

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

چکیده

زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دور از گسل دارای خصوصیات متفاوتی می‌باشند. در سال‌های اخیر در آیین‌نامه‌های مختلف اثرات ناشی از زلزله‌های دور و نزدیک به صورت جداگانه بررسی شده است. مطالعه حاضر نتایج بررسی ۲۱۴ شتاب‌نگاشت به‌دست‌آمده از زمین‌لرزه‌های کم‌عمق پوسته‌ای رخ داده با فاصله کانونی کمتر از ۸۰ کیلومتر از گسل مسیب، جهت تعیین طیف طرح در ایران و مقایسه آن با طیف طرح آیین‌نامه ۲۸۰۰ را نشان می‌دهد. این شتاب‌نگاشت‌ها از زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران، آمریکا و اروپا جمع‌آوری و پردازش شده‌اند. پس از محاسبه طیف پاسخ، طیف طراحی از میانگین طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها برای هر چهار نوع خاک (I، II، III، IV) ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ محاسبه شد. برای مقایسه نتایج این مطالعه با آیین‌نامه رکوردهایی با بزرگای بیشتر از ۵/۵ و فاصله رو مرکزی کمتر از ۸۰ کیلومتر انتخاب شد و همچنین پارامتر میرایی ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که طیف طراحی هر دو مؤلفه خاک نوع یک تا سه در این مطالعه تا پریود ۰/۳۹ ثانیه با طیف طراحی آیین‌نامه همخوانی دارد در حالی که در پریودهای بالاتر از ۰/۳۹ ثانیه طیف طرح آیین‌نامه بالاتر از طیف طرح این مطالعه قرار می‌گیرد. از طرفی طیف طرح مؤلفه قائم خاک نوع IV بالاتر از طیف طرح آیین‌نامه قرار گرفته است که این می‌تواند به دلیل تعداد کم رکوردهای این نوع خاک باشد.

واژگان کلیدی: شتاب‌نگاشت، طیف طراحی، فاصله کانونی، زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل.

محاسبه طیف طراحی برای انواع مختلف خاک در ایران، بر اساس داده‌های نزدیک گسل و مقایسه آن با آیین‌نامه ۲۸۰۰

مریم صدقی (نویسنده مسئول)

جمعیت هلال‌احمر استان تهران و دانشجوی دکتری ژئوفیزیک گرایش زلزله‌شناسی، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
m_sedghi2002@yahoo.com

مهدی زارع

استاد، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

آرزو درستیان

استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۱- مقدمه

ایران بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است که میان دو صفحه‌ی عربستان و اوراسیا به دام افتاده است [۱] (شکل ۱). این منطقه از نظر لرزه‌خیزی یکی از مناطق فعال و لرزه‌خیز جهان به شمار می‌رود به طوری که زلزله‌های فاجعه‌باری (مثل زلزله کرمانشاه، مورموری ایلام، اهر ورزقان) در سال‌های اخیر باعث تلفات جانی و مالی فراوان شده‌اند. خسارات وارده به ساختمان‌ها و تلفات حاصل از زمین‌لرزه‌های اخیر بدترین خسارات دیده شده در سال‌های طولانی و شاید در طول تاریخ بوده است. گزارش‌های اولیه این زمین‌لرزه‌ها تأکید دارد که مواد به کار رفته در ساختمان‌ها دارای کیفیت لازم نبوده است. همچنین اشتباهات ساختاری به علت نادیده گرفتن آیین‌نامه‌ها باعث چنین خساراتی شده است. بعضی از مطالعات نیز نشان می‌دهند که نوع خاک در خسارات وارده ناشی از زمین‌لرزه نقش مهمی دارد [۲-۴]. از طرفی زلزله‌های بزرگ گذشته بیشترین خسارت را در مناطق روستایی به جا گذاشته‌اند که دلایل ذکر شده را تشدید می‌کند. اگرچه بیشترین خسارت در مناطق روستایی دیده شده است، شهرهای بزرگ ایران نیز از این خسارات در امان نبوده‌اند و همواره این زمین‌لرزه‌ها بزرگ‌ترین تهدید برای این مناطق به شمار می‌رود. با توجه به اینکه بیشتر شهرهای بزرگ ایران در مجاورت گسل‌های فعال قرار گرفته‌اند، اهمیت تدوین آیین‌نامه‌های دقیق‌تر و کامل‌تر و همچنین طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله امری ضروری است [۵].

خساراتی شده است. بعضی از مطالعات نیز نشان می‌دهند که نوع خاک در خسارات وارده ناشی از زمین‌لرزه نقش مهمی دارد [۲-۴]. از طرفی زلزله‌های بزرگ گذشته بیشترین خسارت را در مناطق روستایی به جا گذاشته‌اند که دلایل ذکر شده را تشدید می‌کند. اگرچه بیشترین خسارت در مناطق روستایی دیده شده است، شهرهای بزرگ ایران نیز از این خسارات در امان نبوده‌اند و همواره این زمین‌لرزه‌ها بزرگ‌ترین تهدید برای این مناطق به شمار می‌رود. با توجه به اینکه بیشتر شهرهای بزرگ ایران در مجاورت گسل‌های فعال قرار گرفته‌اند، اهمیت تدوین آیین‌نامه‌های دقیق‌تر و کامل‌تر و همچنین طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله امری ضروری است [۵].

الناشایی و دیسارنو [۱۲] و الگامال و هی [۱۳] طیف‌های پاسخ الاستیک نزدیک گسل برای سطوح مختلف میرایی با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف ارائه دادند که طیف‌های میانگین حاصل از دو مطالعه مختلف تقریباً تطابق قابل توجهی دارند. این طیف به دست آمده دارای نقطه حداکثر $3/48$ با فرکانس‌های گوشه $0/05$ و $0/15$ ثانیه می‌باشند. قدرتی امیری و همکاران [۲] با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های ایران طیف طرح را برای دو دسته زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از $5/5$ محاسبه کردند. آنها نشان دادند که مقادیر طیف طرح به دست آمده با استفاده از شتاب‌نگاشت‌ها بیشتر از مقادیر آیین‌نامه است.

از جمله طیف‌های هدف پیشنهادی آیین‌نامه‌ها برای انجام تحلیل‌های دینامیکی خطی سازه‌ها، طیف با خطر یکسان است که بیانگر مشخصات خطر لرزه‌ای برای ساختگاهی مشخص است. برای تعیین طیف خطر یکسان، منحنی خطر برای سیستم‌های سازه‌ای مختلف (دوره‌های تناوب متفاوت) در یک ساختگاه رسم می‌شوند و تمامی منحنی‌ها در یک سطح خطر مشخص (احتمال وقوع برابر) قطع داده می‌شوند. از هر منحنی یک معیار شدت متناظر با دوره تناوبی‌اش به دست خواهد آمد. در صورتی که معیارهای شدت به دست آمده در برابر دوره تناوب نظیرشان ترسیم گردد طیفی به دست خواهد آمد که به طیف با خطر یکسان معروف است.

طیف دیگری که در طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، طیف میانگین شرطی است که بر اساس فرایند عملیاتی مشخص از طیف خطر یکنواخت حاصل می‌شود. این طیف شرطی سازی شده بر اساس دوره تناوب طبیعی سازه می‌باشد و معیار دقیق تری از سطح خطر لرزه‌ای منطقه برای سازه مورد نظر می‌باشد.

در دهه ۱۹۶۰، برای اولین بار کد ایران (Iranian Code) برای بررسی و طراحی مقاومت ساختمان‌ها به عنوان یک فصل در آیین‌نامه ۵۱۹ منتشر شد که در سال ۱۹۸۷ اولین بازنگری از این کد با نام آیین‌نامه ۲۸۰۰ به چاپ رسید.



شکل (۱): منطقه زمین‌شناسی فلات ایران؛ خطوط قرمز ممند گسل‌ها هستند.

در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، از طیف‌های طراحی که برای نسبت‌های میرایی متفاوت عرضه می‌شوند، استفاده می‌کنند [۶]. منحنی طیف طرح در استاندارد ۲۸۰۰ ابزار اساسی در هنگام استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل و روش آنالیز طیفی در آیین‌نامه زلزله است. به همین دلیل وجود دقت کافی در محاسبه و ارائه این ضریب در آیین‌نامه‌ها اهمیت زیادی در طراحی هرچه مطمئن‌تر سازه‌ها در برابر زلزله دارد.

طیف‌های طرح لرزه‌ای که معمولاً از پارامترهای شتاب‌نگارها به دست می‌آید از دو روش تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی [۷] که برای مناطق بی‌لرزه به کار می‌رود و مقیاس کردن شکل طیف لرزه‌نگارها [۸] محاسبه می‌شوند. این دو روش بر این فرض استوار هستند که طیف‌های پاسخ نرمال شده مورد استفاده برای تخمین طیف طرح مستقل از شدت زلزله هستند.

اولین بار هاووزنر [۹] طیف طرح را با در نظر گرفتن مؤلفه افقی چهار زلزله بزرگ آمریکا به دست آورد. پس از آن طیف‌های طراحی از سوی محققان دیگر برای استفاده در مکان‌های خاص عرضه شده است که از آن جمله می‌توان به طیف طرح نیومارک و هال [۱۰] و طیف طرح محرز [۱۱] اشاره کرد که امروزه نیز مورد توجه است.

جدول (۱): طبقه‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه ۲۸۰۰.

نوع زمین	مواد متشکل ساختگاه	Vs (متر بر ثانیه)
I	الف) سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس‌ها-سنگ‌های متبلور سیلیکاته)، طبقات کنگلومرایی ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه‌ی متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی	$V_s \geq 750$ $375 \leq V_s \leq 750$
II	الف) سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی، سنگ‌های دگرگونی متورق و به‌طور کلی سنگ‌هایی که در اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی	$375 \leq V_s \leq 750$ $375 \leq V_s \leq 750$
III	الف) سنگ‌های متلاشی شده در اثر هوازدگی ب) خاک‌های با تراکم متوسط، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	$175 \leq V_s \leq 750$ $175 \leq V_s \leq 750$
IV	الف) نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد در اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی ب) هرگونه پروفیل خاک که شامل حداقل ۶ متر خاک رس با اندیس خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد	$V_s \leq 175$

جدول (۲): مقادیر برای S, T_s, T_0 .

نوع خاک	T_0	T_s	لرزه‌خیزی "متوسط" و "کم"	لرزه‌خیزی "بالا" و "بسیار بالا"
I	۰/۱	۰/۴	S	S
II	۰/۱	۰/۵	S	S
III	۰/۱۵	۰/۷	S	S
IV	۰/۱۵	۱	۲/۲۵	۱/۷۵

در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، چهار نوع خاک I، II، III، IV معرفی شده است (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴).

خاک نوع I سنگ‌ها یا خاک‌های سخت با ضخامت کم روی بستر سنگی با سرعت موج برشی بیشتر از ۷۵۰ متر بر ثانیه، خاک نوع II سنگ‌های سست یا خاک‌های سخت با ضخامت زیاد روی بستر سنگی با سرعت بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه، خاک نوع III سنگ‌های هوازده یا خاک‌های با تراکم یا سختی متوسط با سرعت ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه و خاک نوع IV خاک‌های نرم یا رس مرطوب با سرعت کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه هستند (جدول ۱).

آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای هر یک از خاک‌های فوق رابطه طیف طرح (B) را مطابق رابطه (۱) نشان داده است.

$$B = 1 + S \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad 0 \leq T \leq T_0$$

$$B = 1 + S \quad T_0 \leq T \leq T_s \quad (1)$$

$$B = (1 + S) \left(\frac{T_s}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad T \geq T_s$$

که در آن S, T_s, T_0 به ترتیب پارامترهای تعیین شده از نوع خاک و سطح لرزه‌خیزی هستند که در جدول (۲) نشان داده شده‌اند. همچنین T دوره تناوب اصلی لرزش ساختار است.

تاکنون به علت کمبود اطلاعات و شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در ایران و همچنین مشخص نبودن شرایط زمین در محل ثبت رکورد، اقدام مؤثری در جهت تعیین طیف طراحی در ایران انجام نگرفته است. با افزایش نسبی داده‌های شتاب‌نگاری در سال‌های اخیر، این امکان فراهم گشته است که با استفاده از شتاب‌نگاشت‌ها طیف طرح شتاب را برای ایران به دست آوریم. در این مطالعه طیف طراحی شتاب افقی و قائم برای ایران با استفاده از بیش از ۲۱۴ شتاب‌نگاشت حاصله از زمین‌لرزه‌های پوسته‌ای کم‌عمق دارای فاصله کانونی کمتر از ۸۰ کیلومتر به دست آمد. بدین منظور بعد از تصحیحات اولیه شتاب‌نگاشت‌ها و بهنجار کردن آنها طیف طراحی شتاب تعیین شد در نهایت طیف‌های به‌دست آمده با طیف افقی آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقایسه و مورد بحث قرار گرفت.

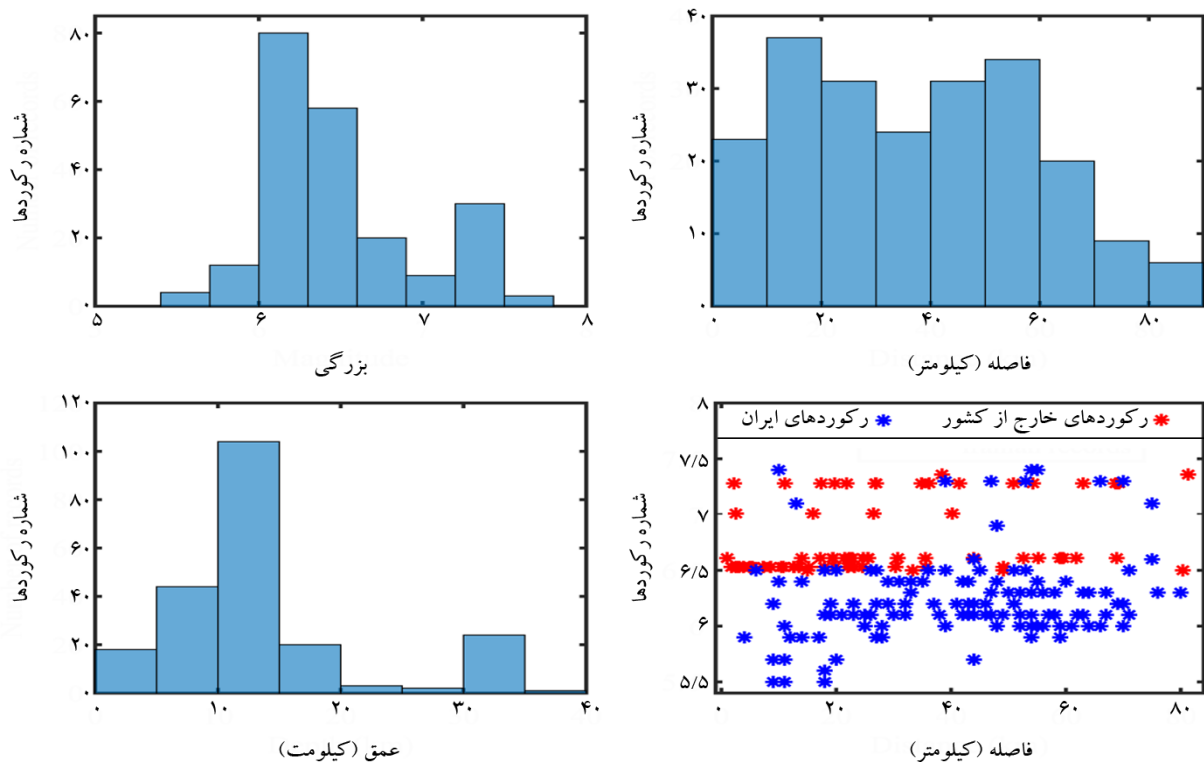
۲- داده‌ها

دیجیتال SSA-2 گسترش یافتند. در جدول (۱) پیوست مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه (رکوردهای ایرانی) نشان داده شده است. به دلیل تأثیر پارامتر بزرگای برآورد طیف طرح، در این مطالعه زلزله‌هایی که دارای بزرگای بین ۵/۵ تا ۷/۷ بودند انتخاب و پردازش شدند. عمق میانگین این زمین‌لرزه‌ها ۸/۵ کیلومتر است (شکل ۲). مطالعه سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که بیشتر زمین‌لرزه‌ها دارای سازوکار معکوس (Reverse) هستند که در شکل (۳) پراکندگی رو مرکزی زمین‌لرزه‌های ایران و همچنین سازوکار کانونی آنها و همچنین در شکل (۴) طبقه‌بندی نوع خاک در ایستگاه‌های مذکور نمایش داده شده است.

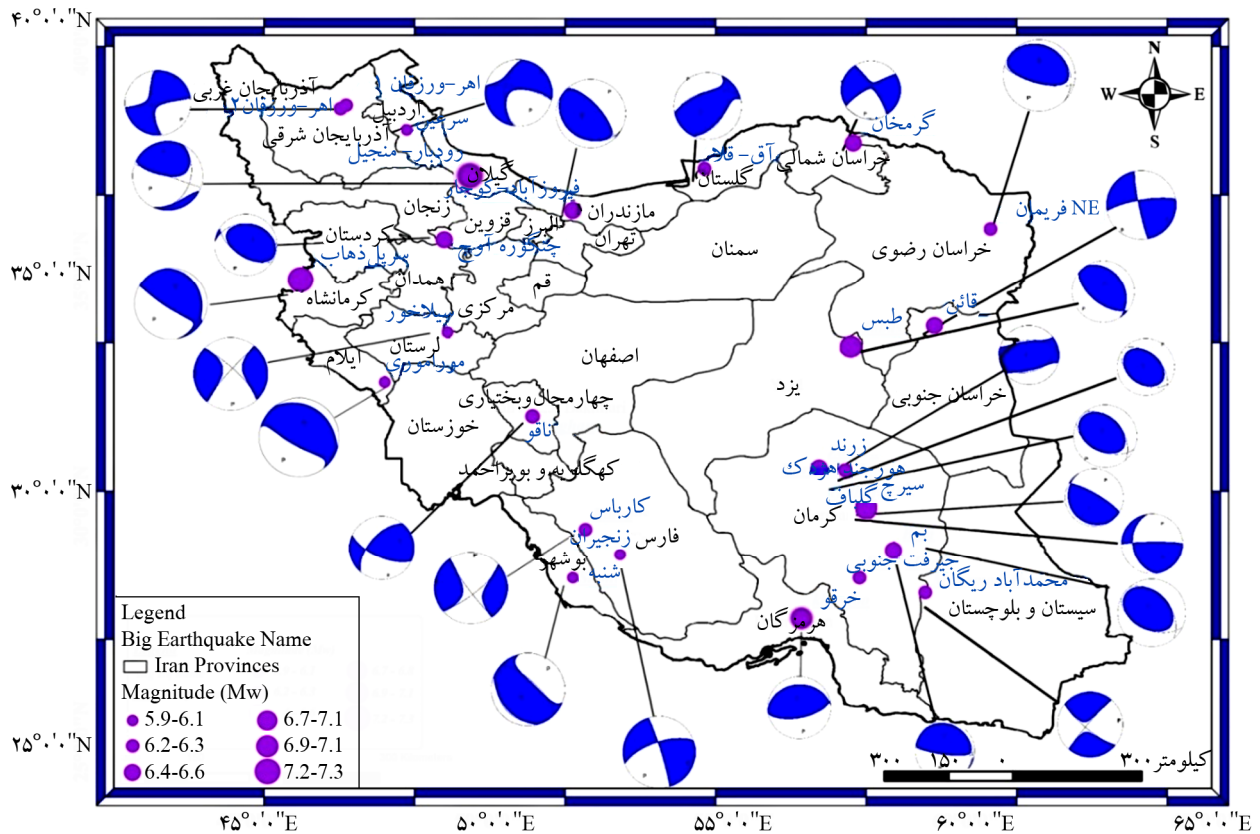
شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده برای تعیین طیف طرح در این مطالعه شامل ۲۱۴ رکورد سه مؤلفه‌ای با فاصله رو مرکزی بین ۱ تا ۸۰ کیلومتر بودند. تعداد رکوردها و زمین‌لرزه‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. این داده‌ها از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۸ در ایستگاه‌های مذکور ثبت شده‌اند. داده‌های داخلی مورد استفاده شامل ۱۲۹ رکورد ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) بودند که در سراسر ایران واقع شده‌اند. ایستگاه‌های این شبکه از ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ مجهز به سنسورهای آنالوگ SMA-1 بودند و بعد از آن به سنسورهای

جدول (۳): رکوردها و زمین‌لرزه‌های مورد استفاده در این مطالعه.

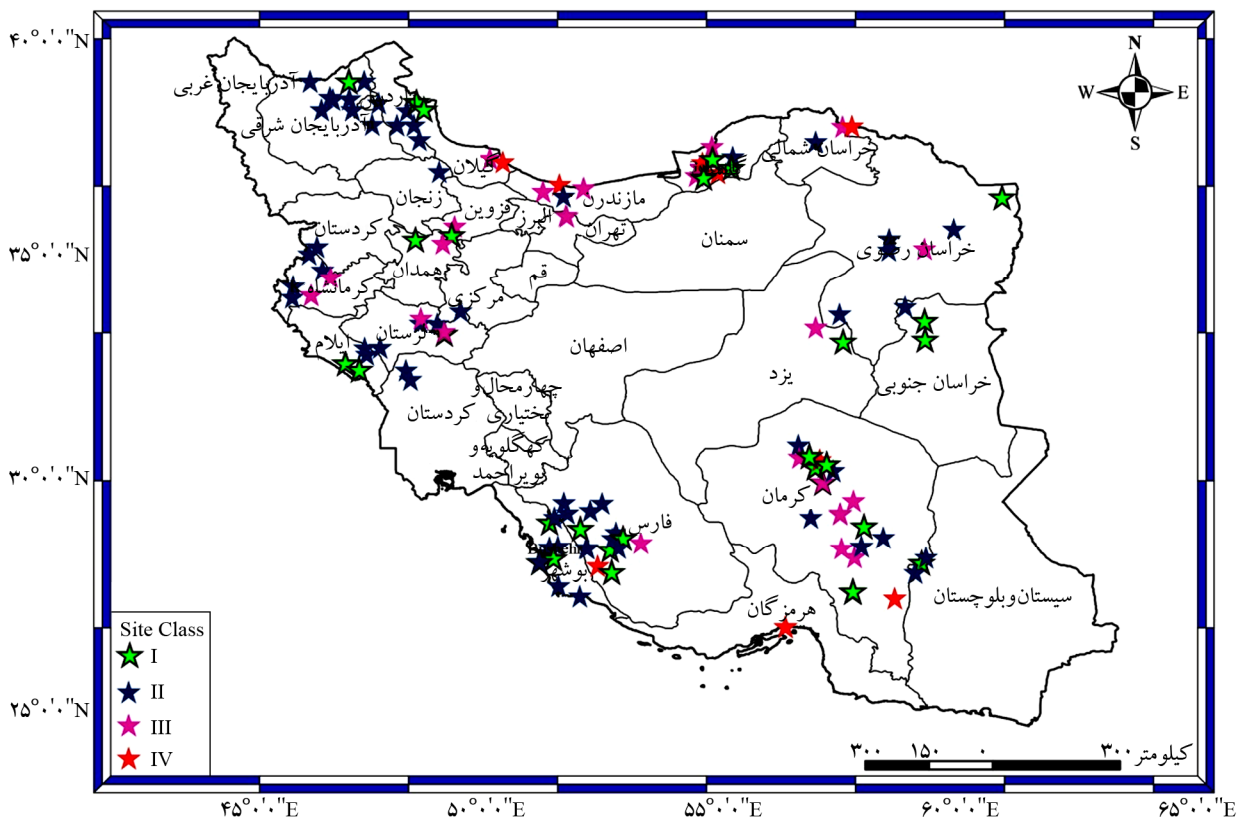
تعداد رکوردهای زمین‌لرزه‌های خارجی استفاده شده در این مطالعه	تعداد رکوردهای زمین‌لرزه‌های ایران استفاده شده در این مطالعه	تعداد زمین‌لرزه‌های خارجی استفاده شده در این مطالعه	تعداد زمین‌لرزه‌های ایران استفاده شده در این مطالعه
۸۵	۱۲۹	۶	۲۴
منبع: Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)	منبع: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC)		



شکل (۲): نمایش تعداد داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر بر اساس تابعی از بزرگای، عمق و فاصله. همچنین بزرگای در مقابل فاصله رو مرکزی نشان داده شده است.



شکل (۳): نمایش مختصات رومرکزی زلزله‌های استفاده شده در این مطالعه به همراه سازوکار کانونی آنها.



شکل (۴): نمایش طبقه‌بندی نوع خاک رکوردهای استفاده شده زمین لرزه‌های ایران در این مطالعه.

۳- پردازش داده‌ها

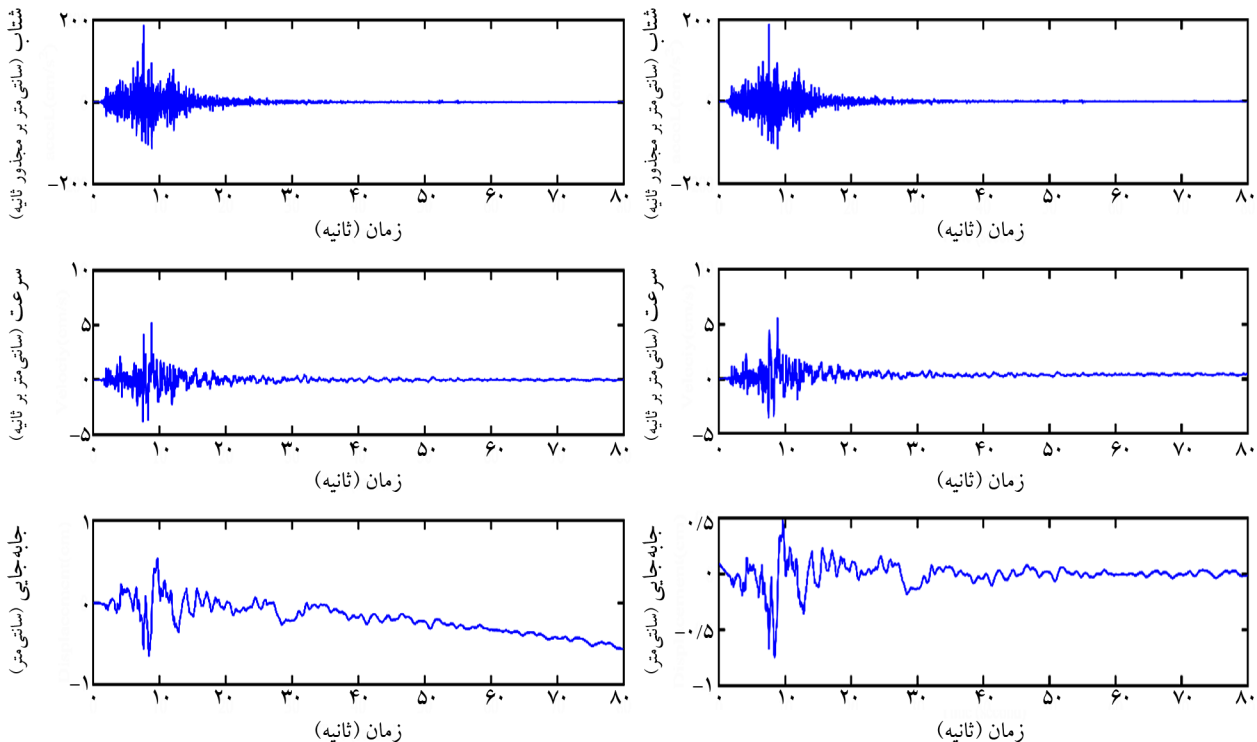
گوشه باید معادل با ۸۰ درصد فرکانس نایکویست موجود در داده‌ها گرفته شود. بسامد قطع FL برای مؤلفه‌های هر شتاب‌نگاشت به طور جداگانه و به کمک طیف فوریه در مقیاس لگاریتمی آن تعیین شد. یک نمونه رکورد قبل و بعد از پردازش در شکل (۵) نشان داده شده است. فرکانس‌های گوشه برای این رکورد برابر با $FL = 0.03$ و $FH = 41$ بوده است.

- محاسبه طیف پاسخ خطی شتاب برای تک تک مؤلفه‌های افقی و قائم رکوردهای اصلاح شده با میرایی ۵ درصد.
- نرمال کردن طیف‌های حاصل شده به ماکزیمم شتاب حرکت زمین.

پس از تصحیح خط مبنا و فیلتر کردن داده‌ها، بیشینه شتاب زمین در مورد آنها متفاوت است. چون بیشینه شتاب، بیشینه سرعت و بیشینه جابه‌جایی زمین برای داده‌های ثبت شده زمین لرزه‌های گوناگون با یکدیگر اختلاف دارند، نباید از پاسخ محاسبه شده به طور مطلق میانگین گرفت به همین منظور لازم است که آنها را نرمال (هم‌پایه) کنیم. رایج‌ترین روش برای هم‌پایه کردن شتاب‌نگاشت‌ها استفاده از شتاب اوج زمین است [۶]

به منظور رسم طیف پاسخ، در ابتدا باید شتاب‌نگاشت‌ها مورد پردازش قرار گیرند و تصحیح شوند زیرا گاهی شتاب‌نگاشت‌های خام با تغییر مکان و سرعت پایدار همراه هستند [۱۴]. بدین منظور اولین روش نوین پردازش در دهه ۷۰ میلادی توسط تریفوناک و لی [۱۵] ارائه گردید. از آن زمان تا کنون روش‌های مختلفی جهت اصلاح شتاب‌نگاشت‌ها توسط افراد مختلف ارائه شده است [۱۴، ۴]. در این مطالعه، برای تصحیح داده‌ها از روش بور و همکاران [۱۴] استفاده شد. در حالت کلی پردازش داده‌ها برای تعیین طیف طرح به شرح زیر است:

- تصحیح اولیه داده‌های رقمی به وسیله روش تصحیح خط مبنا با استفاده از روش بور [۱۴].
- انتخاب فرکانس تصحیح، FH متناسب با نوع دستگاه و همچنین فرکانس تصحیح، FL و انجام عملیات فیلتر در حوزه فرکانس با انتخاب تابع تبدیل فیلتر باترورث با مرتبه ۴.
در این مطالعه فرکانس بالای FH مطابق با گلدستاین و همکاران [۱۶] به دست آمد. آنها گزارش کردند که فرکانس



شکل (۵): نمایش یک نمونه داده قبل (چپ) و بعد (راست) از پردازش.

S_i نماینده مقدار i -امین طیف شتاب‌نگاشت به ازای پریود معین می‌باشد. μ نیز بیانگر مقدار طیف میانگین در یک پریود معین است.

- تعیین طیف طرح هموار شده

۴- نتایج

در مطالعه حاضر برای تعیین طیف طراحی شتاب از ۲۱۴ شتاب‌نگاشت استفاده شد. بدین منظور شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس سرعت موج برشی طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ و زارع [۱۷] به چهار دسته تقسیم شدند که این تقسیم‌بندی در جدول (۴) نشان داده شده است. در بعضی از ایستگاه‌ها به دلیل موجود نبودن سرعت موج برشی از روش زارع [۱۸] برای تعیین سرعت موج برشی زیر ایستگاه استفاده شد. زارع [۱۸] در مقاله خود خاطر نشان کرد که وقتی فرکانس پایه نسبت طیفی H/V برای باندهای فرکانس بیشتر از ۱۵ هرتز بیشتر از ۳ باشد سایت مورد نظر در کلاس ۱ قرار می‌گیرد. همچنین برای کلاس ۲ این بازه بین ۵ تا ۱۵ هرتز و برای کلاس ۳ بین ۲ تا ۵ هرتز و در نهایت برای کلاس ۴ در بازه کمتر از ۲ هرتز اتفاق می‌افتد (شکل ۷).

بعد از جداسازی داده‌های مورد استفاده بر اساس نوع خاک، تصحیحات اولیه روی هر رکورد انجام شد و طیف پاسخ بهنجارشده برای هر رکورد به دست آمد. چون در این تحقیق، همه شتاب‌نگاشت‌ها به PGA مربوط خود مقیاس شده‌اند، طبیعتاً طیف‌های پاسخ شتاب در نقطه پریود صفر ثانیه از یک شروع می‌شود. طیف‌های پاسخ خطی شتاب، مربوط به مؤلفه اصلاح شده قائم و افقی زلزله‌های رکورد شده در ایستگاه‌های واقع در چهار نوع ساختگاه نرمال شده به ماکزیم شتاب خود در شکل‌های (۸) و (۹) ارائه شده است.

جدول (۴): مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای معادله ۴.

نوع خاک	مؤلفه عمودی				مؤلفه افقی			
	متغیر				متغیر			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
T1	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷
T2	۰/۲	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۵۸
b	۲/۴۷	۲/۵۹	۲/۵۵	۲/۹۱	۲/۵۸	۲/۵۷	۲/۵۱	۲/۶۶
c	-۰/۶۶	-۰/۶۹	-۰/۶۷	۰/۶۱	-۰/۹۱	-۰/۸۴	-۰/۷۶	-۰/۸۳

که با رابطه (۲) مشخص می‌شود.

$$g_n(t) = \frac{1}{A} g(t) \quad (2)$$

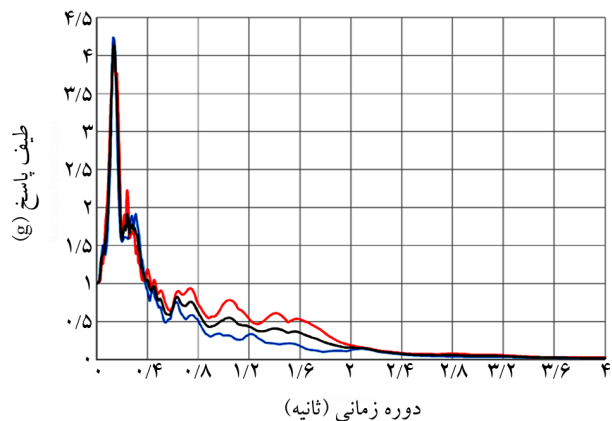
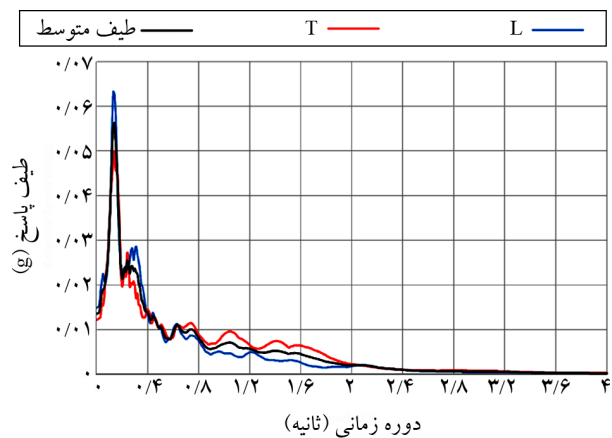
که در آن $g_n(t)$ شتاب نرمال شده زمین، A شتاب اوج زمین $g(t)$ و شتاب رکورد شده زمین می‌باشد. در شکل (۶) یک نمونه طیف پاسخ خطی شتاب، مربوط به مؤلفه‌های افقی یک زلزله ثبت شده به ازای میرایی ۵ درصد قبل و بعد از بهنجارسازی نشان داده شده است.

- استخراج طیف بازتاب میانگین با تراز اطمینان ۵۰ درصد.

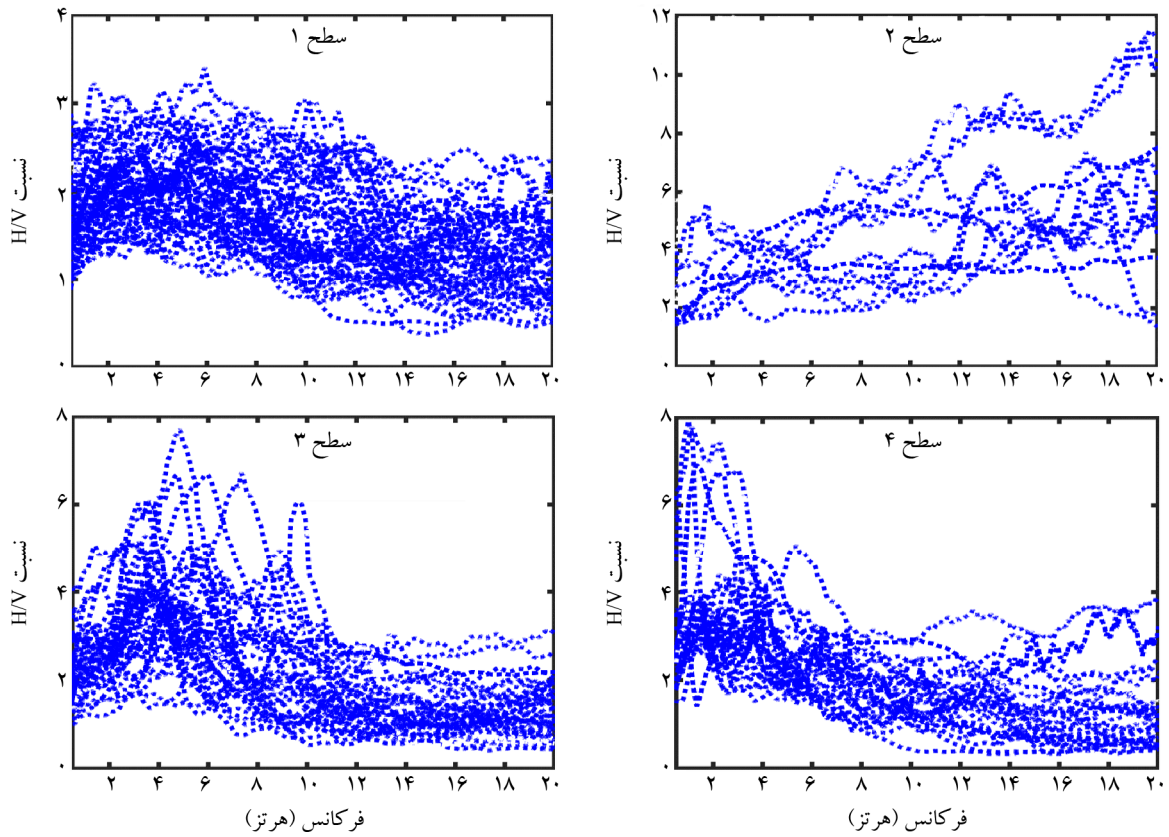
طیف بازتاب میانگین که معادل طیف بازتاب با تراز اطمینان ۵۰ درصد یا S_{50} خواهد بود و برابر با میانگین حسابی کل طیف‌های نرمال شده می‌باشد و از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$S_{50} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i = \mu \quad (3)$$

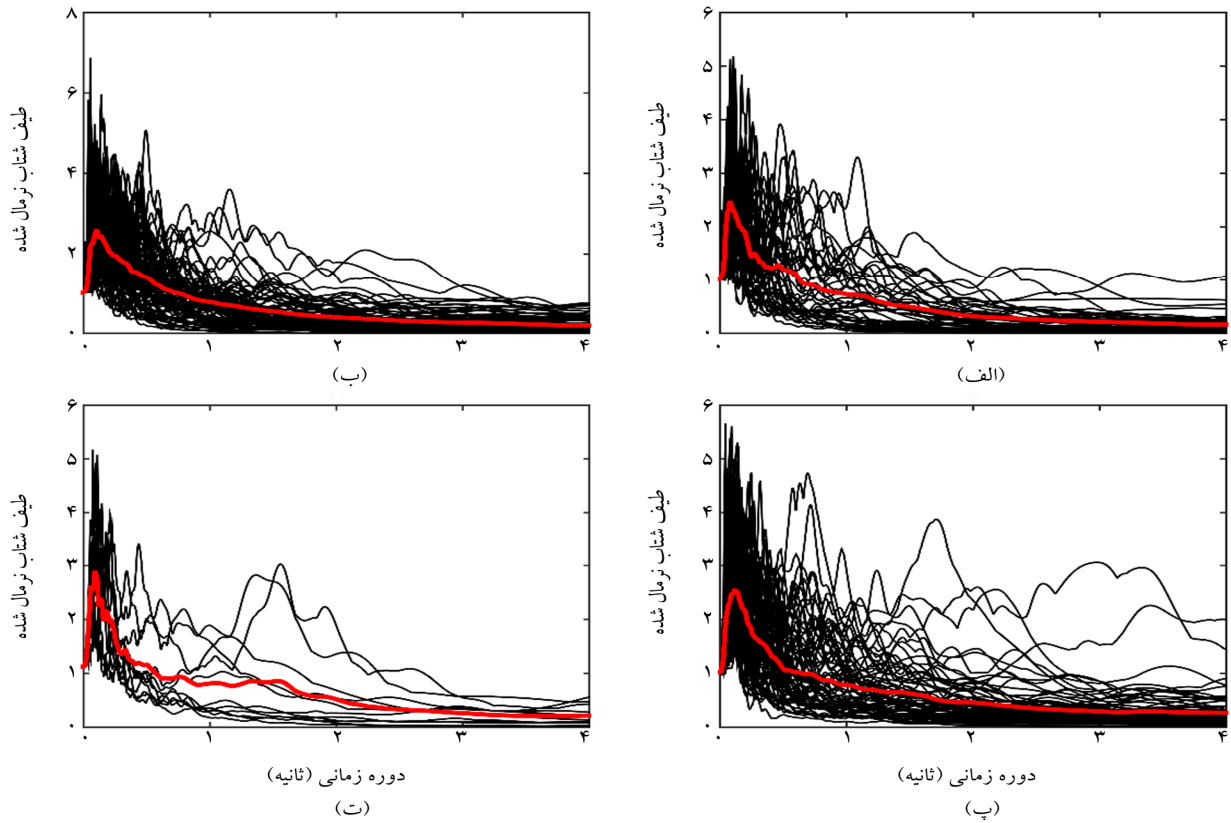
در رابطه (۳)، N تعداد طیف شتاب‌نگاشت در مجموعه است؛



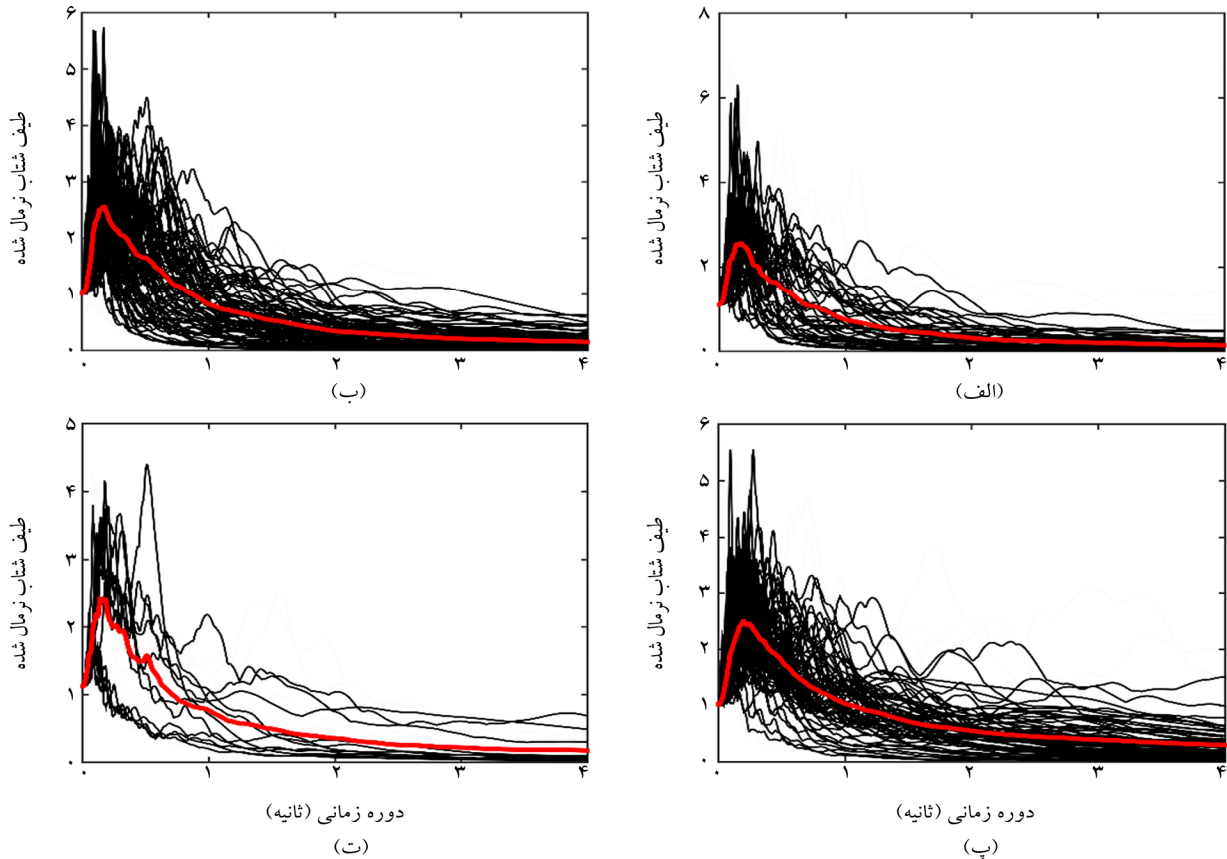
شکل (۶): طیف‌های پاسخ خطی شتاب، مربوط به مؤلفه‌های اصلاح شده L و T زلزله به ازای میرایی ۵ درصد (بالا) و طیف‌های پاسخ نرمال شده (پایین).



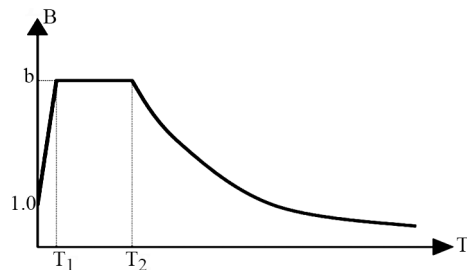
شکل (۷): نمایش طبقه‌بندی خاک تمام ایستگاه‌های مورد استفاده بر اساس تعریف زارع [۱۸].



شکل (۸): طیف‌های پاسخ خطی شتاب (رنگ مشکی)، مربوط به مؤلفه اصلاح شده قائم (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (پ) خاک نوع III و (ت) خاک نوع IV. خط ممتد قرمز میانگین طیف‌ها (طیف بازتاب) است.



شکل (۹): طیف‌های پاسخ خطی شتاب (رنگ مشکی)، مربوط به مؤلفه اصلاح شده افقی (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (پ) خاک نوع III و (ت) خاک نوع IV. خط ممتد قرمز میانگین طیف‌ها (طیف بازتاب) است.



شکل (۱۰): نمایش شکل کلی طیف بازتاب.

برای دستیابی به طیف هموار شده، در این تحقیق مراحل زیر انجام شده است:

۱. برای تعیین بیشینه مقدار طیف (b) از ماکزیمم مقدار طیف میانگین استفاده شد.

۲. پریود T_1 طوری تعیین می‌شود که ضریب بازتاب هر یک از طیف‌های پاسخ از مقدار طیف در محدوده $0 - T_1$ بیشتر نباشد.

۳. پریود T_2 و c نیز به نحوی تعیین می‌شوند که طیف بازتاب

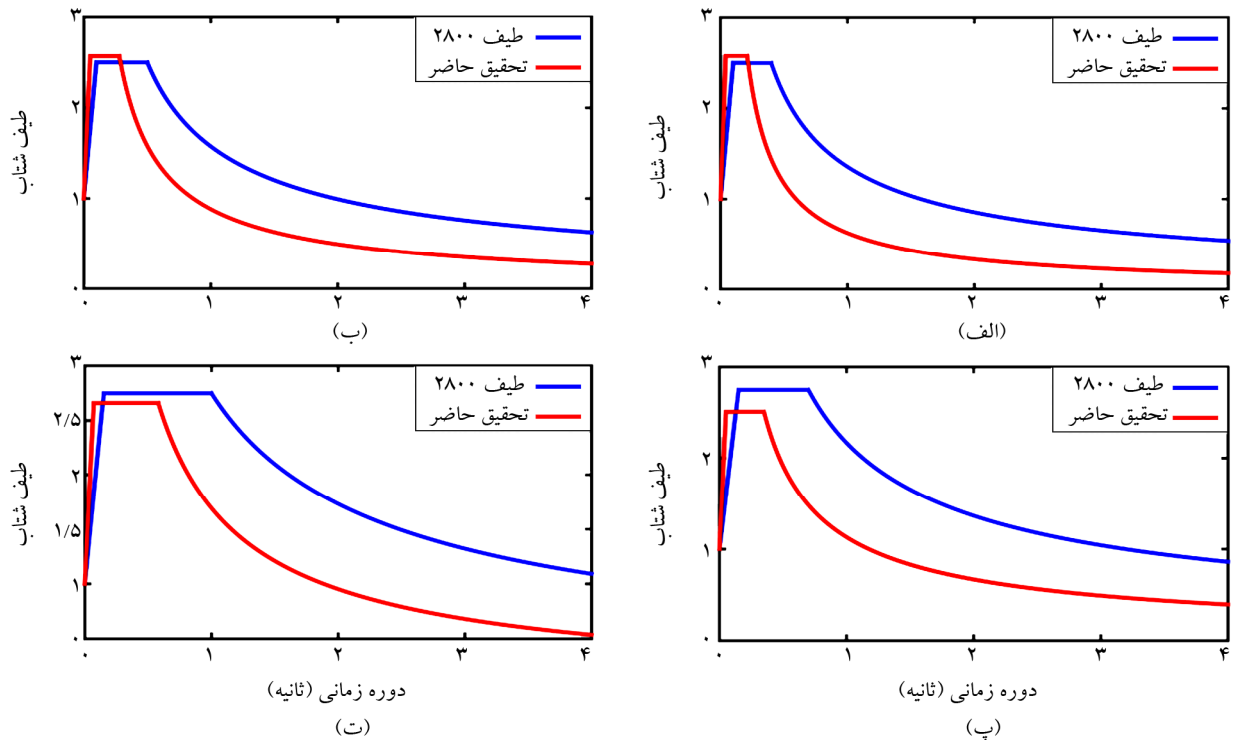
در نهایت با استفاده از میانگین حسابی کل طیف‌های نرمال شده (رابطه ۳) طیف بازتاب میانگین برای مؤلفه‌ها قائم و افقی برای هر چهار نوع خاک تعیین شد.

پس از محاسبه مقادیر طیف بازتاب، باید آنها را هموار کرد تا طیف نهایی شکلی صاف داشته و علاوه بر حفظ ضریب اطمینان در نقاط قعر، بتوان برای استفاده راحت‌تر از آن، رابطه‌ای ارائه داد. آنچه در آیین‌نامه‌های زلزله معمول است، ارائه طیفی سه قسمتی است که شکل کلی روابط مربوط به آن در معادله (۱) آورده شده است. برای رسم این طیف‌ها، مطابق شکل (۱۰) از رابطه (۴) استفاده می‌کنیم و با استفاده از طیف بازتاب میانگین مقادیر T_2 ، T_1 ، c ، b مشخص می‌شوند.

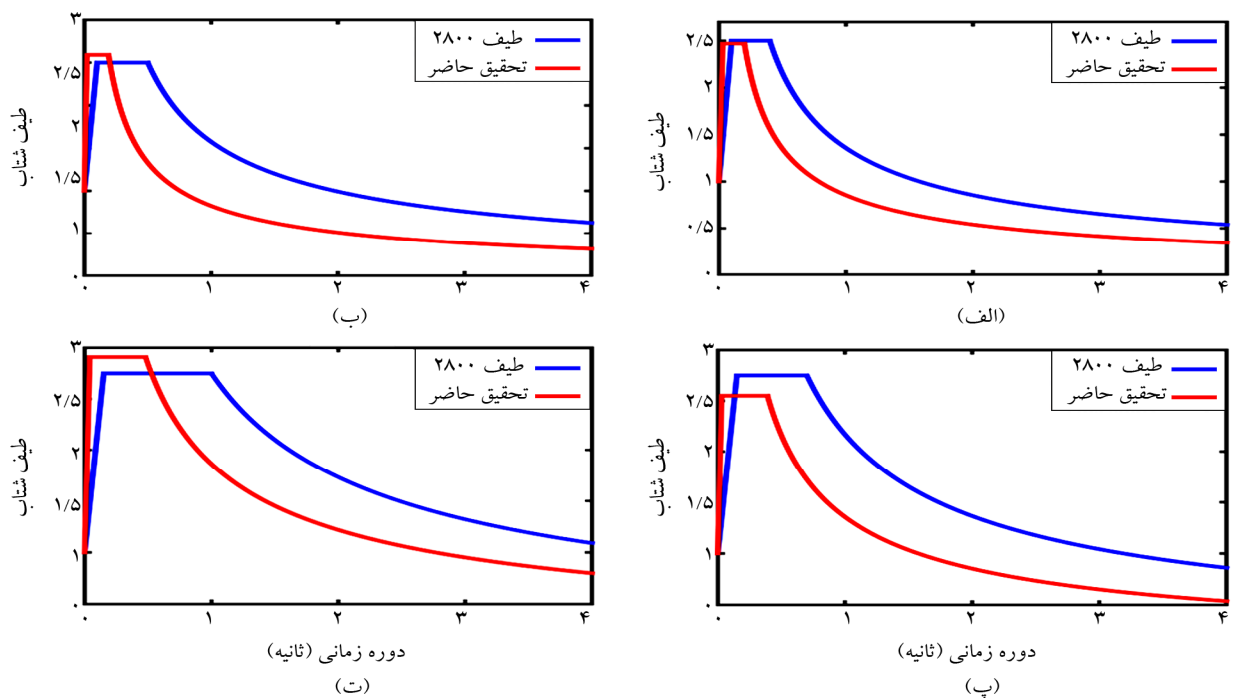
$$\begin{aligned}
 B &= 1 + (b-1) \left(\frac{T}{T_1} \right) & T \leq T_1 \\
 B &= b & T_1 \leq T \leq T_2 \\
 B &= b \left(\frac{T}{T_2} \right)^c & T_2 \leq T
 \end{aligned} \quad (4)$$

چهار به دست آمد. نتایج حاصل در شکل (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. همچنین ضرایب به دست آمده در جدول (۴) آورده شده است.

هموار شده بهترین هم پوشانی را با طیف میانگین داشته باشد. با توجه به مطالب گفته شده در بالا و رابطه (۴) طیف طرح هموار شده برای مؤلفه های افقی و قائم خاک های نوع یک تا



شکل (۱۱): مقایسه طیف های طراحی این پژوهش و آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مربوط به مؤلفه افقی (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (پ) خاک نوع III و (ت) خاک نوع IV.



شکل (۱۲): مقایسه طیف های طراحی مؤلفه قائم با طیف طرح مؤلفه افقی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مربوط به (الف) خاک نوع I، (ب) خاک نوع II، (پ) خاک نوع III و (ت) خاک نوع IV.

۵- بحث و نتیجه

در این تحقیق سعی شده است با جمع‌آوری داده‌های شتاب‌نگاری به تعیین و بررسی طیف‌های طراحی برای خاک‌های نوع اول تا چهارم (نوع I، II، III، IV) پرداخته شود. به این منظور ۲۱۴ شتاب‌نگاشت با بزرگای بیشتر از ۵/۵ مورد پردازش قرار گرفت و طیف بازتاب برای مؤلفه قائم و افقی تعیین شد.

۵-۱- طیف بازتاب مؤلفه افقی

با توجه به شکل (۷) و جدول (۴) درمی‌یابیم که مقادیر طیفی مربوط به تناوب‌های کمتر از ۰/۲۱ و ۰/۲۸ ثانیه، به ترتیب برای خاک نوع I و II تقریباً ۳ درصد بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران است که این اختلاف قابل چشم‌پوشی است. مقادیر طیفی مؤلفه افقی در خاک نوع ۳ و ۴ در پروده‌های کمتر از ۰/۳۵ و ۰/۵۸ به مقدار ناچیزی کمتر از آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. در این موارد می‌توان از مقادیر آیین‌نامه ۲۸۰۰ استفاده نمود. با افزایش پریرود ارتعاشی (بیشتر از T2)، اختلاف قابل توجهی بین مقادیر طیف آئین‌نامه و مقادیر طیف میانگین برای هر چهار نوع خاک، ظاهر می‌شود. اگر پریرود ۰/۸ ثانیه را که تقریباً پریرود ارتعاشی بسیاری از سازه‌های ساختمانی می‌باشد را در نظر بگیریم، مقدار متناظر با آئین‌نامه بیش از دو برابر مقدار متناظر با طیف میانگین زلزله‌های ایران می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم رابطه مستقیم بین نیروی جانبی زلزله با ضریب بازتاب ساختمان که از طیف بازتاب طرح به دست می‌آید، وجود دارد؛ بنابراین با در نظر گرفتن مقادیر بسیار بالا برای ضریب بازتاب، مقطع سازه‌ی طراحی شده و در نتیجه وزن مصالح سازه‌ای به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این موضوع منجر به تحمیل آسیب‌های اقتصادی زیادی در سطوح ملی می‌گردد.

۵-۲- طیف بازتاب مؤلفه قائم

روند طیف‌های مؤلفه قائم در خاک نوع I منطبق بر طیف آیین‌نامه است و تفاوت زیادی با مؤلفه افقی ندارد. ماکزیمم

طیف در پریرود ۰/۱۲ و برابر با ۲/۴۷ است. در خاک نوع II مؤلفه قائم و افقی بر هم منطبق هستند و همخوانی بسیار خوبی با طیف آیین‌نامه دارند. بیشترین مقدار طیف در این خاک برابر با ۲/۵۹ در پریرود ۰/۱۳ است. مؤلفه قائم طیف خاک نوع III همانند مؤلفه افقی کمتر از آیین‌نامه است که این اختلاف با افزایش پریرود افزایش می‌یابد. در خاک نوع IV ما شاهد روندی متفاوت از روند مؤلفه افقی هستیم. در مؤلفه افقی طیف بازتاب کمتر از طیف آیین‌نامه است در حالی که مؤلفه قائم دارای ماکزیمم طیف بیشتری از آیین‌نامه است.

در حالت کلی با میانگین‌گیری از طیف بازتاب مؤلفه قائم و افقی فهمیده می‌شود که در پریرودهای زیر T2 طیف‌های به‌دست آمده در این مطالعه همخوانی خوبی با طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ دارد. با افزایش پریرود مقادیر به‌دست آمده کمتر از مقادیر آیین‌نامه می‌شود به طوری که در پریرود ۰/۸ ثانیه طیف آیین‌نامه تقریباً دو برابر طیف بازتاب به‌دست آمده از این مطالعه است.

مراجع

- Berberian, F. and Berberian, M. (1981) 'Tectono-plutonic episodes in Iran'. In: *Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution*, 3, 5-32.
- Ghodrati Amiri, G., Manouchehri Dana, F., and Sedighi, S. (2008) Determination of design acceleration spectra for different site conditions, magnitudes, safety levels and damping ratios in Iran. *International Journal of Civil Engineering*, 6(3), 184-197.
- Kuribayashi, E., et al. (1972) Effects of seismic and subsoil conditions on earthquake response spectra. *Proc. Int. Conf. on Microzonation*.
- Newmark, N.M., Hall, W., and Mohraz, B. (1973) *A Study of Vertical and Horizontal Earthquake Spectra*. Report WASH-1255, Directorate of Licensing, US Atomic Energy Commission, 28-48.
- Nourzadeh, D., Ebad-Sichani, M., and Takada, S. (2013) Site-specific approach for seismic design spectra in Iran, based on recent major strong ground motions. *Geotechnical and Geological Engineering*, 7(1), 69-74.

14. Boore, D.M., Stephens, C.D., and Joyner, W.B. (2002) Comments on baseline correction of digital strong-motion data: Examples from the 1999 Hector Mine, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(4), 1543-1560.
15. Trifunac, M. and Lee, V. (1979) *Automatic Digitization and Processing of Strong-Motion Accelerograms. Part I. Automatic Digitization*. Report No. 79-15 I. University of Southern California, Los Angeles (USA), Dept. of Civil Engineering.
16. Goldstein, P., et al. (2003) SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers. *The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, **81**, 1613-1620.
17. Zare, M. (2004) *Strong Motion Data of the 1994-2002 Earthquakes in Iran: A Catalogue of 100 Selected Records with Higher Qualities in the Low Frequencies*.
18. Zaré, M. (2007) Spectral demand curves based on the selected strong motion records in Iran. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, **9**(3), 111-123.
6. Anderson, J.C. (1989) *Dynamic Response of Buildings*. Van Nostrand Reinhold.
7. Cornell, C.A. (1968) Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**(5), 1583-1606.
8. Newmark, N.M. and Hall, W.J. (1969) Seismic design criteria for nuclear reactor facilities. *Proceedings of the 4th World conference on Earthquake Engineering*.
9. Housner, G. (1970) *Design Spectrum, Chapter 5 in Earthquake Engineering*. Edited by RL Wiegel. Prentice-Hall.
10. Newmark, N. and Hall, W. (1982) *Earthquake Spectra and Design*. Earthquake Eng. Research Institute, Berkeley, CA.
11. Mohraz, B. (1976) A study of earthquake response spectra for different geological conditions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **66**(3), 915-935.
12. Elnashai, A.S. and Di Sarno, L. (2008) *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Wiley New York.
13. Elgamal, A. and He, L. (2004) Vertical earthquake ground motion records: an overview. *Journal of Earthquake Engineering*, **8**(05), 663-697.

پیوست

جدول (پیوست ۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه (شتاب‌نگاشت‌های ایران).

No	Record No.	Date	Station Name	Eq Epicenter		Station		Mw	Source to Site Distance (km)	Depth (km)	V _{s30} (m/s)	Site Class
				Lat.	Long.	Lat.	Long.					
1	1044	1976_11_07	Khezri	33.82°N	59.19°E	34.021°N	58.811°E	6.4	42	13	704	II
2	1043	1976_11_07	Qaen	33.82°N	59.19°E	33.73°N	59.22°E	6.4	10	13	770	I
3	1042	1976_11_07	Sedeh	33.82°N	59.19°E	33.328°N	59.236°E	6.4	55	13	854	I
4	1050	1977_03_22	Bandar-e-Abas_3	27.59°N	56.42°E	27.18°N	56.28°E	6.9	48	29	-	IV
5	1051	1977_03_22	Bandar-e-Abas_4	27.59°N	56.45°E	27.181°N	56.284°E	6.9	48	29	-	IV
6	1083-1	1978_09_17	Boshrooyeh	33.37°N	57.44°E	33.863°N	57.428°E	7.4	55	34	474	II
7	1082-1	1978_09_17	Deyhook	33.37°N	57.44°E	33.29°N	57.5°E	7.4	10	34	780	I
8	1084-1	1978_09_17	Tabas	33.37°N	57.44°E	33.58°N	56.92°E	7.4	54	34	650	III
9	1168	1981_06_12	Kerman	29.9°N	57.72°E	30.28°N	57.07°E	6.6	75	31	202	I
10	1169	1981_06_12	Rayen	29.9°N	57.72°E	29.594°N	57.439°E	6.6	44	31	-	III
11	1176-5	1981_07_29	Golbaf	29.99°N	57.77°E	29.88°N	57.72°E	7.1	13	33	320	III
12	1174	1981_07_29	Kerman	29.99°N	57.77°E	30.28°N	57.07°E	7.1	75	33	202	III

ادامه جدول (پیوست ۱)

No	Record No.	Date	Station Name	Eq Epicenter		Station		Mw	Source to Site Distance (km)	Depth (km)	Vs ₃₀ (m/s)	Site Class
				Lat.	Long.	Lat.	Long.					
13	1362-1	1990_06_21	Ab-bar	36.96°N	49.41°E	36.925°N	48.954°E	7.7	41	18	660	II
14	1357-1	1990_06_21	Lahijan	36.96°N	49.41°E	37.21°N	50.03°E	7.7	62	18	250	III
15	1355.V1	1990_06_21	Roodsar	36.96°N	49.41°E	37.13°N	50.3°E	7.7	80	18	170	IV
16	1498	1994_06_21	Bab_Anar	28.96°N	52.61°E	28.979°N	53.218°E	5.9	59	8	-	III
17	1497	1994_06_21	Farrashband	28.96°N	52.61°E	28.87°N	52.07°E	5.9	54	8	630	II
18	1493-2	1994_06_21	Firouz_Abad	28.96°N	52.61°E	28.842°N	52.572°E	5.9	14	8	-	I
19	1491	1994_06_21	Kavar	28.96°N	52.61°E	29.202°N	52.692°E	5.9	28	8	-	II
20	1502-9	1994_06_21	Zanjiran	28.96°N	52.61°E	29.07°N	52.62°E	5.9	12	8	-	II
21	1492-16	1994_06_21	Zarrat	28.96°N	52.61°E	29.094°N	52.847°E	5.9	27	8	800	I
22	1490-2	1994_06_21	meymand	28.96°N	52.61°E	28.87°N	52.75°E	5.9	17	8	-	II
23	1659-2	1997_02_04	Ashkhane	37.661°N	57.29°E	37.559°N	56.919°E	6.5	53	15	-	II
24	1726-2	1997_02_04	Gifan	37.661 °N	58.291°E	37.894°N	57.485°E	6.5	20	15	-	III
25	1728-2	1997_02_04	Robat	37.661 °N	59.291°E	37.9°N	57.69°E	6.5	27	15	-	IV
26	1693-1	1997_02_28	Ardebil	37.99°N	48.15°E	38.226°N	48.276°E	6	28	10	530	II
27	1687	1997_02_28	Hari	37.99°N	48.15°E	38.247°N	47.119°E	6	54	10	530	II
28	1733	1997_02_28	Helabad	37.99°N	48.15°E	37.92°N	48.42°E	6	25	10	387	II
29	1833-2	1997_02_28	Kariq	37.99°N	48.15°E	37.918°N	48.062°E	6	11	10	589	II
30	1735	1997_02_28	Khalkhal	37.99°N	48.15°E	37.608°N	48.537°E	6	54	10	485	II
31	1731	1997_02_28	Meshkin_Shahr	37.99°N	48.15°E	38.39°N	47.67°E	6	61	10	-	II
32	1724	1997_02_28	Namin	37.99°N	48.15°E	38.423°N	48.477°E	6	56	10	1236	I
33	1690	1997_02_28	Niyaraq	37.99°N	48.15°E	38.265°N	48.627°E	6	52	10	1512	I
34	1725	1997_02_28	Sarab	37.99°N	48.15°E	37.935°N	47.541°E	6	54	10	406	II
35	2159	1999_03_05	Jiroft_Dam I	28.46°N	57.62°E	28.86°N	57.465°E	6.3	47	33	-	III
36	2105	1999_03_05	Kahnnoj	28.46°N	57.62°E	27.94°N	57.7°E	6.3	58	33	1564	I
37	2168	1999_03_05	Mohammad_Abad-e-Maskoon	28.46°N	57.62°E	28.908°N	57.888°E	6.3	56	33	507	II
38	2131-2	1999_05_07	Balaade	28.46°N	57.62°E	29.291°N	51.935°E	6.1	23	30	1380	I
39	2126-3	1999_05_07	Ghaemiye	28.46°N	57.62°E	29.846°N	51.59°E	6.1	49	30	617	II
40	2123-2	1999_05_07	Gooyom	28.46°N	57.62°E	29.829°N	52.4°E	6.1	62	30	598	II
41	2121-2	1999_05_07	Kazeroon	28.46°N	57.62°E	29.62°N	51.67°E	6.1	26	30	-	II
42	2130-1	1999_05_07	Khan_Zeynioun	28.46°N	57.62°E	29.671°N	52.147°E	6.1	32	30	535	II
43	2748-1	2002_06_23	Abgar	35.66°N	48.92°E	35.756°N	49.284°E	6.4	35	12	199	III
44	2749-1	2002_06_23	Avaj	35.66°N	48.92°E	35.58°N	49.22°E	6.4	29	12	814	I
45	2756-1	2002_06_23	Raza	35.66°N	48.92°E	35.393°N	49.033°E	6.4	31	12	314	III
46	2781	2002_06_23	Shirinsu	35.66°N	48.92°E	35.487°N	48.451°E	6.4	35	12	813	I
47	3176-1	2003_12_27	Abarag	29.04°N	58.33°E	29.348°N	57.939°E	6.5	51	7	1160	I
48	3168-2	2003_12_27	Bam I	29.04°N	58.33°E	29.09°N	58.35°E	6.5	6	7	-	II
49	3170-2	2003_12_27	Jirof	29.04°N	58.33°E	28.671°N	57.736°E	6.5	71	7	343	III
50	3162-1	2003_12_27	Mohammad_Abad-e-Maskoo	29.04°N	58.33°E	28.908°N	57.888°E	6.5	45	7	507	II
51	3326	2004_05_28	Garmabdar	36.28°N	51.61°E	35.987°N	51.634°E	6.4	33	17	-	III
52	3333	2004_05_28	Hasan_Keyf	36.28°N	51.61°E	36.5°N	51.15°E	6.4	48	17	339	III

ادامه جدول (پیوست ۱)

No	Record No.	Date	Station Name	Eq Epicenter		Station		Mw	Source to Site Distance (km)	Depth (km)	Vs ₃₀ (m/s)	Site Class
				Lat.	Long.	Lat.	Long.					
53	3369-1	2004_05_28	Noor	36.28°N	51.61°E	36.574°N	52.011°E	6.4	60	17	178	III
54	3368-1	2004_05_28	Noshahr	36.28°N	51.61°E	36.654°N	51.494°E	6.4	43	17	165	IV
55	3330-1	2004_05_28	Poul	36.28°N	51.61°E	36.401°N	51.586°E	6.4	14	17	-	II
56	3556-1	2004_10_07	Agh_Gal	37.17°N	54.38°E	37.014°N	54.459°E	6.2	19	34	341	III
57	3542	2004_10_07	Ali_Abad	37.17°N	54.38°E	36.902°N	54.846°E	6.2	51	34	-	IV
58	3546	2004_10_07	Gomishan	37.17°N	54.38°E	37.109°N	54.526°E	6.2	29	34	-	IV
59	3544	2004_10_07	Gonbad-e-Kavoo	37.17°N	54.38°E	37.242°N	55.164°E	6.2	70	34	402	II
60	3545	2004_10_07	Gorgan	37.17°N	54.38°E	36.839°N	54.385°E	6.2	37	34	291	III
61	3560-1	2004_10_07	Incheh_Borun	37.17°N	54.38°E	37.456°N	54.724°E	6.2	44	34	283	III
62	3561-1	2004_10_07	Kowsar_Dam	37.17°N	54.38°E	36.811°N	54.546°E	6.2	43	34	-	I
63	3551	2004_10_07	Ramyar	37.17°N	54.38°E	37.019°N	55.139°E	6.2	69	34	827	I
64	3562-1	2004_10_07	Voshmgir_Dam	37.17°N	54.38°E	37.207°N	54.736°E	6.2	32	34	-	I
65	3660-1	2005_02_22	Chatrood	30.8°N	56.77°E	30.605°N	56.911°E	6.5	26	14	852	I
66	3686	2005_02_22	Dasht-e-Khak	30.8°N	56.77°E	31.066°N	56.555°E	6.5	36	14	-	II
67	3688	2005_02_22	Horjand	30.8°N	56.77°E	30.676°N	57.155°E	6.5	39	14	999	I
68	3671-1	2005_02_22	Zarand	30.8°N	56.77°E	30.807°N	56.569°E	6.5	18	14	226	III
69	4018-3	2006_04_01	Chaghalvand	30.8°N	56.77°E	33.664°N	48.553°E	6.2	41	7	616	II
70	4027-8	2006_04_01	Chalan_Choolan	30.8°N	56.77°E	33.659°N	48.913°E	6.2	9	7	428	II
71	4052-3	2006_04_01	Darreh-Asbar	30.8°N	56.77°E	33.45°N	49.06°E	6.2	27	7	-	I
72	4022-2	2006_04_01	Dorood	30.8°N	56.77°E	33.491°N	49.059°E	6.2	23	7	-	III
73	4035-3	2006_04_01	Kooshk-e-Ab-e-Sard	30.8°N	56.77°E	33.773°N	48.569°E	6.2	41	7	-	III
74	4054-1	2006_04_01	Shazand	30.8°N	56.77°E	33.931°N	49.406°E	6.2	46	7	-	II
75	5176-3	2011_01_27	Chah_Malek	28.15°N	59°E	28.554°N	59.157°E	6.1	47	10	-	I
76	5177-3	2011_01_27	Deh_Reza	28.15°N	59°E	28.66°N	59.254°E	6.1	63	10	-	II
77	5179-4	2011_01_27	Sarzeh	28.15°N	59°E	28.334°N	59.021°E	6.1	21	10	-	II
78	5180-2	2011_01_27	Zeh_Kelot	28.15°N	59°E	27.79°N	58.594°E	6.1	57	10	-	IV
79	5520-1	2012_08_11	Ahar	38.52°N	46.86°E	38.474°N	47.059°E	6.1	18	11	-	II
80	5533-1	2012_08_11	Douzal	38.52°N	46.86°E	38.86°N	46.229°E	6.1	67	11	-	II
81	5540-1	2012_08_11	Hari	38.52°N	46.86°E	38.247°N	47.119°E	6.1	38	11	530	II
82	5544-1	2012_08_11	Hoorand	38.52°N	46.86°E	38.858°N	47.369°E	6.1	58	11	-	II
83	5545-1	2012_08_11	Kaleibar	38.52°N	46.86°E	38.87°N	47.039°E	6.1	42	11	850	I
84	5558-1	2012_08_11	Nahand	38.52°N	46.86°E	38.248°N	46.47°E	6.1	46	11	-	II
85	5579-1	2012_08_11	Varzaqa	38.52°N	46.86°E	38.507°N	46.64°E	6.1	19	11	475	II
86	5520-1	2012_08_11	Ahar	38.52°N	46.86°E	38.474°N	47.059°E	6.1	18	11	-	II
87	5533-1	2012_08_11	Douzal	38.52°N	46.86°E	38.86°N	46.229°E	6.1	67	11	-	II
88	5540-1	2012_08_11	Haris	38.52°N	46.86°E	38.247°N	47.119°E	6.1	38	11	530	II
89	5544-1	2012_08_11	Hoorand	38.52°N	46.86°E	38.858°N	47.369°E	6.1	58	11	-	II
90	5545-1	2012_08_11	Kaleibar	38.52°N	46.86°E	38.87°N	47.039°E	6.1	42	11	850	I
91	5558-1	2012_08_11	Nahand	38.52°N	46.86°E	38.248°N	46.47°E	6.1	46	11	-	II
92	5579-1	2012_08_11	Varzaqan	38.52°N	46.86°E	38.507°N	46.64°E	6.1	19	11	475	II
93	5790	2013_04_10	Ahram	28.46°N	51.62°E	28.887°N	51.287°E	6.3	58	12	988	II

ادامه جدول (پیوست ۱)

No	Record No.	Date	Station Name	Eq Epicenter		Station		Mw	Source to Site Distance (km)	Depth (km)	Vs ₃₀ (m/s)	Site Class
				Lat.	Long.	Lat.	Long.					
94	5779-1	2013_04_10	Ali_Hoseini	28.46°N	51.62°E	28.758°N	51.241°E	6.3	50	12	-	II
95	5781	2013_04_10	Bandar-e-Dayyer	28.46°N	51.62°E	27.834°N	51.927°E	6.3	76	12	508	II
96	5780-1	2013_04_10	Bardkhood	28.46°N	51.62°E	28.059°N	51.474°E	6.3	47	12	401	II
97	5787	2013_04_10	Dahra	28.46°N	51.62°E	28.489°N	52.305°E	6.3	67	12	-	IV
98	5782	2013_04_10	Farrashband	28.46°N	51.62°E	28.86°N	52.091°E	6.3	64	12	630	II
99	5814-1	2013_04_10	Faryab	28.46°N	51.62°E	28.902°N	51.462°E	6.3	52	12	641	II
100	5815	2013_04_10	Hengam	28.46°N	51.62°E	28.364°N	52.598°E	6.3	80	12	892	I
101	5800-1	2013_04_10	Khoormoj	28.46°N	51.62°E	28.658°N	51.373°E	6.3	33	12	919	I
102	5783-1	2013_04_10	Riz	28.46°N	51.62°E	28.568°N	51.083°E	6.3	63	12	1027	I
103	5784	2013_04_10	Rostam	28.46°N	51.62°E	28.568°N	51.083°E	6.3	54	12	546	II
104	6275	2014_08_19	Abdanan	32.62°N	47.67°E	33°N	47.42°E	6	48	10.2	654	II
105	6277	2014_08_19	Andimeshk	32.62°N	47.67°E	32.47°N	48.35°E	6	66	10.2	-	II
106	6276	2014_08_19	Bisheh-Deraz	32.62°N	47.67°E	32.83°N	46.97°E	6	70	10.2	873	I
107	6278	2014_08_19	Dareh-Shahr	32.62°N	47.67°E	33.14°N	47.38°E	6	64	10.2	-	II
108	6279	2014_08_19	Dehloran	32.62°N	47.67°E	32.69°N	47.26°E	6	39	10.2	798	I
109	6311	2014_08_19	Hosseiniyeh_Olya	32.62°N	47.67°E	32.67°N	48.25°E	6	55	10.2	582	II
110	6284	2014_08_19	Pol_Dokhtar	32.62°N	47.67°E	33.15°N	47.71°E	6	59	10.2	486	II
111	6995	2017_04_06	Fariman	35.89°N	60.37°E	35.695°N	59.843°E	6.1	52	13	680	II
112	7027	2017_04_06	Gonbadli	35.89°N	60.37°E	36.387°N	60.859°E	6.1	71	13	1111	I
113	7377-1	2017_11_13	Goorsefid	34.81°N	45.91°E	34.218°N	45.845°E	7.3	66	19	403	II
114	7398	2017_11_13	Javanrood	34.81°N	45.91°E	34.809°N	46.489°E	7.3	53	19	-	II
115	7302-1	2017_11_13	Kerend	34.81°N	45.91°E	34.279°N	46.24°E	7.3	66	19	279	III
116	7297	2017_11_13	Nosood	34.81°N	45.91°E	35.161°N	46.203°E	7.3	47	19	-	II
117	7296	2017_11_13	Ravansar	34.81°N	45.91°E	34.652°N	46.652°E	7.3	70	19	267	III
118	7384-1	2017_11_13	Sarpolezahab1	34.81°N	45.91°E	34.459°N	45.868°E	7.3	39	19	619	II
119	7290	2017_11_13	Sarv_Abad	34.81°N	45.91°E	35.311°N	46.369°E	7.3	70	19	-	II
120	7462	2017_12_02	Chatrood	30.75°N	57.34°E	30.604°N	56.91°E	6.1	44	9	852	I
121	7505-2	2017_12_02	Hineman	30.75°N	57.34°E	30.529°N	57.289°E	6.1	25	9	617	II
122	7441-1	2017_12_02	Hojdak	30.75°N	57.34°E	30.76°N	57.005°E	6.1	32	9	-	IV
123	7436-1	2017_12_02	Horjand	30.75°N	57.34°E	30.676°N	57.155°E	6.1	19	9	999	I
124	7513-1	2017_12_02	Hotkan	30.75°N	57.34°E	30.848°N	56.788°E	6.1	54	9	837	I
125	7497	2017_12_13	Chatrood	30.76°N	57.32°E	30.604°N	56.91°E	6.1	43	12	852	I
126	7505-6	2017_12_13	Hineman	30.76°N	57.32°E	30.529°N	57.289°E	6.1	26	12	617	II
127	7495	2017_12_13	Hojdak	30.76°N	57.32°E	30.76°N	57.005°E	6.1	30	12	-	IV
128	7503-5	2017_12_13	Horjand	30.76°N	57.32°E	30.676°N	57.155°E	6.1	18	12	999	I
129	7513-2	2017_12_13	Hotkan	30.76°N	57.32°E	30.848°N	56.788°E	6.1	52	12	837	I
130	5006	2010_07_30	Torbate Heiydaryeh	35.28 °N	59.26°E	35.274 °N	59.221 °E	5.9	4	20	306	III
131	5014	2010_07_31	Laleh Zar	29.6°N	56.79°E	29.523 °N	56.811 °E	5.7	9	14	678	II
132	5249	2011_06_15	Kahnooj	27.8 °N	57.79°E	27.947 °N	57.705 °E	5.6	18	38	1564	I
133	5611/02	2012_08_14	Mehtar101	38.38 °N	46.76 °E	38.471 °N	46.711 °E	5.5	11	14	-	II
134	6063/01	2013_11_28	Dalaki	29.35 °N	51.36 °E	29.428 °N	51.288 °E	5.7	11	9	971	I

ادامه جدول (پیوست ۱)

No	Record No.	Date	Station Name	Eq Epicenter		Station		Mw	Source To Site Distance (km)	Depth (km)	V _{s30} (m/s)	Site Class
				Lat.	Long.	Lat.	Long.					
135	6067/01	2013_11_28	Konar Takhteh	29.35°N	51.36 °E	29.530 °N	51.394 °E	5.7	20	9	450	II
136	6481	2015_05_05	Kashmar	35.4 °N	58.48 °E	35.243 °N	58.469 °E	5.5	18	22	494	II
137	8000	2018_11_25	Sarpolezahab1	34.68°N	46.27 °E	34.459 °N	45.868 °E	5.7	44	10	619	II

Calculation of Design Spectrum for Different Soil Types in Iran, Based on Near Fault Data and its Comparison with Iranian Building Code (Standard 2800)

Maryam Sedghi^{1*}, Mehdi Zare² and Arezoo Dorostian³

1. Iranian Red Crescent Society, Tehran Province and Ph.D. Student in Geophysics (Seismology), Department of Geophysics, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
*Corresponding Author, email: m_sedghi2002@yahoo.com
2. Professor, Seismology Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Geophysics, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Near-fault earthquakes have different characteristics comparing to far-field recorded events, they often contain strong coherent dynamic long period pulses and permanent ground displacements. In the recent years, the effects of near-field and far-field earthquakes have been studied separately in various building codes.

Building codes have been revised and updated depending on the improvements in the representation of ground motions, soils and structures. These revisions have been more frequently seen in recent years. One of the key changes in earthquake codes has been performed on the design spectra. Design spectra are used in seismic analysis methods such as equivalent static lateral force analysis, dynamic spectral analysis and time history dynamic analysis. Various seismological and geophysical parameters affect the shape of design spectra. Ambraseys et al. (1996) and Bommer and Acevedo (2004) presented and discussed the effects of earthquake magnitude, source-to-site distance, site classification, and style-of-faulting on the strong-motion accelerograms and consequently design spectra.

The present study shows the results of 214 accelerograms, obtained from shallow crustal earthquakes with epicentral distance less than 80 km from causative fault, to determine the design spectrum in Iran. A comparison is performed with the design spectrum of Iranian building code (Standard No. 2800).

So far, due to the lack of information and registered accelerograms in Iran, as well as the unclear ground conditions at the place of record registration, no effective action has been taken to determine the design spectrum in Iran. The site conditions have been classified into different categories in earthquake codes. These categories are named ground types, soil profile types, local site classes or subsoil classes.

In Iranian Seismic Building Code, four types of soils I, II, III, IV have been determined, Site Class I: Rock, or hard Rock, or thin alluvium on bed rock with V_{s30} more than 750 m/s; Site Class II, very dense soil or soft rock with high thickness on rock bed with V_{s30} between 375 and 750 m/s; Site Class III stiff soil or soils with medium density or hardness with V_{s30} of 175 to 375 meters per second; and Site Class IV, soft soils with a V_{s30} of less than 175 meters per second. The accelerograms, obtained from major earthquakes in Iran, United States and Europe have been collected and then processed. After calculating the response spectra, the design spectra was plotted from the average response spectra values for all soil types, (I, II, III, IV) presented in the Standard No. 2800.

To compare the results of this study with spectra presented in Iranian Seismic Building Code, records obtained from event having magnitudes greater than 5.5 and recorded in the epicentral distances less than 80 km were selected and 5% damping was used for calculations. The results show that design spectrum for soil classes I, II, and III, were consistent with Standard No. 2800 for the spectral values of Periods 0.0 to 0.39 seconds, while in the periods longer than 0.39 seconds, the design spectrum of the Standard No. 2800 is more conservative than the present design spectra. Meanwhile, the spectral ordinates for design spectra of vertical component for soil class IV were representative for higher values for the present spectra, comparing to that presented in Standard No. 2800. This might be related to epistemic uncertainty imposed by still few available records for soft soil site (class IV).

Keywords: Accelerogram, Design Spectra, Epicentral Distance, Near-Fault Earthquake.