

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها در ایران (استاندارد ۲۸۰۰) در پی تأمین حاشیه ایمنی مطلوب در عملکرد سازه‌های طراحی شده می‌باشد. ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران با رویکرد تحلیل طیف‌های پاسخ حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها و مقیاس‌سازی نسبت به شتاب پاسخ طیفی در دوره تناوب^۱ صفر ثانیه (PGA)، طیف‌های طراحی برحسب نوع خاک را ارائه نموده است. در ارائه این طیف‌ها، هدف تأمین حاشیه ایمنی بوده است، ولی عملاً تأمین حاشیه ایمنی به صورت کیفی لحاظ شده و به صورت کمی قابل تعیین نمی‌باشد. به منظور بررسی دقت طیف‌های ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰، در یک مطالعه موردی، طیف‌های خطر یکنواخت برای گستره شهر تهران با طیف‌های پیشنهادی در استاندارد ۲۸۰۰ برحسب انواع خاک (I تا IV) مقایسه شده است. بدین منظور، شهر تهران به ۶۳۲ نقطه در یک شبکه ۱ در ۱ کیلومتر تقسیم شده و به کمک تحلیل خطر احتمالاتی، منحنی‌های خطر به همراه مقادیر شتاب طیفی^۲ برای دوره تناوب‌های مختلف و برحسب نوع خاک در هر نقطه محاسبه شده است. سپس میانگین طیف‌های نقاط مختلف با خاک یکسان به عنوان طیف طرح نماینده آن نوع خاک با طیف‌های پیشنهادی در استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شده است. بر اساس نتایج حاصل، شتاب‌های طیفی آیین‌نامه برای خاک‌های نوع I و II به ویژه در دوره تناوب‌های بالاتر از ۰/۵ ثانیه مقادیر بالاتری را نسبت به طیف‌های خطر یکنواخت محاسبه شده با ۱۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال را نشان می‌دهد. علاوه بر این برای خاک‌های نوع III و IV مقادیر شتاب‌های طیفی آیین‌نامه در دوره تناوب‌های زیر ۰/۵ ثانیه تقریباً معادل مقادیر طیف‌های خطر بوده و برای دوره تناوب‌های بالاتر از ۰/۵ ثانیه مجدداً طیف‌های طراحی مقادیر بالاتری را نسبت به طیف‌های خطر یکنواخت ارائه می‌نماید.

واژگان کلیدی: استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل خطر احتمالاتی تهران، طیف خطر یکنواخت، طیف پاسخ طراحی.

مقایسه طیف‌های طراحی آیین‌نامه با طیف‌های خطر یکنواخت در گستره شهر تهران

یاسر حامدینیا

دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،
تهران، ایران

محمد رضا قائم‌مقامیان (نویسنده مسئول)

استاد، پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی
زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، mrgh@iiees.ac.ir

۱- مقدمه

افزایش سطح خطرپذیری در تهران گردد. از طرف دیگر طراحی با طیف‌های دست بالا می‌تواند باعث افزایش هزینه ساخت و اتلاف منابع گردد؛ بنابراین، به‌روزرسانی و تدقیق پارامترهای طراحی در آیین‌نامه‌های ساختمانی خصوصاً طیف‌های طراحی به گونه‌ای که هم حاشیه ایمنی مناسب برای ساختمان‌ها تأمین و هم هزینه ساخت از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه گردد، امری اجتناب‌ناپذیر است. در اکثر

طیف‌های طراحی و رویکردهای توسعه آنها نقش مهمی در طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله ایفا می‌نماید. کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت سیاسی و اقتصادی ایران با واقع شدن در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بسیار بالا، همواره با حجم بالایی از ساخت‌وساز ساختمان‌ها با کاربری‌های مختلف را داراست و هر ساله بر تعداد و تنوع ساختمان‌ها افزوده می‌شود و در صورت عدم رعایت طراحی با حاشیه ایمنی مناسب می‌تواند باعث

یافته‌های موجود برای شهر تهران، تحلیل خطر احتمالاتی برای این شهر به انجام رسیده است. سپس به کمک تحلیل خطر احتمالاتی، طیف خطر یکنواخت بر اساس نوع ساختگاه برای چهار نوع خاک تعریف شده در استاندارد ۲۸۰۰ محاسبه شده است. افزون بر این، این طیف‌ها با نتایج مطالعات انجام یافته در گذشته و طیف‌های طراحی ارائه شده برای خاک‌های مختلف در استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) مقایسه و نتایج مورد تحلیل و بحث قرار گرفته است. در ادامه به منظور بررسی اثر شکل طیفی، پهنه‌بندی مقادیر شتاب پاسخ طیفی در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه در گستره شهر تهران به انجام رسیده است. بر اساس نتایج این تحقیق، برای مناطق جنوب تهران که در مجاورت گسل‌های شمال و جنوب ری و بر پهنه خاک نرم بر اساس پهنه‌بندی خاک شهر تهران گسترده شده، شتاب پاسخ طیفی بیشتر از سایر نقاط بوده و با حرکت به سمت شمال تهران از مقادیر شتاب پاسخ طیفی کاسته شده است. نتیجه مقایسه طیف‌های حاصله از این تحقیق با طیف‌های طراحی آیین‌نامه (طیف شبه‌شتاب پاسخ الاستیک با نسبت میرایی ۵ درصد) نشانگر دست بالا بودن طیف‌های آیین‌نامه می‌باشد. طی تحقیق مشابه، قدرتی و همکاران در طی دو تحقیق مشابه با انجام تحلیل خطر احتمالاتی، طیف‌های خطر یکنواخت را بر روی خاک سنگی ($V_{S30} \geq 750$ متر بر ثانیه)، خاک سفت ($360 \leq V_{S30} \leq 750$ متر بر ثانیه) و خاک نرم ($V_{S30} \leq 360$ متر بر ثانیه) برای مناطقی در شمال و جنوب تهران، محاسبه و با مقادیر متناظر طیف آیین‌نامه (ویرایش سوم) مقایسه نمودند (Ghodrati Amiri et al., 2007, 2011). نتیجه این تحقیق برای مناطق جنوب تهران، به دلیل نزدیکی به گسل‌های شمال و جنوب ری و با توجه به پهنه‌بندی خاک (خاک نرم) شتاب پاسخ طیفی بیشتر از سایر نقاط بوده و با حرکت به سمت شمال از مقادیر شتاب پاسخ طیفی کاسته شد. نتیجه این مقایسه مقادیر نسبی کمتر نتایج این تحقیق نسبت به مقادیر متناظر طیف طراحی ویرایش سوم آیین‌نامه را مشخص نمود. در تحقیقی مشابه که توسط تهرانی‌زاده و همکاران (Tehranizade & Seirafianpour, 2010) به محاسبه شتاب پاسخ خطر یکنواخت با ملاحظه اثرات حوزه

آیین‌نامه‌های ساختمانی، طیف خطر یکنواخت^۴ که به کمک تحلیل خطر احتمالاتی زلزله تعیین می‌شود، اساس برآورد طیف طراحی را تشکیل می‌دهد (Loh, et al., 1994). بر این مبنا طیف طرح بر مبنای خطر یکنواخت روشی مؤثر برای دستیابی به سطح ایمنی مطلوب به صورت یکنواخت در عملکرد سازه‌ها با زمان‌های تناوب مختلف و در نتیجه آن کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها می‌باشد. طیف‌های خطر یکنواخت برخلاف طیف‌های مقیاس شده (طیف آیین‌نامه) که با استفاده از پارامتر بیشینه شتاب زمین (مقدار طیف در دوره تناوب صفر) مقیاس می‌شوند، در هر نقطه دارای مقادیری منحصر به فرد است. از علل اصلی گرایش آیین‌نامه‌های معتبر دنیا به استفاده از طیف‌های طراحی بر مبنای خطر یکنواخت، امکان یکسان‌سازی سطح خطر اعمالی به سازه‌ها با استفاده از این طیف‌ها می‌باشد (McGuire, 1977). از طرف دیگر در طیف‌های مقیاس شده (مانند آیین‌نامه) که به مقدار شتاب حداکثر زمین (PGA) مقیاس می‌شود، فرض بر این است که احتمال وقوع این پارامتر برای سایر دوره تناوب‌ها نیز حاکم باشد، در حالی که این فرض با توجه به اینکه پارامتر PGA اساساً یک پارامتر با دوره تناوب کوتاه می‌باشد، نادرست بوده و احتمال وقوع مقادیر شتاب پاسخ طیفی در دوره تناوب‌های متوسط و بلند از احتمال وقوع PGA فاصله خواهند گرفت (Shapira & Van Eck, 1993). طیف‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در بسیاری از آیین‌نامه‌های اخیر بر مبنای خطر لرزه‌ای یکسان تهیه شده‌اند (احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال). در این میان مبنای تعیین طیف‌های طراحی مطرح در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و بیشینه آن به درستی مشخص نیست (در این نوشتار از این پس به جای عبارت آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران به اختصار از عبارت آیین‌نامه استفاده خواهد شد). به طور مثال مشخص نیست چه مدل لرزه‌ای و با استفاده از کدامین پارامترهای لرزه‌خیزی در تدوین این طیف‌ها به کار گرفته شده است. لذا در این تحقیق، ابتدا مدل لرزه‌خیزی به روز در گستره ۲۰۰ کیلومتری شهر تهران تهیه و با تدقیق پارامترهای لرزه‌خیزی بر اساس جدیدترین

تأسیسات نفتی شکل گرفته است. متأسفانه، مستندات کافی در مورد مطالعاتی که منجر به تهیه نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای شده است در دسترس نیست. با این وجود، باور بر این است که عوامل تأثیرگذار در تهیه این نقشه، کاتالوگ زلزله‌های دستگاهی و تاریخی، ویژگی‌های چشمه‌های لرزه‌ای، نرخ وقوع بزرگ‌گام‌های مختلف مربوط به هر چشمه و نیز انتخاب روابط کاهندگی مناسب می‌باشد. در سه ویرایش اخیر این آیین‌نامه، پهنه‌بندی لرزه‌ای شتاب مبنای طراحی در نقاط مختلف کشور بر اساس چهار سطح خطر لرزه‌ای خیلی زیاد ($A = 0.35 g$)، زیاد ($A = 0.30 g$)، متوسط ($A = 0.25 g$) و کم ($A = 0.205 g$) تعریف شده است. طیف طرح آیین‌نامه جهت انجام تحلیل استاتیکی معادل و نیز تحلیلی دینامیکی در ویرایش‌های مختلف از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$S_a = A.B \quad (1)$$

که در آن A ، شتاب مبنای طراحی بوده و B ضریب بازتاب ساختمان بوده که در ویرایش چهارم آیین‌نامه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$B = B_1.N \quad (2)$$

در این رابطه B_1 و N به ترتیب ضریب شکل و ضریب اصلاح طیف هستند که مطابق روابط زیر به دست می‌آیند.

$$\begin{cases} B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1) \left(\frac{T}{T_0} \right) & 0 < T < T_0 \\ B_1 = S + 1 & T_0 \leq T \leq T_s \\ B_1 = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right) & T_s < T \end{cases} \quad (3)$$

در این روابط: T : زمان تناوب اصلی ساختمان به ثانیه است. S, S_0, T_s, T_0 : پارامترهایی هستند که به نوع خاک و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند.

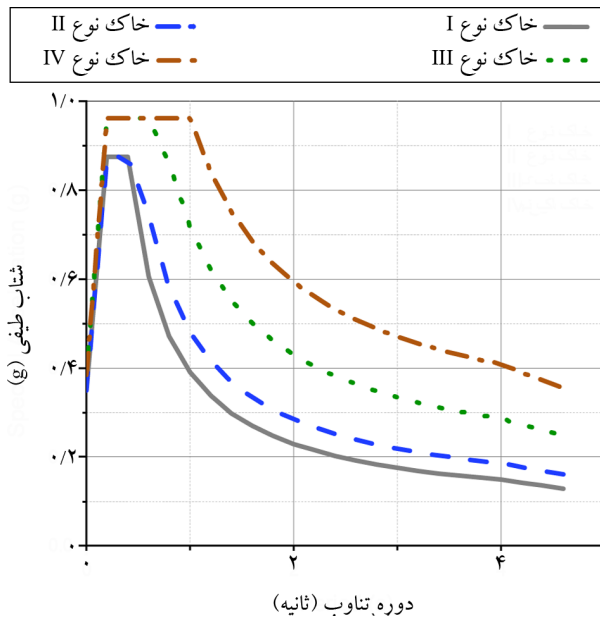
ضریب اصلاح طیف، N ، برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{cases} N = 1 & T < T_s \\ N = \frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 & T_s \leq T \leq 4 \text{ sec} \\ N = 1.7 & T > 4 \text{ sec} \end{cases} \quad (4)$$

نزدیک برای شهر تهران پرداختند و سپس طیف طرح دو پارامتری (بر مبنای روش پیشنهادی آیین‌نامه 2000 IBC) را محاسبه نمودند. نتیجه این تحقیق نشان‌دهنده مقادیر بیشتر شتاب طیفی خطر یکنواخت در دوره‌های تناوب زیر ۰/۵ ثانیه و مقادیر کمتر آن در دوره‌های تناوب بالای ۰/۵ ثانیه نسبت به مقادیر شتاب پاسخ طیفی متناظر آیین‌نامه می‌باشد. عدم لحاظ کردن اثر هر چهار نوع و عدم پوشش کامل گستره شهر تهران در تحقیقات پیشین دلیل انجام تحقیق حاضر بوده تا با استفاده از نتایج آن بتوان ارزیابی کامل‌تری از طیف پیشنهادی آیین‌نامه به دست آورد.

۲- مروری بر طیف‌های طرح آیین‌نامه و طبقه‌بندی خاک در ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه

ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه با هدف تعیین حداقل ضوابط و مقررات جهت طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر اثرات ناشی از زلزله و با کسب تجربیات جدید از زلزله‌های اخیر تهیه و به‌روزرسانی شده‌اند. در این راستا، ویرایش اول آیین‌نامه طرح ساختمان‌های در برابر زلزله (BHRC, 1987) توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با تشکیل کمیته‌ای از اساتید دانشگاه‌ها و صاحب‌نظران در سال ۱۳۶۶ تحت عنوان استاندارد ۲۸۰۰ تهیه و لازم‌الاجرا شد. این آیین‌نامه تقریباً هر شش سال یک‌بار بازبینی و ویرایش جدید آن تهیه و ملاک عمل قرار گرفته است. ویرایش‌های متعدد این آیین‌نامه شامل ویرایش اول (۱۳۷۷-۱۳۶۶)، ویرایش دوم (۱۳۸۳-۱۳۷۸) (BHRC, 1999) و ویرایش سوم (۱۳۹۳-۱۳۸۴) (BHRC, 2005) و ویرایش چهارم (۱۳۹۴ تاکنون) (BHRC, 2014) می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای در کل پهنه ایران که از همان ویرایش اول گنجانده شده، بیشینه شتاب مبنای طراحی که پارامتری مهم در تهیه طیف طرح می‌باشد را ارائه نموده است. طیف طراحی برای چهار نوع خاک با استفاده از پارامترهای نوع خاک و نیز شتاب مبنای طراحی برای هر نقطه‌ای تولید شده و در فرآیند طراحی به کار برده می‌شود. نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای بر اساس مطالعات متعدد در زمینه تحلیل خطر موردی ویژه ساختگاه برای سازه‌های مهم نظیر سدها، نیروگاه‌ها و

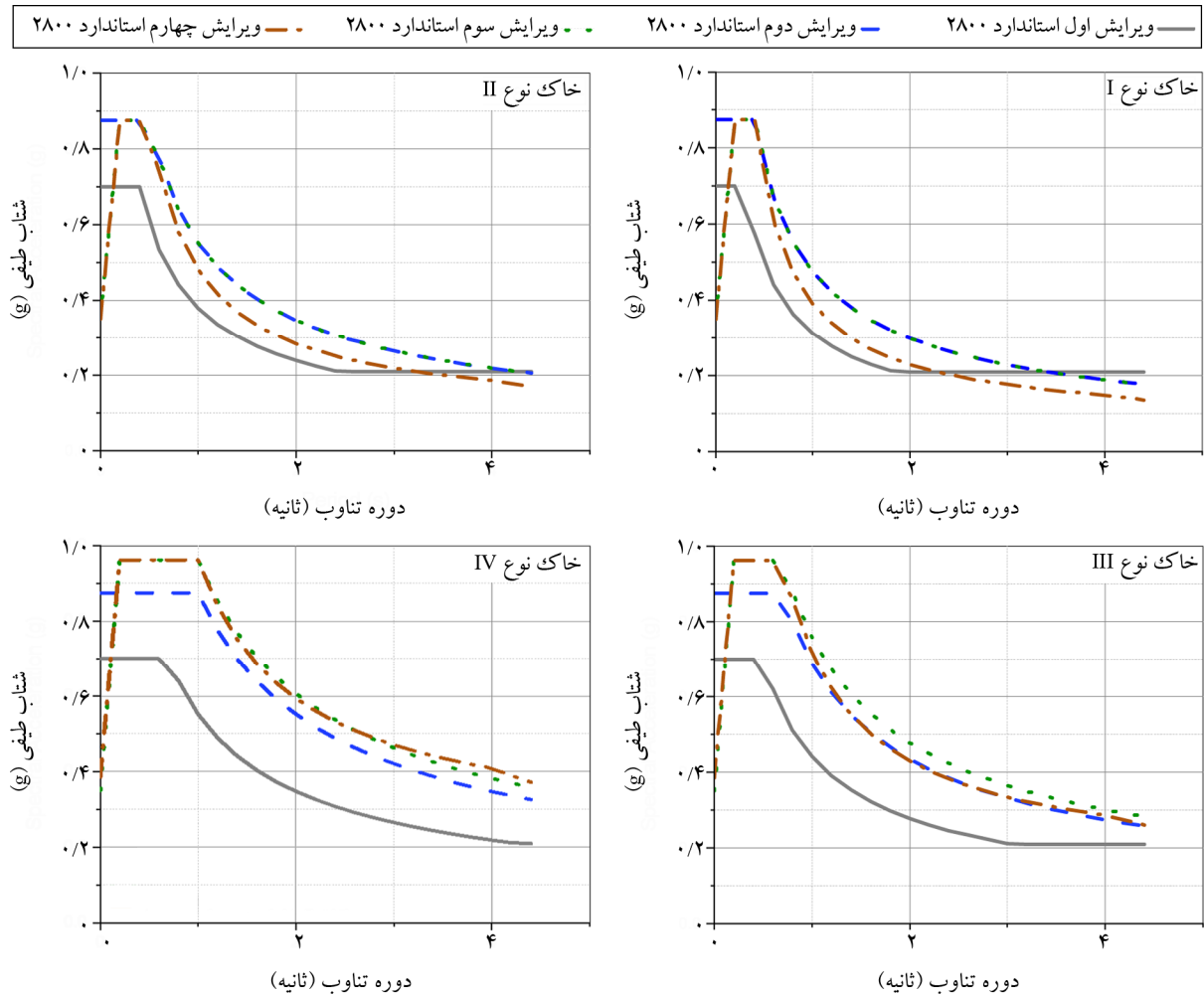


شکل (۱): طیف طرح برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد برای چهار نوع خاک مطرح در آیین‌نامه (ویرایش چهارم).

در ویرایش چهارم آیین‌نامه با تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر زلزله انتظار می‌رود که ساختمان‌های با اهمیت متوسط در اثر زلزله طرح (زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله)، آسیب عمده سازه‌ای و غیرسازه‌ای نبیند و تلفات جانی در آنها حداقل باشد.

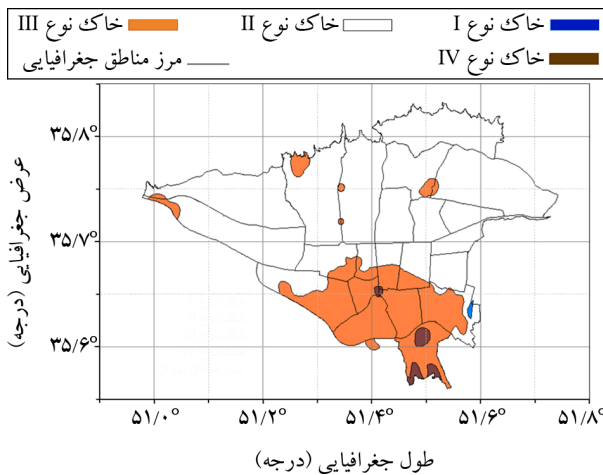
طیف طرح در این ویرایش، برای چهار نوع خاک شامل سنگ (نوع I)، خاک سفت و سنگ سست (نوع II)، خاک متوسط (نوع III) و خاک نرم (نوع IV) در پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد مانند شهر تهران در شکل (۱) نشان داده شده است.

همچنین در شکل (۲) مقایسه طیف‌های طرح در همان پهنه برای خاک‌های مختلف و در چهار ویرایش مختلف آیین‌نامه نشان داده شده است.



شکل (۲): مقایسه طیف طرح برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد برای هر کدام از چهار نوع خاک مطرح در ویرایش مختلف آیین‌نامه.

۳- طبقه‌بندی خاک



شکل (۳): پهنه‌بندی نوع ساختمان در شهر تهران (Abbasnejad et al., 2023).

طیف استاندارد ۲۸۰۰، ابتدا لازم است تحلیل خطر احتمالاتی^۵ در منطقه مورد مطالعه انجام شود. بدین منظور لازم است که وضعیت تکتونیکی و چشمه‌های لرزه‌ای موجود در گستره مورد مطالعه شناسایی شوند. همچنین لازم است از روابط کاهندگی مناسب جهت حصول نتایج قابل قبول استفاده نمود. اساس برآورد خطر لرزه‌ای رابطه (۵) است که احتمال فراگذشت پارامترهای حرکات توانمند زمین Y همچون شتاب پاسخ طیفی و بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان را از یک مقدار مشخص y بیان می‌نماید.

$$P[Y > y] = \iint P[Y > y|m, r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (5)$$

که در آن $P[Y > y|m, r]$ بیانگر رابطه کاهندگی بوده و $f_M(m)$ و $f_R(r)$ به ترتیب توابع چگالی احتمال بزرگا و فاصله بوده که باید برای هر چشمه لرزه‌زا با توجه به مشخصات آن چشمه و فاصله آن تا ساختمان مورد نظر محاسبه شوند. رابطه کاهندگی طیفی که شکل کلی $Y = f(M, R, C_i)$ ، رابطه‌ای است که ارتباط پارامترهای حرکات توانمند زمین (Y) را با پارامترهای مختلفی از قبیل بزرگای زلزله (M)، فاصله از گسل (R) و نیز سایر پارامترهای مورد نظر همچون شرایط ساختمانی، مکانیسم گسلش، اثر حوزه نزدیک (C_i) و غیره بیان می‌نماید. با فرض تعداد N چشمه لرزه‌زا با نرخ فعالیت لرزه‌ای سالانه v_i ، احتمال وقوع کلی فراگذشت پارامتر حرکت زمین Y از مقدار y برابر خواهد بود با:

ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ اقدام به توصیف انواع خاک‌ها بر اساس مواد تشکیل دهنده ساختگاه و طبقه‌بندی آنها بر اساس برخی پارامترهای ژئوتکنیکی نموده است. طبقه‌بندی نوع خاک در استاندارد ۲۸۰۰، بر اساس متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر بالایی سطح زمین (V_{S30}) می‌باشد و در صورت عدم دسترسی به آن می‌توان از مقادیر تعداد ضربات نفوذ استاندارد ($N_{I(10)}$) در خاک‌های دانه‌ای و مقاومت برشی زهکشی نشده در خاک‌های چسبنده (C_u) نیز استفاده نمود (BHRC, 2014). در تحقیق اخیر که توسط حامدینیا و قائم‌امیان (Hamednia & Ghayamghamian, 2011, 2022) در گستره شهر تهران برای طبقه‌بندی خاک با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده (تعداد ۵۶ شتاب‌نگاشت در ۳۸ ایستگاه) حاصل از سه زلزله مهم اخیر (چنگوره آوج ۱۳۸۱، فیروزآباد کجور ۱۳۸۳ و کهک قم ۱۳۸۶) انجام شده است، محققین با استفاده از ترکیب نتایج حاصل از روش‌های نسبت طیفی مؤلفه‌های افقی به قائم و روش نسبت طیفی ساختمان به ایستگاه مرجع، اقدام به طبقه‌بندی خاک در گستره مورد مطالعه نموده‌اند. در مطالعه‌ای اخیر، عباس‌نژادفرد و همکاران (Abbasnejad et al., 2023) با به‌کارگیری روش‌های آماری پیشرفته و با استفاده از داده‌های موجود V_{S30} ، اقدام به ارائه نقشه توزیع V_{S30} در کل سطح شهر تهران کردند. نقشه پهنه‌بندی خاک تهران با بهره‌گیری از نتایج تحقیق عباس‌نژادفرد و همکاران و مقادیر حدی ارائه شده V_{S30} ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک‌های مختلف مطابق شکل (۳) می‌باشد. در تحقیق حاضر نیز از ترکیب نتایج دو تحقیق فوق، (Abbasnejad et al., 2023) و (Hamednia & Ghayamghamian, 2022) و برای مشخص نمودن نوع خاک هر نقطه در گستره شبکه مورد مطالعه استفاده شده است.

۴- تحلیل خطر

برای محاسبه طیف خطر یکنواخت با هدف مقایسه و ارزیابی

برای برآورد خطر لرزه‌ای، مدل گسل‌های واقع در محدوده شعاع ۲۰۰ کیلومتری بر اساس مطالعات حسامی و همکاران (Hesami et al., 2003) مبنای محاسبه بوده است. جهت تحلیل خطر لرزه‌ای پس از شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای و جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌های زلزله‌های تاریخی (قبل سال ۱۹۰۰ میلادی) و دستگامی (بعد سال ۱۹۰۰ میلادی)، جهت محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه از رابطه بازگشتی گوتنبرگ-ریشر (Wesnousky, 1994) استفاده شده است که خلاصه نتایج حاصل در جدول (۱) به تفکیک هر یک از چشمه‌های لرزه‌زا ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقدار محاسبه شده برای ضریب لرزه‌خیزی (مقدار b) در گستره مورد مطالعه برابر با ۰/۷۹ برآورد گردیده است.

$$\lambda_y = \sum v_i \iint P[Y > y|m, r] f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dm dr \quad (6)$$

پارامتر λ_y احتمال وقوع سالیانه y بوده که با فرض توزیع پواسون برای توزیع زمانی زلزله‌ها، احتمال فراگذشت از مقدار y در T سال با رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$P(T) = 1 - e^{-\lambda T} \quad (7)$$

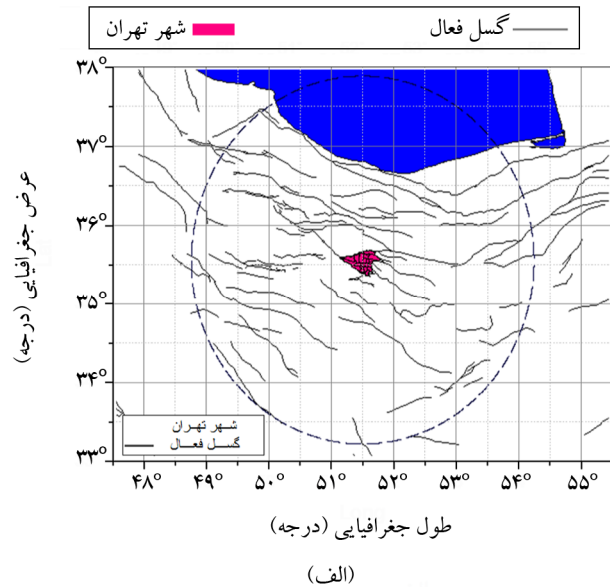
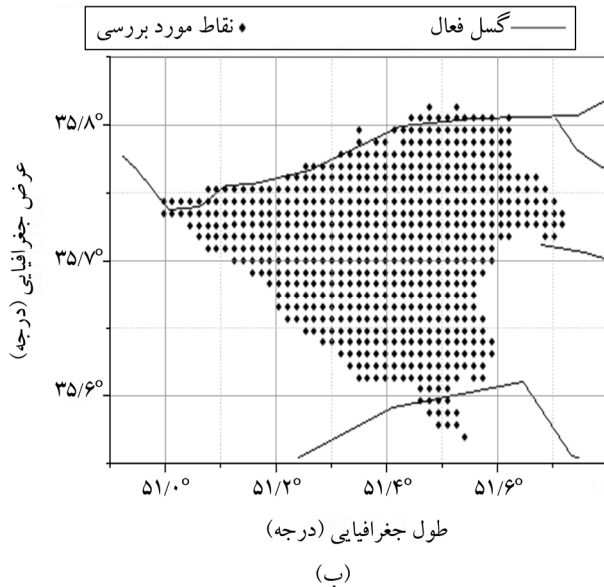
در رابطه فوق P احتمال وقوع زلزله در T سال عمر مفید سازه می‌باشد. در این تحقیق پارامتر حرکتی زمین بر اساس احتمال وقوع ۱۰ و ۲ درصد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله) برآورد خواهد شد. برای انجام تحلیل خطر احتمالاتی در پهنه مورد مطالعه از مدل لرزه‌ای تولید شده توسط زمان و قائمقامیان استفاده شده است (شکل ۴-ب) (Zaman & Ghyamghamian, 2019). در این مدل

جدول (۱): مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی مربوط به گسل‌های گستره مورد مطالعه (Zaman & Ghyamghamian, 2019).

ردیف	نام گسل	I	M-max	M-min	ردیف	نام گسل	I	M-max	M-min
۱	Kashan	۰/۰۴۴	۶/۳۶	۴/۵	۲۶	IRQ357	۰/۰۵۵	۷/۳۹	۴/۵
۲	Tafresh	۰/۰۷۷	۷/۱۳	۴/۵	۲۷	Firuzkuh	۰/۱۳۸	۶/۹۴	۴/۵
۳	IRQ 262	۰/۰۱۷	۶/۶۸	۴/۵	۲۸	Mosha	۰/۱۶۶	۷/۵۲	۴/۵
۴	IRQ 163	۰/۰۷۲	۶/۶۲	۴/۵	۲۹	IRQ 107	۰/۰۱۱	۶/۳۲	۴/۵
۵	IRQ 165	۰/۰۰۵	۶/۸	۴/۵	۳۰	Zanjan	۰/۰۳۹	۶/۴۳	۴/۵
۶	Siah Kuh	۰/۱۷۱	۷/۲۸	۴/۵	۳۱	IRQ 539	۰/۰۰۶	۶/۲۱	۴/۵
۷	Indes	۰/۱۸۲	۷/۰۸	۴/۵	۳۲	Talegan	۰/۰۳۳	۶/۷	۴/۵
۸	Kushke-Nosrtat	۰/۱۱۱	۷/۴۹	۴/۵	۳۳	IRQ 571	۰/۰۳۳	۷/۱۴	۴/۵
۹	IRQ 102	۰/۰۰۶	۶/۳۲	۴/۵	۳۴	Alamrud	۰/۱	۷/۲	۴/۵
۱۰	IRQ 470	۰/۰۹۴	۷/۰۷	۴/۵	۳۵	IRQ 260	۰/۰۱۱	۶/۵۴	۴/۵
۱۱	South Parandak	۰/۰۵۵	۶/۴۶	۴/۵	۳۶	North Gazvin	۰/۰۲۸	۶/۷۳	۴/۵
۱۲	Ipak	۰/۰۳۹	۷/۱۶	۴/۵	۳۷	Kandovan	۰/۰۱۱	۶/۸۹	۴/۵
۱۳	South Parandak2	۰/۰۲۲	۶/۴۷	۴/۵	۳۸	IRQ 570	۰/۰۳۳	۶/۹۸	۴/۵
۱۴	IRQ 476	۰/۰۱۷	۶/۶۱	۴/۵	۳۹	IRQ112	۰/۰۷۷	۷/۴۶	۴/۵
۱۵	Eshtehard	۰/۰۱۱	۶/۷۲	۴/۵	۴۰	North Alborz	۰/۴۳۷	۷/۸۲	۴/۵
۱۶	Robot Karim	۰/۰۶۱	۶/۸۹	۴/۵	۴۱	IRQ341	۰/۰۰۵	۶/۸۹	۴/۵
۱۷	Arad	۰/۰۱۱	۶/۳۶	۴/۵	۴۲	Bonan	۰/۰۲۸	۶/۷۸	۴/۵
۱۸	Garmsar	۰/۱۲۲	۶/۹۷	۴/۵	۴۳	IRQ 485-486	۰/۰۳۹	۶/۵۹	۴/۵
۱۹	Kuh-e-Gachab2	۰/۰۱۱	۶/۶۹۷/۶۳	۴/۵	۴۴	IRQ 344	۰/۰۰۶	۶/۴۶	۴/۵
۲۰	Kuh-e-Gugerd	۰/۰۶۶	۶/۶۳	۴/۵	۴۵	Rudbar	۰/۰۱۷	۶/۰۱	۴/۵
۲۱	Eyvanaki	۰/۰۹۴	۷/۳۵	۴/۵	۴۶	Khazar	۰/۲۹۸	۷/۵۴	۴/۵
۲۲	IRQ 566	۰/۰۳۳	۷/۰۵	۴/۵	۴۷	Kuh-e-Gachab	۰/۰۱۱	۶/۱۹	۴/۵

ادامه جدول (۱).

M-min	M-max	I	نام گسل	ردیف	M-min	M-max	I	نام گسل	ردیف
۴/۵	۶/۶۲	۰/۰۸۳	Area 1	۴۸	۴/۵	۶/۸۳	۰/۰۴۴	North Tehran	۲۳
۴/۵	۶/۸۲	۰/۱۱۱	Area 2	۴۹	۴/۵	۷/۱۸	۰/۰۱۱	IRQ 573	۲۴
					۴/۵	۶/۳۵	۰/۰۴۴	Atari 1	۲۵



شکل (۴): (الف) شهر تهران و گسل‌های اطراف آن به شعاع ۲۰۰ کیلومتر (Hesami et al., 2003) و (ب) تقسیم‌بندی تهران به شبکه نقاط ۱×۱ کیلومتر.

روابطی استفاده نمود که امکان تفکیک این چهار رده با توجه به سرعت موج برشی خاک و یا سایر پارامترهای ژئوتکنیکی فراهم باشد. همچنین طبق توصیه راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله (نشریه شماره ۶۲۶) استفاده از سه گروه روابط کاهندگی جهانی، منطقه‌ای و محلی می‌تواند نتایج منطقی‌تری را تولید نماید. با توجه به توضیحات فوق، شش رابطه کاهندگی انتخاب و مشخصات آنها در جدول (۲) آورده شده است. همچنین، برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های شناختی^۶ از درخت منطقی جهت ترکیب حاصل از روابط کاهندگی استفاده شد (Delavaud et al., 2012).

تحلیل خطر احتمالاتی برای تمام نقاط شبکه با به کارگیری روابط کاهندگی منتخب و ترکیب نتایج در درخت منطقی بر حسب نوع خاک هر نقطه به انجام رسیده است.

در شکل (۵) منحنی‌های خطر محاسبه شده برای شتاب‌های طیفی در دو دوره تناوب ۰/۲ و ۱/۰ ثانیه برای تمامی نقاط بر

محاسبه شتاب پاسخ طیفی به‌عنوان پارامتر مهم حرکات توانمند زمین در گستره شهر تهران واقع در طول‌های جغرافیایی ۵۰/۵۰ تا ۵۱/۸۰ درجه و عرض‌های جغرافیای ۳۵/۵۵ تا ۳۵/۸۵ درجه مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور، گستره مورد مطالعه با شبکه‌هایی به ابعاد ۱×۱ کیلومتر شامل ۶۳۲ نقطه شبکه‌بندی شده است (شکل ۴-الف). سپس بر اساس مطالعات اثرات ساختمانی مطابق توضیحات بخش ۳، نوع خاک در هر شبکه تعیین شده است. بنابراین، تعداد به‌ترتیب ۱۰، ۴۶۵، ۱۵۰ و ۷ نقطه در خاک‌های نوع I تا IV واقع شده است.

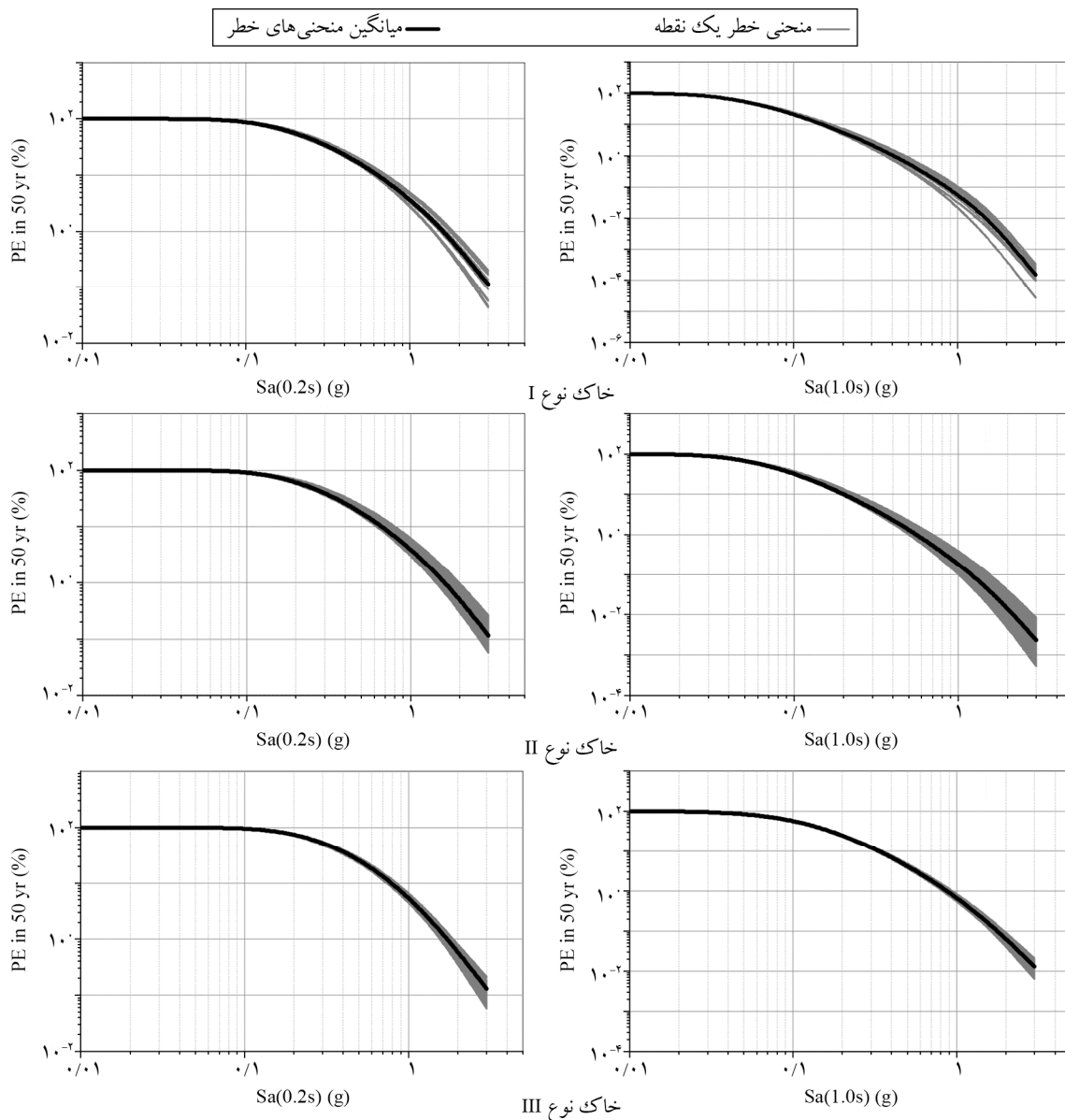
انتخاب روابط کاهندگی طیفی با توجه به نقش مهم این روابط در ارزیابی خطر لرزه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب یک رابطه کاهندگی طیفی مناسب، استفاده از روابط توسعه داده شده برای همان منطقه یا ایالت لرزه‌زمین‌ساختی مربوط به آن منطقه است.

همچنین با توجه به تقسیم‌بندی خاک به چهار رده باید از

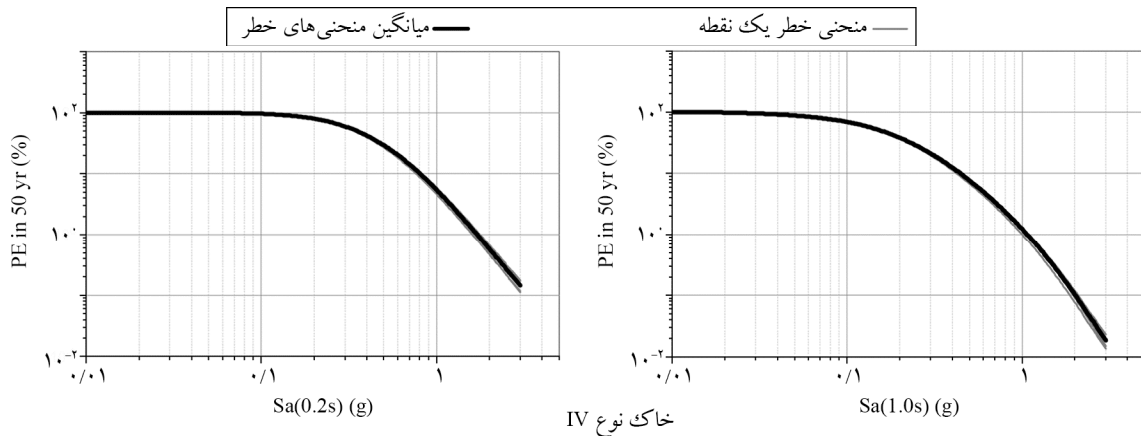
تفکیک نوع خاک به همراه میانگین آنها نشان داده شده است. یکنواخت (Sa_{UH}) با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال در نهایت با استفاده از منحنی‌های خطر مربوطه، طیف خطر تولید شدند.

جدول (۲): روابط کاهش‌دهی مورد استفاده در این تحقیق.

رابطه کاهش‌دهی	m_{min}	m_{max}	R_{min}	R_{max}	R_{type}
Abrahamson et al. (2014)	۳	۸/۵	۰	۳۰۰	R_{RUP}
Campbell and Bozorgnia (2014)	۳	۸/۵	۰	۳۰۰	R_{RUP}
Chiou and Young (2014)	۳/۵	۸	۰	۳۰۰	R_{RUP}
Boore et al. (2014)	۳	۷/۶	۰	۴۰۰	R_{JB}
Zafarani et al. (2017)	۴	۷/۳	۰	۲۰۰	R_{JB}
Kale et al. (2015)	۳	۷/۶	۰	۲۰۰	R_{JB}

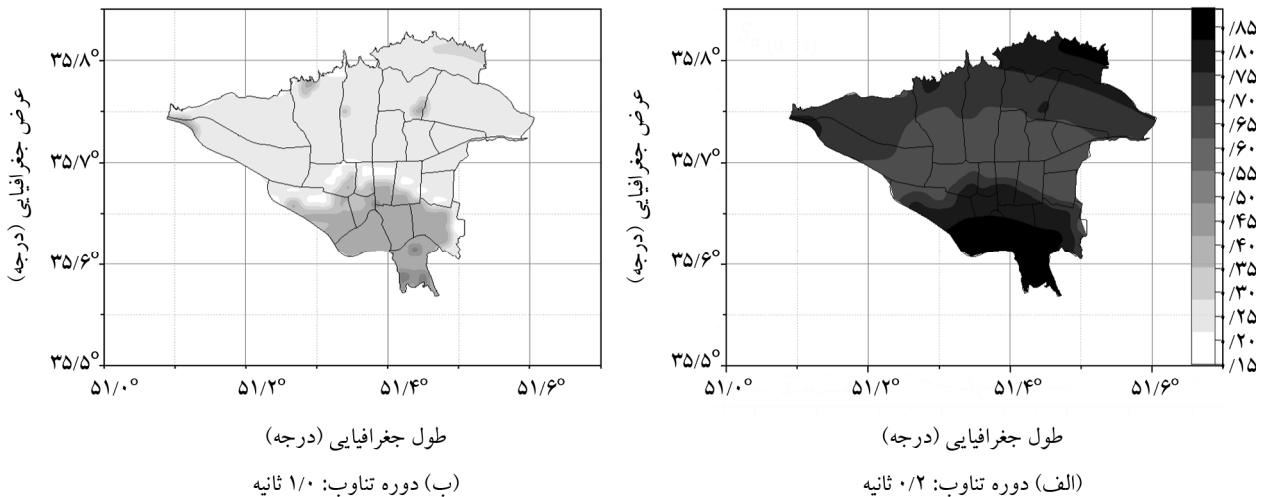


شکل (۵): منحنی‌های خطر نقاط (خاکستری) و میانگین آن‌ها (سیاه) برای چهار نوع خاک برای دوره‌های تناوب ۰/۲ و ۱/۰ ثانیه.



خاک نوع IV

ادامه شکل (۵).



شکل (۶): توزیع شتاب پاسخ طیفی در محدوده مورد مطالعه در دوره تناوب (الف) ۰/۲ ثانیه و (ب) ۱/۱۰ ثانیه.

جدول (۳) آورده شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقادیر شتاب پاسخ طیفی ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ مقادیر بیشتری را نسبت به مقادیر حاصل از طیف خطر یکنواخت خصوصاً برای دوره تناوب‌های بیشتر از ۰/۵ ثانیه ارائه می‌نماید.

جدول (۳): مقادیر شتاب پاسخ طیفی استاندارد ۲۸۰۰ در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱/۱۰ ثانیه.

نوع خاک	Sa(0.2s) (g)		Sa(1.0s) (g)	
	استاندارد ۲۸۰۰	تحقیق حاضر	استاندارد ۲۸۰۰	تحقیق حاضر
I	۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۸۸	۰/۱۸
II	۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۸۸	۰/۲۵
III	۰/۴۲	۰/۷۲	۰/۹۶	۰/۴۲
IV	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۷۱

همچنین، تغییرات مقادیر شتاب پاسخ طیفی برای دو دوره تناوب ۰/۲ و ۱/۱۰ ثانیه در گستره شهر تهران در شکل (۶) نشان داده شده است. توزیع مقادیر شتاب پاسخ طیفی در دوره تناوب ۰/۲ ثانیه نشان می‌دهد که مقادیر شتاب پاسخ طیفی از ۰/۷g در مناطق میانی تهران تا مقدار ۰/۸۸g در جنوب و مقدار ۰/۹۵g در شمال تهران متغیر است. همچنین در دوره تناوب ۱/۱۰ ثانیه مقادیر شتاب پاسخ طیفی از ۰/۲۵g در مناطق میانی تا مقدار ۰/۳۵g در شمال تهران و مقدار ۰/۴۲g در مناطق جنوبی تغییر می‌نماید. افزون بر این، مقادیر شتاب پاسخ طیفی ارائه شده توسط آیین‌نامه (استاندارد ۲۸۰۰) در دوره تناوب‌های کوتاه (۰/۲ s) و بلند (۱/۱۰) با مقادیر متوسط شتاب پاسخ طیفی خطر یکنواخت برای چهار نوع خاک حاصل از نتایج این تحقیق مقایسه شده و در

۵- طیف خطر یکنواخت

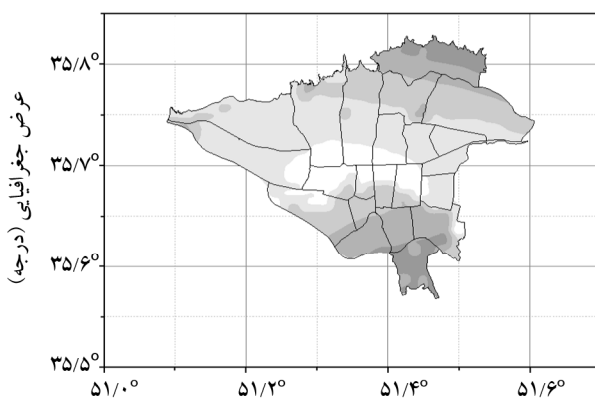
پس از انجام تحلیل خطر احتمالاتی و محاسبه منحنی‌های خطر هر نقطه در گستره شهر تهران، جهت محاسبه طیف خطر یکنواخت مقادیر شتاب پاسخ طیفی متناظر با احتمال وقوع مشخص ۱۰ درصد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ ساله) در تمامی دوره تناوب‌ها به تفکیک نوع خاک محاسبه شده است.

در شکل (۸) طیف‌های خطر یکنواخت برای تمامی نقاط به تفکیک نوع خاک و میانگین آنها نشان داده شده است. طیف‌های خطر یکنواخت میانگین برای هر نوع خاک به‌عنوان طیف خطر یکنواخت نماینده آن نوع خاک در نظر گرفته شده است.

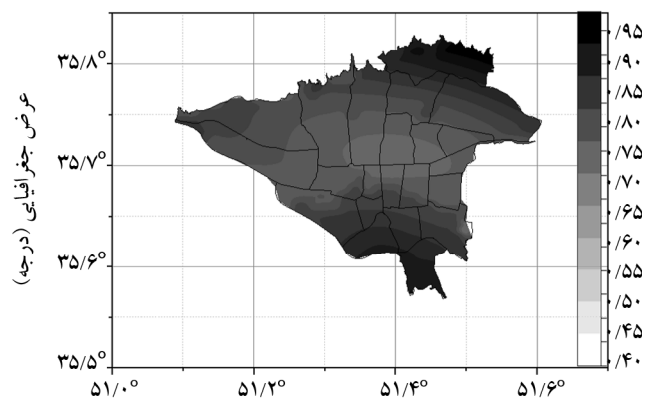
در شکل (۹) طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ با طیف‌های خطر یکنواخت نماینده برای چهار نوع خاک مقایسه شده است. با دقت در این شکل‌ها می‌توان دید که در دوره تناوب بیشتر از ۰/۵ ثانیه شتاب‌های طیفی در استاندارد ۲۸۰۰ مقادیر بالاتری را نسبت به مقادیر طیف‌های خطر یکنواخت برای هر چهار نوع خاک ارائه می‌نماید. این در حالی است که مقادیر شتاب طیفی آیین‌نامه برای خاک‌های نوع III و خصوصاً خاک نوع IV تقریباً با مقادیر طیف خطر یکنواخت مشابه می‌باشد.

همچنین جهت مقایسه توزیع مقادیر شتاب پاسخ طیفی محاسبه شده با مقادیر پیشنهادی آیین‌نامه (در دوره تناوب‌های مختلف، نسبت مقادیر شتاب پاسخ طیفی حاصل از رویکرد خطر یکنواخت به مقادیر شتاب پاسخ طیفی متناظر آیین‌نامه محاسبه $R_{Sa} = S_{aUH} / S_{a2800}$) و در شکل (۷) نشان داده شده است. این توزیع در دوره تناوب ۰/۲ s دارای مقدار بیشینه ۱/۰۴ در قسمت شمالی و مقدار کمینه ۰/۷۵ در مناطق جنوب شرقی و میانی تهران می‌باشد.

همچنین این نسبت در دوره تناوب ۱/۰ ثانیه دارای مقدار بیشینه ۰/۷۳ در شمال و جنوب تهران و مقدار کمینه ۰/۴۵ در جنوب شرقی تهران می‌باشد. با توجه به روند مشاهده شده در توزیع نسبت شتاب پاسخ طیفی در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱/۰ ثانیه می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر شتاب پاسخ طیفی ارائه شده توسط آیین‌نامه در دوره تناوب ۰/۲ ثانیه، در بخشی از مناطق شمالی و غربی شهر تهران به مقادیر شتاب‌های طیفی متناظر خطر یکنواخت نزدیک بوده و در سایر مناطق مقادیر شتاب پاسخ طیفی آیین‌نامه بیشتر از مقادیر شتاب پاسخ طیفی متناظر خطر یکنواخت می‌باشد. همچنین در دوره تناوب ۱/۰ ثانیه مقادیر شتاب پاسخ طیفی آیین‌نامه در تمام مناطق به‌ویژه مناطق میانی تهران بیشتر از مقادیر شتاب‌های طیفی متناظر خطر یکنواخت می‌باشد.

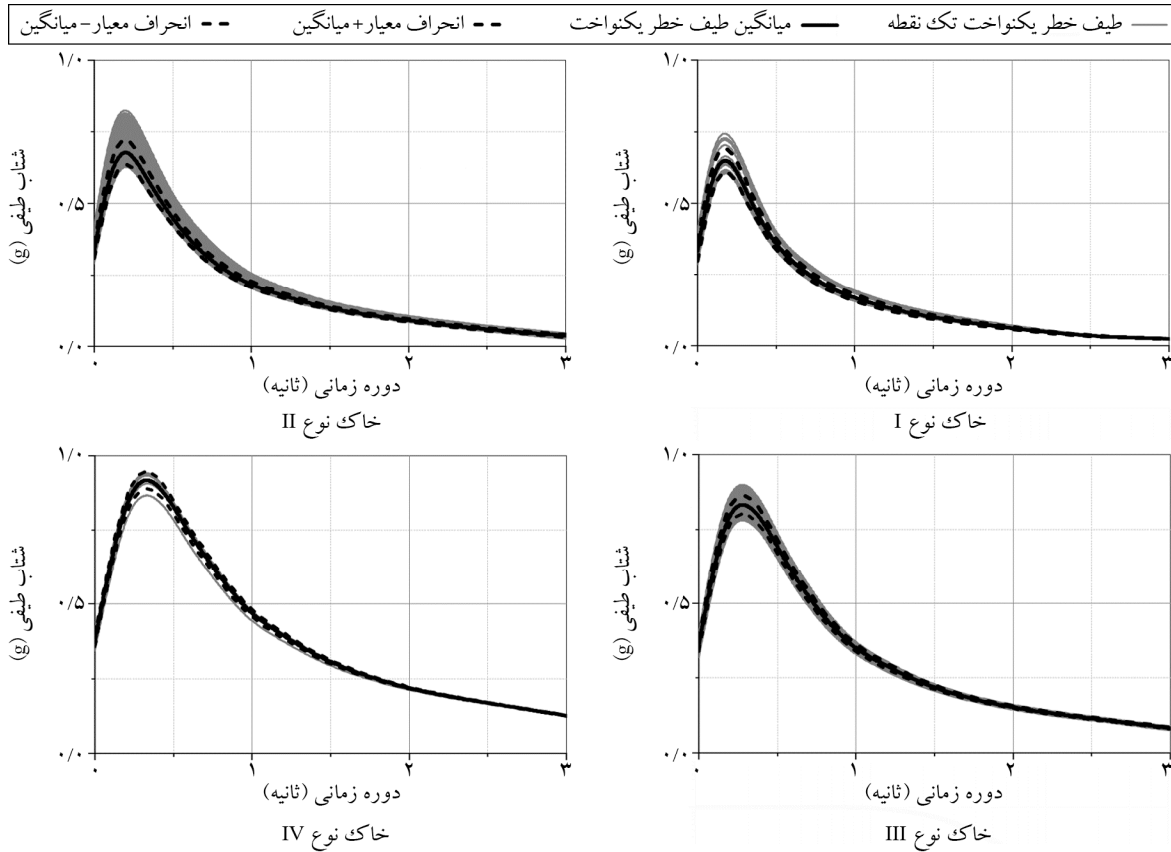


طول جغرافیایی (درجه)
(ب) دوره تناوب: ۱/۰ ثانیه

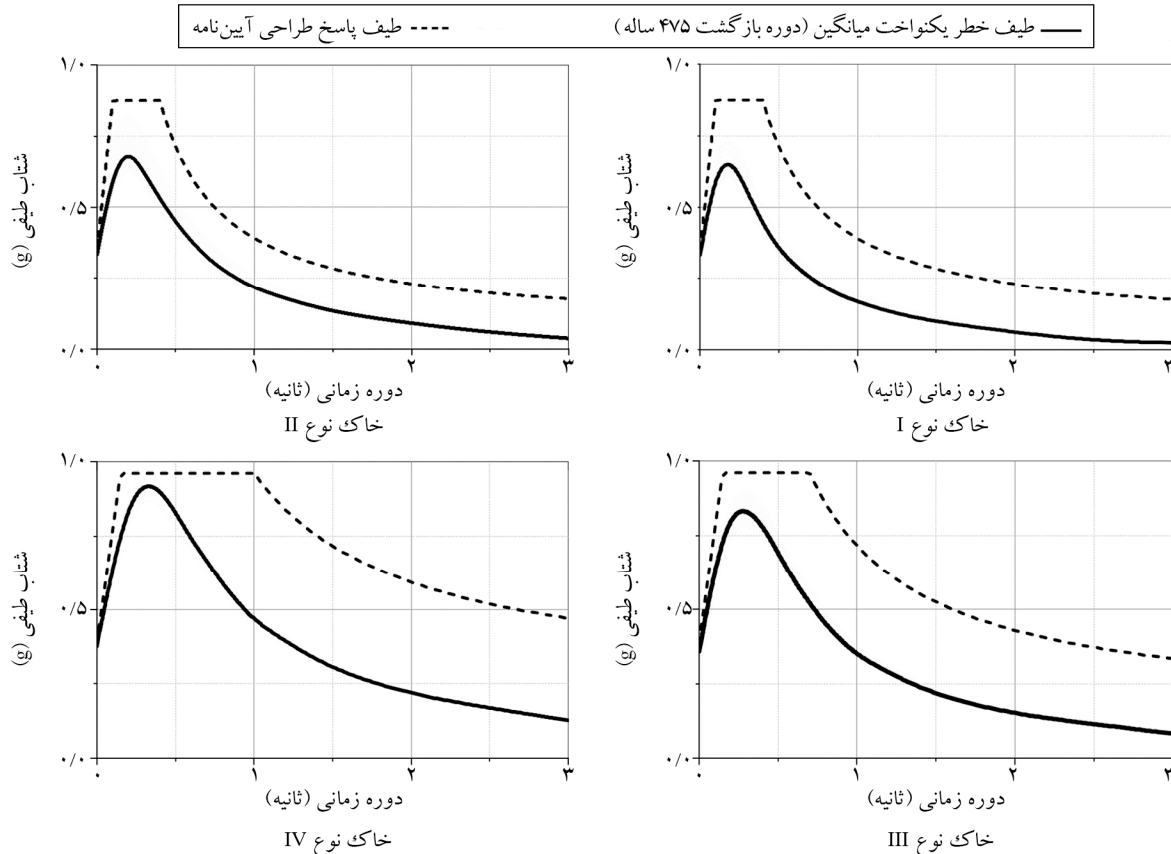


طول جغرافیایی (درجه)
(الف) دوره تناوب: ۰/۲ ثانیه

شکل (۷): توزیع نسبت شتاب پاسخ طیفی خطر یکنواخت به شتاب پاسخ طیفی استاندارد: (الف) در دوره تناوب ۰/۲ و (ب) در دوره تناوب ۱/۰ ثانیه.



شکل (۸): طیف‌های خطر یکنواخت (دوره بازگشت ۴۷۵ ساله) و میانگین آنها برای چهار نوع خاک.



شکل (۹): مقایسه طیف‌های طرح (ویرایش چهارم آیین‌نامه) با طیف‌های خطر یکنواخت نرمال شده برای چهار نوع خاک.

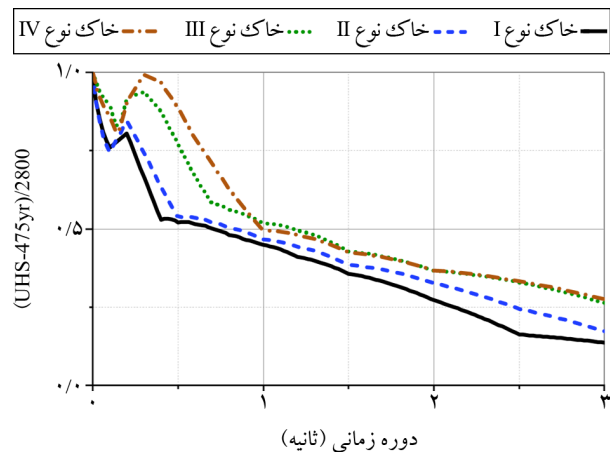
پیشنهادی آیین‌نامه و روند محافظه‌کارانه آیین‌نامه در توسعه طیف‌های طراحی می‌باشد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

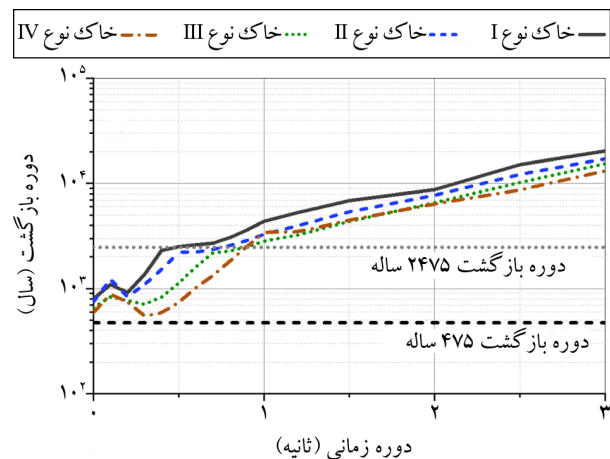
در این مطالعه، تلاش شد تا طیف‌های طراحی آیین‌نامه ایران (استاندارد ۲۸۰۰) بر اساس سنجه متداول خطر یکنواخت برای خاک‌های مختلف به صورت موردی برای شهر تهران ارزیابی گردد. طیف خطر یکنواخت از این جهت که در بسیاری از آیین‌نامه‌های کنونی از جمله آیین‌نامه اروپایی و همچنین در آیین‌نامه‌های قدیم امریکا مورد استفاده بوده است، به عنوان یک سنجه در تعیین آیین‌نامه ایران مورد استفاده قرار گرفته است. گرچه در بازبینی‌های اخیر آیین‌نامه طراحی ساختمان در امریکا، به منظور تأمین حاشیه ایمنی مناسب در عملکرد سازه‌های طراحی شده با استفاده از طیف‌های طراحی بر اساس یک معیار قابل اندازه‌گیری، سنجه‌ی جدیدی خطرپذیری یکنواخت^۷ جایگزین سنجه قدیم خطر یکنواخت^۸ گردیده است. با این وجود طیف خطر یکنواخت هنوز هم در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی معتبر در کشورهای مختلف مورد استفاده می‌باشد.

در این بررسی ابتدا طیف خطر یکنواخت با استفاده از انجام تحلیل خطر احتمالاتی زلزله در یک شبکه ۶۳۲ نقطه‌ای در شهر تهران بر حسب نوع خاک در هر نقطه از شبکه محاسبه و سپس میانگین طیف‌های واقع در هر طبقه خاک محاسبه و به عنوان طیف نماینده آن نوع خاک معرفی شده است (شکل ۸). این طیف‌های نماینده با طیف‌های آیین‌نامه برای خاک‌های مختلف در شکل (۹) مقایسه شده است. همچنین نسبت طیف خطر یکنواخت محاسبه شده به طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای چهار نوع خاک در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، طیف استاندارد ۲۸۰۰ در دوره تناوب‌های پایین به طیف خطر یکنواخت نزدیک و در دوره تناوب‌های بالاتر بودن بزرگتری از آن را نشان می‌دهد که نشانه محافظه‌کارانه بودن طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ در دوره تناوب‌های بالا می‌باشد.

در شکل (۱۱) دوره بازگشت متناظر با مقادیر طیفی ارائه شده



شکل (۱۰): نسبت مقادیر شتاب پاسخ طیفی خطر یکنواخت به مقادیر متناظر شتاب طیفی طرح استاندارد ۲۸۰۰ در چهار نوع خاک.



شکل (۱۱): دوره بازگشت متناظر با مقادیر شتاب پاسخ طیفی استاندارد ۲۸۰۰ برای چهار نوع خاک.

نسبت مقادیر طیف خطر یکنواخت میانگین به مقادیر متناظر طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای هر رده خاک محاسبه و در شکل (۱۰) آورده شده است.

شکل (۱۰) نیز بر مقادیر بالای شتاب طیفی آیین‌نامه برای تمامی انواع خاک در دوره تناوب‌های بالاتر از ۰/۵ ثانیه تأکید می‌نماید. همچنین، مقادیر شتاب پاسخ طیفی خطر یکنواخت برای خاک‌های نوع III و IV در دوره تناوب‌های زیر ۰/۵ ثانیه با مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه نسبتاً هم‌خوان است. این در حالی است که این نسبت برای تمامی خاک‌ها با افزایش دوره تناوب از مقدار ۰/۵ ثانیه به کمتر از ۰/۵ رسیده که نشان‌دهنده اختلاف قابل ملاحظه مقادیر شتاب طیفی خطر یکنواخت با مقادیر

مراجع

- Abbasnejadfar, M., Bastami, M., Jarari, M.K., & Azadi, A. (2023). Spatial correlation models of VS30 values: A case study of the Tehran region, *Engineering Geology*, 325.
- Abrahamson, A., Silva, W.J., & Kamai, R. (2014). *Update of the AS08 Ground-Motion Prediction Equations Based on the NGA-West2 Data Set*. Technical Report 2013/04, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- BHRC (1987). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800 (IS 2800-05))*, 1st Edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.
- BHRC (1999). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800 (IS 2800-05))*, 2nd edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.
- BHRC (2005). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800 (IS 2800-05))*, 3rd edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.
- BHRC (2014). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800 (IS 2800-05))*, 4th edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.
- Boore, D.M., Stewart, J.P., Seyhan, E., & Atkinson, G.M. (2014). NGA-West 2 equations for predicting PGA, PGV, and 5%-damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057-1085.
- Campbell, K.W., & Bozorgnia, Y. (2014). NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5%-damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1087-1115.
- Chiou, B.S.J., & Youngs, R.R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117-1153.
- Delavaud, E., Cotton, F., Akkar, S., Scherbaum, F., Danciu, L., & Beauval, C. (2012). Toward a ground-motion logic tree for probabilistic seismic hazard

در آیین‌نامه ایران برحسب نوع خاک نشان داده شده است. همچنین دو دوره بازگشت‌های ۴۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال به‌صورت خط در این شکل به‌عنوان معیار مقایسه آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، دوره بازگشت مقادیر شتاب طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک‌های نوع I، II و III به‌ترتیب در دوره تناوب‌های کمتر از ۱/۴، ۱/۸ و ۲/۵ ثانیه بین ۴۷۵ تا ۲۴۷۵ سال بوده و در دوره تناوب‌های بزرگ‌تر از مقادیر بالا دارای دوره بازگشت بیشتر از ۲۴۷۵ سال می‌باشد. همچنین خاک نوع IV در تمام بازه دوره تناوب دارای دوره تناوب بین ۴۷۵ تا ۲۴۷۵ سال می‌باشد. این شواهد خود گواهی دیگر بر محافظه‌کارانه بودن مقادیر طیفی آیین‌نامه برای هر چهار نوع خاک خصوصاً برای دوره تناوب‌های بالای ۱ ثانیه است. یکی از دلایل این امر شاید سعی در لحاظ نمودن اثرات خاص همچون اثر حوزه نزدیک گسل باشد که نحوه اعمال آن در آیین‌نامه به جهت پیچیدگی این فرایند بسیار دشوار بوده و در آیین‌نامه طراحی ایران ویرایش ۴ به‌گونه‌ای لحاظ شده است. همچنین باید توجه نمود که مقادیر آیین‌نامه صرفاً بر اساس مطالعات فنی تعیین نشده و در تعیین آنها پارامترهای مختلف اجتماعی-اقتصادی نیز با عدم قطعیت‌های مختلف دخیل می‌باشد که به جهت بالا بردن حاشیه ایمنی در طراحی سازه‌ها در آیین‌نامه‌ها لحاظ می‌شود. با این وجود مقادیر بسیار محتاطانه اثر مستقیم در بالا بردن هزینه ساخت خواهد داشت و لذا شاید لازم باشد تا در بازنگری‌های آتی آیین‌نامه این حاشیه ایمنی به کمک یک معیار کمی با توجه به میزان ریسک‌پذیری لرزه‌ای جامعه که یکی از ابزار آن استفاده از سنجه ریسک یکنواخت است، مورد ارزیابی قرار گیرد. در انتها، نتایج این تحقیق نه تنها سنجه‌ی در ارزیابی مقادیر شتاب طیفی ارائه شده در آیین‌نامه طراحی در چارچوب یک روش متداول (خطر یکنواخت) و مورد استفاده در دیگر آیین‌نامه‌های معتبر را فراهم می‌آورد، بلکه از طرف دیگر بر ضرورت استفاده از سنجه‌های نوین در توسعه طیف‌های طراحی آیین‌نامه همچون سنجه ریسک یکنواخت در تأمین کمی حاشیه ایمنی مورد نظر در طراحی ساختمان‌ها نیز تأکید می‌نماید.

to the near field effects for Tehran Region, *Amir Kabir Journal of Civil Engineering*, 42(1), 47-54.

Wesnousky, S.G. (1994) The Gutenberg-Richter or characteristic earthquake distribution, which is it? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 1940-1959.

Zafarani, H., Luzi, L., Lanzano, G., & Soghrat, M. R. (2017). Empirical equations for the prediction of PGA and pseudo spectral accelerations using Iranian strong-motion data. *Journal of Seismology*, 22(1), 263-285.

Zaman, M., & Ghayamghamian, M.R. (2019). Risk-adjusted design basis earthquake: a case study of Tehran megacity. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(7), 3777.

واژه‌نامه

Period	۱- دوره تناوب
Spectral Acceleration (Sa)	۲- شتاب طیفی
Return Period	۳- دوره بازگشت
Uniform Hazard Spectrum (UHS)	۴- طیف خطر یکنواخت
Probabilistic Seismic Hazard Analysis	۵- تحلیل خطر احتمالاتی
Epistemic	۶- شناختی
Uniform Risk	۷- خطر پذیری یکنواخت
Uniform Hazard	۸- خطر یکنواخت

assessment in Europe. *Journal of Seismology*, 16, 451-473.

Ghayamghamian, M.R., Behroo, R., & Gavahi, N. (2011). Final report of estimation of magnification factor of soil and extraction of fragility curves and human casualties relations of Tehran buildings due to earthquake (in Persian). *Tehran Crisis Prevention and Management Organization*.

Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S.A., & Mirhashemi, S.M. (2011). Horizontal uniform hazard spectra for different southern part of Tehran. *Sharif Civil Engineering Journal*, 26(3), 51-60 (in Persian).

Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S. A., Motamed, R., & Ganjavi, B. (2007). Uniform hazard spectra for different northern part of Tehran, *Irab. Journal of Applied Sciences*, 7(22), 3368-3380.

Hamednia, Y., & Ghayamghamian, M.R. (2022). Soil classification based on empirical earthquake data analysis in. *8th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Iran*.

Hesami, K., Jamali, F., & Tabasi, H. (2003). *Active Faults Map of Iran*. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran.

Kale, Ö. Akkar, S., Ansari, A., & Hamzehloo, H. (2015). A ground-motion predictive model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV, and 5% damped response spectrum: Investigation of possible regional effects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 963-980.

Loh, C.H., Jean, W.Y., & Penzien, J. (1994), Uniform-hazard response spectra—an alternative Approach. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23(4), 433-445.

McGuire, R.K. (1977). Seismic design spectra and mapping procedures using hazard analysis based directly on oscillator response. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 5, 211-234.

Shapira, A., & Van Eck, T. (1993). Synthetic uniform hazard site specific response spectrum. *Natural Hazards*, 8(3), 201-215.

Tehranizade, M., & Seirafian Pour, M. (2010). Determination of uniform hazard spectra with respect

Comparative Study on Standard No. 2800 Design Spectra with Derived Uniform Hazard Spectra for Tehran Megacity

Yaser Hamednia¹, Mohammad Reza Ghayamghamian^{2*}

1. Ph.D. Student, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
2. Professor, Risk Management Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: mrgh@iiees.ac.ir

Design spectrums are used to compute seismic demand in structural design process. Therefore, seismic design codes try to provide safety margin in performance of structures by developing appropriate design spectra. The design spectra in Iranian seismic design code (Standard No. 2800) were developed via the analysis of different earthquake response spectra. In Standard 2800, a mapped PGA value for 10% in 50 years used as an anchor point to produce the design spectrum at a desired point. Meanwhile, this approach fails to provide a quantitative safety margin as claimed in design code. Furthermore, their accuracy have not yet been examined by conventional approach such as uniform hazard spectra (UHS), which is conventionally employed by many design codes such as Eurocode 8 (1998). Spectral ordinates of UHS have equal probability of exceedance (PE) across all periods of vibration. Therefore, designed structures with recent design spectrums have the same imposed seismic hazard level.

An attempt was made in this study to directly examine the accuracy of proposed design spectra in Standard 2800 by those of UHS derived in Tehran Megacity as a case study. For this purpose, the area under study is divided into 632 grids with a 1 km × 1 km area. The hazard curve was calculated by considering the soil type at each grid point as defined in Standard 2800 from hard to soft (I to IV). The number of grids fall at each soil type are 10, 465, 150 and 7 points for I, II, III and IV soil types, respectively. Hazard curves at the grid points were calculated and were used to compute uniform hazard spectra for 2% and 10% PE in 50 years (return periods of 2475 and 475 years, respectively). For each soil type, the mean of uniform hazard spectra at different grid points with the same soil type were calculated, which were used as a representative uniform hazard spectrum for that soil type. The derived representative uniform hazard spectra for 10% PE in 50 years were compared with those proposed in Standard 2800 for different soil types. Furthermore, spectral acceleration ratio of uniform hazard with respect to those from Standard 2800 at periods of 0.2 s and 1.0 s were computed and were compared for the whole points according to their soil types. The outcomes reveal that the spectral acceleration in design spectra of Standard 2800 are larger than those in UHS for all the periods, especially for the periods larger than 0.5 s for soil types I and II. Meanwhile, the spectral accelerations of Standard 2800 become almost the same at periods lower than 0.5 s, and again become larger than UHS at periods larger than 0.5 s for soil types III and IV. In general, it is found that the proposed design spectra in Standard 2800 are conservative. This may need further examine by more recent approach such as uniform risk, and then being considered in future revision of Standard 2800.

Keywords: Standard No. 2800, PSHA of Tehran, Uniform Hazard Spectra, Design response spectra.