بررسی رفتار میراگرهای شکاف‌دار فولادی در سازه‌های بتنی

سید مجید علوی نیا
کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیر انتفاعی علوم و توسعه پایدار آریا، تهران، ایران
لیلا حسین زاده*
استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
علی قمری
استادیار،گروه مهندسی عمران، واحد دره شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، دره شهر، ایران
عباس اکبرپور
استادیار،گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
l.hosseinzadeh@iaut.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴

چکیده

کشور ایران یکی از مناطق لرزه خیز دنیا می‌باشد. نیاز به مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ضروری است. یکی از روش‌های مناسب در مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها استفاده از میراگرهاست. میراگرها اغلب به منظور افزایش میرایی و مستهلک نمودن انرژی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که میراگرها می‌توانند تغییرمکان‌های ناشی از زلزله را کاهش دهند بدین صورت عملکرد بیشتر اعضای باربر سازه، در محدوده ارتجاعی باقی می‌ماند. در این تحقیق تاثیر استفاده از میراگر شکاف‌دار فولادی در سازه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور ۴ مدل از میراگر شکاف‌دار فولادی به صورت ۳ شکاف تکی و دوبل، ۵ شکاف تکی و دوبل در سه ضخامت ۶ ، ۸ و ۱۰ میلی‌متر طراحی شده و در قاب بتنی با مهاربند تک قطری در محل اتصال مهاربند به تیر ستون قرار گرفت. اثرات افزایش تعداد شکاف‌ها از ۳ به ۵، از تکی به دوبل و نیز اثر افزایش ضخامت مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت میراگر، سطح زیر نمودار نیرو – تغییرمکان، سختی و مقاومت در قاب افزایش می‌یابد. همچنین قاب‌هایی که از میراگرهای با ۳ شکاف دوبل بهره می‌برند نسبت به قاب‌هایی که میراگر آن ۵ شکاف دارد عملکرد مطلوب‌تری را دارند. به طوری‌که قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی در ضخامت ۱۰ میلی‌متر نسبت به مدل دوبل ۴/۹٪ کاهش سختی داشته و نسبت به مدل دوبل ۳تایی تکی و دوبل به ترتیب ۲/۹٪ و ۷/۳ ٪ کاهش سختی داشته است.

کلیدواژگان: مهاربند قطری، میراگر شکاف‌دار فولادی، جذب انرژی، سختی، مقاومت

۱- مقدمه

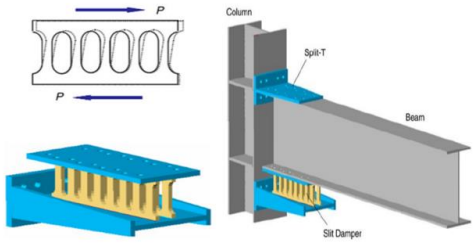
سیستم‌های مهاربندی مورد استفاده در سازه‌ها دارای نقص‌هایی است که باعث می‌شود سازه در برابر بارهای جانبی باد و زلزله پاسخ مناسبی نداشته باشد و دچار آسیب و خرابی شود. کنترل ارتعاشات روش جدیدی در روند بهسازی سازه‌ها و طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر بارهای دینامیکی است. این ایده باعث کنترل پاسخ سازه تحت بارهای دینامیکی شده و بدون این که نیاز به مقاوم‌سازی تک‌تک عناصر مقاوم سازه‌ای باشد، با تعبیه وسایل و تجهیزات مناسبی در ساختمان باعث کاهش تغییرمکان و بهبود پاسخ دینامیکی سازه می‌شوند. این سیستم‌ها با جذب و استهلاک درصد بالایی از انرژی ورودی به سازه‌ها، شرایط ایمن و پایداری را نسبت به ساختمان‌های مشابه فراهم می‌کنند[۱]. امروزه استفاده از میراگرها به عنوان روشی اقتصادی و عملی برای افزایش مقاومت دینامیکی سازه‌ها مطرح بوده و استفاده از آن جهت مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و بناهای متعارف امکانپذیر می‌باشد. میراگرهای شکاف‌دار ازنوع میراگرهای جاری شونده و غیرفعال هستند. طبق بررسی‌های تحلیلی و آزمایشگاهی متعدد این نوع میراگرها دارای ظرفیت جذب انرژی بالا تحت یک رفتار هیسترزیس پایدار هستند[۱]. در پی وقوع زلزله های نورتریج در آمریکا (سال ۱۹۹۶ میلادی) و کوبه در ژاپن (سال ۱۹۹۵ میلادی) بسیاری از ساختمان ها دچار خرابی شدید و نابودی اعضای سازه‌ای شدند. پس از وقوع این زمین لرزه‌ها، پژوهش‌های آزمایشگاهی گسترده‌ای به منظور مقاوم‌سازی و افزایش شکل پذیری اتصالات انجام شد و تعداد زیادی از اتصالات اصلاح شده پیشنهاد شد. وادا و همکاران[۲] یک مطالعه آزمایشگاهی روی میراگر شکافدار فولادی انجام دادند. نتایج آزمایش بارگذاری تناوبی نشان داد که میراگر شکاف‌دار فولادی حلقه هیسترزیس پایداری داشته است. لی و همکاران [۳] به منظور جلوگیری از کمانش مهاربندهای ضربدری و جذب انرژی ناشی از زلزله، از میراگر شکاف‌دار فولادی در محل اتصال مهاربندهای ضربدری استفاده کردند. در طی این پژوهش که به صورت آزمایشگاهی و تئوری انجام شد، ظرفیت نهایی جذب انرژی به وسیله‌ی میر اگر شکاف‌دار فولادی تحت نیروهای برشی مورد بررسی قرار گرفت. بناونت [۴] روش طراحی لرزه‌ای با مفهوم ترکیبی سختی و انعطاف پذیری را در سازه بتن مسلح مورد استفاده قرار داد. به همین منظور ستون‌ها لاغر و با آرماتور برشی سنگین طراحی شدند تا شکل پذیری داشته باشند و وسایل استهلاک انرژی و دیوارهای بتن مسلح کمکی که میراگرهای شکاف‌دار را به قاب متصل می کردند، عمدا با سختی زیاد ساخته شدند. قبرایی و همکاران [۵] به منظور بهینه‌سازی شکل میراگر شکاف‌دار از روش بهینه‌سازی سازه‌های تکاملی دو جهته استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه بهینه با شکاف‌های لوزی شکل نسبت به نمونه اولیه در شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی و تاریخچه بارگذاری، ۳۷ درصد استهلاک انرژی بیشتری داشته است خوشنودیان و کیانی [۶] عملکرد میراگر شکاف‌دار را در یک سازه فولادی ۱۰ طبقه به وسیله‌ی تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بررسی کردند. این پژوهش به منظور انتخاب یک معیار مناسب برای ارزیابی تاثیر میراگر روی پاسخ سازه و دستیابی به توزیع مناسب جانمایی میراگر در پلان و ارتفاع سازه انجام شد. نتایج نشان داده است که افزودن تعداد میراگرها در طبقات تا یک حد معین، در بهبود پاسخ سازه موثر بوده است اما افزودن تعداد میراگرها بیش از آن حد، تاثیری در بهبود پاسخ سازه نداشته است. کاراواسیلیس و همکاران [۷]، طراحی لرزه ای بر مبنای حداقل خرابی را برای ساختمان‌های فولادی مورد ارزیابی قرار دادند. سیستم‌های مجهز به وسایل استهلاک انرژی به علت عدم امکان کاهش هم زمان تغییرمکان نسبی و شتاب کل طبقات قادر به تفکیک خرابی سازه‌ای و غیر سازه‌ای نیستند، اما کاراواسیلیس و همکاران نشان دادند که با ترکیب هم زمان میراگرهای ویسکوز و میراگرهای شکاف‌دار در قاب‌های خمشی فولادی تغییرمکان های نسبی و شتاب‌های کل را می‌توان به صورت همزمان کاهش داد[۸]. زهرائی و امین دهقان[۹و۱۰] عملکرد مهاربند قوطی در قوطی و لوله در لوله را تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی کردند. این مهاربندها به ترتیب، متشکل از دو قوطی (داخلی و بیرونی) و دو لوله (داخلی و بیرونی) بوده است. به منظور استهلاک انرژی لرزه‌ای و جلوگیری از کمانش زود هنگام اعضای مهاربندی در طول محدودی از جدار قوطی و لوله بیرونی شکاف‌هایی مشابه میراگر شکاف‌دار ایجاد شده است. منحنی‌های هیسترزیس حاصل از تحلیل، رفتار چرخه‌ای پایدار و ظرفیت استهلاک انرژی بالایی را نشان داده است. تاگاوا و همکاران[۱۱] به بررسی استفاده از میراگرهای شکاف‌دار فولادی در قاب‌های مهاربندی پرداختند. در این مطالعه برخلاف معمول که از میراگرهای شکاف‌دار در محل اتصال تیر به ستون استفاده می‌شد از آن در زیر قسمت مهاربند استفاده گردید. در شش آرمون چرخه‌ای انجام شده نتایج نشان داد که سیستم مورد نظر دارای نمودارهای چرخه‌ای پایدار و ظرفیت انرژی بالایی می‌باشند.

تاکنون روش‌های متعددی برای تقویت و بهبود رفتار سازه‌های بتن‌آرمه پیشنهاد شده‌است که می توان به روش تقویت با الیاف پلیمری کربن, ژاکت‌های فولادی, مهاربندهای فولادی و... اشاره نمود. هر کدام از روش‌های فوق دارای مزایا و نقص‌هایی است که مهمترین ضعف روش‌های ذکر شده مشکلات مربوط به تعمیر سازه بتن‌آرمه پس از زلزله است. هدف کلی این تحقیق بررسی عملکرد قاب بتن‌آرمه تقویت

شده با میراگر شکاف‌دار فولادی است. این عملکرد شامل جذب انرژی، سختی، مقاومت نهایی و همچنین تنش‌های ایجاد شده می‌باشد.

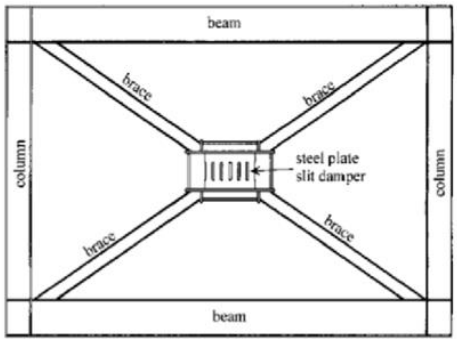
۲- میراگر شکاف‌دار فولادی

میراگر شکاف‌دار فولادی یک ورق یا یک پروفیل استاندارد فولادی با تعدادی شکاف بریده شده در جان آن است. تحت تغییر شکل‌های نسبی کوچک بین دو بال تکیه گاهی، نوارهای میراگر شکاف‌دار فولادی مانند یک سری از تیرهای با انتهای نسبتا ثابت عمل کرده و به صورت دو قوسی تغییر شکل می دهند[۱۲]. در میراگر شکاف‌دار فولادی نوارهایی که بین شکاف‌ها قرار دارند، تغییرشکل‌های غیر الاستیک را جذب کرده و مفاصل پلاستیک در آن‌ها ایجاد می‌شود که موجب استهلاک انرژی زلزله می‌شود. از هیچ تکنیک ویژه‌ای در ساخت این میراگرها استفاده نشده است در نتیجه این میراگرها به آسانی قابل ساخت خواهند بود. مطابق شکل (۱)، میراگر شکاف‌دار فولادی ارائه شده توسط آه و همکاران[۱۳]، در بال تحتانی تیر در محل اتصال نصب می شود لذا تعمیر و جایگزینی آن پس از زلزله آسان بوده و نیازی به حذف بتن سقف ندارد. از طرف دیگر استفاده از اتصال پیچی میراگر شکاف‌دار فولادی به وسیله‌ی بولت‌های پرمقاومت قابل تعویض به تیر و ستون، سبب امکان تعمیر و جایگزینی آسان‌تر آن نسبت به استفاده از جوش می‌شود. رفتار هیسترزیس عالی، دسترسی آسان، سهولت جایگزینی پس از زلزله و هزینه مناسب میراگرهای شکاف‌دار فولادی از دلایلی است که آن‌ها را به عنوان یک گزینه مناسب مقاوم‌سازی سازه‌ها معرفی کرده‌است.

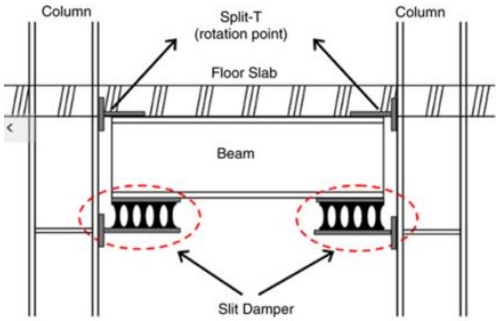


شکل ۱- اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر شکاف‌دار فولادی [۱۴]

این نوع میراگر هم در اتصالات مهاربندی (شکل ۲-الف) و هم در اتصال صلب تیر به ستون شکل (۲-ب) به کار می‌رود. این میراگرها طوری در سازه جاسازی می‌شوند که در اثر برش، خمش یا نیروی محوری جاری شوند و برای استهلاک انرژی باید در نحوه جاسازی آنها دقت کرد که در اثر جابجایی نسبی طبقه ناشی از بار جانبی تحت تغییر شکل قرار بگیرند در غیر این صورت عمل نمی‌کنند و جذب انرژی انجام نمی‌شود. [۱۵]



الف- اتصالات مهاربندی



ب- اتصالات تیر به ستون

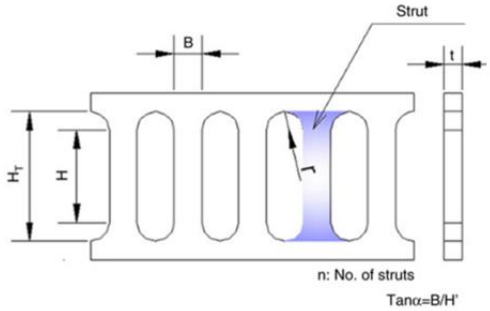
شکل۲- استفاده از میراگرهای شکاف‌دار فولادی در اتصالات [۱۴]

در تحقیقات صورت گرفته توسط هونگ و همکاران[۱۶] مقاومت جاری شدن این میراگر بر اساس تحلیل غیر خطی مطابق رابطه ۱ ارائه شده است.

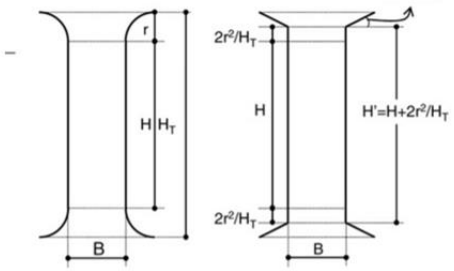
$$(۱)\quad Q_y = min\left\{n\frac{\sigma_y t B^2}{2H} \text{ و } n\frac{2\sigma_y t B^2}{3\sqrt{3}}\right\}$$

رابطه اول داخل کروشه نشان دهنده رفتار خمشی نوارهای میراگر و رابطه دوم نشان دهنده رفتار برشی نوارهای میراگر است، به عبارتی دیگر اگر برای ابعادی خاص مقدار رابطه اول از رابطه دوم کمتر شود موید این مطلب است که میراگر مورد نظر با تشکیل مفصل خمشی وارد مرحله پلاستیک می‌شود. در رابطه ۱، n تعداد شیارها، t ضخامت، H ارتفاع جان میراگر و B عرض هر یک از شیارها می‌باشد (شکل ۳). برای بدست آوردن تغییرشکل جاری شدن میراگر از رابطه ۲ استفاده می‌شود.

$$(۲)\quad \delta_y = \frac{1.5 Q_B H_T}{nEtB}\left[\left(\frac{H}{B}\right)^2 + 2.6\right]$$



الف- بدنه میراگر



ب- شیارهای میراگر

شکل ۳- جزئیات میراگر شکافدار فولادی[۱۶]

۳- مدل‌های عددی

هدف این تحقیق بررسی عملکرد قاب بتن‌آرمه تقویت شده با میراگر شکافدار فولادی تحت بارگذاری پوش آور می‌باشد. بدین منظور چهار مدل میراگر شکافدار به صورت ۳ شکاف تکی، ۳ شکاف دوبل، ۵ شکاف تکی و ۵ شکاف دوبل مدل گردید.

۳-۱- مشخصات هندسی مدل‌ها

مشخصات قاب شامل المان تیر، ستون و همچنین مهاربند در تمام مدل‌ها ثابت و مطابق جدول (۱) مدل شده‌است. میراگرهای شکافداری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از یک ورق فولادی تشکیل شده است که چند شکاف با طراحی خاصی در آن تعبیه شده است. جزئیات میراگرها در جدول (۲) نشان داه شده است. برای تمام مدل‌ها عرض میراگر ۳۰۰ میلی‌متر ثابت فرض شده است. شکل (۴) نمایی از میراگرها را نشان می دهد. در اثر تغییرشکل جانبی، وابسته به هندسه میراگر یکی از دو نوع مکانیسم تسلیم برشی و خمشی در میراگر ایجاد می‌گردد.

۳- مدل‌های عددی

هدف این تحقیق بررسی عملکرد قاب بتن‌آرمه تقویت شده با میراگر شکافدار فولادی تحت بارگذاری پوش آور می‌باشد. بدین منظور چهار مدل میراگر شکافدار به صورت ۳ شکاف تکی، ۳ شکاف دوبل، ۵ شکاف تکی و ۵ شکاف دوبل مدل گردید.

۳-۱- مشخصات هندسی مدل‌ها

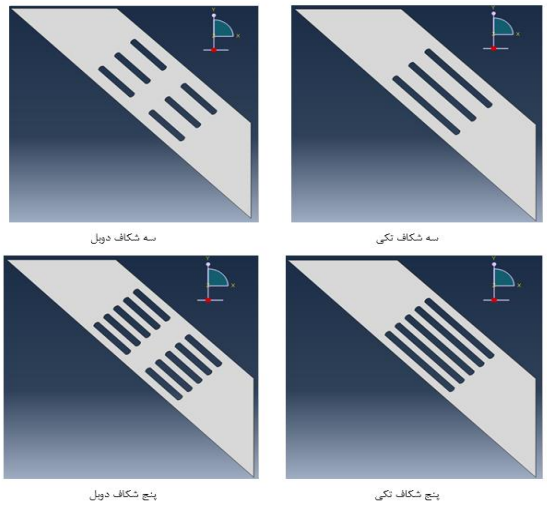
مشخصات قاب شامل المان تیر، ستون و همچنین مهاربند در تمام مدل‌ها ثابت و مطابق جدول (۱) مدل شده‌است. میراگرهای شکافداری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از یک ورق فولادی تشکیل شده است که چند شکاف با طراحی خاصی در آن تعبیه شده است. جزئیات میراگرها در جدول (۲) نشان داه شده است. برای تمام مدل‌ها عرض میراگر ۳۰۰ میلی‌متر ثابت فرض شده است. شکل (۴) نمایی از میراگرهارا نشان می دهد. در اثر تغییرشکل جانبی، وابسته به هندسه میراگر یکی از دو نوع مکانیسم تسلیم برشی و خمشی در میراگر ایجاد می‌گردد.

جدول ۱- مشخصات قاب

المان	طول (m)	ابعاد (mm)
تیر	۳	B400X400
ستون	۳	C400X400-6-12
مهاربند	۳/۵	2UNP160

۳-۲- مشخصات مصالح

مشخصات بتن و فولادی مصرفی به ترتیب مطابق جداول (۳) و (۴) معرفی شده است.



شکل ۴- میراگرهای مدل شده در نرم افزار

جدول ۲- جزئیات میراگرها

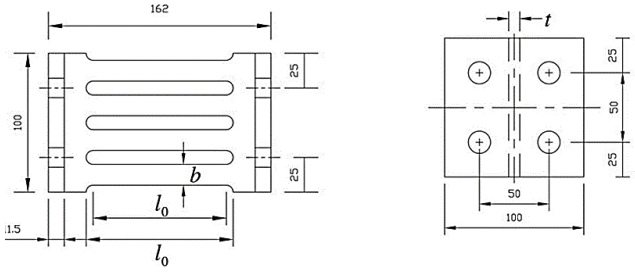
نام مدل	تعداد شیار	فاصله شیارها (میلی‌متر)	ضخامت میراگر (میلی‌متر)	مقاومت برشی (کیلونیوتن)
D3-6	۳ عدد دوبل	۷۵	۶	۱۱۹/۲
D3-8			۸	۱۵۸/۹
D3-10			۱۰	۱۹۸/۷
D5-6	۵ عدد دوبل	۵۰	۶	۱۱۲/۳
D5-8			۸	۱۴۹/۷
D5-10			۱۰	۱۸۷/۲
S3-6	۳ عدد تکی	۷۵	۶	۱۱۶/۶
S3-8			۸	۱۵۵/۵
S3-10			۱۰	۱۹۴/۴
S5-6	۵ عدد تکی	۵۰	۶	۱۰۸
S5-8			۸	۱۴۴
S5-10			۱۰	۱۸۰

جدول ۳- مشخصات مصالح بتنی

چگالی (kg/m^3)	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت مشخصه (MPa)
۲۴۰۰	۲۹	۲۵

جدول ۴- مشخصات مصالح فولاد

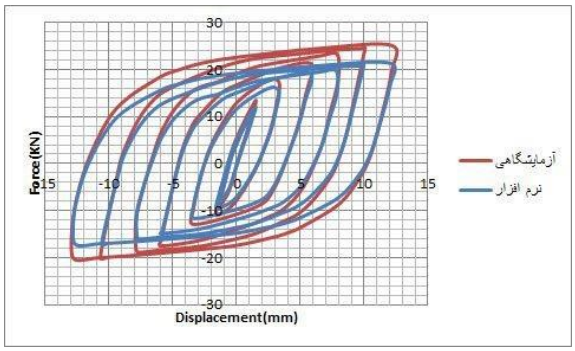
چگالی (kg/m^3)	مدول الاستیسیته (GPa)	تنش حد تسلیم (MPa)	تنش حد نهایی (MPa)
۷۸۵۰	۲۰۰	۲۴۰	۴۱۵



شکل ۵- جزئیات میرگر شکاف‌دار[۱۸]

۳-۳- صحت سنجی مدل‌های اجزاء محدود

برای صحت‌سنجی نتایج حاصل از نرم‌افزار آباکوس [۱۷] مدل آزمایشگاهی که توسط چان و همکاران [۱۸] مورد آزمایش قرار گرفت. انتخاب گردید. جزئیات میراگر بر حسب میلی‌متر در شکل (۵) نشان داده شده است. در مدل‌سازی مشخصات مصالح مطابق با گزارش آزمایشگاهی اعمال شد. این مدل تحت اثر بار چرخه‌ای تحلیل شد. شرایط مرزی و بارگذاری در نرم افزار نیز مطابق شرایط آزمایشگاهی لحاظ گردید. در شکل (۶) نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که حاکی از دقت بالای مدل‌سازی اجزاء محدود می‌باشد.

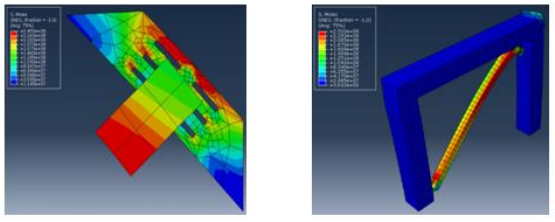


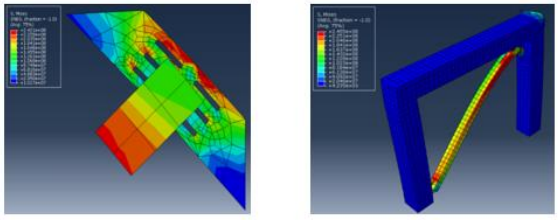
شکل ۶- مقایسه نمودار هیسترزیس مدل آزمایشگاهی و نرم افزار

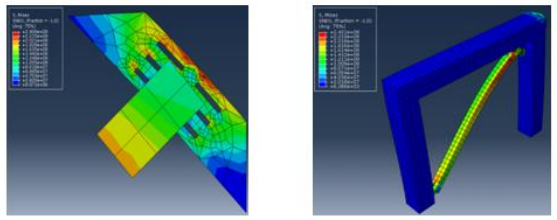
۴- بحث و بررسی نتایج

۴-۱- بررسی رفتار کلی مدل‌های اجزاء محدود

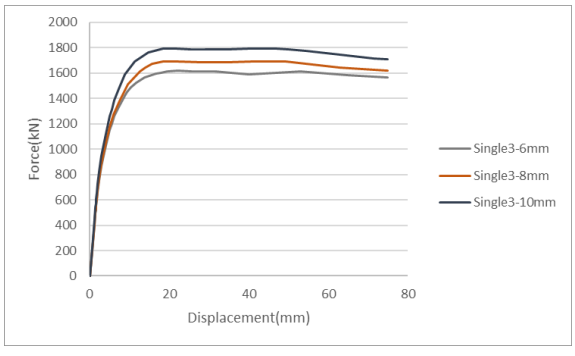
مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار نشان داد که تمام قاب‌ها تقریبا رفتار مشابهی داشتند. پس از اعمال بارگذاری بر روی نمونه‌ها در اعضای اصلی سازه کمانش موضعی دیده نشد و تیر و ستون در محدوده الاستیک باقی ماندند. در حالی‌که میراگر شکاف‌دار و مهاربند با جذب تغییر شکل‌ها، وارد محدوده پلاستیک شده است و بیشترین تمرکز تنش در این ناحیه اتفاق افتاده است به عبارتی در میراگر شکاف‌دار مفصل پلاستیک تشکیل شده است. افزایش ضخامت میراگر باعث کاهش تنش در قاب شده است. به عنوان نمونه تنش فن مایسز مدل قاب دارای میراگر شکاف‌دار فولادی با سه شیار دوبل در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود افزایش ضخامت میراگر باعث شده تا مقادیر خرابی در در آن کمتر شود به نحوی که در مدل دارای ضخامت ۶ میلی‌متری مشخص است میزان تمرکز تنش در قسمت‌های فوقانی بخشی از نواحی نوارهای میراگر و مهاربند بیشترین مقدار می‌باشد و در نواحی میانی و تحتانی تنش کمتری ایجاد شده است. ولی در مدل دارای ضخامت ۸ میلیمتر تنش در قسمت مهاربند و نوارهای میانی میراگر کمتر شده و در مدل دارای ضخامت ۱۰ میلیمتر مقدار تنش تنها در قسمت فوقانی نوارهای میراگر به حد بحرانی رسیده است. اشکال (۸) تا (۱۱) نمودار نیرو – تغییرمکان مربوط به هر چهار تیپ میراگر و مقایسه این نمودار در سه ضخامت اعمال شده را نشان می‌دهد.


الف- مدل Duble3-6

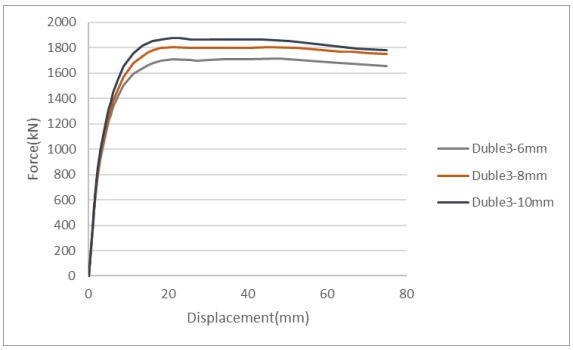

ب- مدل Duble3-8


ج- مدل D3-10

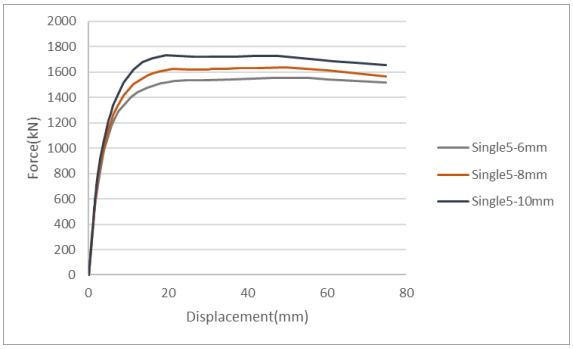
شکل ۷-تنش فن مایسز در مدل‌های میراگر شکاف‌دار با سه شکاف دوبل



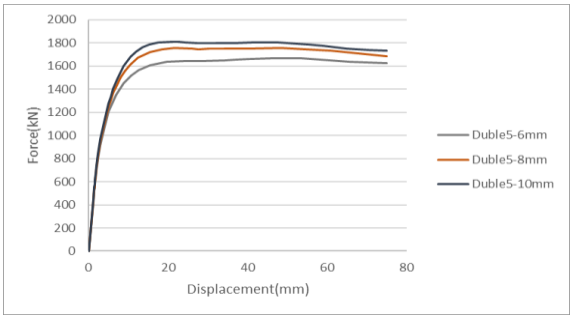
شکل ۸- نمودار نیرو-تغییرمکان مدل‌های میراگر شکاف‌دار با سه شکاف تکی



شکل ۹- نمودار نیرو–تغییرمکان مدل‌های میراگر شکاف‌دار با سه شکاف دوبل



شکل ۱۰–نمودار نیرو–تغییرمکان مدل‌های میراگر شکافدار با پنج شکاف تکی

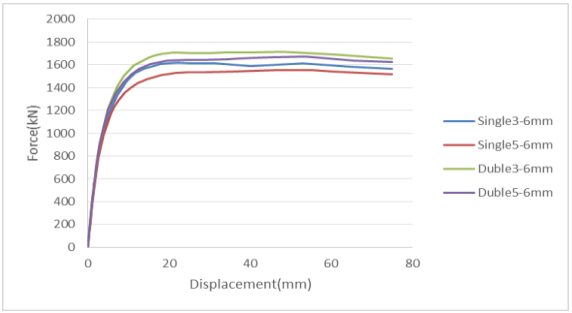


شکل ۱۱–نمودار نیرو–تغییرمکان مدل‌های میراگر شکافدار با پنج شکاف دوبل

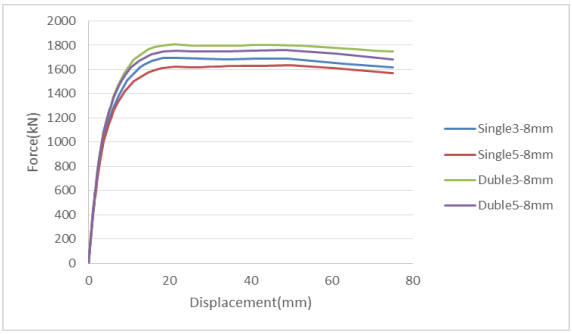
بر اساس نتایج حاصل از تحلیل با افزایش مقدار ضخامت سطح زیر نمودار بیشتر شده که نشان دهنده جذب انرژی بیشتر می‌باشد. با توجه به این‌که افزایش ضخامت باعث بیشتر شدن مقدار نیروی جذب شده گشته بدیهی است که مقدار مقاومت نهایی نیز با این افزایش ضخامت بیشتر گردد با توجه به شیب نمودار نیرو- تغییرمکان در ناحیه الاستیک سختی قاب با افزایش ضخامت نیز افزایش یافته است.

۲-۴- مقایسه جذب انرژی مدل‌های اجزاء محدود

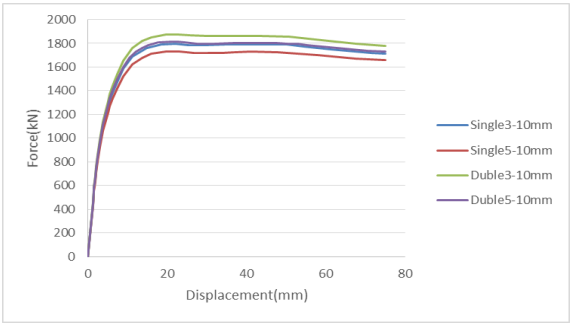
در شکل (۱۲) مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر مکان تمامی مدل‌ها برای هر ضخامت نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر ضخامت، قابی که دارای میراگر با ۳ شکاف دوبل می باشد دارای بیشترین مقدار جذب انرژی و قابی که دارای میراگر با ۵ شکاف تکی بوده کمترین مقدار جذب انرژی را داشته است و نیز افزایش ضخامت میراگر شکاف‌دار فولادی باعث افزایش جذب انرژی در هر قاب گشته است.



الف- ضخامت ۶ میلی‌متری



ب- ضخامت ۸ میلی‌متری

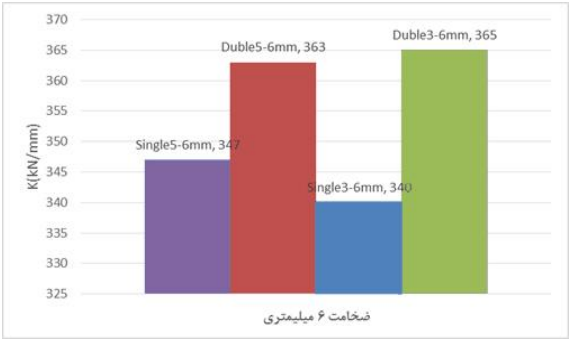


ج- ضخامت ۱۰ میلی‌متری

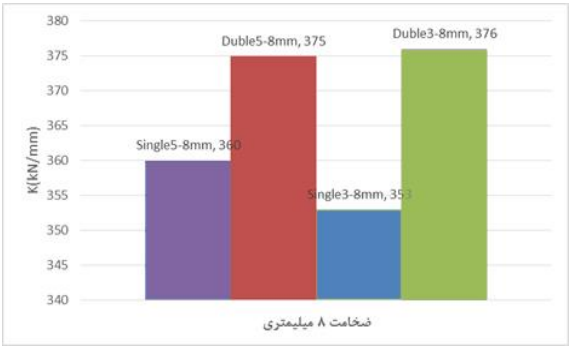
شکل ۱۲- مقایسه نمودارهای نیرو–تغییر مکان مدل‌ها

۴-۳- مقایسه سختی مدل‌های اجزاء محدود

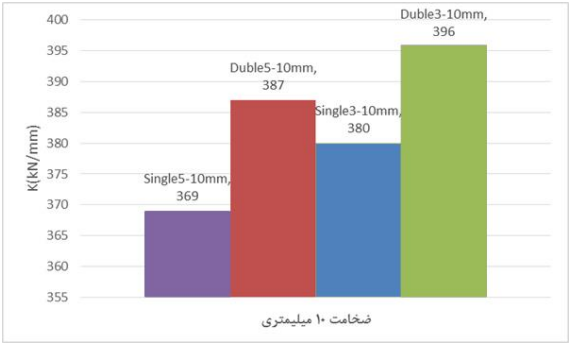
در شکل (۱۳) مقایسه مقادیر سختی برای تمام قاب‌ها در هر ضخامت نشان داده شده است. در این بخش نیز قاب دارای میراگر با سه شکاف دوبل دارای بیشترین مقدار سختی و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی با ضخامت ۱۰ میلیمتر دارای کمترین مقدار سختی در بین هر سه ضخامت می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد قاب هایی که از میراگر با شکاف دوبل بهره می برند سختی بیشتری نسبت به قاب‌هایی که دارای میراگر با شکاف تکی هستند را دارا می‌باشند.



الف- ضخامت ۶ میلی‌متری



ب- ضخامت ۸ میلی‌متری

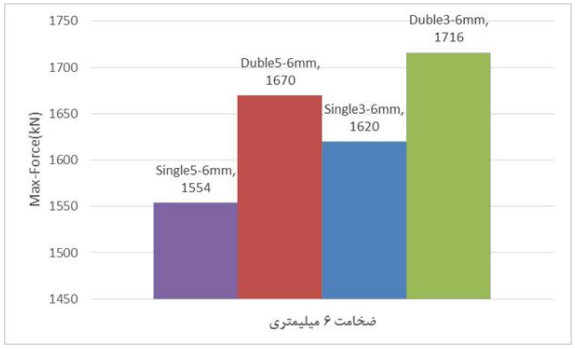


ج- ضخامت ۱۰ میلی‌متری

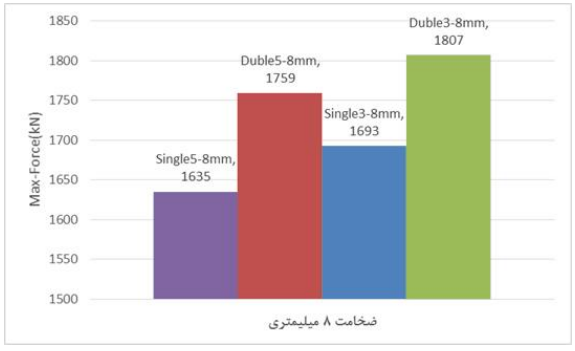
شکل ۱۳- مقایسه مقادیر سختی مدل‌ها

۴-۴- مقایسه مقاومت مدل‌های اجزاء محدود

شکل (۱۴) مقایسه مقدار مقاومت نهایی برای تمام مدل‌ها در هر ضخامت را نشان داده است. قاب دارای میراگر با سه شکاف دوبل دارای بیشترین مقدار مقاومت و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی دارای کمترین مقدار مقاومت در هر سه ضخامت می‌باشد. در ضخامت ۶ میلی‌متری مقدار مقاومت قاب دارای میراگر با ۳ شکاف دوبل نسبت به مدل دارای میراگر با ۵ شکاف تکی، قاب دارای میراگر با ۳ شکاف تکی و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف دوبل به ترتیب ۱۰/۴٪، ۵/۹٪ و ۲٪/۷ افزایش پیدا کرده است که این افزایش در ضخامت ۸ میلی‌متر به ترتیب برابر ۱۰/۵٪، ۶/۷٪ و ۲/۷٪ و در ضخامت ۱۰ میلی‌متر به ترتیب برابر ۸/۳ ٪ ، ۴/۵ ٪ و ۳/۴ ٪ شده است. نتایج نشان می‌دهد قاب‌هایی که از میراگر با شکاف دوبل بهره می‌برند مقاومت بیشتری نسبت به قاب‌هایی که دارای میراگر با شکاف تکی هستند را دارا می‌باشند.



الف- ضخامت ۶ میلی‌متری



ب- ضخامت ۸ میلی‌متری

ج- ضخامت ۱۰ میلی‌متری

شکل ۱۴- مقایسه مقادیر مقاومت نهایی مدل‌ها

۵- نتیجه گیری

در این مقاله عملکرد قاب بتن‌آرمه تقویت شده با میراگر شکاف‌دار فولادی مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج آن به شرح زیر است:

۱- افزایش ضخامت میراگر در تمامی مدل‌ها باعث شده تا مقادیر خرابی در آن کمتر شود به نحوی که در مدل دارای ضخامت ۶ میلی‌متری مشخص است میزان تمرکز تنش در قسمت‌های فوقانی نوارهای میراگر و بخشی از مهاربند بیشترین مقدار می‌باشد و در نواحی میانی و تحتانی تنش کمتری ایجاد شده است. ولی در مدل دارای ضخامت ۸ میلی‌متر به وضوح تنش در قسمت مهاربند کمتر شده و در مدل دارای ضخامت ۱۰ میلی‌متر مقدار تنش نه در میراگر و نه در مهاربند حد بحرانی نرسیده است.

۲- بر اساس نتایج حاصل از تحلیل با افزایش مقدار ضخامت سطح زیر نمودار بیشتر شده که نشان دهنده جذب انرژی بیشتر در تمام مدل‌ها می‌باشد.

۳- با توجه به اینکه افزایش ضخامت باعث بیشتر شدن مقدار نیروی جذب شده گشته بدیهی است که مقدار مقاومت نهایی نیز با این افزایش ضخامت در تمامی مدل‌ها بیشتر شده باشد.

۴-. نتایج نشان می‌دهد که در هر ضخامت قابی که دارای میراگر با ۳ شکاف دوبل می باشد دارای بیشترین مقدار جذب انرژی و قابی که دارای میراگر با ۵ شکاف تکی بوده کمترین مقدار جذب انرژی را داشته است.

۵- قاب دارای میراگر با سه شکاف دوبل دارای بیشترین مقدار مقاومت و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی دارای کمترین مقدار مقاومت در هر سه ضخامت می باشد. در ضخامت ۶ میلی‌متری مقدار مقاومت قاب دارای میراگر با ۳ شکاف دوبل نسبت به مدل دارای میراگر با ۵ شکاف تکی، قاب دارای میراگر با ۳ شکاف تکی و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف دوبل به ترتیب ۱۰/۴٪، ۵/۹٪ و ۲٪/۷ افزایش پیدا کرده است که این افزایش در ضخامت ۸ میلی‌متر به ترتیب برابر ۱۰/۵٪، ۶/۷٪ و ۲/۷٪ و در ضخامت ۱۰ میلی‌متر به ترتیب برابر ۸/۳٪، ۴/۵٪ و ۳/۴٪ شده است. نتایج نشان می‌دهد قاب‌هایی که از میراگر با شکاف دوبل بهره می‌برند مقاومت بیشتری نسبت به قاب‌هایی که دارای میراگر با شکاف تکی هستند را دارا می‌باشند.

۶- قاب دارای میراگر با سه شکاف دوبل دارای بیشترین مقدار سختی و قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی دارای کمترین مقدار سختی در هر سه ضخامت می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد قاب‌هایی که از میراگر با شکاف دوبل بهره می‌برند سختی بیشتری نسبت به قاب‌هایی که دارای میراگر با شکاف تکی هستند را دارا می‌باشند. به طوری‌که قاب دارای میراگر با ۵ شکاف تکی در ضخامت ۱۰ میلی‌متر نسبت به مدل دوبل ۴/۹٪ کاهش سختی داشته و نسبت به مدل دوبل ۳تایی تکی و دوبل به ترتیب ۲/۹٪ و ۷/۳٪ کاهش سختی داشته است.

مراجع

[۱] سعید منیر، حبیب؛ فضل پور، ندا. کاربرد یک میراگر لوله‌ای شکاف‌دار جدید با مقطع استوانه‌ای در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، دوره ۴۵ شماره ۴ (پیاپی ۸۱) ۱۳۹۴.

[2] Wada A, Huang Y.H, Yamada T, Ono Y, Sugiyama S, Baba M, Miyabara T.Actual size and real time speed tests for hysteretic steel damper. Proceedings of Stessa. 1997: 97: 778-785.

[3] Lee M.-H, Oh S.-H, Huh C, Oh Y.-S, Yoon M.-H, Moon T.-S. Ultimate energy absorption capacity of steel plate slit dampers subjected to shear force. Steel Structures. 2002: 2: 71-79.

[4] Benavent-Climent A. Development and application of passive structural control systems in the moderate-seismicity mediterranean area. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing. 2008.

[5] Ghabraie K, Chan R, Huang X, Xie Y.M. Shape optimization of metallic yielding devices for passive mitigation of seismic energy. Engineering Structures. 2010: 32: 2258-2267.

[۶] خوشنودیان, فرامرز؛ کیانی، مهدی. بررسی عملکرد میراگر فولادی شکافدار SSD در سازه های فولادی با سیستم قاب خمشی ویژه. اولین همایش ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، موسسه آموزش عالی پردیسان، بابلسر، ایران، ۱۳۸۹.

[7] Karavasilis T.L, Kerawala S, Hale E. Hysteretic model for steel energy dissipation devices and evaluation of a minimal-damage seismic design approach for steel buildings. Journal of Constructional Steel Research. 2012: 70: 358-367.

[۸] توحیدی مقدم، وحید؛ سعید منیر، حبیب. بررسی عملکرد میراگر شکافدار لوله ای تحت بارگذاری لرزه ای. دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران. تهران، ایران، ۱۳۹۱.

[۹] زهرائی، سیدمهدی؛ امین دهقان، امید. بررسی عملکرد یک سیستم میراگر فلزی نوین در بهبود رفتار لرزهای مهاربندهای هم محور، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران. تهران، ایران، ۱۳۹۱.

[۱۰] زهرائی، سیدمهدی؛ امین دهقان، امید. ارزیابی شکل پذیری و استهلاک انرژی میراگر فلزی نوین لوله در لوله برای کاربرد در قاب های فولادی مهاربندی شده. دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران. تهران؛ ایران؛ ۱۳۹۱.

[11] Tagawa H, Yamanishi T, Takaki A, Chan R.W. Cyclic behavior of seesaw energy dissipation system with steel slit dampers. Journal of Constructional Steel Research. 2016: 117: 24-34.

[12] Saffari H, Hedayat A.A, Poorsadeghi Nejad M. Post-Northridge connections with slit dampers to enhance strength and ductility. Journal of Constructional Steel Research. 2013: 80: 138-152.

[13] Oh S.-H, Kim Y.-J, Ryu H.-S. Seismic performance of steel structures with slit dampers. Engineering Structures. 2009: 31: 1997-2008.

[14] oken A, Koroglu M.A. Waste rubber damper using on steel beam to column connection. International Journal of Arts & Sciences. 2012: 5: 217-222.

[۱۵] مشتاق، امین؛ شیدایی، محمدرضا، توحیدی مقدم، وحید. کاربرد میراگر شکافدار لولهای فولادی (CSSD) بر رفتار خرابی شبکه‌های تخت دو لایه فضاکار و ارزیابی خرابی پیشرونده در آنها. *سومین کنفرانس ملی زلزله و سازه*. کرمان؛ ایران؛ ۱۳۹۱.

[16] Hwan Lee Ch, Kim J, Hyun Kim D, Ryu J, Ju Y. Numerical & Experimental Analysis of Combined Behavior of Shear Type Friction Damper & Non-uniform Strip Damper for Multi-Level Seismic Protection. Engineering Structures. 2016: 114: 75-95.

[17] ABAQUS, Version9.10. Dassault Systemes. USA, 2010.

[18] Chan R, Albermani F. Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation. Engineering Structures. 2008: 30: 1058-1066.

Investigating the behavior of steel slit dampers in concrete structures

Seyed Majid Alavinia
Department of Civil Engineering, Aria University of Science and Sustainability, Tehran, Iran.
Leila Hosseinzadeh*
Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
Ali Ghamari
Department of Civil Engineering, Darreh-Shahr Branch, Islamic Azad University, Darreh-Shahr, Iran.
Abbas Akbarpour
Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
l.hosseinzadeh@iaut.ac.ir

Abstract

Iran is considered as one of the most seismically active regions in the world. Therefore, the need for seismic strengthening of the existing structures is essential. One of the suitable methods in seismic reinforcement of buildings is the use of dampers. Dampers are components, which are mostly utilized to increase damping and deplete seismic energy. Numerous studies have indicated that dampers can reduce seismic displacement. In this way, the performance of most of the load-bearing members of the structure remains in the elastic range. In this research, the effect of using slit steel dampers (SSD) on concrete structures was evaluated. Therefore, four models of SSD were selected as following: 3 single slit, 3 double slit, 5 single slit and 5 double slit in three thickness of 6, 8 and 10 mm, which were placed in a concrete frame with a single diagonal brace at the connection of the brace to the column beam. The effects of increasing the number of slits from 3 to 5, from single to double and increasing the thickness were studied. The results exhibited that by increasing the thickness of dampers, the area of force-displacement diagram, stiffness and strength were increased in frames. The frames, which are consisted of double 3-slit dampers presented better performance than 5-slit dampers. So that, the reduction of rigidity of frame with single 5-slit dampers in a thickness of 10 mm, was 4.9% in comparison with double samples. In addition, it is decreased in stiffness by 2.9% and 7.3% for single and double models, respectively.

Keywords: Diagonal bracing, Steel Slit Damper, energy absorption, Stiffness, Strength.