

## بهبود رفتار غیرخطی مهاربندهای همگرا با استفاده از یک میراگر جدید شش ضلعی شکل

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: ۹۹/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱

### چکیده

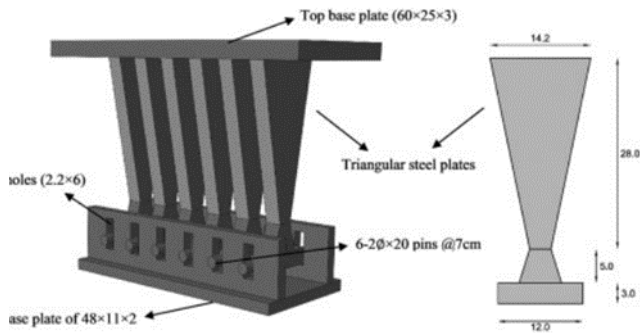
در این مقاله یک میراگر فلزی جاری شونده جدید به نام "میراگر شش ضلعی" معرفی شده است. این میراگر از ورق‌های فولادی ساخته شده و شامل تعدادی پره است که انرژی ورودی را از طریق تسلیم خمشی درون صفحه خود مستهلک می‌کند. این نوع جدیدی از میراگرهای شش ضلعی تسلیمی (HADAS) با قرارگیری در دو طرف المان قطری در ناحیه انتهایی اتصال به پای ستون، از کماتش مهاربند جلوگیری و استهلاک انرژی توسط میراگر انجام می‌شود. برای بررسی عملکرد چرخه‌ای میراگر HADAS پیشنهادی، ۱۵ نمونه عددی توسط نرم‌افزار آباکوس شبیه سازی شده است. مطالعه رفتار چرخه‌ای بر روی قاب فولادی یک دهانه و یک طبقه انجام و حساسیت رفتار چرخه‌ای بر اساس پارامترهای ضخامت، طول و نسبت بعد به ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر، مورد مطالعه قرار گرفته است. ضخامت‌های مورد بررسی میراگر ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر، طول مورد بررسی میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر، هندسه مورد بررسی میراگر شش ضلعی و ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است و مقطع پروفیل مصرفی مهاربند 2UNP160 میباشد. نتایج این مطالعه نشان داد که این نوع میراگر رفتار خوبی در استهلاک انرژی قاب دارد و مجموع سختی صفحات فولادی تشکیل دهنده میراگرهای HADAS، حتماً باید از سختی مهاربند کمتر باشد تا عملکرد قاب قبولی از خود نشان دهند. اگر سختی میراگر از سختی مهاربند بیشتر شود سبب کماتش مهاربند و تشکیل مفصل پلاستیک در مهاربند می‌گردد. مقادیر ضخامت و طول میراگر در حالتی که سختی کمتری را نسبت به سختی مهاربند تشکیل می‌دهند، سبب تمرکز مفصل پلاستیک در میراگر و عملکرد بهینه می‌شوند.

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

## ۱- مقدمه

فلسفه مدرن طراحی سازه‌ها به دنبال استفاده از تجهیزاتی است تا با متمرکز کردن تقاضای شکل‌پذیری در بخش‌های خاصی از سازه، از وقوع تغییرشکل‌های غیرخطی بزرگ در اعضای اصلی جلوگیری به عمل آورد؛ با در نظر گرفتن این رویکرد خسارات سازه‌ای در اجزای قابل تعویض متمرکز شده و هزینه تعمیر و بازسازی سازه‌ها پس از زمین‌لرزه کاهش می‌یابد. در حال حاضر استفاده از سیستم‌های استهلاک انرژی غیرفعال در سازه‌ها به عنوان روشی مؤثر و به نسبت کم‌هزینه برای کاهش خطر زلزله شناخته می‌شود. این استهلاک انرژی می‌تواند بر پایه‌ی سازوکارهای مختلفی صورت پذیرد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییرشکل‌های غیرارتجاعی فلز شکل‌پذیر در میراگرهای فلزی، لغزش اصطکاکی در میراگرهای اصطکاکی، عبور سیال از روزنه‌های باریک در میراگرهای ویسکوز و تغییر شکل مواد ویسکوالاستیک در میراگرهای ویسکوالاستیک اشاره کرد. اولین طرح‌های پژوهشی در زمینه استفاده از میراگرهای فلزی به وسیله‌ی کلی و اسکینر در اوایل دهه ۱۹۷۰ ارائه شد و با پژوهش‌های متنوع و گسترده دیگر پژوهشگران ادامه یافت [۱]. این وسایل به عنوان مستهلک کننده انرژی در سازه‌ها تعبیه شده و با تحمل تغییر شکل‌های خمیری، بخش قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را تلف می‌کنند. هدف اصلی از استفاده این وسایل وقوع خرابی‌ها روی قطعاتی از پیش تعیین شده و قابل تعویض و در پایان سالم ماندن سازه اصلی است. تاکنون میراگرهای فلزی متنوعی با سازوکارهای متفاوت جاری شدن پیشنهاد و بررسی شده است. به صورت کلی این نوع از میراگرها را می‌توان از نظر چگونگی جاری شدن به چهار گروه خمشی، محوری، برشی و پیچشی تقسیم بندی کرد. از معروف ترین میراگرهایی که انرژی ورودی به سازه را با بهره گیری از تغییر شکل های خمشی مستهلک می کنند می توان به میراگرهای ADAS و TADAS اشاره کرد. گرای و همکاران در سال ۲۰۱۰ پژوهشی در زمینه میراگرهای فلزی تسلیم شونده در قابهای مهاربندی انجام دادند. در مطالعه آنها 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 دهنده‌ها نقش اصلی در طراحی دارند. سپس مواد فولادی ریخته گری مورد استفاده برای نمونه اولیه دستگاه مورد بررسی لرزه‌ای قرار گرفت و در نهایت نتایج آزمون آزمایشگاهی رفتار قابل قبولی ارائه داد [۲]. آقای تسای و همکاران در سال ۱۹۹۳ در ژورنال طیف زلزله مقاله ای تحت عنوان طراحی صفحه مثلثی فلزی جاذب انرژی برای مقاوم سازی منتشر کردند که در طی آن صفحات مثلثی شکلی را که برای شکل پذیر کردن مهاربند شورن از آن استفاده شده، معرفی کردند. المان معرفی شده که TADAS نامیده می‌شود که در شکل (۱) نمایش داده شده است، از تعدادی صفحه فولادی مثلثی شکل تشکیل شده است که از قسمت قاعده بر روی یک صفحه فولادی که بر روی آن شیارهایی جهت قرار گرفتن صفحات فولادی در داخل آنها ایجاد شده، قرار گرفته و جوش شده اند و از قسمت راس درون پروفیل ناودانی شکلی قرار گرفته و توسط بولتهای خاصی در محل خود بسته می شود. المان‌های TADAS متعددی مورد آزمایش قرار گرفتند که ضخامت و ارتفاع نمونه‌ها با هم متفاوت بود. نتایج بدست آمده از آزمایشات و آنالیزها بر روی این المان گویای این مطلب می‌باشند که سختی الاستیک

و مقاومت نهایی سیستم TADAS را با دقت می‌توان پیش‌بینی کرد. ظرفیت دورانی سیستم TADAS جوش شده بیش از ۰/۲۵ رادیان می‌باشد. پاسخ لرزه‌ای قاب دارای سیستم TADAS بخوبی می‌تواند کنترل شود و به وسیله آنالیز غیر خطی سازه اصلی، بادقت می‌توان پیش‌بینی کرد [۳]. اغلب المان‌های فولادی استفاده شده جهت مقاوم‌سازی لرزه‌ای از نوع x و یا مثلثی و از جنس فولاد بوده‌اند، تا میرایی و سختی منطبق با مهاربند مورد نظر برای نصب را افزایش دهند. استهلاک انرژی در این المان‌ها بسیار خوب است با این وجود مشکلات در این دو نوع المان فولادی مقاوم در برابر زلزله وجود دارد. در المان‌های مثلثی یا x شکل، در جهت قرارگیری صفحات نیز با هم متفاوت هستند. تسلیم به صورت یکنواخت در مقطع عرضی فلزی پخش می‌شود. نمونه‌ای از میراگر تسلیمی رایج مثلثی که مورد بررسی عددی غفاری و همکاران و در پژوهشی دیگر مورد بررسی محمدی و همکاران قرار گرفت. مدل x شکل که در شکل (۲) نمایش داده شده است رفتار بسیار منظمی در طی بارهای تناوبی دارد. این میراگرها در فرم هم محور بر روی پاشنه بابدند قرار می‌گیرند و به تیر بالا متصل می‌شوند [۴-۵]. دستگاه دیگر، میراگر استهلاکی متشکل از یک لوله سربی کوتاه که برای تغییر شکل در برش بارگذاری شده است و توسط تیلور و همکاران [۶] در سال ۱۹۹۵ ساخته شده است. سیستم‌های مهاربندی فولادی استهلاکی ساخته شده از میله‌های فلزی گرد برای ساختار مهاربندی در نیوزیلند توسعه یافته است. در این دستگاه انرژی با تغییر شکل غیرکشش قاب فولادی مستطیلی در جهت مورب مهاربند کشیده می‌شود. مالکی و محجوبی [۷] در سال ۲۰۱۴ پژوهشی در زمینه دمپر لوله‌ای توپر انجام دادند. در این مطالعه یک دستگاه کنترل غیرفعال جدید برای محافظت از سازه‌ها 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 لوله‌ها با فلزاتی مانند سرب یا روی پر شده است. این دستگاه در برش بارگذاری می‌شود و از پلاستیک شدن لوله‌های خارجی، لوله‌های داخلی و فلزات پر شده و اصطکاک بین فلزات به عنوان مکانیسم جذب انرژی بهره می‌برد. آزمایشات چرخه‌ای نیمه استاتیکی در شش نمونه انجام می‌شود که همگی نمودار هیستریزس پایدار و میرایی زیاد را نشان دادند. یک مدل اجزای محدود در برابر نتایج آزمون ساخته و کالیبره شده است. از این مدل برای یافتن اندازه‌های مطلوب لوله‌های مورد نیاز برای پاسخ بهتر هیستریزس استفاده می‌شود. برای پیش‌بینی عملکرد لرزه‌ای برای پارامترهای اصلی دمپر معادلاتی ارائه شده است. لی و همکاران در سال ۲۰۱۵ پژوهشی در زمینه میراگرهای نواری فولادی غیر یکنواخت تحت بارهای چرخه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند [۸]. در این مطالعه عملکرد چرخه‌ای دمپرهای نواری فولادی غیر یکنواخت را توصیف می‌کند. اشکال پیشنهادی عبارتند از: الف) نواری به شکل دمبل، ب) نوار مخروطی و ج) نواری به شکل ساعت شنی. هر یک از این اشکال نواری برای کاهش تمرکز تنش هنگام قرار گرفتن در معرض بارهای چرخه‌ای طراحی شده است. به منظور ارزیابی عملکرد میراگرها، شش نمونه از نظر چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفتند. آسیب تجمعی ناشی از حرکت هیستریزس به طور مؤثر در کل ارتفاع نوارها توزیع شد و ریزساختارهای SEM از سطوح شکستگی نشان‌دهنده یک حالت خرابی شکل‌پذیری معمولی است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که میراگرهای نواری پیشنهادی عملکرد لرزه‌ای عالی را در مقایسه با میراگرهای شکاف منشوری معمولی نشان می‌دهند. علاوه بر این، تأیید شد که می‌توان با استفاده از



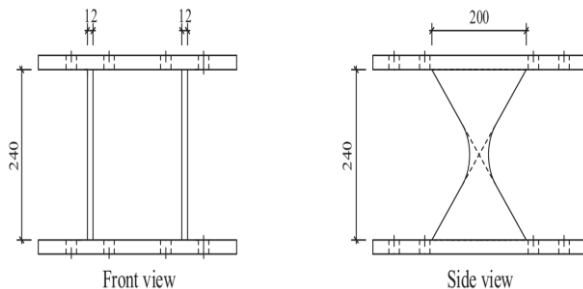
شکل ۱- میراگر تسلیمی مثلثی شکل (TADAS) مورد مطالعه تسای و همکاران [۲]



شکل ۲- میراگر تسلیمی X- شکل (ADAS) [۴]

## ۲- صحت سنجی

برای کنترل و صحت رفتار چرخه‌ای میراگر HADAS از مقایسه نتایج مدل اجزای محدود و آزمایشگاهی دو مقاله استفاده شده است. مدل اجزای محدود 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 [۱۳]. 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 (۳) نشان داده شده است. جنس مصالح فولادی مصرفی در این دمپر از نوع LYP 160 بود 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 نمونه‌ها بصورت چرخه ای اعمال گردید که در شکل (۴) و سیستم مورد آزمایش و شرایط مرزی این میراگر در شکل (۵) نشان داده شده است.

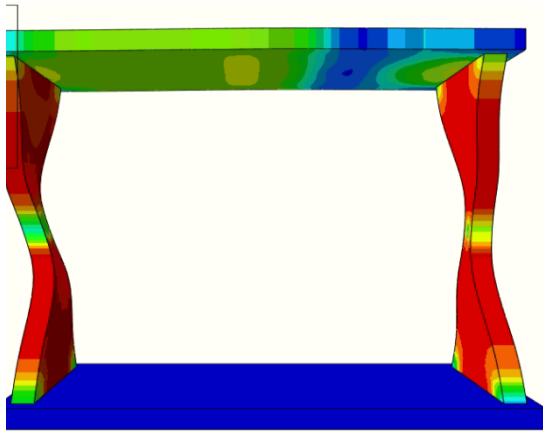


شکل ۳- ابعاد میراگر XADAS در مطالعه آزمایشگاهی لی و همکاران

معادلات طراحی ارائه شده در مطالعه، عملکرد سازه‌ای را به درستی تخمین زد. ساهو و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی رفتار چرخه‌ای برشی و خمشی میراگرهای فلزی پرداختند [۹]. پتانسیل اتلاف انرژی یک میراگر فلزی تا حد زیادی به پاسخ هیستریزس حاصل از تغییر شکل غیرالاستیک صفحات تحت بارگذاری محوری یا خمشی یا برشی بستگی دارد. در این مطالعه، یک دستگاه اتلاف انرژی غیرفعال متشکل از یک سری صفحات فولادی که قادر به عملکرد در هر دو حالت خمش و برش هستند، به طور آزمایشگاهی تحت بارگذاری چرخه ای بررسی شده است. دو صفحه انتهایی با پیکربندی X تحت عملکرد خمشی بررسی شد، در حالی که یک صفحه وب مستطیل شکل دستگاه اجازه دارد انرژی را از طریق استهلاک برشی اتلاف کند. سه دستگاه میرایی بازده برشی و خمشی با تغییر اندازه هر دو صفحه خمشی و برشی مورد مطالعه قرار گرفت. پارامترهای اصلی بررسی شده ظرفیت بار، تنش پسماند، اتلاف انرژی، میرایی ویسکوز معادل و شکل پذیری است. تجزیه و تحلیل عناصر محدود برای پیش بینی مقاومت نهایی و پاسخ هیستریزس نمونه آزمایش انجام شده است. نتایج پیش بینی شده به طور منطقی با نتایج آزمون مطابقت دارد. سرانجام، یک روش طراحی برای متناسب کردن صفحات خمشی و برشی میراگرهای پیشنهادی برای تخمین بار جانبی ارائه شده است. علاوه بر این دست پژوهش‌ها، برخی پژوهشگران نیز سعی کرده اند تا هندسه بهینه ای برای بازشوهای این میراگرها پیشنهاد نمایند که از بین آنها می توان مطالعات قبریایی و همکارانش [۱۰] را نام برد. مزایای این میراگرها به افزایش شکل پذیری و میرایی و کاهش تغییر مکان سازه، تمرکز خسارت در میراگرها طی استهلاک انرژی در آن‌ها و باقی ماندن سایر اعضای سازه غالباً در محدوده خطی، اطمینان بالا از کارکرد درست میراگر به دلیل وجود رویه کنترل کیفیت ساخت نسبت به اجزا و قطعات معمول سازه، چرخه پسماند پایدار بدون افت در سختی و مقاومت طی بارگذاری چرخه‌ای، عدم نیاز به نگهداری و بازدید، سهولت تعویض دستگاه میراگر پس از خسارت ناشی از زلزله، درجات نامعینی بالا به علت تعداد ورق‌ها در هر میراگر اشاره شده است. تسای و همکاران [۱۱] آزمایش‌ها و شبیه سازی‌های عددی را روی میراگر TADAS در دانشگاه ملی تایوان انجام دادند. آنها متوجه شدند که سختی میراگر در تغییر مکان‌های بزرگ در سیکل‌های پایانی به ناگهان افزایش می یابد. این افزایش ناگهانی سختی میراگر به دلیل برخورد ورق های مجاور در تغییر شکل‌های بزرگ گزارش شد. به منظور بهبود عملکرد میراگر TADAS و جلوگیری از برخورد ورق‌ها در تغییر شکل‌های بزرگ پیشنهاد کردند که بدون نیاز به افزایش فاصله ورق‌ها، از یک میله غلتکی (پین) که مستقیماً به انتهای ورق جوش می‌شود، استفاده شود. مالکی و همکاران [۱۲] به مطالعه درباره عملکرد میراگرهای ترکیبی منحنی و میراگرهای مثلثی 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 میلیمتر)، ضخامت دمپر TADAS (۵ و ۱۰ میلیمتر) و تعداد میراگرهای TADAS (۲، ۴ و ۶) می‌باشند. نتایج حاصل نشان داد میراگرهای ترکیبی منحنی و TADAS انرژی ورودی لرزه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهند و از خرابی سازه جلوگیری می‌کنند. عملکرد این دمپر‌ها به گونه‌ای می‌باشد که با تغییر شکل‌های ویژه منجر به استهلاک و جذب انرژی مقدار زیادی انرژی ورودی زلزله به سازه می‌شوند.

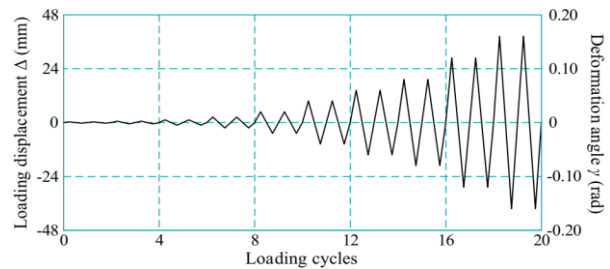
جدول ۱- میزان اختلاف نسبی بین مدل آزمایشگاهی و عددی XADAS

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

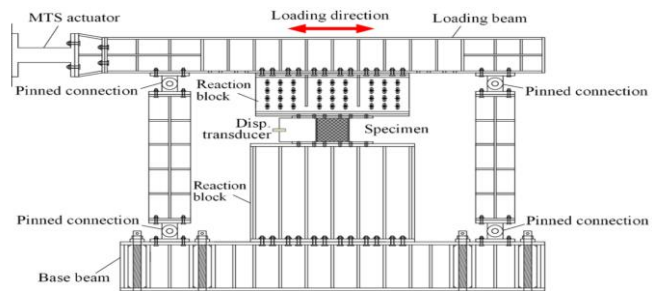


شکل ۷- هندسه تغییر شکل یافته در نمونه عددی و مدل صحت سنجی

برای کنترل و اطمینان بیشتر از صحت نتایج، نمودار هیستریزس نمونه آزمایشگاهی زهرایی با نمودار هیستریزس گرفته شده از نرم‌افزار با هم مقایسه شد [۱۴]. در این پژوهش تیر پیوند قائم در قاب یک دهانه و یک طبقه تحت بار چرخه ای مورد تست قرار گرفت. تیر پیوند قائم یکی از موثرترین و در عین حال ساده ترین روش های کنترل غیر فعال برای کاهش ارتعاشات ناشی از زلزله است. پانل برشی به صورت قائم بین گره دو مهار بند شورون و بال تیر کف نصب می‌شود و با جاری شدن برشی جان آن، انرژی زلزله مستهلک می‌شود و سایر عناصر سازه الاستیک باقی می‌مانند. قطعات نیمرخ‌های IPE و یا IPB می‌توانند به عنوان پانل برشی در قاب مهاربندی شورون مورد استفاده قرار گیرند که در شکل (۸) نشان داده شده است. پانل برشی به سهولت قابل تعویض است و می‌تواند به عنوان عضوی یک بار مصرف در نظر گرفته شود؛ بنابراین می‌توان تنها با تعویض قطعه پانل برشی دوباره از سازه استفاده کرد که بیانگر به صرفه بودن استفاده از این

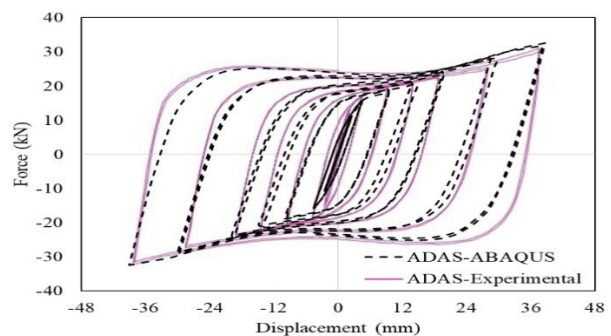


شکل ۴- پروتکل بارگذاری اعمال شده به میراگر XADA بر اساس مطالعه آزمایشگاهی لی و همکاران

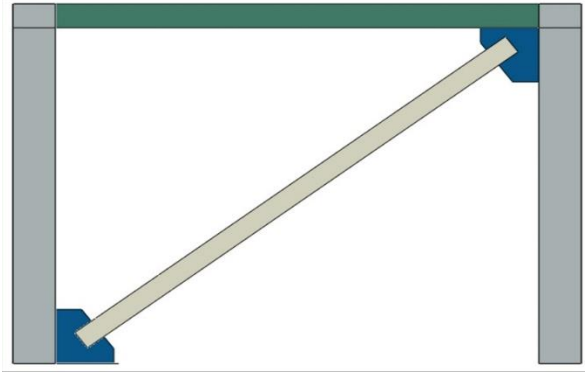


شکل ۵- موقعیت نمونه آزمایشگاهی و شرایط مرزی و محل اعمال بار چرخه‌ای

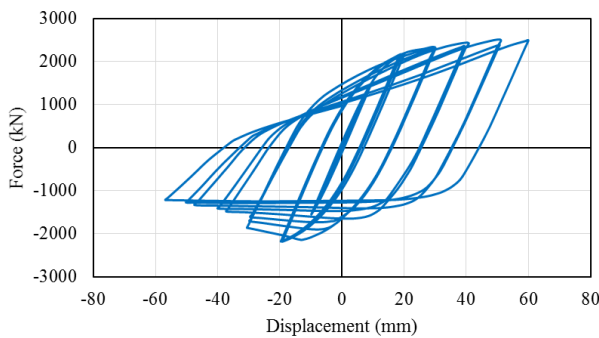
همانطوریکه در شکل (۶) مشاهده می‌شود دو منحنی به طور کامل بر هم انطباق نداشته و مقداری اختلاف بین آنها وجود دارد. با توجه به رفتاری که نمونه شبیه‌سازی از خودش نشان داده و رفتار نمونه در آزمایشگاه، می‌توان این اختلاف را به اعمالی که روی قطعات در آزمایشگاه انجام می‌دهند (از قبیل سوراخکاری، جوشکاری، خروج 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 می‌توان از نتایج عددی این نرم‌افزار در مطالعه میراگر XADAS استفاده نمود. در شکل (۷) هندسه تغییر شکل یافته در نمونه عددی و مدل صحت سنجی آورده شده است که هندسه تغییر شکل یافته در ورق‌های X شکل یکسان و رفتار غیرخطی هندسی یکسانی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مشاهده شده است.



شکل ۶- منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی لی و همکاران و نمونه عددی XADAS



شکل ۹- هندسه کلی قاب بدون میراگر

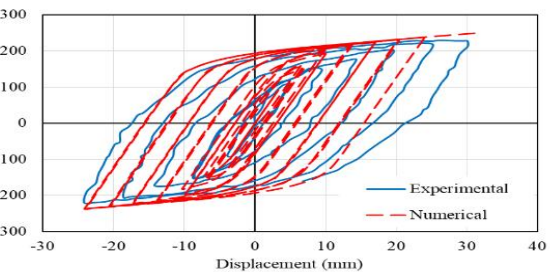
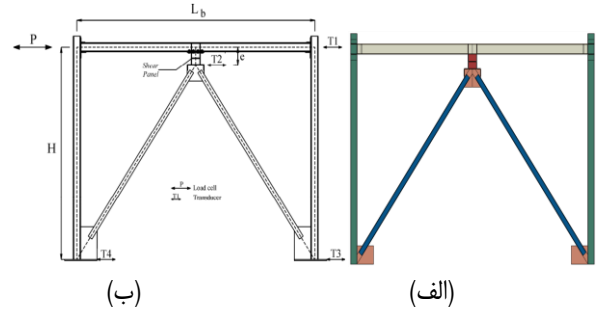


شکل ۱۰- نمودار هیستریزس قاب با مهاربند همگرایی قطری

#### ۴- معرفی میراگر پیشنهادی

در این پژوهش میراگر HADAS مورد بررسی در یک قاب یک طبقه و یک دهانه که در شکل (۱۱) 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 شش ضلعی انتخاب گردید که در شکل (۱۱) 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 میراگر، طول میراگر و نسبت بعد به ضخامت مقطع المان متصل مهاربند می‌باشد. هندسه میراگرهای ارزیابی شده بصورت شش ضلعی، ضخامت صفحات میراگر ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر، طول میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر و ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر 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 میراگرها در اسم آنها گنجانده شده است تا در حالت مقایسه نتایج پارامتر متغییر قابل تشخیص باشد. در ادامه در شکل (۱۲) نمونه‌ای از هندسه قاب شبکه بندی شده در نرم افزار نشان داده شده است. نوع المان‌های انتخاب شده در این بررسی S4R که به معنی المان شل دارای ۴ گره و انتگرال گیری

قطعات برای بهسازی ساختمان‌های موجود در برابر زلزله است. همان طور که از شکل (ج) پیداست نمودار به دست آمده از نرم‌افزار با نمودار آزمایشگاهی مطابقت بسیار خوبی دارد. باید توجه داشت میزان اندک اختلاف دیده شده در نتیجه، به علت تفاوت شرایط در محیط آزمایشگاهی و مدل عددی در نرم افزار می‌باشد. در نهایت نتایج مقایسه شده در دو نمونه با هم همخوانی داشته و می‌توان به صحت نتایج ارائه شده اطمینان حاصل کرد.



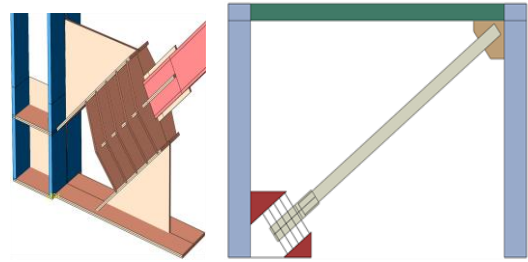
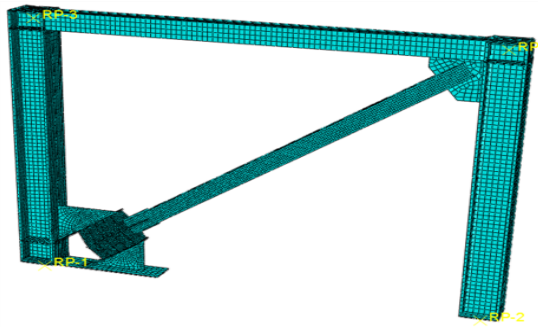
(ج)

شکل ۸- مدل صحت سنجی، الف) هندسه قاب صحت سنجی در آبکوس، ب) هندسه قاب صحت سنجی در آزمایشگاه، ج) مقایسه نمودار هیستریزس عددی و آزمایشگاه

#### ۳- بررسی عملکرد قاب بدون میراگر

نمای کلی قاب بدون میراگر در شکل (۹) آورده شده است. پس از بررسی نمودار هیستریزس مهاربند همگرایی قطری، حاکی از رفتار نامطلوب و غیرشکل پذیر مهاربند قطری داشته و افت مقاومت و کاهش محسوس سختی قاب پس از کماتش عضو فشاری در شکل (۱۰) قابل مشاهده است. لذا جهت بهبود رفتار این مهاربند در این مقاله، به معرفی یک نوع میراگر پیشنهادی جدید با قرار گیری در انتهای عضو مهاربندی خواهیم پرداخت.

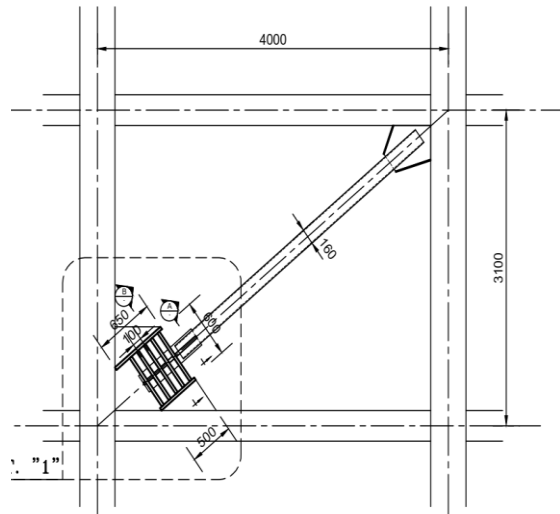
کاهش یافته است و سازه شبکه مورد بررسی برای اعضای تیر و ستون ۴۰ و برای مهاربند و میراگر ۲۰ میلیمتر انتخاب شده است.



شکل ۱۲- قاب شبکه بندی شده دارای میراگر HADAS

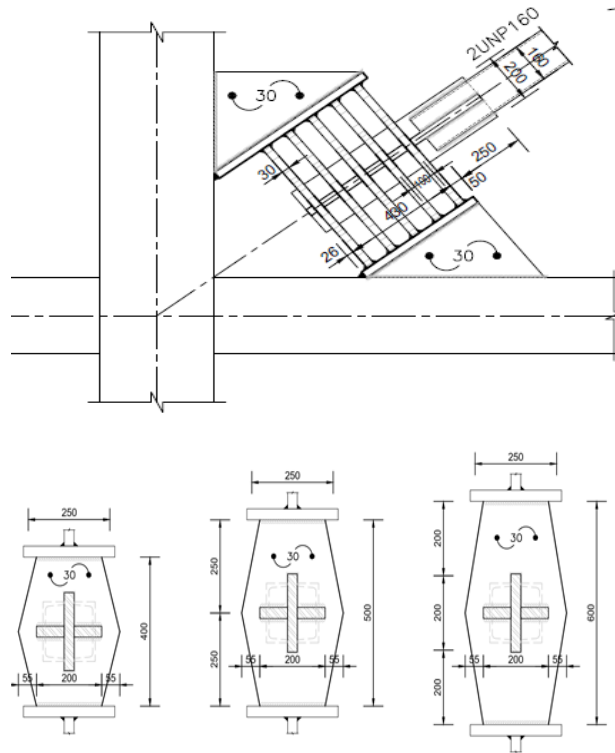
جدول ۲- مشخصات مدل‌های المان محدود

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



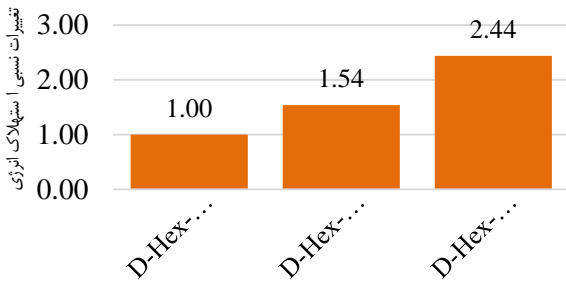
### ۵- بررسی تاثیر پارامتر ضخامت میراگر

در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۳) نمودار هیستریزیس مدل‌های قاب با میراگر به ضخامت ۱۲ میلیمتر، المان اتصال مهاربند به میراگر با ضخامت ۱۲ میلیمتر و برای سه طول میراگر 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 هیستریزیس است. برای محاسبه شاخص سختی از شیب نمودار هیستریزیس 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 هیستریزیس 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 مهاربند به پارامتر طول میراگر با ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها ارزیابی گردید. برای تعیین میزان حساسیت شاخص‌ها به پارامتر طول میراگر 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.



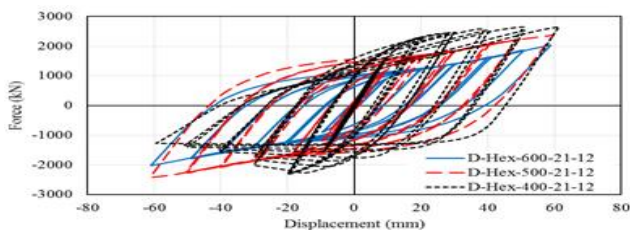
شکل ۱۱- هندسه کلی قاب (سازه مهاربندها و مقطع پروفیل‌های مصرفی) مورد

بررسی به همراه هندسه میراگرهای HADAS پیشنهادی



شکل ۱۴- نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها (سختی، مقاومت، استهلاک انرژی)

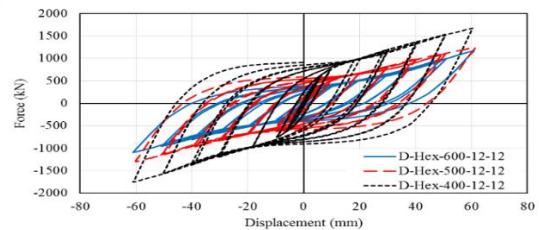
در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۵) نمودار هیستریزیس مدل‌های قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلی‌متر، المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۱۲ میلی‌متر و برای سه طول میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر ارائه شده است. برای ضخامت میراگر ۲۱ میلی‌متر در گروه میراگرها با نام‌های D-Hex-600-21-12، D-Hex-500-21-12 و D-Hex-400-21-12 نمونه D-Hex-600-21-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Hex-500-21-12 و D-Hex-400-21-12 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱/۳۰ و ۱/۶۳ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۳۰ و ۶۳ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول میراگر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۱۶ و ۳۰ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۶ و ۴۳ درصد حاصل شده است. در ادامه تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت میراگر ۲۱ میلی‌متر در شکل (۱۶) 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-Hex-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 میراگر فولادی و عملکرد خوب ابعاد این میراگر نسبت به ابعاد مهاربند است. زیرا در کشش و فشار سختی مهاربند از سختی مجموع صفحات فولادی میراگر بیشتر است و سبب استهلاک انرژی بیشتر می‌شود. اما در نمونه نام برده به دلیل افزایش سختی صفحات میراگر 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 میراگر فولادی عملکرد صحیحی از خود به نمایش گذارد.



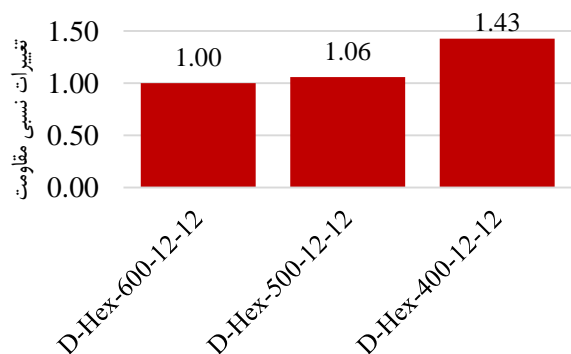
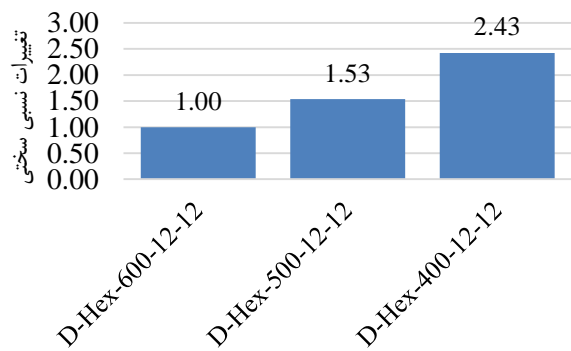
شکل ۱۵- نمودار هیستریزیس مدل‌های قاب با میراگر

## فصلنامه آنالیز سازه- زلزله

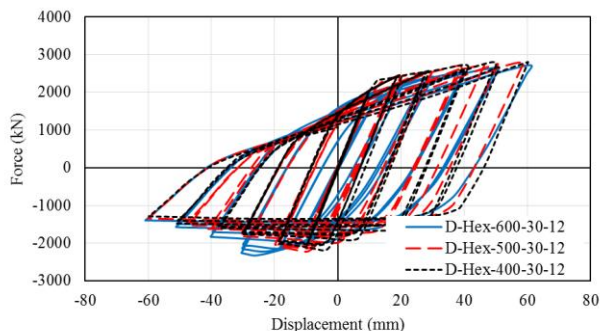
با این کار تغییرات نسبی در هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی در نمونه شاهد یک و میزان این تغییرات در دو نمونه دیگر نسبت به آن تعیین شده است. پس در هر گروه سه تایی از مدل‌ها، مدلی که مقدار تغییرات نسبی سختی، تغییرات نسبی مقاومت و تغییرات نسبی انرژی در آن عدد یک است نمونه شاهد می‌باشد. بعنوان مثال در گروه میراگرها با هندسه شش ضلعی با نام‌های D-Hex-600-12-12، D-Hex-500-12-12 و D-Hex-400-12-12 نمونه 400-12-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Hex-500-12-12 و D-Hex-400-12-12 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱،۵۳ و ۲،۴۳ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۵۳ و ۱۴۳ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول میراگر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۶۰ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۵۴ و ۱۴۴ درصد حاصل شده است. در ادامه برای ملموس بودن تغییرات شاخص‌ها در شکل (۱۴) نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. این روند محاسبه برای تمامی نمونه‌ها تا انتهای کار یکسان است.



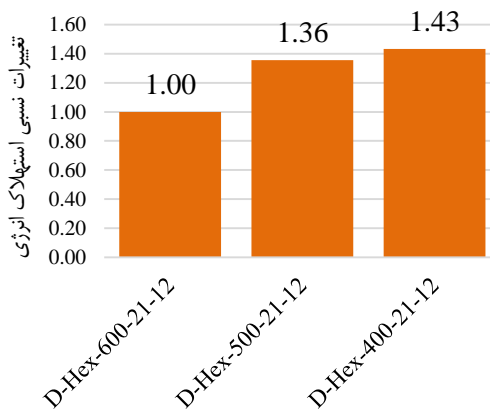
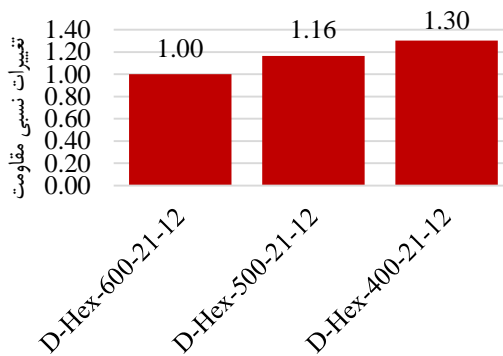
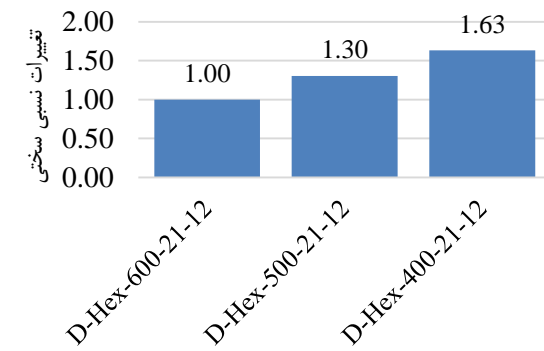
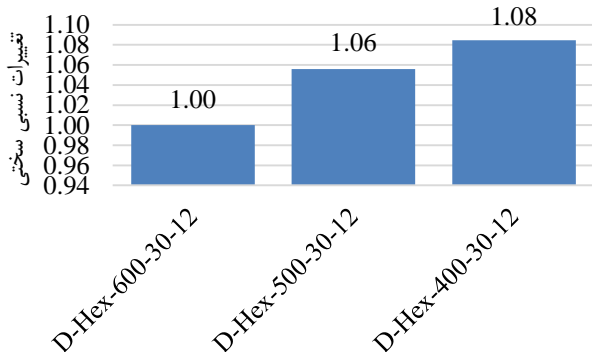
شکل ۱۳- نمودار هیستریزیس مدل‌های قاب با میراگر



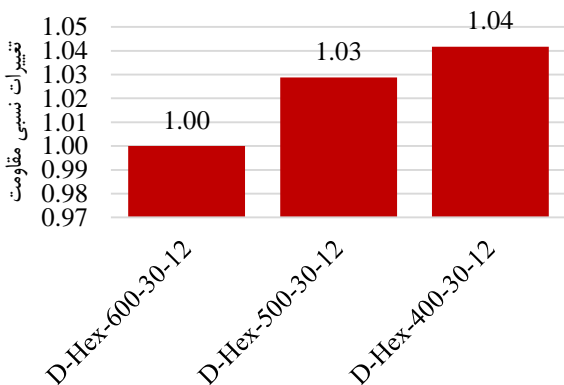
مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۳ و ۴ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۴ و ۵ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه شش ضلعی مقدار تغییرات شاخص‌ها زیر ۱۰ درصد است که نسبت به نتایج حاصل شده در دو گروه قبلی کاهش زیادی داشته است. با توجه به نمودارهای هیستریزس حاصل شده و مشاهده نامتقارنی در ۳ نمونه این مورد بررسی در این بخش، می‌توان دریافت که میراگرهای فولادی در رفتار چرخه‌ای عملکرد خود را از دست داده‌اند و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای مهاربندی است. این نامتقارنی در نمودار هیستریزس به دلیل افزایش سختی صفحات میراگرهای فولادی نسبت به سختی مهاربند است که سبب رخ دادن کمانش در مهاربند در بار فشاری و از چرخه خارج شدن آن است.



شکل ۱۷- نمودار هیستریزس مدل‌های قاب با میراگر

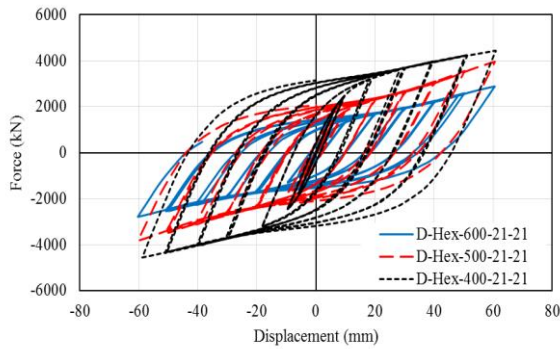


شکل ۱۶- نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها (سختی، مقاومت، استهلاك انرژی)

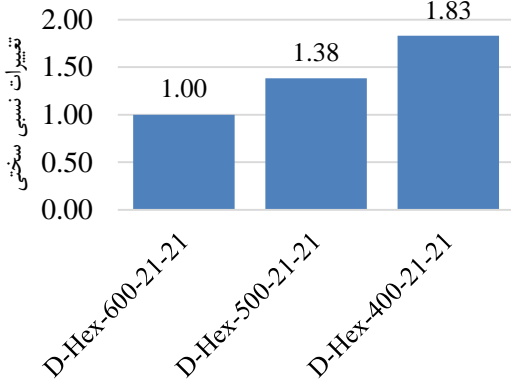


در این بخش نتایج نمودار هیستریزس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت میراگر (۳۰ میلی‌متر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۷) نمودار هیستریزس مدل‌های قاب با میراگر به ضخامت ۳۰ میلی‌متر، المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۱۲ میلی‌متر و برای سه طول میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر ارائه شده است. در ادامه تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت میراگر ۲۱ میلی‌متر در شکل (۱۸) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت میراگر ۳۰ میلی‌متر در گروه میراگرها با هندسه شش ضلعی با نام‌های D-Hex-500-30-12، D-Hex-600-30-12 و D-Hex-400-30-12 نمونه D-Hex-600-30-12 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه ترتیب ۱/۰۶ و ۱/۰۸ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۶/۰۸ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول میراگر است. تغییرات نسبی





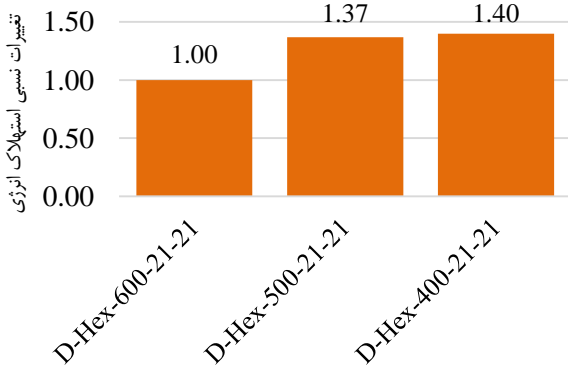
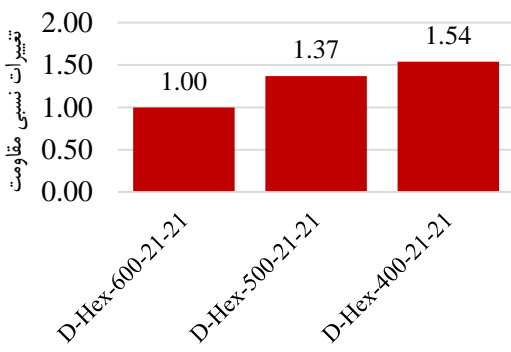
شکل ۱۹- نمودار هیستریزس مدل های قاب با میراگر



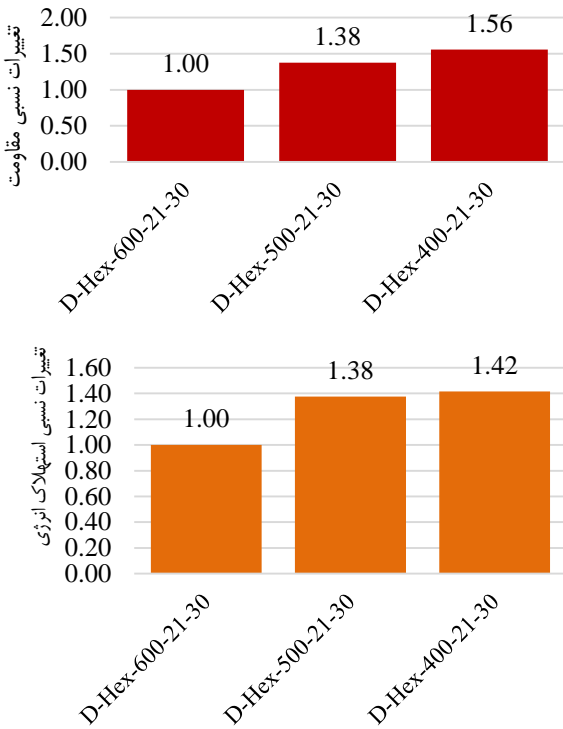
شکل ۱۸- نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها (سختی، مقاومت، استهلاک انرژی)

### ۶- بررسی تاثیر پارامتر ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر

در این بخش نتایج نمودار هیستریزس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر (از ۱۲ به ۲۱ میلیمتر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۰) سه نمودار ترسیم شده است. در هر یک از نمودارهای مربوط به هندسه شش ضلعی، نتایج نمودار هیستریزس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر و برای سه طول میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت میراگر ۲۱ میلیمتر و مهاربند به ضخامت ۲۱ میلیمتر در شکل (۱۱) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت مهاربند و میراگر ۲۱ میلیمتر در گروه میراگرها با هندسه شش ضلعی با نام‌های D-Hex-600-21-21، D-Hex-500-21-21 و D-Hex-400-21-21 نمونه D-Hex-600-21-21 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Hex-500-21-21 و D-Hex-400-21-21 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۸۳ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۳۸ و ۸۳ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول میراگر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۳۷ و ۵۴ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۷ و ۴۰ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه شش ضلعی بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی ۸۳، ۵۴ و ۴۰ درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزس در ۳ نمونه مورد بررسی متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای میراگر فولادی است.



شکل ۲۰- نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها (سختی، مقاومت، استهلاک انرژی)

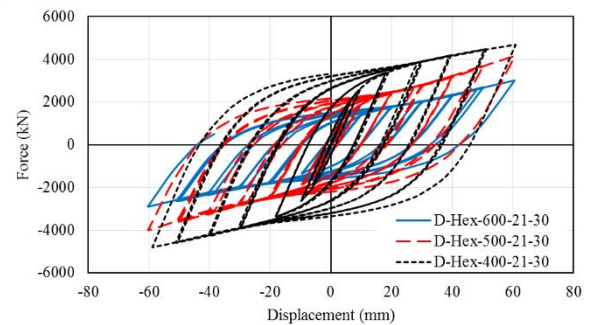


شکل ۲۲- قاب به ضخامت میراگر ۲۱ میلیمتر و مهاربند به ضخامت ۳۰ میلیمتر

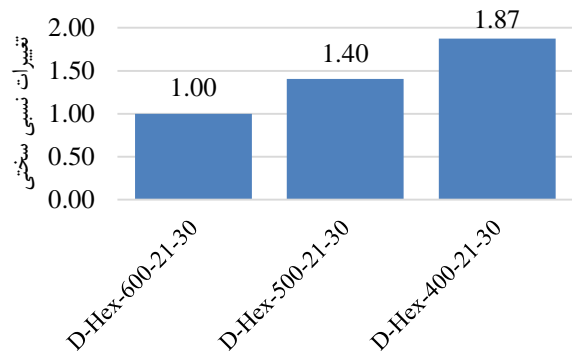
## ۷-تاثیر پارامتر نسبت بعد به ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر

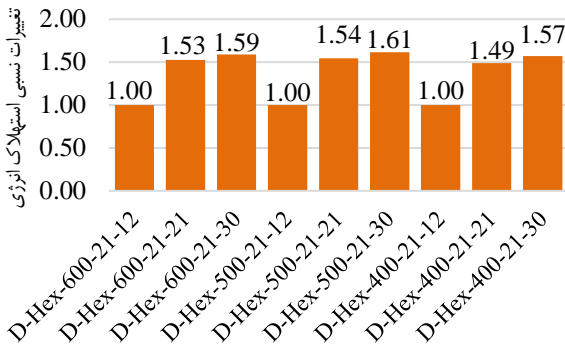
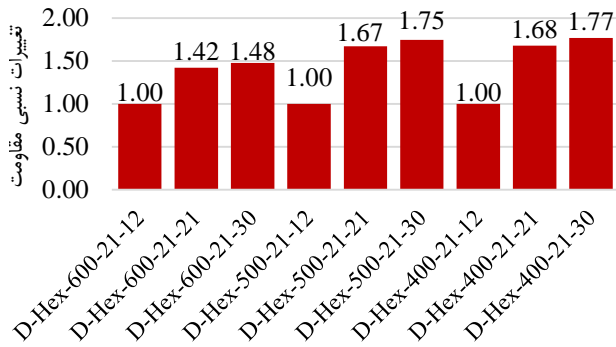
در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر نسبت بعد به ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر ترسیم و مقایسه شده است. برای این بررسی بدلیل وابستگی نسبت بعد به ضخامت، به ضخامت المان متصل به مهاربند، فقط تغییرات در ضخامت المان متصل به مهاربند انجام شده است. در شکل (۱۴) سه نمودار ترسیم شده است که هر نمودار مربوط به طول میراگر ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر می‌باشد. در هر یک از نمودارهای مربوط به طول ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر و برای هندسه شش ضلعی ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب برای ضخامت میراگر ۲۱ میلیمتر و المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۱۲، ۲۱ و ۳۰ میلیمتر در شکل (۱۵) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت مهاربند ۲۱ و میراگر ۱۲ میلیمتر در گروه میراگرهای شش ضلعی با طول ۴۰۰ میلیمتر با نام‌های D-Hex-400-21-30، D-Hex-400-21-12 و D-Hex-400-21-12 نمونه بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Hex-400-21-30 و D-Hex-400-21-21 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱/۷۷ و ۱/۸۷ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۷۷ و ۸۷ درصدی سختی با تغییر ضخامت مهاربند با طول میراگر ۴۰۰ میلیمتر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۶۸ و ۷۷ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۴۹ و ۵۷ درصد حاصل شده است. همچنین در دو طول ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی ۷۵، ۷۵ و ۶۱

در این بخش نتایج نمودار هیستریزیس بر اساس تغییر پارامتر ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر (از ۲۱ به ۳۰ میلیمتر) ترسیم و مقایسه شده است. در شکل (۱۲) یک نمودار ترسیم شده است که مربوط به هندسه شش ضلعی می‌باشد. در هر یک از نمودارها، نتایج نمودار هیستریزیس مربوط به سه مدل از قاب با میراگر به ضخامت ۲۱ میلیمتر، المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۳۰ میلیمتر و برای سه طول میراگر ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر ارائه شده است. همچنین تغییرات شاخص‌های قاب به ضخامت میراگر ۲۱ میلیمتر و مهاربند به ضخامت ۳۰ میلیمتر در شکل (۱۳) بصورت نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها ترسیم شده است. برای ضخامت مهاربند ۳۰ و میراگر ۲۱ میلیمتر در گروه میراگر با هندسه شش ضلعی، با نام‌های D-Hex-600-21-30، D-Hex-500-21-30 و D-Hex-400-21-30 بعنوان نمونه پایه انتخاب شده است که میزان تغییرات در آن یک است. در دو نمونه دیگر این گروه D-Hex-500-21-30 و D-Hex-400-21-30 میزان تغییرات سختی به ترتیب ۱/۴۰ و ۱/۸۷ حاصل شده است که نشان دهنده افزایش ۴۰ و ۸۷ درصدی سختی با کاهش ۱۶/۶۶ و ۳۳/۳۳ درصدی طول میراگر است. تغییرات نسبی مربوط به مقاومت در این دو نمونه نیز به ترتیب ۳۸ و ۵۶ درصد و تغییرات نسبی مربوط به شاخص انرژی مستهلک شده نیز به ترتیب ۳۸ و ۴۲ درصد حاصل شده است. همچنین در هندسه شش ضلعی بیشترین مقدار تغییرات شاخص‌های سختی، مقاومت و انرژی ۸۷، ۵۶ و ۴۲ درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزیس در ۳ نمونه مورد بررسی متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای میراگر فولادی است زیرا با افزایش ضخامت مهاربند، سختی این عضو افزایش یافته و میراگر فولادی که دارای سختی کمتری است باعث استهلاک انرژی در این حالت می‌گردد.



شکل ۲۱- نمودار هیستریزیس مدل های قاب با میراگر





شکل ۲۴- نمودار میله‌ای تغییرات نسبی شاخص‌ها (سختی، مقاومت، استهلاک انرژی)

(انرژی)

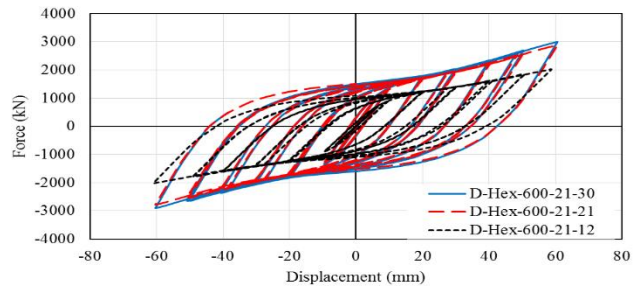
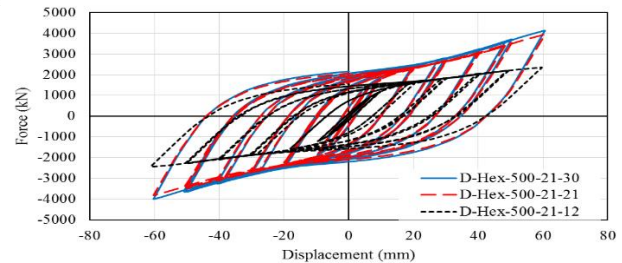
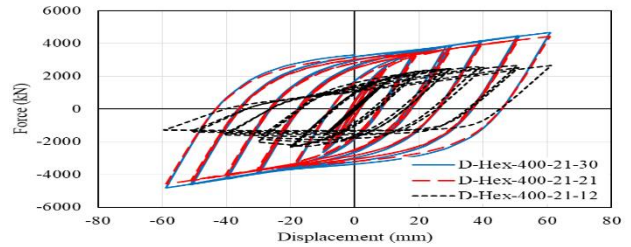
### ۸- بررسی توزیع تنش‌ها، کرنش‌های اصلی و نحوه

#### تسلیم میراگرها

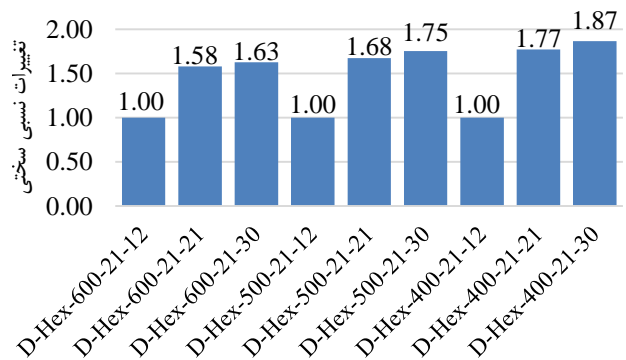
در این قسمت به بررسی توزیع تنش‌ها، کرنش‌های اصلی و نحوه تسلیم میراگرها بر اساس خروجی‌های کرنش تجمعی (PEEQ)، تنش فون میسز (S Mises) و المان‌های تسلیم شده (AC Yeild) پرداخته شده است. یکی از شاخص‌های نشان دهنده تسلیم شدگی فعال در المان‌ها در نرم‌افزار آباکوس خروجی AC Yeild است. این نتایج برای میراگر و المان اتصال مهاربند به میراگر به ضخامت ۱۲ میلیمتر و طول‌های ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلیمتر و هندسه شش ضلعی و در موقعیتی که در شکل ۱۶ نشان داده شده، ارائه شده است. در شکل ۱۷، توزیع کانتور گرافیکی کرنش تجمعی در انتهای بارگذاری و در شکل ۱۸، توزیع تنش فون میسز در انتهای بارگذاری و در شکل ۱۹، نحوه تسلیم میراگرها در انتهای بارگذاری نشان داده شده است. نتایج کرنش تجمعی، تنش فون میسز و المان‌های تسلیم شده نشان می‌دهد با افزایش طول میراگر پیوستگی تنش بیشتر و از تمرکز تنش جلوگیری می‌گردد.

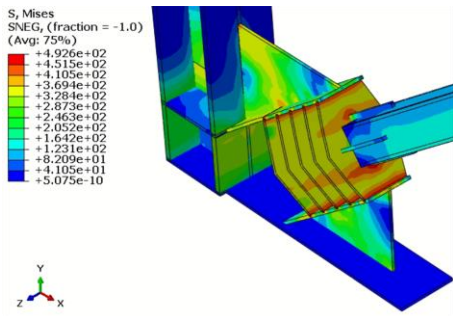
### فصلنامه آنالیز سازه- زلزله

درصد است. در این بخش رفتار نمودارهای هیستریزس در ۳ نمونه مورد بررسی دارای طول میراگر ۶۰۰ و ۵۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر متقارن و کنترل کننده رفتار قاب، اعضای میراگر فولادی است و فقط در نمونه D-Hex-400-21-12 کنترل کننده رفتار چرخه‌ای مهاربند 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.

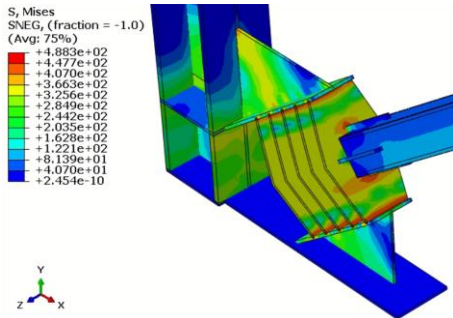


شکل ۲۳- نمودار هیستریزس مدل‌های قاب با میراگر

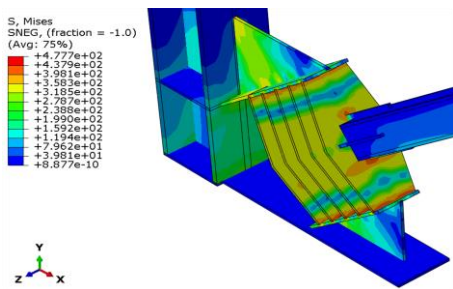




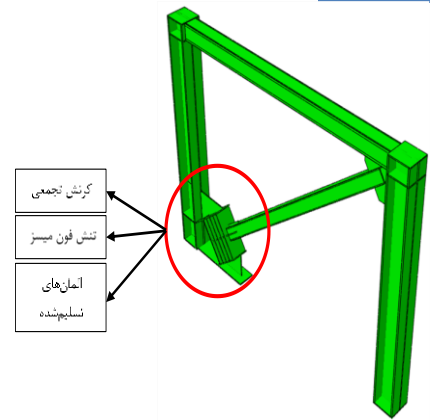
(الف)



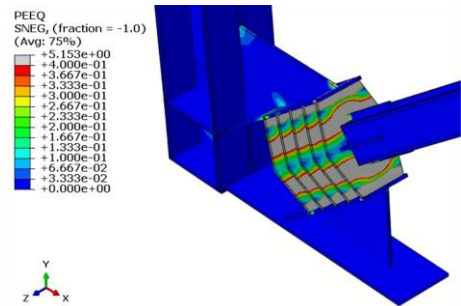
(ب)



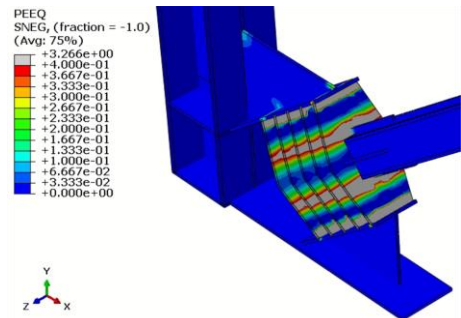
(ج)



شکل ۲۵- هندسه کلی قاب دارای دمپر تسلیم شونده فولادی

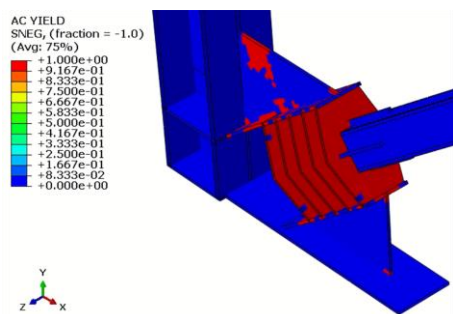


(الف)

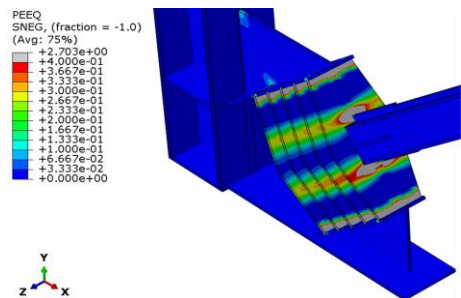


(ب)

شکل ۲۷- نحوه توزیع تنش فون میسر، (الف) ۴۰۰ میلیمتر، (ب) ۵۰۰ میلیمتر، (ج) ۶۰۰ میلیمتر



(الف)



(ج)

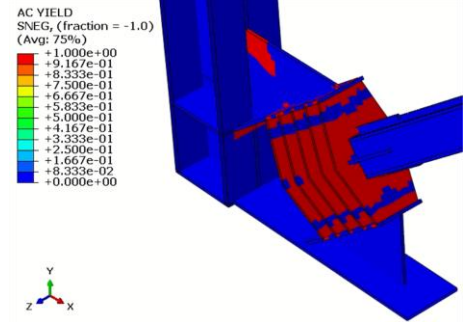
شکل ۲۶- نحوه توزیع کرنش‌های اصلی، (الف) ۴۰۰ میلیمتر، (ب) ۵۰۰ میلیمتر، (ج) ۶۰۰ میلیمتر

۴. کنترل کننده رفتار چرخه‌های قاب مورد بررسی در درجه اول تابع نسبت سختی مهاربند به سختی میراگر است که اگر این نسبت کمتر از یک باشد عملکرد میراگر HADAS از بین رفته و بادبند دچار مود کمانش کلی می‌گردد و اگر این نسبت بیشتر از یک باشد، میراگر HADAS عملکرد فیوزی دارد و رفتار مطلوبی را از خود نشان می‌دهد.

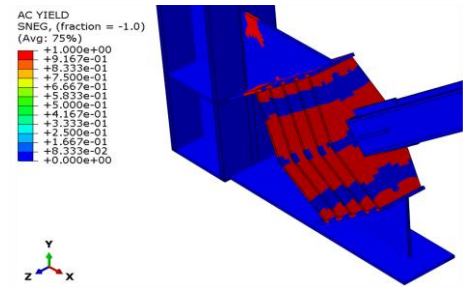
۵. بیشترین تمرکز تنش و کرنش در محل اتصال ورق‌های فولادی میراگر HADAS بوده است که با افزایش طول میراگر از شدت آن کاسته می‌شود.  
۶. در این پژوهش نوع جدیدی از میراگرها با قرار گیری در محل المان قطری معرفی شد. این میراگر از آسیب و کمانش مهاربند جلوگیری و استهلاک انرژی توسط میراگر انجام می‌گردد. با این کار بهبود استهلاک انرژی و کاربری مجدد مهاربند با تعویض میراگر میسر می‌گردد. از مزایای مدل پیشنهادی، در نوع قرارگیری صفحات فولادی و نحوه اتصال در مجاورت صفحات گاست پلیت است که براحتی قابل تعویض است.

### مراجع

- [1] Kelly JM, Skinner RI, Heine AJ. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures. Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering. 1972;5(3):63-88.
- [2] Gray MG, Christopoulos C, Packer JA. Cast steel yielding fuse for concentrically braced frames. In Proceedings of the 9th US national and 10th Canadian conference on earthquake engineering. 2010; Canada
- [3] Tsai KC, Chen HW, Hong CP, Su YF. Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic resistance construction Earthquake Spectra. 1993.
- [4] Ghaffary A, Mohammadi R. Framework for virtual hybrid simulation of TADAS frames using opensees and Abaqus. Journal of Vibration and Control. 2018;11(24):21 65-2179.
- [5] Mohammadi R, Karami R, Nasri A, Ghaffary A. TADAS dampers in very large deformations." International Journal of Steel Structures. 2017;7(15):515-524
- [6] Taylor DP, Constantinou MC. Testing procedures for high-output dampers used in building and bridge structures to dissipate seismic energy Shock Vibration. 1995; 2(5): 373-381.
- [7] Maleki S, Mahjoubi S. Infilled-pipe damper. Journal of Constructional Steel Research. 2014; 9(8): 45-58.
- [8] Lee C, H Ju, Y K, Min JK, Lho SH, Kim SD. Non-uniform steel strip dampers subjected to cyclic loadings. Engineering Structures. 2015; 8(9): 192-204.
- [9] Sahoo DR, Singhal T, Taraithia SS, Saini A. Cyclic behavior of shear-and-flexural yielding metallic dampers. Journal of Constructional Steel Research. 2015; (11)4: 247-257.
- [10] Ghabraie K, Chan R, Huangb X, Xie YM, Shape optimization of metallic yielding devices for passive mitigation of seismic energy Engineering Structures. 2010; (3)2: 2258-2267
- [11] Tsai CS, Tsai KC. TPEA device as seismic damper for high-rise buildings. Journal of engineering mechanics. 1995;121(10): 1075-1081.
- [12] Maleki S, Mahjoubi S. Infilled-pipe damper. Journal of Constructional Steel Research. 2014; 9(8):45-58.



(ب)



(ج)

شکل ۲۸- نحوه تسلیم شدن

میراگرها، الف) ۴۰۰ میلی‌متر، ب) ۵۰۰ میلی‌متر، ج) ۶۰۰ میلی‌متر

### ۸- نتیجه گیری

در این مطالعه نوع جدیدی از میراگرهای HADAS با قرار گیری در محل انتهایی المان قطری مهاربند ارائه شد. برای بررسی صحت نتایج عددی در گام اول رفتار چرخه‌های با دو کار آزمایشگاهی در دو حالت، قاب فولادی دارای میراگر و همچنین میراگر به تنهایی که در آزمایشگاه تست شده بود، مورد صحت سنجی قرار داده شد.

در این مطالعه ۱۵ مدل عددی را تحت بار چرخه‌های شبیه‌سازی قرار گرفته است. نتایج هر یک از این مدل‌ها در قالب نمودارهای هیستریزس و مقادیر هریک از شاخص‌های سختی اولیه، مقاومت خمشی نهایی و انرژی مستهلاک شده بصورت کامل ارائه گردید. با 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 استهلاک انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۱۴۴، ۵۶ و ۱۴۳ درصد افزایش داشته‌اند.

۲. با تغییر پارامتر ضخامت میراگر از ۱۲ به ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر، هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت نهایی و استهلاک انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۱۴۳، ۴۳ و ۱۴۴ درصد افزایش داشته‌اند.

۳. با تغییر پارامتر ضخامت المان اتصال مهاربند به میراگر از ۱۲ به ۲۱ و ۳۰ میلی‌متر، هر یک از شاخص‌های سختی، مقاومت نهایی و استهلاک انرژی در حالتی که میراگر عملکرد فیوزی داشته است، حداکثر به میزان ۵، ۷ و ۹ درصد افزایش داشته‌اند.

[13]Li HN, Li G. Experimental study of structure with dual function metallic dampers. *Engineering Structures*. 2007; 2(9):1917-1928.

[14]Zahrai M. Cyclic testing of chevron braced steel frames with IPE shear panels. *Steel and Composite Structures*. 2015; 5(9): 1167-1184

## Performance Investigation of A new type of Hexagonal damper in a diagonal brace

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, Dareshahr, Iran

Y.nassira@aut.ac.ir

### Abstract

In this study, a new metallic Yielding called "hexagonal damper " is introduced. It is made of steel sheets and consists of a number of blades damping incoming energy through the bending yield of its plate. This new type of yielding hexagonal dampers (HADAS) are placed on the both sides of diagonal element at the end of the connection to column base, to prevent brace buckling and energy dissipation is done by the damper. To evaluate the cyclic performance of the proposed HADAS hexagonal damping, 15 numerical samples were simulated by Abaqus software. The study of cyclic behavior was performed on steel frames with one span and story and the sensitivity of cyclic behavior was studied based on the damper parameters such as thickness, length, geometry and dimension ratio to the thickness of the connection element of bracing to damper. The examined damper thicknesses are 12, 21, and 30 mm, examined damper lengths are 400, 500, and 600 mm, the geometry of examined damper is hexagonal, and the brace thicknesses are considered as 12, 21 and 30 mm. The cross section of the consumable brace profile is 2UNP160. The results of this study presented that this type of damper has a suitable behavior in frame energy dissipation and the total stiffness for steel plates of HADAS dampers definitely must be less than the brace stiffness in order to have an acceptable function. If the damper stiffness is more than the brace stiffness, it will cause the brace buckling and plastic joint formation in brace. The values of the thickness and length of the damper, when they are less rigid than the rigidity of the brace, cause the plastic joint to be focused on the damper and optimize performance.

**Keywords:** Damper, Metal Yielding, absorbing Energy, Shear Yielding. Structural Control, diagonal brace