

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

استاندارد ۲۸۰۰ ایران، برای طراحی سازه‌ها در مقابل بارهای زلزله به ارائه طیف طرح استاندارد پرداخته است. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ سعی شده است تا آثار مخرب زلزله‌های حوزه نزدیک به گسل، با اعمال ضریب افزایشدهنده اصلاح طیفی (N) اعمال شود. در این مقاله ابتدا مقدار این ضریب برای پنج سازه نمونه با سیستم قاب خمشی بتن آرمه ویژه و با تعداد طبقات ۳ تا ۱۵ طبقه محاسبه شده و سپس با مقادیر پیشنهادی آیین‌نامه مقایسه می‌گردد. برای این منظور ابتدا طیف پاسخ یک درجه آزاد مجموعه نگاشت‌ها (شامل هفت نگاشت دور از گسل و ۲۲ نگاشت نزدیک به گسل) محاسبه شده سپس با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی فزاینده پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در شتاب‌های مختلف محاسبه شده است. با محاسبه نسبت پاسخ سازه‌ها تحت نگاشت‌های نزدیک به گسل به نگاشت‌های دور از گسل، مقدار ضریب N محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد، مقدار ضریب اصلاح طیف استاندارد ۲۸۰۰ جهت برآورد نیاز برش پایه سازه‌ها دقت مناسبی دارد اما این ضریب برای برآورد نیاز تغییر مکانی سازه‌ها دقت کافی را ندارد. همچنین مشاهده شد که رابطه منظمی میان دوره تناوب اصلی سازه‌ها و مقدار ضریب اصلاح طیفی وجود ندارد و با افزایش شتاب از میزان ضریب اصلاح طیف کاسته می‌شود.

واژگان کلیدی: ضریب اصلاح طیف، استاندارد ۲۸۰۰، زلزله‌های نزدیک به گسل، تحلیل دینامیکی فزاینده، قاب خمشی بتن آرمه.

ارزیابی ضریب اصلاح طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای تعیین پارامترهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن آرمه در زلزله‌های حوزه نزدیک

نیما شهبازی

دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

رضا آقایی (نویسنده مسئول)

دانشیار مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، reza_agh@razi.ac.ir

ایمان عشایری

دانشیار مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۱- مقدمه

نزدیک دارند [۲]. نگاشت زلزله‌های نزدیک به گسل معمولاً شکل پالس‌گونه داشته و حاوی یک یا چند پالس در نگاشت سرعت^۱ با شدت زیاد و دامنه بلند می‌باشند [۳]. دو پدیده‌ی تغییر مکان‌های ماندگار زمین با اثر پرتابی^{۱۱} و جهت‌داری پیش‌رونده^{۱۲} عمدتاً از عوامل اصلی شکل پالس نگاشت‌های نزدیک به گسل هستند. زمانی که تجمع انرژی امواج زلزله با دامنه بالا و پهنای فرکانس محدود به صورت یک یا چند پالس با فرکانس کم در راستای گسلش به سمت سازه حرکت کند و سرعت گسلش زمین به سرعت انتشار موج برشی زلزله نزدیک باشد، پدیده جهت‌داری پیش‌رونده رخ می‌دهد [۳]. در این وضعیت اگر سازه در مقابل جبهه انرژی قرار بگیرد، انرژی زلزله در مدت کم و با مقدار زیاد به آن وارد می‌شود و در نتیجه تغییر مکان‌های بزرگ در سازه به وجود می‌آید. از آنجایی که سازه

عبارت نزدیک به گسل برای اولین بار توسط بولت [۱] بعد از زلزله ۱۹۶۶ میلادی پارک‌فیلد^۱ کالیفرنیا و زلزله ۱۹۷۱ پاکویما^۲ در سان‌فرناندو به کار گرفته شد. با اینکه مطالعات مربوط به تأثیرات مخرب زلزله‌های نزدیک قدمتی بیش از ۶۰ سال دارد اما اهمیت آن در طراحی سازه‌ها تا پس از زلزله‌های مخربی همچون زلزله ۱۹۹۲ لندرز^۳، زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریج^۴، زلزله ۱۹۹۵ کوبه^۵، زلزله ۱۹۹۹ چی چی^۶ تایوان که باعث خسارات مالی و جانی وسیعی شدند، درک نشده بود. ماهیت و شکل پالس‌های زلزله، پیوند پالس اصلی و دامنه تحریکات زمین (حداکثر جابه‌جایی^۷، حداکثر سرعت^۸، حداکثر شتاب^۹)، همگی از عوامل تأثیرگذار بر توان تخریبی زلزله‌های نزدیک هستند. همچنین مدت‌زمان مؤثر زلزله و تعداد پالس‌ها و مؤلفه قائم ارتعاشات زمین نیز تأثیر قابل توجهی بر توان تقریبی زلزله‌های

طیف ارتجاعی یک درجه آزاد می‌تواند با دقت مناسبی افزایش نیاز برشی قاب‌های خمشی فولادی در ناحیه رفتار غیرارتجاعی و شدت‌های مختلف لرزه‌ای را برای طراحی سازه‌های قاب خمشی فولادی پوشش دهد، اما این قضیه در رابطه با افزایش نیازهای تغییر مکانی صادق نیست و به‌ویژه در شدت‌های لرزه‌ای زیاد، افزایش نیاز تغییر مکانی قاب‌های خمشی فولادی عمدتاً بیش از مقداری است که اصلاح طیف ارتجاعی آن را پیش‌بینی می‌کند. به‌ویژه در رابطه با قاب‌های کوتاه‌مرتبه که پررود ارتجاعی آنها مقدار کمی دارد و ضریب اصلاح طیفی برای آنها نزدیک به واحد است، اثر زلزله‌های نزدیک به گسل بر افزایش پاسخ تغییر مکانی بسیار بیش از آن چیزی است که ضریب اصلاح طیف استاندارد ۲۸۰۰ پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اینکه مقدار وسیعی از خرابی‌های ناشی از زلزله‌های نزدیک به گسل در ناحیه رفتار غیرخطی سازه‌ها پدیدار می‌گردد، لذا اصلاح طیف ارتجاعی به‌تنهایی برای لحاظ توان تخریبی نگاهت‌های حاوی اثر جهت‌داری کافی نخواهد بود [۱۱].

در ویرایش چهارم آیین‌نامه طراحی سازه‌ها در مقابل بارهای لرزه‌ای (استاندارد ۲۸۰۰) [۱۲]، سعی شد تا تأثیرات مخرب حاصل از زلزله‌های نزدیک به گسل، با اعمال ضریب اصلاحی طیف طراحی با هدف افزایش مقادیر طیف طراحی و همچنین افزایش نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها اعمال گردد که مشابه روشی است که در استاندارد UBC97^{۱۴} آمریکا ارائه شده بود. ضریب اصلاح طیفی ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰، بر اساس پاسخ سیستم‌های یک درجه آزاد بوده و مشخصات رفتار غیرخطی سازه‌ها به‌طور دقیق در آن لحاظ نشده است [۱۳]. هرچند این قضیه باعث می‌شود که طیف طرح استاندارد قابل‌تعمیم برای کلیه سیستم‌های باربر لرزه‌ای باشد، اما در عین حال از دقت مقادیر ارائه شده برای سیستم‌های سازه‌ای مختلف می‌کاهد. نکته دیگر اینکه افزایش نیازهای لرزه‌ای تحت پالس‌های زلزله‌های نزدیک به گسل برای تمامی پارامترهای پاسخ لرزه‌ای یکسان نیست [۱۳]. به همین دلیل می‌توان از ضرایب اصلاح مختلفی برای برآورد کمیت‌های پاسخ تغییر مکان و کمیت‌های نیرویی

زمان کافی جهت توزیع تغییر مکان‌های غیرارتجاعی در تمام المان‌ها را نخواهد داشت لذا باید ظرفیت شکل‌پذیری اتصالات و المان‌های سازه‌ای به‌اندازه‌ای بزرگ باشند که بتوانند تغییر شکل‌های بزرگ را تحمل کنند [۴]. امواج ناشی از پدیده جهت‌داری پیش‌رونده معمولاً به‌صورت دو طرفه^{۱۳} بوده و پالس آنها در اوایل نگاهت سرعت زلزله پدیدار می‌گردد [۵]. اثر جهت‌داری پیش‌رونده ممکن است با تحریک مودهای بالاتر به‌ویژه در ساختمان‌های بلند باعث تجمع خرابی در طبقات بالایی سازه شود [۶].

یکی از تأثیرات مهم زلزله‌های نزدیک به گسل، متمرکز نمودن خرابی در تعداد محدودی از طبقات و المان‌های سازه‌ای می‌باشد که این عامل سبب می‌شود اثر تخریبی این نگاهت‌ها فراتر از چیزی باشد که طیف مربوط به سازه یک درجه آزاد نشان می‌دهد [۷]. در مطالعه‌ای که توسط چمیون و لیل در سال ۲۰۱۲ صورت گرفت نتیجه شد که احتمال خرابی قاب‌های خمشی بتن‌آرمه در طی ۵۰ سال عمر مفید سازه در اثر زلزله‌های حاوی اثر جهت‌داری حدود ۶ درصد می‌باشد در حالی که این احتمال برای زلزله‌ها فاقد اثر جهت‌داری حدود ۱ درصد می‌باشد [۸]. همچنین در صورتی که پررود پالس زلزله از پررود اصلی ارتعاش سازه بزرگ‌تر باشد، توان تخریبی آن نگاهت بیشتر می‌شود. مطالعات انجام شده روی طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ بر روی زمین نوع ۳ نشان می‌دهد که در شدت‌های لرزه‌ای یکسان (بر حسب PGA) در فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر به گسل و در بازه پررودی بیش از یک ثانیه، مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ حدود ۳۰ درصد کمتر از طیف زلزله‌های نزدیک به گسل می‌باشد. همچنین مقادیر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در حوزه دور از گسل و در محدوده پررودی کمتر از ۱/۵ ثانیه حدود ۳۰ درصد غیر محافظه‌کارانه و در محدوده پررودهای بلند غیر اقتصادی می‌باشد [۹]. در سال ۲۰۱۸ وهدانی و همکاران [۱۰] به بررسی اصلاح طیف غیرارتجاعی برای ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه نزدیک به گسل پرداخت. مشاهدات حاصل از تحلیل‌های دینامیکی افزایشی نشان می‌دهد که اصلاح

استفاده نمود.

با توجه به توضیحات داده شده، در این مقاله به ارائه ضرایب اصلاح طیفی با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه‌های قاب خمشی بتن‌آرمه و مقایسه با ضریب اصلاح طیفی ارائه شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته می‌شود. در این روش ارزیابی و محاسبه ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیازهای نیرویی و تغییر مکانی به‌طور جداگانه صورت می‌پذیرد.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از نتایج تحلیل‌های عددی برای لحاظ آثار زلزله‌های نزدیک به گسل بر پاسخ لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن‌آرمه، جهت رسیدن به طراحی بهینه و تأمین ایمنی کافی برای سازه‌های واقع در مجاورت گسل‌های فعال استفاده شده است. ابتدا مجموعه‌ای از ۲۲ نگاشت زلزله نزدیک به گسل که بر روی زمین نوع ۳ بر اساس طبقه‌بندی آیین‌نامه زلزله ایران ثبت شده‌اند و دارای خاصیت جهت‌داری پیش‌رونده هستند گردآوری شده و بر اساس پرپود پالس به سه دسته پالس کوتاه (کمتر از ۲ ثانیه)، پالس متوسط (بیشتر از ۲ و کمتر از ۴ ثانیه) و پالس بلند (بیشتر از ۴ ثانیه) دسته‌بندی شده‌اند. سپس طیف پاسخ ارتجاعی نگاشت‌های انتخابی با استفاده از تحلیل پاسخ سیستم‌های یک‌درجه آزاد ارتجاعی به دست آمده است. همچنین مشخصات طیف فوریه، پرپود غالب، حداکثر پاسخ زمین و پرپود پالس اصلی این نگاشت‌ها استخراج گردید. همین مراحل برای مجموعه‌ای از هفت نگاشت زلزله دور از گسل که فاقد اثر پالسی می‌باشند تکرار شده است، با این تفاوت که مفهوم پرپود پالس با پرپود غالب جایگزین شده است. نگاشت‌های مورد استفاده از سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی^{۱۵} و سایت پییر^{۱۶} دریافت شده‌اند.

در گام بعدی پنج ساختمان قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه ۳ تا ۱۵ طبقه که ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر و در هر جهت از سه دهانه ۶ متری تشکیل شده‌اند در محیط نرم‌افزار ETABS جهت انجام تحلیل استاتیکی خطی و طراحی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

ویرایش چهارم و مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان انتخاب گردیده، پس از طراحی و مشخص شدن ابعاد و مقدار میلگردهای مورد نیاز سازه‌ها، برای ارزیابی نحوه تأثیر انواع نگاشت‌های زلزله بر پاسخ سازه‌های قاب خمشی، قاب‌های میانی سازه‌ها در محیط نرم‌افزار SeismoStruct به صورت غیرخطی مدل‌سازی شده است.

تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)^{۱۷} تحت نگاشت‌های انتخابی به انجام رسیده و پاسخ قاب‌ها بر حسب پاسخ شتاب، تغییر مکان‌های گره‌ای و نیاز نیرویی المان‌ها استخراج گردید.

در گام بعدی ارزیابی ضریب اصلاح طیف طرح غیرارتجاعی برای برآورد نیازهای تغییر مکانی و نیرویی سازه‌های قاب خمشی بتن‌آرمه در حوزه نزدیک به گسل، با مقایسه نیازهای لرزه‌ای قاب‌های نمونه تحت نگاشت‌های انتخابی نزدیک و دور از گسل انجام شده است. برای این منظور، از مقایسه بین مقادیر حداکثر دررفت و حداکثر برش پایه در شدت‌های لرزه‌ای معادل زلزله‌های شدید و خیلی شدید استفاده شده است.

برای محاسبه ضرایب اصلاح طیفی ابتدا میزان پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها تحت هر یک از نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک محاسبه می‌شود. پس با تقسیم مقدار میانگین پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها تحت نگاشت‌های حوزه نزدیک بر مقدار میانگین پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها تحت نگاشت‌های حوزه دور، مقدار ضریب اصلاح طیفی (N) برای هر یک از پارامترهای نیازمندی (EDP) در شدت لرزه‌ای مورد نظر (IM) محاسبه می‌شود. اگر برای محاسبه این ضریب از روش‌های تحلیل خطی استفاده شود به آن ضریب اصلاح طیف ارتجاعی و اگر از روش‌های تحلیل غیرخطی استفاده شود به آن ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی گفته می‌شود.

$$N_{EDP,IM} = \frac{EDP_{near|IM}}{EDP_{far|IM}} \quad (1)$$

در این رابطه منظور از IM شدت لرزه‌ای مورد نظر، EDP مقدار پاسخ سازه برای پارامترهای مورد نیاز لرزه‌ای، far و near به ترتیب زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل می‌باشد.

با توجه به اینکه تأثیر پر یود پالس به میزان غیرخطی شدن رفتار سازه نیز بستگی دارد لذا مرز دقیقی برای این دسته‌بندی ارائه نشده است. در این مقاله، نگاشت‌های نزدیک به گسل به صورت زیر به چهار دسته تقسیم‌بندی شده‌اند:

۱. نگاشت‌های پالس کوتاه (SP) با پر یود پالس کوچک‌تر از ۲ ثانیه

۲. نگاشت‌های پالس متوسط (MP) با پر یود پالس برابر یا کوچک‌تر از ۴ ثانیه و برابر یا بزرگ‌تر از ۲ ثانیه

۳. نگاشت‌های پالس بلند (LP) با پر یود پالس بزرگ‌تر از ۴ ثانیه
۴. نگاشت خاص (زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶، ثبت شده در ایستگاه سرپل ذهاب (SPZ))

نگاشت خاص ایستگاه سرپل ذهاب در زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ همه معیارهای شاهی و بیکر را به‌عنوان نگاشت نزدیک به گسل تأمین نمی‌نماید، برای مثال شاخص پالس در حدود ۰/۴۶ می‌باشد. لیکن، نگاشت ثبت شده در ایستگاه و همچنین نگاشت محاسبه شده در سنگ بستر ایستگاه توسط عشایری و همکاران [۱۷]، دارای قله در طیف شتاب در محدوده‌ی ۱ ثانیه می‌باشند. به‌علاوه، عشایری و همکاران [۱۷] نشان دادند که نگاشت ثبت شده در ایستگاه سرپل ذهاب دارای PGV نزدیک به ۵۸ سانتی‌متر بر ثانیه نیز می‌باشد. بدین ترتیب این نگاشت به‌عنوان نگاشت نزدیک به گسل مورد استفاده قرار گرفته است. در جداول (۱) و (۲)، مشخصات نگاشت‌های نزدیک به گسل و دور از گسل ارائه شده‌است.

با توجه به اینکه نگاشت‌های مورد استفاده در این تحقیق بر روی زمین نوع ۳ ثبت شده‌اند، در نتیجه استفاده از نتایج این تحقیق محدود به ساختگاه‌های مشابه می‌باشد. همچنین با توجه به تفاوت رفتار غیرخطی سیستم‌های سازه‌ای، نتایج این تحقیق محدود به قاب‌های خمشی بتن آرمه ویژه می‌باشد.

۳- نگاشت‌های مورد استفاده

معیارهای مختلفی توسط محققین جهت تشخیص نگاشت‌های نزدیک به گسل ارائه شده است که معتبرترین آنها، معیار سه‌گانه بیکر می‌باشد که برای تشخیص نگاشت‌های حاوی اثر جهت‌داری پیش‌رونده سه شرط زیر را ارائه نموده است [۱۴].

۱. پالس سرعت در ابتدای نگاشت زلزله پدیدار شود.
۲. حداکثر سرعت زمین (PGV) بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه باشد.
۳. مقدار شاخص پالس حداقل برابر ۰/۸۵ باشد.

در این تحقیق با توجه به تأثیر بسیار زیاد پالس نگاشت بر توان تخریبی زلزله، دسته‌بندی نگاشت‌های حوزه نزدیک بر اساس مقدار پر یود پالس نگاشت‌ها انجام می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده توسط محققین، زمانی که نسبت پر یود پالس اصلی به پر یود اصلی ارتعاش سازه (Tp/T) در محدوده ۰/۵ تا ۲/۵ قرار بگیرد، خاصیت پالسی نگاشت‌های زلزله بر پاسخ سازه حاکم است [۱۵]. همچنین بر اساس تحقیقات کومار و همکارانش [۱۶]، نگاشت‌های زلزله را می‌توان به سه دسته پر یود کوتاه، پر یود متوسط و پر یود بلند تقسیم‌بندی نمود.

جدول (۱): رکوردهای نزدیک به گسل مورد استفاده.

شماره	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	Mw	R (کیلومتر)	Tm (ثانیه)	Tp (ثانیه)	PGV (سانتی‌متر بر ثانیه)	PGV/PGA (ثانیه)
۱	Loma Prieta 1989, Gilroy Array #2	۶/۹۳	۱۱/۰۷	۰/۷۷	۱/۷	۴۰/۳۷	۰/۱۳
۲	Kobe, Japan 1995, Takarazuka	۶/۹	۰/۲۷	۰/۸۰	۱	۶۸/۴۱	۰/۱۰
۳	Kobe, Japan 1995, Takatori	۶/۹	۱/۴۷	۰/۹۹	۱/۶	۱۲۲/۹۶	۰/۱۹
۴	Northridge-01 1994, Rinaldi Receiving Sta	۶/۶۹	۶/۵	۰/۷۶	۱/۲	۱۴۸/۰۰	۰/۱۷
۵	Northwest China-03 1997, Jiashi	۶/۱	۹/۹۸	۰/۵۴	۱/۳	۳۵/۲۵	۰/۱۳
۶	N. Palm Springs 1986, North Palm Spring	۶/۰۶	۴/۰۴	۰/۶۲	۱/۴	۶۵/۹۹	۰/۱۰
۷	Coalinga-05 1986, Oil City	۵/۷۷	۸/۴۶	۰/۳۱	۰/۷	۳۹/۹۹	۰/۰۵

ادامه جدول (۱).

PGV/PGA (ثانیه)	PGV (سانتی‌متر بر ثانیه)	Tp (ثانیه)	Tm (ثانیه)	R (کیلو متر)	Mw	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	شماره
۰/۱۴	۸۸/۵۱	۳	۰/۶۸	۸/۱۸	۷/۰۱	Cape Mendocino 1992, Petrolia	۱
۰/۲۳	۷۱/۹۶	۳/۱	۰/۸۷	۱۰/۸۴	۶/۹	Irpinia, Italy-01 1980, Stumo	۲
۰/۱۶	۹۷/۳۶	۳/۵	۱/۰۰	۵/۴۳	۶/۶۹	Northridge-01 1994, Jensen Filter Plant	۳
۰/۱۹	۱۱۶/۲۵	۳	۱/۱۶	۵/۳۵	۶/۶۹	Northridge-01 1994 Sylmar - Converter Sta	۴
۰/۱۷	۵۹/۲۳	۲/۴	۱/۲۵	۵/۴۸	۶/۶۹	Northridge-01 1994, Newhall - W Pico Canyon Rd	۵
۰/۳۲	۱۳۴/۲۹	۲/۳	۱/۱۱	۰/۹۵	۶/۵۴	Superstition Hills-02 1987, Parachute Test Site	۶
۰/۲۶	۱۱۳/۵۵	۳/۸	۱/۲۸	۱/۳۵	۶/۵۳	Imperial Valley-06 1979, El Centro array #6	۷
۰/۳۷	۷۶/۸۱	۱۰/۳	۰/۷۲	۲/۱۱	۷/۶۲	Chi-Chi, Taiwan 1999, TCU101	۱
۰/۳۰	۵۱/۴۷	۸/۸۸	۱/۰۵	۸/۳	۷/۶۲	Chi-Chi, Taiwan 1999, TCU136	۲
۰/۲۰	۶۵/۰۰	۴/۸	۱/۰۵	۹/۹۴	۷/۶۲	Chi-Chi, Taiwan 1999, CHY101	۳
۰/۲۱	۵۱/۱۲	۷/۵	۰/۹۱	۲۳/۶۲	۷/۲۸	Landers 1992, Yermo Fire Station	۴
۰/۰۸	۴۱/۵۸	۴/۵	۰/۶۴	۸/۵	۶/۹۳	Loma Prieta 1989, Saratoga - Aloha Ave	۵
۰/۲۵	۱۱۳/۱۴	۴/۳	۱/۳۲	۰/۵۶	۶/۵۳	Imperial Valley-06 1979, El Centro array #7	۶
۰/۲۲	۷۵/۵۸	۵/۹	۰/۵۰	۵/۰۹	۶/۵۳	Imperial Valley-06 1979, El Centro differential array	۷
۰/۰۹	۵۸/۱۰	-	۰/۴۰	۱۸	۷/۳	Sarpol-e Zahab Station 2017, SPZ	۱

جدول (۲): نکاشت‌های دور از گسل مورد استفاده.

PGV/PGA (ثانیه)	PGV (سانتی‌متر بر ثانیه)	Tp (ثانیه)	Tm (ثانیه)	R (کیلو متر)	Mw	نام زلزله، سال وقوع و نام ایستگاه	شماره
۰/۱۹	۵۸/۸۷	۰/۳۸	۰/۹۹	۱۵/۳۷	۷/۵۱	Kocaeli 1999, Duzce	۱
۰/۱۲	۱۱/۵۶	۰/۲۸	۰/۵۳	۶۴/۴۷	۷/۳۷	Manjil 1990, Rudсар	۲
۰/۱۹	۱۵/۴۳	۰/۳۶	۰/۷۱	۲۸/۷۹	۷/۳۵	Tabas 1978, Boshrooyeh	۳
۰/۱۱	۴۳/۴۲	۰/۳۴	۰/۵۶	۱۹/۷۴	۷/۲۸	Landers 1992, Coolwater	۴
۰/۰۸	۵۵/۹۳	۰/۳۲	۰/۵۵	۱۲/۰۴	۷/۱۴	Duzce Turkey 1992, Bolu	۵
۰/۱۳	۴۰/۳۷	۰/۳	۰/۷۷	۱۱/۰۷	۶/۹۳	Loma Prieta 1989, Gilroy Array #2	۶
۰/۱۱	۱۵/۱۴	۰/۶	۰/۷۷	۹۵/۷۲	۶/۹	Kobe 1995, HIK	۷

۴- سازه‌های مورد مطالعه

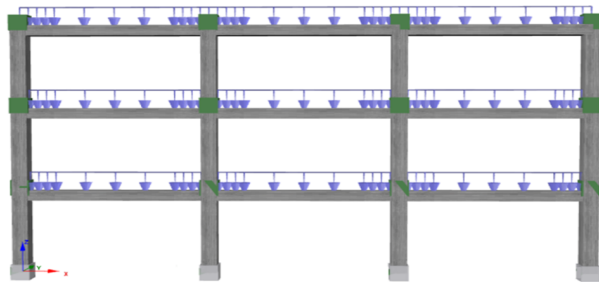
۴-۱- مدل سازی خطی در ETABS

مصرفی S400 است. سقف سازه‌ها از نوع دال بتنی دوطرفه بوده و بار مرده کف برابر ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده کف برابر ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع است. همچنین بار دیوارهای پیرامونی برابر ۵۰۰ کیلوگرم بر متر طول دیوار می‌باشد و از سایر بارهای ثقلی صرف نظر شده است. کنترل‌های نامنظمی پیچشی، زمان تناوب تحلیلی، تغییر مکان نسبی طبقات، مهار جانبی طبقات، ضرایب ترک خوردگی، ضابطه تیر ضعیف- ستون قوی و کنترل ظرفیت برشی چشمه اتصال انجام شد.

در این مقاله از پنج قاب خمشی (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ طبقه) سه دهانه بتن آرمه ویژه برای محاسبه ضرایب اصلاح غیرارتجاعی چند درجه آزاد استفاده شده است. طول هر دهانه قاب‌ها برابر ۶ متر و ارتفاع تمامی طبقات برابر ۳/۲ متر می‌باشد. سازه‌های مورد نظر همگی در منطقه با خطر لرزه خیزی بسیار زیاد و بر روی زمین نوع ۳ واقع شده‌اند. بتن مورد استفاده از نوع C25 و فولاد

۴-۲- مدل سازی غیر خطی در SeismoStruct 2021

لذا برای در نظر گرفتن بارهای متمرکزی که از سوی قاب‌های عمود بر صفحه به ستون‌ها وارد می‌شود، بارهای متمرکزی برابر ۱۲۶۰۰ کیلوگرم به ستون‌های کناری و ۱۸۰۰۰ کیلوگرم به ستون‌های میانی وارد می‌کنیم. همچنین با توجه به تفاوت ضرایب محاسبه بارهای ثقلی و جرم لرزه‌ای، این دو پارامتر به صورت جداگانه محاسبه و به مدل اضافه می‌شوند. در شکل (۱) الگوی توزیع بارهای ثقلی برای قاب ۳ طبقه مشاهده می‌شود. در جدول (۳)، مشخصات آرماتورهای مصرفی در تیرها و ستون‌ها ارائه شده است.



شکل (۱): الگوی توزیع بارهای ثقلی در قاب ۳ طبقه.

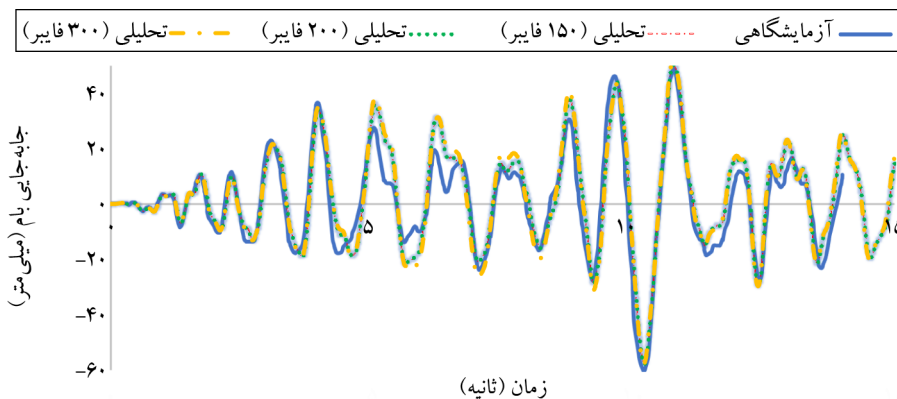
۵- صحت‌سنجی مدل‌های غیر خطی و بررسی آنالیزهای حساسیت

جهت صحت‌سنجی و بررسی مدل‌سازی و نتایج به دست آمده از تحلیل‌های انجام شده توسط نرم‌افزار SeismoStruct و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی، قاب خمشی بتن آرمه دو بعدی چهار طبقه که در آزمایشگاه ELSA (مرکز تحقیقات ISPrA) با مقیاس واقعی ساخته شده و تحت بارگذاری شبه‌دینامیکی با دوره‌های بازگشت ۴۷۵ ساله قرار گرفته است [۲۲] مدل‌سازی و تحلیل شد و نتایج حداکثر تغییر مکان بام محاسبه شده توسط نرم‌افزار SeismoStruct با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب مقدار حداکثر تغییر مکان بام به دست آمده از آزمایش‌ها و محاسبه شده توسط نرم‌افزار SeismoStruct تحت نگاشت با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله مشاهده می‌شود. با توجه به شکل‌ها، نتایج به دست آمده توسط برنامه SeismoStruct مشابهت بسیار بالایی با نتایج آزمایشگاهی دارد لذا می‌توان با درجه اطمینان قابل قبولی از برنامه SeismoStruct جهت مدل‌سازی و تحلیل قاب‌های خمشی استفاده نمود.

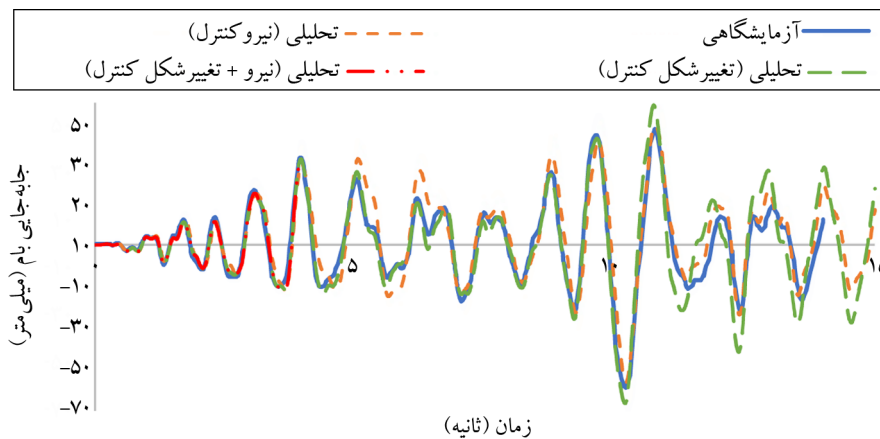
برای انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی فزاینده، از مدل‌های دو بعدی قاب‌های میانی سازه‌ها در برنامه SeismoStruct [۱۸] استفاده شده است. دلیل استفاده از قاب‌های دو بعدی به جای قاب سه‌بعدی، زیاد بودن حجم خروجی‌های برنامه و همچنین سرعت کم تحلیل‌ها می‌باشد. در مدل‌سازی غیرخطی از المان‌های فیری با رفتار غیرخطی محدود (FBPH) استفاده شده است [۱۹]. بر اساس آنالیزهای حساسیت، در صورتی که طول ناحیه پلاستیک انتهایی برابر با ۱۵ درصد طول کل عضو در نظر گرفته شود، نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید. در المان‌های (FBPH) رفتار غیرخطی به صورت گسترده در دو بخش انتهایی هر عضو که طول آن را برابر با ۱۵ درصد قرار دادیم محاسبه می‌شود. در این مدل رفتاری، اندرکنش لنگر خمشی و نیروی محوری به صورت لحظه‌ای و با دقت مناسب در نظر گرفته می‌شود. برای مدل‌سازی رفتار فولاد از مدل منگوتو-پینتو [۲۰] و مدل‌سازی رفتار بتن، از مدل مندر [۲۱] استفاده شده است. ضرایب محصورشدگی به صورت خودکار توسط نرم‌افزار برای هر مقطع بتنی با تعداد آرماتورهای طولی و عرضی متفاوت محاسبه می‌شود و در مقاومت بتن ضرب می‌شود. هر المان تیر و ستون به سه قسمت تقسیم می‌شود که دو قسمت شامل طول ناحیه بحرانی با بتن محصور شده و آرماتور عرضی متناسب با نتایج تحلیل‌های خطی بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و قسمت میانی شامل ناحیه غیربحرانی‌ها می‌باشد. در تمامی طبقات کف‌های سازه‌ای به صورت صلب و با استفاده از (Rigid link) به یکدیگر متصل شده‌اند. تمامی اتصالات از نوع گیردار بوده و جابه‌جایی خارج از صفحه به دلیل استفاده از مدل‌های دو بعدی بسته شده است. همچنین از اثرات اندرکنش خاک-سازه صرف‌نظر شده است. از روش پنهالتی^{۱۸} جهت مدل‌سازی قيود تکیه‌گاهی استفاده شده است. جهت انتگرال‌گیری از الگوریتم هیلبرت-هیوز^{۱۹} استفاده شده است که نسبت به مدل نیومارک^{۲۰} از سرعت عمل بیشتری برخوردار است. همچنین برای رایلی^{۲۱} در مدل‌ها استفاده شده است. به دلیل اینکه در برنامه SeismoStruct از قاب دو بعدی جهت تحلیل استفاده می‌کنیم،

جدول (۳): مشخصات آرماتورهای مصرفی در تیرها و ستون‌ها.

قالب	طبقه	ابعاد ستون	آرماتور طولی	طول ناحیه بحرانی	آرماتور عرضی ناحیه بحرانی	آرماتور عرضی ناحیه غیر بحرانی
طبقه ۳	۳-۱	۵۰×۵۰	۲۰φ۲۰	۵۵	۱۰@۱۰φ۶	۱۲@۱۰φ۱۳
	۲-۱	۶۰×۶۰	۲۰φ۲۰	۶۵	۱۰@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۱۱
	۵-۳	۵۰×۵۰	۲۰φ۲۰	۵۵	۱۰@۱۰φ۶	۱۲@۱۰φ۱۳
طبقه ۶	۶	۴۰×۴۰	۲۰φ۱۴	۵۴	۷@۱۰φ۸	۱۰@۱۰φ۱۶
	۵-۱	۶۰×۶۰	۲۰φ۲۰	۶۵	۱۰@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۱۱
طبقه ۹	۸-۶	۵۰×۵۰	۲۰φ۲۰	۵۵	۱۰@۱۰φ۶	۱۲@۱۰φ۱۳
	۹	۴۰×۴۰	۲۰φ۱۴	۵۴	۷@۱۰φ۸	۱۰@۱۰φ۱۶
طبقه ۱۲	۱	۸۰×۸۰	۲۰φ۲۸	۸۹	۱۲@۱۰φ۸	۱۲@۱۰φ۷
	۳-۲	۷۰×۷۰	۲۰φ۲۴	۷۷	۱۲@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۹
	۸-۴	۶۰×۶۰	۲۰φ۲۰	۶۵	۱۰@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۱۱
طبقه ۱۵	۱۰-۹	۵۰×۵۰	۲۰φ۲۰	۵۵	۱۰@۱۰φ۶	۱۲@۱۰φ۱۳
	۱۲-۱۱	۴۰×۴۰	۲۰φ۱۴	۵۴	۷@۱۰φ۸	۱۰@۱۰φ۱۶
	۵-۱	۸۰×۸۰	۲۰φ۲۸	۸۹	۱۲@۱۰φ۸	۱۲@۱۰φ۷
طبقه ۱۵	۷-۶	۷۰×۷۰	۲۰φ۲۴	۷۷	۱۲@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۹
	۱۱-۸	۶۰×۶۰	۲۰φ۲۰	۶۵	۱۰@۱۰φ۷	۱۲@۱۰φ۱۱
	۱۳-۱۲	۵۰×۵۰	۲۰φ۲۰	۵۵	۱۰@۱۰φ۶	۱۲@۱۰φ۱۳



شکل (۲): تأثیر تعداد فایبر بر نتایج تحلیلی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی تحت نکاشت با دوره بازگشت ۴۷۵ سال.



شکل (۳): تأثیر نوع رفتاری المان‌ها بر نتایج تحلیلی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی تحت نکاشت با دوره بازگشت ۴۷۵ سال.

به علاوه یک انحراف معیار با طیف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم مقایسه شده است. لازم به ذکر است که با افزایش میرایی مقادیر طیف پاسخ کاهش می‌یابد.

نمودار بازه پرودی ۰ تا ۴ ثانیه را پوشش می‌دهد که برای قاب‌های خمشی با ارتفاع کم تا زیاد مناسب است. با توجه به شکل، در پروده‌های بیش از ۰/۸ ثانیه، مقادیر پاسخ طیف B1 آیین‌نامه کمتر از مقادیر میانگین طیف نگاشت‌های نزدیک با پرود پالس متوسط است، اما مقادیر پاسخ طیف NIB آیین‌نامه در تمام بازه‌ی پرودی غیر از ۰/۲ تا ۰/۵ و ۰/۷۵ تا ۱/۳ بالاتر از طیف میانگین تمامی نگاشت‌های انتخابی است. با توجه به اینکه سازه‌های مورد مطالعه دارای پرود ارتعاش اصلی ۰/۶ تا ۱/۹ ثانیه هستند، لذا این بازه پرودی دارای اهمیت زیادی است. همچنین با توجه به اینکه در زلزله‌های متوسط تا شدید، رفتار غیرخطی سازه‌های قاب خمشی قابل توجه می‌باشد، بروز پدیده افزایش پرود^{۲۴} سازه‌ها تا دو برابر پرود مود اول سازه [۲۳] باعث می‌شود که پروده‌های بیش از ۱/۹ ثانیه طیف پاسخ نیز اهمیت یابند.

۶-۲- محاسبه ضریب اصلاح طیف ارتجاعی

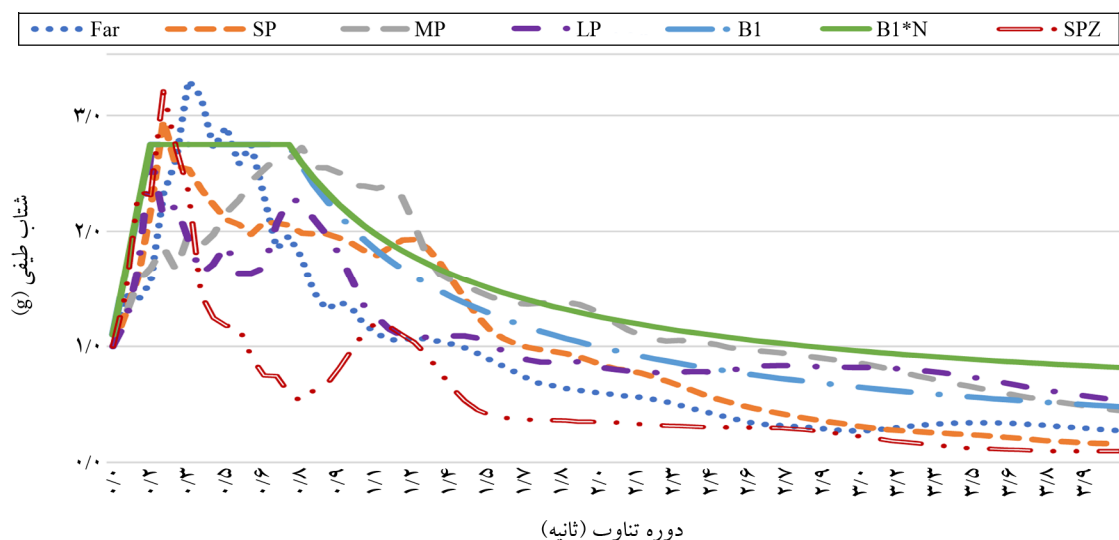
با استفاده از برنامه SeismoSpect طیف پاسخ شتاب یک درجه آزادی برای هر دسته از نگاشت‌های دور و نزدیک به گسل محاسبه شده با تقسیم طیف میانگین هر دسته از نگاشت‌های نزدیک

همچنین در شکل (۱) نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزاری با تعداد فایبرهای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ عدد ارائه شده است. هرچند که افزایش مقدار فایبرها باعث افزایش دقت می‌شود اما افزایش آنها باعث کاهش سرعت تحلیل و افزایش حجم خروجی می‌شود. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که استفاده از ۲۰۰ فایبر مناسب بوده و نتایج با واقعیت نزدیک می‌باشد. لذا در این مقاله از تعداد ۲۰۰ فایبر در هر مقطع استفاده می‌شود. در شکل (۲) نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزاری با سه حالت رفتار نیرو کنترل^{۲۲}، تغییر شکل کنترل^{۲۳} و ترکیبی از این دو حالت ارائه شده است. نتایج هر سه حالت تقریباً مشابه به یکدیگر می‌باشند اما با توجه به پیشنهاد راهنمای برنامه، از مدل رفتاری نیرو کنترل برای تمامی المان‌ها استفاده می‌کنیم.

۶- نتایج تحلیل‌های ارتجاعی و غیر ارتجاعی

۶-۱- طیف پاسخ شتاب نگاشت‌های زلزله

جهت محاسبه طیف پاسخ نگاشت‌های زلزله لازم است معادله پاسخ سازه‌های یک درجه آزاد ارتجاعی با پروده‌های مختلف حل شده و مقادیر حداکثر پاسخ به عنوان طیف پاسخ معرفی شود. با استفاده از نرم‌افزار SeismoSpect طیف میانگین پاسخ هر مجموعه هفت تایی نگاشت‌ها با میرایی ۵ درصد محاسبه شده و در شکل (۴) مقادیر متوسط طیف پاسخ مجموعه نگاشت‌های انتخابی



شکل (۴): مقایسه طیف پاسخ شتاب مجموعه نگاشت‌ها به علاوه یک انحراف معیار با طیف ۲۸۰۰.

سازه‌های تحت نگاشت ایستگاه سرپل ذهاب مقادیر ضریب اصلاح طیف از مقدار آیین‌نامه‌ای کمتر می‌باشد. به‌طور کلی در بازه پریودی ۱/۴ تا ۳ ثانیه، با افزایش پریود سازه مقدار Nsa برای نگاشت‌های پالس متوسط و بلند روند افزایشی داشته و برای نگاشت‌های پالس کوتاه روند کاهشی داشته است. با توجه به رفتار غیرخطی سازه‌های قاب خمشی تحت زلزله‌های متوسط و شدید، استفاده از نتایج تحلیل‌های خطی مناسب نیست. به همین دلیل در بخش بعدی این مقاله با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی، مقادیر ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی محاسبه می‌شود.

۳-۶- محاسبه ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی

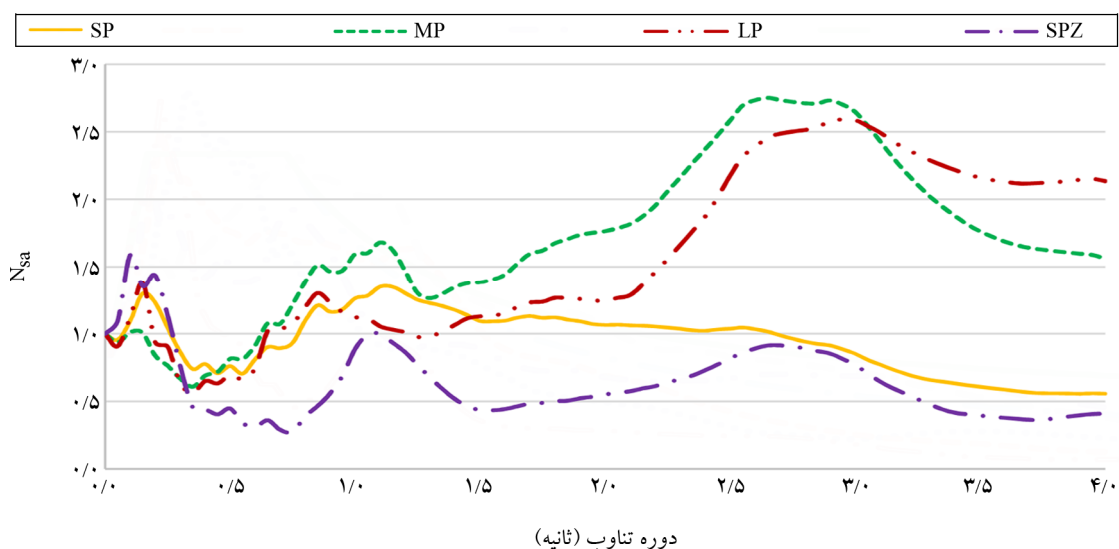
جهت محاسبه ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی در شدت‌های مختلف از تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA) استفاده شده

نزدیک به طیف میانگین نگاشت‌های دور از گسل، مقدار ضریب اصلاح طیف ارتجاعی هر مجموعه نگاشت در هر پریود محاسبه شد و این نسبت با Nsa در شکل (۵) در بازه پریودی ۰ تا ۴ ثانیه مشاهده می‌شود. همچنین نسبت طیف پاسخ شتاب زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ در ایستگاه سرپل ذهاب به طیف میانگین پاسخ شتاب نگاشت‌های دور از گسل نیز رسم شده است.

در جدول (۴) مقادیر ضریب اصلاح طیف ارتجاعی برای سازه‌های نمونه تحت مجموعه نگاشت پالس کوتاه، متوسط و شدید محاسبه شده و با مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شده است. مشاهده می‌شود که نگاشت‌های پالس متوسط بیشترین آثار مخرب را بر سازه‌ها دارند. همچنین در اکثر سازه‌ها مقدار ضریب اصلاح طیف ارتجاعی از مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر می‌باشد که مهم‌ترین عامل آن نگاشت‌های پالس متوسط هستند. در تمامی

جدول (۴): ضرایب اصلاح طیف ارتجاعی (Nsa) برای سازه‌های نمونه.

طبقه ۱۵	طبقه ۱۲	طبقه ۹	طبقه ۶	طبقه ۳	
۱/۰۹	۱/۱۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۰/۸۹	نگاشت‌های پالس کوتاه
۱/۷۴	۱/۵۶	۱/۲۸	۱/۵۴	۱/۰۸	نگاشت‌های پالس متوسط
۱/۲۶	۱/۲۲	۱/۰۰	۱/۱۴	۱/۰۴	نگاشت‌های پالس بلند
۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۷۹	۰/۲۹	نگاشت سرپل ذهاب
۱/۷۴	۱/۵۶	۱/۲۸	۱/۵۴	۱/۰۸	حداکثر
۱/۳۶	۱/۳۰	۱/۱۷	۱/۳۰	۱/۰۰	میانگین (به‌جز سرپل ذهاب)
۱/۲۶	۱/۲۰	۱/۱۲	۱/۰۴	۱/۰۰	استاندارد ۲۸۰۰



شکل (۵): نسبت میانگین طیف پاسخ شتاب نگاشت‌های نزدیک به گسل بر نگاشت‌های دور از گسل (Nsa).

است [۲۴]. روش‌های متعددی توسط محققین جهت مقیاس‌سازی رکوردها ارائه شده است که از متداول‌ترین آنها می‌توان به مقیاس‌سازی بر اساس $Sa(T_i)$ و PGA نام برد. در روش $Sa(T_i)$ ابتدا طیف پاسخ شتاب رکورد محاسبه می‌شود. سپس مقدار شتاب متناسب با پررود سازه مورد نظر به عدد $1g$ مقیاس می‌شود. در این روش مقدار پررود سازه در مقیاس‌سازی محتوای فرکانسی زلزله تأثیرگذار است. در روش PGA، مقدار حداکثر شتاب رکورد به عدد $1g$ مقیاس می‌شود. با توجه به اینکه هدف این تحقیق، ارزیابی و مقایسه ضرایب اصلاح در شدت‌های لرزه‌ای معادل $0/35g$ و $0/53g$ است، در نتیجه استفاده از روش PGA معقول‌تر است. با توجه به اهمیت بسیار بالای دو معیار کنترل دررفت و همچنین کنترل ظرفیت نیرویی المان‌های سازه‌ای در طراحی، از این دو معیار جهت محاسبه و ارزیابی ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی استفاده می‌کنیم. سازه‌های مورد مطالعه در این مقاله بر روی منطقه با خطر لرزه‌خیزی خیلی شدید ($A = 0/35$) و بر اساس ضوابط و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند. در نتیجه برای مقایسه و برآورد ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی از شدت‌های لرزه‌ای معادل زلزله طرح (منطقه با خطر بسیار زیاد)، با حداکثر شتاب $0/35$ برابر گرانث زمین و زلزله خیلی شدید معادل با حداکثر شتاب $0/53$ برابر گرانث زمین ($1/5$ برابر زلزله طرح) استفاده می‌کنیم هرچند که مقایسه شدت لرزه‌ای $0/53$ برابر گرانث زمین با مقدار طیف آیین‌نامه صحیح نیست و معیار اصلی کنترل شدت لرزه‌ای معادل با $0/35g$ می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، این فرض که میان شتاب طیفی زلزله نادر و طرح یک نسبت $1/5$ برابری وجود دارد از نظر علم تحلیل خطر احتمالاتی صرفاً یک تخمین بوده و نادقیقی آن در بسیاری از مناطق جهان (به‌ویژه در ایران) اثبات شده است [۲۵]. در این مقاله برای ساده‌سازی از این فرض $1/5$ برابری استفاده می‌شود. با ترسیم مقادیر حداکثر نیازهای لرزه‌ای شامل حداکثر دررفت و برش پایه بر حسب PGAهای متفاوت، نمودار IDA رسم می‌شود. جهت رسم این نمودار از ضرایب مقیاس $0/05$ ، $0/15$ ، $0/35$ ، $0/53$ ، $1/0$ و $1/5$ (PGA) استفاده می‌شود. ضریب PGA $0/05$ معادل

با حالت ارتجاعی نیازهای لرزه‌ای می‌باشد.

۶-۳-۱- محاسبه ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیاز تغییر مکانی

برای مقایسه و بررسی نتایج نیازهای تغییر مکانی از منحنی‌های میانگین IDA استفاده شده است. برای این کار ابتدا میزان پاسخ لرزه‌ای هر سازه به نگاشت‌ها در PGAهای مختلف از نرم‌افزار استخراج می‌شود. سپس در هر PGA میزان حداکثر دررفت سازه محاسبه شده و به‌عنوان حداکثر دررفت هر سازه تحت هر نگاشت در هر PGA ثبت می‌شود. این کار برای هر پنج سازه نمونه تحت هر چهار گروه از نگاشت‌ها انجام شده است. سپس در هر PGA مقدار میانگین پاسخ حداکثر هر نگاشت محاسبه می‌شود. با رسم نمودار PGA بر حسب میانگین پاسخ‌ها، منحنی میانگین IDA برای هر دسته از نگاشت‌ها در هر سازه محاسبه شده و در شکل (۶) ارائه شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که سازه‌ها تقریباً رفتار مشابهی را در مقابل مجموعه نگاشت‌ها داشته‌اند. به این صورت که در دررفت کمتر از ۱ درصد اختلاف زیادی بین منحنی‌های IDA غیر از نگاشت ایستگاه سرپل ذهاب وجود ندارد و با افزایش شدت لرزه‌ای، توان تخریبی نگاشت‌های پالس بلند بیشتر شده و از توان تخریبی زلزله‌های پالس کوتاه کاسته می‌شود. همچنین اثر تخریبی نگاشت ایستگاه سرپل ذهاب، از اثر تخریبی تمامی نگاشت‌ها کمتر می‌باشد. به‌طور کلی در شدت‌های لرزه‌ای زیاد که باعث تخریب و خرابی سازه‌ها می‌شود اثر نگاشت‌های پالس کوتاه نسبت به سایر نگاشت‌های زلزله ضعیف‌تر می‌باشد. در شدت لرزه‌ای $0/35g$ ، رفتار تمامی سازه‌ها تقریباً در ناحیه رفتار ارتجاعی است و این یعنی سازه‌هایی که بر اساس ویرایش چهارم ۲۸۰۰ و مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان تحلیل ارتجاعی و طراحی شده‌اند، تحت مجموعه نگاشت‌ها و تحلیل‌های غیرارتجاعی باز هم رفتار ارتجاعی دارند و در این مورد استاندارد ۲۸۰۰ در جهت اطمینان بوده است. مقادیر ضرایب برای سازه‌های مورد نظر و تحت شدت‌های لرزه‌ای $0/35g$ و $0/53g$ به ترتیب جداول (۵) و (۶) ارائه شده است.

جدول (۵): ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی نیازهای تغییر مکانی در شدت لرزه‌ای (۰/۳۵g).

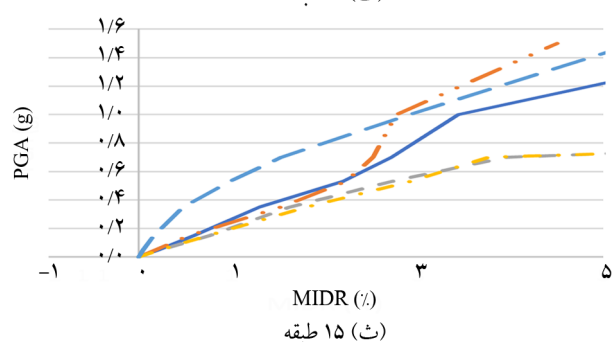
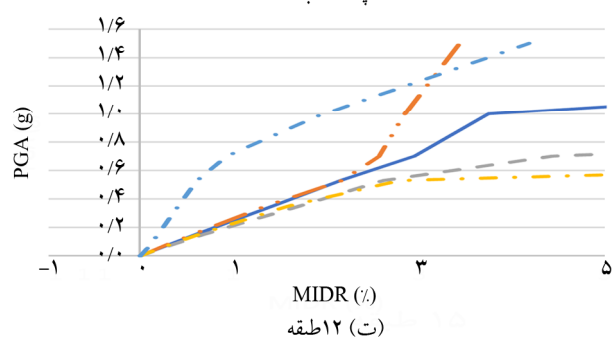
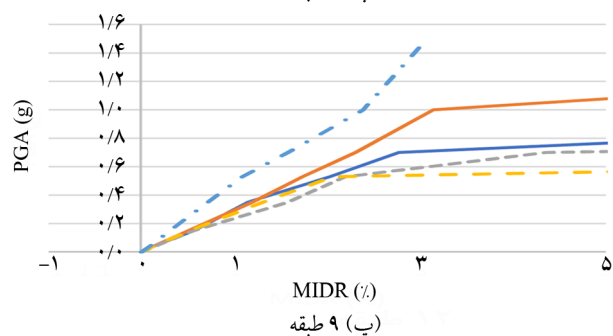
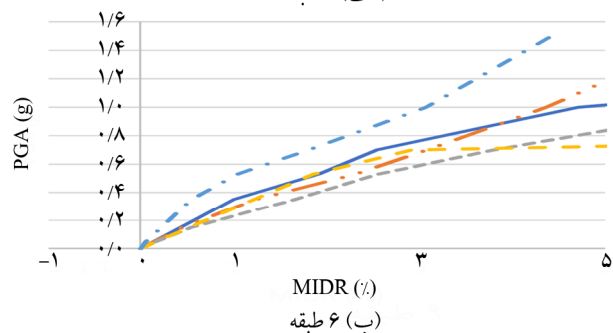
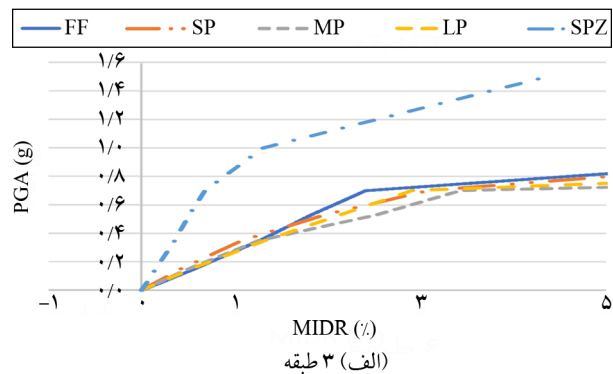
شدت لرزه‌ای (۰/۳۵g)	طبقه ۳	طبقه ۶	طبقه ۹	طبقه ۱۲	طبقه ۱۵
زمان تناوب تحلیلی	۰/۶۹	۰/۹۷	۱/۳۳	۱/۶۷	۱/۹
نگاشت‌های پالس کوتاه	۰/۸۶	۱/۲۲	۱/۰۴	۰/۹۴	۱/۱۷
نگاشت‌های پالس متوسط	۱/۰۰	۱/۶۵	۱/۳۷	۱/۱۹	۱/۲۴
نگاشت‌های پالس بلند	۱/۰۵	۱/۲۱	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۳۸
نگاشت سرپیل ذهاب	۰/۲۹	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۲۹	۰/۳۷
حداکثر	۱/۰۵	۱/۶۵	۱/۳۷	۱/۱۹	۱/۳۸

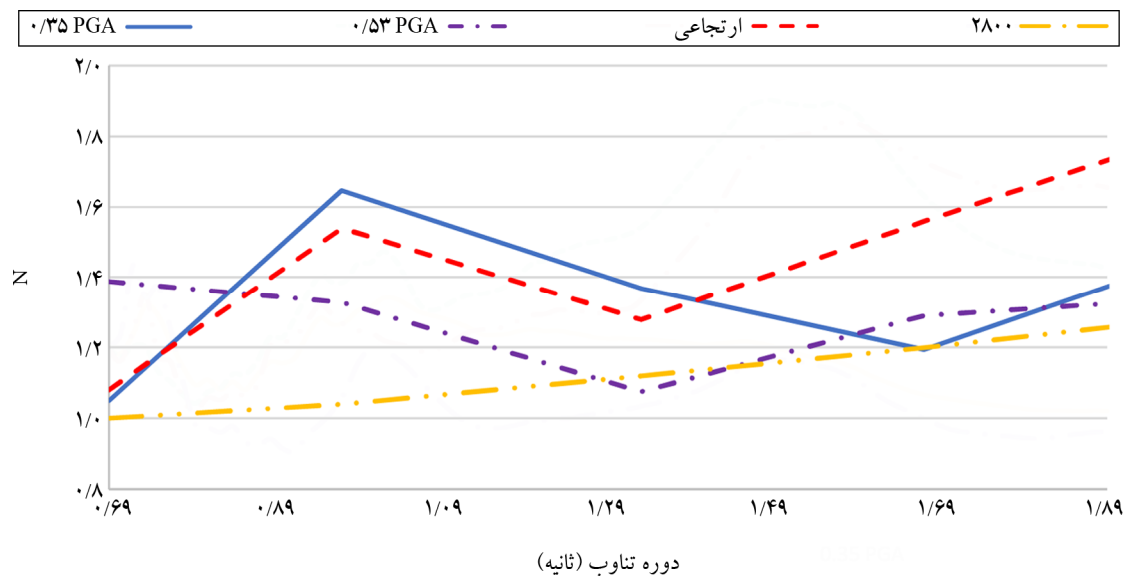
جدول (۶): ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی نیازهای تغییر مکانی در شدت لرزه‌ای (۰/۵۳g).

شدت لرزه‌ای (۰/۵۳g)	طبقه ۳	طبقه ۶	طبقه ۹	طبقه ۱۲	طبقه ۱۵
زمان تناوب تحلیلی	۰/۶۹	۰/۹۷	۱/۳۳	۱/۶۷	۱/۹
نگاشت‌های پالس کوتاه	۱/۰۸	۱/۲۰	۰/۸۵	۱/۰۰	۱/۰۱
نگاشت‌های پالس متوسط	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۰۸	۱/۲۱	۱/۲۳
نگاشت‌های پالس بلند	۱/۱۷	۰/۹۷	۱/۰۱	۱/۲۹	۱/۳۳
نگاشت سرپیل ذهاب	۰/۲۸	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۴۴
حداکثر	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۰۸	۱/۲۹	۱/۳۳

همچنین در شکل (۷) مقادیر ضریب اصلاح غیرارتجاعی (N) بر حسب پیروی سازه‌ها تحت شدت‌های لرزه‌ای (۰/۳۵g)، (۰/۵۳g) و مقادیر ضریب اصلاح ارتجاعی و مقادیر ضریب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ارائه شده است.

در این شکل منظور از Elastic، نسبت حداکثر پاسخ یک درجه آزاد مجموعه نگاشت‌های نزدیک گسل، به نگاشت‌های دور از گسل در مقیاس واقعی نگاشت‌ها (بدون همپایه‌سازی و صرفاً بر اساس حداکثر شتاب هر نگاشت) است. با توجه به نتایج، مقادیر ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیازهای تغییر مکانی در شدت لرزه‌ای معادل طراحی (۰/۳۵g) در بازه ۱/۰۵ تا ۱/۶۵ قرار می‌گیرد. همچنین اختلاف میان ضرایب اصلاح غیرارتجاعی با ضرایب اصلاح استاندارد ۲۸۰۰ در سازه ۶ طبقه با پیروی ۰/۹۷ ثانیه به میزان حداکثر ۵۸ درصد رسیده است. این میزان اختلاف برای سازه ۳ طبقه برابر ۵ درصد، سازه ۹ طبقه ۲۲ درصد، سازه ۱۵ طبقه برابر ۹ درصد و سازه ۱۲ طبقه ۰ درصد می‌باشد.


شکل (۶): منحنی میانگین در بزرگ‌ترین سازه‌ها بر حسب PGA (میانگین IDA).



شکل (۷): نمودار مقایسه ضرایب اصلاح ارتجاعی و غیرارتجاعی و آیین نامه ۲۸۰۰.

مشاهده می‌شود که نیاز برش پایه تحت مجموعه نگاشت‌های دور و نزدیک به گسل در سازه‌های نمونه تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند. در واقع ایجاد مفاصل پلاستیک پس از ورود رفتار سازه به ناحیه غیرخطی باعث کاهش نرخ افزایش برش پایه می‌شود به نحوی که نیاز برش پایه تحت انواع بارهای لرزه‌ای به مقدار حداکثری میل می‌کند که معادل ظرفیت نهایی برش سازه است. همچنین با افزایش ارتفاع سازه‌ها، نسبت برش پایه به وزن سازه در شدت‌های لرزه‌ای یکسان، کمتر از مقادیر متناظر در سازه‌های کوتاه‌تر می‌باشد زیرا در سازه‌های بلندتر، به دلیل افزایش میزان دوره تناوب سازه، مقادیر پاسخ طیفی آنها کمتر می‌شود. مقادیر ضرایب برای سازه‌های مورد نظر تحت شدت‌های لرزه‌ای (۰/۳۵g) و (۰/۵۳g) به ترتیب در جداول (۷) و (۸) ارائه شده است.

جدول (۷): ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی نیازهای تغییر مکانی در شدت لرزه‌ای (۰/۳۵g).

طبقه ۳	طبقه ۶	طبقه ۹	طبقه ۱۲	طبقه ۱۵	
۰/۶۹	۰/۹۷	۱/۳۳	۱/۶۷	۱/۹	زمان تناوب تحلیلی
۱/۰۰	۱/۰۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۵	نگاشت‌های پالس کوتاه
۱/۰۳	۱/۱۳	۱/۰۱	۱/۱۸	۱/۳۴	نگاشت‌های پالس متوسط
۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۱۲	۱/۱۸	نگاشت‌های پالس بلند
۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۴۷	۰/۵۴	نگاشت سرپل ذهاب
۱/۰۳	۱/۱۳	۱/۰۱	۱/۱۸	۱/۳۴	حداکثر

مقادیر ضریب اصلاح غیرارتجاعی در شدت لرزه‌ای خیلی شدید (۰/۵۳g) در بازه‌ی ۱/۰۸ تا ۱/۳۹ قرار دارد. میزان اختلاف ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی با ضرایب اصلاح استاندارد ۲۸۰۰ در سازه ۳ طبقه برابر ۳۸ درصد، سازه ۶ طبقه ۲۷ درصد، سازه ۹ طبقه منفی ۴ درصد، سازه ۱۲ طبقه ۷ درصد و سازه ۱۵ طبقه ۵ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج غیر از سازه ۱۲ طبقه در شدت لرزه‌ای (۰/۳۵g) و سازه ۹ طبقه در شدت (۰/۵۳g)، در تمامی سازه‌ها مقادیر ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی از مقادیر طیف اصلاح آیین‌نامه‌ای بیشتر می‌باشد. این اختلاف می‌تواند به دلیل ورود رفتار سازه‌ها به ناحیه رفتار غیرخطی و افزایش پیوند سازه‌ها در این ناحیه باشد که منجر به افزایش آسیب‌پذیری تحت نگاشت‌های نزدیک به گسل می‌شود.

۶-۳-۲- محاسبه ضریب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیاز برش پایه در شکل (۸) منحنی‌های میانگین نرمال شده سازه‌ها تحت مجموعه نگاشت‌ها ارائه شده است. برای این کار میانگین حداکثر برش پایه ایجاد شده در سازه‌ها در هر PGA و در هر مجموعه نگاشت محاسبه شده و بر وزن سازه مورد نظر تقسیم شده است. از این نمودارها جهت مقایسه بین اثر مجموعه نگاشت‌های مختلف بر روی نیاز برش پایه سازه‌ها استفاده می‌کنیم.

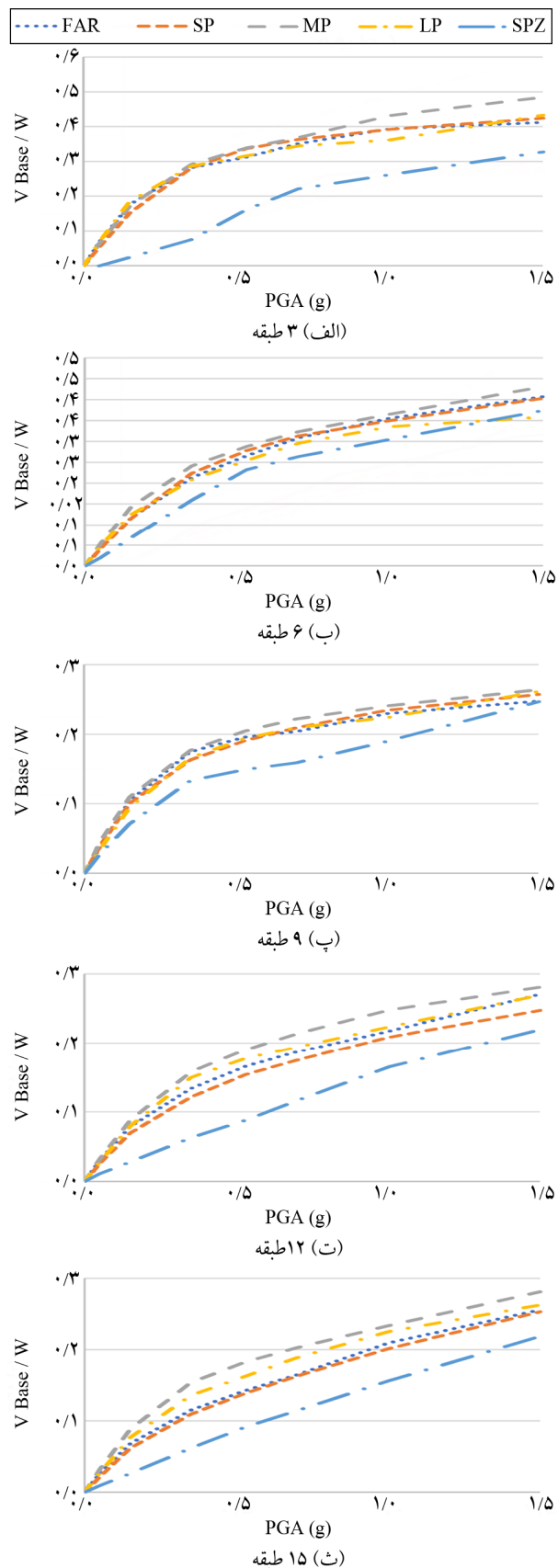
جدول (۸): ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی نیازهای برش پایه در شدت لرزه‌ای (۰/۵۳g).

طبقه ۳	طبقه ۶	طبقه ۹	طبقه ۱۲	طبقه ۱۵	
۰/۶۹	۰/۹۷	۱/۳۳	۱/۶۷	۱/۹	زمان تناوب تحلیلی
۱/۰۸	۱/۰۵	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۷	نگاشت‌های پالس کوتاه
۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۱۵	۱/۲۸	نگاشت‌های پالس متوسط
۱/۰۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۱/۰۷	۱/۱۴	نگاشت‌های پالس بلند
۰/۷۱	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۵۳	۰/۶۴	نگاشت سرپل ذهاب
۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۱۵	۱/۲۸	حداکثر

مشاهده می‌شود که تفاوت چشمگیری میان ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیاز برش پایه تحت شدت‌های لرزه‌ای (۰/۳۵g) و (۰/۵۳g) وجود ندارد و با افزایش ارتفاع سازه‌ها غیر از سازه ۹ طبقه، مقادیر ضریب افزایش می‌یابد. همچنین به‌طور میانگین نیاز برش طبقات تحت نگاشت‌های پالسی نزدیک به گسل در حدود ۱۳ درصد بیشتر از نیاز برش طبقات تحت نگاشت‌های دور از گسل می‌باشد که این میزان اختلاف نسبت به اختلاف ضرایب نیاز تغییر مکانی بسیار کمتر است. در واقع با ورود رفتار سازه به ناحیه غیرخطی و تشکیل مفاصل پلاستیک، به تدریج از سختی سازه کاسته می‌شود و این کاهش سختی باعث افزایش نیاز تغییر مکانی سازه و کاهش سرعت نیاز برشی سازه می‌شود. همچنین تأثیر نگاشت‌های پالس متوسط در افزایش نیاز برش پایه در تمامی سازه‌ها از تأثیر تمامی نگاشت‌های بیشتر می‌باشد و نگاشت زلزله سرپل ذهاب در تمامی سازه‌ها کمترین تأثیر را در افزایش نیاز برش پایه سازه‌ها دارد.

۲- نتیجه‌گیری

ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیاز تغییر مکانی در خطر لرزه‌ای (۰/۳۵g) در اکثر سازه‌ها از ضرایب اصلاح طیف ارتجاعی بیشتر می‌باشد و غیر از سازه ۹ طبقه، تمامی سازه‌ها ضرایب اصلاح طیف بزرگ‌تری نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ دارند و این اختلاف در سازه ۶ طبقه به میزان حداکثر ۵۸ درصد می‌رسد. این موضوع در مورد نیاز برش پایه سازه‌ها صادق نیست و ضرایب اصلاح طیف غیرارتجاعی برای نیاز برش پایه در خطر لرزه‌ای



شکل (۸): نمودار تغییرات میانگین برش پایه نرمال شده بر حسب PGA برای سازه‌های نمونه.

نگاشت‌های استفاده شده در این تحقیق است. با این حال نتیجه می‌شود که ضرایب اصلاح طیف برای سازه‌های انتخابی و نگاشت‌های مورد استفاده در جهت اطمینان نبوده است.

مراجع

1. Bolt, B.A. (2004) Seismic input motions for nonlinear structural analysis. *ISET Journal of Earthquake Technology*, **41**(2), 223-232.
2. Mavroeidis, G., Dong, G., and Papageorgiou, A. (2004) Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**(9), 1023-1049.
3. Somerville, P.G., et al. (1997) Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, **68**(1), 199-222.
4. Alavi, B. and Krawinkler, H. (2004) Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **33**(6), 687-706.
5. Bray, J.D. and Rodriguez-Marek, A. (2004) Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. **24**(11), 815-828.
6. Yang, D., Pan, J., and Li, G. (2010) Interstory drift ratio of building structures subjected to near-fault ground motions based on generalized drift spectral analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. **30**(11), 1182-1197.
7. Lin, K.-C., et al. (2010) Seismic reliability of steel framed buildings. *Structural Safety*, **32**(3), 174-182.
8. Champion, C. and Liel, A. (2012) The effect of near-fault directivity on building seismic collapse risk. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **41**(10), 1391-1409.
9. Gerami, M. and Abdollahzadeh, D. (2012) Estimation of forward directivity effect on design spectra in near field of fault. *Journal of Basic and*

در تمامی سازه‌ها کمتر از ضرایب طیف ارتجاعی می‌باشند. این ضریب در سازه‌های ۹ و ۱۲ طبقه کمتر از مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد و در سایر سازه‌ها با اختلاف کمی از مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر می‌باشد.

در واقع بخش عمده‌ای از تأثیرات مخرب نگاشت‌های حاوی اثر جهت‌داری صرف نیازهای تغییر مکانی در سازه‌ها می‌شود و در مورد نیازهای برش پایه نگرانی کمتری وجود دارد. با ورود سازه‌ها به ناحیه رفتار غیرخطی و کاهش سختی سازه‌ها، افزایش زمان تناوب سازه‌ها باعث تغییر در مشخصات رفتار مودی سازه‌ها می‌شود و تأثیر مودهای بالاتر عامل مهمی است که در تعیین طیف ارتجاعی یک درجه آزاد در نظر گرفته نمی‌شود.

همچنین مشاهده می‌شود که علیرغم ارتباط معنادار میان پی‌یود ارتعاش اصلی سازه‌ها و ضریب اصلاح طیف استاندارد ۲۸۰۰، روند تغییرات ضرایب اصلاح به خصوص در طیف غیرارتجاعی نیاز تغییر مکانی منظم نیست و رابطه‌ی خاصی میان پی‌یود سازه‌ها و ضرایب اصلاح وجود ندارد. یکی از دلایل این موضوع، افزایش پی‌یود ارتعاش سازه‌ها در ناحیه رفتار غیرخطی است که باعث می‌شود سازه‌های کوتاه نیز تحت تأثیر ارتعاشات پالس‌های پی‌یود متوسط و بلند قرار گیرند. از دلایل دیگر این موضوع می‌توان به یکسان بودن برخی از آثار تخریبی نگاشت‌های پالسی برای سازه‌های مختلف بیان کرد. برای نمونه بخش مهمی از توان تخریبی نگاشت‌های پالسی شکل ناشی از تخلیه‌ی میزان انرژی زیاد در زمان کوتاه می‌باشد که این موضوع برای تمامی سازه‌های نمونه وجود دارد. با افزایش شدت لرزه‌ای، تأثیر نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل در بعضی از سازه‌ها کاهش و در تعدادی افزایش می‌یابد.

نتایج این تحقیق محدود به سازه‌های قاب خمشی بتن آرمه ویژه سه دهانه منظم و بر روی خاک نوع ۳، تحت ۲۹ نگاشت انتخابی در این مقاله است. بدیهی است که با تغییر هر یک از این مشخصات، امکان تغییر ضرایب اصلاح و نتایج وجود دارد. از طرفی تعداد نگاشت‌های مورد استفاده در تهیه طیف و ضریب اصلاح ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰، قطعاً بسیار بیشتر از

- elements. *Journal of Structural Engineering*, **132**(2), 244-252.
20. Menegotto, M. (1973) Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. *Proc. of IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*.
 21. Mander, J.B., Priestley, M.J., and Park, R. (1988) Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, **114**(8), 1804-1826.
 22. Pinho, R. and Elnashai, A. (2000) Dynamic collapse testing of a full-scale four storey RC frame. *ISET Journal of Earthquake Technology*, **37**(4), 143-163.
 23. Haselton, C., et al. (2012) Selecting and scaling earthquake ground motions for performing response-history analyses. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute Oakland, CA, USA.
 24. Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2002) Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**(3), 491-514.
 25. Leyendecker, E.V., et al. (2000) Development of maximum considered earthquake ground motion maps. *Earthquake Spectra*, **16**(1), 21-40.
- واژه‌نامه**
- | | | | |
|--------------------------|---------------------|--|--|
| Parkfield | ۱- پارک‌فیلد | | |
| Pacoima | ۲- پاکویما | 17. Ashayeri, I., Memari, M.A., and Haghshenas, E. (2021) Seismic microzonation of Sarpol-e-zahab after Mw 7.3 2017 Iran earthquake: 1D-equivalent linear approach. <i>Bulletin of Earthquake Engineering</i> , 19 , 605-622. | |
| Landers | ۳- لندرز | 18. <i>SeismoStruct. A Computer Program for Static and Dynamic Analysis for Framed Structures</i> (2021) Available: www.seissoft.com (online). | |
| Northridge | ۴- نورثریدج | 19. Scott, M.H. and Fenves, G.L. (2006) Plastic hinge integration methods for force-based beam-column | |
| Kobe | ۵- کوبه | | |
| Chi-Chi | ۶- چی چی | | |
| Peak Ground Displacement | ۷- حداکثر جابه‌جایی | | |
| Peak Ground Velocity | ۸- حداکثر سرعت | | |
| Peak Ground Acceleration | ۹- حداکثر شتاب | | |

- ۱۰- نگاشت سرعت Velocity Pulse
- ۱۱- اثر پرتابی Fling Step
- ۱۲- جهت‌داری پیش‌رونده Forward Directivity
- ۱۳- دو طرفه Double-Sided
- ۱۴- استاندارد UBC۹۷ 1997 Uniform Building Code
- ۱۵- سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی <https://ismn.bhrc.ac.ir>
- ۱۶- سایت پییر <https://ngawest2.berkeley.edu>
- ۱۷- تحلیل دینامیکی افزایشی Incremental Dynamic Analysis (IDA)
- ۱۸- روش پنالتی Penalty Approach
- ۱۹- هیلبرت-هیوز Hilbert-Hughes
- ۲۰- نیومارک Newmark
- ۲۱- میرایی رایلی Rayleigh Damping
- ۲۲- رفتار نیرو کنترل Force Base Control
- ۲۳- تغییر شکل کنترل Displacement Base Control
- ۲۴- افزایش پر یود Period Elongation

Evaluation of Spectrum Correction Factor of Iranian Code No.2800 to Determine the Seismic Parameters of RC Moment-Resisting Frames in Near Field Earthquakes

Nima Shahbazi¹, Reza Aghayari^{2*} and Iman Ashayer³

1. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran,
*Corresponding Author, email: reza_agh@razi.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Iran's Standard No. 2800 provides a code for the design of structures against earthquake loads. Due to the fact that mostly, far-field records have been used to prepare the seismic design spectra, in order to consider the destructive effects of near-field earthquakes in the 4th edition of Standard 2800, the incremental spectral correction coefficient (N) was introduced. In this paper, the accuracy and estimation of the value of this coefficient for five structures of special reinforced concrete moment-resisting frame with the number of floors from 3 to 15 are evaluated. Due to the fact that the increase in seismic requirements under the pulses of near-fault earthquakes is not the same for all seismic response parameters, so different correction coefficients can be used to estimate displacement response quantities and force quantities. For this purpose, first, the structures are statically analyzed according to the criteria of Iranian Standard 2800 and are designed according to the criteria of Article 9 of the National Regulations of Iran. Then the dimensions of beams, columns and rebars required by the structures are determined. After that the response spectrum of single-degree of freedom system to a set of records (including seven far-field records, and 22 near-field records) is calculated, and then by using incremental dynamic analysis, the seismic response of structures at different seismic intensities is calculated. By calculating the response ratio of structures under near-field records to far-field records, the value of the N-coefficient is calculated. Based on the results, the value of the N-coefficient of the standard spectrum of Standard 2800 is suitable for estimating the base shear demand of structures, but this coefficient is not accurate enough to estimate the need for lateral drift of structures. In general, the coefficients obtained from elastic and inelastic analyzes for the need for displacement in reinforced concrete flexural frame structures are higher than the values provided by the Standard 2800. This difference has reached 58% in some structures. It was also observed that there is no regular relationship between the 1st period of the structures and the magnitude of the spectral correction coefficient and the magnitude of the spectrum correction decreases with increasing seismic intensity.

Keywords: Spectrum Correction Factor, Standard 2800, Near-Field Earthquakes, Incremental Dynamic Analysis, Reinforced Concrete Moment-Resisting Frame