

استفاده از طیف شتاب زلزله برای محاسبه نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای

رضا کرمی محمدی^{۱*}، محمد محمدی^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

rkarami@kntu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۲۷

چکیده - در این تحقیق، محاسبه شتاب وارد بر اجزای غیرسازه‌ای واقع بر طبقات سازه‌های قاب خمشی و مهاربندی شده هم-محور و برون‌محور تحت اثر زلزله بررسی شود. برای بررسی این موضوع از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی قاب‌های فولادی ۵، ۳ و ۷ طبقه با پیوندها و ضرایب کاهش مقاومت مختلف تحت اثر رکوردهای حوزه دور و نزدیک استفاده شده است. برای انجام مطالعات پارامتری از مدل برشی اصلاح شده قاب‌های فلزی استفاده شده که تحقیقات قبلی میزان صحت نتایج حاصل از آن را در حد قابل قبول به اثبات رسانده است. در آیین‌نامه‌های معتبر ساختمانی معمولاً روابطی که برای محاسبه نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای ارائه می‌شود، به صورت ضریبی از بیشینه شتاب زمین بیان می‌شود. نتایج این تحقیق به ارائه روشی منجر شده است که طبق آن شتاب وارد بر عناصر غیرسازه‌ای براساس طیف شتاب زمین محاسبه می‌شود. به این ترتیب اثر محتوای فرکانسی زلزله طرح نیز در محاسبه شتاب لحاظ خواهد شد. همچنین اثر عوامل مختلف بر شتاب وارد بر طبقات سازه از جمله اثر زلزله‌های حوزه نزدیک و سیستم‌های سازه‌ای مختلف بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی - اجزای غیرسازه‌ای، مدل ساختمان برشی، زلزله حوزه نزدیک، طیف پاسخ طبقه، طیف زلزله

۱- مقدمه

به شتاب، تقسیم می‌کنند. بسیاری از عناصر غیرسازه‌ای هم نسبت به تغییرشکل سازه و هم شتاب وارده حساس می‌باشند. اگر تغییر شکل سازه اصلی (مثل تغییر مکان نسبی طبقات) کنترل‌کننده عملکرد عنصر غیرسازه‌ای باشد، آن عنصر، حساس به تغییر مکان تلقی می‌شود. چنان‌که این عنصر در برابر تغییر شکل سازه آسیب پذیر نباشد، مثل یک دستگاه مکانیکی که به کف سازه مهار شده است، عنصر حساس به شتاب تلقی می‌گردد. اینگونه عناصر چنانچه

در بیش‌تر موارد، درصد بالایی از هزینه‌های ساختمان را هزینه‌های مربوط به اجزای غیرسازه‌ای تشکیل می‌دهد. تخریب این اجزا در زلزله ممکن است سبب اختلال در کاربری ساختمان شده و حتی برای ایمنی ساکنان آن نیز مخاطراتی ایجاد نماید. زلزله‌های گذشته آسیب‌پذیری شدید اجزای غیرسازه‌ای را نشان داده‌اند. معمولاً اجزای غیرسازه‌ای را به دو گروه حساس به تغییر مکان و حساس

مه‌ار کافی نداشته باشند، نسبت به لغزش یا واژگونی آسیب پذیر خواهند بود [۱]. الزامات آیین‌نامه‌های ساختمانی عموماً برای تعیین نیروهای طراحی لازم برای جلوگیری از لغزش، واژگونی و یا تخریب عناصر غیرسازه‌ای حساس به شتاب واقع در طبقات سازه اصلی است [۲-۵].

بیش‌تر آیین‌نامه‌ها، از روش‌های نیروی جانبی معادل برای تعیین نیروی وارد بر عناصر غیرسازه‌ای استفاده می‌کنند. در این روش‌ها، عنصر مربوطه برای تحمل نیروی لرزه‌ای معین که به صورت کسری از وزن آن است، طراحی می‌شود. مقدار نیروی مزبور به عواملی نظیر موارد زیر بستگی دارد: وزن عنصر غیرسازه‌ای، سختی این عنصر و یا تکیه‌گاه آن، شتاب ورودی در نقطه اتصال آن به سازه اصلی، ضریب اهمیتی که به ملاحظات کاربری یا مخاطرات ناشی از تخریب آن بستگی دارد و نیز شکل پذیری، قیود اضافی و قابلیت جذب انرژی سازه، عنصر غیرسازه‌ای و اتصالات آن به سازه [۵-۱۳].

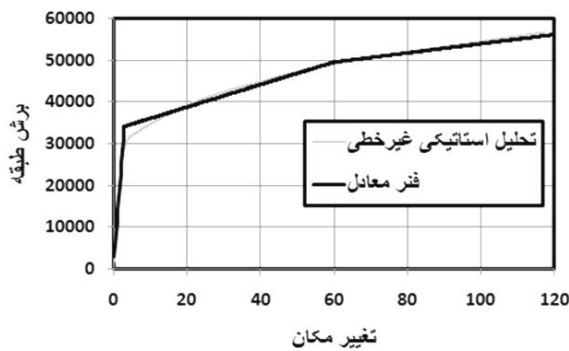
محققان برای محاسبه پاسخ اعضای غیرسازه‌ای از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش ترکیبی و روش طیف پاسخ اشاره کرد. در روش ترکیبی تحلیل سازه اصلی و اجزای غیرسازه‌ای با مدل‌سازی هم‌زمان آن‌ها صورت می‌گیرد [۱۴، ۱۵]. در صورتی که وزن عضو غیرسازه‌ای از ۱۰٪ وزن کل سازه و ۲۰٪ وزن طبقه کم‌تر باشد می‌توان از اثر عضو غیرسازه‌ای بر سازه صرف‌نظر کرد [۱۴]. در این صورت می‌توان به جای روش ترکیبی از روش‌های ساده‌تری استفاده کرد [۹، ۱۶]. صرف‌نظر کردن از اثر متقابل عضو غیرسازه‌ای بر سازه در این موارد به نتایج محافظ‌کارانه منجر می‌شود [۱۷].

روش ساده‌تر در تحلیل پاسخ اعضای غیرسازه‌ای، استفاده از طیف پاسخ طبقه است [۵-۷، ۱۰-۱۳، ۱۸، ۱۹]. در این روش ابتدا رفتار سازه اصلی در نقطه یا نقاط اتصال

عضو غیرسازه‌ای با صرف‌نظر از اندرکنش آن‌ها تعیین می‌شود. سپس این پاسخ به عنوان ورودی برای تحلیل عضو غیرسازه‌ای استفاده می‌شود. در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی از این روش برای تعیین نیروی طراحی اعضای غیرسازه‌ای استفاده شده است [۲، ۶-۹، ۲۰].

از جمله کارهای تحقیقی در زمینه محاسبه شتاب وارد بر طبقات، تحقیقات تقوی و میراندا [۲۱، ۲۲] می‌باشد که در آن روابطی برای تخمین ماکزیمم شتاب طبقه سازه‌های چند درجه آزادی ارائه شده است. البته روابط ارائه شده در آن تحقیق بسیار پیچیده و کاربرد آن دشوار است. یکی دیگر از تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، تحقیق مدینا و همکاران [۷] است. در این تحقیق با مطالعه قاب‌های خمشی ۳، ۶، ۹ و ۱۸ طبقه تحت ۴۰ رکورد حوزه دور اثر پی‌ریود سازه اصلی، مکان عضو در سازه، ارتفاع سازه اولیه، توزیع سختی سازه، مقاومت سازه اولیه و نسبت میرایی عضو غیرسازه‌ای بر پاسخ آن‌ها بررسی شده است. همچنین اورویزا و همکاران [۶] نیز با در نظر گرفتن عضو غیرسازه‌ای به صورت یک عنصر یک درجه آزادی که به سازه اصلی (یک درجه آزادی) متصل است، مطالعات پارامتری را در خصوص پاسخ اعضای غیرسازه‌ای برای پی‌ریودهای مختلف سازه و عضو غیرسازه‌ای با اعمال ۱۶۴ رکورد زلزله ثبت شده در مرکز داده‌های حرکت قوی اروپا انجام دادند. در تحقیقات ایشان، اثر رفتار غیرخطی سازه بر شتاب وارد بر عناصر غیرسازه‌ای با در نظر گرفتن ضرایب کاهش مقاومت و مدل‌های هیسترتیک مختلف بررسی شد. ویلاورده و چادهیری [۲۳] نیز اثر رفتار غیرخطی سازه را بر اجزای غیرسازه‌ای غیرخطی بررسی و علاوه بر آن اثر پارامترهایی نظیر سختی سازه، تشدید، ارتفاع محل نصب عضو غیرسازه‌ای و میرایی آن را بر پاسخ شتاب بررسی نمودند.

برشی اختصاص داده شده است.



شکل (۱) منحنی نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقه اول قاب خمشی ۵ طبقه

با ثابت نگه داشتن نسبت سختی و مقاومت طبقات نسبت به یکدیگر و نیز ثابت نگه داشتن نسبت سختی ها و مقاومت - های نواحی سه گانه منحنی های سه خطی رفتار طبقات (شکل ۱)، سختی اولیه سازه ها به گونه ای تغییر داده شده که هر قاب با ۸ پریرود مختلف (۰/۲۵، ۰/۳۳، ۰/۵۰، ۰/۶۷، ۱/۰۰، ۱/۳۳، ۲/۰۰ و ۴/۰۰ ثانیه) مدل سازی شود. به این ترتیب مدل ساختمان برشی هر یک از قاب های ۳، ۵ و ۷ طبقه خمشی، مهاربند هم محور و برون محور با ۸ پریرود مختلف و در مجموع ۷۲ مدل تولید شد. این قاب ها تحت اثر ۱۵ رکورد زلزله حوزه دور و ۱۵ رکورد حوزه نزدیک با بزرگی بیش از ۶/۵ و ثبت شده روی خاک نوع ۲ (براساس تقسیم بندی استاندارد ۲۸۰۰) قرار گرفته اند. زلزله های حوزه دور با فاصله بیش از ۱۳ کیلومتر و زلزله های حوزه نزدیک با فواصل کم تر از ۱۰ کیلومتر از محل گسل ثبت شده اند.

لازم به توضیح است انتخاب پریرودهای ۰/۲۵ تا ۴/۰۰ ثانیه برای انواع قاب ها در انجام مطالعات پارامتری در بازه ای وسیع از پریرودها است و ممکن است چنین پریرودهایی در قاب های واقعی قابل حصول نباشد.

برای انجام تحلیل های تاریخیچه زمانی غیرخطی و ثبت تاریخیچه زمانی شتاب مطلق طبقات این قاب ها از نرم افزار

آنچه تاکنون در کارهای بسیاری از محققان و نیز در ضوابط آیین نامه های ساختمانی برای تعیین شتاب و نیروی وارد بر طبقات و عناصر غیرسازه ای در نظر گرفته شده است، استفاده از بیشینه شتاب زمین برای تعیین شتاب ورودی به طبقات بوده است. در تحقیق حاضر، با توجه به اثر پریرود سازه اصلی در تغییر شتاب ورودی زلزله به سازه و در نتیجه تغییر شتاب وارد بر طبقات سازه و عناصر غیرسازه ای واقع در این طبقات، از طیف شتاب زلزله ورودی برای تعیین شتاب وارد بر این عناصر استفاده شده است. در نهایت ضمن ارائه روابطی برای تعیین شتاب وارد بر عناصر غیرسازه ای بر اساس طیف شتاب زلزله، نیروهای حاصل از این روش با نیروهای حاصل از روش های آیین - نامه ای مقایسه و مزایای کاربرد این روش بیان شده است.

۲- روش انجام تحقیق

در این مطالعه سازه های ۳، ۵ و ۷ طبقه قاب خمشی، مهاربند هم محور و مهاربند برون محور که براساس استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری شده، مطالعه شده است. ارتفاع طبقات این قاب ها ۳ متر و طول دهانه آن ها ۵ متر می باشد (به جز قاب ۳ طبقه مهاربند هم محور که طول دهانه آن ۴ متر است). برای انجام مطالعات پارامتری بر روی این قاب ها از مدل ساختمان برشی آن ها استفاده می شود. در این مدل، هر طبقه به صورت یک جرم و فنر مدل شده که رفتار نیرو - تغییر مکان فنر آن مشابه رفتار نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقه مربوطه لحاظ شده است. برای تعیین رفتار نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقات قاب ها از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. پس از تعیین منحنی نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقه، این منحنی به صورت سه خطی مدل سازی شده است (شکل ۱). سپس رفتار سه خطی هر طبقه به فنر متناظر آن در مدل قاب

فرکانسی زلزله ورودی، که یکی از عوامل تأثیرگذار بر پاسخ‌ها است نیز مستقیماً در محاسبه شتاب وارد بر عناصر غیرسازه‌ای لحاظ خواهد شد. برای این منظور پارامتر «ضریب افزایش طیفی^۴»، η ، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{FRS}{GRS} \quad (2)$$

چنانچه رفتار سازه اصلی محدود به رفتار ارتجاعی خطی باشد، از محاسبه نسبت فوق پارامتر «ضریب افزایش طیفی ارتجاعی»، η_e ، و چنانچه رفتار سازه اصلی غیرارتجاعی باشد، پارامتر «ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی»، η_p ، به دست خواهد آمد. پس از محاسبه این ضرایب که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت، شتاب وارد بر عنصر غیرسازه‌ای واقع بر سازه‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی از روابط زیر براساس طیف شتاب زمین محاسبه می‌شوند:

$$FRS_e = \eta_e \cdot GRS \quad (3)$$

$$FRS_p = \eta_p \cdot GRS \quad (4)$$

در ادامه اثر عوامل مختلف بر ضرایب افزایش شدت طیفی ارتجاعی و غیرارتجاعی بررسی خواهد شد.

۴- ضریب افزایش طیفی ارتجاعی، η_e

در شکل ۲ نمونه‌ای از متوسط ضریب افزایش طیفی ارتجاعی در طبقه دوم سازه قاب خمشی ۷ طبقه ارتجاعی با پریود ۱/۰۰ ثانیه تحت اثر ۱۵ زلزله حوزه دور نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار این ضریب مربوط به زمانی است که پریود عضو غیرسازه‌ای با پریود مود اول سازه اصلی برابر می‌شود. همچنین اثر موده‌های بالاتر نیز در این شکل قابل مشاهده است.

OpenSees استفاده شده است. در همه تحلیل‌ها، رکوردهای مورد استفاده به شتاب طیفی استاندارد ۲۸۰۰ در پریود قاب مورد تحلیل همپایه شده‌اند. همچنین در تمامی تحلیل‌ها میرایی قاب‌ها و اجزای غیرسازه‌ای ۵٪ فرض شده است.

۳- چهارچوب پیشنهادی برای محاسبه شتاب وارد بر اجزای غیرسازه‌ای

چنان‌که روشن است بیشینه شتاب وارد بر عناصر غیرسازه‌ای واقع بر سازه اصلی علاوه بر وابستگی به عوامل گوناگون دیگر، به پریود این عناصر نیز بستگی دارد. بنابراین، بهترین ابزار برای در نظر گرفتن این اثر، محاسبه بیشینه شتاب با استفاده از طیف شتاب طبقه (FRS^۱) است. در حال حاضر، آیین‌نامه‌های ساختمانی مختلف برای محاسبه طیف شتاب طبقه از بیشینه شتاب زمین (PGA^۲) استفاده می‌کنند. به عنوان نمونه، آیین‌نامه 8 Eurocode رابطه زیر را برای محاسبه طیف شتاب طبقه سازه ارتجاعی (FRS_e) ارائه داده است:

$$FRS_e = PGA \cdot \left[\frac{3 \left(1 + \frac{Z}{H} \right)}{1 + \left(1 - \frac{T_s}{T_p} \right)^2} - 0.5 \right] \quad (1)$$

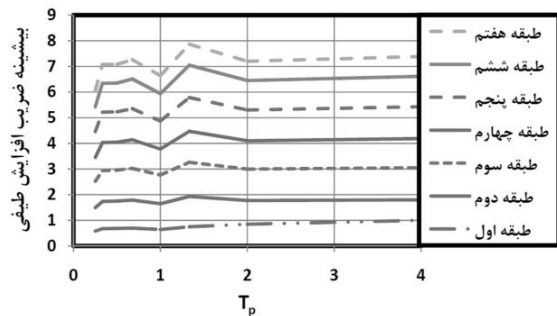
که در آن ارتفاع محل قرارگیری عنصر غیرسازه‌ای در سازه، H ارتفاع سازه، T_s پریود عضو غیرسازه‌ای و T_p پریود سازه اصلی است.

از آنجا که محاسبه طیف شتاب طبقه بر اساس بیشینه شتاب زمین قادر به لحاظ نمودن محتوای فرکانسی زلزله ورودی نمی‌باشد، در این تحقیق پیشنهاد شده است تا برای محاسبه طیف شتاب طبقه از طیف شتاب ارتجاعی زلزله ورودی (GRS^۳) استفاده شود. به این ترتیب، اثر محتوای

1- Floor Response Spectrum
2- Peak Ground Acceleration
3- Ground Response Spectrum

4- Spectral Amplification Factor

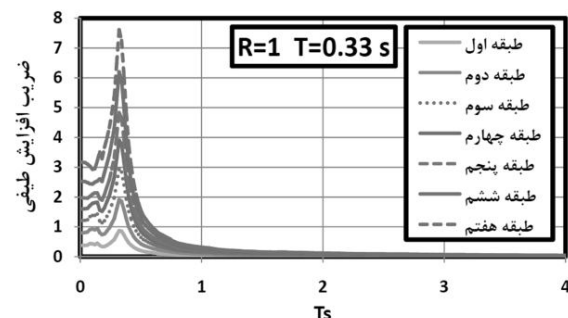
ارتجاعی نسبت به پریود سازه کم بوده و لذا در صورتی که این ضریب برای نسبت T_s/T_p رسم شده باشد، می‌توان از اثر جداگانه پریود سازه (T_p) بر این ضریب صرف‌نظر کرد.



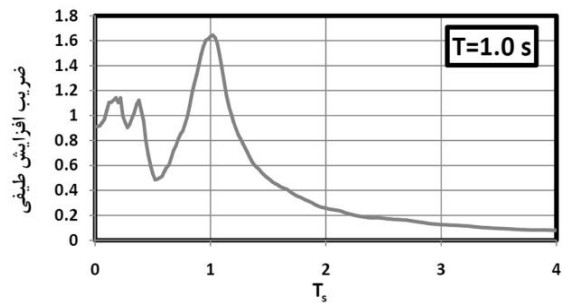
شکل (۴) مقادیر بیشینه ضریب افزایش طیفی طبقات سازه ۷ طبقه قاب خمشی الاستیک در مقابل پریود سازه اصلی

۵- اثر محل قرارگیری عضو غیرسازه‌ای در ارتفاع سازه

شکل ۵ نشانگر میانگین ضریب افزایش طیفی ارتجاعی طبقات قاب‌های مهاربندی شده برون‌محور ۷ طبقه ارتجاعی با پریود 0.33 ثانیه تحت اثر ۱۵ رکورد حوزه دور برای مقادیر T_s مختلف است. چنان‌که ملاحظه می‌شود هر چه ارتفاع محل قرارگیری عضو از زمین افزایش می‌یابد، مقدار ضریب افزایش طیفی ارتجاعی نیز بیش‌تر می‌شود. در پریودهای بالا، مقادیر این ضریب تقریباً یکسان شده و نهایتاً به سمت صفر میل می‌کند.

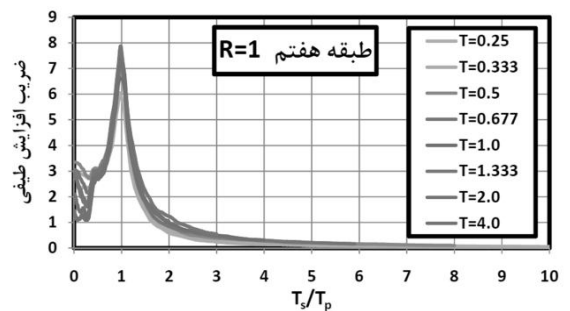


شکل (۵) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات سازه ۷ طبقه قاب مهاربندی برون‌محور الاستیک با پریود 0.33 ثانیه



شکل (۶) ضریب افزایش طیفی طبقه دوم قاب الاستیک ۷ طبقه خمشی با پریود $1/0.0$ ثانیه ناشی از ۱۵ رکورد حوزه دور

در شکل ۳ مقادیر میانگین ضریب افزایش طیفی ارتجاعی طبقه هفتم قاب‌های خمشی ۷ طبقه با ۸ پریود مختلف تحت اثر ۱۵ رکورد حوزه دور براساس نسبت پریود عضو غیرسازه‌ای به پریود سازه (T_s/T_p) نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که مقادیر ضریب افزایش طیفی ارتجاعی برای قاب‌ها با پریودهای مختلف، اختلاف کمی با هم داشته و همانطور که انتظار می‌رود بیش‌ترین ضرایب در زمانی تولید می‌شوند که عضو غیرسازه‌ای با مود اول سازه هماهنگ شود. بیش‌ترین اختلاف این ضرایب در نسبت‌های T_s/T_p بسیار کم (نزدیک صفر) به وجود می‌آید.



شکل (۳) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقه هفتم سازه ۷ طبقه خمشی الاستیک با ۸ پریود مختلف تحت اثر رکوردهای حوزه دور

برای ملاحظه اثر پریود سازه بر بیشینه ضریب افزایش طیفی ارتجاعی (متناظر با $T_s/T_p=1.0$)، شکل (۴) برای تمام طبقات سازه قبلی رسم شده است. این شکل نشانگر آن است که به طور کلی دامنه تغییرات بیشینه ضریب افزایش طیفی

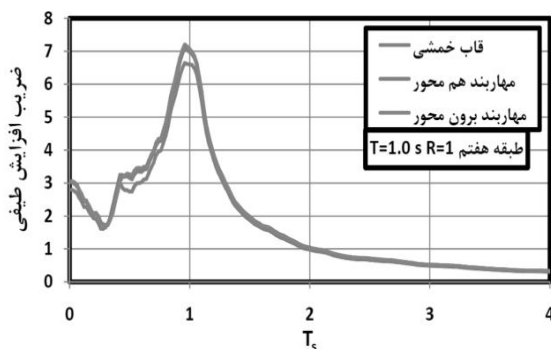
روند تغییرات ضریب افزایش در طبقات، تقریباً به صورت خطی بوده و اختلاف در طبقات بالاتر است. با توجه به این شکل در اینجا برای ملاحظه اثر ارتفاع بر این ضریب، رابطه (۵) ارائه می‌گردد. شکل ۷ نشانگر مقادیر حاصل از این رابطه است.

همانطور که ملاحظه می‌شود تعداد طبقات (تا ۷ طبقه) اثر مهمی بر این ضریب نخواهد داشت و رابطه (۵) تخمین خوبی از تغییرات بیشینه η_e در طبقات خواهد بود.

$$\eta_{max} = 1 + 7 \times (Z/H) \quad (5)$$

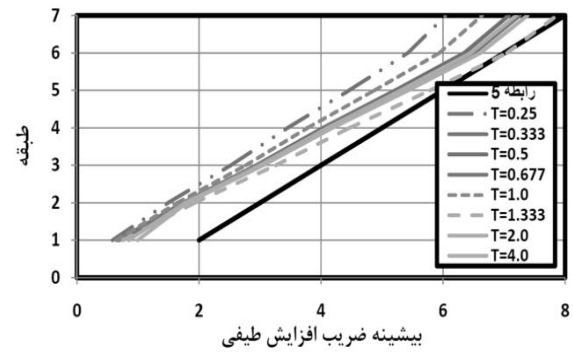
۵-۲- اثر نوع سیستم مقاوم جانبی

نوع سیستم سازه‌ای می‌تواند در نحوه توزیع سختی و مقاومت طبقات مؤثر باشد؛ و لذا مقدار شتاب وارد بر طبقات انواع سازه‌ها می‌تواند با هم متفاوت باشد. در شکل ۸ مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقه هفتم سازه قاب خمشی ارتجاعی با پریود ۱/۰ ثانیه در کنار همان سازه با دو سیستم مقاوم جانبی قاب مهاربندی هم‌محور و قاب مهاربندی برون‌محور آورده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود اثر نوع سیستم سازه‌ای در مقدار ضریب افزایش چندان قابل توجه نیست و لذا قابل صرف‌نظر می‌باشد.



شکل (۸) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقه هفتم سازه ۷ طبقه الاستیک با پریود ۱/۰ ثانیه و سه سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی، مهاربندی هم‌محور و قاب مهاربندی برون‌محور

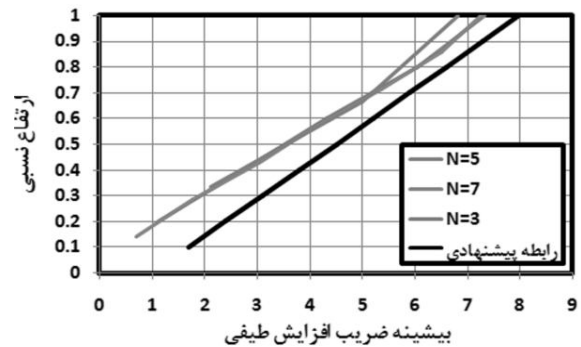
منحنی‌های مشابه شکل ۵ برای قاب‌ها با پریودهای دیگر نیز رسم شده و برای نشان دادن اثر پریود سازه بر بیشینه ضریب افزایش طیفی ارتجاعی، شکل ۶ رسم شده است. در این شکل بیش‌ترین مقدار ضریب افزایش به قاب با پریود ۱/۳۳ ثانیه و کم‌ترین مقدار آن مربوط به قاب با پریود ۰/۲۵ ثانیه مربوط است. هر چه ارتفاع محل قرارگیری عضو غیرسازه‌ای در سازه افزایش می‌یابد، مقدار ضریب افزایش نیز بیشتر می‌شود.



شکل (۶) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات سازه ۷ طبقه قاب خمشی الاستیک با ۸ پریود مختلف

۵-۱- اثر تعداد طبقات

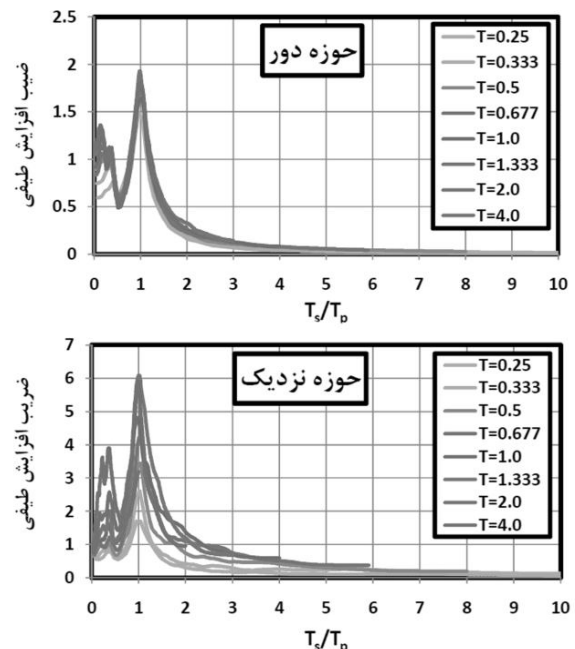
برای مطالعه اثر تعداد طبقات بر ضریب افزایش طیفی ارتجاعی، مقادیر بیشینه این ضریب برای قاب‌های خمشی ارتجاعی ۳، ۵ و ۷ طبقه با پریود ۰/۶۷۷ ثانیه در شکل (۷) آورده شده است.



شکل (۷) مقادیر بیشینه ضریب افزایش طیفی طبقات سازه‌های خمشی ۳، ۵ و ۷ طبقه الاستیک با پریود ۰/۶۷۷ ثانیه در برابر ارتفاع نسبی طبقه

۵-۳- اثر فاصله سازه تا محل گسل

در شکل ۹ ضریب افزایش طیفی ارتجاعی حاصل از اعمال رکورد زلزله‌های حوزه نزدیک و دور در طبقه هفتم قاب‌های خمشی ارتجاعی ۷ طبقه با ۸ پرپود مختلف نشان داده شده است. رکوردهای حوزه نزدیک بدون تغییر محل وقوع بیشینه ضرایب افزایش ($T_s/T_p=1.0$)، اثر خود را با افزایش مقدار ماکزیمم ضریب افزایش طیفی نشان می‌دهند. در سازه‌های ارتجاعی، اعمال رکوردهای حوزه نزدیک، به افزایش مقادیر ضریب افزایش نسبت به اعمال رکوردهای حوزه دور، منجر شده‌اند.



شکل (۹) مقادیر ضریب افزایش طیفی رکوردهای حوزه دور و نزدیک طبقه دوم قاب خمشی ۷ طبقه با ۸ پرپود متفاوت

رابطه‌ای برای محاسبه این ضریب در سازه‌های ارتجاعی تحت زلزله‌های حوزه دور به شکل زیر ارائه می‌گردد:

$$\eta_e = \frac{1 + 7\left(\frac{Z}{H}\right)}{1 + 4\left(1 - \frac{T_s}{T_p}\right)^2} \text{ for } \frac{T_s}{T_p} \geq 0.4 \quad (6)$$

$$\eta_e = \frac{1 + 7\left(\frac{Z}{H}\right)}{2.44} \text{ for } \frac{T_s}{T_p} < 0.4$$

در شکل (۱۰) مقادیر حاصل از رابطه فوق با مقادیر حاصل از تحلیل‌ها مقایسه شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود رابطه پیشنهادی با دقت مناسبی ضریب افزایش طیفی ارتجاعی را تخمین می‌زند. شکل (۱۱) مقادیر حاصل از رابطه فوق برای منطقه‌ای با لرزه‌خیزی شدید در محلی که طیف شتاب طراحی آن، طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع II می‌باشد، در کنار نتایج حاصل از تحلیل دقیق برای طبقه هفتم سازه ۷ طبقه ارتجاعی رسم شده است. در این شکل همچنین مقادیر شتاب طبقه حاصل از روابط آیین‌نامه‌های 8 Eueocode (رابطه ۱) و ASCE 7-10 (رابطه ۷) برای مقایسه، ترسیم شده است.

$$\eta_{ASCE} = 0.4a_p S_{DS} \left(1 + 2\frac{Z}{H}\right) \quad (7)$$

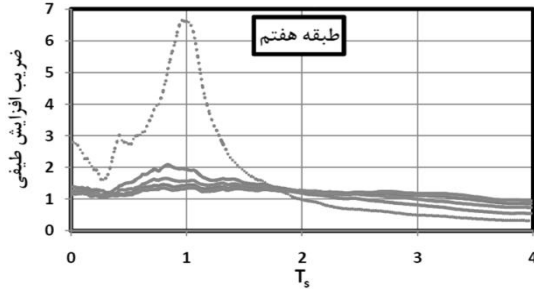
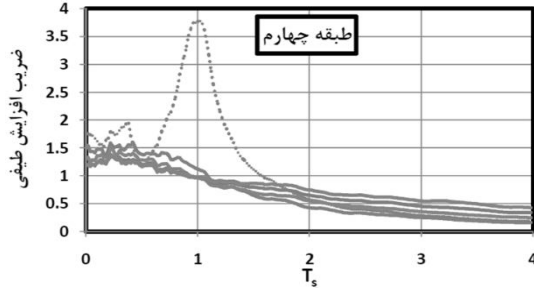
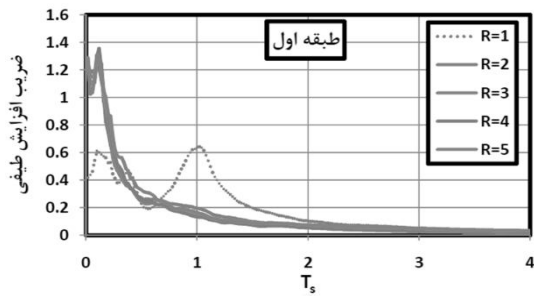
در رابطه فوق a_p ضریب افزایش پاسخ عضو غیرسازه‌ای است که بیش‌ترین مقدار آن برابر ۲/۵ در نظر گرفته می‌شود و S_{DS} مقدار شتاب طیف طراحی در پرپود ۰/۲ ثانیه با میرایی ۵٪ می‌باشد که برای خاک نوع II برابر ۰/۸۷g در نظر گرفته شده است. به این ترتیب برای طبقه بام ($Z/H=1$) مقدار η_{ASCE} برابر ۲۵۷۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در آیین‌نامه ASCE 7-10 مقدار ضریب افزایش a_p برای اعضای غیرسازه‌ای با پرپودهای متفاوت یکسان در نظر گرفته شده است.

چنان‌که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود مقادیر حاصل از رابطه پیشنهادی با نتایج حاصل از تحلیل، تطابق بیش‌تری دارد.

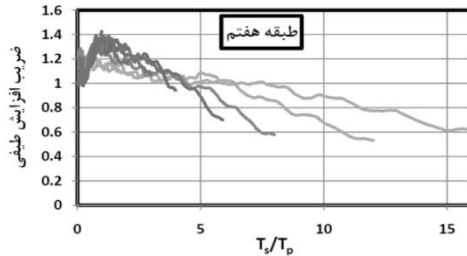
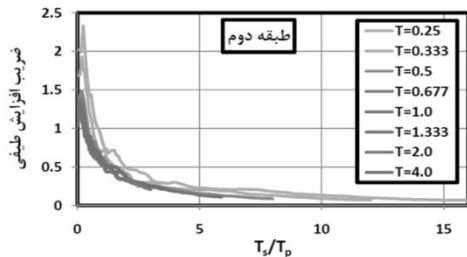
۶- جمع‌بندی مطالعه بر روی ضریب

افزایش طیفی ارتجاعی η_e

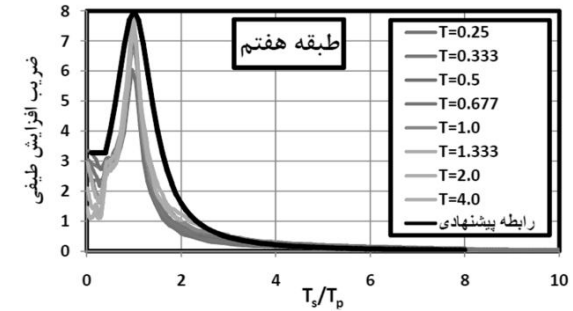
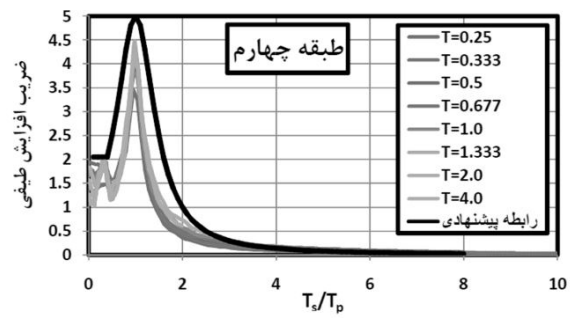
با توجه به مطالب ذکر شده در قسمت‌های قبل و مطالعه چگونگی تغییرات ضریب افزایش طیفی ارتجاعی با عوامل مختلف در کلیه سازه‌های مورد بررسی، در این قسمت



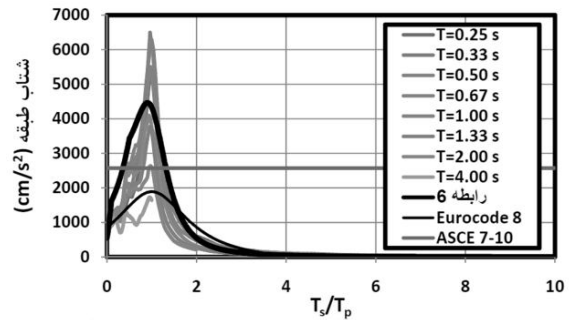
شکل (۱۲) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات ۱، ۴ و ۷ قاب خمشی ۷ طبقه با رفتار الاستیک و پلاستیک



شکل (۱۳) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات ۲ و ۷ قاب خمشی ۷ طبقه با رفتار پلاستیک (R=5) و ۸ پر بود مختلف



شکل (۱۰) مقادیر ضریب افزایش طبقات چهارم و هفتم قاب خمشی الاستیک ۷ طبقه با ۸ پر بود متفاوت و مقادیر رابطه پیشنهادی



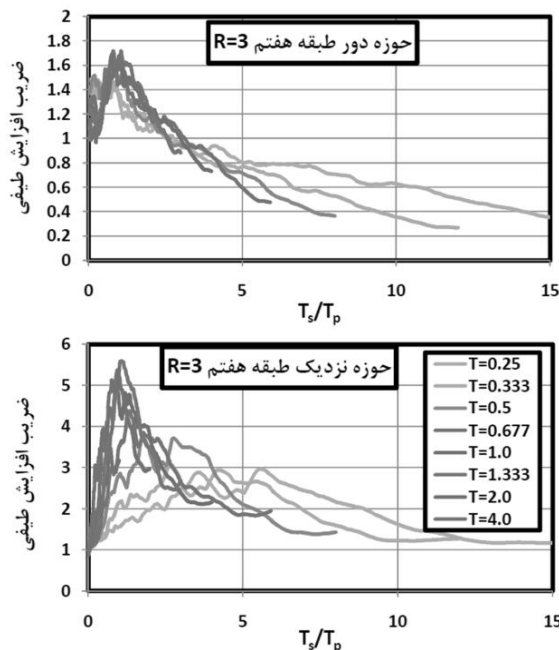
شکل (۱۱) مقایسه نتایج تحلیل‌ها با رابطه پیشنهادی و روابط یوروکد ۸ و ASCE 7-10

۶-۱- ضریب افزایش طیفی غیر ارتجاعی، η_p

بررسی‌ها نشان می‌دهد چنان‌که رفتار سازه اصلی در زلزله وارد ناحیه غیرارتجاعی شود، استفاده از رابطه ۶ مجاز نخواهد بود. برای نشان دادن این موضوع در شکل ۱۲ مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات ۱، ۴ و ۷ قاب‌های خمشی ۷ طبقه با پر بود ۱/۰ ثانیه و ضرایب کاهش مقاومت ۱ تا ۵، تحت اثر ۱۵ رکورد حوزه دور نمایش داده شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده در قسمت‌های قبل و مطالعه چگونگی تغییرات ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی با عوامل مختلف در تمام سازه‌های مورد بررسی، در این قسمت رابطه زیر برای محاسبه این ضریب در سازه‌های غیرارتجاعی ارائه می‌شود:

$$\eta_p = 2 \left(\frac{Z}{H} \right) \times \left(\frac{T_s}{T_p} \right) \left(\frac{-1}{(3\frac{T_s}{H} + 0.25)} \right) \leq 2.5 \quad (8)$$



شکل (۱۴) مقادیر ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی (R=3) طبقه هفتم قاب ۷ طبقه با ۸ پرپود مختلف تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک

در شکل ۱۵ مقادیر حاصل از رابطه فوق با مقادیر حاصل از تحلیل‌ها مقایسه شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود رابطه پیشنهادی با دقت مناسبی بیشینه ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی را تخمین می‌زند. شکل ۱۶ مقادیر حاصل از رابطه فوق برای منطقه‌ای با لرزه‌خیزی شدید در محلی که طیف شتاب طراحی آن، طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع II می‌باشد، در کنار نتایج حاصل از تحلیل دقیق برای طبقه اول سازه ۷ طبقه غیرارتجاعی با ضریب

همانگونه که ملاحظه می‌شود، در طبقات پایین سازه مقادیر ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی در موده‌های بالاتر قاب، تشدید شده و از مقادیر ضریب افزایش طیفی ارتجاعی بیشتر شده‌اند. در این شکل مشاهده می‌شود که هرچه ارتفاع محل قرارگیری عضو غیرسازه‌ای در سازه افزایش یابد، تغییرات ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی نسبت به پرپود عضو غیرسازه‌ای کم‌تر شده و نمودار آن به یک خط راست حول مقدار ۱/۰۰ نزدیک‌تر می‌شود. در طبقات میانی و بالایی سازه، مقادیر ضریب افزایش طیفی ارتجاعی در مود اول و سایر موده‌های سازه بیش از مقادیر ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی بوده و فقط در پرپودهای بالایی عضو غیرسازه‌ای که در طبقات بالایی سازه قرار دارند، مقدار η_e کم‌تر از مقادیر η_p می‌شود.

برای ملاحظه اثر پرپود سازه بر بیشینه ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی، شکل ۱۳ برای طبقات سازه قاب خمشی ۷ طبقه با ۸ پرپود مختلف و ضریب کاهش مقاومت ۵، تحت اثر ۱۵ رکورد حوزه دور رسم شده است. این شکل نشانگر آن است که به طور کلی دامنه تغییرات ضریب افزایش طیفی در طبقات پایین سازه کم بوده، ولی در طبقات بالا افزایش می‌یابد.

۶-۲- اثر فاصله سازه تا محل گسل

در شکل ۱۴ ضریب افزایش طیفی غیرارتجاعی حاصل از اعمال رکورد زلزله‌های حوزه نزدیک و دور در طبقه هفتم قاب‌های خمشی ارتجاعی ۷ طبقه با ۸ پرپود مختلف و ضریب کاهش مقاومت ۳، نشان داده شده است. رکوردهای حوزه نزدیک اثر خود را عمدتاً با افزایش مقدار ماکزیمم ضریب افزایش طیفی نشان می‌دهند. در سازه‌های غیرارتجاعی، اعمال رکوردهای حوزه نزدیک به افزایش مقادیر ضریب افزایش نسبت به اعمال رکوردهای حوزه دور منجر شده‌اند.

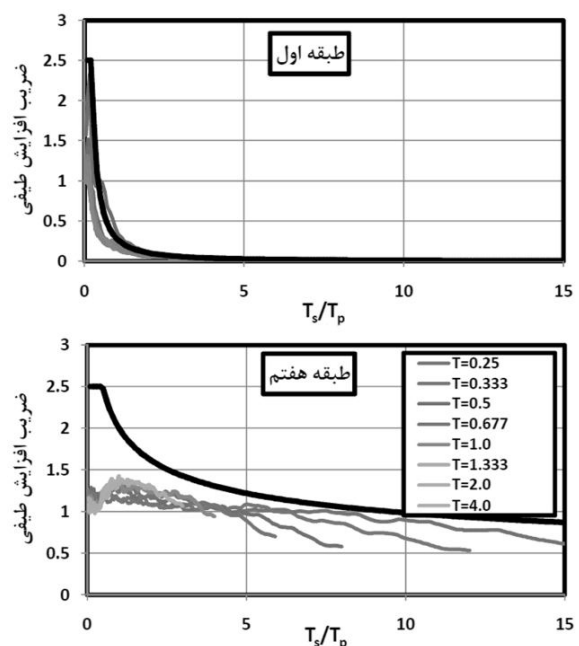
۷- نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی شتاب وارد بر اجزای غیرسازه‌ای واقع بر طبقات سازه‌های قاب‌های خمشی، مهاربند هم-محور و مهاربند برون محور ۳، ۵ و ۷ طبقه با رفتار ارتجاعی یا غیر ارتجاعی تحت اثر زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک، اثر عوامل مختلف بر این شتاب بررسی شده است. با توجه به این که روش‌های متداول برای محاسبه شتاب وارد بر اجزای غیرسازه‌ای، این شتاب را با استفاده از بیشینه شتاب زمین تعیین می‌کنند که در آن اثر محتوای فرکانسی زلزله طرح لحاظ نمی‌شود، در این تحقیق با معرفی «ضریب افزایش طیفی طبقه» و ارائه روابطی برای آن مبتنی بر تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی، برای محاسبه طیف شتاب طبقات سازه‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی روش متفاوتی ارائه شد. در روش ارائه شده، طیف شتاب طبقه از ضرب «ضریب افزایش طیفی طبقه» در طیف شتاب زلزله طرح به دست می‌آید و به این ترتیب اثر محتوای فرکانسی زلزله نیز در محاسبه شتاب وارد بر عضو غیرسازه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

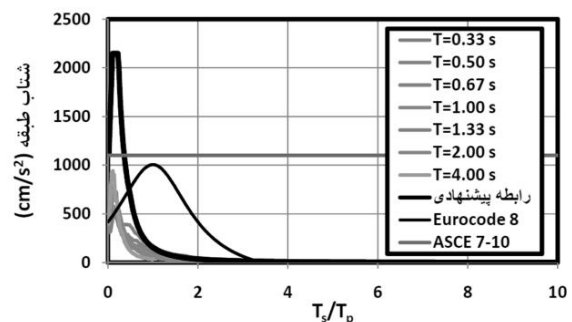
۸- مراجع

- [1] Naem ; F. ; The Seismic Design Handbook; ch13; 2001.
- [2] American Society of Civil Engineers Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE 7; (2010).
- [3] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance; (2003).
- [4] Uniform Building Code ; Volume 2; Structural Engineering Design Provisions; (1997).
- [5] Sadeghzadeh-Nazari; M. ; Ghafory-Ashtiany; M. ; "Seismic Design Force Requirements for Secondary Systems in Buildings" ; 6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering; may (2011).

کاهش مقاومت ۴ رسم شده است. انتخاب طبقه اول این سازه به این دلیل است که بیشترین مقادیر شتاب در سازه غیرارتجاعی در این طبقه رخ می‌دهد. در این شکل همچنین مقادیر شتاب طبقه حاصل از روابط آیین‌نامه‌های 8 Eueocode (رابطه ۱) و ASCE 7-10 (رابطه ۷) برای مقایسه، ترسیم شده است. چنان‌که در شکل ۱۶ ملاحظه می‌شود مقادیر حاصل از رابطه پیشنهادی تطابق بیشتری با نتایج حاصل از تحلیل‌ها دارد.



شکل (۱۵) مقادیر ضریب افزایش طیفی طبقات اول و هفتم ۸ قاب خمشی پلاستیک (R=5) طبقه ۷ با پیوندهای متفاوت و مقادیر رابطه پیشنهادی



شکل (۱۶) مقادیر طیف شتاب طبقه اول سازه ۷ طبقه غیر ارتجاعی با ضریب کاهش مقاومت ۴ و مقادیر پیشنهادی روابط ۱، ۷ و ۸

- [16] Singh ; M. P. ; Suarez ; L. E. ; Matheau ; E. E. ; Maldonado ; G. O. ; "Simplified Procedures for Seismic Design of Nonstructural Components and Assessment of Current Code Provisions"; Technical Report NCEER 93-0013; August 1993.
- [17] Villaverde ; R. ; "Earthquake Engineering from Engineering Seismology to Performance Based Engineering CRC Press" ; Ch19; 2004.
- [18] Viti ; G. ; Olivieri ; M. ; Travi ; S. ; "Development of Non-Linear Floor Response Spectra" ; Nuclear Engineering and Design; Vol. 64:33-38; April 1981.
- [19] Peters ; K. A. ; Schmitz ; D. ; Wanger ; U. ; "Determination of Floor Response Spectra on The Basis of the Response Spectrum Method"; Nuclear Engineering and Design; Vol. 44:255-262; November 1976.
- [20] Uma ; S. ; Zhao ; J. ; King ; A. ; "Floor Response Spectra for Frame Buildings under Ultimate and Serviceability Limit States"; Don't Mess with Structural Engineers ASCE; 2009.
- [21] Miranda ; E. ; Taghavi ; SH. ; "Approximate Floor Acceleration Demands I: Multistory Buildings. I: Formulation; Journal of Structural Engineering" ; Volume 131; April 2004.
- [22] Miranda ; E. ; Taghavi ; SH. ; "Approximate Floor Acceleration Demands in Multistory Buildings. II: Applications; Journal of Structural Engineering"; Volume 131; April 2004.
- [23] Chaudhuri ; S. R. ; Villaverde; R. ; "Effect of Building Nonlinearity on Seismic Response of Nonstructural Components: A Parametric Study" ; Journal Of Structural Engineering ASCE; April 2008.
- [6] Oropeza ; M. ; Favez ; P. ; Lestuzzi; P. ; "Seismic Response of Nonstructural Components in case of Nonlinear Structures Based on Floor Response Spectra Method" ; Bull Earthquake Eng, 8:387-400; 2010.
- [7] Medina ; R. A. ; Sankaranarayanan ; R. ; Kingston K. M.; "Floor Response Spectra for Light Components Mounted on Regular Moment-Resisting Frame Structures" ; 2006.
- [8] Braga ; F. ; Manfredi ; V. ; Masi ; A. ; Salvatori ; A. ; Vona; M. ; "Performance of Non-structural Elements in RC Buildings During the L'Aquila" ; 2009 earthquake; Bull Earthquake Eng 9:307-324; 2011.
- [9] Shooshtari ; M. ; Saatcioglu ; M. ; Naumoski ; N. ; Foo ; S. ; "Floor Response Spectra for Seismic Design of Operational and Functional Components of Concrete Buildings in Canada" ; Can. J. Civ. Eng. 37: 1590-1599; 2010.
- [10] Blackman; J. ; "Defense Nuclear Facilities Safety Board" ; December 2009.
- [11] Subramanian ; K. V. ; SpidharGopal ; P. ; Sudarsan ; R. P. ; "A Practical Approach for Floor Response Spectra Generation in Nuclear Power Plants"; 1999.
- [12] Varpasuo; P. ; "The Development of the Floor Response Spectra using Large 3D Model"; Nuclear Engineering and Design Vol. 192:229-241; 1999.
- [13] Kitada; Y. ; Hattori; K. ; Ogata ; M. ; Kanda ; J. ; "Stochastic Seismic Floor Response Analysis Method for Various Damping Systems" ; Nuclear Engineering and Design; Vol. 128:247-257; September 1990.
- [۱۴] فیوض؛ع.؛ غفوری آشتیانی؛م.؛ "روش ساده تحلیل سیستم های ثانویه"، The Construction Industry ، Portal of Iran ، ۲۰۰۳.
- [15] Chen ; Y. ; Soong ; T. T. ; "STATE-OF-THE-ART REVIEW Seismic Response of Secondary Systems" ; Engineering Structures; Vol. 10; April 1988.

Utilizing Earthquake Response Spectrum to Calculate the Floor Acceleration of Steel Frames

R. Karami Mohammadi^{1*}, M. Mohammadi²

1- Assistant Professor, Civil Engineering Department, K.N.Toosi University

2- M.Sc. Student, Civil Engineering Department, K.N.Toosi University

rkarami@kntu.ac.ir

Abstract:

The importance of non-structural components in seismic Performance Based Design of buildings is well known nowadays. In this research calculation of absolute acceleration applied on non-structural components located on floors of moment-resisting, eccentric braced and concentric braced frames subjected to earthquake ground motions has been studied. The results of nonlinear time-history analyses of 3, 5 and 7-story steel frames with 8 different periods and 5 reduction factors subject to 15 records of near-field earthquakes and 15 records of far-field earthquakes has been used to investigate the effects of different parameters on absolute acceleration induced in each floor of the structures. The effect of inelastic behavior of system, natural periods of primary and secondary systems, structural system type and near-field ground motions have been studied with use of modified shear-building models of steel frames. The shear building models are set to have an equivalent lateral force-deformation behavior in each story to the one's of given steel frames. Reliability of these models to estimate the maximum roof displacement and the maximum inter-story drift of steel frames has been investigated elsewhere through probabilistic analysis of the results obtained from comprehensive incremental dynamic analyses.

The relationships that are presented in building codes to calculate the force applied on non-structural components has been usually expressed as a ratio of peak ground acceleration. This method of calculating of input acceleration to non-structural elements ignores the effect of frequency content of design ground motion. The results of the present study have been used to introduce a new method for calculation the force applied on non-structural components based on ground acceleration spectrum. In this method the input acceleration to non-structural components has been expressed as a ratio of earthquake response spectrum (instead of the peak ground acceleration). For this ratio which is entitled as "spectral amplification factor" two different expressions have been proposed for use in structures with linear and nonlinear behavior. This approach explicitly accounts for the frequency content of design earthquake in calculation of peak floor acceleration. The results of this study show that Euro-code 8 and ASCE 7-2010 recommendations need to modify specially for the precise location of the non-structural element and inelastic behavior of the structure. It has been demonstrated that structural system type does not significantly affect the amount of induced acceleration on each floor of steel frames.

Keywords: Non-structural components, Shear-building models, Near-field effects, Floor response spectrum, Ground response spectrum.