

Double Round Tube-Form Yielding Damper with Similar Behaviors in Tension and Compression for CBFs Buildings' Structures

Saheb Pirani

PhD student, Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

Heydar Dashti Naserabadi *

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

Morteza Jamshidi

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

Mahmood Hosseini

Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Eastern Mediterranean University (EMU), Famagusta, North Cyprus via Mersin 10, Turkey

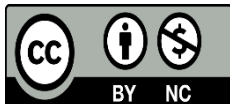
dashti@iauc.ac.ir

Keywords:

Bracing Elements,
Steel Double Straps,
Energy Dissipation,
Finite Element Analysis.

Abstract

To enhance energy dissipation and prevent buckling in concentrically braced frames (CBFs), steel yielding dampers have been suggested, however, most of them have drawbacks, including differing tension-compression behaviors, complexity, and lacking a straightforward design method. This paper introduces the Double Round Tube-form Yielding Parts (DRTYP) Steel Damper, which exhibits consistent tension-compression behavior, easy manufacturing, and a simple design based on two relationships. The damper dissipates energy through two circular tube parts - one in tension, the other simultaneously in compression. The paper illustrates the damper's hysteretic behavior through lab tests and finite element analyses (FEA). Based on FEA results for DRTYP dampers with various tube dimensions, two relationships, linking initial stiffness and yielding strength to geometric features are provided. Also, a straightforward procedure for damper design in multi-story buildings with chevron bracing is suggested. To demonstrate the damper's efficiency in reducing seismic responses, its application in a 5-story building is discussed through nonlinear time history analyses. Results show that using appropriately designed DRTYP dampers can reduce the building's maximum roof acceleration and maximum base shear, on average, approximately 30% and 20%, respectively, compared to conventional CBFs.



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 بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

دمپر فولادی با رفتارهای مشابه در کشش و فشار با استفاده از قطعات تسلیم شونده لوله‌ای برای کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها

صاحب پیرانی

دانشجوی دکتری، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

حیدر دشتی نصرآبادی*

استادیار، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

مرتضی جمشیدی

استادیار، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

محمود حسینی

استاد، دانشگاه مدیترانه شرقی (EMU)، فاماگوستا، قبرس شمالی از طریق مرسین، 10، ترکیه

Dashti@iauc.ac.ir

تاریخ پذیرش: 10 شهریور 1403

تاریخ دریافت: 25 اردیبهشت 1403

چکیده

برای افزایش اتلاف انرژی و جلوگیری از کماتش در قاب‌های مهاربندی شده هم مرکز (CBF)، میراگرهای تسلیم فولادی پیشنهاد شده‌اند. با این حال، اکثر آنها دارای معایبی هستند، از جمله رفتارهای مختلف تنش-فشار، پیچیدگی، و نداشتن روش طراحی ساده. این مقاله دمپر فولادی قطعات تسلیم دو لوله گرد (DRTYP) را معرفی می‌کند که رفتار تنش-فشار ثابت، ساخت آسان و طراحی ساده بر اساس دو رابطه را نشان می‌دهد. دمپر انرژی را از طریق دو قسمت لوله دایره‌ای - یکی در کشش، دیگری به طور همزمان در فشار، پراکنده می‌کند. این مقاله رفتار هیسترتیک دمپر را از طریق آزمایش‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل المان محدود (FEA) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج FEA برای دمپرهای DRTYP با ابعاد مختلف لوله، دو رابطه، اتصال سختی اولیه و استحکام تسلیم به ویژگی‌های هندسی ارائه شده است. همچنین، یک روش ساده برای طراحی دمپر در ساختمان‌های چند طبقه با مهاربندی شورون پیشنهاد شده است. برای نشان دادن کارایی دمپر در کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای، کاربرد آن در یک ساختمان 5 طبقه از طریق تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای DRTYP با طراحی مناسب می‌تواند حداکثر شتاب سقف و حداکثر برش پایه ساختمان را به ترتیب تقریباً 30 و 20 درصد در مقایسه با CBFهای معمولی کاهش دهد.

کلید واژگان: عناصر مهاربندی، تسمه‌های دوگانه فولادی، اتلاف انرژی، تحلیل اجزای محدود، دمپر.

1- مقدمه

قاب‌های مهاربندی (CBFs) از جمله سیستم‌های سازه‌ای بسیار رایج در مناطق لرزه‌خیز هستند. با این حال، عناصر مهاربندی در CBF ها از دو ضعف اصلی رنج می‌برند: 1) ظرفیت اتلاف انرژی پایینی دارند، و 2) در برابر کماتش تحت بارهای فشاری ضعیف هستند. یکی از راه‌های افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و جلوگیری از کماتش در عناصر مهاربندی، استفاده از دمپ‌های تسلیم فولادی است. تاکنون تحقیقات تجربی و عددی متعددی بر روی انواع میراگرهای فولادی انجام شده است، اما اکثر دمپ‌های پیشنهادی و مورد مطالعه دارای یک یا چند مورد از کاستی‌های زیر هستند که در بندهای بعدی این قسمت بیان شده است. این کاستی‌ها عبارتند از: 1) داشتن رفتارهای مختلف در کشش و فشرده‌سازی، که مدل‌سازی آنها را در اکثر برنامه‌های کامپیوتری تحلیل سازه دشوار می‌کند. 2) رنج بردن از زوال (یا تخریب سختی و/یا افت استحکام و همچنین اثر فشار) تحت بارگذاری چرخه‌ای، که نه تنها ظرفیت اتلاف انرژی آنها را در تغییر شکل‌های بزرگ کاهش می‌دهد، بلکه مدل‌سازی آنها را توسط اکثر نرم‌افزارهای تحلیل سازه دشوار می‌کند. 3) داشتن ساختار و هندسه پیچیده که ساخت آنها را برای بسیاری از کشورهای توسعه نیافته و حتی در حال توسعه در مناطق لرزه خیز پیچیده و بسیار دشوار می‌کند. و 4) نداشتن روش طراحی ساده برای استفاده در ساختمان‌های مختلف با نیازهای لرزه‌ای متفاوت. بر این اساس، همچنان نوعی میراگر فولادی که هیچ یک از کاستی‌های ذکر شده را نداشته باشد، به ویژه در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه واقع در مناطق زلزله خیز مورد نظر است.

با توجه به مطالعات موجود، استفاده از میراگرهای فولادی از اوایل دهه 70 مورد بحث محققان در زمینه مهندسی زلزله قرار گرفته است. به نظر می‌رسد کلی و همکارانش¹ [1] پیشگامانی در این زمینه باشند که مکانیسم‌های جذب انرژی را در دستگاه‌های ویژه برای استفاده در سازه‌های مقاوم در برابر زلزله مورد بحث قرار دادند. چند سال بعد اسکینر و همکارانش² [2] استفاده از میراگرهای فولادی را برای بهبود رفتار لرزه ای ساختمان‌ها پیشنهاد کردند. از آن زمان، مطالعات بر روی این نوع میراگرها به عنوان اتلاف کننده انرژی و/یا فیوزهای ساختاری تا دهه اخیر ادامه داشته و همچنان ادامه دارد. به عنوان مثال، حسینی و همکارانش [3] یک دستگاه اتلاف انرژی دو حلقه ای با رفتارهای مشابه در کشش و فشار را برای ایجاد مهاربندهای مقاوم در برابر کماتش معرفی کردند. حسینی و بزرگ زاده [4] رفتار دستگاه ADAS دوگانه (میرایی و سختی افزوده) را بررسی و آن را با دستگاه

ADAS مقایسه کردند. حسینی و خرد [5] یک دستگاه اتلاف انرژی چند گل میخ را به عنوان فیوز مرکزی معرفی کردند که در ساختمان‌های فولادی معمولی کوتاه تا متوسط با حرکت گهواره ای استفاده می‌شود. حسینی و علوی [6] یک دستگاه فولادی به نام پراکنده انرژی صفحات تسلیم چند ذوزنقه‌ای (MTYPED) را برای ایجاد ساختمان‌های فولادی قابل تعمیر با حرکت گهواره‌ای / اره‌ای معرفی کردند و یک مطالعه تجربی بر روی رفتار هیستریتیک آن انجام دادند. حسینی و قربانی امیرآباد [7] یک فیوز سازه‌ای متشکل از چند میله فولادی منحنی اولیه را برای ایجاد ساختمان‌های قابل تعمیر با حرکت الاکلنگ معرفی کردند. کاظمی فرد و همکارانش [8] یک مطالعه عددی بر روی فیوزهای محیطی از نوع MTYPED در ساختمان‌های فولادی قابل تعمیر با حرکت الاکلنگ انجام دادند. نجاری ورزنه و حسینی [9] عملکرد چرخه‌ای و ویژگی‌های مکانیکی یک دمپر فولادی بیضی شکل را در قاب‌های فولادی با مهاربند شورون بررسی کردند. خراد و همکارانش [10] یک مطالعه تجربی را بر روی یک دستگاه پراکنده انرژی مبتنی بر تسلیم قابل تعویض جدید، ساخته شده از صفحات فولادی منحنی اولیه، برای ساختمان‌های گهواره‌ای و الاکلنگ انجام دادند. در نهایت، لیبی و همکارانش [11] یک تحلیل حساسیت بر روی رفتار صفحات فولادی ذوزنقه‌ای ساده برای معرفی یک دمپر فولادی مبتنی بر تسلیم جدید انجام دادند.

در یک بررسی پیشرفته در مورد میراگرهای فلزی توسط جوانمردی و همکارانش [12]، آنها دمپرهای فولادی را که قبلاً توسط سایر محققان پیشنهاد شده بود، به شش دسته فولاد U شکل، تیر پیچشی، تیر خمشی، تک محور، دمپرهای مخروطی و لوله مخروطی طبقه بندی کرده‌اند. در طبقه‌بندی دیگری، میراگرهای فولادی را به دو گروه اصلی میراگرهای مبتنی بر صفحه فولادی و میراگرهای مبتنی بر پانل برشی فولادی طبقه‌بندی کرده‌اند که گروه اول را در یازده زیررده ADAS، TADAS، لوزی، تک سوراخ گرد، X شکل، دوتایی X شکل، شکاف، دندانه‌ای، سهموی، نوارهای پیش خم شده و میراگرهای فولادی منحنی، و گروه دوم به پنج زیرگروه میراگر پانل برشی (SPD)، دمپر

پانل برشی سفت (SSPD)، دستگاه پانل برشی تسلیم (YSPD)، میراگر تسلیم برشی و خمشی (SAFYD) و دمپر پانل برشی مهار شده کماتشی (BRSPD) تقسیم کردند. آنها همچنین برخی از انواع دیگر دمپرهای فولادی مانند دمپر L، دمپر خرنده و دمپر بالشتک، و همچنین دمپر لوله در لوله (TITD)، و همچنین سایر دمپرهای مبتنی بر لوله، از جمله دمپر لوله دوتایی (PD)، دمپر لوله (DPD)، دمپر لوله پر شده (IPD)، دمپر لوله پیچشی (TTD) و دمپر لوله عمودی (VPD) و در نهایت، دمپر صفحه موجدار با کماتش (BRRPD)، دمپر

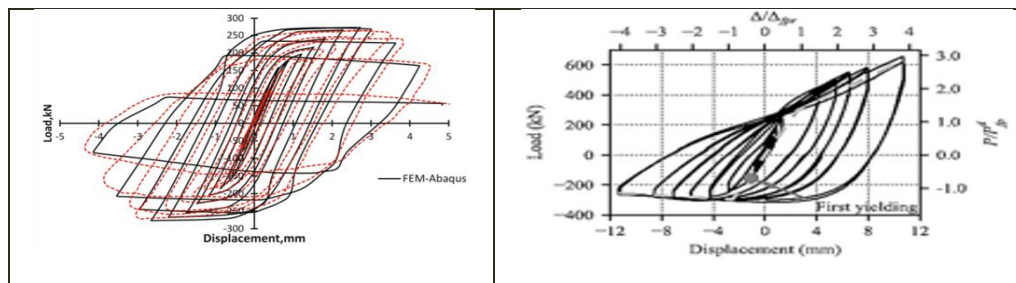
¹ Kelly et al² Skinner et al

منحنی‌های نیروی هیسترتیک نامتقارن می‌شود، همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است. عدم تقارن در حلقه‌های هیسترتیک نقصی است که مدل‌سازی دقیق میراگر را برای تحلیل لرزه‌ای آن در اکثر برنامه‌های کامپیوتری رایج تحلیل سازه دشوار یا حتی غیرممکن می‌کند. در واقع، پیوندهای غیرخطی که در نرم افزار مربوطه برای بیان رفتار هیسترتیک دمپرها موجود است، فنرهای غیرخطی، دو خطی یا چند خطی با شیب مثبت را نرم می‌کنند. این محدودیت در نرم افزارهای تحلیل سازه، استفاده از آنها را برای اکثر میراگرهای فولادی بسیار دشوار و محدود می‌کند. برای رفع این مشکل استفاده از دمپرها فولادی به صورت زوجی پیشنهاد شده است که به دلیل محدودیت‌های معماری همیشه امکان پذیر نیست.

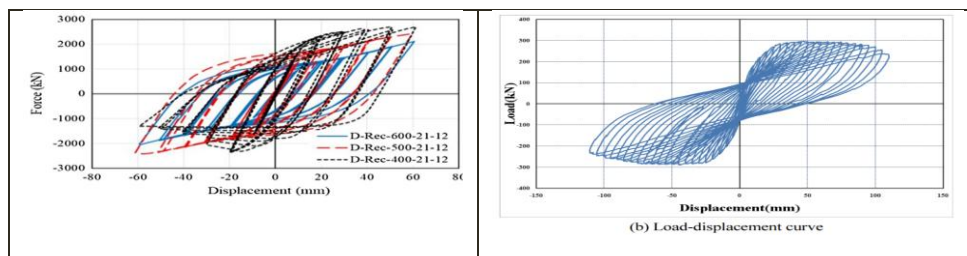
دومین کاستی در اکثر دمپرها فولادی پیشنهادی قبلی این است که از خراب شدن رنج می‌برند، از جمله تخریب سختی، افت استحکام و همچنین اثر فشار یا ترکیب آنها، تحت بارگذاری چرخه‌ای، که نه تنها ظرفیت اتلاف انرژی آنها را در تغییر شکل‌های بزرگ کاهش می‌دهد، بلکه مدل‌سازی آنها را توسط اکثر نرم‌افزارهای تحلیل سازه دشوار می‌کند. شکل 2 نمونه‌هایی از این رفتار دمپرها را در مطالعات قبلی نشان می‌دهد.

میله (BD)، دمپر فلزی آکاردئونی (AMD)، دمپر فیوز میله ای (FBD)، و در آخر، دمپر فیوز لوله (PFD) را مورد بحث قرار دادند. جوانمردی و همکارانش بیان کرده اند که به نظر می‌رسد میراگرهای فولادی به دلیل هزینه ساخت پایین و عملکرد عالی در کاهش ارتعاشات سازه از محبوب ترین ها هستند. آنها همچنین بیان کرده اند که بعد از مواد تشکیل دهنده، هندسه دمپر اثرات قابل توجهی بر عملکرد دمپر دارد. همچنین کیفیت جوش را یکی دیگر از عوامل مهم در ساخت دمپرها فلزی ذکر کرده اند که می‌تواند از خرابی زودرس دمپر در حین کار جلوگیری کند. در نهایت بیان کرده‌اند که میراگرهای فولادی که به عنوان فیوز در سازه‌های عمرانی عمل می‌کنند و از آسیب به سازه‌های اولیه جلوگیری می‌کنند، در صورت خرابی در زلزله‌های شدید به راحتی قابل تعویض هستند.

مزیت‌های فوق‌الذکر میراگرهای فولادی نسبت به سایر انواع میراگر حتی سایر میراگرهای فلزی، آنها را به مطلوب ترین میراگرها برای بهبود رفتار لرزه ای سازه‌ها تبدیل کرده است. البته لازم به ذکر است که اکثر دمپرها فولادی پیشنهادی و بررسی شده قبلی دارای کاستی‌ها یا ضعف‌هایی هستند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود که به نوعی برای استفاده‌کنندگان دلسردکننده بوده و پیشنهاد میراگرهای بهتری را که فاقد آن نواقص هستند، ضروری می‌کند. اولین نقطه ضعف رفتارهای مختلف در کشش و فشار است که منجر به



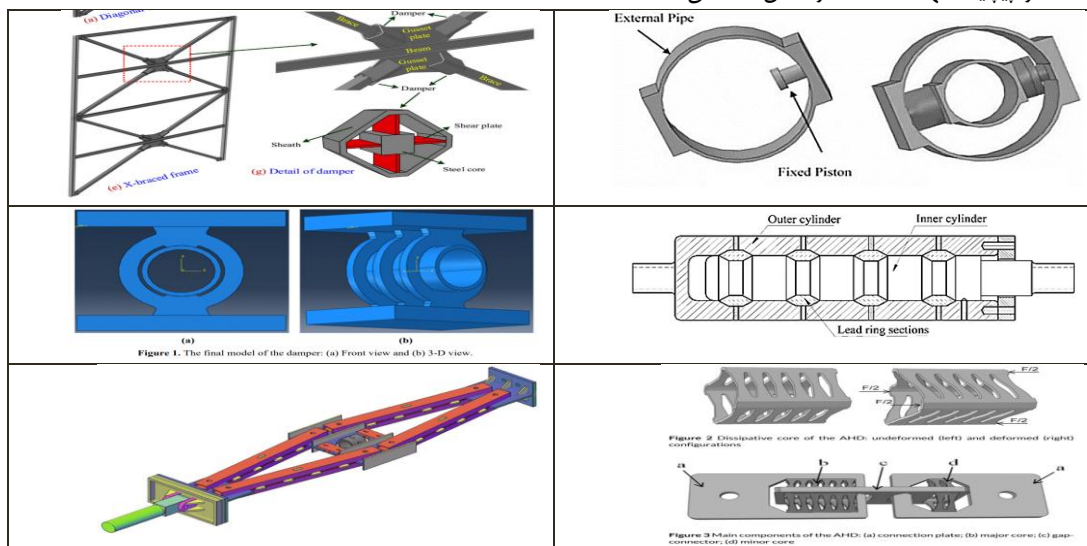
شکل 1- رفتار هیسترتیز برای برخی دمپرها مورد مطالعه توسط محققان قبلی



شکل 2- نمونه‌هایی از رفتار دمپرها در مطالعات قبلی

است.

سومین نقص در بسیاری از میراگرهای فولادی پیشنهادی قبلی،
 هندسه و ساختار پیچیده آنها است که در شکل 3 نشان داده شده



شکل 3- میراگرهای فولادی پیشنهادی قبلی، هندسه و ساختار پیچیده آنها است

دلیل سهولت ساخت، اجرا و قابلیت تعویض آن برای تقویت سازه‌های موجود توصیه می‌شود. فارسی و همکاران [14] نوع جدیدی از میراگر اتلاف انرژی غیرفعال را به نام "Steel Slit Damper" معرفی کردند. اتصال دمپر جوشی نیست، بنابراین هیچ مشکل جوشکاری و عدم قطعیت درجا وجود ندارد. هنگامی که دمپر در معرض تغییر شکل‌های چرخه‌ای غیرکشسانی قرار می‌گیرد، تسلیم انعطاف‌پذیر شبکه دمپر به دلیل ترک‌ها باعث اتلاف انرژی می‌شود. رفتار دمپر شکاف فولادی (SSD) به صورت تئوری ارزیابی می‌شود. سپس اثر خواص دمپر بر ظرفیت اتلاف انرژی با انجام هشت آزمایش چرخه‌ای و یک آزمایش یکنواخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش برای دمپر نمودار هیستریزس پایدار، اتلاف انرژی خوب و انعطاف پذیری بالا را نشان می‌دهد. همچنین، نمونه‌هایی با طول یا عرض بیشتر رفتار انعطاف‌پذیرتری از خود نشان دادند، در حالی که مدل‌های کوتاه‌تر یا باریک‌تر سختی بیشتری داشتند و با وجود اتلاف انرژی عالی‌تر، زودتر پاره شدند و همکارانش [15] نوعی دمپر غیرفعال را به نام «دمپر شکافی» معرفی کردند.

تجربه زلزله‌های 1995 کوبه و نورتریج در سال 1994، که در آن اتصالات تیر-ستون در بسیاری از قاب‌های خمشی فولادی به شدت آسیب دید، انگیزه‌ای برای مطالعه میراگرهای شکافی است که برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، به ویژه در محل اتصال استفاده می‌شوند. با استفاده از آزمایشات شبه استاتیکی، عملکرد این میراگر در سه سازه فولادی در مقیاس واقعی بررسی شده است. مهمترین ویژگی

هندسه و ساختار پیچیده، ساخت چنین میراگرهایی را پیچیده و دشوار می‌کند و علاوه بر این، نصب آنها در سازه اصلی دشوار و پرهزینه است. این نگرانی در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه واقع در مناطق لرزه خیز جدی‌تری است. در واقع خواص مکانیکی میراگر مانند سختی‌های اولیه و ثانویه و همچنین تسلیم شدن و استحکام نهایی آن باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که پاسخ لرزه‌ای ساختمان در معرض مجموعه‌ای از زلزله‌های منتخب را به حداقل برساند، و این نیاز به روابط بین تقاضای لرزه‌ای ساختمان و ویژگی‌های هندسی آن و ویژگی‌های مکانیکی میراگر دارد. این در حالی است که در اکثر موارد قبلی چنین روابطی فراهم نشده است.

چان و همکارانش [13] نوعی دمپر را با استفاده از تحقیقات آزمایشگاهی معرفی کردند. دمپر از یک مکعب توخالی سوراخ‌دار و یک صفحه روزنه نازک تشکیل شده است که با تغییر شکل پلاستیک برشی صفحه، انرژی را تلف می‌کند. عملکرد میرایی با استفاده از نتایج 19 آزمایش بارگذاری چرخه‌ای و یکنواخت با تغییر در لاغری دیافراگم و مقطع توخالی مربعی (SSH) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی در نمونه‌های خاص اتلاف انرژی خوب و رفتار پایدار در نمودار هیستریزس را نشان داده است. از طرفی در مدل‌هایی که صفحات نازک در معرض کماتش برشی الاستوپلاستی قرار می‌گیرند، پاسخ‌های نمودار هیستریزس کمی باریک می‌شود، اما به طور کلی این دمپر عملکرد خوبی در اتلاف انرژی لرزه ای نشان می‌دهد و به



در هنگام آسیب دیدگی ورق گیره کاهش می‌دهد و شکست پیچشی در تیر نیز عملکرد سازه را مختل می‌کند. بنابراین لازم است راهکاری برای بهبود طراحی قاب مهاربندی برای دستیابی به عملکرد سازه‌ای بهتر و افزایش قابلیت‌های معماری ارائه شود. در آن مطالعه، عناصر مهاربند K در نواحی گوشه تیرها و ستون‌ها به کار گرفته شد و یک سری آزمایش بار چرخه‌ای بر روی قاب‌ها اعمال شد. نتایج آزمایش نشان داد که قدرت و ظرفیت اتلاف انرژی (CBRFs) بدون در نظر گرفتن اینکه بریس‌ها به سمت داخل یا خارج خم شده‌اند، به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین هسو و هلمیم [17] به این نتیجه رسیدند که قاب‌های خمشی انعطاف‌پذیری قابل توجهی دارند و معمولاً در طرح‌های مقاوم در برابر زلزله استفاده می‌شوند. اما تغییر شکل بیش از حد به دلیل سختی کمتر و مقاومت سازه‌ای استفاده از این سیستم را محدود می‌کند. در آن مطالعه، میراگرهای فولادی منحنی برای بهبود عملکرد ساختاری این سیستم پیشنهاد شده‌اند. دمپ‌های منحنی با استفاده از برش لیزری صفحات فولادی با هندسه مورد نظر ساخته شده و بر روی تیر تا ستون قرار می‌گیرند. مجموعه‌ای از آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای بر روی قاب‌های فولادی با زوایای مختلف میراگر منحنی برای ارزیابی تأثیر دمپ منحنی بر عملکرد سازه انجام شد. نتایج نشان داد که وقتی زوایای کوچکتر بود، مقاومت قاب بیشتر بود. مقایسه نتایج تجربی همچنین نشان داد که با اضافه شدن دمپ‌های منحنی به قاب‌های خمشی، بهبود قابل توجهی در استحکام، سفتی و اتلاف انرژی حاصل شد. هسو و هلمیم [18] یک مهاربند معمولی را با یک دمپ فولادی منحنی که قبلاً توسط همان نویسندگان پیشنهاد شده بود ترکیب کردند تا یک طرح مهاربندی جدید به نام A-brace ایجاد کنند. در ادامه، یک دمپ منحنی با ضخامت‌ها و عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. یک آزمایش بار چرخه‌ای بر روی یک دمپ منحنی و یک مهاربند A با ابعاد مختلف برای اعتبارسنجی کاربرد طرح A-بندبند پیشنهادی اعمال شد. نتایج نشان داد که مهاربند A پایدار است و تغییر شکل بزرگی معادل 5 درصد دررفت را بدون کماتش دمپ موضعی تحمل کرده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که وقتی نسبت عمق به ضخامت کمتر از 4 باشد، هیچ‌گونه کماتشی در مهاربند اتفاق نمی‌افتد. در سال 2019، قابوسی و همکاران [19]. از دمپ‌های منحنی برای بررسی رفتار ساختاری یک قاب پورتال فولادی استفاده کردند. پنج دمپ با طول و ضخامت یکسان و زوایای مختلف در قاب‌های پورتال با سقف‌های متقارن و قاب‌های پورتال با سقف‌های یک طرفه استفاده شد. یک سری بارگذاری چرخه‌ای بر روی سازه‌های مجهز به دمپ‌های منحنی اعمال شد تا اثرات آنها بر روی قاب‌های پورتال فولادی ارزیابی شود. نتایج نهایی نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر در استهلاک انرژی و استحکام قاب در سازه متقارن

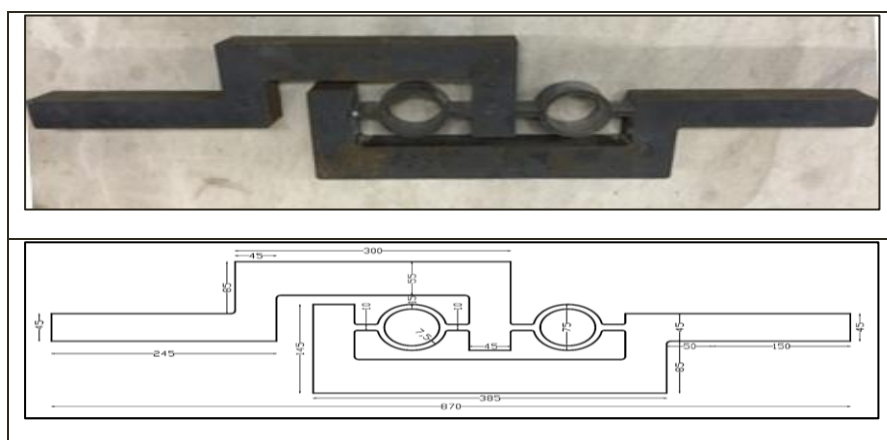
این سیستم محدودیت تغییر شکل پلاستیک بال پایی در انتهای تیر که در آن دمپ شکافی وجود دارد می‌باشد. نتایج تجربی رفتار هیستریزس پایدار را برای دمپ نشان می‌دهد. اتلاف انرژی و تغییر شکل‌های پلاستیکی در این سیستم سازه‌ای تنها توسط میراگرهای شکاف دار کنترل می‌شود و از رفتار غیر ارتجاعی تیرها و ستون‌ها با ظرفیت طراحی مناسب جلوگیری می‌شود. یکی از ویژگی‌های حیاتی این دمپ امکان تعویض یا تعمیر آن پس از زلزله‌های شدید است. استفاده از روش‌های مختلف برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات قاب خمشی فولادی نشان می‌دهد که آسیب‌های سازه‌ای به راحتی قابل ترمیم نیستند. با این حال، در هنگام زلزله، ترجیحاً با استفاده از دمپ در محل اتصال، آسیب به تغییر شکل میراگر و جذب انرژی محدود شود. به طوری که سایر اعضای کلیدی قاب مانند تیرها و ستون‌ها از آسیب محافظت می‌شوند. حسینی و همکاران [3] یک مطالعه عددی بر روی رفتار یک نوع دمپ فلزی با دو حلقه فولادی انجام دادند. در نتیجه، یک رابطه عددی بین سختی و ابعاد هندسی دمپ ارائه شد. سعید محجوبی و شروین ملکی [16] با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل نرم افزاری، نوعی دمپ غیرفعال به نام میراگر لوله دوگانه را پیشنهاد کردند. این دمپ به دلیل بدنه انعطاف‌پذیر خود از طریق تغییر شکل‌های چرخه‌ای غیرکشسان انرژی را مصرف می‌کند. در جابجایی‌های زیاد، کشش مورب در وسط دمپ ایجاد می‌شود که باعث افزایش سختی و استحکام دمپ می‌شود. سختی و استحکام این دمپ نسبت به حالت تک لوله‌ای بیشتر است که قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های چرخه‌ای شبه استاتیکی بر روی چهار نمونه انجام شد. انعطاف‌پذیری مناسب، جذب انرژی بالا و چرخه هیستریزس پایدار در همه مدل‌ها مشاهده شده است. در مدل‌سازی اجزای محدود با نرم‌افزار ABAQUS، ملاحظات غیرخطی، تغییر شکل‌های بزرگ، تماس مواد و تخریب در مطالعه پارامتری اندازه‌های اولیه مختلف در نظر گرفته شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که ظرفیت تغییر شکل‌های بزرگ در دمپ دولوله‌ای (DPD)، بسته به نسبت D/t و انعطاف‌پذیری مواد لوله، از 30٪ تا 36٪ ارتفاع لوله متغیر است که در محدوده خوبی در مقایسه با سایر دمپ‌های فلزی موجود می‌باشد. هسو و هلمیم³ [17] به این نتیجه رسیدند که قاب‌های فولادی، مانند قاب‌های خمشی و قاب‌های مهاربندی همگرا، معمولاً برای ساخت سازه‌هایی برای مقاومت در برابر زلزله طراحی می‌شوند. نگرانی دیگر در طراحی قاب مهاربندی همگرا، بدتر شدن عملکرد زمانی است که اعضای مهاربندی به کماتش می‌رسند. مطالعات نشان داده‌اند که کماتش در اعضای مهاربندی همگرا به طور قابل توجهی استحکام سازه و اتلاف انرژی را

³ Hsu & Halim

قطعات لوله گرد در نظر گرفته شد تا مشخص شود چگونه مقادیر بر سفتی و استحکام دمپر تأثیر می‌گذارد. در مرحله بعد، بر اساس نتایج FEA، سه رابطه ساده، مربوط به مقادیر سختی اولیه و ثانویه و استحکام تسلیم دمپر به ویژگی‌های هندسی آن، به دست آمد که بر اساس آن می‌توان یک روش ساده برای طراحی دمپر برای استفاده در ساختمان‌های چند طبقه با مهاربندی شورون پیشنهاد کرد. در نهایت، برای نشان دادن کارایی میراگر پیشنهادی در کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها، کاربرد آن در یک ساختمان 5 طبقه نمونه از طریق یک سری تحلیل‌های غیرخطی تاریخچه زمانی مورد بحث قرار گرفت. جزئیات بخش‌های تجربی و عددی مطالعه در بخش‌های زیر ارائه شده است.

2- مطالعات آزمایشگاهی

یک دمپر نمونه با اندازه کوچک شده اندازه واقعی آن برای آزمایش در نظر گرفته شد. دمپر نمونه دارای دو قسمت لوله گرد به عنوان اتلاف کننده انرژی، از طریق تسلیم، با قطر 60 میلی متر و ضخامت 7.5 میلی متر، همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است.



شکل 4- دمپر فولادی DRTYP پیشنهادی و ویژگی‌های هندسی آن

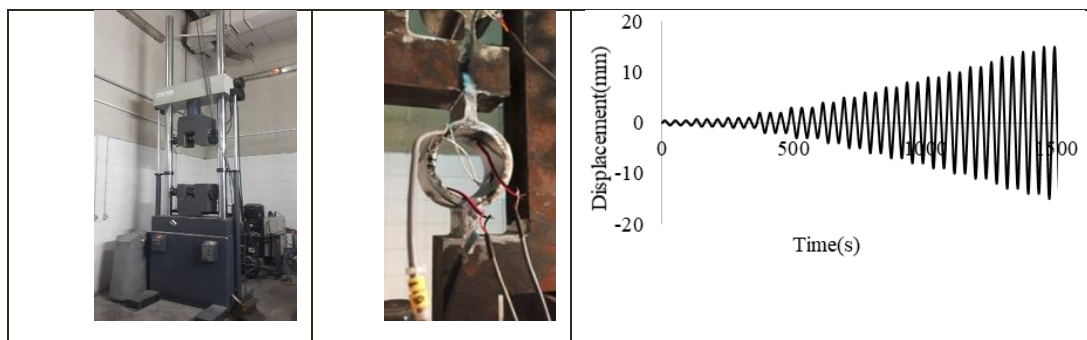
یونیورسال در آزمایشگاه مهندسی سازه موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIIES)، تهران، ایران نشان داده شده است و بارگیری تا گسیختگی کامل دو قسمت لوله ادامه یافت. همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است، منجر به منحنی هیستریک ارائه شده در شکل 7 می‌شود.

پورتال سقف با زاویه 30 درجه و قاب پورتال یک طرفه سقف با زاویه 60 درجه است.

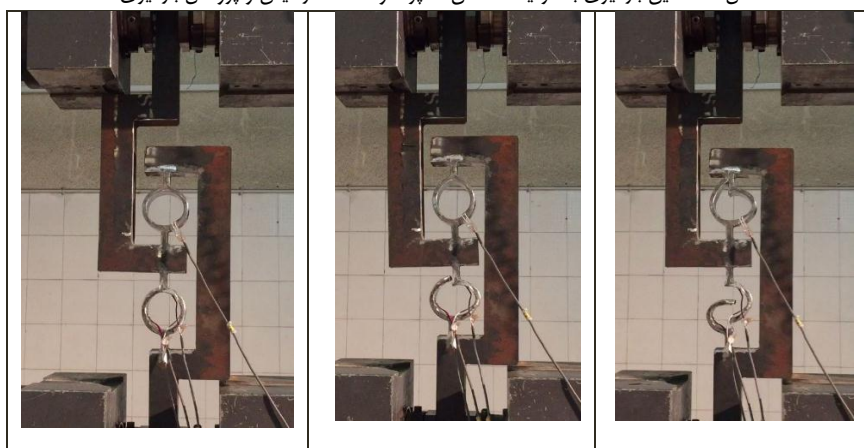
برای رفع کاستی‌های ذکر شده در بالا، یک دستگاه پراکنده انرژی مبتنی بر تسلیم به نام دمپر فولادی قطعات تسلیم لوله دوبل (DRTYP) با مزایای زیر در این مقاله معرفی شده است:

- رفتارهای مشابه در کشش و فشار
 - حلقه‌های هیستریک با جابجایی نیرو گسترده بدون خرابی
 - هندسه ساده و ساخت بسیار آسان و کم هزینه که حتی در محل ساخت و ساز امکان پذیر است
 - نصب آسان در سازه اصلی
 - روش طراحی ساده تنها با استفاده از دو یا سه رابطه ساده
- اتلاف انرژی در دمپر توسط دو قسمت لوله دایره‌ای با تنظیم خاصی صورت می‌گیرد که وقتی یکی از آنها تحت کشش است، دیگری تحت فشار قرار می‌گیرد. در مطالعه ارائه شده در این مقاله، ابتدا رفتار هیستریک بار-جابجایی دمپر با آزمایش بارگذاری چرخه‌ای بر روی یک مدل مقیاس شده از دمپر به دست آمد. سپس مدل عددی دمپر در نرم افزار تحلیل اجزا محدود (FEA) توسعه داده شد و پس از تایید آن بر اساس نتایج آزمایش، مقادیر متعددی برای قطر و ضخامت

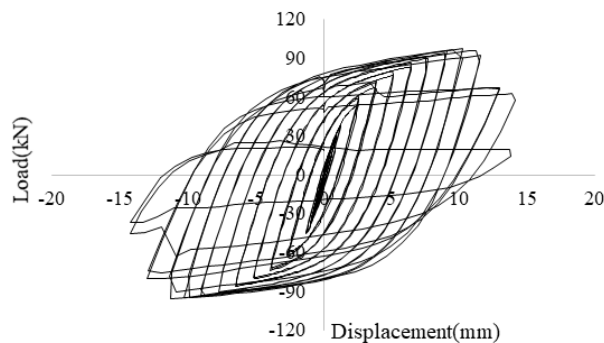
دمپر نمونه، ساخته شده از فولاد نرم با مدول الاستیسیته 190000 مگاپاسکال، تنش تسلیم و مقاومت نهایی به ترتیب 376 مگاپاسکال و 499 مگاپاسکال، کرنش نهایی 0.15 و نسبت پواسون 0.3، تحت بارگذاری چرخه‌ای کنترل شده جابجایی-بارگذاری آزمایش شد. تحت پروتکل بارگذاری نشان داده شده در شکل 5 توسط دستگاه تست



شکل 5- ماشین بارگیری با ظرفیت 60 تن، دمپر نمونه تحت آزمایش و پروتکل بارگیری



شکل 6- مراحل مختلف تغییر شکل لوله دو گرد، بخش هایی از دمپر نمونه تحت آزمایش را تشکیل می دهد



شکل 7- رفتار نیروی-جابجایی هیسترتیک نمونه دمپر فولادی DRTYP

3- شبیه سازی عددی دمپر فولادی DRTYP

1-1- تأیید مدل سازی المان محدود (FEM)

برای تایید مدل سازی عددی، مدل اجزای محدود نمونه آزمایش شده دمپر فولادی DRTYP در نرم افزار ABAQUS همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است، انجام گرفت.

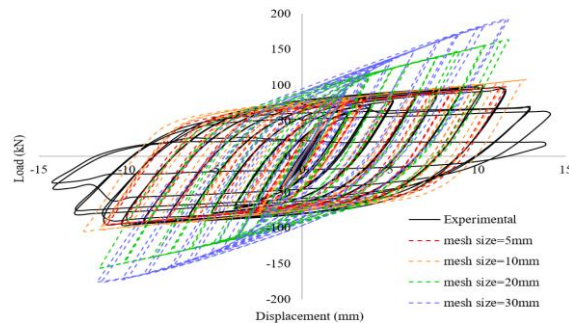
نوع عنصر مورد استفاده برای مدل سازی دمپر C3D8R، المان های جامد و سه بعدی 8 گرهی با یکپارچگی کمتر بود. برای دستیابی به دقت مطلوب در آنالیزها، اندازه های مش مختلف در نظر

همانطور که در شکل 7 نشان داده شده است، حداکثر جابجایی 13 میلی متر (تقریباً 20٪ قطر قطعات شکل لوله گرد) بوده و 38 چرخه بار رفت و برگشتی روی نمونه اعمال شد. در شکل 7 مشاهده می شود که نمونه آزمایشی رفتار بسیار پایداری با حلقه های هیسترتیک گسترده و باز تا 34 سیکل بارگذاری تقریباً بدون آسیب (تخریب سختی و/یا افت استحکام) نشان داده است. در سیکل سی و پنجم، یکی از قطعات گرد در لوله پاره شده و باعث افت استحکام دمپر شده است و در سیکل سی و هفتم، قطعه دوم قسمت گرد نیز پاره شده است که منجر به افت شدید دیگری در استحکام می شود.

شکل 8. مقایسه نتایج عددی و تجربی با استفاده از اندازه های مش مختلف در FEA

در شکل 8 مشاهده می شود که اندازه مش های 10 میلی متری و 5 میلی متری در مقایسه با نتیجه آزمایش تقریباً سطح دقت یکسانی دارند، اما اندازه مش 10 میلی متر خطای کمتری دارد همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است.

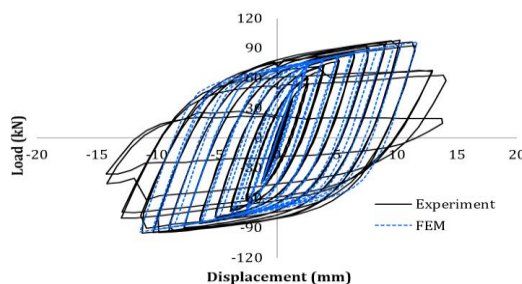
گرفته شد و منحنی های هیستریتیک حاصل مطابق شکل 8 مقایسه شدند.



جدول 1- درصد خطا در تخمین سختی دمپر با استفاده از اندازه های مختلف مش

Mesh Size (mm)	K_{eff} from FEA (kN/mm)	K_{eff} from experiment (kN/mm)	Error Percentage (%)
5	16.62	8.55	94.4
20	13.50	8.55	57.8
10	8.61	8.55	0.7
30	8.32	8.55	2.6

برای نشان دادن بهتر مناسب بودن اندازه مش 10 میلی متری، منحنی های هیستریتیک به دست آمده از نتیجه FEA با استفاده از این اندازه مش با نتیجه آزمایش در شکل 9 مقایسه شده است.



شکل 9- تأیید FEM عددی با اندازه مش 10 میلی متر در برابر نتیجه آزمایش

150 میلی متر برای قطعات تسلیم کننده انجام شد. در نظر گرفتن این مقادیر به این دلیل است که مقادیر سفتی و استحکام دمپر DRTYP آزمایش شده کوچک شده در مقایسه با مقادیر میراگرهای تسلیم در مطالعات قبلی نسبتاً کم بود. برای نشان دادن دمپرها DRTYP با مقادیر مختلف t و D در این مقاله، از کد DRTYP-D-t استفاده شده است، به عنوان مثال، DRTYP-350-17.5 نشان دهنده یک دمپر با شکل لوله گرد دوتایی است که مقطعی با قطر 350 میلی متر و ضخامت 17.5 میلی متر تولید می کند. برای به دست آوردن منحنی های هیستریتیک دمپرها پروتکل بارگذاری یکسان استفاده

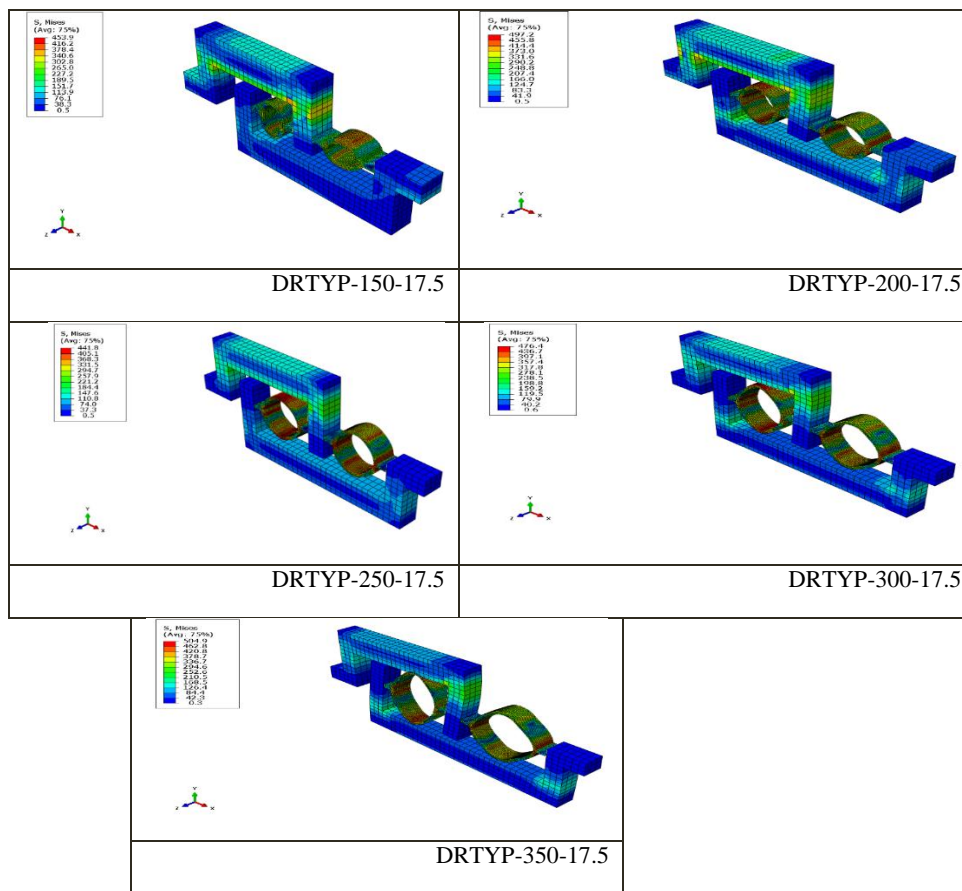
پس از یافتن اندازه مش مناسب و تأیید مدل سازی عددی، از همان اندازه مش 10 میلی متری در FEA سایر موارد که بخش هایی از دمپر پیشنهادی را ایجاد می کند مانند قطر، D و ضخامت، t ، شکل لوله دوتایی گرد استفاده شد. همانطور که در بخش زیر ارائه شده است.

3-2- مطالعه پارامتریک دمپر فولادی DRTYP

مطالعه پارامتریک با در نظر گرفتن مقادیر t به میزان 17.5، 20، 250، 300، 350 و 10، 12.5، 15 میلی متر و D مقادیر 200 و

DRTYP با مقادیر D 150، 200، 250، 300، 350 میلی‌متر و مقدار 17.5 t میلی‌متر نشان می‌دهد که هر کدام در مرحله تغییر شکل متفاوتی هستند، همانطور که برخی از نمونه‌ها نتیجه شده است.

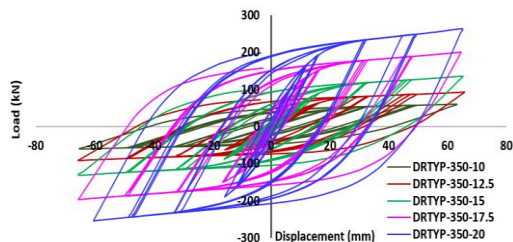
شده است، اما با بیشترین مقدار جابه‌جایی به اندازه 60 میلی‌متر تقریباً بیشترین تغییر شکل محوری المان مهاربند در سطح عملکرد CP در است. شکل 11 توزیع تنش Von Mises را برای نمونه‌های



شکل 10- توزیع تنش در دمپر برای مقادیر مختلف D و $t=17.5$ میلی‌متر

چرخه‌های ذکر شده به صورت عددی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و منحنی‌های هیستریتیک نیرو-جابجایی آنها همانطور که در شکل‌های 12 تا 16 نشان داده شده است به دست آمد.

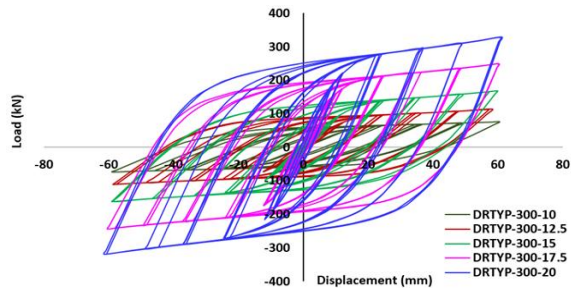
در شکل 10 مشاهده می‌شود که در تمام حالت‌های مختلف تغییر شکل، همانطور که انتظار می‌رود، حداکثر تنش در قسمت‌های تسلیم‌کننده لوله دو دایره‌ای ایجاد شده است و میزان تنش در سایر قسمت‌های دمپر بسیار کم است. همه نمونه‌ها تحت بارگذاری



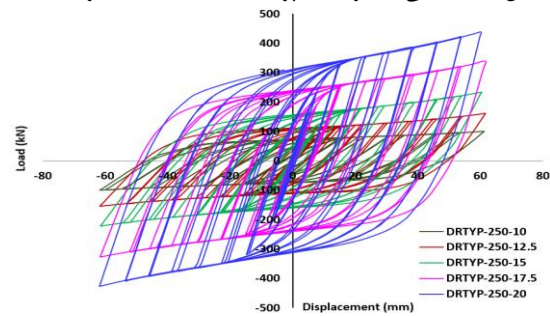
شکل 11- منحنی هیستریتیک دمپر DRTYP-350 با مقادیر مختلف t

ارائه شده در شکل های 12 تا 15، می توان دریافت که برای همان مقدار t مقادیر کوچکتر D منجر به سختی و استحکام بالاتر می راکر می شود.

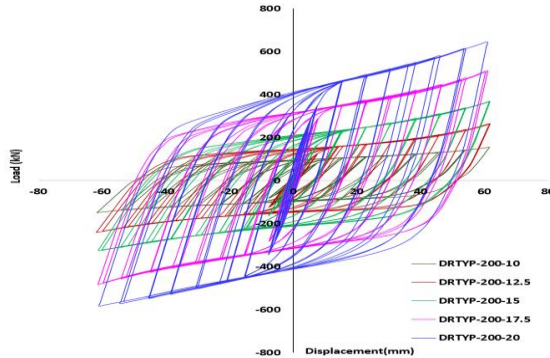
در شکل 11 مشاهده می شود که با افزایش مقدار t ، سختی و استحکام دمپر همانطور که انتظار می رود افزایش می یابد. همچنین با مقایسه منحنی های هیسترتیک نشان داده شده در شکل 12 با منحنی های



شکل 12- منحنی هیسترتیک دمپر DRTYP-300 با مقادیر مختلف t



شکل 13- منحنی های هیسترتیک دمپر DRTYP-250 با مقادیر مختلف t

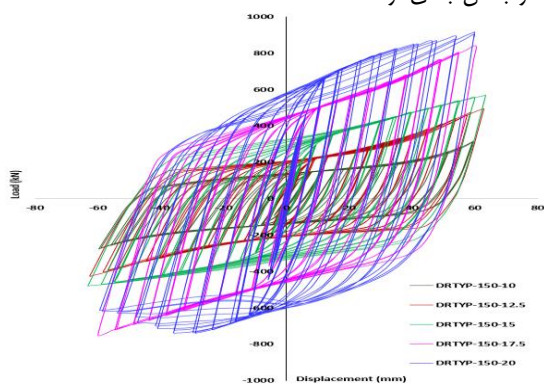


شکل 14- منحنی های هیسترتیک دمپر DRTYP-200 با مقادیر مختلف t

می توان دریافت که مقدار مقاومت مطلوب دمپر را می توان با ترکیب های مختلفی از مقادیر D و t فراهم کرد. به عنوان مثال، مقدار مقاومت پس از تسلیم 200 کیلونیوتن را می توان با DRTYP-350-20، مطابق شکل 11، و همچنین DRTYP-300-17.5، مطابق شکل 13 ارائه کرد. جالب توجه است که مقادیر نسبت D/t در این دو مورد تقریباً یکسان است ($350/20 = 17.5$ ، $300/17.5 = 17.14$). بر این اساس و با توجه به اینکه مقادیر سختی و استحکام دمپر با افزایش مقدار t و کاهش مقدار D افزایش می یابد، منطقی به نظر

علاوه بر این، با مقایسه منحنی های هیسترتیک نشان داده شده در شکل 15 با منحنی های ارائه شده در شکل های 11 تا 15، می توان دریافت که برای مقادیر کوچکتر D ، یعنی 200 میلی متر و به ویژه 150 میلی متر، دمپر نوعی رفتار سخت شدگی پس از تسلیم نشان داده است. این می تواند یک ویژگی جالب می راکر در مقادیر زیاد رانش بین طبقاتی باشد که می تواند برای کاهش اثر p - δ در صورت تغییر شکل جانبی گسترده ساختمان در معرض زلزله مفید باشد. در نهایت، با نگاه دقیق تر به منحنی های نشان داده شده در شکل های 11 تا 15،

می‌رسد که سعی کنیم رابطه‌ای بین مقادیر سختی و استحکام دمپر و مقدار نسبت D/t پیدا کنیم، همانطور که در بخش بعدی ارائه شده است.



شکل 15- منحنی هیسترتیک دمپر DRTYP-150 با مقادیر مختلف t

D/t ، این چهار مقدار برای همه موارد DRTYP، به دست آمده از منحنی‌های هیسترتیک نشان داده شده در شکل‌های 11 تا 15 در جدول 2 ارائه شده است.

3-3- ایجاد روابط بین سختی و استحکام دمپر و نسبت D/t

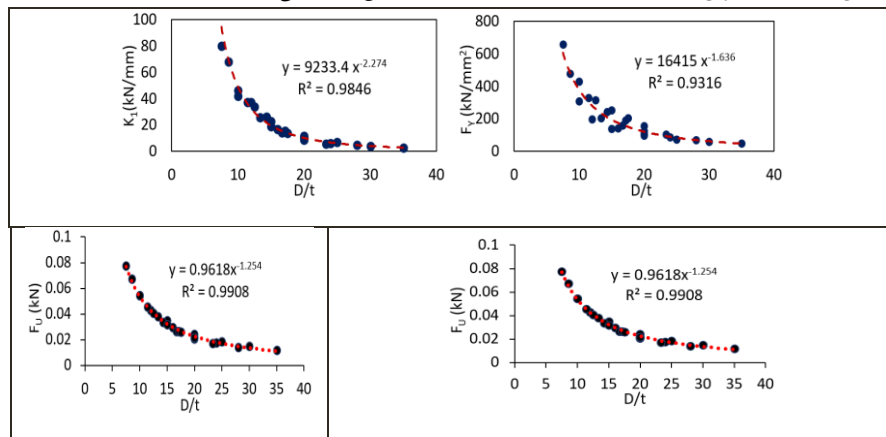
برای ایجاد روابط بین سختی اولیه و سختی پس از تسلیم ($K1$) و $K2$ و همچنین مقاومت نهایی و تسلیم (FY و FU) دمپر و نسبت

جدول 2- تنش و سفتی مدل‌های مختلف

Models	D/t	K_1 (kN/mm)	F_y (kN)	K_2 (kN/mm)	F_u (kN)
DRTYP-150-10	15.00	25.93*	140	3.11	310
DRTYP-150-12.5	12.00	37.04	200	5.04	475
DRTYP-150-15	10.00	42.47	310	4.65	555
DRTYP-150-17.5	8.57	70.59	480	6.77	840
DRTYP-150-20	7.50	77.65	660	7.85	910
DRTYP-200-10	20.00	11.76	100	1.01	152
DRTYP-200-12.5	16.00	17.68	145	2.12	255
DRTYP-200-15	13.33	22.78	205	3.04	360
DRTYP-200-17.5	11.43	39.76	330	3.38	505
DRTYP-200-20	10.00	47.78	430	4.12	640
DRTYP-250-10	25.00	6.15**	75	0.52	100
DRTYP-250-12.5	20.00	10.00***	110	1.02	160
DRTYP-250-15	20.83	14.16****	160	1.50	233
DRTYP-250-17.5	14.29	25.58*	243	1.82	335
DRTYP-250-20	12.50	31.80	318	2.44	440

DRTYP-300-10	30.00	3.93	59	0.36	75
DRTYP-300-12.5	24.00	6.44**	87	0.58	114
DRTYP-300-15	20.00	8.93	125	0.96	169
DRTYP-300-17.5	17.14	16.70	192	1.18	249
DRTYP-300-20	15.00	20.24	253	1.52	325
DRTYP-350-10	35.00	2.45	49	0.28	60
DRTYP-350-12.5	28.00	4.24	72	0.42	90
DRTYP-350-15	23.33	5.94	104	0.66	132
DRTYP-350-17.5	20.00	10.90	158	0.81	195
DRTYP-350-20	17.50	14.14	205	1.16	258

در جدول 2 مشاهده می‌شود که مقادیر نسبت D/t بین 7/50 تا 35 می‌باشد. با استفاده از این مقادیر به عنوان متغیر، مقادیر K_1 ، F_Y ، K_2 و F_U را می‌توان به عنوان توابع D/t ترسیم کرد، همانطور که در شکل 16 نشان داده شده است.



شکل 16- روابط تجربی بین خواص مکانیکی دمپر DRTYP و نسبت D/t

نظر است (که می‌توان با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی یا تاریخچه زمانی در روش آزمون و خطا به دست آورد)، روابط داده شده را می‌توان به راحتی برای تصمیم‌گیری در مورد ابعاد مناسب دمپر DRTYP برای دستیابی به مقادیر مطلوب خواص مکانیکی استفاده کرد.

4- ارزیابی عملکرد DRTYP

در این قسمت تاثیر قرارگیری دمپر در محل مهاربند شوورن در ساختمان 5 طبقه فولادی مطابق شکل 17 مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور سازه با و بدون میراگر با اعمال هفت رکورد زلزله تحت تحلیل تاریخچه زمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. رکوردهای زمین لرزه نورتریج، دوزچه و دره امپراتوری، کوبه، لوما

بر اساس اتصالات منحنی هدایت شده، نشان داده شده در شکل 4، روابط زیر را می‌توان برای خواص مکانیکی دمپر DRTYP و ویژگی‌های هندسی آن، از جمله عرض لوله گرد قسمت تسلیم کننده b و مدول الاستیسیته E و تنش تسلیم σ_y ماده مورد استفاده را ارائه کرد.

$$K_1 = 0.45 * E * b * (t/D)^{2.2787} \quad (1)$$

$$F_Y = 0.8 * E * b * (t/D)^{1.636} \quad (2)$$

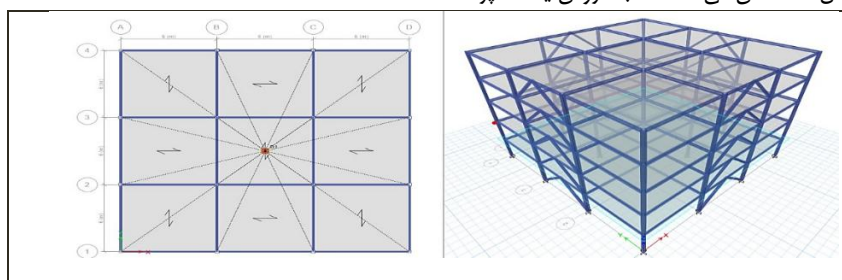
$$K_2 = 0.03 * E * b * \left(\frac{t}{D}\right)^{2.4386} \quad (3)$$

$$F_U = 3.435 * \sigma_y * (t/D)^{1.254} \quad (4)$$

روابط (1) تا (4) ابزارهای بسیار مفیدی برای طراحی اولیه میراگر DRTYP برای هر ساختار ساختمانی معین هستند. در واقع، مانند هر سازه ساختمانی، مقادیر مناسبی از سختی و استحکام در هر طبقه مورد

DRTYP به مهاربندها، تشکیل اتصالات پلاستیکی عمدتاً در دمپر متمرکز می شود. در نتیجه اعضای اصلی ساختمان مانند تیرها و ستون‌ها در محدوده کشسانی خود باقی می‌مانند. در حالت معمولی (بدون دمپر) در ساختمان، چندین اتصال پلاستیکی بین اعضای اصلی ساختمان توزیع می‌شود.

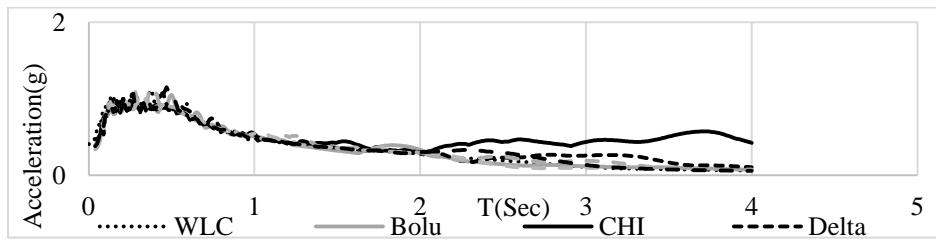
پریتا و چی چی مورد استفاده قرار گرفتند. طیف شتاب و سرعت زلزله در شکل 18 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 19 مشاهده می‌شود، با اضافه شدن دمپر پیشنهادی به سیستم مهاربندی در زیربنای ساختمان پنج طبقه، میانگین جابجایی نسبی طبقات افزایش یافته است. با این حال، این نتیجه به دلیل رفتار نرمتر سازه قابل پیش بینی بود. با این حال، شکل 19 نشان می‌دهد که با افزودن یک دمپر



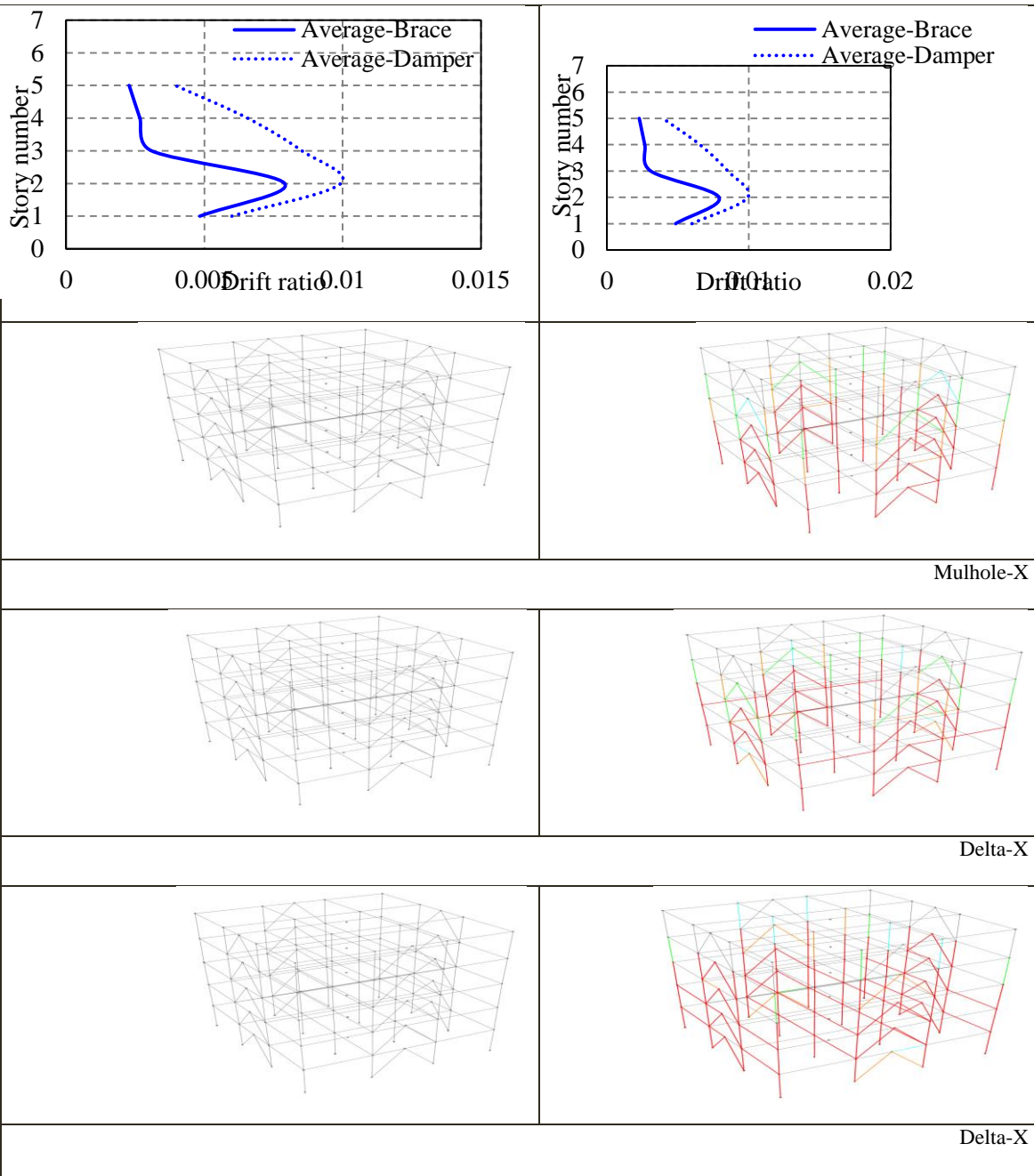
شکل 17- ساختمان نمونه 5 طبقه برای ارزیابی عملکرد لرزهای میراگر DRTYP

جدول 3. مشخصات زلزله

Earthquake	Record ID	Year	M	Station	Dir	R_{jb} (km)	PGA (g)	PGV (cm/s)
Northridge	america	1994	6.7	Beverly hills mulhol	X	12.39	0.62	28.8
Northridge	america	1994	6.7	Beverly hills mulhol	Y	12.39	0.45	31.39
Northridge	america	1994	6.7	Canyon country - WLC	X	12.44	0.4	44.38
Northridge	america	1994	6.7	Canyon country - WLC	Y	12.44	0.47	41
duzce	turkey	1999	7.1	Bolu	X	12.02	0.73	55.93
duzce	turkey	1999	7.1	Bolu	Y	12.02	0.8	65.87
kobe	japan	1995	6.9	Nishi-akashi	X	7.1	0.48	46.8
kobe	japan	1995	6.9	Nishi-akashi	Y	7.1	0.46	38.25
Imperial valley	america	1979	6.5	Delta	X	22.03	0.23	26
Imperial valley	america	1979	6.5	Delta	Y	22.03	0.35	33
Loma prieta	america	1989	6.9	Gilroy array #3	X	12.42	0.368	45
Loma prieta	america	1989	6.9	Gilroy array #3	Y	12.42	0.56	36
Chi-chi	taiwan	1999	7.6	CHY101	X	9.94	0.34	65
Chi-chi	taiwan	1999	7.6	CHY101	Y	9.94	0.4	109



شکل 18- طیف



شکل 19- سطوح عملکردی اعضای سازه در هر دو حالت متعارف و پیشنهادی

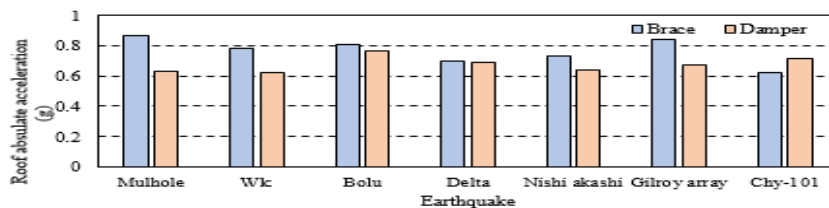


Figure 20. Roof acceleration

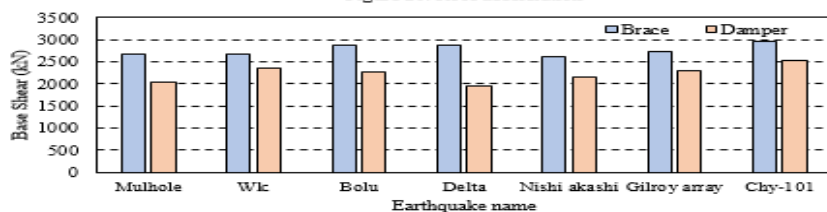


Figure 21. Base Shear

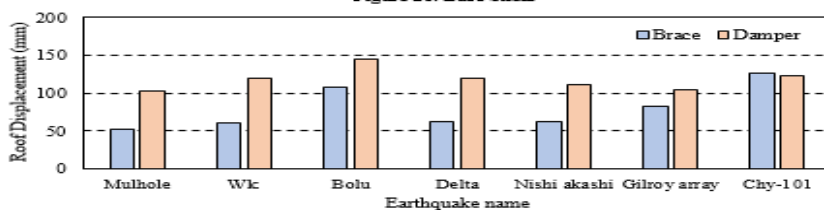


Figure 22. Roof Displacement

شکل 20- جابجایی سقف

2. با افزایش ضخامت دمپر، سختی اولیه و استحکام تسلیم و مقاومت نهایی افزایش می یابد، در حالی که با افزایش قطر دمپر پیشنهادی، این مقادیر کاهش می یابد.
3. رابطه پیشنهادی از نظر قطر دمپر، ضخامت دمپر، عرض دمپر و مدول الاستیسیته فولاد تقریب خوبی دارد و می تواند مقادیر سختی و استحکام تسلیم دمپر پیشنهادی را پیش بینی کند.
4. استفاده از دمپر پیشنهادی در محل مهاربندی در ساختمان منجر به تمرکز آسیب در دمپر می شود. بنابراین اعضای اصلی سازه مانند تیرها و ستونها در محدوده الاستیک باقی می مانند. در نتیجه می توان نتیجه گرفت که ساختمان در حالت معمولی (بدون دمپر) با ایجاد اتصالات پلاستیکی متعدد به سطح CP می رسد، در حالی که در اعمال بار مشابه، ساختمان مجهز به دمپر DRTYP در محدوده IO قرار داشت.

استفاده از دمپر پیشنهادی منجر به افزایش جابجایی نسبی طبقات شده است که به دلیل ساختار نرمتر قابل پیش بینی بود. اما در هیچ موردی جابجایی نسبی طبقات بیش از میزان مجاز مقررات نبوده است.

شکل 20 نتایج شتاب مطلق، برش پایه و جابجایی سقف یک ساختمان پنج طبقه با و بدون دمپر را به ترتیب نشان می دهد. همانطور که نتایج نشان می دهد، استفاده از دمپرهای DRTYP باعث کاهش شتاب کف سقف و برش پایه می شود، در حالی که جابجایی سقف به دلیل ساختار نرم تر افزایش یافته است.

5- نتیجه گیری

در این مطالعه، رفتار دمپر فلزی قطعه تسلیم لوله دوتایی (DRTYP) مورد بررسی قرار گرفته است. دمپر پیشنهادی در مرحله اول با اعمال یک بار چرخه ای تا حد مطلق آزمایش می شود. سپس در همان بارگذاری، دمپر شبیه سازی شده در نرم افزار ABAQUS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و همبستگی خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج آنالیز عددی مشاهده شد. با اعتبارسنجی نتایج آنالیز عددی میراگر، نمونه های مختلف این دمپر با ضخامت ها و قطرهای مختلف مدل سازی و آنالیز شد و نتایج پسماند بار-جابجایی آنها استخراج شد. نمودار هیستریزس بار-جابجایی برای دمپر پیشنهادی پایدار بود و جذب انرژی خوبی داشت. در نهایت، یک ساختمان فولادی پنج طبقه با و بدون میراگر پیشنهادی برای تاریخچه زمانی غیرخطی تحلیل شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که:

1. رفتار پسماند بار-جابجایی دمپر پیشنهادی پایدار است و جذب انرژی خوبی دارد.

6- مراجع

1. Kelly JM, Skinner RI, Heine AJ. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. 1972 Sep 30;5(3):63-88.
2. Skinner RI, Heine AJ, Tyler RG. Hysteretic dampers to provide structures with increased earthquake resistance. In Proceedings Sixth World Conference on Earthquake Engineering, New Delhi 1977 Jan.
3. Hosseini M, Mirzaaghae, Y, Tabrizi B.E. A Two-Ring Energy Dissipating Device with Similar Behaviors in Tension and Compression to Create Buckling Resistant Braces. In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, Lisbon, Portugal. 2012.
4. Hosseini M, Bozorgzadeh S. Investigating double-ADAS device behavior and comparison with ADAS device. In Proceedings of the International Conference on Earthquake Engineering (SE-50EEE), Skopje, Macedonia 2013.
5. Hosseini M, Kherad S. A multi-stud energy dissipating device as the central fuse to be used in short-to mid-rise regular steel buildings with rocking motion. In International Van Earthquake Symposium, Van, Turkey 2013 Oct.
6. Hosseini M, Alavi S. A kind of repairable steel buildings for seismic regions based on buildings' rocking motion and energy dissipation at base level. International Journal of Civil and Structural Engineering-IJCSE. 2014 Sep 30;1(3).
7. Hosseini M, Ghorbani Amirabad N. A structural fuse to create repairable buildings with seesaw motion in earthquake and its FE modeling. In 11th Canadian Conference on Earthquake Engineering 2015.
8. Kazemifard H, Hosseini M, Nekooei M, Hashemi BH. Numerical study of the circumferential fuses used in steel repairable buildings with seesaw motion. Latin American Journal of Solids and Structures. 2019 Mar 21;16: e160.
9. Najari Varzaneh M, Hosseini M. Cyclic performance and mechanical characteristics of the oval-shaped damper. KSCCE Journal of Civil Engineering. 2019 Nov;23(11):4747-57.
10. Kherad S, Hosseini M, Motamedi M. Experimental study on a novel replaceable yielding-based energy dissipater for rocking and seesaw buildings. The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2020 Oct 25;29(15): e1795.
11. Labibi H, Gerami M, Hosseini M. Sensitivity analysis of behavior of simple trapezoidal steel plates to introduce a new yielding damper. International Journal of Engineering. 2021 Oct 1;34(10):2302-12.
12. Javanmardi A, Ibrahim Z, Ghaedi K, Benisi Ghadim H, Hanif MU. State-of-the-art review of metallic dampers: testing, development and implementation. Archives of Computational Methods in Engineering. 2020 Apr; 27:455-78.
13. Chan RW, Albermani F, Williams MS. Evaluation of yielding shear panel device for passive energy dissipation. Journal of Constructional Steel Research. 2009 Feb 1;65(2):260-8.
14. Farsi A, Amiri HR, Manshadi SD. An innovative C-shaped yielding metallic dampers for steel structures. In Structures 2021 Dec 1 (Vol. 34, pp. 4254-4268). Elsevier.
15. Oh SH, Kim YJ, Ryu HS. Seismic performance of steel structures with slit dampers. Engineering structures. 2009 Sep 1;31(9):1997-2008.
16. Mahjoubi S, Maleki S. Seismic performance evaluation and design of steel structures equipped with dual-pipe dampers. Journal of Constructional Steel Research. 2016 Jul 1; 122:25-39.
17. Hsu HL, Halim H. Brace performance with steel curved dampers and amplified deformation mechanisms. Engineering Structures. 2018 Nov 15; 175:628-44.
18. Hsu HL, Halim H. Improving seismic performance of framed structures with steel curved dampers. Engineering Structures. 017 Jan 1; 130:99-111.

19. Ghabussi, A., Marnani, J.A. and Rohanimanesh, M.S., 2020, April. Improving seismic performance of portal frame structures with steel curved dampers. In Structures (Vol. 24, pp. 27-40). Elsevier.