Archive of SID

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای حرکت گهواره‌ای و تأثیر آن در کنترل الزامات سیستم‌های دوگانه قاب خمشی و مهاربند همگرای ویژه فولادی

علی پروری*
عضو هیئت علمی، گروه عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
احسان عزیزی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
ali.parvari@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۲۵

چکیده:

امروزه وجود سیستم‌های لرزه‌ای جدید می‌توانند عملکرد بهتری در زلزله داشته و باعث کاهش هزینه و افزایش عملکرد خواهد شد. در این مطالعه سه قاب از سازه‌هایی با ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با کاربری مسکونی و دارای منظمی در پلان و ارتفاع، در منطقه با خطر نسبی زیاد و خاک تیپ دو در نظر گرفته‌شده است. سازه‌ها در نرم‌افزار Sap2000 برای تحلیل‌های غیرخطی تحت هفت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک مدل مدل‌سازی شده‌اند و با دو حالت با و بدون رعایت بند آیین‌نامه جهت کنترل قاب دوگانه تحلیل‌شده‌اند. بدون رعایت بند آیین‌نامه، در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه باعث کاهش در برش پایه شده، در حالی که جابجایی بام و نیروی ایجاد شده در ستون سازه‌ها افزایش یافته است. حالت گهواره‌ای به‌طور میانگین بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. با رعایت بند آیین‌نامه، در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه باعث کاهش در برش پایه شده، جابجایی بام و نیروی ایجاد شده در ستون سازه افزایش یافته است. همچنین مقدار انرژی بیشتری نسبت به عدم رعایت بند آیین‌نامه مستهلک شده است. در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۸ و ۱۲ طبقه باعث کاهش در برش پایه شده است. جابجایی بام کاهش یافته و نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ طبقه افزایش داشته است. لذا با توجه به نتایج، در سازه‌های ۴ و ۱۲ طبقه رعایت بند آیین‌نامه نتایج بهتری داشته است ولی در سازه ۸ طبقه عدم رعایت بند آیین‌نامه نتایج مناسبی داشته است.

کلید واژگان: حرکت گهواره‌ای، مهاربند همگرای ویژه، عملکرد لرزه‌ای، زلزله حوزه نزدیک.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در سیستم گهواره‌ای ساده سازه قابلیت بلند شدن را به‌سادگی دارد و این سیستم به‌راحتی برای سازه‌های ساختمان‌های لاغر قابل‌استفاده است اما احتمال بلند شدگی و حرکت جانبی زیاد در این سیستم در زلزله وجود دارد. همچنین ضربه ایجاد شده در پای سازه می‌تواند خسارات جدی به سازه وارد آورد. بنابراین برای جلوگیری از این پدیده از میراگرها در پایه سازه جهت کنترل پاسخ بلند شدگی استفاده می‌گردد که به آن یکی دیگر از حالت‌های استفاده از سیستم گهواره‌ای با میراگرهای پایه‌ای گفته می‌شود. حرکت گهواره‌ای در سازه‌های چنددهانه، استفاده از سیستم زوج گهواره‌ای است که در بین آن‌ها میراگرهای قائم قرارگرفته‌اند. این اتصال میراگرها باعث اتلاف انرژی بیشتر در سازه می‌گردد. در سیستم‌های مرکب از قاب‌های خمشی و مهاربندی همگرای ویژه عوامل متعددی بر عملکرد سیستم همچنین نحوه توزیع نیروهای جانبی بین اجزا سیستم و عناصر تشکیل دهنده سازه مؤثر هست که شناخت این عوامل و چگونگی تأثیرگذاری آن‌ها نقش بسزایی در بهبود طراحی و افزایش کارایی و اقتصادی‌تر شدن طرح خواهد داشت . میزان کارایی و قابلیت سازه‌های دارای قاب خمشی و مهاربندی همگرای ویژه به میزان اندرکنش افقی میان قاب و مهاربند که خود متأثر از مقادیر سختی نسبی قاب و مهاربند است، وابسته هست هر چه سازه بلندتر و قاب‌ها سخت‌تر باشند اندرکنش بیشتر خواهد بود. سه اثر مهم حرکت گهواره‌ای، در مورد اندرکنش خاک–سازه حائز اهمیت می‌باشند: اثر انعطاف‌پذیری خاک و فونداسیون، تغییر فرکانس‌های ورودی به سازه به علت عبور از خاک، استهلاک انرژی به علت میرایی ارتعاشی و میرایی هیسترزیس. حرکت گهواره‌ای باعث رفتار غیرخطی در سازه می‌شود که موجب جذب انرژی بیشتر می‌گردد ولی تغییرات شکل دائمی در سازه‌ایجاد می‌کند.

ویسینگ آزمایشات ۱- g را بر روی مدل فونداسیون های سطحی که بر روی خاک‌های چسبنده قرار داشتند، تحت حرکت گهواره‌ای هارمونیک انجام داد. نتایج تحقیقات وی نشان داد که در خلال حرکت گهواره‌ای، نشست پیش‌رونده‌ای برای فونداسیون اتفاق می‌افتد که همراه با این نشست و هم‌زمان با حرکت گهواره‌ای فونداسیون، در داخل خاک میزان اتلاف انرژی عظیمی اتفاق می‌افتد و خاک فونداسیون دچار تغییر شکل پلاستیک می‌گردد. حرکت گهواره‌ای فونداسیون در ادامه باعث لغزش خاک زیر آن شده و با کاهش سطح تماس میان پی و خاک، منجر به کاهش سختی سیستم می‌شود و همچنین باعث برقراری یک رابطه غیرخطی برای لنگر– دوران می‌گردد [۱]. پالرمو و همکاران، بر روی استفاده از حرکت گهواره‌ای در پل‌ها به نتایجی رسیدند. در این پژوهش تحلیل‌های عددی تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی بر روی پایه‌های پل که اجازه حرکت گهواره‌ای داشت، انجام شد. استفاده از حرکت گهواره‌ای در پل‌ها باعث جذب انرژی و مستهلک شدن آن شده و بدین منظور نیروی کمتری به عرشه پل وارد می‌گردد. این سیستم در مقایسه با جداگر های لرزه‌ای عملکرد قابل قبولی داشته است [۲].

آزوهاتا و همکاران در سال ۲۰۰۸، سیستم‌های دارای خاصیت برگشت‌پذیری همراه با حرکت گهواره‌ای را اختراع کردند. این سیستم‌ها می‌توانند از خرابی سازه براثر تغییرشکل‌های ماندگار و تغییر مکان‌های نسبی حین زلزله‌های متوالی به جهت استفاده از وزن خود سازه به عنوان خاصیت برگشت‌پذیری، جلوگیری کنند. در این سیستم‌ها مواد برگشت‌پذیر از آلیاژ حافظه‌دار باعث عملکرد ترکیبی همراه با سیستم گهواره‌ای شده و لذا نیروی زلزله اعمالی، بر سازه تغییرات زیادی ایجاد ننموده است [۳]. ترمبلی و همکاران، قاب‌های مهاربندی فلزی با مستهلک کننده‌های ویسکوز که دارای حرکت گهواره‌ای هستند را از طریق مطالعات پارامتری و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند و در نتیجه مشاهده شد که استفاده از این گونه سیستم‌ها در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه می‌شود [۴].

اترتون و همکاران سیستم مهاربندی فولادی با حرکت کنترل شونده گهواره‌ای و فیوزهای جاذب انرژی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند عملکرد سیستم‌های مهاربندی در این حالت بهبود قابل‌توجهی پیدا می‌کند. ستون‌های کناری مهاربندی که پیش‌تر نیروی قابل توجهی را دریافت می‌کردند در این سیستم عملکرد بهتری دارند. در بررسی آن‌ها سیستم مهاربندی که در ستون‌های مهاربندی شده باعث ایجاد نیروی قابل توجهی می‌شد با به کارگیری حرکت کنترل شونده گهواره‌ای این نیرو مستهلک شده و لذا باعث ایجاد کشش و فشار زیادی در سازه نمی‌گردد. از این رو عملکرد حرکت کنترل شونده گهواره‌ای بر این نوع از سازه کارآمد هست [۶،۵]. ترمبلی و همکاران در تحقیق خود به بررسی سیستم مهاربندی و گهواره‌ای به همراه جاذب‌های انرژی اصطکاکی در بهسازی سازه سه طبقه طراحی‌شده در سال ۱۹۸۰ پرداخته شده است. این سازه بر روی خاک نرم قرار گرفته است. پاسخ سازه در یک تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی بیانگر تأثیر این سیستم در بهسازی سازه سه طبقه هست و مشکلات لرزه‌ای سازه برطرف شده است. این نوع بهسازی لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های معتبر هنوز به روشنی مطرح نشده است و لذا بیان این نتایج می‌تواند باعث ایجاد شیوه‌های نوینی شود [۷]. دیانتی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی عملکرد سیستم‌های SC-CBF به منظور افزایش ظرفیت جابجایی نسبی سیستم‌های قاب مهاربندی شده قبل از بروز آسیب پرداختند. سیستم SC-CBF دارای اجزایی در پایه ستون است که اجازه بلند شدگی به ستون را در سطح مشخصی از لنگر واژگونی، درنتیجه‌ی نیروهای جانبی می‌دهد. به منظور نشان دادن اثربخشی سیستم‌های SC-SBF، مقایسه‌ای بین عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های SC-CBF با سیستم CBF با استفاده از جابجایی نسبی ماندگار و منحنی‌های خطر انجام پذیرفت. در پایان با مقایسه نتایج به دست آمده مشخص شد که سیستم SC-CBF عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به سیستم CBF خواهد داشت [۸].

در بررسی نسبت تغییر مکان غیرخطی در سازه‌های با سیستم گهواره‌ای در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک که رهگذر و همکاران پرداخته‌اند، سازه‌ها نود و یک زلزله نزدیک و چهل و چهار زلزله دور آنالیز تاریخچه زمانی صورت گرفته است که بر این اساس ثابت مقاومت

www.SID.ir

Archive of SID

برای سازه‌ها بدست آمده است. این ثابت بیانگر حداکثر جابجایی غیرخطی به حداکثر جابجایی خطی است. در ادامه تأثیر پریود سازه، مشخصات زلزله اعمالی بر رفتار این سازه‌ها قابل توجه بوده ولی فاصله زلزله از سازه و بزرگای زلزله و نوع خاک بر ثابت مقاومت مؤثر نیستند [۹].

در سال ۲۰۱۵ پالینو به ارائه روشی به عنوان سیستم‌های سازه‌ای برگشت‌پذیر و گهواره‌ای جدید به‌صورت قاب‌های فولادی مهاربندی شده گهواره‌ای با مهاربند کمانش ناپذیر پرداخت. در این روش انتقال نیروها از طریق مهاربند کمانش ناپذیر با استفاده از ابزارهای جاذب انرژی منفعل تشریح شده و یک روش ساده شده به منظور اندازه گیری تغییرشکل بیشینه دینامیکی و نیروهای به وجود آمده پیشنهاد شده است [۱۰].

دیانتی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی عملکرد سیستم‌های قاب مهاربندی شده با حرکت گهواره‌ای به منظور افزایش ظرفیت جابجایی نسبی قبل از بروز آسیب پرداختند. این سیستم دارای اجزایی در پایه ستون است که اجازه بلند شدگی به ستون را در سطح مشخصی از لنگر واژگونی، درنتیجه‌ی نیروهای جانبی می‌دهد. به منظور نشان دادن اثربخشی این سیستم، مقایسه‌ای بین عملکرد لرزه‌ای انواع سیستم‌های قاب مهاربندی شده با استفاده از جابجایی نسبی ماندگار و منحنی‌های خطر انجام پذیرفت. در پایان با مقایسه نتایج بدست آمده مشخص شد که سیستم‌های قاب مهاربندی شده با حرکت گهواره‌ای عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به سیستم قاب مهاربندی شده خواهد داشت [۱۱].

رهگذر و همکاران در پژوهش خود به بررسی سه کمیت ارزیابی عملکردی، ضریب مقاومت افزون، ضریب شکل‌پذیری و ضریب رفتار سازه‌های با سیستم گهواره‌ای و مهاربند همگرا پرداخته‌اند. آن‌ها در مدل‌سازی خود از نرم‌افزار OpenSees استفاده کرده‌اند. نتایج بیانگر این است که مقدار ضریب مقاومت افزون و ضریب شکل‌پذیری این سیستم‌ها به ترتیب در بازه ۱,۳۹ تا ۲,۲۹ و ۱۲,۲۵ تا ۲۹ هست و همچنین ضریب رفتار برابر ۸ بدست می‌آید. در ادامه مدل‌هایی که با ضریب رفتار ۸ طراحی‌شده‌اند قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارند [۱۲].

همچنین آن‌ها در پژوهش دیگری به بررسی عملکرد لرزه‌ای سیستم دوگانه مهاربندی به همراه سیستم گهواره‌ای پرداختند که در این تحقیق از سیستم گهواره‌ای در مرکز قاب و از میراگرها و فنرهایی جهت بیان سختی قایم ستون‌ها استفاده شده است. در مدل نرم‌افزاری از مدل ارائه شده توسط مدینا کراوینکلر از یک المان الاستیک و دو فنر غیرخطی در دو انتها برای شبیه سازی رفتار غیرخطی همراه با فروریزش استفاده‌شده است. در مدل برای در نظر گرفتن پی دلتا یک ستون نیز لحاظ شده که در مدل‌سازی این تأثیر بسزا دارد. در نتایج این پژوهش می‌توان به اهمیت سیستم گهواره‌ای در کنترل فروریزش سازه و کاهش صدمات ناشی از زلزله‌های شدید اشاره نمود [۱۳].

کافاکیوی در سال ۲۰۱۵ به ارائه و ارزیابی یک سیستم مقاوم جانبی جدید در برابر زلزله پرداخت. از آنجایی که سیستم‌های قاب مهاربندی هم محور دارای ظرفیت محدودی هستند و سیستم‌های قاب مهاربندی شده هم محور با حرکت گهواره‌ای پاسخ جابجایی نسبی جانبی سازه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند ولی هزینه ساخت این سیستم‌ها بالا می‌باشد، از این رو به منظور استفاده از شکل‌پذیری سیستم با حرکت گهواره‌ای و هزینه متعارف سیستم قاب مهاربندی هم محور، یک سیستم دوگانه جدید پیشنهاد شد که طبقات پایین این سازه دارای سیستم با حرکت گهواره‌ای و طبقات بالا دارای سیستم متعارف قاب مهاربندی هم محور است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های دوگانه می‌توانند سیستم سازه‌ای مؤثری برای ساختمان‌هایی با ارتفاع متوسط در مناطق با لرزه خیزی بالا باشند [۱۴].

کاظمی و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر در نظر گرفتن اثر پی دلتا بر روی سازه‌ها پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند در نظر گرفتن اثر پی دلتا می‌تواند عملکرد لرزه‌ای و نتایج بدست آمده را تحت تأثیر قرار دهد [۱۵]. بر این اساس در تحقیق حاضر اثر پی دلتا لحاظ گردیده است.

در این مطالعه سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با در نظر گرفتن سیستم دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند همگرای ویژه با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای طراحی شده‌اند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Sap2000 [۱۶] تحت هفت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته اند.

۲- مدل‌سازی

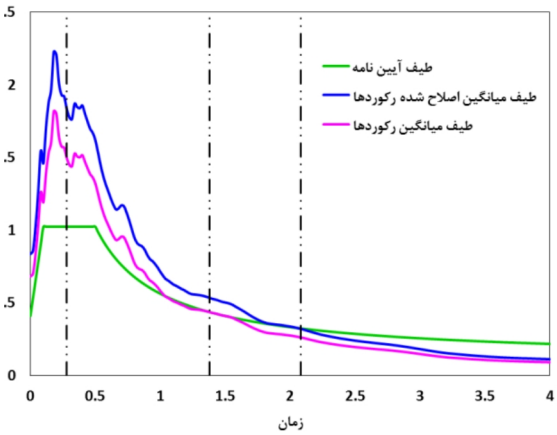
در این مطالعه سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با کاربری مسکونی که دارای منظمی در پلان و ارتفاع می‌با شند مورد ا ستفاده قرار گرفته اند تا بررسی کار بر روی ساختمان‌های کوتاه، میان مرتبه و بلند مرتبه انجام پذیرد. سازه‌ها در منطقه با خطرنسبی خیلی زیاد و جنس خاک نوع دو در نظر گرفته شده ا ست. ساختمانهای مذکور هرکدام جداگانه به صورت دو بعدی در نرم Sap2000 جهت مدل سازی برای تحلیل های غیرخطی، در دو حالت با فونداسیون ثابت و با حرکت گهواره‌ای مدل می‌گردد. در تحلیل‌های دینامیکی اثر هر سه مؤلفه زلزله‌ها در نظر گرفته شده است. مدل‌های مورد نظر بصورت سه بعدی مدل شده و در طراحی سازه‌های با مهاربند همگرا در دو حالت با و بدون رعایت بند آیین‌نامه جهت کنترل سیستم دوگانه ترکیبی در طراحی لحاظ شده است. همچنین از مباحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان [۱۷]، آیین نا مه ASCE07-10 [۱۸]، دستورالع مل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ویرایش اول (نشریه شماره۳۶۰) [۱۹] و آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) [۲۰] استفاده شده است. در این پژوهش از ۷ شتاب نگاشت Valley-Imperial، Landers، Manjil، Northridge، San-Fernando، San Salvador و Tabas ا ستخراج شده از سایت PEER ا ستفاده شده ا ست. این رکوردها بر اساس آیین‌نامه ASCE07-10 به طیف آیین‌نامه هم‌پایه شده‌اند. شکل ۱ شتاب‌نگاشت‌های هم‌پایه شده مورد بررسی به طیف آیین‌نامه را برای سازه ۱۲ طبقه نمایش می‌دهد. جهت معرفی پارامترهای تحلیل غیرخطی در نرم‌افزار از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

www.SID.ir

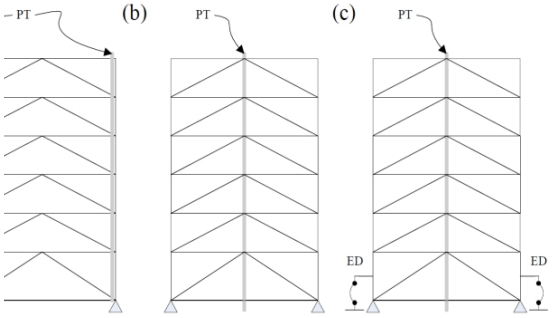
Archive of SID

ساختمان‌های موجود ویرایش اول (نشریه شماره ۳۶۰) استفاده شده است.

برای صحت سنجی مدل سازی از مقاله ساوسه و همکاران [۲۱] استفاده شده است. با در نظر گرفتن بارگذاری مطابق مقاله مدل‌سازی صورت گرفته است. آن‌ها در مدل‌سازی خود سه نوع سیستم باربر جانبی لحاظ نموده اند که به صورت شکل ۲ است. تفاوت این سیستم‌ها در نحوه قرارگیری المان پیش تنیده می‌باشد. همچنین در نوع سوم از میراگر در پای ستون استفاده شده است تا انرژی وارده را مستهلک نماید.

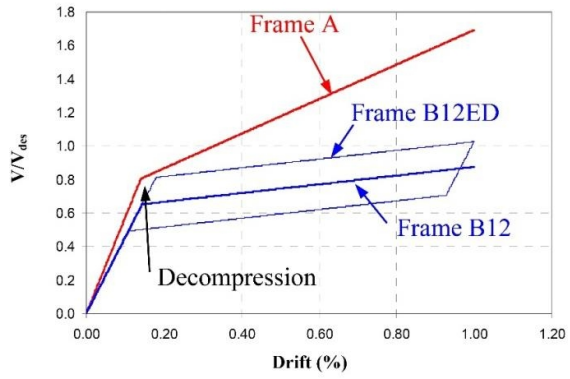


شکل ۱ – شتاب‌نگاشت‌های هم‌پایه شده به طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای سازه ۱۲ طبقه

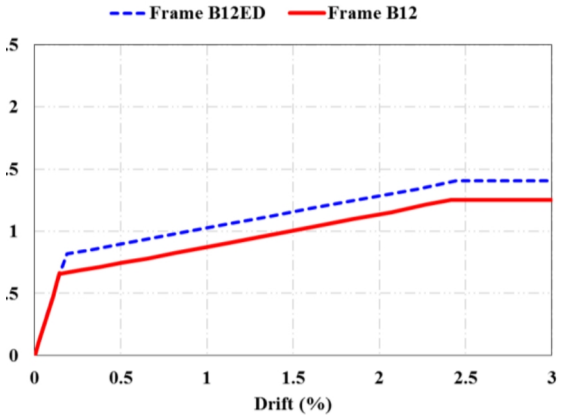


شکل ۲– سیستم باربر جانبی مورد بررسی توسط ساوسه و همکاران [۲۱]

با توجه به اینکه مدل سازی در این پژوهش به صورت مدل ارائه شده در فریم نوع سه (C) می‌باشد که دارای میراگر در پایه است. لذا با مدل سازی این فریم به برر سی رفتار ارائه شده در مقاله و رفتار مدل پرداخته شده است.



شکل ۳– نمودار پوش اور توسط ساوسه و همکاران [۲۱]



شکل ۴– نمودار پوش اور بدست آمده در صحت سنجی

همان‌طور که از شکل ۴ قابل استنباط است نمودار پوش اور در هردو سازه با مدل یک و دو در مقاله با دقت خوبی بر هم منطبق بوده و نشان از صحت مدل‌سازی دارد. با توجه به صحت مدل‌سازی حرکت گهواره‌ای، مدل‌سازی انجام شده و پس از انجام تحلیل به مقایسه رفتار و مشخصات هرکدام از حالت‌های مدل شده پرداخته و نتیجه‌گیری می‌شود.

۳- مقایسه تأثیر در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای، با و بدون رعایت بند آیین‌نامه

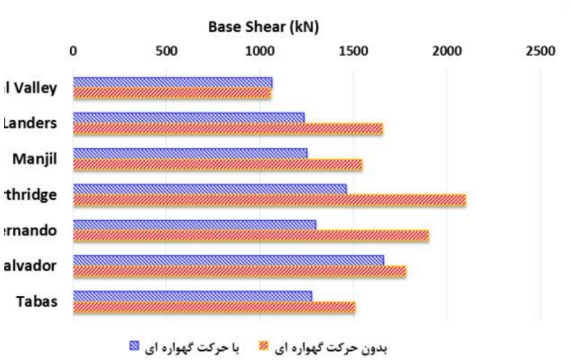
بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه برش پایه در بیشتر رکوردها با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مقادیر کمتر و مساوی داشته است به جز رکورد San Salvador که مقادیر بیشتر است. لذا در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه باعث کاهش ۱۲٪ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد به جز دو رکورد Landers و San Salvador که جابجایی بیشتر بوده است. لذا به طور میانگین مقدار ۶٪ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ۱۴,۷٪ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده

www.SID.ir

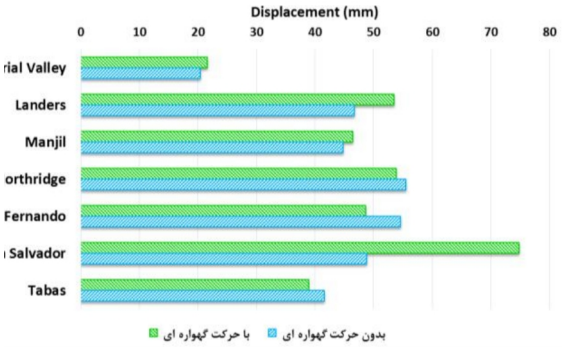
Archive of SID

است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ٪۱۳,۱ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است.

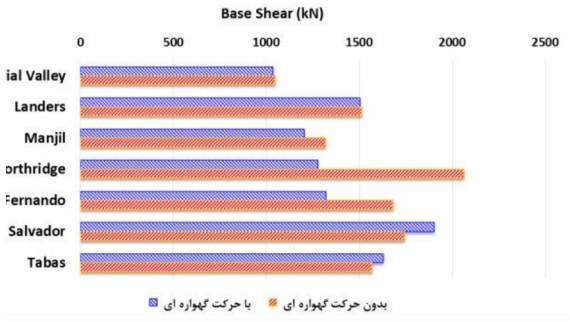
با رعایت بند آیین‌نامه در سازه ۴ طبقه، در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه باعث کاهش ٪۲۴ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد به جز دو رکورد Landers و San Salvador که جابجایی بیشتر بوده است. لذا به طور میانگین مقدار ٪۴ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۱۳,۹ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ٪۱۶,۸ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است (شکل‌های ۵ تا ۸).



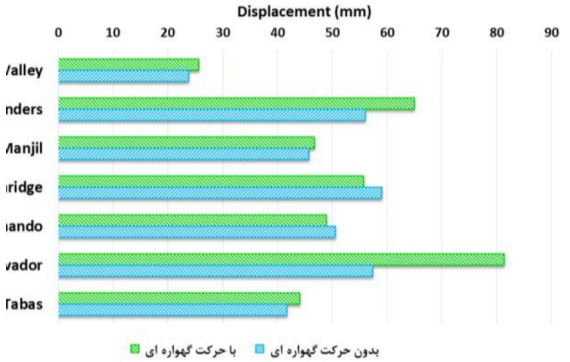
شکل ۵- مقایسه برش پایه سازه ۴ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۶- مقایسه جابجایی بام سازه ۴ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۷- مقایسه برش پایه سازه ۴ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۸- مقایسه جابجایی بام سازه ۴ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

در سازه ۸ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای، مقدار برش پایه در بیشتر رکوردها با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مقادیر کمتری داشته است. لذا در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۸ طبقه باعث کاهش ٪۲۷ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد به جز دو رکورد Landers و San Fernando که جابجایی کمتر بوده است. لذا به طور میانگین مقدار ٪۳,۴ جابجایی بام کاهش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۸,۵ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ٪۱ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است.

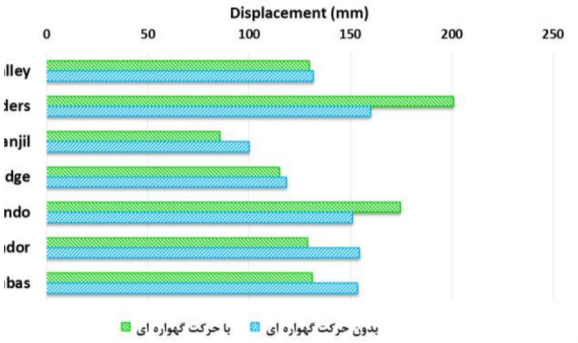
در سازه ۸ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای، مقدار برش پایه در بیشتر رکوردها با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مقادیر کمتری داشته است. لذا در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۸ طبقه باعث کاهش ٪۲۴,۸ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد به جز دو رکورد Landers و San Fernando که جابجایی کمتر بوده است. لذا به طور میانگین مقدار ٪۴,۷ جابجایی بام کاهش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون

www.SID.ir

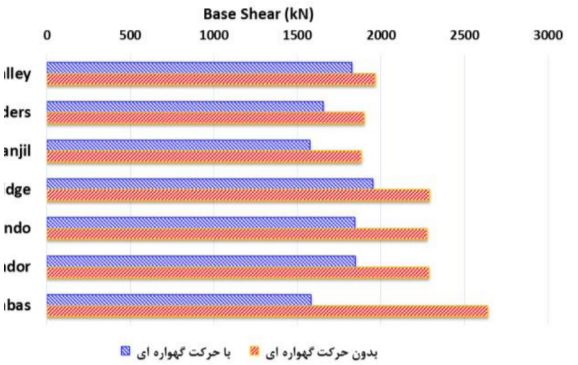
Archive of SID

سازه ۸ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۶ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ۱٪ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است (شکل‌های ۹ تا ۱۲).

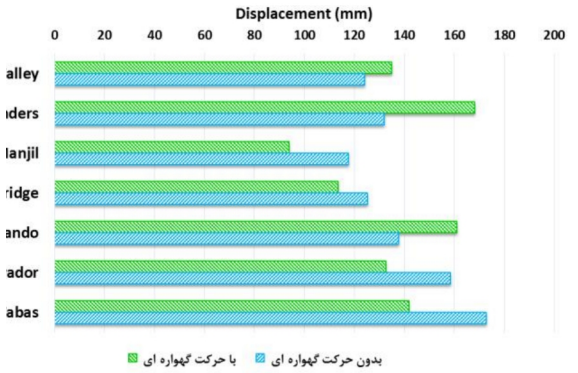
شکل ۹- مقایسه برش پایه سازه ۸ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۱۰- مقایسه جابجایی بام سازه ۸ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

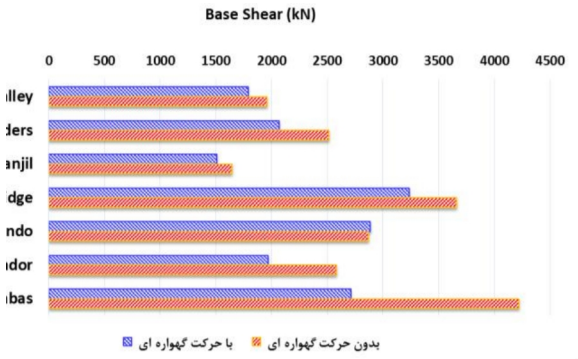


شکل ۱۱- مقایسه برش پایه سازه ۸ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۱۲- مقایسه جابجایی بام سازه ۸ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

در سازه ۱۲ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۱۲ طبقه باعث کاهش ۱۹٫۸٪ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر و بیشتر از مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد. لذا به طور میانگین مقدار ۲٫۹٪ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۱۲ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ۹٫۴۵٪ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی برابر و کمتری در سازه مستهلک شده است و به طور میانگین ۳٫۹٪ کمتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. در سازه ۱۲ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، در مقایسه برش پایه سازه ۱۲ طبقه، مقدار برش پایه در بیشتر رکوردها با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مقادیر کمتری داشته است. لذا در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۱۲ طبقه باعث کاهش ۱۹٫۲٪ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر و بیشتر از مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد. لذا به طور میانگین مقدار ۴٫۳٪ جابجایی بام افزایش یافته است.

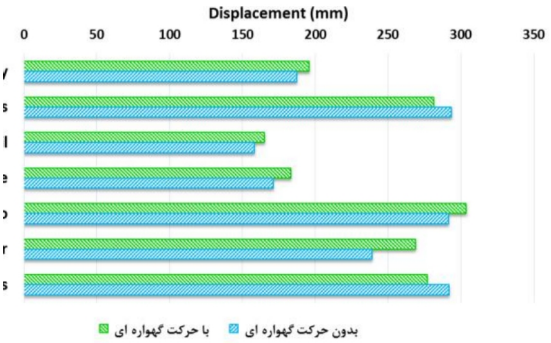


شکل ۱۳- مقایسه برش پایه سازه ۱۲ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

www.SID.ir

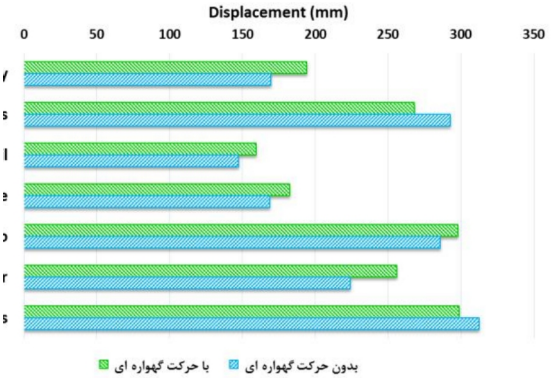
Archive of SID

نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۱۲ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۷٫۸ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی برابر و کمتری در سازه مستهلک شده است و به طور میانگین ٪۱ کمتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است (شکل‌های ۱۳ تا ۱۶).



شکل ۱۴- مقایسه جابجایی بام سازه ۱۲ طبقه بدون رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

شکل ۱۵- مقایسه برش پایه سازه ۱۲ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای



شکل ۱۶- مقایسه جابجایی بام سازه ۱۲ طبقه با رعایت بند آیین‌نامه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با در نظر گرفتن سیستم باربری جانبی دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند همگرای ویژه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در نرم‌افزارSap2000 طراحی شده‌اند. سازه‌ها در منطقه با خطرنسبی خیلی زیاد و جنس خاک نوع دو در نظر گرفته‌شده است. در این پژوهش از ۷ شتاب‌نگاشت Imperial-Valley، Landers، Manjil، Northridge، San Fernando، San Salvador و Tabas استخراج شده از سایت PEER استفاده شده است. این رکوردها بر اساس آیین‌نامه ASCE07-10 به طیف آیین‌نامه هم‌پایه شده‌اند. سپس سازه‌ها مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته اند.

در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه باعث کاهش ٪۱۲ در برش پایه شده است. به طور میانگین مقدار ٪۶ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۱۴٫۷ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ٪۱۳٫۱ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. در حالت رعایت بند آیین‌نامه، در مقایسه برش پایه سازه ۴ طبقه، مقدار برش پایه در بیشتر رکوردها با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مقادیر کمتر و مساوی داشته است. لذا در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه باعث کاهش ٪۲۴ در برش پایه شده است. جابجایی‌های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌باشد به جز دو رکورد Landers و San Salvador که جابجایی بیشتر بوده است. لذا به طور میانگین مقدار ٪۴ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۱۳٫۹ افزایش داشته است. در بیشتر رکوردها در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است و حالت گهواره‌ای به طور میانگین ٪۱۶٫۸ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. برش پایه سازه ۸ طبقه، با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای کاهش ٪۲۷ داشته است. به طور میانگین مقدار ٪۳٫۴ جابجایی بام کاهش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ طبقه با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۸٫۵ افزایش داشته است. در حالت رعایت بند آیین‌نامه، برش پایه سازه ۸ طبقه، با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای کاهش ٪۲۴٫۸ داشته است. به طور میانگین مقدار ٪۴٫۷ جابجایی بام کاهش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۶ افزایش داشته است. برش پایه سازه ۱۲ طبقه، با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای کاهش ٪۱۹٫۸ داشته است. به طور میانگین مقدار ٪۲٫۹ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۱۲ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ٪۹٫۴۵ افزایش داشته است. به طور میانگین ٪۳٫۹ کمتر از حالت معمولی انرژی مستهلک شده است. در حالت رعایت بند آیین‌نامه، برش پایه سازه ۱۲ طبقه، با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای کاهش ٪۱۹٫۲ داشته است. به طور میانگین مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

۴,۳٪ جابجایی بام افزایش یافته است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۱۲ طبقه در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای ۷,۸٪ افزایش داشته است.

به طور کلی می‌توان به این نکته اشاره نمود که در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای می‌تواند انرژی زیادی در سازه مستهلک نماید. اما این نوع حرکت نیروی ستون طبقه اول و همچنین جابجایی بام زیادی دارد. در این را ستا بر ا ساس این پژوهش پی شنهاد می‌گردد در طراحی و استفاده از این نوع سیستم‌ها، تدابیری در جهت کنترل جابجایی بام سازه و همچنین نیروی ستون در سازه دیده شود. به طور کلی این نوع از سیستم باعث کاهش مقاطع و صرفه اقتصادی در سازه شده است.

۵- منابع

[1] Wiessing, P. R., & Taylor, P. W. (1979). Foundation rocking on sand. Department of Civil Engineering, University of Auckland.

[2] Palermo, A. and S. Pampanin, The use of controlled rocking in the seismic design of bridges. Doctate Thesis, Technical Institute of Milan, Milan, (2004).

[3] Azuhata, T., M. Midorikawa, and T. Ishihara. Earthquake damage reduction of buildings by self-centering systems using rocking mechanism. in The 14th World Conference on Earthquake Engineering. (2008).

[4] Tremblay, R., et al. Innovative viscously damped rocking braced steel frames. in Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China. (2008).

[5] Eatherton, M., et al. Seismic design and behavior of steel frames with controlled rocking–Part I: Concepts and quasi-static subassembly testing. in ASCE Structures Congress, Orlando, Florida. (2010).

[6] Eatherton, M.R. and J.F. Hajjar, Large-scale cyclic and hybrid simulation testing and development of a controlled-rocking steel building system with replaceable fuses. (2010), Newmark Structural Engineering Laboratory. University of Illinois at Urbana-Champaign.

[7] Tremblay, R., Mottier, P., & Rogers, C. (2016). Seismic retrofit of existing low-rise steel buildings in eastern Canada using rocking braced frame system. Canadian journal of civil engineering.

[8] Mojtaba Dyanati, Qindan Huang, David Roke, “Seismic Demand Models And Performance Evaluation Of Self-Centering And Conventional Concentrically Braced Frames”; Engineering Structures 22 (2015) 232–221.

[9] Rahgozar, N., Moghadam, A. S., & Aziminejad, A. (2016). Inelastic displacement ratios of fully self-centering controlled rocking systems subjected to near-source pulse-like ground motions. Engineering Structures, 108, 113-133.

[10] Michael Pollino.; “Seismic Design For Enhanced Building Performance Using Rocking Steel Braced Frames”; Engineering Structures 22 (2015) 102–122.

[11] Mojtaba Dyanati, Qindan Huang, David Roke, “Seismic Demand Models And Performance Evaluation Of Self-Centering And Conventional Concentrically Braced Frames”; Engineering Structures 22 (2015) 232–221.

[12] Rahgozar, N., Moghadam, A. S., & Aziminejad, A. (2016). Quantification of seismic performance factors for self-centering controlled rocking special concentrically braced frame. The Structural Design of Tall and Special Buildings.

[13] Rahgozar, N., Moghadam, A. S., Rahgozar, N., & Aziminejad, A. (2016). Performance evaluation of self-centring steel-braced frame. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 170(1), 3-16.

[14] Mehdei Kafaeikivi.; “Seismic Performance Assessment of Self-Centering Dual Systems with Different Configurations”; A Dissertation Presented to The Graduate Faculty of The University of Akron In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy, May, 2015.

[15] Kazemi, F., Mohebi, B., & Yakhchalian, M. (2018). Evaluation the P-Delta Effect on Collapse Capacity of Adjacent Structures Subjected to Far-field Ground Motions. Civil Engineering Journal, 4(5), 1066. doi:10. 28991/cej-0309156.

[16] SAP2000® Version 19.1.2, Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA, (2017).

[۱۷] مقررات ملی ساختمان ، مبحث دهم ، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی (۱۳۹۲). دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران.

[18] ASCE (2010). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-10), American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA.

[۱۹] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی ک شور. "د ستورالعمل به سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود. نشریه شماره ۳۶۰"،تهران: معاونت امور فنی. دفتر امور فنی (۱۳۹۲).

[۲۰] آیین‌نامه طراحی ساختما نها در برابر زلزله، استاندارد۲۸۰۰- ۱۳۹۲ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن شماره نشر، ض- ۲۵۳، ویرایش چهارم.

[21] Sause, Richard & Ricles, James & Roke, David & Seo, Choun-Yeol & Lee, Kyung-Sik,(2006), "Design of Self-Centering Steel Concentrically-Braced Frames", 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of the Seismic Performance of Rocking Motions and its Effects on the Controlling Provisions of Special Steel Moment-resisting Systems Dual with CBF Bracing

Ali Parvari
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran
Ehsan Azizi
MSc Structural Engineering, Faculty of Engineering,Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran

Abstract

In this study, 4-, 8-, and 12-Story steel special concentrically braced frame (SCBFs) structures were considered in area with high seismically hazard and soil type II according to Iranian's 2800 code provision. Structures are residential use and have regularity in plane and vertical distribution. Structures were modeled using Sap 2000 software to investigate the effect of self-centering motion under seven near-field earthquakes. All models assumed with and without dual system controlling provisions. The results of this research indicate that without dual system provisions, considering the self-centering motion in 4-, 8-, and 12-Story SCBFs reduces base shear of structures in contrast with increasing deformation of top floor and column axial force. In average, the self-centering motion dissipate energy more than fixed base one. With controlling dual system provisions, considering the self-centering motion in 4-, 8-, and 12-Story SCBFs reduces base shear of structures, whereas increases deformation of top floor and column axial force. Moreover, in this case of study, energy dissipation are more than with controlling one. Considering the self-centering motion in 8-, and 12-Story SCBFs reduces base shear of structures and top floor deformations, meanwhile column axial force was increased. It can be seen that in 4-, and 12-Story SCBFs considering code provisions had a better results, whereas in 8-Story SCBFs neglecting code provisions was accepted.

Keywords: Self-centering motion, special concentrically braced frame, seismic performance, near-field earthquake.

www.SID.ir