

An Overview of Research Conducted on Various Types of Yield Steel Tubular Dampers

Yashar Hodaipour

Ph.D Student of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
Adel Ferdousi *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Robotics & Soft Technologies Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
Yousef Hosseinzadeh

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Leila Hosseinzadeh

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

A_ferdousi@iaut.ac.ir

Doi:10.71507/civil.2024.1189735

Keywords:

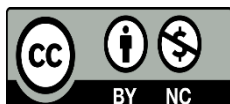
Steel damper,
Energy dissipation,
Pipe section,
Hysteresis behavior

Abstract

Despite significant advancements in structural engineering, unfortunately we continue to witness severe loss of life and extensive damage caused by earthquake. Therefore, providing solutions to counteract this natural event and mitigate its effects has always been a focus of researchers. Structural control systems, such as dampers and isolators, have gained significant popularity due to their remarkable ability to reduce the seismic response of structures. In this research, a comprehensive review of the development and application of tubular yielding steel dampers has been the focus. Dampers are classified based on their behavioral characteristics and geometric configuration, and tubular dampers are among the most commonly used dampers. Based on conducted research, it can be concluded that most tubular dampers have a simple and cost-effective manufacturing technology, and the possibility of replacing damaged components after an earthquake is available for each of these types of dampers. On the other hand, tubular dampers offer advantages such as high energy absorption and dissipation capacity, consistent performance under cyclic loading, high ductility, and high strength and stiffness. In this article, a comparison between different types of yielding tubular dampers has been conducted. It is worth noting that despite the advantages of tubular dampers, their widespread use in the country is not yet evident. Moreover, the existing codes and standards lack design provisions for such energy dissipation systems, which is a significant gap considering the importance of the subject.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

این نشریه تحت قانون بین‌المللی کپی‌رایت Creative Commons: BY-NC است.



* Corresponding Author

مروری بر تحقیقات انجام یافته در خصوص انواع میراگرهای لوله ای فولادی

یاشار هدائی پور

دانشجوی دکتری عمران - سازه، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

عادل فردوسی*

استادیار، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

مرکز تحقیقات رباتیک و فناوری های نرم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

یوسف حسین زاده

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

لیلا حسین زاده

استادیار، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

A_ferdousi@iaut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۱ مهر ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۲۰ خرداد ۱۴۰۳

چکیده

باوجود پیشرفت های عمده در زمینه مهندسی سازه متأسفانه در حال حاضر نیز شاهد تلفات جانی شدید و خسارات فراوان ناشی از زلزله هستیم. ازاین رو ارائه راهکارهای مقابله با این رخداد طبیعی و کاستن از اثرات آن همواره موردتوجه محققین است. سیستم های کنترل سازه از جمله میراگر و جداسازها به دلیل توانایی قابل توجه در کاهش پاسخ لرزه ای سازه ها محبوبیت زیادی پیدا کرده اند. در این پژوهش مرور جامعی از توسعه و کاربرد انواع میراگرهای فولادی تسلیم شونده لوله ای موردتوجه بوده است. میراگرها باتوجه به نوع رفتار و پیکربندی هندسی آنها طبقه بندی می شوند و میراگرهای لوله ای جزو پرکاربردترین میراگرها هستند. با بررسی تحقیقات صورت گرفته می توان نتیجه گرفت که اغلب میراگرهای لوله ای دارای تکنولوژی ساخت راحت و کم هزینه بوده و امکان تعویض قطعات آسیب دیده پس از زمین لرزه برای هریک از این نوع میراگرها مهیا است. از سوی دیگر میراگرهای لوله ای مزایایی مانند توانایی جذب و استهلاک انرژی بالا، عملکرد ثابت در بارگذاری چرخه ای، ظرفیت شکل پذیری، مقاومت و سختی بالا را ارائه می دهند. در این مقاله مقایسه ای بین انواع میراگرهای لوله ای تسلیم شونده صورت گرفته است. لازم به ذکر است که باتوجه به مزایای میراگرهای لوله ای، هنوز کاربرد گسترده این نوع میراگرها در کشور دیده نمی شود و در آئین نامه های موجود جای خالی ضوابط طراحی چنین سیستم های استهلاک انرژی تا حد زیادی باتوجه به اهمیت موضوع احساس می شود.

کلیدواژگان: میراگر فولادی، استهلاک انرژی، مقطع لوله ای، رفتار هیسترتیک.

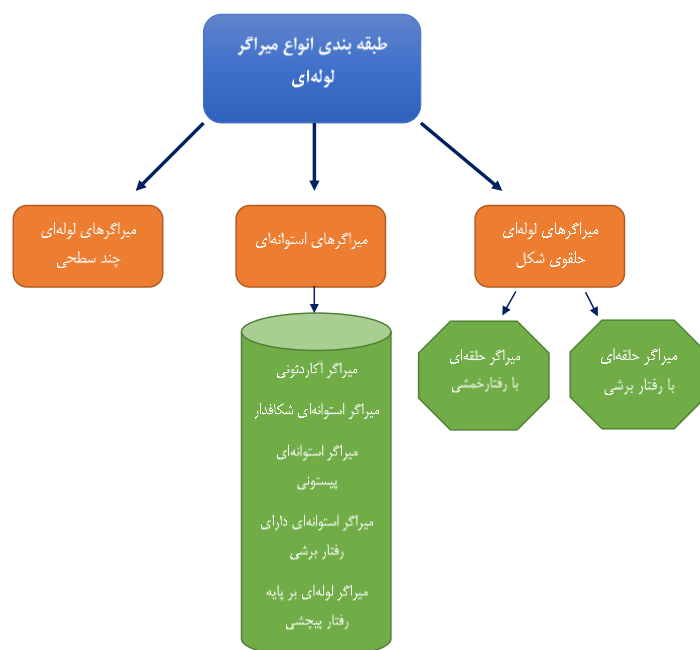
* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

سازه‌ها تحت مخاطرات احتمالی ناشی از بارگذاری پیش‌بینی‌شده و یا غیرمتعارف همچون زلزله، باد و سیلاب‌های شدید و آتش‌سوزی هستند. به طور خاص، زمین‌لرزه‌ها از عوامل اصلی آسیب شدید به ساختمان‌ها و سازه‌های حساس چون پل‌ها است و به‌عنوان نمونه در جریان زلزله مکزیکوسیتی در سال ۱۹۸۵، بیش از ۱۳۲ ساختمان فروریخت یا به شدت آسیب دید. در سال ۱۹۸۹، کالیفرنای شمالی توسط زمین لرزه لوما پریتا لرزید که بیش از ۲۰۰ ساختمان آسیب دیدند [۱]. برای جلوگیری یا کاهش چنین آسیب‌هایی، کنترل‌های ارتعاش سازه تا حد زیادی توسعه یافته‌اند و به طرز ماهرانه‌ای در مکان‌های مختلف سازه‌های مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲]. سیستم‌های کنترل را می‌توان در کاهش خطر لرزه ای سازه‌های جدید و همچنین در مقاوم سازی سازه‌های موجود با مقاومت جانبی کم مانند قاب‌های پیش ساخته استفاده کرد و در زمان و هزینه تخریب و ساخت بنای جدید صرفه جویی کرد. در میان همه دسته‌ها، سیستم‌های غیرفعال یکی از محبوب‌ترین کنترل‌های ارتعاش سازه‌ای هستند [۳].

قطعات استهلاک انرژی به‌آسانی می‌توانند اگر خسارت جدی به آنها وارد شد، جایگزین و تعویض شوند. استفاده از این قطعات یکی از اقتصادی‌ترین و مؤثرترین راه‌های کاهش اثرات زلزله روی ساختمان-هاست. از میان قطعات استهلاک انرژی، میراگرهای فلزی به دلیل عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده جهت ساخت، علمی‌تر بودن کاربرد آنها در سازه، رفتار پایدار در برابر زلزله و دخیل نبودن عوامل محیطی (درجه حرارت، رطوبت و...)، در رفتار مکانیکی آنها اهمیت خاصی دارند.

میراگرهای تسلیم شونده نیز از جمله میراگرهای غیرفعال بوده که عملکرد مناسبی در بارگذاری ارتعاشی را از خود نشان می‌دهند. با ورود میراگر تسلیم شونده به ناحیه پلاستیک، انرژی ورودی به سازه را صرف تغییر شکل پلاستیک در آن خواهد شد [۴]. این میراگرها از خاصیت رفتار هیسترتیک فلزات به هنگام تغییر شکل در ناحیه خمیری استفاده می‌کنند و باعث افزایش انرژی پسماند و لختی سیستم سازه‌ای می‌شوند [۵]. میراگرهای لوله‌ای فولادی به‌عنوان نوعی از میراگرهای غیرفعال برای اتلاف انرژی لرزه‌ای شناخته می‌شوند به‌طوری‌که می‌توانند مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از انرژی ورودی لرزه‌ای را به واسطه ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک در خود مستهلک نموده و در نتیجه از ایجاد آسیب و صدمات مخرب در سازه‌ها جلوگیری نمایند [۶]. می‌توان از میراگرهای لوله‌ای فولادی در اتصال اعضای سازه‌ای مورد استفاده قرار داد. آنها می‌توانند مقدار قابل‌توجهی از انرژی لرزه‌ای وارده را به دلیل شکل هندسی و رفتار شکل‌پذیر و غیرارتجاعی فولاد نرمه جذب و مستهلک کنند. قابلیت تغییر شکل‌های بزرگ و رفتار هیسترتیک پایدار در آزمایش تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای این نوع از میراگرها از ویژگی آنها محسوب می‌شود [۷]. به‌علاوه از مزایای دیگر آنها می‌توان به قابلیت تعویض پس از زلزله، ساختار ساده، امکان نصب در موقعیت‌های مختلف به شکل لوله‌ای در سیستم‌های حاکم و غیره اشاره کرد. میراگرهای فولادی از جمله میراگرهای جدیدی هستند که علی‌رغم ساختار ساده، دارای عملکرد بالایی هستند [۸]. باتوجه‌به کثرت این نوع از میراگرها و نوع عملکرد آنها طبقه‌بندی آنها در نمودار ذیل به‌صورت مبسوط ارائه گردیده است.

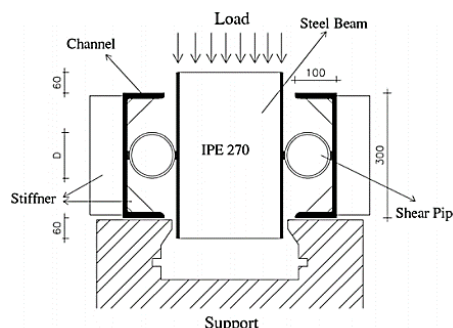


شکل ۱- نمودار طبقه بندی انواع میراگر لوله‌ای

۲- میراگر لوله‌ای حلقوی شکل

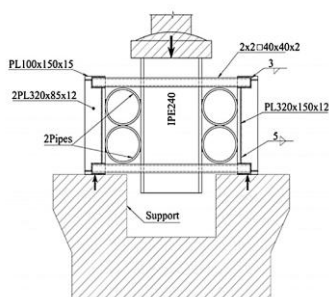
۲-۱- میراگر حلقه‌ای با رفتار برشی

در راستای توسعه میراگرهای لوله‌ای پژوهشی تحت عنوان رفتار لوله‌های فولادی، تو خالی و پر شده با بتن، تحت نیروی برش چرخه‌ای موردبررسی قرار گرفته تا امکان استفاده از لوله‌های فولادی به عنوان میراگر لرزه‌ای موردبررسی قرار گیرد. دو نمونه از لوله‌های فولادی پر شده با بتن تحت نیروی برش یکنواخت و چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و چهار نمونه دیگر از لوله‌های فولادی توخالی تحت بارگذاری مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.



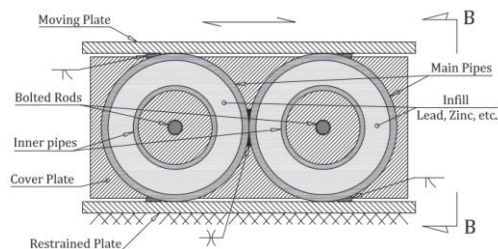
شکل ۲- جزئیات میراگر برشی لوله‌ای فولادی [۹]

نتایج نشان می‌دهد که لوله‌های فولادی توخالی قادر به جذب مقدار زیادی انرژی تحت بارگذاری چرخه‌ای با رفتار هیستریزس پایدار هستند [۹]. در ادامه نویسندگان یک نوع ساختار جدیدی از استهلاک انرژی غیرفعال تحت عنوان میراگر دو لوله‌ای را ارائه کردند. پژوهش صورت گرفته هم به صورت آزمایشگاهی و هم به صورت تحلیلی بوده است. این ساختار شامل دو لوله جوش داده شده در مکان‌های انتخاب شده برای بارگذاری برشی می‌باشد. تغییر شکل چرخه‌ای غیر الاستیک انرژی (استهلاک انرژی) عمدتاً از طریق خم شدن بدنه لوله‌ها صورت می‌پذیرد.



شکل ۳- جزئیات بارگذاری برشی میراگر دو لوله‌ای فولادی [۱۰]

شکل‌پذیری عالی، جذب انرژی و حلقه‌های هیستریزس پایدار در همه نمونه‌ها مشاهده می‌شود. DPD بسیار سبک‌وزن است، به راحتی ساخته شده و مقرون به صرفه است. با برخورداری از این ویژگی‌ها، میراگر معرفی شده به عنوان یک وسیله مفید برای کنترل غیرفعال سازه‌ها کاربرد دارد [۱۰]. با توسعه مقاله فوق موفق به ارائه ساختاری جدیدی از میراگرهای لوله‌ای با عنوان میراگر لوله‌ای تو پر شده‌اند. این دستگاه شامل دو لوله جوش داده شده است که دو لوله کوچکتر در داخل آنها قرار دارد و فضاهای بین لوله‌ها با فلزاتی مانند سرب یا روی پر شده است.



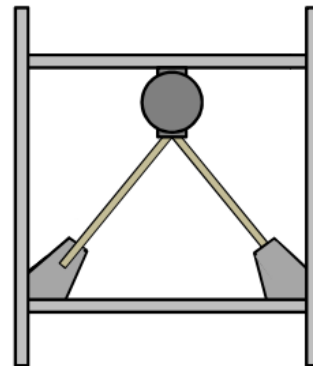
شکل ۴- جزئیات میراگر دو لوله‌ای توپر [۱۱]

این نوع میراگر در برابر نیروی برشی بارگذاری می‌شود و از تسلیم شدن لوله‌های خارجی، لوله‌های داخلی و فلزات پر شده و اصطکاک بین فلزات به عنوان مکانیسم‌های جذب انرژی استفاده می‌کند. این دستگاه را می‌توان تکامل یافته دمپر دو لوله دانست که قبلاً توسط نویسندگان توسعه یافته بود. میراگر پیشنهادی دارای مزایای از جمله مقرون به صرفه بودن، ساخت ساده، نصب آسان و کارآمدی و عملکرد بالای آن در استهلاک انرژی، مقاومت و سختی بالا اشاره کرد [۱۱].

مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی تحلیلی بر رفتار و عملکرد هیستریک میراگر پنل برشی به شکل هندسی دایره‌ای ارائه شده است.

سه قاب فولادی مقاوم در برابر بارهای لرزه‌ای ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه طراحی شده ابتدا بدون میراگر و سپس به میراگرهای دو لوله با خواص مختلف مجهز شده‌اند. پاسخ قاب‌ها به هفت تحریک زلزله با استفاده از تجزیه و تحلیل تاریخیچه زمان غیرخطی دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که میراگرهای (DPD) در استهلاک بخش قابل توجهی از انرژی لرزه‌ای ورودی و کاهش قابل توجه آسیب‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای نقش بسزای را ایفا می‌کنند و همچنین قابلیت این را دارند که اطمینان لرزه‌ای سازه‌ها را افزایش دهند. پاسخ‌های یک قاب ۱۰ طبقه مجهز به میراگر (DPD) با پاسخ‌های قاب با دستگاه های TADAS مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سازه مجهز به میراگر DPD، با قسمت سخت شدن ثانویه منحصر به فرد خود در جابجایی و نیرو، آسیب‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای کمتری را در مقایسه با میراگر TADAS نشان می‌دهد [۱۳]. پژوهشی دیگر تحت عنوان رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی مهاربندی شده توسط میراگرهای لوله‌ای ارائه گردیده است. مطالعه حاضر بر عملکرد سازه‌ای و لرزه‌ای سیستم دوگانه تمرکز کرده است. عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی با ۴، ۸ و ۱۶ طبقه با قاب ساده یا قاب مهاربند مجهز به میراگرهای لوله‌ای تحت بار لرزه‌ای قرار گرفته و با استفاده از روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد مدل‌ها با در نظر گرفتن برش پایه و جابجایی جانبی سقف و همچنین توزیع تنش فون میزس مورد بررسی قرار گرفته است. توزیع تنش ناشی از تجمع آسیب پلاستیک در میراگرهای لوله‌ای در مدل‌های ۴ و ۸ طبقه افزایش یافته و برش پایه در مدل‌های ۴ طبقه مجهز به میراگر لوله‌ای ۵۰ درصد کاهش یافته است. نتایج نشان داده است که در مدل‌های ۱۶ طبقه، مقاومت در سیستم میرایی باید مطابق سایر عناصر طراحی شود. علاوه بر این، می‌توان مقاومت سیستم میرایی را با افزایش تعداد لوله‌ها و ضخامت آنها افزایش داد. توزیع تنش سازه‌های ۸ طبقه مجهز به میراگرهای لوله‌ای مناسب‌تر از قاب ساده بوده و آسیب‌های پلاستیک در میراگرها متمرکز شده است. برش پایه و جابجایی سقف در سازه ۸ طبقه مجهز به میراگرهای لوله‌ای نسبت به قاب ساده تا ۵۰٪ کاهش یافته است [۱۴].

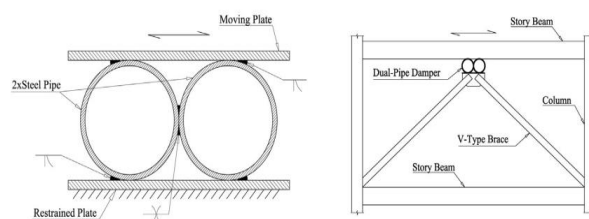
در ادامه توسعه میراگرهای لوله‌ای مطالعه تحت عنوان بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شورون با استفاده از میراگرهای تسلیم چند لوله‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، رفتار چرخه‌ای یک



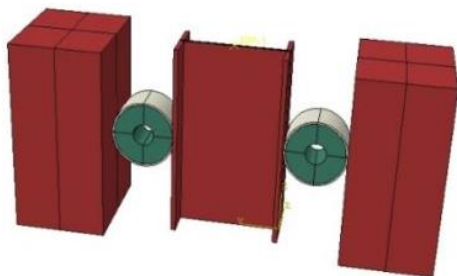
شکل ۵- معرفی و جانمایی میراگر برشی دایره‌ای [۱۲]

این مقاله باهدف توسعه و ارزیابی عملکرد ساختاری میراگر پنل برشی دایره‌ای با سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده برای استهلاک از انرژی لرزه‌ای غیرفعال با تغییر شکل غیرارتجاعی یا تغییر شکل‌های پلاستیک صورت گرفته است. ارزیابی ساختاری با استفاده از برنامه شبیه‌سازی المان محدود غیرخطی تجاری موجود انجام شده است. نسبت قطر به ضخامت به‌عنوان پارامتر اصلی برای بررسی عملکرد هیسترتیک پانل برشی دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده استفاده شده است. از این رو با بررسی پارامترهای عنوان شده می‌توان از آن به‌عنوان دستگاه اتلاف انرژی و میراگرهای غیرفعال در سازه‌های مهندسی عمران استفاده کرد [۱۲].

در ادامه مقاله‌ای با عنوان ارزیابی عملکرد لرزه‌ای و طراحی سازه‌های فولادی مجهز به میراگرهای دو لوله‌ای ارائه شده است. هدف از مطالعه حاضر ارائه دستورالعمل‌هایی برای پیاده‌سازی (DPD) در ساختمان‌های فولادی واقعی، ارزیابی و مقایسه عملکرد آنها در برابر سایر میراگرهای فلزی تسلیم است.



شکل ۶- جزئیات اتصال میراگر دو لوله‌ای فولادی [۱۳]



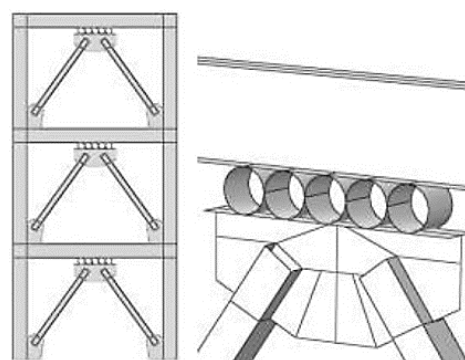
شکل ۸- جزئیات و قطعات میراگر لوله فولادی تقویت شده با مواد کامپوزیت سیمانی با الیاف (HPFRCC) [۸]

در این نوشتار به بررسی تأثیر تقویت و ترکیب میراگرهای لوله‌ای با استفاده از مواد (HPFRCC) پرداخته شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تقویت میراگرهای لوله توسط مواد HPFRCC می‌تواند مقدار انرژی وارد شده به سیستم را به طور چشمگیری کاهش داده و کارایی میراگرهای لوله‌ای را افزایش دهد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که تقویت میراگرهای لوله‌ای از طریق HPFRCC منجر به توزیع یکنواخت تنش در کل بخش میراگر لوله‌ای می‌شود. با توجه به شاخص آسیب در فولاد و HPFRCC، مشخص شده است که ایجاد میکرو ترک در HPFRCC نقش مهمی در افزایش میزان استهلاک انرژی را بر دارد. افزودن HPFRCC به میراگر فولادی باعث افزایش سختی میراگر در ناحیه الاستیک می‌شود. میراگرهای تقویت شده دارای مزایای میراگرهای فولادی با مقاومت بیشتر هستند [۸].

۲-۱-۱- استفاده از میراگر لوله‌ای حلقوی، بصورت نیم لوله با رفتار برشی

در جهت توسعه میراگرهای لوله‌ای با عنوان مطالعه تجربی یک میراگر فولادی با نیمه‌های لوله جوش داده شده به شکل X پیشنهاد شده است. در این مقاله، یک میراگر فولادی جدید به نام میراگر لوله‌ای X (شکل X) (XPD) پیشنهاد و بررسی می‌شود. میراگر پیشنهادی از طریق جوشکاری دو نیمه لوله در جهت مخالف جهت ایجاد هسته‌ای X شکل و اتصال هسته X شکل به صفحات جانبی با جوش‌های گوشه یا جوش‌های شیاری ساخته می‌شود. میراگر XPD مقاومت جانبی و رفتارهای استهلاک انرژی را ابتدا از طریق مقاومت خمشی صفحات لوله و سپس از

سیستم قاب مهاربندی شورون مجهز به دمپرهای چند لوله‌ای (CBF-MPD) با روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های المان محدود شامل قاب مهاربندی شورون به تنهایی و قاب مهاربندی شورون مجهز به میراگرهای چند لوله‌ای بوده است. مدل قاب مهاربندی شورون به عنوان مدل مرجع برای مقایسه و ارزیابی اثرات میراگرهای چند لوله انتخاب شده است. سپس مدل‌های اجزای محدود تحت بارگذاری چرخه‌ای و روش‌های استاتیکی غیرخطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده است که ظرفیت برشی میراگر لوله‌ای تأثیر بسزایی در تعیین رفتار مهاربند دارد. همچنین، انتخاب مناسب ابعاد میراگرهای لوله‌ای باعث افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی قاب‌های مهاربندی شورون شده است. نتایج مطالعات بر روی میراگرهای لوله‌ای به عنوان عناصر شکل‌پذیر و جاذب انرژی در سیستم‌های قاب مهاربندی همگرا، ظرفیت شکل‌پذیری خوب، استهلاک انرژی و حلقه‌های هیسترتیک پایدار را ارائه می‌دهد [۱۵].



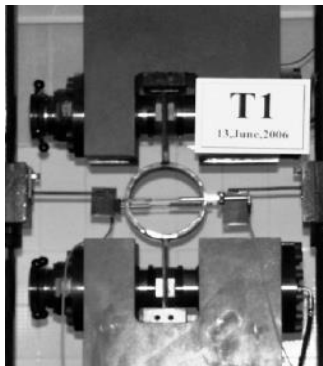
شکل ۷- جزئیات نصب میراگر فولادی چند لوله‌ای در مهاربندهای شورون [۱۵]

مقاله‌ای در جهت توسعه میراگرهای لوله فولادی تحت عنوان رفتار چرخه‌ای میراگرهای لوله‌ای تقویت شده با مواد کامپوزیت با الیاف (HPFRCC) ارائه شده است. مواد کامپوزیت سیمانی تقویت شده با الیاف (HPFRCC) از جمله مصالح جدیدی هستند که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقاومت زیاد در برابر کشش در مقایسه با بتن معمولی و قابلیت بالای استهلاک انرژی از جمله مزایای این مواد است.

گرفته‌اند. نتایج تجربی نشان داده است که XPD های پیچ‌دار می‌توانند شکل‌پذیری خوب و نمودار هیستریک پایدار را تحت هر دو پروتکل بارگذاری چرخه‌ای استاندارد و پروتکل بارگذاری چرخه‌ای خستگی را ارائه دهند. XPD ها با اتصالات جوشی دارای ظرفیت استهلاک انرژی ضعیف‌تری به دلیل شکست زود هنگام هستند، اما می‌توانند سختی و مقاومت تسلیم بالاتری را ارائه می‌دهند [۱۷].

۲-۲- میراگر حلقه‌ای با رفتار خمشی

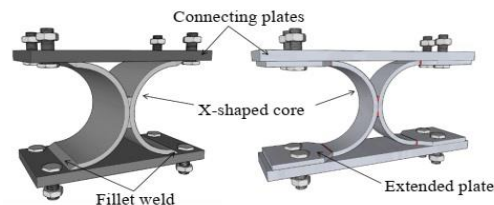
مطالعه‌ای با عنوان بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی شکل‌پذیری حلقه فولادی ارائه شده است. در این نوشتار میزان جذب انرژی و شکل‌پذیری یک حلقه فولادی به‌عنوان المان شکل‌پذیر مورد بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی قرار گرفته است. حلقه فولادی را می‌توان به دو صفحه فولادی جوش کرد و به راحتی در انواع مهاربندهای هم محور تعبیه کرد. ظرفیت بار حلقه فولادی تابع طول، شعاع، ضخامت و تنش تسلیم آن است و این امر امکان طراحی آن را متناسب با ظرفیت مهاربند فراهم می‌کند. نتایج این بررسی بیانگر جذب انرژی و شکل‌پذیری بسیار خوب حلقه فولادی و پشتوانه ایده جدید این نوشتار در چگونگی استفاده از حلقه فولادی است. بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی حلقه فولادی در این نوشتار نشان می‌دهد که: حلقه فولادی از قابلیت جذب انرژی بسیار بالا و شکل‌پذیری خوبی برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان یک المان شکل‌پذیر در مهاربندهای هم محور استفاده شود. ظرفیت کششی حلقه از ظرفیت فشاری آن بیشتر و با ظرفیت کششی و فشاری مهاربندهای هم‌محور هم‌سو است. شکستگی طولی حلقه از کنار خط جوش بیانگر توزیع یکنواخت بار در طول آن است. [۱۸]



شکل ۱۰- بررسی حلقه فولادی در اثر بارهای کششی و فشاری [۱۸]

طریق مقاومت کششی در نیمه لوله‌های کامپوزیتی ارائه می‌دهد. XPD ها می‌توانند در برابر بارهای جانبی مقاومت مشابهی را تنها با استفاده از نصفه لوله نسبت به میراگرهای دو لوله نشان دهند. منحنی هیستریک نمونه-های XPD همه دارای حلقه‌های پایدار هستند و پس از تسلیم تا شکست کامل افزایش مقاومت پایدار از خود نشان می‌دهند. XPD های جوش شیاری سختی اولیه، مقاومت و قابلیت شکل‌پذیری بهتری را نسبت به جوش‌های گوشه از خود نشان می‌دهند، اما همچنین دارای پتانسیل شکست تحت اثر پدیده خستگی هستند بخصوص در مناطقی که تحت تأثیر گرما زیادی در اثر جوشکاری قرار گرفته‌اند [۱۶].

نویسندگان در ادامه مقاله فوق، توسعه و بررسی عملکرد لرزه‌ای میراگرهای فولادی با اتصالات پیچ‌ومهره‌ای با استفاده از نیم لوله‌های X شکل را ارائه کردند. در این مقاله، یک طرح اصلاح شده میراگر لوله‌ای است که میراگر X شکل (XPD) نامیده می‌شود، پیشنهاد شده است. میراگر با اتصال دونیمه لوله که در مقابل هم قرار گرفته‌اند برای تشکیل یک هسته X شکل ساخته می‌شود که سپس به صفحات اتصال پیچ می‌شوند. XPD های پیچ شده قابل تعویض هستند و می‌توان آنها را به راحتی با هزینه کم تهیه و تعویض کرد.



شکل ۹- معرفی جزئیات مدل و قطعات میراگر فولادی تسلیم نیم لوله‌ای با اتصالات پیچی و جوشی [۱۶، ۱۷]

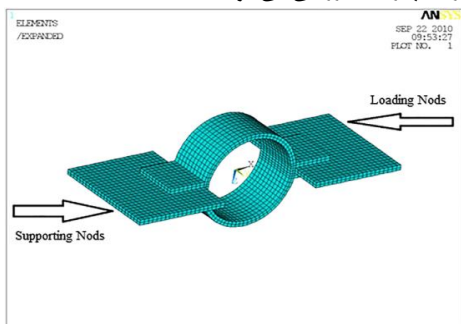
آزمایش‌ها بارگذاری چرخه‌ای بر روی ۵ نمونه XPD پیچ‌دار و ۲ نمونه XPD جوش‌شده برای بررسی الگوهای توسعه مقاومت، عملکرد هیستریک، توانایی‌های استهلاک انرژی و حالت‌های خرابی صورت پذیرفته است. XPD های پیچ و مهره شده و جوش داده شده نیز برای مقاوم سازی لرزه‌ای یک قاب فولادی ۶ طبقه برای بررسی عملکرد میراگرهای جدید در کنترل پاسخ لرزه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار

لوله‌های بدون درز هیچ مشکلی برای انتخاب حلقه مناسب ایجاد نمی‌کنند. تعویض نیم حلقه‌های فولادی آسان، کم‌هزینه و سریع است. جوش‌های نیمه حلقه (جوش‌های پشتی) شکل‌پذیری حلقه را کاهش می‌دهند، شکستگی حلقه از سمت جوش‌های (جوش‌های پشتی) رخ می‌دهد [۲۰].



شکل ۱۲- بررسی نیم حلقه‌های فولادی در اثر بارهای رفت و برگشتی [۲۰]

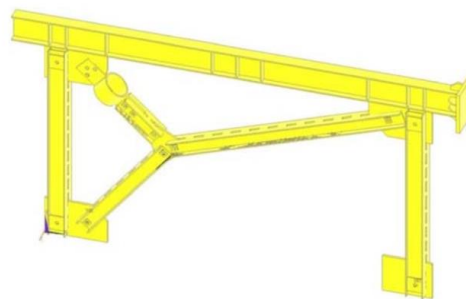
مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی عددی شکل‌پذیری و جذب انرژی حلقه‌های فولادی ساخته شده از صفحات فولادی موردبررسی قرار گرفته است. به دلیل محدودیت در اندازه لوله‌های فولادی، این‌طور نیست که همیشه بتوان یک لوله مناسب برای استفاده در مهاربندها پیدا کرد. در مطالعه حاضر، عملکرد حلقه فولادی ساخته شده از دو نیمه حلقه فولادی موردبررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، اثرات جوشکاری یا استفاده از پیچ‌ومهره و ضخامت حلقه‌های فولادی و خواص مواد بر شکل‌پذیری و جذب انرژی مهاربندها ارزیابی می‌شود.



شکل ۱۳- معرفی مدل و جزئیات میراگر لوله‌ای دو حلقه‌ای [۲۱]

نتایج نشان‌دهنده شکل‌پذیری مناسب و جذب انرژی مناسب حلقه‌های فولادی ساخته شده است. حلقه‌های فولادی ساخته شده استفاده از

پژوهشی در مورد میراگرهای لوله‌ای تحت عنوان ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم مهاربندی خارج از مرکز با المان لوله‌ای در مکان بهینه ارائه گردیده است. در این مقاله، سیستم مهاربندی جدید با استفاده از المان لوله‌ای (مستهلك کننده دایره‌ای) به منظور تعویض اعضای آسیب‌دیده بدون نیاز به بازسازی یا تعمیر سیستم سازه‌ای اصلی است؛ بنابراین با استفاده از نرم‌افزار غیرخطی المان محدود ANSYS یک فریم با سیستم مهاربندی خارج واگرا با گریز از مرکز مطلوب و قاب دیگری با مشخصات مشابه بدون المان دایره‌ای مدل‌سازی شده است.

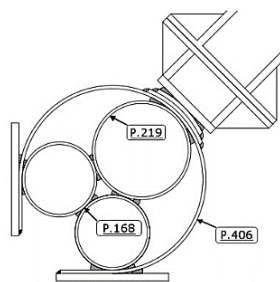


شکل ۱۱- معرفی و جانمایی میراگر لوله‌ای در مهاربند واگرا [۱۹]

نتایج تحلیلی و مقایسه نمودارهای این دو (مدل بدون المان شکل‌پذیر و با المان شکل‌پذیر) مدل‌ها نشان داد که مدل همراه با المان شکل‌پذیر عملکرد بالاتری نسبت به مدل‌های دیگر دارد [۱۹]. مطالعه در مورد بررسی آزمایشگاهی شکل‌پذیری و عملکرد حلقه‌های فولادی ساخته شده از صفحات فولادی ارائه شده است. در این تحقیق، استفاده از حلقه‌های فولادی ساخته شده از لوله‌های فولادی به عنوان اتلاف‌کننده انرژی به صورت تحلیلی و عددی موردبررسی قرار گرفته است. این مطالعات نشان می‌دهد که مهاربند با حلقه فولادی منحنی هیستریتیک ثابت و پایداری را دارا است. علاوه بر این، حلقه فولادی به راحتی قابل جاگذاری در مهاربند فولادی است و همچنین قابلیت تعویض راحت را نیز دارا است. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که اعضای سازه‌ای سیستم مهاربندی به جز حلقه فولادی در ناحیه الاستیک خود باقی می‌مانند. از آنجایی که نوع اتصال بر عملکرد حلقه تأثیر می‌گذارد، در این مقاله اثرات انواع مختلف اتصالات نیم حلقه را بررسی می‌کند. رینگ فولادی ساخته شده از صفحات فولادی عملکرد مناسبی نسبت به حلقه لوله دارد و شکل‌پذیری و جذب انرژی بالایی از خود نشان می‌دهد. استفاده از نیم حلقه‌های فولادی ساخته شده از صفحات فولادی به دلیل تنوع کم

می‌کند و همچنین در بارگذاری عرضی یا برشی نیز نتایج کاملاً منطبق بر نتایج تجربی و آزمایشگاهی است [۷].

مقاله‌ای در توسعه‌ای میراگرهای لوله‌ای با عنوان میراگر فلزی پوسته‌ای تودرتو با رویکرد بهبود در رفتار هیستریزس ارائه گردیده است. با بهره‌گیری از ایده مهار سازه‌ها با استفاده از ابزارهای میراکننده انرژی زلزله، میراگر نوینی به نام میراگر پوسته‌ای تودرتوی نا هم‌راستا توسط نگارندگان این پژوهش پیشنهاد شده است. ساختمان این میراگر از یک پوسته استوانه‌ای بزرگ فلزی که سه پوسته استوانه‌ای کوچک را دربرگرفته است، ساخته شده است. برای ساخت این میراگر از روش‌های جوشکاری یا ریخته‌گری فلز می‌توان بهره برد. چیدمان عضوهای پوسته‌ای این میراگر در فرایند بارگذاری لرزه‌ای می‌تواند به‌سان فنرهای فرا بازگشتی با ترکیب سری و موازی سبب بالارفتن عملکرد دستگاه شوند.

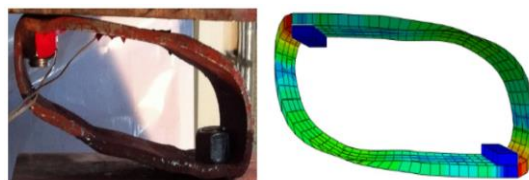


شکل ۱۵- معرفی جزئیات مدل و قطعات میراگر فلزی پوسته‌ای تودرتو [۲۲]

در این پژوهش گونه نوآورانه‌ای از یک ابزار میراکننده انرژی زلزله در سازه پیشنهاد شده است. اگرچه این میراگر دارای نکته‌های مثبتی در بالابردن سازوکار گونه‌های پیشین به‌ویژه گونه‌هایی با ساختار پوسته‌ای دارد؛ ولی دارای کاستی‌هایی نیز می‌تواند باشد. یکی از نکات ضعف این میراگر همانند سایر میراگرهای کنش گیر (به‌استثنای میراگرهای ویسکوز) عدم برگشت‌پذیری میراگر پس از وقوع زلزله است که پیشنهاد می‌شود با به‌کارگیری مواد ویسکوالاستیک در فضای خالی پوسته‌های استوانه‌ای تا حدودی این نقطه‌ضعف جبران شود. از طرفی برای افزایش کارایی و سودمندی این میراگر، پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های پس از این، در آلیاژهای فلز به‌کاررفته بررسی‌هایی انجام شود و از آلیاژی برای پوسته‌ها استفاده شود (مانند آلیاژهای دارای سرب) که دارای ویژگی‌های فرا

موادی همچون CT20 به جای فولاد ST37 نتایج قابل توجهی را به دنبال دارد از جمله‌ای آنها می‌توان به افزایش ظرفیت تحمل نیروی حلقه‌های فولادی اشاره کرد. همچنین مشاهده شد که شکل‌پذیری مدل CT20 می‌تواند تا ۴۰٪ بیشتر از مدل ST37 باشد، علاوه بر این، نتیجه گرفته شد که مدل CT20 از نظر استهلاک انرژی نیز مفیدتر از فولاد ST37 است. استفاده از یک حلقه فولادی ضخیم‌تر ظرفیت آن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و همچنین باعث شکل‌پذیری بیشتر مدل می‌شود. علاوه بر این، ترکیب حلقه‌های فولادی ضخیم‌تر باعث استهلاک انرژی قابل توجهی می‌شود. عملکرد حلقه‌های فولادی ساخته شده از دو نیم حلقه می‌تواند به همان اندازه موثر باشد که از یک لوله فولادی کامل استفاده شده باشد. با این حال، با استفاده از دو حلقه نیمه، محدودیت در اندازه و ضخامت لوله‌های فولادی برطرف می‌شود [۲۱].

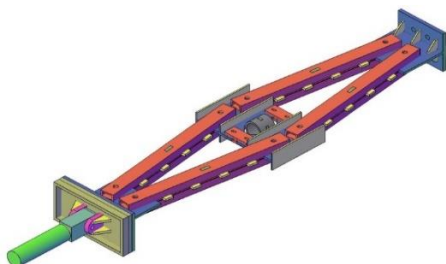
پژوهشی با عنوان مدل‌سازی عددی بالشتک‌های (حلقه‌های) فولادی مستهلک‌کننده انرژی ارائه شده است. بالشتک‌های فولادی مستهلک‌کننده انرژی (EDSCs) دستگاه ساده‌ای هستند که می‌توانند برای اتصال اعضای سازه‌ای مورداستفاده قرار گیرند. آنها می‌توانند مقدار قابل‌توجهی از انرژی لرزه‌ای وارده را به دلیل شکل‌هندسی و رفتار شکل‌پذیر و غیرارتجاعی فولاد نرمه جذب و مستهلک کنند. قابلیت تغییر شکل‌های بزرگ و رفتار هیستریک پایدار در آزمایش تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای میراگر EDSCs به‌دست آمده است.



شکل ۱۴- کانتور تنش و تغییر شکل‌های برشی نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی میراگر بالشتکی فولادی [۷]

مدل‌سازی عددی با موفقیت پارامترهای همچون مقاومت و سختی را شبیه‌سازی کرده و افزایش‌های شیب منحنی‌ها را که در چرخه‌های پایانی اتفاق می‌افتد را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌سازی عناصر محدود منحنی‌های هیستریزس منطبق بر نتایج تجربی و آزمایشگاهی را ارائه

کنترلی در سال‌های اخیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است که دارای محاسن و معایب مختلفی است؛ بنابراین در راستای پوشش معایب موجود در این سیستم، در این مقاله به معرفی و بررسی عملکرد آزمایشگاهی سیستم نوین مهاربندی و ترکیب آن با میراگر تسلیم شونده پرداخته می‌شود. این سیستم که در راستای افزایش شکل‌پذیری، جذب انرژی بالاتر و پوشش ضعف‌های سیستم‌های موجود مورد پیشنهاد و بررسی قرار گرفته است، از یک عضو مهاربند لوزی شکل به همراه میراگر تسلیم شونده حلقوی در وسط آن تشکیل شده است. در ساخت نمونه‌ها ۳ مدل مختلف با اتصالات سخت، نیمه‌سخت و ساده مدنظر قرار گرفته است که پس از ساخت، تحت بار چرخه‌ای قرار گرفته و نتایج آنها با یکدیگر مورد مقایسه شدند.



شکل ۱۷- معرفی جزئیات مدل و قطعات مهاربند با عضو لوزی شکل مجهز به میراگر تسلیم‌شونده لوله‌ای [۲۴]

نتایج این تحقیق در وهله اول بیانگر قابلیت اجرایی شدن سیستم و ادامه نشان از قابلیت بالای هر سه سیستم در جذب انرژی و شکل‌پذیری را می‌دهد. همچنین باتوجه به هندسه اعضای مهاربندی و میراگر، با ابعاد و ضخامت کوچک‌تر حلقه فولادی می‌توان به جذب انرژی بالاتر و نیروی وارد شده بیشتری برای تسلیم میراگرها نسبت به سایر سیستم‌های موجود دست‌یافت. در نهایت نیز در راستای امکان‌سنجی مدل‌سازی سیستم پیشنهادی در نرم‌افزارهای المان محدودی، مدل المان محدودی سیستم پیشنهادی در نرم‌افزار آباکوس مورد مدل‌سازی و صحت‌سنجی قرار گرفت که نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی دارای هماهنگی مناسبی است [۲۴]. مقاله‌ای تحت عنوان بررسی عددی و تحلیلی رفتار چرخه‌ای میراگرهای حلقه فولادی (SRDs) نیز ارائه گردیده است. در این مطالعه، رفتار چرخه‌ای میراگر حلقه فولادی (SRD) از طریق روش‌های عددی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه حاضر به منظور بررسی

بازگشتی بیشتری باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از اثرهای مخرب جوشکاری از روش‌های پیشرفته ریخته‌گری فلز در ساخت میراگر استفاده شود. از سوی دیگر از مزایای میراگر پیشنهادی می‌توان عملکرد ویژه پوسته‌ای، هزینه ساخت بسیار پایین، سازوکار چندگانه تا گسیختگی کامل، ساختمان ساده ولی با ساختار پیچیده مکانیکی، پایداری بالا، میرایی و توان بالای جاری‌شدن و غیره را برشمرد [۲۲].

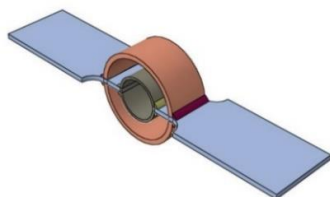
پژوهشی نیز تحت عنوان بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی شکل‌پذیری حلقه فولادی مرکب جهت نصب در مهاربندهای هم‌محور ارائه گردیده است. حلقه تعبیه شده تحت اثر نیروی محوری در مهاربند، تحت خمش قرار گرفته و با استفاده از جمع‌شدن و بازگشت به حالت اولیه و ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل خمیری، در استهلاک انرژی زلزله تأثیر بسزایی خواهد داشت. از آنجایی که تنوع حلقه‌های فولادی محدود و تهیه آنها متناسب با ظرفیت مورد نیاز سازه مقدور نیست، لذا اتخاذ روشی جهت افزایش ظرفیت باربری حلقه‌های موجود از جمله کمبودهای پژوهشی در این زمینه است. هدف از این مقاله، افزایش ظرفیت باربری المان حلقه با استفاده از دو حلقه متداخل فولادی است که فضای بین آنها توسط ماده پلاستیک صنعتی (تفلون) پر شده است. براین اساس، طرح مذکور مورد ارزیابی آزمایشگاهی و تحلیلی قرار گرفته است. در بررسی‌های آزمایشگاهی مشخص شد که المان پیشنهادی دارای قابلیت جذب بالای انرژی زلزله در سیکل‌های رفت و برگشتی است و می‌تواند گزینه مناسبی جهت نصب در مهاربندهای هم‌محور به حساب آید. [۲۳]



شکل ۱۶- حلقه فولادی پر شده با تفلون (پلاستیک صنعتی) [۲۳]

مقاله‌ای دیگری تحت عنوان ارزیابی آزمایشگاهی و عددی سیستم نوین مهاربندی با عضو لوزی شکل مجهز به میراگر تسلیم شونده نیز مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به تلاش‌های محققان در راستای افزایش شکل‌پذیری سیستم‌های مهاربندی، استفاده از حلقه فولادی به عنوان فیوز

تحلیل سازه‌ای ارائه شده است. همچنین، با استفاده از تجزیه و تحلیل پلاستیک و در نظر گرفتن مکانیسم تشکیل مفاصل پلاستیک، رابطه‌ای برای برآورد مقاومت تسلیم و جابه‌جایی تسلیم SDRD ها به دست آمده است. مطالعات پارامتری گسترده‌ای با استفاده از روش اجزای محدود غیرخطی برای بررسی صحت روابط تحلیلی به دست آمده انجام شده است. مطالعات پارامتری شامل بررسی تأثیر پارامترهای ضخامت و همچنین قطر حلقه داخلی و خارجی SDRD ها است [۲۶].



شکل ۱۹- جزئیات مدل و قطعات میراگر فولادی تسلیم دو حلقه‌ای (SDRDs) [۲۶]

۳- میراگر استوانه‌ای

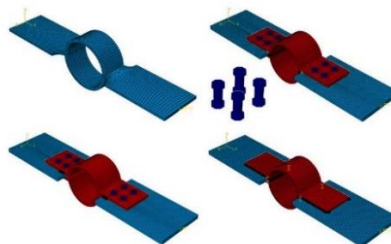
۳-۱- میراگر آکاردئونی

پژوهشی با عنوان مطالعه استهلاک انرژی در لوله جدار نازک آکاردئونی تحت نیروی رفت و برگشتی را مورد بررسی قرار گرفته است. لوله‌های جدار نازک ظرفیت تغییر شکل پذیری محوری زیادی دارند و در صورت بروز مد مناسبی برای کماتش غیرالاستیک، برای جذب انرژی زلزله مناسب‌اند. در این مقاله استهلاک انرژی در لوله‌های فلزی جدار نازک آکاردئونی و رفتار آنها در برابر نیروی محوری رفت و برگشتی به منظور استفاده به عنوان میراگر فلزی جاری شونده مطالعه می‌شود. بدین منظور از مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی استفاده شده است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های مشابه موجود در بازار و با استفاده از دستگاه کشش و فشار دینامیکی انجام گرفته است.



شکل ۲۰- نمونه‌های مورد آزمایش لوله‌های جدار نازک آکاردئونی [۲۷]

شکل پذیری و استهلاک انرژی و ارائه یک معادله تحلیلی برای برآورد ظرفیت تسلیم SRD انجام شده است. برای این منظور، مطالعات پارامتری گسترده‌ای با استفاده از روش اجزای محدود انجام شده است. مطالعات پارامتری شامل بررسی تأثیر ضخامت، طول و قطر حلقه فولادی بر رفتار SRD بوده است. تجزیه و تحلیل استاتیکی غیرخطی برای تجزیه و تحلیل مدل‌های اجزای محدود تحت بارگذاری چرخه ای استفاده شده است.



شکل ۱۸- جزئیات مدل‌ها میراگر فولادی حلقه فولادی (SRDs) [۲۵]

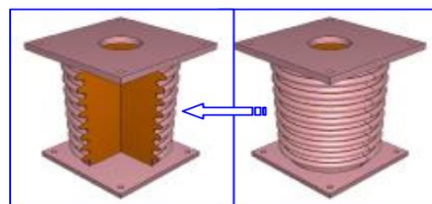
نتایج مدل‌های پارامتری و روابط تحلیلی نشان داده است که با افزایش قطر حلقه فولادی، شکل‌پذیری و اتلاف انرژی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش نسبت قطر به ضخامت (D/t)، نیروی تسلیم، شکل‌پذیری و استهلاک انرژی به ترتیب کاهش می‌یابد. رابطه تحلیلی برای برآورد نیروی تسلیم SRD با نتایج روش عددی مطابقت خوبی داشت. نیروی تسلیم نیز مستقیماً به طول و قطر حلقه فولادی وابسته بوده و با نسبت D/t رابطه معکوس دارد [۲۵].

نویسندگان مقاله‌ای در توسعه مقالات قبلی خود در رابطه با میراگرهای لوله‌ای یا حلقه فولادی با عنوان بررسی رفتار چرخه‌ای یک سیستم استهلاک انرژی با میراگرهای فولادی دو حلقه‌ای (SDRDs) را ارائه کردند. در این مقاله، سیستم جاذب انرژی یک میراگر فولادی دو حلقه (SDRD) ارائه شده است و رفتار چرخه‌ای آن به صورت تحلیلی و عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. مکانیسم استهلاک انرژی SDRD از طریق تشکیل مفاصل پلاستیک در حلقه‌های فولادی است. هدف از این مطالعه ارائه یک رابطه تحلیلی برای برآورد مقاومت تسلیم، جابه‌جایی تسلیم و سختی الاستیک SDRD های پیشنهادی است. یک رابطه تحلیلی برای محاسبه سختی الاستیک DRD ها با استفاده از روش

فلزی آکاردئونی به عنوان یکی از بارزترین میراگرهای فلزی جاری شونده، تأثیر افزایش تعداد لایه‌های جداره‌ای این میراگر مورد مطالعه تحلیلی، آزمایشگاهی و پارامتریک قرار گرفته است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های تک‌لایه و دولایه انجام شده و مدل‌های تحلیلی تک‌لایه، دولایه و سه‌لایه‌ای میراگر توسعه یافته و با استفاده از نتایج مطالعات آزمایشگاهی مورد صحت سنجی قرار گرفته است. همچنین تأثیر تغییر پارامترهای مهم هندسی جداره‌ای میراگر در رفتار استهلاکی آن بررسی و مدل ایده‌آل هندسی ارائه شده است. به علاوه مطالعه تحلیلی به جهت شناسایی میزان تأثیر چندلایه شدن میراگر در قابلیت تحمل تعداد سیکل‌های بارگذاری انجام شده است. نتایج به دست آمده از مطالعات نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه‌های میراگر به دلیل ایجاد پایداری بیشتر رفتاری، اصلاح مودهای کمانشی تغییر شکل و همچنین تأثیرات مطلوب اندرکنش بین لایه‌ها، تأثیر بسزایی در مشخصات رفتاری میراگر و افزایش تعداد سیکل‌های بارگذاری قابل تحمل آن دارد [۵].

پژوهشی در مورد تأثیرگذاری میراگرهای لوله‌ای آکاردئونی در برابر بار انفجار را با عنوان بررسی اثر میراگرهای جدار نازک آکاردئونی در کاهش پاسخ قاب‌ها تحت بار انفجاری ارائه شده است. امروزه، باتوجه به رشد روزافزون فعالیت‌های تروریستی خطر مواجهه سازه‌ها با بارهای انفجاری افزایش یافته است. وقوع حوادث گوناگون تروریستی در مورد سازه‌های مهم در سراسر جهان سبب شده که در سال‌های اخیر بارهای انفجاری مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند. حملات اخیر در جهان مثل حادثه مرکز تجارت جهانی نشان می‌دهد که متأسفانه فعالیت‌های تروریستی افزایش یافته است. یک نوع از حملات تروریستی رایج، استفاده از مواد منفجره است. انفجارها می‌توانند سبب خرابی پیش‌رونده و یا خرابی کامل در سازه گردند. درحالی‌که طراحی سازه‌ها برای انفجارهای بزرگ ممکن است گران و غیرعملی باشد، لذا می‌توان با بهره‌گیری از انواع مستهلک‌کننده‌ها سبب افزایش مقاومت انفجاری سازه گردید. هدف از این تحقیق ارزیابی رفتار قاب‌های فولادی مجهز به میراگرهای فلزی آکاردئونی در برابر بار انفجاری است. به منظور بررسی اثر میراگر، یک‌بار قاب بدون میراگر و بار دیگر قاب مجهز به میراگر تحت اثر بار انفجار مورد مطالعه قرار گرفته است.

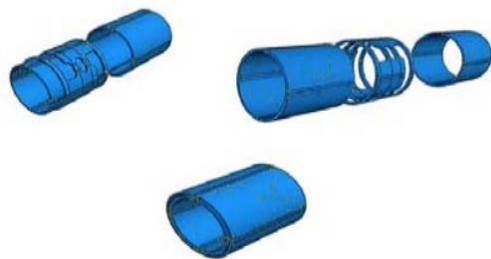
در این مطالعات تأثیر پارامترهای هندسی و مکانیکی این لوله‌ها از قبیل هندسه شکل، ضخامت ورق، قطر و طول لوله و همچنین نوع مصالح بر میزان استهلاک انرژی و سختی محوری بررسی شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند لوله‌های جدار نازک آکاردئونی از نظر جذب انرژی رفتار مطلوبی دارند و با انتخاب پارامترهای هندسی و مکانیکی مناسب می‌توان به طرح بهینه میراگر فلزی آکاردئونی برای نیاز سازه دست‌یافت [۲۷]. مطالعه‌ای دیگر برای میراگرهای آکاردئونی تحت عنوان مقایسه‌ی شاخص‌های رفتار میراگر فلزی آکاردئونی توخالی و پر شده با فوم پلیمری در بارگذاری محوری رفت و برگشتی ارائه شده است. در این مقاله پس از معرفی میراگر فلزی آکاردئونی پر شده، شاخص‌های رفتار میراگر پر شده و توخالی برای بارگذاری محوری چرخه‌ای مطالعه و مقایسه شده است.



شکل ۲۱- میراگر فلزی آکاردئونی پر شده به همراه مقطع میراگر [۲۸]

بدین منظور ابتدا به روشی تحلیلی اجزای محدود، مشخصات تقریبی پلیمر پرکننده مؤثر تعیین و سپس چهار نمونه آزمایشگاهی شامل دو نمونه میراگر پر شده با نوع خاصی فوم پلیمری و دو نمونه میراگر توخالی متناظر با آنها، با استفاده از جک هیدرولیکی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. سپس تأثیر پرشوندگی میراگر با فوم بر برخی از مهم‌ترین شاخص‌های رفتار تعیین و سعی شده از این روش به منظور پایداری و بهبود رفتار میراگر استفاده شود. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از ماده پرکننده متناسب در داخل میراگر، روشی مناسب به منظور افزایش برخی شاخص‌های رفتاری میراگر مانند تعداد چرخه قابل تحمل، میزان جذب انرژی و همچنین ظرفیت خمیری کششی و فشاری میراگر بوده و اثر اندرکنش بین فوم و جدار آکاردئونی در افزایش جذب انرژی و افزایش ظرفیت خمیری سیستم به‌ویژه برای نمونه‌های جدار نازک آکاردئونی با ظرفیت باربری پایین، چشمگیر است [۲۸].

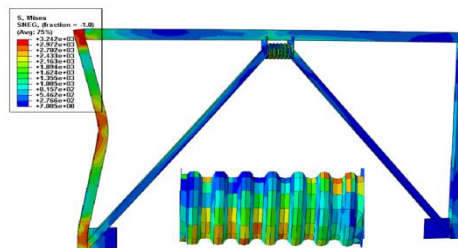
پژوهشی در جهت گسترش میراگرهای آکاردئونی تحت عنوان رفتار بهبودیافته آزمایشگاهی و تحلیلی میراگر فلزی آکاردئونی تحت تأثیر افزایش لایه‌ها ارائه شده است. در این مطالعه باهدف بهبود رفتار میراگر



شکل ۲۳- جزئیات پیشنهادی برای میراگر شکافدار [۳۰]

سادگی ساخت این میراگر نسبت به میراگرهای مشابه و نیز در دسترس بودن و سهولت بازرسی آنها از مزایای این سیستم است. آنگاه این سازه، در حالت مجهز شده به میراگر و بدون آن، تحت ارتعاشات پایه مربوط به سه زلزله الاسترو، کوبه و طیس قرار داده شده و تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی بر روی آن انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحلیل‌های عددی نشان دادند که میراگر معرفی شده تأثیر قابل ملاحظه‌ای در جذب انرژی زلزله‌های وارده و همچنین کاهش دررفت طبقات و برش پایه داشته است [۳۰].

مقاله‌ای دیگر تحت عنوان تأثیر شکل شکاف میراگر فولادی توخالی دایره‌ای بر ظرفیت استهلاک انرژی آن نیز ارائه شده است. این تحقیق به بررسی تأثیر شکاف‌های میراگر فولادی توخالی دایره‌ای (CHS) بر استهلاک انرژی (EDC) آن می‌پردازد. محاسبات استهلاک انرژی از نمودار هیسترتیک نمونه‌ها به دست آمده است و تجزیه و تحلیل بروش اجزای محدود دینامیکی غیرخطی سه بعدی در نرم افزار Abaqus صورت گرفته است. برای ایجاد جابه‌جایی چرخه‌ای از قسمت بالای دستگاه استفاده می‌شود در حالی که قسمت پایینی کاملاً مهار شده در نظر گرفته می‌شود. در این مدل‌ها وجود تغییر شکل‌های بزرگ در دستگاه، در نتیجه تسلیم مواد در نظر گرفته شده است در مجموع ۵ شکل مختلف برای شکاف‌ها در نظر گرفته شده است. شکاف‌ها شامل شکاف افقی، عمودی، دایره‌ای، مربعی و مثلثی هستند. تمام پیکربندی شکاف‌ها یک مساحت خالی را ارائه می‌دهند تا مقایسه عادلانه‌ای حاصل شود. از فولاد A-36 برای میراگر به عنوان فولادی که دارای ویژگی‌های شکل پذیری خوبی است استفاده شده است. در نهایت، عملکرد هر یک از مدل‌های میراگر CHS از ویژگی‌های نمودار هیسترتیک، توزیع تنش و استهلاک انرژی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج



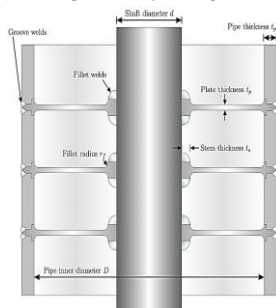
شکل ۲۲- جزئیات نصب میراگر فلزی تسلیم آکاردئونی در اثر انفجار [۲۹]

این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای جدار نازک آکاردئونی، به‌ویژه در انفجارهای بزرگ تا حد زیادی جابه‌جایی کلی قاب را بهبود می‌بخشد. به‌طوری‌که در قاب یک طبقه بیشترین کاهش برای سرستون سمت انفجار ۹۸٪ بوده است. این میزان کاهش برای میانه ستون ۲۱٪ می‌باشد و در قاب چهار طبقه بیشترین کاهش برای تراز سقف چهارم، ۶۴٪ بوده است. این میزان برای تراز سقف سوم ۵۵٪ می‌باشد. استفاده از میراگر به همراه مهاربند روی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه نیز تأثیر زیادی دارد. این عامل سبب کاهش جابه‌جایی قاب در تمام بخش‌های آن می‌شود [۲۹].

۳-۲- میراگر استوانه‌ای شکافدار

مقاله‌ای تحت عنوان کاربرد یک میراگر لوله‌ای شکافدار جدید با مقطع استوانه‌ای در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، نوع جدیدی از یک میراگر فولادی شکافدار معرفی شده است که می‌تواند به‌صورت مهاربند در سازه‌ها نصب شود. این میراگر از سه لوله استوانه‌ای توخالی که در داخل هم قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. در جداره لوله میانی چندین شکاف ایجاد شده است که در اثر تحریکات زلزله و ایجاد نیروی محوری در بادبندها، باریکه‌های ایجاد شده بین این شکاف‌ها تسلیم شده و انرژی مستهلک می‌شود. لوله‌های داخلی و خارجی در میراگر از تغییر شکل خارج از صفحه لوله میانی جلوگیری می‌کنند. همچنین، در دیواره لوله‌های داخلی و خارجی چندین سوراخ لوبیایی تعبیه شده است تا جابه‌جایی حداکثر دستگاه را محدود کرده و از تغییر شکل بیش از حد باریکه‌های شکاف‌ها جلوگیری کنند.

مستهلك كننده انرژی لرزه‌ای جدید هنگامی که سیستم جابه‌جایی‌های کوچک تا متوسط را تجربه می‌کند، انرژی از طریق خمش ورق‌های فولادی مدور مستهلك می‌شود. در جابه‌جایی‌های بزرگ، رفتار کششی غالب می‌شود و باعث افزایش قابل توجه سختی سیستم می‌شود.

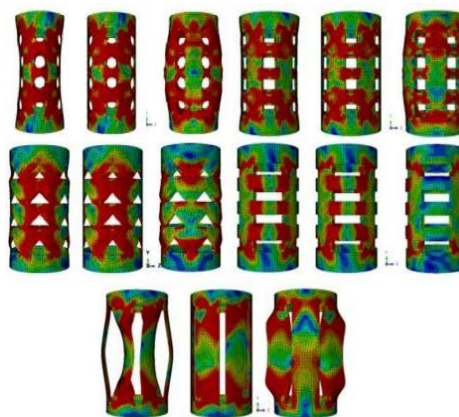


شکل ۲۵- جزئیات مدل و قطعات میراگر فلزی تسلیم پیستونی (PMD) [۳۲]

در برنامه آزمایشی، نمونه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند و رفتار هیسترتیک آنها ثبت شده است. این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که PMD قادر است مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی لرزه‌ای را با یک رفتار هیسترتیک پایدار مستهلك کند و الزامات آیین‌نامه‌ای را برای خستگی با چرخه کم و جابه‌جایی زیاد ارضا کند. در جابه‌جایی نسبتاً زیاد بین شفت و لوله خارجی، رفتار صفحات تغییر شکل یافته به حالت کششی تغییر می‌کند و سختی سیستم را افزایش می‌دهد. تعداد صفحات فولادی تأثیر قابل توجهی بر روی جابه‌جای تسلیم ندارند. با افزایش ضخامت صفحات یا نسبت شفت به قطر لوله، شکل حلقه‌های هیستریزس از منحنی‌های پروانه‌ای به شکل تقریباً مستطیلی با ظرفیت جذب انرژی بیشتر تغییر می‌کند، در نتیجه ظرفیت جابه‌جایی نمونه‌ها کاهش می‌یابد [۳۲].

در ادامه مطالعات لوله‌های فولادی مقاله‌ای تحت عنوان بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های قاب فولادی با استفاده از میراگر پیستونی با صفحات نیم‌دایره‌ای ارائه شده است. در میان سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای دینامیکی می‌توان به سیستم مهاربند پیستونی شکل اشاره کرد که نقش مهمی در پایداری سازه‌ها و کنترل پاسخ‌های دینامیکی از قبیل جابه‌جایی و شتاب، دارند و با جذب انرژی، سازه را در برابر تحریکات مختلف مقاوم کرده و مانع از ایجاد آسیب‌های جدی به سازه می‌شوند. در این مقاله، سیستم مهاربند پیستونی شکل جدیدی که از دو لوله خارجی و داخلی و تعدادی صفحات نیم‌دایره‌ای موازی متصل به آنها تشکیل شده‌اند در نظر

بدست آمده مدل با شکاف‌های مدور یا دایره‌ای، بیشترین ظرفیت استهلاك انرژی را ارائه می‌دهد، زیرا این نوع شیار یا شکاف، بر خلاف بقیه مدل‌های مورد بررسی که راس یا گوشه آنها متمرکز کننده تنش هستند، نشان از توزیع تنش‌ها در کل شکاف‌ها می‌باشد. دستگاه دارای شکاف‌های دایره‌ای استهلاك انرژی بیشتری را ارائه می‌دهد، رفتار هیسترتیک آن در چرخه‌های بار ثابت بود. نمونه شیاردار یا شکافدار مربعی نیز چرخه‌های پسماند پایدار را ارائه می‌دهد، اما به دلیل تمرکز تنش بر رأس یا گوشه مربع‌ها، ظرفیت استهلاك انرژی کمتری را ارائه می‌دهد. جالب است که مشاهده شده که همه مدل‌های شکافدار مورد بررسی نسبت به حالت اولیه خود تغییر شکل‌های قابل توجهی را از خود نشان می‌دهند، با این حال نمونه با شکاف‌های افقی نمونه‌ای بود که کمتر دچار تغییر شکل شده است [۳۱].

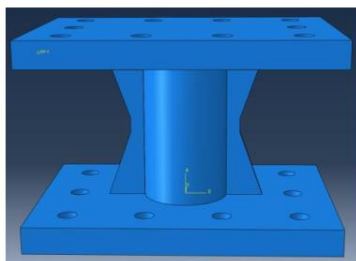


شکل ۲۴- بررسی تغییر شکل و تنش انواع شکل مختلف شکاف برای میراگر فولادی استوانه‌ای [۳۱]

۳-۳- میراگر استوانه‌ای پیستونی

مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی تجربی و عددی میراگر فلزی پیستونی (PMD) مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، یک میراگر تسلیم فلزی، به نام دمپر فلزی پیستونی (PMD) برای اولین بار معرفی شده است. PMD از مجموعه‌ای از صفحات دایره‌ای توخالی موازی تشکیل شده است که محور داخلی PMD را به لوله خارجی آن متصل می‌کند. از آزمایش‌ها و مدل‌های عددی برای بررسی کاربرد آن به عنوان یک دستگاه مستهلك کننده انرژی لرزه‌ای استفاده شده است. در این میراگر

فولادی بسیار مهم اما گران و زمان بر هستند؛ بنابراین ابزارهای کارآمد برای به حداقل رساندن هزینه و زمان با اجتناب از آزمایش‌های غیرضروری مورد نیاز است. این مقاله ارزیابی دقیق اجزای سازنده را با استفاده از شبیه‌سازی شکست یا آسیب شکل‌پذیری با نرم‌افزار المان محدود بر اساس رویکرد محلی تحلیل و تجزیه می‌کند و ظرفیت نهایی استهلاک انرژی میراگرهای لوله‌ای فولادی را با استفاده از مدل آسیب مبتنی بر انرژی را برآورد می‌کند.

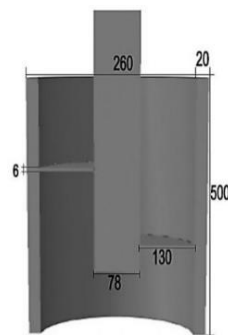


شکل ۲۷- نمونه استفاده شده از میراگر لوله‌ای فولادی برای برآورد ظرفیت نهایی استهلاک انرژی [۳۴]

پیش‌بینی اولیه دقیق برای برآورد عملکرد میراگرهای لوله‌ای فولادی بسیار مهم است. رفتار هیسترتیک و ظرفیت نهایی استهلاک انرژی از طریق شبیه‌سازی اجزای محدود پس از ارزیابی دقیق اجزا مورد بررسی مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از این رویکردها، می‌توان ظرفیت نهایی استهلاک انرژی نهایی میراگرهای لوله‌ای فولادی را تحت الگوهای مختلف بارگذاری برآورد کرد [۳۴].

مقاله‌ای تحت عنوان ویژگی‌های هیستریزس چرخه پایین میراگر فولادی توخالی دایره‌ای با رفتار غیرالاستیک ارائه گردیده است. این مطالعه باهدف ارزیابی رفتار هیسترتیک میراگر فولادی توخالی دایره‌ای (CHSD) انجام شده است. یکی از میراگرهای فولادی است که انرژی لرزه‌ای را از طریق تغییر شکل غیرارتجاعی مصالح فلزی و کشش هندسه شکل دایره‌ای مستهلک می‌کند. تجزیه و تحلیل اجزای محدود به منظور ارزیابی ویژگی‌های هیسترتیک چرخه کم و خستگی CHSD با استفاده از شاخص شکست انجام شده است.

گرفته شده است که در برابر فشار، کشش و کماتش هم مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهند و به صورت‌های مختلف همگرا و واگرا می‌توانند نصب شوند و با اتلاف انرژی از میزان نیروهای جانبی وارد بر سازه بکاهند.



شکل ۲۶- جزئیات میراگر پیستونی با صفحات نیم دایره‌ای [۳۳]

در این مقاله رفتار قاب فولادی با استفاده از سیستم مهاربند پیستونی شکل در برابر بارهای دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است و برخی پاسخ‌های دینامیکی آن کنترل شده است. برای این منظور پنج نوع پیستون طراحی شده است که هر کدام در یک قاب فلزی یک دهنه تعبیه شده‌اند. پس از مدل‌سازی هر پنج نوع مهاربند، نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. اصلی‌ترین هدف این پژوهش، بررسی کارایی این سیستم جدید در کنترل پاسخ‌های دینامیکی نظیر جابه‌جایی، سرعت و شتاب و کماتش مهاربند پیستونی شکل بوده است تا آسیب‌های ناشی از بارهای جانبی که به سازه اعمال می‌شوند به حداقل برسانند. در این مقاله به بررسی تأثیر استفاده از ورق‌های نیم‌دایره‌ای پیستونی و افزایش فاصله آنها از یکدیگر بر رفتار قاب مهاربندی شده همگرا با استفاده از روش اجزای محدود پرداخته شده تا مشخص گردد که چه تفاوتی در عملکرد سازه ایجاد می‌کند. با بررسی نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش فاصله ورق‌های نیم‌دایره‌ای پیستونی میزان ظرفیت باربری کاهش پیدا کرده و افزایش فاصله، شکل‌پذیری پیستون را افزایش داده و با بیشتر شدن میزان شکل‌پذیری سختی کاهش یافته و باعث استهلاک انرژی بیشتری شده است [۳۳].

۳-۴- میراگر استوانه‌ای دارای رفتار برشی

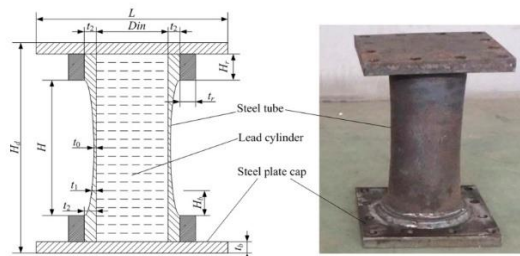
پژوهشی در مورد برآورد ظرفیت نهایی استهلاک انرژی میراگرهای لوله‌ای فولادی صورت گرفته است. آزمایش‌های نمونه دمپر لوله‌های



شکل ۲۸- نمونه‌ای از تغییر شکل پلاستیک میراگر لوله‌ای در شرایط آزمایشگاهی [۳۵]

بسته به نسبت قطر به ضخامت (D/t) ، واکنش هیسترتیک و همچنین حالت کماتش میراگر فولادی دایره‌ای توخالی متفاوت است. رفتار خستگی با چرخه پایین با استفاده از شاخص شکست و شاخص PEEQ ارزیابی می‌شود [۳۵].

مقاله‌ای تحت عنوان عملکرد لرزه‌ای میراگر لوله فولادی پر از سرب: تست آزمایشگاهی، شناسایی پارامترها و کاربردها مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، یک میراگر لوله فولادی پر از سرب (LFSTD) ارائه شده است که شامل یک لوله فولادی، یک استوانه سربی و دو درپوش صفحه فولادی است. هفت LFSTD بر اساس نسبت ضخامت به قطر، ضریب ضعف و نسبت ارتفاع به قطر در سه گروه طراحی شده است. آنها تحت آزمایش چرخه‌ای شبه‌استاتیکی در آزمایشگاه قرار گرفتند تا پارامترهای دستگاه مانند رفتار هیسترتیک، مقاومت، شکل‌پذیری، استهلاک انرژی، میرایی و تا حالت‌های خرابی مشخص شود.



شکل ۲۹- معرفی جزئیات مدل و قطعات میراگر فولادی تسلیم لوله‌ای پر شده با سرب [۳۶]

نتایج آزمایشگاهی و عددی نشان می‌دهند که LFSTD ها در جذب انرژی لرزه‌ای و کاهش جابه‌جایی‌های جانبی سازه محافظت شده توسط میراگر پیشنهادی کاربردهای بالقوه‌ای دارند. LFSTD ها حلقه‌های هیسترتیک پایدار را از خود نشان می‌دهند که با زوال اندک مقاومت و سختی مشخص می‌شود. مدل قاب RC مجهز به میراگرهای پیشنهادی هنگامی که تحت تحریکات لرزه‌ای شدید قرار می‌گیرد عملکرد لرزه‌ای رضایت بخشی را ارائه می‌دهد [۳۶].

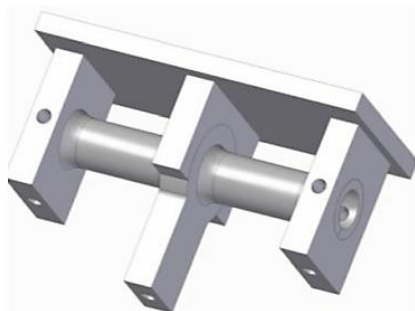
مقاله‌ای تحت عنوان ارتقای عملکرد لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی توسط معرفی میراگرهای لوله فولادی پر شده با سرب ارائه شده است. خرابی ستون مرکزی می‌تواند باعث سقوط سازه‌های بزرگ زیرزمینی در هنگام زلزله‌های شدید شود. استفاده از میراگرهای لوله‌ای فولادی سرب‌دار

(LFSTDs) در طراحی لرزه‌ای چنین سازه‌هایی برای کاهش یا جلوگیری از چنین احتمالی پیشنهاد شده است. تجزیه و تحلیل دینامیکی سه‌بعدی ایستگاه مترو Daikai با و بدون (LFSTDs) تحت اثر زلزله Hyogoken-Nambu، با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از LFSTDs در سازه‌های بزرگ زیرزمینی به طور قابل ملاحظه‌ای نیروی وارده، تغییر شکل و آسیب مربوط به ستون مرکزی تحت بار لرزه‌ای را کاهش می‌دهد.

LFSTD می‌تواند انرژی لرزه‌ای را به طور مؤثری پراکنده کند، به‌ویژه در هنگام ارتعاش‌های شدید. در طی این مدت، حداکثر تغییر شکل برشی LFSTD کمتر از ۲۰ میلی متر است، در نتیجه به سازه اصلی این اجازه را می‌دهد تا عملکرد طبیعی خود را حفظ کند. افزایش تعداد LFSTDهای نصب شده منجر به کاهش آشکارتر اثرات لرزه‌ای در سازه

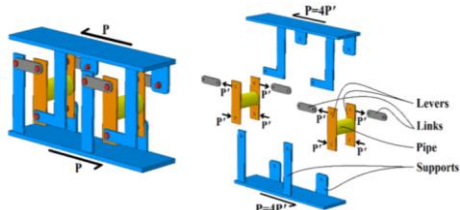
شده و باعث افزایش بازده استهلاک انرژی LFSTD ها می‌شود [۳۷]. پژوهشی دیگری تحت عنوان رفتار چرخه‌ای میراگرهای هیسترتیک برشی با شکل‌های مقطع مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه یک میراگر فلزی از نوع برشی ساخته شده با یک لوله توخالی دایره‌ای را مورد بررسی قرار داده است. یک میراگر دیگر با مقطع H شکل که معمولاً به عنوان یک میراگر برشی فلزی استفاده می‌شود، نیز برای مقایسه در مطالعه گنجانده شده است.

شروع شده است. به عنوان نتیجه گیری نهایی، می توان گفت که دستگاه رفتار هیسترتیک پایدار، با حلقه هایی هیسترتیک با شکل و رفتار منظم و متقارن را از خود نشان داده است. این دستگاه دارای ظرفیت خستگی بالا در چرخه پایین است. انرژی مستهلک شده و پارامتر شکل پذیری به طور قابل توجهی بزرگ تر و بالاتر از مقداری هستند که از سایر دستگاه ها با رفتار هیسترتیک به دست آمده است. مزیت دیگر این دستگاه عدم وجود کماتش موضعی در مناطق تسلیم است [۳۹].

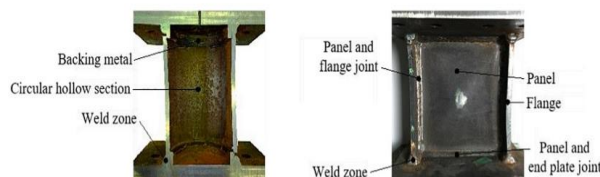


شکل ۳۱- میراگر لوله ای فولادی با رفتار پیچشی [۳۹]

مقاله ای دیگری تحت عنوان بررسی عملکرد تحلیلی و تجربی میراگر فلزی تسلیم تحت پیچش خالص ارائه گردیده است. در این مقاله یک میراگر تسلیم جدید با مکانیزم پیچشی خالص معرفی و بررسی شده است. نیروی برشی طبقات با استفاده از جزئیات خاص به دستگاه پیشنهادی منتقل می شود تا پیچشی خالص بدون نیروی برشی و گشتاور خمشی در لوله های میراگر ایجاد کند؛ بنابراین، ظرفیت استهلاک انرژی اجزای میراگر می تواند به طور مؤثری مورد استفاده قرار گیرد. برخی از روابط برای ویژگی های ساختاری میراگر پیشنهادی از جمله سختی اولیه، تسلیم و مقاومت نهایی و رابطه بار - جابه جایی، به صورت تحلیلی به دست آمده است. این امر با فرض منحنی دوخطی برای ویژگی مواد فولادی باتوجه به سخت شدگی کرنشی آن انجام شده است.



شکل ۳۲- جزئیات مدل میراگر لوله ای فولادی تحت پیچش خالص [۴۰]



شکل ۳۰- جزئیات میراگرهای برشی الف) با مقطع H شکل، ب) با مقطع دایره ای توخالی یا استوانه ای [۳۸]

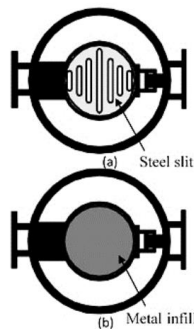
یک معادله سازه برای محاسبه مقاومت و سختی اولیه بر اساس مکانیزم آسیب پلاستیک برای دو نوع میراگر ارائه شده است. برای هر دو نوع میراگر، یک آزمایش بارگذاری چرخه ای برای بررسی ویژگی های مکانیکی آنها به عنوان میراگرهای هیسترتیک صورت پذیرفته است. نمونه های میراگرها با یک سطح مقطع و با استفاده از فولاد نرمه ساخته شده و طوری طراحی شده اند که تقریباً از مقاومت برشی پلاستیک، سختی اولیه و وزن یکسان برخوردار باشند. نتایج تجربی تأیید می کنند که هر دو نوع میراگر ویژگی های هیسترتیک پایدار را نشان می دهند و دارای ظرفیت تغییر شکل غیرارتجاعی و ظرفیت جذب انرژی مناسبی هستند. در نتیجه تحت شرایط بارگذاری یکسان دو میراگر نسبت افزایش مقاومت و ظرفیت شکل پذیری تقریباً به یک میزان افزایش یافته است. کرنش از نظر مقاومت و شکل پذیری، تفاوت چندانی باتوجه به شکل و مقطع میراگرها وجود نداشته است. علاوه بر این، ظرفیت استهلاک انرژی دو نوع میراگر نیز مشابه بوده است [۳۸].

۳-۵- میراگر لوله ای بر پایه رفتار پیچشی

مطالعه ای تحت عنوان بررسی آزمایشگاهی دستگاه جدیدی از مستهلک کننده های انرژی بر پایه پلاستیسیته فلزات نیز ارائه شده است. این دستگاه جدید بر اساس پلاستیسیته فلزات از طریق تنش مماسی ایجاد شده توسط پیچش خالص (بدون بارهای برشی و ممان خمشی در لوله های فولادی) است. پس از تشریح مراحل طراحی و تجزیه و تحلیل، آزمایش ها انجام شده بر روی چندین نمونه اولیه تولید شده با فولاد کم کربن در این مقاله شرح داده شده است. چهار نمونه اولیه (در اندازه کامل) آزمایش شده است. آزمایش ها تحت بارگذاری سیکلیک صورت پذیرفته است. در نهایت، پارامترهای که تجزیه و تحلیل شده و نتیجه گیری شده، جابه جایی، نیروها، سختی، پلاستیسیته و استهلاک انرژی بوده است. در تمامی موارد تسلیم پس از تقریباً تعداد چرخه های یکسان در نمونه ها

کنترل کند. علاوه بر این، دستیابی به شکل پذیری بالا باعث شده است که نسبت میرایی ویسکوز معادل در حدود ۱۹ تا ۳۸ درصد قابل دسترس باشد که درصد قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. دستگاه پیشنهادی سبک وزن است و به راحتی ساخته می‌شود و عملکرد چرخه‌ای مناسبی را برای کاهش ارتعاشات لرزه‌ای نشان می‌دهد [۴۱].

نویسندگان پژوهش قبلی ذکر شده را با مقاله‌ای تحت عنوان بهبود رفتار چرخه‌ای میراگر لوله‌ای چندسطحی با استفاده از پر کردن داخل لوله داخلی توسط صفحه یکپارچه و شکافدار توسعه داده‌اند. قسمت اول این تحقیق مطالعه تحلیلی شکل جدیدی از میراگر لوله‌ای چندسطحی است که اخیراً توسط نویسندگان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، با افزودن سرب یا روی یا دیافراگم شکاف در داخل لوله داخلی، سعی شده است نسبت میرایی ویسکوز معادل را افزایش داده و عملکرد چرخه‌ای سیستم کنترل چندسطحی که قبلاً پیشنهاد شده بود را بهبود بخشد. میراگر از سه قسمت اصلی شامل لوله بیرونی، لوله داخلی و قسمت میرایی مکملی بعداً اضافه شده تشکیل یافته است.



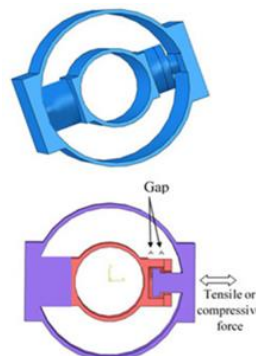
شکل ۳۴- معرفی میراگر تو در توی لوله‌ای دو سطحی پر شونده [۴۲]

در ابتدا تغییر شکل پلاستیک لوله خارجی، سپس لوله داخلی و به‌ویژه هسته اضافه شده و اصطکاک بین آنها باعث می‌شود که سیستم میراگر به‌صورت چندسطحی به‌عنوان یک سیستم استهلاک انرژی بهبود یافته عمل کند. چندین نوع پرکننده سرب یا روی اضافه شده و همچنین اشکال مختلف دیافراگم شکاف در داخل لوله داخلی مدل شده و اثر آنها بر منحنی‌های هیسترتیک با تجزیه و تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از روش اجزای محدود توسط نرم‌افزار ABAQUS مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن سرب تأثیر عمده‌ای روی سختی میراگر ندارد درحالی‌که پر شدن توسط روی و دیافراگم یا صفحه شکاف

منحنی‌های هیسترتیک نشان‌دهنده یک رفتار چرخه‌ای پایدار و خوش‌فرم (متوازن) است. نتایج نیز قابلیت جذب و شکل‌پذیری بالای انرژی را برای این نوع از میراگر را نشان می‌دهند. تسلیم گسترده و توزیع تنش یکنواخت در کل ضخامت دیواره لوله میراگر منجر به میرایی ویسکوز معادل ۳۸ تا ۴۸ درصدی است [۴۰].

۴- میراگر لوله‌ای چند سطحی

پژوهشی با عنوان آزمایش چرخه‌ای لوله‌های چندسطحی در میراگر لوله‌ای ارائه گردیده است. در قسمت اول این تحقیق مطالعه تحلیلی شکل جدیدی از میراگر لوله‌ای چندسطحی است که اخیراً توسط نویسندگان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، تأیید تجربی و آزمایشگاهی میراگر پیشنهادی و جزئیات ساخت عملی آن ارائه شده است. میراگر پیشنهادی شامل ترکیبی از لوله‌های تودرتو است که می‌تواند پارامترهای رفتار دینامیکی مانند مقاومت، سختی و نسبت میرایی را برای جذب و استهلاک انرژی در سطوح مختلف زلزله تغییر دهد.



شکل ۳۳- معرفی اجزای میراگر تو در توی لوله‌ای فولادی دو سطحی [۴۱]

آزمایش‌های شبه‌استاتیکی چرخه‌ای باتوجه به پروتکل بارگذاری-ATC 24 بر روی دو نمونه انجام شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، جذب و استهلاک انرژی مناسب، شکل‌پذیری و منحنی‌های هیسترتیک پایدار در نمونه‌ها مورد آزمایش مشاهده شده است. منحنی‌های هیسترتیز یک رفتار انعطاف‌پذیر و شکل‌پذیر قابل اعتماد را بدون هیچ گونه تنش شدید و متمرکز را نشان می‌دهند. همچنین، عملکرد چند سطحی همانطور که انتظار می‌رفت می‌تواند انرژی را در سطوح مختلف انرژی ورودی پخش

شکل ۳۵- جزئیات مدل و قطعات میراگر فولادی لوله‌ای دو سطحی [۴۳]

اجزای اصلی سازه را برای سازه‌های جدید و موجود به حداقل رساند. قابل ذکر است که باتوجه به مطالعات صورت گرفته و ویژگی‌های ذکر شده هنوز کاربرد گسترده این نوع از میراگرها را شاهد نیستیم و در آئین‌نامه‌های موجود جای خالی ضوابط طراحی چنین سیستم‌های استهلاک انرژی تا حد زیادی باتوجه به اهمیت موضوع احساس می‌شود.

مراجع

[1] Javanmardi A., Khaled Ghaedi Z., Benisi Ghadim H. Hanif M., State-of-the-Art Review of Metallic Dampers: Testing, Development and Implementation, Archives of Computational Methods in Engineering, 2020, 27, 455-478.

<https://doi.org/10.1007/s11831-019-09329-9>

[2] Spencer BF Jr, Nagarajaiah S, State of the art of structural control. Journal Structural Engineering, 2003, 129:845-856. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2003\)129:7\(845\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:7(845))

[3] Saaed TE, Nikolakopoulos G, Jonasson J-E, Hedlund H., A state-of-the-art review of structural control systems, Journal Vib Control, 2013, 21:919-937. <https://doi.org/10.1177/1077546313478294>

[۴] زهرانی سیدمهدی؛ مرتضی قلی محمدحسین. "بهبود عملکرد میراگرهای بیضی شکل در قاب فلزی مهاربند شورن به کمک ورق‌های سخت کننده جانبی"، هفتمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین-المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ایران-تهران، ۱۳۹۴، صفحه ۳۰-۳۷. <https://www.sid.ir/paper/849337/fa>

[۵] ناطقی‌الهی فریبرز؛ تربت اصفهانی مهدی. "رفتار بهبودیافته‌ی آزمایشگاهی و تحلیلی میراگر فلزی آکاردئونی تحت تأثیر افزایش لایه‌ها"، نشریه مهندسی عمران شریف، ۱۳۹۴، شماره ۳/۱، ۲۹-۱۹. <https://doi.org/20.1001.1.26764768.1394.312.31.3.0>

[۶] حسن‌زاده جواد؛ سرافرازی سیدرضا؛ خطیبی‌نیا محسن. "ارزیابی عملکرد اتصال تیر به ستون مجهز شده به میراگر لوله‌ای فولادی بیضی"، مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس، ۱۴۰۰، ۲، ۷۷-۶۳. <https://doi.org/20.1001.1.24766763.1400.21.2.12.7>

فولادی ضخیم‌تر ظرفیت آن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و همچنین باعث شکل پذیری بیشتر مدل می‌شود.

همچنین ملاحظه شد که با استفاده از میراگرهای لوله‌ای در سازه‌ها می‌توان از آنها به‌عنوان فیوز سازه‌ای بهره برد. بطوریکه این امکان را فراهم می‌سازند که با استهلاک انرژی وارده، از خرابی دیگر المان‌های اصلی سازه جلوگیری کنند.

باتوجه به مطالعات صورت گرفته بر روی میراگرهای آکاردئونی این نوع از میراگرهای علاوه بر مزایای خود در برابر بارهای لرزه‌ای، دارای ویژگی کاهش پاسخ قاب‌ها تحت بار انفجاری نیز هستند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای جدار نازک آکاردئونی، به‌ویژه در انفجارهای بزرگ تا حد زیادی جابه‌جایی کلی قاب را بهبود می‌بخشد.

نوع دیگری از میراگرهای لوله‌ای فولادی، میراگرهای لوله‌ای چندسطحی هستند که این نوع از میراگرهای پیشنهادی شامل ترکیبی از لوله‌های تودرتو هستند که می‌توانند پارامترهای رفتار دینامیکی مانند مقاومت، سختی و نسبت میرایی را برای جذب و استهلاک انرژی در سطوح مختلف زلزله تغییر دهند. فیوز کمکی (حلقه بیرونی) در زمین‌لرزه‌های متوسط و فیوز اصلی (حلقه‌های داخلی) در زمین‌لرزه‌های شدیدتر انرژی ورودی زمین‌لرزه را جذب می‌نماید. به‌طورکلی میراگر چندسطحی غیرفعال لوله‌درلوله باقابلیت تغییر پکیجی از پارامترها اعم از سختی، مقاومت و میزان جذب انرژی در سطوح مختلف جهت کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها ارائه گردیده‌اند.

از دیگر ویژگی‌های مهم این نوع از میراگرها می‌توان به ظرفیت افزایش سختی میراگرهای لوله‌ای در کنار دیگر ویژگی‌های آنها اعم از استهلاک انرژی، افزایش مقاومت و شکل‌پذیری اشاره کرد. افزایش سختی باعث کاهش جابه‌جایی‌های وارد می‌شود، مزیت اصلی این فرایند در میراگرهای لوله‌ای چندسطحی به شکل کامل‌تری خود را بروز داده و باعث افزایش سختی متناسب با افزایش جابه‌جایی‌های وارده در هر مرحله می‌گردد.

هریک از این میراگرها به نوبه خود باتوجه به تکنولوژی ساخت موجود امکان اجرا دارند به‌گونه‌ای که اغلب این نوع میراگرها دارای تکنولوژی ساخت راحت و کم‌هزینه بوده و امکان تعویض قطعات آسیب‌دیده پس از زلزله برای هریک از این نوع میراگرها مهیا است. از طرفی میراگرهای لوله‌ای فولادی مزایایی مانند توانایی جذب و استهلاک انرژی بالا، عملکرد ثابت در بارگذاری چرخه‌ای، ظرفیت شکل‌پذیری، مقاومت و سختی بالا را ارائه می‌دهند که به‌موجب آن می‌توان صدمات وارده به

Pipe Yield Dampers, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 2020, Vol. 8, 137-155.

<http://dx.doi.org/10.22075/jrce.2020.19792.1383>

[16] Guo W., et al, Experimental study of a steel damper with X-shaped welded pipe halves, Journal of Constructional Steel Research, 2020, 170(5).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106087>

[17] Guo W., et al, Development and seismic performance of bolted steel dampers with X-shaped pipe halves, Engineering Structures, 2021, 239.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112327>

[۱۸] عباسی نیا رضا؛ قاسم‌وتر محمد؛ احمدی رسول؛ کافی محمدعلی، "بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی شکل‌پذیری حلقه‌ی فولادی" نشریه مهندسی عمران شریف، ۱۳۸۸، ۵۱، ۴۸-۴۱.

https://sjce.journals.sharif.edu/article_33_0e2f8404964dcac74dacc6083f98a60d.pdf?lang=en

[19] Bazzaz M., Kafi M., Evaluating the Seismic Performance of Off-centre Bracing System with Circular element in Optimum Place, International Journal of Steel Structures, 2014, 14, 293-304.

<http://dx.doi.org/10.1007/s13296-014-2009-x>

[20] Andalib Z., et al, Experimental investigation of the ductility and performance of steel rings constructed from plates, Journal of Constructional Steel Research, 2014, 103, 77-88.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.07.016>

[21] Andalib Z., et al, Numerical evaluation of ductility and energy absorption of steel rings constructed from plates, Engineering Structures, 2018, 169, 94-106.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.034>

[۲۲] رئیسی علیرضا؛ میردامادی حمید؛ رهگذر محمدعلی. "میراگر فلزی پوسته‌ای تودرتو با رویکرد بهبود در رفتار هیستریزیس"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران امیرکبیر، ۱۳۹۹، دوره ۵۳، شماره ۱، ص ۳۴-۲۱.

<https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18975.7013>

[7] Gullu A. et al, Numerical Modelling of Energy Dissipative Steel Cushions, International Journal of Steel Structures, 2019, Vol. 19, 1331-1341.

<https://doi.org/10.1007/s13296-019-00213-7>

[8] Lahooti, A. et al, Cyclic Behavior of Pipe Dampers Reinforced with High-performance Fiber-Reinforced Cementitious Composite (HPFRCC) Materials, Jordan Journal of Civil Engineering, 2020, Vol. 14, No. 2.

<https://jjce.just.edu.jo/Download.ashx?f=aseDtykvVSi6kvWU3nDTHOdwiIPPeBKQ3KW1ZewUKk%3D>

[9] Maleki Sh., Bagheri S., Pipe damper, Part I: Experimental and analytical study, Journal of Constructional Steel Research, 2010, 66, 1088-1095.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.03.010>

[10] Maleki Sh., Mahjoubi S., Dual-pipe damper, Journal of Constructional Steel Research, 2013, 85, 81-91.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.03.004>

[11] Maleki Sh., Mahjoubi S., Infilled-pipe damper, Journal of Constructional Steel Research, 2014, 98, 45-58.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.02.015>

[12] Abebe D., Choi J., Analytical Evaluation on Hysteresis Performance of Circular Shear Panel Damper, International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering, 2014, 8, 6.

[13] Mahjoubi S., Maleki Sh., Seismic performance evaluation and design of steel structures equipped with dual-pipe dampers, Journal of Constructional Steel Research, 2016, 122, 25-39.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.01.023>

[14] Abdollahiparsa H., et al, Seismic behavior of braced steel frames with pipe dampers, Advances in Structural Engineering, 2020, 24(8), 1526-1538.

<http://dx.doi.org/10.1177/1369433220981653>

[15] Behzadfar B., et al, Improved Seismic Performance of Chevron Brace Frames Using Multi-

- [31] Leon D.H., et al, Influence of the Shape of Slit of a Circular Hollow Steel Damper on its Energy Dissipation Capacity, Proceedings of the XLI Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Brazil, 2020, November 16-19.
- [32] Jarrah M., et al, Experimental and numerical evaluation of piston metallic damper (PMD), Journal of Constructional Steel Research, 2019, 154, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.11.024>
- [۳۳] قنادی اصل امین؛ عیسی زاده مهدی. "بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های قاب فولادی با استفاده از میراگر پیستونی با صفحات نیم دایره‌ای"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، ۱۴۰۰، ۴۵، ۳۲۹-۳۴۲. <https://doi.org/10.22065/jsce.2020.215525.2048>
- [34] Utomo J., et al, Estimating the ultimate energy dissipation capacity of steel pipe dampers, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum, Procedia Engineering, 2015, 125, 1101 - 1107.
- [35] Abebe D., et al, Low-Cycled Hysteresis Characteristics of Circular Hollow Steel Damper Subjected to Inelastic Behavior, International Journal of Steel Structures, 2018, 19, 157-167. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0097-8>
- [36] Luo W., et al, Seismic performance of lead-filled steel tube damper: Laboratory test, parameter identification and application, Engineering Structures, 2020, 219. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110764>
- [37] He, Zh., Chen, Q., Upgrading the seismic performance of underground structures by introducing lead-filled steel tube dampers, Tunnelling and Underground Space Technology, 2020, 108(3) <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103727>
- [38] Park H., et al, Cyclic behavior of shear-type hysteretic dampers with different cross-sectional shapes, Journal of Constructional Steel Research, 2021, Vol. 187. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106964>
- [۲۳] کافی محمدعلی؛ خیرالدین علی؛ حج فروش محمد، "بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی شکل‌پذیری حلقه فولادی مرکب جهت نصب در مهارندهای هم‌محور"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۹۹، شماره ۲، ص ۴۹-۴۱. <https://doi.org/10.22034/jcee.2020.22032.1547>
- [۲۴] پاچیده قاسم؛ کافی محمدعلی؛ قلهکی مجید. "ارزیابی آزمایشگاهی و عددی سیستم نوین مهاربندی با عضو لوزی شکل مجهز به میراگر تسلیم‌شونده"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران امیرکبیر، ۱۴۰۰، ۱۱، ۴۵۷۶-۴۵۵۷. <https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18035.6744>
- [25] Gorji M. et al, Numerical and analytical investigation of cyclic behavior of steel ring dampers (SRDs), Thin-Walled Structures, 2020, 151. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106751>
- [26] Gorji, M. et al, Cyclic behavior of an energy dissipation system with steel dual-ring dampers (SDRDs), Journal of Constructional Steel Research, 2020, 172. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106145>
- [۲۷] معتمدی مهرتاش؛ ناطقی الهی فریبرز؛ ضیایی فر منصور؛ کریمی محمد. "مطالعه استهلاک انرژی در لوله جدارنازک آکاردئونی تحت نیروی رفت و برگشتی"، نشریه استقلال، ۱۳۸۵، ۱، ۱۰۱-۱۱۹. <https://doi.org/20.1001.1.22287698.1385.25.1.7.7>
- [۲۸] ایزدی اسماعیل؛ ناطقی الهی فریبرز؛ معتمدی مهرتاش. "مقایسه‌ی شاخصه‌ای رفتار میراگر فلزی آکاردئونی توخالی و پر شده با فوم پلیمری در بارگذاری محوری رفت و برگشتی"، مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس، ۱۳۸۹، ۲، ۱۰۲-۱۲۱. <https://mcej.modares.ac.ir/article-16-921-fa.pdf>
- [۲۹] میرزا گلنبار علیرضا؛ ناصری علی؛ نصیری جابر. "بررسی اثر میراگرهای جدارنازک آکاردئونی در کاهش پاسخ قابها تحت بار انفجاری"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران امیرکبیر، ۱۳۹۶، ۴، ۷۰۷-۷۲۲. <https://doi.org/10.22060/ceej.2016.855>
- [۳۰] سعیدمنیر حبیب؛ علیپور ندا. "کاربرد یک میراگر لوله‌ای شکافدار جدید با مقطع استوانه‌ای در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۹۴، ۴، ۲۹-۴۳. https://ceej.abrizu.ac.ir/article_4678_6af93e0c6f072d94ea2e087af8a2fb3d.pdf

[39] J.M. Franco, et al, Experimental testing of a new anti-seismic dissipator energy device based on the plasticity of metals, Engineering Structures, 2010, Vol. 32. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.04.037>

[40] Mahyari Sh., et al, Investigating the analytical and experimental performance of a pure torsional yielding damper, Journal of Constructional Steel Research, 2019, Vol. 161, 385-399. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.07.010>

[41] Cheraghi A. Zahrai M., Cyclic Testing of Multi-Level Pipe in Pipe Damper, Journal of Earthquake Engineering, 2017, 23, 1695-1718 <http://dx.doi.org/10.1080/13632469.2017.1387191>

[42] Zahrai M. Cheraghi A., Improving cyclic behavior of multi-level pipe damper using infill or slit diaphragm inside inner pipe, Structural Engineering and Mechanics, 2017, Vol. 64, No. 2, 195-204. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.64.2.195>

[۴۳] چراغی عبدالله؛ زهرائی سید مهدی. "ارزیابی رفتار میراگر تسلیمی لوله در لوله با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA) "، نشریه علمی-پژوهشی سازه و فولاد، ۱۳۹۷، شماره ۲۵، صفحه ۱۵-۵. https://journal-issr.ir/article_20147345e2a79ff23cb1578998848afdd15feb.pdf

[۴۴] تیزهوش حسین؛ مودب الهام. "بررسی آزمایشگاهی و عددی میراگر لوله‌ای جهت کنترل دو سطح مختلف زمین‌لرزه"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، ۱۴۰۰، شماره ۴۰، ص ۷۵-۹۵. <https://doi.org/10.22065/jsce.2019.171319.1780>

[۴۵] یوسفی محسن؛ نصیرا یحیی؛ قمری علی. "بررسی عملکرد مدل جدیدی از میراگر مستطیلی درمهاربند همگرای قطری" فصلنامه آنالیز سازه- زلزله، ۱۴۰۰، شماره ۱، ۳۹-۵۲. https://journals.iau.ir/article_681417_defb8f31d25635134d932bf79268ab25.pdf