Archive

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری،عمران ومحیط زیست

بررسی تاثیر جداسازهای لاستیکی با هسته سربی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند نامنظم

علی هوشمند آئینی [۱]، شهاب الدین غلامی چابکی [۲]

۱- گروه عمران، واحد رودبار، دانشگاه آزاد اسلامی، رودبار، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، موسسه آموزش عالی اندیشمند لاهیجان

(shahabgh4335@gmail.com)

۱.چکیده

یکی از روش‌های کنترل سازه‌ها استفاده از ابزارهای کنترل غیرفعال می‌باشد که موجب اتلاف در انرژی وارد بر سازه در طی بارهای دینامیکی و بهبود سختی و میرایی سازه می‌شود. جداسازهای لرزه‌ای یکی از ابزارهای کنترل غیرفعال می‌باشد که با ایده ممانعت از انتقال ارتعاشات زمین به سازه ابداع شده است. با این حال نیاز به بررسی تاثیر استفاده از جداسازهای لرزه‌ای در شرایط مختلف احساس می‌شود. هدف از انجام این پایان‌نامه مطالعه تاثیر جداسازهای لاستیکی هسته سربی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند نامنظم می‌باشد. مدل‌های سازه از نوع سیستم قاب دوگانه قاب خمشی فولادی ویژه و مهاربند همگرای ویژه می‌باشد. مدل‌های سازه‌ای در دو گروه سازه‌های کوتاه و بلند به ترتیب با ارتفاع ۵ و ۱۵ طبقه و در دو حالت منظم و نامنظم هندسی در پلان انتخاب شدند. این مدل‌ها در دو حالت پایه گیردار و جداسازی شده با جداساز لاستیکی هسته سربی مورد مطالعه قرار گرفت. جهت مطالعه رفتار لرزه‌ای از دو روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی و تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌اور) بهره گرفته شد. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان دادند که استفاده از سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی موجب بهبود رفتار لرزه‌ای و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه به ازای تمام حالات سازه‌های کوتاه و بلند و سازه‌های منظم و نامنظم می‌شود. برای پاسخ‌های لرزه‌ای بدست آمده از تحلیل دینامیکی، عملکرد سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی تحت تاثیر جزئیات هندسی سازه مانند منظمی یا نامنظمی هندسی در پلان و کوتاهی یا بلندی ارتفاع سازه نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: جداساز لاستیکی هسته سربی، ساختمان نامنظم، رفتار لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

۲. مقدمه

هر سازه‌ای که احداث می‌شود در طول عمر خود با احتمال وقوع بارگذاری‌های بحرانی ازجمله تحریکات جانبی ناشی از زلزله و باد مواجه می‌باشد که در صورت وقوع باید مقاومت کند. اکثر سازه‌هایی که تاکنون ساخته شده‌اند، نظیر ساختمان‌ها، پل و ... در مقابل تحریکات خارجی با استفاده از جرم و سختی خود ایجاد مقاومت می‌کنند و به عبارتی این سازه‌ها توانایی تطبیق خود با خصوصیات متغیر دینامیکی محیط را ندارند. تغیرشکل طبقات ساختمان در طی ارتفاع سازه، موجب ایجاد جابجایی نسبی در طبقات می‌شود. ازآنجاکه طبقات در یک‌زمان و با یک سرعت حرکت نمی‌کنند، لذا در هنگام وقوع زلزله یک جابجایی نسبی

www.SID.ir

Archive

افقی بین آن‌ها به وجود می‌آید. حتی گاهی بر اثر تغییر جهات نیروی وارده بر ساختمان، به علت همسان نبودن انتقال نیرو به تمامی طبقات، طبقات ساختمان در جهات مختلف حرکت می‌کنند که باعث تخریب دیوارهای داخلی، شکستن پنجره‌ها و انهدام تأسیسات خدماتی ساختمان شده که امکان بهره‌برداری از آن را سلب نموده و خسارات قابل‌توجهی وارد می‌سازد. همچنین شتاب ناشی از زلزله، به کف‌های ساختمان که محل تمرکز جرم سازه می‌باشند، منتقل می‌شود و در تراز هر طبقه شتابی متناسب با جرم آن به وجود می‌آید. مسئله اصلی به‌منظور تأمین مقاومت لرزه‌ای مناسب برای یک ساختمان، چگونگی به حداقل رساندن تغییر مکان نسبی بین طبقات و شتاب طبقات است. تغییر مکان‌های طبقه‌ای را می‌توان با افزایش سختی جانبی سازه کاهش داد؛ اما این عمل سبب تقویت و تشدید نیروی برش پایه اعمال شده به سازه طی حرکت زمین می‌شود. شتاب طبقات را نیز می‌توان با نرم‌تر کردن سیستم باربر جانبی کاهش داد؛ اما انعطاف‌پذیری بیش از حد موجب تغییرمکان‌های قابل‌توجه در تراز طبقات و خرابی‌های وسیع ناشی از آن و عملکرد نامناسب سازه تحت اثر نیروی باد و زلزله می‌گردد.

محدودیت‌های فوق به‌خوبی نشان می‌دهد که شیوه موجود طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، طراحی مطلوب و ایده‌آل سازه‌ها را به دست نخواهد داد. مسئله فوق به‌خصوص در مورد سازه‌های ویژه که انتظار بهره‌وری بالایی در شرایط پس از زلزله در مورد آن‌ها وجود دارد، صادق است. لذا روش دیگری که از اوایل قرن حاضر مطرح بوده و در دهه‌های اخیر به علت در دسترس قرار گرفتن امکانات مختلف چه از نظر تکنولوژی ساخت و چه از نظر دانش مهندسی در خصوص تحلیل، طراحی و اجرا برای مقاوم ساختن سازه‌ها در برابر زلزله به عرصه عمل وارد شده است، جداسازی در برابر زلزله یا جداسازی لرزه‌ای است. هدف اصلی در این روش جلوگیری از انتقال مستقیم نیروی زلزله از پی به سازه است. استفاده از جداساز، تنها راه عملی کاهش هم‌زمان تغییر مکان بین طبقه‌ای و شتاب طبقات است و با کمتر کردن تغییر مکان‌های حاصله در تراز جداساز، نرمی موردنیاز سازه را فراهم می‌کند.

به‌عبارت‌دیگر جداسازی لرزه‌ای یک روش نوین برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله است که مبنای آن کاهش نیروهای وارد به سازه در اثر زمین‌لرزه، به‌جای افزایش ظرفیت سازه برای تحمل بارهای جانبی است. اساس این روش کاهش پاسخ‌ها، به‌وسیله افزایش زمان تناوب و میرایی در سازه است. همچنین کاربرد این روش موجب می‌شود که تغییرشکل‌های سازه در محدوده الاستیک باقی بماند که این مصالح به سطح ایمنی سازه خواهد افزود. در این روش چون سهم اندکی از نیروی زلزله به سازه وارد می‌شود، می‌توان انتظار داشت که تغییرمکان طبقات، تغییرمکان‌های نسبی طبقات و شتاب طبقات کاهش یابد. خسارات سازه‌ای و نیز خسارات غیرسازه‌ای به‌طور محسوسی کاهش‌یافته و از مقاطع با ظرفیت کمتر استفاده می‌شود.

جداسازهای لرزه‌ای به سه دسته کلی جداسازهای الاستومریک، جداسازهای مبتنی بر لغزش و جداسازهای از نوع فنر تقسیم می‌شوند. جداسازهای الاستومریک در سه حالت جداساز لاستیکی با میرایی کم، جداساز لاستیکی با هسته سربی و جداساز لاستیکی با میرایی زیاد رایج می‌باشند. همچنین جداساز مبتنی بر لغزش که بر مبنای تئوری اصطکاک کلمب قرار دارند شامل سیستم اصطکاک خالص و سیستم آونگ اصطکاکی می‌باشد.

جداساز لاستیکی با هسته سربی کاملاً شبیه به سیستم لاستیکی با میرایی کم می‌باشد، با این تفاوت که در این سیستم میله‌ای قائم از جنس سرب در قسمت هسته جداساز برای ایجاد سختی بیشتر در جهت قائم قرار داده شده است. رفتار کاملاً خطی جداساز لاستیکی با میرایی کم، با استفاده از این میله به رفتار کاملاً دوخطی تبدیل شده است. میرایی در این سیستم به‌صورت ترکیبی از میرایی ویسکوز و هیسترزیس می‌باشد. در میرایی ویسکوز خطی، اتلاف انرژی با مجذور جابجایی و در میرایی هیسترزیس اتلاف انرژی رابطه خطی با جابجایی دارد.

در این پایان‌نامه ابتدا روش‌ها و مکانیزم‌های اتلاف انرژی در کنترل غیرفعال سازه مورد مطالعه می‌شود و انواع جداسازهای لرزه‌ای و مدل‌های رفتار آن‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌منظور مطالعه رفتار لرزه‌ای سازه‌های مجهز به جداگرهای لاستیکی با هسته سربی، روش‌های مدل‌سازی سازه، مدل‌سازی جداگرهای لاستیکی با هسته سربی و انواع روش‌های تحلیل لرزه‌ای مورد

www.SID.ir

Archive

بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های سازه‌ای سه‌بعدی با سیستم قاب خمشی فولادی مناسب با شرایط و اهداف پژوهش انتخاب می‌شوند و در محیط نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی شده و تحت داده‌های شتاب‌نگاشت زلزله با استفاده از روش دینامیکی تاریخچه زمانی تحلیل لرزه‌ای می‌شود. سپس پاسخ‌های لرزه‌ای سازه موردقیاس قرار می‌گیرد.
نکته قابل‌توجه در این پایان‌نامه برای مطالعات عددی رفتار سازه‌های مجهز به جداگرهای لاستیکی با هسته سربی، مدل‌های سازه‌ای انتخاب‌شده برای پوشش اهداف پژوهش می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر ارتفاع سازه بر عملکرد جداسازهای لرزه‌ای از دو گروه سازه‌های کوتاه با ارتفاع ۵ طبقه و سازه‌های بلند با ارتفاع ۱۵ طبقه استفاده می‌شود. همچنین جهت مطالعه تأثیر منظمی یا نامنظمی سازه بر عملکرد جداسازهای لرزه‌ای از دو گروه سازه‌های با پلان منظم و سازه‌های با پلان نامنظم استفاده می‌شود.

۳.مبانی تحقیق

وجود نامنظمی در سازه، رفتار لرزه‌ای سازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد ازاین‌رو تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۱، Chen و Collins با تحلیل مدل‌های سه‌بعدی به بررسی رفتار پیچشی سازه‌های نامتقارن و مقایسه آن‌ها با مدل‌های دوبعدی به این نتیجه رسیدند که پارامترهای طراحی در سازه‌های نامتقارن با افزایش درجات آزادی تغییری نمی‌کنند و مقادیر آن‌ها فقط به نوع خاک و خطرپذیری منطقه بستگی دارد [۱]. در سال ۲۰۰۸، Rafezy و Howson مدل‌های سه‌بعدی چندطبقه، چنددهانه، سه‌بعدی و نامتقارن دو جهته را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مدل‌های موردنظر را تحت کوپل‌های پیچشی مختلف قرار دادند و سپس با تشکیل ماتریس سختی هر یک از آن‌ها پاسخ‌های پیچشی را با یکدیگر مقایسه کردند [۲].
تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی سازه‌های مجهز به جداسازهای لرزه‌ای انجام شده است. در سال ۲۰۰۲، Kelly و همکاران با انجام مطالعات آزمایشگاهی به طراحی و ساخت جداکننده‌های مقاوم شده با استفاده از فیبرهای مختلف و مقایسه آن‌ها با جداکننده‌های مقاوم شده با فولاد پرداختند [۳]. در سال ۲۰۰۴، Matsagar و Jangid به بررسی اثر خصوصیات مختلف جداکننده‌ها بر پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های جدا شده پرداختند. آن‌ها تغییرمکان‌های سیستم جداساز و همچنین شتاب طبقات را تحت رکوردهای مختلف زلزله با یکدیگر مقایسه کردند [۴]. در سال ۲۰۰۹، Providakis رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده را با جداکننده‌های لاستیکی با هسته سربی (LRB) و جداسازهای اصطکاکی (FPS) تحت زلزله‌های حوزه نزدیک موردتوجه قرار داده است [۵]. در سال ۲۰۰۹، Spyrakos و همکاران رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های جداسازی شده را با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه مورد بررسی قرار دادند [۶]. در سال ۲۰۱۰ Besa و همکاران رفتار لرزه‌ای جداکننده‌ها و اصول طراحی مربوط به آن‌ها را به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند [۷].
در سال ۲۰۱۵، Bayoumi و همکاران تحلیل دینامیکی سازه‌های بلند جداسازی شده را مورد مطالعه قرار دادند [۸]. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۵، Jamalzadeh و Barghian پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با جداگرهای اصطکاکی را تحت مؤلفه‌های قائم و افقی زلزله مورد بررسی قرار دادند [۹]. همچنین در سال ۲۰۱۵، Castaldo و همکاران قابلیت اطمینان سازه‌های جداسازی شده را ارزیابی نمودند [۱۰]. در سال ۲۰۱۶، Cancellara و همکاران سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای را برای سازه‌های تحت زلزله‌های شدید با توجه به‌شدت و محتوای فرکانسی مطالعه نمودند [۱۱]. Tanwer و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای درزمینه‌ی انواع مختلف جداسازهای لرزه‌ای انجام دادند [۱۲]. همچنین در سال ۲۰۱۸، Guneyisi و Deringol پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را برای قاب‌های مجهز به جداساز و میراگر اصطکاکی با توجه به حالت حدی سرویس‌دهی بررسی کردند [۱۳].
وجود نامنظمی در سازه، رفتار لرزه‌ای سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیقات مختلفی درزمینه‌ی بررسی اثرات نامنظمی بر عملکرد جداسازهای لرزه‌ای انجام شده است. در سال ۱۹۹۹، Bugeja و همکاران تأثیر خروج از مرکزیت‌های مقاومت و

www.SID.ir

Archive

سختی را بر سازه‌های جداسازی شده مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. در سال ۲۰۰۶، Colungaa و Rojas پاسخ‌های پیچشی سازه‌های جداشده را زمانی که سیستم جداسازی دارای خروج از مرکزیت باشد مورد توجه قرار دادند [۱۵]. در سال ۲۰۰۷، Garcia و همکاران ظرفیت پیچشی سازه‌های نامتقارن در پلان را همراه با میراگرهای ویسکوز مورد مطالعه قرار دادند [۱۶]. در سال ۲۰۰۹، Kilar و Koren رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های نامتقارن جداسازی شده را تحت رکوردهای زلزله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مدل‌های نامتقارن بهترین پاسخ‌ها مربوط به حالتی است که مرکز سختی جداکننده‌ها بر مرکز سختی روسازه منطبق باشد [۱۷].

همان‌گونه که از مطالعات انجام شده مشخص است، مفهوم جداسازی لرزه‌ای منبعی غنی از تحقیقات نظری را هم در زمینه دینامیک سیستم‌های سازه‌ای جداشده و هم در زمینه مکانیک خود سازه‌ها فراهم ساخته است. در این پژوهش رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند نامنظم مجهز به جداسازهای لاستیکی هسته سربی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۴.روش تحقیق

۱- معرفی مدل‌های سازه‌ای

به جهت بررسی و مقایسه تأثیر جداساز لاستیکی با هسته سربی بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بلند دارای نامنظمی در پلان از مدل‌های سازه‌ای با سه گروه ویژگی استفاده می‌شود. گروه اول شامل سازه‌های بدون جداساز و سازه‌های جداسازی شده، گروه دوم شامل سازه‌های بلند و سازه‌های کوتاه و گروه سوم شامل سازه‌های منظم و سازه‌های نامنظم در پلان می‌باشد؛ بنابراین مدل‌های سازه‌ای انتخاب‌شده، شامل قاب‌های ساختمانی سه‌بعدی با سیستم سازه‌ای دوگانه قاب خمشی فولادی ویژه و مهاربند همگرای ویژه فولادی می‌باشندکه دارای ارتفاع ۵ و ۱۵ طبقه هستند که به ترتیب نماینده ساختمان‌های کوتاه و بلند می‌باشند. ارتفاع هر طبقه ۳,۲ متر در نظر گرفته می‌شود. هر یک از این مدل‌ها در هر راستا x و y در پلان سازه دارای پنج دهانه به عرض ۵ متر می‌باشند. این مدل‌ها در دو حالت منظم با پلان متقارن در دو جهت و دارای نامنظمی هندسی در پلان مورد مطالعه قرار می‌گیرند. بارگذاری ثقلی و لرزه‌ای بر اساس مبحث ششم مقررات ملی و آیین‌نامه ۲۸۰۰ بوده و طراحی سازه‌ها نیز بر اساس مبحث دهم مقررات ملی صورت گرفته است.

۲- معرفی جداساز لاستیکی با هسته سربی و مدل‌سازی آن

تکیه‌گاه‌های لاستیکی با هسته سربی با نمایش رفتاری دوخطی با نرم شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه‌ای، عملکرد مطلوبی در زمینه‌ی کنترل توأم لرزه‌های خفیف و شدید از خود نشان داده‌اند. هسته سربی این تکیه‌گاه‌ها به همراه سختی بخش لاستیکی که در مقایسه با سختی بخش سربی بسیار اندک است، تأمین‌کننده‌ی سختی اولیه‌ی موردنیاز در نمودار نیرو-تغییرمکان این تکیه‌گاه‌ها است. با افزایش میزان بارگذاری، این بخش به حد تسلیم رسیده و سختی بسیار کمی را در مقابل بار جانبی از خود نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مدل‌های سازه‌ای انتخاب‌شده دارای ارتفاع و تعداد طبقات متفاوت می‌باشند، از جداسازهای لاستیکی با هسته سربی با ظرفیت‌های متفاوت استفاده خواهد شد... برای مدل‌سازی جداساز لاستیکی با هسته سربی از المان Rubber Isolator در زیرمجموعه المان Link در نرم‌افزار اجزا محدود SAP2000 استفاده می‌شود. این جداساز در راستای قائم و دورانی رفتار خطی داشته و دارای یک ضریب سختی می‌باشد ولی در راستای محور افقی دارای رفتار غیرخطی می‌باشد. همچنین این جداسازها برای مدل‌های سه‌بعدی، دارای ۶ درجه آزادی می‌باشند که برای جداسازهای لاستیکی با هسته سربی جابجایی‌های حول محورهای قائم و دوران حول هر سه محور، صفر بوده و صلب می‌باشد و درجات آزادی جابجایی افقی در صفحه پلان سازه آزاد است.

www.SID.ir

Archive

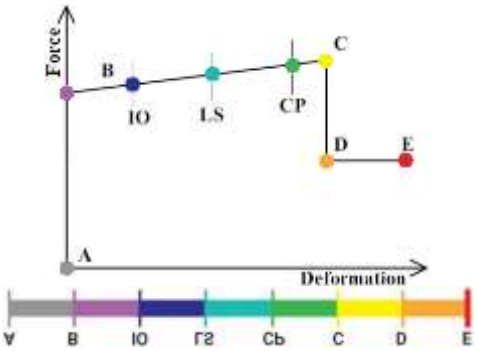
۳- روش‌های تحلیل لرزه‌ای

- روش استاتیکی خطی معادل

در روش استاتیکی معادل، حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان با استفاده از روابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ به دست می‌آید.

- روش استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)

تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌توان، نوع بارهای جانبی وارد برسازه را به سه حالت نیرو، شتاب و مودال تعریف نمود. برای ایجاد الگوی بار براساس توزیع متناسب با توزیع بار جانبی در روش استاتیکی خطی از بارگذاری بر اساس نیرو استفاده می‌شود. برای ایجاد توزیعی یکنواخت متناسب با جرم هر طبقه، از بارگذاری برحسب شتاب استفاده می‌شود. همچنین برای ایجاد الگویی بر اساس توزیع متناسب با شکل مود اول ارتعاش از بارگذاری مودال با مود اول استفاده می‌شود. در این روش تغییرمکان هدف بر اساس روش FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی (نشریه ۳۶۰) به دست می‌آید. برای اعضای سازه‌ای نیز مفاصل پلاستیک را جهت معرفی رفتار عضو تحت نیرو را در نقطه تسلیم و ناحیه پلاستیک مدل گردید. شکل ۱ منحنی مفصل پلاستیک و سطوح عملکرد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی مفصل پلاستیک و تخصیص سطوح عملکرد

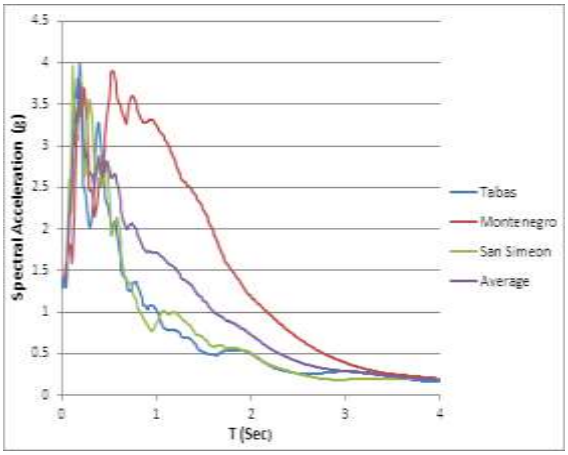
- روش دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

به‌منظور بررسی تأثیر جداسازهای لاستیکی با هسته سربی بر پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های بلند با نامنظمی در پلان، می‌بایست از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده شود. برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مدل‌های سازه‌ای انتخاب‌شده از سه شتاب‌نگاشت زلزله‌های San Simeon (USA)، Montenegro (Yugoslavia) و Tabas (Iran) استفاده‌شده است.

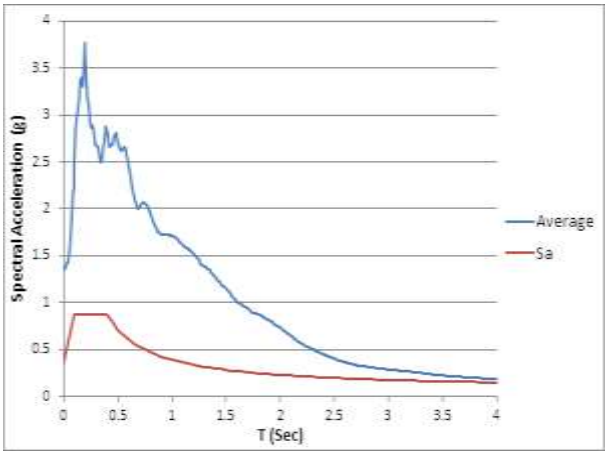
شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده بر اساس مقایسه میانگین طیف شتاب به‌دست‌آمده از مجذور مربعات دو مؤلفه افقی هر سه زمین‌لرزه با طیف طرح استاندارد، بر اساس ضوابط آیین‌نامه زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، مقیاس شده و برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مورداستفاده قرار می‌گیرند. در شکل‌های ۲ و ۳ طیف شتاب برای هر سه شتاب‌نگاشت و طیف طرح استاندارد را می‌توان مشاهده نمود.

www.SID.ir

Archive



شکل ۲- مجذور مربعات مؤلفه‌های طیف شتاب برای سه زلزله



شکل ۳- مقایسه میانگین مجذور مربعات طیف شتاب سه زلزله و طیف طرح استاندارد

۵.نتایج آنالیز و تحلیل نرم افزار SAP2000

پس از انجام تحلیل لرزه‌ای بر روی مدل‌های سازه‌ای، نتایج تحلیل‌ها و پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها در دو حالت جداسازی شده با جداگر لاستیکی هسته سربی و بدون جداساز با پایه گیردار مورد مقایسه قرار گرفت.

۱- مدل سازه‌ای کوتاه

برای مقایسه عملکرد جداسازهای لاستیکی هسته سربی در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند، نیاز به مطالعه تأثیر این جداسازها بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های کوتاه و بلند و مقایسه عملکرد این سیستم جداسازی در کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای می‌باشد.

- بررسی برش پایه و شتاب مدل سازه ۵ طبقه منظم

جدول ۱ مقدار حداکثر برش پایه اعمال شده به سازه ۵ طبقه منظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش برش پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد. استفاده از این سیستم جداسازی موجب می‌شود برش پایه اعمال شده بر سازه کوتاه منظم به‌طور میانگین کاهش ۳۹,۱ درصدی داشته باشد.

جدول ۱- حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه منظم (تن)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۲۳۱,۳	۷۷,۴	۶۶,۵
	Y	۱۴۰,۴	۱۳۹,۵	۰,۶۴
SanSimeon	X	۱۵۳,۶	۱۰۴,۶	۳۱,۹
	Y	۲۰۶,۱	۱۳۵,۹	۳۴,۱
Tabas	X	۲۰۷,۸	۹۹,۸	۵۲,۰
	Y	۲۲۹,۶	۱۱۵,۹	۴۹,۵
میانگین		۱۹۴,۸	۱۱۲,۲	۳۹,۱

www.SID.ir

Archive

با توجه به اصول دینامیک سازه‌ها، مقدار نیروی وارد بر طبقات سازه تابعی از مقدار شتاب طبقات در طی ارتعاش می‌باشد. در نتیجه کاهش شتاب ارتعاش طبقات موجب بهبود عملکرد سازه خواهد شد. جدول ۲ مقدار حداکثر شتاب افقی اعمال شده به سازه ۵ طبقه منظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد.

جدول ۲- حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه منظم (متر بر مجذور ثانیه)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۱,۷۹	۰,۸۷	۵۱,۴
	Y	۱,۳۶	۱,۲۴	۸,۸
SanSimeon	X	۲,۶۲	۱,۷۳	۳۴,۰
	Y	۳,۰۳	۱,۵۲	۴۹,۸
Tabas	X	۳,۴۴	۱,۴۵	۵۷,۸
	Y	۴,۰۸	۱,۸۶	۵۴,۴
میانگین		۲,۷۲	۱,۴۴	۴۲,۷

- **بررسی برش پایه، شتاب مدل و لنگر پیچشی سازه ۵ طبقه نامنظم**

جدول ۳ مقدار حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش برش پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد. استفاده از این سیستم جداسازی موجب می‌شود برش پایه اعمال‌شده بر سازه کوتاه نامنظم به‌طور میانگین کاهش ۴۱,۹ درصدی داشته باشد.

جدول ۳-حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم (تن)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۱۹۵,۸	۷۰,۵	۶۴,۰
	Y	۱۳۴,۵	۱۲۴,۶	۷,۴
SanSimeon	X	۱۶۷,۶	۹۳,۷	۴۴,۱
	Y	۱۷۷,۲	۱۲۳,۸	۳۰,۱
Tabas	X	۲۱۶,۲	۹۱,۶	۵۷,۶
	Y	۱۹۷,۲	۱۰۲,۱	۴۸,۲
میانگین		۱۸۱,۴	۱۰۱,۱	۴۱,۹

جدول ۴ مقدار حداکثر لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش لنگر پیچشی پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

www.SID.ir

Archive

جدول ۴- حداکثر لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم (تن-متر)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	Z	۶۶۴,۹	۲۷۷,۸	۵۸,۲
SanSimeon	Z	۷۶۱,۱	۲۴۶,۸	۶۷,۶
Tabas	Z	۸۲۸,۵	۲۴۱,۲	۷۰,۹
میانگین		۷۵۱,۵	۲۵۵,۲	۶۵,۵

جدول ۵ مقدار حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش حداکثر شتاب افقی نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد. استفاده از این سیستم جداسازی موجب می‌شود حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده بر سازه کوتاه منظم به‌طور میانگین کاهش ۴۴,۱ درصدی داشته باشد.

جدول ۵- حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۵ طبقه نامنظم (متر بر مجذور ثانیه)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۱,۷۶	۰,۸۹	۴۹,۴
	Y	۱,۷۸	۱,۲۰	۳۲,۵۸
SanSimeon	X	۲,۵۴	۱,۷۱	۳۲,۷
	Y	۳,۲۰	۱,۵۰	۵۳,۱
Tabas	X	۳,۳۷	۱,۵۳	۵۴,۶
	Y	۳,۵۱	۲,۰۲	۴۲,۴
میانگین		۲,۶۹	۱,۴۷	۴۴,۱

۲- مدل سازه‌ای بلند

در این پایان‌نامه هدف از پژوهش بررسی تأثیر جداسازهای لاستیکی هسته سربی در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند نامنظم می‌باشد؛ بنابراین لازم است که مطالعه تأثیر این جداسازها بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های کوتاه و بلند ارزیابی شود.

- برش پایه و پاسخ شتاب مدل سازه ۱۵ طبقه منظم

جدول ۶ مقدار حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه منظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش برش پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

www.SID.ir

Archive

جدول ۶- حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه منظم (تن)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۲۷۷,۷	۲۱۸,۵	۲۱,۳
	Y	۴۹۷,۲	۲۰۷,۷	۵۸,۲
SanSimeon	X	۴۰۳,۷	۲۰۸,۹	۴۸,۲
	Y	۴۰۰,۱	۲۶۶,۲	۳۳,۵
Tabas	X	۳۱۹,۲	۱۷۶,۵	۴۴,۷
	Y	۴۶۲,۳	۲۴۹,۷	۴۶,۱
میانگین		۳۹۳,۴	۲۲۱,۲	۴۲,۰

جدول ۷- مقدار حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه منظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش حداکثر شتاب افقی نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

جدول ۷- حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه منظم (متر بر مجذور ثانیه)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۲,۲۵	۱,۸۸	۱۶,۴
	Y	۲,۴۲	۱,۴۳	۴۰,۹
SanSimeon	X	۳,۱۲	۲,۶۶	۱۴,۷
	Y	۳,۳۲	۲,۳۵	۲۹,۲
Tabas	X	۲,۲۱	۱,۶۵	۲۵,۳
	Y	۲,۹۹	۲,۲۲	۲۵,۷
میانگین		۲,۷۲	۲,۰۳	۲۵,۴

- برش پایه، لنگر پیچشی و شتاب مدل سازه ۱۵ طبقه نامنظم

جدول ۸ مقدار حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش برش پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

جدول ۸- حداکثر برش پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم (تن)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۲۳۵,۸	۱۸۷,۲	۲۰,۶
	Y	۴۴۱,۱	۱۸۲,۲	۵۸,۷
SanSimeon	X	۳۴۹,۰	۱۷۴,۵	۵۰,۰
	Y	۳۷۶,۱	۲۲۳,۳	۴۰,۶

www.SID.ir

Archive

Tabas	X	۲۶۵,۴	۱۵۸,۸	۴۰,۱
	Y	۴۲۱,۴	۲۲۲,۳	۴۷,۲
میانگین		۳۴۸,۱	۱۹۱,۴	۴۲,۹

جدول ۹ مقدار حداکثر لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش لنگر پیچشی پایه نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

جدول ۹- حداکثر لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم (تن-متر)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	Z	۱۰۳۱	۵۲۹,۶	۴۸,۶
SanSimeon	Z	۸۲۹,۹	۴۱۲,۶	۵۰,۳
Tabas	Z	۷۸۲,۱	۴۳۲,۵	۴۴,۷
میانگین		۸۸۱	۴۵۸,۲	۴۷,۹

جدول ۱۰ مقدار حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم را در دو حالت با پایه گیردار و با پایه جداسازی شده تحت زمین‌لرزه‌های انتخابی نشان می‌دهد. میزان کاهش حداکثر شتاب افقی نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم جداسازی می‌باشد.

جدول ۱۰- حداکثر شتاب افقی اعمال‌شده به سازه ۱۵ طبقه نامنظم (متر بر مجذور ثانیه)

زمین‌لرزه	مؤلفه	مدل سازه‌ای		میزان کاهش ٪
		پایه گیردار	پایه جداسازی شده	
Montenegro	X	۲,۱۵	۱,۹۷	۸,۴
	Y	۲,۵۸	۱,۴۲	۴۴,۹
SanSimeon	X	۳,۴۹	۲,۶۲	۲۴,۹
	Y	۳,۵۸	۲,۱۶	۳۹,۷
Tabas	X	۲,۰۱	۱,۸۵	۸,۰
	Y	۲,۹۲	۲,۳۶	۱۹,۲
میانگین		۲,۷۹	۲,۰۶	۲۴,۲

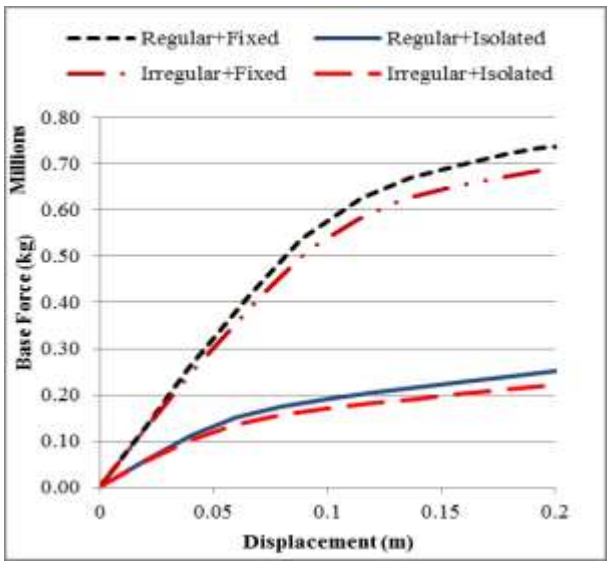
۳- منحنی‌های ظرفیت

پاسخ‌های به‌دست‌آمده از تحلیل پوش‌آور شامل منحنی‌های رفتاری جابجایی جانبی- نیروی برشی پایه می‌باشد که برای هر یک از مدل‌های سازه‌ای کوتاه و بلند در حالات جداسازی نشده و جداسازی شده با LRB ترسیم می‌شود. این نمودارها نشان‌دهنده ظرفیت سازه از نظر بارگذاری جانبی و شکل‌پذیری سازه تحت بارهای جانبی می‌باشد. در نمودار شکل ۴ مقایسه‌ای از منحنی رفتاری مدل سازه‌ای ۵ طبقه در حالات منظم با پایه گیردار، منظم جداسازی شده، نامنظم با پایه گیردار و نامنظم جداسازی شده در راستای X نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شیب اولیه منحنی در ناحیه الاستیک برای

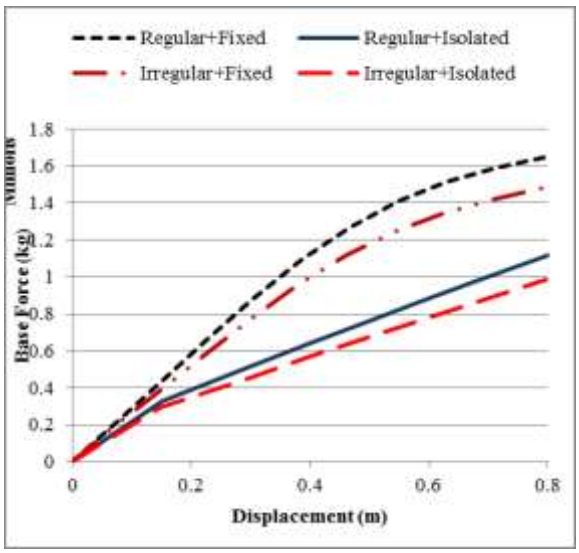
www.SID.ir

Archive

سازه با پایه‌های گیردار بیشتر از سیستم سازه‌ای با پایه‌های جداسازی شده می‌باشد که نشان‌دهنده سختی جانبی بیشتر در این سازه می‌باشد. همچنین ظرفیت نهایی در مدل‌های سازه‌ای منظم بیشتر از سازه‌های نامنظم می‌باشد. ملاحظه می‌شود که با افزوده شدن جداساز میزان جذب نیروی برش پایه کاهش می‌یابد. در نمودار شکل ۵ مقایسه‌ای از منحنی رفتاری مدل سازه‌ای بلند ۱۵ طبقه در حالات منظم با پایه گیردار، منظم جداسازی شده، نامنظم با پایه گیردار و نامنظم جداسازی شده در راستای X نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شیب اولیه منحنی در ناحیه الاستیک برای سازه با پایه‌های گیردار بیشتر از سیستم سازه‌ای با پایه‌های جداسازی شده می‌باشد که نشان‌دهنده سختی جانبی بیشتر در این سازه می‌باشد. همچنین ظرفیت نهایی در مدل‌های سازه‌ای منظم بیشتر از سازه‌های نامنظم می‌باشد. ملاحظه می‌شود که با افزوده شدن جداساز میزان جذب نیروی برش پایه کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مدل سازه‌ای بلند پس تسلیم اولیه (تغییر شیب) که مربوط به لغزش اولیه سیستم جداسازی پایه می‌باشد، سازه به‌صورت خطی رفتار می‌کند.



شکل ۴- منحنی رفتاری نیرو-جابجایی مدل سازه‌ای کوتاه ۵ طبقه



شکل ۵- منحنی رفتاری نیرو-جابجایی مدل سازه‌ای بلند ۱۵ طبقه

۶.نتیجه گیری

استفاده از سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی موجب بهبود رفتار لرزه‌ای و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه به ازای تمام حالات سازه‌های کوتاه و بلند و سازه‌های منظم و نامنظم می‌شود.

کاهش پاسخ‌های سازه‌ای را می‌توان در کنترل تاریخچه زمانی پاسخ‌های برش پایه، شتاب افقی و لنگر پیچشی پایه و کاهش حداکثر مقدار پاسخ‌ها می‌شود؛ بنابراین نیروی انتقال‌یافته از زمین به سازه کاهش می‌یابد.

در کنترل پاسخ برش پایه اعمال‌شده به سازه، عملکرد سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی به‌صورت جزئی تحت تأثیر جزئیات هندسی سازه مانند منظمی یا نامنظمی هندسی در پلان و کوتاهی یا بلندی ارتفاع سازه می‌باشد.

استفاده از سیستم جداسازی لاستیکی هسته سربی موجب می‌شود پاسخ برش پایه اعمال‌شده به سازه کوتاه منظم ۳۹,۱ درصد، سازه کوتاه نامنظم ۴۱,۹ درصد، سازه بلند منظم ۴۲,۰ درصد و سازه بلند نامنظم ۴۲,۹ درصد کاهش یابد.

برای کنترل پاسخ شتاب افقی اعمال‌شده به سازه، عملکرد سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی تحت تأثیر ارتفاع سازه بوده و به‌صورت جزئی تحت تأثیر جزئیات هندسی سازه مانند منظمی یا نامنظمی هندسی در پلان سازه می‌باشد.

www.SID.ir

Archive

استفاده از سیستم جداسازی لاستیکی هسته سربی موجب می‌شود پاسخ شتاب افقی اعمال‌شده به سازه کوتاه منظم ۴۲,۷ درصد، سازه کوتاه نامنظم ۴۴,۱ درصد کاهش یابد این در حالی است که پاسخ شتاب افقی اعمال‌شده به سازه بلند منظم ۲۵,۴ درصد و سازه بلند نامنظم ۲۴,۲ درصد کاهش می‌یابد.

برای کنترل پاسخ لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه، عملکرد سیستم جداسازی لاستیکی با هسته سربی تحت تأثیر ارتفاع سازه و بلند یا کوتاهی سازه می‌باشد. لازم به ذکر است که لنگر پیچشی پایه در سازه‌های نامنظم هندسی ایجاد می‌شود.

استفاده از سیستم جداسازی لاستیکی هسته سربی موجب می‌شود لنگر پیچشی پایه اعمال‌شده به سازه کوتاه نامنظم ۶۵,۵ درصد و سازه بلند نامنظم ۴۷,۹ درصد کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب جداساز در کنترل لنگر پیچشی در سازه‌های نامنظم کوتاه دارد

۷.مراجع

[1] Chen P. Collins K.R., (2001) "Some observations on performance-based and reliability-based seismic design of asymmetric building structures" Engineering Structures, Vol. 23, PP. 1005-1010

[2] Rafezy B., Howson W.P., (2008) "Vibration analysis of doubly asymmetric, three dimensional structures comprising wall and frame assemblies with variable cross-section" Journal of Sound and Vibration, Vol. 318, PP. 247-266

[3] Kelly J.M., Moon B.Y., Kang J.G., Kang B.S., (2002) "Design and manufacturing of fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130-131, PP. 145–150

[4] Matsagar V.A., Jangid R.S., (2004) "Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures" Engineering Structures, Vol. 26, PP. 1735-1749

[5] Providakis C.P., (2009) "Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolators under near-fault ground motions" Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol. 29, PP. 80-90

[6] Spyrakos C.C., Koutromanos I.A., Maniatakis C.A., (2009),"Seismic response of base-isolated buildings including soil–structure interaction" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 29, PP. 658-668

[7] Besa J., Juan C.D., Junemann R., (2010) "Experimental behavior and design of a new kinematic isolator" Engineering Structures, Vol. 32, PP. 508-522

[8] Ei-Bayoumi K., Naguib M., Salem F.A., (2015) "Dynamic Analysis of High Rise Seismiccally Isolated Buildings" Amercan Journal of Civil Engineering, SciencePG, 20150302.13

[9] Jamalzadeh A., Barghian M., (2015) "Dynamic Response of a Pendulum Isolator System Under Vertical and Horizantal Earthquake Excitation" Periodica Polytechnica Civil Engineering

[10] Castaldo P., Palazzo B., Vecchia P.D., (2015) "Seismic Reliability of Base-Isolated Structures with Friction Pendulum Bearings" Engineering Structures, Vol. 95, PP. 80-93

[11] Cancellara D., De-Angelis F., (2016) "A base isolation system for structures subject to extreme seismic events characterized by anomalous values of intensity and frequency content" Composite Structures, Vol. 157, PP. 285-302

[12] Tanwer M.T., Kazi T.A., Desai M., (2018) "A Study on Different Types of Base Isolation System over Fixed Based" Information and Communication Technology for Intelligent Systems, Smart Innovation, Systems and Technologies, Vol. 106, PP. 724-734

[13] Guneyisi E.M., Deringol A.H. (2018) "Seismic response of friction damped and base-isolated frames considering serviceability limit state" Journal of Constructional Steel Research, Vol. 148, PP. 639-657

[14] Bugeja M.N., Thambiratnam D.P., Brameld G.H., (1999) "The influence of stiffness and strength eccentricities on the inelastic earthquake response of asymmetric structures" Engineering Structures, Vol. 21, PP. 856-863

[15] Colungaa A.T., Rojas C.Z., (2006)"Dynamic torsional amplifications of base-isolated structures with an eccentric isolation system" Engineering Structures, Vol. 28. PP. 72-83

[16] Garcia M., Juan C.D., Almazan J.L., (2007) "Torsional balance of plan asymmetric structures with viscoelastic dampers" Engineering Structures, Vol. 29, PP. 914-932

[17] Kilar V., Koren D., (2009) "Seismic behaviour of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators" Engineering Structures, Vol. 31, PP. 910-921.

www.SID.ir