



عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن جرمی جداسازی شده فولادی با سیستم‌های مهاربندی شورون، ضربدری و زیپر

سیدمحمد رضا حسینی، غلام رضا نوری*

دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۷
بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳

کلمات کلیدی:

جداساز لرزه‌ای
سازه نامتقارن جرمی
مهاربندی زیپر
مهاربندی شورون
مهاربندی ضربدری

خلاصه: از روش‌های موثر مقابله با اثرات زمین لرزه بر سازه استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای است. در این مقاله عملکرد سازه‌های نامتقارن جداسازی شده فولادی با سیستم‌های مهاربندی مختلف تحت اثر مولفه‌های افقی و قائم بررسی شده است. بدین منظور ۳ نوع سیستم مهاربندی شورون، ضربدری و زیپر در سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه با ایجاد نامتقارنی ۱۰٪ و ۲۰٪ درصدی ناشی از خروج از مرکزیت جرمی تحت اثر مولفه‌های قائم و افقی زلزله مطالعه گردید. تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با ۷ شتاب‌نگاشت منتخب حوزه نزدیک انجام شده است. ابتدا سازه متقارن در دو حالت پایه ثابت و جداسازی شده تحلیل شد و سپس اثر نامتقارنی در دو حالت خروج از مرکزیت جرمی ۱۰٪ و ۲۰٪ در سازه‌های مورد نظر مورد مقایسه قرار گرفت. متوسط مقدار نیروی برشی، دررفت و دوران طبقات و انرژی ورودی به سازه، پارامترهای مورد بررسی در این مقاله هستند. با افزایش خروج از مرکزیت جرمی سازه میزان جذب انرژی ورودی سازه توسط جداساز کاهش و برش پایه افزایش یافته است. در میان سیستم‌های مهاربندی متخلف، انرژی جذب شده توسط سیستم جداساز در سازه با مهاربند زیپر ۵۳٪ افزایش یافته و میزان برش پایه ۸۰٪ کاهش داشته است. بر اساس نتایج تحلیل، جداسازی از پایه در سازه با مهاربند ضربدری در حالت متقارن و نامتقارن جرمی، سبب کاهش بیش از ۷۰٪ دوران طبقات نسبت به سایر سیستم‌های مهاربندی شده است.

۱- مقدمه

و فولادگر (۲۰۰۳) سازه‌ای یک طبقه ایده‌آل نامتقارن جرمی را مدل‌سازی نمودند و تحت سه مولفه زلزله تحلیل کردند. نتایج نشان داد که در سازه نامتقارن چشم پوشی از مولفه قائم زلزله سبب کاهش تاثیر جداسازی نسبت به حالت دو مولفه‌ای بودن زلزله می‌گردد [۴]. رایان و چوپرا (۲۰۰۴) با تمرکز بر روی یک ساختمان ایده‌آل ۱ طبقه با خروج از مرکزیت‌های متفاوت در دو جهت و با اعمال زمین لرزه السنسترو به این نتیجه رسیدند که افزایش خروج از مرکزیت سبب افزایش جابجایی جداسازها می‌شود [۵]. دی استفانو و بین توجی (۲۰۰۸) به بررسی اثر پیچش تصادفی خروج از مرکزیت (۵ تا ۱۱٪) بر روی سازه‌های جداسازی شده پرداختند. بر اساس نتایج، پیچش حاصل از خروج از مرکزیت می‌تواند سبب منحرف شدن و کج شدگی سازه از حالت طبیعی آن و به وجود آمدن دررفت‌های بزرگ در رو سازه گردد [۶]. کورن و کیلار (۲۰۰۹) رفتار سازه‌های نامتقارن جداسازی شده را با چیدمان‌های مختلف جداگرها بررسی کردند. نتایج همه حالات چیدمانی کاهش اساسی در اثرات پیچشی را نشان می‌داد. همچنین بر اساس نتایج، چیدمان متقارن جداسازها در سازه‌های معمولی عملکرد مناسبی داشته است

جداسازهای لرزه‌ای به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته‌اند. در سازه جداسازی شده از پایه، در هنگام زلزله بخش عمده تغییر شکل جانبی، در تراز جداساز اتفاق می‌افتد و مقدار تغییر شکل روسازه بسیار کم خواهد شد، لذا از رفتار غیرخطی و در نتیجه خسارت در روسازه به میزان زیادی کاسته خواهد شد [۱]. از آن جایی که شمار بسیاری از سازه‌های موجود و جدید نامتقارن هستند، مناسب است عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن جداسازی شده بررسی شود. در سازه‌های نامتقارن وجود فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی موجب ایجاد پیچش در سازه می‌شود که این موضوع سبب تحمیل نیرو و تغییر شکل‌های اضافی به عضوهای سازه می‌شود. سازه‌ها عملکرد ضعیفی را در هنگام قرار گرفتن در معرض نیروهای شدید زمین لرزه از خود بروز می‌دهند [۲]. جانگید و همکاران (۲۰۰۰) برای بررسی اثر پیچش در سازه‌های جداسازی شده، رفتار جداگرها را به صورت خطی مدل نمودند و نشان دادند رفتار سازه به مقدار فرکانس سیستم جداساز بستگی زیادی دارد [۳]. شکیب

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: r.nouri@khu.ac.ir



به دلیل ارتعاش ناشی از زمین ایجاد می‌شود، بسیار مؤثر خواهد شد [۱۵]. بنداری (۲۰۲۰) به بررسی رفتار غیرالاستیک سازه جداسازی شده با جداساز LRB بر اساس تحلیل پوش آور و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی پرداخت و الگوی جدیدی را برای بار جانبی در تحلیل استاتیکی غیر خطی پیشنهاد داد. الگوی بار جانبی پیشنهادی تخمین بهتری از پاسخ‌های لرزه‌ای در مقایسه با الگوی معمولی مورد استفاده در ساختمان‌های جداسازی شده فراهم کرد [۱۶]. خلاصه سایر مطالعات مرتبط با این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. در این مقاله رفتار سازه‌های فولادی نامتقارن جداسازی شده و بدون جداساز با سه نوع سیستم مهاربند ضربردی (X) شورون (V) و زیپر (Z) با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت اثر سه مولفه افقی و قائم زمین‌لرزه مورد بررسی قرار گرفته است. دو حالت نامتقارنی ۱۰٪ (A۱۰٪)، ۲۰٪ (A۲۰٪) با جابجایی مرکز جرم و حالت متقارن (A۰٪) در تحلیل‌ها لحاظ شده است و رفتار سازه در دو حالت با تکیه‌گاه ثابت (FB) و جداسازی شده از پایه (IB) بررسی شده است. بررسی عملکرد سازه‌های نامتقارن جداسازی شده فولادی با سیستم‌های مهاربندی مختلف تحت اثر همزمان مولفه‌های افقی و قائم شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل، وجه متمایز کننده این پژوهش از سایر پژوهش‌های پیشین است.

۲- معرفی مدل‌های سازه‌ای و سیستم جداساز

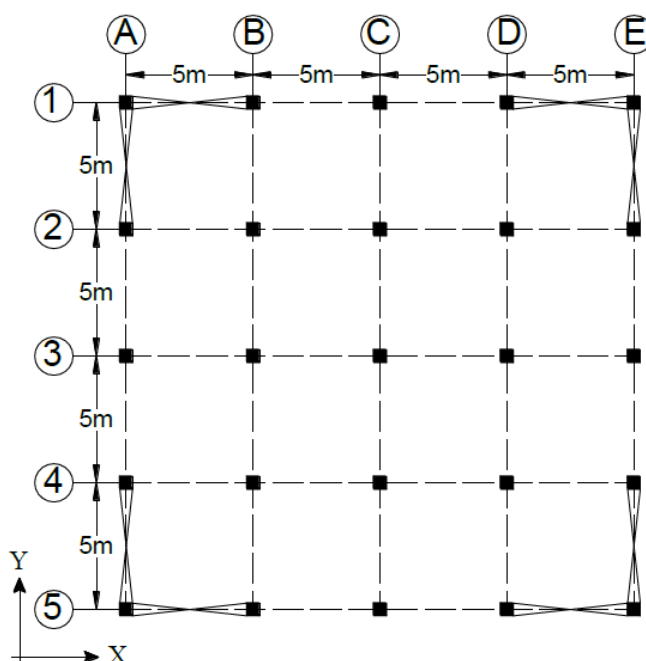
سازه‌های مورد بررسی در این مقاله، سازه فولادی پنج و ده طبقه با سه نوع سیستم مهاربندی شامل ضربردی، شورون و زیپر است. سیستم دال سازه، تیرچه بلوک و کاربری سازه، اداری، نوع خاک تیپ II و لرزه‌خیزی ساخت‌گاه در رده لرزه‌خیزی خیلی زیاد ($A=0.35$) ضریب رفتار سازه معادل ($R=6$) و ضریب اهمیت سازه برابر $I=1$ در نظر گرفته شده است. بار مرده کف طبقات 500 kg/m^2 و بار زنده برابر با 1000 kg/m^2 لحاظ شده است. علت انتخاب این مقدار بار زنده، ایجاد مقادیرهای مختلف برون محوری جرمی با تغییر دهانه‌هایی است که بار زنده در آن‌ها اعمال می‌شود. پلان ستون‌گذاری و موقعیت اولیه مهاربندها در شکل ۱ و برش قاب انتهایی سازه که به سه شکل مهاربندی (X)، (V) و (Z) در نظر گرفته شده‌اند، در شکل ۲ مشاهده می‌شود. مهاربندهای هم مرکز از سیستم‌های مؤثر برای کنترل تغییر مکان ایجاد شده در برابر بارهای جانبی است. صلبیت جانبی این سیستم‌ها به علت پیکربندی خرپاگونه آن‌ها بسیار زیاد است. به طوری که یک سیستم قاب فولادی با مهاربندی هم مرکز از نوع شورون در مقایسه با سیستم قاب خمشی می‌تواند تا ده برابر سخت‌تر باشد [۲۲]. رفتار این سیستم‌ها توسط

[۷]. اعتدالی و سهرابی (۲۰۱۱) به بررسی عملکرد ۴ نوع سازه با قرارگیری مختلف مراکز جرم، سختی سازه و سختی جداساز پرداخت. بر اساس نتایج، در سازه‌ای که هر سه مراکز جرم، سختی سازه و جداساز خروج از مرکزیت دارند اما مرکز سختی سیستم جداساز بر مرکز سختی روسازه منطبق است و مرکز جرم سازه خروج از مرکزیت بیشتری دارد عملکرد بهتری دارد [۸]. مطالعه خوشنودیان و معتمدی (۲۰۱۳) بر روی سازه‌های نامتقارن جداسازی شده نشان داد در نظر گرفتن هر دو مولفه افقی زلزله، سبب تشدید اثرهای پیچشی سازه جداسازی شده در مقایسه با تک مولفه افقی می‌شود [۹]. اعتدالی و سهرابی (۲۰۱۵) روشی جهت کاهش پیچش در سازه‌های جداسازی شده با جداساز LRB نامتقارن پیشنهاد دادند. نتایج تحقیق نشان داد که جداگرهای پایه قادر هستند پیچش طبقات را کاهش دهند. اگر چه این کاهش در خروج از مرکزیت‌های بزرگ ناچیز است. همچنین افزایش در سختی لبه‌ی انعطاف پذیر سیستم جداسازی می‌تواند باعث کاهش پاسخ پیچش شود [۱۰]. نریمانی و پوریان (۱۳۹۷) تأثیر استفاده از جداگرهای لرزه‌ای هسته سربی در دو سیستم قاب خمشی فولادی متوسط و دوگانه با مهاربندی همگرای ویژه فولادی را مطالعه نمود. نتایج نشان داد، سیستم‌های قاب خمشی متوسط فولادی با جداگر لرزه‌ای از استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سیستم‌های قاب دوگانه قاب خمشی فولادی متوسط با مهاربندی همگرای ویژه فولادی ضربردی برخوردار است [۱۱]. راس و بومچرا (۲۰۱۷) به بررسی عملکرد لرزه‌ای سه نوع سازه ۱۲ طبقه‌ای دارای جداساز LRB و تکیه‌گاه ثابت که با سیستم‌های مهاربندی ضربردی و قاب خمشی طراحی شده بودند، پرداختند. بر اساس نتایج تعداد مفاصل پلاستیک در سازه جداسازی شده بسیار کمتر از سازه با تکیه‌گاه ثابت است [۱۲]. سودار و نووال (۲۰۱۷) به بررسی لرزه‌ای سازه جداسازی شده متقارن و نامتقارن پرداختند. بر اساس نتایج، با جداسازی از پایه در سازه نامتقارن نسبت به سازه متقارن، پارامترهای دررفت و شتاب طبقات با کاهش بیشتری روبرو شدند [۱۳]. پروان و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی ۳ نوع سازه ۶ طبقه جداسازی شده نامتقارن L شکل با استفاده از آیین‌نامه ASCE۷-۱۶ پرداختند. در سازه نامتقارن مذکور سیستم جداساز عملکرد مطلوبی داشته و مقادیر برش پایه و دررفت طبقات بیش از ۷۰٪ کاهش یافته است [۱۴]. کانگدا و باکر (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر پارامترهای سیستم جداگر از قبیل ضریب تعدیل، مقاومت تسلیمی، نسبت سختی پس از تسلیم و جابجایی تسلیمی بر پاسخ ساختاری ساختمان پرداختند در این تحقیق مشاهده شد که LRB در کاهش شتاب ساختاری و ریزش‌های سطحی که در ساختمان،

جدول ۱. خلاصه سایر مطالعات مرتبط

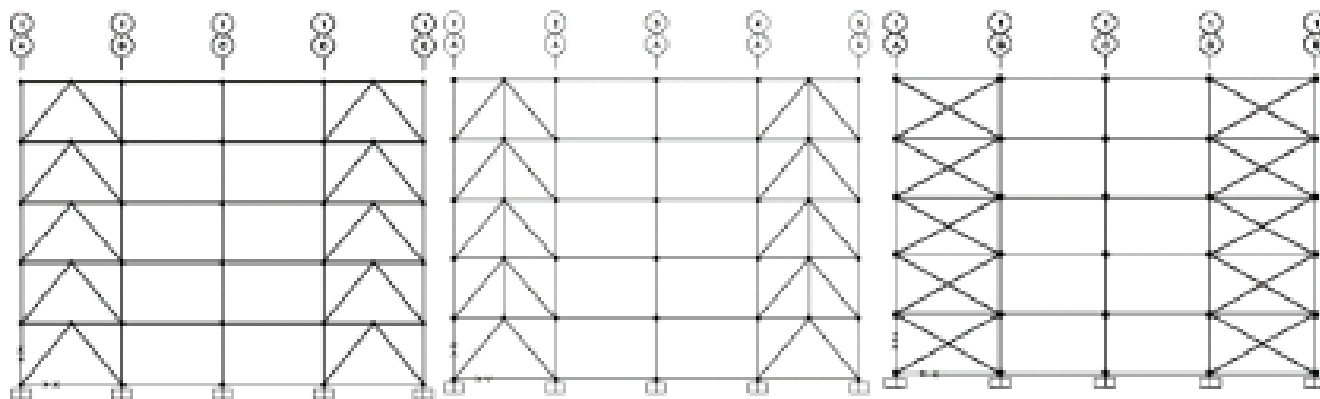
Table 1. Summary of other related studies

توضیحات	اثر مولفه‌های زلزله و جداسازی سازه	تغییرات ارتفاع و جداسازی سازه	سیستم‌های مهاربندی و جداسازی سازه	نامتقارنی و جداسازی سازه	مراجع
تحلیل پوش‌آور عملکرد لرزه‌ای سازه نامتقارن با قاب خمشی و مهاربندی شده	x	x	✓	✓	کیلار و پترویچ ۲۰۱۱ [۱۷]
بررسی دريقت طبقات سازه و همچنین پاسخ شتاب در سازه ۸، ۵ و ۱۲ طبقه	x	✓	✓	x	مظفری و بغلاتی ۱۳۹۱ [۱۸]
کنترل پیش‌سازه و پاسخ شتاب سازه در مدل ۲ طبقه	✓	x	x	✓	سوگین و همکاران ۲۰۱۳ [۱۹]
بررسی کاهش اثرات پیش‌سازه جداسازی شده	x	x	x	✓	اسماعیل ۲۰۱۵ [۲۰]
بررسی مولفه‌های افقی و قائم زلزله بر نیروی محوری و پاسخ شتاب سازه	✓	x	x	x	لندی و همکاران ۲۰۱۶ [۲۱]



شکل ۱. پلان ستون گذاری و مهاربندی سازه

Fig. 1. Figure 1. Building plan and location of structural bracing systems



شکل ۲. سازه‌های فولادی با مهاربندهای (X,Z,V)

Fig. 2. . Distribution of bracing systems at the height of structural frames

۲-۱- طراحی سیستم جداساز لرزه‌ای

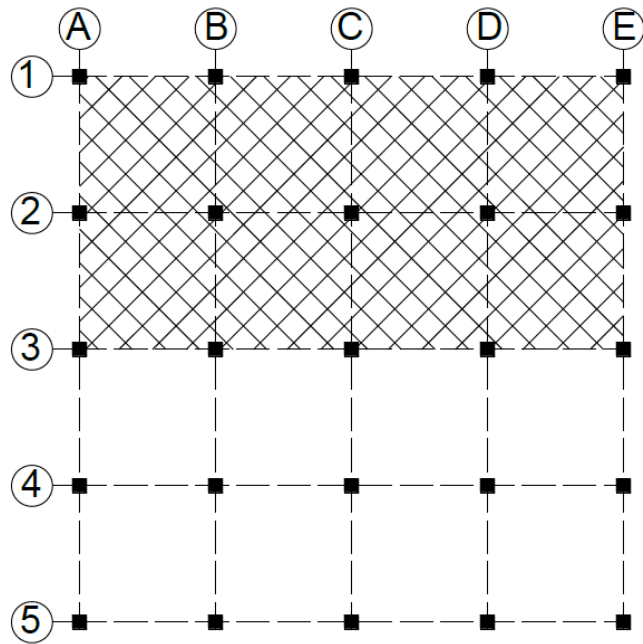
جداساز در نظر گرفته شده در این پژوهش از نوع لاستیکی با هسته‌ی سربی (LRB) است. مدل رفتاری این نوع جداسازها در شکل ۵ نشان داده شده است. پاسخ تغییر مکان و نیروی جداسازها در سامانه‌ی جداسازی و پاسخ کلی سازه در تراز جداسازی با استفاده از یک مدل از سازه‌ی جداسازی شده که امکان وارد کردن رفتار غیر خطی نیرو-تغییر مکان تجهیزات جداسازی و سامانه مقاوم در برابر نیروهای جانبی را دارد بر اساس آیین نامه ASCE 7-۱۶ محاسبه گردیده شده است. بر اساس این آیین نامه محاسبه تغییر مکان جداساز و سختی جداسازها در سطح زلزله MCE_R ؛ زلزله با احتمال ۲٪ در ۵۰ ساله است. سختی جانبی موثر جداساز نیز از رابطه (۱) قابل محاسبه است:

$$T_M = \sqrt{\frac{W}{K_M g}} \rightarrow K_{eff} = \frac{W}{g} \cdot \left(\frac{2\pi}{T_M}\right)^2 \quad (1)$$

T_M پریود موثر سازه جداسازی شده لرزه‌ای بر حسب (s) که مقدار آن در این مقاله معادل ۲/۵ ثانیه است و g شتاب ثقل است. بر اساس این آیین نامه سیستم جداساز باید حداقل توان تحمل تغییر مکان حداکثر، D_M که با استفاده از مشخصات کران بالا و کران پایین و در بحرانی‌ترین جهت پاسخ افقی، مطابق رابطه (۲) محاسبه شده را داشته باشد:

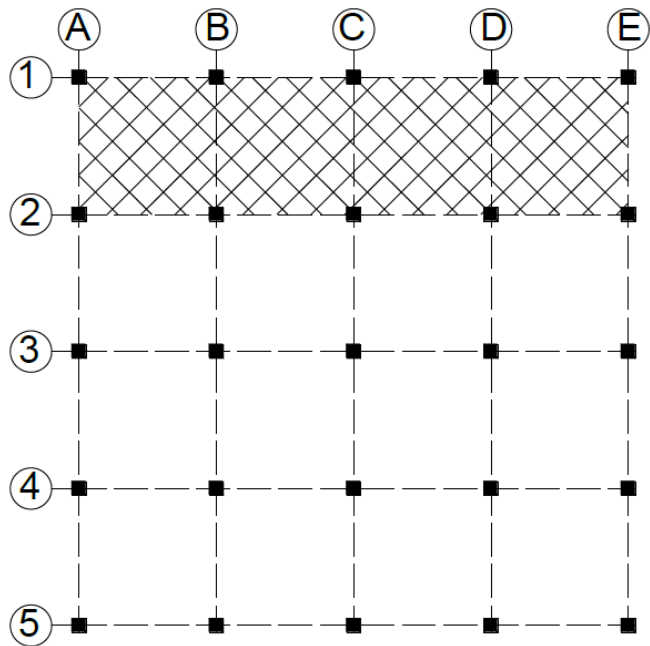
$$D_M = \frac{g}{4/\pi^2} \cdot \frac{S_{M1} \cdot T_M}{\beta_M} \quad (2)$$

کمانش مهاربند فشاری طبقه اول کنترل می‌شود، که منجر به محدود کردن گسیختگی به یک محل و اتلاف مقاومت جانبی می‌شود. با کمانش اعضای طبقات پایین، ظرفیت برشی کل قاب کاهش می‌یابد و بر همین اساس این سازه‌ها ضریب رفتار مطلوبی نخواهد داشت. در طبقات پایین به علت کمانش عضو فشاری نیروی عمودی نامتعادل به محل تقاطع مهاربندها در تیر فوقانی وارد می‌شود، که سبب تغییر مکانی بیش از اندازه در وسط تیر می‌گردد. پیامد این امر تیرهای قوی و نامتناسب با اعضای دیگر است. برای جبران این کاستی‌ها مدل جدیدی تحت عنوان مهاربندی زیر پیشنهاد شد [۲۳]. طراحی سازه بر پایه آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و با رعایت ضوابط مربوط به طراحی لرزه‌ای انجام شده است. طراحی جداساز بر اساس آیین نامه ASCE 7-۱۶ بر مبنای زلزله MCE_R است. ستون‌های سازه علاوه بر ترکیبات بار متعارف ثقلی و جانبی، با ترکیبات بار تشدید یافته بر پایه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی و کنترل شده‌اند [۲۴-۲۶]. نامتقارنی ایجاد شده در سازه در حالت برون محوری جرمی ایجاد شده است. به منظور ایجاد برون محوری جرمی دو حالت مختلف سطح اشغال بار زنده، در پلان ساختمان در نظر گرفته شده است. بار زنده در نامتقارنی (A۱۰٪) در دهانه در شکل ۳ و (A۲۰٪) در شکل ۴ نمایان شده است. در سایر دهانه‌ها نیز این مقدار صفر در نظر گرفته شده است. این عمل مسبب تغییر در مرکز جرم سازه در راستای Y شده است. بر این اساس سه مقدار برون محوری جرمی ۰٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ در راستای Y ساختمان ایجاد شده است.



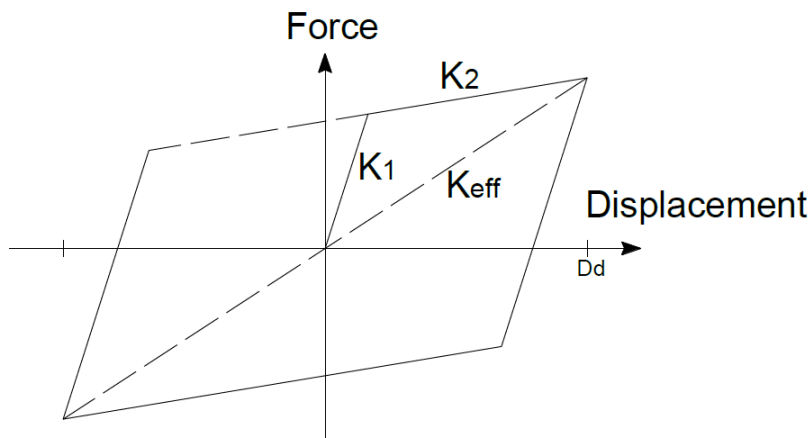
شکل ۳. سطوح اشغال بار زنده در برون محوری جرمی ۱۰٪ (A۱۰٪)

Fig. 3. Live load distribution area for mass asymmetry 10%



شکل ۴. سطوح اشغال بار زنده در برون محوری جرمی ۲۰٪ (A۲۰٪)

Fig. 4. Live load distribution area for mass asymmetry 20%



شکل ۵. الگوی دو خطی سیستم جداساز

Fig. 5. Seismic isolator hysteresis model

جدول ۲. مشخصات جداساز سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه

Table 2. Seismic isolator specifications in 5 and 10 floor structures

K1/K2	تنش تسلیم (kN)	تغییر مکان طرح (mm)	سختی اولیه (kN/m)	سختی موثر (kN/m)	ضخامت جداساز (mm)	قطر جداساز (mm)	نوع جداساز	تعداد طبقات سازه
۰/۱	۴۱۷/۷۲	۲۵۸	۱۲۸۰	۹۴۱	۱۶۰	۴۰۰	LRB	۵
۰/۱		۳۵۵	۷۴۳۳	۱۲۰۶	۱۶۰	۶۰۰	LRB	۱۰

مشخصات جداسازهای سازه ۵ و ۱۰ طبقه در جدول ۲ ارائه شده است.

۲-۲- مشخصات زلزله‌های ورودی

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سه مولفه‌ای، با هفت شتاب‌نگاشت مختلف ثبت شده در حوزه نزدیک که در جدول ۳ ارائه شده است، انجام می‌گیرد. داده‌های زلزله‌های ورودی از پایگاه PEER استخراج شده است [۲۷] بر پایه استاندارد ۲۸۰۰ در صورت استفاده از هفت زوج شتاب‌نگاشت در تحلیل دینامیکی می‌توان مقدار متوسط بیشینه بازتاب‌های به دست آمده را به عنوان بازتاب سیستم تلقی کرد. شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده بر پایه استاندارد ۲۸۰۰ و سطح خطر MCE_R مقیاس شده‌اند. زمان تناوب اصلی سازه ۵ طبقه ۰/۶۱ ثانیه و سازه ۱۰ طبقه ۰/۹۹ ثانیه است.

۲-۳- تحلیل سازه

مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ها با استفاده از نرم افزار SAP۲۰۰۰ و به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده است. با توجه به سیستم

پارامتر شتاب طیفی طرح در زمان یک ثانیه با میرایی ۵ درصد MCE بر حسب g-S برای خاک نوع C بنا بر آیین نامه ASCE۷-۱۶ برابرست با B_M ، ۰/۷۸ ضریب عددی برای میرایی موثر سیستم جداساز در تغییر مکان D_M است که برای میرایی موثر ۲۰ درصد برابر با ۱/۵ در نظر گرفته شده است. ضخامت کل جداساز لاستیکی صرف نظر از نظر ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر پایه تغییر مکان حداکثر (D_M) و حداکثر تغییر شکل نسبی قابل تحمل توسط لاستیک (γ_{max}) به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$t_t = \frac{D_M}{\gamma_{max}} \quad (3)$$

تنش تسلیم جداساز بر حسب کیلونیوتون بر اساس رابطه‌ی (۴) نیز قابل محاسبه است. که در آن Q مقاومت مشخصه جداساز و D_y تغییر مکان در حد تسلیم می‌باشد.

$$F_y = Q + K_2 \times D_y \quad (4)$$

جدول ۳. مشخصات زلزله‌های ورودی

Table 3. Specification of strong ground motions

نام زلزله	ایستگاه	سال	بزرگای زلزله	عمق (km)	ضریب مقیاس شتاب‌نگاشت‌ها برای سازه ۵ طبقه	ضریب مقیاس شتاب‌نگاشت‌ها برای سازه ۱۰ طبقه
طبس	طبس	۱۹۷۸	۷/۴	۳۰	۱/۷۵	۲/۰۷
بم	بم	۲۰۰۳	۶/۶	۸	۲/۶۰	۲/۶۰
ایمپریال ولی	دلنا	۱۹۷۹	۶/۵	۹/۳	۱/۸۴	۲/۰۶
ایمپریال ولی	السنتر و ۰۶	۱۹۷۹	۶/۵	۹/۳	۱/۵۱	۱/۴۳
ایمپریال ولی	السنتر و ۰۵	۱۹۷۹	۶/۵	۹/۳	۱/۵۱	۱/۵۱
نورس ریچ	سیلمار	۱۹۹۴	۶/۷	۱۱/۴	۱/۱۴	۱/۴۰
چی چی	TCU047	۱۹۹۹	۶/۶	۳۳	۲/۰۳	۱/۸۹

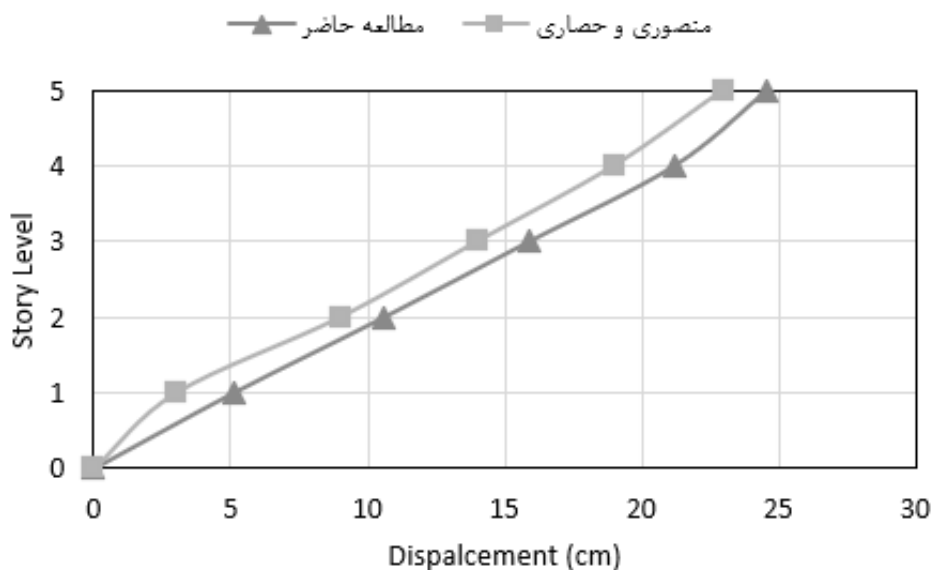
۳- نتایج تحلیل سازه ۵ طبقه

نتایج تحلیل در حالت‌های مختلف ارائه شده برای سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا رفتار دو سازه متقارن جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت مورد بررسی قرار گرفته است و نتایجی همچون جابه‌جایی طبقات و انرژی ورودی در این سازه‌ها به دست آمده است. سپس رفتار سازه نامتقارن جداسازی شده که هدف اصلی این پژوهش است در دو حالت برون محوری ۱۰٪ و ۲۰٪ سازه با سه نوع مهاربندی مختلف مورد بحث قرار گرفته است. در خصوص سازه‌های نامتقارن چالش اصلی، ایجاد پیچش در سازه و وارد شدن نیروهای مازاد به اعضا به دلیل اثرات پیچشی است. ایجاد پیچش در سازه‌ها معمولاً در دیافراگم کف طبقات نمایان می‌شود، به طوری که در سازه متقارن این مقدار پیچش نزدیک به صفر است. با افزایش خروج از مرکزیت، مقدار دوران طبقات نیز افزایش پیدا می‌کند. لذا در این پژوهش میزان دوران در هر طبقه نیز مورد بررسی قرار گرفته شده است. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش خروج از مرکزیت جرمی سازه میزان دوره تناوب سازه و نسبت دوره تناوب سازه جداسازی شده به سازه با تکیه‌گاه ثابت نیز افزایش یافته است. این نسبت در سازه‌ی با مهاربند شورون به بیشترین مقدار (۳/۰۱ برابر) و در کمترین مقدار (۲/۸ برابر) در مهاربند ضربدری با خروج از مرکزیت ۲۰٪ است.

سازه‌ای مورد پژوهش مولفه شکل‌پذیری سازه، نیروی محوری مهاربندها است، لذا مفصل خمیری محوری، در مهاربندها بر اساس پارامترهای نشریه ۴۱ ASCE تعریف شده است. مدل‌سازی جداساز نیز با استفاده از المان لینک غیرخطی از نوع Rubber Isolator انجام شده و رفتار جداساز به صورت ایده‌آل دو خطی در نظر گرفته شده است که دارای خصوصیات غیرخطی در راستای برشی و خصوصیات خطی در سایر درجات آزادی است. در هر یک از شرایط در نظر گرفته شده برای سازه با مهاربندهای ضربدری (X)، شورون (V) و زیپر (ستون دوخت) (Z) در دو حالت پایه ثابت (FB) و جداسازی شده (BI) و میزان نامتقارنی (A۰٪)، (A۱۰٪) و (A۲۰٪) در نظر گرفته شده است تا امکان مقایسه بین عملکرد مهاربندها، بررسی اثرات جداسازی و نامتقارنی وجود داشته باشد.

۲-۴- صحت سنجی مدل و تحلیل

در این مقاله جهت کنترل صحت مدل ساخته شده و تحلیل‌ها در نرم افزار، نتایج، با مقاله منصوری و حصاری (۱۳۹۶) مقایسه شده است. میزان جابه‌جایی طبقات در سازه ۵ طبقه با مهاربند ضربدری تحت اثر زلزله طبس توسط مدل این مقاله و مدل منصوری و حصاری (۱۳۹۶) در شکل ۶ نمایش داده شده است. بیشترین اختلاف در پاسخ دو مدل برابر با ۴/۵٪ است که نشان از تطابق خوب نتایج دارد.



شکل ۶. مقایسه جابه‌جایی طبقات در سازه مدل‌سازی شده در مطالعه حاضر و مقاله منصوری و حصاری (۱۳۹۶) [۲۸]

Fig. 6. Decomposition of the average input energy of the structure with a symmetrical fixed base

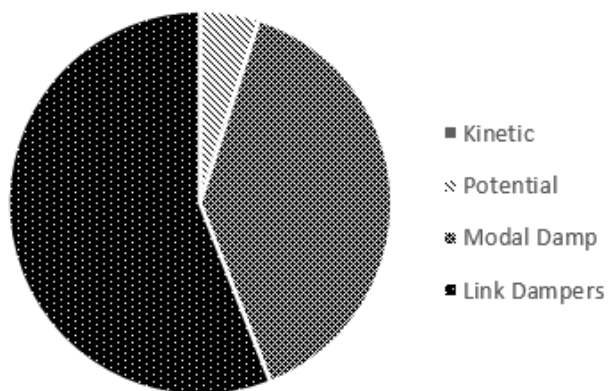
جدول ۴. دوره تناوب سازه‌های ۵ طبقه دارای مهاربندهای (X, V, Z)، پایه (FB) و (BI) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)

Table 4. Natural period of a 5-story isolated & fixed base structure with different bracing systems (X, V, Z) and different asymmetric percentages (A0%, A10%, A20%)

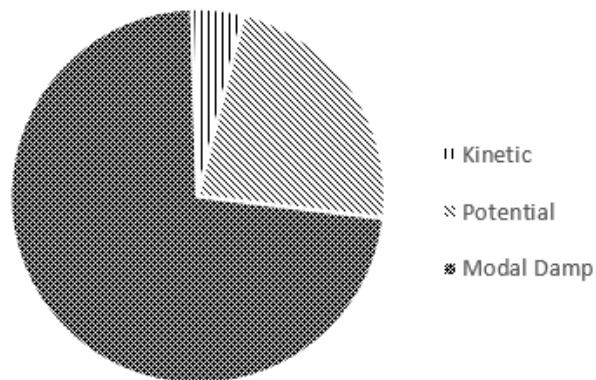
نوع سازه	A0%	A10%	A20%
X- FB	۰.۵۳	۰.۵۵	۰.۶۰
X-BI	۱.۳۲	۱.۳۹	۱.۸۳
T_{X-BI}/T_{X-FB}	۲.۴۹	۲.۵۲	۳.۰۵
V-FB	۰.۵۷	۰.۶۰	۰.۶۲
V-BI	۱.۳۹	۱.۴۹	۱.۸۷
T_{V-BI}/T_{V-FB}	۲.۴۳	۲.۴۸	۳.۰۱
Z-FB	۰.۵۷۰	۰.۶۰	۰.۶۱
Z-BI	۱.۳۵	۱.۴۴	۱.۸
T_{Z-BI}/T_{Z-FB}	۲.۳۶	۲.۳۹	۲.۹۵

دارای جداساز، ۵۹٪ توسط جداسازها مستهلک شده است. با ایجاد نامتقارنی در سازه و مقایسه عملکرد انواع مهاربندها، شاخص انرژی جذب شده توسط جداساز سازه به طور میانگین تحت اثر ۷ رکورد زلزله در شکل ۹ نمایش داده شده است. در اثر جداسازی سازه متقارن، انرژی جذب شده توسط جداساز در سازه با مهاربند Z، ۵۹٪، مهاربند V، ۵۷٪ و مهاربند X، ۵۸٪ در مقایسه

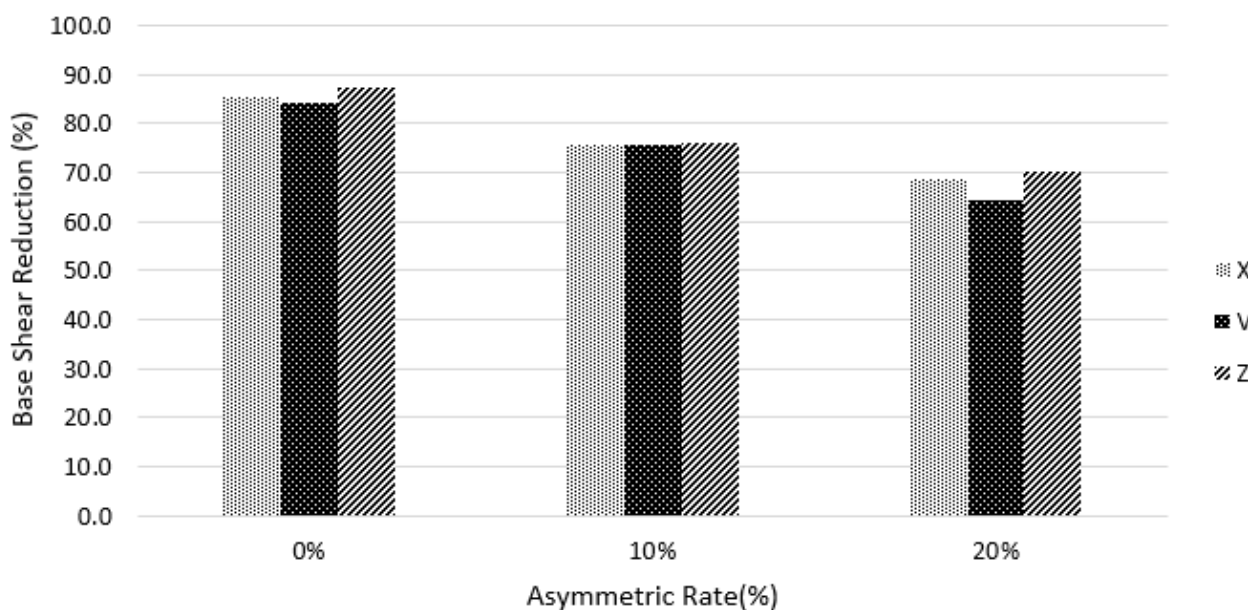
سازه در دو حالت جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت از نظر انرژی ورودی به سازه، جابه‌جایی طبقات، نیروی برش پایه مورد بررسی قرار گرفته شده است. متوسط انرژی ماکزیمم جنبشی، پتانسیل و جذب شده توسط اجزای سازه متقارن با مهاربندهای مختلف به ترتیب ۴٪، ۲۳٪ و ۷۳٪ است (شکل ۷). بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۸ از انرژی‌های ورودی به سازه



شکل ۸. متوسط تجزیه انرژی ورودی سازه با جداساز LRB متقارن
 Fig. 8. Decomposition of the average input energy of the structure with a symmetrical isolated base



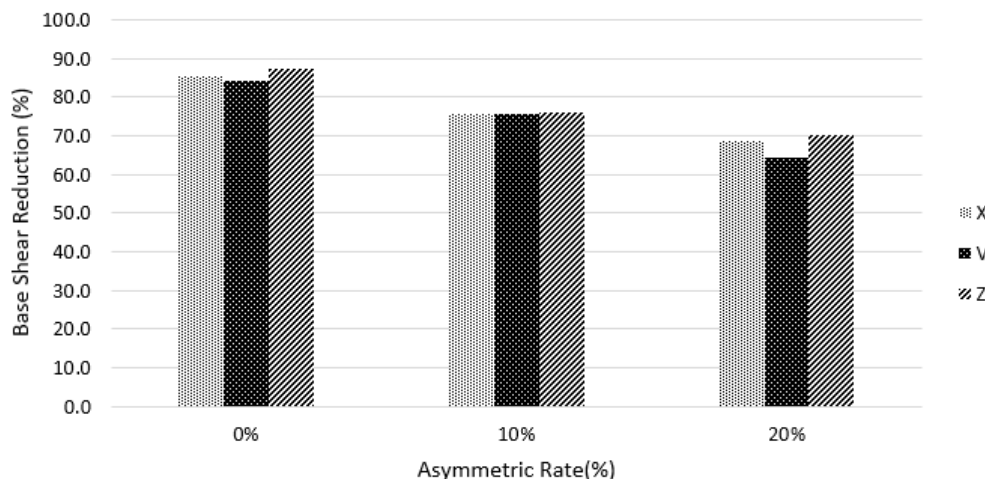
شکل ۷. متوسط تجزیه انرژی ورودی سازه با تکیه‌گاه ثابت متقارن
 Fig. 7. Decomposition of the average input energy of the structure with a symmetrical fixed base



شکل ۹. درصد انرژی جذب شده توسط جداساز سازه ۵ طبقه دارای مهاربندهای (X, V, Z) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)
 Fig. 9. Energy absorbed by the base-isolator of a 5-story structure with braces (X, V, Z) and (A0%, A10%, A20%) asymmetries

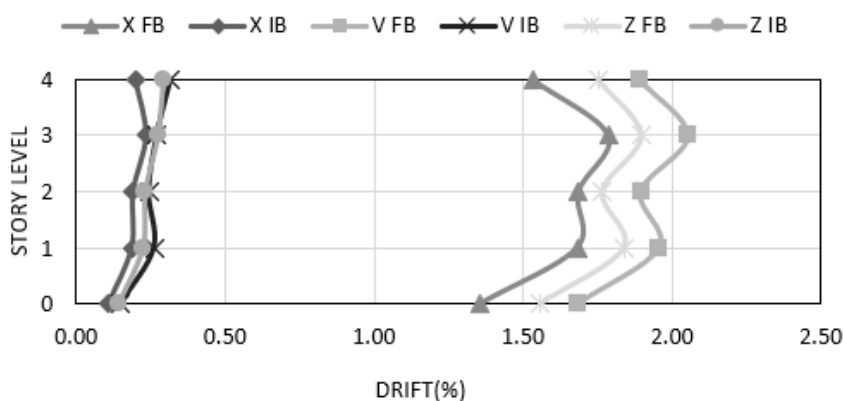
مهاربندی و با نامتقارنی‌های مختلف نمایش داده شده است. سازه با مهاربند Z کمترین میزان برش پایه و سازه با مهاربند V به بیشترین این مقدار رسیده و به دلیل جذب انرژی جداساز برش پایه به طور میانگین ۸۰٪ کاهش پیدا کرده که این موضوع سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه شده است. در سازه با نامتقارنی (A۱۰٪)، میزان برش پایه ۳۵٪ افزایش یافته

با سازه تکیه‌گاه ثابت به خود اختصاص داده است. در میان سازه نامتقارن با مهاربندهای مختلف، جداسازی از پایه در سازه با خروج از مرکزیت‌های (A۱۰٪) و (A۲۰٪)، سازه با سیستم مهاربندی Z بیشترین مقدار در جذب انرژی توسط جداساز نسبت به سایر سیستم‌های مهاربندی را داشته است. در شکل ۱۰ درصد کاهش میانگین برش پایه در سازه ۵ طبقه با



شکل ۱۰. درصد کاهش مقادیر متوسط نیروی برش پایه سازه ۵ طبقه دارای مهاربندهای (X, V, Z) و نامتقارنی (A, ۱۰٪ A, ۲۰٪ A) در اثر جداسازی

Fig. 10. Average base shear reduction by isolation system in 5-story structure with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)

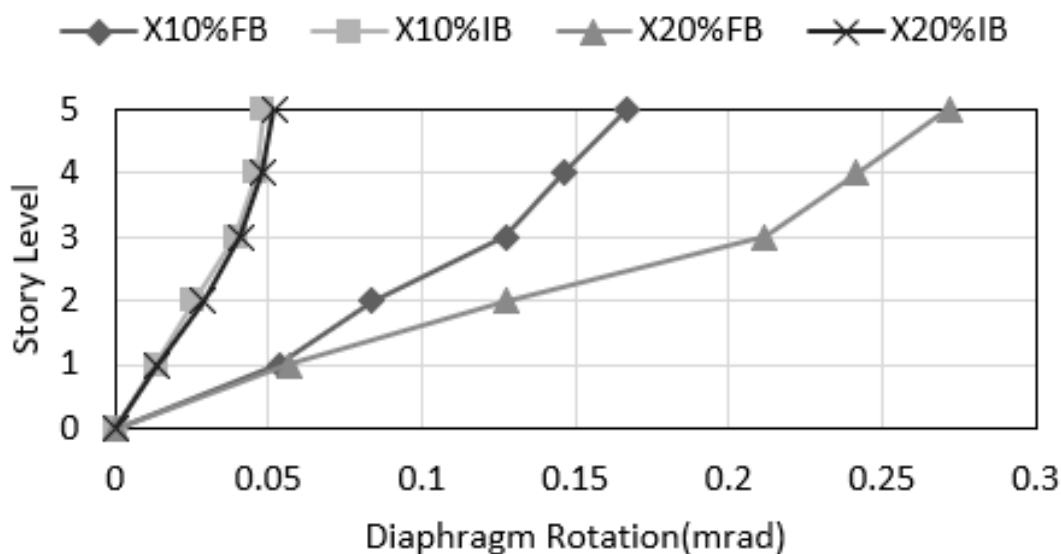


شکل ۱۱. منحنی دیسپلین سرعت فاز لوله فولادی با قطر ۲۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۴/۸ میلی‌متر

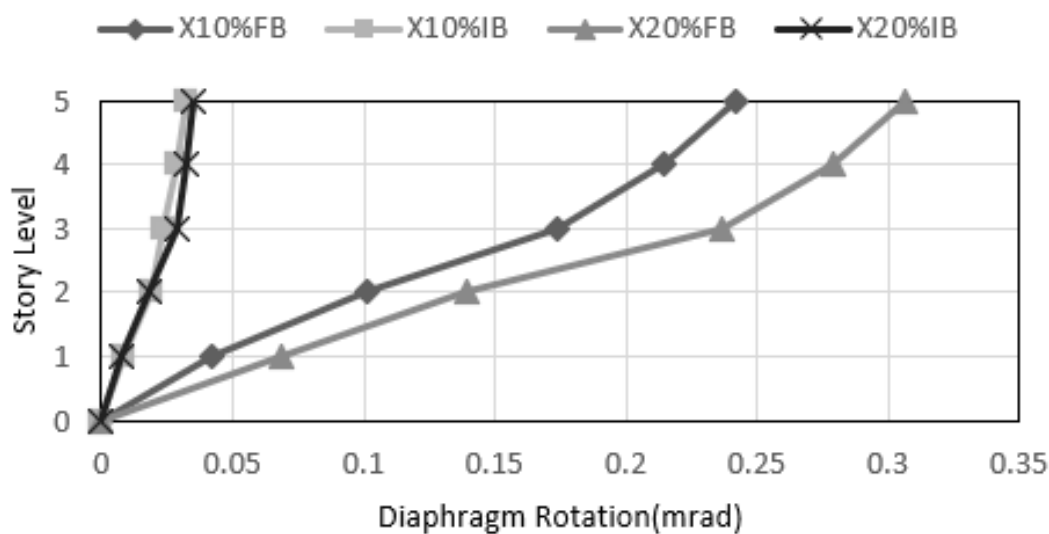
Fig. 11. Average maximum story drift of 5-story structure (base-isolated and fixed base) with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)

داده است. در میان سازه‌ها با مهاربندهای مختلف، سازه با مهاربند X عملکرد مناسب‌تری نسبت سایر سیستم‌های مهاربند داشت که این میزان؛ در بیشترین مقدار خود ۱/۶٪ در سازه با تکیه‌گاه ثابت و در سازه جداسازی شده ۰/۳٪ است. همین پارامتر در سازه با مهاربند V و پایه ثابت ۲/۱٪ و با جداسازی پایه این مقدار به ۰/۳۵٪ کاهش یافته است. در این بخش به منظور بررسی رفتار سازه‌های نامتقارن جرمی و سیستم‌های مهاربندی مختلف، تغییرات مقدار درون طبقات که متناسب با مقدار لنگر پیچشی در سازه است، مطالعه شده است. به منظور محاسبه دوران هر طبقه، اختلاف تغییر مکان جانبی دو انتهای سازه، بر بعد سازه

و با ایجاد (A۲۰٪)، این مقدار ۰/۸۳٪ افزایش پیدا کرده است. با افزایش نامتقارنی میزان کاهش برش پایه در سازه جداسازی شده نسبت به پایه ثابت کمتر شده است و جداساز تاثیر مناسب‌تری در سازه متقارن نسبت به سازه‌های نامتقارن داراست. همچنین در اثر جداسازی سازه‌های نامتقارن (A۱۰٪) و (A۲۰٪)، سازه با سیستم مهاربند Z بیشترین مقدار و سیستم مهاربندی V کمترین میزان کاهش را نسبت به سایر مهاربندها داراست. در شکل ۱۱ مقادیر دررفت طبقه با مهاربندهای X، V و Z در دو حالت جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت نمایش داده است. جداسازی در پایه میزان دررفت هر طبقه در سازه را در حدود ۸۰ درصد کاهش



شکل ۱۲. مقدار میانگین دوران طبقات سازه با مهاربند X با پایه (IB) و (FB) با نامتقارنی (A10%, A20%)
 Fig. 12. Average story rotation of 5-story structure (base-isolated and fixed base) with X brace & different asymmetric values (A10%, A20%)



شکل ۱۳. مقدار میانگین دوران طبقات سازه با مهاربند V با پایه (IB) و (FB) با نامتقارنی (A10%, A20%)
 Fig. 13. Average story rotation of 5-story structure (base-isolated and fixed base) with V brace & different asymmetric values (A10%, A20%)

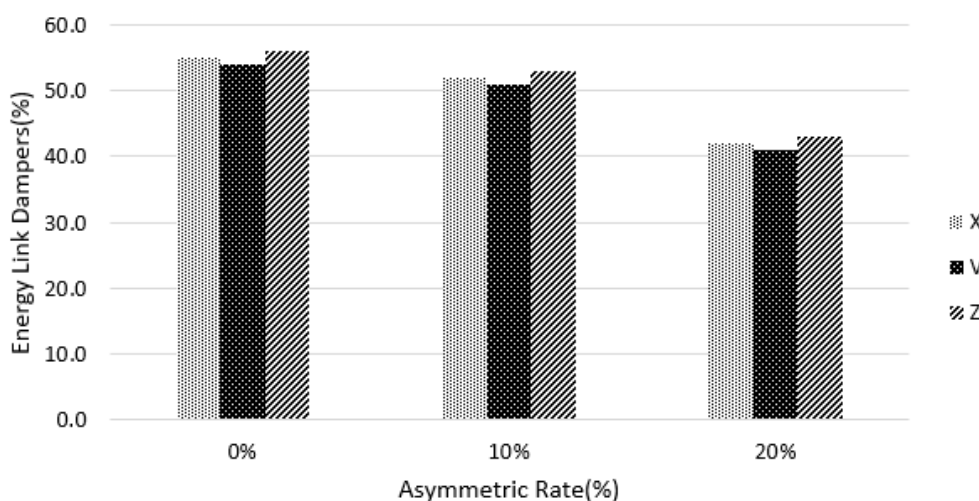
است و در جداسازی سازه نرخ افزایش دوران در طبقات متوالی کوچکتر است. مقادیر دوران طبقات در اثر جداسازی به طور متوسط در مهاربند X، ۸۰٪، مهاربند V ۷۰٪ و مهاربند Z ۷۵٪ کاهش یافته است.

در راستای عمود تقسیم شده است. میانگین دوران طبقات در سازه‌های با مهاربندی X، V و Z به ترتیب در شکل ۱۴-۱۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان دوران در بام سازه اتفاق

جدول ۵. دوره تناوب سازه‌های ۱۰ طبقه دارای مهاربندهای (X,V,Z)، پایه (FB) و (BI) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)

Natural period of a 10-story isolated & fixed base structure with different bracing systems (X, V, Z) and different asymmetric percentages (A0%, A10%, A20%)

نوع سازه	A0%	A10%	A20%
X- FB	۱.۳۵	۱.۴۶	۱.۵۱
X-BI	۲.۵۸	۳.۰۶	۳.۵۳
T_{X-BI}/T_{X-FB}	۱.۹۱	۲.۱	۲.۳۴
V-FB	۱.۳۶	۱.۴۷	۱.۵۳
V-BI	۲.۶۱	۳.۱۱	۳.۶۴
T_{V-BI}/T_{V-FB}	۱.۹۲	۲.۱۲	۲.۳۸
Z-FB	۱.۳۴	۱.۴۵	۱.۵
Z-BI	۲.۵۵	۳.۰۳	۳.۴۳
T_{Z-BI}/T_{Z-FB}	۱.۹	۲.۰۹	۲.۲۹



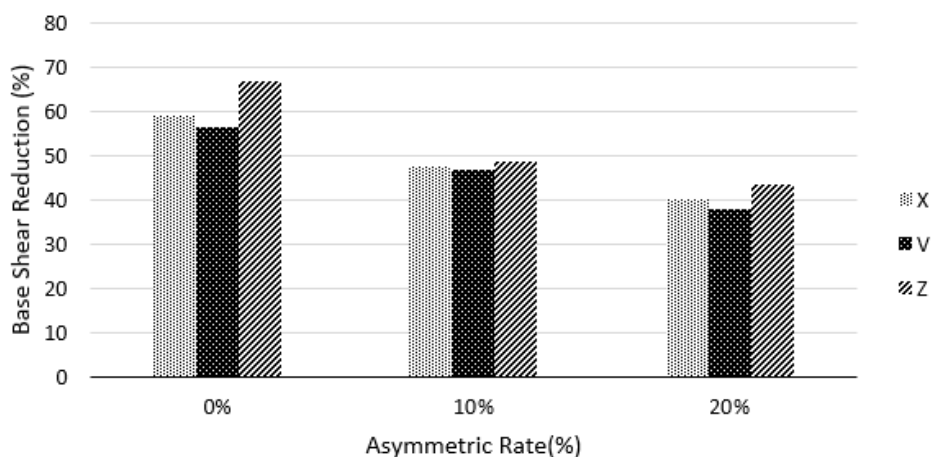
شکل ۱۵. درصد انرژی جذب شده توسط جداساز سازه ۱۰ طبقه دارای مهاربندهای (X,V,Z) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)

Fig. 15. Energy absorbed by the base-isolator in 10-story structure with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)

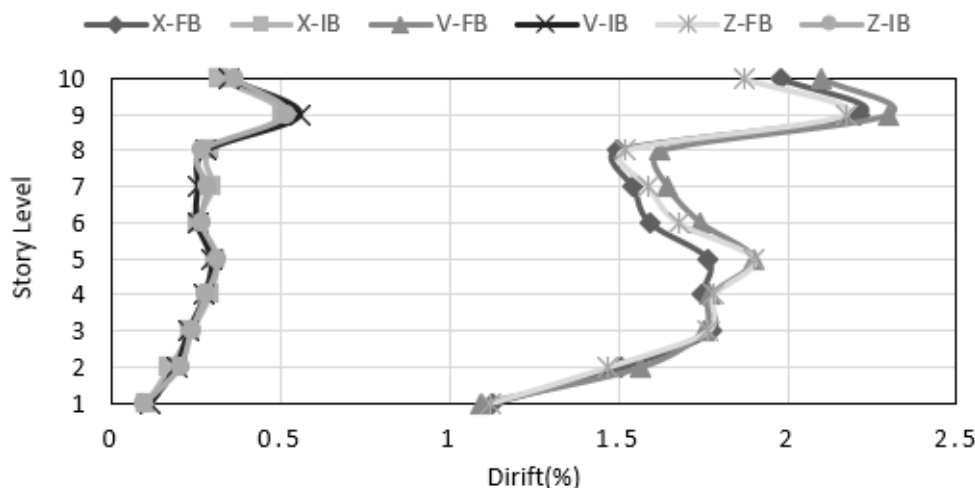
۴- نتایج تحلیل سازه ۱۰ طبقه

برابر مقدار مشابه در سازه با تکیه‌گاه ثابت افزایش یافته است که با افزایش خروج از مرکزیت این نسبت به حداکثر خود در سازه با مهاربند V به حداکثر خود یعنی ۲/۳۸ برابر رسیده است. در میان مهاربندهای مختلف، مهاربند Z دوره تناوب کمتری در سازه جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت را داراست. شکل ۱۵ میانگین انرژی جذب شده توسط جداساز سازه ده طبقه فولادی تحت ۷ رکورد زلزله را نشان می‌دهد. با افزایش نامتقارنی جرمی سازه میزان جذب انرژی توسط جداساز کاهش یافته است.

در این بخش به بررسی دینامیکی سازه ده طبقه با ۳ نوع مهاربند مختلف و با نامتقارنی‌های جرمی ۱۰٪ و ۲۰٪ پرداخته شده است و نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی شامل: انرژی ورودی سازه، برش پایه، جابه‌جایی طبقات، پیچش طبقات تحت ۷ رکورد مورد بررسی و بحث قرار گرفته است. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که زمان تناوب سازه جداسازی شده ۱۰ طبقه متقارن (A۰٪)، با خروج از مرکزیت (A۱۰٪) و (A۲۰٪) در مد اول ارتعاش به طور میانگین ۱/۹



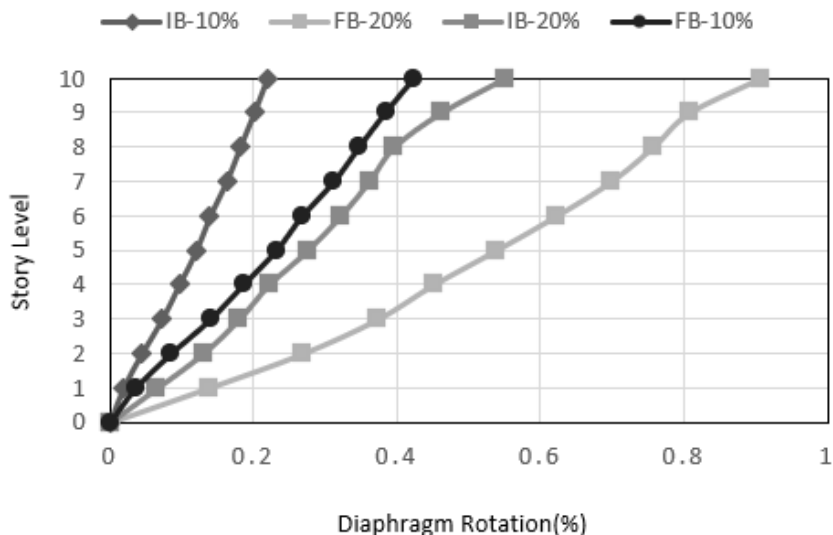
شکل ۱۶. مقدار متوسط کاهش برش پایه در سازه ۱۰ طبقه با مهارندهای X, V, Z، پایه (FB), (IB) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)
 Fig. 16. Average base shear reduction by isolation system in 10-story structure with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)



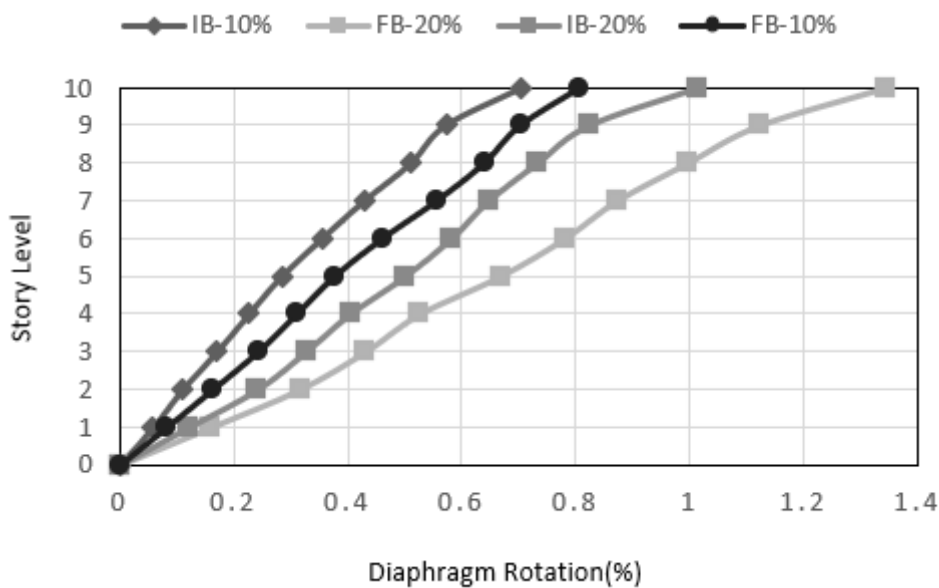
شکل ۱۷. مقدار متوسط دررفت طبقات در سازه ۱۰ طبقه با مهارندهای X, V, Z، پایه (FB), (IB) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)
 Fig. 17. Average maximum sotry drift of 10-story structure (base-isolated and fixed base) with different braces(X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)

نتایج نشان می‌دهد که متوسط جذب انرژی در سازه متقارن و نامتقارن مهاربند Z بیشترین و سازه با مهاربند V کمترین مقدار نسبت به سایر مهاربندها داراست. جداسازی از پایه باعث جذب ۵۵ درصدی انرژی ورودی سازه شده است که با افزایش خروج از مرکزیت (A20%)، این میزان به ۴۲٪ رسیده است. بررسی‌ها حاکی از آن است که در صورت افزایش نامتقارنی سازه میزان کاهش برش در صورت جداسازی از پایه سازه کمتر شده و در میان سیستم‌های مهاربندی، مهاربند V در سازه متقارن (A0%) و در سازه نامتقارن (A10%) و (A20%) نسبت به سایر سازه‌های جداسازی شده از پایه با مهاربندهای مختلف عملکرد ضعیف‌تری را از خود نشان داده است.

سیستم مهاربندی Z در سازه متقارن (A0%) بیش از ۶۶٪ کاهش در نیروی برش داشته و با افزایش نامتقارنی (A10%) و (A20%) این میزان کاهش از ۴۸٪ به ۴۲٪ رسیده است و عملکرد مناسبی مشاهده می‌شود (شکل ۱۶). در شکل ۱۷ میانگین دررفت طبقات سازه ده طبقه با انواع سیستم‌های مهاربندی (X, V, Z) تحت هفت رکورد زلزله در سازه متقارن قابل مشاهده است. بیشینه دررفت در قابی اتفاق می‌افتد که فاصله دور از مرکز جرم سازه واقع شده است به همین منظور جابه‌جایی‌های طبقات در دورترین قاب نمایش داده شده است.



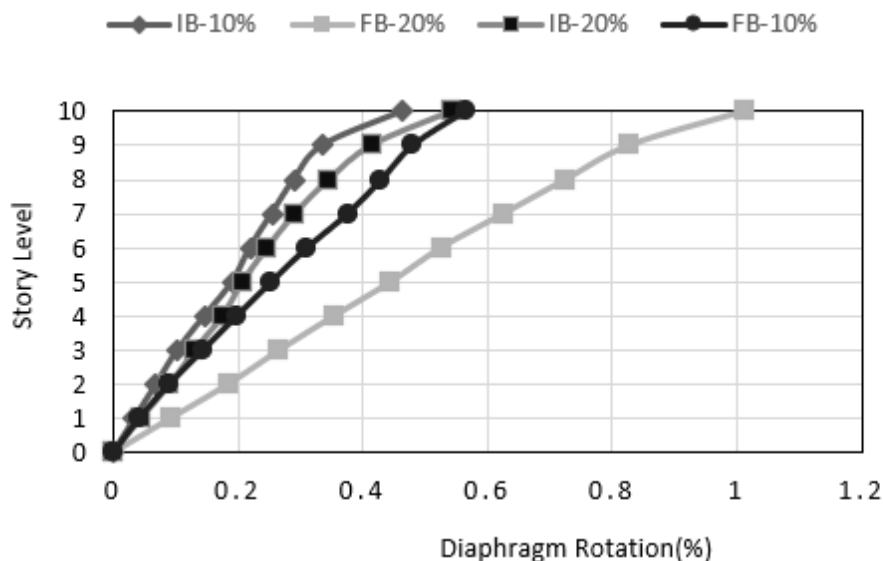
شکل ۱۸. مقدار متوسط دوران طبقات در سازه ۱۰ طبقه با مهاربند X، پایه (IB)، (FB) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)
 Fig. 18. Average story rotation of 10-story structure (base-isolated and fixed base) with X brace & different asymmetric values (A10%, A20%)



شکل ۱۹. مقدار متوسط دوران طبقات در سازه ۱۰ طبقه با مهاربند V پایه (IB)، (FB) و نامتقارنی (A10%, A20%)
 Fig. 19. Average story rotation of 10-story structure (base-isolated and fixed base) with V brace & different asymmetric values (A10%, A20%)

عملکرد ضعیفتری نسبت به سایرین داشته است برابر با ۰/۵۱٪ است. دوران طبقات در سه نوع سیستم مهاربندی سازه ده طبقه با مهاربندهای مختلف در شکل ۱۸ تا شکل ۲۰ نشان داده شده است. با افزایش نامتقارنی جرمی از ۱۰٪ به ۲۰٪ میزان پیچش نیز افزایش می‌یابد اما در سازه جداسازی شده کاهش قابل توجهی در دوران سازه مشاهده می‌شود. در سازه با نامتقارنی

دریافت طبقات در سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه ثابت کاهش چشمگیری داشته است. بیشترین مقدار دریافت در طبقات سازه با پایه ثابت با سیستم‌های مهاربندی مختلف، مهاربند V برابر با ۲/۳٪، مهاربند Z ۲/۲٪ و مهاربند X به ۲/۱٪ رسیده ولی در سازه جداسازی شده این میزان در حدود ۷۵٪ کاهش یافته است و مهاربندهای V که



شکل ۲۰. مقدار متوسط دوران طبقات در سازه ۱۰ طبقه با مهاربند Z، پایه (IB، FB) و نامتقارنی (A10%، A20%)
 Fig. 15. Average sotry rotation of 10-story structure (base-isolated and fixed base) with Z brace & different asymmetric values (A10%, A20%)

جدول ۶. متوسط نسبت دوره تناوب سازه جداسازی شده به تکیه‌گاه ثابت در ارتفاع‌های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاربندهای (X,V,Z)

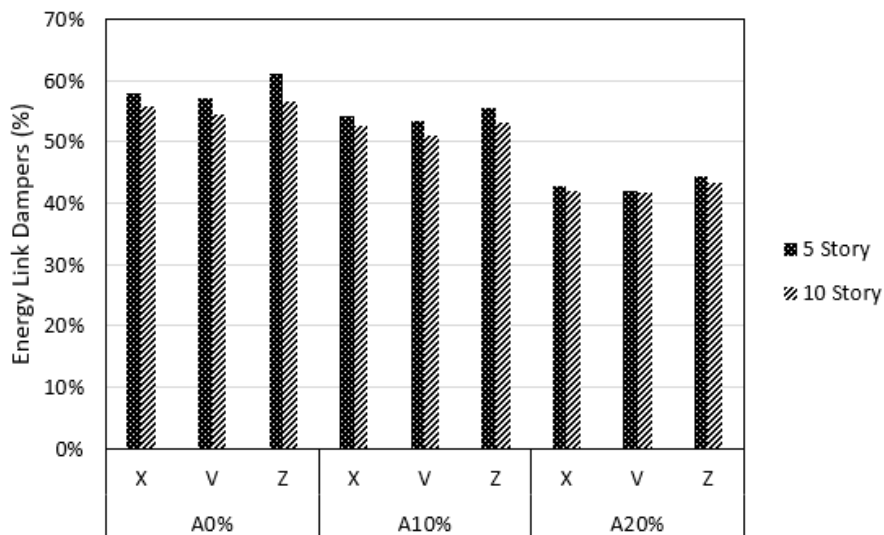
Table 6. Average ratio of natural period of isolated structure to structure with fixed base in 5 and 10 storey buildings with different bracing systems

سازه (A20%)			سازه (A10%)			سازه (A0%)			نوع سازه
Z	V	X	Z	V	X	Z	V	X	
۲.۹۵	۳.۰۱	۳.۰۵	۲.۴۳	۲.۴۸	۲.۵۲	۲.۳۶	۲.۴۳	۲.۴۹	۵ طبقه
۲.۲۹	۲.۳۸	۲.۳۴	۲.۰۹	۲.۱۲	۲.۱	۱.۹	۱.۹۲	۱.۹۱	۱۰ طبقه

۵- مقایسه عملکرد لرزه‌ای سازه ۵ طبقه و ۱۰ طبقه

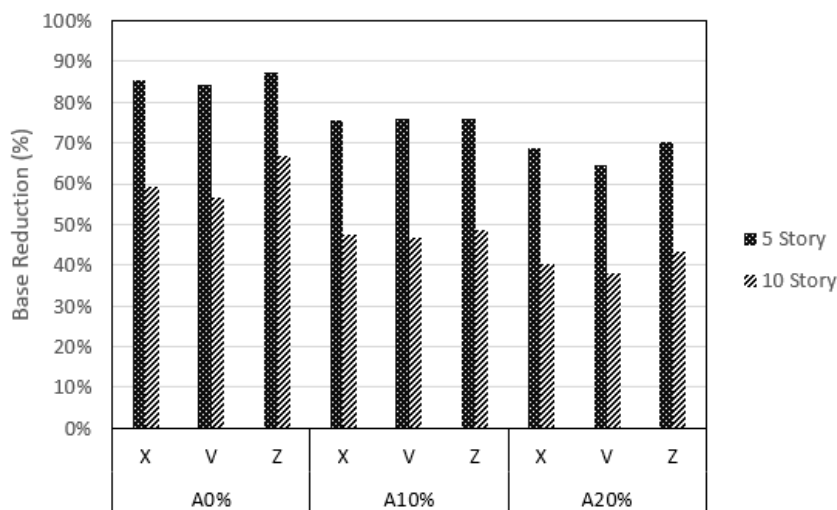
با افزایش ارتفاع سازه، عملکرد سیستم جداساز لرزه‌ای کم رنگ‌تر شده است. متوسط نسبت دوره تناوب سازه جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت ۵ طبقه و ۱۰ طبقه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سازه، این نسبت کمتر شده و نیز با افزایش خروج از مرکزیت (A۰%) به (A۲۰%) این نسبت نیز افزایش یافته است. در میان سیستم‌های مهاربندی در هر دو سازه ۵ و ۱۰ طبقه، سیستم مهاربندی X بیشترین نسبت و مهاربند Z کمترین نسبت را داشته است.

A۲۰% بین مهاربندهای مختلف مهاربند V دوران طبقه بام ۴/۵٪ که بیشترین دوران و مهاربند X همین میزان برابر با ۲/۳٪ که کمترین میزان دوران را بین سیستم‌های مختلف داراست. با افزایش خروج از مرکزیت درصد کاهش دوران نیز تغییر می‌کند مثلاً در طبقه بام (بیشترین میزان دوران) در حالت خروج از مرکزیت ۱۰٪، ۴۹ درصد کاهش و برای خروج از مرکزیت ۲۰٪، ۴۰ درصد کاهش مشاهده می‌شود که با افزایش خروج از مرکزیت این میزان کاهش یافته است. این موضوع بیانگر آن است که جداسازی سازه با کاهش خروج از مرکزیت عملکرد مناسب‌تری را داشته است.



شکل ۲۱. متوسط تغییرات جذب انرژی سامانه جداساز در سازه با ارتفاع های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاربندهای (X,V,Z) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20 %)

Fig. 21. Average energy absorption by the isolation system in 5 and 10 story structures with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20 %)

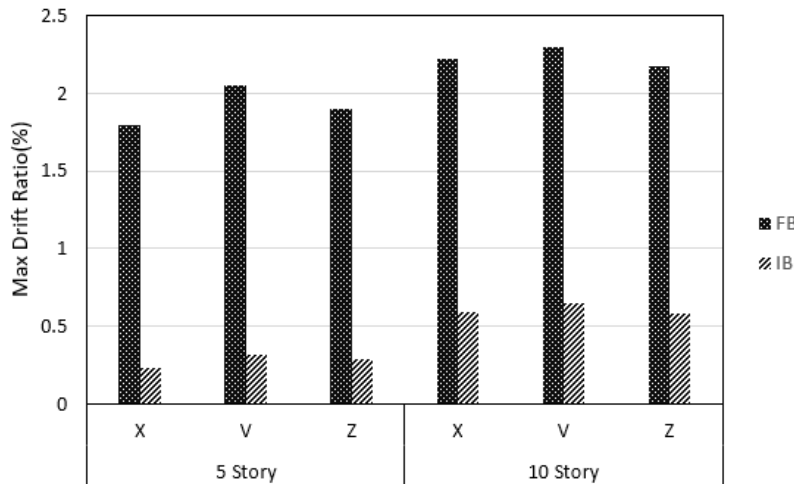


شکل ۲۲. متوسط تغییرات کاهش برش پایه سازه جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت در ارتفاع های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاربندهای (X,V,Z) و نامتقارنی (A0%, A10%, A20%)

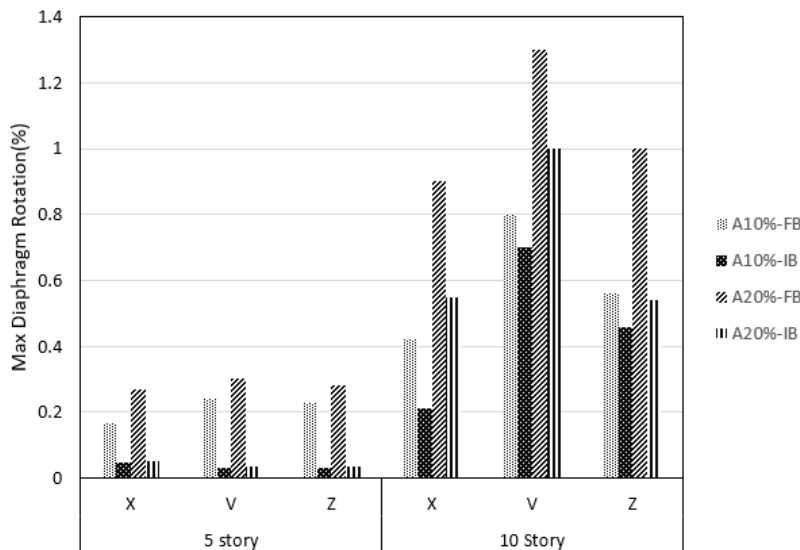
Fig. 22. Average base shear reduction by the isolation system in 5 and 10 story structures with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)

شکل ۲۲ نشان دهنده متوسط تغییرات کاهش برش پایه در سازه جداسازی شده و پایه ثابت در اثر تغییرات ارتفاع است. در اثر افزایش تعداد طبقات سازه، میزان کاهش برش پایه به طور میانگین ۲۷٪ کمتر شده که بیانگر آن است که جداساز در سازه ۵ طبقه موثرتر بوده است. بیشترین تغییر کاهش برش پایه با در نظر گرفتن افزایش ارتفاع سازه سیستم مهاربند V ۲۸٪ و سیستم مهاربندی Z با ۲۵٪ کاهش کمترین تغییر را نسبت به سایر مهاربندها را داشته است.

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که با افزایش تعداد طبقات از ۵ به ۱۰، جذب انرژی توسط جداساز کمتر شده است. در شکل ۲۱ متوسط تغییرات جذب انرژی سامانه جداساز در سازه ۵ و ۱۰ طبقه نشان داده شده است. با افزایش ارتفاع سازه این مقدار به طور متوسط ۷٪ کاهش یافته و بیشترین جذب انرژی توسط این سامانه در اثر افزایش تعداد طبقات سیستم مهاربندی Z و سیستم مهاربندی V کمترین مقدار را داشته است.



شکل ۲۳. متوسط تغییرات ماکزیمم دررفت سازه جداسازی شده و تکیه‌گاه ثابت در ارتفاع‌های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاربندهای (X,V,Z)
 Fig. 23. Average maximum story drift by the isolation system in 5 and 10 story structures with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20%)



شکل ۲۴. مقدار ماکزیمم دوران طبقات سازه ۵ و ۱۰ طبقه جداسازی شده و پایه ثابت با نامتقارنی (A10%, A20%) و مهاربند (X,V,Z)
 Fig. 24. Average maximum story rotation by the isolation system in 5 and 10 story structures with different braces (X, V, Z) & asymmetric values (A0%, A10%, A20 %)

و مهاربند V عملکرد ضعیف‌تری در ماکزیمم دررفت طبقات داراست. نتایج نشان داد طور کلی با افزایش تعداد طبقات سازه از ۵ به ۱۰ میزان حداکثر دوران سازه به طور متوسط ۷۰٪ افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲۴) در اثر جداسازی سازه میزان تغییرات دوران طبقات در سازه ۵ طبقه ۷۵٪ کاهش و در سازه ۱۰ طبقه ۴۵٪ کاهش یافته و جداسازی از پایه در سازه ۵ طبقه در مولفه پیچشی سازه عملکرد موثرتری نسبت سازه ۱۰ طبقه داشته است.

همانطور که در شکل ۲۳ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد طبقات سازه ماکزیمم دررفت نیز افزایش یافته است. عملکرد جداسازی از پایه در سازه متقارن با انواع مهاربندها در سازه ۵ طبقه عملکرد مناسب‌تری نسبت به سازه ۱۰ طبقه داشته به طوری که در سازه ۵ طبقه در اثر جداسازی این شاخص ۸۵٪ کاهش و در سازه ۱۰ طبقه ۷۳٪ کاهش مشاهده شده و از میان مهاربندها Z عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایرین داشته

۶- نتایج

مهاربندهای مختلف در سازه ۵ طبقه مهاربند زیبی در سازه ۱۰ طبقه، سازه با مهاربند ضربدری کمترین میزان دررفت را از خود نشان داد. همچنین افزایش نامتقارنی در سازه، بر دررفت طبقات سازه‌های با پایه ثابت و جداسازی شده تاثیری ندارد.

۵- نامتقارنی در سازه با تکیه‌گاه ثابت باعث به وجود آمدن پیچش در سازه‌ها می‌شود، اما همین نامتقارنی در سازه جداسازی شده پیچش کمتری را به وجود می‌آورد. از میان سازه‌ها با مهاربندهای مختلف، سازه با مهاربند X کمترین میزان پیچش و سازه با مهاربند V بیشترین میزان پیچش را در طبقات داراست. با افزایش تعداد طبقات سازه از ۵ به ۱۰ طبقه میزان دوران طبقات سازه نیز افزایش پیدا کرده است و جداسازی از پایه در سازه ۵ طبقه (۰.۷۵٪) موثر از سازه ۱۰ طبقه (۰.۴۵٪) واقع شده است.

منابع

- [1] A. Chopra, Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2017.
- [2] F. Naeim and J. M. Kelly, "Design of seismic isolated structures: from theory to practice," John Wiley & Sons, 1999.
- [3] R. Jangid, "Optimum frictional elements in sliding isolation systems," Computers & Structures, vol. 76, pp. 651-661, 2000.
- [4] H. Shakib and A. Fuladgar, "Effect of vertical component of earthquake on the response of pure-friction base-isolated asymmetric buildings," Journal Engineering Structures, pp. 1814-1850, 2003.
- [5] K. Ryan and A. Chopra, "Estimation of seismic demands on isolators in asymmetric buildings using non-linear analysis," Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 33, pp. 395-418, 2004.
- [6] M. De Stefano and B. Pintucchi, "A review of research on seismic behavior of irregular building structures," Earthquake Engineering, vol. 2, pp. 285-308, 2008.
- [7] D. Koren and V. Killar, "Seismic behaviour of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators," Engineering Structures, vol. 31, pp. 910-921, 2009.
- [8] S. Etedali and M. R. Sohrabi, "Torsional Strengthening of Base-Isolated Asymmetric Structures by Increasing the

در این مقاله رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی با مهاربندهای V ، X و Z با تعداد طبقات ۵ و ۱۰ با میزان خروج از مرکزیت جرمی $A_0\%$ ، $A_{10}\%$ و $A_{20}\%$ در دو حالت جداسازی شده از پی توسط جداساز LRB و تکیه‌گاه ثابت، تحت ۷ شتاب‌نگاشت زلزله با مشخصات لرزه‌ای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی، دوره تناوب، انرژی جذب شده توسط جداساز، برش پایه، دررفت طبقات و دوران سازه‌ها بررسی شد. از نتایج مهم به دست آمده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- با افزایش خروج از مرکزیت جرمی ($A_0\%$) به ($A_{20}\%$) میزان دوره تناوب سازه از ۲۵٪ افزایش یافته است. در بین سازه با مهاربندهای مختلف، سازه با مهاربند X بیشترین افزایش و سازه با مهاربند Z کمترین افزایش را داشته است. نسبت دوره تناوب سازه جداسازی شده به سازه با پایه ثابت در سازه ۵ طبقه در مقابل سازه ۱۰ طبقه افزایش بیشتری داشته است.

۲- انرژی جذب شده توسط سیستم جداساز LRB نسبت به سازه با پایه ثابت در سازه ۵ طبقه با خروج از مرکزیت‌های مختلف به طور متوسط ۵۵٪ را به خود اختصاص داده و نیز با افزایش خروج از مرکزیت جرمی ($A_0\%$) به ($A_{20}\%$) متوسط جذب انرژی توسط این سامانه کمتر شده است. در سازه ۵ و ۱۰ طبقه جداسازی شده از میان سیستم‌های مهاربندی مختلف در، سیستم مهاربندی Z بهترین عملکرد (۵۳٪ جذب انرژی) و مهاربند V (۴۹٪ جذب انرژی) داشته است. با افزایش ارتفاع سازه این مقدار ۷٪ کاهش یافته است.

۳- جداسازی از پایه باعث کاهش ۷۵٪ برش پایه سازه با نامتقارنی‌های مختلف شده است. این نسبت در سازه ۱۰ طبقه به طور میانگین ۴۸٪ می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سازه‌ها میزان تاثیر جداساز بر کاهش برش پایه کمتر خواهد شد. همچنین مشخص است که در سازه‌های پایه ثابت افزایش نامتقارنی باعث افزایش برش پایه شده که در میان سازه با مهاربندهای مختلف سازه با پایه ثابت و جداسازی شده، سازه با مهاربند Z کمترین میزان برش پایه و بیشترین کاهش و مهاربند V کمترین کاهش را در اثر جداسازی داشته است.

۴- از بررسی مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه این نتیجه به دست آمد که میزان دررفت طبقات در مدل‌های جداسازی شده به مدل‌های با پایه ثابت ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب ۸۵٪ و ۷۰٪ کاهش یافته است. از میان سازه با

- of LRB and universal base separators on the seismic response of steel buildings with special bending frame," 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, 2012(In persian)
- [19]C. E. Seguin, J. Almazan and J. la liera, "Torsional balance of seismically isolated asymmetric structures," Journal of Engineering Structures, vol. 46, pp. 703-717, 2013.
- [20]M. Ismail, "Elimination of Torsion and Pounding of Isolated Asymmetric Structures under Near-Fault Ground Motions," Structural Control and Health Monitoring, vol. 22, pp. 1295-1324,, 2015.
- [21]L. Landi, G. Gianluca and P. P. Gianluca, "Comparison of different models for friction pendulum isolators in structures subjected to horizontal and vertical ground motions," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 81, pp. 75-83, 2016.
- [22]M. Gholhaki and S. Sabouri, "Effect of Ductility Factor on Force Modification Factor of Thin Steel Plate Shear Walls," Journal of Structure & Steel, p. 52, 2009.(In persian)
- [23]T. Yang, "Hybrid Simulation Evaluation of The Suspended Zipper Braced Frame," 8th us national conference on earthquake engineering, 2006.
- [24]National Building Regulations of Iran , Design and Construction of Steel Buildings, 10th Issue, Building and Housing Research Center, Iran, 2013. (In persian)
- [25]ASCE/SEI7-16, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (7-16), CA: Civil Eng, 2017.
- [26]BHRC, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings: Standard No.2800 (4th Revision), Iran: Building and Housing Research Center, 2014. (In persian)
- [27]Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings No.523, Iran: Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, 2010.
- [28]PEER, "Base Strong Motion Data," 2016. [Online]. Available: <http://ngawest2.berkeley>.
- Flexible Edge Stiffness of Isolation System," International Journal of Civil & Environmental Engineering, vol. 11, pp. 51-59, 2011.
- [9] F. Khoshnudian and D. Motamedi, "Seismic Response of Asymmetric Steel Isolated Structures Considering Vertical Component of Earthquakes," vol. 17, pp. 1333-1347, 2013.
- [10]S. Etedali and M. Sohrabi, "A proposed approach to mitigate the torsional amplifications of asymmetric base-isolated buildings during earthquakes," Journal of civil engineering, vol. 20, pp. 768-776, 2015.
- [11]N. Narimani and D. Pourian, "Comparison of using LRB in moment steel frame and concentrically brace frame," Journal of Civil Engineering and Structures , pp. 28-36, 2018.(In persian)
- [12]A. Ras and N. Boumechra, "Dissipation's Capacity Study of Lead-Rubber Bearing System in Seismic Steel Structures Design," Arabian Journal for Science and Engineering, pp. 3863-3874, 2017.
- [13]A. Suthar and R. Noval, "Seismic Response of Symmetrical and Asymmetrical Structure with Base Isolators," vol. 5, no. 09, 2017.
- [14]R. Irwan, R. Sjahril A, L. Yuskar and Y. Hendro, "Comparative Analysis of Fixed base and Isolated Structure in L Shape Plan with Time History Analysis based on ASCE7-16," IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 473, 2019.
- [15]M. Kangda and S. Bakre, "The Effect of LRB Parameters on Structural Responses for Blast and Seismic Loads," Arabian Journal for Science and Engineering, vol. 43, no. 4, p. 1761-1776, 2018.
- [16]M. Bhandari, "Prediction of inelastic response of base-isolated building frame by pusho-ver analysis," Asian Journal of Civil Engineering, vol. 21, p1171-1182, 2020.
- [17]v. Killar and s. Petrovcic, "Seismic analysis of an asymmetric fixed base and base-isolated high-rack steel structure," Engineering Structures, vol. 33, pp. 3471-3482, 2011.
- [18] N. Mozafari, E.Boghlati , " Comparison of the effect

Braced Steel Structures," Journal of Structure & Steel,
pp. 25-38, 2018.(In persian)

[29] A. Mansouri and F. Meshkinfam Hesari, "Evaluation
of the Seismic Behavior of Asymmetric Base Isolated

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. M. R. Hosseini, Gh. R. Nouri , *Seismic performance of asymmetric isolated steel structures with different bracing systems, Amirkabir J. Civil Eng., 53 (12) (2022) 5569-5588.*

DOI: 10.22060/ceej.2021.18911.7001

