دو روابط کاهندگی به برنامه دوبار تحلیل خطر انجام می شود و در نهایت از طیف های خروجی نرم افزار میانگین گرفته می شود و طیف ویژه ساختگاه محدوده به دست می آید. نتایج مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰ سال و ۴۷۵ سال برای طراحی ساختمان های معمولی در شکل (۴-۵) و (۴-۶)، نتایج مربوط به دوره بازگشت ۹۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال برای طراحی ساختمان مدارس و بیمارستان ها در شکل (۴-۷) و (۴-۸) و نتایج مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال برای طراحی نیروگاه های اتمی در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. همچنین منحنی خطر زلزله در شکل (۴-۱۰) و نقشه ریزپهنه بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال در شکل (۴-۱۱) و (۴-۱۲) نشان داده شده است.



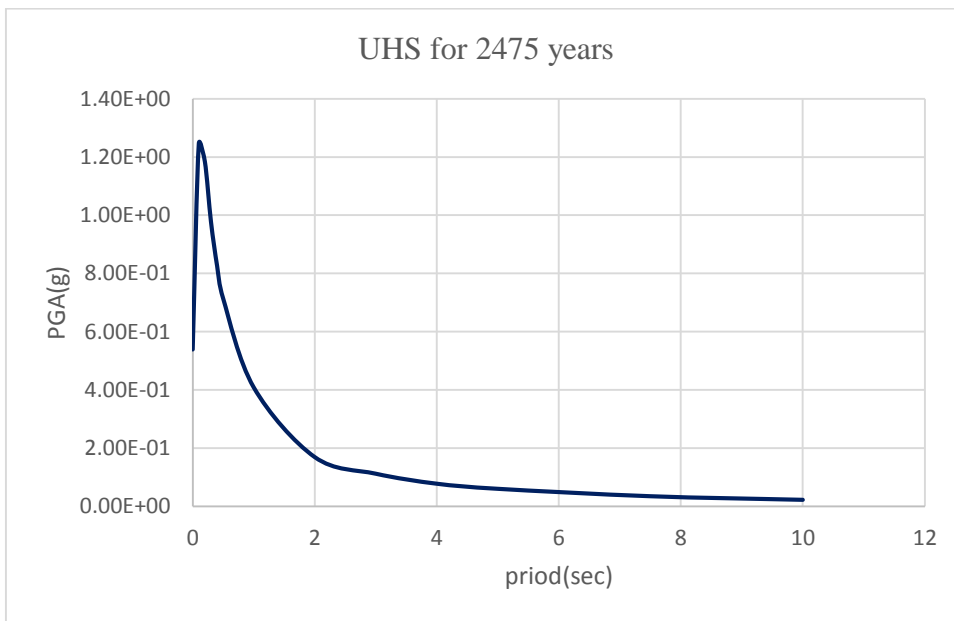
شکل (۴-۵) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختمانگاه برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال



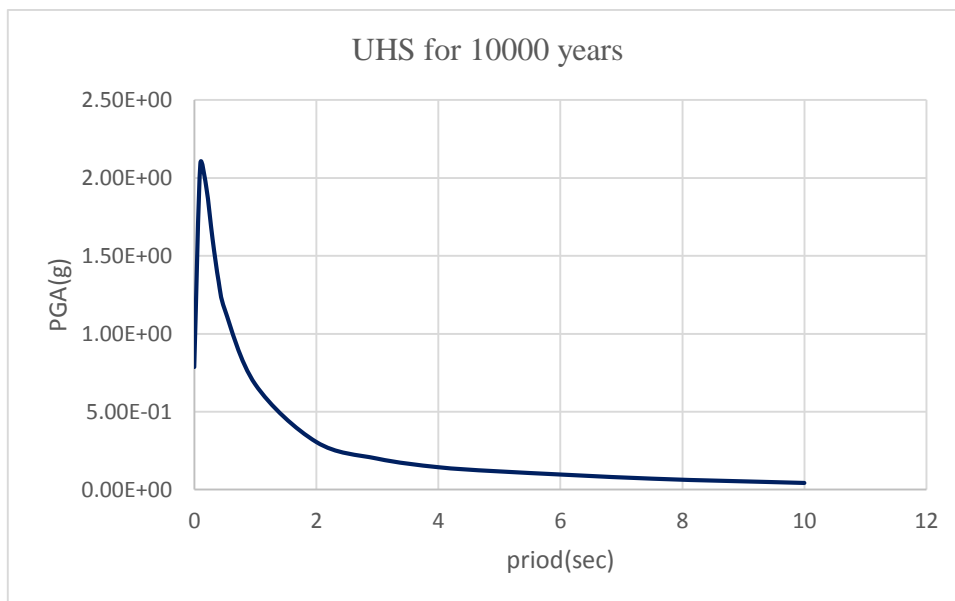
شکل (۴-۶) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختمانگاه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۷-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۹۷۵ سال



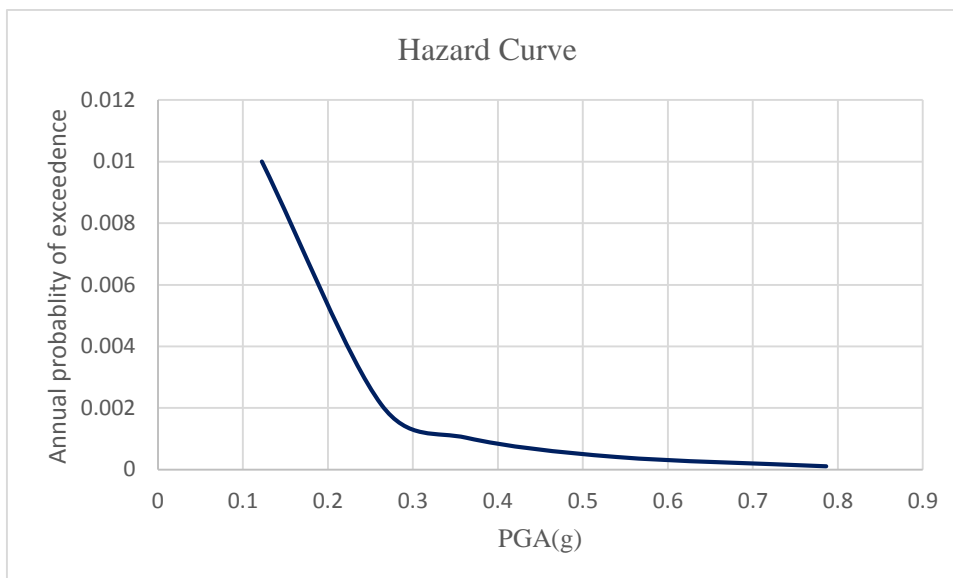
شکل (۸-۴) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختگاه برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۹) نمودار طیف ویژه پاسخ ساختمان برای دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال

مقادیر شتاب برای پریودهای مختلف برای یک سازه یک درجه آزادی با میرایی ۵٪ در نمودارها نشان داده شده است. شتاب مربوط به پریود صفر همان شتاب اعمالی بر سنگ بستر می‌باشد. که برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال مقدار آن $0.123g$ ، برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال مقدار آن $0.263g$ ، برای دوره بازگشت ۹۷۵ سال مقدار آن $0.364g$ ، برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال مقدار آن $0.539g$ و برای دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال مقدار آن $0.787g$ می‌باشد.

احتمال فراگذشت زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در طول عمر مفید ساختمان (۵۰ سال) برابر با ۳۹/۵٪، برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برابر با ۱۰٪، برای دوره بازگشت ۹۷۵ سال برابر با ۵٪، برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال برابر با ۲٪ و برای دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال برابر با ۰/۵٪ می‌باشد.

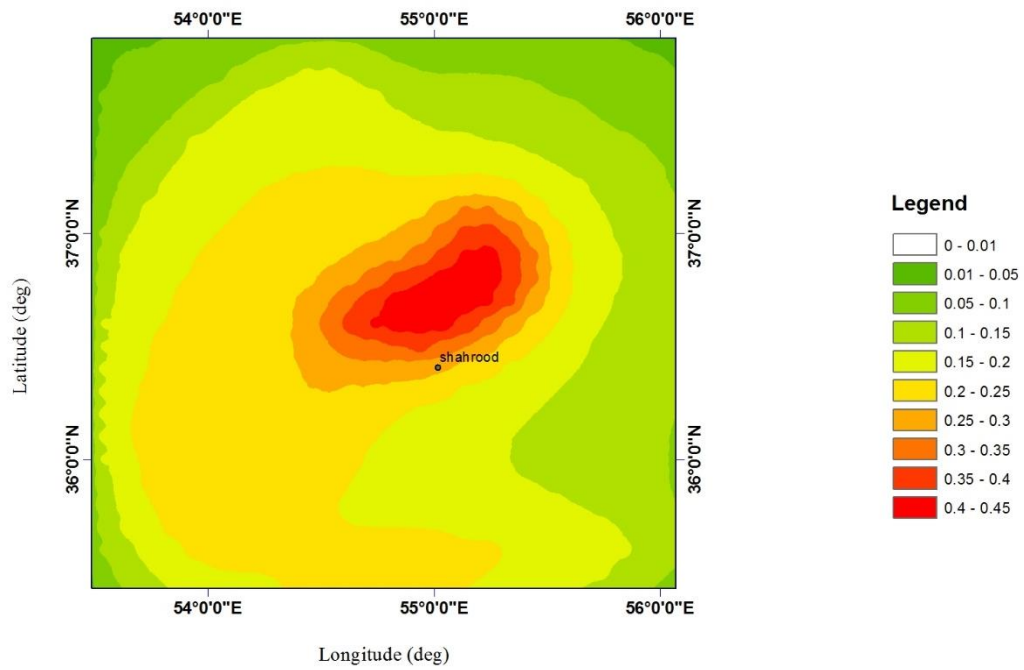


شکل (۴-۱۰) منحنی خطر نهایی بر حسب PGA و احتمال رخداد سالیانه زمین‌لرزه

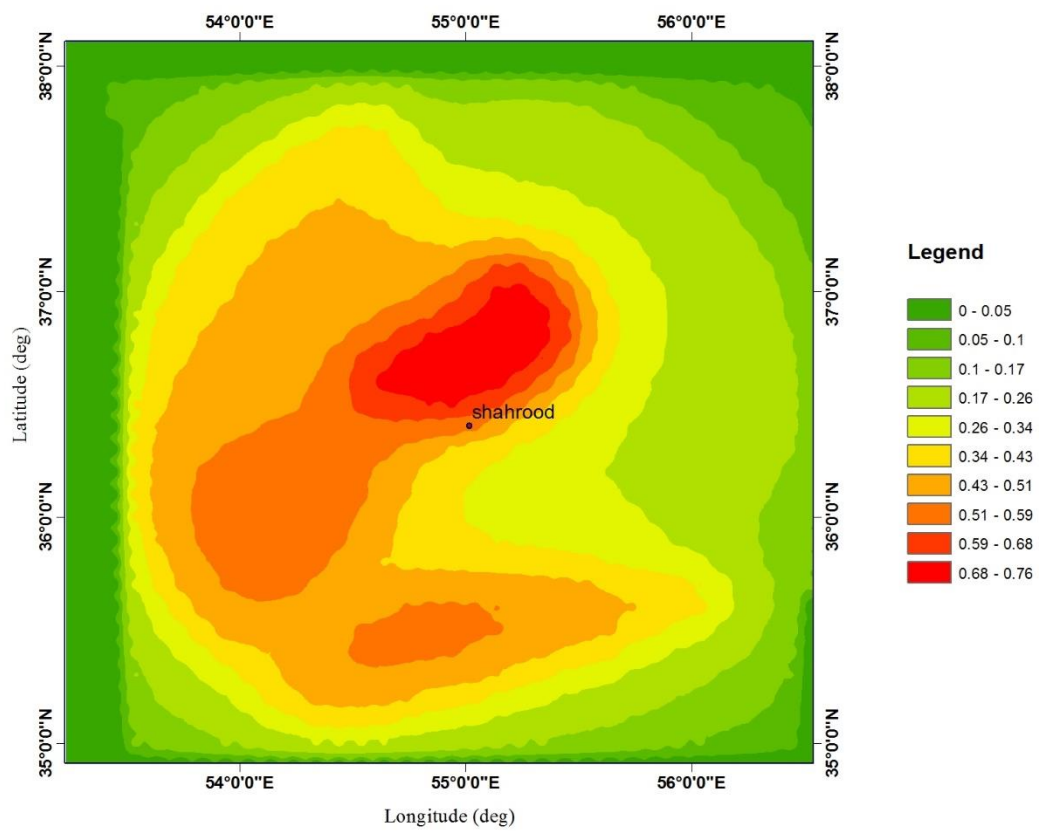
از روی این منحنی می‌توان از روی نمودار قائم، آهنگ سالیانه رویداد و از روی نمودار افقی مقدار شتاب را به دست آورد.

به طور مثال:

$$T_R, \lambda_m = \frac{1}{T_R} = \frac{1}{475} = 0.002105 \Rightarrow PGA = 0.236g$$



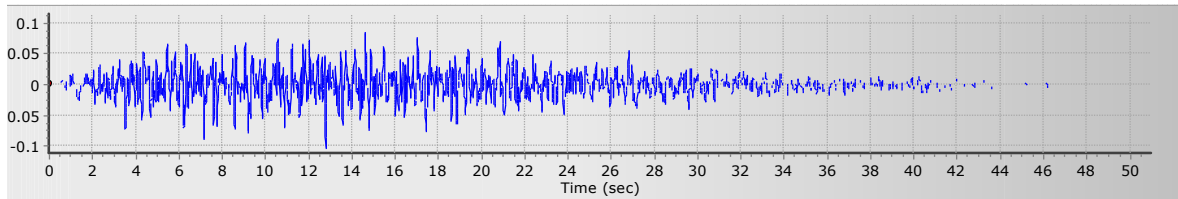
شکل (۴-۱۱) نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود (بر حسب g) برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



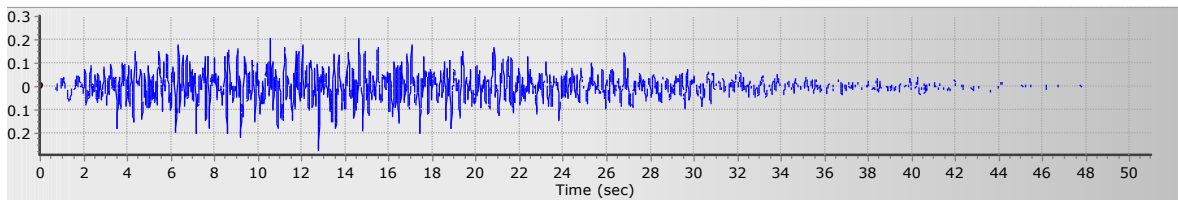
شکل (۴-۱۲) نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود (بر حسب g) برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

۵-۴ تولید شتاب نگاشت مصنوعی با استفاده از نرم افزار Seismo Artif

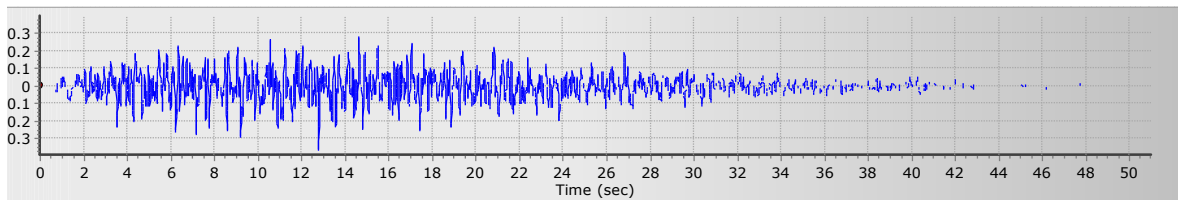
برای هر طیف تحلیل خطر ویژه ساختگاه به دست آمده از مرحله قبل یک زلزله مصنوعی توسط نرم افزار Seismo Artif تولید شده است. شکل های (۴-۱۳) تا (۴-۱۷)، نمودارهای PGA به دست آمده از نرم افزار Seismo Artif برای رکورد زلزله های مختلف می باشند.



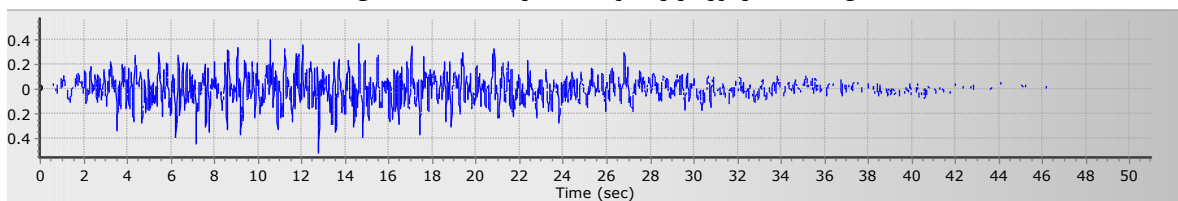
شکل (۴-۱۳) رکورد زلزله تولید شده از طیف ۱۰۰ سال



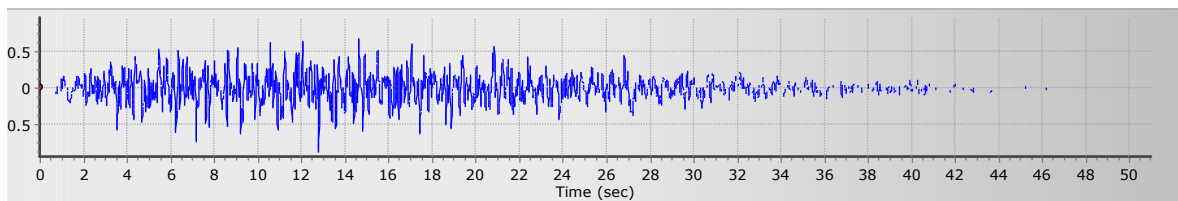
شکل (۴-۱۴) رکورد زلزله تولید شده از طیف ۴۷۵ سال



شکل (۴-۱۵) رکورد زلزله تولید شده از طیف ۹۷۵ سال



شکل (۴-۱۶) رکورد زلزله تولید شده از طیف ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۱۷) رکورد زلزله تولید شده از طیف ۱۰۰۰۰ سال

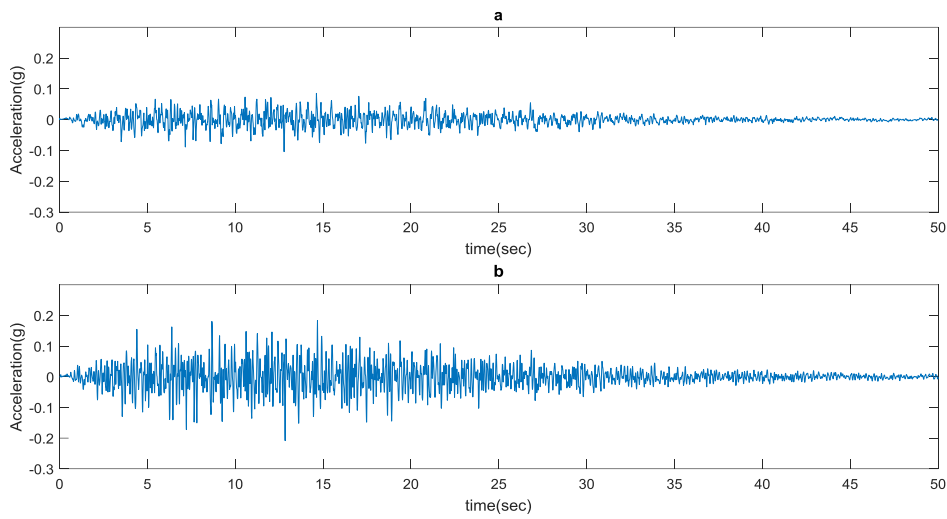
۴-۶ نتایج مربوط به آنالیز پاسخ ساختگاه با استفاده از نرم افزار Deep soil

در این بخش جهت بررسی تاثیر مشخصات ساختگاه و حرکت ورودی بر روی پاسخ زمین، آنالیز پاسخ لرزه‌ای زمین با استفاده از روش خطی معادل در حوزه فرکانس انجام شده است در این راستا جهت بررسی تاثیر لایه‌های خاک بر روی پاسخ زمین دو تیپ خاک تعیین شده از مراحل قبل به برنامه معرفی شده است همچنین جهت بررسی تاثیر محتوای فرکانسی ۵ رکورد تولید شده زلزله از مرحله قبل به برنامه معرفی شده است.

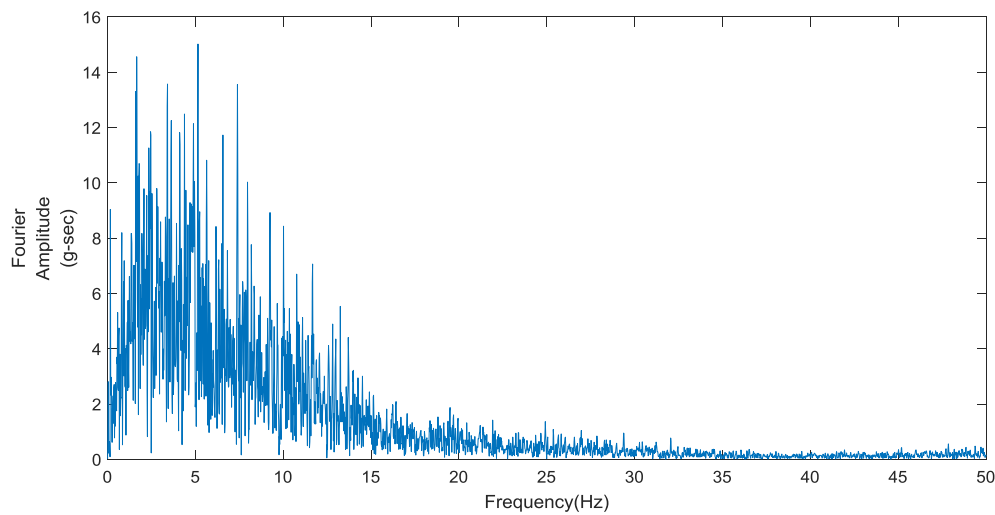
۴-۶-۱ زلزله دوره بازگشت ۱۰۰ سال

الف) مناطق مرکزی شهر

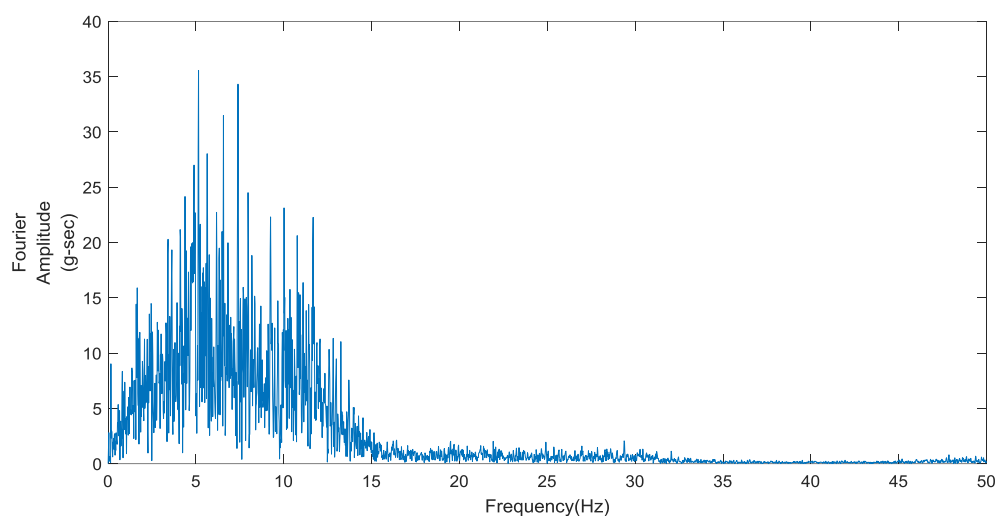
با بررسی شکل (۴-۱۸) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.21g$ می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای از شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.10g$ می‌باشد بیشتر شده است. با بررسی شکل (۴-۲۱) مشاهده می‌شود که علاوه بر تشدید در فرکانس‌های محدوده ۰ تا ۱۰ هرتز، تشدید در فرکانس‌های محدوده ۲۰ تا ۳۰ هرتز هم اتفاق می‌افتد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8s$ و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان $12/8s$ اتفاق می‌افتد. فرکانس غالب سنگ بستر $4/8HZ$ و فرکانس غالب سطح زمین $5HZ$ می‌باشد.



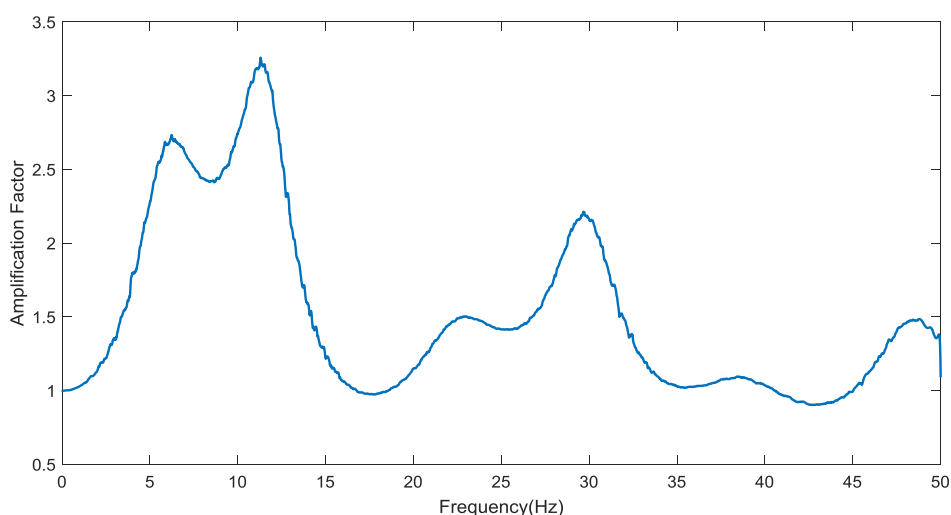
شکل (۴-۱۸) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل (۴-۱۹) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل (۴-۲۰) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

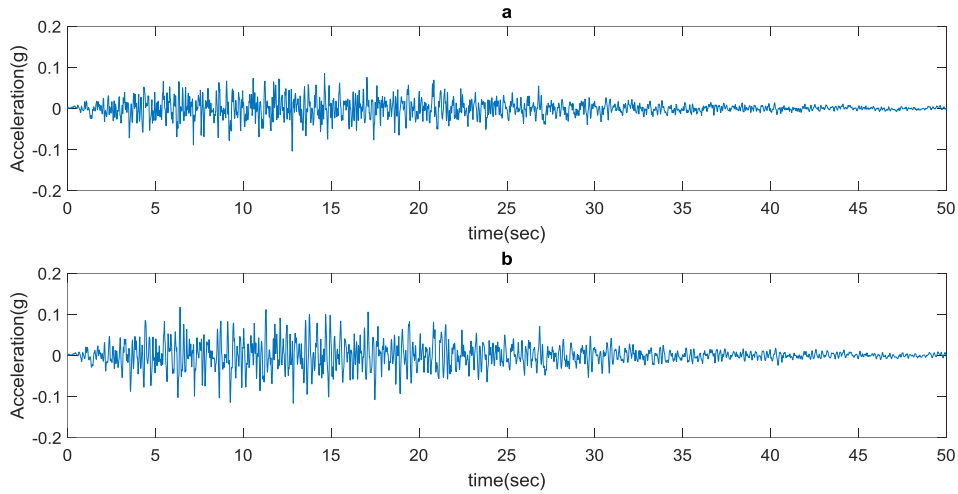


شکل (۴-۲۱) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

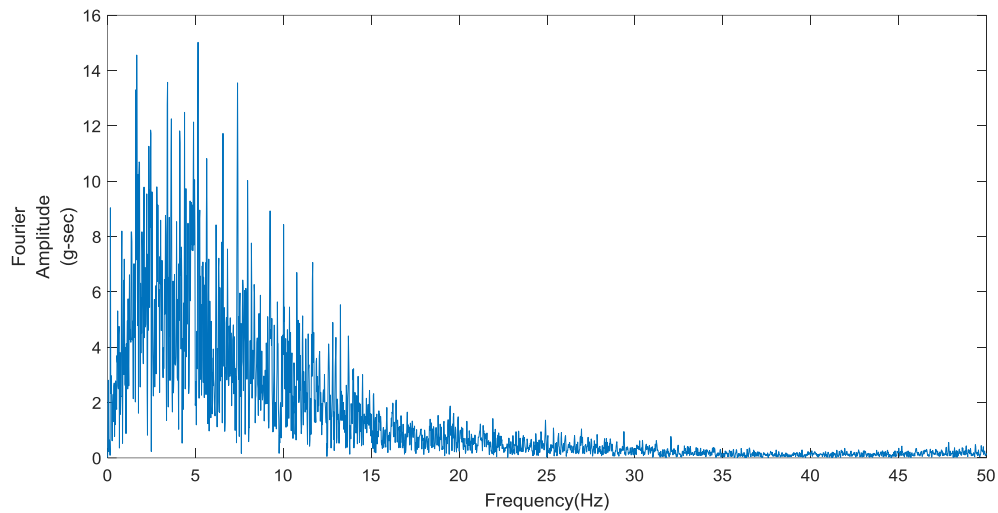
ب) سایر مناطق شهر

با بررسی شکل (۴-۲۲) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.12g$ می‌باشد به شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.10g$ می‌باشد، کمی افزایش یافته است. با بررسی شکل (۴-۲۵) مشاهده می‌شود که علاوه بر تشدید در فرکانس‌های محدوده ۰ تا ۱۰ هرتز، تشدید در فرکانس‌های محدوده ۱۰ تا ۱۵ هرتز هم اتفاق می‌افتد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8S$ و ماکزیمم شتاب سطح

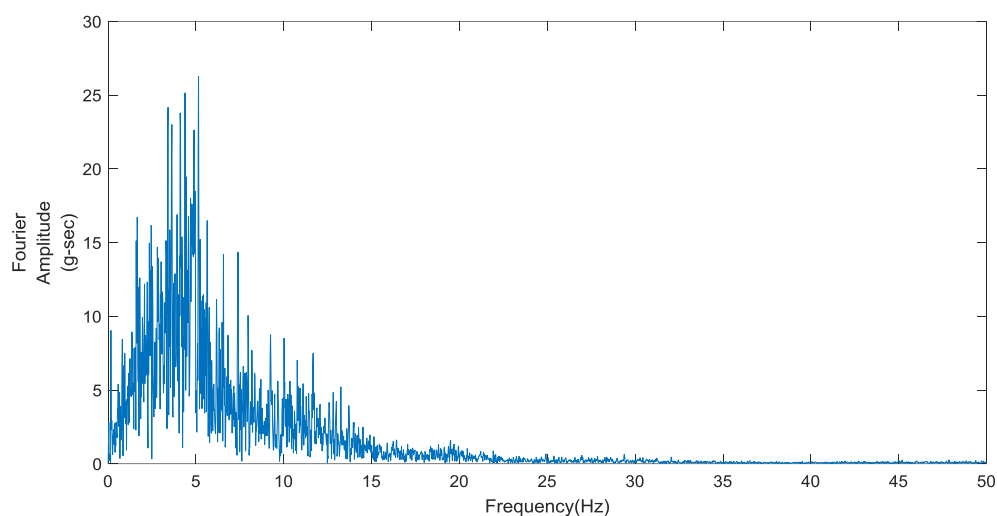
زمین در زمان ۶/۴S اتفاق افتاده است. فرکانس غالب سنگ بستر ۴/۸HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۴/۸HZ می باشد.



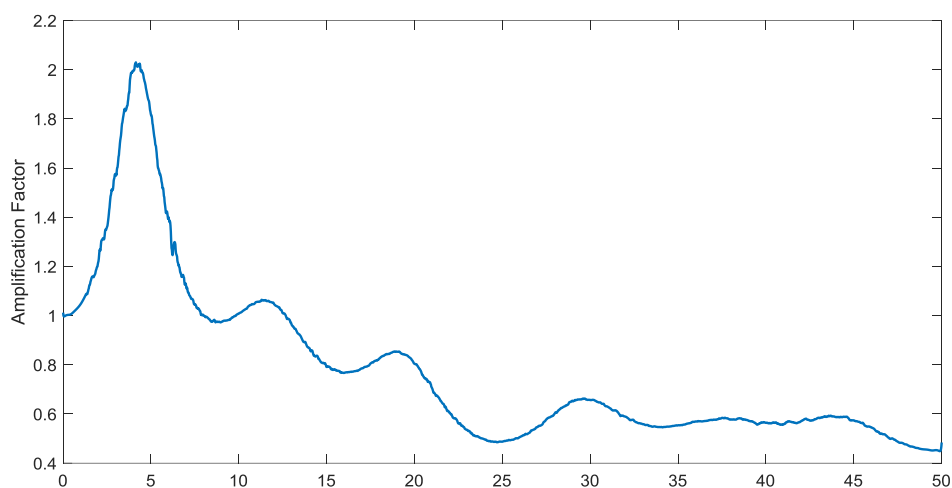
شکل (۴-۲۲) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل (۴-۲۳) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل (۴-۲۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



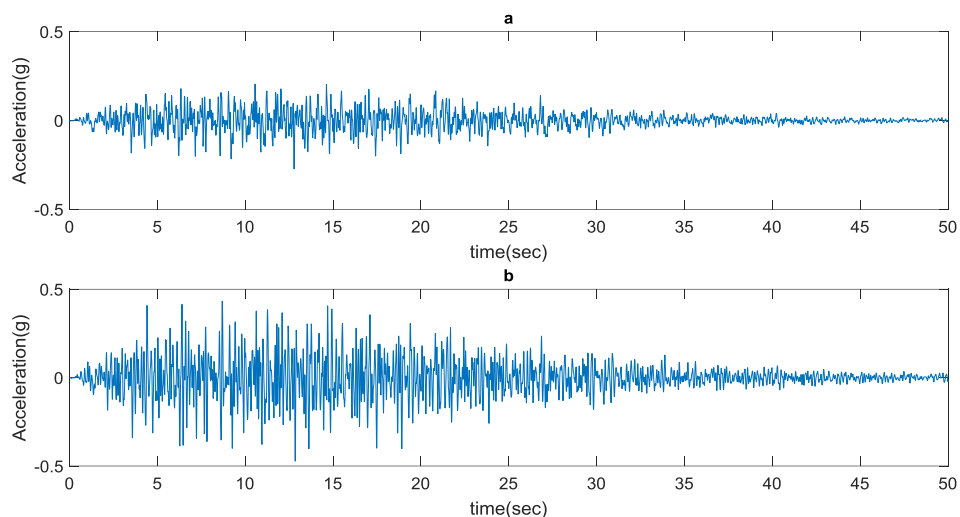
شکل (۴-۲۵) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

۴-۶-۲ زلزله دوره بازگشت ۴۷۵ سال

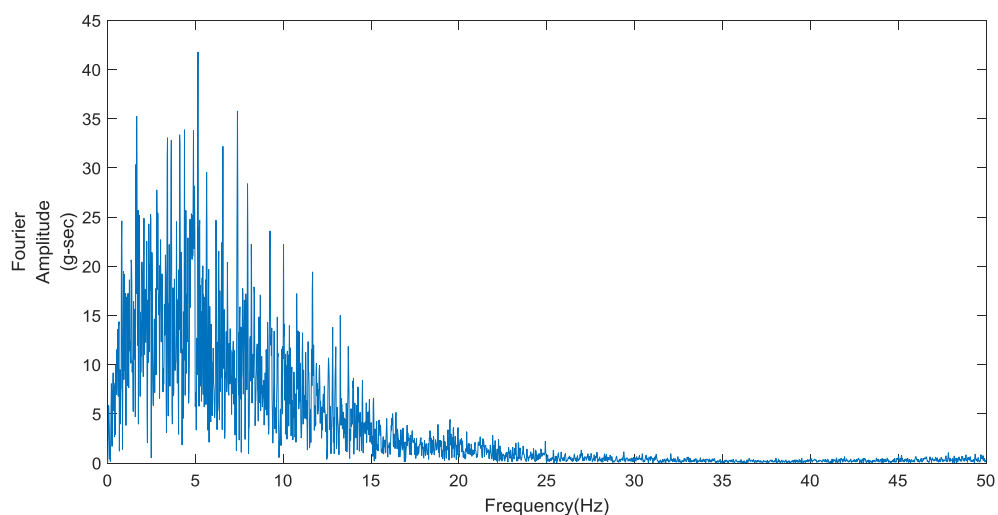
الف) مناطق مرکزی شهر

با بررسی شکل (۴-۲۶) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.47g$ می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای از شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.27g$ می‌باشد بیشتر شده است. با بررسی شکل

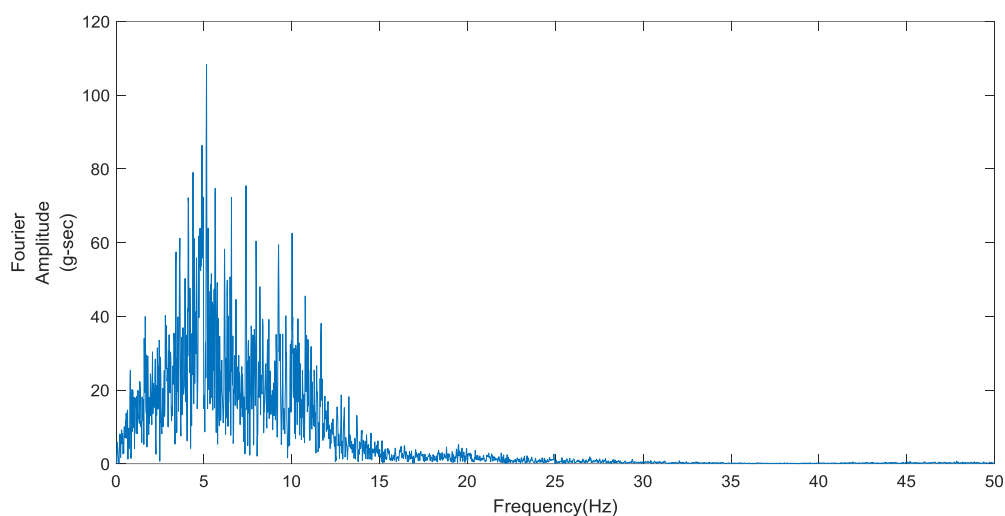
(۲۹-۴) مشاهده می شود که علاوه بر تشدید در فرکانس های محدوده ۰ تا ۱۰ هرتز، تشدید در فرکانس های محدوده ۲۵ تا ۳۰ هرتز هم ایجاد می شود. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8s$ و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان $12/9s$ اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر $4/8HZ$ و فرکانس غالب سطح زمین $4/8HZ$ می باشد.



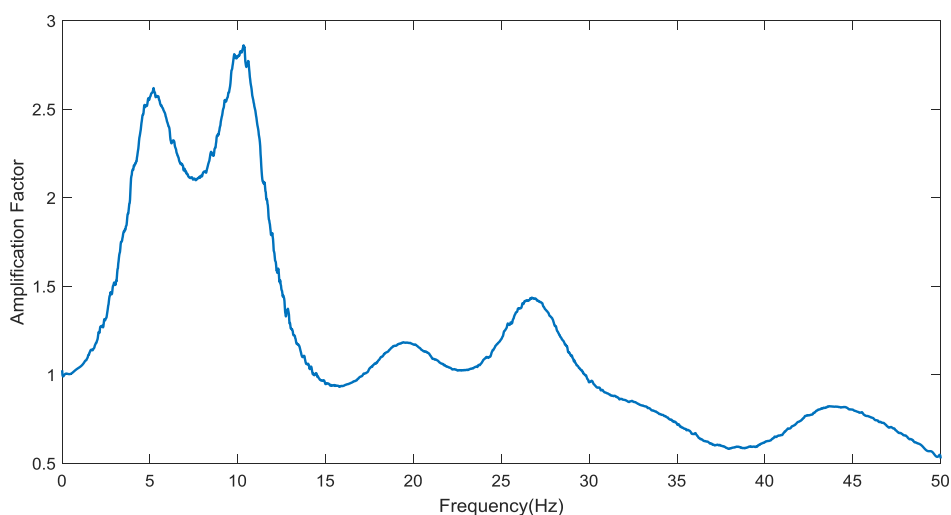
شکل (۲۶-۴) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۲۷-۴) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۴-۲۸) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

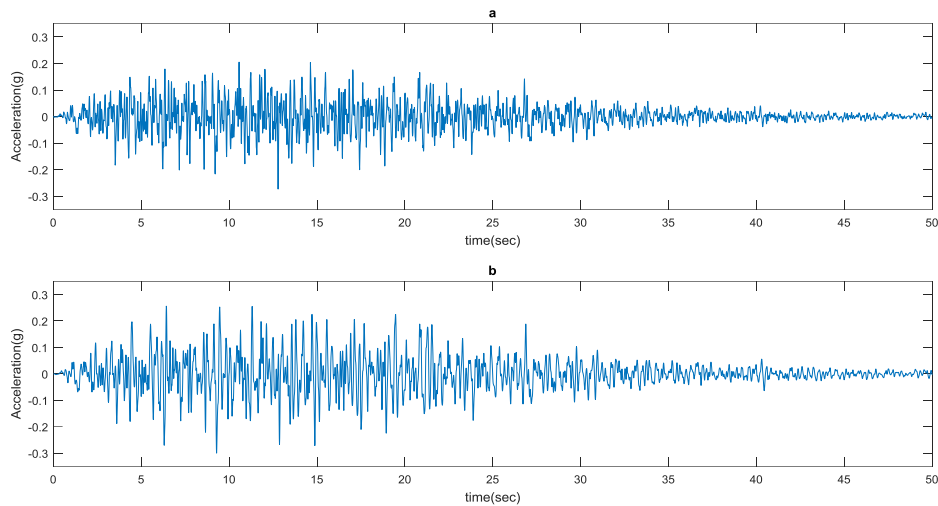


شکل (۴-۲۹) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

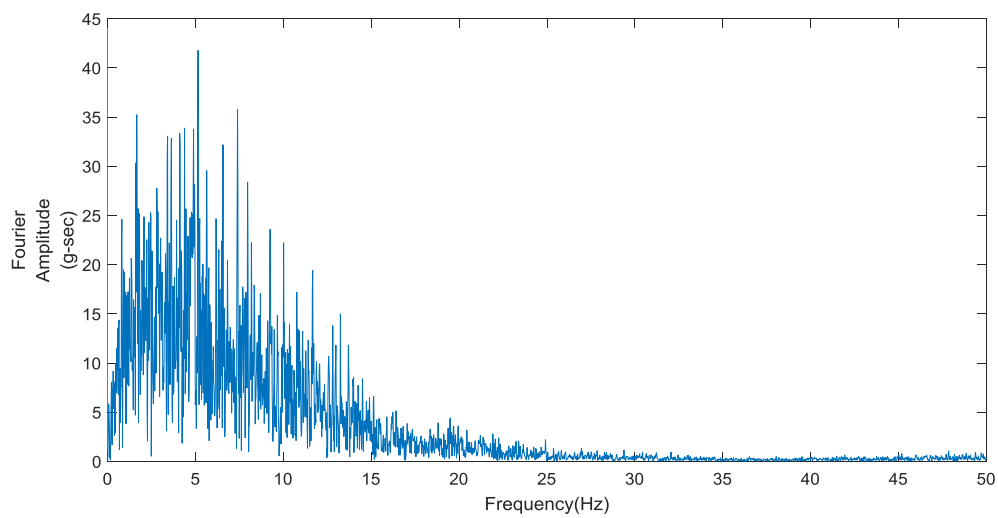
ب) سایر مناطق شهر

با بررسی شکل (۴-۳۰) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.30g$ می‌باشد نسبت به شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.27g$ می‌باشد کمی افزایش داشته است. با بررسی شکل (۴-۳۴) مشاهده می‌شود که تشدید در فرکانس‌های محدوده ۰ تا ۵ هرتز ایجاد می‌شود و در فرکانس‌های بالاتر تقلیل صورت گرفته است. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8s$ و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان

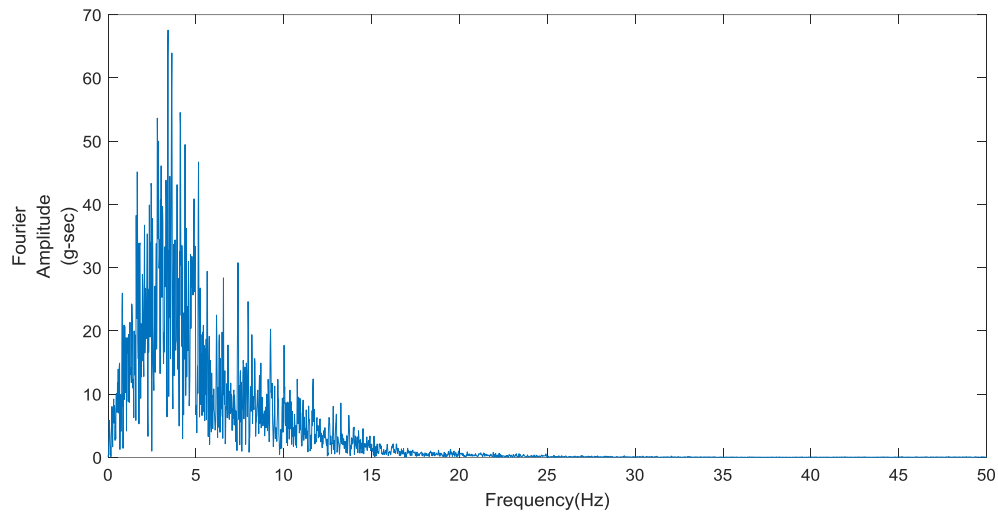
۹/۳S اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر ۴/۸HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۲/۹HZ می باشد.



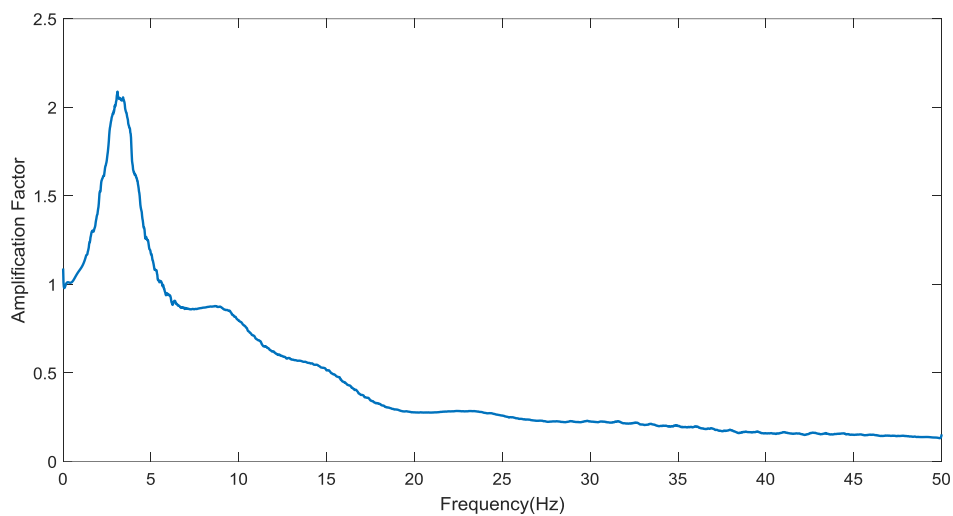
شکل (۴-۳۰) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۴-۳۱) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۳۲-۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



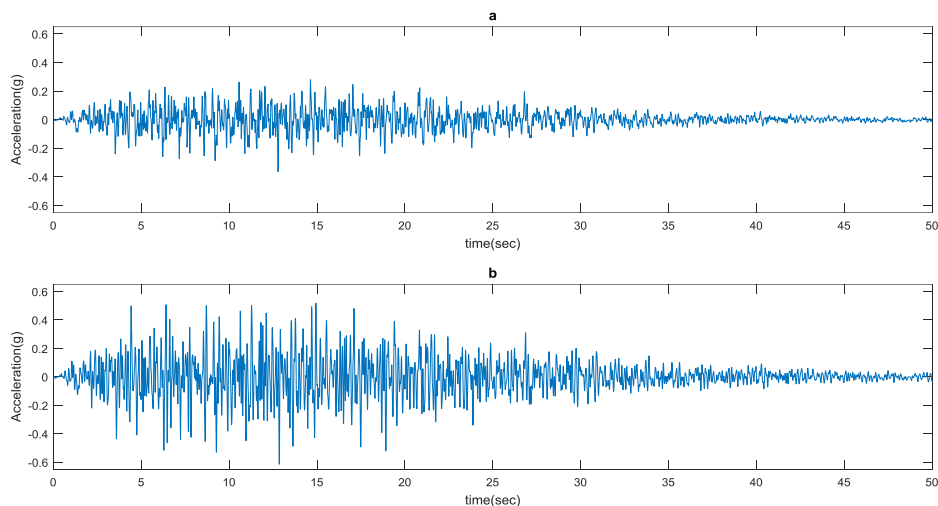
شکل (۳۳-۴) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

۳-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۹۷۵ سال

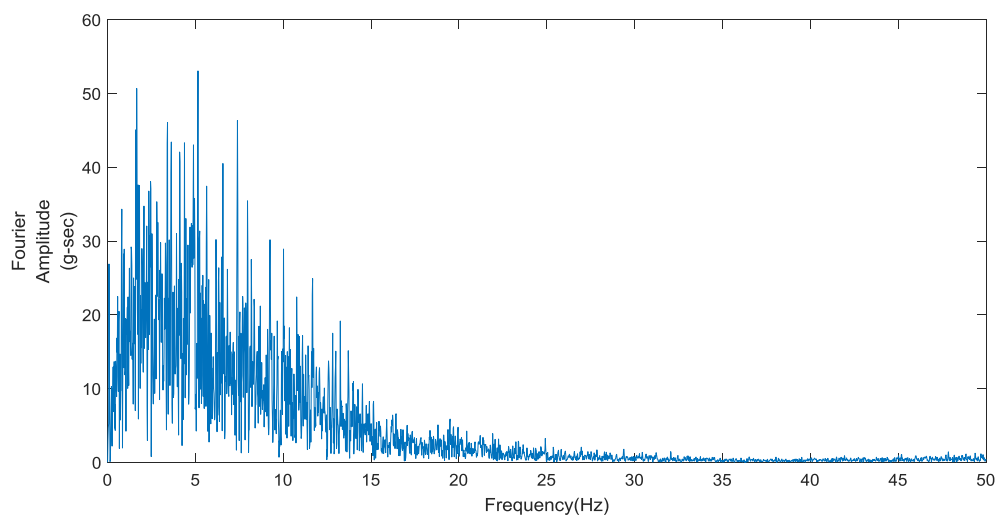
الف) مناطق مرکزی شهر

با بررسی شکل (۳۴-۴) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.61g$ می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای از شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.36g$ می‌باشد بیشتر شده است. با بررسی شکل

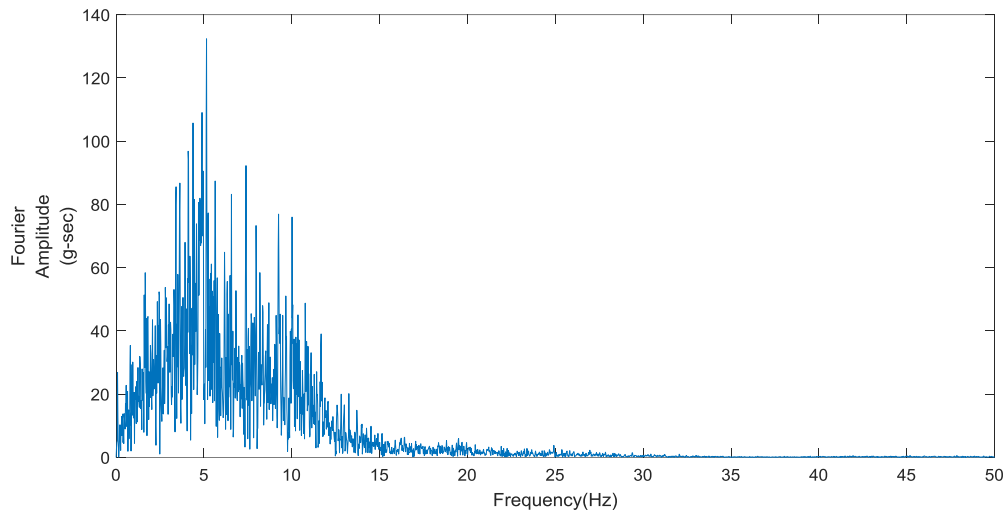
(۳۷-۴) مشاهده می شود که علاوه بر تشدید در فرکانس های محدوده ۰ تا ۱۰ هرتز، تشدید در فرکانس های محدوده ۲۵ تا ۳۰ هرتز هم اتفاق می افتد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8s$ و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان $12/9s$ اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر $4/8HZ$ و فرکانس غالب سطح زمین $4/8HZ$ می باشد.



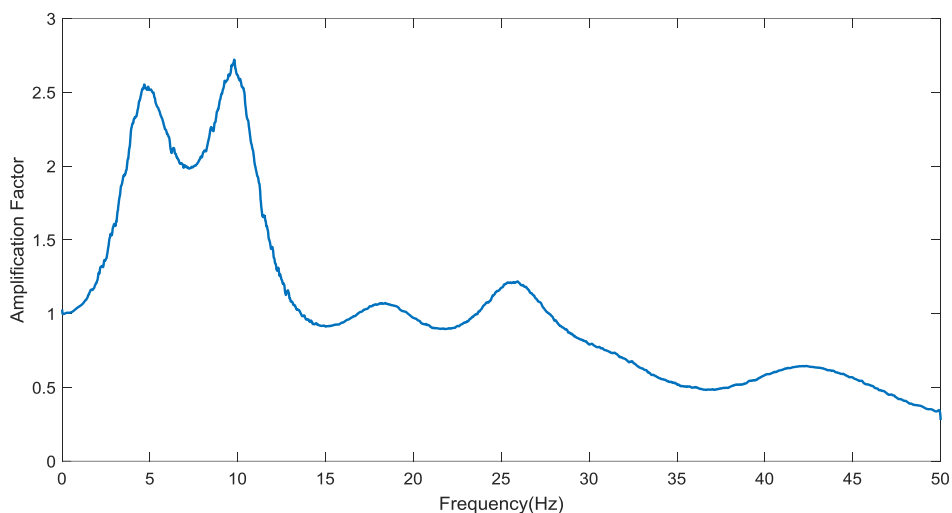
شکل (۴-۳۴) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال



شکل (۴-۳۵) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال



شکل (۴-۳۶) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال

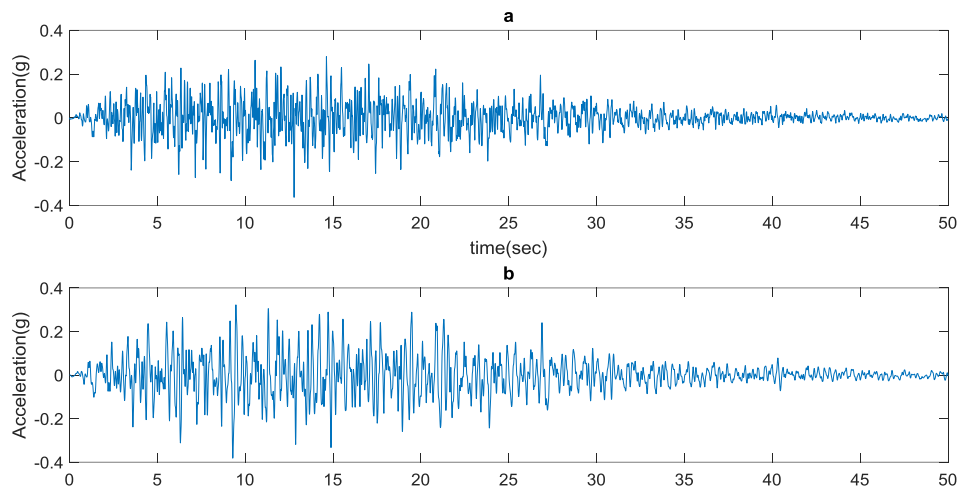


شکل (۴-۳۷) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال

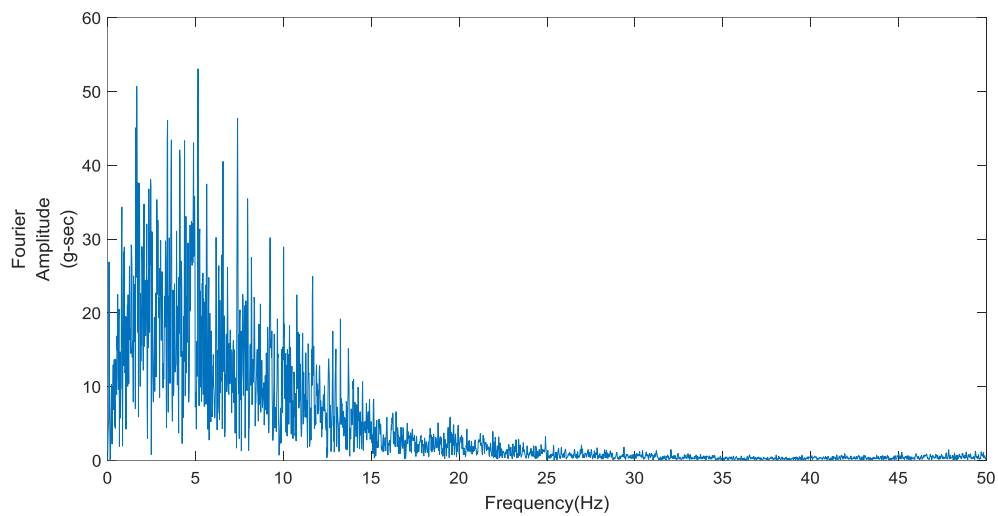
ب) سایر مناطق شهر

با بررسی شکل (۴-۳۸) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.38g$ می‌باشد نسبت به شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.36g$ کمی افزایش یافته است. با بررسی شکل (۴-۴۱) مشاهده می‌شود که تشدید در فرکانس‌های محدوده ۰ تا ۵ هرتز ایجاد می‌شود و در فرکانس‌های بالاتر تقلیل

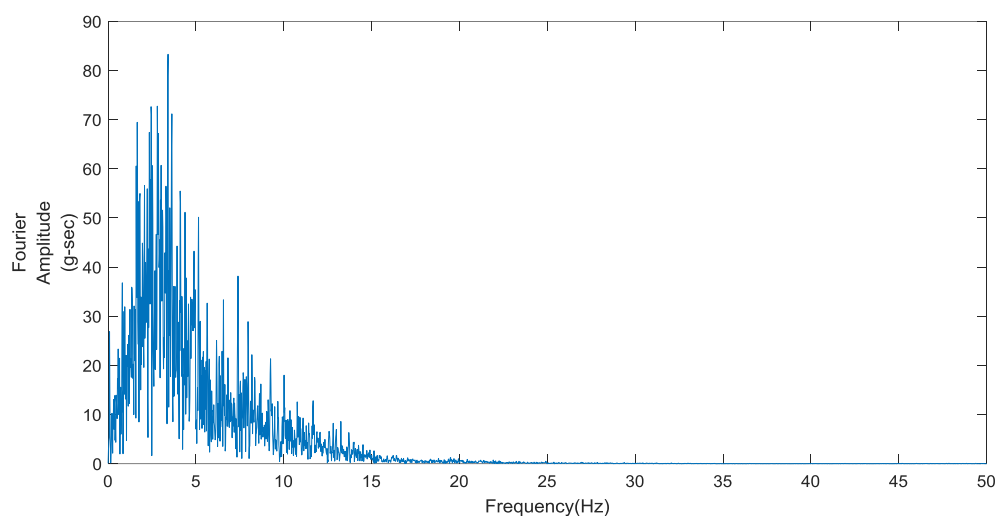
صورت گرفته است. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در ۱۲/۸S و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان ۹/۳S اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر ۴/۸HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۲/۹HZ می باشد.



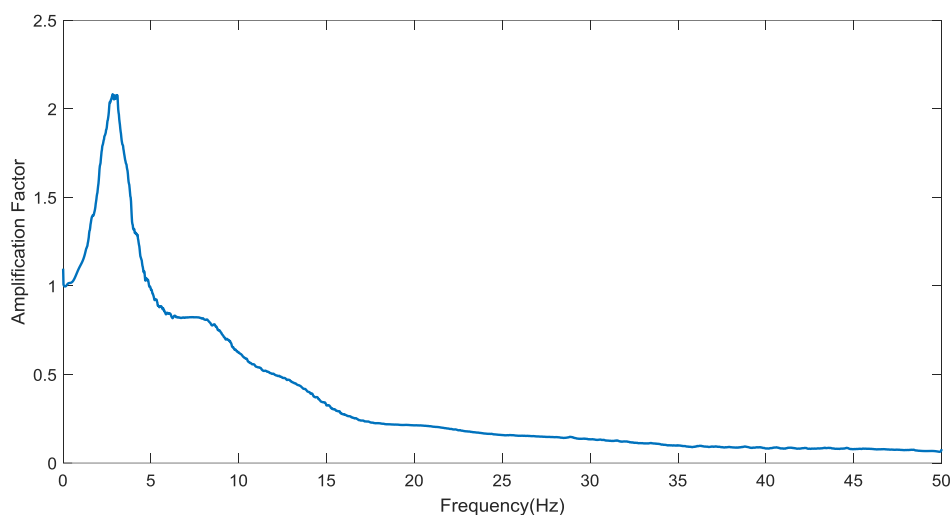
شکل (۴-۳۸) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال



شکل (۴-۳۹) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال



شکل (۴-۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال



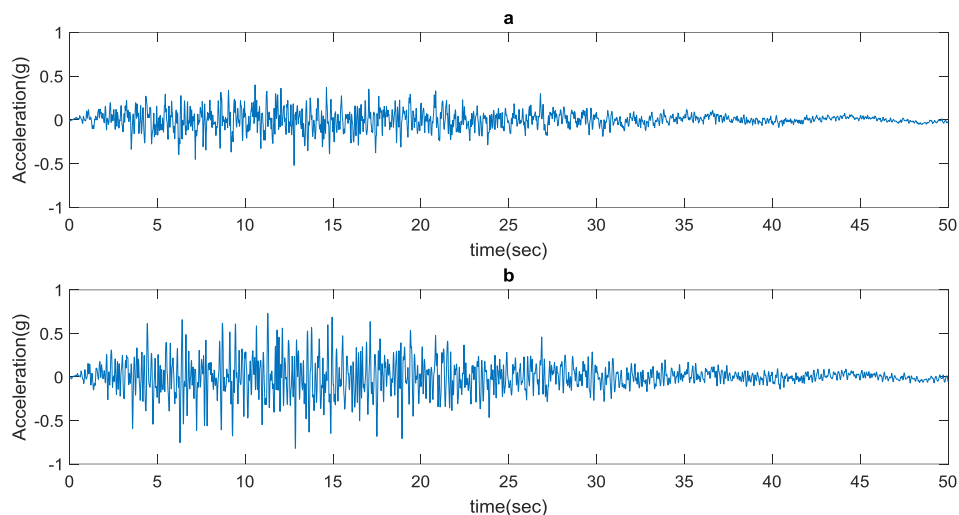
شکل (۴-۴) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال

۴-۶-۴ زلزله دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

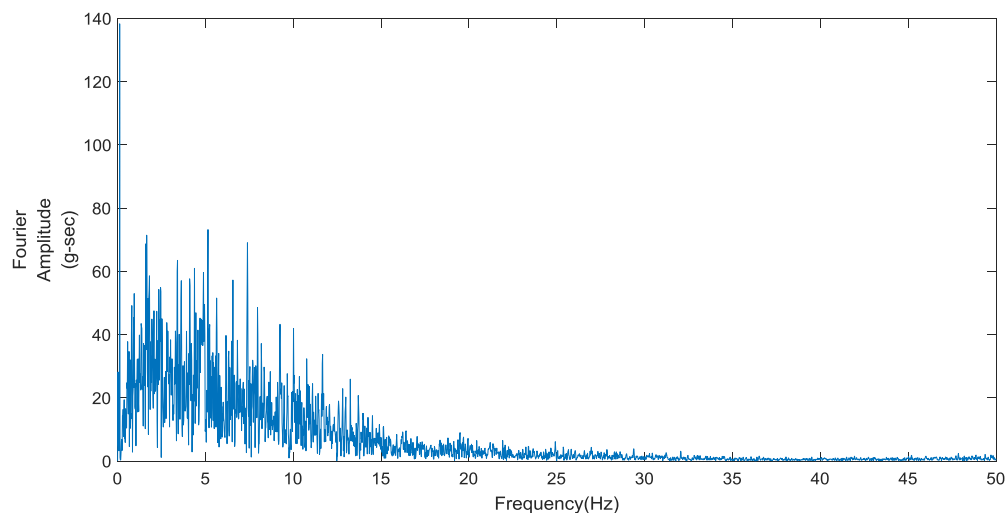
الف) مناطق مرکزی شهر

با بررسی شکل (۴-۴۲) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.182g$ می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای از شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.52g$ می‌باشد بیشتر شده است. با بررسی شکل

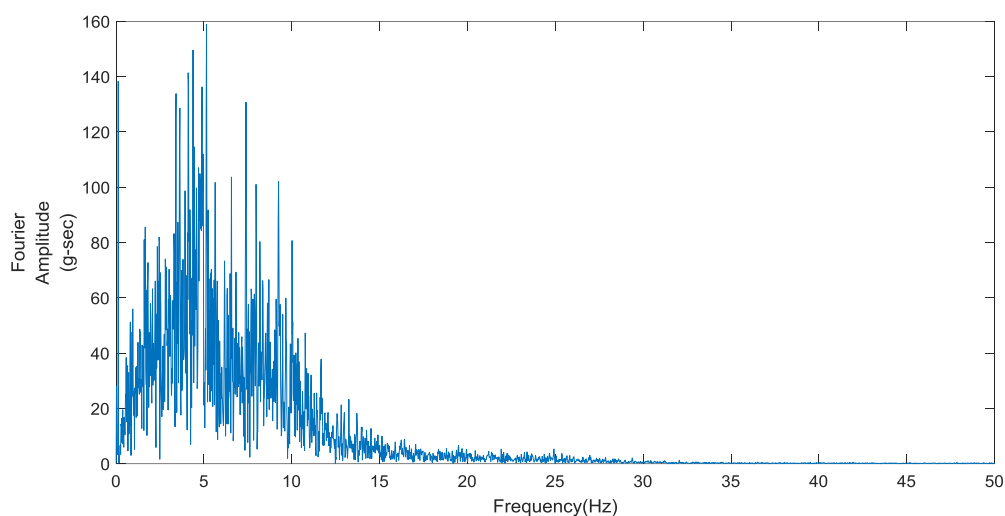
(۴-۴۵) مشاهده می شود که علاوه بر تشدید در فرکانس های محدوده ۰ تا ۱۰ هرتز، تشدید در فرکانس های محدوده ۲۰ تا ۲۵ هرتز هم اتفاق می افتد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در ۱۲/۸S و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان ۱۲/۹ اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر ۱/۷HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۴/۸HZ می باشد.



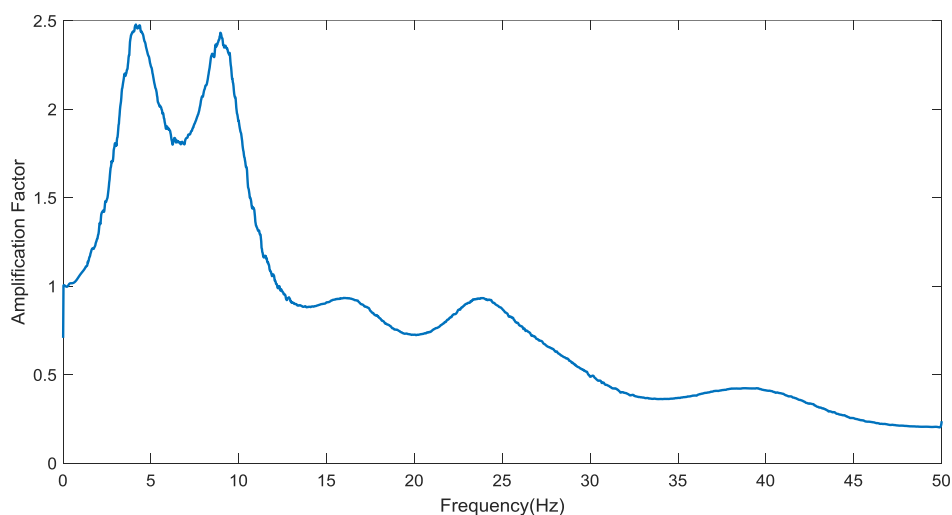
شکل (۴-۴۲) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۴۳) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۴۴) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

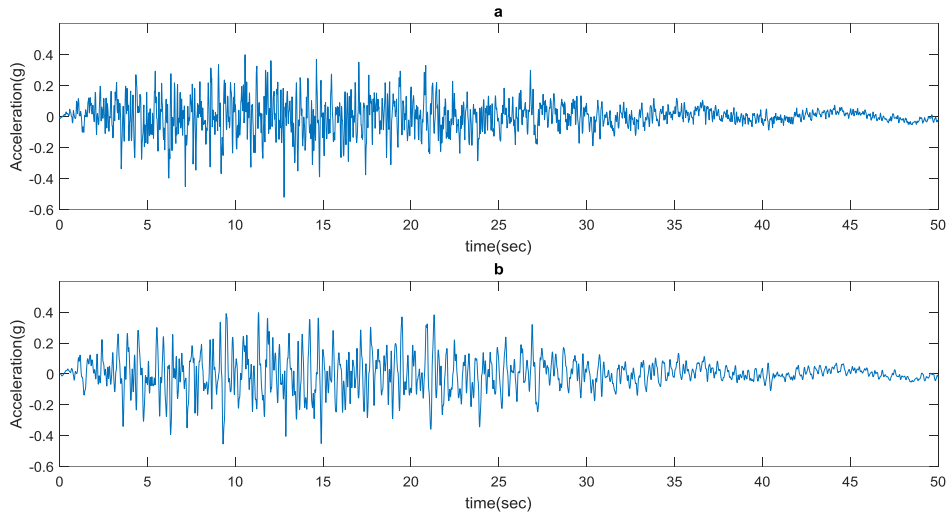


شکل (۴-۴۵) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

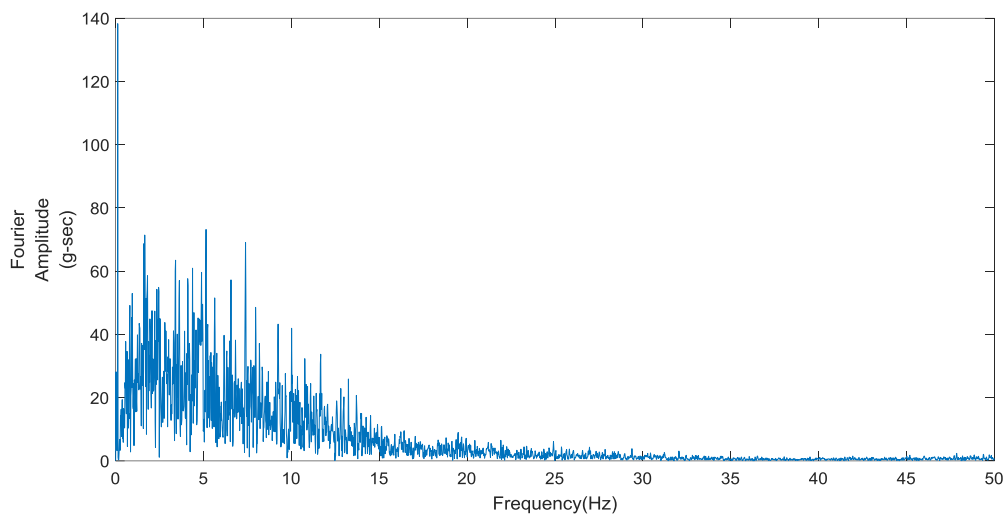
ب) سایر مناطق شهر

با بررسی شکل (۴-۴۶) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.46g$ می‌باشد نسبت به شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.52g$ می‌باشد کاهش یافته است با بررسی شکل (۴-۴۹) مشاهده می‌شود که در فرکانس‌های ۰ تا ۵ هرتز تشدید ایجاد می‌شود و از فرکانس ۵ هرتز به تدریج تقلیل صورت

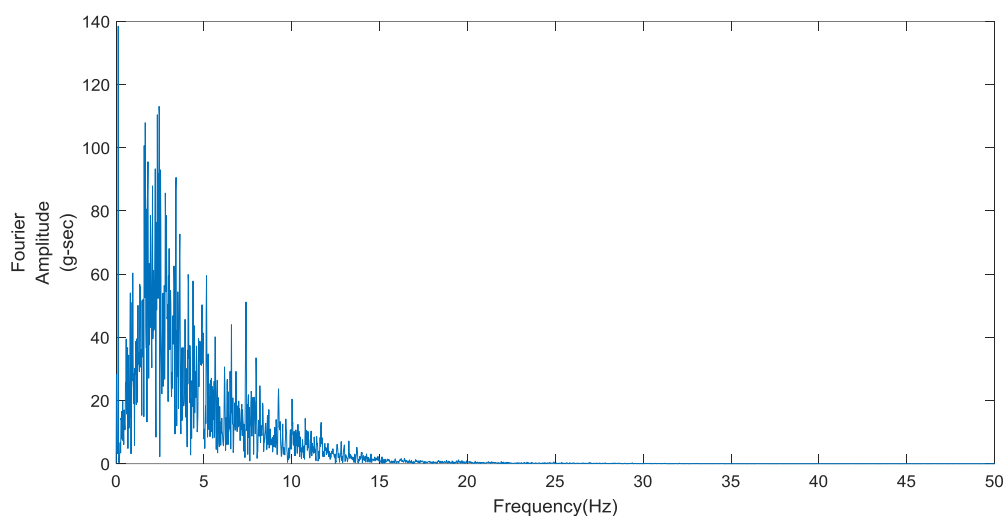
گرفته است. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در ۱۲/۸s و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان ۱۹/۴s اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر ۱/۷HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۲/۴HZ می باشد.



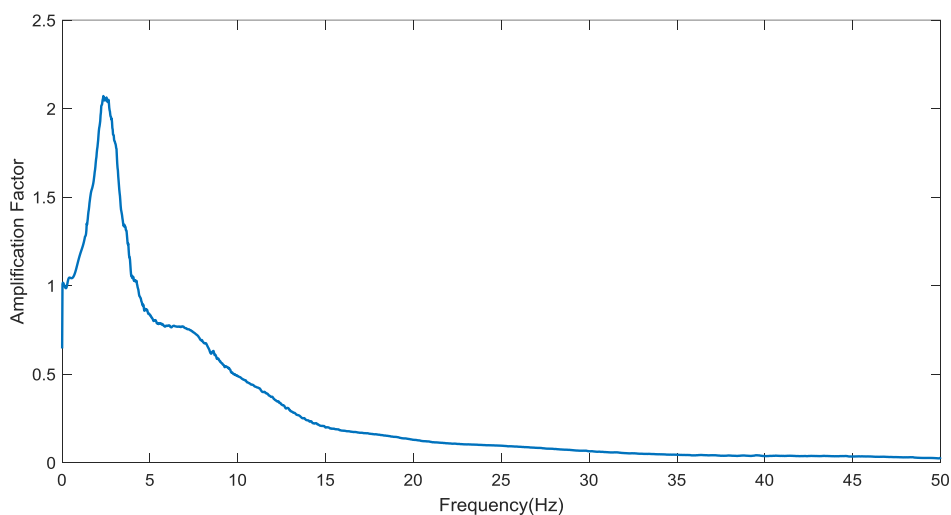
شکل (۴-۴) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۴) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



شکل (۴-۴۸) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال



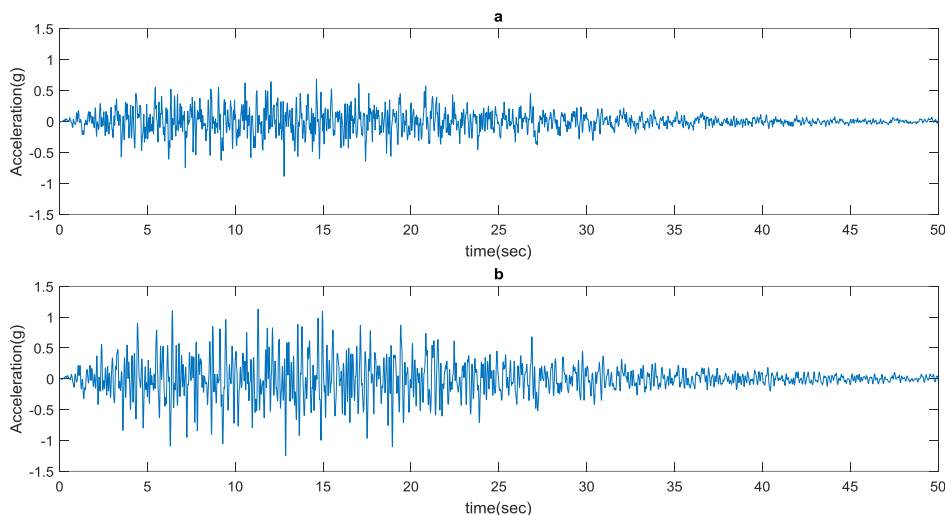
شکل (۴-۴۹) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

۴-۶-۵ زلزله دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال

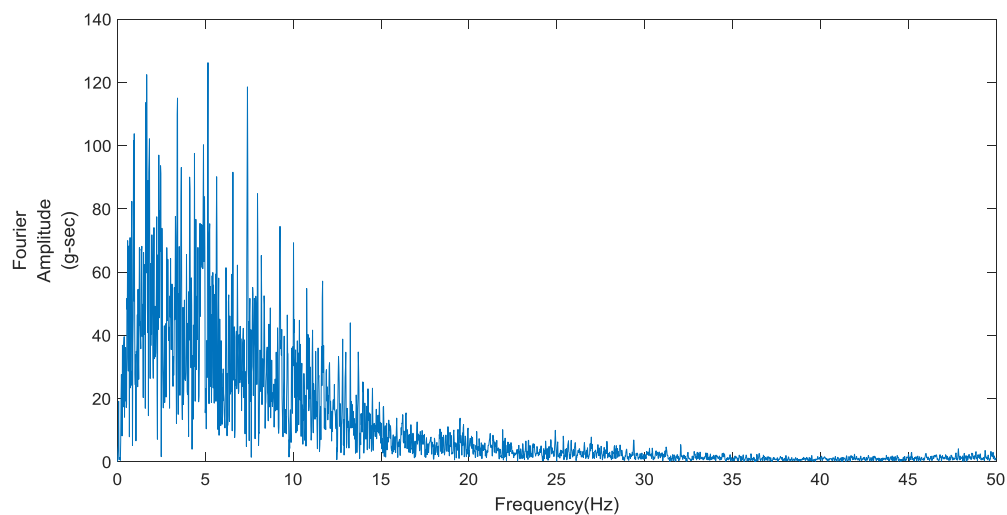
الف) مناطق مرکزی شهر

با بررسی شکل (۴-۵۰) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $1/25g$ می‌باشد به طور قابل ملاحظه‌ای از شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0/88g$ می‌باشد بیشتر شده است. با بررسی شکل (۴-۵۳) مشاهده می‌شود که در فرکانس‌های ۰ تا ۵ هرتز و ۵ تا ۱۰ هرتز تشدید ایجاد می‌شود و از

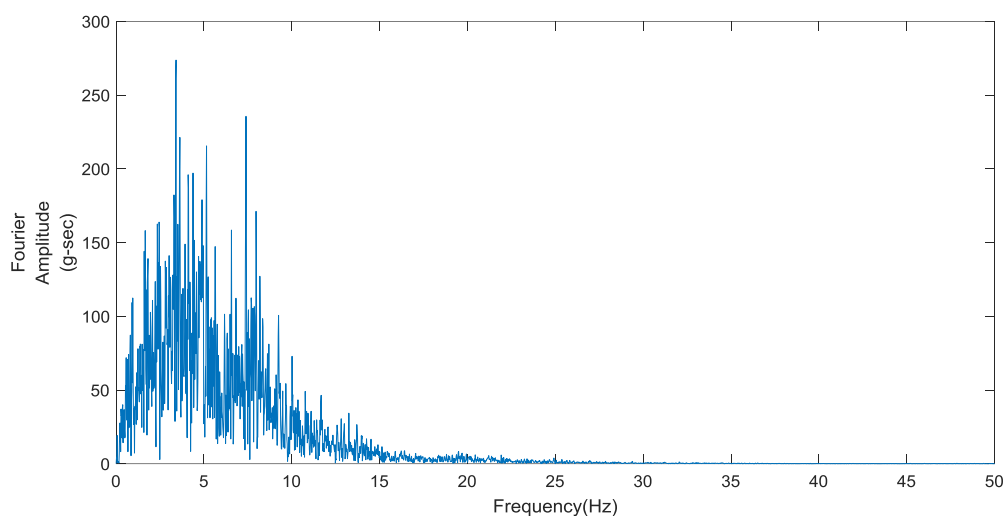
فرکانس ۱۰ هرتز به تدریج تقلیل صورت می گیرد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در ۱۲/۸S و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان ۱۲/۹ اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر ۱/۷HZ و فرکانس غالب سطح زمین ۲/۳HZ می باشد.



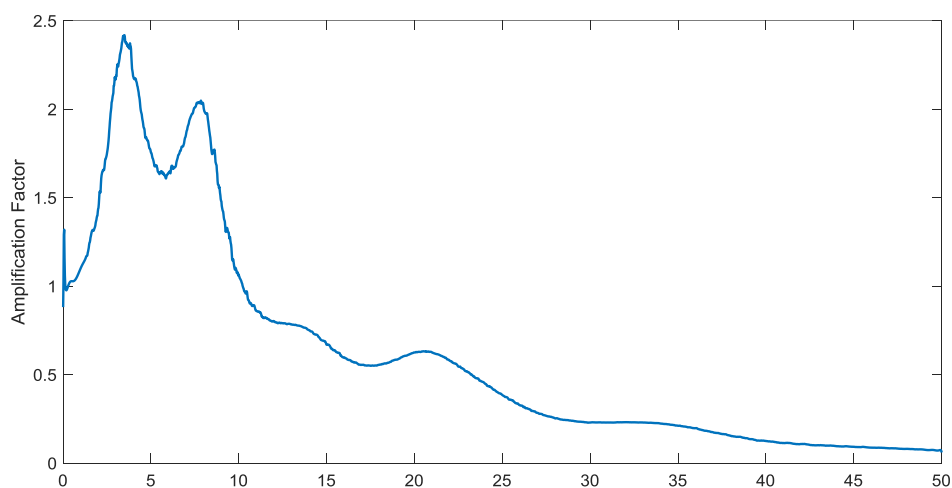
شکل (۴-۵) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال



شکل (۴-۵) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال



شکل (۴-۵۲) طیف فوریه شتاب سطح زمین مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال

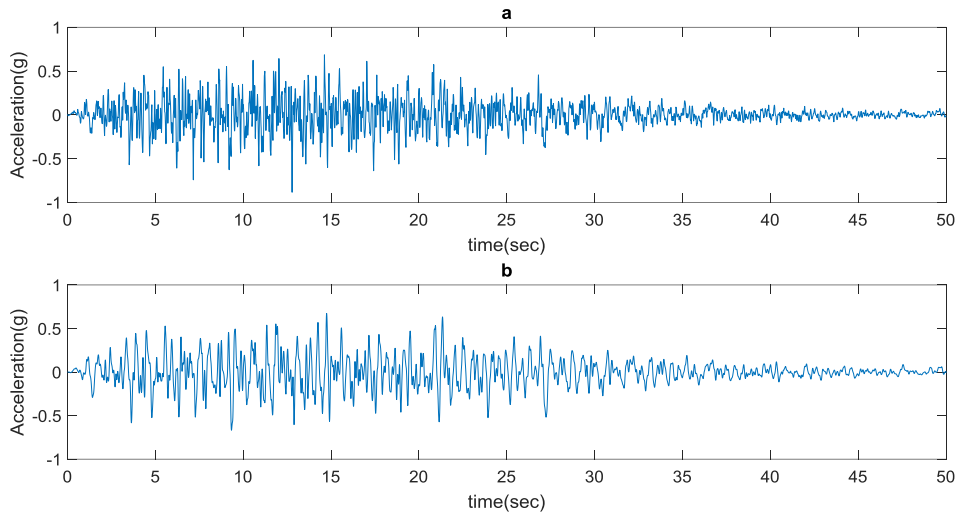


شکل (۴-۵۳) تابع تشدید خاک مناطق مرکزی شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال

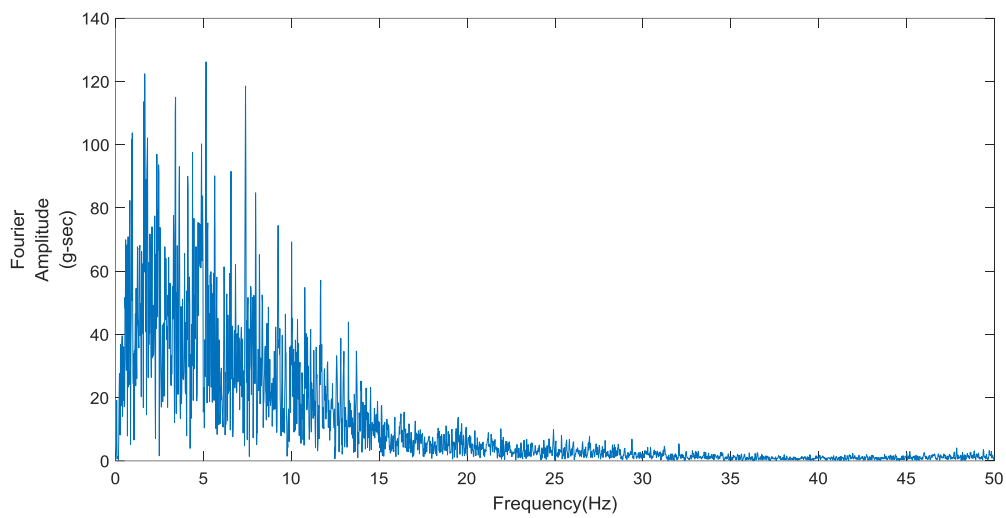
ب) سایر مناطق شهر

با بررسی شکل (۴-۵۴) مشاهده می‌شود که شتاب سطح زمین که مقدار آن $0.67g$ می‌باشد نسبت به شتاب سنگ بستر که مقدار آن $0.88g$ می‌باشد کاهش یافته است با بررسی شکل (۴-۵۷) مشاهده می‌شود که در فرکانس‌های ۰ تا ۵ هرتز تشدید ایجاد می‌شود و از فرکانس ۵ هرتز به تدریج تقلیل صورت

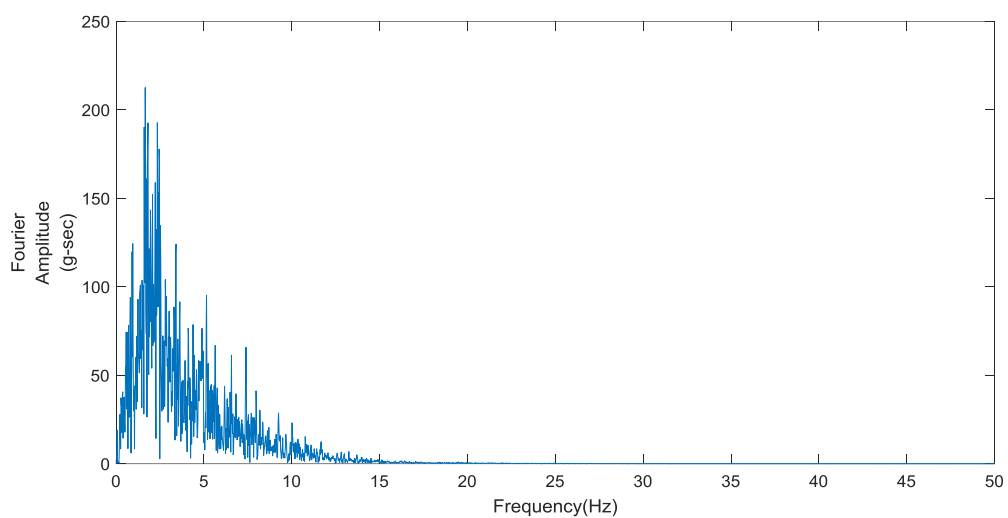
می گیرد. ماکزیمم شتاب سنگ بستر در $12/8S$ و ماکزیمم شتاب سطح زمین در زمان $14/8S$ اتفاق می افتد. فرکانس غالب سنگ بستر $1/7HZ$ و فرکانس غالب سطح زمین $1/7HZ$ می باشد.



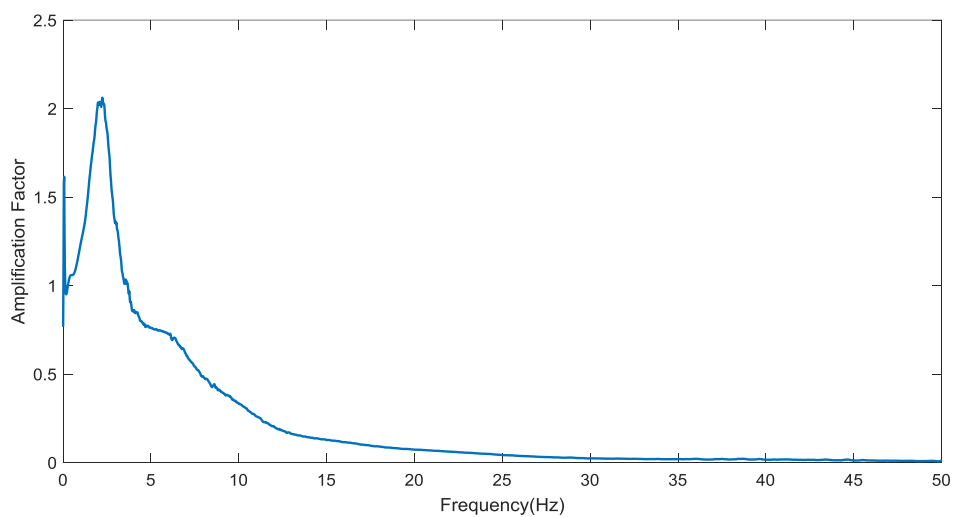
شکل (۴-۵۴) a: شتاب سنگ بستر b: شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال



شکل (۴-۵۵) طیف فوریه شتاب سنگ بستر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال



شکل (۴-۵۶) طیف فوریه شتاب سطح زمین سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال



شکل (۴-۵۷) تابع تشدید خاک سایر مناطق شهر برای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال

فصل پنجم

پیشنهادات و نتیجه گیری

۵-۱ نتیجه گیری

در این فصل به جمع بندی نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است.

- همان طور که مشاهده شده است، هر چه بزرگای زلزله ای بزرگ تر باشد، دوره بازگشت آن نیز بیشتر است و در عوض احتمال وقوع آن در طول عمر مفید ساختمان کمتر می باشد.
- مقایسه طیف طرح ویژه ساختگاه با طیف طرح استاندارد آیین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال نشان می دهد که مقادیر طیف ویژه ساختگاه در این مطالعه ۸۹ درصد طیف آیین نامه می باشد.
- نتایج نقشه ریزپهنه بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود تا شعاع ۱۵۰ کیلومتر برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال نشان می دهد کمترین مقدار شتاب $g/0.1$ و بیشترین شتاب $g/0.45$ می باشد.
- نتایج نقشه ریزپهنه بندی خطر زلزله شهرستان شاهرود تا شعاع ۱۵۰ کیلومتر برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال نشان می دهد کمترین مقدار شتاب $g/0.05$ و بیشترین شتاب $g/0.76$ می باشد.
- مقایسه نمودارهای شتاب سنگ بستر با شتاب سطح زمین در پروفیل خاک مناطق مرکزی شهر نشان می دهد شتاب سطح زمین نسبت به شتاب سنگ بستر در دوره بازگشت های مختلف در حدود ۷۰ درصد افزایش پیدا کرده است.
- مقایسه نمودارهای شتاب سنگ بستر با شتاب سطح زمین در پروفیل خاک مناطق اطراف شهر نشان می دهد شتاب سطح زمین نسبت به شتاب سنگ بستر برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال، ۴۷۵ سال و ۹۷۵ سال در حدود ۵ درصد افزایش داشته است و برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال، ۱۲ درصد کاهش و ۱۰۰۰۰ سال، ۲۴ درصد کاهش داشته است.
- مقایسه خاک ۲۱ نشان می دهد که در پروفیل خاک ۱ که لایه اول آن شامل ۵ متر ریزدانه می باشد مقدار شتاب سطح نسبت به شتاب سنگ بستر افزایش زیادی پیدا می کند ولی در

پروفیل خاک ۲ که لایه اول آن ۵ متر درشت‌دانه می باشد شتاب سطح نسبت به شتاب سنگ بستر افزایش زیادی پیدا نمی کند و در دوره بازگشت‌های بالاتر حتی نسبت به شتاب سنگ بستر کاهش پیدا می کند.

- مقایسه طیف فوریه شتاب سنگ بستر با طیف فوریه شتاب سطح زمین در دو پروفیل خاک نشان می‌دهد در محدوده فرکانسی که فرکانس سطح زمین و سنگ بستر به هم نزدیک هستند پدیده تشدید اتفاق افتاده است و در سایر فرکانس‌ها تقلیل اتفاق افتاده است.
- نتایج حاصل از آنالیز پاسخ به روش معادل خطی در برخی موارد نشان‌دهنده‌ی آن است که صرف‌نظر از ضخامت لایه خاک، حرکت ورودی با عبور از خاک تقویت می شود. در برخی موارد هم با افزایش ضخامت لایه‌های خاکی شتاب ماکزیمم هم کاهش می یابد.
- به طور کلی می‌توان گفت که اثر نرم شدن جنس زمین به صورت کاهش ضریب تشدید شتاب در فرکانس‌های بالا و افزایش آن در فرکانس‌های پایین بروز می کند.

۲-۵ پیشنهادات

موارد زیر توسط نویسندگان برای ادامه تحقیقات در آینده پیشنهاد می‌شود:

- تحلیل غیرخطی پاسخ ساختگاه انجام شود. و نتایج روش‌های تحلیل خطی معادل و غیرخطی با هم مقایسه شود.
- تحلیل خطر برای سایر شهرهای استان سمنان انجام شود.
- تحلیل خطر با استفاده از نرم‌افزار Fz risk انجام شود.

مراجع

[۱] میرحسینی م. ، (۱۳۷۸) " مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای " موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله - ترجمه کتاب " Geotechnical earthquake engineering-stevn L.kramer".

[۲] " <http://www.iiees.ac.ir/fa/home/> " پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

[3] Borcherdt, R. D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. Bulletin of the Seismological Society of America, 60(1), 29-61.

[4] Chin, B. H., & Aki, K. (1991). Simultaneous study of the source, path, and site effects on strong ground motion during the 1989 Loma Prieta earthquake: a preliminary result on pervasive nonlinear site effects. Bulletin of the Seismological Society of America, 81(5), 1859-1884.

[5] Phanikanth, V. S., Choudhury, D., & Reddy, G. R. (2011). Equivalent-linear seismic ground response analysis of some typical sites in Mumbai. Geotechnical and Geological Engineering, 29(6), 1109.

[۶] دزفولی م.، کیقبادی م.، مقصودی ع.، (۱۳۹۲)، " بررسی موردی ساختگاه بر پارامترهای حرکت نیرومند زمین در محل احداث سایت اب شیرین کن مپنای قشم"، اولین کنفرانس ملی ژئوتکنیک ایران، دانشگاه محقق اردبیل.

[7] Du, W., & Pan, T. C. (2016). Site response analyses using downhole arrays at various seismic hazard levels of Singapore. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 90, 169-182.

[8] Shiuly, A., Sahu, R. B., Mandal, S., & Roy, N. (2018). Local Site Effect Due to Past Earthquakes in Kolkata. Journal of the Geological Society of India, 91(4), 400-410.

[9] Mase, L. Z., Likitlersuang, S., & Tobita, T. (2018). Analysis of seismic ground response caused during strong earthquake in Northern Thailand. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 114, 113-126.

[10] Sonmezer, Y. B., Celiker, M., & Bas, S. (2019). An investigation on the evaluation of dynamic soil characteristics of the Elazig City through the 1-D equivalent linear site-response analysis. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1-24.

[11] <https://www.google.com/maps/>

[۱۲] محمدی م.، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: " تهیه نقشه زمین شناسی مهندسی شهر شاهرود"، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

[13] Baziar, M. H., Fallah, H., Razeghi, H. R., & Khorasani, M. M. (1998). The relation of shear wave velocity and SPT for soils in Iran. In Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering.

[14] Akin, M. K., Kramer, S. L., & Topal, T. (2011). Empirical correlations of shear wave velocity (Vs) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey). Engineering Geology, 119(1-2), 1-17.

[15] Bellana, N. (2009). Shear wave velocity as function of SPT penetration resistance and vertical effective stress at California bridge sites (Doctoral dissertation, University of California, Los Angeles).

[16] Dikmen, Ü. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72.

[۱۷] میرزایی ن، (۱۳۸۱)، "پارامترهای مبنایی زمین لرزه‌های ایران"، دانش‌نگار، ۲۶-۱۰.

[۱۸] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله- استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) کمیته دائمی بازنگاری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.

[17] ICOLD (1989) *Moraine as Embankment and Foundation Material—State of the Art. Bulletin 69, International Commission on Large Dams, Paris.*

[۲۰] نشریه شماره ۶۲۶، (۱۳۹۲)، "راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله"

[۲۱] عرب یارمحمدی ع، (۱۳۹۰)، "تشریح روش تحلیل خطر احتمالاتی زلزله PSHA"،

<https://civil808.com/>

[22] Kanamori, H. (1979). A semi-empirical approach to prediction of long-period ground motions from great earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 69(6), 1645-1670.

[23] Shahvar, M. P., Zare, M., & Castellaro, S. (2013). A unified seismic catalog for the Iranian plateau (1900–2011). *Seismological Research Letters*, 84(2), 233-249.

[24] Mousavi-Bafrouei, S. H., Mirzaei, N., & Shabani, E. (2015). A declustered earthquake catalog for the Iranian Plateau. *Annals of Geophysics*, 57(6).

[25] Mirzaei, N., Gao, M., & Chen, Y. T. (1999). Delineation of potential seismic sources for seismic zoning of Iran. *Journal of Seismology*, 3(1), 17-30.

[۲۶] آقابابازاده، ن، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه ارشد: "تحلیل هندسی سیستم‌های گسله‌های شرق ایران بر اساس تصاویر ماهواره‌ای"، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال

[۲۷] آرین، م، احمدی کمیجانی، ن، سلگی، ع، رحیمی، ن، (۱۳۸۹)، لرزه زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه ساختگاه سد جریانی دز، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، ۲، ۱۴-۱.

[28] Shoja-Taheri, J., Naserieh, S., & Hadi, G. (2010). A test of the applicability of NGA models to the strong ground-motion data in the Iranian plateau. *Journal of Earthquake Engineering*, 14(2), 278-292.

[29] Douglas, J. (2018). *Ground-motion prediction equations 1964-2018* (p. 609). University of Strathclyde.

[30] McGuire, R. K. (1976). FORTRAN computer program for seismic risk analysis (No. 76-67). US Geological Survey.

- [31] Baker, J. W. (2013). An introduction to probabilistic seismic hazard analysis. White paper version, 2(1), 79.
- [32] Kijko, A., & Sellevoll, M. A. (1992). Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1), 120-134.
- [33] Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., ... & Simionato, M. (2014). OpenQuake engine: an open hazard (and risk) software for the global earthquake model. *Seismological Research Letters*, 85(3), 692-702.
- [34] Halldorsson, B. (2002). On the Calibration of the Specific Barrier Model to Eastern North America Earthquakes. *Student Research Accomplishments 2001–2002*, 1.
- [35] Kwok, A. O., Stewart, J. P., Hashash, Y. M., Matasovic, N., Pyke, R., Wang, Z., & Yang, Z. (2007). Use of exact solutions of wave propagation problems to guide implementation of nonlinear seismic ground response analysis procedures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(11), 1385-1398.
- [36] Orense, R. P. (2005). Assessment of liquefaction potential based on peak ground motion parameters. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(3), 225-240.

پیوست

کاتالوگ اولیه زلزله‌های دستگاہی

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Ref
1/2/1903	07:15.0	36.5	54.9	25	Ms:5	MEA
10/24/1917	00:00.0	36.94	54.31	0	Ms:5.3	AMB
7/3/1924	18:50.0	35.5	55	0	mb:5	ISS
4/14/1928	16:33.0	35.5	55	0	M:5.2	ISS
4/26/1928	40:01.0	37.4	55.4	10	Ms:4.8	MEA
5/20/1932	16:11.0	36.5	53.5	0	Ms:5.4	MEA
4/11/1935	14:00.0	36.36	53.32	0	mb:6.8	AMB
4/12/1935	06:35.0	36	53.5	53	Ms:5.5	MEA
4/12/1935	44:30.0	36	53.4	43	Ms:5.6	MEA
4/12/1935	24:00.0	36.3	53.5	0	mb:4.5	ISS
4/12/1935	31:48.0	36.3	53.5	12	Ms:5.1	MEA
4/13/1935	29:02.0	36	53.5	40	Ms:4.9	MEA
4/15/1935	04:35.0	35.9	54	70	Ms:4.4	MEA
4/17/1935	36:35.0	36.3	53.5	0	mb:4.5	ISS
9/8/1935	16:12.0	37.3	54.4	10	Ms:4.3	MEA
4/6/1939	08:08.0	35.45	54.56	0	Ms:5.4	NOW
5/4/1940	28:22.0	37.5	55	0	mb:4.2	ISS
4/18/1942	10:00.0	35.3	55	12	M:4.5	CCP(BAN)
4/5/1944	06:02.0	36.7	54.5	13	mb:5.4	BER,M
4/5/1944	29:30.0	36	54.8	12	M:4.7	CCP(BAN)
9/26/1947	16:07.0	37	55	10	Ms:4.3	MEA
11/5/1949	05:44.0	37.16	55.16	33	Ms:5.4	NAB
2/14/1950	06:07.0	36.87	55.26	94	Ms:4.6	NOW
7/20/1950	33:00.0	37	56	0	Ms:4	NAB
7/20/1950	02:18.0	37.1	55.9	0	Ms:4	NAB
5/20/1952	00:00.0	36.6	53.4	12	Ms:5.4	ULM
10/9/1952	12:19.0	36.65	54.33	0	Ms:4.6	NOW
2/12/1953	15:00.0	35.39	55.08	10	mb:6.9	A28
2/13/1953	36:28.0	35.6	54.7	0	M:4.5	CP(BAN)
4/1/1953	24:35.0	35.5	55.2	0	M:4	CP(BAN)
4/18/1953	22:34.0	36.83	54.41	12	mb:4.8	BER,M
7/11/1953	25:08.0	35.9	55.1	0	M:4.5	CP(BAN)
7/24/1953	30:56.0	36.8	55.4	0	M:4.5	CP(BAN)
7/24/1953	29:30.0	35.5	55	0	M:4.7	CP(BAN)
8/24/1953	29:31.0	36	54.5	0	mb:4.7	STR
8/22/1955	19:05.0	36.6	56	10	Ms:4.5	MEA
5/4/1956	49:00.0	37	56.4	0	Ms:4	NAB
7/7/1956	30:32.0	37.24	55.98	0	Ms:4.5	NAB
6/9/1957	44:00.0	37.4	55.6	9	Ms:4.3	MEA
6/26/1958	56:18.0	37.3	56.2	10	Ms:4.3	MEA
9/23/1958	13:00.0	37.2	56.1	10	Ms:4.3	MEA

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Ref
9/29/1958	12:22.0	37.2	56.1	10	Ms:4.3	MEA
10/6/1958	29:22.0	37.41	54.47	3	Ms:5	NOW
9/5/1961	09:53.0	36.74	54.18	26	mb:4	NOW
3/19/1962	05:15.0	37.46	54.25	45	Ms:4.3	NOW
5/24/1962	39:50.0	37	55.5	0	mb:4	MOS
7/8/1962	02:00.0	36.6	54.8	0	M:4.9	CCP(BAN)
7/21/1962	07:00.0	37.05	55.21	0	Ms:4.3	NOW
7/28/1962	02:00.0	36.6	54.8	11	Ms:4.5	MEA
9/29/1962	23:22.0	36.03	53.46	0	Ms:4.3	NOW
12/8/1962	02:54.0	36.55	54.79	15	Ms:4.8	EHB
8/11/1963	43:48.0	37.1	55.2	33	mb:4.4	USCGS
10/24/1964	27:27.0	37	55.1	33	M:4	ISC
12/1/1964	21:53.0	36.8	54.57	33	mb:4.6	ISC
12/3/1964	32:38.0	36.8	55.34	33	mb:5	ISC
5/7/1965	03:05.0	36.17	54.82	62	mb:4.6	ISC
11/28/1965	49:46.0	36	56	0	M:4	MOS
12/6/1965	17:29.0	36.8	55.7	33	M:4	ISC
2/3/1967	17:38.0	36.7	53.7	37	mb:4.3	ISC
8/6/1967	40:13.0	36.9	54.94	33	mb:4.5	ISC
9/2/1967	02:09.0	36.71	54.95	36	mb:5.1	ISC
11/10/1967	50:52.0	36	53.89	5	mb:5	ISC
12/10/1967	52:50.0	36.19	53.69	19	mb:5	ISC
5/19/1968	49:50.0	36.61	53.35	22	mb:4.6	ISC
7/29/1968	03:43.0	36.72	53.85	14	mb:4.8	ISC
12/12/1968	54:47.0	35.8	53.49	27	mb:4.9	ISC
1/26/1969	25:53.0	36.736	54.487	10	mb:4.7	EHB
9/25/1969	25:29.0	36.71	55.12	32	mb:5.1	ISC
1/27/1970	05:52.0	36.86	55.14	31	mb:5.1	ISC
2/25/1970	07:47.0	37.44	55.71	4	mb:5	ISC
4/3/1970	53:54.0	37.065	54.697	26	mb:5	EHB
4/4/1970	56:52.0	36.94	55.28	33	mb:4	ISC
7/30/1970	35:11.0	37.52	55.87	33	mb:4.8	ISC
2/14/1971	27:34.0	36.553	55.68	15	Mw:5.7	EHB
3/16/1971	28:10.0	36.887	54.984	33	M:5	ISC
10/15/1971	19:32.0	37.332	54.587	41	MS:5	ISC
2/23/1972	13:47.0	36.211	53.457	73	mb:4.6	ISC
3/11/1974	42:05.0	36.852	55.541	33	mb:4.1	ISC
11/26/1974	59:25.0	36.352	55.121	76	mb:4.3	ISC
1/31/1976	52:13.0	36.63	53.808	24	mb:4.2	ISC
4/16/1976	23:03.0	36.69	54.306	5	M:4.3	ISC
6/1/1976	17:34.0	37.521	54.516	34	mb:4.4	ISC
5/2/1977	17:49.0	36.999	55.264	15	mb:5.1	EHB

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Ref
9/3/1977	05:06.0	36.995	55.968	33	mb:4.6	ISC
11/9/1977	20:33.0	36.702	54.991	33	mb:4.9	ISC
3/2/1978	42:16.0	37.184	54.46	58	mb:4.6	ISC
6/8/1979	46:10.0	37.075	55.616	3	mb:4.4	ISC
9/3/1979	07:12.0	36.696	55.028	24	mb:4.3	ISC
10/2/1979	38:25.0	37.043	55.843	33	mb:4.4	ISC
1/11/1980	42:46.0	37.054	56.032	33	mb:4.6	ISC
7/23/1980	52:33.0	36.858	56.26	33	mb:4.8	ISC
4/27/1981	10:10.0	37.254	54.653	41	mb:4.1	ISC
8/9/1981	08:16.0	36.855	55.218	15	mb:4.9	EHB
8/12/1981	27:46.0	37.029	55.262	33	mb:4.3	ISC
1/9/1982	45:43.0	36.376	54.485	33	mb:4.2	ISC
2/5/1982	37:12.0	36.127	53.678	33	mb:4.5	ISC
5/15/1982	36:08.0	35.472	54.071	15	mb:4.5	EHB
1/7/1983	17:05.0	36.694	55.11	33	mb:4.2	ISC
9/23/1983	08:12.0	36.96	55.215	33	mb:4.4	ISC
5/11/1984	58:51.0	36.617	54.939	25	mb:4.9	EHB
6/15/1984	50:14.0	37.157	55.357	15	mb:4.4	EHB
8/1/1984	36:48.0	36.526	54.791	40	mb:4.3	ISC
6/27/1985	07:17.0	36.881	55.348	24	mb:4.4	ISC
7/8/1985	02:35.0	36.274	53.712	33	mb:4.7	ISC
8/22/1985	15:46.0	36.883	55.214	33	mb:4.3	ISC
10/29/1985	13:41.0	36.68	54.772	15	Mw:6.1	EHB
10/29/1985	42:13.0	36.517	54.73	60	mb:4.6	ISC
10/29/1985	49:20.0	36.584	54.593	33	mb:4.7	ISC
10/29/1985	23:05.0	36.901	54.899	13	Mw:6.2	EHB
11/6/1985	47:58.0	36.698	54.629	54	mb:4.5	ISC
11/24/1985	22:35.0	36.901	54.886	0	mb:4.7	ISC
3/26/1986	18:09.0	36.011	53.679	34	mb:4.6	ISC
12/26/1986	39:39.0	37.004	56.192	33	mb:4.5	ISC
1/13/1988	56:57.0	37.272	54.398	15	mb:4.9	EHB
9/13/1989	01:32.0	37.242	54.225	30	mb:5.1	EHB
2/16/1990	55:06.0	35.91	54.551	25	mb:4.8	EHB
8/18/1990	51:43.0	37.065	56.269	13	mb:4.9	EHB
10/31/1990	29:14.0	36.587	54.713	33	mb:4.3	ISC
11/25/1991	39:00.0	37.117	55.669	25	mb:4.7	EHB
1/25/1992	20:08.0	35.579	56.077	33	mb:4.7	ISC
9/9/1992	12:57.0	36.962	55.23	15	mb:4.9	EHB
6/19/1993	01:55.0	36.746	54.826	15	mb:4.5	EHB
7/9/1993	06:05.0	36.877	55.226	61	mb:4.1	ISC
7/13/1993	22:54.0	37.012	55.306	26	mb:4.6	ISC
10/18/1993	28:24.0	36.547	53.775	33	mb:4.5	ISC

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Ref
3/15/1994	46:15.0	36.852	54.815	33	mb:4.4	ISC
6/4/1994	38:57.0	36.718	54.76	53	mb:4.7	ISC
7/11/1994	57:39.0	37.426	54.423	30	mb:4.7	EHB
7/12/1994	12:16.0	37.695	54.569	33	mb:4.5	ISC
7/23/1994	08:15.0	37.323	54.349	30	mb:4.7	EHB
11/23/1995	29:34.0	35.969	53.41	15	mb:4	EHB
12/30/1995	56:23.0	36.917	54.904	24	mb:4.3	ISC
2/17/1997	53:50.0	36.873	54.752	15	mb:4.2	EHB
9/16/1997	15:33.0	36.832	54.097	30	mb:4.4	EHB
11/3/1997	59:30.0	36.271	54.481	15	mb:4.5	EHB
1/24/1998	51:56.0	35.824	53.541	20	mb:4.1	EHB
12/10/1998	06:29.0	36.076	54.592	33	mb:4	ISC
8/10/1999	33:59.0	36.157	54.648	20	mb:4.4	EHB
11/19/1999	40:25.0	37.324	54.405	31	Mw:5.4	EHB
11/26/1999	27:23.0	36.953	54.896	10	Mw:5.3	EHB
12/9/1999	20:37.0	36.448	53.573	15	mb:4.5	EHB
6/4/2000	32:27.0	36.412	56.497	33	mb:4.4	ISC
7/3/2000	08:16.0	35.943	54.79	33	mb:4.1	ISC
8/16/2000	53:02.0	36.706	54.366	25	Mw:4.9	EHB
5/11/2001	45:59.0	37.11	56.149	30	mb:4.4	EHB
7/26/2001	35:14.0	37.59	55.16	33	mb:4.2	IDC
8/25/2001	31:13.0	36.88	55.33	18	ML:4.6	ISC
6/28/2002	27:29.0	36.153	54.048	33	mb:4.2	ISC
9/17/2002	06:00.0	36.9	54.67	33	mb:4.1	NEIC
11/27/2002	55:30.0	37.069	56.311	15	mb:4.1	EHB
3/12/2003	30:05.0	37.48	55.28	19	mb:4.1	ISC
3/30/2003	08:17.0	37.36	54.423	30	MS:4.7	ISC
3/7/2004	18:01.0	37.102	54.902	33	mb:4.3	ISC
3/24/2004	39:24.0	36.745	55.045	15	mb:4.4	EHB
3/27/2004	31:21.0	36.917	55.149	10	mb:4.1	ISC
4/13/2004	44:33.0	36.835	55.732	35	mb:4	ISC
6/4/2004	37:14.0	36.14	53.601	2	mb:4.1	ISC
9/2/2004	41:03.3	35.32	54.35	14	ML:4.1	IIEES
10/7/2004	46:15.2	37.4	54.58	17	ML:6.2	IIEES
10/7/2004	02:49.0	37.54	54.53	15	ML:4.1	IIEES
10/7/2004	21:02.0	37.55	54.69	14	ML:4.3	IIEES
10/8/2004	49:16.9	37.64	54.85	15	ML:4.2	IIEES
10/8/2004	45:48.8	37.39	54.53	15	ML:4.9	IIEES
10/16/2004	59:43.2	37.01	56.35	15	ML:4	IIEES
1/10/2005	47:25.8	37.38	54.58	15	ML:5.6	IIEES
8/26/2005	21:40.5	37.11	54.35	16	ML:4.2	IIEES
11/29/2005	57:03.0	37.59	54.69	15	ML:5	IIEES

Date	Time	Lat	Lon	Depth	Mag	Ref
6/16/2006	12:56.1	37.46	54.05	14	ML:4.3	IIEES
11/11/2006	03:55.4	37.67	55.6	15	ML:4	IIEES
12/20/2007	20:03.1	36.62	54.93	16	ML:4.1	IIEES
1/6/2008	22:56.7	37.21	54.57	17	ML:4.4	IIEES
3/18/2008	56:47.4	37.04	55.54	14	ML:4.1	IIEES
5/15/2008	22:08.0	36.93	55.33	7	ML:4.1	IIEES
8/23/2009	51:21.2	37.34	54.1	14	ML:4	IIEES
9/29/2009	32:04.5	36.87	55.38	14	ML:4	IIEES
3/4/2010	24:22.6	37.39	54.3	18	ML:4.5	IIEES
8/27/2010	23:48.0	35.46	54.49	14	ML:5.9	IIEES
8/28/2010	29:03.9	35.47	54.47	15	ML:5.2	IIEES
2/8/2011	24:19.8	36.56	55.74	10	ML:4.3	IIEES
8/11/2011	32:17.2	36.56	54.81	8	ML:4.7	IIEES
2/29/2012	22:55.3	37.18	54.53	14	ML:4.3	IIEES
12/19/2012	52:41.3	37.11	54.62	26	ML:4.1	IIEES
3/21/2013	37:04.7	36.19	53.69	14	ML:4.8	IIEES
7/24/2013	51:55.2	36.07	53.47	18	ML:4.3	IIEES
7/27/2013	39:09.0	36.92	56.09	18	ML:4	IIEES
3/31/2014	10:22.1	37.37	54.03	14	ML:4.1	IIEES
6/13/2014	12:25.2	37.04	55.12	14	ML:4.3	IIEES
9/6/2014	34:22.1	36.55	54.78	17	ML:4.6	IIEES
9/7/2014	12:55.9	36.56	54.83	16	ML:4.4	IIEES
12/5/2014	49:29.8	36.96	53.95	15	ML:4	IIEES
1/5/2015	43:33.8	37.18	54.52	15	ML:4.2	IIEES
3/2/2015	12:47.6	36.29	54.19	17	ML:4	IIEES
8/17/2015	36:00.9	36.348	55.284	6	ML:4.3	IIEES
8/24/2015	23:45.9	36.861	55.151	15	ML:4	IIEES
9/15/2015	35:49.8	37.322	54.352	17	ML:4.7	IIEES
12/2/2016	29:51.0	36.767	54.889	15	ML:4	IIEES
12/27/2016	56:19.6	36.997	55.871	6	ML:4.6	IIEES
3/12/2017	08:10.5	36.708	54.926	17	ML:4	IIEES
4/22/2017	37:40.8	37.287	54.466	16	ML:4	IIEES
6/22/2017	00:19.7	36.165	53.96	15	ML:4.4	IIEES
8/22/2017	49:52.4	36.848	55.272	15	ML:4.3	IIEES
2/17/2018	32:12.6	36.797	55.341	15	ML:4.2	IIEES
3/18/2018	53:14.9	36.797	55.314	15	ML:4.5	IIEES
7/6/2018	57:21.8	36.079	54.835	14	ML:4.4	IIEES
8/10/2018	00:48.3	36.709	55.018	14	ML:4.2	IIEES
8/16/2018	41:51.0	36.843	55.216	15	ML:4.7	IIEES

جدول زلزله‌های هر چشمه

چشمه ۱			چشمه ۲		چشمه ۳	
Label	Date	Mw	Date	Mw	Date	Mw
100	1/25/1992	4.8	6/4/2000	4.4	5/15/1982	4.6
23	4/1/1953	4	8/22/1955	5.1	2/16/1990	5
21	2/12/1953	7.7	11/28/1965	4	8/24/1953	4.8
13	4/18/1942	4.5	2/8/2011	4.6	12/10/1998	4
3	7/3/1924	5.2	2/14/1971	5.7	8/10/1999	4.4
4	4/14/1928	5.2	8/17/2015	4.6	11/3/1997	4.6
27	7/24/1953	4.7	11/26/1974	4.3	1/9/1982	4.2
22	2/13/1953	4.5	7/11/1953	4.5	12/22/0856	7.9
11	4/6/1939	5.6	7/3/2000	4.1	3/2/2015	4.4
148	8/27/2010	5.9	4/5/1944	4.7	6/28/2002	4.2
134	9/2/2004	4.5	7/6/2018	4.7	6/22/2017	4.7
182	06/26/1808	6.6	5/7/1965	4.7	4/15/1935	5
					11/10/1967	5.2
					3/26/1986	4.7
					3/21/2013	5
					2/5/1982	4.6
					6/4/2004	4.1
					7/24/2013	4.6
					9/29/1962	4.9
					11/23/1995	4
					1/24/1998	4.1
					12/12/1968	5.1
چشمه ۴			چشمه ۵		چشمه ۶	
Label	Date	Mw	Date	Mw	Date	Mw
90	7/8/1985	4.8	7/23/1980	5	10/24/1964	4
176	02/05/1127	6.8	5/4/1956	4.8	6/13/2014	4.6
9	4/17/1935	4.6	10/16/2004	4.4	8/11/1963	4.4
65	2/23/1972	4.7	11/27/2002	4.1	7/21/1962	4.9
177	08/16/1301	6.7	8/18/1990	5.1	5/2/1977	5.4
6	5/20/1932	5.6	04/28/1883	5.8	9/9/1992	5.1
7	4/11/1935	7.6	12/26/1986	4.6	9/23/1983	4.4
19	5/20/1952	5.6	7/27/2013	4.4	4/4/1970	4
53	5/19/1968	4.7	5/11/2001	4.4	9/29/2009	4.4
16	9/26/1947	4.9	7/20/1950	4.8	6/27/1985	4.4
63	3/16/1971	5	9/3/1977	4.7	8/25/2001	4.9
51	8/6/1967	4.6	4/13/2004	4	8/22/2017	4.6
109	12/30/1995	4.3	12/6/1965	4	7/9/1993	4.1
117	11/26/1999	5.3	12/27/2016	4.9	8/22/1985	4.3
105	3/15/1994	4.4	10/2/1979	4.4	8/9/1981	5.1

چشمه ۱			چشمه ۲		چشمه ۳	
Label	Date	Mw	Date	Mw	Date	Mw
110	2/17/1997	4.2	3/11/1974	4.1	8/24/2015	4.4
126	9/17/2002	4.1	6/26/1958	4.9	7/24/1953	4.5
14	4/5/1944	5.7	7/7/1956	5.1	12/3/1964	5.2
56	1/26/1969	4.8	11/25/1991	4.8	2/17/2018	4.6
45	12/1/1964	4.7	6/8/1979	4.4	1/7/1983	4.2
24	4/18/1953	5	3/18/2008	4.5	9/25/1969	5.4
121	8/16/2000	4.9	5/24/1962	4	1/2/1903	5.4
20	10/9/1952	5.1	6/15/1984	4.4	8/1/1984	4.3
69	4/16/1976	4.3	11/12/0874	6	8/11/2011	4.9
35	9/5/1961	4	12/09/1463	5.3	12/8/1962	5.2
54	7/29/1968	5	07/06/1436	5.3	9/6/2014	4.9
68	1/31/1976	4.2	09/16/1498	6.5	6/19/1993	4.6
104	10/18/1993	4.6	11/5/1949	5.6	12/2/2016	4.4
50	2/3/1967	4.3	7/30/1970	5	3/12/2017	4.4
118	12/9/1999	4.6	2/25/1970	5.2	3/24/2004	4.4
2	10/24/1917	5.6	6/9/1957	4.9	9/3/1979	4.3
111	9/16/1997	4.4	4/26/1928	5.2	8/10/2018	4.6
159	12/5/2014	4.4	3/12/2003	4.1	11/9/1977	5.1
130	3/7/2004	4.3	7/26/2001	4.2	12/20/2007	4.5
59	4/3/1970	5.2	5/4/1940	4.2	5/11/1984	5.1
152	12/19/2012	4.5	11/11/2006	4.4	7/28/1962	5.1
180	05/08/1470	5.5			7/8/1962	4.9
138	8/26/2005	4.6			10/31/1990	4.3
74	3/2/1978	4.7			07/11/1890	7.2
160	1/5/2015	4.6			01/15/1898	5.3
151	2/29/2012	4.6				
143	1/6/2008	4.7				
79	4/27/1981	4.1				
139	11/29/2005	5.2				
70	6/1/1976	4.4				
135	10/7/2004	6.1				
137	1/10/2005	5.6				
64	10/15/1971	5.4				
168	4/22/2017	4.4				
34	10/6/1958	5.4				
106	7/11/1994	4.8				
129	3/30/2003	5.2				
116	11/19/1999	5.4				
10	9/8/1935	4.9				
94	1/13/1988	5.1				
164	9/15/2015	4.9				

چشمه ۱			چشمه ۲		چشمه ۳	
Label	Date	Mw	Date	Mw	Date	Mw
107	7/23/1994	4.8				
95	9/13/1989	5.4				
147	3/4/2010	4.8				
36	3/19/1962	4.9				
145	8/23/2009	4.4				
156	3/31/2014	4.5				
140	6/16/2006	4.6				

Abstract

Structural conditions are one of the most important and influential factors on the dynamic response of the site. The local conditions of the site have a significant effect on all the important characteristics of a powerful land movement, including amplitude, frequency, and duration, meaning that the characteristics of an earthquake, depending on the physical and dynamic characteristics of the site, can be amplified or deamplified at certain frequencies. In 1331, an earthquake 5.5 occurred in the village of Torud and 135 kilometers south of Shahrud, causing great damage and killed nearly a thousand people, which illustrates the significance of this study for Shahrood. In this study, an earthquake in bedrock level is required for ground response analyze there fore, the earthquake parameters are obtained using probablitic risk analysis for different return periods and the related earthquake are generated artificially. The risk analysis for the return period is 100 years, 475 years, 975 years, 2475 years and 10,000 years. And, using the risk analysis spectrum, five earthquake records have been generated. Using a database of geotechnical experiments in Shahrood, 2 different types for soil profile were considered and then the site response analysis was done in a linear way. The results of the risk analysis indicate that the specific range of the site in this study for the return period of 475 years is 89% of the range of the 2800 regulation range. The results of the analysis of the site response show that the acceleration of the earth's surface relative to the bedrock acceleration is about 70% for the acceleration of the bedrock, but in other parts of the earth's acceleration, relative to the acceleration of the bedrock for the return period of 100 years, 475 years and 975 The year will increase by about 5%, but will decrease by about 12% for the period of 2475 years and 10,000 years.

Key words: Probabilistic risk analysis, Site specificity, Site response analysis, Shahrood city



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Civil Engineering
M.Sc.Thesis in Geotechnical Engineering

**Investigation of site effects on strong ground motions,
case study: Shahrood**

By: Roya Rahmatian

Supervisor:
Dr. Amir Bazrafshan Moghaddam

January 2019