

ارزیابی عملکرد اتصال تیر به ستون مجهز شده به میراگر لوله‌ای فولادی بیضوی

جواد حسن زاده^۱، سیدرضا سرافرازی^۲، محسن خطیبی‌نیا^{۳*}

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد عمران، گرایش سازه، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند

*m.khatibinia@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۵/۲۳]

چکیده

میراگر لوله‌ای فولادی به عنوان نوعی از میراگرهای غیرفعال برای اتلاف انرژی لرزه‌ای استفاده می‌شود به طوری که می‌تواند مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی ورودی لرزه‌ای را بواسطه ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک در خود مستهلک نموده و در نتیجه از ایجاد آسیب و صدمات مخرب در سازه‌ها جلوگیری نماید. در این پژوهش، میراگر لوله‌ای فولادی با مقطع بیضوی به منظور بهبود رفتار میراگر لوله‌ای در جذب انرژی لرزه‌ای پیشنهاد شده است. همچنین، استفاده از این میراگر پیشنهادی در اتصال گیردار تیر به ستون برای بهبود عملکرد این اتصال ارائه شده است. ابتدا به منظور ارزیابی عملکرد میراگر لوله‌ای بیضوی پیشنهادی، مدلسازی این میراگر تحت بارگذاری چرخه‌ای در نرم‌افزار اجزای محدودی آباکوس (ABAQUS) انجام شده است و سپس، عملکرد آن با نوع رایج میراگر لوله‌ای با مقطع دایره و وزن یکسان مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان استهلاک انرژی میراگر پیشنهادی بیضوی شکل ۲۲ درصد بیشتر از میراگر دایره‌ای شکل است و همچنین در میراگر پیشنهادی، توزیع تنش یکنواخت‌تری نسبت به میراگر رایج لوله‌ای مشاهده می‌شود. در ادامه این پژوهش، کارایی میراگر پیشنهادی در اتصال گیردار تیر به ستون ارزیابی شده است. برای رسیدن به این هدف، مقایسه عملکرد اتصال گیردار تیر به ستون مجهز شده به میراگر لوله‌ای بیضوی با میراگر شکافدار رایج در زیر بال تیر انجام شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد جذب انرژی اتصال با میراگر بیضوی ۶۳ درصد بیشتر از همان اتصال مجهز شده با میراگر شکافدار است. همچنین لنگر حد تسلیم و نهایی در اتصال مجهز شده به میراگر پیشنهادی نسبت به میراگر شکافدار به ترتیب حدود ۸۲ درصد و ۸۰ درصد افزایش یافته است. در نهایت، مقایسه عملکرد اتصال مجهز شده به میراگر بیضوی با اتصال گیردار جوشی مستقیم تیر به ستون انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که جذب انرژی در اتصال گیردار مجهز شده به میراگر پیشنهادی بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به اتصالی جوشی افزایش داشته است.

واژگان کلیدی: میراگر فولادی لوله‌ای، بیضوی شکل، ارزیابی عملکرد، اتصال گیردار تیر به ستون، استهلاک انرژی.

1. مقدمه

وقوع شکست تردد اتصالات گیردار تیر به ستون سازه‌های فولادی در زلزله‌های شدید از قبیل زلزله نورث‌ریچ و زلزله کوبه نشان داد که ظرفیت استهلاک انرژی لرزه‌ای از طریق تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها کافی نیست [1]. همچنین بررسی‌ها نشان داد که علاوه بر سازه‌های فولادی طراحی شده براساس آیین‌نامه قدیمی، اتصالات جوشی تیر به ستون در سازه‌های فولادی که براساس آیین‌نامه‌های لرزه‌ای نوین طراحی شده بودند از آسیب در مصون نمانده بودند [2]. از این‌رو، نیاز به تقویت و افزایش شکل‌پذیری در محل اتصالات خمشی تیر به ستون سازه‌های فولادی بیش از پیش احساس شد و این باعث شد که ارزیابی رفتار چرخه‌ای اتصالات خمشی و توصیه به بهبود آن موردتوجه پژوهشگران زیادی قرار گرفت. در این راستا، مطالعات آزمایشگاهی در ایالات متحده آمریکا و ژاپن به منظور بررسی عملکرد اتصال خمشی جوشی بدون حفره دسترسی انجام شد و به منظور بهبود عملکرد آن، حفره دسترسی را پیشنهاد دادند [3]. همچنین، اتصالات گیردار با ورق فوقانی و تحتانی و اتصال خمشی با استفاده از تیر با بال کاهش یافته را معرفی نمودند [4-7]. اگرچه این نوع اتصالات به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، نتایج رضایت‌بخشی از خود در آزمایشگاه نشان دادند اما تشکیل مفصل پلاستیک در اثر بارگذاری زلزله در داخل اعضای اصلی و سازه‌ای اتفاق می‌افتاد. از این‌رو، در سالهای اخیر بحث جدیدی تحت عنوان بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها و راهکارهایی برای استهلاک انرژی ورودی ناشی از زلزله مطرح شده است.

یکی از روش‌های جذب انرژی ورودی ناشی از زلزله، استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال است [8]. در این سیستم‌ها، چون تغییرشکل‌ها و تسلیم در آنها متمرکز می‌شود، خرابی در اعضای اصلی سازه‌ای کاهش می‌یابد. نمونه‌هایی از سیستم‌های جاذب انرژی شامل میراگر فولادی جاری شونده مانند TADAS [9]، میراگر شکافدار فولادی [10-13]، میراگر لانه‌زن‌بوری [14] و مهاربند کمانش‌ناپذیر [15-17] است. برخی

از این جاذب‌ها با سیستم بادبندی ترکیب‌شده و برخی دیگر در اتصال تیر به ستون قرار می‌گیرند.

نخستین پژوهش انجام شده روی میراگرهای شکافدار فولادی توسط وادا و همکارانش [18] انجام گرفت. نتایج نشان داد که این میراگر پیشنهادی می‌تواند درصد قابل توجهی از انرژی لرزه‌ای را جذب نماید و این میراگر در یک ساختمان ۲۶ طبقه در ژاپن استفاده شد. لی و همکارانش [11] و چان و آلبرامانی [13] از میراگر شکافدار فولادی در محل اتصال گیردار تیر به ستون سازه‌های فولادی استفاده نمودند. نتایج پژوهشهای آن‌ها نشان داد که میراگر شکافدار فولادی در معرض نیروهای برشی، رفتار چرخه‌ای پایدار با انتقال تدریجی از حالت الاستیک به پلاستیک داشته است. آه و همکارانش [19] به منظور رفع مشکل ضعف اتصال گیردار تیر به ستون قاب‌های خمشی فولادی در برابر زلزله، اتصال سازه‌ای جدیدی را مجهز به میراگرهای شکافدار فولادی پیشنهاد کردند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که رفتار چرخه‌ای اتصال مجهز به میراگر شکافدار فولادی بطور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است به طوری که استهلاک انرژی و تغییرشکل پلاستیک، فقط در میراگرهای شکافدار متمرکز شده و از رفتار غیرالاستیک در اتصال تیر به ستون جلوگیری شده است. آیبی و چوی [20] و آیبی و همکارانش [21] به بررسی عملکرد میراگر فولادی لوله‌ای دایره‌ای^۲ در زیر اتصال گیردار تیر به ستون و شناسایی پارامترهای مؤثر بر رفتار چرخه‌ای این میراگر با مقطع دایره‌ای (CPD) از دو نوع فولاد با مشخصه مقاومت تسلیم پایین و بالا پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که میراگر CPD با فولاد مقاومت تسلیم پایین برای استهلاک انرژی لرزه‌ای از قابلیت تغییرشکل پلاستیک قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که آن به‌واسطه هندسه دایره‌ای شکل و همچنین مقاومت در برابر خستگی اطراف اتصال آن به بال‌های تکیه‌گاهی بهره می‌برد. مزیت استفاده از این میراگر در اتصال تیر به ستون شامل نصب بسیار آسان، کم‌هزینه بودن و قابلیت جذب انرژی بالای آن است. به تازگی، آیبی و همکارانش [22] به مطالعه رفتار چرخه‌ای CPD و رفتار خستگی آن در چرخه‌های اولیه تحت بارگذاری

مدلسازی میراگر لوله‌ای با مقطع دایره‌ای تحت بارگذاری چرخه‌ای در نرم‌افزار اجزای محدودی آباکوس (ABAQUS) انجام شده است. سپس، عملکرد میراگر لوله‌ای پیشنهادی بیضوی با نوع دایره‌ای آن مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان استهلاک انرژی میراگر پیشنهادی بیضوی شکل ۲۲ درصد بیشتر از میراگر دایره‌ای شکل می‌باشد. در گام بعد، مقایسه عملکرد اتصال گیردار تیر به ستون مجهز شده به میراگر لوله‌ای بیضوی با میراگر شکافدار ارائه شده در مرجع [11] انجام شده است.

۲- میراگر لوله‌ای فولادی دایره‌ای

میراگر لوله‌ای فولادی دایره‌ای مطابق شکل (۱) شامل یک ورق فولادی به صورت استوانه و دو بال تکیه‌گاهی است که تحت تغییرشکل‌های نسبی کوچک بین دو بال تکیه‌گاهی، تغییرشکل می‌دهد و از طریق تشکیل مفاصل پلاستیک در خود، انرژی را مستهلک می‌کند.

شکل ۱. میراگر لوله‌ای فولادی دایره‌ای به همراه دو ورق تکیه‌گاهی

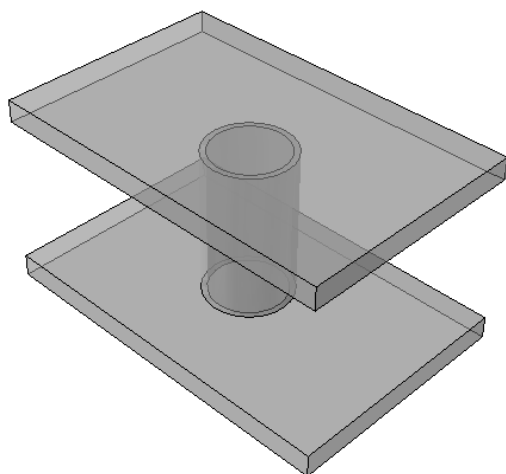


Fig. 1. Circular hollow steel damper with two support plates

طبق پژوهش‌های انجام شده توسط آیینی و همکارانش [21]، هنگامی که میراگر لوله‌ای همراه لنگر و برش، مطابق شکل (۲) قرار می‌گیرد، دیاگرام خمشی آن به صورت خطی و حداکثر مقدار لنگر بوجود آمده، در زیر ورق‌های تکیه‌گاهی است. در شکل (۳)، توزیع نیروی برشی، لنگر خمشی، تنش خمشی و برشی در ضخامت ورق و یک المان از مقطع آن را نشان می‌دهد.

چرخه‌ای با استفاده از یک شاخص شکست پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بهترین عملکرد CPD با متغیر در نظر گرفتن نسبت قطر به ضخامت، برابر با ۱۰ تا ۲۰ است.

یافتن بهترین ابعاد میراگرها و شکل بهینه آنها همواره به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های پیشروی مهندسين در استفاده از میراگرها بوده است [23]. از اینرو در این سالها، پژوهشگرانی با مطالعه روی انواع میراگرها، توانسته‌اند شکلی بهینه‌ای را برای میراگرهای مختلف را پیشنهاد دهند. به دلیل تمرکز تنش در قسمت‌های انتهایی نواریها، توزیع نامتوازن تنش‌های فون میسر در طول نواریها و عدم مشارک قسمت‌های میانی نواریهای میراگر شکافدار در استهلاک انرژی شده باعث شد تا میراگر شکل شکافدار با شکاف‌های بیضی توسط فراهی‌شهری و موسوی [24] پیشنهاد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شکل بیضی علاوه بر رفع مشکل بیان شده، باعث افزایش سطح جاذب انرژی در قسمت‌های انتهایی نواریها نسبت به میراگر شکافدار موجود شد. خطیبی‌نیا و همکاران [23] بهینه‌سازی شکل میراگر U شکل تحت دو جهت بارگذاری و تحت بارگذاری چرخه‌ای را ارائه دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه‌سازی شکل میراگر بطور چشمگیری رفتار چرخه‌ای و جذب انرژی آن را بهبود می‌دهد. بهینه‌سازی شکل میراگرهای شکافدار برای بهبود جذب انرژی و عملکرد خستگی آن در چرخه‌های اولیه توسط کیخسرو کیانی و همکاران [25] ارائه شد. در این مطالعه، بهینه‌سازی شکل میراگر در قالب یک مساله بهینه‌سازی دوهدفه انجام شد. امین‌زاده و همکاران [26] بهینه‌سازی شکل میراگر شکافدار را پیشنهاد دادند. شکل بهینه میراگر با استفاده از منحنی بی-اسپلاین و حداکثر کردن اتلاف انرژی با محدودیت حجم آن حاصل شد.

مطالعه آیینی و همکارانش [21] نشان داد سطح مقطع CPD تحت اثر بار چرخه‌ای از دایره به بیضی تبدیل شده و این باعث می‌شود تا ظرفیت جذب انرژی CPD افزایش یابد. پس می‌توان با اصلاح شکل سطح مقطع CPD، عملکرد آن در برابر بارهای چرخه‌ای و همچنین جذب انرژی آن را بهبود داد. از اینرو در این مطالعه، میراگر لوله‌ای با مقطع بیضوی شکل پیشنهاد شده است و عملکرد اتصال گیردار تیر به ستون مجهز شده به این میراگر ارزیابی شده است. برای این منظور، ابتدا درستی آزمایی

از آنجایی که تنش برشی به صورت $\tau_\theta = \frac{Qr^2}{I} \cos \theta$ تعریف می‌شود؛ با جایگذاری I و $Q = \frac{M}{I}$ ، رابطه (۴)، نتیجه می‌شود:

$$\tau_\theta = \frac{M}{\pi r t l} \cos \theta \quad (4)$$

از طرفی تنش برشی حداکثر به ازای $\theta = 0$ اتفاق می‌افتد که در رابطه (۵) بیان شده است:

$$\tau_{\theta, \max} = \frac{M}{\pi r t l} \quad (5)$$

۳- درستی آزمایشی مدل اجزای محدود

در این پژوهش، برای مدلسازی اجزای محدودی میراگر لوله‌ای فولادی دایره‌ای و اتصال گیردار تیر به ستون مجهز شده به میراگر، از نرم‌افزار آباکوس استفاده شده است. برای این منظور، نتایج حاصل از مدلسازی نرم‌افزار و نتایج آزمایشگاهی نمونه ساخته شده میراگر فولادی لوله‌ای (CPD-SS400) ارائه شده توسط آبیی و همکارانش [21] و اتصال خمشی D1 مجهز به میراگر شکافدار ارائه‌شده توسط آه و همکارانش [11]، پرداخته شده است. تمام اعداد ورودی و نتایج خروجی در نرم‌افزار آباکوس در این بخش، به صورت جدول (۱) است.

جدول ۱. واحدهای کمیت‌های مختلف در نرم‌افزار آباکوس

کمیت	طول	نیرو	جرم	زمان	تنش	انرژی	چگالی
واحد	mm	N	kg	s	MPa	KJ	kg/m ³

Table 1. The units used for various quantities in ABAQUS software

۳-۱- درستی آزمایشی مدلسازی میراگر لوله‌ای دایره‌ای

در این بخش، درستی آزمایشی مدلسازی میراگر لوله‌ای دایره‌ای با نتایج نمونه آزمایشگاهی CPD-SS400 [21] توضیح داده می‌شود. ابعاد میراگر مطابق شکل (۴)، در نظر گرفته شده است. رفتار فولاد در حالت الاستیک و پلاستیک به صورت ایزوتروپیک در نظر گرفته شده و مشخصات فولاد در جدول (۲) آمده که در آن E مدول الاستیسیته، ρ چگالی، u نسبت پواسون، σ_y تنش تسلیم، σ_u تنش نهایی و E_{lo} کرنش نهایی فولاد است.

شکل ۲. شرایط بارگذاری و دیاگرام لنگر خمشی در میراگر [21]

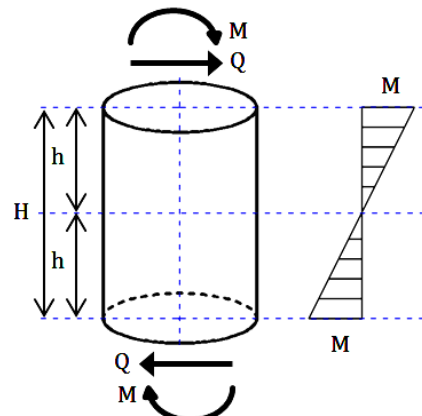


Fig. 2. Loading conditions and bending moment diagram in damper [21]

شکل ۳- توزیع تنش خمشی و برشی در میراگر [21]

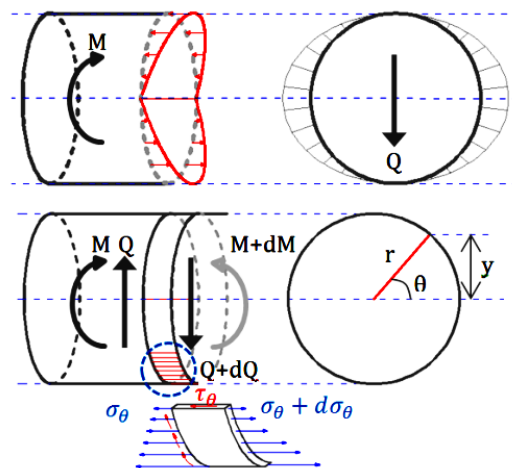


Fig. 2. Distribution of bending and shear stress in damper [21]

تنش خمشی موجود در مقطع از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_\theta = \frac{M y}{I} \quad (1)$$

که در رابطه فوق، M ممان خمشی، y فاصله از محور خنثی $(y = r \sin \theta)$ و I ممان اینرسی مقطع $(I = \pi r^3 t)$ است، بنابراین تنش خمشی از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\sigma_\theta = \frac{M}{\pi r^2 t} \sin \theta \quad (2)$$

همچنین تنش خمشی حداکثر طبق رابطه (۳) به ازای $\theta = \frac{\pi}{2}$ اتفاق می‌افتد:

$$\sigma_{\theta, \max} = \frac{M}{\pi r^2 t} \quad (3)$$

نمونه تحت جابه‌جایی رفت و برگشتی (چرخه‌ای) افقی مطابق شکل (۶)، قرار گرفته است. از اثر وزن میراگر چشمپوشی شده و ورق پایینی در تمامی جهات مقید شده است. ورق بالایی نیز تنها در جهت X (جهت اعمال بار) قابلیت جابه‌جایی دارد.

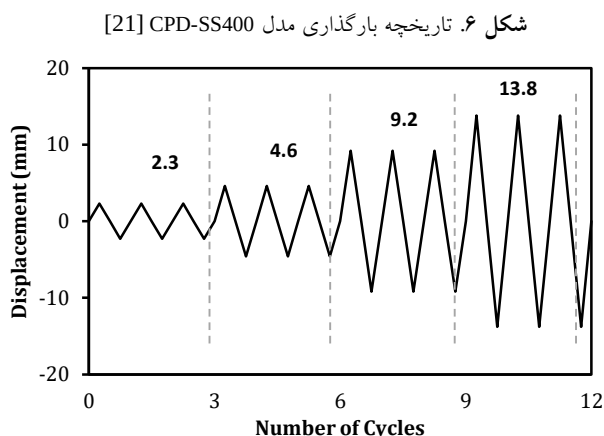


Fig. 6. Loading history of CPD-SS400 model [21]

پس از تحلیل نمونه در آباکوس، نمودار نیرو-جابه‌جایی حاصل از تحلیل عددی با نمونه آزمایشگاهی ساخته شده توسط آبیسی و همکارانش [21]، در شکل (۷) مقایسه شده است. همان‌طور که مشهود است نتایج تحلیل عددی، هماهنگی خوبی با نتایج نمونه آزمایشگاهی دارد.

شکل ۷- مقایسه منحنی‌های نیرو- دوران حاصل از تحلیل عددی و آزمایشگاهی نمونه CPD-SS400

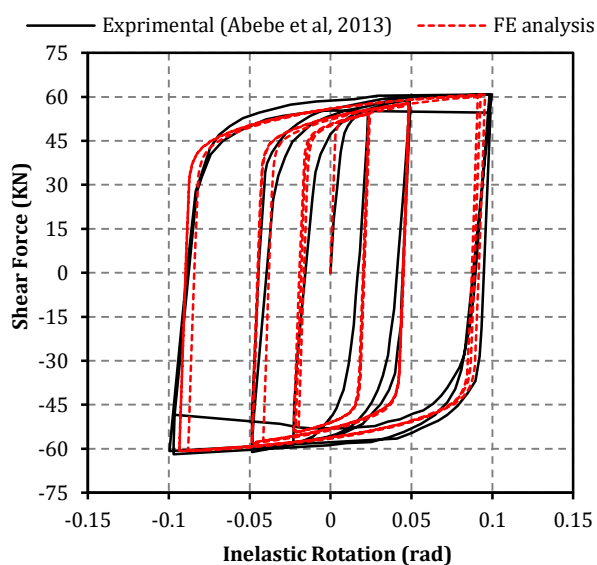


Fig. 7. Comparison of force-rotation curves of CPD-SS400 between FE analysis and experimental results

جدول ۲. مشخصات مکانیکی فولاد [21]

Elo(%)	σ_u (MPa)	σ_y (MPa)	ν	ρ (kg/m ³)	E(GPa)
13.1	411	369	0.26	7850	206

Table. 2. Mechanical properties of steel [21]

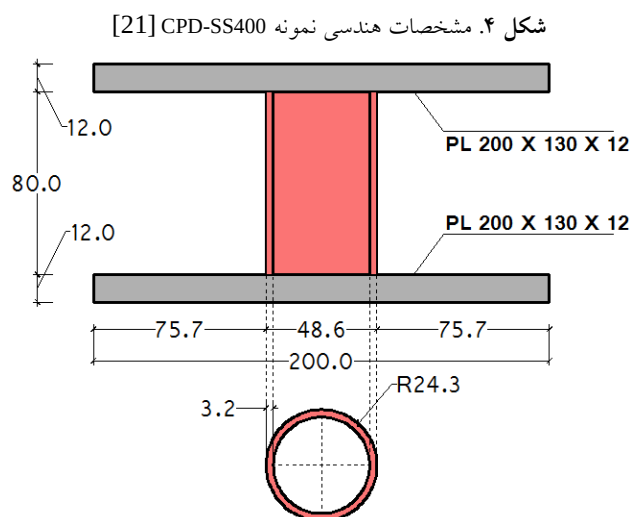


Fig. 4. Dimensional geometry of CPD-SS400 [21]

مدل‌سازی میراگر به همراه ورق بالایی و پایینی آن در نرم‌افزار آباکوس با استفاده از المان Solid انجام شده است. مطابق شکل (۵)، تکنیک مش‌بندی میراگر لوله‌ای در نرم‌افزار، از نوع Sweep و شکل المان‌های مورد استفاده به صورت HEX است. در تمامی قطعات مش‌بندی شده از المان‌هایی با انتگرال‌گیری کاهش‌یافته و برای المان‌های Solid مورد استفاده، نوع شبکه ۸ گرهی C3D8R، در نظر گرفته شده است.

شکل ۵. مش‌بندی مدل CPD-SS400 در نرم‌افزار آباکوس

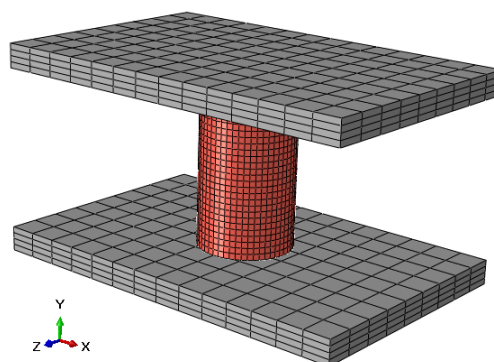


Fig. 5. Meshing of CPD-SS400 in ABAQUS software

برای مدل‌سازی این اتصال، از المان‌های Solid استفاده شده است و به علت تقارن قاب موردنظر، تنها نیمی از آن به همراه میراگر در نرم‌افزار مدل‌سازی شده است که نمونه اجزای محدود نمونه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱۱)، چگونگی مش‌بندی در نرم‌افزار آباکوس برای تمامی قطعات اتصال از نوع Structured و منظم است. برای تمامی قطعات، از المان‌های Solid و نوع شبکه‌ی ۲۰ گرهی C3D20 درجه دو استفاده شده است.

شکل ۱۰. مدل اجزای محدود اتصال D1

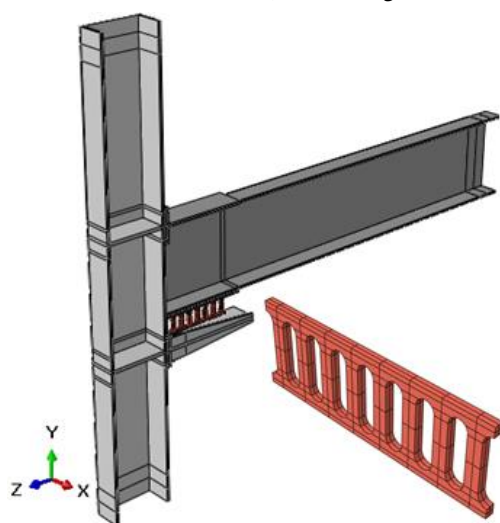


Fig. 10. Finite element model of D1 connection

شکل ۱۱. مش‌بندی اتصال D1 در نرم‌افزار آباکوس

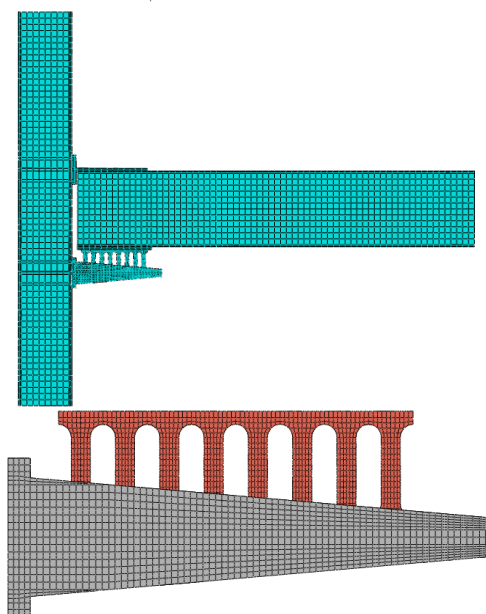


Fig. 11. Meshing D1 connection in ABAQUS software

همچنین در شکل (۸)، کانتورهای تنش فون میسز حاصل از تحلیل در نرم‌افزار آباکوس را نشان می‌دهد.

شکل ۸- کانتور تنش فون میسز مدل CPD-SS400

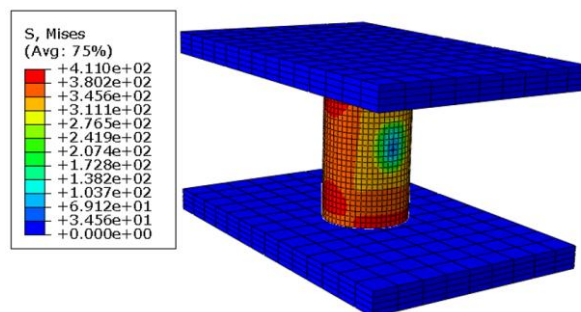


Fig. 8. Von Mises stress contour of CPD-SS400 model

۳-۲- درستی آزمایشی مدل‌سازی اتصال مجهز به میراگر

در این بخش، درستی آزمایشی مدل‌سازی اجزای محدود اتصال D1 مجهز به میراگر شکافدار در مرجع [11] بیان شده است. در شکل (۹)، مشخصات این اتصال نشان داده شده است.

شکل ۹. جزئیات اتصال D1 [11]

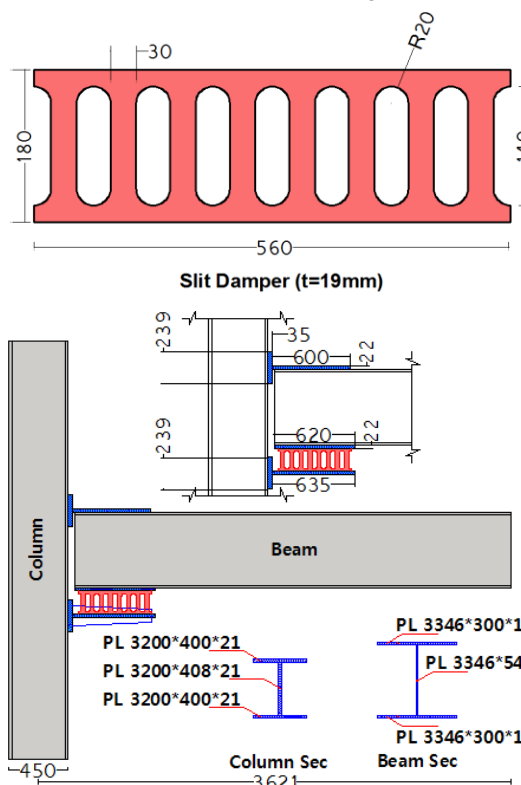


Fig. 9. Detail of D1 connection [11]

صفحه‌ی تیر، همین عمل نتیجه می‌شود. منحنی لنگر-دوران حاصل از تحلیل عددی و نمونه‌ی آزمایشگاهی اتصال D1 [11] در شکل (۱۳) مقایسه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل نرم‌افزاری به‌خوبی توانسته مقادیر لنگر خمشی و دوران را در قسمت الاستیک و پلاستیک پیش‌بینی کند. اما اختلاف ناچیز سختی اولیه بین نمونه آزمایشگاهی و اجزای محدود می‌تواند به دلیل شرایط ابتدا و انتهای ستون باشد زیرا در نمونه آزمایشگاهی سعی شده است که شرایط فوق به صورت مفصلی باشد. اما این قیود در نمونه آزمایشگاهی کمی متفاوت‌تر از حالت مفصلی است. اما با توجه به هماهنگی خوب نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود، می‌توان از این مدل اجزای محدود در ادامه این پژوهش استفاده نمود.

شکل ۱۳. مقایسه منحنی لنگر-دوران اتصال D1 بین نتایج تحلیل اجزای محدود و آزمایشگاهی

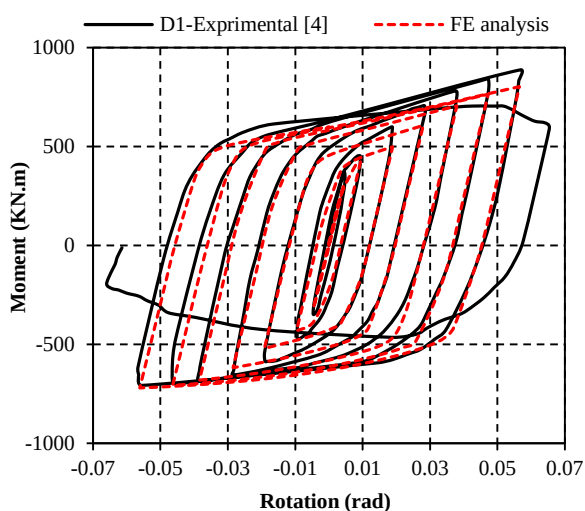


Fig. 13. Comparison of hysteretic moment-rotation curves of D1 connection between FE analysis and experimental results

همچنین، کانتور تنش فون میسز اتصال در شکل (۱۴) حاکی از تمرکز تنش در میراگر شکافدار است. بنابراین این بدین مفهوم است که تغییرشکل‌های پلاستیک در میراگر متمرکز می‌شود و در نتیجه از ایجاد آسیب و تغییرشکل‌های پلاستیک در تیر جلوگیری می‌کند.

چگالی فولاد و نسبت پواسون، مشابه جدول (۲) و مابقی مشخصات مکانیکی فولاد در جدول (۳) خلاصه شده است [11]. در بارگذاری اتصال D1 در نرم‌افزار، از اثر وزن صرف‌نظر شده و بارگذاری چرخه‌ای، مطابق آیین‌نامه لرزه‌ای FEMA-350 [7]، به صورت تغییر مکان به انتهای تیر در راستای Y مطابق شکل (۱۲) اعمال شده است.

جدول ۳. مشخصات مکانیکی فولاد اتصال D1 [11]

Test specimen	σ_y (Mpa)	σ_u (Mpa)	Elo (%)	E (GPa)
Beam	Flange	318	480	30
	Web	339	488	27
Column	Flange	378	551	24
	Web	395	554	27
Split	Flange	386	573	24
	Web	388	577	25
Slit plate	288	464	30	210

Table 3. Mechanical properties of steel materials of D1connection [11]

شکل ۱۲. تاریخچه بارگذاری [7]

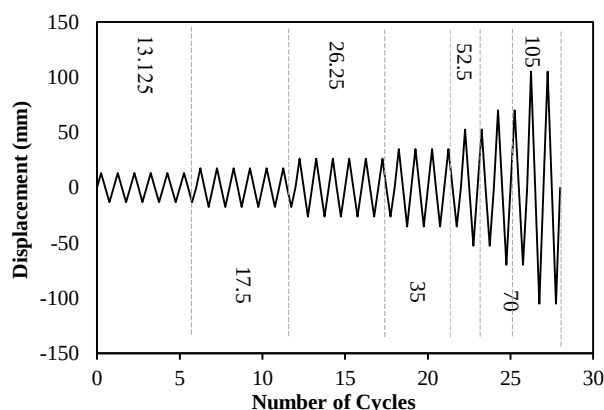


Fig. 12. Loading history [7]

به منظور شبیه‌سازی شرایط مرزی، مفاصلی برای نگهداری دو انتهای ستون در نظر گرفته شده است. از طرفی در شرایط آزمایشگاهی به منظور جلوگیری از تغییرشکل خارج از صفحه تیر، تکیه‌گاه‌های جانبی در دو طرف تیر قرار داده شده است که با مقید کردن جابه‌جایی سطح خارجی مدل در جهت خارج از

تمامی مراحل مدل‌سازی، بارگذاری، مشخصات مکانیکی فولاد و مش‌بندی میراگر لوله‌ای پیشنهادی درست مشابه میراگر لوله‌ای بخش (۳-۲) است. براساس نتایج تحلیل اجزای محدود، منحنی نیرو-دوران نمونه‌های CPD و EPD در شکل (۱۶) قابل مشاهده است.

شکل ۱۶- مقایسه منحنی‌های نیرو-دوران نمونه‌های CPD و EPD

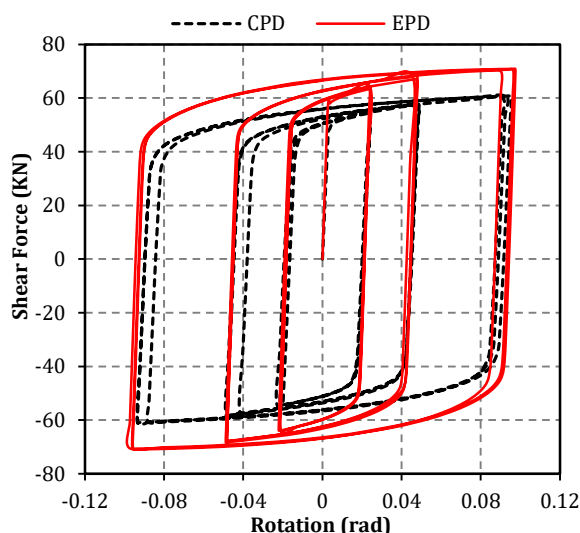


Fig. 16. Comparison of the hysteretic force-rotation curves between EPD and CPD specimens

شایان توجه است سطح زیر منحنی در حالت نیرو-دوران، نشان‌دهنده میزان جذب انرژی است. با توجه به شکل (۱۶)، میزان استهلاک انرژی توسط نمونه‌های EPD و CPD به ترتیب برابر ۱۱/۱۱ و ۹/۱۱ کیلوژول است، که نشانگر رشد ۲۲ درصدی جذب انرژی به‌واسطه بهره‌گیری از سطح مقطع بیضی در میراگر است. این موضوع، به دلیل افزایش مقاومت خمشی و برشی مقطع بیضی نسبت به مقطع دایره در ناحیه الاستیک (با توجه به روابط (۱) و (۴) و در ناحیه پلاستیک است. برای مقایسه بیشتر نتایج و درک بهتر از رفتار دو میراگر، استفاده از منحنی اسکلتون می‌باشد که از اتصال نقاط اوج منحنی چرخه‌ای در هر دوره بارگذاری به دست می‌آید. برای محاسبه مقاومت تسلیم (P_y)، مقاومت بیشینه (P_{max})، لنگر تسلیم (M_y)، لنگر حداکثر (M_{max}) و جابه‌جایی تسلیم (δ_y) از منحنی اسکلتون، به صورت دوخطی طبق روش ارائه‌شده در دستورالعمل معتبر FEMA-356 [7] ایده‌آل‌سازی شده است. مطابق شکل (۱۷)،

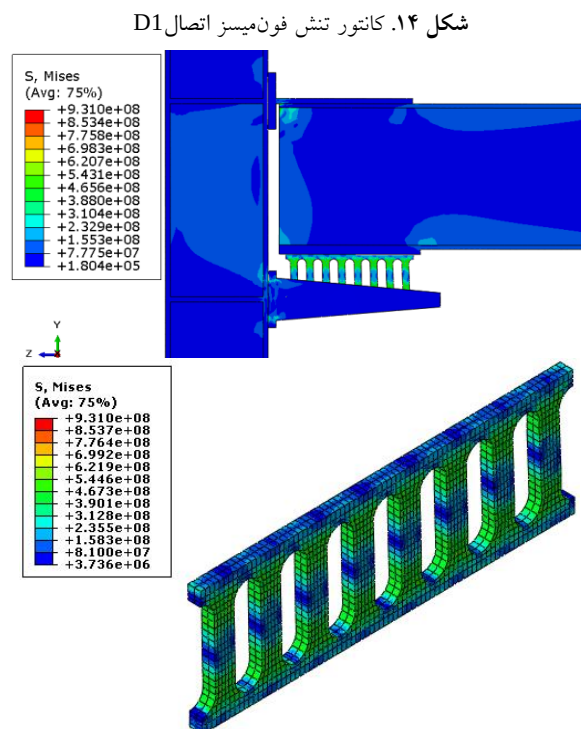


Fig. 14. Von Mises stress contour of D1 connection

۴- میراگر لوله‌ای فولادی بیضی شکل

در این پژوهش به منظور بهبود عملکرد میراگر لوله‌ای، سطح مقطع آن به جای دایره به صورت بیضی پیشنهاد شده است. نمونه پیشنهادی به نام EPD، با نمونه CPD-SS400 ساخته‌شده توسط آبیی و همکارانش [21] با همان ضخامت و همان ارتفاع مورد مقایسه قرار گرفته است. ابعاد هندسی مقطع به‌گونه‌ای انتخاب شده است که وزن هر دو نمونه درست برابر (۵/۱۸ کیلوگرم) باشد. تمامی مشخصات نمونه EPD با نمونه دایره‌ای و تنها شکل سطح مقطع آن مطابق شکل (۱۵) متفاوت است (ابعاد برحسب میلی‌متر است).

شکل ۱۵- ابعاد سطح مقطع میراگر لوله‌ای پیشنهادی EPD

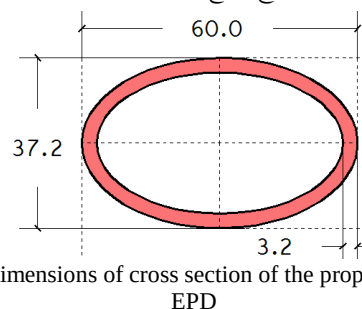


Fig. 15. Dimensions of cross section of the proposed damper EPD

مطابق شکل (۱۸)، مقادیر سختی، مقاومت تسلیم و نهایی نمونه‌های CPD و EPD بدست آمده و مقادیر در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- مقایسه نتایج منحنی‌های دوطبقی نمونه‌های CPD و EPD

نمونه	V_y (KN)	V_{max} (KN)	δ_y (mm)	K_d (KN/mm)
CPD	52.96	60.76	0.27	196.15
EPD	62.85	70.83	0.30	209.50

Table 4. Comparison of results of bilinear curves between CPD and EPD

مطابق نتایج جدول (۴)، مشاهده می‌شود که سختی، مقاومت تسلیم و نهایی میراگر EPD نسبت به CPD به ترتیب ۷، ۱۹ و ۱۷ درصد بهبود یافته است که بهبود این پارامترها ناشی از افزایش سطح جانبی و ممان اینرسی مقطع میراگر بیضوی شکل در مسیر اعمال بار برای اتلاف انرژی می‌باشد. در شکل (۱۹)، تنش فون میسز در نمونه EPD را نمایش داده است.

شکل ۱۹- کانتور تنش فون میسز در مدل EPD

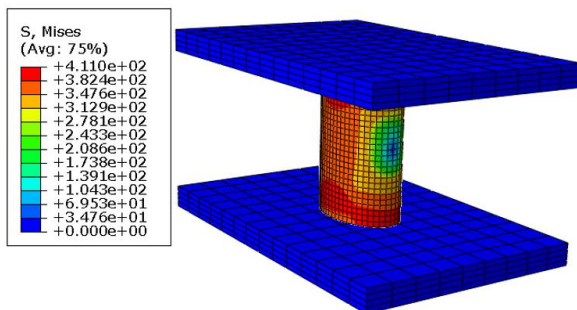


Fig. 19. Von Mises stress contour of EPD model

با مقایسه آن با شکل (۸) برای نمونه CPD می‌توان مشاهده نمود که در میراگر بیضی شکل، تنش در سطح گسترده‌تری از میراگر توزیع شده است.

۵- عملکرد اتصال گیردار مجهز شده به میراگر لوله‌ای بیضی

۵-۱- مقایسه با اتصال مجهز به میراگر شکافدار

در این بخش، عملکرد اتصال گیردار مجهز شده به میراگر EPD که در بخش (۴) بیان شده، ارزیابی می‌شود. این اتصال به

مقاومت تسلیم طوری فرض شده که سختی الاستیک منحنی دو خطی (K_d) منحنی ظرفیت سازه را در $0.6P_y$ قطع کند و همچنین سطح زیر منحنی دوطبقی و منحنی ظرفیت با هم برابر باشند.

شکل ۱۷. تبدیل منحنی اسکلتون به منحنی دوطبقی

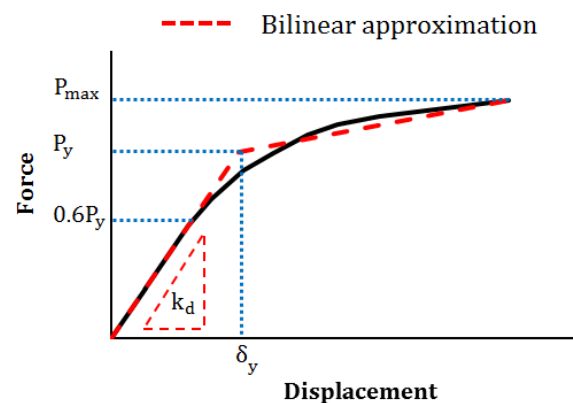


Fig. 17. Conversion of skeleton curve to bilinear curve

منحنی اسکلتون بدست آمده براساس ربع اول نمودار چرخه‌ای شکل (۱۶) و منحنی ایده‌آل دوطبقی نیرو-جابجایی نمونه‌های CPD و EPD در شکل (۱۸) نشان داده شده است. شایان توجه است که در شکل (۱۸)، محور افقی نشانگر جابجایی افقی CPD است، که این مقادیر جابجایی با استفاده از ضرب مقادیر دوران انتهایی CPD در شکل (۱۶) و طول آن (که برابر با ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد) بدست آمده است. همچنین محور قائم نشان‌دهنده نیروی برشی (V) است.

شکل ۱۸- منحنی‌های اسکلتون و دوطبقی نمونه‌های CPD و EPD

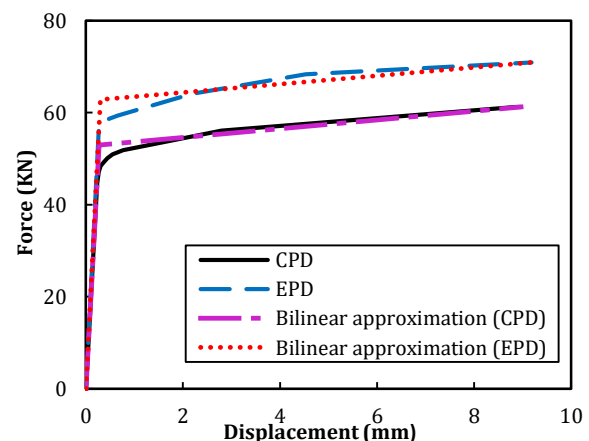


Fig. 18. Skeleton and bilinear curves of CPD and EPD specimens

کیلوگرم و وزن دو ردیف میراگر شکافدار ۱۷/۸۲ کیلوگرم است که تنها تفاوت ۳/۵ درصدی از نظر وزن است. تمامی روند مدل سازی، مش بندی و بارگذاری این اتصال در آباکوس، مشابه آنچه در بخش (۲-۳) بیان شده، انجام شده است.

به منظور مقایسه عملکرد اتصال EPDF با اتصال D1، منحنی لنگر-دوران آن‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای شکل (۱۲) در شکل (۲۲) نشان داده شده است.

شکل ۲۲. مقایسه منحنی لنگر-دوران بین اتصال EPDF و D1

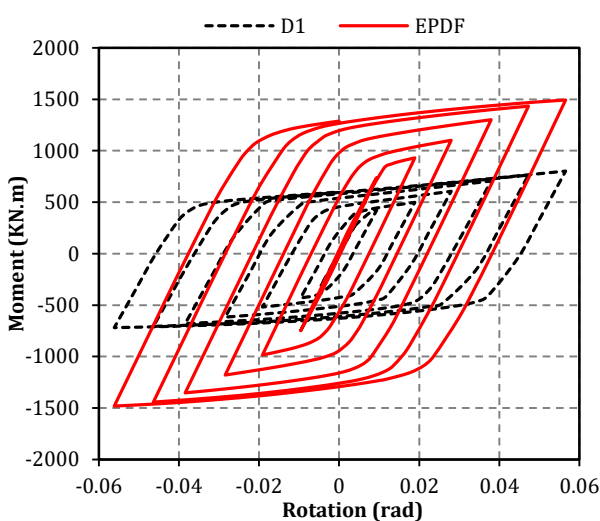


Fig. 22. Comparison of moment-rotation curves between EPDF and D1 connections

با مقایسه منحنی‌های چرخه‌ای در شکل (۲۲)، می‌توان به عملکرد بسیار خوب میراگر بیضوی پیشنهادی در اتصال خمشی پی برد. مطابق شکل (۲۲)، تقارن منحنی چرخه‌ای اتصال مجهز شده به میراگر بیضوی نشانگر یکسان بودن رفتار اتصال در بارهای رفت و برگشتی است و افزایش چشمگیر مقاومت اتصال خمشی، توسط اتصال EPDF کاملاً مشهود است بطوری‌که این اتصال توانسته ۶۳ درصد انرژی بیشتری نسبت به اتصال D1 جذب نماید. لازم به ذکر است عدم افزایش مقاومت در چرخه‌های هیستریزس مدل D1 به دلیل تمرکز تنش در قسمت‌های انتهایی نواریهای میراگر شکافدار رخ می‌باشد و این باعث عدم مشارکت قسمت‌های میانی نواریهای میراگر شکافدار در تحمل بارها بوده و در نتیجه اتصال نمی‌تواند افزایش مقاومت و استهلاک انرژی بیشتری را نسبت به میراگر بیضوی تحمل

اختصار EPDF نام‌گذاری شده است. تمامی مشخصات این اتصال، مشابه اتصال D1 ساخته شده توسط آه و همکارانش [11] است با این تفاوت که به جای میراگر شکافدار، میراگر لوله‌ای بیضوی شکل قرار داده شده است. در اتصال EPDF، ۱۰ عدد میراگر لوله‌ای بیضی شکل در زیر بال تیر قرار داده شده است. چون از تقارن برای مدل سازی اجزای محدود استفاده شده، پس تنها ۵ عدد میراگر در شکل (۲۰) دیده می‌شود.

شکل ۲۰. مدل اجزا محدودی اتصال EPDF

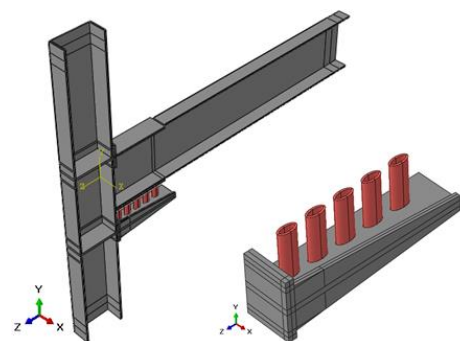


Fig. 20. Finite element model of EPDF connection

شکل ۲۱- (الف) برش، (ب) نما: اتصال EPDF

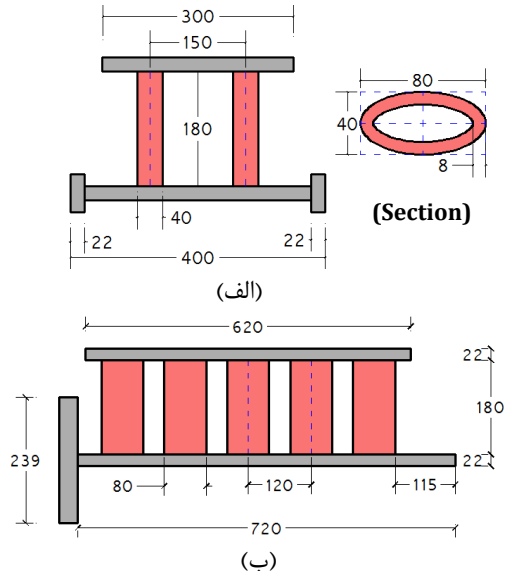


Fig. 21. (a) shear and (b) elevation of EPDF connection

همچنین جزییات و ابعاد اتصال EPDF در شکل (۲۱) نشان داده شده است. در شکل (۲۱) تمامی ابعاد برحسب میلی متر است. شایان توجه است ابعاد میراگر بیضوی و تعداد آنها طوری در نظر گرفته شده است تا وزن دو میراگر در اتصال تقریباً یکسان باشد. بطوریکه وزن ۱۰ عدد میراگر لوله‌ای بیضوی ۱۸/۴۵

شکل ۲۴- منحنی‌های اسکلتون و دوخطی اتصال‌های EPDF و D1

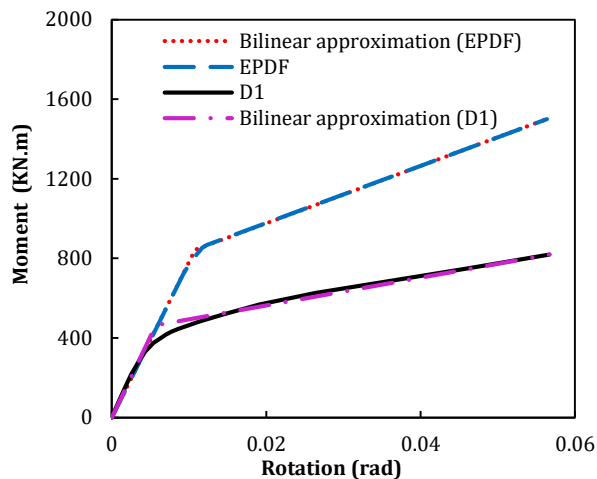


Fig. 24. Skeleton and bilinear curves of EPDF and D1 connections

بنابراین نتایج این منحنی‌ها بطور خلاصه در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۶- مقایسه نتایج اتصال EPDF و D1

اتصال	M_y (KN.m)	M_{max} (KN.m)	δ_y (m)	K_d (KN/m)
EPDF	843.78	1500	0.04	6028
D1	464.35	820	0.02	6634

Table 6. Comparison of results of EPDF and D1 connections

با بررسی نتایج جدول (۶)، می‌توان دریافت که تحمل لنگر حدتسلیم در اتصال EPDF نسبت به اتصال D1 حدود ۸۲ درصد و در حالت نهایی حدود ۸۰ درصد افزایش داشته است. بنابراین میراگر لوله‌ای با مقطع بیضوی می‌تواند به عنوان وسیله مستهلک کننده مناسبی برای کنترل خرابی اتصال گیردار تیر به ستون مورد استفاده قرار گیرد. کانتور تنش فونمیسز اتصال EPDF در شکل (۲۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲۵) مشهود است جذب و استهلاک بار در میراگرهای لوله‌ای بیضوی انجام شده است. از طرفی مقایسه شکل‌های (۱۴) و (۲۵) نشان می‌دهد که تنش حداکثر فونمیسز در میراگرهای لوله‌ای نسبت به میراگر شکافدار کمتر است. همچنین، کانتورهای کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) و نواحی تسلیم‌شده (AC YIELD) در اتصال EPDF به ترتیب در شکل‌های (۲۶ و ۲۷) نشان داده شده است. بررسی کانتورهای کرنش پلاستیک معادل و مقایسه نواحی تسلیم‌شده در شکل‌های (۲۶ و ۲۷) نشان

تجربه کند. در ادامه مقایسه عملکرد دو اتصال، مشخصات یک چرخه از منحنی چرخه‌ای در دو اتصال (مطابق تصویر شماتیک که در شکل (۲۳) نشان داده است) تعیین و مقایسه شده است. مطابق این شکل، مشخصات شامل انرژی مستهلک‌شده، E_{SO} انرژی الاستیک ذخیره‌شده و ξ_{eq} نسب میرایی معادل است که مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌شود [11].

$$\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (6)$$

شکل ۲۳. انرژی مستهلک‌شده در یک چرخه [11]

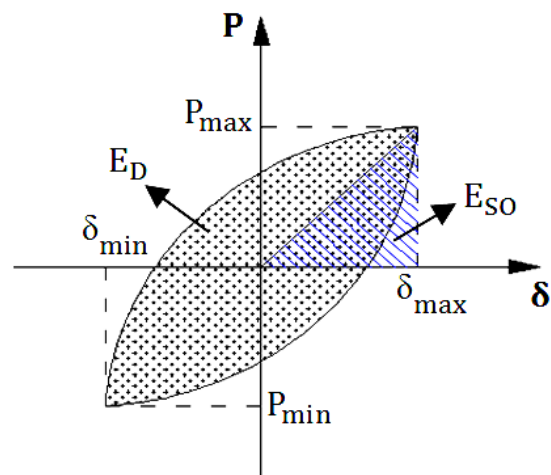


Fig. 23. The dissipated energies in a cycle [11]

مقادیر پارامترهای جذب انرژی با استفاده از منحنی‌های چرخه‌ای شکل (۲۳) و رابطه (۶) در جدول (۵) نشان داده شده است:

جدول ۵- مقایسه جذب انرژی بین اتصال EPDF و D1

اتصال	E_D (KJ)	E_{SO} (KJ)	ξ_{eq}
EPDF	133.62	42.13	0.25
D1	81.75	22.90	0.28

Table 5. Comparison of energy dissipation of EPDF and D1 connections

همچنین، منحنی‌های اسکلتون و دوخطی اتصال EPDF و D1 در شکل (۲۴) ترسیم شده است.

۵-۲- مقایسه با اتصال مستقیم تیر به ستون

در این بخش، عملکرد اتصال گیردار مجهز شده به میراگر EPD با اتصال مستقیم تیر به ستون توسط جوش مقایسه شده است. برای این منظور، اتصال جوشی (W) آزمایش شده توسط آه و همکارانش [11] مورد استفاده قرار گرفته است. نقص عمده این اتصال، کماتش موضعی بال تیر پس از تحمل چندین چرخه بارگذاری است. برای مقایسه عملکرد اتصال جوشی و اتصال مجهز به EPDF، نمودار لنگر-دوران دو اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای نشان داده شده در شکل (۱۲) ترسیم شده و در شکل (۲۸) نشان داده شده است.

شکل ۲۷- کانتور نواحی تسلیم شده‌ی در اتصال مجهز شده به میراگر

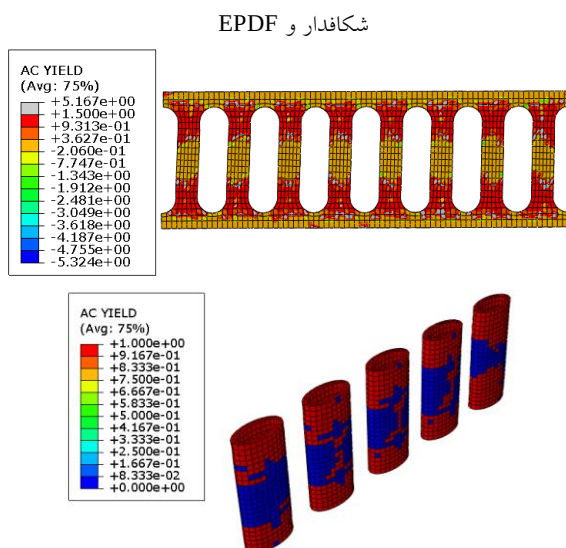


Fig. 27. Contour of yield points of connection equipped with slit damper and EPDF

شکل ۲۸- مقایسه منحنی لنگر-دوران اتصال EPDF و W

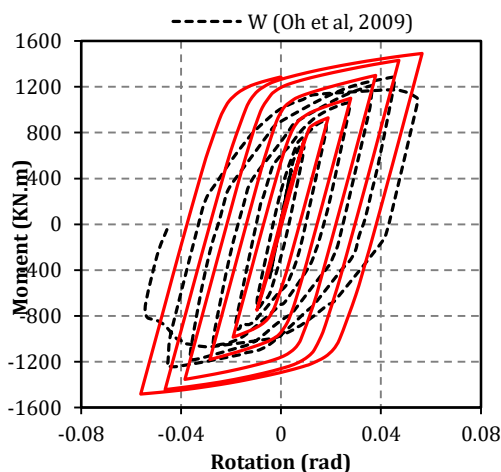


Fig. 28. Comparison of moment-rotation curves between EPDF and W connections

می‌دهد که میراگر لوله‌ای در اتصال مجهز شده به EPDF توانسته است تمامی تغییر شکل‌های پلاستیک را در خود جذب کرده و از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و ستون جلوگیری شده است.

شکل ۲۵. کانتور تنش فون میسز اتصال مجهز به EPDF

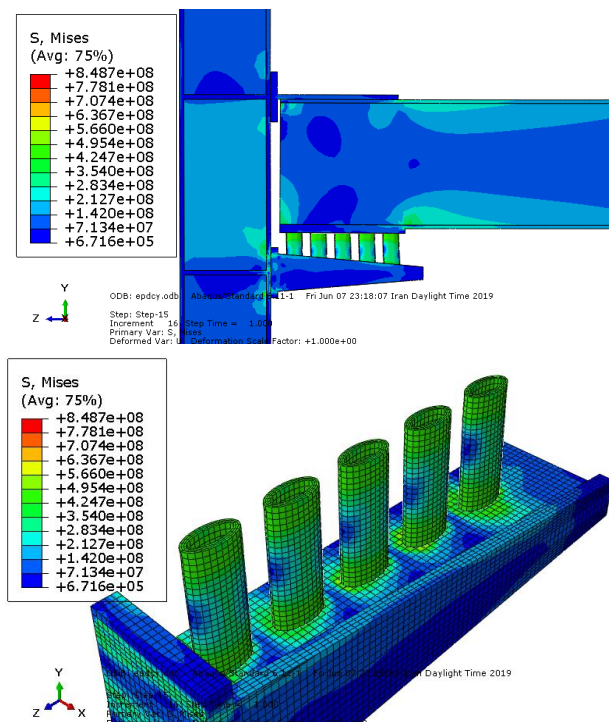


Fig. 25. Von Mises stress contour of connection equipped with EPDF

همچنین مقایسه نواحی تسلیم شده در میراگر شکافدار و میراگر EPDF مطابق با شکل (۲۷) مشاهده می‌شود که وضعیت میراگر شکافدار بحرانی‌تر نسبت به EPDF است.

شکل ۲۶- کانتور کرنش معادل پلاستیک در اتصال مجهز شده به EPDF

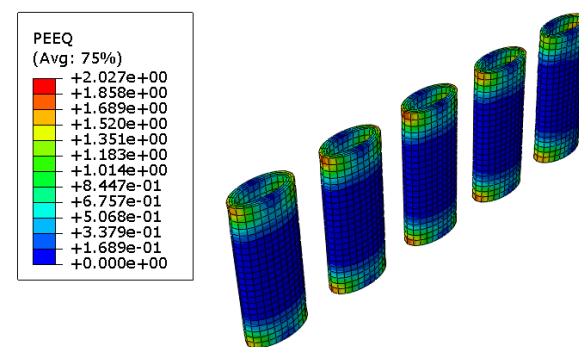


Fig. 26. Equivalent plastic strain contour of connection equipped with EPDF

مقایسه منحنی‌های لنگر-دوران این دو اتصال در شکل (۲۸) ثابت می‌کند اتصال مجهز به EPDF پیشنهاد شده در این پژوهش می‌تواند جایگزین مناسبی برای اتصال جوشی مستقیم تیر به ستون باشد، چون نه تنها این اتصال پیشنهادی از کماتش موضعی بال‌ها جلوگیری می‌کند بلکه مطابق شکل (۲۸) از جذب انرژی و مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌ی اتصال جوش مستقیم برخوردار است. از ویژگی‌های دیگر این اتصال این است که مفصل پلاستیک، تنها در خود میراگر تشکیل می‌شود و پس از اتمام زلزله می‌توان میراگری جدید جایگزین آن نمود.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور بهبود عملکرد اتصال گیردار تیر به ستون قاب‌های خمشی فولادی در برابر زلزله، میراگرهای فولادی فولادی توخالی بیضوی در زیر بال تیر در اتصال به ستون پیشنهاد شده است. با توجه به تغییر شکل هندسی این میراگر، تأثیر آن‌ها در توزیع تنش‌های فونمیسز، کرنش‌های معادل پلاستیک، منحنی‌های نیرو-جابجایی، لنگر-دوران و همچنین میزان استهلاک انرژی بررسی شده است. خلاصه‌ای از نتایج حاصل شده از این پژوهش، به صورت زیر است:

۱- استفاده از مقطع بیضی در میراگر فولادی، سبب بهبود عملکرد آن در بارگذاری چرخه‌ای شده است؛ به طوری که مقدار جذب انرژی توسط یک نمونه از میراگر پیشنهادی با حجم مصالح یکسان نسبت به همان میراگر با مقطع دایره‌ای، رشد ۲۲ درصدی را به همراه داشته است.

۲- با بررسی و مقایسه کانتورهای تنش فونمیسز می‌توان دریافت که توزیع تنش یکنواخت‌تری در میراگر فولادی بیضوی پیشنهادی نسبت به همان نمونه با سطح مقطع دایره‌ای مشاهده می‌شود.

۳- بیشترین نیروی تحمل شده توسط میراگر فولادی با سطح مقطع بیضی، حدود ۱۷ درصد و مقاومت تسلیم آن حدود ۱۹ درصد بیشتر نسبت به میراگر با مقطع دایره‌ای است. این قابلیت به علت استفاده از سطح جانبی بیشتر در مسیر اعمال بار برای اتلاف انرژی توسط میراگر بیضی شکل است و این در حالی است که میراگر با مقطع دایره از سطح جانبی کمتری در مسیر بار بهره می‌برد.

۴- استفاده از ۱۰ عدد میراگر فولادی با سطح مقطع بیضی در زیر بال تیر در اتصال قاب خمشی، سبب شده تا جذب انرژی، مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی آن نسبت به میراگر شکافدار به ترتیب ۶۳، ۸۲ و ۸۳ درصد افزایش داشته باشد. نکته قابل توجه این است که وزن میراگرهای فولادی استفاده شده در اتصال پیشنهادی، اختلاف ناچیزی با وزن میراگرهای شکافدار فولادی دارد.

۵- مزیت دیگر استفاده از میراگرهای فولادی با مقطع بیضی این است که می‌توان نمونه‌ای از آن را با ابعاد مشخص ساخت و تنها با اضافه و کم کردن تعداد این میراگر در زیر بال تیر در اتصال تیر به ستون به مقاومت و میزان جذب انرژی مطلوب دست یافت.

۶- عملکرد میراگرهای فولادی بیضی شکل در اتصال گیردار تیر به ستون نشان می‌دهد که در عمل هیچ آسیبی به اجزای سازه‌ای (تیر و ستون) وارد نشده و تمامی تغییر شکل‌های پلاستیک، تنها در خود میراگرها متمرکز شده است.

شایان توجه است که در مطالعات بعدی می‌توان بهینه‌ترین ابعاد مقطع بیضوی را در قالب یک مساله بهینه‌سازی تعیین نمود و با انتخاب توابع مختلف، تأثیر آنها بر عملکرد میراگر را بررسی نمود. همچنین، ضروری است که عملکرد میراگر بیضوی بصورت آزمایشگاهی هم مورد بررسی قرار گیرد و با نتایج حاصل از این مطالعه مقایسه شود.

۷- تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ نوع تعارض منافی وجود ندارد.

۸- مراجع

References

- 1- Wada A., Huang Y.H., Yamada T.O., Ono Y., Sugiyama S., Baba M. & Miyabara, T. 1997 Actual size and real time speed tests for hysteretic steel damper. *Proceedings of Stessa*, Kyoto, Japan, 778-785.
- 2- Tadaki K., Shigeki I., Hisaya K., Takuya U., & Haruhito O. 2000 Experimental study on hysteresis damper with low yield strength steel under dynamic loading. In *Proceedings of 12th World Congress on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- 3- Tremblay R., Timler P., Bruneu M. & Filiatrault A. 1995 Performance of steel structures during the 1994

- 17- Tremblay R., Bolduc P., Neville R. & Devall R. 2006 Seismic testing and performance of buckling-restrained bracing systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(2), 183–198.
- 18- Wada A., Huang Y.H. & Iwata M. 2000) Passive damping technology for building in Japan. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2(3), 335–350.
- 19- Oh S.H., Kim Y.J. & Ryu H.S. 2009 Seismic performance of steel structures with slit dampers. *Engineering Structures*, 31, 1997–2008.
- 20- Abebe D.Y. & Choi J.H. 2012 Structural performance evaluation on circular pipe steel damper. In *Proceedings of international union of materials research society–international conference in Asia*.
- 21- Abebe D.Y., Jeong S.J., Getahune B.M., Segu D.Z. & Choi J.H. 2014 Study on hysteretic characteristics of shear panel damper made of low yield point steel. *Materials Research Innovations*, 19(S5), S5-902–S5-910.
- 22- Abebe D.Y., Kim J.W., Gwak G. & Choi J.H. 2019 “Low-cycled hysteresis characteristics of circular hollow steel damper subjected to inelastic behavior. *International Journal of Steel Structures*, 19(1), 157–167.
- 23- Khatibinia M., Jalalipour M. & Gharehbaghi, S. 2019 Shape optimization of U-shaped steel dampers subjected to cyclic loading using an efficient hybrid approach. *Engineering Structures*, 197(5): 108874.
- 24- Farahi Shahri S. & Mousavi S.R. 2016 Application of elliptic slits for development of slit damper in beam-to-column connection. *Modares Civil Engineering Journal*, 16(1), 93–105.
- 25- Keykhosro Kiani B., Hosseini Hashemi B. & Torabian Sh. 2020 Optimization of slit dampers to improve energy dissipation capacity and low-cycle-fatigue performance. *Engineering Structures*, 214, 110609.
- 26- Aminzadeh M., Kazemi H.S. & Tavakkoli S.M. 2020 A numerical study on optimum shape of steel slit dampers. *Advances in Structural Engineering*, 23(5), 136943322092728.
- Northridge earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22(2), 338–360.
- 4- Engelhardt M.D., Winneberger T., Zekany A.J. & Potyraj. T.J. 1998 Experimental investigation of dogbone moment connections. *Engineering Journal AISC*, 35, 128–39.
- 5- Suita K., Tamura T., Morita S. Nakashima, M. & Engelhardt M.D. 1999 Plastic rotation capacity of steel beam-to-column connections using a reduced beam section and no weld access hole design. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 526(12), 177–184.
- 6- Oh S.H., Kim Y.J. & Moon T.S. 2007) Cyclic performance of existing moment connections in steel retrofitted with a reduced beam section and bottom flange reinforcements. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(2), 199–209.
- 7- FEMA-350., 2000 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings. SAC Joint Venture.
- 8- Soong T.T. & Spencer J.B.F. 2002) Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice. *Engineering Structures*, 24(3), 243–259.
- 9- Tsai K., Chen H. & Hong, C. 1993 Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic resistant construction. *Earthquake Spectra*. 9(3), 505–528.
- 10- Benavent Climent A., Oh S.H. & Akiyama H. 1998 “Ultimate energy absorption capacity of slit-type steel plates subjected to shear deformations. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 503(1), 139–145.
- 11- Lee M.H., Oh S.H., Huh C., Oh Y.S., Yoon M.H. & Moon T.S. 2002 Ultimate energy absorption capacity of steel plate slit dampers subjected to shear force. *International Journal of Steel Structures*, 2(2), 71–79.
- 12- Benavent Climent A. 2006 Influence of hysteretic dampers on the seismic response of reinforced concrete wide beam-column connections. *Engineering Structures*, 28(4), 580–592.
- 13- Chan R.W.K. & Albermani F. 2008 Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation. *Engineering Structures*, 30(4), 1058–1066.
- 14- Kabori T., Mirura Y., Fukusawa E., Yamada T., Arita T., Takenaka, Y., Miyagawa N., Tanaka N. & Fukumoto T. 1992) Development and application of hysteresis steel dampers. In: *Proceedings of 11th world conference on earthquake engineering*, 2341–2346.
- 15- Sabelli R., Mahin S. & Chang C. 2003 Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling-restrained braces. *Engineering Structures*, 25(5), 655–666.
- 16- Iwata M. & Murai, M. 2006 Buckling-restrained brace using steel mortar planks; performance evaluation as a hysteretic damper. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35(14), 1807–1826.

Performance assessment of beam to column moment connection equipped with ellipse pipe steel damper

J. Hassanzadeh¹, S.R. Sarafrazi², M. Khatibinia^{3*}

1- M.Sc. Graduated in Structural Engineering, University of Birjand

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand

3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand

*m.khatibinia@birjand.ac.ir

Abstract

The high ductile of steel moment-resisting frames (SMRFs) during earthquakes has been challenged due to the brittle fractures of their welded (rigid) beam to column connections. Consequently, SMRFs have suffered severe damages and have produced collapse in main structural members (such as beams and columns). During previous years, energy dissipative devices in the connections of SMRFs have been developed by some researchers to resolve the ductility problem in the connection of rigid beam to column in SMRFs. Circular pipe steel damper (CPSD) proposed as a type of steel damper can indicate and mainly dissipate the seismic energy through its inelastic deformation. Among steel dampers such as shear panel damper, the advantage of CPSD is to resist applied load in all directions. Under cyclic loading, the circular shape of CPSD can change to elliptical shape which causes an extra energy in its absorption capacity. The previous studies indicated that the stress concentration was high at both ends in the loading direction. The maximum stress was also observed at lower ends in the direction of loading. Hence, finding the best shape of the cross section can enhance the behaviour of pipe steel damper (PSD). In this study, the ellipse PSD (EPSD) (or the ellipse of cross section) was proposed for improving the performance of rigid beam to column connections of steel structures. For investigating the performance of the proposed EPSD, the behavior of a rigid connection with the common slit steel damper (SSD) was assessed subjected to cyclic loading in the ABAQUS software. It is noted that the proposed EPSD has the same weight in comparison with that of the common CPSD. The results of the assessment shown that the energy dissipation of the proposed EPSD and CPSD subjected to cyclic load is equal to 11.11 kJ and 9.11 kJ, respectively. Thus, the proposed damper in comparison with CPSD can effectively contribute to about 22% of the total dissipated energy. The distribution of stress in the proposed EPSD in comparison with that of CPSD was also uniformly caused in the height of EPSD. Furthermore, the performance of a rigid beam to column connection equipped with the proposed EPSD and SSD subjected to cyclic loading was compared. The results of the comparison revealed that the EPSD in the rigid connection increased to about 63% of the total dissipated energy. Due to the distribution of stresses in more area of the EPSD, the strength of the proposed damper increased. Finally, the performance of a rigid beam to column connection equipped with the proposed EPSD and the welded connection subjected to cyclic loading was compared. The results of this study demonstrated that the rigid connection equipped with the proposed EPSD could withstand a large number of cycles of loading until the failure. Therefore, the proposed EPSD can be used instead of welded connection in SMRFs. In the future studies, it is proposed that the best geometry shape of the PSD subjected cyclic loading can be found in the framework of an optimization problem.

Keyword: Circular pipe steel damper, ellipse shape, Dissipation of energy, Hysteresis behavior.