



تبعات دو پارامتری بودن طیف‌های طراحی استاندارد $2800(A \times B)$ و ارائه ضرایب N_v و N_a برای ارزیابی اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک

احمد نیکنام

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۹ آذر ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۶ اسفند ۱۳۹۵
پذیرش: ۲۱ خرداد ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۳۱ خرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

ضرایب اثرهای حوزه نزدیک
دوره تناوب گوشه
شکل طیفی
بیشینه طیف طراحی شتاب ثابت
بیشینه طیف طراحی سرعت ثابت

چکیده: این نوشتار بر آن است که طیف‌های استاندارد $2800(A \times B)$ را که عمدتاً ناشی از دو پارامتری بودن آن، مورد ارزیابی قرار داده و نقاط ضعف آن را با توجه به اصول امروزه مهندسی زلزله شفاف نماید. نمونه‌هایی از آن شامل شکل طیفی یکپارچه از پیش تعریف شده در بازه‌های شتاب طیفی ثابت و بیشینه سرعت ثابت، عدم وابستگی دوره تناوب گوشه (T_g) و فاصله ساختگاه تا گسل به بزرگای زلزله و نوع خاک، عدم وابستگی شکل طیف به فرآیند تحلیل خطر ساختگاه است. دو پارامتر وابسته به زمان تناوب موجود $N(T)$ پیش‌سوی ارائه شده است. 120 دیتای شتاب طیفی حوزه نزدیک در دو شهر آمریکا برای چهار نوع خاک تهیه و طی فرآیندی منتج به ارائه دو پارامتر $N_a(T)$ (برای بازه بیشینه شتاب ثابت) و $N_v(T)$ (برای بازه بیشینه سرعت ثابت) شده است. شتاب‌های طیفی حاصل از این دو پارامتر برای ارزیابی طیف‌های موجود استاندارد 2800 با اعمال اثرهای پارامتر جهت‌داری موجود $N(T)$ مورد استفاده قرار گرفته است. مقایسه نتایج حاصله با طیف‌های موجود استاندارد 2800 گویای آن است که پارامتر یاد شده نمی‌تواند به درستی اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک را بازتاب دهد که با توجه به ساخت‌وسازهای چشمگیر در سال‌های اخیر و احتمال رخداد زلزله‌های قوی و مخرب، ضعف طیف‌های طراحی است و اهمیت ویژه آن را آشکار می‌کند. نتیجه این که اصلاح طیف‌های موجود استاندارد 2800 امری اجتناب‌ناپذیر است.

۱- مقدمه

حرکات زمین در نزدیکی گسل فعال اساساً متأثر از مکانیسم گسلش، راستای انتشار گسلش نسبت به ساختگاه و جنس محیط سنگی بویژه لایه سی‌متری خاک زیر پی ساختمان است. ضربه‌های زلزله به ساختگاه‌ها در فواصلی از روی مرکز (تصویر نقطه شروع گسلش در سطح گسلش روی سطح زمین) تا شعاعی حدود 20 کیلومتر دارای توان نسبتاً زیاد ناشی از انرژی امواج است و با دامنه‌های زیاد در طیف بازتاب نمایان می‌شود. این زمین لرزه‌ها ممکن است از دو ویژگی برخوردار باشد که در زلزله‌های با فاصله دور دیده نمی‌شوند. یکی پدیده اثرهای جابجایی ماندگار^۱ و دیگری اثرهای جهت‌داری پیش‌سوی^۲ [۱،۲] که می‌تواند موجب بروز خسارت‌های سنگینی در سازه‌های موجود شود. در این نوشتار، مقوله اثرهای جابجایی ماندگار (که در فواصل بسیار نزدیک گسل مطرح است) خارج از بحث است و خواننده به مراجع [۳] و [۴] ارجاع داده می‌شود.

نمونه داخلی زلزله‌های جهت‌دار شامل زلزله $6/4$ ریشتری سال 2003 به $6/5$ ریشتری سال 2005 زرنده [۲] و نمونه‌های خارجی آن شامل $7/9$

ریشتری سال 1999 چی‌چی تایوان [۵]، $6/7$ ریشتری سال 1994 نرتریج [۶] است. موارد یاد شده نمونه‌هایی از زلزله‌های جهت‌داری هستند که فرآیند رخداد آن‌ها با مدل شبیه‌سازی شده و جزئیات روند گسلش زلزله در آن‌ها به تفصیل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در دهه گذشته، پژوهش‌های وسیعی در راستای شناخت علل، شرایط تأثیرگذاری در سازه‌ها و بررسی کیفی و کمی خسارت‌های ناشی از آن‌ها انجام گرفته است [۹]. قابل ذکر است که اثرهای جهت‌داری به صورت ضرباتی^۳ در شروع تاریخچه زمانی سرعت رخ می‌نماید و صرفاً در بخش سرعت ثابت طیف شتاب (از دوره تناوب $0/6$ ثانیه تا دوره‌های زمانی بالاتر) تأثیرگذار است [۸].

۱-۱ عوامل مؤثر در ایجاد جهت‌داری

میزان اثرهای جهت‌داری زلزله در ساختگاه‌های نزدیک گسل به سه پارامتر عمده از صفحه گسلش زلزله^۴ و دیگر ویژگی‌های زلزله حوزه دور بستگی دارد. یکی زاویه بین صفحه مار بر ایستگاه و نقطه شروع گسلش^۵

¹ fling step

² forward directivity

³ velocity pulse

⁴ fault plain

⁵ hypocenter

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: a_nicknam@iust.ac.ir

کالیفرنیا بدست آمده که دلایل آن در ادامه خواهد آمد.

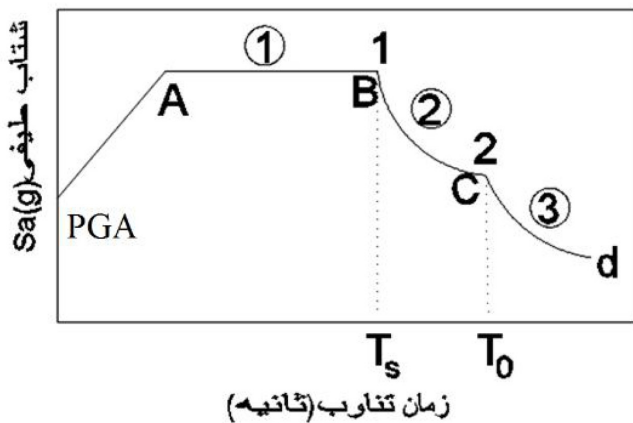
۱-۳- مروری بر الزام‌های شتاب طیفی در بازه‌های مختلف زمان تناوب طیف طراحی استاندارد

شتاب‌های طیفی صاف‌شده طراحی از طریق فرآیند تحلیل خطر در هر یک از زمان‌های تناوب (از ۰/۱ تا مثلاً ۵ ثانیه) دارای مقدار مشخصی هستند که احتمال فراگذشت آن‌ها در یک دوره پنجاه‌ساله باید برای ایران به مقدار ۱۰ درصد باشد $[S_a(T_i)]$. برای روشن‌تر شدن موضوع، به اختصار به بازه‌های چهارگانه طیف پرداخته می‌شود.

شکل ۱ نمونه‌ای از طیف طراحی آمریکا (ASCE-7) را به طور طرحواره نشان می‌دهد. شتاب‌های طیفی منعکس‌کننده مقادیر شتاب در دوره‌های تناوب مختلف سازه و محتوای فرکانسی مانند در زلزله است. شتاب‌های طیفی در زمان‌های تناوب مختلف کاملاً مستقل از یکدیگر هستند و وابسته به مشخصات صفحه گسلش مسیر عبور امواج زلزله و نوع خاک زیر پی است.

به طوری که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، بازه (۳) مربوط به شتاب طیفی با بیشینه جابجایی ثابت است و از زمان تناوب گوشه دوم (خط نقطه چین ۲) شروع می‌شود. تغییرات شتاب در این بازه از قانون (T^{-2}) تبعیت می‌کند و مخصوص طراحی برج‌های بلند است. این بازه در طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ پیش‌بینی نشده است.

بازه‌هایی از زمان تناوب مانند بیشینه جابجایی ثابت (شکل ۲-a)، بیشینه سرعت ثابت (شکل ۲-b) و بیشینه شتاب ثابت (شکل ۲-c) همراه با



شکل ۱: نمایش طرح‌واره سه بازه طیف‌های طراحی شامل بیشینه

شتاب ثابت، بیشینه سرعت ثابت و بیشینه جابجایی ثابت

Fig. 1. Schematically illustration of the three period ranges of a standard design response spectrum including the constant maximum acceleration, constant maximum velocity, and constant maximum displacement

با صفحه گسلش (θ) (چه در گسل‌های راستالغز^۱ چه در گسل‌های غیر راستالغز^۲ و دیگری فاصله نقطه شروع گسلش تا انتهای صفحه گسلش در راستای ساختگاه مورد نظر و سوم بزرگای زلزله (حدود ۶ تا ۶/۲ ریشتر به بالا) به عنوان پارامتر اصلی در میزان اثرهای جهت‌داری است [۸]. تأثیر دیگر پارامترهای ذی‌ربط مانند نوع خاک و یا فاصله ساختگاه تا گسل غیر از این عوامل است. هر سه پارامتر بعد از رخداد زلزله قابل تشخیص هستند. هرچند امروزه با در اختیار داشتن تعداد کافی زلزله ثبت‌شده در ساختگاه‌های نزدیک گسل، اثرها و میزان جهت‌داری زلزله قبل از رخداد به روش‌های احتمالاتی قابل تخمین است. اثرهای جهت‌داری صرفاً در بخش سرعت ثابت بر روی طیف به صورت ضرباتی با دوره تناوب بلند و سرعت طیفی زیاد از نیم‌سیکل تا دو سیکل^۳ تأثیرگذار است (از دوره تناوب ۰/۵ تا حدود ۴ ثانیه) [۸].

۱-۲- طیف‌های طراحی استاندارد

طیف‌های طراحی صاف‌شده بر اساس احتمال فراگذشت مشخص در یک فرآیند تحلیل خطر بدست می‌آید. با توجه به دستاوردهای علمی، طیف طراحی استاندارد باید حداقل حاوی نکات زیر باشد [۹]:

۱) شتاب‌های طیفی از زمان تناوب بسیار کوتاه (مثلاً ۰/۲ ثانیه) تا مقادیر زمان تناوب بلند (مثلاً ۵ ثانیه) با احتمال فراگذشت یکسان (مثلاً ۱۰ درصد در ۵۰ سال) بر روی هر یک از انواع چهارگانه خاک (مطابق با استاندارد ۲۸۰۰) را ارائه نماید.

۲) شتاب‌های طیفی یادشده برای ساختگاه‌های حوزه دور متوسط شتاب‌های طیفی در دو جهت متعام $S_a(T) = [S_{a,x}^2(T_i) + S_{a,y}^2(T_i)]^{1/2}$ را منعکس نماید [۱۰، ۱۱].

۳) مقادیر زمان تناوب گوشه (T_s) حاصل از تقاطع پوش‌های دو بازه بیشینه شتاب طیفی و بیشینه سرعت ثابت [۹].

۴) حاوی اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک در شتاب‌های طیفی از زمان تناوب ۰/۵ ثانیه به بعد (مثلاً تا ۵ ثانیه) [۸].

۵) تأثیر فاصله و بزرگای زلزله به صورت خطوط هم‌میزان شدت زلزله شتاب‌های طیفی در هر منطقه ارائه شود.

در این نوشتار نشان داده می‌شود که در طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ به چه میزان موارد پنج‌گانه فوق را منعکس می‌نماید. بخش‌هایی از این موارد در دیگر مقالاتی که توسط نویسنده تهیه شده است، مورد ارزیابی قرار داده شده [۱۲-۱۵] که برای اطلاع خواننده محترم نکات اساسی آن‌ها تکرار می‌شود. بحث عمده این نوشتار مواردی است که از دو پارامتری بودن طیف $(A \times B)$ ناشی می‌شود.

بخش پایانی نوشتار به ارائه دو پارامتر $N_v(T)$ و $N_a(T)$ به عنوان ضرایب اعمال اثرهای جهت‌داری حوزه نزدیک پرداخته شده است. لازم به یادآوری است که دو پارامتر یادشده از ۱۲۰ اطلاعات دو شهر در ایالت

¹ strike slip

² deep slip

³ velocity pulse

۲- ارزیابی دوبخشی بودن طیف استاندارد ۲۸۰۰ (A×B)

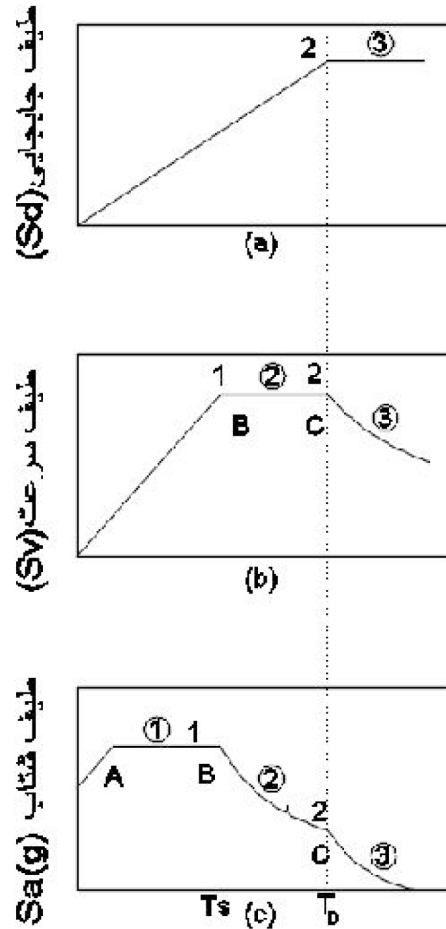
برای ارزیابی دقیق‌تر چالش‌های ناشی از دوبخشی بودن طیف طرح استاندارد ایران، در ادامه به اختصار به فرایند رخداد ثبت شتاب‌های زلزله پرداخته خواهد شد؛ با این هدف که نشان داده شود که بدون استفاده از اطلاعات واقعی زلزله نمی‌توان شتاب‌های طیفی بازه‌ای از طیف را تغییر داد (مانند تغییرهایی که در طیف ویرایش اول تا چهارم استاندارد ۲۸۰۰ داده شده است).

امروزه فرایند رخداد فیزیکی زلزله موضوعی شناخته شده است. شکست سنگ ناشی از حرکت کند پوسته فوقانی زمین، تجمع تغییر شکل (و لزوماً تجمع تنش) و برخورد لایه جدا شده به بدنه محیط ایجاد امواج زلزله می‌کند که بسته به شکل هندسی سطح گسلش، ترکیبی از امواج چهارگانه را موجب می‌شود (موج برشی، طولی، ریلی و لاو). امواج ایجاد شده در فضا منتشر و بخشی از آن به سطح زمین می‌رسد. عبور امواج از لایه‌های مختلف، به ویژه در آخرین لایه سی‌متری زیر سازه، متأثر از خصوصیات لایه‌ها شده و بسته به نوع خاک بالاترین لایه، آخرین تغییرها را تجربه می‌کند. این امواج به صورت برداری فضایی منتشر شده که شتاب آن در سطح زمین با سه فقره حسگر ثبت می‌شود [۱۶]. امتداد حسگرها در سه امتداد شامل راستای قائم و دو راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی جغرافیایی (northing و easting) با دستگاه ثبت می‌شود. بنابراین آنچه به سازه‌ها برخورد می‌کند، شامل حداقل دو بردار مؤلفه شتاب به صورت تاریخچه زمانی است.

۲-۱- شتاب طیفی استاتیکی تک‌مؤلفه‌ای زلزله (روش استاتیکی متداول اعمال اثرهای زلزله)

این که در روش‌های طراحی آیین‌نامه‌ها مؤلفه تاریخچه زمانی زلزله با طیف (که مؤلفه‌ای استاتیکی است) جایگزین می‌شود، ناشی از ضعف و کمبودهای روش طراحی است که جامعه مهندسی امیدوار است تا در آینده این مورد برطرف شود. به عنوان نمونه، از آنجایی که رخداد زلزله امری تصادفی است، بنابراین با علم امروزه به اجبار مقادیر شتاب باید با روش‌های احتمالاتی تخمین زده شود (مقادیر شتاب مانند احتمال فراگذشت زلزله‌ها از میزان مشخص در مدت زمان بهره‌برداری سازه). از آنجایی که انجام فرایند احتمالاتی نیاز به مقادیر کمی شتاب طیفی متوسط و انحراف معیار دارد و مقادیر شتاب به صورت تاریخچه زمانی به دلیل تغییر بسامد مانند دامنه دائماً در حال تغییر است، روش‌های احتمالاتی مطالعه شتاب‌های طیفی زلزله را مقدور می‌کند؛ به بیان ساده، از طیف شتاب به جای تاریخچه زمانی استفاده می‌شود.

به همین دلیل، برای دستیابی به بیشینه شتاب در هر ایستگاه مطالعات احتمالاتی بر روی طیف‌های شتاب انجام می‌گیرد. مفهوم جایگزینی مذکور، این نیست که عملکرد طیف زلزله بر روی سازه عیناً مانند مؤلفه تاریخچه زمانی است. به بیان ساده‌تر، طیف زلزله به هیچ‌وجه نمی‌تواند کلیه خصوصیات تاریخچه زمانی مؤلفه تاریخچه زمانی را مانند طیف نمایندگی کند؛ چه رسد



شکل ۲: (a) بیشینه جابجایی ثابت (b) بیشینه سرعت ثابت و (c) هر سه بازه شامل بیشینه شتاب ثابت، بیشینه سرعت ثابت و بیشینه

جابجایی ثابت

Fig. 2. Individual illustration of the three period ranges, a) maximum displacement, b) maximum velocity, and c) the complete period ranges

زمان‌های تناوب گوشه مانند طیف استاندارد در شکل ۲ نشان داده شده است. قالب دیگری از طیف طراحی طیف کشور نیوزیلند (استاندارد NZS-1170.5) است [۱۵] که به صورت دو پارامتری است. اما مقادیر ناشی از هر دو پارامتر تفاوت فاحشی با استاندارد ۲۸۰۰ دارد که در مرجع [۱۴] به تفصیل مورد بحث قرار داده شده است. از آنجایی که شکل طیفی استاندارد ۲۸۰۰ به طیف ASCE آمریکا نزدیک‌تر است، بنابراین در این نوشتار از این استاندارد در ارزیابی چالش‌های موجود در استاندارد ایران بیشتر استفاده شده است.

در ادامه به چالش‌های موجود در طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ عمدتاً با تمرکز بر روی تبعات دو پارامتری [A×B] آن پرداخته می‌شود.

۳- چالش‌های موجود در استاندارد ۲۸۰۰ ناشی از دو پارامتری بودن آن (A×B)

۳-۱- همبستگی شتاب‌های طیفی در بازه‌های شتاب ثابت و بیشینه سرعت ثابت در طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰

شکل طیفی (B) در طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ از پیش تعریف شده است. به بیان دیگر، پرپود گوشه (T_s) در طیف الزاماً (بسته به نوع خاک) باید مقداری ثابت و از پیش تعیین شده باشد (به عنوان نمونه ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۸). به ترتیب برای خاک‌های سفت تا سست. مشکل این است که هر دو بازه شتاب ثابت و بیشینه سرعت ثابت با مقیاس کردن شکل طیف به طور یک‌پارچه تغییر می‌کند؛ در حالی که تغییرهای هر یک از دو بازه فوق با افزایش بزرگای زلزله متفاوت است. بسامد گوشه به عنوان زمان تناوب مشترک به طور مستقل هم از تغییرهای بازه شتاب ثابت و هم از تغییرهای بازه بیشینه سرعت ثابت تبعیت می‌کند؛ به بیان ساده‌تر، مقدار آن تابع تغییرهای تک‌تک دو بازه است.

۳-۲- وابستگی زمان تناوب (T_s) به نوع خاک در ساختگاه

در ارتباط با اثر دینامیکی زلزله بر روی لایه‌های خاک با مشخصات متفاوت، پژوهش‌های وسیعی انجام شده است [۱۸، ۱۹]. اصولاً زلزله‌ها در بسامدهای بالا (زمان تناوب پایین) دارای دامنه‌های زیادتری نسبت به مقادیری مانند بسامدهای پایین (زمان تناوب بالا) هستند. بدیهی است که هرچه خاک سست‌تر باشد (که با زمان‌های تناوب بالاتری همراه باشد)، دامنه‌های زلزله مانند دوره‌های تناوب بالاتر در عبور از لایه سی‌متری فوقانی خاک زیر ساختگاه در بازه بشینه سرعت ثابت بیشتر تقویت می‌شود (و بر عکس برای خاک‌های سفت). این پدیده موجب می‌شود تا زمان تناوب گوشه صرفاً به دلیل سست‌تر شدن خاک افزایش یابد. به طور خلاصه خواهیم داشت:

برخورد پوش شتاب‌های طیفی در بازه بیشینه شتاب با پوش شتاب طیفی در بازه بیشینه سرعت (که با تابعی متناسب با T^{-1} تغییر می‌کند)، زمان تناوب گوشه (T_s) را به وجود می‌آورد. بنابراین، مقدار آن نیز وابسته به بازه بیشینه شتاب ثابت و هم به شتاب طیفی با بیشینه سرعت ثابت است. به دلیل تعریف شکل طیفی [B(T)] در استاندارد ۲۸۰۰ به صورت یک‌پارچه، این نکته مهم در استاندارد ایران قابل اعمال نیست.

۳-۲-۱- وابستگی زمان تناوب گوشه (T_s) به قدرت زلزله (اثر بزرگا و فاصله در ساختگاه)

مقدار زمان تناوب گوشه (T_s) در هر نوع خاک بستگی به قدرت زلزله دارد. در استاندارد ۲۸۰۰، دوره‌های تناوب گوشه با مقادیری از پیش تعریف شده برای هر نوع خاک ارائه شده و برای شتاب‌های مبنای طرح (A) ۰/۳۵ و ۰/۲ یکسان است و با افزایش شتاب مبنای طرح (A) که قدرت زلزله را نمایندگی می‌کند، تغییری نمی‌کند.

به آن که طیف به صورت دو بخشی جایگزین شتاب نگاشت یک‌پارچه شود که طبیعتاً ضعف آن را دو چندان می‌کند.

۲-۱-۱- طیف طراحی به صورت متوسط هندسی

همان‌طور که گفته شد، زلزله دارای دو مؤلفه افقی است؛ درحالی که آیین‌نامه‌ها زلزله را به صورت تک‌مؤلفه‌ای ارائه می‌دهند $(V=(ABI/R)W)$. تبدیل طیف‌های دو مؤلفه به تک‌مؤلفه با پیشنهاد بور [۱۰، ۱۱] با روش متوسط‌گیری هندسی مقادیر طیف در هر دوره تناوب به صورت $S_a(T)=[S_{a,x}^2(T)+S_{a,y}^2(T)]^{1/2}$ انجام می‌گیرد. این کار در فرایند تحلیل خطر با رابطه کاهندگی بر اساس متوسط هندسی به سادگی قابل انجام است. این تبدیل در استاندارد ۲۸۰۰ انجام نشده است. ارتباط آن با دو پارامتری بودن این است که اصولاً شتاب مبنای طرح (A) که از فرایند تحلیل خطر بر اساس بیشینه شتاب تاریخیچه زمانی (PGA) بر روی بستر سنگی بدست می‌آید، یک‌بعدی است و بخشی از دوبردی آن در فرایند تحلیل خطر مطرح نیست.

۲-۲- عدم همبستگی شتاب‌های طیفی در بازه‌های بیشینه شتاب و بیشینه سرعت

اصولاً مقادیر شتاب‌ها در یک مؤلفه تاریخیچه زمانی مستقل از یکدیگر هستند؛ به طوری که هر یک با بسامد خاصی همراه است. این نکته نباید با همبستگی همزمان شتاب‌های طیفی در یک مؤلفه زلزله اشتباه شود [۱۷]. در رابطه با مقادیر همزمان طیف یک مؤلفه تاریخیچه زمانی زلزله، مقادیر بیشینه شتاب مانند هر زمان تناوب بستگی به شتاب‌های زمان‌های تناوب مجاور به آن دارد؛ به طوری که هرچه زمان تناوب در طیف دورتر می‌شود، این همبستگی کمتر خواهد شد. برای نمونه آن، می‌توان به روابط همبستگی شتاب‌های طیفی زمان‌های تناوب در یک طیف با مقدار بیشینه آن در روش CMS اشاره کرد که توسط بیکر^۱ پیشنهاد شده است [۱۷]. در این روش بین اسپیلون‌های شتاب طیفی در زمان‌های تناوب مختلف با اسپیلون بیشینه و همزمان، روابطی ارائه شده که برای انتخاب شتاب نگاشت با احتمال فراگذشت معین کاربرد دارد. منظور از همزمان، مقادیر شتاب طیفی است که به طور همزمان در طیف یک شتاب نگاشت معین وجود دارد.

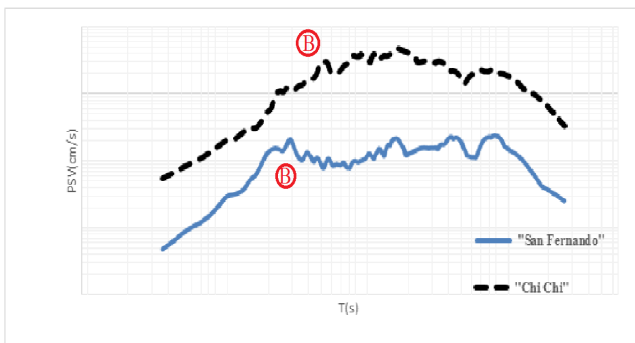
مقوله وابستگی مقادیر شتاب طیفی در دوره‌های تناوب مختلف در طیف‌های طراحی موضوعی کاملاً متفاوت است. به بیان دیگر، شتاب‌های طیفی در طیف‌های طراحی هیچ‌گونه وابستگی به یکدیگر ندارند. زیرا هر شتاب طیفی که از تحلیلی خطر بدست می‌آید، نماینده احتمال رخداد چند زلزله بزرگتر از آن است. به بیان ساده‌تر، طیف طراحی متشکل از شتاب‌های طیفی مستقل است.

^۱ Baker

افزایش پارامترهای S_1 و S_s (مقادیر زمان تناوب گوشه نیز تغییر کرده و افزایش می‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که در این مقایسه فرض بر این است که با افزایش پارامترهای S_s متناظراً مقادیر S_1 نیز افزایش می‌یابد که فرضی دور از ذهن نیست.

وابستگی زمان تناوب گوشه به قدرت زلزله را نیز می‌توان با استفاده از طیف تاریخچه زمانی سرعت (به صورت لگاریتمی $(\ln T$ و $\ln S_v)$) نشان داد. این طیف که به طیف سه‌بخشی^۲ معروف است، شامل سه بازه مانند بیشینه شتاب ثابت (AB)، بیشینه سرعت ثابت (BC) و بیشینه جابجایی ثابت (CD) است که در شکل ۳ شتاب‌های طیفی مانند این سه‌بازه به تفکیک نشان داده شده است. برای این منظور، از طیف سرعت دو زلزله با مشخصات مندرج در جدول ۳ استفاده شده است.

به طوری که ملاحظه می‌شود، موقعیت نقطه B گویای موقعیت زمان تناوب گوشه در طیف سرعت است. زیرا نقطه مشترک بین بازه با بیشینه شتاب ثابت (AB) و بیشینه سرعت ثابت (BC) قرار دارد و زمان تناوب T_S را مشخص می‌کند (شکل ۲). به طوری که در شکل ۲ دیده می‌شود، موقعیت زمان تناوب گوشه با افزایش بزرگای زلزله (از ۶/۶ به ۷/۶ ریشتر) بالاتر می‌رود. به بیان ریاضی، وقتی متغیری مثل T_s به تغییرات دو تابع (بازه) بیشینه سرعت شتاب و شتاب ثابت) بستگی دارد، نمی‌تواند توسط یکی از دو



شکل ۳: طیف سه‌بخشی لگاریتمی برای دو زلزله با فاصله تقریباً یکسان و بزرگای متفاوت

Fig. 3. Three part-title presentation of two earthquakes Fernando and CHI-CHI having the same distances but different magnitudes

جدول ۱: مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب ۰/۲ ثانیه روی بستر

سنگی (S_s) و اعمال ضریب بزرگنمایی F_a روی خاک نوع E

Table 1. Spectral acceleration on soil site type I at period of 0.2 s along with those of the applied amplification factor F_a on site soil type E

S_s	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۱	۱/۲۵
F_a	۲/۵	۱/۷	۱/۲	۰/۹	۰/۹
$S_s \times F_a$	۰/۶۲۵	۰/۸۵	۰/۹	۰/۹	۱/۱۲۵

جدول ۲: مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب ۱ ثانیه روی بستر

سنگی (S_1) و اعمال ضریب بزرگنمایی F_v روی خاک نوع E

Table 2. Spectral accelerations at period of 1 s on site soil type I along with those of the applied amplification factor F_v on site soil type E

S_1	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
F_v	۳/۵	۳/۲	۲/۸	۲/۴	۲/۴
$S_1 \times F_v$	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۹۶	۱/۲
$T_s = [F_v \times S_1 _{T=1}] / [F_a \times S_s _{T=0.2}]$	۰/۵۶	۰/۷۵	۰/۸۲	۱/۰۷	۱/۰۷

برای بررسی بیشتر این نکته (که هر چه زلزله قوی‌تر باشد، زمان تناوب گوشه آن نیز بیشتر می‌شود)، از اطلاعات استاندارد آمریکا (ASCE7-2005) به عنوان نمونه استفاده شده است. مقادیر دوره تناوب گوشه در خاک نوع (E) ناشی از افزایش قدرت زلزله مورد مقایسه قرار داده شده است. مقدار زمان تناوب گوشه طبق استاندارد ASCE از رابطه $T_s = [F_v * S_1(T=1)] / [F_a * S_s(T=0.2)]$ در آن S_1 و S_s به ترتیب مقادیر شتاب طیفی در ۱ ثانیه و ۰/۲ ثانیه بر روی بستر سنگی با احتمال فراگذشت ۲ درصد در ۵۰ سال، F_v و F_a به ترتیب ضرایب بزرگنمایی خاک ناشی از اثر دینامیکی^۱ مانند بازه‌های بیشینه سرعت ثابت و بیشینه شتاب ثابت است [۲۰]. مقایسه نتایج مقادیر T_s در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بازگو کننده این است که با افزایش قدرت زلزله

جدول ۳: مشخصات دو زلزله شامل نام ایستگاه، بزرگا، فاصله و نوع خاک

Table 3. Two earthquake information including station names, distances, and site soil conditions

نام زلزله	سال	نام ایستگاه	M	R_{rub} (کیلومتر)	V_{s30} (متر بر ثانیه)
San Fernando	۱۹۷۱	Maricopa Array #2	۶/۶	۱۰۹	۴۴۳
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	Tap042	۷/۶	۱۰۶	۳۷۵

² tripartite

¹ site effect

تابع از پیش تعریف شده باشد. این خاصیت در استاندارد ASCE رعایت شده است و آن محل برخورد دو منحنی بیشینه سرعت ثابت با تغییرات T^{-1} که از نقطه با زمان تناوب یک ثانیه شتاب طیفی نظیر عبور می‌کند و دیگری منحنی تغییرات خط افقی (شتاب ثابت) که از زمان تناوب 0.2 ثانیه شروع و با مقدار مقدار شتاب طیفی بیشینه به صورت افقی ترسیم می‌شود. این نکته که نقش کلیدی در اعمال اثرهای جهت‌داری حوزه نزدیک دارد در استاندارد ۲۸۰۰ به دلیل یکپارچه‌بودن قالب شکل طیفی $B(T)$ ناشی از دو پارامتری بودن رعایت نشده است.

۳-۳-۳- ارتباط شکل طیفی در طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ با فرایند تحلیل خطر

از آنجایی که طیف‌های طراحی در استاندارد ۲۸۰۰ منعکس‌کننده شتاب‌های طیفی با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال است، بنابراین مقادیر $(A \times B)$ در هر زمان تناوب نیز باید شتاب‌های طیفی این احتمال را نمایندگی کند. شتاب مبنای طرح (A) که از طریق تحلیل خطر بدست می‌آید، به تنهایی منعکس‌کننده این احتمال است. اما باید طیف طراحی که منعکس‌کننده نوع خاک و اثر دینامیکی زلزله تاریخچه زمانی است نیز ویژگی مانند زلزله‌ای با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال را داشته باشد $S_d(T)$ به بیان دیگر، باید زلزله‌هایی به صورت تاریخچه زمانی انتخاب شود که با احتمال فراگذشت شتاب مبنای طرح (A) سازگار باشد؛ نه بزرگتر و یا کوچک‌تر. سپس با بیشینه شتاب زمین (PGA) نرمال شوند (آنچه فرایند طیف طراحی استاندارد ایران است). اگر این دسته زلزله بر روی بستر سنگی از چهار نوع خاک عبور داده و متوسط‌گیری شوند، از منطق احتمال فراگذشت برخوردار هستند. این اقدام‌ها در ارتباط با استاندارد ۲۸۰۰ انجام نشده است. سازگار بودن هر دو بخش A و B اهمیت خاصی دارد.

۳-۴-۳- عدم رعایت تأثیر فاصله در طیف‌های طراحی

عدم رعایت تأثیر فاصله در پیش‌بینی مقادیر شتاب طیفی می‌تواند بر روی ساختگاه‌های با فواصل مختلف تأثیر قابل ملاحظه‌ای را داشته باشد. دلیل آن، تفاوت نقش روابط کاهندگی در تعیین مقادیر شتاب طیفی است که در روند تحلیل خطر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر رابطه کاهندگی مورد استفاده بر اساس شتاب مبنای طرح (A) و یا شتاب طیفی $S_d(T_1)$ انتخاب شده باشد، نتایج یکسانی به بار نمی‌آورد. یادآوری می‌شود که در استاندارد ۲۸۰۰ به ساختگاه‌های مختلف بدون رعایت فواصل ساختگاه از گسل‌های فعال میزان شتاب مبنای طرح (A) یکسانی اختصاص داده شده است (مانند ساختگاه‌های با فواصل دور در شهر بزرگ تهران که نهایت مقدار آن $0.35g$) که با نقش فیزیکی فاصله سازگاری ندارد [۱۴]. در این مقاله بحث و نتایج نامطلوب این عدم رعایت فاصله به ویژه در حوزه نزدیک شفاف‌سازی شده است.

۳-۵- اعمال اثرهای جهت‌داری در استاندارد ۲۸۰۰، پارامتر $N(T)$
 اعتبار اعمال اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک که با پارامتر $N(T)$ در استاندارد ۲۸۰۰ آمده است (بدون این که در متن آیین‌نامه اشاره‌ای به جهت‌داری زلزله شود)، ارتباطی به دو پارامتری بودن طیف‌ها $(A \times B)$ ندارد و خارج از موضوع این نوشتار است. در زمینه چالش‌های اعمال اثرهای جهت‌داری پیش‌سوی در حوزه نزدیک زلزله استاندارد ۲۸۰۰، مقالاتی توسط نویسندگان تهیه و منتشر شده است [۱۳، ۱۵]. از آنجایی که ظاهراً اثرهای جهت‌داری در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با اقتباس از استاندارد نیوزلند (NZS-1170-5) انجام گرفته است، در مرجع [۱۵] عدم رعایت موازین اعمال اثرهای جهت‌داری با پارامتر $N(T)$ مورد بحث قرار داده شده است.

۳-۶- ابهام در تعریف پارامتر S در رابطه شکل طیفی

شکل طیفی در استاندارد ۲۸۰۰ به صورت $B_1(T) = (S + 1)(T_S / T)$ ارائه شده است. پارامتر S در این رابطه هیچ مفهوم فیزیکی نداشته و هیچ مشخصه‌ای از زلزله را نمایندگی نمی‌کند و صرفاً برای سهولت محاسبه پارامتر B_1 به این صورت ارائه شده است. از آنجایی که هر پارامتری باید مشخصه‌ای از طیف و یا زلزله را نمایندگی کند، ارائه شکل طیفی به این صورت فقط کاربر را دچار ابهام می‌کند. از این رو، توصیه می‌شود تا پارامتر S حذف و مجموع مقادیر $(S+1)$ در جدول گنجانده شود.

۴- جمع‌بندی

چالش‌های یاد شده در بخش‌های مختلف طیف‌های موجود در استاندارد ۲۸۰۰ به ویژه در بازه بیشینه سرعت ثابت باعث شده است که حتی اگر اثرهای جهت‌داری حوزه نزدیک $[N(T)]$ به درستی پیش‌بینی شده باشد، طیف‌های حاصله نتواند شتاب‌های طیفی در ساختگاه‌های حوزه نزدیک حاوی اثرهای جهت‌داری را به درستی منعکس نماید.

مبنای روشی که در این نوشتار ارائه شده، بر طیف‌های طراحی دو شهر در آمریکا استوار است؛ با این انگیزه که اثرهای چالش‌های یاد شده را کاهش می‌دهد.

۵- بکارگیری طیف‌های طراحی حوزه نزدیک در دو شهر لرزه‌خیز

برای دستیابی به ضرائب افزایشده اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک، از شتاب‌های طیفی در دو شهر لوس‌آنجلس و سانفرانسیسکو به شرح زیر استفاده شده است:

(۱) لوس‌آنجلس: از ۱۰۳۵ زلزله ثبت‌شده (USGS) (از تاریخ ۱۹۴۱ تا ۲۰۱۶ به مدت ۷۵ سال) تعداد ۱۳۶ رکورد با بزرگای بیش از ۵ ریشتر بیشینه ۷/۵ ریشتر

(۲) سانفرانسیسکو: از ۴۵۶۳ زلزله ثبت‌شده مقدار ۳۸ رکورد با بزرگای بیش از ۵ ریشتر و بیشینه ۷/۷ ریشتر (از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۶ به مدت ۷۱

جدول ۴: مقایسه اطلاعات لرزه‌خیزی دو شهر آمریکا (USGS) و دو شهر ایران (BHRC)

Table 4. Comparison of the seismicity of the two cities (USGS) in USA and those of Iran (BHRC)

نام شهرهای مرجع	تعداد زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵ ریشتر	مدت نظیر	نرخ سالیانه	مقدار زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵/۹ ریشتر
لوس‌آنجلس	۱۳۶	۷۵	۱/۸۱	۱۹
سانفرانسیسکو	۳۸	۷۱	۰/۵۴	۸
کرمان	۳۵	۸۹	۰/۴	۸
اهواز	۸۷	۵۶	۱/۶	۶

۵-۲- ارائه دو پارامتر N_v و N_a برای ارزیابی اثرهای حوزه نزدیک در استاندارد ۲۸۰۰

در هر یک از دو شهر آمریکا ۱۵ ایستگاه (حدود ۱۵ کیلومتری از گسل فعال) بر روی چهار نوع خاک (طبق طبقه بندی استاندارد ۲۸۰۰) و جمعاً ۱۲۰ داده جمع‌آوری شد. طیف‌های طراحی حاصل از مقادیر شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه و ۰/۲ ثانیه مطابق با استاندارد ۲۰۰۵ تهیه شد. تهیه طیف‌های طراحی با ضوابط ویرایش ۲۰۰۵ استاندارد ASCE انجام می‌گیرد. علت انتخاب ویرایش ۲۰۰۵ استاندارد ASCE این است که طیف‌های آمریکا از سال ۲۰۱۰ به ریسک‌محور^۱ تغییر داده شده است؛ در حالی که استاندارد ایران ریسک‌محور نیست.

۵-۲-۱- ارزیابی بازه بیشینه شتاب ثابت

در هر یک از انواع چهارگانه خاک در ۵ ایستگاه شامل ۶۰ داده نسبت شتاب طیفی طیف‌های حوزه نزدیک شهر سانفرانسیسکو به مقادیر نظیر در استاندارد ۲۸۰۰ در فواصل $\Delta T=0.1$ تهیه و یک خط افقی بر داده بدست‌آمده برازش و از آن‌جا مقدار $N_u(T)$ بدست آمد. فقط داده شهر سانفرانسیسکو که لرزه‌خیزی آن به دو شهر ایران نزدیک‌تر است، مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج حاصل از این مطالعه در این بازه برای چهار نوع خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. جدول ۶ مقادیر شتاب طیفی در بازه بیشینه شتاب بر روی چهار نوع خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقادیر ضریب اثر جهت‌داری (N_a) در بازه بیشینه شتاب (در زمان تناوب ۰/۲ ثانیه)

Table 5. The directivity effect values (N_a) in the constant (acceleration period range (at the period of 0.2s

نوع خاک			
IV	III	II	I
۱/۱۲	۱/۲۰	۱/۲۹	۱/۳۲

(سال)

برای مقایسه لرزه‌خیزی در ایران نیز دو شهر کرمان و اهواز انتخاب شده و کاتالوگ‌های این دو شهر بر اساس اطلاعات مرکز تحقیقات (BHRC) حاوی زلزله‌های با بزرگای ۵ ریشتر جمع‌آوری شده است. جدول ۴ فشرده اطلاعات و تعداد زلزله‌های ثبت‌شده بزرگتر از ۵ ریشتر و زمان نظیر آن را در دو شهر آمریکا همراه با مقادیر نظیر در دو شهر کرمان و اهواز نشان می‌دهد.

۵-۱- مقایسه لرزه‌خیزی در دو شهر آمریکا و ایران

از آن‌جایی که محور اصلی مقاله ارزیابی تبعات دو پارامتری بودن طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ عمدتاً در بازه بیشینه سرعت ثابت است و با توجه به این که جهت‌داری زلزله در این بازه تأثیرگذار است [۸]، مقایسه بین دو دسته از اطلاعات شهرهای آمریکا در ایران بر مبنای تعداد زلزله‌های بزرگتر از ۵/۹ ریشتر (که پتانسیل تولید جهت‌داری در حوزه نزدیک را دارند) با توجه به مدت زمان نظیر انجام گرفته است. اطلاعات مربوط به تعداد زلزله‌های بزرگتر از ۵/۹ ریشتر و نرخ سالیانه زلزله در دو ستون سمت راست جدول ۴ نشان داده شده است. یادآوری می‌شود که زلزله‌های زاگرسی ثبت‌شده قابل دسترسی در شهر اهواز در مدت ۵۶ سال است. به نظر می‌رسد که لرزه‌خیزی در دو شهر ایران یا شهر سانفرانسیسکو (حداقل برای زلزله‌هایی که جهت دارند) قابل مقایسه است. به طوری که ملاحظه می‌شود، شهر لوس‌آنجلس مقادیری دو برابر را نشان می‌دهد (بدون توجه به بزرگای بیشینه). نتیجه این که اطلاعات شهر سانفرانسیسکو می‌تواند برای ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد؛ در حالی که شهر لوس‌آنجلس موضوعیتی برای ارزیابی ندارد. (این مقایسه بدون در نظر گرفتن میزان زلزله با بزرگای بیشینه است). از اطلاعات لرزه‌خیزی شهر لوس‌آنجلس می‌توان برای ارزیابی کرانه فوقانی استاندارد ۲۸۰۰ استفاده کرد. سه ستون جدول ۴ اطلاعات مربوط به زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵ ریشتر و نرخ سالیانه را نشان می‌دهد که متوسط نرخ سالانه در دو شهر کرمان و اهواز ۰/۵ و نظیر آن در شهر سانفرانسیسکو ۰/۵۴ است. از اطلاعات این شهر می‌توان بازه بیشینه شتاب را نیز مورد ارزیابی قرار داد. آخرین ستون که زلزله‌ای با مقیاس جهت‌داری را نشان می‌دهد، برای ارزیابی بازه بیشینه سرعت ثابت استفاده شده است.

¹ risk targeted

جدول ۷: مقادیر ضریب اثر جهت‌داری (N_v) در بازه بیشینه سرعت (در زمان تناوب یک ثانیه)

Table 7. The directivity effect values in the maximum velocity period range at the period of one second

نوع خاک			
IV	III	II	I
۱/۰۸	۱/۲۳	۱/۳۱	۱/۴۲

جدول ۸ مقادیر شتاب‌های طیفی در این زمان‌های تناوب را نشان می‌دهد.

جدول ۶: مقایسه مقادیر حداکثر شتاب ثابت در استاندارد ۲۸۰۰ و این مطالعه روی چهار نوع خاک

Table 6. Comparison of spectral acceleration at the constant maximum acceleration from 2800 and those of this study

نوع خاک	استاندارد ۲۸۰۰ $S_a(T)$	حاصل از این مطالعه $S_a(T)$
I	۰/۸۴۵	۱/۱۶
II	۰/۸۴۵	۱/۱۳
III	۰/۹۶	۱/۱۵
IV	۰/۹۶	۱/۰۸

۵-۲-۲- ارزیابی بازه بیشینه سرعت ثابت

اثرهای جهت‌داری در استاندارد ASCE بر شتاب طیفی یک ثانیه اعمال شده است و تغییرهای شتاب طیفی از تابع α/T تبعیت می‌کند؛ به طوری که مقدار طیف گوشه (T_s) به برخورد دو پوش منحنی‌های دو بازه بیشینه شتاب و بیشینه سرعت ثابت بستگی دارد. در حالی که استاندارد ایران با اعمال این اثرها از زمان تناوب گوشه T_s و تغییرهای شتاب طیفی به صورت γ/T باقی نمی‌ماند. به علاوه، در استاندارد ASCE تغییرهای شتاب طیفی در بازه شتاب طیفی نظیر بیشینه جابجایی (حدود ۳ ثانیه به بعد) از تابع β/T^2 تبعیت می‌کند. این بازه در استاندارد ۲۸۰۰ وجود ندارد. بنابراین در این نوشتار بازه نظیر α/T تا انتهای طیف‌های طراحی همچنان ادامه داده شده است. در این بازه نسبت‌های شتاب‌های طیفی در حوزه نزدیک شهر سانفرانسیسکو در پنج ایستگاه شامل ۶۰ داده بر روی چهار نوع خاک در زمان تناوب یک ثانیه به مقادیر نظیر در استاندارد ۲۸۰۰ محاسبه و متوسط‌گیری شد $[N_v(T)]$. جدول ۷ مقادیر متوسط $N_v(T)$ را نشان می‌دهد. تغییرهای شتاب طیفی در این بازه عیناً مشابه با استاندارد ASCE با ضابطه $S_a(T) = (S_a(T=1))/T$ محاسبه و با مقادیر نظیر در زمان‌های تناوب یک، دو، سه، چهار و پنج ثانیه در دو استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت.

۵-۲-۳- مقایسه طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ با نتایج حاصل از دو پارامتر N_v و N_u

شکل‌های ۴ تا ۷، مقادیر شتاب‌های طیفی حاصل از اعمال دو پارامتر $N_v(T)$ و $N_u(T)$ بر روی طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ به منظور ارزیابی را نشان می‌دهند. به طوری که ملاحظه می‌شود، در سه نوع خاک طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ در بازه‌های از زمان تناوب مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. در حالی که روی خاک نوع چهار با مقادیر بیشتری همراه است.

۵-۲-۴- مقایسه طیف‌های دو شهر آمریکا با استاندارد ۲۸۰۰ و طیف‌های مرجع در این مطالعه

شکل‌های ۸ تا ۱۱، مقایسه مقادیر شتاب طیفی در دو شهر ایالت کالیفرنیا با استاندارد ۲۸۰۰ و مقادیر حاصل از اعمال دو پارامتر N_v و N_u را نشان می‌دهند. به طوری که مشاهده می‌شود، شتاب‌های طیفی حوزه نزدیک شهر لوس‌آنجلس در سه نوع خاک I و II و III مقادیر بیشتری از طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ را نشان می‌دهند. در حالی که در خاک نوع چهار با مقادیر کمتری نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ همراه بوده و این نکته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

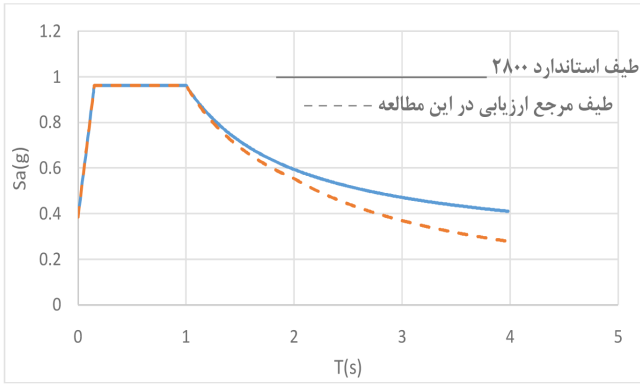
۵-۳- بحث پیرامون نتایج

چالش ضریب اثر جهت‌داری در استاندارد ۲۸۰۰ $[N(T)]$ از دو منظر

جدول ۸: مقایسه بیشینه سرعت ثابت ۲۸۰۰ و مقدار پیشنهادی این مطالعه

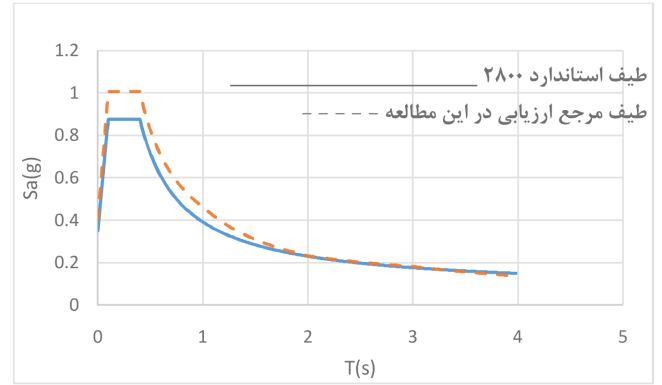
Table 8. Comparison of spectral acceleration at maximum velocity period range from 2800 and those of this study

نوع خاک	دوره تناوب ۱ ثانیه		دوره تناوب ۲ ثانیه		دوره تناوب ۳ ثانیه		دوره تناوب ۴ ثانیه		دوره تناوب ۵ ثانیه	
	این مطالعه	۲۸۰۰	این مطالعه	۲۸۰۰	این مطالعه	۲۸۰۰	این مطالعه	۲۸۰۰	این مطالعه	۲۸۰۰
I	۰/۵	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۲
II	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۵
III	۸۲/۰	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۲۲
IV	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۴۱	۰/۲۰	۰/۳۲



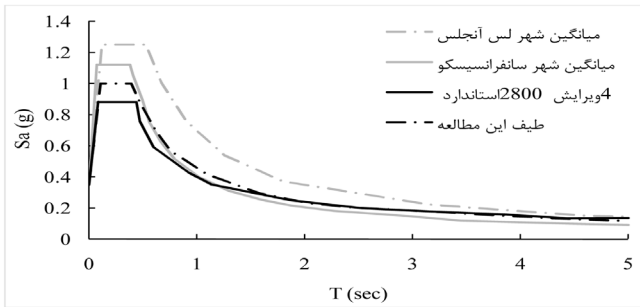
شکل ۷: مقایسه طیف‌های ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با طیف مرجع این مطالعه برای خاک نوع چهارم

Fig. 7. Comparison presentation of the fourth 2800 version and that of this study on the site soil type IV



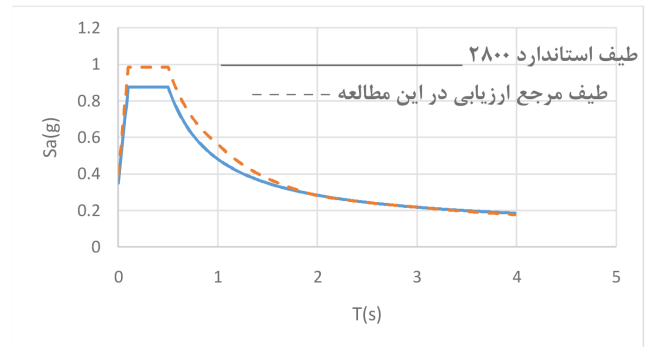
شکل ۴: مقایسه طیف‌های ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با طیف مرجع این مطالعه برای خاک نوع یک

Fig. 4. Comparison presentation of the fourth 2800 version and that of this study on the site soil type I



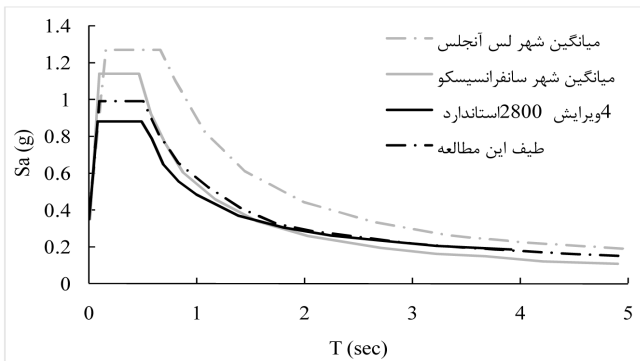
شکل ۸: مقایسه طیف‌های حوزه نزدیک در دو شهر آمریکا با استاندارد

۲۸۰۰ و طیف مرجع ارزیابی در این مطالعه روی خاک نوع یک
Fig. 8. Comparison presentation of near field seismic design response spectra at the two cities in USA and those of this study on site soil type I



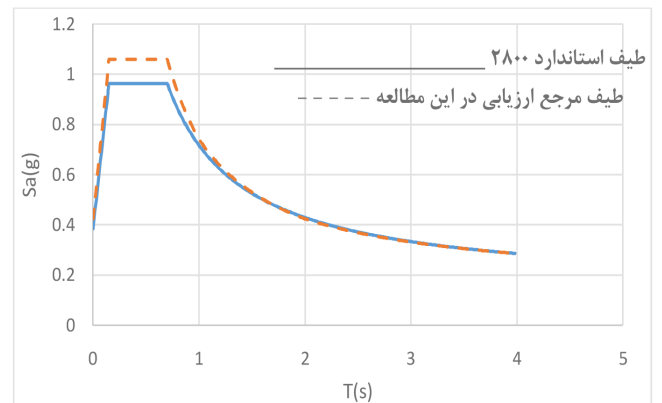
شکل ۵: مقایسه طیف‌های ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با طیف مرجع این مطالعه برای خاک نوع دو

Fig. 5. Comparison presentation of the fourth 2800 version and that of this study on the site soil type II



شکل ۹: مقایسه طیف‌های حوزه نزدیک در دو شهر آمریکا با استاندارد

۲۸۰۰ و طیف مرجع ارزیابی در این مطالعه روی خاک نوع دو
Fig. 9. Comparison presentation of near field seismic design response spectra at the two cities in USA and those of this study on site soil type II



شکل ۶: مقایسه طیف‌های ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ با طیف مرجع این مطالعه برای خاک نوع سه

Fig. 6. Comparison presentation of the fourth 2800 version and that of this study on the site soil type III

مقدار متناسب با T^{-1} باید برابر با 0.7 تقسیم بر 2 یعنی 0.35 باشد. در حالی که با اعمال اثر $N(T=2)$ معادل با 0.44 است (با اختلاف ۲۶ درصد).

(ب) ثابت بودن مقادیر دوره تناوب گوشه

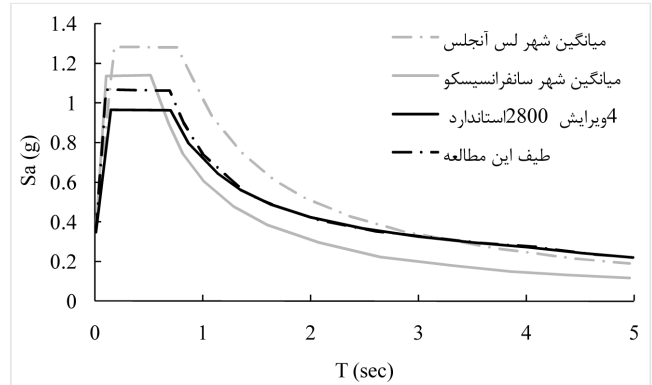
به دلیل یکپارچه بودن شکل طیفی استاندارد ۲۸۰۰ بخش مقدار شتاب طیفی بیشینه شتاب ثابت همچنین مقدار دوره‌های تناوب گوشه الزاماً از فاصله نزدیک تبعیت نمی‌کند. جزئیات این موضوع در مرجع [۱۴] آورده شده است. نتیجه آن که اثرهای جهت‌داری الزاماً از T_s شروع می‌شود (مثلاً خاک نوع چهار از یک ثانیه) در صورتی که اثرهای جهت‌داری باید از دوره تناوب 0.5 تا 0.6 ثانیه را شروع شود.

۶- فشرده و نتیجه‌گیری

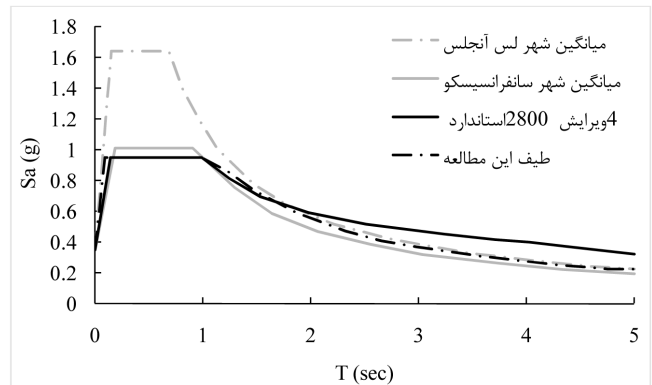
شکل دو پارامتری $A \times B(T)$ طیف‌های ایران از ویرایش اول تا ویرایش چهارم همچنان باقی‌مانده است. در حالی که با پیشرفت چشمگیر لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله مقوله طیف طراحی تغییرهای اساسی کرده است. هرچند که طیف‌های طراحی در ویرایش‌های مختلف با تغییرهای جزئی همراه بوده (به عنوان نمونه تغییر مقدار شتاب ثابت از 2 به $2/5$ و یا توان تغییرهای طیف در بازه سرعت از دو سوم در ویرایش ۳ به 1 در ویرایش چهارم)، اما یکپارچه‌ماندن شکل طیفی $[B(T)]$ با اطلاعات امروزه با الزام‌های بازه‌های مختلف طیف استاندارد همخوانی ندارد. در این نوشتار، به چندین چالش موجود در طیف‌های ایران شامل همبسته بودن بازه‌های بیشینه شتاب ثابت و شتاب طیفی با بیشینه سرعت ثابت، وابسته بودن زمان تناوب گوشه به نوع خاک و قدرت زلزله و ثابت بودن آن، لزوم ارتباط مستقیم شکل طیفی به فرآیند تحلیل خطر با تمرکز بر روی ضریب تأثیر جهت‌داری $[N(T)]$ پرداخته شده است.

اگر دو پارامتری بودن طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ به استناد مشابهت با دوبخشی‌ماندن طیف نیوزلند، استاندارد NZS-1170.5 [۱۸] مطرح باشد، در مقاله‌ای توسط نویسنده به تفصیل به تفاوت‌های اساسی دو استاندارد پرداخته شده است [۱۵] و اگر ضریب تأثیر جهت‌داری موجود $N(T)$ به استاندارد UBC_1997 ارجاع داده شود، امروزه این بحث با سال‌های قبل از ۲۰۰۰ تفاوت چشمگیری دارد (حداقل فاصله حوزه نزدیک که قبلاً حداکثر ۵ کیلومتر بود، در حالی که امروزه بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر است).

ماحصل این نوشتار با برشمردن چالش‌های موجود به شرح زیر است:
- تا قبل از به‌روز کردن طیف‌های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ که نیاز به مطالعه وسیع دارد، با استفاده از داده شهرهایی در دنیا که در آن‌ها ثبت زلزله به خوبی انجام شده است، نسبت به اصلاح نسبی طیف‌ها اقدام شود. مقایسه داده شهر سانفرانسیسکو نشان می‌دهد که اولاً مقدار بازه بیشینه شتاب ثابت در حوزه نزدیک باید افزایش یابد و ثانیاً در بازه شتاب طیفی با بیشینه سرعت ثابت ضابطه تناسب شتاب طیفی پس از اعمال اثر جهت‌داری



شکل ۱۰: مقایسه طیف‌های حوزه نزدیک در دو شهر آمریکا با استاندارد ۲۸۰۰ و طیف مرجع ارزیابی در ایمن مطالعه روی خاک نوع سه
Fig. 10. Comparison presentation of near field seismic design response spectra at the two cities in USA and those of this study on site soil type III



شکل ۱۱: مقایسه طیف‌های حوزه نزدیک در دو شهر آمریکا با استاندارد ۲۸۰۰ و طیف مرجع ارزیابی در ایمن مطالعه روی خاک نوع چهار
Fig. 11. Comparison presentation of near field seismic design response spectra at the two cities in USA and those of this study on site soil type IV

قابل نقد بوده و هر دو مورد ناشی از یک‌پارچه بودن دو بازه بیشینه شتاب و بیشینه سرعت است $(A \times B)$.

(الف) تغییرهای شتاب طیفی در بازه بیشینه سرعت ثابت استاندارد ASCE تغییرهای این بازه را با اعمال اثرهای جهت‌داری در حوزه نزدیک همچنان متناسب با T^{-1} به صورت $S_a(T) = (S_a(T=1))/T$ ارائه کرده است. در حالی که علی‌رغم این که تغییرهای شتاب طیفی در بازه بیشینه سرعت ثابت استاندارد ۲۸۰۰ متناسب با T^{-1} است. پس از اعمال ضریب جهت‌داری $N(T)$ از این ضابطه خارج می‌شود. جدول ۸ این اختلاف را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه در خاک نوع III در زمان تناوب ۲ ثانیه

6th National Conference on Earthquake Engineering, Consultant Eng. Wiss, Janny, Elsner A Association, 2015.

- [8] P. G., Somerville et al., Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity, *Seismological Research Letters*, Vol. 68, No. 1, pp. 199-222, 1997.
- [9] ASCE/SEI-2005 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Published by American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, Virginia 20191, www.pubs.asce.org
- [10] D. M., Boore, J. Watson-Lamprey, N. A., Abrahamson, Orientation-Independent Measures of Ground Motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 4A, pp. 1502-1511, 2006.
- [11] D. M., Boore, Short Note Orientation-Independent, Nongeometric-Mean Measures of Seismic Intensity from Two Horizontal Components of Motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, No. 4, pp. 1830-1835, 2010.
- [12] A., Nicknam, E., Youssefi; Modification of Design Response Spectra in Iranian Standard 2800 (4th Version) Taking into Account the Directivity Effects, *Amirkabir Journal of Science and Research (Civil and Environmental engineering)*, Vol. 46, No. 2, pp. 57-59, 2014. (In Persian)
- [13] A., Nicknam, E., Youssefi; Modification of Iran 2800 Standard for Near-source Sites by Use of NZS 1170.5 (Comparison of Base Shear with other Standards), *Journal of ASAS*, Vol. 36, 2013. (In Persian)
- [14] NZS1170. 5; Structural Design Actions, Part 5: Earthquake Actions, 2004.
- [15] A., Nicknam, E., Youssefi, A., Mazarei; Iran Seismic Design Loads Code Assessment through Comparing with those of NZS 1170.5 and Criticizing its Approach to Account for the Directivity Effects at Near Source Sites. *Amirkabir Journal of Science and Research (Civil and Environmental Engineering)*, In Press. (In Persian)
- [16] A., Nicknam, A., Mazarei, M., Ganjvar; Assessment of Iran Seismic Design Response Spectra (Standard No. 2800) Regarding Site-distance Effects Particularly at Near Fault Sites, *Amirkabir Journal of Science and Research (Civil and Environmental Engineering)*, In Press. (In Persian)
- [17] J., Shoja-Taheri, B. A., Bolt, A Generalized Strong-Motion Accelerogram Based on Spectral Maximization from Two Horizontal Components, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 67, pp. 863-876, 1977.

$(N(T))$ متناسب با T^{-1} در طیف رعایت شود.

- هزینه‌های بسیار بالایی که در ساخت و ساز ساختمان‌ها در سرتاسر ایران در دست انجام است، ایجاب می‌کند که طیف‌های طراحی از ملزوم‌های طیف طراحی استاندارد بین‌المللی تبعیت نماید و به طور فشرده باید حاوی نکات زیر باشد:

- شتاب‌های طیفی طراحی مستقیماً به صورت شتاب طیفی $S_a(T)$ ارائه شود.
- در هر دو بازه بیشینه شتاب ثابت و شتاب طیفی با بیشینه سرعت ثابت با تغییرهای فاصله تغییر کند.
- میزان شتاب طیفی در هر منطقه، با خطوط هم‌شدت زلزله ارائه شود.
- اثرهای حوزه نزدیک بر روی شتاب‌های طیفی در هر منطقه متناسب با لرزه‌خیزی پیش‌بینی شود.
- برای مناطق با اهمیت زیاد (نظیر عسلویه) با توجه به بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر، طیف‌های طراحی روش ریسک محور ارائه شود.

مراجع

- [1] A., Nicknam; Y., Eslamian; A Hybrid Method for Simulating Near-source, Broadband Seismograms: Application to the 2003 Bam Earthquake (M_w 6.5), *Tectonophysics*, Vol. 487, No. 1, pp. 46-58, 2010.
- [2] A., Nicknam et al.; Modification of Seismological Parameters of Zarand Earthquake (2005 February 22), in Central Iran, *Using Empirical Green's Function Method*, 2007.
- [3] A., Nicknam et al.; Reproducing Fling-step and Forward Directivity at Near Source Site Using of Multi-objective Particle Swarm Optimization and Multi Taper, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 12, No. 4, pp. 529-540, 2013.
- [4] E., Kalkan; S. K., Kunnath; Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings, *Earthquake Spectra*, Vol. 22, No. 2, pp. 367-390, 2006.
- [5] C., Kou-Cheng et al.; An Observation of Rupture Pulses of the 20 September 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake from Near-field Seismograms, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 91, No. 5, pp. 1247-1254, 2001.
- [6] S., Hartzell et al.; Calculation of Broadband Time Histories of Ground Motion: Comparison of Methods and Validation Using Strong-ground Motion from the 1994 Northridge Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 89, No. 6, pp. 1484-1504, 1999.
- [7] M. R., Attalla; T. F., Paret; S. A., Freeman; Near Source Behavior of Buildings under Pulse-type Earthquakes,

Engineering, Vol. 137, No. 3, pp. 322-331, 2011.

[18] J. W., Baker, Conditional Mean Spectrum: Tool for Ground Motion Selection, *Journal of Structural*

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A., Nicknam, "Consequences of the Recently Modification of Iran Seismic Design Code (No. 2800) (Due to $A*B$ Form) and Proposing Forward Directivity Effects Coefficients (N_d and N_v)". *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(1) (2017) 197-208.

DOI: 10.22060/ceej.2016.680

