



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۳۴۱ تا ۳۵۱  
Vol. 48, No. 3, Fall 2016, pp. 341-351



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست

Amirkabir Journal of Science & Research  
Civil and Environmental Engineering  
(ASJR-CEE)

## افزایش استهلاک انرژی در مهاربند همگرا با استفاده از صفحه اتصال سوراخ‌دار

عبدالله چراغی<sup>۱</sup>، سید مهدی زهرائی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکترای سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد اراک)

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

(دریافت ۱۳۹۳/۶/۱۹، پذیرش ۱۳۹۳/۱۰/۱۶)

### چکیده

مهاربندهای هم‌محور از جمله عناصر متداول در تأمین سختی و مقاومت جانبی سازه‌ها هستند که در مقایسه با قاب‌های خمشی و مهاربندهای برون‌محور، از استهلاک انرژی و شکل‌پذیری کمتری برخوردار هستند. عیوب موجود سبب شدند تا تحقیقات و مطالعات فراوانی طی سال‌های اخیر برای بهبود شکل‌پذیری و تأمین عملکرد لرزه‌ای مناسب این بادبندها توسط محققین مختلف و با بکارگیری تمهیداتی انجام گیرد که بعضاً نتایج مثبت و قابل تأملی در پی داشته‌اند. در این مقاله با ایجاد سوراخی در صفحه اتصال میانی یا کناری چند نمونه مهاربند قطری و ضربدری، سعی در تأمین شکل‌پذیری و بهبود عملکرد چرخه‌ای آن‌ها گردید و عملکرد آن‌ها با انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود *ABAQUS* بررسی شد. اساس کارکرد روش ارائه‌شده در جلوگیری از کمانش مهاربندها بوده و بنابراین سوراخ‌های ایجاد شده باید به نحوی طراحی گردند که قبل از آن‌که مهاربند به بار بحرانی کمانشی خود برسد، به تسلیم رسیده و به جذب و استهلاک انرژی زلزله کمک نمایند. نتایج تحلیل گویای منحنی‌های پسماند پایدارتر و افزایش جذب انرژی طی بارگذاری چرخه‌ای در نمونه‌های پیشنهادی نهایی و نیز تعویق در وقوع کمانش در عضو اصلی مهاربند است؛ به طوری که در منحنی پسماند نمونه‌های منتخب تا تغییر مکان حدود ۲ سانتی‌متر نیز افت عملکردی دیده نمی‌شود. اما مهاربند معمولی در تغییر مکان کمتر از ۱ سانتی‌متر دچار کمانش شده و افت عملکرد آن مشهود است. همچنین کاهش سختی حدود ۸ تا ۵۷ درصد و افزایش ۱۲ تا ۱۷ درصدی در میزان میرایی معادل از مزایای آن است.

### کلمات کلیدی:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please site this article using:  
Cheraghi, A., and Zahrai, S. M., 2016. "Energy Dissipation Improvement in CBFs Using Perforated Gusset Plates". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(3), pp. 339-349.  
DOI: 10.22060/ceej.2016.616  
URL: [http://ceej.aut.ac.ir/article\\_616.html](http://ceej.aut.ac.ir/article_616.html)

نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات: E-mail: [mzahrai@ut.ac.ir](mailto:mzahrai@ut.ac.ir)



## ۱- مقدمه

مهاربندهای همگرا از جمله عناصر متداول در تأمین سختی و مقاومت جانبی سازه‌ها هستند که در مقایسه با سایر عناصر برابر جانبی (از جمله قاب‌های خمشی و مهاربندهای برون‌محور) از استهلاک انرژی و شکل‌پذیری کمتری برخوردارند. عیوب موجود سبب شدند تا تحقیقات و مطالعات فراوانی طی سال‌های اخیر برای بهبود شکل‌پذیری و تأمین عملکرد لرزه‌ای مناسب این بادبندها توسط محققین مختلف انجام گیرد که بعضاً نتایج مثبت و قابل تأملی را در پی داشته‌اند. معمولاً اساس کارکرد تمامی روش‌های ارائه‌شده در جلوگیری از کماتش مهاربندها بوده و سعی بر آن است که قبل از آن که مهاربند به بار بحرانی کماتشی خود برسد، به تسلیم رسیده و در جذب و استهلاک انرژی زلزله مشارکت نمایند. همچنین معمولاً طراحی به گونه‌ای است که عضو جاری‌شونده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل پلاستیک مستهلک نموده و از ورود سایر اعضای سازه به مرحله غیرخطی و همچنین کماتش اعضای مهاربند جلوگیری نماید. یک نقص اصلی در عملکرد بادبندهای هم‌مرکز، کماتش بادبند فشاری قبل از تسلیم و جذب انرژی ناکافی است. ایده استفاده از مقاطع اتلاف انرژی از جمله مواردی بوده که به طور گسترده برای اصلاح رفتار لرزه‌ای این‌گونه مهاربندها مورد توجه قرار گرفته است.

رضایی و همکاران [۱] با بررسی‌های آزمایشگاهی به ارزیابی رفتار مهاربندهای همگرا با استفاده از قطعه شکل‌پذیر و به منظور استهلاک انرژی بیشتر پرداختند. طراحی قطعه گفته‌شده در عضو مهاری به گونه‌ای است که قبل از کماتش مهاربندها به تسلیم برسد.

اُه و همکاران [۲] به منظور رفع مشکل ضعف اتصالات تیر به ستون در برابر زلزله، اتصال سازه‌ای با میراگر شکافدار را پیشنهاد نمودند. نتایج تحلیل آن‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای گویای رفتار پسماند<sup>۱</sup> مناسب اتصال مجهز به میراگرهای شکافدار است. در تحقیق دیگر، کوکن و کروگلو [۳] با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی در مقیاس واقعی، نوعی اتصال جدید مجهز به میراگر شکافدار و میراگر لاستیکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمایش حاکی از آن است که رفتار شکل‌پذیر اتصال موجب تمرکز استهلاک انرژی و تغییر شکل‌های پلاستیک در خود و مانع از انتقال آن به تیر و ستون شده است.

چان و آلبرمانی [۳] تحقیقاتی را بر روی مدلسازی رفتار میراگرهای شکافدار فولادی انجام دادند. این نوع میراگرها از جمله سامانه‌های اتلاف انرژی هستند که در قسمت زیرین اتصالات صلب تیر به ستون و یا در اتصال مهاربندهای شورن (هفت یا هشت) به تیر فولادی به کار برده می‌شوند. با استفاده از این سیستم می‌توان ضمن ممانعت از کماتش موضعی ورق‌ها در محل اتصال، استهلاک انرژی مطلوبی را نیز ایجاد نمود. نوارهای فولادی با توجه به تغییر شکل‌های اعمالی ناشی از تحریکات جانبی و ابعاد شکاف‌ها، تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی یا

برشی داده و با افزایش تغییر شکل‌ها و پیشروی در ناحیه غیرارتجاعی، رفتار پسماند مطلوبی را از خود بروز می‌دهند.

کلیمنت و همکاران [۵] در تحقیق دیگری با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی صفحات فولادی شکافدار، روابطی را برای تخمین انرژی تلف‌شده توسط این المان‌ها بر مبنای شکل‌پذیری آن‌ها ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند که نوارهای فولادی با ارتفاع بیشتر و عرض کمتر، انعطاف بیشتری دارند و نوارهای با ارتفاع کمتر و پهنای بیشتر، از سختی بیشتری برخوردارند و با سرعت بیشتری به اتلاف انرژی می‌پردازند.

فرانکو و همکاران [۶] با ارائه ایده‌ای نوین، به مطالعه رفتار یک نوع میراگر فلزی جاری‌شونده پرداختند. این میراگر بر مبنای خواص پلاستیسیته فلزات تحت اثر تنش تماسی ناشی از پیچش شکل گرفته است. این میراگر از یک لوله با مقاطع مختلف تشکیل شده است؛ به طوری که قسمت‌های انتهایی و میانی آن دارای یک سطح مقطع ثابت بوده و در نواحی میانی بین تکیه‌گاه‌ها، ضخامت و قطر لوله برای استهلاک انرژی کاهش می‌یابد. با استفاده از مکانیزم مذکور تغییر مکان‌های لوله محدود شده و تنها اجازه پیچش خواهد یافت. مقاومت خستگی بالا و تأخیر رخداد کماتش در نواحی تسلیمی از مزایای عضو مذکور است. ملکی و باقری [۷] با مطالعه رفتار لوله‌های فولادی توخالی و پر شده با بتن، به بررسی امکان استفاده از این ابزارها به عنوان میراگر پسماند لرزه‌ای تحت تنش برشی پرداختند. نتایج تحلیل‌های اجزای محدود حاکی از آن است که سختی و مقاومت میراگر لوله‌ای با افزایش طول لوله به صورت خطی و با افزایش ضخامت و کاهش قطر آن، به شکل غیرخطی افزایش خواهد یافت. لوله‌های فولادی پر شده با بتن با بروز رفتار غیرشکل‌پذیر ناشی از شکست بتن دچار گسیختگی شده و رفتار پسماند مطلوب و پایداری را از خود نشان نمی‌دهند. در حالی که لوله‌های فولادی توخالی همانند شکل پایدار خود از ظرفیت بالایی در جذب و استهلاک انرژی برخوردار بوده و میرایی و یسکوز معادل بزرگی در برابر تحریکات لرزه‌ای ایجاد می‌نمایند. میراگر حلقوی برای اولین بار توسط مالک پیشنهاد شد. این میراگر از یک حلقه با سطح مقطع مربعی از ورق‌های فولادی تشکیل شده و در محل تقاطع اعضای مهاربندهای همگرا نصب می‌گردد.

مالک و همکاران [۸] رفتار تک‌آهنگ و چرخه‌ای مدل میراگر حلقوی را با مدلسازی اجزای محدود بررسی نمودند. منحنی‌های پسماند پایدار بیانگر رفتار مناسب و قابلیت استهلاک انرژی بالای آن است. تمرکز تنش در نزدیکی محل اتصال مهاربندها به میراگر سبب بروز کماتش‌های موضعی در این نواحی می‌گردد. با طراحی صحیح ابعاد این سیستم و نیز نسبت عرض به ضخامت ورق‌های تشکیل‌دهنده آن می‌توان اتلاف انرژی بالایی را در تغییر مکان‌های کم ایجاد نمود. اتصالات آکاردئونی نیز از جمله ایده‌های ارائه‌شده در بهسازی رفتار مهاربندهای همگرا است. رفتار این میراگرها توسط معتمدی و همکاران [۹] مورد ارزیابی واقع شد. آن‌ها با مطالعه یک قاب یک طبقه و یک دهانه فولادی در دو حالت قاب تنها و قاب مجهز به میراگر آکاردئونی، تأثیر الحاق آن را بر قاب

<sup>۱</sup> Hysteresis

و تغییر شکل آن، سعی در اصلاح رفتار مهاربندهای همگرا گردیده است. ظرفیت خمشی صفحه اتصال که متأثر از قطر سوراخ و نیز نسبت قطر سوراخ به عرض ورق است، به گونه‌ای انتخاب شده که کمتر از ظرفیت کمانشی عضو فشاری باشد و عملاً احتمال وقوع کمانش در عضو اصلی منتفی گردد. تغییر شکل سوراخ دایره‌ای تحت بارگذاری چرخه‌ای سبب اتلاف انرژی و تمرکز خسارت در این ناحیه شده و در صورت طراحی و اجرای مناسب، تضمین‌کننده رفتار مناسب‌تر قاب خواهد بود. برای انتخاب صحیح نسبت قطر سوراخ به عرض ورق که از این پس  $D/B$  نامیده می‌شود، لازم است تا در ابتدا ظرفیت کمانشی عضو مهاربند محاسبه و سپس کاهش سطح مقطع لازم تعیین گردد. انتخاب صحیح نسبت مذکور از مراحل تأثیرگذار بوده به طوری که در صورت افزایش نسبت  $D/B$  از میزان بهینه، انعطاف‌پذیری بیش از حد مقطع موجب کاهش شدید سختی و عملکرد نامطلوب بوده و در صورت کاهش نسبت  $D/B$  از حد بهینه، عملاً اتصال پیشنهادی مؤثر نبوده و کمانش مهاربند تحت نیروی فشاری موجب افت عملکرد سیستم می‌گردد. در صورت طراحی مناسب انتظار می‌رود تا صفحه اتصال نقش فیوز را داشته و از کمانش عضو اصلی جلوگیری نماید. ایده اصلی تحقیق در شکل (۱) ارائه گردیده است.

در این تحقیق شش مدل مهاربند قطری و دو مدل مهاربند ضربدری به شرح جدول (۱) مورد آزمایش قرار گرفتند. به دلیل سادگی بیشتر رفتار مهاربند قطری و اعمال نیروی کششی یا فشاری صرف در هر چرخه بارگذاری و برای آزمایش امکان استفاده از اتصال پیشنهادی، در ابتدا رفتار عضو در شش نمونه مهاربند قطری ارزیابی شد و پس از حصول اطمینان از عملکرد آن، نمونه برتر در مهاربند ضربدری نیز بررسی گردید. مقطع مهاربند در کلیه نمونه‌ها از ترکیب دو پروفیل ناودانی نمره ۱۴ به عنوان مقطعی پرکاربرد و متداول در سازه به صورت قوطی‌شکل انتخاب گردید. برای بررسی رفتار لرزه‌ای مهاربند معمولی در بارگذاری چرخه‌ای، مهاربند قطری از مقطع  $2UNP14$  در نمونه اول بدون هیچ‌گونه تغییر خاص، مدلسازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. در مدل‌های دوم تا پنجم با ایجاد سوراخ دایروی با قطرهای ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر بر روی ورق اتصال وسط مهاربند، رفتار آن تحت بارگذاری چرخه‌ای ارزیابی شد. گفتنی است که تأثیر سخت‌کننده بر روی ورق اتصال وسط مهاربند در اطراف سوراخ دایروی در مدل‌های چهارم و پنجم مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار می‌رفت تا ایجاد سوراخ در ورق اتصال سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای مهاربند شده و با تغییر شکل خود تحت بارگذاری زلزله به عنوان عضو مستهلک‌کننده انرژی برای کاهش سختی، کاهش برش‌پایه و در نتیجه کاهش تنش در اعضای اصلی در رفتار لرزه‌ای قاب مؤثر واقع گردد. همچنین انتظار آن می‌رفت تا سخت‌کننده‌های نصب‌شده در اطراف بازشوی ورق اتصال سبب جلوگیری از پارگی این قسمت و بهبود عملکرد آن گردند. ناحیه کاهش‌یافته در نمونه ششم به درون صفحه اتصال کناری انتقال یافته و مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های هفتم

مورد ارزیابی قرار دادند. این المان‌ها در مقایسه با لوله‌های جدار نازک از پتانسیل بالایی در تشکیل مفاصل پلاستیک برخوردار هستند. با هدایت مود کمانشی به سمت الگوی آکاردئونی، حداکثر لنگر خمشی تحت بار محوری در نقاط بالا و پایین موج‌ها پدید آمده و با بروز کرنش‌های پلاستیک در سراسر لوله، انرژی ورودی به سازه را مستهلک می‌نماید. مشخصات هندسی ورق‌ها از قبیل طول، شعاع، ضخامت لوله و نیز شعاع خم و زاویه ورق‌ها از عوامل تأثیرگذار بوده و باید مورد توجه قرار گیرند. نتایج تحقیق حاکی از افزایش میزان انرژی تلف‌شده و نیز میزان میرایی معادل است.

در تحقیقی دیگر، عباس‌نیا و همکاران [۱۰] در مطالعاتی به بررسی بهبود رفتار مهاربندهای هم‌محور با استفاده از حلقه فولادی پرداختند. طراحی میراگر حلقه متأثر از نیروی محوری مهاربند بوده و باید قبل از وقوع کمانش عضو فشاری تحت تحریکات لرزه‌ای وارد مرحله غیرالاستیک شده و جذب انرژی نماید. نتایج ارزیابی المان محدود با مطالعه رفتار حلقه فولادی در یک مهاربند قطری نشان داد که این حلقه به عنوان یک عضو شکل‌پذیر دارای عملکرد مناسب بوده و موجب بهبود رفتار مهاربند می‌شود. اصلاح رفتار مهاربند همگرا با استفاده از نوعی اتصالات مفصلی خاص توسط تیرکا و همکاران [۱۱] مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از بهبود عملکرد لرزه‌ای مهاربند با تکیه بر تمرکز مفاصل پلاستیک در اتصالات و الاستیک ماندن رفتار عضو اصلی مهاربند داشت.

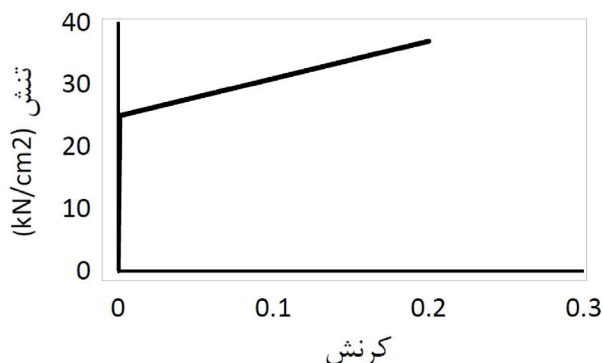
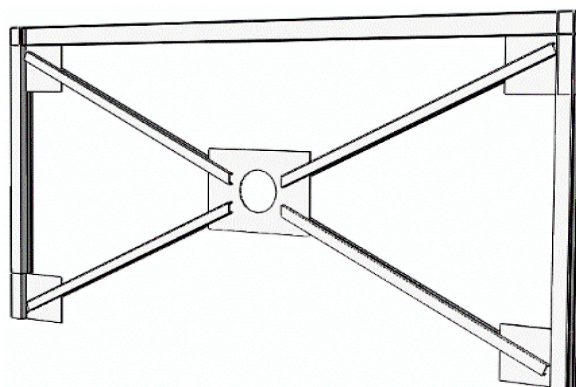
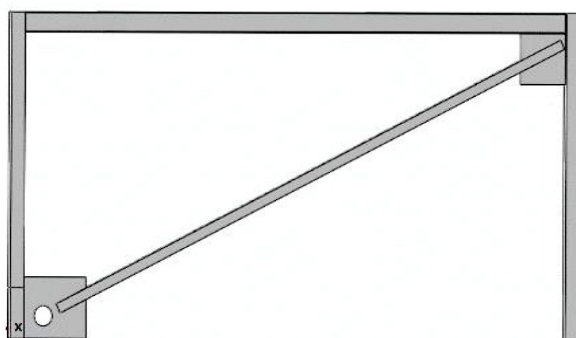
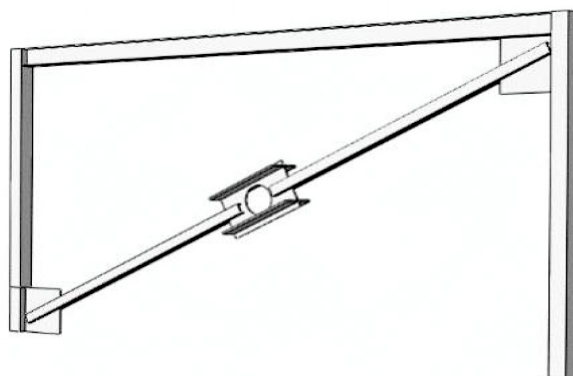
احمدی و همکاران در تحقیقی دیگر، میراگر پسماند نوینی را با استفاده از تعدادی صفحات دایره‌ای شکل دندانه‌دار که حول محور لوله گذرنده از مرکز دوران می‌کنند، ارائه نمودند. میله فولادی از یکسو به اعضای مهاربندی و از طرف دیگر به تیر بالایی قاب متصل بوده و روش کار آن بر پایه استهلاک انرژی بر مبنای استفاده از سازوکار خمش و لهیدگی در صفحات فولادی است. همچنین نتایج تحلیلی گویای عملکرد مناسب آن‌ها و پایداری منحنی‌های پسماند بوده که حاکی از اتلاف انرژی مناسب این سیستم است [۱۲]. تحقیقاتی از این دست برای بهبود عملکرد لرزه‌ای و شکل‌پذیری مهاربندهای همگرا همواره در حال انجام بوده و در مقاله حاضر نیز به یکی از این موارد ابتکاری پرداخته شده است.

## ۲- دیدگاه کلی تحقیق

با بررسی انجام‌گرفته بر روی رفتار مهاربندهای هم‌محور ملاحظه می‌گردد که شکل‌پذیری و عملکرد لرزه‌ای آن‌ها به شدت تحت تأثیر رفتار عضو فشاری بوده و کاهش شدید سختی و مقاومت پس از کمانش المان فشاری سبب افت محسوس عملکرد آن طی بارگذاری چرخه‌ای می‌گردد. بنابراین اتخاذ راهکاری برای جلوگیری از کمانش عضو و یا به تأخیر انداختن آن سبب بهبود شکل‌پذیری آن خواهد شد. در این مقاله با ایجاد سوراخی در صفحه اتصال میانی یا کناری مهاربند به منظور ایجاد نقطه وضعی از پیش تعیین‌شده و استفاده از ظرفیت جذب انرژی در اثر اعوجاج

جدول (۱): نمونه‌های به کار رفته در تحلیل

نسبت $D/B$	خصوصیات نمونه	مقطع مهاربند	ارتفاع	طول	نمونه‌ها
-	معمولی	2UNP14	۳	۵	نمونه ۱ قطری
۰/۵	سوراخ‌دار به قطر ۲۰ سانتی‌متر	2UNP14	۳	۵	نمونه ۲ قطری
۰/۷۵	سوراخ‌دار به قطر ۳۰ سانتی‌متر	2UNP14	۳	۵	نمونه ۳ قطری
۰/۵	سوراخ‌دار به قطر ۲۰ با سخت‌کننده	2UNP14	۳	۵	نمونه ۴ قطری
۰/۷۵	سوراخ‌دار به قطر ۳۰ با سخت‌کننده	2UNP14	۳	۵	نمونه ۵ قطری
۰/۷۵	سوراخ‌دار در صفحه اتصال کناری	2UNP14	۳	۵	نمونه ۶ قطری
-	معمولی	2UNP14	۳	۵	نمونه ۷ ضربدری
۰/۷۵	سوراخ‌دار به قطر ۴۰ با سخت‌کننده	2UNP14	۳	۵	نمونه ۸ ضربدری



شکل (۲): منحنی تنش کرنش فولاد

شکل (۱): طرح‌های پیشنهادی

سخت‌شوندگی می‌توان بازه‌هایی را برای تعریف مشخصات مصالح در نظر گرفت که هر بازه محدوده متفاوتی از کرنش‌ها را پوشش می‌دهد.

#### ۴- شرح روش اجزای محدود

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود *ABAQUS* [۱۳] و انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بر روی مدل سه‌بعدی، به بررسی رفتار مهاربند اصلاح‌شده طبق شکل (۳) پرداخته شد. همان‌طور که استفاده از نوع *SOLID* بوده و تحلیل با لحاظ اثر تغییر شکل‌های بزرگ انجام گرفت. به دلیل آن‌که در اکثر استانداردهای معتبر دنیا از الگوی بارگذاری به شیوه افزایش تغییر مکان برای ارزیابی رفتار سازه‌ها استفاده می‌شود، بنابراین در این تحقیق نیز به منظور انجام ارزیابی‌های استاتیکی غیرخطی از الگوی تغییر مکان افزایشنده در جهت محور  $x$  و در گام‌های زمانی ۰/۱ ثانیه با لحاظ اثر تغییر شکل‌های بزرگ برای کمانش اعضا استفاده گردید. همچنین سعی شد تا الگوی بارگذاری مانند شکل

و هشتم به مدلسازی رفتار مهاربند ضربدری اختصاص یافتند. در نمونه هفتم یک نمونه مهاربند ضربدری معمولی بدون هیچگونه تغییر خاص و در نمونه هشتم نیز با ایجاد سوراخی در صفحه اتصال وسط، عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از روش اجزای محدود به بررسی عملکرد چرخه‌ای نمونه‌ها پرداخته شد.

#### ۳- مصالح بکار رفته در تحلیل

فولاد بکار رفته از نوع *ST37* بوده و منحنی تنش کرنش آن به صورت دوخطی و مطابق شکل (۲) در نظر گرفته شده است. مصالح مورد استفاده به صورت غیرخطی مدل شده و گزینه سخت‌شوندگی ترکیبی فعال گردیده است. در واقع این نوع سخت‌شوندگی ترکیبی از گزینه‌های ایزوتروپیک و سینماتیک بوده و با استفاده از داده‌هایی از نیمه اول چرخه نمودار تنش-کرنش در آزمایش کشش به دست می‌آید. در این نوع



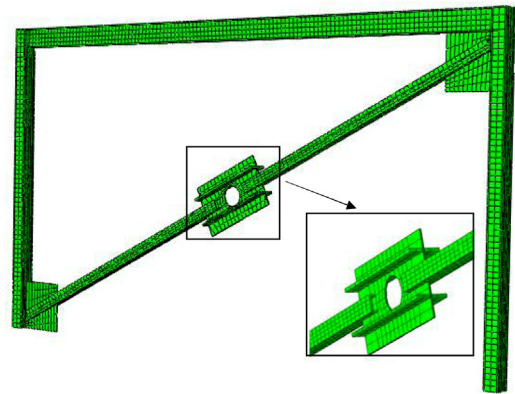
(۴) تقریباً مطابق با بارگذاری عملی به روش کنترل تغییر مکان بر طبق پیشنهاد *ATC-24* انجام گیرد که بر طبق آن، چرخه‌های بارگذاری روی نمونه‌های آزمایشگاهی بر مبنای  $0.125, 0.5, 1, 2$  و  $3$  برابر تغییر مکان تسلیم در سه چرخه و بیشتر از آن تا تغییر مکان حداکثر در  $2$  چرخه انجام می‌گردند [۱۴].

#### ۵- سنجش درستی مدل عددی

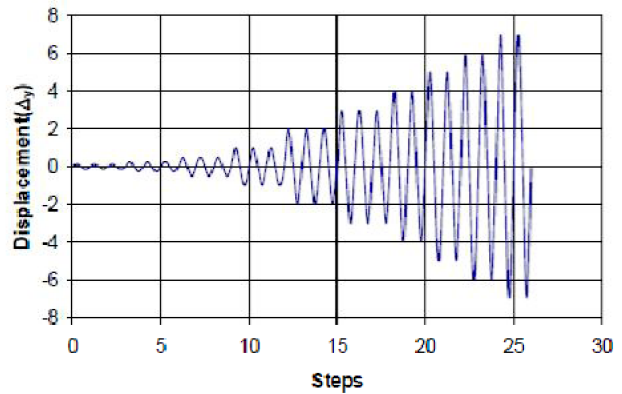
برای بررسی درستی نتایج و اطمینان از یکسانی مشخصات و عناصر به کار رفته در مدل عددی با شرایط واقعی، در ابتدا مدل شماره ۱ واقعی ساخته شده در آزمایشگاه تحت بارگذاری چرخه‌ای به شرح مرجع [۱۵] با تمام جزئیات به استثنای جوش، توسط نرم‌افزار *ABAQUS* مدلسازی و نتایج به دست آمده از تحلیل نرم‌افزاری با نتایج حاصل از مطالعه آزمایشگاهی مقایسه شدند. همانطور که در شکل‌های (۵) و (۶) ملاحظه می‌شود، ارزیابی منحنی‌های پسماند به دست آمده از تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی گویای تطبیق مناسب نتایج بوده و مختصر تفاوت موجود نیز حاصل از شرایط بارگذاری و نیز جزئیات مدلسازی از جمله عدم مدلسازی جوش اتصال و نظایر آن است.

#### ۶- بررسی نتایج تحلیل

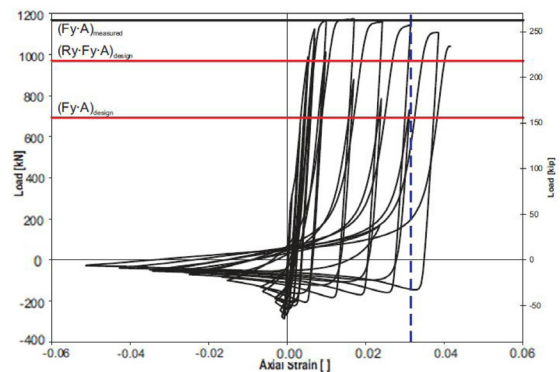
همان‌طور که از ابتدا نیز قابل تصور بود، بررسی نمودار پسماند نمونه اول (شکل (۷)) حاکی از رفتار نامطلوب و غیرشکل‌پذیر مهاربند هم‌محور داشته و افت مقاومت و کاهش محسوس سختی قاب پس از کماتش عضو فشاری قابل مشاهده است. کماتش مهاربند در برش پایه حدود  $65$  تن سبب ناپایداری منحنی پسماند و افت شدید عملکرد سازه گردیده است که تطابق خوبی را با بار کماتشی محاسباتی مقطع داشته و مؤید صحت نتایج تحلیل است. همان‌طور که اشاره شد، اندک تفاوت موجود ناشی از عواملی نظیر جزئیات مدلسازی و شرایط بارگذاری است. نبود تقارن در رفتار کششی و فشاری مهاربند سبب بروز کماتش زود هنگام شده و عملاً بخش زیادی از ظرفیت مقطع بدون استفاده مانده است.



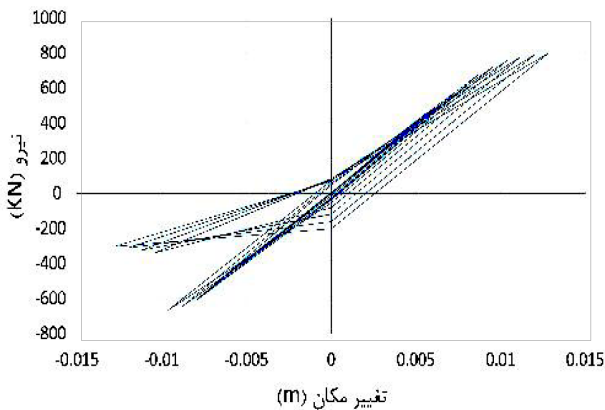
شکل (۳): نمونه اجزای محدود مهاربند قطری پیشنهادی



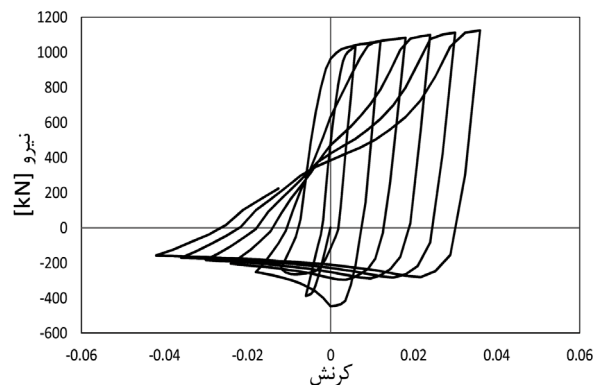
شکل (۴): بارگذاری پیشنهادی *ATC-24* [۱۴]



شکل (۵): منحنی پسماند نمونه آزمایشگاهی [۱۵]

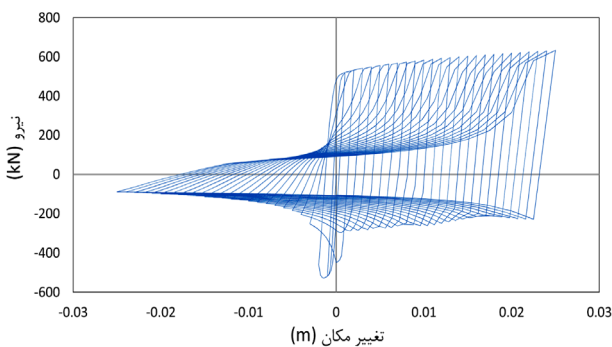


شکل (۷): منحنی پسماند نمونه ۱ (معمولی)

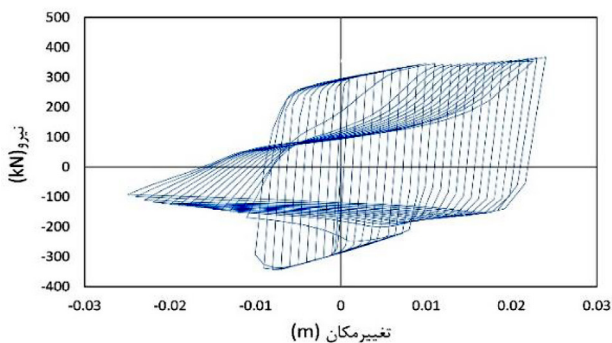


شکل (۶): منحنی پسماند نمونه عددی

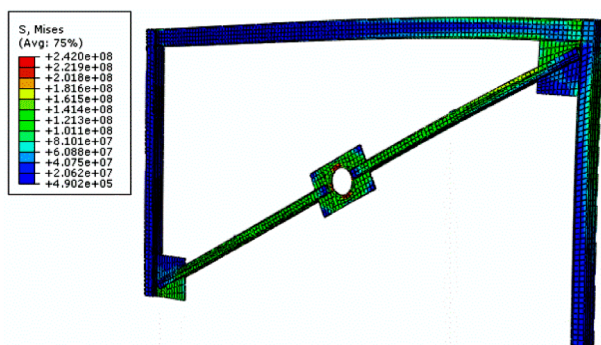
پایدار آن‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای است (شکل‌های (۱۲) و (۱۳)). در این نمونه‌ها کاهش سختی خارج از صفحه مهاربند به واسطه برش عضو اصلی مهاربند و با استفاده از تسمه فلزی جبران گردید. تأثیر افزودن تسمه فولادی برای افزایش ممان اینرسی حول محور ضعیف سبب کاهش احتمال وقوع کماتش خارج از صفحه و بهبود عملکرد چرخه‌ای مهاربند همگرا گردیده است. انتخاب عرض و ضخامت تسمه فولادی به گونه‌ای است که کمبود ممان اینرسی ناشی از کاهش سطح مقطع در راستای محور ضعیف عضو را تا حد زیادی جبران نماید. در این حالت، حفره ایجاد شده در صفحه اتصال وسط نقش عضو مستهلک‌کننده انرژی را به خوبی ایفا نموده و تغییر شکل مداوم قسمت کاهش‌یافته و پلاستیک شدن مقطع در این قسمت سبب بهبود محسوس عملکرد مهاربند گردیده است.



شکل (۹): منحنی پسماند نمونه دوم ( $D/B=0.5$ )



شکل (۱۰): منحنی پسماند نمونه سوم ( $D/B=0.75$ )



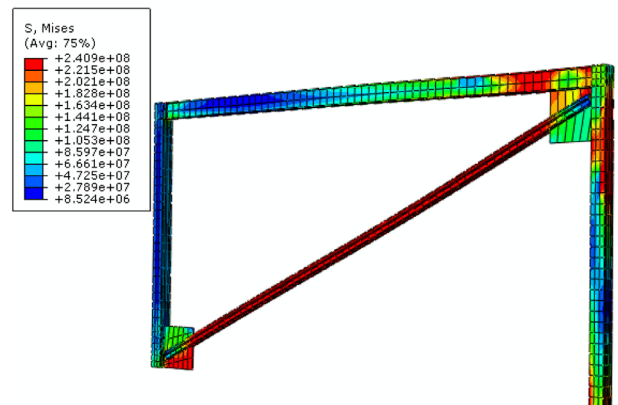
شکل (۱۱): توزیع تنش فون میسز در نمونه سوم ( $D/B=0.75$ )

طبق شکل (۸)، نحوه توزیع تنش‌های فون میسز<sup>۱</sup> در نمونه اول حاکی از تمرکز این تنش‌ها در طول مهاربند و نیز محل اتصال به ستون بوده و احتمال وقوع خرابی و خسارت در این نقاط را افزایش می‌دهد. تمرکز شدید تنش در گوشه‌های قاب امکان کماتش صفحه اتصال کناری و نیز وقوع آسیب در اتصالات را بسیار محتمل می‌نماید و باید در طراحی این اعضا مد نظر قرار گیرد.

بررسی منحنی‌های پسماند نمونه‌های دوم و سوم حاکی از رفتار مناسب‌تر نسبت به نمونه معمولی است. اما کاهش شدید ممان اینرسی مقطع در قسمت صفحه اتصال وسط موجب کماتش خارج از صفحه مهاربند و جلوگیری از دستیابی به عملکرد مورد انتظار گردید. در هر دو نمونه مذکور وقوع کماتش خارج از صفحه دقیقاً در قسمت صفحه اتصال وسط به وقوع پیوست و سبب کاهش ظرفیت محوری مهاربند و رفتار غیرشکل‌پذیر آن گردید. مقایسه منحنی‌های به دست آمده در هر دو نمونه گویای افت محسوس عملکرد لرزه‌ای پس از کماتش مهاربندها است. اما همان‌طور که در شکل‌های (۹) و (۱۰) نیز ملاحظه می‌شود، نمونه با نسبت  $D/B$  بزرگتر به دلیل نرمی بیشتر و امکان اعوجاج در سوراخ دایروی تحت نیروهای کمتر، تغییر مکان‌های بیشتری را تحمل کرده و تا حدود یک سانتی‌متر نیز دارای افت محسوس نیست. اما در نمونه سخت‌تر در تغییر مکان کمتر از ۰/۵ سانتی‌متر، کماتش خارج از صفحه حاکم بر رفتار مهاربند بوده و دارای افت شدید سختی و مقاومت گردیده است.

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌گردد، نحوه توزیع تنش‌های فون میسز گویای تمرکز این تنش‌ها در قسمت کاهش‌یافته و کاهش محسوس آن در سایر قسمت‌ها است. تمرکز شدید تنش‌ها و نیز وقوع کرنش‌های پلاستیک بالا در قسمت فوقانی و تحتانی ناحیه کاهش‌یافته تحت بارگذاری چرخه‌ای سبب گسیختگی فولاد و در نتیجه افت محسوس عملکرد چرخه‌ای نمونه‌های دوم و سوم گردید. منحنی‌های رفتاری نمونه‌های چهارم و پنجم گویای رفتار مناسب و

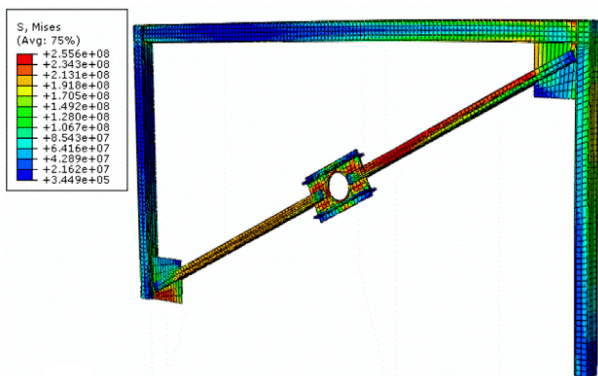
<sup>۱</sup> Von-Mises



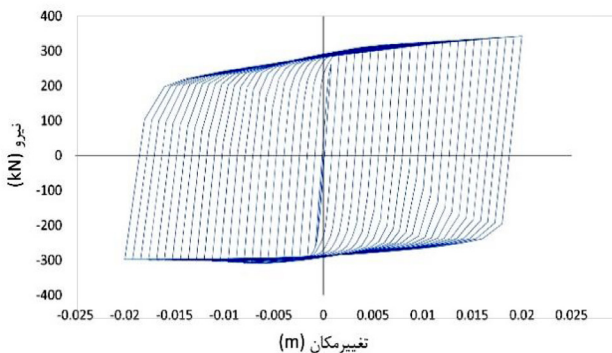
شکل (۸): توزیع تنش فون میسز در نمونه اول (معمولی)

نمونه مشاهده نشد و منحنی پسماند نسبتاً پایداری مطابق با شکل (۱۵) حاصل گردید. گفتنی است که در صورت استفاده از نمونه مذکور باید افزایش ابعاد ورق اتصال کناری برای تأمین طول جوش مورد نیاز عضو اصلی مهاربند و نیز امکان تعبیه سوراخ دایروی در آن در طراحی صفحه اتصال مد نظر قرار گیرد.

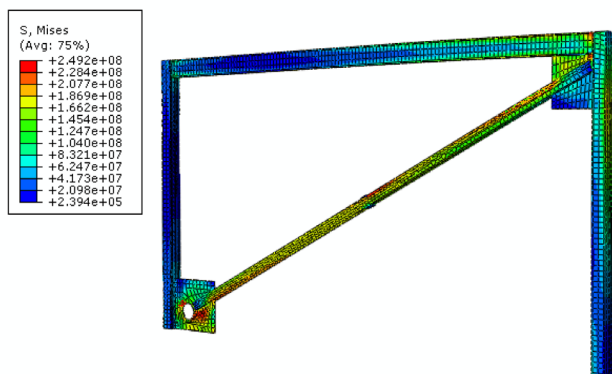
طبق شکل (۱۶)، در این نمونه تمرکز شدید تنش‌های فون میسز در اطراف سوراخ صفحه اتصال سبب کاهش محسوس تنش در عضو مهاربند گردیده است. همچنین تمرکز کرنش‌های پلاستیک در این ناحیه سبب استهلاک انرژی و بهبود رفتار مهاربند تحت بارگذاری چرخه‌ای



شکل (۱۴): توزیع تنش فون میسز در نمونه پنجم با سخت کننده و  $D/B=0.175$



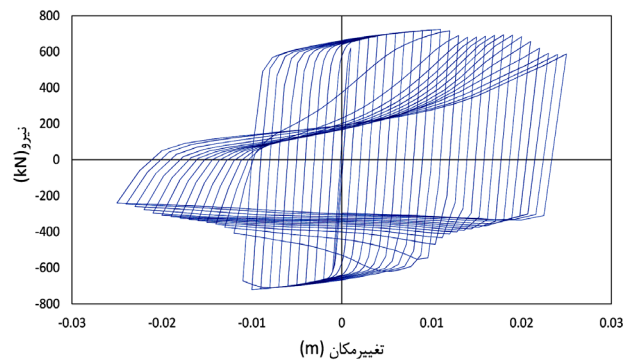
شکل (۱۵): منحنی پسماند نمونه ششم، سوراخ در صفحه اتصال گوشه



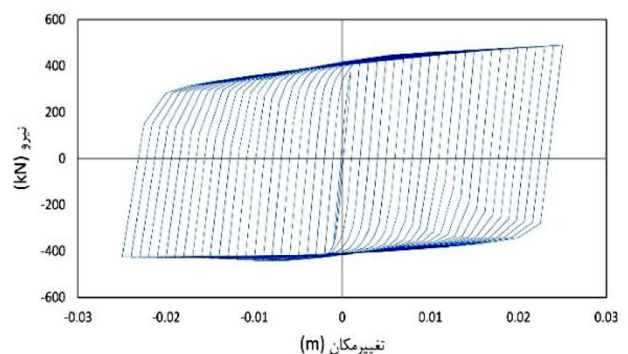
شکل (۱۶): توزیع تنش فون میسز در نمونه ششم

علاوه بر این، سخت کننده‌ها سبب جلوگیری از تمرکز شدید تنش در قسمت کاهش یافته شده و از پارگی ورق اتصال به خصوص در نسبت‌های بالاتر  $D/B$  جلوگیری می‌نمایند (شکل (۱۴)). نمونه پنجم با نسبت قطر سوراخ به عرض ورق بزرگتر رفتار مناسب‌تری داشته و کاهش محسوس برش پایه را موجب گردیده است که این امر موجب کاهش تنش در اعضای اصلی قاب و رفتار مطمئن تر لرزه‌ای خواهد بود. به نظر می‌رسد که رفتار متقارن این نمونه ناشی از سختی داخل صفحه کمتر و در نتیجه امکان تغییر شکل و اعوجاج ورق میانی تحت نیروهای پایین تر است. در نهایت تعویق کمانش مهاربند از یکسو و جبران کمبود سختی خارج از صفحه به واسطه اتصال سخت کننده و جلوگیری از کمانش خارج از صفحه مهاربند از سویی دیگر سبب بروز رفتار شکل پذیر و منحنی پسماند پایدار گردیده است.

مرکز مهاربند از جمله نقاط مستعد برای رخداد کمانش خارج از صفحه بوده و همان طور که در نمونه‌های قبلی فاقد سخت کننده نیز مشاهده شد، کاهش مضاعف سختی در این نواحی به واسطه ایجاد سوراخ دایروی و عدم استفاده از سخت کننده، موجب تشدید احتمال وقوع کمانش و مانع از دستیابی به رفتار شکل پذیر می‌گردد. بنابراین به منظور کاهش احتمال رخداد رفتار مذکور و کاهش نیاز به استفاده از سخت کننده روی صفحه اتصال برای تأمین ممان اینرسی کاهش یافته حول محور ضعیف، نمونه ششم با انتقال اتصال پیشنهادی به درون صفحه اتصال کناری مورد ارزیابی قرار گرفت. کمانش خارج از صفحه در قسمت کاهش یافته در این



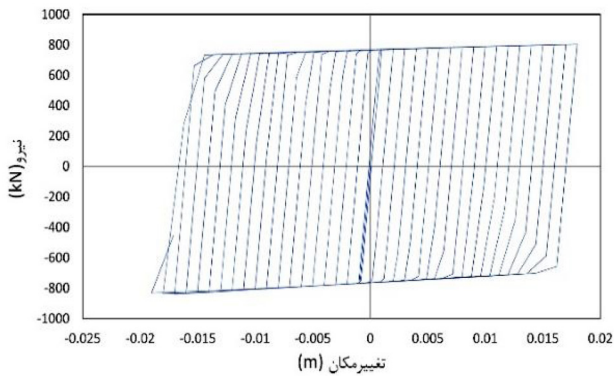
شکل (۱۲): منحنی پسماند نمونه چهارم با سخت کننده و  $D/B=0.5$



شکل (۱۳): منحنی پسماند نمونه پنجم با سخت کننده و  $D/B=0.175$



است.



شکل (۱۹): منحنی پسماند نمونه هشتم، مهاربند ضربدری سوراخدار

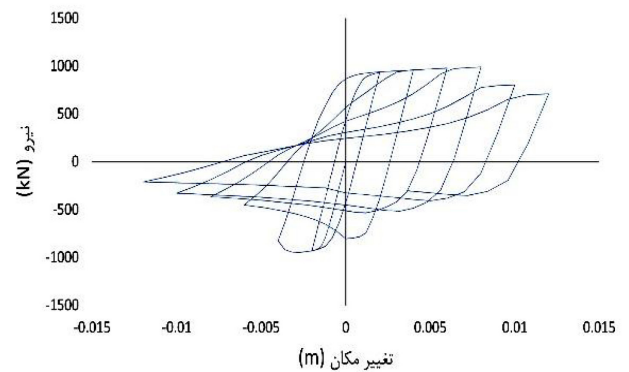
تحت نیروهای فشاری تا حدود زیادی کاسته خواهد شد. به نظر می‌رسد که وجود عضو اصلی مهاربند روی ورق اتصال وسط موجب عملکرد آن‌ها به عنوان سخت‌کننده و عدم کماتش این عضو گردیده و نیاز به استفاده از سخت‌کننده مضاعف در این قسمت مرتفع شده است. همچنین تداوم عضو اصلی تا نزدیکی لبه سوراخ مرکزی سبب انتقال مستقیم تنش به لبه‌های سوراخ و رفتار مناسب‌تر صفحه اتصال می‌گردد.

مطابق با شکل (۲۰)، نحوه توزیع تنش‌های فون میسز در اطراف سوراخ دایروی حاکی از تمرکز تنش‌ها در اطراف بازشو و کاهش تنش در سایر اعضای اصلی است. در این نمونه نیز تمرکز کرنش‌های پلاستیک در اطراف بازشوی صفحه اتصال وسط سبب استهلاک انرژی و بهبود عملکرد مهاربند است.

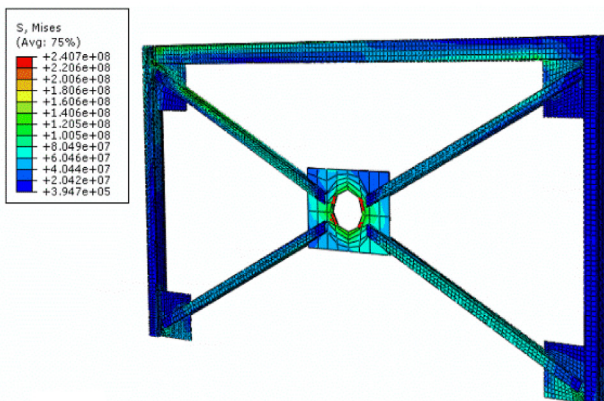
به طور کلی و با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که کاربرد عضو پیشنهادی در کنترل ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها موجب می‌شود تا تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در آن‌ها متمرکز شده و خسارات وارده به سازه اصلی به شدت کاهش یابد. کانتور تنش فون میسز نمونه‌های نهایی، بیانگر آن است که بیشتر تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در قسمت کاهش‌یافته متمرکز شده و تغییر شکل آن حاکم بر رفتار مهاربند است. تغییر شکل مداوم در سوراخ دایروی و تبدیل آن به بیضی تحت تنش‌های فشاری و کششی سبب ورود این قسمت به مرحله غیرخطی و افزایش

همانطور که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، منحنی پسماند نمونه هفتم (یعنی مهاربند ضربدری) نیز بیانگر ضعف این نوع مهاربندها پس از کماتش عضو فشاری و افت عملکرد چرخه‌ای آن‌ها است. وقوع کماتش این نوع مهاربندها به دلیل وجود یک المان تحت نیروهای کششی نسبت به مهاربند قطری دارای عملکرد مناسب‌تری بوده و برش پایه بالاتر به دلیل سختی بیشتر مشهود است. همچنین تعویق در وقوع کماتش نسبت به مهاربند قطری نیز از مزایای آن بوده و رفتار غیرشکل‌پذیر پس از کماتش عضو فشاری و لاغری منحنی پسماند در این نوع مهاربند نیز کاملاً مشهود است. مدل مهاربند ضربدری و نحوه توزیع تنش‌ها در شکل (۱۸) ارائه گردیده است.

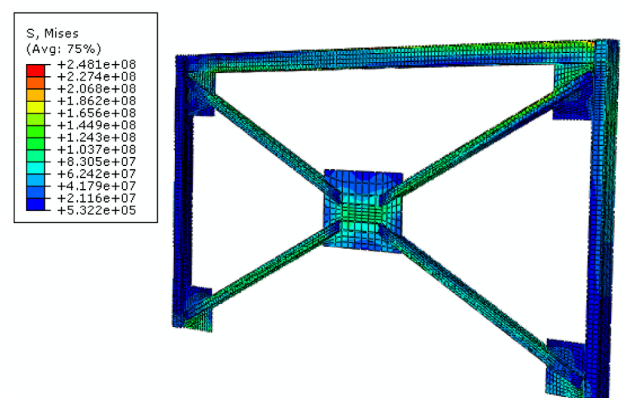
تأثیر افزودن سوراخ دایروی در صفحه اتصال وسط مهاربند در نمونه هشتم مورد ارزیابی قرار گرفت. کاهش محسوس سختی مهاربند و جذب انرژی کمتر در مهاربند اصلاح‌شده کاملاً مشهود است. چرخه‌های پسماند پایدار گواه رفتار شکل‌پذیر و مناسب بوده و عدم افت عملکرد تا تغییر مکان در حدود دو سانتی‌متر محسوس است (شکل (۱۹)). به نظر می‌رسد که شکل‌پذیری رفتار خمشی مجموعه صفحه اتصال و سوراخ دایروی حاکم بر رفتار سیستم بوده و در صورت طراحی مناسب ابعاد بازشو نسبت به سطح مقطع ورق اتصال، از وقوع کماتش المان مهاربند



شکل (۱۷): منحنی پسماند نمونه هفتم (مهاربند ضربدری معمولی)



شکل (۲۰): توزیع تنش فون میسز در نمونه هشتم



شکل (۱۸): توزیع تنش فون میسز در نمونه هفتم



جدول (۲): میزان میرایی ویسکوز معادل

نمونه	$A_h$	$A_e$	$\zeta_{eq}(\%)$
۱	۲۳۰	۴۲۵	۴/۳
۲	۹۱۲	۴۲۰	۱۷/۲۸
۳	۱۰۱۲	۴۳۴	۱۸/۵۶
۴	۱۲۹۸	۴۷۳	۲۱/۸۴
۵	۸۳۳	۳۳۴	۱۹/۸۵
۶	۶۱۲	۲۵۹	۱۸/۸۱
۷	۵۳۰	۷۲۴	۵/۸
۸	۱۶۰۵	۶۹۸	۱۸/۳

### ۷- نسبت میرایی ویسکوز معادل

برای مدلسازی ریاضی میرایی یک سیستم معمولاً از نسبت میرایی ویسکوز معادل مطابق با مولفه‌های نشان داده شده در شکل (۲۱) استفاده می‌گردد. محاسبه این میرایی پس از ترسیم منحنی‌های پسماند یک سیستم تحت بارگذاری چرخه‌ای مطابق رابطه (۱) قابل محاسبه است:

$$\zeta_{eq} = \frac{A_h}{2\pi V_m \Delta_m} = \frac{A_h}{4\pi A_e} \quad (1)$$

که در آن  $A_e$  و  $A_h$  به ترتیب بیانگر استهلاک انرژی در یک چرخه بارگذاری و میزان انرژی ذخیره‌شده در یک سامانه الاستیک خطی هستند. با توجه به میرایی ذاتی کم در عناصر باربر جانبی متداول برای کاهش ارتعاشات تحت بارگذاری دینامیکی، سعی در استفاده از اجزای مستهلک‌کننده انرژی بوده که نتیجه آن، افزایش هزینه تمام‌شده است. بنابراین یکی از نیازهای طراحی لرزه‌ای کاربرد ابزار نوین با عملکرد ساده و هزینه پایین است.

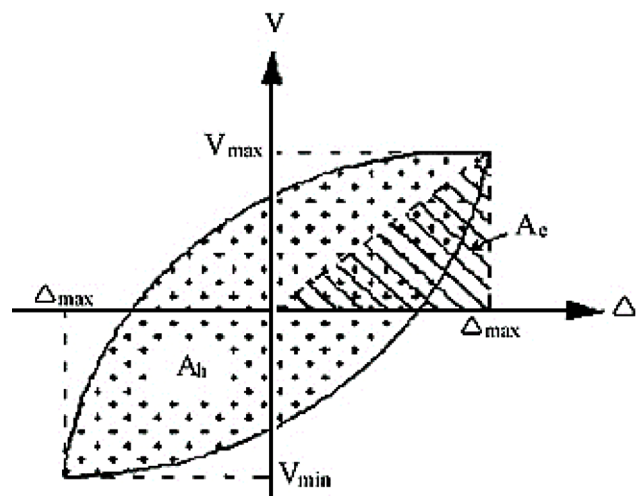
با توجه به نتایج تحلیل و نمودارهای پسماند به دست آمده در چرخه‌های بارگذاری مشخص مطابق بارگذاری ارائه‌شده در *ATC-24*، میزان میرایی ویسکوز معادل در جدول (۲) نشان داده شده است. برای امکان مقایسه، کلیه مقادیر نسبت میرایی معادل برای چرخه سوم بارگذاری و برای تغییر مکان ۱۰ میلی‌متر برای کلیه نمونه‌ها محاسبه گردید. تمرکز شدید تنش‌ها در اطراف مقطع کاهش‌یافته و وقوع کرنش‌های پلاستیک در این نواحی سبب افزایش استهلاک انرژی و میرایی معادل گردیده‌اند. نتایج گویای افزایش محسوس میزان میرایی بوده و افزایش ۱۲ تا ۱۷ درصدی مقدار میرایی با توجه به عدم استفاده از سیستم‌های استهلاک انرژی پیچیده، مؤید عملکرد لرزه‌ای مؤثر المان پیشنهادی است.

### ۸- بررسی شکل‌پذیری سیستم پیشنهادی

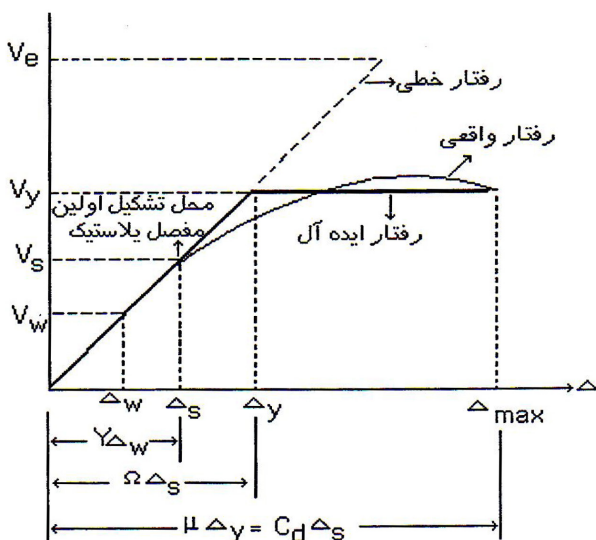
مؤلفه‌های مؤثر در محاسبه ضریب شکل‌پذیری در شکل (۲۲) ارائه گردیده است. به منظور بررسی میزان تأثیر اتصال پیشنهادی در بهبود شکل‌پذیری سازه، مقادیر مختلف شکل‌پذیری در نمونه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. این نسبت متناسب با تغییر مکان حداکثر به تغییر مکان تسلیم بوده و مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (2)$$

هرچه ضریب شکل‌پذیری یک سازه بیشتر باشد، میزان جذب انرژی نیز بالاتر بوده و در نتیجه مقدار ضریب رفتار بزرگتر خواهد بود. ارتباط ضریب شکل‌پذیری و ضریب رفتار به عوامل مختلفی بستگی دارد. در سازه‌های یک درجه آزاد، نوع مصالح، زمان تناوب سیستم، میرایی سازه، نوع بارگذاری، مدل نیرو-تغییرشکل، عامل  $P-\Delta$  و وضعیت خاک



شکل (۲۱): نمودار نیرو-تغییر مکان برای محاسبه میرایی ویسکوز معادل [۱۶]



شکل (۲۲): مؤلفه‌های مؤثر در محاسبه ضریب شکل‌پذیری [۱۷]

سبب استفاده بهینه از ظرفیت استهلاک انرژی و رفتار مطلوب سیستم تحت بارگذاری لرزه‌ای است.

اجرای طرح پیشنهادی نسبتاً آسان بوده و اجرای آن در انواع مهاربندهای همگرا از جمله مهاربند ضربدری و شورن بدون صرف هزینه زیاد امکان‌پذیر است. در این روش با ایجاد تغییر اندکی در سیستم‌های متداول، امکان استفاده از ظرفیت استهلاک انرژی موجود در سیستم بدون نیاز به ابزار و ادوات پیچیده فراهم گردیده که می‌توان از آن به ویژگی شاخص و متمایز نسبت به تحقیقات قبلی تعبیر نمود.

در پایان با توجه به نتایج مناسب به دست آمده در تحلیل عددی، باید ساخت مدل و انجام کار آزمایشگاهی برای بررسی صحت نتایج و مشاهده رفتار واقعی سیستم پیشنهادی در مرحله بعدی تحقیق در دستور کار قرار گیرد.

#### ۱۰- مراجع

- [1] Rezai, M.; Prion, H. G. L.; Tremblay, R.; Bouatay, N. and Timler, P.; "Seismic Performance of Brace Fuse Elements for Concentrically Steel Braced Frames," *Proc. of 3<sup>rd</sup> International Conference on Behavior of Structures in Seismic Areas, STESSA2000, Montreal, Canada, pp. 39-46, 2000.*
- [2] Oh, S. H.; Kim, Y. J. and Ryu, H. S.; "Seismic Performance of Steel Structures with Slit Dampers," *Engineering Structures, Vol. 31, pp. 1997-2008, 2009.*
- [3] Koken, A. and Koroglu, M. A.; "Waste Rubber Damper using on Steel Beam to Column Connection," *International Journal of Arts and Sciences, Vol. 5, pp. 217-222, 2012.*
- [4] Chan, R. W. K. and Albermani, F.; "Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation," *Journal of Engineering Structures, Vol. 30, No. 4, pp. 1058-1066, 2008.*
- [5] Benavent Climent, A.; Morillas, L. and Vico, J. M.; "A Study on using Wide-Flange Section Web under Out of Plane Flexure for Passive Energy Dissipation," *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 40, pp. 473-490, 2011.*
- [6] Franco, J. M.; Cahis, X.; Gracia, L. and Lopez, F.; "Experimental Testing of a New Anti-Seismic Dissipater Energy Device Based on the Plasticity of Metals," *Journal of Engineering Structures, Vol. 32, pp. 2672-2682, 2010.*
- [7] Maleki, S. and Bagheri, S.; "Pipe Damper, Part I: Experimental and Analytical Study," *Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, pp. 1088-1095, 2010.*
- [8] Malek, S. H.; Pabsang, P. and Lohghalam, A.;

تکیه‌گاه بر رابطه  $\mu$  مؤثر هستند. در سیستم‌های چند درجه آزاد علاوه بر موارد فوق، عواملی نظیر مشارکت حالت‌های ارتعاشی بالا، ضریب کاهش نیرو و نوع سیستم مقاوم سازه‌ای نیز دخالت دارند.

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، کاهش در سطح مقطع صفحه اتصال سبب کاهش سختی سیستم و در نتیجه کاهش برش‌پایه حداکثر مقطع گردیده است. وجود سخت‌کننده موجب جبران قسمتی از کاهش سختی شده و در مجموع ایجاد مقطع کاهش‌یافته سبب کاهش محسوس ظرفیت محوری مهاربند بین ۸ تا ۵۷ درصد بوده که باید در طراحی مد نظر قرار گیرد. همچنین مقطع کاهش‌یافته سبب انعطاف‌پذیری بیشتر سیستم بوده و جلوگیری از کماتش عضو اصلی مهاربند موجب استفاده از ظرفیت مقطع در تحمل تغییرشکل‌های بیشتر شده که افزایش حدود ۱۳ تا ۱۹ درصدی در شکل‌پذیری سیستم از نتایج آن است.

#### ۹- نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که ظرفیت مجموعه قسمت کاهش‌یافته در طراحی این سیستم، کمتر از بار کمانشی مهاربند انتخاب می‌گردد، بنابراین در صورت طراحی مناسب می‌توان از عدم کمانش مهاربند اطمینان حاصل نمود. منحنی پسماند نمونه‌های پیشنهادی نهایی (نمونه‌های ۵، ۶ و ۸) تا اواخر تحلیل و تا تغییر مکان حدود دو سانتی‌متر پایدار بوده و باریک‌شدگی در آن دیده نمی‌شود؛ در حالی که مهاربند معمولی در تغییر مکان در حدود یک سانتی‌متر دچار کمانش و افت محسوس عملکرد لرزه‌ای گردیده است.

کاهش در سطح مقطع صفحه اتصال سبب کاهش محسوس سختی سیستم و در نتیجه کاهش ۸ تا ۵۷ درصدی در برش‌پایه و میزان انرژی ورودی به سازه گردیده است. علاوه بر این، یکی از مزایای عمده سیستم پیشنهادی، افزایش حدود ۱۲ تا ۱۷ درصدی در میزان میرایی معادل بدون استفاده از ادوات پیچیده بوده و در کاهش ارتعاشات زلزله مفید خواهد بود. افزایش حدود ۱۳ تا ۱۹ درصدی در شکل‌پذیری سیستم پیشنهادی

جدول (۳): میزان شکل‌پذیری و ظرفیت نهایی نمونه‌ها

نمونه	$\mu$	$F_{max} (kN)$
۱	۵/۱۱	۸۲۳
۲	۵/۳۲	۶۷۰
۳	۵/۴۳	۳۶۱
۴	۵/۷۴	۷۶۵
۵	۵/۹۸	۳۹۶
۶	۶/۰۸	۳۵۲
۷	۵/۴۲	۹۹۶
۸	۶/۱۳	۸۱۲

- [12] Ahmady Jazany, R.; Shademan Heidari, P. and Kayhani, H.; "Using Circular Jagged Plates as Hysteretic Metallic Damper," *14<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering*, Republic of Macedonia, 2010.
- [13] ABAQUS Finite Element Analysis Program. Version 6.10.0, User's Manual, 2010.
- [14] Applied Technology Council; "Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures," *Report of ATC-24*, 1992.
- [15] Tremblay, R. and Oliveira, C.; "Quasi-Static Cyclic Testing of Individual Full-Scale Circular Steel Tubular Braces Equipped with Cast Connex High-Strength Connectors," *University of Toronto*, Department of Civil Engineering, Publication, No 2008-01, 2008.
- [16] Priestley, M. J.; Seible, F. and Calvi, G. M.; "Seismic Design and Retrofit of Bridges," *John Wiley and Sons Inc.*, New York, 1996.
- "Introducing New Passive Damper and Comparing with TADAS," *1<sup>st</sup> Iranian Conference on Retrofit and Rehabilitation*, Tehran, Iran, 2005 (in Persian).
- [9] Motamedi, M.; Nateghi-Elahi, F. and Ziaefar, M.; "Laboratory Study on the Application of Accordion Metallic Damper in Vibration Reinforcement of Steel Frame," *5<sup>th</sup> International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, Iran, 2007 (in Persian).
- [10] Abbasnia, R.; Vetr, M. Gh. and Kafi, M. A.; "Investigation the Performance of Ductile Element in Concentrically Braced Frames of Steel," *7<sup>th</sup> International Congress on Civil Engineering*, Tehran, Iran, 2006 (in Persian).
- [11] Tirca, L.; Danila, N. and Caprarelli, C.; "Numerical Modeling of Dissipative Pin Devices for Brace-Column Connections," *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 94, pp. 137-149, 2014.