

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

امروزه با توجه به تنوع ساخت‌وساز، خصوصاً در ساختمان‌های مرتفع و نامنظم، استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی برای طراحان ضروری است. برای این منظور، باید به بانک شتاب‌نگاشت‌های موجود مراجعه و شتاب‌نگاشت‌های منطبق با شرایط ساختگاه را انتخاب کرد. شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌های نزدیک، متوسط و دور دارای محتوای فرکانسی متفاوتی هستند. همچنین شرایط ساختگاه نیز تأثیر قابل توجهی بر دامنه و پرید سیکل‌های لرزه‌ای دارد. یکی دیگر از مسائل مهم، دوام لرزه‌ها و اثرات مختلف آنها بر سازه‌ها است. در این پژوهش، رکوردهای مختلف شتاب لرزه از پایگاه اطلاعات مرکز تحقیقات مهندسی زلزله دانشگاه کالیفرنیا استخراج و بررسی شد. سپس رکوردها با توجه به معیارهای مختلف از جمله حوزه تأثیر، تنوع بزرگا، فاصله، شرایط خاک ساختگاه و دوام لرزه دسته‌بندی شدند. پایگاه اطلاعاتی این مطالعه شامل ۱۰۴ شتاب‌نگاشت برای زلزله‌های نزدیک، ۱۲۸ شتاب‌نگاشت برای زلزله‌های متوسط و ۱۴۹ شتاب‌نگاشت برای زلزله‌های دور می‌باشد که پراکندگی آنها بر اساس معیارهای مختلف آورده شده است. استفاده از جداول شتاب‌نگاشت‌های این تحقیق به طراحان کمک می‌کند تا با رعایت تنوع لازم در انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مورد نیاز برای تحلیل تاریخچه زمانی، سازه‌ها را با اطمینان بیشتری در برابر زلزله‌های احتمالی مقاوم سازند و خطا در انتخاب شتاب‌نگاشت تا حد زیادی کاهش یابد.

واژگان کلیدی: انتخاب شتاب‌نگاشت، تحلیل تاریخچه زمانی، حوزه نزدیک زلزله، حوزه متوسط زلزله، حوزه دور زلزله، سرعت موج برشی، دوام لرزه‌ای.

پیشنهاد مجموعه شتاب‌نگاشت‌های منتخب حوزه‌های نزدیک، متوسط و دور برای خاک‌های متفاوت با رعایت تنوع بزرگا، پراکندگی فاصله‌ای، سرعت موج برشی ساختگاه و دوام لرزه‌ای

هومن برجویی روشن‌پور

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

حمید صفاری (نویسنده مسئول)

دانشیار، گروه مهندسی سازه و زلزله، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،
h_saffari@sbu.ac.ir

سید علیرضا کازرونیان

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۱- مقدمه

مورد نظر سازگار باشند (Ashayeri & Nikbakhtan, 2016). تحقیقات نشان می‌دهد که حرکات شدید زمین نسبت به سایر منابع عدم قطعیت، نظیر مشخصات سازه و ساختگاه، تقریب‌های مدل‌سازی و فرضیات تحلیل و طراحی بیشترین تأثیر را بر پاسخ سازه دارد (Padgett & DesRoches, 2007). تصادفی بودن ماهیت زلزله باعث می‌شود تا نتوان به‌صراحت وقوع زلزله را در منطقه‌ای خاص پیش‌بینی کرد. از طرف دیگر، تعیین دقیق پارامترهای تأثیرگذار لرزش زمین نظیر مقادیر بیشینه‌ی حرکت زمین، مدت‌زمان حرکت شدید و محتوای فرکانس که ممکن

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های عمده‌ای در حوزه‌ی تحقیقات و رهیافت‌های مهندسی زلزله صورت گرفته است. بخشی از این پیشرفت‌ها در حوزه‌هایی نظیر روش‌های تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها، همچون تحلیل تاریخچه‌ی زمانی خطی و غیرخطی و کاربرد آن در مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد می‌باشد. در مهندسی زلزله و طراحی سازه‌ها بر مبنای عملکرد، می‌توان شتاب‌نگاشت‌ها را از پایگاه داده‌های حرکات ثبت‌شده‌ی زمین در زمین‌لرزه‌های گذشته بر اساس شاخص‌هایی نظیر بزرگی، فاصله از گسل و مکانیسم گسل انتخاب کرد و سپس آنها را به‌گونه‌ای مقیاس کرد که با شرایط

همکاران (Li et al., 2019) روشی را پیشنهاد داده‌اند که می‌توان به کمک آن، رکوردهایی از حرکات زمین که منجر به شدیدترین حالت آسیب در نیروگاه خواهد شد را شناسایی کرد. در صورتی که معرفی یک مجموعه‌ی مناسب از حرکات زمین با قابلیت کاربرد برای گستره‌ی وسیعی از مشخصات سازه‌ای و ژئوتکنیکی مدنظر باشد، نمی‌توان از روش‌های مبتنی بر مشخصات سازه استفاده کرد، زیرا سیستم‌های سازه‌ای در یک منطقه‌ی جغرافیایی ممکن است به محدوده‌ی گسترده‌ای از پیوندها حساس باشند و برخی از سایت‌ها نیز ممکن است در معرض حرکات پالس مانند حوزه‌ی نزدیک، متوسط و دور قرار داشته باشند (Kwong & Chopra, 2018). پالانسی و همکاران (Palanci et al., 2018) در مطالعه‌ای با موضوع ارزیابی آماری تقاضای لرزه‌ای در ساختمان‌های بتنی با قاب خمشی کوتاه، میان بلندمرتبه نشان دادند که تحلیل تاریخچه‌ی زمانی تحت مجموعه‌های مختلف از رکوردهای حرکات زمین منجر به برآورد یکسان از تقاضای لرزه‌ای نخواهد شد، حتی اگر این مجموعه‌ها بر مبنای طیف طراحی یکسانی انتخاب شده باشند. نتیجه‌ای مشابه در یک مطالعه‌ی دیگر که توسط تیان و همکاران در خصوص ارزیابی عملکرد لرزه‌ای برج‌های انتقال برق انجام شد، حاصل گردید (Tian et al., 2018). متأسفانه این نکته که رکوردهای مناسب باید با توجه به شرایط حاکم بر چشمه لرزه‌زا، ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی، فاصله از گسل و بزرگای منطقه انتخاب شوند، مورد غفلت قرار می‌گیرد. حال آن که آیین‌نامه‌های طراحی و لرزه‌ای مانند بارگذاری آمریکا ASCE-7 (American Society of Civil Engineers, 2022, January) و استاندارد اروپا EuroCode-8 (Code, P, 2005)، به‌صراحت بیان می‌کنند که رکوردهای مناسب باید به گونه‌ای انتخاب شوند که ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی و همچنین سازوکار چشمه لرزه‌زا فاصله از گسل و بزرگای در فهرست انتخابی رعایت شوند. بنابراین انتخاب شتاب‌نگاشت در تحلیل تاریخچه زمانی مهم است و نتایج تحلیل مورد نظر به‌طور کامل به انتخاب فهرست بستگی خواهد داشت (Katsanos et al., 2010).

است در آینده در یک منطقه رخ دهد، امری بعید به نظر می‌رسد. با این حال، انتخاب یک مجموعه‌ی مناسب از رکوردهای لرزه برای انجام تحلیل‌های دینامیکی اجتناب‌ناپذیر است. ترجیح بر این است که از رکوردهای ثبت شده در یک منطقه خاص که تا حدودی شرایط و ویژگی‌های لرزه‌های آینده را نمایندگی می‌کند، استفاده شود. با توجه به اینکه برای بسیاری از مناطق جهان و برای بسیاری از طراحی‌های مورد نظر، پایگاه داده‌های مربوط به حرکات ثبت شده، پراکنده و یا به‌طور کلی فاقد اطلاعات می‌باشند، به‌ناچار باید حرکات ثبت شده در سایر مناطق نیز مورد بررسی قرار گیرند. انتخاب مناسب رکوردهای حرکت زمین مستلزم شناخت مشخصاتی از لرزه است که بر سیستم‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی تأثیرگذار است. به‌طور معمول، رکوردهای حرکات زمین بر اساس پارامترهای لرزه‌ای در سایت که وابسته به مشخصات سازه هستند، انتخاب می‌شوند. این پارامترها از محاسبات تحلیل خطر به دست می‌آید. سپس، شدت حرکات زمین با پارامتری تحت عنوان شاخص شدت اندازه‌گیری و بر اساس احتمال فراگذشت مشخص در سایت مقیاس می‌شود (Yahyaabadi & Tehranizadeh, 2011). در رابطه با انتخاب حرکات زمین بر اساس پارامترهای وابسته به مشخصات سازه، می‌توان به مطالعات استیوارت و همکاران (Stewart et al., 2002)، بیکر و آلین کرنل (Baker & Allin, 2006)، هسلتون و همکاران (Haselton et al., 2009)، و کاستانوس و سکتوس (Katsanos & Sextos, 2018) اشاره کرد. مجموعه رکوردهای انتخاب شده بر اساس این روش‌ها، فقط برای یک سازه‌ی مشخص در ساختمان معلوم قابل کاربرد است. تحقیقات نشان می‌دهد که پراکنندگی در پاسخ‌های یک سازه تحت یک مجموعه رکورد حرکت زمین قابل توجه خواهد بود، حتی اگر این رکوردها بر مبنای یک سطح خطر لرزه‌ای یکسان انتخاب شده باشند (Zhai et al., 2013). بنابراین در برخی تحقیقات، ایده‌ی لرزش‌های بحرانی ملاک انتخاب مجموعه حرکات زمین برای تحلیل سازه‌های مهم نظیر نیروگاه‌های هسته‌ای قرار گرفته است. بر اساس این ایده، لی و

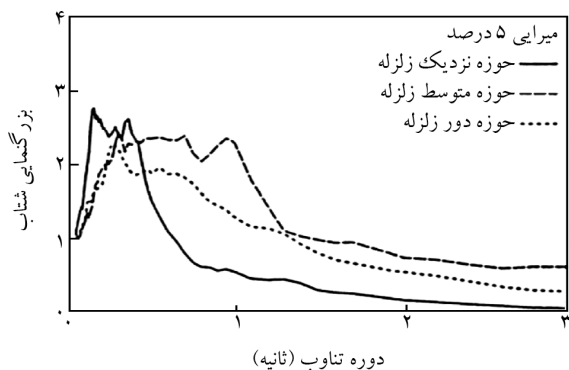
ایستگاه‌های شتاب‌نگاری این شبکه اعم از آنالوگ و دیجیتال تا سال ۱۴۰۲ هجری شمسی به بیش از ۱۴۴۰ عدد رسیده است. برای تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله و ساخت ساختمان‌های مقاوم دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی رایج است. تحلیل دینامیکی خود نیز به دو نوع تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی و طیفی تقسیم می‌شود. انتخاب دقیق شتاب‌نگاشت‌های سازگار با شرایط ساختمانی یک طرح از اهمیت زیادی برخوردار است. زعفرانی و سقراط (Zafarani & Soghrat, 2017) در یک تحقیق مجموعه‌ای شامل ۲۲۸۶ رکورد سه مؤلفه‌ای از ۴۶۱ زمین لرزه ایران با حداقل دو رکورد با کیفیت بالا با بزرگی گشتاور از ۳/۹ تا ۷/۳ را جمع‌آوری نمودند. این رکوردها حدود ۲۰ درصد از پایگاه داده‌های شتاب‌نگاری ایران را شامل می‌شدند و برای تحلیل خطرات لرزه‌ای و کاربردهای مهندسی مناسب هستند. آنها برای اولین بار، فاصله تا سطح تصویر شده افقی گسل را برای تعداد زیادی رکورد مربوط به زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای گشتاور بالای ۶ گزارش کردند. آنها شتاب‌های خام را با استفاده از روش نویز زدایی مویک پردازش نموده و با تصحیح و فیلتر این داده‌های خام، شتاب‌های شبه طیفی برای هر یک از سه مؤلفه سری‌های زمانی را به‌طور جداگانه محاسبه نمودند. در تحقیق یاد شده علاوه بر پارامترهای حرکت زمین، فهرست بزرگ و جامعی از فراداده‌ها که شرایط ثبت هر رکورد را مشخص می‌کند نیز توسعه داده شد. آنها همچنین بر روی رکوردهای ویژه که دارای شتاب بیشینه سطح زمین $PGA > 3.0$ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه و مسافت کمتر از ۳۰ کیلومتر بودند تمرکز کردند که رکوردهای «استثنایی» در مجموعه داده ایرانی بوده و کمتر از ۲ درصد از مجموعه داده انتخابی را شامل می‌شوند.

برای تحلیل خطر لرزه‌ای و محاسبه طیف ویژه ساختمانی که منظور تحلیل‌های دینامیکی طیفی می‌باشد تحقیق دیگری توسط زعفرانی و سقراط (Zafarani & Soghrat, 2024) انجام گرفته است که روابط میرایی برای شاخص‌های لرزه‌ای ویژه فلات ایران را پیشنهاد می‌دهد. آنها از یک پایگاه داده به‌روز شده جنبش

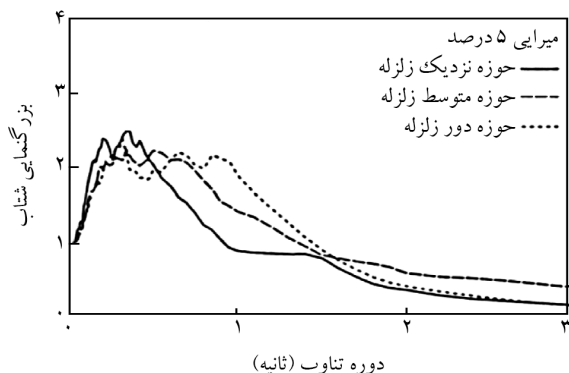
این موضوع دلالت بر تأثیر عدم قطعیت ذاتی موجود در رکوردهای زلزله و ضرورت توجه به آن در انتخاب رکوردهای زلزله دارد. بیکر و همکاران روشی را پیشنهاد دادند که بر آن اساس می‌توان مجموعه‌ای از حرکات زمین را انتخاب کرد که طیف پاسخ زلزله‌های آنها، مقدار میانگین و انحراف معیار مشخصی داشته باشد (Baker et al., 2011). بر خلاف بسیاری از روش‌ها که در آنها فقط انطباق با طیف میانگین مدنظر است، در نظر گرفتن انحراف معیار طیف طراحی در انتخاب رکوردها سبب می‌شود که مجموعه رکوردهای انتخاب شده بر اساس این روش، عدم قطعیت ذاتی موجود در زلزله را نیز در برگیرد. در این روش، ابتدا چندین طیف پاسخ با استفاده از روش‌های احتمالاتی بر اساس مقادیر آماری طیف هدف تولید می‌شود. سپس، آن دسته از حرکات ثبت شده‌ی زمین در زلزله‌های گذشته طیف پاسخ آنها با طیف‌های شبیه‌سازی شده انطباق دارد، انتخاب می‌شود. به این ترتیب، میانگین و واریانس مجموعه‌ی حرکات زمین که بر مبنای این روش انتخاب می‌شود، منطبق بر مقادیر هدف خواهد بود. مطالعات کتکه و راجه در سال ۲۰۰۸، تنها پژوهش قابل قبول در زمینه انتخاب حرکات زمین بر مبنای میانگین و واریانس طیف هدف قبل از مطالعات بیکر و همکاران می‌باشد (Kottke & Rathje, 2008). در بیشتر آیین‌نامه‌ها ضابطه‌ای درباره‌ی نحوه انتخاب ضریب مقیاس هر یک از رکوردها پیشنهاد نشده است؛ لذا می‌توان از روش‌های متفاوتی برای تعیین ضریب مقیاس هر رکورد استفاده کرد. همچنین در استاندارد طراحی لرزه‌ای ایران، ضمن معرفی یک روش مناسب با عنوان حداقل مجموع مربعات خطاها برای تعیین ضریب مقیاس هر رکورد، با مقایسه کارایی این شاخص با شاخص‌های مساحت شتاب طیفی و حداکثر شتاب زمین، اثرات استفاده از شاخص‌های مختلف برای مقیاس کردن رکوردها بر نتایج نهایی مورد ارزیابی قرار گرفته است (BHRC, 2014).

شبکه ملی شتاب‌نگاری زلزله ایران (ISMN, BHRC) در سال ۱۳۵۲ تأسیس گردید و تا سال ۱۳۷۱ حدود ۲۷۶ دستگاه شتاب‌نگار آنالوگ (SMA1) در سراسر کشور نصب کرد. تعداد

است. با این حال، برای پیوندهای کوتاه‌تر، بزرگنمایی برای حوزه نزدیک بزرگ‌تر است. اثر فاصله برای رکوردهای روی آبرفت کمتر قابل احراز است.



(الف) شتاب‌نگاشت‌های روی بستر سنگی



(ب) شتاب‌نگاشت‌های روی بستر آبرفتی

شکل (۱): متوسط بزرگنمایی شتاب (شبه شتاب تقسیم بر PGA) برای رکوردهای روی سنگ و آبرفت برای سه حوزه نزدیک، متوسط و دور (Mohraz, 1992).

در گذشته به علت عدم وجود داده‌های کافی از حرکات نیرومند زمین با بزرگای زیاد، معادلاتی که برای تخمین حرکت نیرومند زمین استفاده می‌شد اغلب مربوط به تاریخچه زمانی‌های زلزله‌ها با بزرگی متوسط و در حوزه دور از منبع لرزه‌زا بود. امروزه تاریخچه زمانی‌های بیشتری از حرکت نیرومند زمین با بزرگای زیاد در حوزه نزدیک منبع لرزه‌زا در دسترس می‌باشد (Tahmasebi & Rahimi, 2021).

۳- روش انجام تحقیق

در این تحقیق برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها از پایگاه

نیرومند زمین لرزه‌های ایران برای توسعه روابط تجربی میرایی جهت برآورد بیشینه سرعت سطح زمین (PGV)، بیشینه شتاب سطح زمین (PGA) و شتاب‌های طیفی (SA) با میرایی ۵ درصد تا پیوند ۱۰/۰ ثانیه استفاده نمودند. در تحقیق مزبور برای رفع کبود داده‌های لرزه‌ای ایران در حوزه نزدیک، از برخی رکوردهای NGA-West2 استفاده شد تا در استفاده از رابطه پیشنهادی دیگر محدودیتی نباشد. آنها از ۳۰۱۵ رکورد متعلق به ۵۹۴ زمین لرزه جهت توسعه رابطه میرایی استفاده نمودند. مدل ارائه شده آنها برای فاصله تا گسل (بر اساس تعریف جوینر و بور) در محدوده صفر تا ۱۸۰ کیلومتر، بزرگای گشتاور بین ۴ تا ۷/۹ و V_{S30} از ۱۵۰ متر بر ثانیه تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه معتبر است.

۲- زلزله‌های حوزه‌های نزدیک، متوسط و دور

وقوع زمین لرزه‌های بزرگ در نزدیکی شهرهایی که در مجاورت گسل قرار گرفته‌اند غیر قابل انکار است. این زمین لرزه‌ها دارای ویژگی‌های خاصی هستند که آنها را از زلزله‌های حوزه متوسط و دور از گسل متمایز می‌سازد. تحقیقات و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که برش و ممان پایه برای حرکات حوزه نزدیک بسیار بیشتر از حوزه‌های متوسط و دور می‌باشد. مطالعات اخیر نشان داده است که فاصله بر شکل و شدت طیف زلزله تأثیر زیادی می‌گذارد. با استفاده از داده‌های زمین لرزه‌ای لوماپریتا که در اکتبر ۱۹۸۹ وقوع پیوست، محرز (Mohraz, 1992) تاریخچه زمانی شتاب‌نگاشت زلزله‌ها را به سه گروه تقسیم کرده است:

- حوزه نزدیک: فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر تا گسل
- حوزه متوسط: فاصله از ۲۰ الی ۵۰ کیلومتر تا گسل
- حوزه دور: بیشتر از ۵۰ کیلومتر تا گسل.

محرز (Mohraz, 1992) متوسط بزرگنمایی شتاب (شبه شتاب تقسیم بر PGA) را برای رکوردهای روی سنگ و آبرفت برای سه حوزه نزدیک، متوسط و دور را مطابق شکل (۱) ارائه نمود. وی نشان داد که برای مکان‌های روی بستر سنگی، بزرگنمایی برای حوزه نزدیک به‌طور قابل توجهی کوچک‌تر از حوزه متوسط و یا دور برای پیوندهای بزرگ‌تر از ۰/۵ ثانیه

در برابر انواع زلزله‌ها را داشته باشد.

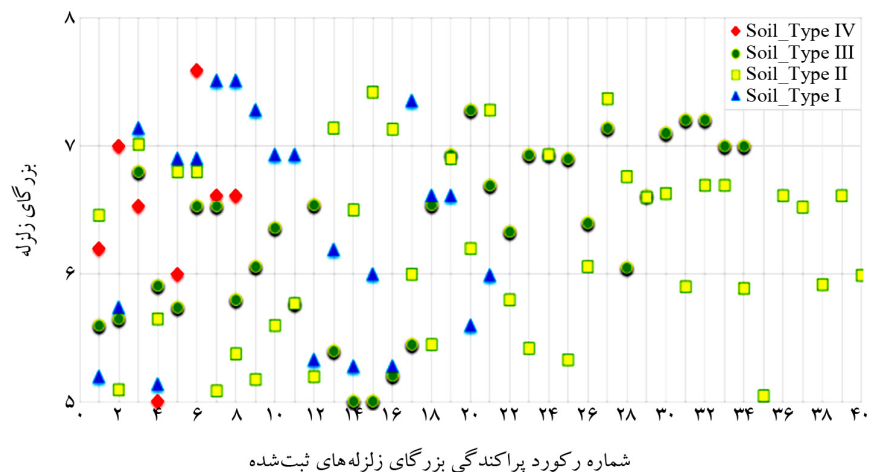
۴- پایگاه داده‌ها

در این تحقیق انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب برای زلزله‌های حوزه نزدیک، متوسط و دور به‌طور جداگانه انجام گرفته است. پایگاه اطلاعاتی در این مطالعه برای زلزله‌های نزدیک، متوسط و دور به ترتیب ۱۰۴، ۱۲۸ و ۱۴۹ شتاب‌نگاشت می‌باشد. با توجه به اینکه اطلاعات این شتاب‌نگاشت‌ها حجم زیادی اشغال می‌کند، در اینجا صرفاً به درج پراکندگی شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک بر اساس معیارهای مختلف در شکل‌های (۲) تا (۴) در چهار تیپ خاک پرداخته می‌شود.

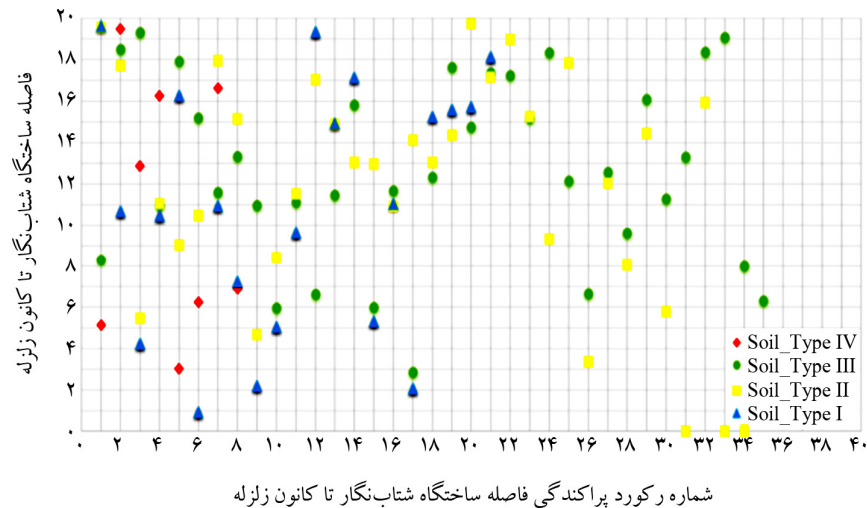
مشابه آنچه در شکل‌های (۲) تا (۴) انجام گرفته است برای حوزه‌های متوسط و دور نیز انجام شد که به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله امکان نمایش آنها نیست. لکن از آنجا که این تعداد شتاب‌نگاشت نیز زیاد می‌باشند و زمان بسیاری برای تحلیل تاریخچه زمانی صرف خواهد گردید، مؤلفان تلاش نمودند با رعایت تنوع در همه معیارها تعداد هفت شتاب‌نگاشت برای هر حوزه و هر تیپ خاک به شرح زیر ارائه دهند. لازم به توضیح است که محور افقی نمودارهای شکل‌های (۲) تا (۴) نشانگر شماره رکورد از تیپ خاک و حوزه مربوطه می‌باشد. مشخصات کامل این رکوردها در مرجع (Barjouie Roshan Pour, 2024) آورده شده است.

اطلاعات مرکز تحقیقات مهندسی زلزله دانشگاه کالیفرنیا استفاده گردید (www.ngawest2.berkeley.edu). نخست کلیه شتاب‌نگاشت‌های موجود در این پایگاه که بزرگای گشتاور زلزله مسبب آنها بین ۵ تا ۷/۵ می‌باشد برگرفته شد و با توجه به فاصله در سه دسته حوزه نزدیک (کمتر از ۲۰ کیلومتر)، حوزه متوسط (بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر) و حوزه دور (بالای ۵۰ کیلومتر) دسته‌بندی شدند. در ادامه با توجه به سرعت موج برشی ساختگاه هر شتاب‌نگاشت و نیز دسته‌بندی خاک‌های استاندارد ۲۸۰۰ ایران، رکوردهای یاد شده طبقه‌بندی گردید. با توجه به تعداد رکوردهای قابل توجه در بسیاری از رده‌های فاصله-تیپ خاک نیاز است از بین آنها با رعایت معیارهای پراکندگی انتخاب درست صورت پذیرد. در ادامه تلاش شد تا در هر دسته فاصله از بزرگای گشتاور ۵ تا بالاتر منتخبی از همه مقادیر لرزه‌ای انجام شود.

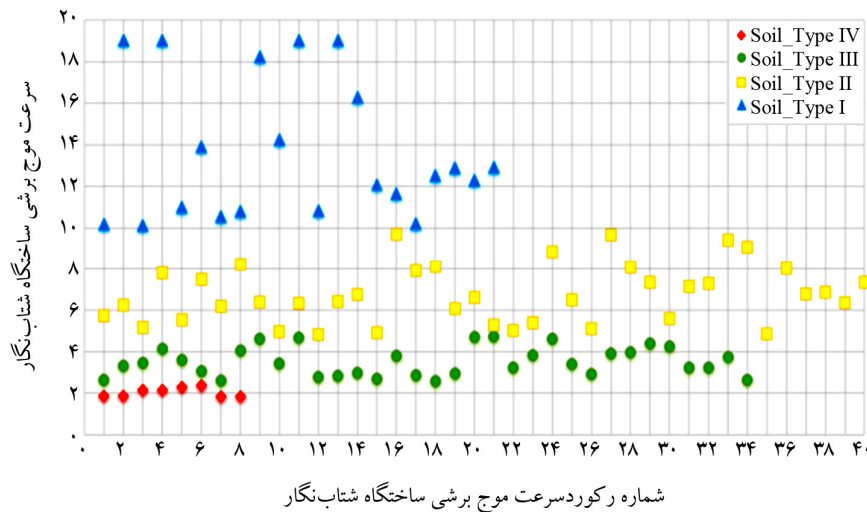
همچنین تلاش شد سرعت موج برشی هر دسته نیز از مقادیر پایین تا بالای آن رده را پوشش دهد. این کار برای تنوع فاصله و نیز تنوع دوام لرزه‌ای نیز انجام گردید. شکل پراکندگی بر اساس هر معیار عنوان شده به‌خوبی در این مقاله ترسیم شده است. استفاده از جداول شتاب‌نگاشت‌های این تحقیق کمک شایانی جهت رعایت تنوع لازم در انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مورد نیاز تحلیل تاریخچه زمانی به طراحان سازه می‌نماید به‌طوری که سازه طرح شده مقاومت لازم



شکل (۲): تنوع بزرگای زلزله‌های حوزه نزدیک برای خاک نوع ۱ الی ۴.



شکل (۳): تنوع فاصله ساختگاه شتاب‌نگار تا کانون زلزله‌های حوزه نزدیک برای خاک نوع ۱ الی ۴.



شکل (۴): تنوع سرعت موج برشی ساختگاه شتاب‌نگار

استاندارد ۲۸۰۰ و اکثر آئین‌نامه‌های لرزه‌ای، شتاب‌نگاشت‌ها باید به طیف استاندارد مربوطه و بر اساس خطرپذیری ساختگاه مورد نظر مقیاس شوند. آنچه در این تحقیق آورده شده است حالت مقیاس نشده است تا درک بهتری از واقعیت زلزله‌های رخ داده در حوزه‌های مختلف نزدیک، متوسط و دور ارائه دهد.

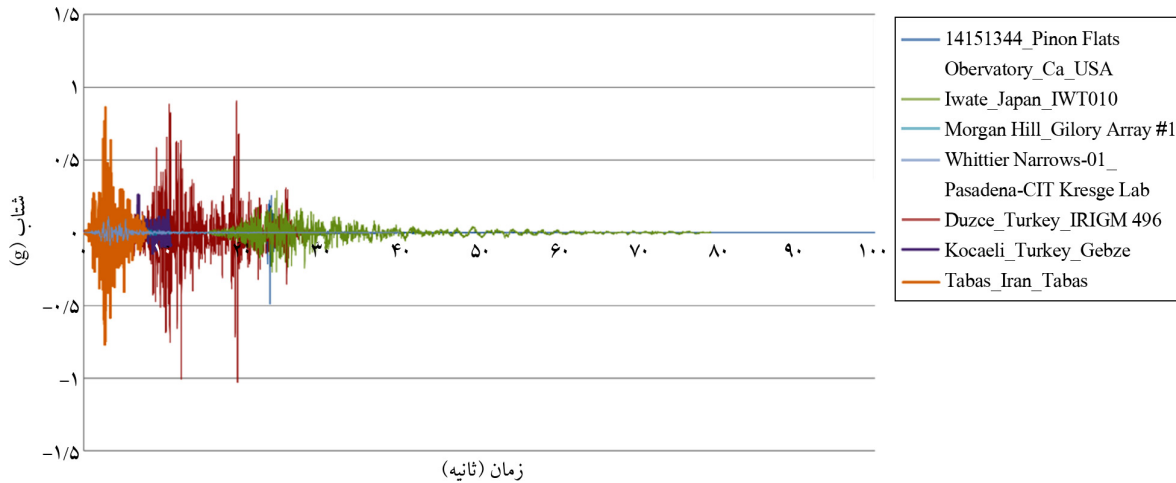
در جدول (۱) رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک در خاک تپ ۱ نشان داده شده است. شکل (۵) مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک و شکل (۶) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد در خاک تپ ۱ را ارائه می‌دهد.

۴-۱- شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی حوزه‌های نزدیک در خاک‌های مختلف

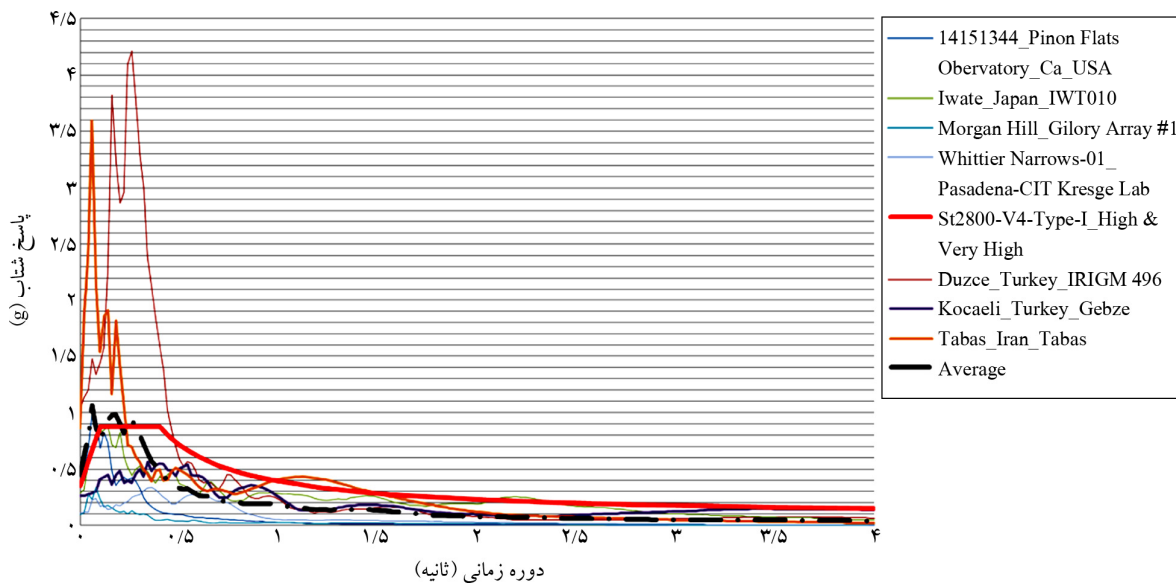
در این بخش شتاب‌نگاشت‌های منتخب با رعایت کلیه پراکنندگی‌ها در حوزه نزدیک تا دور و روی خاک‌های مختلف ارائه شده است. ضمناً طیف پاسخ شتاب آنها نیز با مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) جهت مقایسه آورده شده است. لازم است به توضیح است پاره‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها، شتابی به مراتب بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ ایران و برخی نیز مقادیر کمتری از آن را دارند! این بستگی به پتانسیل لرزه‌خیزی منبع مجاور ساختگاه مورد نظر دارد که باید با تحلیل خطر مشخص شود. از این‌رو طبق

جدول (۱): رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک در خاک تیپ ۱.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختمان (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
								۱ افقی ۲ افقی
۱	۱۴۱۵۱۳۴۴	۲۰۰۵	Pinon Flats Observatory - Ca USA	۵/۲	۲۰	۷۶۳	۵/۷۵	۰/۴۸۹ ۰/۲۴۸
۲	Duzce_Turkey	۱۹۹۹	IRIGM 496	۷/۲	۴	۷۶۰	۹/۸۵	۱/۰۳۱ ۰/۷۵۱
۳	Iwate_Japan	۲۰۰۸	IWT010	۶/۹	۱۶	۸۲۶	۹/۴۵	۰/۲۸۸ ۰/۲۲۵
۴	Kocaeli_Turkey	۱۹۹۹	Gebze	۷/۵	۱۱	۷۹۲	۱۰/۱۵	۰/۲۶۱ ۰/۱۴۴
۵	Morgan Hill	۱۹۸۴	Gilroy Array#1	۶/۲	۱۵	۱۴۲۹	۷/۰۰	۰/۰۹۴ ۰/۰۷۰
۶	Tabas_Iran	۱۹۷۸	Tabas	۷/۴	۲	۷۶۷	۱۴/۶۰	۰/۸۶۱ ۰/۸۵۳
۷	Whittier Narrows-01	۱۹۸۷	Pasadena-CIT Kresge Lab	۵/۹	۱۸	۹۷۰	۹/۲۵	۰/۱۱۲ ۰/۰۹۵



شکل (۵): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک در خاک تیپ ۱.

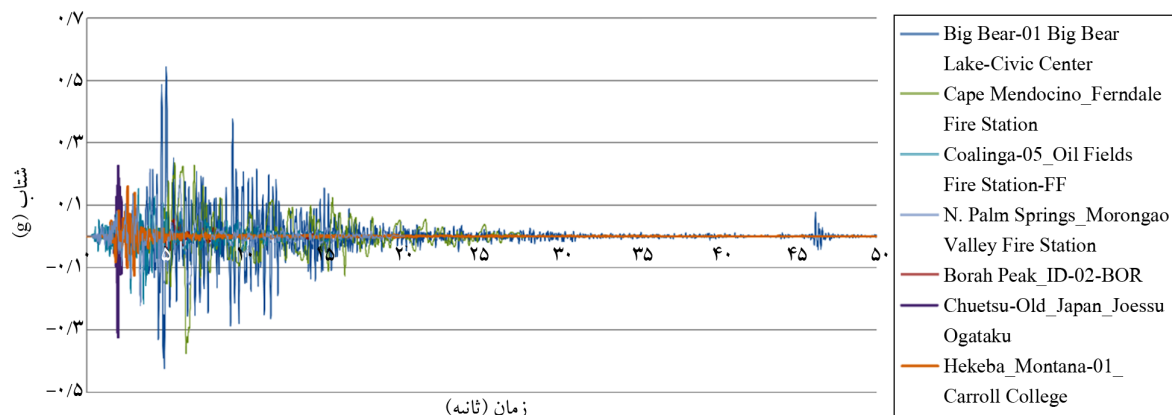


شکل (۶): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد در خاک تیپ ۱

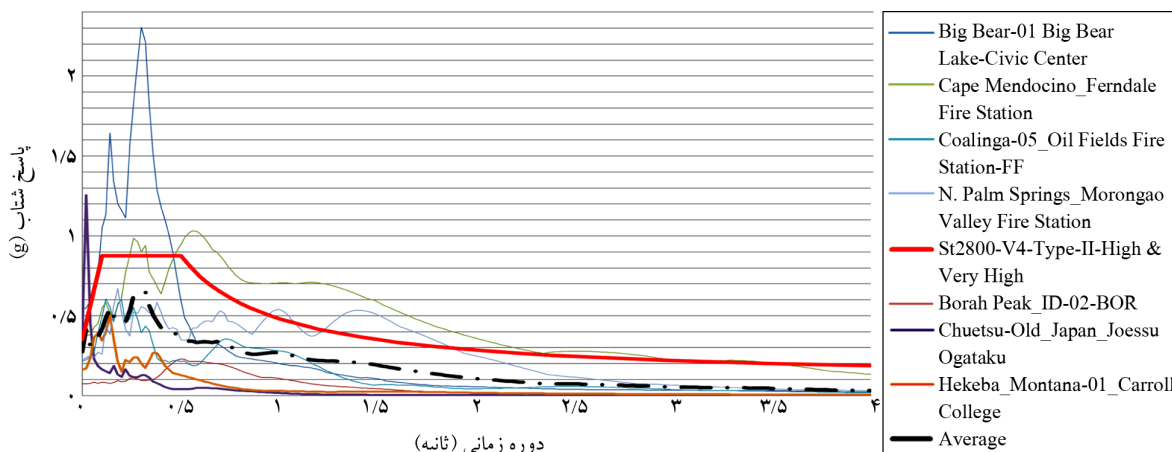
در جدول (۲) نیز رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک روی شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ خاک تپ ۲ آورده شده است. شکل (۷) مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک و شکل (۸) طیف پاسخ نشان می‌دهد.

جدول (۲): رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک در خاک تپ ۲.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگنمایی (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	Big Bear-01	۱۹۹۲	Big Bear Lake - Civic Center	۶/۴	۸	۴۳۱	۵/۲۵	۰/۵۴۴ / ۰/۴۸۱
۲	Borah Peak_ID-02	۱۹۸۳	BOR	۵/۱	۱۸	۴۶۹	۴/۱۰	۰/۰۷۴ / ۰/۰۵۴
۳	Cape Mendocino	۱۹۹۲	Ferndale Fire Station	۷/۰	۱۹	۳۸۸	۴/۵۰	۰/۳۶۶ / ۰/۲۶۷
۴	Chuetsu-oki_Japan	۲۰۰۷	Joetsu Ogataku	۶/۸	۱۸	۴۱۵	۲/۶۰	۰/۳۳۲ / ۰/۱۸۸
۵	Coalinga-05	۱۹۸۳	Oil Fields Fire Station - FF	۵/۷	۱۱	۴۷۵	۴/۲۰	۰/۲۱۷ / ۰/۱۹۳
۶	Helena_Montana-01	۱۹۳۵	Carroll College	۶/۰	۳	۵۹۴	۴/۰۵	۰/۱۶۱ / ۰/۱۵۶
۷	N. Palm Springs	۱۹۹۲	Morongao Valley Fire Station	۷/۲	۱۷	۳۹۷	۴/۳۵	۰/۲۲۳ / ۰/۲۱۷



شکل (۷): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک در خاک تپ ۲.



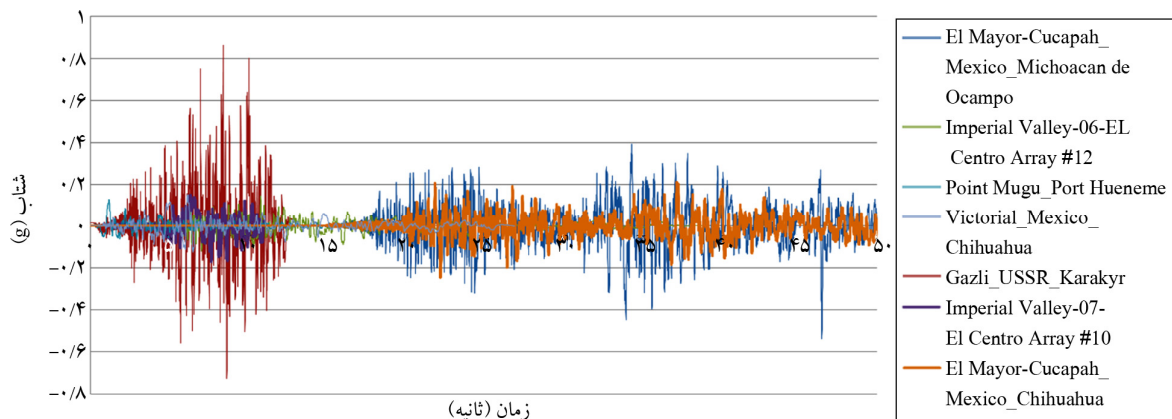
شکل (۸): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد در خاک تپ ۲.

شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد روی خاک تیپ ۳ را نمایش می‌دهد.

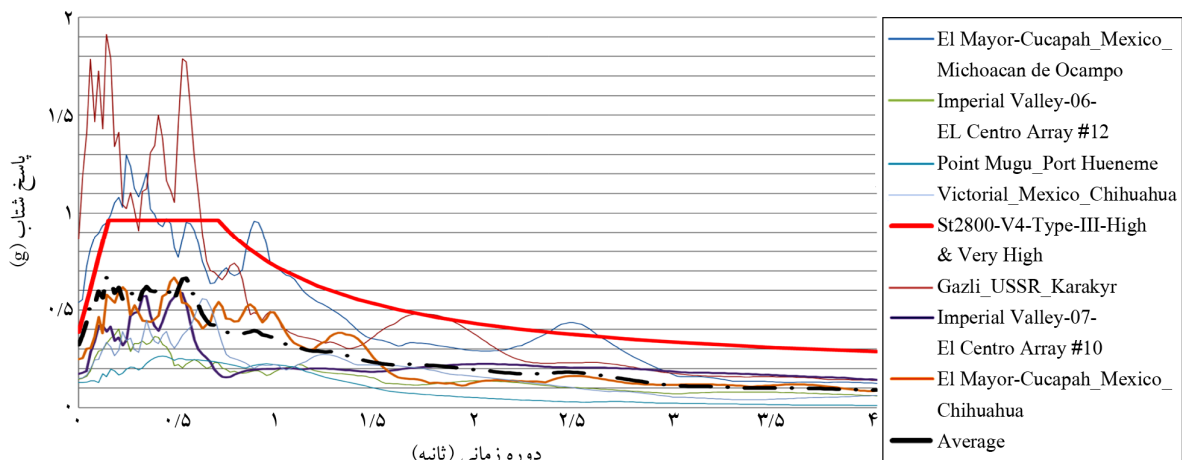
در جدول (۳) رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک روی خاک تیپ ۳ نشان داده شده است. شکل (۹) نیز مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک و شکل (۱۰) طیف پاسخ

جدول (۳): رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک در خاک تیپ ۳.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	El Mayor-Cucapah _ Mexico	۲۰۱۰	MICHOACAN DE OCAMPO	۷/۲	۱۶	۲۴۳	۴/۲۵	۰/۵۳۷ ۰/۴۰۸
۲	Gazli_ USSR	۱۹۷۶	Karakyr	۶/۸	۵	۲۶۰	۴/۹۰	۰/۸۶۳ ۰/۷۰۱
۳	Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array#1۲	۶/۵	۱۸	۱۹۷	۳/۹۵	۰/۱۴۴ ۰/۰۶۹
۴	Imperial Valley-07	۱۹۷۹	El Centro Array#1۰	۵/۰	۱۳	۲۰۳	۴/۴۵	۰/۱۷۳ ۰/۱۰۹
۵	Point Mugu	۱۹۷۳	Port Hueneme	۵/۷	۱۸	۲۴۹	۴/۱۰	۰/۱۲۷ ۰/۰۷۴
۶	Victoria_ Mexico	۱۹۸۰	Chihuahua	۶/۳	۱۹	۲۴۳	۴/۳۰	۰/۱۵۰ ۰/۰۹۷
۷	El Mayor-Cucapah _ Mexico	۲۰۱۰	Chihuahua	۷/۲	۱۸	۲۴۳	۴/۳۰	۰/۲۴۸ ۰/۱۹۷



شکل (۹): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک در خاک تیپ ۳.

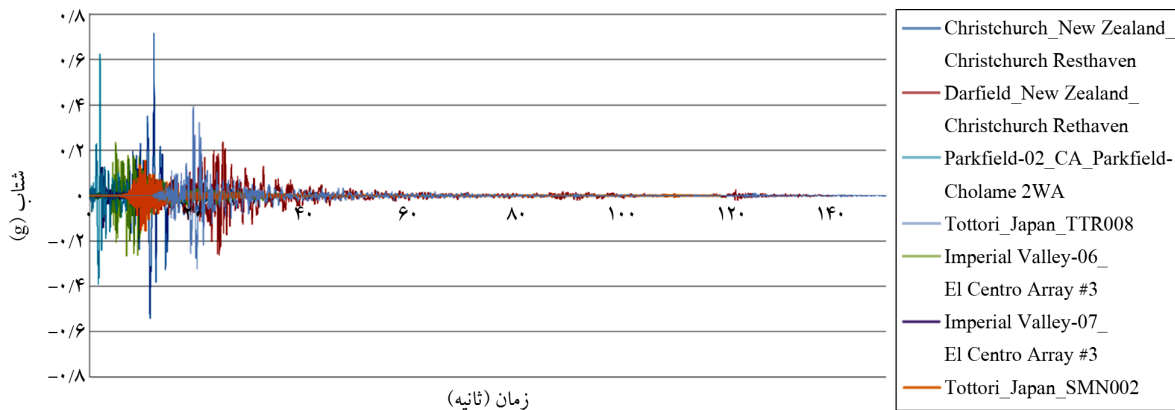


شکل (۱۰): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد در خاک تیپ ۳.

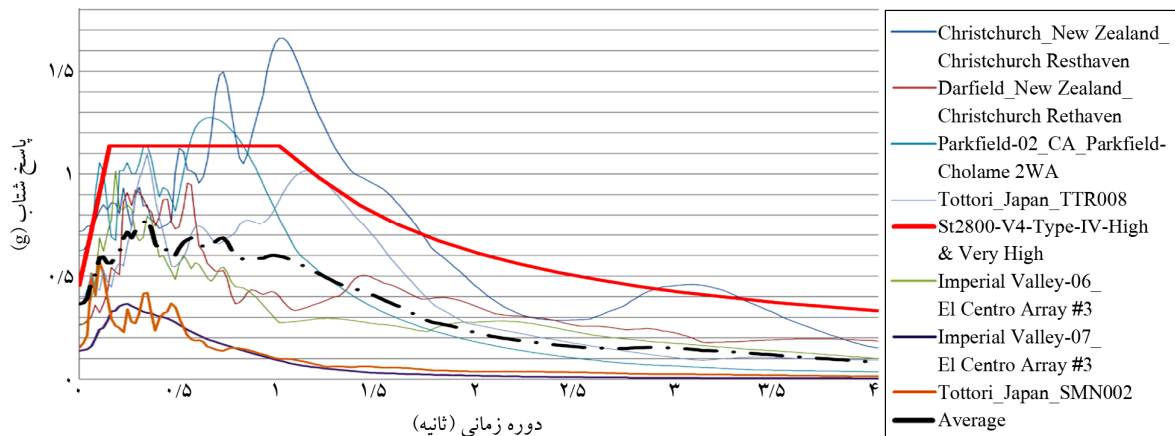
در جدول (۴) رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک روی خاک تپ ۴ آورده شده است. شکل (۱۱) مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک و شکل (۱۲) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ نرم و پیوندهای بلند اثر بزرگنمایی مشاهده می‌شود.

جدول (۴): رکوردهای پیشنهادی حوزه نزدیک در خاک تپ ۴.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لوزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)	بیشینه شتاب افقی ۱	بیشینه شتاب افقی ۲
۱	Christchurch_ New Zealand	۲۰۱۱	Christchurch Resthaven	۶/۲	۵	۱۴۱	۵/۱۰	۰/۷۱۵	۰/۳۷۱	
۲	Darfield_ New Zealand	۲۰۱۰	Christchurch Resthaven	۷/۰	۱۹	۱۴۱	۳/۱۰	۰/۲۶۲	۰/۲۳۷	
۳	Imperial Valley-06	۱۹۷۹	El Centro Array #3	۶/۵	۱۳	۱۶۳	۶/۲۰	۰/۲۶۷	۰/۱۳۲	
۴	Imperial Valley-07	۱۹۷۹	El Centro Array #3	۵/۰	۱۶	۱۶۳	۷/۰۵	۰/۱۳۸	۰/۰۲۴	
۵	Parkfield-02_ CA	۲۰۰۴	Parkfield - Cholame 2 WA	۶/۰	۳	۱۷۴	۵/۰۰	۰/۶۲۳	۰/۱۹۰	
۶	Tottori_ Japan	۲۰۰۰	SMN002	۶/۶	۱۷	۱۳۹	۴/۳۵	۰/۱۵۴	۰/۱۰۷	
۷	Tottori_ Japan	۲۰۰۰	TTR008	۶/۶	۷	۱۴۰	۵/۸۵	۰/۳۹۱	۰/۳۱۹	



شکل (۱۱): مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه نزدیک در خاک تپ ۴.



شکل (۱۲): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی تر زلزله‌های حوزه نزدیک و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد در خاک تپ ۴.

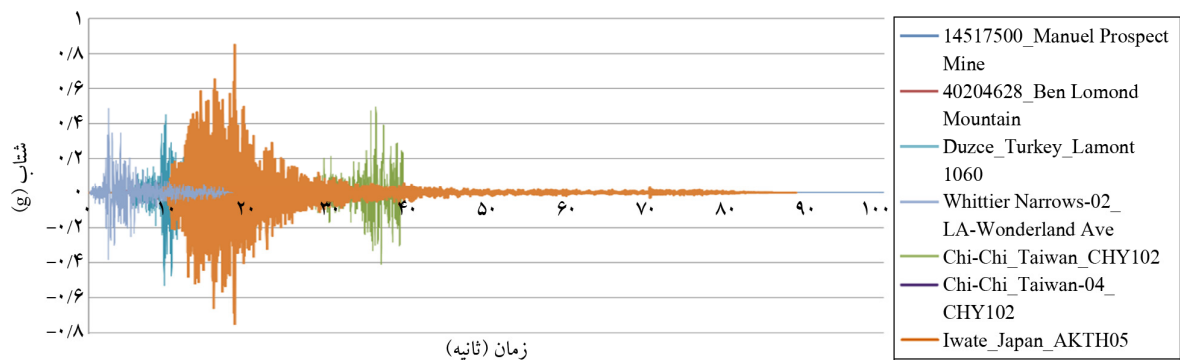
۲-۴- شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی حوزه‌های متوسط در خاک‌های مختلف

در جدول (۵) رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۱ نشان داده شده است. همچنین شکل (۱۳) مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط و شکل (۱۴) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ در

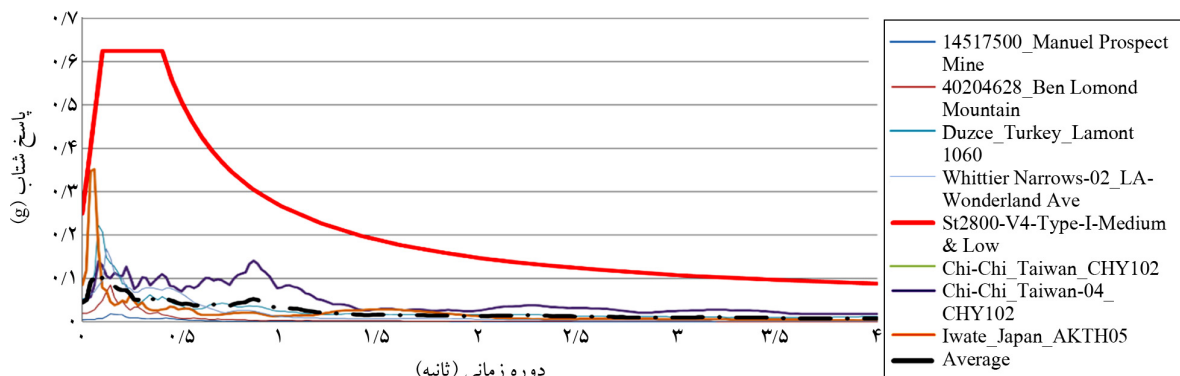
منطقه خطر نسبی کم و متوسط روی خاک تپ ۱ ارائه می‌دهد. باید توجه داشت با فاصله گرفتن از منبع لرزه‌ای در حوزه متوسط عمدتاً شتاب رسیده به ساختمان کاهش می‌یابد. به دلیل فاصله گرفتن از منبع لرزه‌ای از طیف شتاب با خطر نسبی کم و متوسط آئین‌نامه استفاده شد. با این وجود نیز طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ مقادیر محافظه کارانه تری ارائه می‌دهد.

جدول (۵): رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۱.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختمان (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	مؤلفه‌های افقی (g)	بیشینه شتاب افقی ۱	بیشینه شتاب افقی ۲
۱	14517500	۲۰۰۹	Manuel Prospect Mine	۵/۰	۴۸	۹۹۷	۵/۷۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	
۲	40204628	۲۰۰۷	Ben Lomond Mountain	۵/۴	۴۸	۷۸۲	۷/۶۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	
۳	Chi-Chi_Taiwan	۱۹۹۹	CHY102	۷/۷	۳۸	۸۰۵	۷/۱۰۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۱	
۴	Chi-Chi_Taiwan-04	۱۹۹۹	CHY102	۶/۲	۴۰	۱۰۱۶	۱۶/۵۰	۰/۰۵۲	۰/۰۴۲	
۵	Duzce_Turkey	۱۹۹۹	Lamont 1060	۷/۱	۲۶	۷۹۰	۸/۳۵	۰/۰۵۳	۰/۰۲۵	
۶	Iwate_Japan	۲۰۰۸	AKTH05	۶/۹	۴۰	۱۲۲۳	۷/۱۵	۰/۰۸۵	۰/۰۶۶	
۷	Whittier Narrows-02	۱۹۸۷	LA - Wonderland Ave	۵/۳	۲۹	۷۶۰	۶/۱۰۰	۰/۰۴۹	۰/۰۴۱	



شکل (۱۳): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط در خاک تپ ۱.

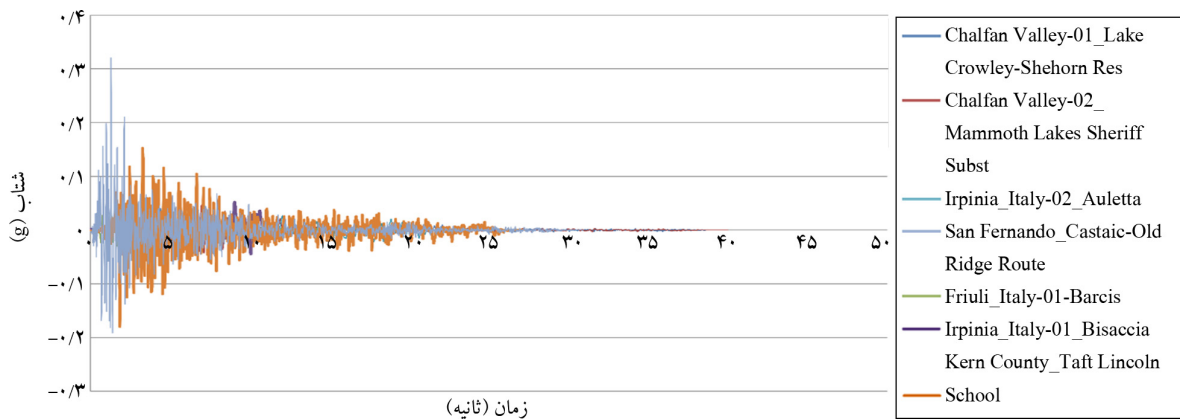


شکل (۱۴): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تپ ۱.

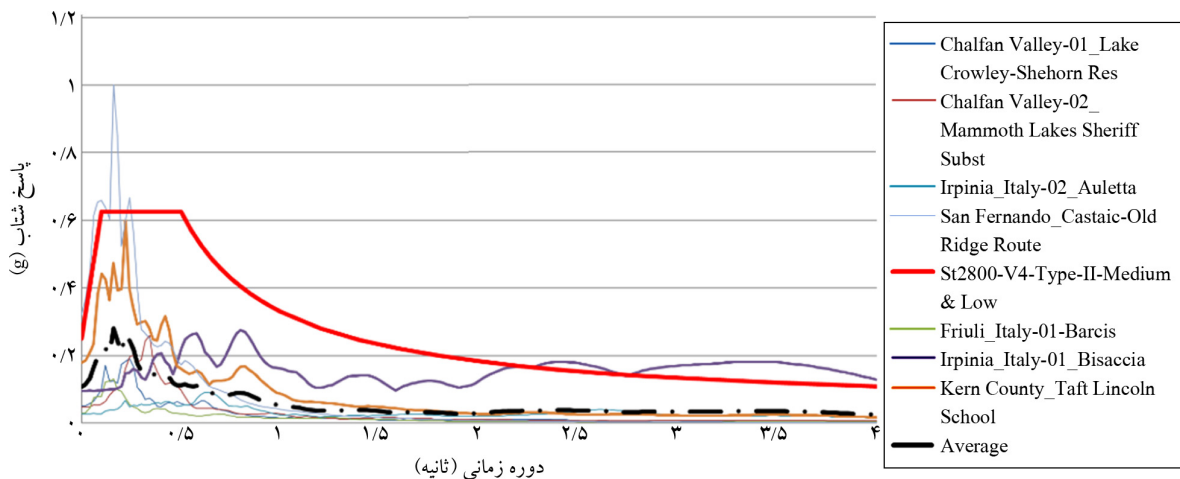
جدول (۶) رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تیب ۲ را نمایش می‌دهد. شکل (۱۵) نیز مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی کم و متوسط روی خاک تیب ۲ را ارائه می‌دهد.

جدول (۶): رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تیب ۲.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	مؤلفه‌های افقی (g)	بیشینه شتاب افقی ۱	بیشینه شتاب افقی ۲
۱	Chalfant Valley-01	۱۹۸۶	Lake Crowley - Shehorn Res.	۵/۷	۲۵	۴۵۷	۳/۵۰	۰/۰۵۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱
۲	Chalfant Valley-02	۱۹۸۶	Mammoth Lakes Sheriff Subst.	۶/۲	۳۷	۵۳۰	۷/۱۰	۰/۰۴۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
۳	Friuli_Italy-01	۱۹۷۶	Barcis	۶/۵	۵۰	۴۹۷	۴/۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹
۴	Irpinia_Italy-01	۱۹۸۰	Bisaccia	۶/۹	۲۲	۴۹۷	۲/۵۰	۰/۰۹۶	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
۵	Irpinia_Italy-02	۱۹۸۰	Auletta	۶/۲	۳۰	۴۷۷	۶/۵۵	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
۶	Kern County	۱۹۵۲	Taft Lincoln School	۷/۴	۳۹	۳۸۶	۶/۰۸	۰/۱۸۰	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹
۷	San Fernando	۱۹۷۱	Castaic - Old Ridge Route	۶/۶	۲۳	۴۵۱	۴/۰۵	۰/۳۲۰	۰/۲۷۵	۰/۲۷۵



شکل (۱۵): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط در خاک تیب ۲.

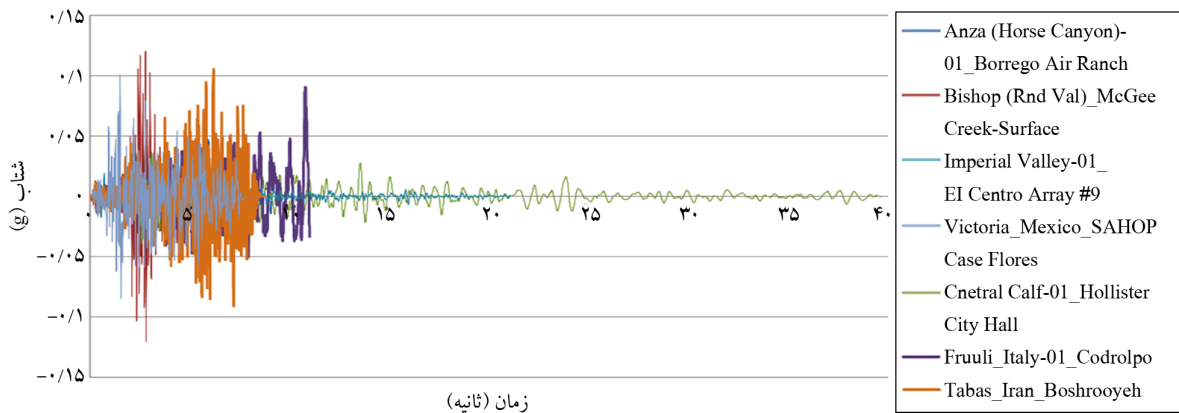


شکل (۱۶): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تیب ۲.

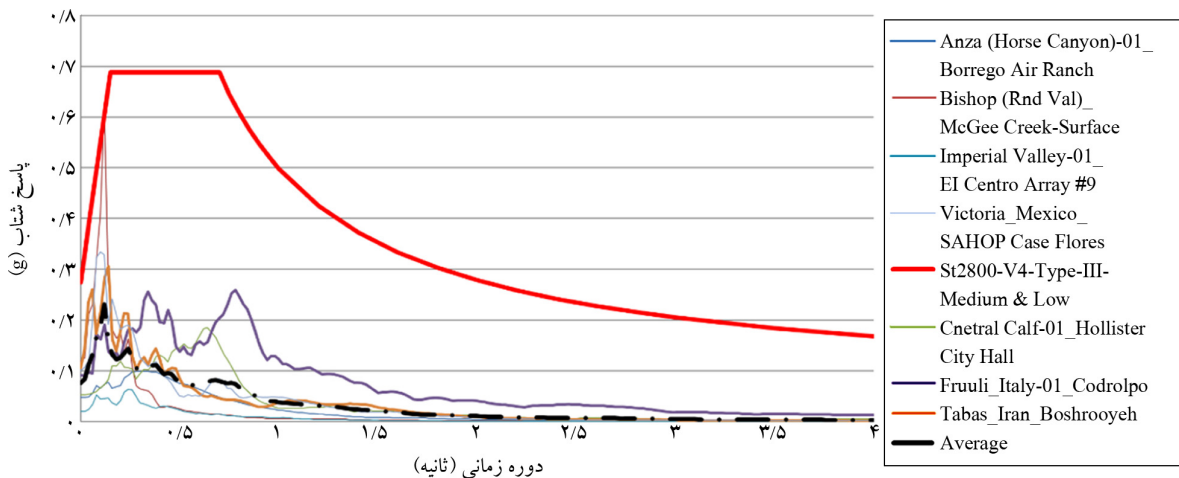
در جدول (۷) رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۳ نشان داده شده است. همچنین شکل (۱۷) مؤلفه قوی‌تر شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی کم و متوسط روی خاک تپ ۳ ارائه می‌دهد.

جدول (۷): رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۳.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختمان (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	Anza (Horse Canyon)-01	۱۹۸۰	Borrego Air Ranch	۵/۲	۴۱	۳۳۷	۶/۱۰	۰/۰۴۷
۲	Bishop (Rnd Val)	۱۹۸۴	McGee Creek - Surface	۵/۸	۲۳	۳۶۰	۷/۱۰	۰/۱۲۱
۳	Central Calif-01	۱۹۵۴	Hollister City Hall	۵/۳	۲۶	۱۹۹	۵/۲۵	۰/۰۵۳
۴	Tabas_Iran	۱۹۷۸	Boshrooyeh	۷/۴	۲۹	۳۲۵	۶/۲۳	۰/۰۹۱
۵	Friuli_Italy-01	۱۹۷۶	Codroipo	۶/۵	۳۴	۲۵۰	۸/۵۰	۰/۰۲۰
۶	Imperial Valley-01	۱۹۳۸	El Centro Array #9	۵/۰	۳۵	۲۱۴	۶/۳۵	۰/۱۰۶
۷	Victoria_Mexico	۱۹۸۰	SAHOP Casa Flores	۶/۴	۴۰	۲۶۰	۷/۲۵	۰/۱۰۱



شکل (۱۷): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط در خاک تپ ۳.

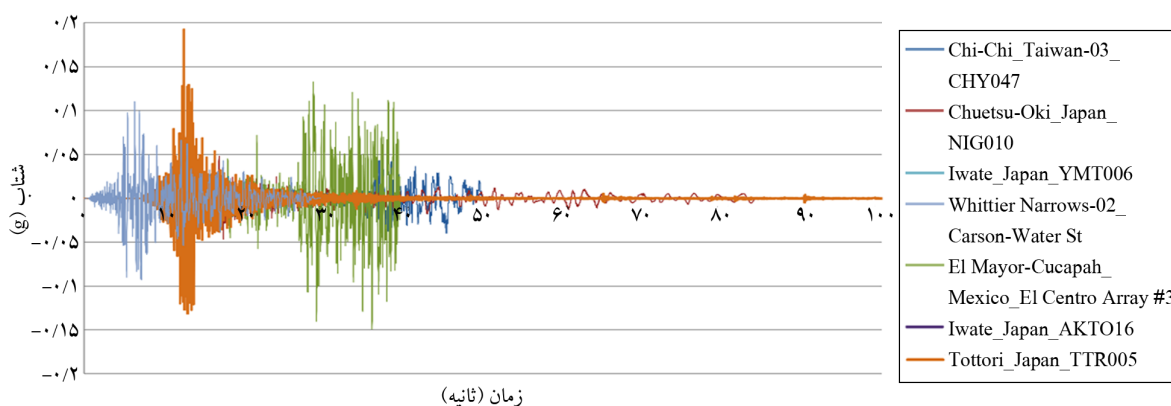


شکل (۱۸): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تپ ۳.

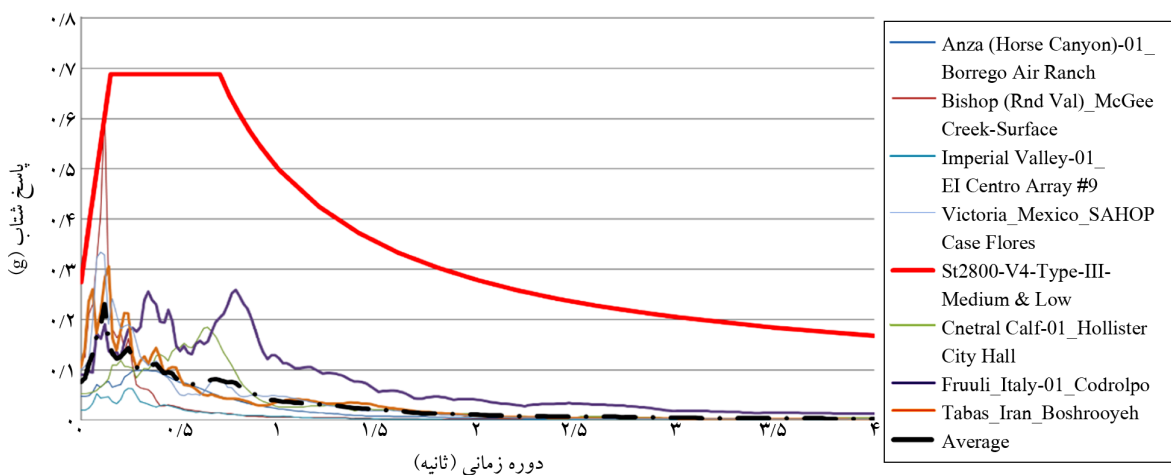
جدول (۸) رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۴ را نمایش می‌دهد. شکل (۱۹) نیز مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط و شکل (۲۰) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر نسبی کم و متوسط روی خاک تپ ۴ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در تمامی حالات زلزله‌های حوزه متوسط، استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقادیر محافظه کارانه‌تری ارائه می‌دهد.

جدول (۸): رکوردهای پیشنهادی حوزه متوسط در خاک تپ ۴.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختمانه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	Chi-Chi_Taiwan-03	۱۹۹۹	CHY047	۶/۲	۴۷	۱۷۰	۵/۰۷	۰/۰۵۴
۲	Chuetsu-oki_Japan	۲۰۰۷	NIG010	۶/۸	۴۹	۱۷۴	۷/۳۵	۰/۰۴۴
۳	El Mayor-Cuapah_Mexico	۲۰۱۰	El Centro Array #3	۷/۲	۴۲	۱۶۳	۷/۶۵	۰/۱۳۱
۴	Iwate_Japan	۲۰۰۸	AKT016	۶/۹	۴۸	۱۵۸	۴/۳۵	۰/۱۰۵
۵	Tottori_Japan	۲۰۰۰	TTR005	۶/۶	۴۶	۱۶۹	۴/۹۸	۰/۰۳۶
۶	Iwate_Japan	۲۰۰۸	YMT006	۶/۹	۴۵	۱۶۹	۵/۰۱	۰/۱۹۳
۷	Whittier Narrows-02	۱۹۸۷	Carson - Water St	۵/۳	۲۹	۱۶۱	۹/۱۰	۰/۰۹۸



شکل (۱۹): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه متوسط در خاک تپ ۴.



شکل (۲۰): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه متوسط و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تپ ۴.

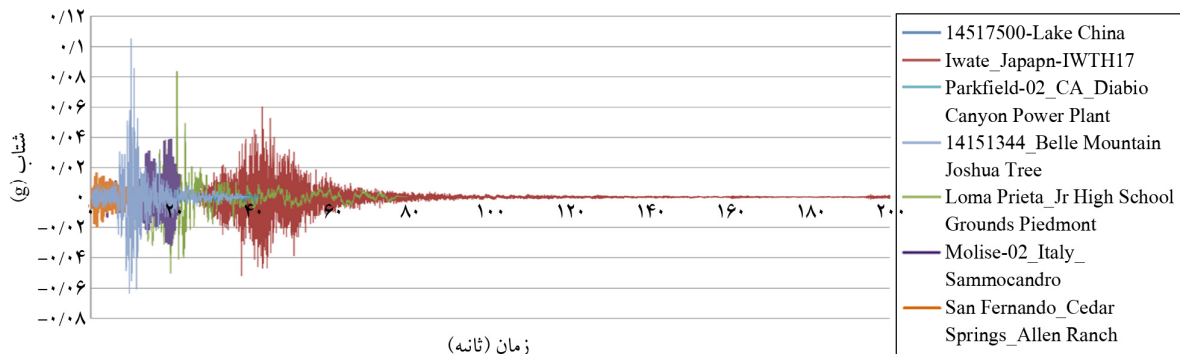
۳-۴- شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی حوزه‌های دور در خاک‌های مختلف

نسبی کم و متوسط روی خاک تپ ۱ را ارائه می‌دهد. باید توجه داشت با فاصله گرفتن از منبع لرزه‌ای در حوزه دور نیز شتاب رسیده به ساختگاه کاهش قابل توجه و بیشتری حتی نسبت به حوزه متوسط می‌یابد. در حوزه دور نیز به دلیل فاصله گرفتن از منبع لرزه‌ای از طیف شتاب با خطر نسبی کم و متوسط آئین‌نامه استفاده شد و طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ اکثراً مقادیر محافظه کارانه‌تری ارائه می‌دهد.

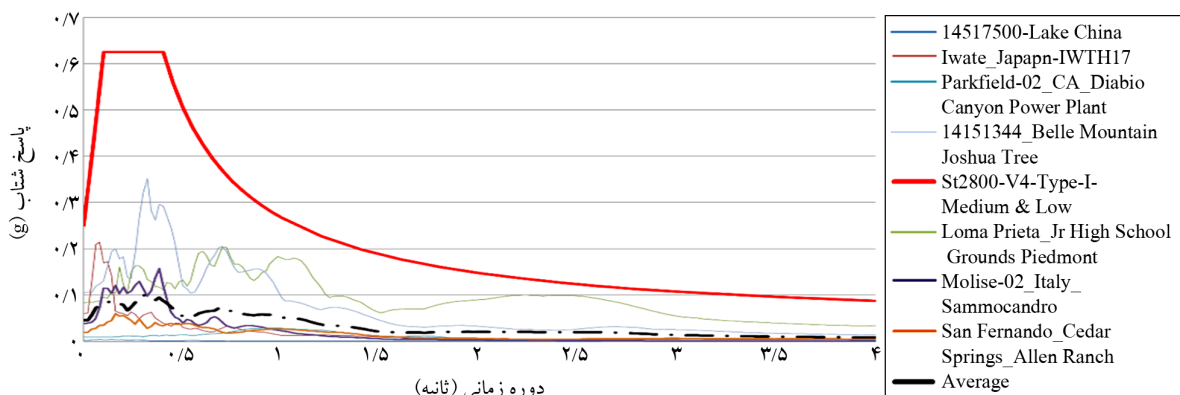
در جدول (۹) رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تپ ۱ نشان داده شده است. همچنین شکل (۲۱) مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور و شکل (۱۴) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه دور و استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه خطر

جدول (۹): رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تپ ۱.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	۱۴۵۱۷۵۰۰	۲۰۰۹	China Lake	۵/۰	۶۶	۱۴۶۴	۷/۵۵	۰/۰۱۵ ۰/۰۱۴
۲	Iwate_Japan	۲۰۰۸	IWTH17	۶/۹	۷۳	۱۲۷۰	۵/۴۰	۰/۰۶۰ ۰/۰۵۹
۳	Loma Prieta	۱۹۸۹	Piedmont Jr High School Grounds	۶/۹	۷۳	۸۹۷	۲/۸۰	۰/۰۸۴ ۰/۰۷۱
۴	Molise-02_Italy	۲۰۰۲	Sannicandro	۵/۷	۵۲	۸۶۵	۲/۰۵	۰/۰۳۸ ۰/۰۳۴
۵	Parkfield-02_CA	۲۰۰۴	Diablo Canyon Power Plant	۶/۰	۷۹	۱۱۰۰	۶/۳۵	۰/۰۰۹ ۰/۰۰۳
۶	San Fernando	۱۹۷۱	Cedar Springs_Allen Ranch	۶/۶	۹۰	۸۱۴	۲/۵۰	۰/۰۲۰ ۰/۰۱۵
۷	۱۴۱۵۱۳۴۴	۲۰۰۵	Belle Mountain Joshua Tree	۵/۲	۷۳	۷۹۶	۳/۲۵	۰/۱۰۵ ۰/۰۵۴



شکل (۲۱): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور در خاک تپ ۱.

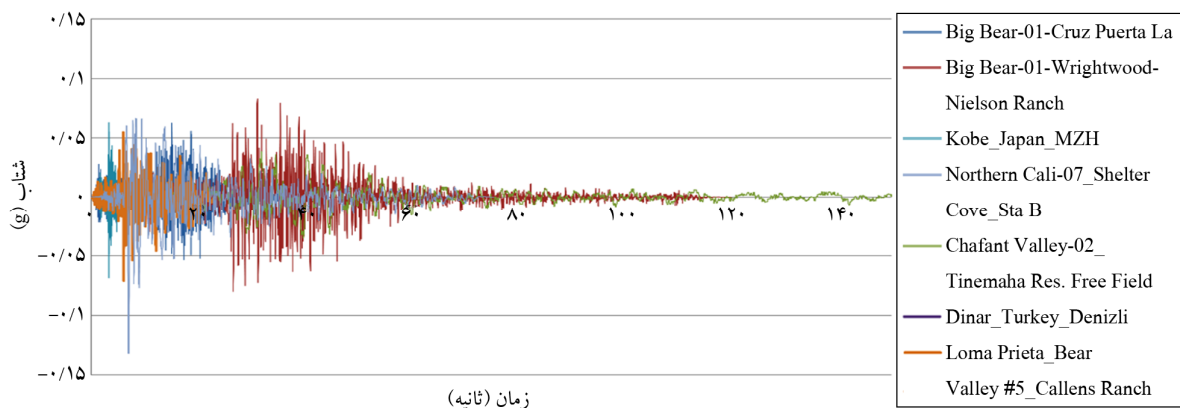


شکل (۲۲): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه دور و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تپ ۱.

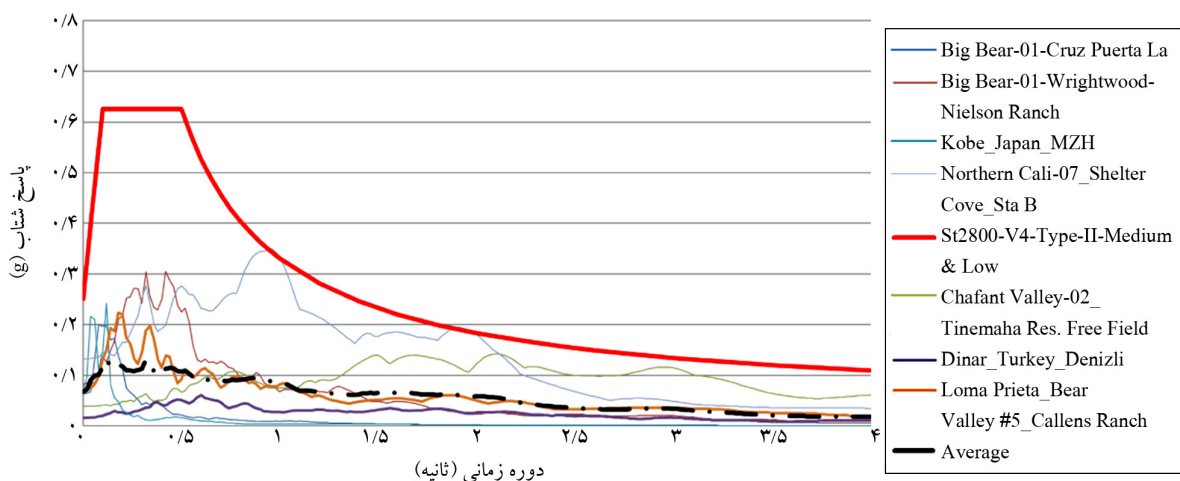
در جدول (۱۰) رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک و شکل (۱۴) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه تپ ۲ آورده شده است. شکل (۲۱) مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور خاک تپ ۲ را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰): رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تپ ۲.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگما (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
								۱ افقی ۲ افقی
۱	Big Bear-01	۱۹۹۲	Puerta La Cruz	۵/۳	۸۲	۵۱۰	۴/۳۵	۰/۰۶۲ / ۰/۰۶۱
۲	Big Bear-01	۱۹۹۲	Wrightwood - Nielson Ranch	۶/۰	۷۴	۴۹۴	۴/۶۵	۰/۰۸۳ / ۰/۰۷۲
۳	Chalfant Valley-02	۱۹۸۶	Tinemaha Res. Free Field	۶/۱	۶۵	۴۱۷	۳/۱۰	۰/۰۳۹ / ۰/۰۳۷
۴	Dinar_Turkey	۱۹۹۵	Denizli	۶/۲	۶۴	۴۰۰	۲/۸۵	۰/۰۱۶ / ۰/۰۱۴
۵	Kobe_Japan	۱۹۹۵	MZH	۶/۹	۷۲	۴۲۳	۳/۲۵	۰/۰۶۸ / ۰/۰۵۳
۶	Loma Prieta	۱۹۸۹	Bear Valley #5_Callens Ranch	۵/۲	۶۳	۵۹۵	۷/۴۵	۰/۰۷۱ / ۰/۰۶۸
۷	Northern Calif-07	۱۹۷۵	Shelter Cove_Sta B	۶/۵	۶۰	۵۰۹	۷/۳۵	۰/۱۳۲ / ۰/۰۹۰



شکل (۲۳): مؤلفه قوی‌تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور در خاک تپ ۲.

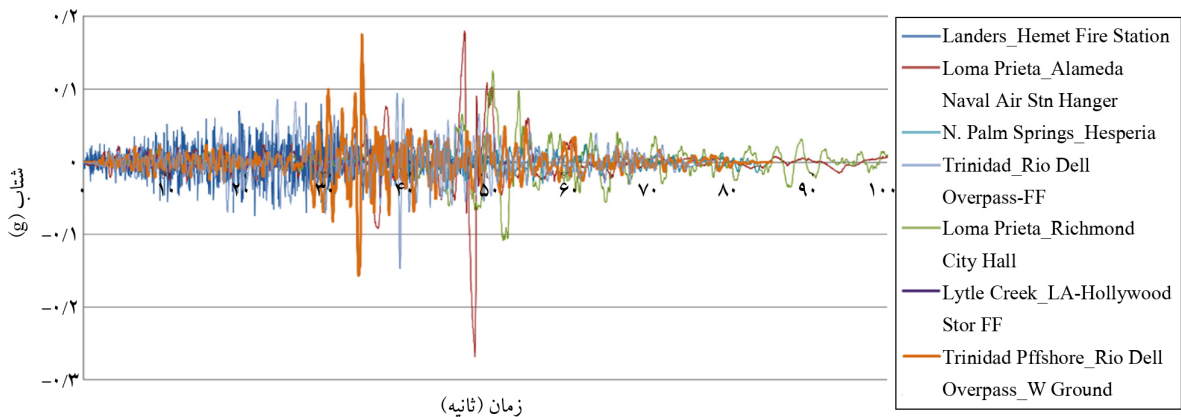


شکل (۲۴): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی‌تر زلزله‌های حوزه دور و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تپ ۲.

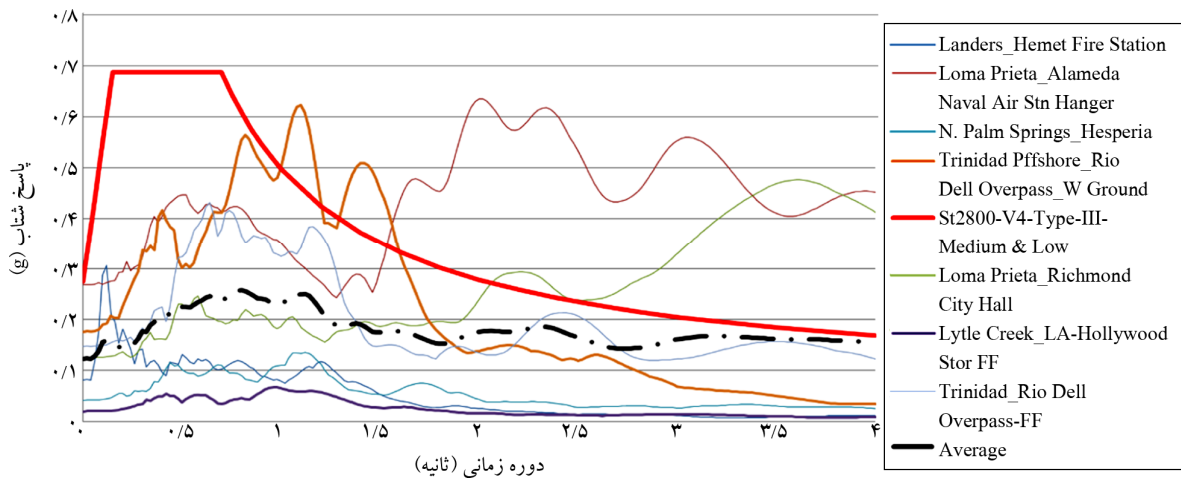
در جدول (۱۱) رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تیب ۳ نشان داده شده است. شکل (۲۵) مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور و شکل (۲۶) طیف پاسخ می‌دهد.

جدول (۱۱): رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تیب ۳.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
۱	Landers	۱۹۹۲	Hemet Fire Station	۷/۳	۶۹	۳۲۹	۵/۱۰	۰/۰۶۳
۲	Loma Prieta	۱۹۸۹	Alameda Naval Air Stn Hanger	۶/۹	۷۱	۱۹۰	۲/۹۵	۰/۲۰۹
۳	Loma Prieta	۱۹۸۹	Richmond City Hall	۶/۹	۸۸	۲۶۰	۲/۱۵	۰/۱۰۵
۴	Lytle Creek	۱۹۷۰	LA - Hollywood Stor FF	۵/۳	۷۴	۳۱۷	۱/۵۰	۰/۰۱۸
۵	N. Palm Springs	۱۹۸۶	Hesperia	۶/۱	۷۳	۳۳۸	۳/۶۵	۰/۰۳۷
۶	Trinidad offshore	۱۹۸۳	Rio Dell Overpass_ W Ground	۵/۷	۶۹	۳۱۲	۴/۹۵	۰/۱۴۰
۷	Trinidad	۱۹۸۰	Rio Dell Overpass - FF	۷/۲	۷۷	۳۱۲	۳/۵۰	۰/۰۶۱



شکل (۲۵): مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور در خاک تیب ۳.

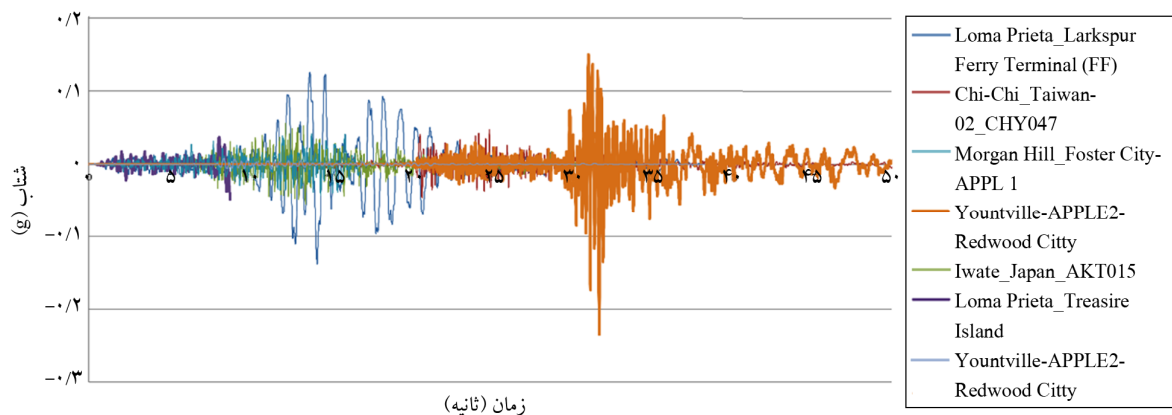


شکل (۲۶): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی تر زلزله‌های حوزه دور و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تیب ۳.

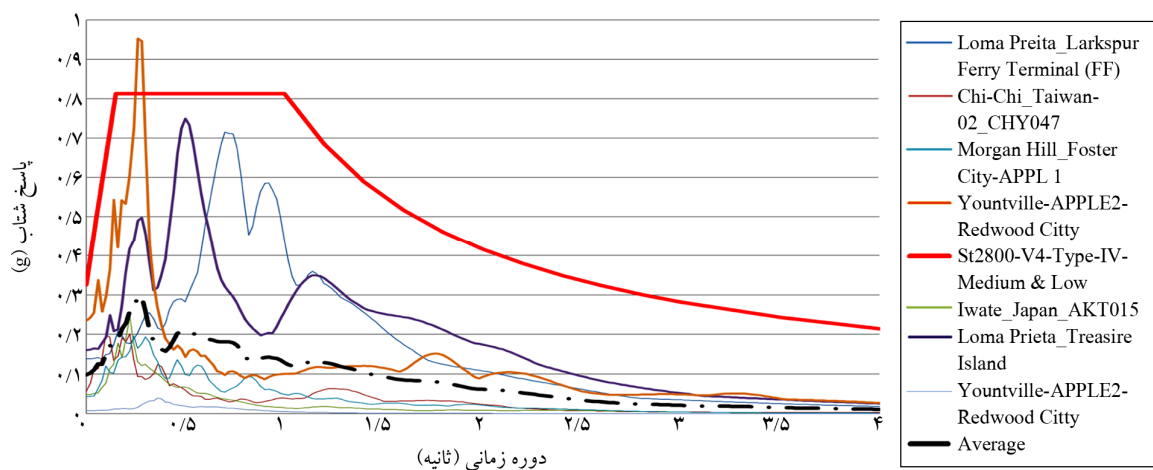
در جدول (۱۲) رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک و شکل (۲۶) طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی تر زلزله‌های حوزه تیب ۴ آورده شده است. شکل (۲۵) مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور خاک تیب ۴ را نشان می‌دهد.

جدول (۱۲): رکوردهای پیشنهادی حوزه دور در خاک تیب ۴.

ردیف	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	بزرگا (Mw)	فاصله ساختگاه (کیلومتر)	متوسط سرعت موج برشی ساختگاه (متر بر ثانیه)	دوام لرزه‌ای (ثانیه)	بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی (g)
								۱ افقی ۲ افقی
۱	Loma Prieta	۱۹۸۹	Larkspur Ferry Terminal (FF)	۶/۹	۹۴	۱۷۰	۴/۳۲	۰/۱۳۸ / ۰/۰۹۶
۲	Chi-Chi_Taiwan-02	۱۹۹۹	CHY047	۵/۹	۶۹	۱۷۰	۴/۳۵	۰/۰۴۸ / ۰/۰۲۵
۳	Iwate_Japan	۲۰۰۸	AKT015	۶/۹	۷۶	۱۳۶	۳/۲۵	۰/۰۵۶ / ۰/۰۵۶
۴	Loma Prieta	۱۹۸۹	Treasure Island	۶/۹	۷۸	۱۵۶	۲/۰۵	۰/۱۶۰ / ۰/۱۰۰
۵	Morgan Hill	۱۹۸۴	Foster City - APEEL 1	۶/۲	۵۴	۱۱۷	۴/۷۵	۰/۰۴۳ / ۰/۰۱۶
۶	Chi-Chi_Taiwan-06	۱۹۹۹	CHY047	۶/۳	۷۸	۱۶۹	۴/۱۴	۰/۲۳۴ / ۰/۰۵۳
۷	Yountville	۲۰۰۰	APEEL 2 - Redwood City	۵/۰	۹۵	۱۳۵	۴/۹۰	۰/۰۰۸ / ۰/۰۰۳



شکل (۲۵): مؤلفه قوی تر شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور در خاک تیب ۴.



شکل (۲۶): طیف پاسخ شتاب مؤلفه قوی تر زلزله‌های حوزه دور و استاندارد ۲۸۰۰ با منطقه خطر نسبی کم و متوسط در خاک تیب ۴.

این تعداد شتاب‌نگاشت‌ها زیاد بوده و زمان بسیاری برای تحلیل تاریخیچه زمانی صرف می‌کنند، از بین آنها با رعایت تنوع در همه معیارها تعداد هفت شتاب‌نگاشت برای هر حوزه و هر تیپ خاک پیشنهاد گردید. استفاده از جداول شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی این تحقیق که در آنها تنوع لازم در کلیه معیارهای انتخاب رعایت شده است کمک شایانی به طراحی سازه‌ها با تحلیل تاریخیچه زمانی جهت کسب مقاومت بهتر و اطمینان بیشتر جهت مقاومت در برابر زلزله احتمالی خواهد نمود.

طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌های منتخب ارائه شده در این تحقیق در هر حوزه فاصله‌ای و برای هر تیپ خاک با طیف استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) نیز مقایسه گردید که پاره‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها، شتابی به مراتب بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ ایران و برخی از آنها نیز مقادیر کمتری از آن نشان دادند. این مسئله به پتانسیل لرزه‌خیزی منبع مجاور ساختمانی که با تحلیل خطر ارزیابی می‌شود بستگی دارد. آنچه در این تحقیق ارائه شد حالت مقیاس نشده شتاب‌نگاشت‌ها بود تا تصویر بهتری از واقعیت زلزله‌های رخ داده در حوزه‌های مختلف نزدیک، متوسط و دور ارائه دهد هر چند که در عمل طبق ضوابط باید مقیاس‌سازی برای آنها به هنگام طراحی لرزه‌ای انجام گیرد. در بررسی‌ها نشان داده شد که با فاصله گرفتن از منبع لرزه‌ای در حوزه متوسط و دور عمدتاً شتاب رسیده به ساختمانی کاهش یافته و طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقادیر محافظه‌کارانه‌تری ارائه می‌دهد. از سوی دیگر نشان داده شد که با نرم‌تر شدن خاک و کاهش متوسط سرعت موج برشی خطر بزرگنمایی طیف شتاب در پیوندهای بالا وجود دارد و لازم است سازه‌های خاص با پیوند غالب بلند تحت شتاب‌نگاشت‌های با حوزه فاصله‌ای و شرایط ساختمانی مربوطه مورد تحلیل دقیق تاریخیچه زمانی قرار گیرند تا از بروز خسارت احتمالی جلوگیری شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر رکوردهای حوزه متوسط و دور طیف شتاب پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم از مقدار به مراتب بالاتری برخوردار است. لکن در خاک‌های نرم (نظیر تیپ ۳ و ۴) خطر بزرگنمایی طیف شتاب در پیوندهای بالا وجود دارد و لازم است نگاه ویژه‌ای به سازه‌های با پیوند غالب بلند نظیر سازه‌های مرتفع، برج‌ها، مخازن هوایی و نظایر آن داشت.

۵- نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از تحلیل‌های دینامیکی تاریخیچه زمانی امری رایج در طراحی بسیاری از ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های مرتفع یا دارای نامنظمی گردیده است. در این راستا انتخاب یک مجموعه شتاب‌نگاشت که بتواند تطبیق حداکثری با شرایط طرح داشته باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خصوصیات رکوردهای زلزله حوزه دور، متوسط و نزدیک متفاوت می‌باشند، رکوردهای زلزله نزدیک دارای پالس‌های بزرگ‌تر، معمولاً دارای پیوندهای کوتاه‌تر، جهت‌پذیری و جابه‌جایی ماندگار هستند. رکوردهای زلزله دور معمولاً دارای پیوندهای بلندتر هستند و جهت‌پذیری و جابه‌جایی ماندگار در آنها وجود ندارد. مهم‌ترین پارامتر تفکیک رکوردهای حوزه نزدیک، متوسط و دور از گسل فاصله محل شتاب‌نگار با گسل مسبب زلزله می‌باشد. معمولاً رکوردهای تا ۲۰ کیلومتر به عنوان نوع حوزه نزدیک، ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر به عنوان حوزه متوسط و بیشتر از ۵۰ کیلومتر به عنوان حوزه دور تلقی می‌شوند. در این تحقیق رکوردهای مختلف شتاب زلزله از پایگاه اطلاعات مرکز تحقیقات مهندسی زلزله دانشگاه کالیفرنیا استخراج و مورد واکاوی قرار گرفت. سپس به دسته‌بندی رکوردها با توجه به معیارهای تفکیک حوزه تأثیر، رعایت تنوع بزرگا، فاصله، شرایط خاک ساختمانی و دوام زلزله پرداخته شد. پایگاه اطلاعاتی در این مطالعه برای زلزله‌های حوزه نزدیک، متوسط و دور به ترتیب ۱۰۴، ۱۲۸ و ۱۴۹ شتاب‌نگاشت بود که پراکندگی آنها بر اساس معیارهای مختلف ارائه شد. در خاتمه از آنجا که

References

American Society of Civil Engineers. (2022, January). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of

مراجع

Retrieved from <http://smd.bhrc.ac.ir>

- Katsanos, E.I., & Sextos, A.G. (2018). Structure-specific selection of earthquake ground motions for the reliable design and assessment of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 583-611. doi: 10.1007/s10518-017-0227-2
- Katsanos, E.I., Sextos, A.G., & Manolis, G.D. (2010). Selection of earthquake ground motion records: A state-of-the-art review from a structural engineering perspective. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(4), 157-169. doi: 10.1016/j.soildyn.2009.10.005
- Kottke, A., & Rathje E.M. (2008). A semi-automated procedure for selecting and scaling recorded earthquake motions for dynamic analysis. *Earthquake Spectra*, 24(4), 911-932.
- Kwong, N.S., & Chopra, A.K. (2018). Determining bidirectional ground motions for nonlinear response history analysis of buildings at far-field sites. *Earthquake Spectra*, 34(4), 1931-1954. doi: 10.1193/061117EQS113M
- Lee, L.H., Lee, H.H., & Han, S.W. (2000). Method of selecting design earthquake ground motions for tall buildings. *The Structural Design of Tall Buildings*, 9(3), 201-213. doi: 10.1002/(SICI)1099-1794(200009)9:3<201::AID-TAL145>3.0.CO;2-1
- Li, C., Zhai, C., Kunnath, S., & Ji, D. (2019). Methodology for selection of the most damaging ground motions for nuclear power plant structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 345-357. doi: 10.1016/j.soildyn.2018.10.016
- Mohraz, B. (1992). Recent studies of earthquake ground motion and amplification. *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain, 6695-6704.
- Padgett, J.E., & DesRoches, R. (2007). Sensitivity of seismic response and fragility to parameter uncertainty. *Journal of Structural Engineering*, 133(12), 1710-1718. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:12(1710)
- Palanci, M., Kayhan, A.H., & Demir, A. (2018). A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(11), 5453-5488. doi: 10.1007/s10518-018-0386-9
- Civil Engineers.
- Ashayeri, I., & Nikbakhtan, M. (2016). Presenting relations for generating synthetic accelerograms in Iran Plateau using stochastic approach. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 18(2), 123-134.
- Baker, J.W., & Allin Cornell, C. (2006). Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(9), 1077-1095. doi: 10.1002/eqe.571
- Baker, J.W., Lin, T., Shahi, S.K., & Jayaram, N. (2011). *New Ground Motion Selection Procedures and Selected Motions for the PEER Transportation Research Program*. PEER Report, 3, 2011.
- Barjouie Roshan Pour, H. (2024). *Relationships for Evaluating the Seismic Resilience Index of Reinforced Concrete Buildings Built Up with FRP Lying on Different Soil Types under Near and Far-Field Earthquakes*. Ph.D. Dissertation, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.
- BHRC (2014). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings Standard No. 2800*. 4th Edition, Building & Housing Research Center of Iran, Iran.
- European Committee for Standardization. (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance—Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, Belgium: Author.
- Coles, J.F., Riva-Murray, K., Van Metre, P.C., Button, D.T., Bell, A.H., Qi, S., ... & Sheibley, R.W. (2019). Design and methods of the US Geological Survey Northeast Stream Quality Assessment (NESQA), 2016 (No. 2018-1183). US Geological Survey.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2009). FEMA P-695: Quantification of building seismic performance factors. Washington, DC: Author.
- Haselton, C.B., Baker, J.W., Bozorgnia, Y., Goulet, C. A., Kalkan, E., Luco, N., ... & Zareian, F. (2009). *Evaluation of Ground Motion Selection and Modification Methods: Predicting Median Interstory Drift Response of Buildings* (PEER Report 2009/01). Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Iran Strong Motion Network (ISMN). (n.d.). Road, Housing & Urban Development Research Center.

Proposing a Collection of Selected Accelerometers for Near, Mid and Far Fields across Different Soils, Respecting the Diversity of Different Indexes

Hooman Barjouie Roshan Pour¹, Hamid Saffari^{2*} and Seyed Alireza Kazerounian³

1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran
2. Associate Professor, Department of Structure and Earthquake, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: h_saffari@sbu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Nowadays, considering the diversity in construction, especially in tall and irregular buildings, the use of time-history analyses has become essential for designers. For this purpose, it is necessary to refer to available accelerogram databases and select those matching the site conditions. Accelerograms from near-field, mid-field, and far-field zones have distinct frequency content. Additionally, site conditions significantly affect the amplitude and period of seismic cycles. Another critical issue is the duration of earthquakes and their varying effects on structures. All accelerograms available in this database, caused by earthquakes with moment magnitudes ranging from 5 to 7.5, were collected and categorized based on distance into three groups: near-field (less than 20 km), mid-field (20 to 50 km), and far-field (more than 50 km). Subsequently, the records were classified according to the shear wave velocity of the site for each accelerogram and the standard soil classifications of the Iranian Standard 2800 code. Given the considerable number of records in various distance-soil type categories, proper selection while observing dispersion criteria is essential.

In this research, efforts were made to select, within each distance category, a representative sample covering all seismic magnitudes from 5 and above. Additionally, an attempt was made to cover the range of shear wave velocity within each category, from its lower to higher values. This process also accounted for variability in both distance and seismic duration. The distribution pattern based on each specified criterion is well illustrated in this study. Moreover, in the classification of accelerograms, factors such as earthquake focal depth were also examined. Focal depth is a key parameter in determining the intensity and distribution of seismic energy, which is evident when comparing the response spectra of accelerograms with the standard spectrum. Although deeper earthquakes typically transmit less energy to the surface, the frequency distribution of this energy can have diverse effects on structures. In this study, various earthquake acceleration records were extracted and analyzed from the database of the Earthquake Engineering Research Center at the University of California. The records were then categorized based on various criteria, including affected zone, magnitude diversity, distance, site soil conditions, and earthquake duration.

The database of this study includes 104 accelerograms for near-field earthquakes, 128 accelerograms for mid-field earthquakes, and 149 accelerograms for far-field earthquakes, whose distributions are presented based on different criteria. The response spectra of the selected accelerograms presented in this research were compared with the standard spectrum of the Iranian Standard 2800 code (fourth edition) for each distance zone and soil type. Some accelerograms showed significantly higher acceleration than Iran's Standard 2800, while others showed lower values. This variation depends on the seismic potential of the source near the site, evaluated through hazard analysis. Additionally, the impact of the causative fault type and its kinematic characteristics were considered in this comparison.

This study presented the uncorrected accelerograms to provide a clearer representation of actual earthquakes occurring in different zones (near-field, mid-field, and far-field). However, in practice, scaling must be performed for seismic design as per regulations. As the distance from the seismic source increases in mid- and far-field zones, the acceleration reaching the site generally decreases, and the Iranian Standard 2800 acceleration spectrum provides more conservative values.

On the other hand, it was shown that as the soil becomes softer and the average shear wave velocity decreases, there is a risk of spectral acceleration amplification at longer periods. Therefore, specific structures with long dominant periods must undergo detailed time-history analyses using accelerograms corresponding to the relevant distance zones and site conditions to prevent potential damage. Furthermore, it was suggested that supplementary analyses be conducted to evaluate the sensitivity of structures to variations in input parameters.

Finally, the accelerogram tables presented in this study significantly assist structural designers in maintaining the necessary diversity when selecting accelerograms for time-history analyses. This ensures that the designed structure has sufficient resistance against various earthquakes and substantially reduces errors in accelerogram selection. Additionally, this method guarantees enhanced seismic design accuracy and minimizes the likelihood of structural damage caused by different earthquakes.

Keywords: Accelerogram Selection, Time-History Analysis, Near-Field Earthquake, Mid-Field Earthquake, Far-Field Earthquake, Shear Wave Velocity, Seismic Duration