



ارزیابی تغییر چیدمان میراگرهای ویسکوز در سازه بلندمرتبه فولادی تحت زلزله های نزدیک و دور از گسل

وحید صابری^{۱*}، حمید صابری^۱، حامد بیات سرمدی^۲، عباسعلی صادقی^۳

^{۱*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیر انتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران (saberi.vahid@gmail.com)

^۲ کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیر انتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴)

چکیده

در این تحقیق، تأثیر چیدمان میراگرهای ویسکوز در ارتفاع بر کنترل رفتار لرزه‌ای سازه‌های قاب خمشی فولادی با ارتفاع بلند توسط تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سازه‌ای با تعداد طبقات ۱۵ طبقه با سیستم قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری ویژه انتخاب شد و پاسخ لرزه‌ای آن شامل تغییرمکان نسبی طبقات و برش پایه تحت دو مجموعه‌ی ۳ تایی از رکوردهای دور و نزدیک به گسل مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام بعدی میراگرهای ویسکوز با چیدمان‌های مختلف در طبقات این سازه قرار داده شده و تأثیر محل قرارگیری آنها بر تغییر پاسخ لرزه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. برای تعیین پاسخ لرزه‌ای از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مشخص می‌شود که افزودن میراگرهای ویسکوز در طبقات سازه باعث کاهش پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات و همزمان افزایش پاسخ برش پایه می‌شود. بر اساس همین نتایج، الگوی قرارگیری میراگرها در یک سوم بالایی سازه یا به صورت یکنواخت دو طبقه در میان نسبت به وضعیتی که میراگرها در یک سوم میانی یا تحتانی قرار بگیرند به مراتب نتایج بهتری را به لحاظ کنترل تغییرمکان نسبی طبقات و نیز کنترل افزایش برش پایه در سازه ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که افزودن میراگرها در تمامی طبقات نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که افزودن میراگرها در تمامی طبقات هر چند در مقایسه با الگوهای یک سوم طبقات باعث کاهش بیشتر تغییرمکان نسبی در طبقات سازه می‌شود اما در عین حال برش پایه سازه را تا ۴۰ درصد افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی

میراگر ویسکوز، کنترل لرزه‌ای، چیدمان میراگر، قاب خمشی فولادی، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی.



Investigation the Arrangement Variation of Viscous Dampers in Tall Steel Structure under Near and Far-Field Earthquakes

Vahid Saberi ^{1*}, Hamid Saberi ¹, Hamed Bayat-Sarmadi ², Abbasali Sadeghi ³

^{1*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran
(saberi.vahid@gmail.com).

² M.Sc., Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran

³ Ph.D. Candidate, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

(Date of received: 25/12/2020, Date of accepted: 03/04/2021)

ABSTRACT

This study focuses on the effect of viscos dampers arrangement over the height on the control of seismic behavior of tall steel moment-resisting frame structures by considering nonlinear dynamic analyses. To this end, 2D steel moment-resisting frame with 15-story is selected as sample structure with special ductility. The seismic demand parameters (i.e. inter-story drift ratio and base shear) of the sample frame is evaluated under two sets of near and far fault ground motions, each of which including 3 records. In next step, the sample structure is retrofitted by viscous dampers in different arrangements over the height and the effect of each arrangement on the seismic response of the sample structure is studied. The nonlinear dynamic time history analysis is utilized to derive the seismic responses of the case study structure. The results of the study demonstrate that the application of dampers leads to reduction of inter-story drift response and increase in base shear demand. Also, it was found that the arrangement of the dampers in top one-third height of the structure or uniform distribution of the dampers over the height gives more efficient result than other arrangement patterns, in terms of inter-story and base-shear demand control. Finally, it is observed that the insertion of dampers in all of the stories, although reduces the drift demand more than other patterns, but increases the base shear demand by up to 40%.

Keywords:

Viscous Damper, Seismic Control, Damper Arrangement, Steel Moment-Resisting Frame, Nonlinear Dynamic Time History Analysis.



۱- مقدمه

زلزله یکی از پدیده های طبیعی است که به شکل پیوسته و مستمر در حال لرزاندن بخش های مختلف زمین است. دستگاه های لرزه نگاری نشان می دهند که هرگز ارتعاشات زمین متوقف نشده است و امری عادی و روزمره است. اما این پدیده گاهی ممکن است با انرژی بیشتری نسبت به حالت معمول رخ دهد. زمانی که زمین لرزه ها دارای انرژی کافی برای تولید ارتعاشاتی باشند که بتواند آثار مخرب بر سازه ها داشته باشند، این امر عادی می تواند تبدیل به یک فاجعه شود. مطالعات پیشین نشان داده است که اگر حداکثر شتاب زمین از مقدار پنج صدم شتاب گرانش تجاوز کند می توان انتظار داشت که تأثیرات مخربی بر سازه ها داشته باشند. از جمله مواردی که در سالیان گذشته باعث ایجاد آسیب های سازه ای و تلفات جانی شده اند می توان به زلزله های نورتریج در سال ۱۹۹۴، زلزله کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ و نیز زلزله چی چی تایوان در سال ۱۹۹۹ اشاره نمود. در کشور ما نیز زلزله های منجیل و بم در دهه های اخیر باعث تلفات جانی عمده شده اند. البته با پیشرفت علم مهندسی سازه و زلزله میزان تخریب های سازه ای ناشی از بارهای زلزله در سطح جهان به سرعت رو به کاهش بوده است و این امر مهم مدیون پیشرفت های شگرفی است که در حوزه مهندسی سازه و زلزله پدیدار گشته است. در سالیان گذشته ضوابط مربوط به طراحی سازه ها در برابر بارهای زلزله به بلوغ نسبی رسیده اند، کنترل کیفیت مصالح و کیفیت ساخت با استانداردهای مشخصی انجام می شوند و از طرف دیگر با پیشرفت علوم کامپیوتری دقت محاسبات سازه نیز افزایش یافته است. با این پیشرفت عظیم در علم مهندسی ساختمان به نظر می رسد استفاده از ابزارهای جدید برای کنترل ارتعاشات ناشی از زلزله در ساختمان ها به تدریج به امری معمول تبدیل شود. موضوعی که در کشورهای پیشرفته تا حدی محقق شده است اما در کشورهای در حال توسعه همچنان مغفول باقی مانده است. میراگرهای مستهلک کننده انرژی زلزله یکی از ابزارهای کارآمد جهت کنترل ارتعاشات سازه هستند. این ابزارها با مکانیسم های مختلف باعث استهلاک انرژی زلزله می شوند و لذا میزان نیاز لرزه ای و آسیب های ناشی از آن را در اجزای سازه ای تقلیل می دهند. هرچند کاربرد این نوع از ابزارها می تواند باعث افزایش هزینه تمام شده در ساخت سازه شود، اما حداقل در رابطه با سازه هایی که دارای اهمیت زیادی هستند می توانند باعث افزایش ایمنی در مقابل بارهای زلزله شوند. با توجه به هزینه های زیادی که متوجه استفاده از میراگرها در سازه های ساختمانی می باشد، لزوم انتخاب نوع میراگر و تعداد و محل قرارگیری آن در بخش های مختلف سازه به نحوی که بتوان با کمترین هزینه به هدف تعیین شده دست یافت، امری ضروری است. موضوعی که در این پژوهش به آن پرداخته می شود تأثیر الگوی قرارگیری میراگرهای ویسکوز در ارتفاع سازه های قاب خمشی بر میزان کارایی آنها در جهت کاهش آسیب پذیری سازه می باشد [۱-۳]. ارزیابی محل بهینه قرارگیری میراگرهای ویسکوز در سازه بلندمرتبه بر اساس زلزله های نزدیک و دور از گسل از نوآوری های این پژوهش قلمداد می شود. در این زمینه می توان به در نظر گرفتن سازه بلند مرتبه در این تحقیق که اخیراً در شهرهای بزرگ اجرای آنها رایج می باشد، اشاره کرد. مطالعه ای کنترل سازه بلند مرتبه و ارزیابی چیدمان بهینه ی میراگرها کمتر مورد توجه بوده است. همچنین با توجه به مخرب بودن رخ داد زلزله های نزدیک گسل و اهمیت مولفه پالسی این زلزله ها، در این تحقیق مولفه های عمودی زلزله ها (به ویژه زلزله های نزدیک گسل) در تحلیل ها اعمال می شود.

۲- سوابق مطالعاتی

در زمینه ی مطالعات مرتبط با کنترل رفتار لرزه ای سازه ها توسط میراگرهای ویسکوز، پژوهش های متعددی انجام شده است که در ادامه به بررسی آنها پرداخته خواهد شد. ایده ی مجهز نمودن سازه به میراگرهای کنترل غیرفعال به منظور جذب مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه از زلزله، اولین بار توسط کلی و همکاران در سال ۱۹۷۲ [۴] ارائه شد. کنستانتینو و همکاران [۵] در دانشگاه بوفالو تحقیقات تئوریک و عملی را برای استفاده کاربردی میراگرهای ویسکوز در ساختمانها انجام دادند و برای استفاده عملی از آنها



روابطی را بنا کردند. در سال ۱۹۹۷ انواع مختلف میراگر از جمله میراگرهای ویسکوالاستیک، میراگرهای ویسکوز و میراگرهای تسلیمی و میراگرهای اصطکاکی توسط کنستانتینو مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیقات میراگر ویسکوز بر روی سازه‌های با سختی بالا آزمایش شد [۶]. در سال ۲۰۰۴ آیین نامه جداسازی لرزه‌ای در ژاپن به نام *JSSI* منتشر شدو در این آیین نامه نحوه مقاوم سازی سازه‌ها با میراگر ویسکوز بررسی گردید [۷]. لی و همکاران در سال ۲۰۰۲ [۸] با ارائه تحلیل لرزه ای ساختمانهای مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک، توانایی موثر این میراگرها در کاهش ارتعاشات جانبی سازه‌ها تحت زلزله های مختلف را نشان دادند. مین و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۹] با ارائه روند طراحی میراگرهای ویسکوالاستیکو بررسی نتایج آزمایشگاهی، یک ساختمان فولادی ۵ طبقه یک دهانه با میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات ۱ و ۲ در نظر گرفتند. مشخصات مکانیکی میراگرها تحت تحریک هارمونیک و نیز ظرفیت میراگرهای ویسکوالاستیک برای ایجاد نسبت میرایی لازم را بدست آوردند و کاهش پاسخ دینامیکی به طور مطلوب را نشان دادند. ژو و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۱۰] با بررسی پارامترها و موقعیت بهینه میراگرهای ویسکوالاستیک، پاسخ خوبی را برای ساختمان بتنی با میراگرهای ویسکوالاستیک روی میز لرزه نشان دادند. با شناخته شدن برخی خصوصیات زلزله های حوزه نزدیک در سال ۱۹۵۷، مهمترین مطالعات صورت گرفته در آن زمان را هادسون و هوسنر انجام دادند. هوسنر و هادسون [۱۱] دریافتند که زلزله های حوزه نزدیک شامل پالس های بحرانی انرژی هستند. هرچند ممکن است این زلزله ها دارای بزرگای کوچکی از نظر ریشتر و یا دامنه کوچکی باشند ولی دارای پتانسیل تخریبی بالایی می باشند. همچنین پالسهای سرعت که ناشی از لغزش سریع گسل می باشند، برای اولین بار توسط بولت با مطالعه حرکات ثبت شده زلزله سانفرانندو شناخته شد. در مجموع این زلزله ها دارای ویژگیهایی چون تاریخچه زمانی پالس مانند با پالس های پیوود بلند، نسبت بزرگ و گاهی سرعت حداکثر به شتاب حداکثر زمین تغییرشکل‌های دائمی بزرگ در زمین می باشند [۱۲ و ۱۳]. در سال ۲۰۱۵ برمن و برونی [۱۴] با بررسی آزمایشگاهی قاب های مهاربندی برون محور به صورت مفصل در برابر زلزله های نزدیک گسل و دور گسل پرداختند به این صورت که با بررسی آزمایشگاهی مدل ها، رفتار غیرخطی را استخراج کردند و سپس این رفتار بدست آمده از آزمایش را در نرم افزار در مقابل لرزه های نزدیک و دور از گسل قرار دادند. بنازاده و قبری در سال ۲۰۱۷ [۱۵] در زمینه ارزیابی سطح لرزه ای قابهای خمشی فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز مایع خطی و غیر خطی و با درصد میرائی های مشابه مطالعه کرد. چن و پنگ در سال ۲۰۱۷ [۱۶] مطالعه ی احتمالاتی در زمینهی کاهش ارتعاشات ناشی از باد توسط میراگرهای ویسکوز انجام داد. پارسیانلو و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۱۷] در زمینهی طرح بهینهی میراگرهای ویسکوز غیرخطی قابهای فولادی مطالعه نمودند. خیرالدین و جعفری در سال ۲۰۱۹ [۱۸] یک مدل سازه ای بتنی ۵ طبقه با سیستم قاب خمشی، با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی نمودند و تحت ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مورد ارزیابی قرار دادند و سطح عملکرد آن را بر مبنای دستورالعمل بهسازی لرزه ای محاسبه نمودند. با توجه به نتایج، ساختمان ضعیف بوده و با شش روش مقاوم سازی می شود. روش های مقاوم سازی عبارتند از: استفاده از دیوار برشی بتنی، مهاربند هم محور فولادی، میانقاب بنایی مسلح، مهاربند فولادی کمانش تاب، میراگر ویسکوز و میراگر جرمی. طبق نتایج در مدل های مقاوم سازی شده تغییر مکان بام کاهش یافته و سطح عملکرد به ایمنی جانی رسیده است. محمدیان آبی در سال ۲۰۲۰ [۱۹] دو قاب ۴، ۸ طبقه با سیستم خمشی بتنی متوسط انتخاب کردند. جهت ایجاد رفتار نامتقارن سازه سمت چپ همواره با ۲ دهانه و سازه سمت راست با تعداد دهانه‌های ۳ و ۴ و ۵ مدل شد. مدل‌ها با توجه به آیین‌نامه‌های موجود طراحی گردید. کلیه مدل‌ها یکبار با درز انقطاع و بار دیگر با میراگر ویسکوز در وسط درز انقطاع مدل شد. سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی با هفت شتاب‌نگاشت بر روی تمامی سازه‌ها صورت گرفت و نتایج بدست آمده از این تحلیل با هم مقایسه گردید. در نهایت مشخص شد که وجود میراگر باعث کاهش پاسخ‌هایی همچون جابجایی و تغییر مکان نسبی طبقات می‌شود. صابری و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۲۰] قاب‌هایی با مهاربند شورون و تعداد طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ مدلسازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی نمودند و میرایی به وسیله‌ی سیستم کنترلی میراگر



ویسکوز به سازه‌ها، اعمال گردیده است. با بررسی نتایج مشاهده می‌گردد که میرایی باعث کاهش مقدار پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها می‌گردد اما رابطه افزایش میرایی و کاهش پاسخ‌ها خطی نیست. اما در حالت کلی مقدار میرایی باعث کاهش مقدار جابجایی، تغییر مکان نسبی، برش پایه و افزایش سطح عملکرد سازه‌ها می‌گردد. بیشترین مقدار کاهش نیروی داخلی برای میرایی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب برابر ۳۵، ۳۹ و ۴۳ درصد بوده است. همچنین بیشترین مقدار کاهش برش پایه برای میرایی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب برابر ۵۵، ۵۹ و ۶۴ درصد بوده است.

۳- روش تحقیق

برای انجام این مطالعه، قاب خمشی ۱۵ طبقه دو بعدی با شکل‌پذیری ویژه انتخاب شد. ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر و عرض دهانه ۶ متر در نظر گرفته شده است. بار گسترده مرده و زنده روی تیرها به ترتیب برابر ۳ تن بر متر و ۱/۲ تن بر متر برای تمامی طبقات لحاظ شده است. در طراحی قاب مذکور فرض شده است که مقدار شتاب مبنای طرح برابر $A=0.25g$ باشد. برای طراحی از روش ضرایب جزئی بار و مقاومت (*LRFD*) بهره گرفته شده است. طراحی در نرم‌افزار *ETABS* [۲۱] صورت گرفته است. فرض بر آن است که سازه روی خاک تپ ۳ قرار گرفته است. برای مصالح فولادی در تیرها، ستون‌ها و نیز المان‌های مهاربندی که بعداً جهت مقاوم سازی سازه استفاده خواهد شد از فولاد نوع *ST37* با تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۲۱۰ گیگاپاسکال استفاده شده است. برای جرم لرزه‌ای نیز ۱۰۰ درصد بار مرده به علاوه ۲۰ درصد بار زنده به عنوان جرم لرزه‌ای به نرم‌افزار معرفی شده است. در طراحی سازه ضوابط مقررات ملی ساختمان مباحث ششم و دهم مورد استفاده قرار گرفته است [۲۲ و ۲۳] و همچنین ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۲۴] مبنای طراحی لرزه‌ای قرار گرفته است. طراحی سازه نمونه بر مبنای کنترل نسبت تنش در اعضا و نیز کنترل تغییر مکان جانبی طبقات صورت گرفته است که معیار دوم حاکم بر طراحی سازه بوده است. در طراحی سازه قاب خمشی فولادی ویژه باید کنترل‌های ویژه‌ای انجام شود که از جمله آن‌ها می‌توان به طراحی پلاستیک اتصالات و چشمه اتصال، استفاده از مقاطع فشرده لرزه‌ای، رعایت قاعده‌ی ستون قوی-تیر ضعیف، در کنار کنترل تنش در تیرها و ستون‌ها و کنترل تغییر مکان نسبی طبقات اشاره نمود. در تحلیل‌های ارتجاعی برای طراحی سازه اثرات غیرخطی هندسی نیز لحاظ گردیده و ترکیب بار مرده به علاوه زنده جهت فعال شدن اثر پی-دلتا در نظر گرفته شده است. در طراحی تیرها از مقاطع استاندارد *IPE* و تیورق استفاده شده است و برای ستون‌ها نیز از مقطع قوطی استفاده شده است. تمامی مقاطع شرایط فشرده‌گی لرزه‌ای را تأمین می‌کنند و فرض بر آن است که دارای مهار جانبی کافی جهت جلوگیری از کمانش موضعی را دارا هستند. مقاطع به کار رفته برای قاب مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مقاطع طراحی برای قاب‌های نمونه.

قاب نمونه	طبقه	ستون‌های گوشه	ستون‌های میانی	تیرها
۱۵ طبقه	1-3	Box 360x360x28	Box 400x400x30	IPE 550
	4-6	Box 320x320x25	Box 360x360x28	IPE 550
	7-10	Box 280x280x20	Box 340x340x25	IPE 550
	11	Box 260x260x2	Box 340x340x25	IPE 500
	12-13	Box 240x240x20	Box 320x320x20	IPE 450
	14-15	Box 220x220x14/5	Box 240x240x16	IPE 360



به منظور انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، از مدل‌های دوبعدی استفاده شده است که در محیط نرم‌افزار *SeismoStruct* [۲۵] تهیه شده‌اند. در مدل غیرخطی سازه نمونه، رفتار چرخه‌ای مصالح فولادی به صورت دوخطی ارتجاعی-خمیری با سخت شدگی کرنشی ۳ درصد تعریف شده است. سطح مقطع المان‌ها نیز برای حصول دقت کافی به ۱۰۰ فیبر که در امتداد طول عضو گسترش می‌یابند، تقسیم‌بندی شده است. تحلیل‌ها در فضای دوبعدی انجام شده و از اثرات پیچش در المان‌ها صرف‌نظر شده است. کف‌های سازه‌ای به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده‌اند. شرایط تکیه‌گاهی در تمامی موارد به صورت گیردار بوده و از اثرات اندرکنش خاک-سازه صرف‌نظر شده است. در شکل (۱) نمایی از قاب ۱۵ طبقه در محیط نرم‌افزار *SeismoStruct* نمایش داده شده است.



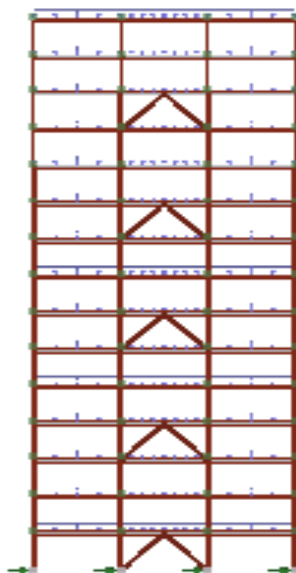
شکل ۱: مدل قاب مورد مطالعه.

۳-۱- الگوی قرارگیری میراگرها در ارتفاع

تأثیر میراگرها بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بستگی زیادی به مشخصات میراگر و نیز نحوه قرارگیری آن در سازه دارد. موضوعی که تمرکز این مطالعه بر آن است ارزیابی تأثیر الگوی قرارگیری میراگرهای ویسکوز در طبقات سازه به منظور تعیین الگوی بهینه توزیع آنها در طبقات سازه‌های قاب خمشی فولادی به منظور کمینه نمودن پاسخ لرزه‌ای است. برای مقاوم‌سازی سازه با استفاده از میراگرهای ویسکوز روشهای مختلفی وجود دارد که یکی از روشهای معمول استفاده از مهاربند و میراگر ویسکوز به طور همزمان است. برای این منظور باید مقدار نسبت میرایی معادل که استفاده از میراگر به سیستم اضافه می‌کند برآورد شود. البته مقدار میرایی اضافه شده به سیستم نیز نباید از حد مشخصی افزایش یابد، زیرا در این صورت می‌توان انتظار داشت که میراگرهای بسیار قوی در سیستم تعبیه شده‌اند که المان‌های سازه‌ای برای انتقال نیروی آنها باید مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرند. بر اساس ضوابط برخی از استانداردهای معتبر حداکثر نسبت میرایی که می‌تواند به سیستم اضافه شود به ۲۵ درصد محدود می‌شود. دهانه میانی قاب نمونه برای تعبیه میراگرهای ویسکوز در طبقات قاب نمونه انتخاب گردیده است. برای این منظور میراگرهای ویسکوز از طریق مهاربندهای شورون به قاب خمشی متصل می‌شوند. مقطع مهاربندهای مورد استفاده از نوع قوطی و به ابعاد $45*5*3$ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



برای ارزیابی تأثیر الگوی قرارگیری میراگرها در طبقات سازه نمونه از ۵ الگوی مختلف استفاده شده است، در الگوهای ۱، ۲ و ۳ میراگرها به ترتیب در طبقات واقع در یک سوم پایینی، یک سوم میانی و یک سوم فوقانی قرار می‌گیرند. در الگوی چهارم در هر سه طبقه از سازه فقط در طبقه ابتدایی میراگر تعبیه می‌شود (دو طبقه در میان) که برای قاب ۱۵ طبقه به معنای آن است که در طبقات ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۳ میراگر قرار داده می‌شود. در الگوی ۵ نیز میراگرها به صورتی در سازه قرار می‌گیرند که دو طبقه مجاور دارای میراگر هستند و پس از چندین طبقه بدون میراگر مجدداً دو طبقه کنار هم و الی آخر که برای قاب ۱۵ طبقه به ترتیب در طبقات ۱ و ۲ و ۷ و ۸ و ۱۳ قرار می‌گیرند. به طور نمونه در شکل (۲) الگوی ۴ برای چیدمان میراگرها در قاب ۱۵ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۲: الگوی چهارم چیدمان میراگرهای ویسکوز در قاب ۱۵ طبقه.

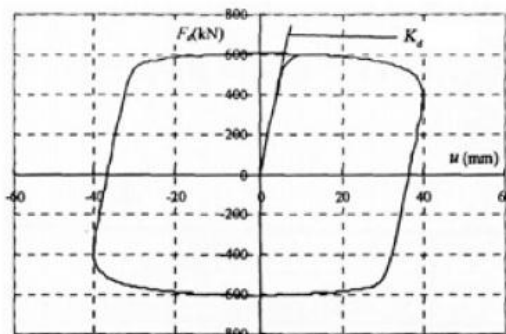
۲-۳- تعیین ظرفیت میراگرهای ویسکوز

در این تحقیق، برای تعیین ظرفیت نیرویی میراگرها در طبقات مختلف سازه از یک فرآیند سعی و خطا استفاده شد که ظرفیت نیرویی میراگرها در طبقات مختلف طوری انتخاب شود که اهداف مورد انتظار از عملکرد سازه که کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی تغییرمکان نسبی طبقات تعیین شده است محقق گردد. بدیهی است که با افزایش ارتفاع هر چه به سمت طبقات بالایی نزدیک شویم از میراگرهایی با قدرت کمتر استفاده می‌شود. برای قاب ۱۵ طبقه در دو طبقه پایینی از میراگر $D600$ ، دو طبقه بعدی از میراگر $D400$ و برای طبقه آخر از میراگر $D200$ استفاده می‌شود. نام‌گذاری میراگرها بر اساس حداکثر نیروی تولید شده توسط مکانیسم میرایی آن میراگر انجام شده است. به عنوان مثال حداکثر نیروی ایجاد شده توسط میراگر $D600$ برابر ۶۰۰ کیلونیوتن می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که در هر طبقه که میراگر قرار می‌گیرد از یک زوج مهاربند شورون استفاده می‌شود که روی هم دو میراگر را به آن طبقه متصل می‌کنند.



۳-۳- مدلسازی رفتار میراگرها

با توجه به اینکه مدلسازی میراگر ویسکوز در نرم‌افزارهای اجزای محدود با پیچیدگی‌ها و مشکلات زیادی روبه‌رو است معمولاً از یک روش ساده شده برای مدلسازی آنها استفاده می‌شود. بر این اساس منحنی رفتار چرخه‌ای میراگر از طریق آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای با مشخصات استاندارد زلزله‌های معمول تعیین شده و از طریق معرفی این رفتار، مدلسازی رفتار میراگر انجام می‌شود. در شکل (۳) رفتار چرخه‌ای یک میراگر ویسکوز نشان داده شده است. با توجه به اینکه رفتار چرخه‌ای میراگر ویسکوز دارای انحنا است، از رفتار دوخطی الاستو-پلاستیک معادل می‌توان برای مدلسازی استفاده کرد [۲۶].



(a) Viscous dampers

شکل ۳: رفتار چرخه‌ای میراگر ویسکوز [۲۶].

در این تحقیق نیز اتصال میراگر به قاب اصلی از طریق یک المان لینک انجام می‌شود که رفتار چرخه‌ای میراگر از طریق این لینک به نرم‌افزار معرفی می‌شود. در جدول (۲) پارامترهای مدلسازی میراگرهای انتخابی ارائه شده است.

جدول ۲: پارامترهای مدلسازی میراگرها.

K (kN)	C_d (kN/(mm/s) α)	α	K_d (kN/mm)
۲۰۰	۸۰	۰/۲	۵۶
۴۰۰	۱۶۰	۰/۲	۱۱۲
۶۰۰	۲۴۰	۰/۲	۱۶۸
۸۰۰	۳۲۰	۰/۲	۲۲۴



تهیه مدل‌های غیرخطی سازه‌های نمونه با استفاده از نرم‌افزار *SeismoStruct* انجام می‌شود. این نرم‌افزار بر پایه حل معادلات دینامیکی در سازه‌های قابی طراحی شده است و قابلیت مدل‌سازی المان‌های فیبری^۱ را دارد. بنابراین آنچه گفته شد برای تیرها و ستون‌ها از المان‌های فیبری تیر-ستون استفاده می‌شود. مهاربندها با استفاده از المان‌های خرپایی مدل‌سازی می‌شوند و مدل میراگرهای ویسکوز نیز با استفاده از اختصاص رفتار چرخه‌ای آن به المان لینک انجام می‌شود. المان لینک در واقع متصل کننده المان مهاربند به میانه المان تیر می‌باشد.

۳-۴- مشخصات رکوردهای زلزله

در این تحقیق از دو مجموعه رکورد دور و نزدیک به گسل برای انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی سازه استفاده شده است. در جدول (۳) مشخصات رکوردهای دور از گسل ارائه شده است. همچنین مشخصات رکوردهای نزدیک به گسل در جدول (۴) آمده است.

جدول ۳: مشخصات رکوردهای دور از گسل.

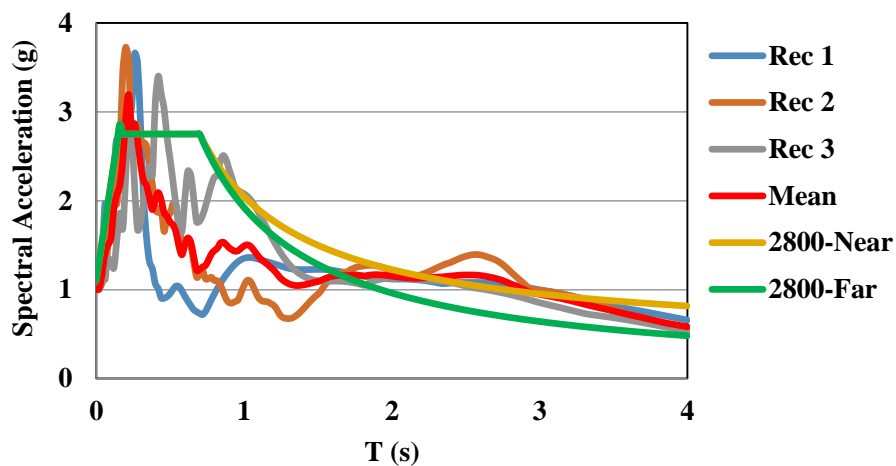
رکورد	زلزله	Mw	PGV (cm/s)
۱	Northridge, CNP 196	۶/۷	۶۰/۷
۲	Imperial Valley, H-E01240	۶/۵	۳۱/۵۸
۳	Loma Prieta, G02090	۶/۹	۴۰/۲۱

جدول ۴: مشخصات رکوردهای نزدیک به گسل

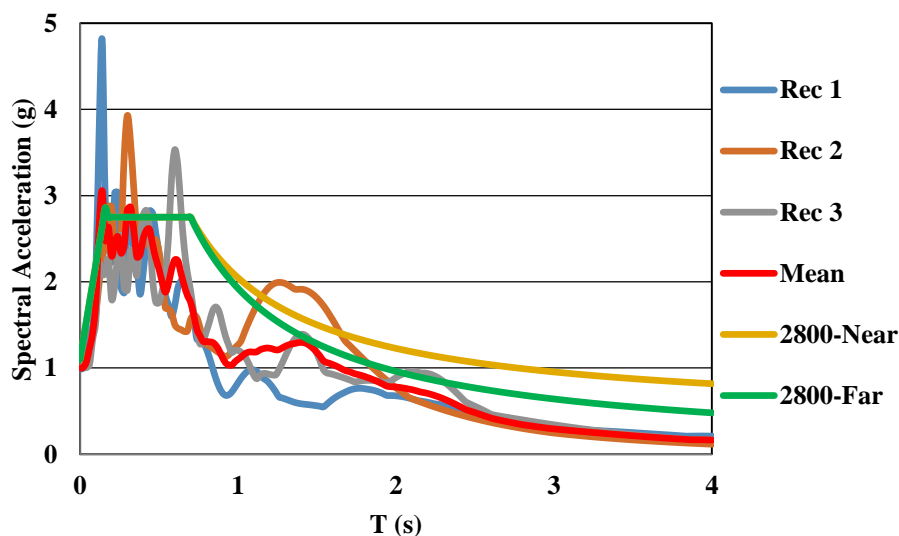
رکورد	زلزله	Mw	PGV (cm/sec)
۱	Imperial Valley-06, El Centro, Array #3	۶/۵	۴۴
۲	Irpinia, Italy-01, Sturmo	۶/۹	۴۱
۳	Westmorland, Parachute Test Site	۵/۹	۳۶

با توجه به اینکه رکوردهای مورد استفاده در این تحقیق از سایت معتبر *PEER* [۲۷] دریافت شده‌اند نیازی به فیلترسازی رکوردها نیست. لذا از نرم‌افزار *SeismoSignal* [۲۸] جهت تعیین طیف رکوردهای انتخابی استفاده می‌شود. برای تعیین پاسخ طیفی رکوردها باید مقدار میرایی مشخص باشد. در این تحقیق مقدار نسبت میرایی برابر ۵ درصد لحاظ گردیده است. بدین ترتیب، پاسخ شتاب طیفی رکوردهای مورد مطالعه تعیین شد و به همراه میانگین پاسخ طیفی رکوردهای انتخابی و نیز طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ به صورت مجزا برای رکوردهای دور و نزدیک ترسیم شده که در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است.

¹ Fiber based element



شکل ۴: طیف پاسخ شتاب رکوردهای نزدیک به گسل.



شکل ۵: طیف پاسخ شتاب رکوردهای دور از گسل.

برای قاب ۱۵ طبقه که دارای دوره تناوب ارتعاش معادل $1/98$ ثانیه می‌باشد، ضرایب مقیاس برای رکوردهای دور و نزدیک به گسل به صورت جداگانه انتخاب می‌شود به نحوی که میانگین طیف پاسخ رکوردهای نزدیک به گسل منطبق بر طیف پاسخ استاندارد ۲۸۰۰ برای حوزه نزدیک باشد و برای رکوردهای دور از گسل نیز ضریب مقیاس طوری انتخاب می‌شود که مقدار طیف پاسخ منطبق بر ضریب بازتاب خام استاندارد ۲۸۰۰ برای این سازه شود. بر اساس الگوی در نظر گرفته شده ضرایب مقیاس برای قاب نمونه و هر یک از رکوردهای انتخابی به صورت آنچه در جدول (۵) آمده، به دست آمد.



جدول ۵: ضریب مقیاس رکوردهای انتخابی برای تحلیل دینامیکی قاب ۱۵ طبقه.

پارامتر	رکورد ۱	رکورد ۲	رکورد ۳
رکوردهای دور	۱/۴۲۷	۱/۲۱۶	۱/۱۲۴
رکوردهای نزدیک	۱/۱۲۱	۱/۲۲۲	۱/۱۸

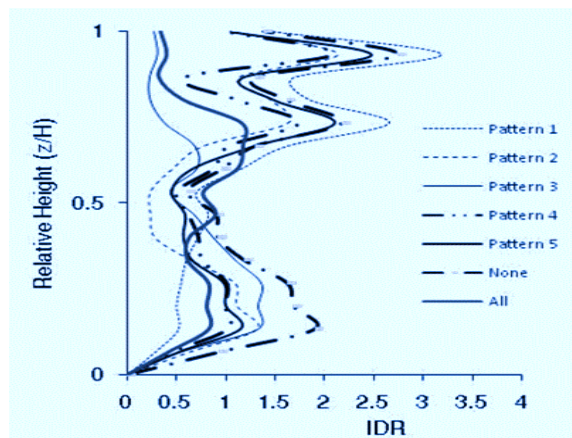
۴- نتایج تحلیل ها

۴-۱- پاسخ دینامیکی قاب مورد نظر تحت رکوردهای دور از گسل

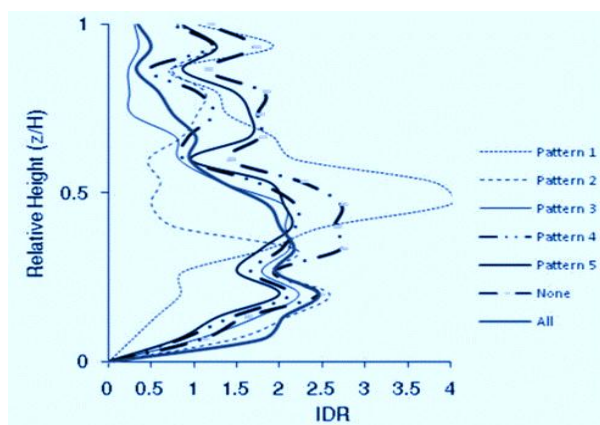
با توجه به اینکه تمرکز اصلی این تحقیق میزان کاهش پاسخ تغییرمکانی سازه با استفاده از میراگر ویسکوز است، در ابتدا به صورت رکورد به رکورد پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات سازه‌های مورد مطالعه برای حالت‌های مختلف و تحت رکوردهای دور و نزدیک نشان داده می‌شود تا تأثیر قرارگیری میراگرها بر پاسخ سازه تحت انواع رکوردهای زلزله برآورد گردد. ابتدا به این نکته اشاره می‌شود که برای انجام تحلیل‌های دینامیکی مقیاس سازی به شکلی انجام گرفته است که پاسخ طیفی سازه بدون میراگر برای مود اول ارتعاش بر اساس میانگین طیف ۳ رکورد هر مجموعه منطبق بر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ باشد. بر اساس آنچه بیان شد تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده و تغییرات پاسخ تغییرمکان نسبی ماکزیمم این سازه‌ها در ارتفاع برای هر یک از رکوردها تعیین گردید. نکته‌ای که حائز اهمیت است آن است که در تعیین تغییرمکان نسبی طبقات از مقادیر تغییرمکان لحظه‌ای کف‌ها استفاده شده است. به عبارت دیگر، در هر گام زمانی از تحلیل دینامیکی پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات از تفاضل تغییرمکان جانبی کف بالایی طبقه و کف پایینی آن حاصل گردیده و در انتهای بارگذاری مقدار بیشینه تغییرمکان نسبی هر طبقه در تمام گام‌های بارگذاری به عنوان حداکثر پاسخ تغییرمکان نسبی آن طبقه معرفی گردید. همچنین به منظور بی بعد نمودن پاسخ سازه به جای استفاده از تغییرمکان نسبی طبقه از شاخص تغییرمکان نسبی استفاده گردیده است یعنی پاسخ تغییرمکان نسبی طبقه به ارتفاع طبقه نرمال شده است.

۴-۱-۱- حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات

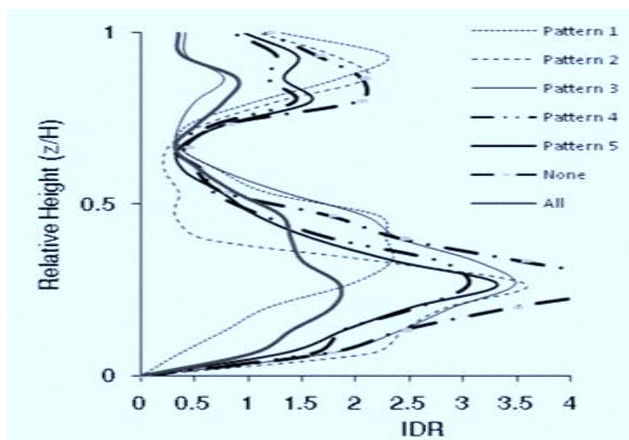
در شکل (۶) تا (۸) تغییرات پاسخ تغییرمکان نسبی ماکزیمم قاب ۱۵ طبقه برای ۷ حالت تحت رکوردهای دور از گسل نشان داده شده است. در همه شکل‌ها، یک حالت برای وضعیتی است که هیچ میراگری در سازه قرار نگرفته است که آن را با عبارت *None* در نمودارها نشان می‌دهیم حالت دیگر وضعیتی هست که میراگر در تمامی طبقات قرار داده شده باشد و آن را با نام *All* نشان می‌دهیم. ۵ حالت دیگر مربوط به وضعیت‌های مختلف قرارگیری ۵ میراگر در سازه است که با عبارت‌های *Pattern 1*، *Pattern 2* و... نشان داده می‌شوند.



شکل ۶: پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت رکورد ۱ از رکوردهای دور از گسل.



شکل ۷: پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت رکورد ۲ از رکوردهای دور از گسل.



شکل ۸: پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت رکورد ۳ از رکوردهای دور از گسل.

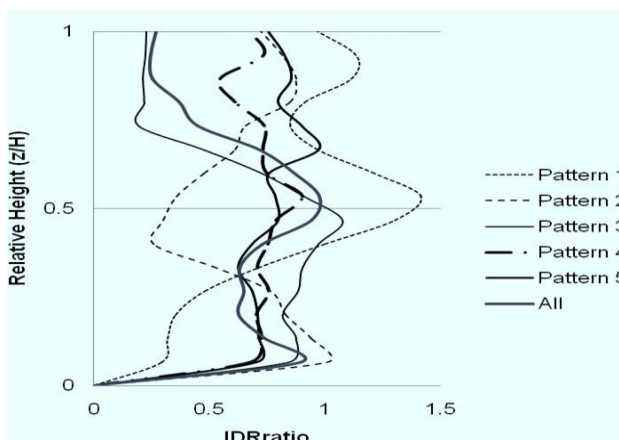


بر اساس آنچه که از پاسخ تغییرمکان نسبی سازه‌ها تحت بارهای زلزله مشخص می‌شود، تأثیر الگوی قرارگیری میراگرها بر توزیع تغییرمکان نسبی طبقات قابل توجه است و این تفاوت می‌تواند برای رکوردهای مختلف متفاوت باشد. به عنوان مثال قرار دادن میراگر در ۵ طبقه پایینی باعث کاهش قابل توجه در پاسخ تغییرمکان نسبی در این طبقات می‌شود اما در عین حال با بالا رفتن سختی در طبقات پایینی تأثیر آن بر طبقات بالایی به شدت تقلیل می‌یابد. اگر مشخصات رکورد زلزله طوری باشد که تغییرمکان نسبی حداکثر در طبقات تحتانی متمرکز شده باشد این الگوی قرارگیری میراگرها می‌تواند الگوی مناسبی باشد در حالی که اگر طبقات آسیب‌پذیر در قسمت بالایی سازه قرار داشته باشند این الگو ممکن است باعث آسیب‌پذیری بیشتر سازه شود. در رابطه با الگوی دوم که میراگرها در طبقات میانی قرار می‌گیرند وضعیت کمی بهتر است و پاسخ تغییرمکان نسبی نه تنها در طبقات میانی بلکه در طبقات تحتانی نیز کاهش می‌یابد. شاید الگوی ۴ که میراگرها در هر سه طبقه یک بار قرار داده می‌شوند یکنواخت‌ترین تأثیر را داشته باشد. در جدول (۷) مقدار حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات برای حالت‌های مختلف در یک جدول به صورت یکجا نشان داده شده است.

جدول ۷: مقادیر پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت رکوردهای دور از گسل.

پارامتر	P 1	P 2	P 3	All	P 4	P 5	None
Rec 1	۳/۰۲	۲/۰۴	۱/۲۲	۱/۱۲	۱/۹۹	۲/۳۵	۲/۶۱
Rec 2	۳/۰۷	۳/۲۳	۲/۹۹	۳/۲۷	۲/۷۷	۲/۵۱	۳/۲۱
Rec 3	۲/۷۰	۲/۸۹	۲/۸۷	۱/۷۹	۲/۵۷	۲/۶۷	۳/۷۲
میانگین	۲/۹۳	۲/۷۲	۲/۳۶	۲/۰۶	۲/۴۴	۲/۵۱	۳/۱۸

با استفاده از مقادیر ارائه شده در جدول بالا نتایج مهمی به دست می‌آید که می‌تواند در ارائه درک صحیح از نحوه تأثیر میراگرها بر پاسخ سازه‌های قاب خمشی تحت رکوردهای دور از گسل مفید واقع گردد. اگر تمرکز ما بر حداکثر پاسخ تغییرمکان نسبی در کلیه طبقات سازه باشد و نگاهی به میانگین پاسخ سازه‌های مورد مطالعه داشته باشیم می‌توان دریافت که گاهی بکارگیری میراگر در الگوی نامناسب نه تنها باعث کاهش آسیب‌پذیری سازه نمی‌شود بلکه تأثیر بسیار محدودی دارد که در مقایسه با هزینه‌های انجام شده نوعی اتلاف هزینه به حساب می‌رود. این وضعیت در حالتی که میراگرها در یک سوم پایینی و یک سوم میانی قرار داده شده اند بارز است. در واقع قرارگیری میراگرها در چند طبقه محدود در یک سوم پایینی و یک سوم میانی سازه اثر قابل ذکری بر کاهش پاسخ تغییرمکانی سازه ندارد. این وضعیت عمدتاً در اثر نیروی اضافی وارده از طرف میراگر به سازه است که می‌تواند در عملکرد متناسب سازه اختلال ایجاد کند. اما در وضعیتی که میراگرها در یک سوم فوقانی قرار داده شده اند پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی سازه کاهش یافته است و میزان این کاهش بستگی به سازه و عملکرد میراگرها و طراحی آنها دارد که در این تحقیق میزان آن در حدود ۳۰ درصد به دست آمد. اگر میراگرها در تمامی طبقات کار گذاشته شوند که البته به لحاظ اقتصادی هزینه زیادی را تحمیل می‌کند میزان کاهش در تغییرمکان نسبی سازه بیش از حالت‌های دیگر است و برای این مطالعه بیش از ۵۰ درصد است. برای اینکه تأثیر قرارگیری میراگرها بر پاسخ تغییرمکان نسبی طبقه به طبقه بررسی شود نسبت پاسخ تغییرمکان نسبی هر یک از طبقات برای الگوهای مختلف قرارگیری میراگرها به وضعیت بدون میراگر تحت هر یک از رکوردها اندازه‌گیری شده و میانگین آن در شکل (۹) ارائه می‌شود.



شکل ۹: نسبت پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات به حالت بدون میراگر.

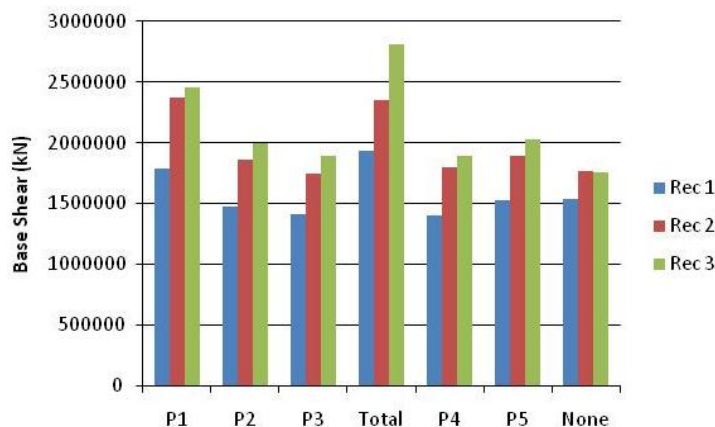
نکته مهمی که از نمودار بالا برداشت می‌شود این است که نسبت پاسخ تغییرمکان نسبی در برخی از طبقات در وضعیتی که میراگر در آن سازه نصب شده است بزرگتر از واحد است. مثلاً در الگوی اول که با عبارت *Pattern 1* نمایش داده می‌شود، علی‌رغم کاهش قابل ملاحظه در تغییرمکان نسبی طبقات پایینی و میانی، تغییرمکان نسبی در طبقات بالایی افزایش یافته است. بنابراین باید در تعیین الگوی قرارگیری میراگرها در ارتفاع این موضوع را به دقت در نظر داشت. به عبارت دیگر اگر مشخصات رکورد زلزله به نحوی باشد که طبقات آسیب‌پذیر در نواحی بالای سازه باشند میراگرها نباید در طبقات پایینی متمرکز باشند زیرا نه تنها اثر مثبتی نخواهند داشت بلکه باعث افزایش آسیب پذیری سازه نیز می‌شوند. به غیر از الگوی اول که در برخی موارد باعث افزایش پاسخ تغییرمکان نسبی در برخی از طبقات سازه به میزان تا ۴۰ درصد شده است، الگوهای دیگر کمتر این وضعیت نامطلوب را ایجاد کرده‌اند و تنها الگوهای ۲ و ۳ در برخی موارد باعث افزایش اندک در پاسخ تغییرمکان نسبی در برخی از طبقات شده‌اند که میزان این افزایش کمتر از ۱۰ درصد بوده است. اما الگوی ۴ و تا حدودی الگوی ۵ که توزیع یکنواخت در ارتفاع را فراهم می‌کنند علی‌رغم اینکه ممکن است تأثیر متوسطی بر کل سازه داشته باشند اما در هیچ موردی باعث افزایش آسیب‌پذیری نگردیده‌اند. بنابراین این الگوها به لحاظ افزایش ایمنی نسبت به الگوهای ۱ تا ۳ اطمینان بیشتری را با خود به همراه دارند. در حالتی که تمام طبقات با میراگر ویسکوز تقویت شده‌اند نیز اثر مخربی از نصب میراگرها مشاهده نگردید. اما به لحاظ رعایت مسائل اقتصادی می‌توان گفت الگوی ۴ با کاهش قابل قبول تغییرمکان نسبی در تمامی طبقات یک الگوی مناسب به حساب می‌آید.

۴-۱-۲- حداکثر برش پایه

در این بخش به بررسی تأثیر قرارگیری میراگرها بر پاسخ برش پایه سازه‌ها پرداخته می‌شود. البته میزان آسیب پذیری طبقات تحت بارهای زلزله عمدتاً تابع پاسخ تغییرشکلی المانهای باربر است، اما با این وجود افزایش برش پایه می‌تواند باعث افزایش آسیب‌پذیری المانهای ترد شود و کاهش برش پایه برای المانهایی نظیر مهاربندها و ستون‌هایی که نیروی محوری زیادی دارند و یا اجزای اتصالات افزایش ایمنی را به همراه دارد. در این تحقیق برای تعیین پاسخ برش پایه سازه، مقدار عکس‌العملهای تکیه‌گاهی در راستای افقی در هر گام زمانی با هم جمع شده و به صورت



تغییرات برش پایه طی بارگذاری دینامیکی ارائه می‌شود. مقدار ماکزیمم برش پایه در کلیه گام‌های بارگذاری به عنوان پاسخ حداکثر برای کمیت برش پایه منظور می‌شود. در شکل (۱۰) مقدار حداکثر برش پایه قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکوردهای دور از گسل به نمایش در آمده است.



شکل ۱۰: مقادیر حداکثر پاسخ برش پایه قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکوردهای دور از گسل.

با توجه به شکل (۱۰)، مشاهده می‌شود که افزودن میراگر به طبقات قاب خمشی باعث افزایش پاسخ برش پایه سازه می‌شود. دلیل اصلی این امر افزوده شدن مقدار سختی سازه است که ناشی از افزودن مهاربند شورون به همراه میراگر ویسکوز در سازه است. بنابراین علی‌رغم کاهش پاسخ تغییرمکان نسبی در اثر افزودن میراگر مقدار پاسخ برش پایه در سازه افزایش می‌یابد. میزان افزایش برش پایه بسته به الگوی قرارگیری میراگر و رکورد زلزله متفاوت است. به عنوان مثال، قرارگیری میراگرها در تمامی طبقات باعث افزایش ۴۰ درصدی برش پایه می‌شود و این باعث می‌شود نیروی داخلی در اعضای سازه افزایش یابد. این افزایش نیرو باید در ارزیابی اعضای سازه‌ای مورد لحاظ قرار گیرد. در سایر الگوهای قرارگیری میراگرها نیز افزایش برش پایه مشاهده می‌شود که برای الگوی ۱ که میراگرها در یک سوم پایینی سازه هستند مقدار افزایش برش پایه ۳۰ درصد است که مقدار قابل توجهی است. برای الگوی ۲ نیز افزایش برش پایه به طور میانگین برابر ۵ درصد است و برای الگوی ۳ به طور میانگین مقدار پاسخ برش پایه بدون تغییر مانده است و حتی اندکی کاهش یافته است. دلیل این امر می‌تواند به دلیل افزایش سختی در طبقات فوقانی سازه باشد که به نوعی می‌تواند اثر شلاقی را مهار کند و کاهش اثر شلاقی به کنترل نیاز برش پایه در سازه کمک می‌کند. برای الگوهای ۴ و ۵ نیز میزان افزایش برش به دلیل یکنواختی در توزیع میراگرها بسیار ناچیز است که البته برای الگوی ۵ در حدود ۷ درصد است. اصولاً با مقایسه نتایج حاصل از الگوهای ۴ و ۵ به نظر می‌رسد الگوی ۴ هم در رابطه با پاسخ برش پایه و هم کنترل تغییرمکان نسبی جانبی طبقات عملکرد مطلوب‌تری را به همراه داشته است.

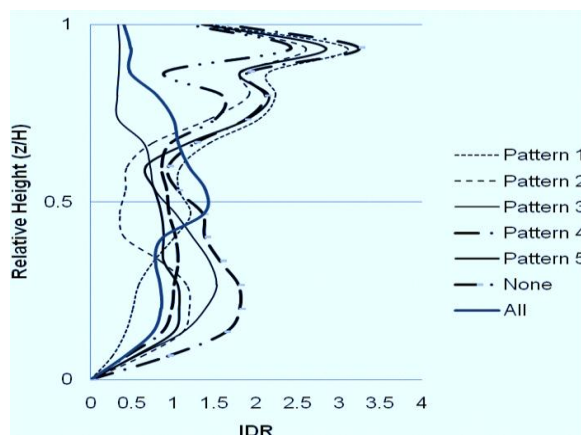


۲-۴- پاسخ دینامیکی قاب مورد نظر تحت رکوردهای نزدیک به گسل

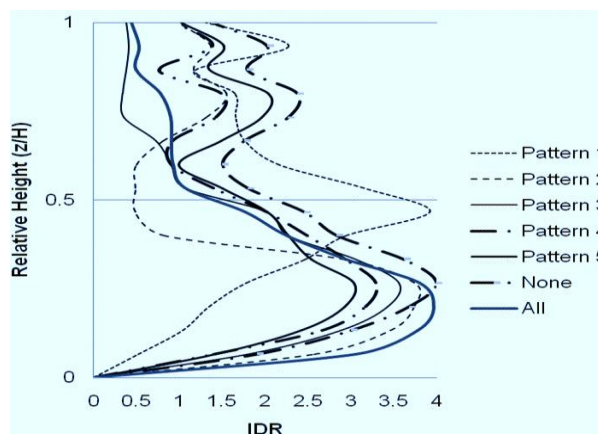
با توجه به ویژگی‌های خاص زلزله‌ها در نواحی نزدیک به گسل، ممکن است پاسخ سازه‌ها در برابر این نوع از تحریکات متفاوت از رکوردهای معمولی باشد. پدیده جهت‌داری پیش‌سوی که به عنوان مخرب‌ترین پدیده زلزله‌های نزدیک به گسل شناخته می‌شود باعث اعمال انرژی زلزله در مدت کوتاه به سازه می‌شود و این خود سبب انتقال نیازهای لرزه‌ای به قسمت‌های محدودی از سازه می‌شود و از توزیع پاسخ سازه در میان اعضا جلوگیری می‌کند. در نتیجه توان تخریبی رکوردهای نزدیک به گسل و نیز نوع پاسخ سازه به این نوع از بارهای لرزه‌ای گاهی متفاوت از چیزی است که در مقابل زلزله‌های معمولی انتظار داریم. بنابراین پاسخ سازه‌های مورد مطالعه در برابر زلزله‌های نزدیک به گسل نیز به طور مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۴-۱- حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات

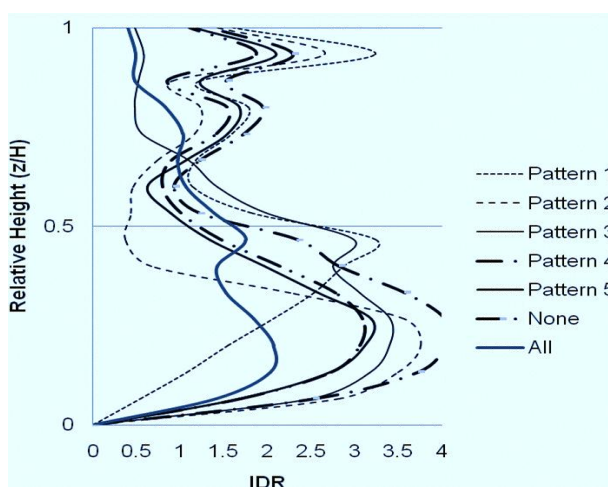
مطابق روندی که برای رکوردهای دور از گسل طی شد، تحلیل‌های تاریخچه زمانی تحت رکوردهای نزدیک به گسل نیز به انجام رسید. البته در مقیاس‌سازی رکوردهای نزدیک به گسل به جای ضریب بازتاب خام استاندارد ۲۸۰۰ (B_I) از مقدار (NBI) که دربرگیرنده اثرات نزدیک به گسل است استفاده گردیده است. در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) زیر توزیع تغییرمکان نسبی طبقات قاب‌های مورد مطالعه تحت هر یک از رکوردهای حوزه نزدیک به طور مجزا نشان داده شده است.



شکل ۱۱: پاسخ تغییرمکان نسبی قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکورد ۱ از رکوردهای حوزه نزدیک.



شکل ۱۲: پاسخ تغییرمکان نسبی قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکورد ۲ از رکوردهای حوزه نزدیک.



شکل ۱۳: پاسخ تغییرمکان نسبی قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکورد ۳ از رکوردهای حوزه نزدیک.

شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) نشان می‌دهند که تأثیر قرارگیری میراگرها در موقعیت‌های مختلف برای رکوردهای نزدیک به گسل نیز مشابه با رکوردهای دور از گسل است و تغییرات تغییرمکان نسبی در ارتفاع بر اساس چیدمان میراگرها در ارتفاع متغیر است. هرچند بررسی دقیق تر نمودارها نشان می‌دهد که توزیع پاسخ تغییرمکان نسبی در رکوردهای نزدیک به گسل اندکی به سمت طبقات پایینی منتقل شده است و تغییرمکان نسبی در طبقات تحتانی بیشتر از رکوردهای دور از گسل است. در وضعیت کلی می‌توان گفت تحت هر یک از رکوردهای نزدیک به گسل باز هم الگوی ۱ نتایج مناسبی ارائه نداده است و به غیر از کاستن تغییرمکان نسبی در طبقات تحتانی در طبقات بالایی سازه تغییرمکان نسبی زیادی را ایجاد نموده است. در این الگو با افزایش ارتفاع، تغییرمکان نسبی در طبقات نیز رو به افزایش است و در بالای سازه می‌توان گفت تغییرمکان نسبی طبقات حتی نسبت به حالتی که هیچ میراگری در سازه نباشد مقادیر بیشتری دارند. الگوی ۲ نیز وضعیت مشابهی دارد با این تفاوت که به دلیل قرارگیری میراگرها در طبقات میانی تغییرمکان نسبی در طبقات میانی و تحتانی تا حد زیادی کنترل شده است اما طبقات فوقانی همچنان در معرض آسیب هستند. الگوی ۳ نسبت به الگوهای ۱ و ۲ نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد. همانطور که پیش‌تر ذکر



شد قرارگیری میراگرها در طبقات فوقانی باعث کاهش اثر شلاقی شده و اختلالی نیز در پاسخ لرزه‌ای سازه به وجود نمی‌آورد و این باعث عملکرد مطلوب آن نسبت به الگوهای ۱ و ۲ است. الگوهای ۴ و ۵ عملکرد متوطی دارند و مزیت اصلی آنها این است که تقریباً تأثیر یکنواختی بر تمامی طبقات دارند. در اینجا نیز الگوی ۴ وضعیت بهتری نسبت به الگوی ۵ دارد. همانطور که پیش بینی می‌گردید، در حالتی که تمامی طبقات دارای میراگر باشند مقادیر پاسخ تغییرمکان نسبی در بهترین وضعیت قرار می‌گیرد. در جدول (۸) مقادیر حداکثر پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات قابهای ۱۵ طبقه تحت رکوردهای نزدیک نشان داده شده است.

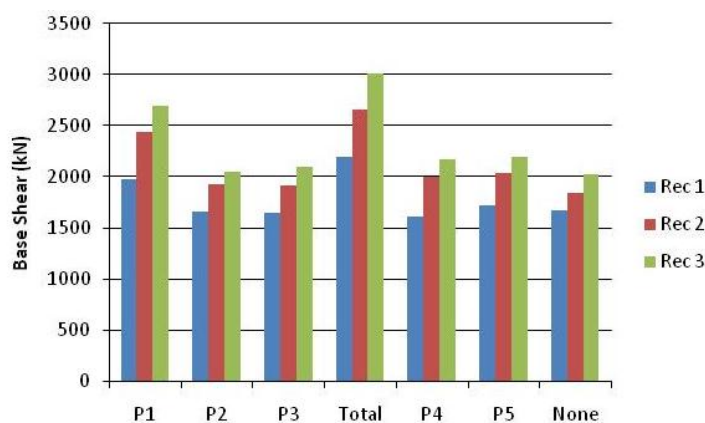
جدول ۸: مقادیر پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت رکوردهای نزدیک به گسل.

	P 1	P 2	P 3	All	P 4	P 5	None
Rec 1	۳/۱۱	۲/۶۰	۱/۵۲	۱/۳۹	۲/۴۲	۲/۸۴	۳/۲۴
Rec 2	۳/۹۲	۳/۷۴	۳/۵۶	۳/۹۷	۳/۲۹	۳/۰۴	۴
Rec 3	۳/۲۴	۳/۷۶	۳/۴۱	۲/۰۷	۳/۱۰	۳/۲۰	۴/۰۴
میانگین	۳/۴۲	۳/۳۷	۲/۸۳	۲/۴۸	۲/۹۴	۳/۰۳	۳/۷۶

نتایج ارائه شده در این جدول نیز مؤید این مطلب است که الگوی ۳ پس از وضعیتی که میراگرها در تمامی طبقات قرار بگیرند بهترین وضعیت را داشته است.

۴-۲-۲- حداکثر برش پایه

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده برای رکوردهای دور از گسل مشخص شد که افزودن میراگر با استفاده از مهاربند شورون با افزایش سختی سازه موجب زیاد شدن پاسخ برش پایه در سازه می‌شود. این وضعیت به طور مشابه برای تحریکات حوزه نزدیک نیز اتفاق می‌افتد. در شکل (۱۴) پاسخ برش پایه سازه‌ها تحت رکوردهای نزدیک نشان داده شده است.



شکل ۱۴: مقادیر حداکثر پاسخ برش پایه قاب‌های ۱۵ طبقه تحت رکوردهای نزدیک به گسل.



همانطور که ملاحظه می‌شود، به طور میانگین گوی ۱ و حالتی که میراگرها در تمامی طبقات قرار می‌گیرند باعث افزایش ۲۴ و ۴۱ درصدی در نیاز برش پایه می‌شوند. برای سایر الگوهای چیدمان میراگرها نیز افزایش برش پایه وجود دارد که البته کمتر از ۱۰ درصد است.

۳-۴- مقایسه الگوهای قرارگیری میراگرها

در مقایسه الگوهای مختلف قرارگیری میراگرها در ارتفاع، نکته جالب توجه آن است که الگوی ۱ عملکرد بسیار نامطلوبی را به همراه داشته است، زیرا نه تنها باعث افزایش برش پایه به میزان قابل توجه می‌شود بلکه در کنترل تغییرمکان نسبی طبقات هم کارایی مناسبی ندارد و حتی در طبقات بالایی باعث افزایش تغییرمکان نسبی می‌شود. در رابطه با الگوی ۲ نیز وضعیت چندان مطلوب نبوده است در حالی که الگوی ۳ نتایج نسبتاً مطلوبی داشته است و علاوه بر اینکه پاسخ برش پایه را تنها به میزان اندکی افزایش داده است اما در کنترل تغییرمکان نسبی طبقات تأثیر قابل قبولی داشته است. الگوی ۴ شاید بتوان گفت بهترین عملکرد را داشته است زیرا به لحاظ افزایش برش پایه شرایط قابل قبولی دارد و برش پایه را کمتر از ۵ درصد افزایش داده است، در حالی که در کنترل تغییرمکان نسبی طبقات نسبت به سایر الگوهای قرارگیری میراگرها به غیر از حالتی که میراگرها در همه طبقات قرار بگیرند، بهترین عملکرد را داشته است. نکته دیگر این است که با توجه به توزیع یکنواخت میراگرها در الگوی ۴ تغییرات تغییرمکان نسبی در ارتفاع برای این الگو مناسب و همگن است و از این جهت نسبت به الگوی ۳ برتری دارد. الگوی ۵ در مقایسه با الگوی ۴ عموماً عملکرد ضعیف تری داشته است و هم از دیدگاه افزایش برش پایه و هم به لحاظ کنترل تغییرمکان نسبی طبقات الگوی ۴ به الگوی ۵ برتری دارد. در اینجا باید تأکید نمود که قرارگیری میراگرها در تمامی طبقات تنها به عنوان یک شاخص در ارزیابی بهینه بودن چیدمان میراگرها مورد اشاره قرار گرفته است و گرنه به دلیل استفاده ۳ برابری از میراگرها در اکثر موارد کنترل تغییرمکان نسبی مناسب تری را ارائه نموده است ولی از لحاظ اقتصادی و نیز از جهت کنترل برش پایه در سازه وضعیت آن با سایر الگوها قابل مقایسه نیست.

۴-۴- مقایسه عملکرد میراگرها در مقابل زلزله‌های دور و نزدیک

آن طور که نتایج حاصل از تحلیل قاب‌های ۱۵ طبقه در این تحقیق نشان می‌دهد تأثیر الگوی قرارگیری میراگرها بر پاسخ تغییرمکان نسبی سازه‌های قاب خمشی برای رکوردهای دور و نزدیک به گسل تقریباً یکسان است. به عنوان مثال مقدار کاهش پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات برای الگوهای مختلف برای رکوردهای نزدیک و دور از گسل به طور مشابه برابر ۲۰ درصد بوده است. برای هر دو نوع زلزله نیز نتایج نسبتاً مشابهی به دست آمده است. اما به هر حال زلزله‌های نزدیک به گسل چه برای قاب تقویت شده با میراگر و چه قاب خمشی بدون میراگر پاسخ‌های لرزه‌ای بزرگتری را ایجاد نموده‌اند. به طور نمونه مقدار پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات برای قاب ۱۵ طبقه تحت رکوردهای نزدیک به گسل برابر ۳/۱۲ درصد و برای رکوردهای دور از گسل برابر ۲/۶ درصد بوده است. برای سازه ۱۵ طبقه بدون میراگر مقدار میانگین حاصل از ۳ رکورد هر یک از مجموعه رکوردهای دور و نزدیک به گسل بر حسب حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات به ترتیب برابر ۳/۱۶ و ۳/۷۶ درصد بوده است که با افزودن میراگرها می‌تواند به میزان زیادی کاهش یابد. مثلاً در زلزله‌های نزدیک به گسل افزودن میراگر تنها در طبقات یک سوم بالایی سازه باعث کاهش ۲۵ درصدی پاسخ تغییرمکان نسبی شده است و الگوی شماره ۴ نیز باعث کاهش ۲۰ درصدی پاسخ



تغییر مکان نسبی سازه می‌شود.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی بیان می‌دارد که قرار دادن میراگرهای ویسکوز در ساختمان‌های قاب خمشی که در این تحقیق با استفاده از مهاربندهای شورون انجام شده است می‌تواند باعث کاهش آسیب‌پذیری سازه در مقابل بارهای زلزله شود اما الگوی قرارگیری میراگرها تأثیر زیادی بر آن دارد. به عبارت دیگر باید هدف از مقاوم‌سازی مشخص باشد تا بتوان الگوی متناسب با آن هدف را انتخاب نمود. طرحی که در این تحقیق به آن پرداخته شد استفاده از میراگرها در یک سوم از طبقات سازه و مقایسه الگوهای مختلف قرارگیری آنها در ارتفاع سازه است. همچنین الگوهای یاد شده به همراه الگوی قرارگیری میراگرها در تمامی طبقات با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل و جمع‌بندی آنها می‌توان گفت که پاسخ تغییر مکان نسبی طبقات در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز کاهش می‌یابد و در عوض پاسخ برش پایه در بیشتر موارد افزایش می‌یابد. این مطلب عمدتاً ناشی از اضافه شدن سختی اضافی به سازه است که علیرغم کاستن از مقادیر تغییر مکان‌های نسبی طبقات باعث افزایش سختی و نهایتاً پاسخ برش پایه سازه می‌شود. هرچند الگوی قرارگیری میراگرها خود عامل مهمی است که بر میزان افزایش یا کاهش نیازهای لرزه‌ای سازه تأثیر می‌گذارد. از دیدگاه دیگر نحوه تأثیرگذاری الگوهای مختلف قرارگیری میراگرها بر پاسخ سازه تحت رکوردهای دور و نزدیک به گسل از روند مشابهی پیروی می‌کند. اگر یک الگوی مشخص از چیدمان میراگرها باعث کاهش پاسخ تغییر مکان نسبی در طبقات سازه تحت رکوردهای دور از گسل می‌شود، می‌توان چنین نتیجه‌ای را نیز در مقابل زلزله‌های حوزه دور انتظار داشت. البته حساسیت پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها به راهکارهای در نظر گرفته شده برای مقاوم‌سازی آنها به عوامل متعددی بستگی دارد و با تغییر نوع میراگر، مشخصات میراگر و چیدمان آنها تغییرات مهمی در پاسخ سازه ایجاد می‌شود. هرچند تمرکز اصلی این تحقیق تنها بر الگوی قرارگیری میراگرها در طبقات سازه بوده است و از بررسی عوامل دیگر صرف نظر گردیده است. لذا نتایجی که در اینجا مطرح می‌شود برای سازه‌هایی که مشخصات نامتشابه دارند ممکن است صادق نباشد. تحلیل‌های دینامیکی نشان داد که اگر مبنای قرارگیری میراگرها در ارتفاع به صورتی باشد که یک سوم طبقات سازه با میراگر تقویت شوند، قرار دادن میراگرها در طبقات بالایی و نیز توزیع آنها به صورت یکنواخت در ارتفاع سازه بهترین نتایج را به همراه دارد. به عنوان مثال الگوی ۱ که در آن میراگرهای ویسکوز در طبقات واقع در یک سوم پایینی سازه قرار می‌گیرند عملکرد مناسبی در سازه‌های مورد مطالعه نداشته است. زیرا در این الگو، با اینکه پاسخ تغییر مکان نسبی در طبقات پایینی کاهش می‌یابد و پاسخ حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات نیز در بیشتر موارد کاهش می‌یابد، با این حال تغییر مکان نسبی برخی از طبقات که در قسمت بالایی سازه قرار دارند نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه مقداری نیز افزایش می‌یابد. همچنین مطالعه پاسخ برش پایه سازه‌ها نیز نشان داد که این الگو باعث افزایش پاسخ برش پایه در سازه نیز می‌شود و این افزایش باعث آسیب‌پذیری عضوهای کنترل-نیرویی در سازه (مانند ستون‌هایی که بار محوری زیاد دارند یا مهاربندهای فشاری) می‌شود. در رابطه با الگوی ۲ نیز شرایط تقریباً مشابه هست. هرچند وضعیت این الگو بهتر از الگوی ۱ است. در الگوی ۲ که میراگرها در یک سوم میانی سازه قرار داده می‌شوند، تغییر مکان نسبی در طبقات میانی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد اما در طبقات دیگر شرایط این گونه نیست و حتی در برخی طبقات بالایی باعث افزایش تغییر مکان نسبی طبقات می‌شود. در رابطه با پاسخ برش پایه نیز این الگو باعث افزایش برش پایه می‌شود. الگوی ۳ که در آن میراگرها در یک سوم فوقانی سازه قرار داده می‌شوند نسبت به دو الگوی قبلی عملکرد بسیار بهتری داشته است. در این الگو به نظر می‌رسد افزایش سختی طبقات بالایی باعث کاهش اثر شلاقی در سازه می‌شود و در نتیجه تغییر مکان نسبی در تمامی طبقات کاهش می‌یابد، هرچند کاهش تغییر مکان نسبی در طبقات بالایی که میراگر دارند بیشتر از طبقات دیگر است. همچنین میزان افزایش برش پایه در این الگو ناچیز و کمتر از ۵ درصد است. الگوی ۴ و ۵



الگوهای هستند که میراگرها در ارتفاع سازه پخش می‌شوند. در الگوی ۴ میراگرها به صورت دوطبقه در میان قرار می‌گیرند و در الگوی ۵ دو طبقه مجاور دارای میراگر هستند و پس از چند طبقه بدون میراگر مجدداً دوطبقه کنار هم با میراگر تقویت می‌شوند. الگوی ۴ تقریباً در تمامی موارد عملکرد بهتری نسبت به الگوی ۵ داشته است و دلیل آن هم یکنواختی بیشتر در توزیع میراگرها در ارتفاع سازه بوده است. عملکرد الگوی ۴ در کاهش تغییرمکان نسبی به الگوهای ۱ و ۲ بهتر است اما در موارد دیگر مشابه الگوی ۳ است. اگر بخواهیم مقایسه منطقی بین الگوی ۳ و ۴ داشته باشیم باید به این نکته توجه کنیم که در بیشتر موارد الگوی ۳ کاهش بیشتری را در پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات موجب شده است اما یکنواختی کاهش تغییرمکان نسبی طبقات در الگوی ۴ بیشتر است و از این جهت الگوی ۴ نسبت به الگوی ۳ برتری دارد. در حالتی که میراگرها در تمامی طبقات قرار داده می‌شوند و در واقع تعداد میراگرها به ۳ برابر افزایش داده می‌شود میزان کاهش تغییرمکان نسبی نیز افزایش می‌یابد و وضعیت به لحاظ کنترل تغییرمکان نسبی بهتر می‌شود اما این کاهش در میزان تغییرمکان نسبی آنچنان زیاد نیست که در مقایسه با استفاده از الگوهای ۳ و ۴ توجه داشته باشد. ضمن اینکه استفاده از میراگرها در تمامی طبقات و جب افزایش زیاد سختی سازه شده و مقدار برش پایه سازه تا حد ۴۰ درصد افزایش می‌یابد که ممکن است آثار تخریبی روی برخی از اعضای سازه داشته باشد. این موضوع راجع به قطعات اتصالات حائز اهمیت بیشتری است. در ادامه برخی از نتایج کمی این پژوهش به صورت موردی بیان می‌شود:

- استفاده از الگوهای ۱ و ۲ برای چیدمان میراگرهای ویسکوز در قاب ۱۵ طبقه باعث کاهش پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات به میزان ۱۰ درصد به طور میانگین می‌شود. برای قاب ۲۵ طبقه این میزان برابر ۱۳ درصد برآورد شد.
- استفاده از الگوی ۳ در چیدمان میراگرهای ویسکوز در قاب ۱۵ طبقه مقدار پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات را به طور متوسط ۳۲ درصد کاهش می‌دهد. برای قاب ۲۵ طبقه این میزان ۳۵ درصد است.
- در قاب ۱۵ طبقه میزان کاهش پاسخ تغییرمکان نسبی برای الگوهای ۴ و ۵ به ترتیب برابر ۲۸ و ۲۴ درصد می‌باشد. برای قاب ۲۵ طبقه نیز نتایج تقریباً مشابه است و برابر ۲۹ و ۲۶ درصد است.
- میزان کاهش پاسخ حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات در وضعیتی که میراگرها در تمامی طبقات جایگذاری شوند حدود ۵۰ درصد است.
- در قاب ۱۵ طبقه، با قرار دادن میراگرها در تمامی طبقات سازه مقدار نیاز برش پایه سازه ۱۵ طبقه حدود ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. برای الگوی ۱ نیز افزایش برش پایه حدوداً ۳۰ درصد است اما برای سایر الگوهای قرارگیری میراگرها میزان افزایش برش پایه کمتر از ۱۰ درصد است.

۶- مراجع

- [1]-Khizab, B., Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K., and Nasser, H., 2020, **Investigation the performance of Dual Systems Moment-Resisting Frame with Steel Plate Shear Wall Subjected to Blast Loading**, Journal of Structural and Construction Engineering, (In Persian).
- [2]-Sadeghi, A., Kazemi, H., and Samadi, M., 2020, **The Probabilistic Analysis of Steel Moment-Resisting Frame Structures Performance under Vehicles Impact**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (In Persian).
- [3]-Saber, V., saberi, H., and Sadeghi, A., 2020, **Collapse Assessment of Steel Moment Frames Based on Development of Plastic Hinges**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (In Persian).



- [4]-Kelley, J. M., Skinner, R. I., and Heine, A. J., 1972, **Mechanism of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures**, Earthquake Engineering Bulletin New Zealand Society, 5, 63-68.
- [5]-Constantinou, M., Symans, M. D., 1992, **Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers**, Technical Report NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Research, Suny/Buffalo.
- [6]-Constantinou, M., and Seleemah, A. A., 1997, **Investigation of seismic response of buildings with linear and nonlinear fluid viscous dampers**.
- [7]-Kasai, K., Oohara, A.K., and Sekiguchi, Y., 2004, **JSSI manual for building passive control technology**, Part 11- Time-history analysis model for viscous dampers, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C, Canada, paper no.1427.
- [8]-Lee, D. G., Hong, S., and Kim, J., 2002, **Efficient seismic analysis of building structures with added viscoelastic dampers**, Engineering Structures, 24, 1217-1227.
- [9]-Min, K. W., Kim, J., and Lee, S. H., 2004, **Vibration tests of 5 story steel frame with viscoelastic dampers**, Engineering Structures, 26, 831-839.
- [10]-Xu, Z., D., Zhao, H. T., and Li, A., Q., 2004, **Optimal analysis and experimental study on structures with viscoelastic dampers**, Journal of Sound and Vibration, 607-618.
- [11]-Hudson, D. E. and Housner, G. W., 1957, **An analysis of strong motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22**, Bulletin of Seismology Society of America, 48, 253-268.
- [12]- Bolt, B. A., 1971, **The San Fernando valley earthquake of February 9, 1971-data on seismic hazards** Bulletin of Seismology Society of America, 61, 2, 501-510.
- [13]-Bertero, V. V., Mahin, S. A., and Herrera, R. A., 1978, **A seismic design implications of near fault San Fernando earthquake records**, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6, 1, 31-42.
- [14]-Berman, J. W. and Bruneau, M., 2015, **Experimental and analytical investigation of tubular links for eccentrically braced frames**, Journal of Structural Engineering, 29, 1929-1938.
- [15]-Banazadeh, M. and Ghanbari, A., 2017, **Seismic performance assessment of steel moment-resisting frames equipped with linear and nonlinear fluid viscous dampers with the same damping ratio**, Journal of Constructional Steel Research, 136, 215-228.
- [16]-Chen, J. and Peng, Y., 2017, **Probabilistic analysis of wind-induced vibration mitigation of structures by fluid viscous dampers**, Journal of Sound and Vibration, 409, 287-305.
- [17]-Parcianello, E, Chisari, C, and Amadio. C., 2017, **Optimal design of nonlinear viscous dampers for frame structures**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 257-260.
- [18]-Kheyroddin, A., and Jafari, A., 2019, **Applying Six Retrofitting Methods for Increasing the Seismic Performance Level in Five-Story Flexural Concrete Frame**, New Approaches in Civil Engineering, 3, 1, 70-83.
- [19]-Mohammadian Abi, S., 2020, **Study of using Effects of Viscous Dampers in the Distance of Expansion Joint between Two Concrete Frames with Different Insets**, New Approaches in Civil Engineering, 4, 3, 25-41.



- [20]-Saberi, H., Saberi, V., Shandi Abadi, E., and Sadeghi, A., 2020, **Investigation the Effect of Dampers with Different Damping in Improving the Performance of Chevron Braces**, New Approaches in Civil Engineering, 4, 3, 58-81.
- [21]-CSI, ETABS. V-16.2. 2.0, 2016, **Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual**. Computers and Structures.
- [22]-INBC., 2013, **Design Loads for Buildings**, Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 6 (In Persian).
- [23]-INBC., 2013, **Design and Construction of Steel Structures**, Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 10 (In Persian).
- [24]-BHRC., 2014, **Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings**, Tehran: Building and Housing Research Centre, Standard No. 2800, 4th edition, (In Persian).
- [25]-SeismoStruct., 2018, **A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures**, SeismoSoft's Ltd.
- [26]-Lee, D. G., Hong, S., and Kim, J., 2002, **Efficient seismic analysis of building structures with added viscoelastic dampers**, Engineering Structures, 24, 1217-1227.
- [27]-Next Generation Attenuation of Ground Motion (Nga) Project. <http://Peer>. Berkeley, 2006.
- [28]-SeismoSignal, 2018, **constitutes a simple, yet efficient**, package for the processing of strong-motion data.