ارزیابی عملکرد و مقایسه لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی با سیستم دوگانه با مهاربند همگرا و واگرا دارای امکان حرکت گهواره‌ای

آرمان بگلر
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین، خمین، ایران
علی پروری*
عضو هیئت علمی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین، خمین، ایران
ali.parvari@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۶/۱۴

چکیده:
در سال‌های اخیر، در نظر گرفتن حرکت قائم در سازه‌ها که به عنوان حرکت گهواره‌ای شناخته می‌شود از جمله روش‌هایی است که برای استهلاک انرژی وارده بر سازه از طریق زلزله به کار می‌رود. در این مطالعه جهت بررسی تأثیر حرکت گهواره‌ای در سازه‌های با مهاربند همگرا و واگرای ویژه، سه سازه فولادی ۴، ۸ و ۱۲ طبقه قاب خمشی با مهاربند همگرا و واگرای ویژه تحت اثر هفت زلزله حوزه نزدیک با نرم افزار Sap2000 مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش عنوان می‌نماید با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای رفتار سازه‌ها تغییر می‌نماید که این تغییر در قاب مهاربندی همگرا و واگرا متفاوت است. در سازه‌های مهاربندی همگرا با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای، نیروی ایجاد شده در ستون و مهاربند افزایش داشته است. همچنین در حالت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است. در سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه مهاربندی واگرا با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای، نیروی ایجاد شده در ستون و همچنین نیروی مهاربند دارای افزایش بوده است که تغییرات آن با مهاربند همگرا متفاوت است. با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مفاصل بیشتری در تیرها تشکیل شده است. لذا در حرکت گهواره‌ای ستون‌ها، تیرهای خارج از دهانه مهاربندی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته اند. به طور کلی نتایج حاکی از عملکرد بهتر حرکت گهواره‌ای در سازه همگرا دارد.

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

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

هرچند آیین‌نامه‌های متداول برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در زلزله‌های شدید اجازه فروریزش را نمی‌دهند ولی ساختمان‌هایی که با این آیین‌نامه‌ها طراحی شده اند لزوماً در برابر صدمات شدید در امان نیستند. در واقع زمین لرزه‌های اخیر نشان داده است که سطح آسیب بالا است که مستلزم تخریب و بازسازی ساختمان‌ها می‌باشد. این امر به نوبه خود منجر به برخی از عواقب غیر قابل قبول در شهرهای پرجمعیت می‌شود. به طور کلی تمرکز آیین‌نامه های طراحی لرزه‌ای در درجه اول جلوگیری از فروپاشی سازه است و توجه به زیان‌های اقتصادی ناشی از تعمیر و ترمیم سازه‌ها پس از وقوع زلزله کمتر است. یکی از راه‌هایی که تعمیر سازه را آسان‌تر و هزینه تعمیر سازه را کاهش می‌دهد طراحی سازه به‌گونه‌ای است که خرابی های ناشی از تغییر شکل‌ها به المان‌های قابل تعویض و یا جاذب انرژی انتقال داده شود. یکی از روش‌های بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی استفاده از سیستم‌هایی است که موجب محدود شدن خسارت در نقاط خاصی از سازه می‌شوند؛ بدین وسیله می‌توان با تعویض اعضای آسیب دیده، با سرعت بیشتر و هزینه کمتری از ساختمان‌ها بهره برداری کرد. ازجمله‌ی این روش‌ها می‌توان به سیستم‌های دارای حرکت گهواره‌ای اشاره کرد. این سیستم ها به گونه‌ای طراحی می شوند که حتی بعد از زلزله‌های شدید، آسیب ندیده و تغییر شکل ماندگار نداشته باشند. همچنین به دلیل آن که تنها با تعویض فیوزها قابل بهره برداری هستند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشند. سیستم قاب مهاربندی بلند شونده از پایه دارای تیرها و ستون‌ها و بادبندهایی همانند مدل‌های متداول قاب مهاربندی می‌باشد، با این تفاوت که به کمک جزئیات خاصی در پای ستون اجازه بلند شدن از روی پی در این سیستم امکان‌پذیر می‌باشد. بارهای ثقلی و نیروهای پس کشیدگی کابل‌ها مقاومت قاب را در برابر بلند شدن تأمین می‌کنند و همچنین پس از بلند شدن قاب عامل بازگرداندن آن به حالت اولیه می‌باشند. کل سیستم قاب باید طوری طراحی شود که در هنگام وقوع زلزله در حوزه الاستیک باقی بماند. در این حالت بارهای لرزه‌ای وارد به قاب تابعی از میزان بلند شدگی ستون‌ها می‌باشند. تحت اثر بارهای جانبی کم، سازه تنها تغییر شکل الاستیک خواهد داشت که این تغییر شکل مانند یک سیستم مهاربندی معمولی است. تحت اثر بارهای جانبی بزرگ‌تر لنگر واژگونی در پای قاب به حدی می‌رسد که با ایجاد کشش در ستون‌ها، سبب آرام آرام بلند شدن قاب از تراز پی می شود. بعد از بلند شدن ستون، جابجایی جانبی قاب به شکل دوران صلب گونه حول مرکز دوران ستون دیگر می‌باشد، همچنین این بلند شدگی باعث ایجاد نیروها و تغییر شکل‌های ثانویه در تیرها، ستون‌ها و بادبندهای قاب می‌شود. افزایش طول کابل‌های فولادی پس کشیده که ناشی از دوران و بلند شدگی قاب می‌باشد، سبب افزایش تنش در این کابل‌ها شده و به تبع آن یک سختی جانبی اضافی را برای قاب و در برابر جابجایی‌های جانبی ایجاد می‌کند [۱].

حجار و همکارانش در سال ۲۰۰۲ به مطالعه سیستم‌هایی با عملکرد بالا که به سازه اجازه می‌دهند به راحتی پس از زلزله تعمیر شوند پرداختند. آن‌ها این کار را با استفاده از قاب‌های فولادی که به صورت گهواره‌ای کنترل شده اند انجام دادند. با استفاده از فیوزهای اتلاف انرژی قابل تعویض در این سیستم‌ها، تغییر مکان‌های ماندگار حذف شده و آسیب‌های سازه‌ای در المان‌های فیوز متمرکز می شوند [۲]. میدوریکاوا و همکارانش در سال ۲۰۰۳ به مطالعه و بررسی آزمایش میز لرزان و تحلیل‌های عددی سیستم‌های گهواره‌ای به منظور ارزیابی سیستم‌های گهواره‌ای تسلیم شونده در بیس پلیت با استفاده از ستون‌هایی که در پایه، توانایی بلند شدگی دارند، پرداختند. نتایج آزمایشات آن‌ها نشان می‌دهد که برش پایه ستون در قاب‌های گهواره‌ای بیشتر از ۵۲٪ در مقایسه با قاب‌های با پایه ثابت کاهش یافته است [۳]. سا سون و همکارانش در سال ۲۰۱۰ به مطالعه یک نوع جدیدی از قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم محور پرداختند که ظرفیت تغییرمکان نسبی بیشتری قبل از آسیب دارد که منجر به تغییر شکل‌های ماندگار کمتری تحت بارگذاری زلزله می‌شوند این قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم محور برگشت‌پذیر با انگیزه کمتر کردن آسیب سازهای تحت بارگذاری زلزله و فراهم آوردن ظرفیت جابجایی نسبی غیرخطی و تغییر شکل ماندگار بکار گرفته شده است [۴].

دیریان و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در مقاله‌ای با عنوان، انعطاف پذیری لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده فولادی با حرکت گهواره‌ای کنترل شده و فیوزهای جاذب انرژی، به تشریح یک سیستم جدید انعطاف‌پذیر لرزه‌ای با به‌کارگیری حرکت گهواره‌ای کنترل شده الاستیک پیش‌تنیده و فیوزهای قابل تعویض برای مقابله با زمین لرزه با محدود کردن آسیب سازه‌ای پرداختند. آزمایش میز لرزان دینامیکی و آزمایش چرخه‌ای شبه استاتیکی نمونه‌ای با مقیاس واقعی تائید می‌کند که سیستم می‌تواند لرزه های ناشی از زمین لرزه را بدون آسیب سازه‌ای تحمل نماید [۵].

حسینی و نوروزی‌نژاد در سال ۲۰۱۲ یک سیستم سازه‌ای چهارکپسولی ارائه نمودند که قابلیت جذب انرژی در آن بیش از سیستم‌های پیشین است. آن‌ها این کار را با استفاده از تقسیم سازهٔ ساختمان به چهار بخش مشابه (چهارکپسول) که هریک می‌تواند در طی زلزله حرکت گهواره‌ای داشته باشد و استفاده از ستون‌های مورب در اولین تراز ساختمان انجام دادند که تمامی این ستون‌ها مورب مجهز به میراگرهای ADAS به‌صورت دوگانه می‌باشند و به تیرهای قوی در اولین سقف ساختمان متصل هستند. این تیرهای قوی به الاستیک ماندن سقف‌های بالایی کمک می‌نمایند. در پایان با انجام تحلیل‌های غیرخطی بر روی ساختمان‌های معمولی و ساختمان پیشنهادی به این نتیجه رسیدند که ایده پیشنهادی می‌تواند دارای رفتار لرزه‌ای مناسب‌تری باشد نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد که ساختمان‌های مذکور، نه تنها زمان تناوب سازه را افزایش می‌دهند، منجر به آسیب کمتری نیز می‌شوند [۶].

www.SID.ir

Archive of SID

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 تغییر شکل بیشینه دینامیکی و نیروهای به وجود آمده پیشنهاد شده است [۷]. 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، مقایسه ایی 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 [۸].

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 [۹].

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. مدل مورداستفاده آن‌ها و مفاصل تعریف شده در نرم‌افزار به‌صورت غیر خطی می باشد. نتایج بیانگر این هست که مقدار ضریب مقاومت افزون و ضریب شکل‌پذیری این سیستم ها 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 [۱۰]. 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 قائم ستون‌ها استفاده کردند. در مدل نرم‌افزاری از مدل ارائه شده توسط مدینا کراوینکلر از یک المان الاستیک و دو فنر غیرخطی در دو انتها برای شبیه‌سازی رفتار غیرخطی همراه با فروریزش استفاده‌شده است. در مدل برای در نظر گرفتن پی دلتا یک ستون نیز لحاظ شده که در مدل‌سازی 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 [۱۱]. در بررسی نسبت تغییر مکان غیرخطی در سازه‌های با سیستم گهواره‌ای در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک که نوید رهگذر و همکاران پرداخته‌اند، نود و یک سازه تحت چهل و چهار زلزله دور و نزدیک آنالیز تاریخچه زمانی شده که بر این اساس ثابت مقاومت 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 [۱۲].

کاظمی و همکاران در پژوهشی به بررسی تاثیر در نظر گرفتن اثر پی دلتا بر روی سازه ها پرداختند. آنها نتیجه گرفتند در نظر گرفتن اثر پی دلتا می تواند عملکرد لرزه ای و نتایج بدست آمده را تحت تاثیر قرار دهد [۱۳]. 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 دو نوع سیستم دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند همگرای ویژه و قاب خمشی با مهاربند واگرای ویژه با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای طراحی شده اند. سپس با استفاده از نرم‌افزارSap2000 [۱۴] تحت هفت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته اند. نتایج حاکی از این است که سازه با سیستم دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند همگرای ویژه دارای حرکت گهواره‌ای عملکرد بهتری را نسبت به سیستم دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند واگرای ویژه دارد.

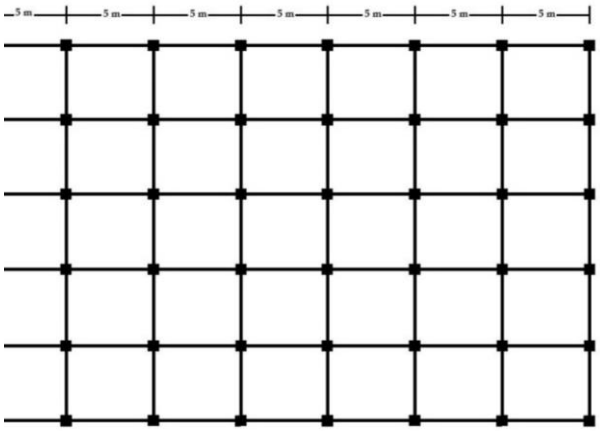
۲- مدل‌سازی و سازه‌های مورد بررسی

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 بلندمرتبه انجام پذیرد. پلان کلی طبقات سازه به صورت شکل ۱ ا ست. سازه‌ها در منطقه با خطر نسبی خیلی ز یاد و جنس خاک نوع دو در نظر گرفته شده ا ست. ساختمان‌های مذکور هرکدام جداگانه به صورت دو بعدی در نرم Sap2000 جهت مدل‌سازی برای تحلیل‌های 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 ا ست. مدل‌های موردنظر به صورت سه‌بعدی مدل شده و در طراحی مدل ها در دو حالت با مهاربند همگرا و واگرا از مباحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان [۱۵]، آیین نامه ASCE07-10 [۱۷]، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ویرایش اول (نشریه شماره۳۶۰) [۱۷] و آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) [۱۸] استفاده شده است. بار مرده طبقات برابر ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بام و راه پله برابر ۶۵۰ کیلوگرم بر مترمربع هست. بار زنده طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بام ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و همچنین راه پله برابر ۳۵۰ کیلوگرم بر

www.SID.ir

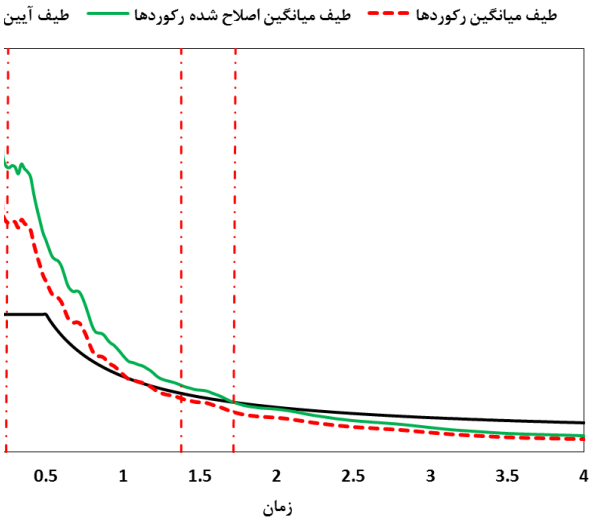
Archive of SID

مترمربع لحاظ شـــده‌اند. بار دیوار دور ســـازه ۷۰۰ کیلوگرم بر متر و جان‌پناه ۲۵۰ کیلوگرم بر متر هســـت. ارتفاع طبقه پارکینگ و طبقات مسکونی برابر ۳,۲ متر لحاظ گردیده است.



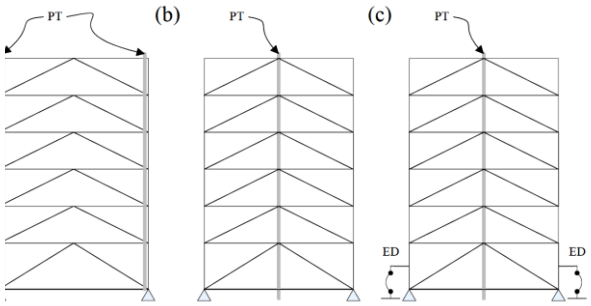
شکل ۱ – پلان سازه‌های مورد بررسی

در این پژوهش از ۷ شتاب‌نگاشت امپریال ولی[۲۲]، نورژریدج[۲۳]، طبس، لوماپریتا[۲۴]، دوزجه[۲۵]، مورگان هیل[۲۶] و منجیلاستخراج شده از سایت PEER استفاده‌شده است. این رکوردها بر اساس آیین‌نامه ASCE07-10 به طیف آیین‌نامه هم‌پایه شده اند. شکل ۲ شتاب‌نگاشت‌های هم‌پایه شده مورد بررسی در این پژوهش به طیف آیین‌نامه ASCE07-10 را برای سازه ۸ طبقه نمایش می‌دهد. جهت معرفی پارامترهای تحلیل غیرخطی در نرم‌افزار از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ویرایش اول (نشریه شماره۳۶۱) [۱۷] استفاده شده است.



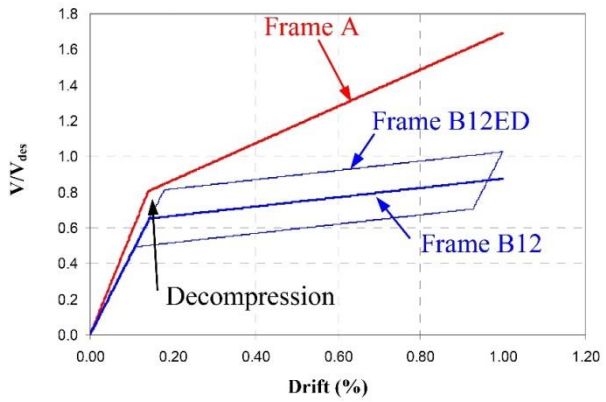
شکل ۲– شتاب‌نگاشت‌های هم‌پایه شده به طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای سازه ۸ طبقه

برای صحت سنجی مدل سازی از مقاله ساوسه و همکاران [۱] اســـتفاده شـــده اســـت. با در نظر گرفتن بارگذاری مطابق مقاله مدل‌ســـازی صـــورت گرفته اســـت. آن‌ها در مدل‌ســـازی خود ســـه نوع سیستم باربر جانبی لحاظ نموده‌اند که به صورت شکل ۳ است.



شکل۳– سیستم باربر جانبی مورد بررسی توسط ساوسه و همکاران [۱]

با توجه به اینکه مدل سازی در این پژوهش به صورت مدل ارائه شده در قاب نوع C می‌باشد، لذا با مدل‌سازی این قاب به بررسی رفتار ارائه شـده در مقاله و رفتار مدل پرداخته شـده اسـت. همان‌طور که از شکل ۴ و ۵ قابل استنباط است رفتار نمودار پوش‌اور در هردو سازه با دقت خوبی بر هم منطبق بوده و نشان از صحت مدل سازی 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.

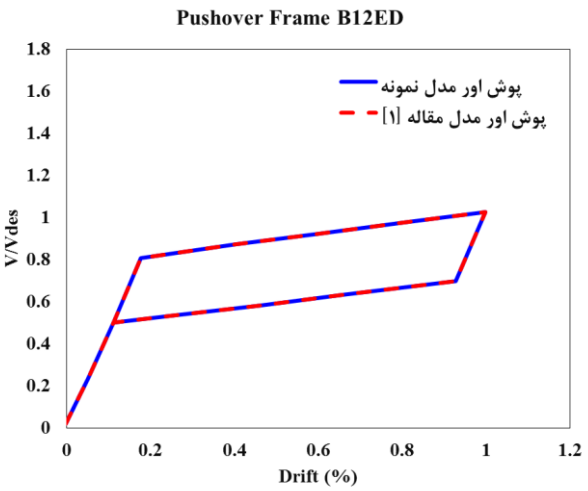


شکل ۴– نمودار پوش‌اور توسط ساوسه و همکاران [۱]

[22] Imperial Valley
[23] Northridge
[24] Loma Prieta
[25] Duzce
[26] Morgan Hill

www.SID.ir

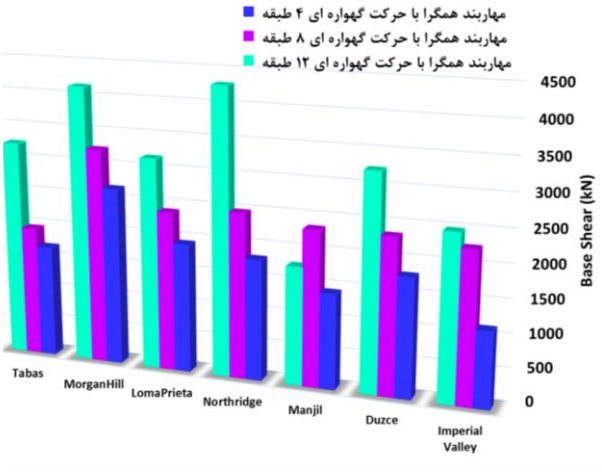
Archive of SID



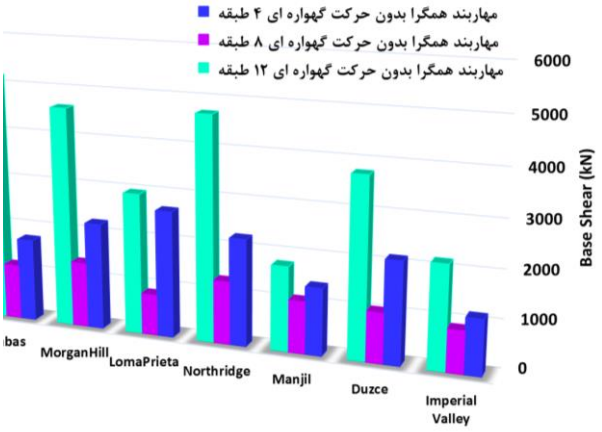
شکل ۵- نمودار پوش‌آور بدست آمده در صحت‌سنجی

۳- نتایج حاصل از تحلیل سازه‌های با مهاربندی همگرا

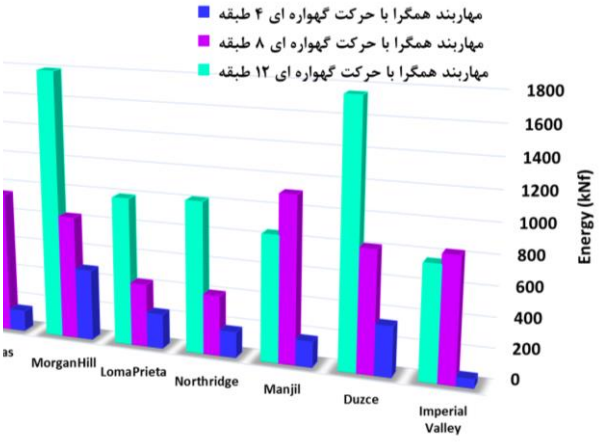
نتایج حاکی از آن است که با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه‌های با مهاربندی همگرا رفتار سازه‌ها تغییر می‌نماید. این تغییر در قاب مهاربندی همگرا با تعداد طبقات متفاوت اســت. در مقایســه برش پایه سازه‌های ۴ و۱۲ طبقه بدون حرکت گهواره‌ای در شکل ۶ و ۷، مقدار برش پایه به طور میانگین دارای کاهش ۱۰٪ و ۱۱٪ بوده اســت ولی در ســازه ۸ طبقه مقدار برش پایه دارای افزایش ۵۳,۹۸٪ اســت. جابجایی های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون حالت گهواره‌ای می‌باشد ولی در سازه ۴ طبقه در رکورد Morgan hill و برای سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه در رکوردهای Tabas و Loma Prieta جابجایی بیشتر بوده است. لذا رکورد اعمالی بر سازه بر رفتار و مقدار جابجایی حاصــل از تحلیل مؤثر اســت. همچنین نتایج حاصــل از نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای دارای افزایش ۱۴,۳٪ بوده است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای ۳۲,۹۳٪ و ۵٪ افزایش داشــته اســت. در بیشــتر رکوردها در حالت گهواره‌ای انرژی بیشــتری در ســازه مســتهلک شــده اســت. در شکل‌های ۸ و ۹ نتایج انرژی مستهلک شده نمایش داده شده اند. در ســازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین ۱۵,۴٪ بیشــتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. در سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین ۴۱,۷٪ و ۱٪ بیشــتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. لذا این نوع حرکت گهواره‌ای در سازه ۸ طبقه دارای عملکرد بهتری در حالت با مهاربند همگرا داشته اســت. در ســازه ۱۲ طبقه با توجه به عملکرد ضــعیف، این حرکت در بهبود پاسخ سازه مؤثر نیست.



شکل ۶- مقایسه برش پایه ایجاد شده در سازه‌های با مهاربندی همگرا با حرکت گهواره‌ای



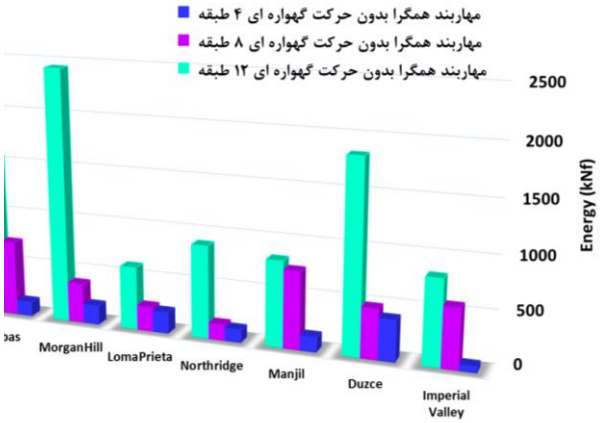
شکل ۷- مقایسه برش پایه ایجاد شده در سازه‌های با مهاربندی همگرا بدون حرکت گهواره‌ای



شکل ۸- مقایسه انرژی مستهلک شده در سازه‌های با مهاربندی همگرا با حرکت گهواره‌ای

www.SID.ir

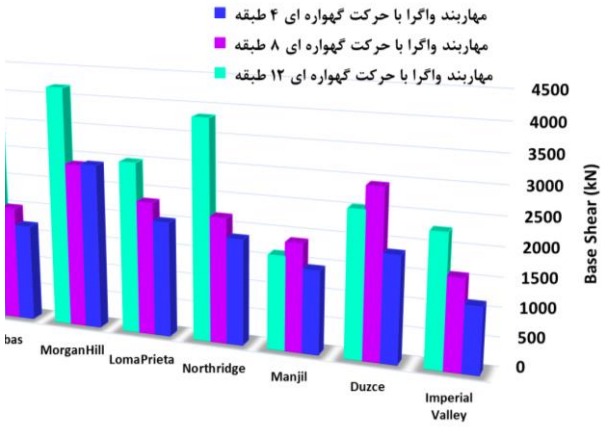
Archive of SID



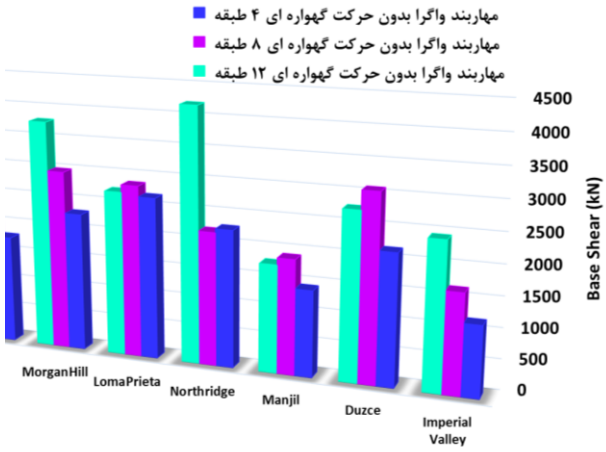
شکل ۹- مقایسه انرژی مستهلک شده در سازه‌های با مهاربندی همگرا بدون حرکت گهواره‌ای

۴- نتایج حاصل از تحلیل سازه‌های با مهاربندی واگرا

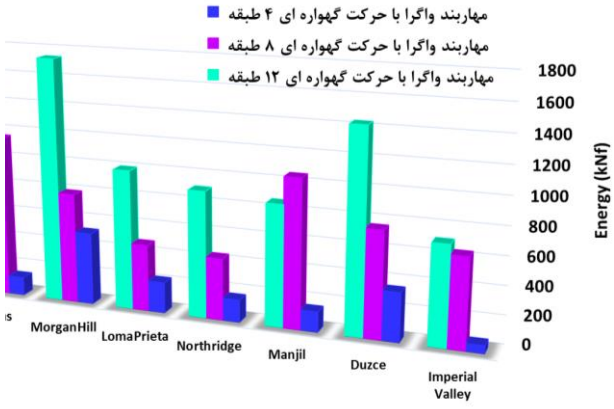
نتایج حاصل از تحلیل در سازه‌های با مهاربند واگرا بدون حرکت گهواره‌ای نشان می‌دهند که برش پایه سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه به طور میانگین دارای کاهش ۸٪، ۵٪ و ۲٪ بوده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). لذا در کاهش برش پایه سازه‌ها، حرکت گهواره‌ای تأثیر بسزایی نداشته است. جابجایی های بام در اکثر رکوردها برابر با مقدار بدون حالت گهواره‌ای می باشد ولی رکورد اعمالی بر رفتار و مقدار جابجایی حاصل از تحلیل مؤثر است و در سازه ۴ طبقه در رکورد Morgan hill و برای سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه در رکوردهای Loma Prieta و Northridge جابجایی بیشتر بوده است. همچنین نتایج حاصل از نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای دارای افزایش ۱۵,۹٪ بوده است. نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای ۹,۶٪ و ۷٪ افزایش داشته است و لذا افزایش تعداد طبقات باعث کاهش روند تغییرات نیروی ایجاد شده در ستون شده است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نتایج انرژی مستهلک شده نمایش داده‌شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که در حالت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه مستهلک شده است. در سازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین ۱۲,۴۲٪ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. در سازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین ۹٪ و ۱٪ بیشتر از حالت معمولی انرژی مستهلک کرده است. لذا این نوع حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه دارای عملکرد بهتری در حالت با مهاربند واگرا داشته است. در این بخش هم سازه ۱۲ طبقه مقادیر تغییرات کم بوده است و این حرکت در بهبود پاسخ سازه مؤثر نیست. در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ نتایج کلی نمایش داده‌شده‌اند.



شکل ۱۰- مقایسه برش پایه ایجاد شده در سازه‌های با مهاربندی واگرا با حرکت گهواره‌ای



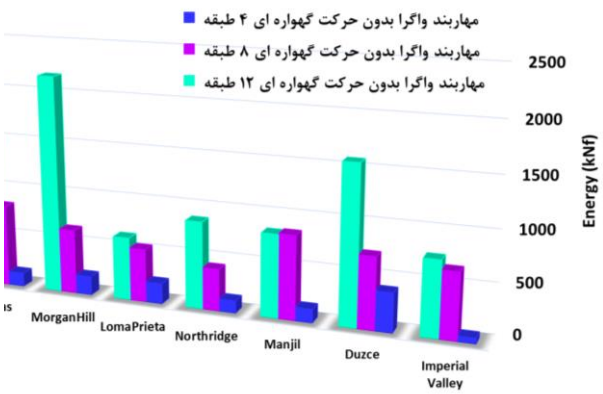
شکل ۱۱- مقایسه برش پایه ایجاد شده در سازه‌های با مهاربندی واگرا بدون حرکت گهواره‌ای



شکل ۱۲- مقایسه انرژی مستهلک شده در سازه‌های با مهاربندی واگرا با حرکت گهواره‌ای

www.SID.ir

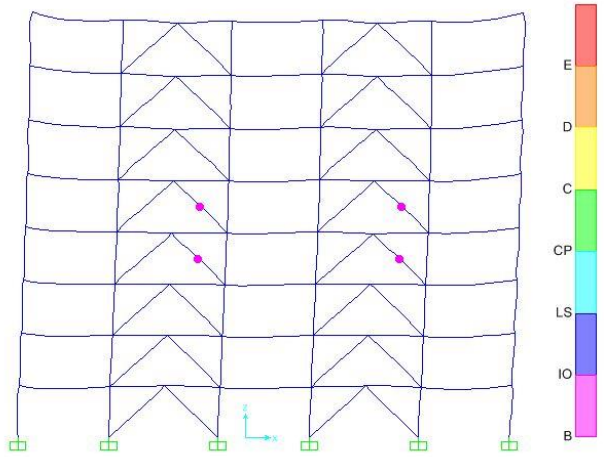
Archive of SID



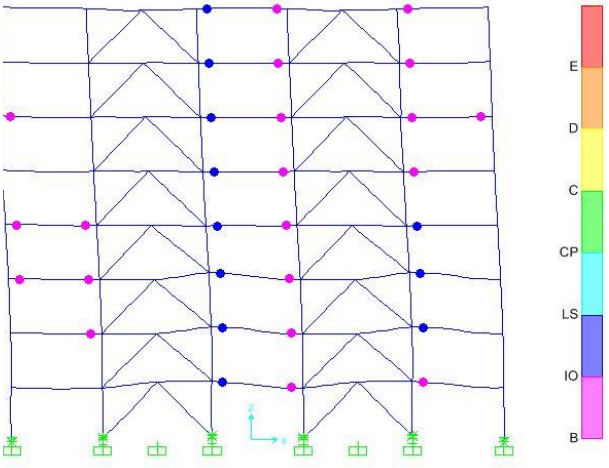
شکل ۱۳- مقایسه انرژی مستهلک شده در سازه‌های با مهاربندی واگرا بدون حرکت گهواره‌ای

۵- بررسی مفاصل تشکیل شده در سازه

مفاصل تشکیل شده در سازه ۸ طبقه بر اساس حالت‌های با و بدون حرکت گهواره‌ای به صورت شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل مفاصل مشخص است با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مفاصل بیشتری در تیرها تشکیل شده است. لذا در حرکت گهواره‌ای ستون‌ها، تیرهای خارج از دهانه مهاربندی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته اند. لذا باید در طراحی آن‌ها اقدامات لازم دیده شود. تشکیل مفاصل در تیرها عاملی بر استهلاک انرژی در سازه می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج باید در طراحی سازه برای حرکت گهواره‌ای تمهیداتی در نظر گرفته شود تا بتوان به عنوان روشی برای بهسازی سازه‌ها استفاده نمود. نتایج کلی سازه‌ها در سازه ۸ طبقه متفاوت از سازه ۴ و ۱۲ طبقه بوده است. این تفاوت ناشی از نزدیکی دوره تناوب سازه ۸ طبقه به دوره تناوب غالب زلزله‌ها می باشد. بر این اساس با توجه به تحلیل ها به نظر می‌رسد تشدید در این سازه رخ داده است.



شکل ۱۴- مفاصل تشکیل شده در سازه ۸ طبقه با مهاربند همگرا بدون حرکت گهواره‌ای در رکورد لوماپریتا



شکل ۱۵- مفاصل تشکیل شده در سازه ۸ طبقه با مهاربند همگرا با حرکت گهواره‌ای در رکورد مورگان هیل

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با در نظر گرفتن دو نوع سیستم باربری جانبی، دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند همگرای ویژه و دوگانه ترکیبی قاب خمشی با مهاربند واگرای ویژه، با و بدون در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در نرم‌افزار Sap2000 طراحی شده اند. سازه‌ها در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد و جنس خاک نوع دو در نظر گرفته‌شده است. در این پژوهش از هفت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک امپریال ولیی[۲۷]، نورثریدج[۲۸]، طبس، لوماپریتا[۲۹]، دوزجه[۳۰]، مورگان هیل[۳۱] و منجیل استخراج شده از سایت PEER استفاده شده است. این رکوردها بر اساس آیین‌نامه ASCE07-10 به طیف آیین‌نامه هم‌پایه شده اند. سپس سازه‌ها مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته اند. نتایج حاکی از آن است که با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای در سازه‌های با مهاربندی همگرا رفتار سازه‌ها تغییر

[27] Imperial Valley
[28] Northridge
[29] Loma Prieta
[30] Duzce
[31] Morgan Hill

www.SID.ir

Archive of SID

می‌نماید. این تغییر در قاب مهاربندی همگرا با تعداد طبقات متفاوت است. در مقایسه برش پایه سازه‌های ۴ و۱۲ طبقه، مقدار برش پایه به طور میانگین دارای کاهش بوده است ولی در سازه ۸ طبقه مقدار برش پایه دارای افزایش ا ست. همچنین نتایج حا صل از نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای دارای افزایش بوده ا ست. نیروی ایجاد شـده در سـتون سـازه ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای افزایش داشـته اسـت. در بیشـتر رکوردها در حالت گهواره‌ای انرژی بیشـتری در سـازه مسـتهلک شـده اسـت. در سـازه ۴ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین بیشـتر از حالت معمولی انرژی مسـتهلک کرده اسـت. در سـازه‌های ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای به طور میانگین بی شتر از حالت معمولی انرژی م ستهلک کرده ا ست. لذا این نوع حرکت گهواره‌ای در سازه ۸ طبقه دارای عملکرد بهتری در حالت با مهاربند همگرا داشـته اسـت. در سـازه ۱۲ طبقه با توجه به عملکرد ضعیف، این حرکت در بهبود پا سخ سازه مؤثر نیست. نتایج حا صل از تحلیل در سـازه‌های با مهاربند واگرا نشـان می‌دهند که برش پایه سازه‌های ۴، ۸ و۱۲ طبقه دارای کاهش بوده است. لذا در کاهش برش پایه سازه‌ها، حرکت گهواره‌ای تأثیر بـ سزایی ندا شته ا ست. همچنین نتایج حا صل از نیروی ایجاد شده در ستون سازه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه در حالت گهواره‌ای دارای افزایش بوده اسـت. لذا افزایش تعداد طبقات باعث کاهش روند تغییرات نیروی ایجاد شـده در سـتون شـده اسـت. نتایج حاکی از آن است که در حالت گهواره‌ای انرژی بیشتری در سازه م ستهلک شده ا ست. لذا این نوع حرکت گهواره‌ای در سازه ۴ طبقه دارای عملکرد بهتری در حالت با مهاربند واگرا دا شته ا ست. در سازه ۱۲ طبقه مقادیر تغییرات کم بوده اسـت و این حرکت در بهبود پاسـخ سازه مؤثر نیست. در نتایج حاصل از مفاصل تشکیل شده در سازه بر اساس حالت‌های با و بدون حرکت گهواره‌ای، مشخص است با در نظر گرفتن حرکت گهواره‌ای مفاصل بیشتری در تیرها تشکیل شده است. لذا در حرکت گهواره‌ای سـتون‌ها، تیرهای خارج از دهانه مهاربندی بیشـتر تحت تأثیر قرار گرفته اند. لذا باید تمهیداتی در طراحی حرکت گهواره‌ای نظر گرفته شود.

۷- منابع

[1] Sause R, Ricles JM, Roke D, Seo CY, Lee KS. Design of self-centering steel concentrically-braced frames. InProceedings from the 4th International Conference on Earthquake Engineering 2006 Oct 12.

[2] HAJJAR, J., EATHERTON, M., DEIERLEIN, G., MA, X., PEÑA, A., KRAWINKLER, H. and BILLINGTON, S., 2008, January. Controlled rocking of steel frames as a sustainable new technology for seismic resistance in buildings. In IABSE Congress Report (Vol. 17, No. 21, pp. 170-171). International Association for Bridge and Structural Engineering.

[3] Midorikawa, M., Azuhata, T., Ishihara, T. and Wada, A., 2006. Shaking table tests on seismic response of steel braced frames with column uplift. Earthquake engineering & structural dynamics, 35(14), pp.1767-1785.

[4] Sause, R., Ricles, J.M., Roke, D.A., Chancellor, N.B. and Gonner, N.P., 2010, July. Seismic performance of a self-centering rocking concentrically-braced frame. In Proceeding of the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering (pp. 25-29).

[5] Deierlein, G., Krawinkler, H., Ma, X., Eatherton, M., Hajjar, J., Takeuchi, T., Kasai, K. and Midorikawa, M., 2011. Earthquake resilient steel braced frames with controlled rocking and energy dissipating fuses. Steel Construction, 4(3), pp.171-175.

[6] Deierlein, G., Krawinkler, H., Ma, X., Eatherton, M., Hajjar, J., Takeuchi, T., Kasai, K. and Midorikawa, M., 2011. Earthquake resilient steel braced frames with controlled rocking and energy dissipating fuses. Steel Construction, 4(3), pp.171-175.

[7] Pollino, M., 2015. Seismic design for enhanced building performance using rocking steel braced frames. Engineering Structures, 83, pp.129-139.

[8] Dyanati, M., Huang, Q. and Roke, D., 2015. Seismic demand models and performance evaluation of self-centering and conventional concentrically braced frames. Engineering Structures, 84, pp.368-381.

[9] Kafaeikivi, M., Roke, D.A. and Huang, Q., 2016, February. Seismic performance assessment of self-centering dual systems with different configurations. In Structures (Vol. 5, pp. 88-100). Elsevier.

[10] Rahgozar, N., Moghadam, A.S. and 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, 25(14), pp.700-723.

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

[13] Kazemi, F., Mohebi, B. and 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), pp.1066-1073.

[14] 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.

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

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

[۱۷] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود. نشریه شماره ۳۶۰"،تهران: معاونت امور فنی. دفتر امور فنی (۱۳۹۲).

[۱۸] آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰- ۱۳۹۲ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن شماره نشر، ض- ۲۵۳، ویرایش چهارم.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation the Performance and Seismic Comparison of Steel Moment Dual Systems in Rocking Frames with CBF and EBF Bracing

Arman Beglar
MSc Structural Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Khomein Branch, Khomein, Iran
Ali Parvari
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Khomein Branch, Khomein, Iran.

Abstract:

In recent years, considering vertical movement in structures, which is known as self-centering motion, is one of the methods used to dissipate the earthquake energy. In this study, 4-, 8-, and 12-Story steel structures with special concentrically braced frame (SCBFs) and eccentrically braced frames (SEBFs) were considered in order to investigate the effect of self-centering motion under seven near-field earthquakes using Sap 2000 software. The results of this research indicate that considering the self-centering motion, the behavior of structures are changing in SCBFs and SEBFs. In , 4-, 8-, and 12-Story SEBFs structures with considering the self-centering motion, the column and bracing forces were increased which this was different with SCBFs structures. Considering the self-centering motion, more plastic joints are formed in the beams. Therefore, in the self-centering of the columns, the beams outside the bay are more affected. In general, the results indicate that the self-centering motion is better in the SCBFs.

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

www.SID.ir