

## بررسی عملکرد مدل جدیدی از میراگر مستطیلی در مهاربند همگرای قطری

محسن یوسفی

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

یحیی نصیرا\*

گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

علی قمری

گروه مهندسی عمران، واحد دره شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، دره شهر، ایران

Y.nassira@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۲/۱۸

### چکیده:

استفاده از میراگرها باعث بهبود رفتار لرزه ای سازه ها در برابر بارهای لرزه ای می شود، از جمله مؤثرترین مستهلک کننده های انرژی، میراگرهای فلزی جاری شونده می باشند. در این پژوهش نوع جدیدی از میراگرهای ADAS با قرار گیری در محل المان قطری معرفی شده است تا از کماتش بادبند جلوگیری و استهلاک انرژی توسط میراگر انجام شود. برای بررسی عملکرد چرخه ای میراگر ADAS پیشنهادی، ۱۵ نمونه عددی توسط نرم افزار آباکوس شبیه سازی شده است. مطالعه رفتار چرخه ای بر روی قاب فولادی یک دهانه و یک طبقه انجام و حساسیت رفتار چرخه ای بر اساس پارامترهای ضخامت، طول و نسبت بعد به ضخامت بادبند مورد مطالعه قرار گرفته است. ضخامت های مورد بررسی میراگر ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر، طول مورد بررسی میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر، هندسه مورد بررسی میراگر مستطیل و ضخامت بادبند ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این نوع میراگر رفتار خوبی در استهلاک انرژی قاب دارد و مجموع سختی صفحات فولادی تشکیل دهنده میراگرهای ADAS، حتما باید از سختی بادبند کمتر باشد تا عملکرد قابل قبولی از خود نشان دهند. اگر سختی میراگر از سختی بادبند بیشتر شود سبب کماتش بادبند و تشکیل مفصل پلاستیک در بادبند می گردد. مقادیر ضخامت و طول میراگر در حالتی که سختی کمتری را نسبت به سختی بادبند تشکیل می دهند، سبب تمرکز مفصل پلاستیک در میراگر و عملکرد بهینه می شوند.

**کلید واژگان:** میراگر فلزی-تسلیمی، استهلاک انرژی، میراگر برشی، کنترل سازه، مهاربند قطری

## ۱- مقدمه

محافظت ساختمان‌های بزرگ و انسان‌های ساکن در این ساختمان‌ها از بلایای طبیعی مثل زلزله و باد، بسیار مهم و چالش‌برانگیز است. این سازه‌ها گاهی در مقابل بلایای طبیعی آسیب‌پذیرند و این حقیقت نیاز به محافظت از این سازه‌ها شامل انسان‌های ساکن در آن و مؤلفه‌های غیرسازه‌ای و سیستم‌های حساس موجود در آن در مقابل بلایای طبیعی و بلایای ساخته دست بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در طراحی ساختمان‌ها و سازه‌های عمرانی، بطور معمول از رویکرد استاتیکی استفاده می‌شود که بر پایه طراحی برای بارهای ثقلی در طول عمر مفید سازه بنا شده است. تعیین این بارها آسان است و می‌تواند به طرز چشمگیری فرآیند طراحی را ساده کند. مهندسان سازه تمایل دارند اثر این بارهای جانبی را با طریقه‌ای مشابه با استفاده از "بار استاتیکی معادل" بر سازه در نظر بگیرند که توسط بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی اجازه داده شده است. در مورد زلزله‌های بزرگ، طراحی ساختمان بر اساس شکل‌پذیری سازه صورت می‌گیرد تا از خرابی ساختمان جلوگیری به عمل آید. به این دلیل، فرض می‌شود در سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی، قسمتی از انرژی ورودی از طریق طراحی خاص اعضای سازه‌ای با تشکیل مفصل پلاستیک با رفتار هیسترتیس پایدار در تعداد سیکل‌های بالا جذب شود. تشکیل مفصل پلاستیک در تیرهای قاب صلب، در بادبندهای همگرا و در دیوارهای برشی، نمونه‌هایی از جذب انرژی از طریق تشکیل مفصل پلاستیک در اعضا می‌باشند. این روش طراحی متداول (تشکیل مفاصل پلاستیک) چندین نقص دارد از قبیل اینکه قسمتی از خرابی‌های متمرکز و غیرقابل ترمیم می‌باشند که به سیستم باربر نیروی ثقلی وارد می‌شوند و سبب کاهش قابل ملاحظه در سختی و مقاومت اعضا، میرایی هیسترتیس پایین و آسیب وارد گشتن به اعضای تحمل‌کننده بار ثقلی می‌شود که می‌تواند سبب واژگونی سازه در زلزله‌های شدید شود که البته از واژگونی سازه جلوگیری به عمل آمده و ایمنی آن تأیید شده است.

## ۲- تاریخچه مطالعات

ایده‌ی اولیه‌ی استفاده از میراگرهای تسلیمی فلزی ابتدا در حدود سال ۱۹۷۰ میلادی ارائه شد. در آن زمان گروهی از محققان از جمله کلی، اسکینر، مکوری و تسای با ایده‌های مختلف، میراگرهای فلزی را بررسی می‌کردند [۱-۳]. تمام کارهایی که قبل از آن انجام شد بر روی افزایش اطمینان و بالا بردن ظرفیت جذب انرژی در اتصالات سازه‌ای بود. در بیشتر ساختمان‌ها، جذب انرژی در اطراف اتصال تیر به ستون اتفاق می‌افتاد که این اتصالات در مقابل بارهای چرخه‌ای قابل اعتماد نیستند همچنین در سازه‌های فولادی به دلیل ناپایداری موضعی در بال‌ها در مجاورت اتصالات و در سازه‌های بتنی به دلیل نیروهای برشی و در نتیجه‌ی آن کشش قطری و خرابی اتصال، سبب کاهش قابل توجهی در مقاومت اتصال می‌شود. کارهای زیادی برای افزایش ظرفیت جذب انرژی و قابلیت اطمینان اتصالات انجام شد. اما آن‌ها رویکرد جایگزینی را معرفی کردند که سیستم حامل بار ثقلی سازه را

از سیستم جذب انرژی جدا می‌کرد و سیستم خاصی برای جذب انرژی سینماتیکی تولید شده توسط زلزله در سازه گنجانده می‌شد. برای تعیین عملی بودن این ابزارها، اشکال و مکانیزم‌های جذب انرژی مختلفی را مورد بررسی قرار دادند که هر سه از مکانیزم تغییر شکل پلاستیک فولاد نرمه مانند اشکال تیر و ورق و بر پایه پیچش و خمش المان‌ها استفاده می‌کردند که شامل رول شدن نوارهای فلزی باریک، پیچش تیرهایی با مقطع مربعی و مستطیلی و خمش تیر ضخیم کوتاه می‌باشند. بعضی از این سیستم‌ها بعدها به سیستم‌های جدیدی توسعه داده شدند و بیشتر در پل استفاده می‌شدند. در سال ۱۹۷۵ میلادی، اسکینر و مکوری در کشور نیوزلند مطالعات مقدماتی پیرامون جداسازی لرزه‌ای سازه‌ها توسط میراگرهای فلزی تسلیمی انجام دادند [۲]. به نظر آن‌ها، وقتی قطعات تعبیه شده برای جذب انرژی را بین پایین‌ترین سطح ساختمان و فونداسیون قرار دهند، اثربخشی بیشتری خواهند داشت. آن‌ها از ترکیب میراگرهای هیسترتیس و روش‌های موجود برای دستیابی به تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر برای سازه استفاده کردند تا سیستم جداگر لرزه‌ای کاربردی و مؤثری داشته باشند. می‌دهد و باعث صرفه‌جویی در هزینه می‌شود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سیستم جداساز لرزه‌ای با میراگر فلزی تسلیمی، برای سازه‌های با مقاومت زیاد و شکل‌پذیری کم بسیار مناسب می‌باشد. در سال‌های بعد اشکال دیگری از این نوع ابزار به عنوان میراگرهای فلزی معرفی شدند که یکی از معروف‌ترین آن‌ها اجزای افزایش‌میرایی و سختی است که به شکل  $x$  یا مثلثی ساخته می‌شود که توسط شرکت بچل معرفی شد. مطالعات آزمایشگاهی جامع در مورد این میراگرها در سال ۱۹۸۷ توسط ویتاکر و همکارانش انجام شده است [۴]. کیانگ هام و همکارانش در سال ۲۰۱۴ مطالعاتی را روی میراگر تسلیمی لوزی شکل (RADAS) با سه نوع فولاد نرم دارای تنش‌های تسلیم پایین، انجام دادند. نتایج بیانگر رفتار مناسب این میراگر است. همچنین هرچقدر میزان تنش تسلیم فولاد بکار رفته پایین‌تر باشد قابلیت اتلاف انرژی این میراگر بهتر خواهد بود [۵]. آقای گریگوریان و همکارانش در سال ۱۹۹۳ دو آزمایش جهت بررسی رفتار المان اصطکاکی ترتیب دادند که در یکی از آزمایش‌ها از دو صفحه فولادی واقع بر روی هم و در دیگری از صفحات فولادی که صفحات برنزی بین آنها قرار گرفته بود استفاده کردند [۶]. نتایج نشان داد که المان ساخته شده از ورق‌های فولادی که بین آنها از ورق‌های برنزی استفاده شده است، منحنی هیسترتیس منظم تری نسبت به المان فاقد ورق‌های برنزی، دارد لذا استفاده از ورق‌های برنزی در بین ورق‌های فولادی دارای مزیت نسبی در پیش‌بینی رفتار المان می‌باشد و مدل سازی المان را بسیار آسان می‌کند. کلارک و همکارانش با به کارگیری میراگرهای غیرفعال در ساختمان‌ها، نتایج میرایی سازه‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها ابتدا میراگرهای غیرفعال را بر روی ساختمان نصب کردند و سپس ساختمان را بر اساس میرایی ایجاد شده توسط میراگرها، طراحی کردند. سپس نتایج بدست آمده از طراحی ساختمان را مورد بررسی قرار دادند و با بررسی نتایج طراحی سازه‌ها، دستورالعملی را ارائه کردند تا ساختمان‌ها بر اساس این دستورالعمل قابل طراحی و آنالیز باشند. در واقع آن‌ها دستورالعمل

فلزی ارزیابی می شود که آسیب را در دستگاه های اتلاف انرژی فولادی که به راحتی قابل تعویض هستند متمرکز می کند و اعضای اصلی سازه را از عملکرد با قوانین طراحی محافظت می کند. [۱۵]. مالکی و محجوبی در سال ۲۰۱۴ پژوهشی در زمینه دمپر لوله ای توپر انجام دادند. در این مطالعه یک دستگاه کنترل غیرفعال جدید برای محافظت از سازه ها در برابر زلزله معرفی شده است. این دستگاه از دو لوله جوش داده شده تشکیل شده است که دارای دو لوله کوچکتر در داخل خود هستند و فضاهای بین لوله ها با فلزاتی مانند سرب یا روی پر شده است. این دستگاه در برش بارگذاری می شود و از پلاستیک شدن لوله های خارجی، لوله های داخلی و فلزات پر شده و اصطکاک بین فلزات به عنوان مکانیسم جذب انرژی بهره می برد. آزمایشات چرخه ای نیمه استاتیکی در شش نمونه انجام می شود که همگی نمودار هیستریزس پایدار و میرایی زیاد را نشان دادند [۱۶].

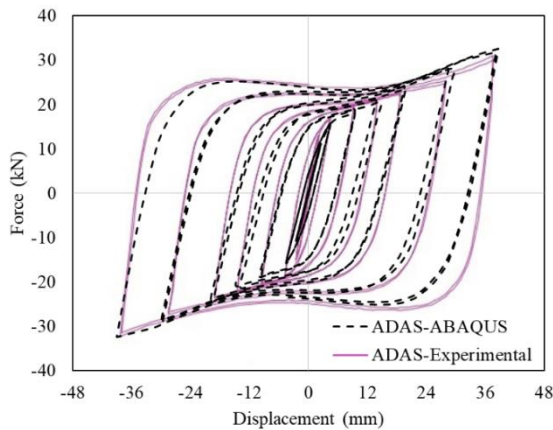
تسای و همکاران [۱۷] آزمایش ها و شبیه سازی های عددی را روی میراگر TADAS در دانشگاه ملی تایوان انجام دادند. آنها متوجه شدند که سختی میراگر در تغییر مکان های بزرگ در سیکل های پایانی به ناگهان افزایش می یابد. این افزایش ناگهانی سختی میراگر به دلیل برخورد ورق های مجاور در تغییر شکل های بزرگ گزارش شد. تسای و همکاران [۱۸] به منظور بهبود عملکرد میراگر TADAS و جلوگیری از برخورد ورق ها در تغییر شکل های بزرگ پیشنهاد کردند که بدون نیاز به افزایش فاصله ورق ها، از یک میله غلتکی (بین) که مستقیماً به انتهای ورق جوش می شود، استفاده شود. مالکی و همکاران [۱۹] به مطالعه درباره عملکرد میراگرهای ترکیبی منحنی و میراگرهای مثلی افزایشدهنده میرایی و سختی (TADAS) در قاب خمشی فولادی با استفاده از روش اجزاء محدود و به کمک نرم افزار ABAQUS پرداختند. پارامترهای مورد بررسی به ترتیب شامل عرض دمپر منحنی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی متر)، ضخامت دمپر TADAS (۵ و ۱۰ میلی متر) و تعداد میراگرهای TADAS (۲، ۴ و ۶) می باشند. نتایج حاصل نشان داد میراگرهای ترکیبی منحنی و TADAS انرژی ورودی لرزه ای را به طور قابل توجهی کاهش می دهند و از خرابی سازه جلوگیری می کنند. عملکرد این دمپر ها به گونه ای می باشد که با تغییر شکل های ویژه منجر به استهلاک و جذب انرژی مقدار زیادی انرژی ورودی زلزله به سازه می شوند.

### ۳-صحت سنجی

برای کنترل و صحت رفتار چرخه ای میراگر ADAS از مقایسه نتایج مدل اجزای محدودی و آزمایشگاهی استفاده شده است. مدل اجزای محدودی با استفاده از نرم افزار شبیه ساز اجزاء محدود ABAQUS ساخته شده است. در تحقیق آزمایشگاهی لی و همکاران در سال ۲۰۱۹، میراگرهای برشی، خمشی و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت [۲۰]. برای صحت سنجی از نتایج نمونه آزمایشگاهی میراگر XADAS که بصورت نمودار هیستریزس گزارش شده بود استفاده گردید. ابعاد و موقعیت میراگر XADAS در شکل (۱) نشان داده شده است. جنس مصالح فولادی مصرفی در این دمپر از نوع LY 160 بود

طراحی ساختمان هایی که با میراگرهای غیرفعال تجهیز شده اند را ارائه کردند. بنابراین نتایج تحقیقات آنها ارائه ی دستورالعملی برای طراحی ساختمان های دارای میراگر بود که با استفاده از آن، می توان ساختمان ها را طراحی کرد [۷]. اسکینر و همکارانش تعدادی از میراگرهایی را که قابلیت اجرا داشتند، بر روی سازه های مختلف نصب کردند. در واقع آن ها یک مطالعه ی کاربردی انجام دادند، ابتدا ساختمان هایی با طرح های مختلف را در نظر گرفتند. میراگرها را بر روی ساختمان ها اجرا کردند و سپس با اعمال بارگذاری لرزه ای ناگهانی، سازه ها را تحلیل کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که با اجرای میراگرها در سازه ها، جابجایی نسبی ساختمان به طور قابل توجهی کاهش می یابد. همچنین با نصب میراگرها، طراحی سازه ها متنوع تر خواهد شد و محدودیت های موجود در طراحی کاهش خواهد یافت [۸]. در سال های پس از آن هم میراگرهای دیگری در جهان طراحی شدند. تحقیقات صورت گرفته توسط کیامی در کشور ایتالیا، از جمله تحقیقات مناسب پیرامون میراگرهای فلزی-تسلیمی است. کیامی روش های متعددی برای استهلاک انرژی در ساختمان ها به کار گرفته است و بیشتر از تکنیک های میرایی غیرفعال انرژی برای مستهلک کردن انرژی اعمال شده، استفاده می کرده است. نتایج تحقیقات کیامی بیانگر کاهش نیروی زلزله در ساختمان های مجهز به میراگرهای غیرفعال می باشد [۹]. خزاعی در سال ۲۰۱۳ در مقاله ای با موضوع آنالیز دینامیکی غیرخطی بر روی قاب های فولادی با میراگر فلزی به تحقیق در این زمینه پرداختند. در این پژوهش سازه های فولادی ۴، ۷ و ۱۲ طبقه فولادی با بهره گیری از میراگرهای ADAS مورد تحلیل قرار گرفتند [۱۰]. سامان باقری و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در خصوص نسبت سختی باندنهای سیستم ADAS روی قاب مجهز به ADAS مطالعاتی انجام دادند [۱۱]. Rais. و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با تغییر میزان سختی سیستم میراگر ADAS بصورت درصدی از سختی کل سازه، رفتار دینامیکی سازه های با پیوند کوتاه را مورد مطالعه قرار دادند [۱۲]. از معایب میراگرهای ADAS و TADAS عملکرد ضعیف آنها در زلزله های خفیف و متوسط است. زیرا در این نوع زلزله ها بدلیل تغییر شکل کم، قابلیت اتلاف انرژی این میراگرها پایین می آید. حسام شمشیری دارینی و بهرخ حسینی هاشمی در سال ۲۰۱۱ با مطالعه روی این موضوع سعی در بهبود بخشیدن رفتار لرزه ای TADAS برای جابجایی ها و سطوح لرزه ای مختلف نمودند. [۱۳]. گرای و همکاران در سال ۲۰۱۰ پژوهشی در زمینه میراگرهای فلزی تسلیم شونده در قابهای مهاربندی انجام دادند. در این مطالعه یک اتصال دهنده فولادی ریخته گری جدید ارائه شده است که به عنوان عنصر اتلاف کننده انرژی در یک قاب مهاربند متحدالمرکز عمل می کند. انرژی لرزه ای از طریق استهلاک خمشی الاستیک در اتصال دهنده ها نقش اصلی در طراحی دارند [۱۴]. کاراواسیلیس و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی رفتار هیستریزس برای دستگاههای اتلاف انرژی فولادی و ارزیابی رویکرد طراحی لرزه ای با کمترین آسیب برای ساختمانهای فلزی پرداختند. در این پژوهش یک رویکرد طراحی لرزه ای جایگزین برای سازه های

رفتاری که نمونه شبیه سازی از خودش نشان داده و رفتار نمونه در آزمایشگاه، می توان این اختلاف را به عملی که روی قطعات در آزمایشگاه انجام می دهند (از قبیل سوراخکاری، جوشکاری، خروج از مرکزیت و نقص اعضا و ...) نسبت داد. در ادامه در جدول (۱) میزان اختلاف نسبی بین مدل آزمایشگاهی و عددی آورده شده است که میزان اختلاف بین نتایج نیروی جانبی حداکثر ۲/۴۸ درصد و میزان اختلاف بین انرژی مستهلک شده توسط میراگر ۳/۴۹ درصد حاصل شده است. میزان اختلاف بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در حد قابل قبولی است و می توان از نتایج عددی این نرم افزار در مطالعه میراگر عددی و مدل صحت سنجی آورده شده است که هندسه تغییر شکل یافته در ورق های X شکل یکسان و رفتار غیرخطی هندسی یکسانی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مشاهده شده است.

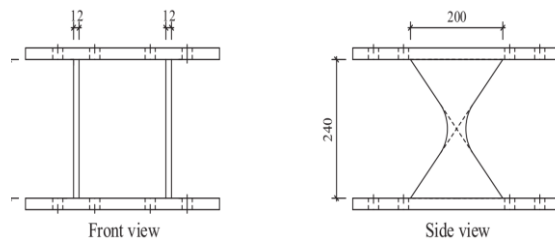


شکل ۴- منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی لی و همکاران و نمونه عددی XADAS

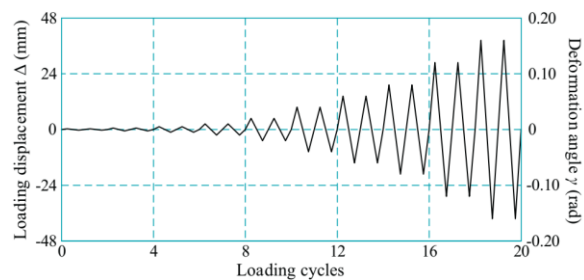
جدول ۱- میزان اختلاف نسبی بین مدل آزمایشگاهی و عددی XADAS

نمونه	انرژی (kN.mm)	مقاومت نهایی (kN)
ADAS-ABAQUS	4200.00	31.50
ADAS-Experimental	4095.75	32.60
Errorr(%)	2.48	-3.49

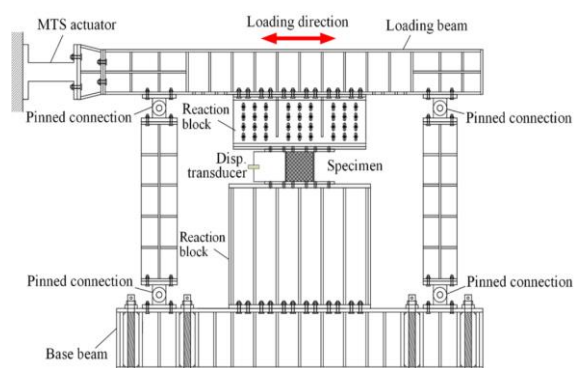
که مدول الاستیسیته آن ۲۰۱ گیگاپاسکال، تنش تسلیم آن ۱۵۳ مگاپاسکال، تنش نهایی آن ۲۸۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون آن ۰/۳ گزارش شده بود. بارگذاری اعمال شده به نمونه ها بصورت چرخه ای اعمال گردید که در شکل (۲) و سیستم مورد آزمایش و شرایط مرزی این میراگر در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۱- ابعاد میراگر XADAS در مطالعه آزمایشگاهی لی و همکاران



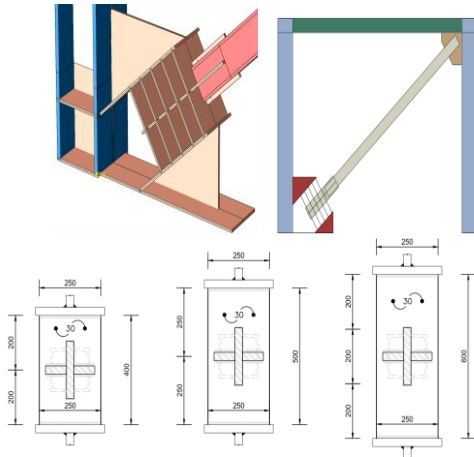
شکل ۲- پروتکل بارگذاری اعمال شده به میراگر XADAS بر اساس مطالعه آزمایشگاهی لی و همکاران



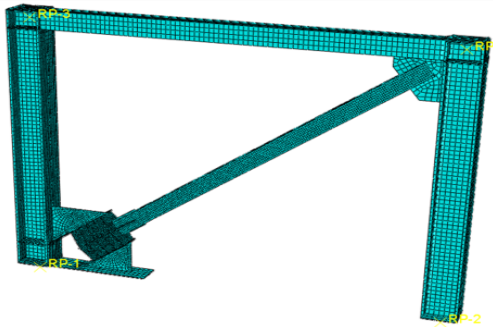
شکل ۳- موقعیت نمونه آزمایشگاهی و شرایط مرزی و محل اعمال بار چرخه ای

همانطوریکه در شکل (۴) مشاهده می شود دو منحنی به طور کامل بر هم انطباق نداشته و مقداری اختلاف بین آنها وجود دارد. با توجه به

نوع المان‌های انتخاب شده در این بررسی S4R که به معنی المان شل دارای ۴ گره و انتگرال‌گیری کاهش یافته است و سائز مش مورد بررسی برای اعضای تیر و ستون ۴۰ و برای بادبند و میراگر ۲۰ میلی‌متر انتخاب شده است.



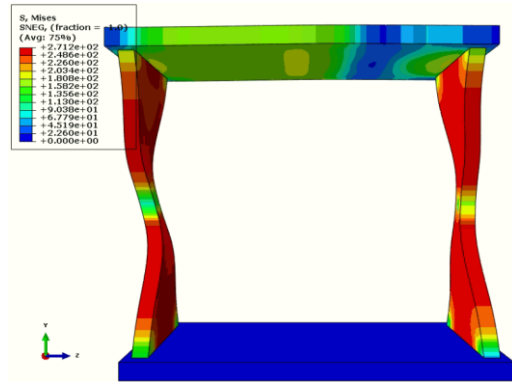
شکل ۶- هندسه کلی قاب مورد بررسی به همراه هندسه میراگرهای TADAS پیشنهادی



شکل ۷- قاب مش بندی شده دارای میراگر ADAS

جدول ۲- مشخصات مدل‌های المان محدود

شماره	نام تیر	هندسه میراگر	طول میراگر	ضخامت میراگر	ضخامت بادبند
1	D-Rec-600-12-12	Rec	600	12	12
2	D-Rec-500-12-12	Rec	500	12	12
3	D-Rec-400-12-12	Rec	400	12	12
4	D-Rec-600-21-12	Rec	600	21	12
5	D-Rec-500-21-12	Rec	500	21	12
6	D-Rec-400-21-12	Rec	400	21	12
7	D-Rec-600-30-12	Rec	600	30	12
8	D-Rec-500-30-12	Rec	500	30	12
9	D-Rec-400-30-12	Rec	400	30	12
10	D-Rec-600-21-12	Rec	600	21	12
11	D-Rec-500-21-12	Rec	500	21	12
12	D-Rec-400-21-12	Rec	400	21	12
13	D-Rec-600-21-30	Rec	600	21	21
14	D-Rec-500-21-30	Rec	500	21	21
15	D-Rec-400-21-30	Rec	400	21	21

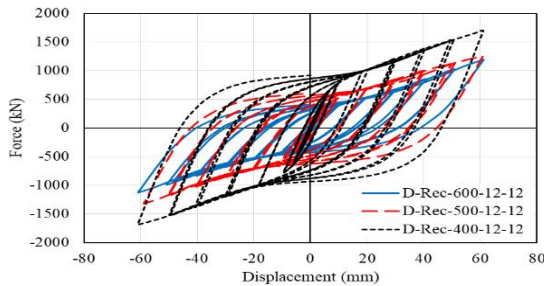


شکل ۵- هندسه تغییر شکل یافته در نمونه عددی و مدل صحت سنجی

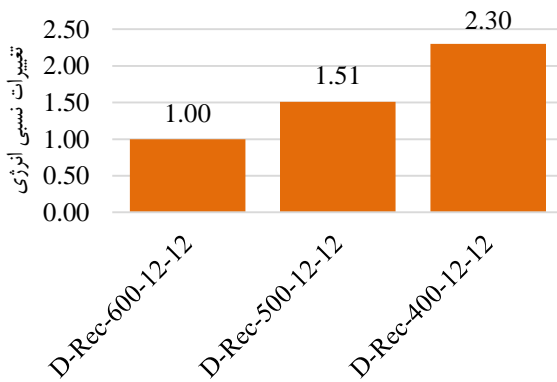
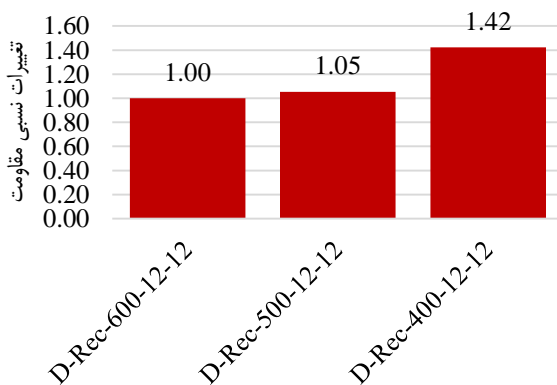
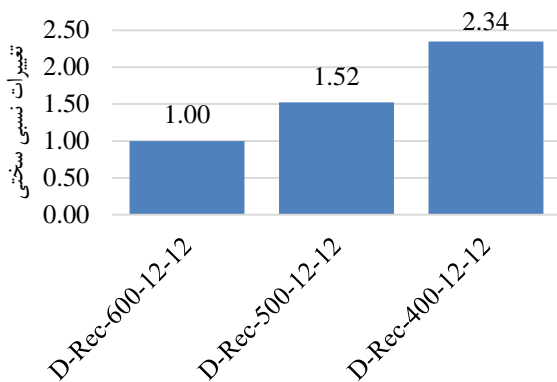
#### ۴- معرفی میراگر پیشنهادی

در این پژوهش میراگر ADAS مورد بررسی در یک قاب یک طبقه و یک دهانه که در شکل (۶) نشان داده شده است، مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت میراگر مورد بررسی در انتهای عضو مهاربندی می‌باشد. در این میراگر پیشنهادی از صفحات فولادی که بصورت موازی به ورق صلیبی جوش داده شده است، استفاده گردید. هندسه ورق‌های فولادی مورد استفاده به صورت مستطیلی انتخاب گردید که در شکل (۶) نشان داده شده است. قاب مورد بررسی دارای دهانه ۴ متر و ارتفاع سه متر است. ابعاد ورق‌های فولادی میراگر نیز متغییر است که در جدول (۲) جزئیات آن آورده شده است. تعداد ۱۵ مدل عددی در این پژوهش شبیه‌سازی شده است. پارامترهای مورد بررسی در این مدل‌ها شامل ضخامت دمپر، طول دمپر و نسبت بعد به ضخامت مقطع بادبندی می‌باشد. هندسه دمپرهای ارزیابی شده بصورت مستطیلی، ضخامت دمپر ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر، طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر و ضخامت بادبند ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر انتخاب شده است. اساس نام گذاری هر یک از مدل‌ها بر اساس جدول (۲) انجام شده است که مشخصات هر یک از دمپر‌ها در اسم آنها گنجانده شده است تا در حالت مقایسه نتایج پارامتر متغییر قابل تشخیص باشد. در ادامه در شکل (۷) نمونه‌ای از هندسه قاب مش‌زده شده در نرم افزار نشان داده شده است.





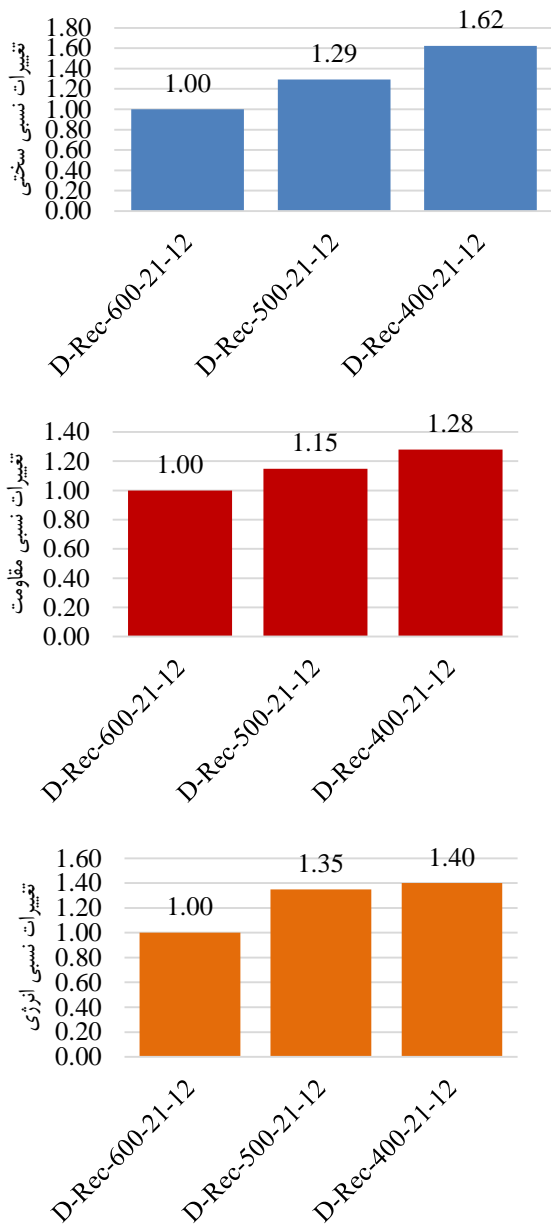
شکل ۸- مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزس



شکل ۹- قاب با میراگر به ضخامت ۱۲ میلیمتر

## ۵- بررسی تاثیر پارامتر ضخامت میراگر

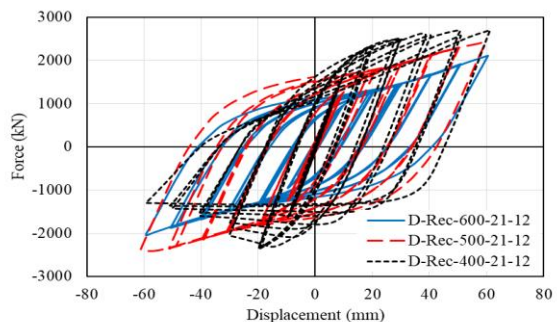
در این بخش نتایج نمودار هیستریزس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۸) یک نمودار ترسیم شده است که این نمودار مربوط به هندسه مستطیلی می‌باشد و نتایج نمودار هیستریزس مربوط به این مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۱۲ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۱۲ میلیمتر و برای سه طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. شاخص‌های محاسبه شده شامل سختی (کیلونیوتن بر میلیمتر)، مقاومت (کیلونیوتن)، انرژی (کیلونیوتن در میلیمتر) می‌باشند که مهمترین خروجی‌های نمودار هیستریزس است. برای محاسبه شاخص سختی از شیب نمودار هیستریزس در قسمتی از نمودار که حلقه‌ها دارای رفتار خطی هستند استفاده شده است و از تقسیم نیرو به جابجایی در مرحله خطی شاخص سختی حاصل شده است. برای محاسبه شاخص مقاومت از ماکزیمم نیروی حاصل شده در تمامی حلقه‌های نمودار هیستریزس استفاده شده و برای محاسبه شاخص انرژی از مجموع سطوح زیر نمودار حلقه‌ها که نشان دهنده انرژی مستهلک شده می‌باشد، استفاده شده است. پس از محاسبه هر یک از شاخص‌ها میزان حساسیت رفتار چرخه‌ای بادبند به پارامتر طول دمپر با ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها ارزیابی گردید. برای تعیین میزان حساسیت شاخص‌ها به پارامتر طول دمپر در هر گروه سه تایی از نمودارها، شاخص‌های مربوط به یک نمونه بعنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شده است و شاخص‌های دو نمونه دیگر بر شاخص نمونه شاهد تقسیم شده است. با این کار تغییرات نسبی در هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی در نمونه شاهد یک و میزان این تغییرات در دو نمونه دیگر نسبت به آن تعیین شده است. پس در هر گروه سه تایی از مدل‌ها، مدلی که مقدار تغییرات نسبی سختی، تغییرات نسبی مقاومت و تغییرات نسبی انرژی در آن عدد یک است نمونه شاهد می‌باشد. بعنوان مثال در گروه دمپر‌ها با هندسه مستطیلی با نام‌های D-Rec-12-12، D-Rec-600-12-12 و D-Rec-12-12 نمونه 12 D-Rec-600-12-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-500-12-12 و D-Rec-400-12-12 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱٫۵۲ و ۲٫۳۴ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۵۲ و ۱۳۴ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول دمپر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۵ و ۴۲ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۵۱ و ۱۳۰ درصد حاصل شده است. در ادامه برای ملموس بودن تغییرات شاخص‌ها در شکل (۹) نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. این روند محاسبه برای تمامی نمونه‌ها تا انتهای کار یکسان است.



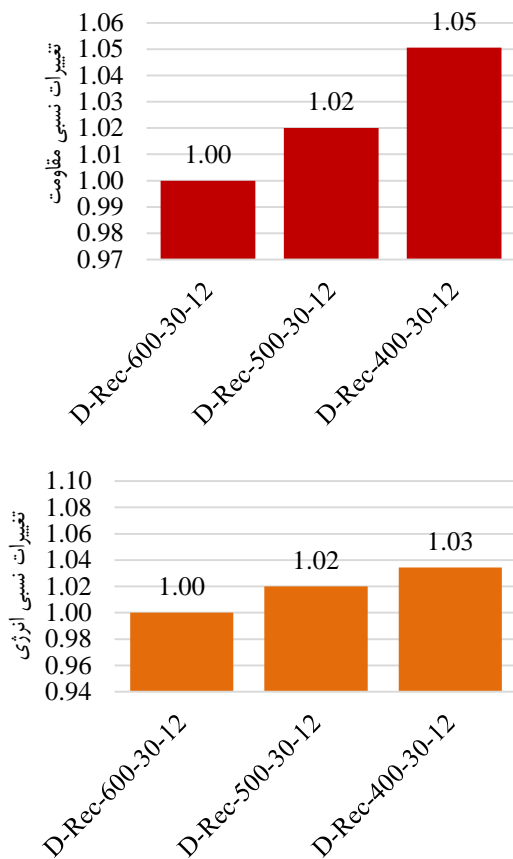
شکل ۱۱ - قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر

در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر (۳۰ میلیمتر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۲) یک نمودار ترسیم شده است که این نمودار مربوط به هندسه مستطیلی می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به هندسه مستطیلی، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به این مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۳۰ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۱۲ میلیمتر و برای سه طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. در ادامه تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر در شکل (۱۳) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت دمپر ۳۰ میلیمتر در گروه دمپرها با هندسه مستطیلی با نام‌های D-Rec-600-

در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۰) یک نمودار ترسیم شده است که این نمودار مربوط به هندسه مستطیلی می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به هندسه مستطیلی، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۱۲ میلیمتر و برای سه طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. برای ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر در گروه دمپرها با هندسه مستطیلی با نام‌های D-Rec-600-21-12، D-Rec-500-21-12 و D-Rec-400-21-12 نمونه D-Rec-600-21-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-500-21-12 و D-Rec-400-21-12 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۶۲ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۲۹ و ۶۲ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول دمپر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۱۵ و ۲۸ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۵ و ۴۰ درصد حاصل شده است. در ادامه تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر در شکل (۱۱) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. اما نکته قابل توجه در نمودارهای هیستریزیس این بخش، خارج شدن رفتار نمودار هیستریزیس از حالت تقارن در کشش و فشار در قاب با نام‌های D-Rec-400-21-12 می‌باشد. در نمونه‌های دیگر این گروه رفتار نمودار هیستریزیس در کشش و فشار یکسان است که این حالت نشان دهنده تسلیم شدن دمپر فولادی و عملکرد خوب ابعاد این دمپر نسبت به ابعاد مهاربند است. زیرا در کشش و فشار سختی مهاربند از سختی مجموع صفحات فولادی دمپر بیشتر است و سبب استهلاک انرژی بیشتر می‌شود. اما در نمونه نام برده به دلیل افزایش سختی صفحات دمپر فولادی نسبت به سختی مهاربند، سبب کاهش ناگهانی نیرو چرخه‌ای در قسمت فشاری نمودار هیستریزیس شده است، که این پدیده به دلیل رخ دادن کماتش در بار فشاری و از چرخه خارج شده مهاربند است. در نتیجه باید در استفاده از ابعاد مناسب و نسبت سختی‌ها دقت لازم را به کار گرفت تا دمپر فولادی عملکرد صحیحی از خود به نمایش گذارد.



شکل ۱۰ - مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزیس

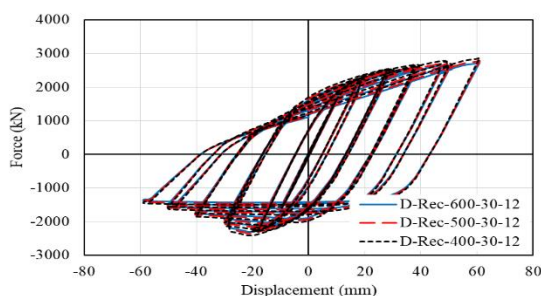


شکل ۱۳- قاب با میراگر به ضخامت ۳۰ میلیمتر

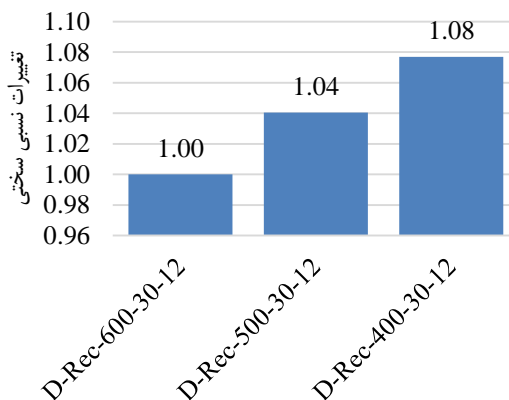
#### ۶- بررسی تاثیر پارامتر ضخامت بادبند

در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت بادبند (از ۱۲ به ۲۱ میلیمتر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۴) سه نمودار ترسیم شده است که هر نمودار مربوط به مستطیلی می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به هندسه مستطیلی، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۲۱ میلیمتر و برای سه طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر و بادبند به ضخامت ۲۱ میلیمتر در شکل (۱۵) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت بادبند و دمپر ۲۱ میلیمتر در گروه دمپرها با هندسه مستطیلی با نام‌های D-Rec-600-21-21، D-Rec-500-21-21 و D-Rec-400-21-21 نمونه D-Rec-600-21-21 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-500-21-21 و D-Rec-400-21-21 میزان تغییرات سختی به ترتیب  $1/39$  و  $1/83$  حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۳۹ و ۸۳ درصدی سختی با کاهش  $16/66$  و  $33/33$  درصدی طول دمپر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو

D-Rec-600-30-12، D-Rec-500-30-12 و D-Rec-400-30-12 نمونه D-Rec-600-30-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-500-30-12 و D-Rec-400-30-12 میزان تغییرات سختی به ترتیب  $1/4$  و  $1/8$  حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۴ و ۸ درصدی سختی با کاهش  $16/66$  و  $33/33$  درصدی طول دمپر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۲ و ۵ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۲ و ۳ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه مستطیلی مقدار تغییرات شاخص‌ها زیر ۱۰ درصد است که نسبت به نتایج حاصل شده در دو گروه قبلی کاهش زیادی داشته است. این روند کاهش در شاخص‌ها برای هندسه مستطیلی تکرار شده است. با توجه به نمودارهای هیستریزیس حاصل شده و مشاهده نامتقارنی در ۳ نمونه این مورد بررسی در این بخش، می‌توان دریافت که دمپرها فولادی در رفتار چرخه‌ای عملکرد خود را از دست داده‌اند و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای مهاربندی است. این نامتقارنی در نمودار هیستریزیس به دلیل افزایش سختی صفحات دمپر فولادی نسبت به سختی بادبند است که سبب رخ دادن کمانش در مهاربند در بار فشاری و از چرخه خارج شدن آن است.

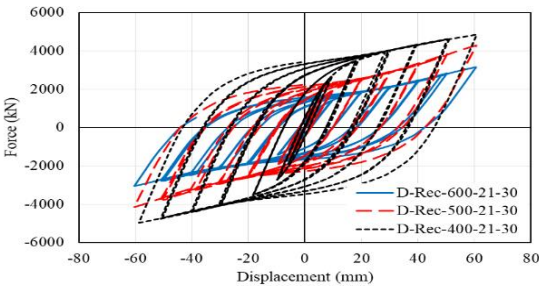


شکل ۱۴- مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزیس



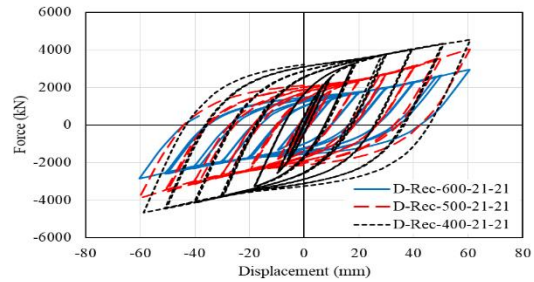


در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت بادبند (از ۲۱ به ۳۰ میلیمتر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۶) یک نمودار ترسیم شده است که این نمودار مربوط به هندسه مستطیلی می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به هندسه مستطیلی، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۳۰ میلیمتر و برای سه طول دمپر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر و بادبند به ضخامت ۳۰ میلیمتر در شکل (۱۷) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت بادبند ۳۰ و دمپر ۲۱ میلیمتر در گروه دمپر با هندسه مستطیلی با نام‌های D-Rec-500-21-30، D-Rec-600-21-30 و D-Rec-400-21-30 بعنوان نمونه در دو نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-500-21-30 و D-Rec-400-21-30 میزان تغییرات سستی به ترتیب ۱/۳۹ و ۱/۸۱ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۳۹ و ۸۱ درصدی سستی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول دمپر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۳۸ و ۵۲ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۵ و ۳۸ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه مستطیلی بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سستی، مقاومت و انرژی ۸۱، ۵۴ و ۳۸ درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزیس در ۳ نمونه مورد بررسی متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای دمپر فولادی است زیرا با افزایش ضخامت بادبند، سستی این عضو افزایش یافته و دمپر فولادی که دارای سستی کمتری است باعث استهلاک انرژی در این حالت می‌گردد.

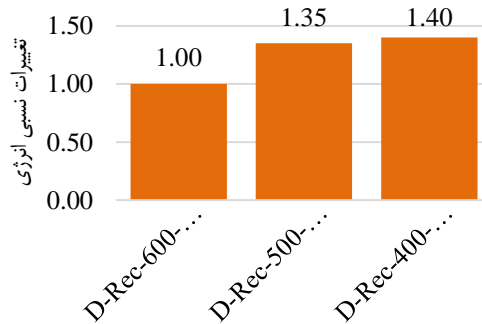
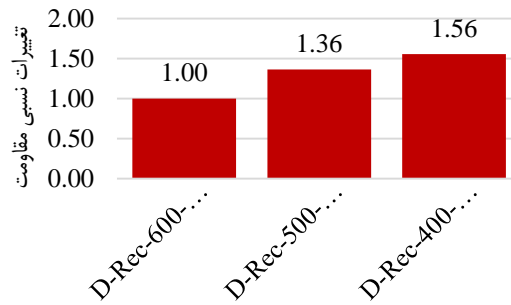
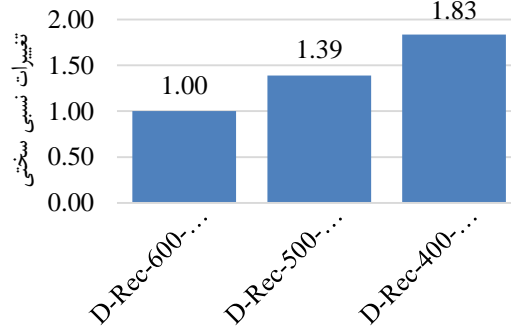


شکل ۱۶- مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزیس

نمونه نیز به ترتیب ۳۶ و ۵۶ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۵ و ۴۰ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه مستطیلی بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سستی، مقاومت و انرژی ۸۳، ۵۶ و ۴۰ درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزیس در ۳ نمونه مورد بررسی متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای دمپر فولادی است.

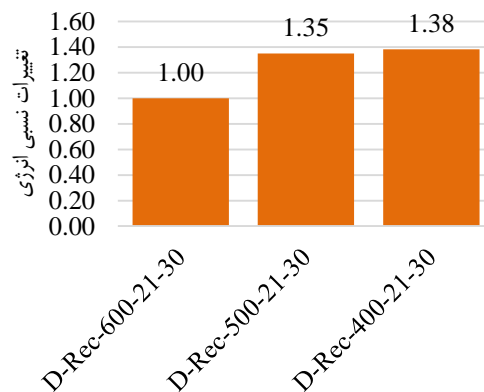
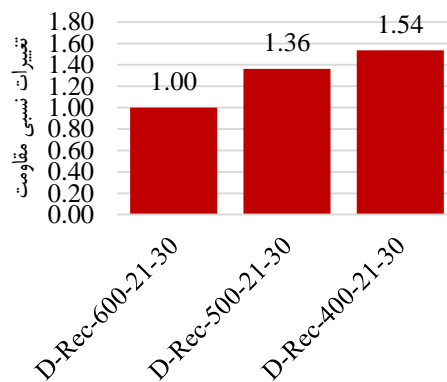
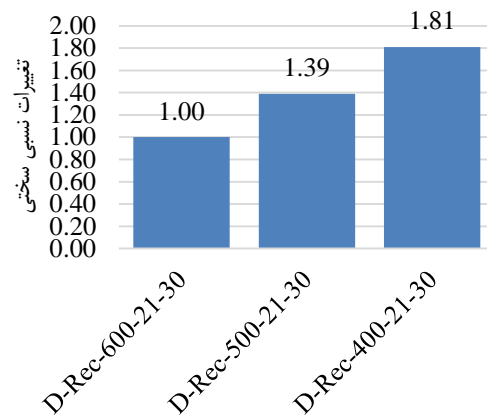
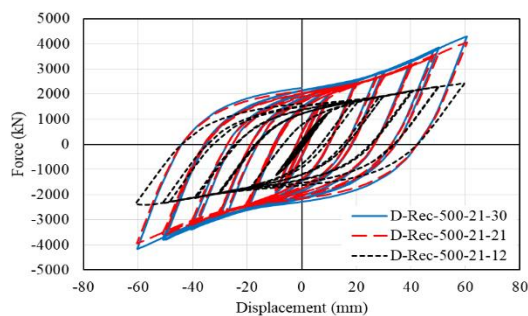
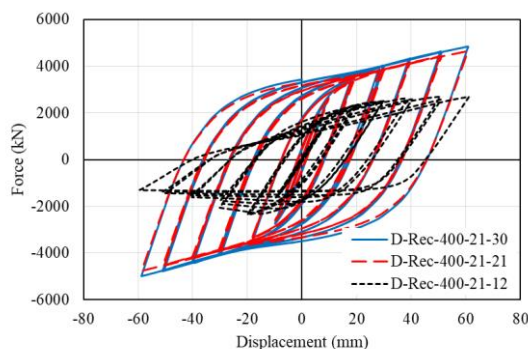


شکل ۱۴- مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزیس



شکل ۱۵- قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر و بادبند به ضخامت ۲۱ میلیمتر

میلیمتر، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، بادبند به ضخامت ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر و برای هندسه مستطیلی ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب برای ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر و بادبند به ضخامت ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر در شکل (۱۹) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت بادبند ۲۱ و دمپر ۱۲ میلیمتر در گروه دمپر مستطیلی با طول ۴۰۰ میلیمتر با نام‌های D-Rec-400-21-30، D-Rec-400-21-12 و D-Rec-400-21-21 نمونه دو نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Rec-400-21-21 و D-Rec-400-21-30 میزان تغییرات نسبی به ترتیب ۱/۸۱ و ۱/۸۹ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۸۱ و ۸۹ درصدی سختی با تغییر ضخامت بادبند با طول دمپر ۴۰۰ میلیمتر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۷۱ و ۷۹ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۵۵ و ۶۲ درصد حاصل شده است. همچنین در دو طول ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی ۸۲، ۷۷ و ۶۴ درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزیس در ۳ نمونه مورد بررسی دارای طول دمپر ۶۰۰ و ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای دمپر فولادی است و فقط در نمونه D-Rec-400-21-12 کنترل کننده رفتار چرخه‌ای بادبند است. در این بخش همانند بخش قبل نتایج نمودارها نشان می‌دهد در حالتی که بادبند با تغییر ضخامت، تغییر فشردگی می‌دهد، نسبت سختی بیشتر و تاثیر و اختلاف نمودارها قابل توجه‌تر می‌گردد که از نتایج تغییرات نسبی شاخص‌ها این اختلاف ملموس است.



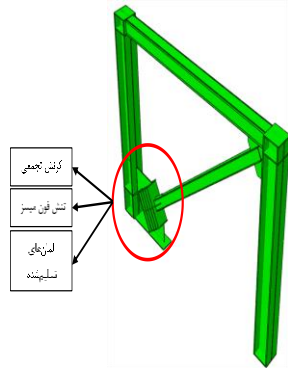
شکل ۱۷- قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلیمتر و بادبند به ضخامت ۳۰ میلیمتر

#### ۷- تاثیر پارامتر نسبت بعد به ضخامت بادبند

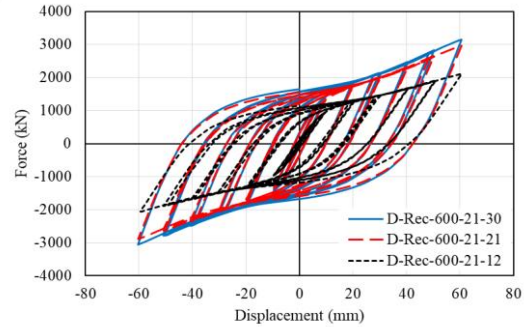
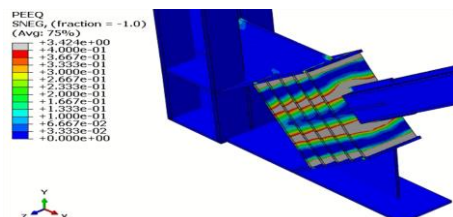
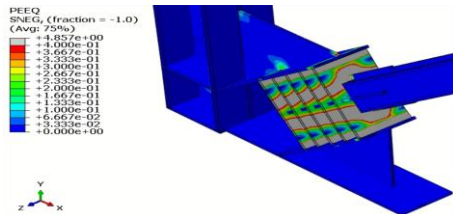
در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر نسبت بعد به ضخامت بادبند ترسیم و مقایسه شده است. برای این بررسی دلیل وابستگی نسبت بعد به ضخامت، به ضخامت بادبند، فقط تغییرات در ضخامت بادبند انجام شده است. در شکل (۱۸) سه نمودار ترسیم شده است که هر نمودار مربوط به طول دمپر ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به طول ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰

### ۸- بررسی نتایج گرافیکی

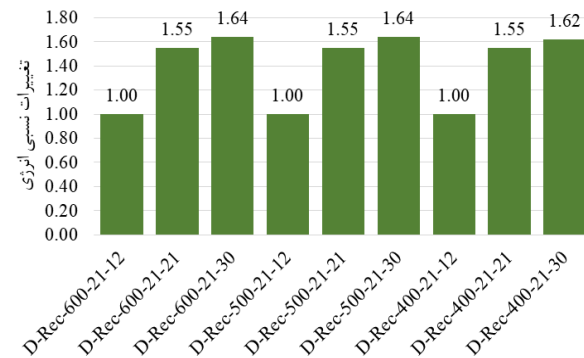
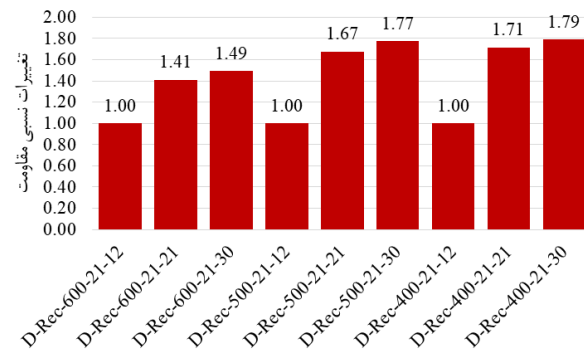
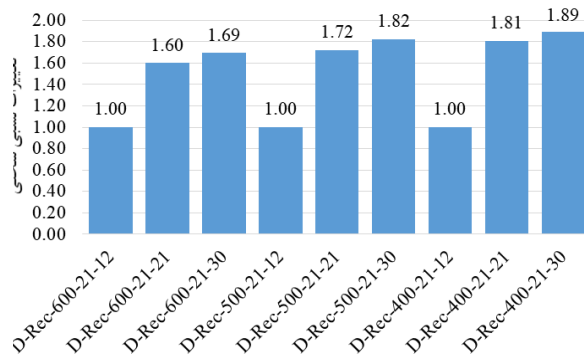
در این قسمت به بررسی نتایج گرافیکی بر اساس خروجی‌های کرنش تجمعی (PEEQ)، تنش ون مایسز (S Mises) و المان‌های تسلیم شده (AC Yeild) پرداخته شده است. یکی از شاخص‌های نشان دهنده تسلیم شدگی فعال در المان‌ها در نرم‌افزار آباکوس خروجی AC Yeild است. این شاخص المان‌های تسلیم شده مهربند در حالت کششی و فشاری که مقدار آن‌ها بین ۰ و ۱ است. مقدار صفر نشان دهنده عدم تسلیم المان‌ها و مقدار ۱ تسلیم شدگی کامل المان را بیان می‌کند. این نتایج برای میراگر و بادبند به ضخامت ۱۲ میلی‌متر و طول‌های ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر و هندسه مستطیلی و در موقعیتی که در شکل ۲۰ نشان داده شده، ارائه شده است. در شکل ۲۱، توزیع کانتور گرافیکی کرنش تجمعی در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر مستطیلی و در شکل ۲۲، توزیع کانتور گرافیکی تنش فون میسز در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر مستطیلی و در شکل ۲۳، توزیع کانتور گرافیکی المان‌های تسلیم شده در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر مستطیلی نشان داده شده است. نتایج کرنش تجمعی، تنش ون مایسز و المان‌های تسلیم شده نشان می‌دهد با افزایش طول میراگر پیوستگی تنش بیشتر و از تمرکز تنش جلوگیری می‌گردد.



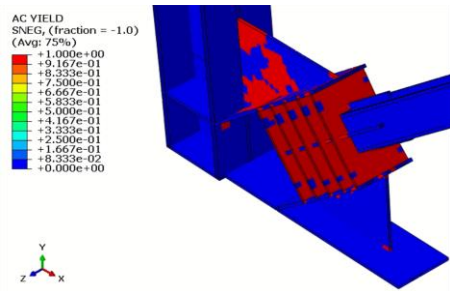
شکل ۲۰- هندسه کلی قاب دارای دمپر تسلیم شونده فولادی



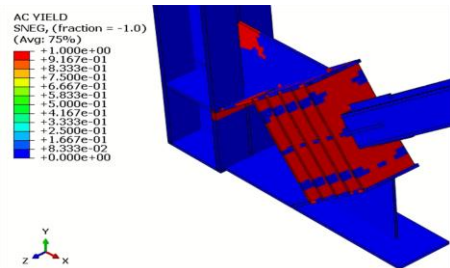
شکل ۱۸- مدل‌های مقاومت منحنی هیستریزس



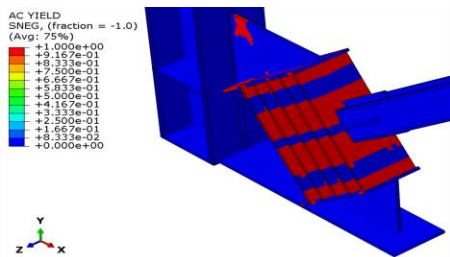
شکل ۱۹- قاب به ضخامت دمپر ۲۱ میلی‌متر و بادبند به ضخامت ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر



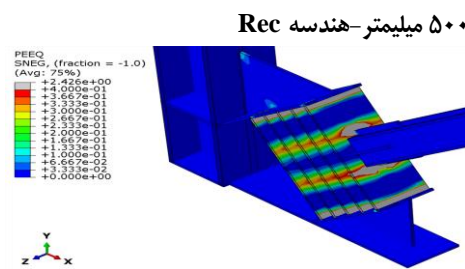
Rec ۴۰۰ میلیمتر-هندسه



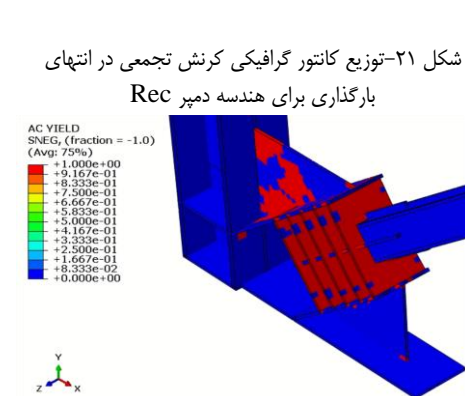
Rec ۵۰۰ میلیمتر-هندسه



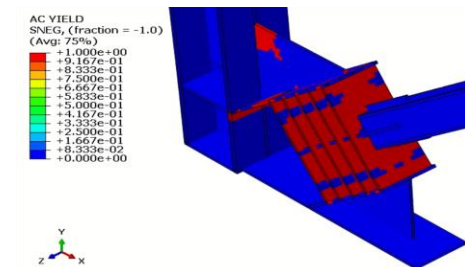
Rec ۶۰۰ میلیمتر-هندسه



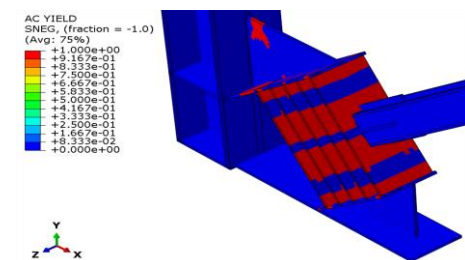
Rec ۵۰۰ میلیمتر-هندسه



Rec ۴۰۰ میلیمتر-هندسه



Rec ۵۰۰ میلیمتر-هندسه



Rec ۶۰۰ میلیمتر-هندسه

شکل ۲۱- توزیع کانتور گرافیکی کرنش تجمعی در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر Rec

شکل ۲۳- توزیع کانتور گرافیکی المان‌های تسلیم‌شده در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر Rec

شکل ۲۲- توزیع کانتور گرافیکی تنش فون میسز در انتهای بارگذاری برای هندسه دمپر Rec

### ۸- نتیجه گیری

پس از مطالعه مقالات و تحقیقات انجام شده در زمینه بادبندها و میراگرها، نیاز به مطالعه عددی بر روی بادبندها و بهبود رفتار آنها در بارگذاری چرخه‌ای محسوس بود. به همین دلیل در ادامه پژوهش‌های پیشین در زمینه بادبندها و میراگرها، در این مطالعه نوع جدیدی از میراگرهای ADAS با قرار گیری در محل المان قطری مهاربند ارائه شد. برای بررسی صحت نتایج عددی در گام اول رفتار چرخه‌ای یک قاب فولادی دارای میراگر که در آزمایشگاه تست شده بود، مورد صحت سنجی قرار داده شد.

در این مطالعه ۱۵ مدل عددی را تحت بار چرخه‌ای شبیه‌سازی قرار گرفته است. نتایج هر یک از این مدل‌ها در قالب نمودارهای هیستریزس و مقادیر هر یک از شاخص‌های سختی اولیه، مقاومت خمشی نهایی و انرژی مستهلک شده بصورت کامل ارائه گردید. با



### مراجع

- [1] Kelly JM, Skinner R, Heine A. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures. *Bulletin of NZ Society for Earthquake Engineering*. 1972; 3 (2): 68-63.
- [2] Skinner R, Verry G. Base isolation for increased earthquake resistance of buildings. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*. 1975; 8(2): 378-386.
- [3] Tasai K, Popov E. Study of seismically resistant eccentrically braced steel frame systems. Report no. UCB/EERC-86/01. *Earthquake Engineering Research Center*; 1986.
- [4] Whittaker A, Bertero V, Thompson C, Alonso J. Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices, *Earthquake Spectra*. 1991; 1(2): 563-604.
- [5] Qiang H, Junfeng J, Zigang Xu, Yulei B, and Nianhua S. Experimental Evaluation of Hysteretic Behavior of Rhombic Steel Plate Dampers. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering*. 2014; 3 (6): 1-25.
- [6] Grigorian M, Carl E, Tzong-Shuoh Y, Popov P. Slotted bolted connection energy dissipators. *Earthquake Spectra*. 1993; 3(9):491-504.
- [7] Clark PI. Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices. *Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices*; 1999.
- [8] Skinner R, Beck J, and Bycroft G. A practical system for isolating structures from earthquake attack. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 1974; 3(3): 297-309.
- [9] Ciampi V. Research and development of passive energy dissipation techniques for civil buildings in Italy. *International Post SMIRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Control of Vibration of Structures*. 1995.
- [10] Khazaei M. Investigation on Dynamics Nonlinear Analysis of Steel Frames with Steel, The 2<sup>nd</sup> International conference on rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering. 2013.
- [11] Bagheri S, Hadidi A, and Alilou A. Heightwise Distribution of Stiffness Ratio for Optimum Seismic. 2011; 14(1): 2891-2898.
- [12] Rais S, Ounis O, Chebili R. Study and Modelling of Dynamic Behaviour of Structures With Energy Dissipation Devices Type ADAS, 2<sup>nd</sup> Turkish Conference on earthquake engineering and Seismology; 2013; Turkey.
- [13] Shamshiri Dareini H, Hosseini Hashemi B. Use of Dual Systems in Tadas Dampers to Improve Seismic Behavior of Buildings in Different Levels. *Procedia Engineering*, 2011; 14 (1): 2788-2795.
- [14] Gray M, Christopoulos G, Packer Ja. Cast steel yielding fuse for concentrically braced frames. In

توجه به خروجی‌های حاصل شده از این مطالعه عددی می‌توان نتایج را به صورت زیر ارائه کرد:

۱. با تغییر پارامتر طول میراگر از ۶۰۰ به ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر، هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت نهایی و انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۱۴۴، ۴۶ و ۱۴۹ درصد افزایش داشته‌اند.
۲. با تغییر پارامتر ضخامت میراگر از ۱۲ به ۲۱ و ۳۰ میلیمتر، هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت نهایی و انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۱۴۷، ۵۲ و ۱۶۰ درصد افزایش داشته‌اند.
۳. با تغییر پارامتر ضخامت بادبند از ۱۲ به ۲۱ و ۳۰ میلیمتر، هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت نهایی و انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۵، ۷ و ۹ درصد افزایش داشته‌اند.
۴. کنترل کننده رفتار چرخه‌ای قاب مورد بررسی در درجه اول تابع نسبت سختی بادبند به سختی میراگر است که اگر این نسبت کمتر از یک باشد عملکرد میراگر ADAS از بین رفته و بادبند دچار مود کماتش کلی می‌گردد و اگر این نسبت بیشتر از یک باشد، میراگر ADAS عملکرد فیوزی دارد و رفتار مطلوبی را از خود نشان می‌دهد.
۶. بیشترین تمرکز تنش و کرنش در محل اتصال ورق‌های فولادی میراگر ADAS بوده است که با افزایش طول میراگر از شدت آن کاسته می‌شود.
۷. در این پژوهش نوع جدیدی از میراگرها با قرار گیری در محل المان قطری معرفی شد. این میراگر از آسیب و کماتش بادبند جلوگیری و استهلاک انرژی توسط میراگر انجام می‌گردد. با این کار بهبود استهلاک انرژی و کاربری مجدد بادبند با تعویض میراگر میسر می‌گردد. از مزایای دل‌پیشنهادی، در نوع قرارگیری صفحات فولادی و نحوه اتصال در مجاورت صفحات گاست پلیت است که براحتی قابل تعویض است.



- Proceedings of the 9<sup>th</sup> US national and 10th Canadian conference on earthquake Engineering. Earthquake Engineering Research Institute and the Canadian Association for Earthquake Engineering Oakland, CA, USA and Ottawa, ON, Canada; 2010.
- [15] Karavasilis T. L, Kerawala S, Hale E. Hysteretic model for steel energy dissipation devices and evaluation of a minimal-damage seismic design approach for steel buildings. *Journal of Constructional Steel Research*. (2012); 70; 358-367.
- [16] Maleki S, Mahjoubi S. Infilled-pipe damper. *Journal of Constructional Steel Research*, 2014; 8(9); 45-58.
- [17] Tsai K, Chen H, Hong P, Su.F. Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction. *Journal of Earthquake Spectra*, 1993 ; 1(2): 505-528.
- [18] Tsai S, Tsai K. TPEA device as seismic damper for high-rise buildings. *Journal of mechanics*. 1995; 121(10):1075-1081.
- [19] Shojaeifar H, Maleki A, Lotfollahi-Yaghin M. Performance Evaluation of Curved-TADAS Damper on Seismic Response of Moment Resisting Steel Frame. *International Journal of Engineering*, 2020; 33 (1): 55-67.
- [20] Zongjing Li, Ganping Shu, Zhen Huang, Development and cyclic testing of an innovative shear-bending combined metallic damper, *Journal of Constructional Steel* 2019; 158 (19): 28-40.

## Investigation of the Performance of a New Model of Rectangular Damper in the Diagonal

Mohsen yousefi

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, zanjan Branch, Islamic Azad University, zanjan, Iran

Yahya nasira\*

Department of Civil Engineering, zanjan Branch, Islamic Azad University, zanjan, Iran

Ali ghamari

Department of Civil Engineering, darehshahr Branch, Islamic Azad University, darehshahr, Iran

Y.nassira@aut.ac.ir

### Abstract

The use of dampers improves the seismic behavior of structures against seismic loads. Metallic yielding dampers include the most effective energy dissipating elements. In this research, a new type of ADAS dampers was introduced by placing it in the location of the diagonal element in order to prevent buckling and energy dissipation to be done by damper. In this contribution, 15 numerical samples were simulated by the ABAQUS software. In order to survey the recommended ADAS damper's cyclic behavior. The cyclic behavior on the steel frames with one span and story was studied and sensitivity of cyclic behavior was studied based on the damper parameters such as thickness, length, geometry and dimension to thickness ratio. Examined damper thicknesses are 12, 21, 30 millimeters, examined damper length are 400, 500, 600 millimeters, the geometry under consideration is a rectangular damper and the thickness of brace was considered 12, 21 and 30 mm. The results of this study represented that this kind of damper had a suitable behavior in the frame energy dissipation and the total stiffness of the steel plates that make up ADAS dampers must be less than the brace stiffness to show acceptable frame performance. If the damper stiffness is more than the brace stiffness, it will cause the brace buckling and plastic joint formation in brace. The amounts of damper thickness and length in the case with less stiffness than the brace ones will result in the plastic joint concentration in damper and optimal performance.

**Keywords:** Damper, Metal Yielding, Absorbing Energy, Shear Yielding. Structural Control, Diagonal brace