مطالعه نوعی از تجهیزات اتلاف انرژی برای کاربرد درقاب‌های فولادی متشکل از مهاربندی نوع شورن

میرصابر غیبی
کارشناس ارشد سازه-دانشکده مهندسی عمران- دانشگاه تهران
saber_gheibi@ut.ac.ir

شاهرخ مالک
عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران- دانشگاه تهران
maalek@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: *میراگر غیرفعال، میراگر نیم‌حلقوی، مهاربندی شورن*

چکیده

در مقاله حاضر رفتار یک میراگرغیرفعال فلزی نوین به نام میراگر نیم‌حلقوی مورد مطالعه قرار داده شده‌است. این میراگر غیرفعال متشکل از یک نیم‌حلقه با سطح مقطع قوطی‌شکل راست‌گوشه ساخته‌شده از ورق‌های فولادی می‌باشد که به صورت نیم‌حلقوی در مهاربندی‌های نوع شورن در قاب‌های فولادی قرار داده می‌شوند. در این مقاله قاب‌های متشکل از این نوع میراگر تحت بارگذاری تک‌آهنگ و چرخه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌است و مطالعات پارامتریک به مظور بررسی اثر تغییرات قطر میراگر(نیم‌حلقه) بر رفتار قاب به عمل آمده‌است. جمع‌بندی مطالعات نشان داده‌است که سیستم میراگر غیرفعال پیشنهادی دارای عملکرد با قابلیت استهلاک قابل ملاحظه انرژی بوده و این امر باعث کاهش پاسخ اعضا اجزای سازه‌ای واقع در مسیر انتقال بارهای ناشی از نیروی زلزله می‌شود در نتیجه این نوع میراگرها برای طرح سازه‌های جدید مقاوم در برابر زلزله و همچنین اصلاح رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی موجود قابل کاربرد می‌باشند. از دیدگاه هزینه‌های ساخت نیز هزینه مصالح مصرفی تقریبا ناچیز بوده و از دیدگاه ساخت نیز دشوار نبوده و به سهولت قابل کاربرد می‌باشند.

مقدمه

اساس روش طراحی سیستم‌های متداول مقاوم در برابر زلزله بر مقاومت در برابر بارهای جانبی استوار می‌باشد، بدین صورت که در زلزله‌های کوچک و متوسط با تامین سختی و مقاومت لازم در سازه، باعث کنترل تغییر مکان جانبی و جلوگیری از تخریب اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای شود و در زلزله‌های شدید با ایجاد شکل‌پذیری و جذب انرژی مناسب توسط اعضای سازه‌ای، مانع از فروریختن سازه شود. انواع مختلف سیستم‌های متداول مقاوم در برابر زلزله عبارتند از: سیستم‌های مهاربندی جانبی، دیوار برشی، قاب مقاوم خمشی و سیستم دوگانه. متاسفانه در برخی از این سیستم‌ها نیل به قابلیت جذب انرژی قابل ملاحظه دشوار بوده، در این حالت بروز خسارت تحت تاثیر زلزله‌های شدید محتمل خواهد بود.

در دیدگاه‌های نوین اولویت در طراحی به شکل‌پذیری و قابلیت استهلاک انرژی داده می‌شود، در طراحی این سیستم‌ها برای نیل به یک طرح مقاوم لرزه‌ای مناسب ابتدا باید سعی در به حداقل نمودن مقدار انرژی هیسترتیک تلف‌شده در اعضای اصلی سازه نمود.دو دیدگاه مهم جهت رسیدن به این هدف وجوددارد. اولین دیدگاه شامل طرح‌هایی است که در آن کوشش می‌گردد انرژی ورودی به سازه کاهش یابد، به عنوان مثال سیستم‌های جداسازی پایه از این جمله به شمار می‌روند. دومین دیدگاه بر مکانیزم‌های اتلاف انرژی در خود سازه تاکید می‌نماید. برای این منظور از تجهیزات دارای قابلیت استهلاک انرژی استفاده می‌شود. این تجهیزات به گونه‌ای طراحی می‌شوند که بخشی از انرژی ورودی به سازه را تلف نمایند و در نتیجه خسارت وارد به سازه اصلیکاهش می‌یابد.انواع سیستم‌های نوین مقاوم در برابر زلزله عبارتند از:

الف) سیستم‌های جداساز پایه ب) سیستم‌های فعال و نیمه‌فعال ج)سیستم‌های غیرفعال(Soong and Dargush, 1997).

از میان سیستم‌های غیرفعال اتلاف انرژی، میراگرهای فلزی به دلیل عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده جهت ساخت و عملی‌تر بودن کاربرد آن در سازه و همچنین رفتار پایدار در برابر زلزله و دخیل نبودن عوامل محیطی (درجه حرارت، رطوبت و...) در رفتار مکانیکی آن‌ها، از اهمیت خاصی برخوردارند. این میراگرها باعث افزایش میرایی و سختی در سیستم سازه‌ای شده و ظرفیت اتلاف انرژی را افزایش می‌دهند.افزودن میراگرهای فلزی

به سازه باعث تمرکز پدیده اتلاف انرژی در میراگر می‌شود که پس از وقوع زلزله می‌توان میراگرها را به راحتی تعویض نمود و جهت مقابله با زلزله‌های بعدی مقاوم نمود این قطعات انرژی ورودی به سازه را به انرژی کرنشی پلاستیک یا انرژی هیسترتیک تبدیل می‌کنند. این انرژی غیرقابل برگشت است و در سازه تلف می‌شود.

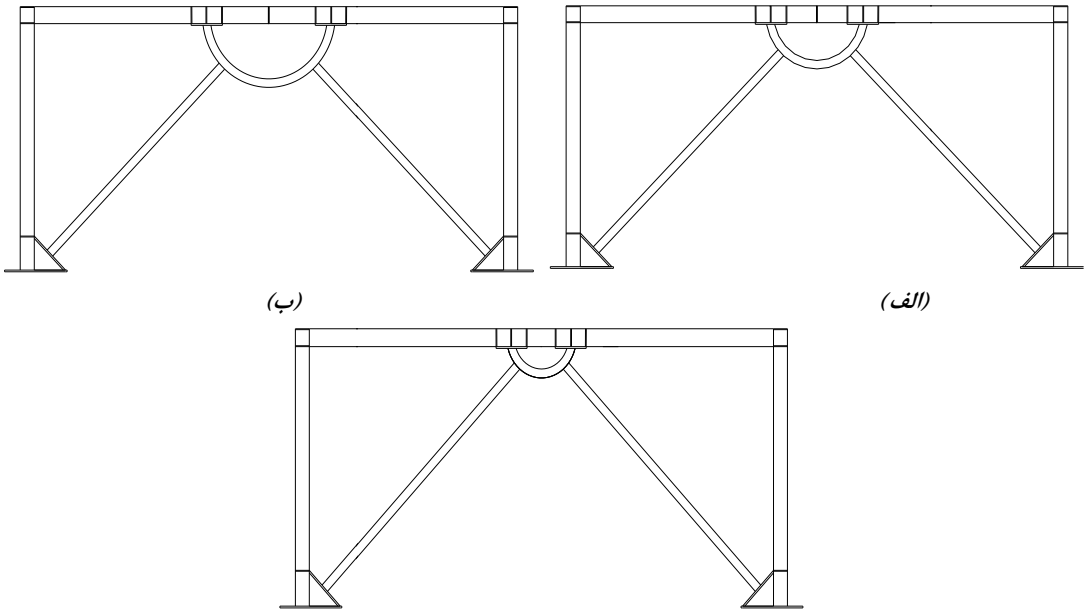
ایده به کارگیری این میراگرها به صورت حلقه‌کامل برای استفاده در مهاربندی‌های ضربدری در قاب‌های فولادی توسط لوح قلم (۱۳۸۲)، یوسفی (۱۳۸۳)، پابسنگ (۱۳۸۴)، (مالک و همکاران، ۱۳۸۵)، کامجو (۱۳۸۹) و Maalek and Pabesang (2011) مورد مطالعه قرارگرفت و عملکرد بهتر این نوع میراگرها نسبت به یکی از رایج‌ترین میراگرهای فلزی (TADAS) ثابت گردیده است. همچنین ایده به کارگیری این میراگرها به صورت نیم‌حلقه برای استفاده در مهاربندی‌های شورن در قاب‌های فولادی توسطصدری طبایی زواره (۱۳۸۶) مطرح شد.

مدل سازی

برای مدل‌سازی های اجزای محدوداز المان‌های پوسته ۴ گره‌ای و جامد ۸ گره‌ای استفاده شده‌است. برای بارگذاری تک‌آهنگ با فرض ارتفاع H=330 سانتی‌متر برای قاب‌های فرضی، به منظور رسیدن به تغییرمکان نسبی طبقه در حدود سه درصد ارتفاع سازه و در بارگذاری چرخه‌ای مطابق با روش پیشنهادی در ATC-۲۴ تغییر مکان واداشته در دو انتها در تراز تیر، به ستون‌ها اعمال شده‌است. این روش بارگذاری در هردو انتهای تیر باعث می‌شود که در تیر نیروی محوری به وجود نیاید. در جدول (۱) مشخصات هندسی هر سه قاب مدل‌شده و در شکل‌های (۲-۱) به ترتیب نمای شماتیک مدل‌ها و مشخصات هندسی میراگر نیم‌حلقوینشان داده‌شده‌است اتصال ستون‌ها در پایین به صورت مفصلی و در تراز تیر به صورت گیردار بوده‌است. نوع فولاد مصرفی ST37 بوده است و رفتار غیرخطی آن به صورت سخت‌شوندگی ایزوتروپیک-کینماتیک که نوع مدل‌سازی قابل اعتمادی در حالت بارگذاری چرخه‌ای می‌باشد در نظر گرفته شده‌است. در شکل (۳) مدل اجزای محدود یکی از مدل‌ها برای نمونه نشان داده‌شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی قاب های مدل شده

مدل	ابعاد هندسی(cm)		اعضا			ابعاد نیم حلقه (cm)		
	طول دهانه قاب	ارتفاع قاب	ستون	تیر	عضو مهاری	قطر D	پهنا b	ضخامت t
D-160	600	330	IPB 180	IPE200	2UNP100	160	10	1
D-120	600	330	IPB 180	IPE200	2UNP100	120	10	1
D-80	600	330	IPB 180	IPE200	2UNP100	80	10	1

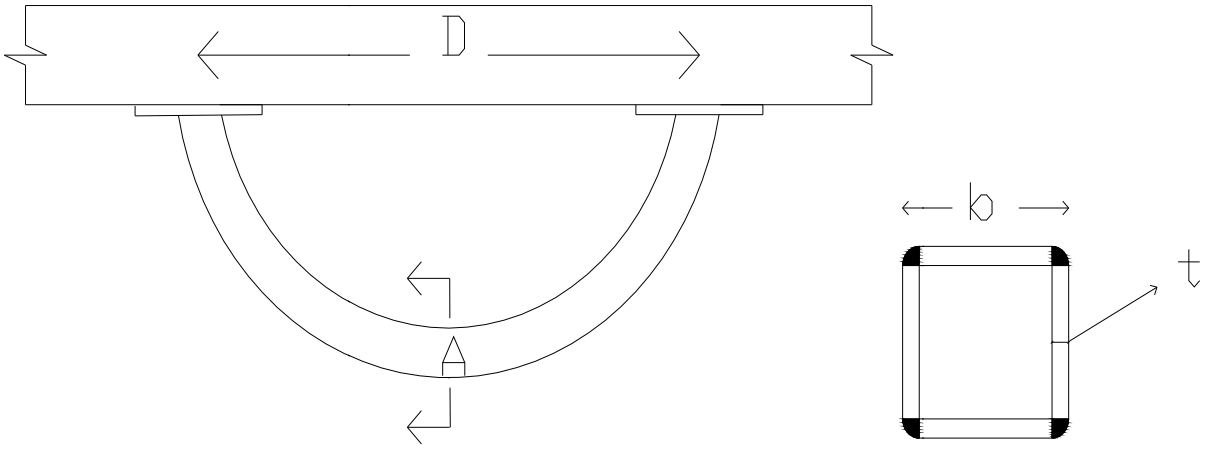


(ب) *(الف)*

(ج)

شکل ۱: نمای شماتیک قاب مجهز به میراگر نیم‌حلقوی با مقادیر قطر متفاوت

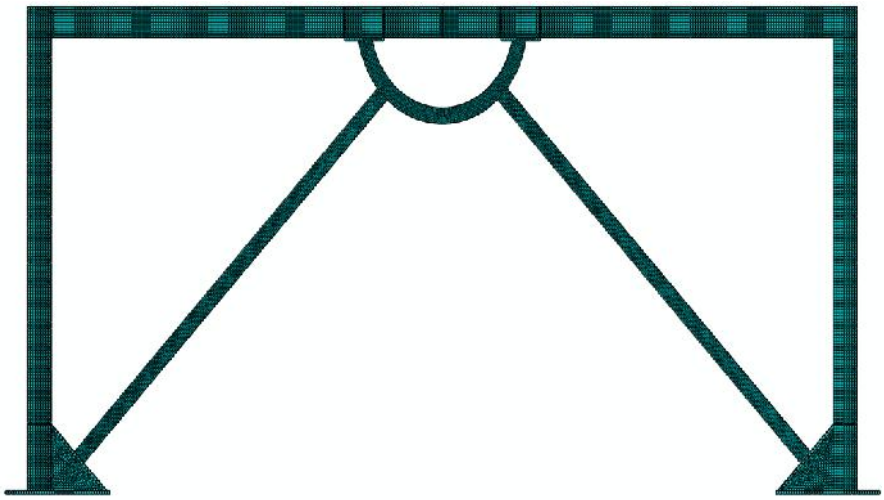
الف) مدل D-160 ***به قطر ۱۶۰ سانتی‌متر، ب) مدل*** D-120 ***به قطر ۱۲۰ سانتی‌متر ، ج) مدل*** D-80 ***به قطر ۸۰ سانتی‌متر***



(ب) (الف)

شکل ۲: کلیات مشخصات هندسی میراگر نیم حلقوی

الف) پارامترهای نیم‌حلقه، ب) پارامترهای مقطع نیم‌حلقه (مقطع A)

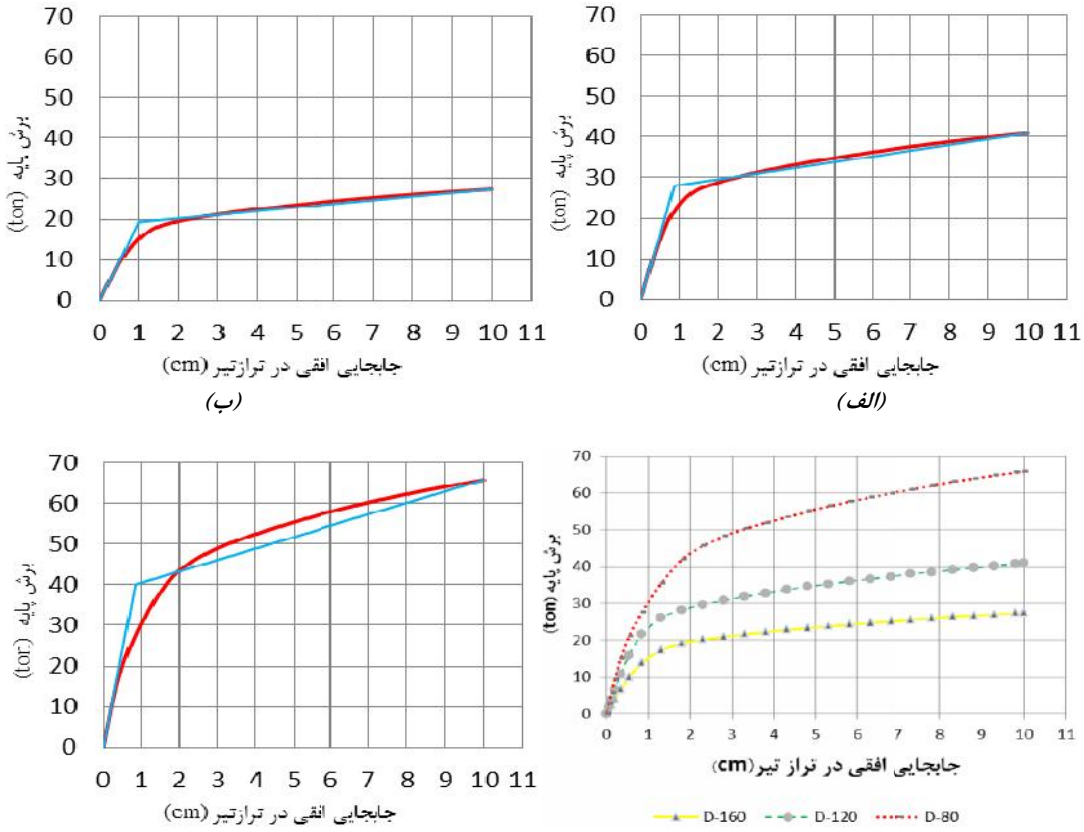


شکل۳: مدل اجزای محدود مدل D-120 ***با میراگر نیم حلقه به قطر ۱۲۰ سانتی متر***

نتایج تحلیل

نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها تحت بارگذاری تک‌آهنگ به صورت نمودارهای نیرو-تغییرمکان در شکل (۴)برای مدل‌های D-160 و D-120 و D-80 نشان داده‌شده‌است و پس از دو خطی کردن نمودارهای نیرو-تغییرمکان، مقادیر نیروی تسلیم، تغییر مکان تسلیم، سختی ارتجاعی و سختی ثانویه هر یک از مدل‌ها محاسبه گردید. که خلاصه مقادیر فوق در جدول (2) نشان داده‌شده‌است.برای مقایسه بهتر اثرات تغییرات قطر نیم‌حلقه میراگر بر پارامترهای رفتاری قاب‌ها، مقادیر درج شده در جدول (۲) به صورت نمودارهای میله‌ای در شکل‌های (۶-۵) نشان داده‌شده‌است.همانطور که در نمودارهای شکل‌های (۶-۵) دیده می‌شود با کاهش قطر میراگر حلقوی مقدار برش پایه در جابه‌جایی نسبی طبقه به میزان سه درصد ارتفاع سازه (تقریبا۱۰ سانتی متر) و برش پایه در جابجایی الاستیک افزایش می‌یابد. زیرا با کاهش قطر میراگر حلقوی سختی قاب افزایش یافته و منجر به افزایش سختی الاستیک و سختی ثانویهگردیده‌است و این امر باعث افزایش مقادیر نیروها در قاب خواهدشد.

نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای به صورت نمودارهای نیرو- تغییرمکان در شکل (۷) و تنش‌های فون میسزدر شکل (۸) برای مدل‌های D-160 و D-120 و D-80 نشان داده‌شده‌است. با توجه به شکل شماره ۷ (الف- ج) با کاهش قطر میراگر، میزان جذب انرژی افزایش یافته‌است. زیرا این نوع از میراگرها بیشتر از طریق تغییرشکل برشی جذب انرژی می‌نمایند و لذا در قطرهای کوچکتر، جذب انرژی برشی بیشتری از خود نشان می‌دهند.



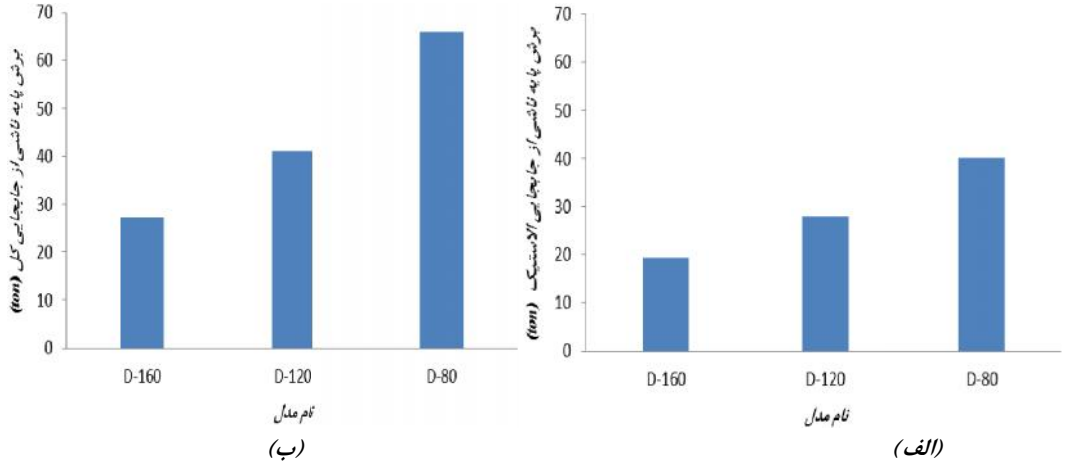
شکل۴: نمودارهای نیرو-تغییرمکان افقی در تراز تیر در بارگذاری تک‌آهنگ مدل‌ها

الف) : نمودار نیرو-تغییرمکان افقی در تراز تیر مدل D-160، ب) : نمودار نیرو-تغییرمکان افقی در تراز تیر مدل D-120

ج) : نمودار نیرو-تغییرمکان افقی در تراز تیر مدل D-80، چ) : نمودار نیرو-تغییرمکان افقی در تراز تیرهر سه مدل

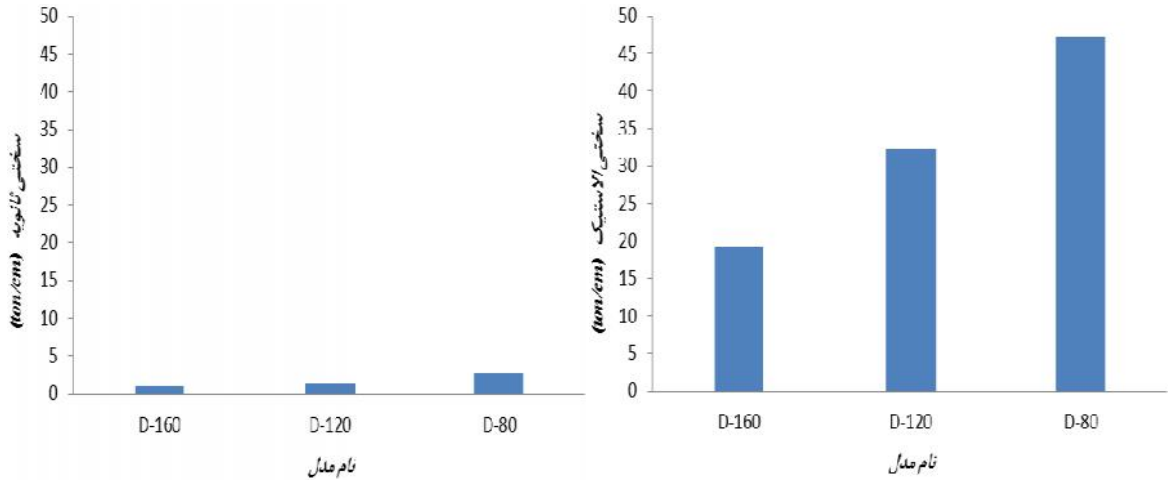
جدول ۲:پارامترهای رفتاری مدل‌ها

پارامتر	D-160	D-120	D-80
نیروی تسلیم (ton)	۱۹.۳۳	۲۷.۹۹	۴۰.۱
تغییرمکان تسلیم (cm)	۱.۰۱	۰.۸۷	۰.۸۵
سختی ارتجاعی (ton/cm)	۱۹.۱۴	۳۲.۱۷	۴۷.۱۸
سختی ثانویه (ton/cm)	۰.۹	۱.۴۱	۲.۸۱



شکل۵: نمودار های مقایسه برش پایه در جابجایی الاستیک و جابجایی کل، مدل‌ها در بارگذاری تک‌آهنگ

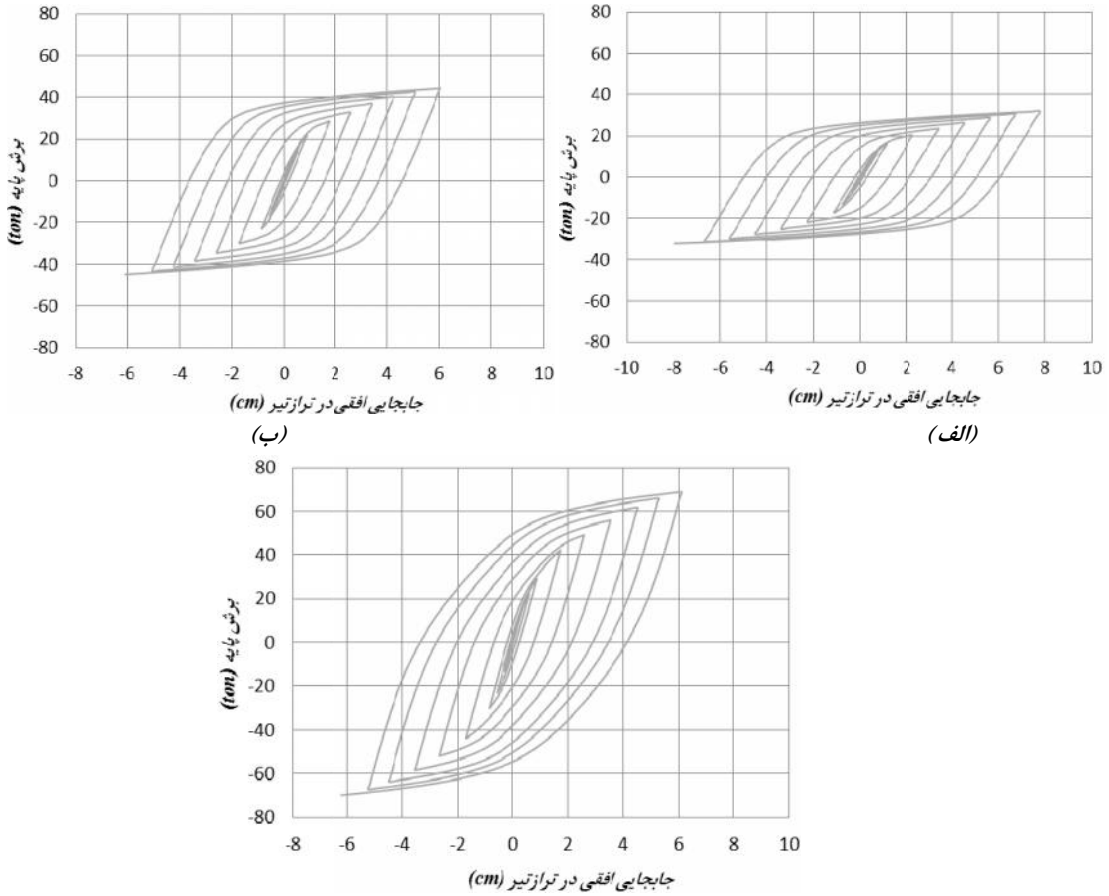
الف) مقادیر برش پایه در جابجایی کل، هر سه مدل، ب) مقادیر برش پایه در جابجایی الاستیک، هر سه مدل



(ب) (الف)

شکل۶: نمودار های مقایسه سختی الاستیک و ثانویه مدل‌ها در بارگذاری تک‌آهنگ

الف) مقادیر سختی ثانویه هر سه مدل، ب) مقادیر سختی الاستیک هر سه مدل

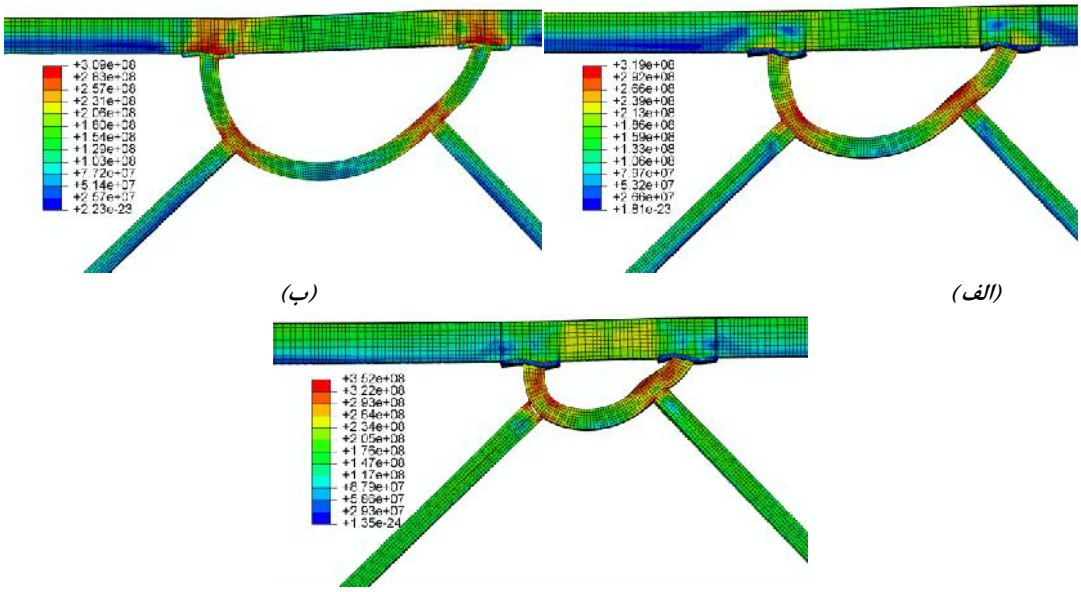


(ب) (الف)

(ج)

شکل۷: نمودارهای نیرو- تغییرمکان مدل‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای

الف) نمودار نیرو- تغییرمکان مدل D-160، **ب) نمودار نیرو تغییرمکان مدل** D-120، **ج) نمودار نیرو تغییرمکان مدل** D-80



(ب) *(الف)*

(ج)

شکل ۸: تنش‌های فون‌میسز مدل‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای

الف) تنش‌های فون‌میسز مدل D-160، ***ب) تنش‌های فون‌میسز مدل*** D-120، ***ج) تنش‌های فون‌میسز مدل*** D-80

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات عددی مدل‌های تفضیلی اجزای‌محدود قاب‌های نمونه بررسی‌شده نشان‌می‌دهند که با افزایش قطر میراگر نیروی برش پایه در جابجایی الاستیک و برش پایه درجابجایی نسبی حدود سه درصد ارتفاع سازه (به علت کاهش سختی قاب) کاهش یافته‌است. همچنین در قطرهای کوچکتر، میزان جذب انرژی از طریق مقاومت برشی میراگر افزونتر می‌باشد، بنابراین در صورت ثابت نگه‌داشتن سایر مشخصه‌های هندسی در قطرهای کوچکتر، میراگر انرژی بیشتری جذب می‌کند. با افزایش قطر میراگر، جابجایی الاستیک قاب نیز به علت کاهش سختی افزایش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده همچنیننشان داده‌است که به کارگیری سیستم میراگر نیم حلقوی در قاب مهاربندی‌شده نوع شورن به افزایش میرایی و البته کاهش سختی سازه منجر می‌گردد. میزان کاهش سختی در حدی است که علاوه بر کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه، قابلیت استهلاک انرژی آن را افزایش یابد.از مزایای میراگر نیم‌حلقوی، کنترل نیروی محوری در اعضای مهاری و پیشگیری از تسلیم و یا کمانش زود هنگام در آن‌ها است. همچنین در قاب‌های دارای میراگر نیم‌حلقوی، با طراحی اتصال پیچی بین میراگر و تیر می‌توان پس از وقوع زلزله میراگر را به سهولت تعویض نمود. در این سیستم، طراحی سایر اعضا باید با حاشیه ایمنی کافی صورت گیرد به گونه‌ای که با جذب انرژی از طریق تغییرشکل‌های ماورای‌الاستیک میراگرها از خرابی سایر اعضای قاب هنگام وقوع زلزله جلوگیری به عمل آید.

مراجع

پابسنگ پ (۱۳۸۴) ارایه یک سیستم میراگر غیرفعال نوین برای کاربرد در قاب‌های مهاربندی‌شده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، استاد راهنما: شاهرخ مالک

صدری طبایی زواره م (۱۳۸۶) بررسی عملکرد و رفتار یک سیستم میراگر غیرفعال پیشنهاد شده در قاب های با مهاربندی ضربدری و هشتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، استاد راهنما: شاهرخ مالک

کامجو و (۱۳۸۹) بررسی رفتار قاب‌های مهاربندی‌شده با میراگر پیشنهادی، پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، استاد راهنما: شاهرخ مالک

لوح قلم ا (۱۳۸۲) بررسی رفتار یک میراگر پیشنهادی از نوع غیرفعال، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، استاد راهنما: شاهرخ مالک

مالک ش، پابسنگ پ، لوح قلم ا (۱۳۸۵) معرفی یک سیستم میراگر غیرفعال نوین و مقایسه آن با میراگر موسوم به TADAS، *اولین همایش بین‌المللی مقاوم سازی لرزه ای، تهران، ایران*

یوسفی ع (۱۳۸۳) بررسی رفتار غیرخطی سیستم بادبندی فضاکار پیشنهادی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، استاد راهنما: شاهرخ مالک

Maalek S and Pabesang P (2011) The Presentation of a circular passive energy dissipation device for use in steel braced frames, *Proceedings of The Structural Engineering World Congress*, Italy

Soong TT and Dargush GF (1997) Passive Energy Dissipaton Systems in Structural Engineering, John Wiley and Sons