J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 18,Issue 3, Autumn 2021
فصلنامه آنالیز سازه – زلزله
دوره ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

مروری بر مطالعات صورت گرفته در مورد استفاده از میراگرها برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها

علی ستاری
دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشکده مهندسی عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
ali.sattari@iau-maragheh.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

چکیده

رشد جمعیت و تکنولوژی همراه با هزینه‌های تعمیر و نگهداری سازه‌ها بعد از وقوع بلایای طبیعی مانند طوفان، سیل و زلزله باعث گردیده‌اند که انسان‌ها به دنبال سرپناه امن‌تری نسبت به گذشته باشند. میراگرها به‌منظور بهبود رفتار چرخه‌ای سازه‌ها در برابر بارهای ناشی از باد و زلزله مورداستفاده قرارگرفته‌اند. دراین پژوهش، نتایج تحقیقاتی آزمایشگاهی و عددی منتشر شده در مجلات با دسترسی آزاد که تاثیر نوع و فرم میراگر بر عملکرد سازه‌ها از جمله کاهش جابجایی و کاهش برش پایه را مد نظر داشته‌اند آورده شده است. با اعمال بار چرخه‌ای به سازه، معمولا میراگرها باعث کاهش برش پایه و کاهش جابجایی سازه شده‌اند. در نمونه‌های آزمایشگاهی که فقط خود میراگر مورد آزمایش واقع شده است بیشتر به بیان عملکرد میراگر توجه شده است. قرارگرفتن میراگرها در محل اتصال تیر به ستون باعث افزایش چشمه اتصال شده و در بعضی از این میراگرها بدلیل موقعیت و کارکرد قابل قبول در جذب انرژی لرزه‌ای، مفصل پلاستیک در میراگر تشکیل شده‌است. در اثر اعمال رکورد زلزله به سازه، میراگرها در تعدادی از رکوردها باعث کاهش و در تعداد دیگری باعث افزایش برش پایه و جابجایی سازه شده‌اند و همزمان برای برش پایه و جابجایی یک عملکرد یکنواخت را نشان نداده‌اند. با وجود مطالعات انجام شده عددی و آزمایشگاهی هنوز کاربرد گسترده‌ای از میراگرها را شاهد نیستیم و در آیین‌نامه‌های طراحی هنوز جای ضوابط طراحی میراگرها خالی و یا کم رنگ است.

کلید واژگان: میراگر، برش پایه، جابجایی، استهلاک انرژی، بارچرخه‌ای

۱- مقدمه

رشد جمعیت، تکنولوژی، هزینه های تعمیر و نگهداری و بلایای طبیعی مانند طوفان، سیل و زلزله باعث گردیده‌اند که انسان ها به دنبال سرپناه امن تری نسبت به گذشته باشند. همین عوامل باعث شده‌اند که متخصصان به دنبال راهی برای کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی بویژه زلزله باشند. میراگرها به‌منظور بهبود رفتار چرخه‌ای سازه‌ها در برابر بارهای ناشی از باد و زلزله مورداستفاده قرار می گیرند.

مطالعات انجام شده روی انواع میراگرها براساس یک نظم خاص نبوده، بلکه بیشتر نتایج کار دانشجویان تحصیلات تکمیلی بوده و به صورت گسترده تمامی زوایای یک میراگر را پوشش نمی دهند.

دراین پژوهش، نتایج تحقیقاتی که تاثیر نوع و فرم میراگر بر عملکرد سازه‌ها از جمله کاهش جابجایی و کاهش برش پایه را مد نظر داشته‌اند آورده شده است.

۲- روش انجام کار

مطالعه حاضر یک مطالعه مروری است که در آن از مقالات نمایه شده در پایگاه‌های اطلاعاتی علمی نظیر ELSEVIER، Springe،Google Scholar ، CIVILICA و پایگاه چهاد دانشگاهی SID استفاده شده است. مدت زمان جمع آوری این مستندات از بهار سال ۱۳۹۹ تا پاییز ۱۴۰۰ بوده است. محققان در این مطالعه با استفاده از کلید واژه‌های تعیین شده، مقالات معتبر را از منابع معتبر الکترونیک جستجو و استخراج نموده و با بررسی متون کامل این مقالات نتایج حاصل را به صورت دسته‌بندی شده توصیف نمودند. کلید واژهای مورد نظر برای این مطالعه عبارت بودند از واژه‌هایdamper، Rotational friction damper، Improving the Cyclic Response of the Steel Structure که در عناوین و چکیده مقالات مورد جستجو قرار گرفتند. از میان بیش از۴۷۱۰ مقاله که کلمه damper و۱۳۶۰ مقاله که واژه Rotational friction damper و ۱۶۸۰۰ مقاله که واژه Improving the Cyclic Response of the Steel Structure را دارا بوده، موارد غیر مرتبط و تکراری حذف شد. در مرحله بعد متون کامل مقالات باقی مانده مورد بررسی قرارگرفته و پس از حذف موارد غیر مربوط، نتایج مربوط به مقالات منتخب در مرحله نهایی، دسته بندی شده و مورد بررسی قرار گرفتند.

۳- یافته‌ها

در مرکز NHERI Lehigh که در سال۲۰۱۶ تاسیس شد، کارهای تحقیقاتی پیشرفته‌ای با مقیاس واقعی را انجام شده است. در این تحقیق نتایج ۵ نمونه از کارهای انجام شده را بیان نموده‌اند که هدف آن معرفی هرچه بیشتر و بهتر این مرکز تحقیقاتی بوده است. در این تحقیقات حداکثر سطح خطر زلزله در نظر گرفته شده و طوفان باد با سرعت ۱۷۷ کیلومتر در ساعت به سازه اعمال گردیده است. نیروهای طوفان از تونل باد بدست آموده بودند همچنین از نتایج آزمایشات انجام شده در تونل باد در دانشگاه پلی‌تکنیک توکیو نیز استفاده نمودند. پریود سازه در مُد اول در جهت شمال و جنوب ۶,۳ ثانیه بود، در حالی که در جهت شرق و غرب ۴,۳ ثانیه بوده است. بیشترین خسارت در ساختمان در جهت شرق و غرب مشاهده شده است با وجود سختی بالاتر نسبت به جهت شمالی جنوبی به دلیل ویژگی‌های حرکت زمین، که شتاب طیفی بالاتر را تحمیل می‌کند و به ترتیب نیروهای اینرسی بالاتری در جهت شرقی غربی بوجود آمده است. پاسخ ساختمان تحت اثر طوفان خطی بوده. ساختمان درجهت شمالی جنوبی بسیار نرم‌تراست. اضافه کردن میراگرها در جهت شمال به جنوب به کنترل جابه‌جایی کمک می‌کند پاسخ دمپرتحت بار باد با بارگذاری زلزله متفاوت بوده است [۱].

مطالعه تجربی و عددی در مورد عملکرد چرخه‌ای قاب‌های فلزی با اتصالات مختلف تحت بار لرزه‌ای با تغییر شکل‌های بزرگ پلاستیک و تغییر شکل‌های پسماند پس از زلزله انجام شد است. تغییر شکل‌های بزرگ علاوه بر این که باعث وقفه درعملکرد عادی سازه می‌شود، بر محل سکونت افراد تاثیر می‌گذارد و باعث خسارت‌های اقتصادی بزرگی هم می‌شوند. از این رو اهداف ایمنی قبلی دیگر نمی‌توانند تقاضای مردم برای ساخت و ساز را برآورده کنند. به همین دلیل سطوح بالاتر عملکرد ایمنی و اصول طراحی، که در آن ساختار انعطاف پذیرتری را نتیجه دهد و اطمینان حاصل نماید مورد توجه قرار گرفته است. اولین سازه مورد مطالعه قاب فولادی با مهاربندهای کمانش تاب و اتصالات گیردار بود. طراحی لرزه‌ای اولیه تأکید بر ظرفیت تحمل باربوده است. سازه دوم علاوه بر بادبند کمانش تاب، اتصال ستون به تیر به صورت RBS و اتصال ستون به صفحه زیر ستون کمی متفاوت‌تر بوده است. آنها برای اتصال ستون به صفحه بیس پلیت که بر روی یک فوندانسیون فلزی همانند حالت قبلی قرارداشت از فنر

بین بولت و فوندانسیون استفاده نمودند، و با یک بولت بلند، صفحه ستون را به بالای ستون در تراز تیر وصل نمودند. در سازه سوم برای اتصال تیر به ستون از اتصال نیمه صلب استفاده شده است. هنگامی که بار تا ۳۸۰kN افزایش داده شد شیب منحنی بار جابه‌جایی کم کم کاهش یافته است. تا زمانی که توسط تغییر شکل، کنترل شود. زمانی که جابه‌جایی افقی به ۱۰ میلی‌متر رسیده بود تغییری در تیر و ستون‌ها مشاهد نشده است. زمانی که جابه‌جایی به ۳۳,۳ میلی‌متر رسیده بود پوشش سطح فلنج پایین RBS شروع به پوسته شدن نموده بود. اما اتصال هنوز سالم بوده است. زمانی که جابه‌جایی به ۴۰ میلی‌متر رسیده بود ستون دچار uplifted شده و پای‌ستون از روی کف ستون ۱۰ میلی‌متر بلند شده بود. وقتی جابه‌جایی افقی تا حدود ۶۷ میلی متر بارگیری شد، قسمت فوقانی فلنج فوقانی RBS شکسته شده و کمانش موضعی در بال ستون نزدیکی محل اتصال به صفحه ستون ایجاد گردیده است. در جابه‌جایی افقی سازه تا ۶۷ میلی‌متر، اتصال نیمه گیردار که به راحتی قابل تعویض بوده و از دو نمونه اتصال دیگر بهتر عمل نموده است [۲].

اضافه کردن میراگرهای ویسکوالاستیک به طور موازی به صفحات فولادی باعث بهبود عملکرد میراگرهای شکاف‌دار فولادی شده است. با توجه به نتایج آزمایشات معلوم شد استفاده از این میراگر در تحلیل باعث کاهش جابه‌جایی سازه شده است [۳].

میراگر ترکیبی متشکل از صفحه فولادی شکاف‌دار و پدهای هیبریدی و میراگرهای اصطکاکی، در زمین لرزه‌های کوچک فقط میراگرهای اصطکاکی فعال می‌شوند، در حالی که در زمین لرزه‌های بزرگ هر دو میراگر (اصطکاکی و شکاف‌دار) انرژی لرزه‌ای را مستهلک می‌کنند. کلیه اجزای این میراگر به راحتی از مواد ارزان قیمت تولید می‌شوند (پد اصطکاکی، صفحات فولادی و پیچ و مهره‌های با فشار بالا) آزمایش‌های بارگزاری چرخه‌ای کنترل شده با جابه‌جایی نمونه‌ها با استفاده از جک هیدرولیک ۵۰۰ کیلو نیوتن انجام شد است. طرح بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای توزیع بهینه میراگرهای لرزه‌ای استفاد شده است. میراگر ترکیبی پدهیبریدی با میراگراصطکاکی و میراگر شکاف دار در طول پروسه تحلیل پایدار بوده و اتلاف مقدار زیادی از انرژی لرزه‌ای را باعث گردیده است. توزیع میراگرهای ترکیبی در کل سازه بر اساس توزیع بهینه LCC ثابت کرد که در تقویت سازه موثرتر است [۴].

برای توزیع بهینه میراگرهای شکاف‌دار، از ورق فولادی برای مقاوم سازی لرزه‌ای سازه در یک سازه ۱۲ طبقه مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته است. سازه برای مقاومت در برابر بار باد و همچنین نیروهای ثقلی طراحی شده است، بنابراین سیستم سازه تشکیل شده است از دیوارهای برشی کوتاه که در امتداد جهت طولی قرار دارند که در آن بار باد کم است، و دیوارهای برشی طولانی در امتداد جهت عرضی، جایی که بار باد زیاد است. سازه به ابعاد ۸,۸ متر در ۳۹,۶ متر و به ارتفاع هر طبقه ۲,۶ متر، و ضخامت دیوارهای بتنی برابر۰,۲ متر بوده است. در این مطالعه توزیع بهینه فولاد را بررسی کردند میراگرهای شکاف‌دار صفحه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک به طور موثر پاسخ لرزه‌ای و برش پایه بتن مسلح را کاهش داده است دیوارها بدون در نظر گرفتن بار لرزه‌ای طراحی شده است، با توزیع دمپر بر اساس الگوی بینابینی بررسی شد اتلاف انرژی ظرفیت میراگر شکاف‌دار و مدل تحلیل شده با آزمون بارگذاری چرخه‌ای صحت سنجی شده است. میرایی مورد نیاز برای مقاوم سازی لرزه‌ای حاصل از ظرفیت روش طیف آزمون بارچرخه‌ای یک میراگر شکاف‌دار پایدار بوده و رفتار چرخه‌ای مقدار قابل توجهی از نیروی ورودی به سازه را مستهلک نموده است [۵, ۶].

براساس یک برنامه آزمایشی، رفتار چرخه‌ای اصطکاک چرخشی دمپر با مواد و درصد اصطکاک مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. مواد صفحات اصطکاکی شامل آلومینیوم، فولاد گالوانیزه، فولاد ضد زنگ، و فولاد St-37، بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌ها مطابق با FEMA-356 اعمال شده است. صفحات آلومینیوم و فولاد St-37 رفتار هیسترزیس پایدارتر و در برابر تخریب مقاومت کمی را از خود نشان دادند. نوارهای آلومینیومی، فولاد گالوانیزه و فولاداستیل در پایان دچار سایش زیاد شده‌اند، در حالی که فولاد ضدزنگ سایش کم را نشان داده بود. تحت بارگذاری چرخه‌ای، در مقایسه با دیگر موارد آزمایش با سایر مواد اصطکاک آلومینیوم با توجه به تأیید دستگاه‌های اتلاف انرژی غیر فعال ارائه شده توسط FEMA-356، مطابقت دارد در حالی که، فولاد گالوانیزه و فولاد St-37 ، برخی از معیارها پذیرش را جوابگو نبودند. با توجه به نتایج، هر چند دمپر با پدهای آلومینیومی تمام معیارهای پذیرش FEM-356 را جوابگو بوده است. می‌تواند در بارگذاری چرخه‌ای بالا استفاده شود، سایش پد آلومینیوم تحت بارگذاری چرخه‌ای زیاد است بنابراین، اگر دمپر با پد آلومینیوم در طراحی

لرزه‌ای سازه‌ها استفاده می‌شود، پدهای آلومینیومی دمپر باید بعد از زلزله جایگزین شوند [۷].

فیوزهای CBRF (فیوز ابتکاری) عناصری هستند که در اعضای سازه تعبیه شده‌اند تا خرابی‌های احتمالی را در محلی مشخص کنترل نمایند. این فیوزهای CBRF قابل تعویض، برای اتلاف انرژی بارهای شدید در حالی که توسط بخشی از سازه حفظ می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. فیوزهای عناصر ساختاری هستند که در یک عنصر متفاوت قرار گرفته‌اند بسته به بخشی از ساختار مانند مهاربندها، تیرها یا ستون‌ها و نوع بار قابل تحمل آنها، برای جذب انرژی بار اعمال شده به سیستم. فیوز مهارکمانش کامپوزیت CBRF ارائه شده در این سازه یک فیوز محوری قابل تعویض است که به عنوان بخشی از مهاربند عمل می‌کند و اساساً یک BRB بهبود یافته است. CBRF با ابعاد نسبتاً کوچک یک میراگر هیستریتیک است که به گونه‌ای طراحی شده است که قبل از سایر اجزا بازده داشته باشد، به منظور محافظت از یکپارچگی سازه. به دلیل کوتاه بودن طول CBRF، در همان جابه‌جایی نسبی، فشار متوسط هسته بیشتر از نمونه‌های کامل BRB است که باعث افزایش اتلاف انرژی و شکل‌پذیری سازه می‌گردد. سهولت اجرا و ترمیم پذیری دو مزیت مهم دیگر استفاده ازCBRF است. مزیت مهمی که طراحان و سازندگان را به استفاده از این ترغیب می‌کند. فیوز ابتکاری CBRF می‌تواند روند بازرسی را تسهیل کند و در صورت آسیب دیدن از یک بار جانبی شدید با هزینه کم جایگزین شود [۸].

بررسی آزمایشگاهی در مورد رفتار اتلاف انرژی میراگر (RCED)، وجود چهار رشته کابل که دو به دو با هم کار می‌کنند و در هر مرحله یک گروه از آنها تحت کشش هستند باعث افزایش کارآیی این میراگر شده است. در این مطالعه سه نمونه که قطر کابل‌ها با هم متفاوت بود مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه نمونه‌ها فقط در قطر کابل با هم متفاوت بودند تفاوت نیروی تحمل شده مربوط به قطر کابل می‌باشد. [۹]

نوع جدیدی از مستهلک کننده‌های انرژی متشکل از یک حلقه که موجب افزایش شکل پذیری و جذب انرژی زلزله شده، در هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیر خطی و تشکیل مفاصل خمیری خمشی، مستهلک کرده و بدین صورت از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیر خطی و همچنین کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری، یا آن را به تعویق می‌اندازد. برای افزایش ظرفیت باربری این عضو نیز، از یک قوطی که به وسیله‌ی صفحات اتصال به حلقه شکل‌پذیر متصل می‌شود، استفاده شده است. با افزایش قطر میزان شکل پذیری آن کاهش یافته و با افزایش ضخامت حلقه میزان شکل‌پذیری آن افزایش می‌یابد. تنش‌ها و تغییر شکل‌ها با استفاده از تحلیل غیر خطی به روش المان‌های محدود و تحت اثر بارهای رفت و برگشت، مطالعه شده است. منحنی‌های هیسترسیس به دست آمده حاکی از آن است که المان معرفی شده می‌تواند به عنوان یک عضو جاذب انرژی و همچنین یک فیوز برای کنترل کمانش یک بادبند عمل کند، ضمن آنکه شکل‌پذیری لازم را نیز تامین کند. همچنین عملکرد المان پیشنهادی در یک قاب دو بعدی با مهاربند همگرا تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بررسی شد که نتایج به دست آمده حاکی از کاهش برش پایه و افزایش شکل‌پذیری در سازه است [۱۰].

در یک مطالعه تجربی عملکرد لرزه‌ای تا شکستگی اتصال مهاربندی دارای میراگر چرخشی را بررسی نمودند [۱۱]

بررسی اثر میراگرهای اصطکاکی دورانی بر روی برش پایه و جابجای سازه تحت اثر رکورد زلزله‌های مختلف انجام داده و نتیجه گرفتند که میراگرهای اصطکاکی دورانی در تعدادی از رکوردها باعث کاهش برش پایه و کاهش جابجایی شده و در تعداد محدودی از رکوردها باعث افزایش جابجایی و برش پایه شده است [۱۲]

مطالعه عددی بر روی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های پیش ساخته فولادی بامهاربندهای اتلاف انرژی و تحقیق و توسعه در مورد سازه‌های فلزی پیش ساخته PPSs به سرعت در چین توسعه یافته است. آنها برای بهبود مقاومت لرزه‌ای PPSs، از سیستم‌های مهاربندی جایگزین ایجاد نموده‌اند. در واقع از سیستم RCED به جایی سیستم SCED در این مطالعه استفاده نمودند. عملکرد لرزه‌ای فریم‌های فولادی با مهاربندهای اتلاف انرژیRCED جدید از طریق تحلیل شبه‌استاتیک بررسی کردند و سپس به تجزیه‌وتحلیل تاریخچه غیرخطی یک مدل قاب‌مهاربندی با ABAQUS پرداخته و آنرا کالیبره نموده و با نتایج آزمایشات آزمایشی قبلی کنترل نمودند. پس از آن، یک مطالعه مقایسه‌ای در مورد عملکرد دینامیکی قاب‌های فولادی چند طبقه با مهاربندهای RCED و مهاربندهای اتلاف انرژی خودمحور انجام دادند. در این تحقیق آنها از رکورد شش زلزله حوزه دور، نورتریج، امپریال والی، کوبه، سان

فرناندو، لوما پریتا و کوکائلی ترکیه استفاده نمودند. سرانجام، یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی اثرات قطر مهاربند و اندازه پیچ و مهره های با مقاومت بالا در عملکردهای لرزه‌ای مدل RCED تحت جایجایی افقی ۶ سانتیمتری در آزمایشگاه انجام دادند. برای قاب مهاربندی فولادی یک طرفه، حلقه های پسماند به دست آمده است از مدل های FE به خوبی با داده های آزمایش مطابقت داشت. از این رو، مدل های FE توسعه یافته در این مطالعه برای پیش بینی مناسب هستند. نتایج تجربی این مطالعه تطبیقی نشان می دهد که مدل مورد آزمایش RCEDبرش پایه بزرگتر و انرژی بیشتری را نسبت به مدل SCED مستهلک می کند. در بیشتر موارد با این حال، حداکثر نیروی تاندون برای مدل SCED به طور قابل توجهی بالاتر از مدلRCED بود، که نشان میدهد تاندون های فولادی در مدل SCED تحت اثرات زلزله مستعد شکست هستند. تحت زلزله Kocaeli، حداکثر برش پایه، اتلاف کل انرژی و حداکثر نیروی تاندون مدل RCED افزایش یافته است. مقاومت بالای پیچ و مهره تأثیر کمی بر روی برش پایه و اتلاف کل انرژی مدل داشت [۱۳].

مقایسه‌ای بین قاب های مهاربندی شده با بادبندهای شورن و سازه های با مهاربندهای کابلی متصل شده به دمپرهائی که به حالت الاکلنگ قرار گرفته‌اند در سازه های فولادی با تعداد ۲، ۵ و ۸ طبقه، بر اثر رکورد زلزله ها مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این کار مقایسه میزان جابه جایی بین طبقه‌ای با درنظرگرفتن اثرات متقابل خاک و ساز و زاویه اثر زلزله به سازه تجزیه وتحلیل شده‌است [۱۴].

برای بررسی تأثیر جدا سازهای لرزه‌ای بر پاسخ لرزه‌ای ساختمان های جدا شده با لغزنده های روی سطح منحنی وپارامترهای طراحی، سه سازه بتنی با سه دهانه برابر در هر دو جهت و فاصله محور به محور ستون ها برابر ۶ متر در سه حالت ۴،۲و۶ طبقه با ارتفاع هر طبقه برابر سه متر مورد بررسی قرار دادند. ممکن است وقتی ضریب اصطکاک جداکننده نسبتاً زیاد است و PGA شتاب زلزله کم است بخصوص در مورد زمین لرزه‌هایی با شدت کم تا متوسط CSS ها بدون حرکت باقی بمانند [۱۵].

بررسی انعطاف پذیری فقط کششی مفصل اصطکاکی لغزشی (به عنوان یک فیوز ثانویه) تا حد نهایی مقاومت و پاسخ این اتصال به بار خارجی اعمال شده به آن به صورت کششی و همچنین یک مهاربند کششی جدید با استفاده از مفصل اصطکاکی لغزشی انعطاف پذیر، یک مهاربند کششی جدید معرفی شده که می تواند در مناطق فعال لرزه‌ای استفاده شود [۱۶]. برای آزمایش سیستم مهاربندی پیشنهادی، یک قاب فولادی ساده دو بعدی در مقیاس کامل طراحی و ساخته شد و تحت بارگذاری شبه استاتیک و دینامیکی قرار داشه شده بود. محدودیت های جابه جایی ULS و MCE مربوط به ۲،۵ و ۵ درصد جابه جایی است علاوه بر این، یک مطالعه تحلیلی برای پیش بینی نیروی پیش تنیدگی برای سفت شدن آن و تأثیر آن بر روی قاب مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه بارگذاری در چرخه کامل در حداکثر جابه جایی قاب ۱۲۰ میلی متر و پروتکل بارگذاری شبه استاتیک در حداکثر جابه جایی قاب ۱۵۰ میلی متر ارائه شده است. که سازه قادر به تحمل آن نبوده است. در پاسخ ارائه شده قاب نیرو کمی افزایش می یابد در مقایسه با نتایج آزمون استاتیک که نشان دهنده وجود اثرات دینامیکی بر عملکرد قاب می باشد [۱۷].

رفتار سیستم حلقوی اتلاف انرژی (میراگر) با دو حلقه فولادی داخل هم را به دو صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی نموده‌اند. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، محل شکست نمونه ها، تمرکز تنش در نمونه های عددی را تایید نموده است [۱۸].

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب های فولادی با میراگرهای که مبتنی برکشش نوعی سیم آلیاژی، مطالعه بر روی سه سازه ۳، ۷ و۱۲ طبقه با قاب خمشی انجام شده که بر اساس70 ASCE بارگذاری، و با تمام معیارهای ASCE 70 و36 AISC در چهار حالت برای دمپر (تغییر در تعداد و قطر سیم های دمپر) کنترل و طراحی شده بودند. یکی از ویژگی های مهم این میراگر استفاده از خصوصیات کششی نیمی از سیم ها تحت نیروهای کششی و فشاری بود است. نتایج تجزیه وتحلیل منحنی های پاسخ سازه‌ای و نیازهای شکل پذیری تحت زلزله طرح نشان می دهد که استفاده از این میراگر به طور قابل توجهی باعث کاهش جابه جایی می شوند، در حالی که در بعضی موارد جابه جایی ماکیزیمم بین طبقه‌ای را افزایش داده‌اند. با در نظر گرفتن هزینه دامپرها به عنوان یک ملاک، هنگام مقایسه سناریوهای مختلف دمپر، به نظر می رسد که اگرچه مورد دوم دارای کمترین میزان جابه جایی بود، بسیار پرهزینه بود (به ترتیب حدود ۶۰٪ و ۳۰٪ بیشتر از موارد سوم و چهارم هزینه نیاز داشت) [۱۹].

نتایج مطالعه پارامتریک یک دمپر شکاف دار جدید از نوع مهاربند نشان داد که دمپر پیشنهادی می‌تواند در سازه‌ها به عنوان یک وسیله اتلاف انرژی موثر و قابل اطمینان استفاده شود [۲۰].

یک دمپر منحنی مهاربند- مقرون به صرفه پیشنهادی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازهای فولادی سه، شش و نه طبقه مقاوم در برابر زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. تجزیه‌وتحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از رکوردهای هفت زلزله حوزه نزدیک و در دو سطح خطر مختلف (احتمال بیش از ۱۰٪ و ۲٪ در ۵۰ سال) و با استفاده از سیستم پیشنهادی، آسیب دیدگی پلاستیک در تیرها و ستون‌ها به طور قابل توجهی با اتلاف بخشی از انرژی ورودی زلزله و متمرکز کردن تغییر شکل‌های غیرالاستیک در عناصر از پیش تعیین شده کاهش یافت، نتیجه گیری شد که سیستم پیشنهادی می‌تواند حداکثر تغییر مکان سقف را به طور موثر کنترل کند و از بزرگ نمایی آن جلوگیری کند. بررسی منحنی‌های تغییر شکل سازه‌ها در مناطق تعیین شده در هنگام زلزله‌های انتخاب شده نشان داد که میراگر خمیده می‌تواند مقدار زیادی از انرژی ورودی زلزله را با استفاده از ظرفیت تغییر شکل غیرخطی و تشکیل لولاهای پلاستیک در مکان‌های تعیین شده جذب نموده است، بنابراین آسیب‌های ساختاری و غیر سازه‌ای تحمیل شده به سازه‌ها را کاهش می‌دهد. مزایای دیگر سیستم پیشنهادی این است که هزینه ساخت و نگهداری آن‌ها بسیار کمتر از سایر دستگاه‌های غیرفعال هستند. برای نصب قطعه منحنی به نیروی کار ماهر نیاز نیست، میراگرها می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه و زمان تعمیر و نگهداری را کاهش دهد. نتایج این مطالعه به طور کلی نشان دهنده کارایی سیستم جدید به عنوان یک گزینه کارآمد و عملی برای سیستم‌های مقاوم در برابر نیروی لرزه‌ای جهت مقاوم سازی سازه‌های ساخته شده و همچنین مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های در دست طراحی و ساخت می‌باشد [۲۱].

مهاربند معمولی الوار (CTB) یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی ساده و اقتصادی است که توانایی ایجاد یک سختی الاستیک مناسب (اولیه) را دارد، به لطف رفتار سخت الوار به موازات جهت الیاف. با این حال، رفتار غیر ارتجاعی آنها، در صورت وقوع حوادث لرزه‌ای بزرگ، عمدتا به دلیل از دست رفتن مقاومت نهایی وسختی الاستیک نگران کننده است. جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای مهاربند چوبی با استفاده از اتصال اصطکاکی انعطاف پذیر (SC-TB)، در ساختمان با مهاربند SC-TB با کاهش حداکثر برش پایه، انتظار می‌رود که هزینه عناصر کنترل شده اجباری (غیر قابل انعطاف) تا حدی کاهش یابد، اما احتمالاً باید برای عناصر مهاربندی بیشتر هزینه شود. بنابراین نمی‌تواند به سادگی در مورد هزینه نهایی این ساختمان‌ها قضاوت کرد [۲۲].

مهاربند جدید خود محور با سختی ثانویه صفر با استفاده از اتصال اصطکاکی انعطاف پذیر (SC-TB) برای کمانش الاستیک مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۳].

پیکربندی جدیدی برای میراگر اصطکاکی دورانی پیشنهاد شده و رفتار آن تحلیل گردیده است. این میراگر دارای ساختاری بسیار ساده‌تر از میراگر پال بوده و المان اصطکاکی شامل مفصل و بازوها بر خالف میراگر موالا که در زیر تیر قرار میگیرد، در مرکز قاب بوده و از طریق کشش و فشاری که از مهاربندها اعمال میشود، مفصل اصطکاکی تحت لنگر دورانی قرار میگیرد. همچنین روشی ساده و مبتنی بر تحلیل استاتیکی معادل برای طراحی این میراگر ارائه شده است که لنگر لغزش بهینه را به طور متغیر در طبقات توزیع میکند. تعبیه میراگرهای بهینه در طبقات قاب و بررسی شاخص عملکرد آنها، برتری این روش توزیع را نسبت به توزیع یکنواخت نشان میدهد. توزیع متغیر روشی ساده و بدون نیاز به تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی زیاد برای یافتن بهترین شاخص عملکرد است. این روش شاخص‌های عملکردی بهتر از شاخص‌های بدست آمده از توزیع یکنواخت ارائه میدهد. همچنین در توزیع متغیر لنگر لغزش در طبقات، همه میراگرها بخصوص در طبقه بام به خوبی به لغزش میافتند. در مطالعات موردی میراگر پیشنهادی شاخص عملکرد لرزهای سازه را تا ۱۱ % بهبود داده است که در صورت توزیع بهینه در طبقات تا ۱۷ ٪نیز افزایش مییابد. کارآیی این سیستم در سازه‌های مرتفع‌تر و تحت زلزله‌های شدیدتر بیشتر است [۲۴].

بهینه سازی همزمان محل قرارگیری و پارامترهای اصطکاک چرخشی میراگر اصطکاکی برای قاب‌های مقاوم در برابر نیروی‌های چرخه‌ای زلزله‌های متوسط و شدید بررسی شده است. اجرای آسان، هزینه کم و عدم نیاز به انرژی خارجی از مزایای این میراگر است که مورد توجه محققان قرار گرفت بود. نسبت حداکثر انرژی ورودی لرزه‌ای به حداکثر انرژی اتلاف شده توسط RFD به عنوان هدف در نظر گرفته شده بود [۲۵].

مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از میراگر اصطکاک چرخشی با بازگرداندن نیرو (TSFD) و مقایسه

نتایج با میراگر اصطکاک چرخشی(FD) اصطکاک پیچشی دمپر شامل پد اصطکاک چرخشی با فنرهای پیچشی سنگین است که در دو طرف دمپر اصطکاکی قرار داده شده‌اند. عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از تجزیه وتحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی، بر اثر اعمال رکورد زلزله های بزرگی که در فاصله گسیختگی متوسط گسل در خاک سفت یا سایت‌های سنگی ثبت شده‌اند بدست آمده است [۲۶, ۲۷].

یک میراگر جدید به نام میراگر اصطکاک مخروطی خودمحور (SCFD) است. SCFD از سطوح مخروطی و بولت استفاده می کند. صفحات مخروطی داخل هم قرار می گیرند و زمانی که می خواهند روی هم بلغزند بولت‌ها از حرکت آنها جلوگیری می کنند. میراگرهای کنترل غیرفعال معمولی از قابلیت خودمحوری برخوردار نیستند. زمین لرزه های اخیر نشان داده‌اند که از بین بردن تغییر شکل باقیمانده بسیار مهم است تا بتوان زمان خرابی را به حداقل رساند. این میراگر این قابلیت را دارا می باشد [۲۸].

ارزیابی لرزه‌ای و جانمایی بهینه سازه های فولادی مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری را انجام دادند ونتایج نشان دهنده بهبود قابل توجه عملکرد سازه مجهز به میراگراصطکاکی سیلندری بوده است [۲۹].

مطالعات تجربی و عددی در مورد مهاربند کمانش ناپذیر (مهاربندهایی با کابل های کامپوزیت فیبرکربن) انجام شده است. روش مرسوم طراحی لرزه‌ای و آیین نامه های فعلی به سازه‌ها اجازه می‌دهد تا تغییر شکل های پلاستیک بزرگی را در تجربه کنند. استفاده از چنین معیارهای آیین نامه ها، منجر به ایجاد سازه هایی می شود که به میزان قابل توجهی آسیب می بینند. در زلزله های بزرگ (مقدار جابه جایی باقیمانده از جابه جایی ایجاد شده در زمان زلزله) مانع استفاده مجدد از این سازه ها بعد از زلزله می شود. از این رو، ساختمان ها پس از یک زلزله بزرگ قربانی می شوند در حالی که امنیت جانی تأمین می شود. از دست دادن ساختمان های آسیب دیده و ساخت ساختمان های جدید به طور قابل توجهی بر اقتصاد و محیط زیست تأثیر می گذارد. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی این مهاربند با آیین نامه AISC مطابقت داشته است. استفاده از این مهاربند که از چهار کابل کششی استفاده می کند تغییر شکل ماندگار (جابه جایی ماندگار بعد از وقوع زلزله) را کاهش می دهد [۳۰].

در مطالعه عملکرد مهارکننده اتلاف انرژی خود محور T شکل با کابل های پیش تنیده مشخص گردیده است که ظرفیت تغییر شکل پلاستیک سازه نسبت به حالتی که از کابل به صورت بادبند در قطر قاب استفاده شده باشد بیشتر است [۳۱].

برای بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه های فولادی با میراگر منحنی شکل فلزی از میراگرهای با طول یکسان و زاویه مرکزی قوس در اندازهای ۳۰، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۲۰ درجه استفاده شده است. زمانی که زاویه مرکزی قوس ۳۰ درجه هست این میراگرها کارآیی بهتری دارد و هرچه زاویه بیشتر شود از قدرت آن کاسته می شود [۳۲].

در طی سال های گذشته استفاده از الوارسنگین در ساخت و سازهای متوسط تا بلند در آمریکای شمالی و اروپا به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. تقاضا برای سازه های چوبی بلند به عنوان جایگزین پایدارتر برای بتن و فولاد، و سیستم های مقاوم در برابر زلزله که عملکرد فراتر از معیارهای طراحی معمولی و سطحی از ایمنی را فراهم کند افزایش یافته است. ساختمانهای بلند چوبی اغلب از چوب سنگین در ترکیب با دیوارهای برشی بتن مسلح که مقاومت جانبی را تأمین می کنند ساخته شده‌اند. استفاده از قاب های مهاربندی چوبی سنگین به عنوان سیستم اولیه مقاوم در برابر بار جانبی به طور گسترده‌ای در سازه های چوبی بلند مورد استفاده قرار نگرفته است. زیرا در حال حاضر هیچ راهنمایی برای اتصالات یا سیستم های سازه‌ای در سازه های چوبی وجود ندارد. برای رفع این چالش، یک اتصال مهاربندی تیر ساده به ستون برای ترکیب با هر یک از مهاربندهای فولادی با کارایی بالا (به عنوان مثال، میراگر ویسکوز، مهاربند کمانش ناپذیر) در قاب های معمولی مهاربند چوبی و قاب مهاربندی شده با چوب – فولاد که از طریق آزمایشات تجربی نشان داده شده است که دارای عملکرد لرزه‌ای مشابه بوده، بنابراین فاکتورهای اصلاح نیروی لرزه‌ای فاکتورهای (R) قابل مقایسه با ساختمان های قاب مهاربند فولادی با همان موارد را فراهم می کند. آزمایشات بارگذاری بر روی یک قاب مهاربندی شده یک طبقه با الوار– فولاد تحت بارگذاری چرخه‌ای باد و شبه استاتیکی زلزله نشان داد که سیستم پیشنهادی قادر است حداکثر جابه جایی معادل ۹۵ درصد بار طراحی مهاربند را بدون مشاهده آسیب به اتصالات یا اعضای چوبی سنگین تحمل کند. نتایج محاسبات عددی و آزمایشگاهی برای شتاب تا g۱ برابر

بوده و اختلافی را نشان نمی‌داد اما زمانی که شتاب از ۱ g فرارتر باشد مهاربند اصطکاکی دچار لغزش زیادی شده است که باعث اختلاف بین نتایج عددی و آزمایشگاهی گردیده است. نتایج شبیه سازی و مدل عددی IDA و منحنی های شکنندگی به طور کلی برای شتاب طیفی در سطح خطر MCE و DBE برای سازه مطابقت خوبی داشتند و عملکرد لرزه‌ای عالی قاب ترکیبی مهار شده از الوار – فولاد محدودیت های عملکرد ساختاری را از FEMA P696 و ASCE6 41-06 برآورده کرده و احتمال خطر کمتر از ۱۰٪ در زلزله سطح خطر MCE را به دست می‌آورد. [۳۳].

برای کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها از یک نوع دمپر (DASMAFD) استفاده شده است. آلیاژهای باتغییر شکل الاستیک زیاد (SMA) به دلیل ویژگی‌های خود محوری و اتلاف انرژی به طور گسترده‌ای برای کاهش پاسخ های لرزه‌ای سازه‌های مهندسی استفاده می‌شود. با این حال، ظرفیت اتلاف انرژی SMAs در مقایسه با سایر میراگرهای وابسته به جابه‌جایی محدود است. در این مطالعه، میراگر اصطکاک SMA (DASMAFD) برای کنترل پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های اسکلت بتن مسلح (RC) پیشنهاد شده است. میراگرها DASMAFD وقتی با SMAD ها و SMAFD ها مقایسه می‌شود، DASMAFD به طور موثرتری جابه‌جایی بین طبقات ساختمان قاب RC را (تا ده درصد) کاهش می‌دهد [۳۴].

مطالعه آزمایشگاهی بر روی یک نوع میراگر متشکل از ورق‌های اصطکاکی و صفحات دیسکی نشان داد که این دمپر نمودار هیسترزیس پایدار را به نمایش می‌گذارد و حتی در شرایطی که سیکل بارگذاری چرخه‌ای به ۱۰۰ سیکل رسیده بود هیچ ایرادی در کارکرد میراگر در آزمایشات کمانش جانبی مشاهده نشده [۳۵].

یک روش مقاوم سازی لرزه‌ای و بازسازی برای سازه‌های فولادی با استفاده از میراگر بازویی (MDAD) و حداقل اختلال در کاهش ارتفاع فضای مفید ابداع گردیده است، اهداف این مقاوم سازی در سه فاز بررسی شده است. فاز A برای تأخیر در بازده، فاز B برای تاخیر در شکستگی، و فاز C برای تأخیر در کاهش ظرفیت برشی، این‌ها مراحل مربوط به سطح عملکرد مشخص شده هستند. این سیستم مقاوم سازی باعث کاهش خمش تیر به مقدار ۱۶٪ در مرحله پلاستیک بود. مقاومت برشی را تا ۹۶٪ حداکثر ظرفیت برشی بازیابی نموده است [۳۶].

عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی صلب و نیمه صلب و تاثیر اضافه شدن میراگر اصطکاکی به این قاب‌ها را انجام داده اند براساس نتایج قاب نیمه صلب با میراگر اصطکاکی بهترین عملکرد دربین نمونه‌ها را داشته است [۳۷].

در یک کار آزمایشگاهی بارگذاری چرخه‌ای تیرهای جفت فولادی با میراگر اصطکاکی مجهز به لنت ترمز در میانه دیوار برشی با دال بتنی را بررسی شده. پدهای اصطکاکی پاسخ‌های هیسترزیس پایدار و اتلاف انرژی کامل را نشان دادند. در طول آزمایش ضریب اصطکاک افزایش تدریجی ۸-۲۷٪ را نشان می‌داد در حالی که نیروی اعمال شده توسط پیچ ومهره‌های پیش ساخته به طور مداوم در هنگام بارگیری کاهش می‌یافت. هر دو پدیده را می‌توان به پدیده سایش نسبت داد. مقاومت برشی تیرهای اتصال ۲۰٪ کمتر از نیروی برشی طراحی شده بود. جزئیات دال RC آسیب شدید متحمل شد و ترک‌های خمشی با عرض ۶ میلی‌متر در آن بوجود آمده بود [۳۸].

تقاضای لرزه‌ای اجزاء غیر سازه‌ای حساس به شتاب در سازه با مهاربند و میراگرویسکوزمایع مورد بررسی واقع گردیده است. سه قاب ۳، ۶ و ۹ طبقه را تحلیل دینامیکی غیر خطی شده و بر اساس FEMA P695 و رکورد زلزله‌های حوزه نزدیک متغیرهای اصلی بررسی شده. نتایج عددی نشان می‌داد که میراگرهای ویسکوزمایع به طور کلی پاسخ لرزه‌ای را بهبود می‌بخشند با این حال، تقاضای لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای حساس به شتاب به طور قابل توجهی متفاوت است. احتمال خطر تحت حرکات لرزه‌ای MCE برای فریم‌های دارای میراگر ویسکوزمایع غیرخطی با نمادهای سرعت کوچکتر (به عنوان مثال ، α <۰,۷) وجود دارد، و احتمال فروپاشی تحت اثر MCE افزایش می‌یابد، به ویژه برای فریم های (۶ و ۹ طبقه). این افزایش احتمال سقوط با کاهش مقادیر سرعت بارزتر است. توزیع ثابت میرایی در فریم‌هایی که دارای میراگرهای ویسکوزمایع است در دوره‌های معین کاهش شتاب طیفی را نشان می‌دهد [۳۹].

با بررسی اتصال تیر به ستون با استفاده از چند دمپرSMA نتیجه گرفتند رفتار هیسترزیس مناسب با اتلاف انرژی رضایت بخش داشته است [۴۰].

میراگر اصطکاکی جدید (PVFD) برای کاهش ارتعاش لرزه‌ای، دو سازه ۵ و ۲۰ طبقه را تحت چندین رکور زلزله مورد بررسی قرار گرفته‌بودند. ویژگی منحصر به

فرد PVFD قابل تنظیم بودن آن است، این میراگر از سایر طرح های میرایی برای کاهش باد بهتر عمل می کند (پاسخ پایدارتر از نظر شتاب کم در کل رویداد باد)، و تحت بارهای لرزه‌ای، PVFD یک جابه جایی یکنواخت تر را برای ساختمان ۲۰ طبقه به همراه داشت [۴۱].

بررسی ارتقاء مقاومت لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح موجود با استفاده از میراگر اصطکاکی،طبق تجزیه وتحلیل دینامیکی با استفاده از رکوردهای حوزه نزدیک هفت زمین زلزله مختلف، پس از مقاوم سازی لرزه‌ای با استفاده از سیستم پیشنهادی حداکثر جابه جایی های سقف در مدل ۳ و ۸ طبقه تقریباً ۶۰٪ و در مدل ۵ طبقه ۳۴٪ کاهش یافته است. لازم به ذکر است که سیستم مقاوم سازی پیشنهادی ممکن است نیاز به ستون قوی تر را افزایش دهد وهمچنین برش و نیروی واکنش بر روی پی، بنابراین پس از مقاوم سازی لرزه‌ای سازه، ایمنی پایه باید بررسی شود و در صورت لزوم تقویت مناسب انجام پذیرد [۴۲].

تاثیر دو نوع میراگراصطکاکی پال و دورانی در قاب های مهاربندی یکسان، بر ضریب رفتار سازه جهت به حداقل رساندن نیروی طراحی، مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته و با تحلیل استاتیکی غیرخطی(پوش اور) مقایسه شده‌اند در آن پژوهش ۹ تحلیل استاتیکی غیرخطی(پوش اور) ۱۳۵ تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی صورت گرفته است. در نتیجه استفاده از میراگر پال در مناطق نزدیک به گسلهای فعال پیشنهاد میشود. [۴۳]

رفتار اصطکاکی مستهلک کننده‌ها کروی شکل (چند جهته)، باتوجه به اینکه طراحی، تجزیه‌وتحلیل و تکنیک های تولید نامناسب نقش اصلی را به عنوان دلایل اصلی عملکرد ضعیف ساختمان ها در برابر زلزله را بازی می کنند، ساختمان هایی که مطابق با آیین نامه های ساختمانی ساخته شده‌اند نیز از ویرانگری ها رنج می برند. عدم مدیریت صحیح و میرایی ناکافی انرژی ناشی از زمین لرزه دلیل اصلی آسیب ساختاری در زمین لرزه است. کارایی عناصر اساسی معمولی در سازه های دارای میرایی، بسیار محدود است و ممکن است برای میرایی مقدار زیادی از انرژی ناشی از زلزله کافی نباشد. دمپر با استفاده از اتصال اصطکاک سطح کروی طراحی شده است و بدون توجه به جهت بارگیری به تمام بارها پاسخ می دهید. میراگر را می توان به راحتی با ظرفیت دلخواه تنظیم کرد. برای تجزیه وتحلیل اثر میراگرها بر رفتار سازه ها، دو سازه یکسان با و بدون میراگرها با استفاده از سوابق واقعی زلزله مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میراگرها تأثیر مثبت بر روی کاهش جابحایی و میرایی می گذارند [۴۴].

قاب های فولادی ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه با و بدون میراگر و بر اساس EC8 طراحی شده ونتیجه گرفتند که استفاده از میراگر پایداری سازه تحت اثر زلزله را تضمین می کند [۴۵].

به بررسی یک میراگر بیضوی شکل به منظور استهلاک انرژی و کنترل خسارت در اعضاء اصلی سازه ها پرداخته شد [۴۶].

در مطالعه آزمایشگاهی بر روی میراگر فولادی X ، مشخص گردیده است که اتصالات جوشکاری شده ممکن است دچار شکستگی در جوش یا شکست خستگی در مناطقی که تحت تاثیر گرمای جوشکاری بوده‌اند شوند، در نتیجه قابلیت انعطاف پذیری را محدود می کند. از این رو در بررسی های بیشتر، برخی از روش های اتصال مانند پیچ و مهره توسعه یافته است [۴۷].

به منظور محاسبه ضریب رفتار سازه‌های مجهز به میراگرهای اصطکاکی سیلندری به محاسبه ضریب رفتار سازه های مجهز به این نوع میراگر پرداخته شده است. با توجه به وابستگی پاسخ سازههای مجهز به میراگرهای اصطکاکی سیلندری به شتابنگاشت زمین لرزه ورودی و وابستگی ضریب رفتار به شکلپذیری، مقاومت افزون، نامعینی، ارتفاع و...، پنج قاب فلزی چهار، شش، هشت، ده و دوازده طبقه طراحی شده و تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی، دینامیکی خطی و دینامیکی غیر خطی افزایشی)تحت شتابنگاشت چهار زمین لرزه مختلف با شرایط یکسان و در سطح خطر یکسان که در فاصله بین ۵۰ تا ۱۵۰ کیلومتر از کانون زمین لرزه و نیز روی خاک نوع دو قرار دارند(قرار داده شدهاند. سپس عوامل موثر در ضریب رفتار محاسبه شده و در نهایت ضریب رفتار ۱۶ در حالت تنش مجاز و ۱۱ در حالت تنش نهایی به دست آمده است [۴۸].

ضریب رفتار برای سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط و مهاربند هم گرا با میراگراصطکاکی پال را مطالعه نموده‌اند و نتیجه گرفتند که ضریب رفتار با وجود میراگر بهبود قابل توجهی یافته است [۴۹].

مقاوم سازی قاب فولادی خمشی بلند مرتبه که در برابر زلزله با استفاده از دمپر اصطکاک ترکیبی مبتنی بر SMA که در اثر آتش سوزی آسیب دیده مورد بررسی قرار گرفته است. احتمال وجود ساختمان هایی که به

دلایل مختلف تحت بار سرویس نبوده و دچار تخریب نشده‌اند زیاد است، آنها برای مقابله با زمین لرزه‌های آینده در وضعیت خطرناکی قرار دارند، بنابراین به دلیل خطر زیاد باید توجه بیشتری شود. دو قاب ۱۵ و ۲۰ طبقه را مدل سازی و تحت اثر رکورد ۱۰ زلزله مشخص تحلیل نمودند. قاب‌های فولادی با دمپر PDB دارای پاسخ دینامیکی بسیار یکنواخت‌تری بودند. اختلاف در سطح لرزه‌ای تأثیر کمی بر میزان پاسخ دارد. قاب‌های فولادی آسیب دیده از آتش مجهز به دمپر PDB عملکرد سازه را ۱۰-۲۰٪ در سطوح مختلف عملکرد بهبود می‌بخشد [۵۰].

براساس شکل‌پذیری هدف به تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در طبقات مختلف قاب‌های ساختمانی پرداخته شده است [۵۱].

یک بررسی جامع از میراگرهای فلزی از دهه ۱۹۷۰ طبقه بندی دمپر بر اساس مواد سازنده، میراگرهای استیل، آلومینیوم، سرب، مس و SMA علاوه بر این، کاربرد و تجزیه‌وتحلیل دامپرهای فلزی با روش‌های مختلف محاسباتی بررسی شده است. به نظر می‌رسد میراگرهای فولادی از نظر هزینه ساخت پایین و عملکرد عالی در کاهش ارتعاش از انواع دیگر محبوب‌تر هستند. علاوه بر این، پس از مواد سازنده، هندسه دمپر دارای اهمیت است تأثیر بر عملکرد دمپر عامل مهم دیگر در هنگام ساخت میراگرهای فلزی جوشکاری است کیفیتی که می‌تواند از خرابی زودرس دمپر جلوگیری کند. میراگرهای فولادی به عنوان فیوز در سازه‌ها عمل می‌کنند در صورت خرابی، می‌توان آن‌ها را به راحتی جایگزین کرد میراگرهای سربی پس از زلزله نیازی به تعویض یا تعمیر ندارند. استفاده از میراگرهای SMA در سال‌های اخیر به دلیل خاص بودن آنها در حال افزایش است علاوه بر این، میراگرهای SMA طول عمر بالاتری از سایر میراگرهای فلزی دارند و نسبتاً مناسب هستند. متقابلا، هزینه اولیه دامپرهای SMA بسیار بیشتر است. همچنین میراگرهای فلزی می‌توانند در سازه جدید و یا ساخت مجدد سازه‌های موجود به عنوان یکی از مقرون به صرفه‌ترین گزینه‌ها و در نهایت، استفاده از میراگرهای فلزی کاملاً تأیید شده است [۵۲].

بررسی آزمایشگاهی عملکرد هیسترزیس مهاربندهای مهار کننده کمانش با فیوزهای اصطکاک خودمحوری با لوله دوبل (SC-BRB) نشان داد یک سیستم مهاربندی جدید با خودمحوری و ظرفیت اتلاف انرژی بالاست [۵۳].

مطالعات پارامتریک نشان داده است که نسبت ارتفاع و ضخامت تأثیر قابل توجهی بر سختی و شکل‌پذیری دامپرS شکل تحت بار لرزه‌ای دارد [۵۴].

با انجام شش آزمایش در مقیاس واقعی به بررسی رفتار ستون که در محل اتصال به صفحه ستون دارای میراگر بود پرداخته و نتیجه گرفتند که ستون‌های دارای میراگر نتایج رضایت بخش‌تری داردند [۵۵].

در یک مطالعه آزمایشگاهی عملکرد میراگر جدید هیبرید اینرسی دورانی و مقایسه با میراگر اینرسی ویسکوزمورد بررسی قرار گرفته است. و نتیجه گرفتند که بازده میراگر اصطکاکی تقریبا ۲ برابر میراگر وسکوز در کاهش برش پایه بوده است و در کاهش جابجایی بام نیز عملکرد بهتری داشته است [۵۶].

تأثیر مهاربندهای ضربدری دارای میراگر اططکاکی و فاقد میراگر اططکاکی در عملکرد سازه بتنی در برابر نیروی انفجار مطالعه شده است. به این منظور جابه‌جایی و تغییرمکان نسبی طبقات در حالت های مختلف بارگذاری انفجار محاسبه گردیده است. درنهایت نتایج نشان دهنده تأثیر میراگر اططکاکی در کاهش تغییرمکان جانبی و تغییرمکان نسبی طبقات میباشد؛ به‌طوری‌که در سازه با میراگر در مقایسه با سازه بدون میراگر، تغییرمکان جانبی و تغییرمکان نسبی طبقات به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. مطالعات نشان داده است اضافه کردن میراگر اططکاکی به سازه باعث افزایش سختی سازه میشود، بنابراین، زمان تناوب سازه کاهش می‌یابد [۵۷].

میراگر لوله در لوله از جنس فولاد آلیاژی زد زنگ جدید برای حفاظت لرزه‌ای سازه‌ها یک رفتار هیسترزیس پایدار تا زمان خرابی از خود نشان داده است [۵۸].

با کار آزمایشگاهی عملکرد لرزه‌ای سازه با میراگرهای فولادی قابل جایگزین شدن را بررسی نموده‌اند [۵۹, ۶۰].

میراگرهای اصطکاکی دورانی با مقیاس واقعی را مورد آزمایش قرار دادند و نتایج قابل قبولی گرفته و در یک ساختمان بلند از همان میراگرها استفاده نمودند [۶۱, ۶۲]

عملکرد چرخه‌ای قاب فولادی، که تیر ستون آن بوسیله کابل به هم پیش تنیده شده، همراه با میراگرهای قابل، با توجه به مکانیسم پس از بارگذاری و جابه‌جایی، قاب یک رفتار الاستیک دو خطی را نشان می‌دهد تحت شرایطی که کابل های PT الاستیک بمانند. برای رسیدن

به این سطح عملکرد مقاطع تیر و ستون باید طوری طراحی شوند که الاستیک باقی بمانند. [۶۳].

در یک مطالعه تحقیقاتی تست مقیاس کامل دمپراتصال کوپلینگ ویسکوالاستیک و تطبیق ارزیابی مدل های مختلف عددی و برنامه های کاربردی برای ساختمان های بلند مرتبه انجام گرفته است (از میراگرهای اتصال ویسکوالاستیک (VCD) برای محافظت در برابر لرزه و باد در ساختمان های بلند استفاده می شود). بارگیری لرزه‌ای با در نظر گرفتن حرکت زمینی طولانی مدت و همچنین پالس نزدیک به گسل، برای حداکثر سطح زلزله (MCER) برای یک پروژه واقعی درنظر گرفته شده. بارگیری طولانی مدت باد ۶ ساعته با میانگین ۱ و ۱۰ ساله انجام شده است [۶۴].

تأثیر عملکرد لرزه‌ای (هیسترزیس) میراگرهای SD در قاب های خمشی فولاد را مورد بررسی قرار گرفته است. دستگاه های دمپر SD که بطور عمودی در فریم ها و فقط با اتصال تیرها در دهانه ها مرتب می شوند، به طور فزاینده‌ای SD ها معمولاً برای افزایش سختی و انرژی ساختاری استفاده می شوند. برای دستیابی به عملکرد لرزه‌ای بهتر سیستم ها در صورت تطبیق پذیری مناسب معماری در ساختمان ها با این حال، هنوز چگونگی تأثیر آنها بر عملکرد لرزه‌ای سیستم ها مشخص نیست. حلقه های هیسترزیس اولین بازده SD باعث بازده زودهنگام و اتلاف انرژی در جابه جایی کوچک می شود، در حالی که بازده دوم SDS فراتر از جابه جایی عملکرد سهم SMRF رخ می دهد برای اطمینان نسبتاً سختی postyielding بزرگ در تغییر مکان بزرگ. به عبارت دیگر، SDF پیشنهادی دارای SD است که حاوی سختی اولیه زیاد و اثر زودبازده، با سختی زیاد پس از بازده تا تغییر شکل زیاد، رفتار هیسترزیس SDF های معمولی و SDF های پیشنهادی در مقایسه با SMRF های همتای خود شده است [۶۵].

برای کاهش پاسخ دینامیکی سازه با قاب‌های فولادی همراه با میراگر اصطکاکی چرخشی در برابر زلزله و باد از میراگرهای اصطکاکی چرخشی (RFD) استفاده می شود. سه قاب سازه‌ای ۳، ۷ و ۱۳ طبقه تحت اثر رکورد چند زلزله مورد تحلیل قرارگرفتند. نصب RFD ها در قاب های فولادی، جابه جایی را کاهش می دهد نسبت عملکرد لرزه‌ای قاب ها را بهبود می بخشد [۶۶, ۶۷].

درآزمایش تجربی و تحلیلی اتصال اصطکاکی دورانی برای ساختمان های فلزی با دیواره برشی بتنی دارای قابلیت اتلاف انرژی و جابه جایی زیادی بوده است. و به دنبال یک رویداد لرزه‌ای نیاز به تعویض یا تنظیمات قطعه نیست. نتایج آزمایش ثابت کرد که اتصال می تواند بدون از دست دادن مقاومت متحمل جابه جایی های زیادی شود [۶۸].

در مطالعه آزمایشگاهی بر روی پدهای اصطکاکی فولادی در یک میراگر اصطکاکی چرخشی، نتیجه گرفتند که این پدها عملکرد اطلاف انرژی خوبی را ارائه داده اند و مناسب برای استفاده در میراگرهای اصطکاکی دورانی هستند [۶۹].

بر اساس مطالعه آزمایشگاهی و عددی روابط ریاضی برای محاسبه سختی میراگر اصطکاکی دورانی ارائه شده است [۴۷, ۷۰-۷۲].

عملکرد میراگرهای ترکیبی منحنی و میراگرهای مثلثی افزاینده میرایی و سختی در قاب خمشی فولادی و در ناحیه اتصال تیر به ستون را به صورت عددی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند میراگرهای ترکیبی انرژی ورودی لرزه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش می دهند و از خرابی سازه جلوگیری می کنند[۷۳].

استفاده از میراگرهای منحنی شکل وابسته به جابجایی بعنوان عضو قابل تعویض در محل اتصال تیر به ستون قاب خمشی فولادی نیمه صلب با مقاومت تسلیم پایین میراگر در حالت کلی نشان داده است که استفاده از فولاد با مقاومت پایین در این میراگر و با تاکید بر اثر ضخامت میراگر، باعث می شود که پارامتر شکل پذیری و جذب انرژی کل در مقایسه با میراگرهای با فولاد دارای تنش تسلیم بالا افزایش یابد .همچنین با تشکیل مفصل پلاستیک در ناحیه میراگر منحنی شکل فولادی از شکل گیری آن در محل اتصال تیر به ستون جلوگیری می شود می کنند[۷۴].

۴- نتیجه گیری:

مطالعاتی که در آن ها بار چرخه‌ای به سازه اعمال شده است معمولا میراگرها باعث کاهش برش پایه و کاهش جابجایی سازه شده‌اند.

در نمونه های آزمایشگاهی که فقط خود میراگر مورد آزمایش واقع شده است بیشتر به بیان عملکرد مثبت میراگر توجه شده است.

در مطالعاتی که رکورد زلزله به سازه دارای میراگر اثر داده شده است میراگرها در تعدادی از رکوردها باعث کاهش و در تعداد دیگری باعث افزایش برش پایه و

جابجایی سازه شده‌اند و همزمان برای برش پایه و جابجایی یک عملکرد یکنواخت را نشان نداده‌اند.
میراگرهایی که در محل اتصال تیر به ستون قرارگرفته‌اند باعث بزرگ شدن چشمه اتصال گردیده‌اند و در مواردی در خود این میراگرها مفصل پلاستیک تشکیل شده است. در واقع این میراگرها بدلیل موقعیت مناسب نصب شده و عملکرد عالی، انرژی لرزه‌ای وارد شده به سازه را به خوبی جذب نموده‌اند.
با توجه به مطالعات انجام شده بر روی انواع مختلف میراگرها هنوز کاربرد گسترده‌ای از میراگرها را شاهد نیستیم. در آیین نامه‌های طراحی هنوز جای ضوابط طراحی این ها خالی و یا کم رنگ است.

۵- مراجع :

1. Cao, L., et al., *NHERI Lehigh Experimental Facility with Large-Scale Multi-Directional Hybrid Simulation Testing Capabilities.* Frontiers in Built Environment, July 2020. **6**: p. 107.
2. Zhang, G., et al., *Experimental and numerical study on the seismic performance of rocking steel frames with different joints under earthquake excitation.* Engineering Structures, October 2020. **220**: p. 110974.
3. EskandariNasab, M.S. and J. Kim, *Seismic Retrofit of Structures Using Hybrid Steel Slit–Viscoelastic Dampers.* Journal of Structural Engineering, November 2020. **146**(11): p. 04020238.
4. Eldin, M.N., J. Kim, and J. Kim, *Optimum distribution of steel slit-friction hybrid dampers based on life cycle cost.* Steel and Composite Structures, June 2018. **27**(5): p. 633-646.
5. Kim, J., M. Kim, and M.N. Eldin, *Optimal distribution of steel plate slit dampers for seismic retrofit of structures.* Steel and Composite Structures, November 2017. **25**(4): p. 473-484.
6. Golmoghany, M.Z. and S.M. Zahrai. *Improving seismic behavior using a hybrid control system of friction damper and vertical shear panel in series*. in *Structures*. 2021. Elsevier.
7. Anoushehei, M., et al., *Empirical evaluation of cyclic behavior of rotational friction dampers with different metal pads.* Scientia Iranica, November and December 2018. **25**(6): p. 3021-3029.
8. Mohammadi, M., et al., *Experimental and numerical investigation of an innovative buckling-restrained fuse under cyclic loading.* Structures, December 2019. **22**: p. 186-199.
9. Zhang, A., Q. Ye, and Z. Wang, *Experimental investigation on behavior of re-centering energy dissipative brace.* Engineering Structures, June 2020. **213**: p. 110606.
۱۰. نقی‌پور، مرتضی؛ سلیم بهرامی، سیدرضا؛ نعمتی، مرضیه. نقش المان‌های با رفتار شکل پذیر در عملکرد لرزه‌ای قابهای دارای مهاربند همگرا. مهندسی عمران مدرس، ۲۰۱۵. ۱۵.143-131 :p .(1)
11. Skalomenos, K.A., M. Nakashima, and M. Kurata, *Seismic capacity quantification of gusset-plate connections to fracture for ductility-based design.* Journal of Structural Engineering, 2018. **144**(10): p. 04018195.
12. maleki, a., a. sattari, and M.A. Lotfollahi Yaghin, *Improved Cyclic Behaviour of Concrete Filled Tube (CFT) Using Rotational Friction dampers and bracing.* Modares Civil Engineering journal, 2021. **21**(4): p. 185-203.
13. Quanxi, Y., Z. Wang, and Y. Wang, *Numerical study on seismic performance of prefabricated steel frames with recentering energy dissipative braces.* Engineering Structures, March 2020. **207**: p. 110223.
14. Katsimpini, P.S., et al., *Seismic drift response of seesaw-braced and buckling-restrained braced steel structures: A comparison study.* Soil Dynamics and Earthquake Engineering, February 2020. **129**: p. 105925.
15. Gandelli, E., et al., *Influence of the breakaway friction on the seismic response of buildings isolated with curved surface sliders: Parametric study and design recommendations.* Structures, October 2020. **27**: p. 788-812.
16. Bagheri, H., et al., *The resilient slip friction joint tension-only brace beyond its ultimate level.* Journal of Constructional Steel Research, September 2020. **172**: p. 106225.
17. Bagheri, H., et al., *New Self-Centering Tension-Only Brace Using Resilient Slip-Friction Joint: Experimental Tests and Numerical Analysis.* Journal of Structural Engineering, October 2020. **146**(10): p. 04020219.
18. Azandariani, M.G., A.G. Azandariani, and H. Abdolmaleki, *Cyclic behavior of an energy dissipation system with steel dual-ring dampers (SDRDs).* Journal of Constructional Steel Research, September 2020. **172**: p. 106145.
19. Falahian, A., et al., *Seismic performance assessment of steel frames with shape- memory alloy wire- based dampers.* The Structural Design of Tall and Special Buildings, August 2020: p. e1797.
20. Seyed Saeed, A. and G. Sadegh, *Experimental investigation of a multistage buckling-*

restrained brace.* Engineering Structures, 2020. **213**: p. 110482.

21. Dehghani, S., et al., *Development of a novel cost-effective toggle-brace-curveddamper (TBCD) for mid-rise steel structures using multi-objective NSGA II optimization technique.* Structural and Multidisciplinary Optimization, Septembre 2020: p. 1-28.
22. Yousef-beik, S.M.M., et al., *Seismic performance improvement of conventional timber brace using re-centring friction connection.* Structures, August 2020. **26**: p. 958-968.
23. Yousef-beik, S.M.M., et al., *A new self-centering brace with zero secondary stiffness using elastic buckling.* Journal of Constructional Steel Research, June 2020. **169**: p. 106035.
24. Gholizad, A. and M.M. Nekoo, *Seismic Performance of a Novel Configuration of Rotational Friction Damper in X Bracings.* 2018.
25. Jarrahi, H., et al., *Simultaneous optimization of placement and parameters of rotational friction dampers for seismic-excited steel moment-resisting frames.* Soil Dynamics and Earthquake Engineering, September 2020. **136**: p. 106193.
26. Naeem, A. and J. Kim, *Seismic retrofit of structures using rotational friction dampers with restoring force.* Advances in Structural Engineering, July 2020. **23**(16): p. 1369433220939213.
27. Sanghai, S. and P. Pawade, *Optimal placement of friction dampers in building considering nonlinearity of soil.* Innovative Infrastructure Solutions, 2021. **6**(1): p. 1-18.
28. Yang, T., H. Xu, and L. Tobber, *Mechanism and experimental validation of innovative self-centering conical friction damper.* Structural Control and Health Monitoring, October 2020. **27**(10): p. e2609.
29. میرزائی‌فرد، حمید؛ میرطاهری، مسعود؛ رحمانی سامانی، حمید. ارزیابی لرزه‌ای و انتخاب جانمایی بهینه میراگر اصطکاکی سیلندری در سازه‌های فلزی. نشریه مهندسی سازه و ساخت, ۲۰۱۶. ۲(4): p. 18-30.
30. Atasever, K., et al., *Experimental and numerical studies on buckling restrained braces with posttensioned carbon fiber composite cables.* Earthquake Engineering & Structural Dynamics, January 2020.
31. Liu, X.-C., et al., *Performance of prestressed T-type self-centering energy-dissipation brace.* Engineering Structures, November 2020. **223**: p. 111174.
32. Ghabussi, A., J.A. Marnani, and M.S. Rohanimanesh, *Improving seismic performance of portal frame structures with steel curved dampers.* Structures, April 2020. **24**: p. 27-40.
33. Miller, S., et al., *Experimental and analytical fragility assessment of a combined heavy timber–steel- braced frame through hybrid simulation.* Earthquake Engineering & Structural Dynamics, August 2020. **50**(2): p. 270-289.
34. Zhang, Z., et al., *Development of a novel deformation-amplified shape memory alloy-friction damper for mitigating seismic responses of RC frame buildings.* Engineering Structures, August 2020. **216**: p. 110751.
35. Sano, T., et al., *Dynamic loading tests and seismic response analysis of a stud- type damper composed of multiple friction units with disc springs.* Earthquake Engineering & Structural Dynamics, June 2020. **49**(13): p. 1259-1280.
36. Marzano, G.A., K.A. Skalomenos, and M. Kurata, *Multiple-Damage State Retrofit of Steel MRFs with Composite Beams Using a Minimal-Disturbance Arm Damper.* Journal of Structural Engineering, 2020. **146**(9): p. 04020169.
37. بیات، محمد؛ زهرایی، سید مهدی. نقش میراگر اصطکاکی در بهبود عملکرد لرزه ای قابهای فولادی تا اتصالات صلب و نیمه صلب. نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد, ۲۰۱۶. ۱۰(19): p. 67-75.
38. Qu, Z., et al., *Cyclic loading test of steel coupling beams with mid-span friction dampers and RC slabs.* Engineering Structures, January 2020. **203**: p. 109876.
39. Chalarca, B., A. Filiatrault, and D. Perrone, *Seismic Demand on Acceleration-Sensitive Nonstructural Components in Viscously Damped Braced Frames.* Journal of Structural Engineering, September 2020. **146**(9): p. 04020190.
40. Feng, W., C. Fang, and W. Wang, *Behavior and design of top flange-rotated self-centering steel connections equipped with SMA ring spring dampers.* Journal of Constructional Steel Research, 2019. **159**: p. 315-329.
41. Barzegar, V., et al., *Numerical evaluation of a novel passive variable friction damper for vibration mitigation.* Engineering Structures, October 2020. **220**: p. 110920.
42. Eldin, M.N., A.J. Dereje, and J. Kim, *Seismic retrofit of RC buildings using self-centering PC frames with friction-dampers.* Engineering Structures, April 2020. **208**: p. 109925.

۴۳. شریعتمدار، هاشم؛ عباس‌زاده، حسین. ضریب رفتار سازه‌ی پال و دورانی، تحت اثر نگاشت‌های دور و مجهز به میراگر نزدیک گسل. نشریه مهندسی سازه و ساخت, ۲۰۲۲. ۸(شماره ویژه ۴): p. 212-231.

44. Suk, R. and G. Altintaş, *Behavior of multidirectional friction dampers.* Journal of Vibration and Control, February 2020. **26**(21-22): p. 1969-1979.
45. Kariniotakis, K. and T.L. Karavasilis, *Limits for the interstorey drift sensitivity coefficient θ of steel MRFs with viscous dampers designed according to Eurocode 8.* Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2019. **117**: p. 203-215.

۴۶. میرزائی، الهه؛ دانشجو، فرهاد. معرفی میراگر جدید بیضوی شکل به منظور استهلاک انرژی در سازه ها. مهندسی عمران, ۲۰۲۲. ۳۷-50 .39 :(4.2) p.

47. Guo, W., et al., *Experimental study of a steel damper with X-shaped welded pipe halves.* Journal of Constructional Steel Research, July 2020. **170**: p. 106087.

۴۸. میرضایی‌فرد، حمید؛ میرطاهری، مسعود؛ رحمانی سامانی، حمید. محاسبه ضریب رفتار سازه های فلزی مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری. مهندسی عمران امیرکبیر, ۲۰۱۷. ۴۹-462.۴۹ :(3) p.

۴۹. زهرائی، سیدمهدی؛ اعلایی، حسین. پیشنهاد ضریب رفتار برای سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط و مهاربند هم گرا با میراگر اصطکاکی پال. مهندسی عمران شریف.۱۳۹۴ دوره ۲-۳۱ شماره ۴/۲ ص۹۱-۹۹

50. Shakeri, J. and G. Abdollahzadeh, *Seismic Rehabilitation of Tall Steel Moment Resisting Frames Damaged by Fire with SMA-Based Hybrid Friction Damper*. International Journal of Steel Structures, September 2019. **20**(1): p. 46-66.

۵۱. باقری، سامان؛ حدیدی، علی؛ بسطامی، نسرین. تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در طبقات مختلف قاب‌های ساختمانی بر اساس شکل‌پذیری هدف. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز, ۲۰۱۵. ۴۵-11.۴۵ :(79) p.

52. Javanmardi, A., et al., *State-of-the-art review of metallic dampers: Testing, development and implementation.* Archives of Computational Methods in Engineering, March 2020. **27**(2): p. 455-478.

53. Xie, Q., Z. Zhou, and S.-P. Meng, *Experimental investigation of the hysteretic performance of self-centering buckling-restrained braces with friction fuses.* Engineering Structures, January 2020. **203**: p. 109865.
54. Zhai, Z., et al., *Experimental and numerical study of S-shaped steel plate damper for seismic resilient application.* Engineering Structures, October 2020. **221**: p. 111006.
55. Liu, Y., et al., *An innovative resilient rocking column with replaceable steel slit dampers: Experimental program on seismic performance.* Engineering Structures, 2019. **183**: p. 830-840.

۵۶. عزتی، رضا؛ سعیدمنیر، حبیب؛ قدرتی‌امیری، غلامرضا. بررسی آزمایشگاهی عملکرد میراگر جدید هیبرید اینرسی دورانی اصطکاکی و مقایسه با میراگراینرسی دورانی ویسکوز. نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد, ۲۰۱۷. ۱۰-30.۱۰ :(20) p.

۵۷. قوهستانی، سلیمان؛ کارکن، محمد؛ یعقوبی، مجید؛ خلیف، صفر. بررسی رفتار میراگر اصطکاکی در مهاربندهای ضربدری در برابر نیروی انفجار. فصلنامه علمی علوم و فناوریهای پدافند نوین, ۲۰۲۰. ۱۱-367.۱۱ :(4) p.

58. González-Sanz, G., D. Escolano-Margarit, and A. Benavent-Climent, *A New Stainless-Steel Tube-in-Tube Damper for Seismic Protection of Structures.* Applied Sciences, February 2020. **10**(4): p. 1410.
59. Taiyari, F., F.M. Mazzolani, and S. Bagheri, *A proposal for energy dissipative braces with U-shaped steel strips.* Journal of Constructional Steel Research, 2019. **154**: p. 110-122.
60. Qu, B., et al., *Testing of seismic dampers with replaceable U-shaped steel plates.* Engineering Structures, 2019. **179**: p. 625-639.
61. Mualla, I. and B. Belev. *Overview of recent projects implementing rotational friction dampers*. in *16th World Conference on Earthquake Engineering. Santiago, Chile*. 2017.
62. Mualla, I., et al. *Large capacity dampers for buildings and structures*. in *15h World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal,2012*. September 2012.
63. Chu, G., W. Wang, and Y. Zhang, *Nonlinear seismic performance of beam-through steel frames with self-centering modular panel and replaceable hysteretic dampers.* Journal of Constructional Steel Research, July 2020. **170**: p. 106091.
64. Pant, D.R., M. Montgomery, and C. Christopoulos, *Full-scale testing of a*

viscoelastic coupling damper for high-rise building applications and comparative evaluation of different numerical models. Journal of Structural Engineering, February 2019. **145**(2): p. 04018242.

65. Hsiao, P.-C. and W.-C. Liao, *Effects of Hysteretic Properties of Stud-Type Dampers on Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frame Buildings.* Journal of Structural Engineering, July 2019. **145**(7): p. 04019065.
66. Shirkhani, A., et al., *Behavior of steel frames with rotational friction dampers by endurance time method.* Journal of Constructional Steel Research, 2015. **107**: p. 211-222.
67. Veismoradi, S., et al., *Development and parametric study of a new self-centering rotational friction damper.* Engineering Structures, 2021. **235**: p. 112097.
68. Langley, M., V. Sellers, and J. Marshall, *Experimental and Analytical Testing of a Rotational Friction Connection for Metal Buildings with Hard Walls.* Journal of Structural Engineering, October 2020. **146**(10): p. 04020212.
69. Sui, W., X. Wang, and Z. Wang. *Experimental study on mechanical properties of the steel friction pads used in a rotational friction damper*. in *Structures*. 2021. Elsevier.
70. Shrestha, B., et al., *On the effectiveness of rotational friction hinge damper to control responses of multi-span simply supported bridge to non-uniform ground motions.* Advances in Structural Engineering, May 2016. **19**(10): p. 1575-1591.
71. Chen, W. and H. Hao, *Numerical study of blast-resistant sandwich panels with rotational friction dampers.* International journal of Structural Stability and Dynamics, April 2013. **13**(06): p. 1350014.
72 Kim, J., H. Choi, and K.W. Min, *Use of rotational friction dampers to enhance seismic and progressive collapse resisting capacity of structures.* The structural design of tall and special buildings, 2011. **20**(4): p. 515-537.
73. Shojaeifar, H., A. Maleki, and M.A. Lotfollahi-Yaghin, Performance evaluation of curved-TADAS damper on seismic response of moment resisting steel frame. International Journal of Engineering, 2020. 33(1): p. 55-67.
74. Rousta, A.M., et al., Cyclic behavior of an energy dissipation semi-rigid moment steel frames (SMRF) system with LYP steel curved dampers. Structural Engineering and Mechanics, 2021. 80(2): p. 129-142.

A Review of Studies on the Use of Dampers to Improve the Seismic Performance of Structures

Ali Sattari

Ph.D. student of structural engineering, Earthquake, of Civil Engineering, Maragheh branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Abstract:

The growth of population and technology along with the costs of maintenance and repair of structures after the occurrence of natural disasters such as storms, floods and earthquakes have caused people to look for safer shelter than in the past. Dampers are used to improve the cyclic behavior of structures against wind and earthquake loads. In this research, the experimental and numerical research results published in open access journals that considered the effect of the type and form of the damper on the performance of the structures, including the reduction of displacement and the reduction of foundation shear, are given. By applying cyclic load to the structure, usually the dampers have reduced the base shear and reduced the displacement of the structure. In the laboratory samples where only the damper itself has been tested, more attention has been paid to the performance of the damper. As a result of applying the earthquake record to the structure, the dampers have caused a decrease in a number of records and an increase in the base shear and displacement of the structure in some records, and at the same time, they have not shown a uniform performance for the base shear and displacement.

Keywords: Damper, Base Shear, Displacement, Energy dissipation, Cyclic load