تعیین طیف طراحی شتاب افقی زمین برای خاک نوعII (بستر سنگی) ایران و مقایسه آن با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰(ویرایش سوم)

نسرین بیات
کارشناسی ارشد، گروه سازه و ژئوتکنیک، دانشگاه شهید بهشتی(پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور)، تهران، ایران
nasrin.bayat68.gmail.com

مژگان رفیعی
کارشناسی ارشد، گروه سازه و ژئوتکنیک، دانشگاه شهید بهشتی(پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور)، تهران، ایران
mzh_rafiee@yahoo.com

عباس مهدویان
استادیار گروه سازه و ژئوتکنیک دانشگاه شهید بهشتی(پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور)، تهران، ایران
mahdavianabbas@yahoo.com

کلید واژه‌ها: *طیف طراحی شتاب، طیف استاندارد، شتابنگاشت، طیف طرح میانگین، طیف طرح فوق میانگین.*

چکیده

در این پژوهش به تعیین طیف طراحی شتاب افقی زمین برای خاک نوع II براساس زلزله های ایران پرداخته شده است. عوامل فراوانی از جمله شرایط خاک محل، بزرگی و مدت دوام زلزله، فاصله تا محل وقوع و ویژگی های چشمه زلزله همگی بر طیف پاسخ زلزله اثر می-گذارند. از آنجاکه همه موارد فوق در زلزله ها و شرایط ساختگاه مختلف، متفاوت است، نمی توان به طیف پاسخ یک زلزله تنها بعنوان مبنای کار طراحی سازه اکتفا کرد و منطقی به نظر می رسد برای هدف های طراحی از میانگین طیف های پاسخ زلزله های مختلف استفاده کرد. بطور کلی طیف طراحی باید نماینده تعدادی از زلزله های رخ داده در گذشته در منطقه مورد کاربرد باشد. از آنجا که در سال های اخیر تعداد ایستگاه های شتابنگاری توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته و به دنبال آن تعداد شتابنگاشت های آن زیاد شده است، اکنون می توان با دقت مناسب برای هرنوع خاک به طور مجزا طیف طرح تهیه کرد. لذا در این پژوهش تعداد ۱۶۴ نگاشت ثبت شده در ایستگاه های با خاک نوع II، که همگی دارای بزرگای بیش از ۴/۵ و فاصله رومرکز کمتر از ۵۰ کیلومتر، بوده اند، از سازمان تحقیقات و مسکن انتخاب شده و پس از انجام تصحیحات فرکانسی لازم، طیف طراحی شتاب افقی برای آنها محاسبه شده است. پس از انجام میانگین گیری، و مقایسه آن با طیف بازتاب استاندارد آیین نامه ۲۸۰۰ میزان بالادست بودن طیف استاندارد ۲۸۰۰ در پریودهای بزرگتر از ۰/۲ نمایان شد. در پایان طیف مناسب میانگین(تراز ۵۰٪) و فوق میانگین(تراز ۸۴٪) پیشنهاد شده است.

مقدمه

زمین‌لرزه، بازتاب یک رویداد زمین‌شناختی است که در روی زمین به گونه تکان(شتاب، سرعت وجابجایی زمین) دریافت می‌شود. برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، شناخت جنبش نیرومند زمین که انتظار می‌رود در طول عمر مفید سازه رخ دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهترین راه برای شناخت ویژگی‌های جنبش نیرومند زمین، بدست آوردن نمودار حرکت زمین از جمله شتاب نیرومند زمین در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ می‌باشد.(مالکی، ۱۳۸۳)

عامل‌های فراوانی از جمله شرایط خاک محل، بزرگی و مدت دوام زلزله، فاصله تا محل وقوع و ویژگی‌های چشمه زلزله همگی بر طیف پاسخ زلزله اثر می‌گذارند. چون همه موارد فوق در زلزله‌ها و شرایط ساختگاه مختلف، متفاوت است، نمی‌توان به طیف پاسخ یک زلزله تنها بعنوان مبنای کار طراحی سازه اکتفا کرد زیرا اولا رکوردهای انتخابی نمی توانند بیانگر رفتار و نحوه عملکرد زلزله هایی باشند که در آینده ممکن است به وقوع بپیوندند، ثانیا تغییرات شدید طیف پاسخ به خصوص در محدوده پریودهای کم در زلزله های مختلف، امکان انتخاب مقدار مشخصی برای

پاسخ سازه را از طراح، سلب می کند و با تغییرات اندک پریود ممکن است پاسخ سازه به میزان قابل ملاحظه ای دستخوش تغییرات شود. منطقی به نظر می‌رسد برای هدف‌های طراحی از میانگین طیف‌های پاسخ زلزله‌های مختلف استفاده کرد، که البته که شکلی هموار دارد، منطقی به نظر می رسد.

بطور کلی طیف باید نماینده تعدادی از زلزله‌های رخ داده در گذشته در منطقه مورد کاربرد باشد. برای در نظر گرفتن شرایط ساختگاه لازم است طیف طرح از شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌هایی با شرایط خاک مشابه با شرایط خاک محل احداث سازه بدست آمده باشد. (تابش‌پور و ابراهیمیان، ۱۳۸۸)

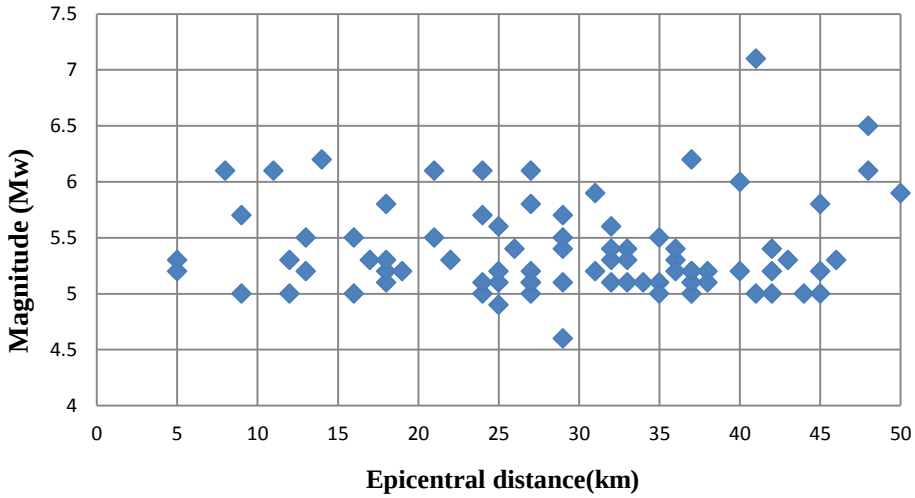
در این مقاله به اصلاح و بررسی شتابنگاشت‌های زلزله‌های ایران برای خاک نوع II، بررسی شیوه‌های تعیین طیف بازتاب زلزله، تعیین طیف طراحی الاستیک برای خاک نوع II و مقایسه‌ی آن با طیف طراحی آئین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم، پرداخته شده است.

انتخاب ایستگاه‌های شتابنگاری و شتابنگاشت‌ها

از بانک اطلاعاتی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ایستگاه‌هایی که سرعت موج برشی آن‌ها بیانگر خاک نوع II می‌باشد(بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه)، انتخاب شدند. مجموعه‌ی جمع‌آوری شده شامل زلزله‌های رکورد شده تا پایان سال ۲۰۱۲ و همگی دارای مشخصه‌ی بزرگای M_w >۴.۵ می‌باشند. جهت حصول دقت بیشتر در تهیه‌ی طیف طراحی از بین زلزله‌هایی که تا این مرحله انتخاب شده بودند، آن دسته از رکوردها که فاصله‌ی محل وقوع زلزله تا محل ثبت آن‌ها کمتر از ۵۰ کیلومتر بود گزینش شدند. علت این گزینش آن است که با فاصله گرفتن از مرکز زلزله، امواج لرزه با عبور از لایه‌های مختلف خاک در مسیر حرکت، دست خوش تغییر در محتوای فرکانسی شده، که دیگر نماینده خوبی برای نوع زمین محل ثبت نمی‌باشند.(Ambraseys and Douglas, 2003) در پایان این مرحله تعداد ۱۲۵ رکورد باقی ماند که با احتساب ۲ مؤلفه‌ی افقی برای هر رکورد، ۲۵۰ مؤلفه‌ی افقی زلزله حاصل گردید. از بین این تعداد مؤلفه، در نهایت با حذف مؤلفه‌های ناقص و یا با خطاهای زیاد که عمدتاً مربوط به رکوردهای قدیمی حاصل از دستگاه‌های SMA-1 می‌باشند، تعداد ۱۶۴ مؤلفه‌ی رکورد باقی ماند. توزیع بزرگای زمین‌لرزه نسبت به فاصله رومرکز مربوط به داده‌های گزینش شده به صورت شکل(۱) می‌باشد.

تصحیح و پردازش داده‌های شتابنگاری

داده‌های خام حاصل از دستگاه‌های ثبت حرکات زمین ممکن است دارای خطاهایی باشند که بایستی منابع ایجاد خطا و میزان آن با دقت ارزیابی شده و تصحیحات لازم بر روی آنها صورت گیرد تا داده‌های تصحیح‌شده حاصل را بتوان در تحلیل سازه‌ها به کار برد. خطاهای وارد شده در شتابنگاشت‌ها، به طور کلی به دو دسته خطاهای ناشی از عملکرد دستگاه ثبت و خطاهای ناشی از ظهور و عددی کردن رکوردها تقسیم می‌شود(Converse, 1992) که هر دسته خطا به دلایل مختلفی اتفاق می‌افتد.



شکل ۱: توزیع بزرگای زمین لرزه نسبت به فاصله رومرکز مربوط به داده های گزینش شده

تصحیح داده‌های اولیه به دو دسته تقسیم می‌شود:

دسته اول شامل تصحیح خط مبناست که همان رفع انحرافات از مقدار واقعی در پریودهای بلند است و در نگاشت سرعت، و با شدت بیشتر در نگاشت‌های جابجایی نمود پیدا می‌کند.

دسته دوم شامل تصحیح محتوای فرکانسی داده‌هاست به این صورت که ابتدا بازه فرکانس‌های نویزهای موجود در داده‌ها که ناشی از عوامل مختلف است شناسایی شده سپس حذف می‌شوند، به این فرایند فیلتر کردن گفته می‌شود.(موسوی بفروئی، ۱۳۸۶)

آشنایی با فیلتر به عنوان مهمترین ابزار حذف خطای شتابنگاشت‌ها

خطاهای فرکانس بالا و فرکانس پایین در داده‌های شتابنگاشت، با استفاده از تکنیک فیلتر کردن، حذف می‌گردند. تعیین بالاترین فرکانس FH و پایین‌ترین فرکانس FL (بلندترین پریود) در پردازش داده‌های شتابنگاشت از اهمیت بالایی بر خوردار است. این دو مقدار در حقیقت مشخص کننده محدوده‌ی فرکانسی عملیات پردازش می‌باشند. سعی ما بر آن است تا داده‌های حاصل از یک رکورد، در این محدوده‌ی فرکانسی که دارای دقت قابل قبولی می‌باشد، قرار گرفته؛ و داده‌های خارج از این محدوده، که ممکن است خطاهای بزرگی را به همراه داشته باشد، حذف گردند. انتخاب نادرست این دو مقدار باعث حذف امواج فیزیکی واقعی زلزله از شتابنگاشت طی عملیات پردازش می‌شود؛ و یا اینکه خطاهای فرکانس بالا و فرکانس پایین را به طور کامل از شتابنگاشت حذف نمی‌نماید که در هر دو صورت، از ارزش محتوایی شتابنگاشت کاسته شده، و شتابنگاشت حاصل نمایشگر حرکت واقعی زمین نخواهد بود.(Douglas and Boor, 2011) در این مطالعه به منظور انتخاب محدوده مناسب FH از مطالعات قدرتی امیری و همکاران(۱۳۸۳)، استفاده شده است که مقدار آن را برای دستگاه‌های SMA-1، ۲۰ هرتز و برای دستگاه‌های SSA-2، ۳۰ هرتز پیشنهاد شده است. و به منظور تعیین مقدار FL از روش نسبت سیگنال به نویز استفاده شده است. نسبت سیگنال به نویز ۳-۲ برای یافتن فرکانس پایین مناسب ارزیابی شده است. اما در این تحقیق نسبت ۳ برای این منظور در نظر گرفته شده است. روش کار چنین بوده است که با استفاده از یک نرم‌افزار نوشته شده در محیط فرترن، ابتدا FFT[1] سیگنال و پس از آن نویز محاسبه شده و پس از تقسیم بر جذر زمان‌هایشان، بر یکدیگر تقسیم می‌گردند. پس از انجام تصحیحات بر رکوردها با استفاده از برنامه Seismo Signal تصحیح خط مبنا انجام شده و طیف حاصل از هر رکورد استخراج شد.

همپایه کردن طیف‌های پاسخ

میرایی ٪۵ برای تعیین ویژگی‌های جنبش لرزه‌ای و مقایسه‌ی طیف پاسخ زمین‌لرزه‌های مختلف، رایج‌ترین مقدار میرایی است و این میرایی در طراحی سازه‌های مهندسی کاربرد دارد؛ که دلیل اصلی آن وجود شکل‌های طیفی تعمیم یافته برای این میرایی می‌باشد. در طیف بازتاب ارائه شده در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ایران نیز از میرایی ٪۵ استفاده شده است. از این رو در این مقاله برای تهیه‌ی طیف بازتاب رکوردها از میان شتابنگاشت‌های تصحیح شده، از رقم میرایی ٪۵ استفاده شده است.

برای مقایسه‌ی اثر شتابنگاشت‌هایی که از زلزله‌های مختلف به دست آمده‌اند و همچنین برای ترکیب نتایج آن‌ها، لازم است که آن‌ها را نرمال (همپایه) کنیم. رایج‌ترین روش برای همپایه کردن شتابنگاشت‌ها استفاده از شتاب اوج زمین است. در این پژوهش کلیه شتابنگاشت‌ها به 1g مقیاس شده‌اند.

تعیین طیف بازتاب به روش آماری

پس از نرمال کردن داده‌های شتابنگاشت تصحیح شده، در این مرحله با استفاده از روابط آماری که در ذیل به آن‌ها اشاره خواهد شد، طیف بازتاب نهایی به سه شکل ارائه خواهد شد. به طور معمول با این عمل می‌بایست اعوجاج‌ها و شکستگی‌ها حذف، و یک طیف نرم و هموار شده، حاصل گردد. این موضوع در نمودارهای شکل (۲) و (۳) قابل مشاهده است. اشکال طیفی ارائه شده به سه حالت زیر می‌باشد:

۱. طیف بازتاب میانگین که معادل طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۵۰ یا S50 خواهد بود و برابر با میانگین حسابی کل طیف‌های نرمال شده می‌باشد و از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$S_{50} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} s_i = \mu \qquad (۱)$$

[1] Fast Fourier Transform

که در آن، N تعداد طیف شتابنگاشت در مجموعه است؛ si نماینده‌ی مقدار i امین طیف شتابنگاشت به ازای پریود معین می‌باشد. μ نیز بیانگر مقدار طیف میانگین در یک پریود معین می‌باشد.

۲. طیف بازتاب میانگین به اضافه‌ی یک انحراف استاندارد که معادل طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۸۴ یا S84 خواهد بود (رابطه ۳). برای این طیف از تعریف انحراف استاندارد نمونه[2]، σ طبق رابطه (۲)، استفاده شده است؛ که علت آن این است که داده‌های ما نمایانگر نمونه‌ای از کل جامعه‌ی آماری می‌باشد. این تعریف برای اولین بار توسط F. W. Bessel بازنگری و ارائه شد؛ که توانست تخمین جهت-دار[3] انحراف استاندارد جامعه را مورد اصلاح قرار دهد.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(s_i - \mu)^2} \qquad (۲)$$

$$S_{84} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} s_i + \sigma \qquad (۳)$$

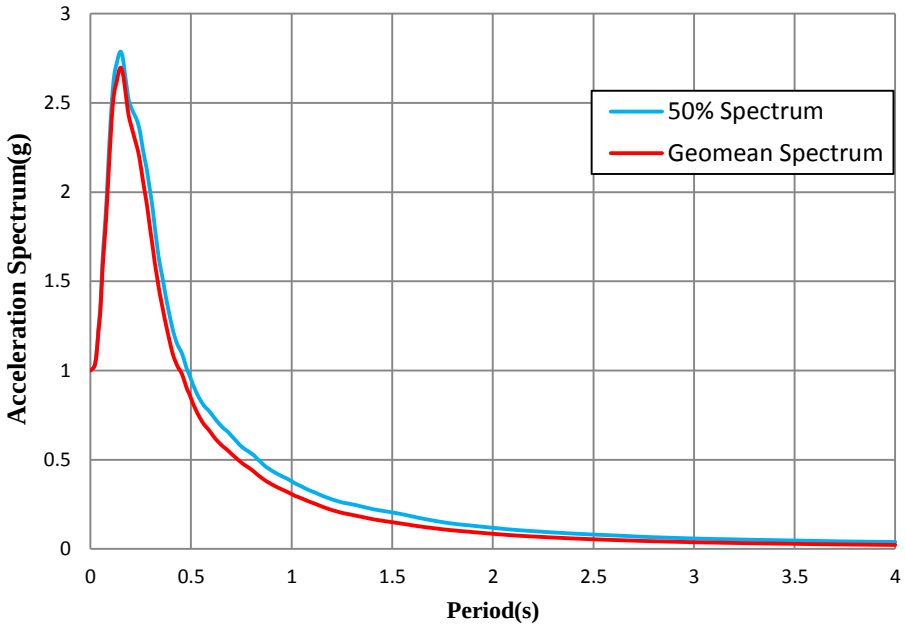
۳. طیف بازتاب میانگین هندسی، SGm که برابر با میانگین هندسی کل طیف‌های نرمال شده می‌باشد. این طیف نیز برای مقایسه با طیف بازتاب میانگین حسابی (تراز ٪۵۰)، ارائه شده است و از رابطه ۴ حاصل می‌گردد.

$$S_{Gm} = \exp\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \ln s_i\right] \qquad (۴)$$

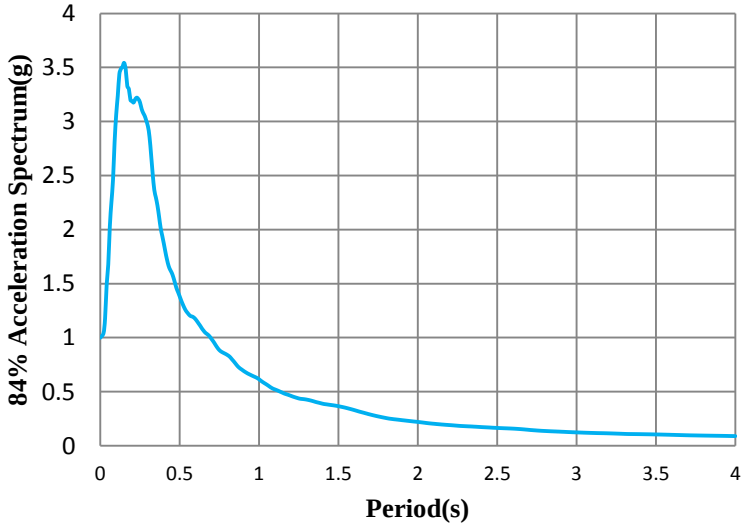
۴. طیف بازتاب میانگین(تراز ٪۵۰) وطیف بازتاب میانگین هندسی در یک نمودار واحد در شکل (۲) و طیف بازتاب فوق میانگین در شکل (۳) نشان داده شده است.

۵. با توجه به شکل (۲) که در آن طیف میانگین حسابی بالاتر از طیف میانگین هندسی قرار گرفته است، طیف بازتاب حاصل از میانگین حسابی، به عنوان طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۵۰ جهت مقاصد مقایسه، توصیه می‌شود. چرا که در جهت اطمینان مقادیر بالاتری به دست می‌دهد.

[2] Sample standard deviation
[3] Biased estimation



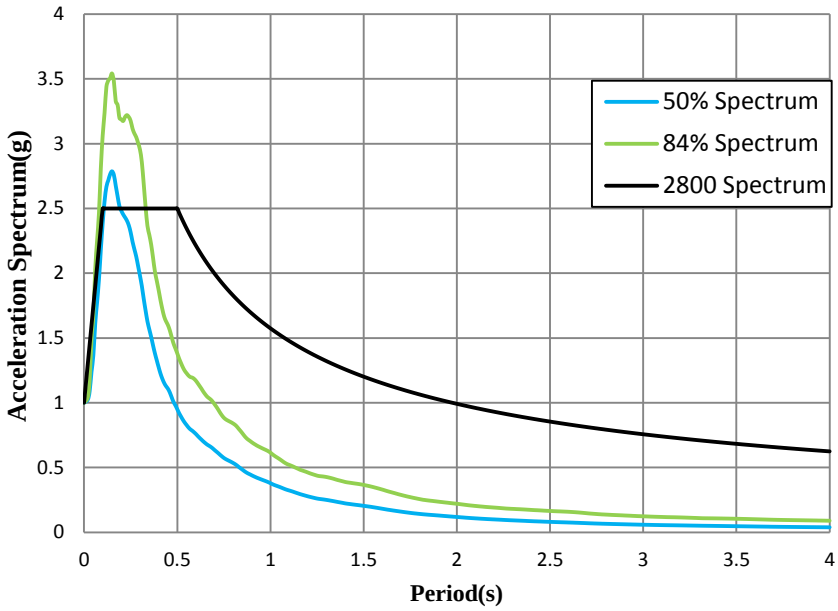
شکل ۲: طیف بازتاب میانگین (تراز اطمینان ٪۵۰) و طیف بازتاب میانگین هندسی



شکل ۳: طیف بازتاب میانگین بعلاوه انحراف معیار(تراز اطمینان ٪۸۴)

مقایسه‌ی طیف بازتاب میانگین و فوق میانگین، با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰

جهت مقایسه طیف بازتاب میانگین و فوق میانگین با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ هر سه طیف در یک نمودار واحد در شکل (۴) نمایش داده شده‌اند. با توجه به شکل (۴) در می‌یابیم که تا پریود ۰/۲ ثانیه، طیف بازتاب آئین‌نامه برآورد مناسبی از طیف بازتاب میانگین می‌باشد؛ اما با افزایش پریود ارتعاشی، اختلاف قابل توجهی بین مقادیر طیف آئین‌نامه و مقادیر طیف میانگین، ظاهر می‌شود. با مقایسه بین طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ با طیف بازتاب فوق میانگین، میزان بالادست بودن طیف بازتاب آیین‌نامه در پریودهای بالا، نمایان‌تر می‌شود.با توجه به بند (۲-۳-۱) آئین-نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم، رابطه‌ی 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 به طور چشم‌گیری افزایش یافته، که این موضوع منجر به تحمیل آسیب‌های اقتصادی زیادی در سطوح ملی می‌گردد که لزوم بازنگری جدی در طیف بازتاب آئین‌نامه-ی ساختمانی ایران را پیام می‌دهد.



شکل ۴: مقایسه طیف بازتاب میانگین و فوق میانگین با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰(ویرایش سوم)

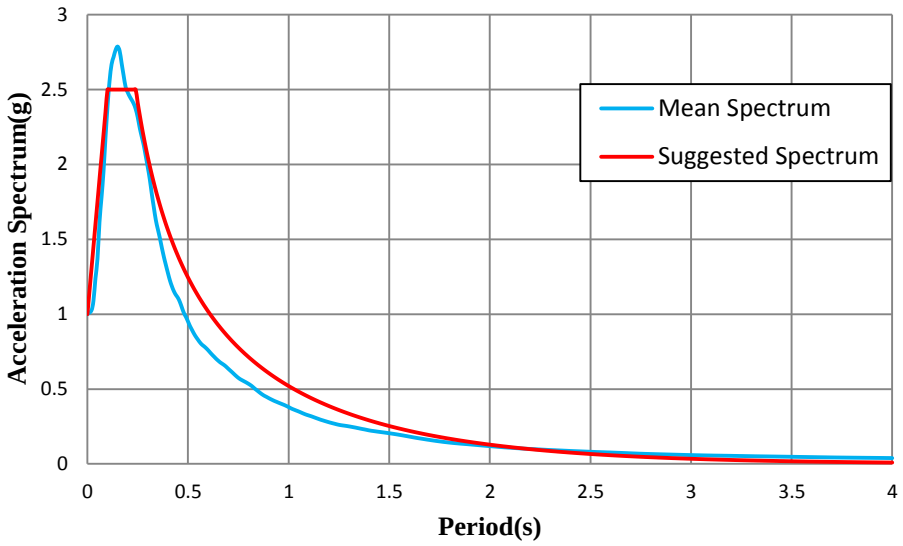
ارائه مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب با تراز ٪۵۰

مدل پیشنهادی برای خاک نوع II با توجه به طیف میانگین(تراز ٪۵۰) برای زلزله‌های ایران به صورت رابطه (۵) است:

$$\begin{cases} B = 1 + S\left(\frac{T}{T_0}\right) & 0 \le T \le T_0 \\ B = S + 1 & T_0 \le T \le T_S \\ B = (S+1)\left(\frac{T_S}{T}\right)^{(0.3T+0.8)} & T \ge T_S \end{cases} \quad , T_0 = 0.1 \, , T_S = 0.24 \, , S = 1.5$$

(۵)

شکل (۵)، طیف حاصل از مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب ٪۵۰ و طیف بازتاب میانگین (تراز ٪۵۰) حاصل از زلزله‌های ایران را در یک نمودار واحد نشان می‌دهد. این شکل تطابق خوبی بین دو طیف مذکور، نشان می‌دهد.



شکل ۵: طیف حاصل از مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب خاک نوع II و مقایسه‌ی آن با طیف بازتاب میانگین (تراز ٪۵۰) حاصل از زلزله‌های ایران

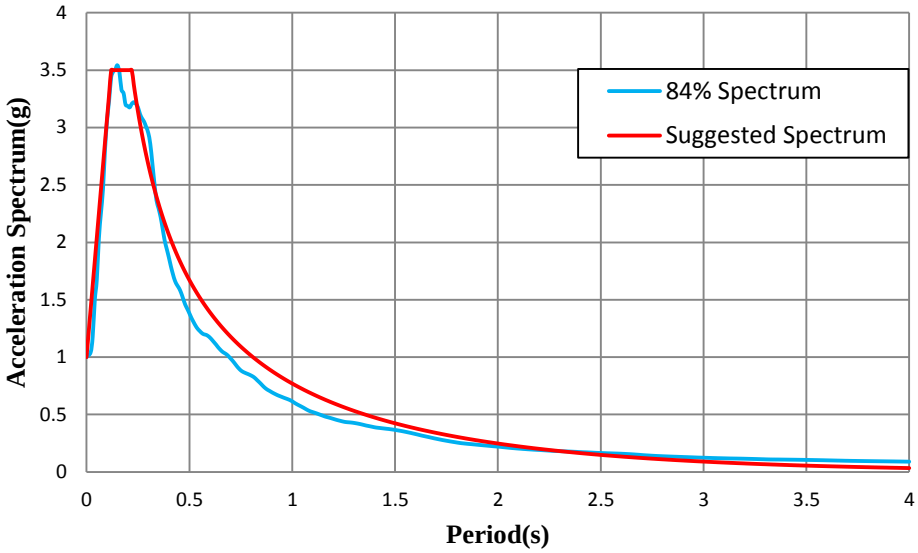
ارائه مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب با تراز ٪۸۴

از آن‌جایی که در طراحی سازه‌های مهمی همچون نیروگاه‌ها و سدها از طیف‌هایی با تراز اطمینان ٪۸۴ استفاده می‌شود، لذا لازم است مدلی هم برای طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۸۴ ارائه گردد. با توجه به طیف بازتاب ٪۸۴ برای زلزله‌های ایران مدل پیشنهادی برای تراز ٪۸۴ مطابق رابطه (۶) می‌باشد:

$$\begin{cases} B = 1 + S\left(\frac{T}{T_0}\right) & 0 \le T \le T_0 \\ B = S + 1 & T_0 \le T \le T_S \\ B = (S+1)\left(\frac{T_S}{T}\right)^{(0.2T+0.8)} & T \ge T_S \end{cases} \quad , T_0 = 0.12 \, , T_S = 0.22 \, , S = 2.5$$

(۶)

در شکل (۶)، طیف حاصل از مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب ٪۸۴ خاک نوع II با طیف بازتاب ٪۸۴ حاصل از زلزله‌های ایران، مقایسه شده است.



شکل ۶: طیف حاصل از مدل پیشنهادی برای طیف بازتاب(تراز ٪۸۴) برای خاک نوع II و مقایسه‌ی آن با طیف بازتاب فوق میانگین (تراز ٪۸۴) حاصل از زلزله‌های ایران

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه تعداد ۲۵۰ مؤلفه‌ی شتابنگاشت خاک نوع II گزینش شده و تصحیح شدند؛ طیف آن‌ها محاسبه شده و پس از به مقیاس در آوردن، با استفاده از روش‌های آماری طیف‌های بازتاب آن‌ها به سه شیوه نمایش داده شدند. مقایسه‌هایی نیز بین طیف‌های حاصل شده، با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ انجام گرفت که نتایج زیر را در بر داشت:

۱. با مقایسه‌ی طیف بازتاب میانگین (تراز ٪۵۰) با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ نتیجه شد که طیف استاندارد ۲۸۰۰ تا پریود ۰/۲ ثانیه انطباق خوبی با طیف میانگین داشته، ولی از این پریود به بعد اختلاف قابل توجهی بین مقادیر طیف آئین‌نامه با مقادیر طیف میانگین ظهور می‌کند؛ که منجر به محاسبه‌ی مقادیر بالادستی نسبت به مقادیر طیف میانگین، می‌شود.

۲. با مقایسه‌ی طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۸۴ با طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ نتیجه شد که تا پریود ۰/۳۲ ثانیه مقادیر طیف بازتاب با تراز اطمینان ٪۸۴ بیشتر از طیف آئین‌نامه بوده، ولی از پریود ۰/۳۲ ثانیه به بعد مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ از طیف با تراز اطمینان ٪۸۴ نیز فراتر رفته که نشان دهنده‌ی آن است که مقادیر آئین‌نامه در پریودهای بالا به میزان زیادی بالادست می‌باشد.

۳. میانگین حسابی نسبت به میانگین هندسی جهت استخراج طیف طراحی مناسب تر بوده و با اطمینان بیشتر همراه می‌باشد.

۴. از آن‌جایی که طیف معرفی شده در آئین نامه هم‌زمان نماینده زلزله‌های نزدیک به منبع و دور از منبع می‌باشد، لازم است پراکندگی پارامتر فاصله رو مرکز جامعه آماری مورد استفاده، حول میانگین، توزیع نرمال داشته باشد.

فهرست مراجع

تابش‌پور م و ابراهیمیان ح (۱۳۸۸) مهندسی زلزله کاربردی در طراحی و بهسازی، فدک ایساتیس، تهران

داده‌های پایه‌ی شتابنگاشت‌های شبکه‌ی شتابنگاری کشور تا سال ۲۰۱۲، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲

قدرتی امیری غ، زاهدی م، مهدویان ع و غلامی س (۱۳۸۳) محدوده فرکانسی مناسب جهت پردازش شتابنگاشت‌های ایران برای انواع شرایط ساختگاهی، *نشریه دانشکده فنی*، جلد ۳۸، شماره ۲، از صفحه ۲۳۱ تا ۲۴۹، تیرماه

مالکی (۱۳۸۳) مبانی پهنه‌بندی لرزه‌ای و روش‌های تحلیل خطر زمین‌لرزه، سمینار آموزشی، مبانی لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل خطر نسبی زمین‌لرزه، ۱۲مرداد

موسوی بفروئی ح (۱۳۸۶) تعیین طیف‌های طراحی افقی و قائم برای خاستگاه‌های سنگی براساس داده‌های ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ژئوفیزیک دانشگاه تهران، شهریور

Ambraseys NN and Douglas J (2003) Near - field horizontal and vertical earthquake ground motions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23 (1), 1 – 18

Converse AM (1992) Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software, Open-File Report 92-196a, U.S

Geological Survey, Department of the Interior, Denver, Colorado

Douglas JM and Boor D (2011) High-frequency filtering of strong-motion records, *Bull Earthquake Eng*, 9:395-409