

### چکیده

برای جلوگیری از پیامدهای نامطلوب ناشی از طراحی بر اساس آیین‌نامه‌های متداول از جمله آوارگی هزاران نفر و لزوم تخریب و بازسازی ساختمان، طراحی سازه به صورت تعمیرپذیر با کمک جاذب‌های انرژی مورد توجه قرار گرفته است و در این راستا اخیراً توسط نویسندگان مقاله تقسیم سازه ساختمان به دو بخش داخلی و خارجی با پیوندهای مختلف و استفاده از میراگرهای هیستریزیس با مشخصات مناسب بین آن دو بخش به منظور استهلاک انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر برای استهلاک انرژی از میراگرهای ویسکوز بین دو بخش سازه استفاده شده و مکان و ضریب میرایی مناسب میراگرها تعیین و پاسخ‌های سازه با نتایج حاصل از به کارگیری میراگرهای هیستریزیس با سختی، مقاومت و قابلیت جذب انرژی مناسب مقایسه شده است. برای این منظور ابتدا با تقسیم یک ساختمان ۵ طبقه به دو بخش و استفاده از مستهلک‌کننده‌های ویسکوز در تراز بام ضمن تشکیل معادلات حرکت و کدنویسی در محیط برنامه MATLAB به تعیین ضریب میرایی مناسب میراگر ویسکوز پرداخته شد و نتایج نشان داد که با انتخاب مقادیر مناسب برای این کمیّت می‌توان باعث جذب انرژی بالا و کاهش قابل ملاحظه دریافت طبقات ساختمان گردید. سپس سه ساختمان فولادی مهاربندی شده ۵، ۸ و ۱۱ طبقه به کمک نرم‌افزار ETABS طراحی و به دو بخش داخلی و خارجی تقسیم و در نرم‌افزار PERFORM-3D مدل شد و در آنها از میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب حاصل از نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. از مقایسه عملکرد میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب و میراگر هیستریزیس، با سختی و مقاومت مناسب، مشخص شد در حالتی که از میراگرهای ویسکوز با ضریب میرایی مناسب استفاده شود ماکزیمم دریافت طبقه در سازه خارجی تقریباً ۳۵ درصد و در سازه داخلی تقریباً ۵۰ درصد نسبت به سازه یکپارچه کاهش می‌یابد. این در حالی است که اگر از میراگر هیستریزیس با سختی و مقاومت مناسب استفاده شود ماکزیمم دریافت طبقه نسبت به سازه یکپارچه، در سازه خارجی تقریباً ۲۰ درصد و در سازه داخلی تقریباً ۶۵ درصد کاهش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** هدایت آسیب، مستهلک‌کننده‌های هیستریک و ویسکوز،

تحلیل دینامیکی غیرخطی، MATLAB، PERFORM-3D.

## مقایسه میراگرهای ویسکوز و هیستریزیس در کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بر اساس تقسیم اسکلت ساختمان به دو بخش داخلی و خارجی دارای اندرکنش دینامیکی

### عباس طاهری

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

### محمود حسینی (نویسنده مسئول)

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران،  
hosseini@iiees.ac.ir

### عبدالرضا سروقد مقدم

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

### ۱- مقدمه

در بسیاری موارد از جمله در شهرهای بزرگ واقع در حوزه نزدیک گسل‌های لرزه‌زا، علاوه بر آوارگی صدها هزار نفر بهره‌برداران ساختمان‌های شدیداً آسیب‌دیده و مشکلات تخریب و دفع آوار آنها، نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار زیاد برای

در سازه‌هایی که تاکنون بر اساس آیین‌نامه‌های متداول مورد طراحی و ساخت قرار گرفته‌اند اجازه داده شده که در اثر زلزله‌های قوی در سازه آسیب‌های شدید به وجود بیاید (البته به این شرط که سازه فرو نریزد و ایمنی جانی ساکنین حفظ شود). این نوع طراحی

تخریب و بازسازی ساختمان را دارا می‌باشد، لذا اگر بتوان آسیب‌ها را به نقاطی از پیش تعیین شده انتقال داد، به طوری که ساختمان به سرعت و به سادگی قابل تعمیر باشد، بسیار مطلوب خواهد بود. در پژوهش‌های پیشین استفاده از میراگرها بین دو سازه قابی مجاور و یا تقسیم یک سازه به بخش‌های کوتاه‌پریود (دارای سختی زیاد) و بلندپریود (دارای جرم زیاد) در حالت دو بعدی مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان نمونه ضیایی فر [۱] در سال ۲۰۰۶ به پژوهش خود به بررسی تأثیرات و روش جداسازی جرمی در مدل دو بعدی یک ساختمان ۲۰ طبقه پرداخت. این ساختمان بلندمرتبه شامل یک سیستم قابی است که ۹۰ درصد جرم سیستم کل (با سختی جانبی اندک) و یک قاب مهاربندی شده است که مقاومت جانبی سازه را تأمین می‌نمایند (زیر سیستم سختی ۱۰ درصد جرم کل سیستم را نیز حمل می‌کند). در این سازه از پنج میراگر ویسکوز که به صورت خطی در ارتفاع سازه بین دو زیر سیستم جرمی و سختی توزیع شده است. همچنین سازه مشابهی برای مقایسه نتایج، با اتصالات صلب در هر طبقه بین دو زیر سیستم سختی و جرمی مورد مطالعه قرار گرفت. سازه دارای زیر سیستم سختی و زیر سیستم جرمی و بدون آنها در اثر زلزله ال‌سنتر و تحلیل تاریخچه زمانی شد و نتایج نشان داد که میزان تغییر مکان سازه دارای زیر سیستم سختی و زیر سیستم جرمی نسبت به سازه اولیه کاهش می‌یابد. کاهش شتاب حداکثر در طبقات بالای سازه زیر سیستم سختی بیان‌کننده پتانسیل این روش در کاهش اثرات لرزه‌ای در سازه‌های بلند می‌باشد. تنها پارامتری که در سازه جداسازی شده جرمی افزایش یافته است حداکثر دررفت در ارتفاع می‌باشد، این افزایش به علت طراحی شکل‌پذیرتر زیر سیستم جرمی می‌باشد. همچنین می‌توان با استفاده از تعداد میراگرهای بیشتر در سازه جداسازی جرمی مقدار دررفت زیر سیستم جرمی را کاهش داد. لذا می‌توان با استفاده از این پدیده آسیب‌های ناشی از زلزله را در قسمت خاصی از سازه در بین دو زیر سیستم جرم و سختی متمرکز کرده و مانع از گسترش آن در کل سازه گردید.

حجازی و دلیلی [۲] در سال ۲۰۱۰ به بررسی شیوه‌های

جدید برای کوپل کردن ساختمان‌های هم‌جوار توسط میراگر ویسکوز پرداختند. با توجه به اینکه میراگرهای ویسکوز توانایی زیادی در اتلاف انرژی زلزله و کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه دارند لذا در کوپل کردن سازه‌های هم‌جوار استفاده شد. در این تحقیق نحوه متصل شدن دو سازه هم‌جوار توسط میراگر ویسکوز به صورت قطری که طبقات را یک‌درمیان به هم متصل می‌کند و تحلیل‌ها تحت اثر (شتاب‌نگاشت) ال‌سنتر و انجام شد. مشخص شد تعداد مفاصل پلاستیک دو سازه هم‌جوار با میراگر ویسکوز نسبت به حالت بدون میراگر ۷۰ درصد کاهش می‌یابد و همچنین ماکزیمم تغییر مکان دو سازه هم‌جوار با میراگر ویسکوز نسبت به حالت بدون میراگر ۶۰ درصد کاهش می‌یابد. ویجایا و یاماو [۳] در سال ۲۰۱۳ به بررسی عملکرد لرزه‌ای سه سازه هم‌جوار که توسط میراگر ویسکوز به هم متصل‌اند و تکیه‌گاه‌های سازه اول، سوم ثابت و تکیه‌گاه سازه دوم دارای جداگر لرزه‌ای پرداختند. در این تحقیق دو مدل عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند و پیوند طبیعی مود اول سه سازه هم‌جوار دو برابر پیوند طبیعی مود اول اصلی است. نمودار تاریخچه زمانی نشان داد که میراگرهای ویسکوز پاسخ لرزه‌ای را کاهش می‌دهد و همچنین ماکزیمم شتاب طبقه آخر سازه پیشنهاد شده با میراگر و بدون میراگر نسبت به سازه اصلی به ترتیب (حالت با میراگر) ۲۰ الی ۵۰ درصد و (حالت بدون میراگر) ۴۰ الی ۸۰ درصد کاهش یافته است.

عبدالرحیم فرقلی [۴] در سال ۲۰۱۴ به بررسی دو ساختمان هم‌جوار با ارتفاع ۱۲ و ۲۰ طبقه دارای میراگرهای ویسکوز در مکان‌های مختلف بین دو سازه پرداخت و مشخص شد تحت اثر زلزله ال‌سنتر و ماکزیمم تغییر مکان طبقه آخر سازه ۲۰ طبقه در حالتی که دو سازه هم‌جوار دارای یک میراگر متصل‌کننده است نسبت به حالت بدون میراگر ۳۰ درصد کاهش دارد و در حالتی که دوازده میراگر استفاده شود نسبت به حالت بدون میراگر ۶۰ درصد کاهش دارد.

اناپورنا و ونکودر [۵] در سال ۲۰۱۴ به بررسی کنترل ارتعاش ساختمان‌های هم‌جوار متصل شده با انواع میراگرها که انتخاب

سری سیستم هیسترتیک با میراگر ویسکوز کمتر از اتصال موازی آن دو می‌باشد و برای سازه‌های با پرید بلند و میرایی کم، تقاضای شکل‌پذیری سیستم هیسترتیک در اتصال سری بیشتر از اتصال موازی است و همچنین افزایش میرایی میراگر ویسکوز در اتصال سری نسبت به اتصال موازی تقاضای شکل‌پذیری را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

ملاحظه می‌شود در بیشتر تحقیقات گذشته به بررسی سازه‌های هم‌جوار دو بعدی تحت اثر یک مؤلفه شتاب‌نگاشت پرداخت شده است و ساختمان‌ها به‌صورت سه‌بعدی از این لحاظ مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا در این مطالعه به طراحی لرزه‌ای نوآورانه ساختمان‌های فولادی با هدف کاهش آسیب بر اساس تقسیم اسکلت ساختمان به‌صورت سه‌بعدی به دو بخش داخلی و خارجی دارای اندرکنش دینامیکی به کمک میراگرهای ویسکوز و هیستریزیس و ارزیابی آنها تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های سه‌مؤلفه‌ای زلزله‌های منتخب پرداخته شده است. در این صورت رفتار واقعی ساختمان‌ها در حالت سه‌بعدی به‌طور دقیق‌تر قابل ارزیابی است. در پژوهشی که اخیراً توسط نویسندگان صورت گرفت سازه ساختمان به دو بخش داخلی و خارجی با پیوندهای مختلف تقسیم شد و از میراگر هیستریزیس با مقاومت و سختی مناسب بین آن دو بخش به منظور استهلاک انرژی استفاده شد. هدف پژوهش پیش رو استفاده از میراگر ویسکوز بین دو بخش سازه تقسیم شده جهت استهلاک انرژی و تعیین ضریب میرایی مناسب میراگر ویسکوز و تعیین محل مناسب آن در ارتفاع سازه و نهایتاً مقایسه پاسخ‌های سازه دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب با نتایج میراگر هیستریزیس با سختی و مقاومت مناسب می‌باشد.

## ۲- معرفی سازه‌ها

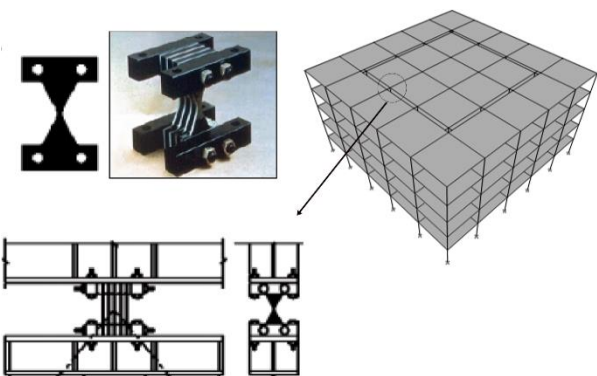
سازه‌های مورد مطالعه برگرفته از پژوهش اخیراً منتشرشده نویسندگان می‌باشند که در آن طاهری و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۸ به بررسی تقسیم سازه به دو بخش داخلی و خارجی

شده‌اند پرداختند. استفاده از میراگر ویسکوز بهینه برای اتصال دینامیکی سازه‌های هم‌جوار مشابه می‌تواند به‌طور مؤثری پاسخ‌های لرزه‌ای هر دو ساختمان را کاهش دهد اما هنگامی که میراگر ویسکوز برای اتصال دادن سازه‌های نرم و سخت استفاده می‌شود نتایج نشان می‌دهد که میراگر ویسکوز فقط می‌تواند تغییر مکان‌های هر دو سازه را کنترل کند و نمی‌تواند شتاب‌های سازه نرم را کنترل کند؛ بنابراین میراگرهای کمتر در مکان‌های مناسب، به‌طور چشمگیری می‌تواند پاسخ‌های زلزله را در سازه‌های هم‌جوار کاهش دهد. کاهش پاسخ‌های زلزله، هنگامی که دو سازه چند درجه آزادی متصل شده با پنجاه درصد کل میراگرها در مکان‌های مناسب، اغلب به‌اندازه زمانی است که میراگرها در تمام طبقات نصب شده‌اند، از این‌رو هزینه میراگرها می‌تواند به حداقل برسد.

جمشیدی و حسینی [۶] در سال ۲۰۱۵ به بررسی تقسیم مدل دو بعدی سازه ساختمان به دو بخش و ایجاد اندرکنش دینامیکی بین آنها برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه پرداختند. پس از انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در سیستم متشکل از دو جرم تفکیک شده و مقایسه نتایج آن با سازه اصلی مشخص شد که به کمک این ایده می‌توان پاسخ جابه‌جایی سازه تقسیم شده یک طبقه را تا حدود ۳۰ درصد و پاسخ در سازه دو طبقه را تا حدود ۵۰ درصد نسبت به سازه اصلی و تقسیم نشده، کاهش داد. نتایج بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که تقسیم سازه ساختمان به دو بخش و ایجاد اندرکنش دینامیکی بین آنها می‌تواند پاسخ دینامیکی کل سازه را تا حد قابل توجهی کاهش دهد.

بوگت و ری [۷] در سال ۲۰۱۸ به بررسی اتصال سری و موازی سیستم هیسترتیک با میراگر ویسکوز در تأمین نیاز لرزه‌ای سازه پرداختند. در این تحقیق، مقایسه بین اتصال سری و موازی سیستم هیسترتیک با میراگرهای ویسکوز و با استفاده از تحلیل طیف‌های پاسخ سازه‌های یک درجه آزادی که در آن تقاضای شکل‌پذیری سیستم هیسترتیک و برش پایه کل به‌عنوان مقادیر پاسخ انتخاب شدند و مشاهده شد که برش پایه اتصال

سپس سه سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه طبق استاندارد ۲۸۰۰ به عنوان سازه‌های اصلی طراحی شدند و این سازه‌ها با نسبت جرم  $\frac{Min}{Mout} = \frac{9}{16}$  تقسیم‌بندی شدند و از میراگر هیستریزیس با سختی مناسب و مقاومت مناسب بین دو بخش استفاده شد [۹]. در انتها مشخص شد ماکزیمم دریفت سازه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی و دارای میراگر هیستریزیس نسبت به سازه‌های اصلی به‌طور میانگین برای سازه خارجی تقریباً ۲۰ درصد و برای سازه داخلی تقریباً ۶۵ درصد کاهش می‌یابد. در شکل (۲) سازه ساختمان با نسبت جرم  $\frac{Min}{Mout} = \frac{9}{16}$  قابل مشاهده است.



شکل (۲): مدل سه‌بعدی سازه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی با نسبت جرم  $\frac{Min}{Mout} = \frac{9}{16}$  دارای میراگر هیستریزیس.

### ۳- مشخصات مناسب میراگر ویسکوز

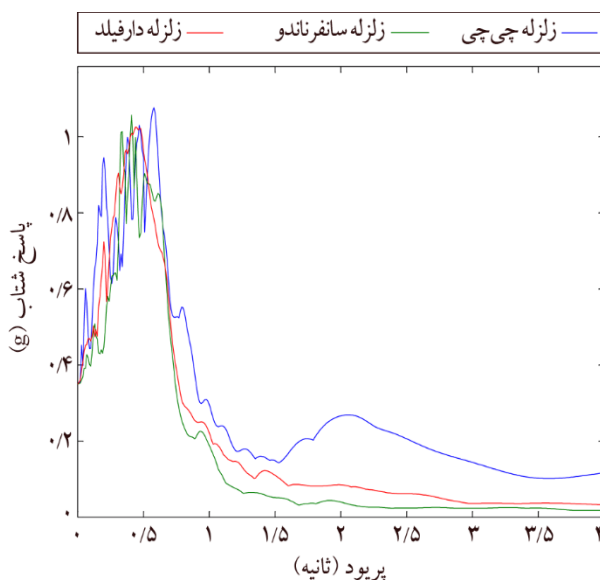
به‌منظور به دست آوردن مشخصات مناسب میراگر ویسکوز برای ایجاد اندرکنش مطلوب و مؤثر بین دو بخش داخلی و خارجی اسکلت ساختمان، دو بخش یک ساختمان برشی ۵ طبقه به‌صورت دو بعدی مطابق شکل (۳) با زیرنویس‌های in و out مدل‌سازی و داخلی و خارجی نام‌گذاری شده‌اند. سازه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی توسط یک میراگر ویسکوز در طبقه پنجم به هم متصل شده‌اند که این سازه در شکل (۳) قابل مشاهده است. در شکل (۳)  $M_{IN}$  و  $M_{OUT}$  به ترتیب جرم سازه خارجی و داخلی و  $K_{IN}$  و  $K_{OUT}$  به ترتیب سختی سازه خارجی و داخلی می‌باشد. معادله دیفرانسیل حاکم بر سازه به‌صورت زیر است:

$$M\ddot{X}(t) + (C + C_D)\dot{X}(t) + KX(t) = -M\ddot{X}_g$$

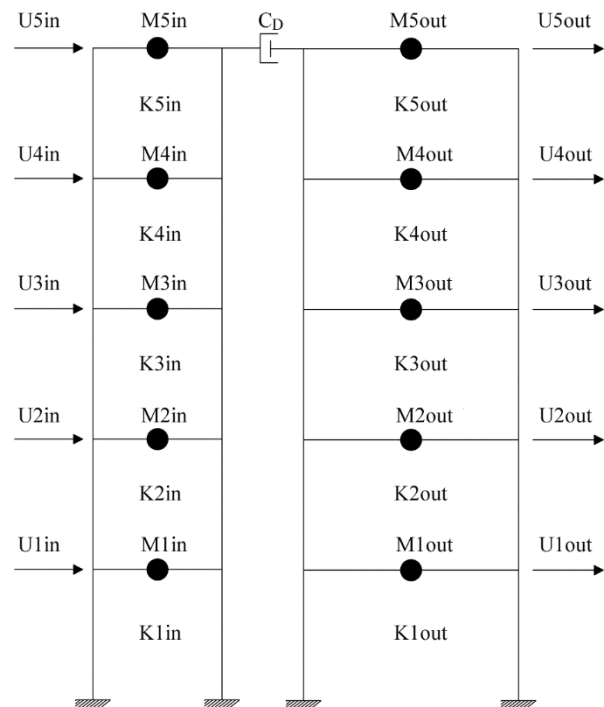
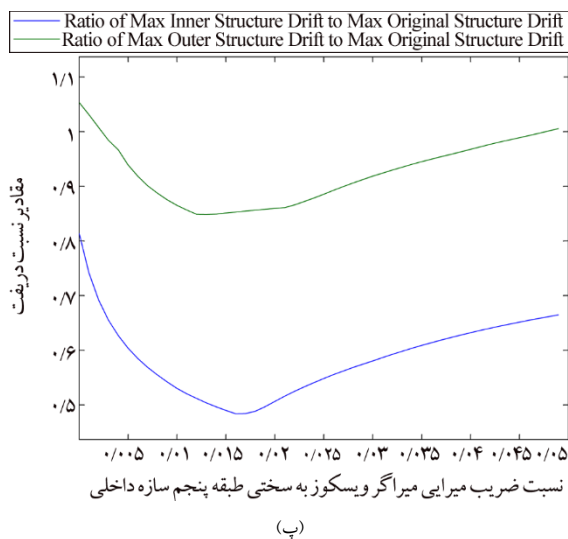
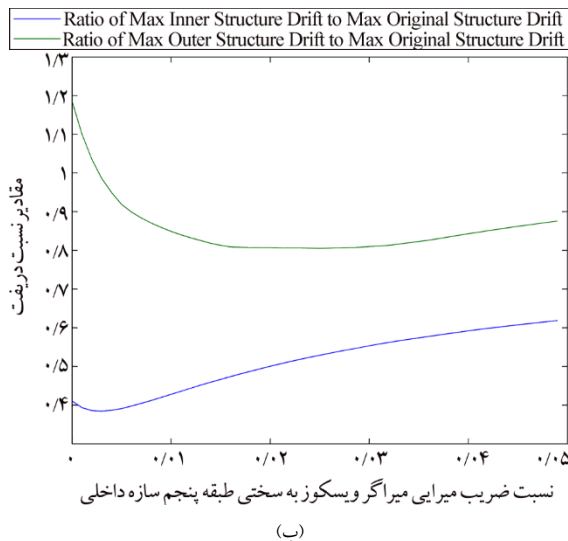
دارای میراگر هیستریزیس پرداختند. ابتدا سازه ۵ طبقه اصلی طبق استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شد سپس نسبت جرم‌های بخش‌های داخلی و خارجی متناسب با معماری ساختمان به‌صورت  $\frac{Min}{Mout} = \frac{9}{16}$  و  $\frac{Min}{Mout} = \frac{4}{5}$ ،  $\frac{Min}{Mout} = \frac{1}{8}$ ،  $\frac{Min}{Mout} = \frac{1}{3}$  انتخاب شد. سپس بین دو بخش سازه داخلی و خارجی در طبقه آخر از میراگر هیستریزیس استفاده شد و معادلات تحلیل دینامیکی سازه اصلی و سازه تقسیم شده تحت اثر سه زلزله چی-چی، سان‌فرناندو و دارفیلد که مشخصات آنها در جدول (۱) و طیف‌های شتاب آنها در شکل (۱) قابل مشاهده است، در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی شد و مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که نسبت جرم  $\frac{Min}{Mout} = \frac{9}{16}$  نسبت مناسب جرم سازه داخلی به خارجی می‌باشد و سختی و مقاومت مناسب میراگر هیستریزیس به‌ترتیب  $K_D = 0.15 \times K_{in5}$  و  $F_D = 0.04 \times K_D = 0.04 \times 0.15 \times K_{in5}$  حاصل شد.

جدول (۱): مشخصات زلزله‌های مورد استفاده.

شتاب بیشینه	پریود غالب	PGA	زلزله
۱/۰۷۶g	۰/۵۸ ثانیه	۰/۳۵g	چی-چی
۱/۰۵۷g	۰/۴۱ ثانیه	۰/۳۵g	سان‌فرناندو
۱/۰۲۶g	۰/۴۴ ثانیه	۰/۳۵g	دارفیلد



شکل (۱): طیف‌های شتاب زلزله‌های منتخب.



شکل (۳): مدل دو بعدی ساختمان تقسیم شده.

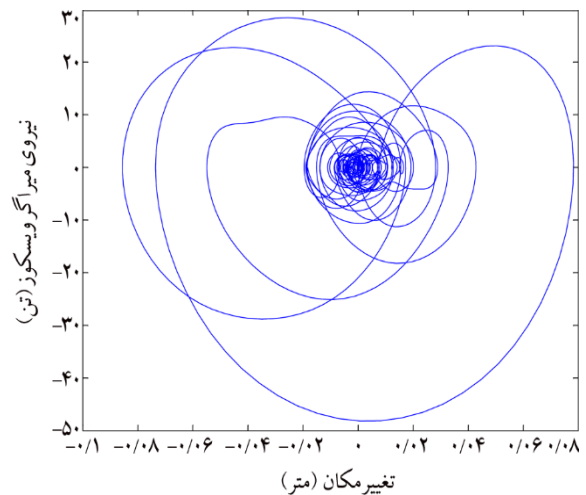
در این رابطه مقدار ضریب میرایی میراگر ویسکوز می‌باشد. برای به دست آوردن ضریب میرایی مناسب میراگر ویسکوز از ایده میرایی رایلی که معادله آن  $C = \alpha K + \beta M$  است استفاده شد. در این مطالعه  $\beta$  صفر در نظر گرفته شد و معادلات دینامیک سازه در برنامه MATLAB کدنویسی شد و مقدار  $\alpha$  با گام  $0.001$  برابر سختی طبقه آخر سازه داخلی تا مقدار  $0.05$  برابر سختی آن طبقه مورد بررسی قرار گرفت. نمودار ماکزیمم دررفت طبقات سازه داخلی و خارجی نسبت به سازه اولیه در برابر تغییرات ضریب میرایی میراگر ویسکوز  $\alpha$  در شکل (۴) برای زلزله‌های منتخب قابل مشاهده می‌باشد.

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل (۴) مقدار بهینه نسبی برای ضریب  $\alpha$  برابر با  $0.015$  به دست می‌آید. با این مقدار ضریب میرایی رایلی، ماکزیمم دررفت طبقه برای سازه خارجی تقریباً  $35$  درصد و برای سازه داخلی تقریباً  $55$  درصد کاهش می‌یابد. در شکل (۵) نمودار هیسترتیک میراگر ویسکوز مربوط به ضریب میرایی  $C_D = 0.015 \times K_{in} \times 5$  تحت اثر زلزله چی - چی قابل مشاهده است.

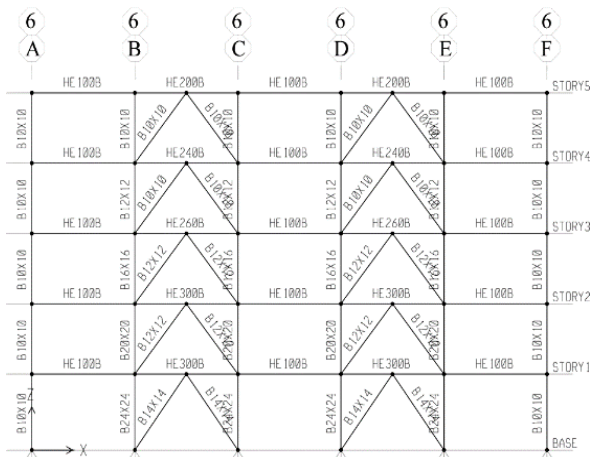
شکل (۴): نمودار تغییرات نسبت ماکزیمم دررفت سازه داخلی و خارجی به ماکزیمم دررفت سازه اصلی با ضریب میرایی میراگر ویسکوز برای سازه پنج طبقه تحت زلزله‌های (الف) چی - چی، (ب) سان‌فرانادو (پ) دارفیلد.

#### ۴- استفاده از میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب در سازه فولادی ۵، ۸ و ۱۱ طبقه و مقایسه آن با میراگر هیستریزس دارای سختی و مقاومت مناسب میرایی میراگر ویسکوز

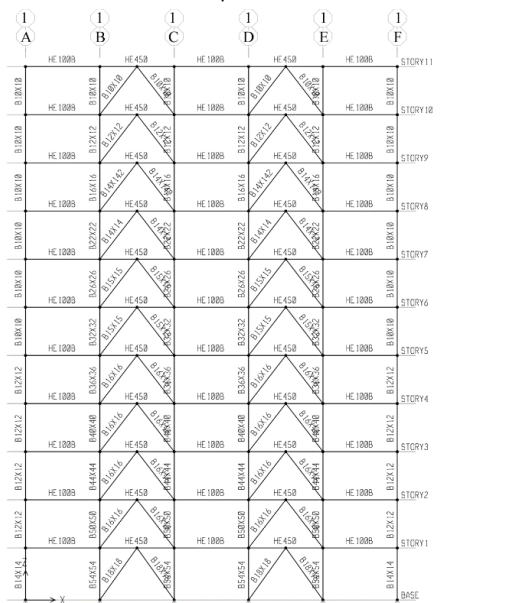
پس از به دست آوردن سختی و مقاومت مناسب میراگر هیستریزس و ضریب میرایی مناسب میراگر ویسکوز به کمک نرم افزار MATLAB، این المان در سه سازه فولادی ۵، ۸ و ۱۱ طبقه دارای مهاربند شورون به صورت سه بعدی در نرم افزار PERFORM-3D مدل شد و هر سازه تحت اثر سه زلزله تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام می شود. ابتدا سه سازه فولادی ۵، ۸ و ۱۱ طبقه طبق استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] در نرم افزار ETABS طراحی می شوند. در شکل (۶) پلان و یک نمونه از قاب سازه سه بعدی ۵، ۸ و ۱۱ طبقه را نشان می دهد.



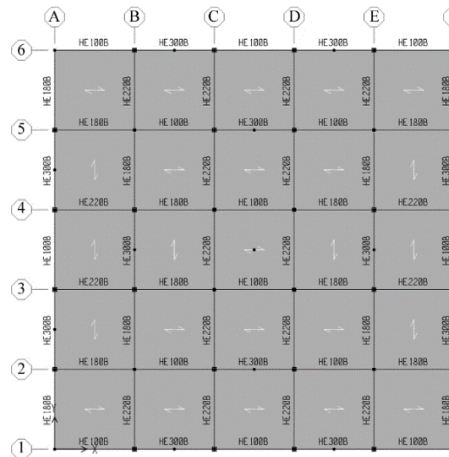
شکل (۵): نمودار هیستریتیک تغییر مکان محوری در برابر نیروی محوری میراگر ویسکوز مربوط به زلزله چی - چی.



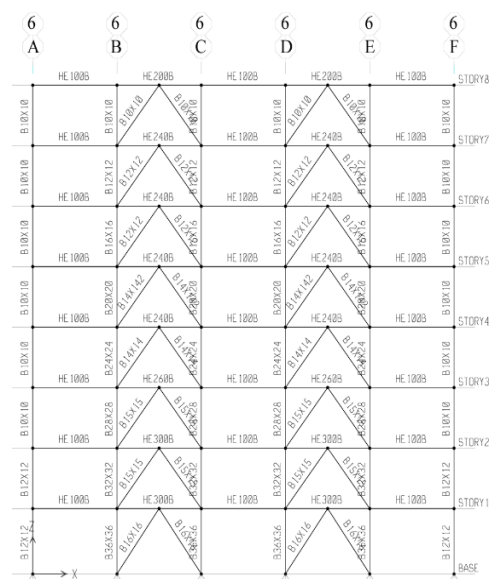
(ب)



(ت)



(الف)



(پ)

شکل (۶): (الف) پلان سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه، (ب) سازه ۵ طبقه، (پ) سازه ۸ طبقه و (ت) سازه ۱۱ طبقه.



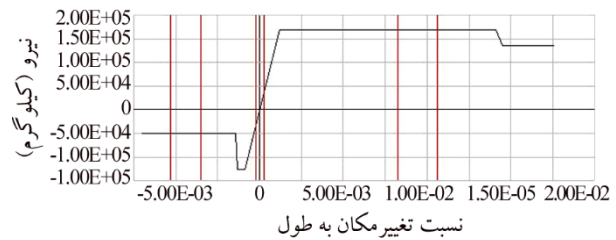
## ۵- زلزله‌های مورد استفاده

در این تحقیق سه گروه دارای سه زوج شتاب‌نگاشت که هر گروه از زوج شتاب‌نگاشت‌ها دارای پیوند غالب مربوط به ساختمان‌های ۵، ۸ و ۱۱ طبقه‌اند در نظر گرفته شد. جدول (۲) مشخصات لرزه‌ای شتاب‌نگاشت‌ها برای تحلیل سه سازه مذکور را نشان داده و تمام شتاب‌نگاشت‌ها با توجه به ضوابط طبق آیین‌نامه ASCE2010 [۱۲] مقیاس شده‌اند.

جدول (۲): مشخصات زلزله‌های مورد استفاده.

گروه زلزله ساختمان ۵ طبقه					
زلزله	جهت مؤلفه	PGA	$SF_1=1/PGA_{Max}$	$SF_2$	$SF=S F_1 \times S F_2$
چی - چی	صفر درجه	۰/۰۲۸۹g	۳/۴۶	۰/۵۴۸	۱/۸۹
	نود درجه	۰/۲۳۸g	۳/۴۶	۰/۵۴۸	۱/۸۹
	قائم	۰/۱۶۱g	۳/۴۶	۰/۵۴۸	۱/۸۹
سان‌فرانسیسکو	صفر درجه	۰/۳۲g	۳/۱۲۵	۰/۵۴۸	۱/۷۱
	نود درجه	۰/۲۷۵g	۳/۱۲۵	۰/۵۴۸	۱/۷۱
	قائم	۰/۱۶۷g	۳/۱۲۵	۰/۵۴۸	۱/۷۱
دارفیلد	صفر درجه	۰/۱۶g	۶/۲۵	۰/۵۴۸	۳/۴۳
	نود درجه	۰/۱۶g	۶/۲۵	۰/۵۴۸	۳/۴۳
	قائم	۰/۱۰۳g	۶/۲۵	۰/۵۴۸	۳/۴۳
گروه زلزله ساختمان ۸ طبقه					
زلزله	جهت مؤلفه	PGA	$SF_1=1/PGA_{Max}$	$SF_2$	$SF=S F_1 \times S F_2$
لندرز	صفر درجه	۰/۲۸۴g	۳/۵۲	۰/۶۴۰	۲/۲۵
	نود درجه	۰/۲۷۴g	۳/۵۲	۰/۶۴۰	۲/۲۵
	قائم	۰/۱۸۱g	۳/۵۲	۰/۶۴۰	۲/۲۵
آبویت	صفر درجه	۰/۱۶g	۶/۲۵	۰/۶۴۰	۴/۱۰
	نود درجه	۰/۱۴۲g	۶/۲۵	۰/۶۴۰	۴/۱۰
	قائم	۰/۰۷۳g	۶/۲۵	۰/۶۴۰	۴/۱۰
دازس	صفر درجه	۰/۱۵۱g	۶/۶۳	۰/۶۴۰	۴/۲۵
	نود درجه	۰/۱۱۴g	۶/۶۳	۰/۶۴۰	۴/۲۵
	قائم	۰/۱۰۵g	۶/۶۳	۰/۶۴۰	۴/۲۵
گروه زلزله ساختمان ۱۱ طبقه					
زلزله	جهت مؤلفه	PGA	$SF_1=1/PGA_{Max}$	$SF_2$	$SF=S F_1 \times S F_2$
نورث‌ریچ	صفر درجه	۰/۱۵۷g	۶/۳۷	۰/۸۰۱	۵/۱۰
	نود درجه	۰/۱۳۳g	۶/۳۷	۰/۸۰۱	۵/۱۰
	قائم	۰/۱۰۳g	۶/۳۷	۰/۸۰۱	۵/۱۰
چتسو	صفر درجه	۰/۳۶۵g	۲/۸۱	۰/۸۰۱	۲/۲۵
	نود درجه	۰/۳۲۵g	۲/۸۱	۰/۸۰۱	۲/۲۵
	قائم	۰/۱۳۶g	۲/۸۱	۰/۸۰۱	۲/۲۵
ایتالیا - سیتیار	صفر درجه	۰/۱۳۶g	۷/۳۵	۰/۸۰۱	۵/۸۹
	نود درجه	۰/۱۲۶g	۷/۳۵	۰/۸۰۱	۵/۸۹
	قائم	۰/۰۵۴g	۷/۳۵	۰/۸۰۱	۵/۸۹

رفتار هیستریزیس المان تیر، ستون و مهاربندها طبق آیین‌نامه FEMA356 [۱۱] در نظر گرفته شد. نمونه‌ای از مدل‌سازی رفتار غیرخطی مهاربندها در شکل (۷) آمده است. در تعریف رفتار غیرخطی مهاربندها، معیارهای پذیرش این اعضا شامل سه سطح عملکرد استفاده‌ی بی‌وقفه<sup>۱</sup>، ایمنی جانی<sup>۲</sup> و آستانه فروریزش<sup>۳</sup> می‌باشد.



شکل (۷): منحنی نیرو- تغییر شکل تعمیم یافته برای یک نمونه از مهاربندها.

مقادیر سختی و مقاومت مناسب میراگر هیستریزیس و ضریب میرایی مناسب میراگر ویسکوز به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$K_D=0.15XK_{in}$$

$$F_D=0.04XK_D=0.04X0.15XK_{in}$$

$$C_D=0.015XK_{in}$$

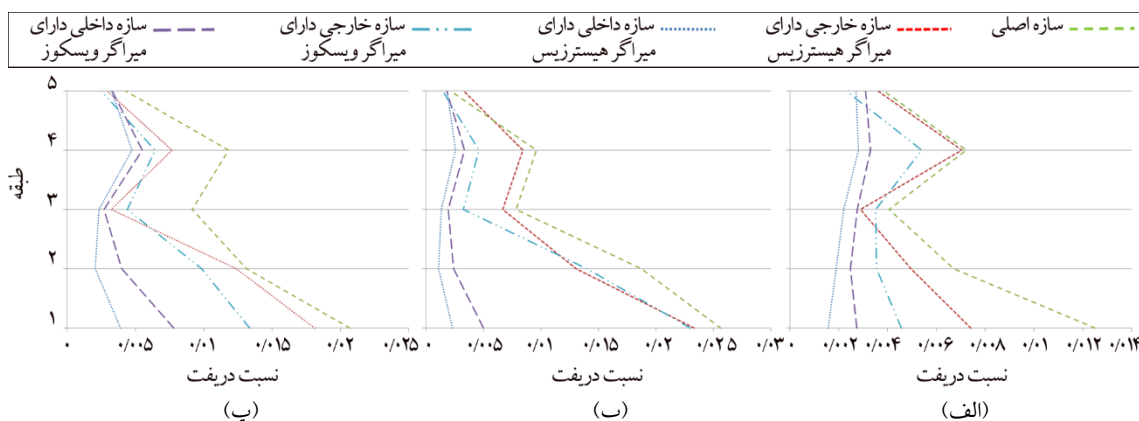
که در آن  $K_D$ ،  $F_D$ ،  $C_D$  و  $K_{in}$  به ترتیب سختی میراگر هیستریزیس، مقاومت میراگر هیستریزیس، ضریب میرایی میراگر ویسکوز و سختی طبقه آخر سازه داخلی می‌باشد. رفتار میراگر ویسکوز به صورت خطی و مقدار ضریب میرایی میراگر ویسکوز  $40 \text{ ton.s/m}$  در نظر گرفته شد. میراگر ویسکوز در طبقاتی که ماکزیمم سرعت به وجود می‌آید استفاده می‌شود به این نحو که رفتار سازه بدون میراگر تحت اثر زلزله مود اول آن حاکم است و همانند یک تیر کنسولی ارتعاش می‌کند و در طبقه آخر ماکزیمم سرعت تحت اثر زلزله به وجود می‌آید. پس از قرار دادن میراگر در طبقه آخر رفتار سازه تحت اثر زلزله مود دوم آن حاکم و همانند یک تیر یک سر گیردار و یک سر فر ارتعاش می‌کند و لذا کمی بالاتر از طبقه میانی ماکزیمم سرعت به وجود می‌آید و در نتیجه در آن طبقه هم میراگر ویسکوز استفاده می‌شود؛ بنابراین در سازه ۵ طبقه در تراز طبقه آخر، در سازه ۸ طبقه در تراز طبقه پنجم و طبقه آخر و در سازه ۱۱ طبقه در تراز طبقه هفتم و طبقه آخر میراگر ویسکوز استفاده می‌شود.

## ۶- بررسی جابه‌جایی نسبی طبقات

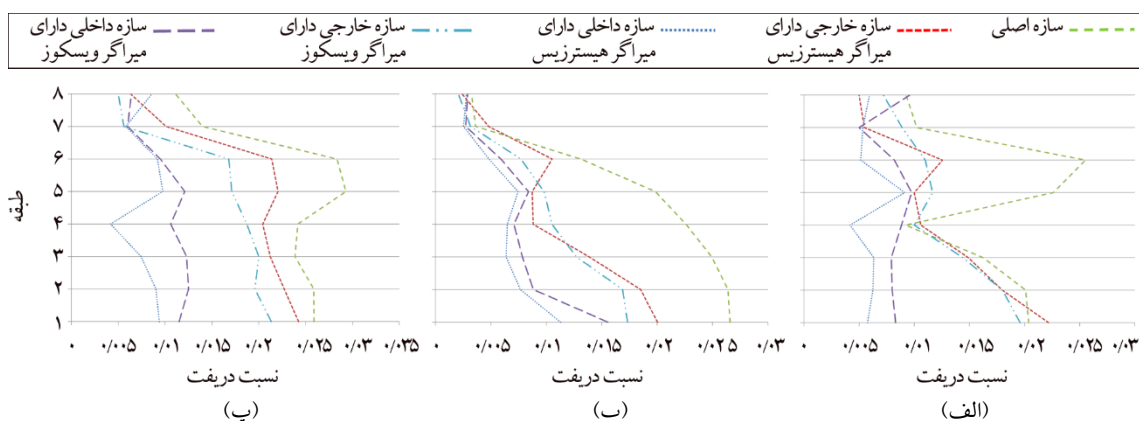
مربوط به دررفت طبقات سازه داخلی و خارجی در سه حالت

دارای میراگر هیستریزیس، میراگر ویسکوز و سازه اصلی را تحت اثر زلزله را نشان می‌دهد.

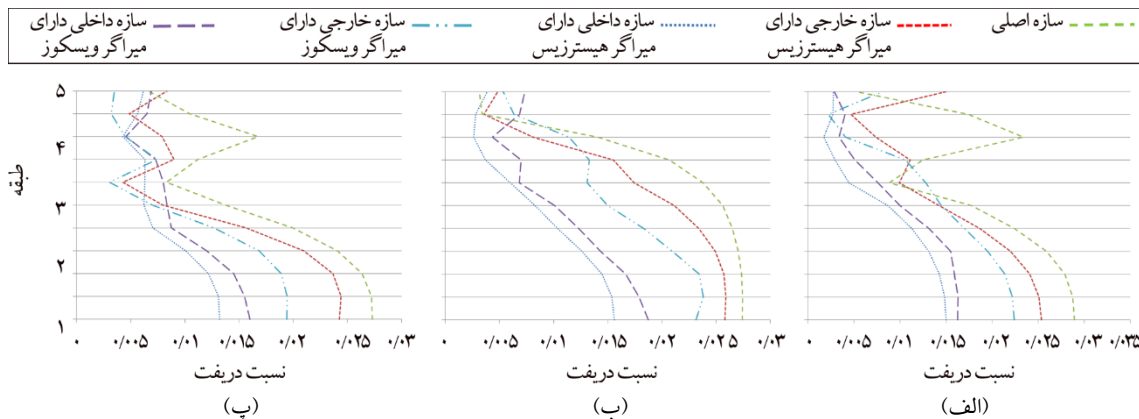
در این بخش به بررسی جابه‌جایی نسبی طبقات در سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه پرداخته می‌شود. شکل‌های (۸) تا (۱۰) نمودارهای



شکل (۸): نمودار ماکزیمم دررفت طبقات برای سازه ۵ طبقه اصلی و سازه ۵ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر هیستریزیس و میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله چی-چی، (ب) زلزله دارفیلد، (پ) زلزله سان‌فرانسیسکو.



شکل (۹): نمودار ماکزیمم دررفت طبقات برای سازه ۸ طبقه اصلی و سازه ۸ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر هیستریزیس و میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله دازس، (ب) زلزله آیویت، (پ) زلزله لندرز.



شکل (۱۰): نمودار ماکزیمم دررفت طبقات برای سازه ۱۱ طبقه اصلی و سازه ۱۱ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر هیستریزیس و میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله نورث‌ریج، (ب) زلزله چتسو، (پ) زلزله ایتالیا-سیتیار.

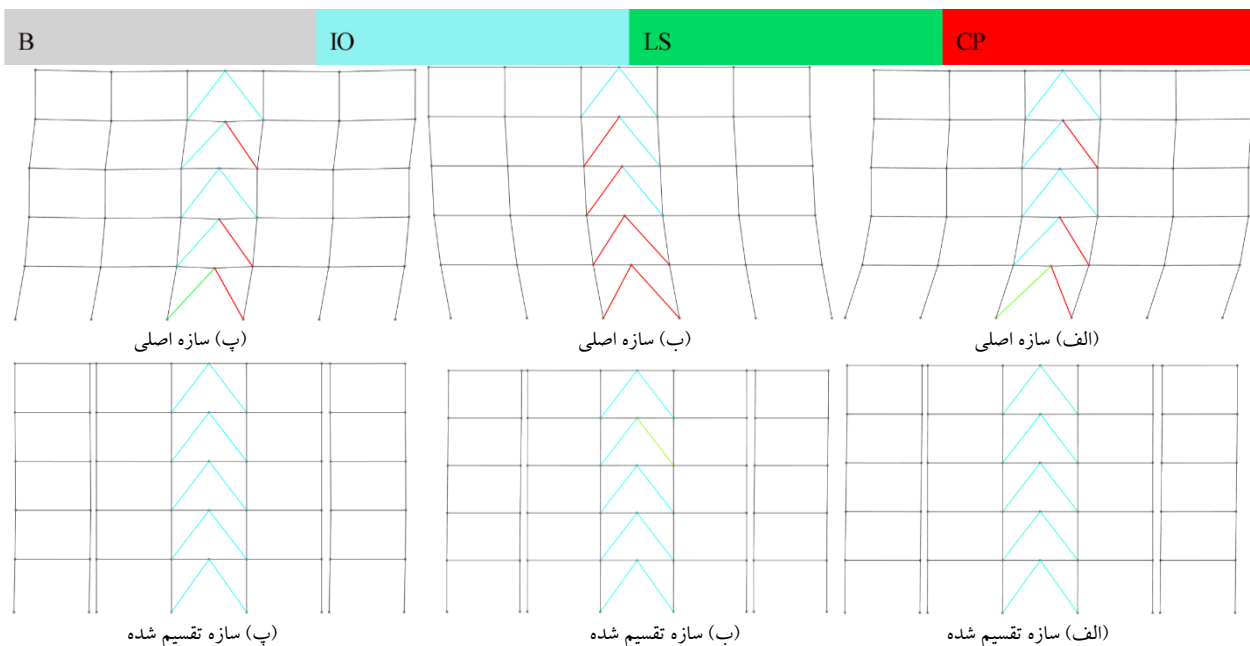


۳۰ درصد کاهش یافته است. در مقایسه بین دو حالت استفاده از میراگر هیستریزیس با سختی و مقاومت مناسب و میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب بین دو سازه داخلی و خارجی می‌توان نتیجه گرفت که در سازه دارای میراگر هیستریزیس دریافت طبقات سازه داخلی کاهش بیشتری نسبت به حالت سازه دارای میراگر ویسکوز دارد و برعکس در سازه دارای میراگر ویسکوز دریافت طبقات سازه خارجی کاهش بیشتری نسبت به حالت سازه دارای میراگر هیستریزیس دارد. علت این پدیده آن است که نیروی وارده از میراگر ویسکوز به سازه داخلی بیشتر از میراگر هیستریزیس است، در نتیجه سازه داخلی با میراگر ویسکوز تغییر شکل بیشتری نسبت به سازه داخلی با میراگر هیستریزیس می‌دهد و برعکس در سازه خارجی به علت آنکه نرم‌تر از سازه داخلی است و آن اختلاف نیرو در میراگر ویسکوز نسبت به میراگر هیستریزیس باعث افزایش مقاومت سازه خارجی می‌شود و در نتیجه سازه خارجی با میراگر ویسکوز تغییر شکل کمتری نسبت به سازه خارجی با میراگر هیستریزیس می‌کند.

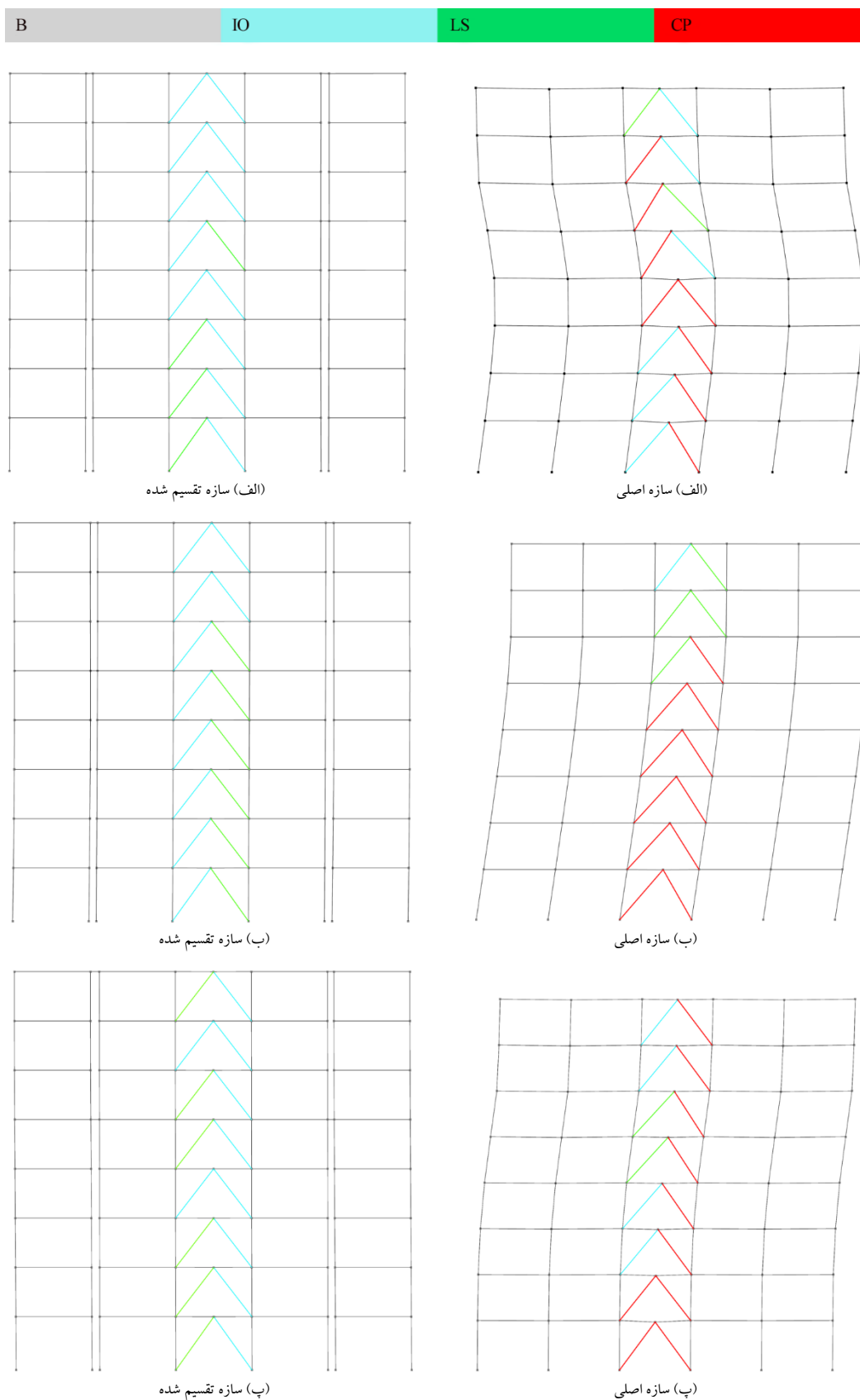
## ۷- عملکرد مفاصل پلاستیک

در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) عملکرد مفاصل پلاستیک در ساختمان‌های

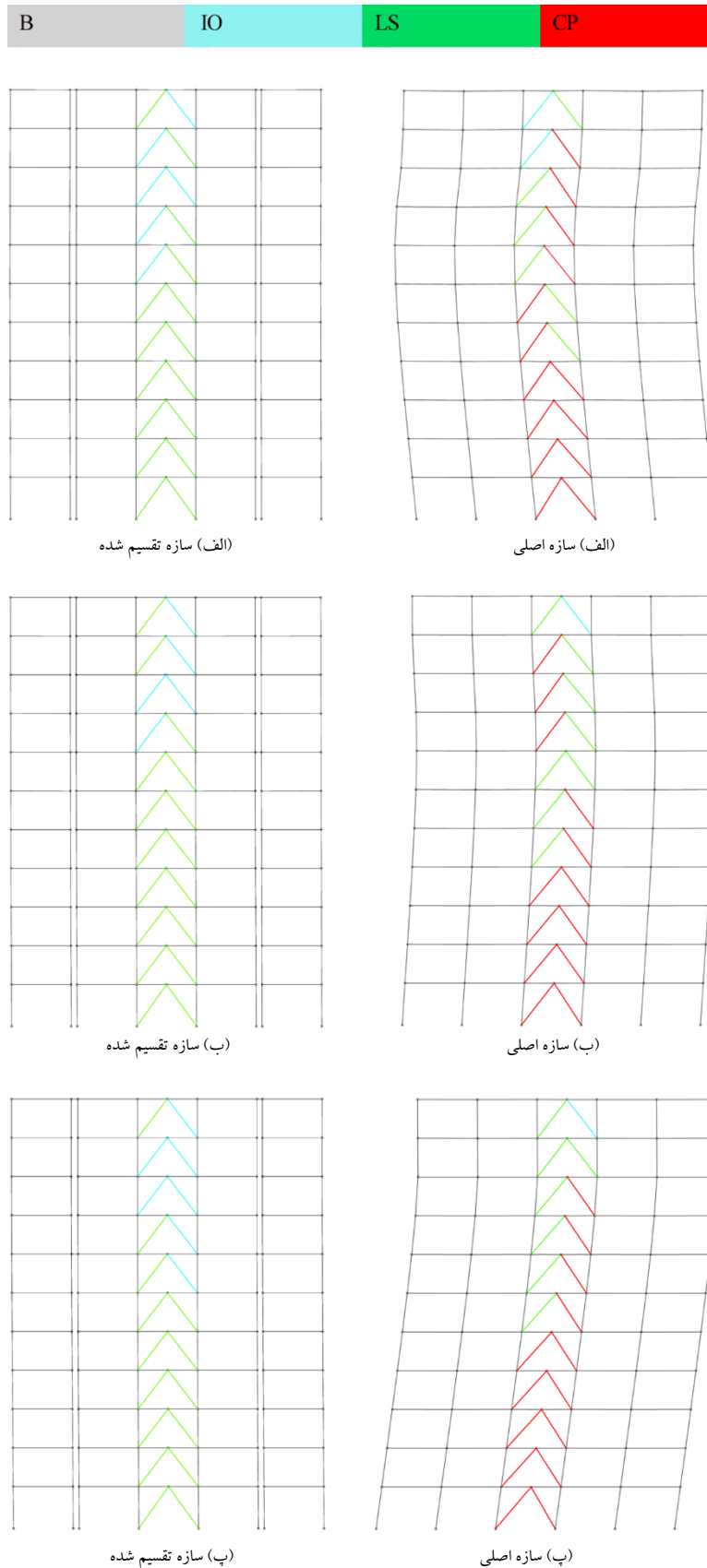
همان‌طور که از شکل‌های (۸) تا (۱۰) قابل مشاهده است در سه سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه در حالتی که بین دو سازه داخلی و خارجی میراگر هیستریزیس با سختی و مقاومت مناسب استفاده شود در طبقات ابتدایی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۶۵ درصد کاهش یافته و این مقدار برای سازه خارجی ۱۵ درصد کاهش یافته است و در طبقات میانی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۴۰ درصد کاهش یافته و این مقدار برای سازه خارجی ۲۰ درصد کاهش یافته است. همچنین در طبقات انتهایی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۲۰ درصد کاهش یافته و این مقدار برای سازه خارجی ۱۰ درصد کاهش یافته است. در حالتی که سه سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه بین دو سازه داخلی و خارجی میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب استفاده شود در طبقات ابتدایی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۵۰ درصد کاهش یافته و این مقدار برای سازه خارجی ۳۵ درصد کاهش یافته است و در طبقات میانی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۳۵ درصد کاهش یافته است. همچنین در طبقات انتهایی سازه داخلی، دریافت طبقه نسبت به سازه اصلی ۱۰ درصد کاهش یافته است و این مقدار برای سازه خارجی



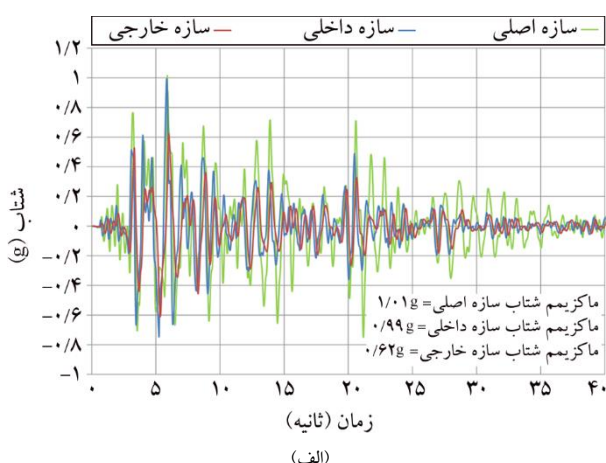
شکل (۱۱): عملکرد مفاصل‌های پلاستیک برای سازه ۵ طبقه اصلی و سازه ۵ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله چی - چی، (ب) زلزله داریلید، (پ) زلزله سان‌فرانسدو.



شکل (۱۲): عملکرد مفصل‌های پلاستیک برای سازه ۸ طبقه اصلی و سازه ۸ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله دازس، (ب) زلزله آیویت، (پ) زلزله لندرز.



شکل (۱۳): عملکرد مفصل‌های پلاستیک برای سازه ۱۱ طبقه اصلی و سازه ۱۱ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله نورث‌ریج، (ب) زلزله ایتالیا - سیسیل، (پ) زلزله چتسو.

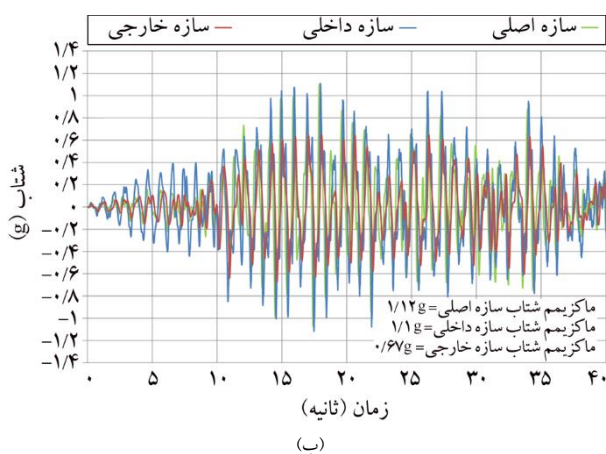


۵، ۸ و ۱۱ طبقه سازه اصلی و سازه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب را نشان می‌دهد.

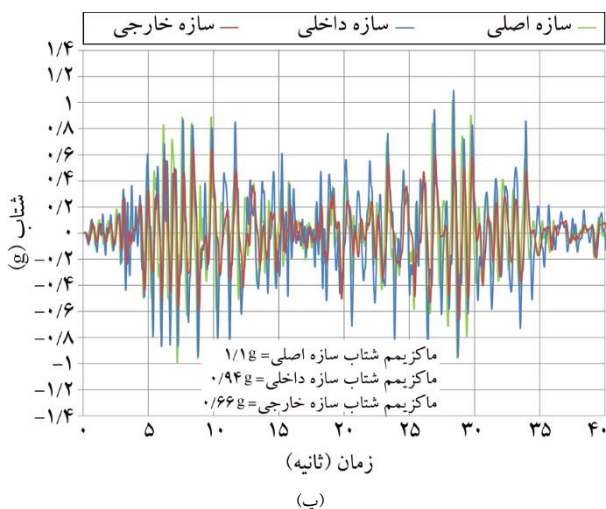
همان‌طور که از شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) مشخص است، عملکرد مفصل‌های پلاستیک در سازه‌های تقسیم شده دارای میراگر ویسکوز با ضریب مناسب در محدوده ایمنی جانی و قابلیت استفاده بی‌وقفه IO و LS می‌باشد در حالی که عملکرد مفصل‌های پلاستیک در سازه اصلی در محدوده آستانه فروریزش CP می‌باشد.

### ۸- بررسی شتاب طبقه آخر

با توجه به اینکه اجزای غیر سازه‌ای ساختمان به شتاب حساس هستند، در این بخش شتاب طبقه آخر سازه نیز به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار قبل و بعد از افزودن میراگر ویسکوز مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌طور نمونه شکل (۱۴) تاریخچه زمانی شتاب طبقه آخر سازه ۸ طبقه اصلی و سازه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب را نشان می‌دهد.



همان‌طور که از شکل (۱۴) مشخص است شتاب در طبقه آخر سازه داخلی نسبت به سازه اصلی کاهش اندکی دارد ولی شتاب در طبقه آخر سازه خارجی نسبت به سازه اصلی ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است، در نتیجه می‌توان اجزای غیر سازه‌ای که به شتاب حساس هستند در سازه خارجی استفاده نمود.



### ۹- نتیجه گیری

در این تحقیق سه ساختمان فولادی مهاربندی شده ۵، ۸ و ۱۱ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگرهای ویسکوز با ضریب میرایی مناسب و میراگرهای هیستریزس با سختی و مقاومت مناسب بین دو بخش و سازه اصلی تحت اثر چندین زلزله مورد تحلیل قرار گرفتند و نتایج به شرح ذیل به دست آمد:

شکل (۱۴): تاریخچه زمانی شتاب طبقه آخر سازه ۸ طبقه اصلی و سازه ۸ طبقه تقسیم شده به دو بخش داخلی و خارجی دارای میراگر ویسکوز تحت اثر: (الف) زلزله دازس، (ب) زلزله آیوبت، (پ) زلزله لندرز.

۱- ضریب میرایی مناسب برای میراگر ویسکوز با توجه به تحلیل‌های انجام شده  $C_D=0.015 \times \text{Kin}5$  (۰/۱۵) برابر سختی طبقه آخر سازه داخلی می‌باشد) حاصل شد.

- 361-370.
3. Wijaya, M. and Yamao, T. (2013) Seismic performance investigation of the folded cantilever shear structure. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 145-153.
  4. Abdelraheem Farghaly, A. (2014) Optimization of viscous dampers with the influence of soil structure interaction on response of two adjacent buildings under seismic load. *IOSR Journal of Engineering*, 18-27.
  5. Annapurna, V., Vankudre, S. (2014) Vibration Control of Adjacent Buildings Connected with Selected Types of Dampers, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1431-1436.
  6. Jamshidi, J. and Hosseini, M. (2015) Dividing the building structure into two parts with dynamic interaction. *2<sup>nd</sup> International Conference on Earthquake Resistant City*, 352-360.
  7. Bougteb, Y. and Ray, T. (2018) Choice between series and parallel connections of hysteretic system and viscous damper for seismic protection of structures. *Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 352-360.
  8. Taheri, A., Hosseini, M., and Moghadam, A.S. (2018) Creation of innovative earthquake resistant steel buildings by dividing the structure into inner and outer parts having interaction by hysteretic dampers. *JVE International Ltd. Journal of Vibroengineering*, 477-493.
  9. Taheri, A. (2017) *Dividing the Building's Skeleton into Two Inner and Outer Interactive Parts and Using Yielding Dampers between them for Seismic Response Reduction*. Ph.D. Dissertation submitted to Dept. of Civil Eng., Arak Branch of the Islamic Azad University, Arak, Iran.
  10. Iranian Code Of Practice For Seismic Resistant Design Of Buildings (2015) *Standard No. 2800 4<sup>th</sup> Edition*.
  11. Federal Emergency Management Agency (2006) *Pre-standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356*.
  12. American Building Society of Civil Engineers (2010) *Minimum Design Loads for Buildings and*
- ۲- محل میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب  $C_D=0.015 \times K_{in5}$  در ساختمان‌های ۵، ۸ و ۱۱ طبقه در طبقاتی که حداکثر سرعت نسبت به سایر طبقات رخ می‌دهد قرار می‌گیرد، به نحوی که در سازه ۵ طبقه در تراز طبقه پنجم، در سازه ۸ طبقه در تراز طبقه پنجم و طبقه آخر و در سازه ۱۱ طبقه در تراز طبقه هفتم و طبقه آخر استفاده شده است.
  - ۳- با قرارگیری میراگر هیستریزیس با سختی و مقاومت مناسب بین دو سازه داخلی و خارجی ماکزیمم دررفت طبقه برای سازه خارجی تقریباً ۲۰ درصد و سازه داخلی تقریباً ۶۵ درصد نسبت به سازه اصلی کاهش می‌یابد.
  - ۴- در حالت استفاده از میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب بین دو سازه داخلی و خارجی ماکزیمم دررفت طبقه برای سازه خارجی تقریباً ۳۵ درصد و سازه داخلی تقریباً ۵۵ درصد نسبت به سازه اصلی کاهش می‌یابد.
  - ۵- مفصل‌های پلاستیک در سازه اصلی در آستانه فروریزش CP می‌باشد درحالی که در سازه تقسیم شده دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب در محدوده آستانه ایمنی جانی و قابلیت استفاده بی‌وقفه IO و LS می‌باشد.
  - ۶- شتاب در طبقه آخر سازه داخلی دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب نسبت به سازه اصلی کاهش اندکی دارد درحالی که شتاب در طبقه آخر سازه خارجی دارای میراگر ویسکوز با ضریب میرایی مناسب نسبت به سازه اصلی ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

## مراجع

1. Ziyaiefar, M. (2006) Vertical seismic isolation method in steel structures against earthquake. *6<sup>th</sup> International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, 1611-1620.
2. Hejazi, F. and Dalili, M. (2010) Coupling parallel buildings by supplemental viscous damper device. *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*,

*Other Structures.*

13. ATC-40, Applied Technology Council (1998)  
*California Seismic Safety Commission.*

**واژه‌نامه**

Immediate occupancy (IO)	۱- استفاده‌ی بی‌وقفه
Life safety (LS)	۲- ایمنی جانبی
Collapse Prevention (CP)	۳- آستانه فروریزش



## Comparison of Viscous and Hysteresis Dampers in Reducing the Seismic Vulnerability of Resistant Steel Buildings Based on the Division of the Building's Structure into Inner and Outer Parts Having Dynamic Interaction

Abbas Taheri<sup>1</sup>, Mahmoud Hosseini<sup>2\*</sup>, and Abdolreza S. Moghadam<sup>3</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
2. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, \*Corresponding Author, email: hosseini@iiees.ac.ir
3. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

In order to avoid the adverse consequences of building design based on the conventional regulations, such as the necessity of evacuation of thousands of heavily-damaged buildings and their demolition and reconstruction, the design of the structure in such a way to be repairable even after a major earthquake is a desired alternative design method. In this regard, the authors of the paper recently proposed dividing the building's structure into two parts, inner and outer, with different periods, and using hysteresis dampers with suitable properties between them for energy dissipation. In the present study, the use of viscous dampers between the two parts of the structure for energy dissipation has been studied and the optimal locations and damping coefficient of the dampers have been determined. For this purpose, first, by dividing a 5-storey building into two sections and by using viscous dampers at the roof level, formulating the equations of motion and coding them in MATLAB platform, the appropriate damping coefficient of the viscous dampers was obtained. The results showed that by choosing the proper damping values, the system could absorb high amount of energy and significantly reduce the drift of the building stories. Then, three 5-, 8- and 11-story steel braced-frames buildings were designed using ETABS software and were divided into inner and outer parts, and modeled for seismic response analyses in PERFORM-3D software. Based on these analyses, performances of viscous dampers with appropriate damping coefficient and hysteresis dampers with appropriate stiffness and strength were compared. Results show that when viscous dampers with appropriate damping coefficient are used, the maximum story drift will be reduced by approximately 35% in the outer structure and approximately 50% in the inner structure relative to the integrated original structure. However, if the hysteresis dampers are used with the proper stiffness and strength, the maximum story drift relative to the integrated original structure will be reduced by approximately 20% in the outer structure and 65% in the inner structure.

**Keywords:** Directed Damage, Hysteretic and Viscous Dampers, Nonlinear Dynamic Analysis, MATLAB, PERFORM-3D.