Archive of SID

همایش ملی پژوهش های کاربردی در افق های نوین عمران و معماری
دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر
NATIONAL CONFERENCE OF PRACTICAL RESEARCHES IN MODERN HORIZONS OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURAL

ارزیابی رفتار غیرخطی قاب های خمشی فولادی تحت آنالیز پوش آور

ابراهیم قنادیان[1]*، علیرضا فیوض[2]، امین کشاورز[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر *ghannadiane@yahoo.com*
۲- استادیار، دانشگاه خلیج فارس بوشهر
۳- استادیار، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

چکیده

شتابنگاشت های مورد استفاده برای زلزله طراحی باید تا حدامکان نمایانگر حرکت واقعی زمین محل ساخت بر اثر زلزله باشد. برای قابل مقایسه بودن نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی تاریخچهٔ زمانی با روش های تحلیل طیفی و یا استاتیکی معادل، لازم است ضمن مقیاس سازی، نسبت به اصلاح رکوردهای زلزله مورد نظر اقدام گردد. در این مقاله از روشهای مختلفی جهت اصلاح مقادیر شتاب نگاشت ها استفاده شده و مقدار هر روش در نهایت ارائه و بررسی شده است. بر اساس نتایج تحقیق، برای قاب ۱۵ طبقه، روش آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی کیرچر به دست آمده است. بنا بر نتایج مشاهده می شود که حاشیه اطمینان مطرح شده در شیوه مقیاس سازی به روش آیین نامه ۲۸۰۰ نه تنها در خصوص سازه های کوتاه مرتبه و میان مرتبه می باشد، بلکه این روش در سازه های بلند مرتبه سازه را در معرض حاشیه اطمینان بالاتری نسبت به سایر روش های مقیاس سازی قرار خواهد داد. مقادیر جابجایی حداکثر طبقات برای مدل ۱۵ طبقه و در شیوه های مقیاس سازی لگاریتمی و کیرچر اختلاف کمی را نشان می دهد و درصد اختلاف تنها در حدود ۶٪ می باشد. لذا در سازه های بلند مرتبه نیز همچون سازه های میان مرتبه، این دو شیوه تقریباً منجر به پاسخ های تقریباً یکسانی شده است. اختلاف مقادیر جابجایی ماکزیمم برای شیوه آیین نامه ۲۸۰۰ با دو روش دیگر (روش کیرچر و لگاریتمی) به ترتیب برابر با ۳۹٪ و ۳۶٪ می باشد. آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برای کلیه مدل ها بیشترین جابجایی را نشان میدهد. با توجه به ماهیت آیین نامه‌ای این شیوه و تئوریک بودن سایر روش های مورد بررسی نشان دهنده محافظانه کارانه بودن شیوه این آیین نامه می باشد. استفاده از شیوه مقیاس سازی برای سازه های میان مرتبه و بلند مرتبه منجر به ضریب اطمینان غیر اقتصادی می‌گردد و چندان مطلوب نیست.

واژه‌های کلیدی: قاب فولادی، تحلیل غیرخطی، آنالیز پوش آور، مقیاس سازی

۱- مقدمه

در سال های اخیر ، آیین نامه ۵۱۹ و نیز استاندارد ۲۸۰۰ ایران به منظور نحوه بارگذاری و تحلیل لرزه ای سازه ها مورد استفاده قرار گرفته اند. به منظور تحلیل مدل‌های سازه ای، استفاده از دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی معمولا مورد استفاده قرار می گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

حرکت زمین برای انجام تحلیل‌های دینامیکی باید به صورت طیف بازتاب شتاب و یا تاریخچه زمانی تغییرات شتاب مشخص شود. برای این منظور نیاز به در نظر گرفتن رکورد های زلزله مناسب و یا طیف بازتاب شتاب آن با نام طیف طرح خواهد بود.

برای قابل مقایسه بودن نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی تاریخچهٔ زمانی با روش های تحلیل طیفی و یا استاتیکی معادل، لازم است ضمن مقیاس سازی، نسبت به اصلاح رکوردهای زلزله مورد نظر اقدام گردد. جهت مقیاس سازی رکورد زلزله ها روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این پایان نامه از ۴ روش زیر جهت اصلاح مقادیر شتاب نگاشت ها استفاده شده و مقدار تاثیر هر روش در پاسخ غیرخطی قاب های خمشی فولادی بررسی شده است.

روش های مورد استفاده برای مقیاس سازی شامل موارد زیر می باشد:

۱- روش *Kircher*

۲- روش لگاریتمی

۳- روش *INBC* (آیین نامه ۲۸۰۰)

۴- روش حداقل سازی (*Minimization Method*)

پس از مقیاس سازی زلزله های مختلف، در ادامه با مدلسازی قاب فولادی با سیستم باربر جانبی خمشی برای سه حالت ۳، ۷ و ۱۵ طبقه به بررسی و ارزیابی رفتار غیرخطی قاب پرداخته شده است.

۲- سوابق مربوط

Li (۲۰۱۵)، به بررسی اثر ضریب مقیاس زلزله بر روی پاسخ لرزه ای سازه ها حاصل از روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخته است. بدین منظور، طبق الزامات مطرح شده در آئین نامه بهسازی لرزه ای سازه ها ۴۴۰ *FEMA* برای لرزه های متداول *Ordinary Ground Motions* شتاب نگاشتها با یک روند تکراری طوری مقیاس می شوند که طی تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی حداکثر تغییر مکان نقطه کنترل به ۰,۵، ۲، ۴ درصد ارتفاع کل سازه برسد. در این تحقیق، سه مدل ساختمانی با ارتفاع کوتاه، متوسط و بلند توسط نرم افزار *PERFORM CSI* مدل سازی شده است. نتایج نهائی حاکی از آن است که با افزایش ارتفاع مدل‌های ساختمانی و همچنین با افزایش ضریب مقیاس، خطای روش های پوش آور نسبت به روش دقیق تاریخچه زمانی غیرخطی افزایش می‌یابد و در حالت کلی تحلیل پوش آور مودال نسبت به سایر روش ها با توزیع بار غیر به هنگام شونده نسبتاً از دقت قابل قبولی برخوردار است (*Li,2015*).

Catalán (۲۰۱۰) یک روش بهینه برای انتخاب و مقیاس کردن شتابنگاشت ها بر مبنای الگوریتم بهینه یابی جستجوی هارمونی ارائه کرده است. اکثریت آیین نامه های بارگذاری لرزه ای برای تحلیل سازه‌های نامنظم و خاص مانند نیروگاه‌ها، سدها، ساختمان های بلند و سازه‌های دارای اجزای غیرمتداول در برابر زلزله تحلیل های تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی را پیشنهاد کرده‌اند. برای انجام تحلیل های تاریخچه زمانی به چند شتابنگاشت که بیانگر زلزله مورد انتظار ساختگاه باشد نیاز است. در اغلب این آیین نامه ها مقیاس کردن شتابنگاشت های انتخابی برای اطمینان از انطباق یا فراتر بودن طیف پاسخ هدف دریک محدوده ی معین پریود الزامی است. این مسئله در بسیاری از موارد به تولید شتابنگاشت های بسیار قوی با انرژی بالا منتهی می‌گردد که تقاضاهای لرزه ای طرح را بطور نامعقولی افزایش می‌دهد (*Catalán,2010*).

Roy (۲۰۱۴) به پیش بینی کمی پاسخ انواع سیستم‌های سازه ای برای حالت حدی فروریزش ازجمله اهداف اساسی مطالعات اخیر مهندسی زلزله براساس عملکرد می باشد. دراین میان ارزیابی احتمال فروریزش قاب‌های خمشی بتنی مسلح به عنوان سیستم سازه ای مقاوم متداول و مطلوب در برابر زلزله از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. یکی از عوامل اساسی پیش بینی ایمنی در برابر فروریزش ارزیابی عدم قطعیت ناشی از تغییر پذیری مشخصات رکوردهای زمین لرزه ها و اثرات آنها برپاسخ سازه درمحدوده رفتار غیرخطی می باشد. تحقیقات اخیر بیانگر این نکته است که مشخصات رکوردهای زمین لرزه مورد استفاده در روند تحلیل به دلیل ماهیت تصادفی نسبت به دیگر عوامل عدم قطعیت در مدلسازی و پاسخ انواع سیستم‌های سازه

www.SID.ir

Archive of SID

ای شامل خواص و مشخصات مصالح و فرضیات طراحی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و اثر مهمی بر پاسخ غیرخطی سازه دارد (*Roy,2014*).

Akinci (۲۰۱۳) در تحقیقی از هفت شتاب نگاشت جهت انالیز استفاده کرده است. سپس نتایج حاصل از بکارگیری ۷ شتاب نگاشت یا نتایج حاصل از بکارگیری ۳ شتاب نگاشت مقایسه کرده است. در تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی پاسخ سازه با استفاده از روابط دینامیکی در گام‌های زمانی کوتاه محاسبه می شود. دراین روش باید پاسخ مدل سازه تحت تحریک شتاب زمین براساس حداقل سه شتاب نگاشت طبق دستورالعمل بهسازی لرزه ای محاسبه می شود. چنانچه کمتر از هفت شتاب نگاشت برای تحلیل انتخاب شود باید پیشینه اثر آنها برای کنترل تغییر شکل ها و نیروهای داخلی منظور شود. چنانچه از هفت شتاب نگاشت یا بیشتر استفاده شود می‌توان مقدار متوسط اثر آن‌ها را برای کنترل تغییر شکل‌ها و نیروهایی داخلی در نظر گرفت (*Akinci,2013*).

در برخی مواقع استفاده از تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی برای ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه ضروری است. به این منظور می بایست رکوردهای زلزله در نظر گرفته شده به مقیاس درآیند. آیین نامه ها و دستورالعمل ها مختلف هرکدام روش های متفاوتی را جهت مقیاس سازی ارایه نموده اند. یکی از روش های معمول و رایج در بین تمامی این مراجع استفاده از پارامترهای اوج می باشد که روش *PGA* نامیده می شود. عوامل مهمی می تواند در نتایج بدست آمده از این روش موثر باشد. در این تحقیق ۷ رکورد از زلزله های حوزه نزدیک گسل و ۷ رکورد از زلزله های حوزه دور از گسل انتخاب و به روش *PGA* همپایه شده اند. چهار طیف هدف بر اساس چهار نوع تیپ خاک نیز بیان شده است. درپایان به جهت مقایسه و بررسی کارایی ویژگی رکورد بر نوع خاک هدف نسبت *Ttarget/Tave* بررسی شده است *(Kanamori, 1983)*.

امروزه با توسعه استفاده از رایانه ها و سهولت انجام محاسبات، تحلیل های پیچیده نظیر تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه ها رواج پیدا کرده و در آیین نامه های معتبر لرزه ای مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور باید رکورد سلسله های مختلف براساس ویژگی های متناسب با ساخت گاه مورد نظر انتخاب شوند و با روش های خاصی اصلاح شوند. یکی از راه های اصلاح رکورد زلزله حامی قیاس کردن آن ها می باشد که خود با روش های مختلفی انجام می شود. در این تحقیق به بررسی روش های مختلف مقیاس سازی رکوردها پرداخته شده است. نخست هفت شتاب نگاشت انتخاب شده است و این رکوردها با هفت روش مختلف مقیاس سازی به مقیاس درآمدند. سه قاب چهار، هشت و ۱۲ طبقه فولادی ویژه تحت اثر رکوردهای مقیاس شده با روش های مختلف تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گرفتند و پاسخ های سازه ها در اثر رکوردهای مقیاس شده با هر کدام از روش ها مورد بررسی قرار گرفت *(Purcaru, 1978)*.

در این مقاله، به بررسی اثر ضریب مقیاس زلزله بر روی پاسخ لرزه ای سازه ها حاصل از روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخته شده است. بدین منظور، طبق الزامات مطرح شده در آئین نامه بهسازی لرزه ای سازه ها ۴۴۰ *FEMA* برای لرزه های متداول *Ordinary Ground Motions* شتاب نگاشتها با یک روند تکراری طوری مقیاس می شوند که طی تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی حداکثر تغییر مکان نقطه کنترل به ۰/۵، ۲، ۴ درصد ارتفاع کل سازه برسد. ضریب مقیاس ۰/۵ درصد به عنوان زلزله خفیف و متوسط، ضریب مقیاس ۲ درصد به عنوان زلزله طرح و ضریب مقیاس ۴ درصد به عنوان بیشینه زلزله محتمل مطرح می باشد. در این تحقیق، سه مدل ساختمانی با ارتفاع کوتاه، متوسط و بلند دارای سیستم قاب خمشی فولادی ویژه که در آنها الزامات طراحی لرزه ای رعایت شده است توسط نرم افزار *PERFORM CSI* مدل سازی شده است. نتایج نهائی حاکی از آن است که با افزایش ارتفاع مدلهای ساختمانی و همچنین با افزایش ضریب مقیاس، خطای روش های پوش آور نسبت به روش دقیق تاریخچه زمانی غیرخطی افزایش می یابد و درحالت کلی تحلیل پوش آور مودال نسبت به سایر روش ها با توزیع بار غیر به هنگام شونده نسبتاً از دقت قابل قبولی برخوردار است *(Boore, 1989)*.

یکی از مناسب ترین روشهای تخمین رفتار لرزه ای ساختمانها استفاده از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی می باشد . به این منظور می بایست رکوردهای زلزله در نظر گرفته شده به مقیاس در آیند . آیین نامه ها و دستورالعمل ها روشهای متفاوتی را جهت مقیاس سازی ارایه نموده اند البته اکثر روشهای مقیاس سازی برای روشهای تحلیل دینامیکی خطی ارائه شده اند . در این تحقیق به بررسی روشهای مختلف مقیاس سازی رکوردهای زلزله پرداخته شده است. در ابتدا شتابنگاشت ها باتوجه به

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادات آیین نامه های زلزله و *UBC* انتخاب شده اند برای بررسی رفتار لرزه ای مدل ها از سه شتاب نگاشت زلزله قوی استفاده شده است و تحلیل شتاب نگاشت ها و در ادامه طیف های طرح اولیه و همپایه شده توسط نرم افزار سایزموسیگنال (*seismosignal*) انجام گرفته است. در این راستا از روش تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از شتاب نگاشت هم پایه بر اساس طیف آیین نامه منطبق بر خاک منطقه استفاده شده است تا این که بهتر و واقعی تر سازه مورد بررسی قرار گیرد زیرا تحلیل تاریخچه زمانی بر اساس شتاب نگاشت خاستگاه سازه بهترین و واقعی ترین نتایج را در مورد سازه ها نشان می دهد *(Cocco, 2008)*.

از جمله مهمترین عوامل موثر برتصمیم گیری و برنامه ریزی در مقاوم سازی ساختمان ها براورد وضعیت و پاسخ آنها در برابر زلزله های اتی می باشد دراین راستا مباحث مرتبط مانند ارزیابی کمی اسیب پذیری شناسایی خرابی کالیبراسیون سیستمهای هشدار سریع یا تحلیل سازه های مهم و نامنظم نیازمند روشهای تحلیل نگاشتهای رکوردهای تاریخچه زمانی زلزله می باشند انتخاب تاریخچه های زمانی شتاب به عنوان پارامترهای ورودی از مهمترین مطالب در رابطه با انالیزهای خطی و غیرخطی تاریخچه های زمانی به شمار می رود برای انتخاب تاریخچه های زمانی شتاب سه منبع: شتاب نگاشتهای ثبت شده از زلزله های واقعی، نگاشتهای مصنوعی سازگار با طیف پاسخ طراحی و نگاشتهای مصنوعی بهدست امده از مدلهای لرزه شناسی وجود دارد *(Wu, 2013)*.

طرح لرزه ای انواع سیستمهای سازه ای (ازجمله قابهای بتن مسلح) دربرابر فروریزش، مستلزم محاسبه پارامترهای تقاضا و ظرفیت سازه ای، براساس پاسخ سازه، با استفاده از منحنی‌های حاصل از تحلیل دینامیکی فزاینده میباشد. این منحنی‌ها بر اساس تعداد قابل توجهی از تحلیلهای دینامیکی غیرخطی مجموعه زلزله های انتخابی بدست می‌آیند. بدیهی است که تحلیل‌های دینامیکی فزاینده بسیار زمانبر می‌باشند. از این‌رو، در صورتی‌که بتوان با استفاده از تعداد زلزله های کمتر، پاسخهایی متناظر با نتایج حاصل از تحلیل کل مجموعه انتخابی بدست آورد، به نحو چشمگیری از حجم تحلیل های غیرخطی لازم کاسته خواهد شد. بنابراین لزوم ارزیابی روشهای مختلف انتخاب و مقیاس شتاب نگاشتها به منظور کاربرد در تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی آشکار می گردد. هدف از این پژوهش، طراحی لرزه ای سازه های قابی بتن مسلح در برابر فروریزش، با بهره گیری از تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (*IDA*) و روش طراحی مستقیم بر اساس تغییر مکان، تحت رکوردهای انتخابی و مقیاس شده با استفاده از نرم افزار اجزا محدود *COM3* باشد. در این تحقیق، در قالب فرضیات موجود، نشان داده می‌شود که منحنی اصلی خلاصه شده تحلیل دینامیکی فزاینده ۵۰ درصد را می توان تنها با هفت رکورد انتخابی و مقیاس شده، با تقریب مناسبی پیش بینی نمود*(Uski, 1996)*.

۳- بررسی روش های مقیاس سازی

در این پایان نامه، به منظور ارزیابی و مقایسه روش های مختلف مقیاس سازی شتاب نگاشت های زلزله و تاثیر آن بر رفتار غیرخطی قاب های خمشی فولادی که موضوع این تحقیق می باشد، چندین روش جهت مقایسه انتخاب شده است. این روش ها شامل موارد زیر می باشد:

۱- روش استاندارد ۲۸۰۰ ایران
۲- روش لگاریتمی
۳- روش کیرچر
۴- روش حداقل سازی

بررسی تفصیلی هر یک از این روش ها در ادامه ارائه شده است:

روش لگاریتمی

این شیوه به طور خاص جهت تهیه یک مجموعه کتاب خانه ای برای آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی انواع متفاوت از سازه ها در کالیفرنیای آمریکا و سایر مناطق غربی ایالات متحده آمریکا استفاده شده است. مبنای مقیاس سازی بر این اساس است

www.SID.ir

Archive of SID

که طیف رکورد دارای اختلاف های برابر در بالا و پایین طیف هدف در بازه پریود باشد. معادله مقیاس سازی در زیر ارائه شده است:

$$SF = exp\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon(t_i)\right]$$

در این معادله، $\varepsilon(t_i) = \ln\left[\frac{TRS(t_i)}{RS(t_i)}\right]$ و t_i یک نقطه در بازه پریود و n تعداد نقاط در بازه پریود می باشد. نقاط پریودی در این شیوه به صورت لگاریتمی فاصله بندی شده اند.

روش کیرچر

شیوه اصلاح شده روش کیرچر برای تحلیل دو بعدی به شرح زیر می باشد:

۱- محاسبه طیف پاسخ (RS_i) و سرعت بیشینه زمین (PGV_i) برای هر یک از حرکت های زمین

۲- محاسبه ضریب مقیاس برای هر یک از حرکت های زمین بر اساس رابطه زیر:

$$SF_i = \frac{TRS}{\frac{\sum_{i=1}^{n}(RS_i/PGV)_i}{n}} \times \frac{1}{PGV_i}$$

در این معادله، TRS طیف پاسخ هدف و n تعداد حرکات زمین (زمین لرزه) می باشد.

روش آیین نامه ملی ساختمان ایران (استاندارد ۲۸۰۰)

در این شیوه مبنای مقیاس سازی برای تحلیل های سه بعدی ارائه شده است. در ابتدا کلیه شتاب نگاشت ها باید به ماکزیمم مقدار خود مقیاس شوند. این بدان معنا است که ماکزیمم مقدار شتاب آن ها باید برابر با g گردد. بعد از آن هر زمین لرزه باید به گونه ای مقیاس شود که مقدار متوسط طیف پاسخ کمتر از طیف پاسخ هدف برای بازه پریودی مورد نظر نباشد. مقدار ضریب مقیاس به دست آمده باید در شتاب نگاشتی که قبلا به دست آمده است ضرب گردد. مقدار ضریب ۱,۴ که در طیف پاسخ هدف ضرب می گردد در این مطالعه حذف شده است، زیرا قانون SRSS برای دو مولفه شتاب نگاشت مورد استفاده قرار نخواهد گرفت.

روش حداقل سازی

مراحل این روش به شرح زیر می باشد:

۱- در گام اول، ضریب مقیاس برای هر زمین لرزه به صورت مجزا به دست می آید. معیار مقیاس سازی این است که در طول بازه پریود، طیف زلزله دارای اختلاف برابر در بالا و پایین طیف هدف باشد. به منظور رسیدن به این هدف، فرآیند بهینه سازی نامحدود استفاده شده است. این روند در معادله زیر نمایش داده شده است:

$$RS(t_i) = \left(\frac{2\pi}{t_i}\right)^2 \max(|u(\tau)|) \qquad \tau \in [0, t_{record}]$$

$$\min F = \sqrt{\frac{\sum_{T_{min}}^{T_{max}}[SF \times RS(t_i) - TRS(t_i)]^2}{n}}$$

در این معادله u جابجایی سازه، t_{record} مدت زمان رکورد و SF ضریب مقیاس می باشد.

۲- در گام دوم، یک بازه برای مقادیر قابل قبول ضرایب مقیاس تعریف می شود و زمین لرزه هایی که ضریب مقیاس خارج از این محدوده دارند حذف می شوند. در آیین نامه های مختلف تعریفی برای محدوده ضرایب مقیاس وجود ندارد. در تحقیقات Naeim و همکاران ضریب مقیاس را بین ۰,۵ تا ۲ انتخاب می کنند.

۳- در گام آخر، تلاش می شود تا اختلاف بین طیف پاسخ متوسط برای رکورد های زلزله و طیف پاسخ هدف حداقل شود. بدین منظور یک تابع وزن به تابع حداقل سازی اضافه می گردد. این تابع در زیر ارائه شده است. هرچه قدر مقدار ضریب مقیاس تغییر کند، مقدار تابع وزن بزرگ تر می شود.

$$Weight\ Function = \sum_{R=1}^{R=n}\left[SF_{Single}(R) - SF_{Average}(R)\right]^2$$

www.SID.ir

Archive of SID

۴- معرفی مدل ها

سه قاب (۳ طبقه، ۷ طبقه و ۱۵ طبقه) دارای اسکلت فولادی با سه زمان تناوب متفاوت با مشخصات زیر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن مقایسه شده است. سیستم سازه ای قاب خمشی ویژه، ضریب رفتار برابر ۱۰، ضریب اهمیت ۱، منطقه با خطر نسبی زیاد، قاب ها دارای سه دهانه۴,۹ متری و ارتفاع طبقات ۳,۲ متری می باشند. بار مرده طبقات ۱۰۹۱,۸۷ کیلوگرم بر متر و بار مرده بام ۱۲۵۱,۲۵ کیلوگرم بر متر، بار زنده طبقات ۴۵۵ کیلوگرم بر متر، بام ۳۴۱,۲۵ کیلوگرم بر متر و زمان تناوب سه قاب ۰,۴۹، ۰,۹۵ و ۱,۷۹ ثانیه به دست آمده است. کلیه مقاطع تیر ورق با مقطع *I* می باشند.

جدول ۱- مشخصات مقاطع به کار رفته در ستون های قاب ها

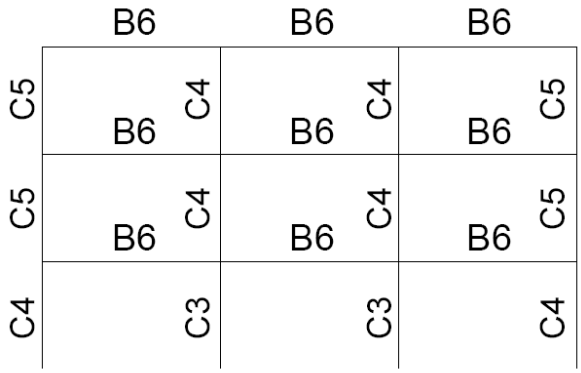
ابعاد	*C1*	*C2*	*C3*	*C4*	*C5*
h_w	۴۰	۴۰	۴۰	۳۵	۳۴
t_w	۲	۲	۱,۵	۱,۲	۱
b_f	۳۵	۳۵	۳۰	۲۳	۲۴
t_f	۲,۵	۲	۲	۲	۱,۵

جدول ۲- مشخصات مقاطع به کار رفته در تیرهای قاب ها

ابعاد	*B2*	*B3*	*B6*
h_w	۳۵	۳۰	۳۰
t_w	۱	۱	۰,۸
b_f	۲۰	۲۰	۱۲
t_f	۲	۲	۱,۲

قاب ۳ طبقه

برای قاب ۳ طبقه، طبقه اول ستون های داخلی *C3*، طبقه سوم و چهارم ستون های داخلی *C3* و ستون های خارجی *C4* و سه طبقه آخر ستون ها *C5* و کلیه تیرها *B6* می باشند.



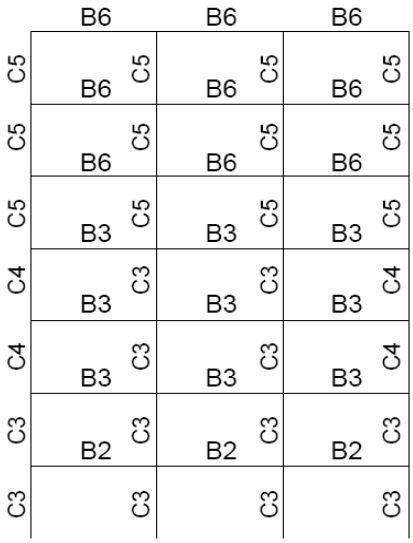
شکل ۱- مقاطع مورد استفاده در مدل ۳ طبقه

قاب ۷ طبقه

برای قاب ۷ طبقه، دو طبقه اول ستون ها *C3*، طبقه سوم و چهارم ستون های داخلی *C3* و ستون های خارجی *C4* و سه طبقه آخر ستون ها *C5*، تیرهای طبقه اول *B2*، طبقه دوم و سوم و چهارم تیرها *B3* و سه طبقه آخر تیرها *B6* می باشند.

www.SID.ir

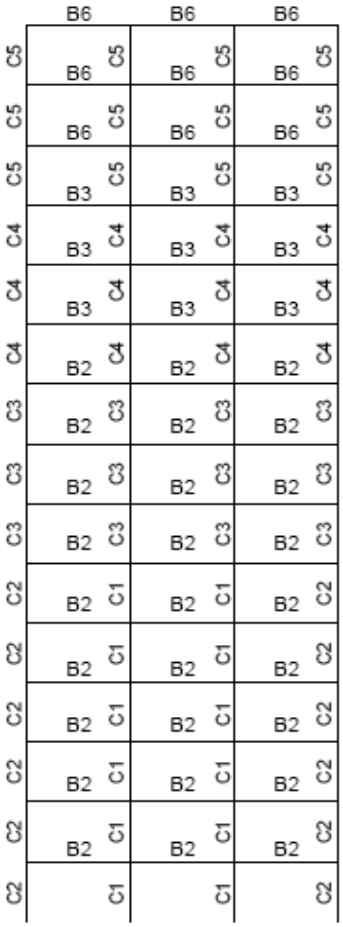
Archive of SID



شکل ۲- مقاطع مورد استفاده در مدل ۷ طبقه

قاب ۱۵ طبقه

برای قاب ۱۵ طبقه، تا ۶ طبقه ستون های داخلی *C1* و ستون های خارجی *C2*، طبقه ۷ و ۸و ۹ ستون ها *C3*، طبقه ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ ستون ها *C4*، طبقه ۱۳ و ۱۴و ۱۵ ستون ها *C5*، تا ۹ طبقه تیرها *B2*، طبقه ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ تیرها *B3* و طبقه ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ تیرها *B6* می باشند.



شکل ۳- مقاطع مورد استفاده در مدل ۱۵ طبقه

www.SID.ir

Archive of SID

۵- جمع بندی ضرایب مقیاس سازی روش های مختلف

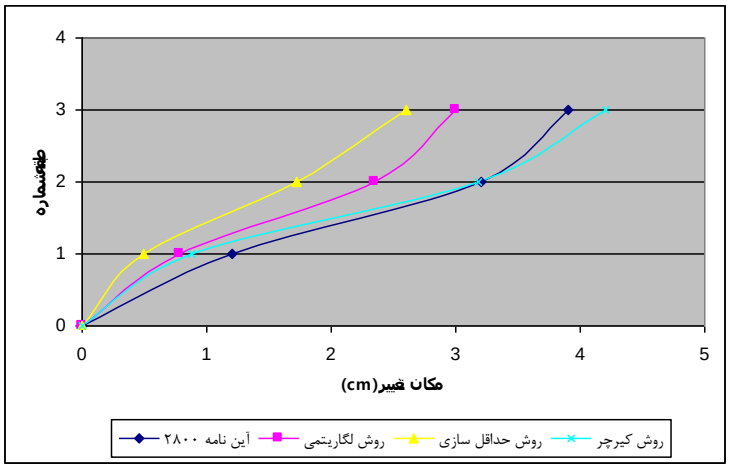
به منظور انجام تحلیل های تاریخچه زمانی، پس از به دست آوردن ضرایب مقیاس برای روش های مختلف، مقادیر ماکزیمم شتاب وارد بر سازه ناشی از شتاب نگاشت در جدول ۴-۸ به صورت خلاصه ارائه شده است:

جدول ۳- مقایسه مقادیر شتاب ماکزیمم زلزله ناشی در روش های مختلف مقیاس سازی

مقادیر شتاب ماکزیمم (PGA)					
مدل قاب	پریود (S)	روش کیرچر	روش لگاریتمی	استاندارد ۲۸۰۰	روش حداقل سازی
قاب ۳ طبقه	0.49	0.47g	0.52g	0.57g	0.5g
قاب ۷ طبقه	0.95	0.58g	0.66g	0.72g	----
قاب ۱۵ طبقه	1.79	0.82g	0.83g	0.76g	----

جمع بندی نتایج قاب ۳ طبقه

به منظور مقایسه شیوه های مختلف مقیاس سازی صورت گرفته بر روی زلزله طبس، جابجایی حداکثر قاب ۳ طبقه برای روش های مختلف در نمودار زیر ترسیم شده است.



شکل ۴- مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۳ طبقه به شیوه های مختلف

بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۳ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش کیرچر و سپس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی حداقل سازی به دست آمده است.

ماکزیمم اختلاف بین روش حداقل سازی و روش آیین نامه ۲۸۰۰ برابر ۳۳٪ می باشد. لذا روش آیین نامه ۲۸۰۰ در سازه های کوتاه مرتبه به گونه ای است که حاشیه اطمینان کافی را نسبت به سایر روش های مقیاس سازی اعمال می نماید. همچنین روش کیرچر نیز در طبقات ابتدایی دارای اختلاف کمتری نسبت به روش حداقل سازی در مقام قیاس با روش آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد، با این حال در تراز بام دارای حداکثر اختلاف شده است.

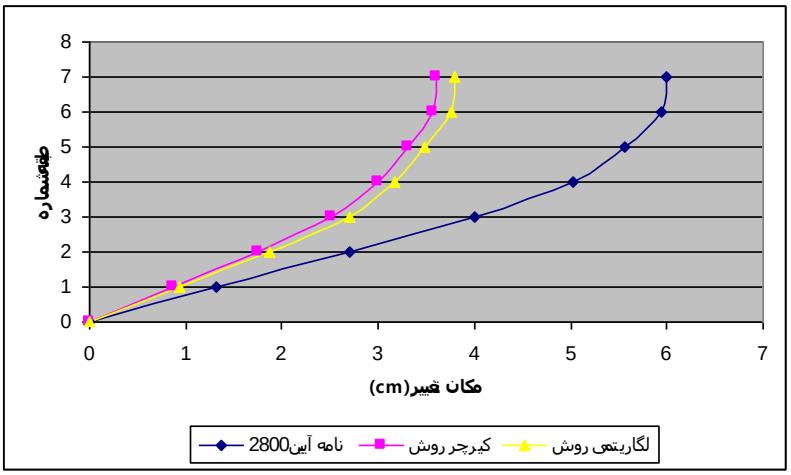
در خصوص سایر روش های مقیاس سازی به صورت تئوریک، روش کیرچر، روش لگاریتمی و روش حداقل سازی به ترتیب مقادیر جابجایی بزرگ تری را نمایش داده اند. اختلاف بین روش کیرچر با روش حداقل سازی ۳۸٪ و اختلاف روش لگاریتمی با روش حداقل سازی ۱۳٪ می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جمع بندی نتایج قاب ۷ طبقه

به منظور مقایسه شیوه های مختلف مقیاس سازی صورت گرفته بر روی زلزله طبس، جابجایی حداکثر قاب ۷ طبقه برای روش های مختلف در نمودار زیر ترسیم شده است.



شکل ۵- مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۷ طبقه به شیوه های مختلف

بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۷ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی کیرچر به دست آمده است.

ماکزیمم اختلاف بین روش کیرچر و روش آیین نامه ۲۸۰۰ برابر ۴۰٪ می‌باشد. لذا روش آیین نامه ۲۸۰۰ در سازه‌های میان مرتبه به گونه‌ای است که حاشیه اطمینان کافی را نسبت به سایر روش‌های مقیاس‌سازی اعمال می‌نماید. هر چند این مقدار اختلاف و حاشیه اطمینان می توانندمنجر به طراحی های غیر اقتصادی در سازه های میان مرتبه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ گردد.

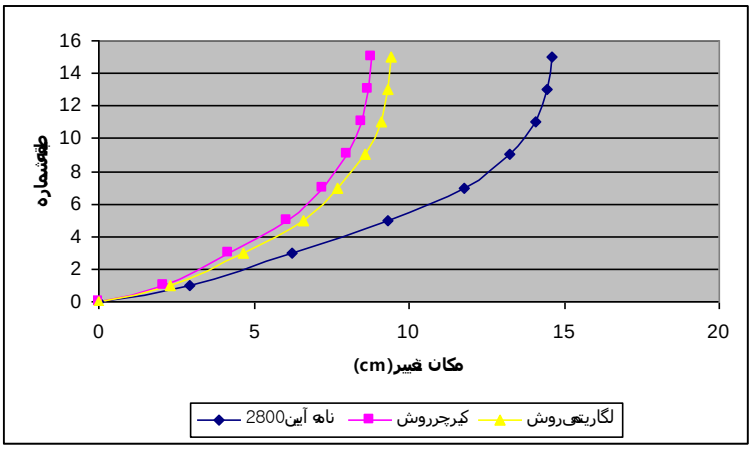
در خصوص سایر روش های مقیاس سازی به صورت تئوریک کمترین مقدار جابجایی برای روش کیرچر و در ادامه روش لگاریتمی می باشد. اختلاف بین روش لگاریتمی با روش کیرچر بسیار ناچیر و کمتر از ۱٪ می باشد. لذا در ساختمان های میان مرتبه روش های تئوریک مقادیر پاسخ یکسانی را برای سازه منجر شده اند.

جمع بندی نتایج قاب ۱۵ طبقه

به منظور مقایسه شیوه های مختلف مقیاس سازی صورت گرفته بر روی زلزله طبس، جابجایی حداکثر قاب ۷ طبقه برای روش های مختلف در نمودار زیر ترسیم شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۱۵ طبقه به شیوه های مختلف

بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۱۵ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی کیرچر به دست آمده است.

بنا بر نتایج مشاهده می شود که حاشیه اطمینان مطرح شده در شیوه مقیاس سازی به روش آیین نامه ۲۸۰۰ نه تنها در خصوص سازه های کوتاه مرتبه و میان مرتبه می باشد،بلکه این روش در سازه های بلند مرتبه سازه را در معرض حاشیه اطمینان بالاتری نسبت به سایر روش های مقیاس سازی قرار خواهد داد.

مقادیر جایجایی حداکثر طبقات برای مدل ۱۵ طبقه و در شیوه های مقیاس سازی لگاریتمی و کیرچر اختلاف کمی را نشان می دهد و درصد اختلاف تنها در حدود ۶٪ می باشد. لذا در سازه های بلند مرتبه نیز همچون سازه های میان مرتبه، این دو شیوه تقریباً منجر به پاسخ های تقریباً یکسانی شده است.

اختلاف مقادیر جابجایی ماکزیمم برای شیوه آیین نامه ۲۸۰۰ با دو روش دیگر (روش کیرچر و لگاریتمی) به ترتیب برابر با ۳۹٪ و ۳۶٪ می باشد.

۶- نتایج آنالیز استاتیکی غیرخطی

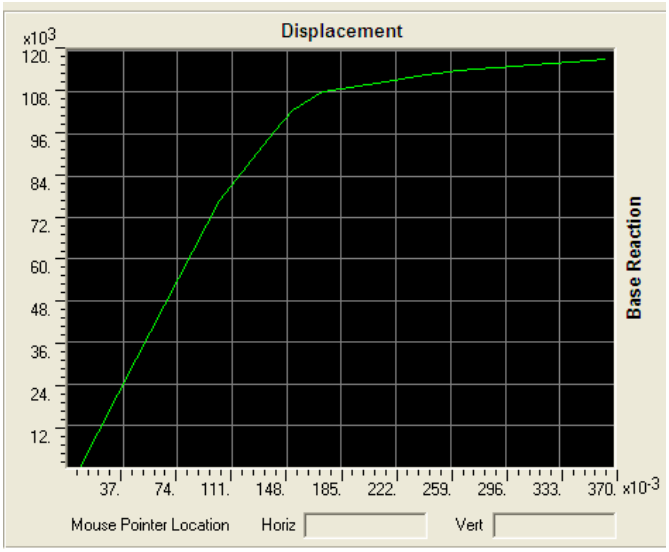
پس از انجام آنالیز استاتیکی غیرخطی برای مدلهای ۳، ۷ و ۱۵ طبقه نمودارهای مرتبط برای هر یک از مدل ها در ادامه آورده شده است.

مدل ۳ طبقه

نمودار بار افزون (نیرو-تغییر مکان) برای ساختمان ۳ طبقه در شکل ۴-۴۱ نمایش داده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- نمودار تغییر مکان – برش پایه ساختمان ۳ طبقه

اولین مفصل پلاستیک در گام سوم و محل اتصال تیرها و ستون های طبقه اول روی داده است.

شکل ۸- تشکیل اولین مفاصل پلاستیک

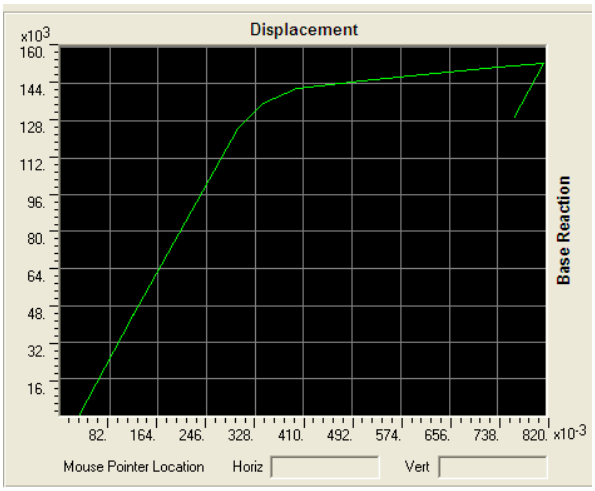
در مقدار تغییر مکان نهایی ۳۷ سانتی متر این سازه دچار شکست نگردیده است. سطح *CP* یا پیشگیری از شکست (*collapse prevention*) برای گام نهایی و در تکیه گاه های ساختمان روی داده است.

مدل ۷ طبقه

نمودار بار افزون (نیرو-تغییر مکان) برای ساختمان ۷ طبقه در شکل ۴-۴۴ نمایش داده شده است:

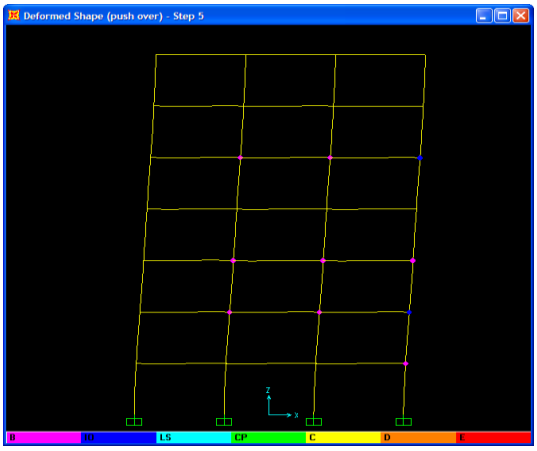
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹-نمودار تغییر مکان – برش پایه ساختمان ۷ طبقه

اولین حالت بحرانی مفصل پلاستیک در گام سوم و محل اتصال تیرها و ستون های طبقه دوم و پنجم روی داده است.

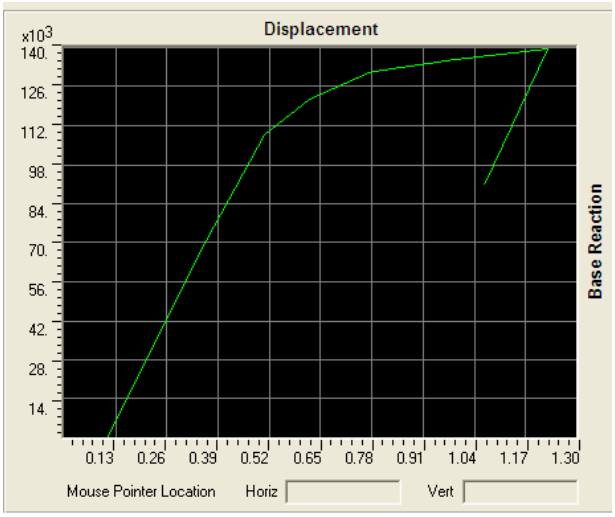


شکل ۱۰- تشکیل اولین مفاصل پلاستیک برای ساختمان ۷ طبقه

در مقدار تغییر مکان نهایی ۸۲ سانتی متر این سازه دچار فروریزش یا سطح *Collapse* در تکیه گاه های میانی ساختمان شد است.

مدل ۱۵ طبقه

نمودار بار افزون (نیرو-تغییر مکان) برای ساختمان ۱۵ طبقه در شکل ۴-۴۷ نمایش داده شده است:

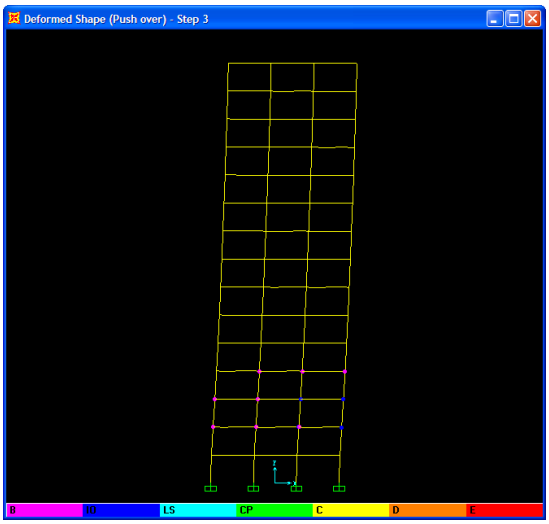


شکل ۱۱-نمودار تغییر مکان – برش پایه ساختمان ۱۵ طبقه

www.SID.ir

Archive of SID

اولین حالت بحرانی مفصل پلاستیک در گام سوم و محل اتصال تیرها و ستون های طبقه دوم و سوم روی داده است.



شکل ۱۲-تشکیل اولین مفاصل پلاستیک برای ساختمان ۱۵ طبقه

در مقدار تغییر مکان نهایی ۱۳۰ سانتی متر این سازه دچار تخریب یا سطح *damage* در اتصال ستون و تیر کناری طبقه سوم ساختمان شد است.

۷- نتیجه گیری

۱. بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۳ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش کیرچر و سپس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی حداقل سازی به دست آمده است.

۲. ماکزیمم اختلاف بین روش حداقل سازی و روش آیین نامه ۲۸۰۰ برابر ۳۳٪ می باشد. لذا روش آیین نامه ۲۸۰۰ در سازه های کوتاه مرتبه به گونه ای است که حاشیه اطمینان کافی را نسبت به سایر روش های مقیاس سازی اعمال می نماید. همچنین روش کیرچر نیز در طبقات ابتدایی دارای اختلاف کمتری نسبت به روش حداقل سازی در مقام قیاس با روش آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد، با این حال در تراز بام دارای حداکثر اختلاف شده است.

۳. در خصوص سایر روش های مقیاس سازی به صورت تئوریک، روش کیرچر، روش لگاریتمی و روش حداقل سازی به ترتیب مقادیر جابجایی بزرگ تری را نمایش داده اند. اختلاف بین روش کیرچر با روش حداقل سازی ۳۸٪ و اختلاف روش لگاریتمی با روش حداقل سازی ۱۳٪ می باشد.

۴. بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۷ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی کیرچر به دست آمده است.

۵. ماکزیمم اختلاف بین روش کیرچر و روش آیین نامه ۲۸۰۰ برابر ۴۰٪ می‌باشد. لذا روش آیین نامه ۲۸۰۰ در سازه‌های میان مرتبه به گونه‌ای است که حاشیه اطمینان کافی را نسبت به سایر روش‌های مقیاس‌سازی اعمال می‌نماید. هر چند این مقدار اختلاف و حاشیه اطمینان می تواندمنجر به طراحی های غیر اقتصادی در سازه های میان مرتبه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ گردد.

۶. در خصوص سایر روش های مقیاس سازی به صورت تئوریک کمترین مقدار جابجایی برای روش کیرچر و در ادامه روش لگاریتمی می باشد. اختلاف بین روش لگاریتمی با روش کیرچر بسیار ناچیر و کمتر از ۱٪ می باشد. لذا در ساختمان های میان مرتبه روش های تئوریک مقادیر پاسخ یکسانی را برای سازه منجر شده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

۷. بر اساس نمودار مقایسه جابجایی حداکثر طبقات برای قاب ۱۵ طبقه به شیوه های مختلف مشاهده می گردد که روش آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقادیر جابجایی در طبقات را نمایش داده است. همچنین کمترین مقادیر برای روش مقیاس سازی کیرچر به دست آمده است.
۸. بنا بر نتایج مشاهده می شود که حاشیه اطمینان مطرح شده در شیوه مقیاس سازی به روش آیین نامه ۲۸۰۰ نه تنها در خصوص سازه های کوتاه مرتبه و میان مرتبه می باشد،بلکه این روش در سازه های بلند مرتبه سازه را در معرض حاشیه اطمینان بالاتری نسبت به سایر روش های مقیاس سازی قرار خواهد داد.
۹. مقادیر جایجایی حداکثر طبقات برای مدل ۱۵ طبقه و در شیوه های مقیاس سازی لگاریتمی و کیرچر اختلاف کمی را نشان می دهد و درصد اختلاف تنها در حدود ۶٪ می باشد. لذا در سازه های بلند مرتبه نیز همچون سازه های میان مرتبه، این دو شیوه تقریباً منجر به پاسخ های تقریباً یکسانی شده است.
۱۰. اختلاف مقادیر جابجایی ماکزیمم برای شیوه آیین نامه ۲۸۰۰ با دو روش دیگر (روش کیرچر و لگاریتمی) به ترتیب برابر با ۳۹٪ و ۳۶٪ می باشد.
۱۱. آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برای کلیه مدل ها بیشترین جابجایی را نشان میدهد. با توجه به ماهیت آیین نامه‌ای این شیوه و تئوریک بودن سایر روش های مورد بررسی نشان دهنده محافظانه کارانه بودن شیوه این آیین نامه می باشد.
۱۲. استفاده از شیوه مقیاس سازی برای سازه های میان مرتبه و بلند مرتبه منجر به ضریب اطمینان غیر اقتصادی می گردد و چندان مطلوب نیست.

۸- منابع

[1] مهرابیان، رضا و حامد صفاری، ۱۳۸۷، مقایسه روش های مختلف مقیاس سازی شتابنگاشت ها، *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*، تهران، دانشگاه تهران

[2] یحیی ابادی، علی اکبر و محسن تهرانی زاده، روش‌های مختلف در مقیاس کردن شتابنگاشت‌های پالس مانند حوزه نزدیک و مقایسه آن با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران، *چهارمین همایش نگرشی بر آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)*، ۱۳۸۸، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

[3] بهنام فر، فرهاد؛ علیرضا خداپرست و علیرضا بهمن زاد، ارایه روشی برای به مقیاس در آوردن شتاب نگاشت ها برای تحلیل به روش دینامیکی غیر خطی و مقایسه آن با روش آیین نامه ۲۸۰۰، *چهارمین همایش نگرشی بر آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)*، ۱۳۸۸، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

[4] آذری، هدی رحیم زاده،فیاض، بررسی عملکرد روش مقیاس سازی ارائه شده در *FEMA440* در برآورد پارامترهای نیاز سازه های بتنی، *پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله*، ۱۳۸۶، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

[5] رهایی، علیرضا، آروزمندی، مهدی، مقایسه روش مقیاس‌سازی شتابنگاشت‌ها در آیین‌نامه‌های ۲۸۰۰ ایران و*UBC* ، *اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای*، ۱۳۸۵، تهران

[6] سلاجقه، عیسی؛ محمدی، افشین، قادری سهی، سعید، ارزیابی عملکرد روش های مقیاس سازی رکوردهای زلزله در تحلیل‌های غیرخطی، *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*، ۱۳۸۷، تهران، دانشگاه تهران

[7] Y.G. Li, F. Fan, Influence of number of records and scaling on the statistics of seismic demand for lattice structure, Thin-Walled Structures, 2015, Volume 87, Pages 115–126

[8] Ariel Catalán, Selection and scaling of earthquake records in assessment of structures in low-to-moderate seismicity zones, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2010, Volume 30, Issues 1–2, Pages 40–49

[9] Rana Roy, Scaling of ground motions and its implications to plan-asymmetric structures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2014, Volume 57, Pages 46–67

[10] Aybige Akinci, Scaling earthquake ground motions in western Anatolia, 2013, Turkey, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 63, Pages 124–135

[11] پورعلی گنجی, مهدی، ۱۳۸۹، مقایسه بکارگیری ۳ و ۷ شتابنگاشت در نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی، اولین کنفرانس منطقه ای مهندسی عمران، قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر

www.SID.ir

Archive of SID

[12] شهروزی, محسن؛ امید بهار و محمد سازجینی، ۱۳۹۰، انتخاب و مقیاس کردن بهینه شتاب‌نگاشت‌ها با الگوریتم بهینه یابی جستجوی هارمونی، *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، سمنان، دانشگاه سمنان

[13] Hiroo Kanamori, Magnitude scale and quantification of earthquakes, Tectonophysics, Volume 93, Issues 3–4, 10 April 1983, Pages 185-199, Quantification of Earthquakes

[14] George Purcaru, Hans Berckhemer, A magnitude scale for very large earthquakes, Tectonophysics, Volume 49, Issues 3–4, 1 September 1978, Pages 189-198, Proceeding of the Workshop on Quantification of Earthquakes

[15] David M. Boore, The Richter scale: its development and use for determining earthquake source parameters, Tectonophysics, Volume 166, Issues 1–3, 1 September 1989, Pages 1-14, Quantification of Earthquakes and the Determination of Source Parameters

[16] Massimo Cocco, Elisa Tinti, Scale dependence in the dynamics of earthquake propagation: Evidence from seismological and geological observations, Earth and Planetary Science Letters, Volume 273, Issues 1–2, 30 August 2008, Pages 123–131

[17] Zhongliang Wu, Multi-scale seismic hazard and risk in the China mainland with implication for the preparedness, mitigation, and management of earthquake disasters: An overview, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 4, June 2013, Pages 21–33

[18] Marja Uski, A new local magnitude scale for the Finnish seismic network, Tectonophysics, Volume 261, Issues 1–3, 30 August 1996, Pages 23–37, Seismic Source Parameters: From Microearthquakes to Large Events

www.SID.ir