

## Reinforcement of structures with concrete moment frame system by yielding metal damper with optimal cross section

Mehdi Khoshvatan<sup>1</sup>, Majid Pouraminian<sup>2\*</sup>

1- Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

2- Department of Civil Engineering, Ramsar Branch, Islamic Azad University, Ramsar, Iran

### ABSTRACT

Reinforcement of structures with concrete moment frame system by submitting metal damper with optimal cross section has been done in the present study. For this purpose, the metal damper that is delivered after calibration and comparison of the results with a similar experimental sample is simulated in ABAQUS finite element software and the number of blades is determined to have the best performance. Loading was performed by displacement control method on the sample. To investigate the effect of damping on the behavior of the structure, the structural system with the proposed damper was compared with three types of bearing systems of different structures of concrete flexural frame, concrete shear wall and bracing with different number of floors 8, 14 and 20. In this study, 4 groups of concrete structures were studied and compared in terms of lateral bearing system, including medium concrete moment frame with behavior coefficient ( $R = 5$ ), medium concrete moment frame with shear wall with medium ductility, concrete moment frame with Medium ductility with EBF steel brace and Medium ductility concrete flexural frame with EBF steel brace Equipped with yielding metal damper. The studied structures have building frames with dimensions of 25 x 25 meters, which are modeled on 8th, 14th and 20th floors. Each dimension of the structure in the plan has 5 openings with lengths of meters. The height of each floor is 3 meters. In modeling structures with dampers, four types of dampers modeled with 4, 6, 8 and 10 flowing plates in the damper have been used. By comparing them, it has been determined that the damping with 10 flowing plates has better performance and the results of that structure in Comparison with other systems was used. In 8-story models, the maximum final displacement in the brace was 17% higher than in the damper. The maximum final displacement in the shear wall was 36% higher than that of the damper. The results of maximum final displacement in 20-storey structures showed that of the 4 types of load-bearing systems, the behavior of concrete shear wall and damper has better performance than other systems. The maximum final displacement in the shear wall was 36% higher than that of the damper. The 8-story structure with dampers not only withstood the highest shear but also had the best performance compared to other systems. Structures such as the system with restraint, shear wall and moment frame had 26, 7.7 and 62%, respectively. As a general conclusion from the results of the present study, it seems that in structures with a low number of floors, the use of the system with the proposed damper is more appropriate and in medium structures, the shear wall system has a better performance.

### ARTICLE INFO

Receive Date: 25 April 2021

Revise Date: 19 October 2021

Accept Date: 01 November 2021

### Keywords:

Slit Metal Damper  
Optimization  
Seismic strengthening  
Concrete shear wall  
RC Frames

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2021.283114.2432>

\*Corresponding author: Majid Pouraminian

Email address: m.pouraminian@iauramsar.ac.ir

## مقاوم سازی سازه های با سیستم باربر قاب بتنی توسط میراگر فلزی تسلیم شونده با سطح مقطع بهینه

مهدی خوش وطن<sup>۱</sup>، مجید پورامینیان<sup>۲\*</sup>

۱- دکتری سازه، گروه مهندسی عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران

### چکیده

مقاوم سازی سازه های با سیستم باربر قاب بتنی توسط میراگر فلزی تسلیم شونده با سطح مقطع بهینه در تحقیق حاضر انجام گرفته است. برای این منظور میراگر فلزی تسلیم شونده پس از صحت سنجی و مقایسه نتایج با نمونه مشابه آزمایشگاهی در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS شبیه سازی شده و تعداد پره های آن طوری تعیین شده که بهترین عملکرد را داشته باشد. بارگذاری به روش کنترل جابجایی بر روی نمونه انجام گرفت. در این تحقیق ۴ گروه سازه بتنی از لحاظ سیستم باربر جانبی مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت که شامل قاب خمشی بتنی متوسط با ضریب رفتار  $(R = 5)$ ، قاب خمشی بتنی متوسط همراه با دیوار برشی با شکل پذیری متوسط، قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط همراه با مهاربند فولادی EBF و قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط همراه با مهاربند فولادی EBF مجهز به میراگر فلزی تسلیم شونده می شود. سازه های مورد بررسی قاب های ساختمانی دارای ابعاد  $25 \times 25$  متر هستند که در طبقات ۱، ۱۴ و ۲۰ طبقه مدل سازی شده اند. هر بعد سازه در پلان دارای ۵ دهانه به طول های متر می باشد. ارتفاع هر طبقه ۳ متر در نظر گرفته شده است. در مدل سازی سازه های دارای میراگر از چهار نوع میراگر مدل سازی شده با ۴، ۶، ۸ و ۱۰ صفحه جاری شونده در میراگر استفاده شده است که با مقایسه آن ها مشخص شده است که میراگر دارای ۱۰ صفحه جاری شونده عملکرد بهتری دارد و از نتایج آن سازه در مقایسه با سیستم های دیگر استفاده گردید. در مدل های ۸ طبقه حداکثر تغییر مکان نهایی در مهاربند ۱۷ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. حداکثر تغییر مکان نهایی در دیوار برشی ۳۶ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. نتایج تغییر مکان ماکزیمم نهایی در سازه های ۲۰ طبقه نشان داد که از ۴ تیپ سیستم باربر مورد بررسی، رفتار دیوار برشی بتنی و میراگر به نسبت سایر سیستم ها عملکرد بهتری دارد. حداکثر تغییر مکان نهایی در دیوار برشی ۳۶ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. سازه ۸ طبقه دارای میراگر نه تنها بیشترین برش را تحمل کرده بلکه بهترین عملکرد را نسبت به سایر سیستم ها سازه های همانند سیستم دارای مهار بند، دیوار برشی و قاب خمشی به ترتیب با ۲۶، ۷/۷ و ۶۲ درصد داشته است. به عنوان نتیجه گیری کلی از نتایج تحقیق حاضر، به نظر میرسد در سازه های با تعداد طبقات پایین استفاده از سیستم با میراگر پیشنهادی شده مناسب تر باشد و در سازه های میان مرتبه، سیستم دیوارهای برشی عملکرد مناسب تری دارد.

کلمات کلیدی: میراگر فلزی تسلیم شونده، بهینه سازی، مقاوم سازی لرزه ای، دیوار برشی بتنی، قاب خمشی بتن آرمه.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2021.283114.2432	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.283114.2432	۱۴۰۱/۱۰/۳۰	۱۴۰۰/۰۸/۱۰	۱۴۰۰/۰۸/۱۰	۱۴۰۰/۰۷/۲۷	۱۴۰۰/۰۲/۰۵
مجید پورامینیان m.pouraminian@iauramsar.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

زلزله ۱۹۹۴ نورثریج و ۱۹۹۵ کوبه سبب گردید تا اتصالات گیردار قاب‌های خمشی فولادی در ناحیه جوش بال تیر به ستون شکست ترد را تجربه کرده و موجب عملکرد ضعیف اتصال و قاب گردند که علت این پدیده، ایجاد مفصل پلاستیک در آن ناحیه بحرانی بوده است. در سال‌های اخیر سیستم‌های اتلاف انرژی برای کاهش خسارات وارده ناشی از نیروهای جانبی باد و زلزله مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. انواع مختلف آن نیز شامل میراگرهای فعال، نیمه فعال و غیرفعال طراحی و اجرا شده‌اند. با استفاده از این فناوری بخشی از انرژی ورودی ناشی از باد و زلزله مستهلک شده و در نتیجه عناصر سازه‌ای کمتر دچار آسیب شده و محافظت می‌گردند. میراگرهای فعال و نیمه فعال با توجه به هزینه‌های نصب و نگهداری نسبتاً بالا در ساختمان‌های معمول، کمتر مورد استفاده قرار گرفته و بیشتر انواع غیرفعال آن مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله محبوب‌ترین انواع آن، سیستم‌های میراگر شکافدار فلزی هستند که با توجه به قابلیت اعتماد به ارزان بودن ساخت و نصب و نگهداری آسان آن‌ها، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

غلام پور و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر میراگر TADAS در سازه‌های فولادی تحت زلزله حوزه دور و نزدیک گسل پرداختند. آن‌ها برای درک بهتر از تأثیر تعداد طبقات و تعداد دهانه‌ها در رفتار لرزه‌ای میراگرها، سازه‌ها در ۱۶ حالت شامل، چهار مدل سازه‌ای با تعداد طبقات و دهانه‌های متفاوت (۴ طبقه تک دهانه، ۴ طبقه سه دهانه، ۲ طبقه تک دهانه، ۲ طبقه سه دهانه) در دو حالت با میراگر TADAS و بدون میراگر بررسی کردند. سازه‌ها در نرم افزار sap به صورت غیرخطی و تحت دو مجموعه ۷ تایی رکورد دور از گسل و نزدیک گسل تحلیل دینامیکی غیرخطی مدل‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که وجود این نوع میراگر پاسخ‌های سازه شامل دریافت و برش در حالت دور از گسل به ترتیب به میزان ۲۰/۸۵ و ۲۱/۱۲ درصد و در حالت نزدیک گسل به میزان ۲۳/۳۰ و ۲۶/۸۴ درصد کاهش می‌دهد. محدودیت تحقیق آنها استفاده از یک سیستم باربر بود که در تحقیق آنها فقط اثر تعداد طبقات بررسی شده است. [1]. هویدایی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی اثر میراگرهای مایع تنظیم شده (TLD) و تنظیم شده‌ی اصلاحی (MTLD) بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی پرداختند. آن‌ها از نوع اصلاح شده‌ی سیستم کنترل غیرفعال سازه‌ای برای بررسی اثرات میراگر مایع حجمی تنظیم شونده استفاده کردند و نتایج آن با داده‌های موجود برای نوع سنتی مقایسه کردند. سه نوع سازه با تعداد طبقات ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با سه نسبت جرمی میراگر ۱، ۲ و ۳ درصد در نرم افزار ETABS طراحی کردند و تحلیل‌های Pushover و تاریخچه زمانی در نرم افزار OPENSEES انجام دادند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که استفاده از این میراگرها جابه‌جایی پسماند سازه‌های با سیستم قاب خمشی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین عملکرد میراگر مایع تنظیم شده‌ی اصلاحی در مقایسه با نوع سنتی خود به لحاظ کاهش پاسخ سازه مطلوب‌تر می‌باشد. در تحقیق آنها پارامتر جرم میراگر TLD و با درصد‌های تغییر ۱ تا ۳ درصد بررسی شد. با توجه به شتاب بالای زلزله‌های رخ داده در دنیا و اندرکنش سیال سازه به نظر میرسد ماکزیمم ۳ درصد اثر تغییر جرم کم بوده و می‌توان تا درصد‌های بالاتری اثر وزن سیال داخل میراگر را بر رفتار سازه بررسی کرد [2]. وهدانی و همکاران (۱۳۹۹) به تعیین موقعیت بهینه میراگرهای جرمی تنظیم شده چندگانه در ساختمان‌های فولادی منظم و نامنظم در پلان تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل پرداختند. کارایی میراگر جرمی تنظیم شده توزیعی چندگانه (MTMD) در ساختمان ده طبقه فولادی منظم و نامنظم L و U شکل، تحت رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل مورد بررسی قرار دادند و با انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی تأثیرات میراگرهای جرمی چندگانه در پاسخ‌های لرزه‌ای ارزیابی شد. همچنین برای تعیین موقعیت بهینه MTMD در پلان طبقه بام از توابع API نرم افزار SAP2000 و الگوریتم ژنتیک برنامه MATLAB استفاده شده است. بررسی نتایج نشان دهنده‌ی تأثیرات میراگرهای چندگانه جرمی در کاهش پاسخ لرزه‌ای شتاب، جابجایی و برش پایه در سازه‌ها است؛ به طوری که به طور میانگین مقدار جابجایی بام در حدود ۵۰ درصد، شتاب طبقه بام و برش پایه در حدود ۴۰ درصد کاهش یافته‌اند. همچنین نتایج حاصل از تعیین موقعیت بهینه برای MTMD در مدل ۱۰ طبقه نشان دهنده‌ی اهمیت قرارگیری میراگرها به صورت متقارن نسبت به مرکز جرم ساختمان است. برای بهینه یابی موقعیت میراگر بدیل پیچیدگی رفتار دینامیکی سازه و میراگر و تغییر در مودهای کم‌انرژی سازه و میراگر به نظر میرسد بررسی یک سازه حجم کمی از نظر مقایسه ای دارد. برای بهینه یابی اگر از تعداد طبقات مختلف استفاده شود اثرات همزمان تغییر رفتار سازه با توجه به تغییر ارتفاع سازه بهتر دیده می‌شود [3]. Bayat و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی عملکرد لرزه‌ای اتصالات تیر به ستون فولادی با میراگر فلزی دارای شکاف T شکل پرداختند. آن‌ها یک میراگر جدید تولید فولادی در اتصالات تیر به ستون با تکیه بر

ترکیبی از میراگر و شکاف و T-stub به نام T-SSD باهدف افزایش ظرفیت تخریب انرژی و سختی و همچنین کاهش آسیب لرزه‌ای به سازه پیشنهاد دادند. الگوهای مختلف اتصالات در تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شدند. آن‌ها بر روی هندسه میراگرهای شکاف نیز تحلیل پارامتریک را انجام دادند. بر اساس نتایج، مدل‌های با سیستم‌های T-SSD دارای عملکرد هیستریزس رضایت بخش هستند. اتلاف انرژی در محل میراگر T-SSD در حوادث لرزه‌ای به‌عنوان منبع اصلی استهلاک انرژی انجام می‌شود، در حالی که سایر اجزای ساختاری اساساً الاستیک هستند. ظرفیت تخلیه قدرت و انرژی با تغییر پیکربندی شکاف‌ها اساساً بهبود یافته است. اتصالات T-SSD می‌تواند بالاترین سختی اولیه، ظرفیت باربری، قابلیت انعطاف پذیری و انحراف از انرژی را به ترتیب ۶۳٪، ۹۴٪، ۸۰٪ و ۳۵٪ افزایش دهد. وجود زاویه برشی در اتصالات می‌تواند به‌طور معمول سبب افزایش سختی اولیه به میزان ۲۵ درصد شود. معادلات نظری تخمین اولیه سختی و ظرفیت تحمل اتصالات ۱۵٪ بیشتر و ۵۰٪ کمتر از نتایج حاصل از عددی است. در تحقیق آنها فقط رفتار اتصال بررسی شد. برای درک بهتر رفتار میراگر باید اثر میراگر در شرایط مختلف و با سیستم‌ها برابر مختلف و با تعداد طبقات متفاوت بررسی شود تا بتوان به جمع بندی کاملتری در این مورد رسید [4]. NourEldin و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر سیکل‌های کوتاه بارگذاری بر میراگرهای ترکیبی هیبریدی بر روی ساختمان‌های با مصالح بنایی پرداختند. ظرفیت لرزه‌ای یک میراگر هیبریدی که شامل یک میراگر باریک فولادی و دو آلیاژ آرماتور شکل می‌باشد، از طریق تجزیه و تحلیل شکنندگی و بار چرخه‌ای بر یک قاب فولادی دارای میراگر، مورد بررسی قرار دادند. فریم‌های مدل تجزیه و تحلیل تاریخچه غیرخطی نشان داد که پاسخ لرزه‌ای فریم‌های مجهز به میراگر هیبرید به‌طور قابل توجهی کمتر از قاب‌های مجهز به دمنده‌های معمولی شکاف است. ارتقاء عملکرد لرزه‌ای فریم‌ها با استفاده از میراگرهای هیبریدی با توجه به سختی اضافی، انحلال انرژی و قابلیت مرکزگرا ارائه شده توسط میله‌های آلیاژ حافظه شکل است. همچنین مشاهده کردند که هزینه‌های چرخه عمر قاب‌های مجهز به گیره‌های هیبریدی کوچک‌ترین در مقایسه با هزینه چرخه عمر فریم‌های ساده و فریم‌های مجهز به گیره‌های شکاف است، هرچند هزینه‌های اولیه مخزن هیبریدی، نسبت به دمپر معمولی شکاف دار بالاتر است [5]. Liu و همکاران (۲۰۱۹) از میراگر فلزی در محل اتصال ستون به زمین استفاده کردند. آن‌ها شش آزمایش را در مقیاس بزرگ به‌منظور بررسی رفتار یک ستون تابشی انعطاف پذیر (IRR) که تحت بارگذاری چرخه شبه استاتیک قرار دارد، انجام دادند. مونتاژ ستون IRR شامل یک ستون فولادی است که فونداسیون را در پایه خود متصل می‌کند و با دمنده‌های شکاف فلزی جایگزین می‌شود. این سیستم قادر به دستیابی سریع به عملکرد ساختاری پس از زلزله است، که اخیراً به‌عنوان یک مسئله مهم مطرح در حرفه مهندسی سازه مطرح شده است. نتایج آزمایش‌های تجربی را ارائه می‌دهد و روش ساده‌ای را برای محاسبه ظرفیت باربری افقی پیشنهاد دادند. متغیرهای اصلی آزمایش آزمایشی، ضخامت فولاد شکاف فولادی، نسبت فشرده سازی محوری، و نسبت عمق برشی ستون است. نتایج آزمون نشان داد که ستون IRR با توجه به قدرت و سختی، انعطاف پذیری و رفتار هیستریزس پایدار به‌طور رضایت بخش انجام می‌شود. دو ستون IRR پس از ۳٪ رانش در محل نصب شده و پس از آن تا ۵٪ دریفت شدند. حداکثر ظرفیت حمل بار افقی ستون IRR که با استفاده از روش طراحی پیشنهادی محاسبه شد، برآوردهای منطقی محافظه کارانه از مقادیر اندازه گیری شده آزمایشگاهی را به دست آوردند. در تحقیق آنها بدلیل مقیاس کامل بودن و هزینه‌های بالای آزمایشات به نظر می‌رسد که برای تغییرات پارامتریک بهتر می‌توانستند از مدل‌های نرم افزاری بیشتری استفاده کنند تا با توجه به بالا بودن تعداد نمونه هابه درک دقیق تری از اثرات میراگر در شرایط مختلف دست پیدا کنند [6]. Khoshkroodi و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی رفتار قاب‌های خمشی فولادی با افزودن میراگر فلزی اصطکاکی پرداختند. سازه‌های با تعداد طبقات مختلف را با ۷ رکورد زلزله حوزه دور بررسی کردند. دو تحلیل (pushover) و دینامیکی تاریخچه زمانی را انجام دادند. رفتار غیرخطی و پاسخ در تجزیه و تحلیل نیز با استفاده از ویژگی‌های غیرخطی برای میراگر در قاب و با اختصاص لولا پلاستیکی به اعضای ساختار در نظر گرفته شده است. بنابراین، احتمال خرابی کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج عددی، اضافه کردن این دمپر به قاب، کاهش رانش ۳۳٪ جابه‌جایی حداکثر سقف با ۲۳٪ در تجزیه و تحلیل فشار و کاهش جابه‌جایی، سرعت و شتاب را به ۶۰٪، ۷۰٪ و ۴۵٪ و در نهایت انرژی جنبشی را در تجزیه و تحلیل زمان تاریخی ۵۱ درصد کاهش می‌دهد. در این تحقیق فقط از یک سیستم سازه ای استفاده شده است. برای درک بهتر به نظر می‌رسد اگر سیستم‌های متفاوت بررسی می‌شد مقایسه بهتری را می‌توانستند انجام بدهند و این موضوع محدودیت تحقیق آنها به نظر می‌رسد [7]. Samani در سال (۲۰۱۹) به طراحی یک میراگر فلزی جاری شونده برای یک قاب خمشی فلزی پرداخت. نتایج او نشان داد که افزایش ضخامت و کاهش ورق‌های فولادی در دمپر تأثیر بیشتری بر عملکرد اتصال SSD در مقایسه با افزایش تعداد ورق‌ها دارد. بنابراین، جستجوی (CS) برای بهینه سازی چندین پارامتر SSD مورد استفاده

قرار گرفت. علاوه بر این، مقایسه‌ای بین CS-SSD و بخش شکاف کاهش یافته (RBS) که به‌عنوان یک اتصال معمولی ثابت شناخته شده است، انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که اتصال CS-SSD می‌تواند همانند اتصالات RBS تحت بارهای دوچرخه سواری، به‌علاوه قابلیت جایگزینی آسان پس از تحریک لرزه‌ای، به همان عملکردی برسد. عملکرد الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی CS در طراحی SSD بهینه با الگوریتم ژنتیک سنتی و بهینه سازی ذرات (PSO) با توجه به محدودیت‌های طراحی مقایسه شد. قابلیت‌های بالا الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی CS با توجه به وزن، جذب انرژی، سختی و ظرفیت تحمل اتصالات SSD به‌طور هم‌زمان با نتایج روشن می‌شود [8]. Chen و همکاران (۲۰۱۹) نوع جدیدی از میراگر فلزی متشکل از دو میراگر فلزی حلقوی با اندازه‌های مختلف را بررسی کردند. آن‌ها ویژگی‌های مکانیکی مانند مکانیسم خرابی، رفتار هیستریزیس و عملکرد ضد خستگی را برای دمپر فلزی حلقوی منفرد بررسی کردند. نتایج آزمایشات آن‌ها نشان داد که میراگرهای فلزی حلقوی دارای ظرفیت تغییر شکل زیادی و ظرفیت اتلاف انرژی و همچنین عملکرد ضد خستگی مناسبی است. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد لرزه‌ای سازه دارای میراگرهای فلزی در سطوح مختلف عملکردی سازه به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است. میراگرهای فلزی بازدهی درجه بندی شده در مقایسه با میراگرهای فلزی تک بازده در کنترل جابجایی ساختار قاب مقاوم در برابر لحظه بتن مسلح مؤثرتر هستند [9]. Zhai و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه تجربی و عددی دمپر صفحه فولادی S شکل برای کاربرد انعطاف پذیر لرزه‌ای انجام دادند. مدل پیشنهاد آن‌ها در جابجایی کوچک و متوسط، انرژی لرزه‌ای از طریق تغییر شکل پلاستیک خمشی صفحه قوس S شکل پراکنده می‌شود. تغییر شکل از رفتار خمشی به حالت کششی در جابجایی بزرگ تغییرات بیشتری دارد. برای بررسی حالت خرابی و عملکرد لرزه‌ای، در مجموع ده نمونه توسط بارگذاری یکنواخت و حلقوی آزمایش کردند. مطالعات پارامتریک با در نظر گرفتن ابعاد مختلف هندسی انجام شد، که نشان می‌دهد نسبت ارتفاع به ضخامت برای سختی و شکل پذیری میراگر اهمیت بالایی دارد. فرمول‌های عملی برای تسهیل طراحی و کاربرد دمپر پیشنهاد شده است [10]. Xu و همکاران (۲۰۲۰) به دلیل ظرفیت خوب اتلاف انرژی و عملکرد پایدار، میراگر فولادی نرمال به‌طور گسترده‌ای در ساختار اتلاف انرژی استفاده می‌شود. مدل نظری دمپر فلزی نوع برشی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها دو گروه میراگر با همان ابعاد اما مواد اتلاف انرژی متفاوت طراحی و ساخته شدند. آزمون شبه استاتیکی روی دو گروه نمونه انجام دادند. نتایج آزمون نشان می‌دهد که منحنی‌های هیستریزیس میراگرهای نرمال فولادی کامل بوده و خواص مکانیکی آن‌ها پایدار است. مقاومت عملکرد، جابجایی عملکرد و سایر پارامترهای مکانیکی پراکندگی کمی را نشان داد [11]. Kazemi و همکاران (۲۰۲۰) اتلاف انرژی و رفتار اتصالات با رینگ فولادی پر شده با پلاستیک و کامپوزیت سیمانی با پلاستیک تقویت شده بررسی کردند. از بارگذاری چرخه‌ای استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که منحنی هیستریزیس ثابت و نسبتاً گسترده‌ای برای هر دو اتصال وجود دارد، که در آن عوامل شکل پذیری کششی اتصالات نوع ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۲،۷۷ و ۱۳،۶۶ است. نتایج نشان داد که حداکثر بارهای کششی و فشاری اتصال با ساخته شده با حلقه فولادی ST52 به ترتیب ۱۴ و ۱۰،۷ درصد بیشتر از اتصال SRP ساخته شده با حلقه فولادی ST37 است [12]. خوش وطن و همکاران به بررسی اثر میراگر فلزی جاری شونده بر رفتار قاب‌های خمشی فولادی پرداختند. آن‌ها سازه‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه را با و بدون میراگر بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سازه پنج طبقه، استفاده از میراگر جاری شونده در طبقه اول و دوم مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۳۰ درصد و با استفاده از میراگر جاری شونده در تمام طبقات مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۵۲ درصد کاهش می‌یابد. در سازه ده طبقه استفاده از میراگر جاری شونده در طبقه اول و دوم مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۲۲ درصد و با استفاده از میراگر جاری شونده در تمام طبقات مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۴۷ درصد کاهش پیدا کرده است. در سازه پانزده طبقه استفاده از میراگر جاری شونده در طبقه اول و دوم مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۳۶ درصد و با استفاده از میراگر جاری شونده در تمام طبقات مقدار جابجایی بام سازه به میزان ۶۰ درصد کاهش پیدا کرده است و استفاده از میراگر فلزی در محل اتصال تیر به ستون باعث بهبود عملکرد سازه‌های فولادی می‌گردد. در این تحقیق یک محدودیت به نظر می‌رسد که استفاده از ۳ ارتفاع سازه ای محدود می‌باشد و اگر ارتفاع سازه‌ها با تعداد مدل‌های بیشتر بررسی می‌گردید به نظر می‌رسد نتایج دقت بالاتری را خواهد داشت [13].

Lee و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تاثیر رفتار میراگر در قاب خمشی بتنی پرداختند. مدلسازی آزمایشگاهی قاب بتن آرمه را با اضافه کردن میراگر انجام دادند و تاثیر میراگر را بر خرابی قاب تحت بارگذاری در شرایط آزمایشگاهی بررسی کردند. از قاب یک طبقه استفاده کردند. میراگر پیشنهاد را با نام NBSD دمپر و با پیش و مهره ساختند و بر روی قاب تست کردند. از بارگذاری جانبی جابجایی کنترل استفاده کردند. نتیجه گیری کردند که تقویت قاب در نمونه مرجع بدون میراگر و با مدل بهسازی شده با میراگر پیشنهاد رفتار قاب را

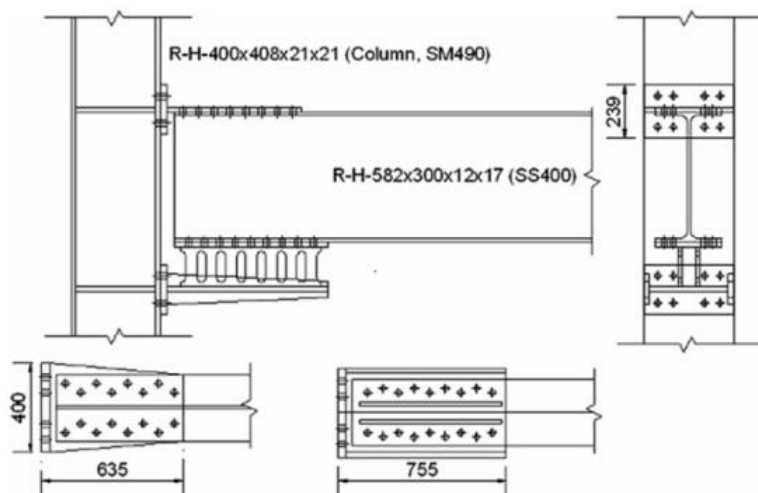
با توجه به جابجایی قاب ها، ظرفیت استهلاک انرژی، نیروی میراگر و پاسخ جابجایی ارائه دادند در طول یک زلزله با اوج شتاب زمین  $200 \text{ cm/s}$ ، انتظار می رفت که قاب های R / C غیر لرزه ای تحت شکست برشی قرار گیرند، در حالی که قاب های تقویت شده با استفاده از سیستم کنترل لرزه ای نوع NBSD دارای آسیب کمتری به نسبت قاب ساده بودند. حتی زمانی که شدیدترین زلزله ممکن در کره در نظر گرفته شد. سیستم کنترل لرزه ای نوع NBSD Std در به حداقل رساندن آسیب موثر شناخته شد. یک محدودیت که در تحقیق آنها به نظر می رسد عدم استفاده از میراگر پیشنهادی در سازه های مختلف با تعداد طبقات متفاوت بود. اثر میراگر فقط بر قاب یک طبقه یک دهانه بررسی کردند [14].

میراگرها به عنوان سیستم کنترل غیرفعال در بخش های خاصی از سازه نصب می گردند و بخش نسبتاً زیادی از انرژی ورودی به سازه را تحت مکانیسم های مختلف جذب می نمایند در نتیجه سازه دچار خرابی جدی نمی گردد. یک نوع مهم از میراگرها، میراگرهای فلزی می باشند. استفاده از اجزای فلزی جاری شونده به عنوان جاذب انرژی به علت انعطاف پذیری آنها می باشد که اجازه ایجاد تغییر شکل های بزرگ پلاستیک را بدون ایجاد گسیختگی می دهد. میراگرهای فلزی دارای میرایی هیستریزیس می باشند. این اجزا قسمتی از انرژی ورودی به سازه را به انرژی کرنش پلاستیک یا انرژی هیستریزیس تبدیل می کنند. بررسی سایر تحقیقات نشان می دهد که بررسی میراگر تحت زلزله های مختلف و بهینه سازی میراگر در محل اتصال سازه ها مورد بررسی و توجه محققان بوده است. در برخی تحقیقات میراگر در یک نوع سیستم سازه ای بررسی شده است. از روش های تحلیل دینامیکی و استاتیکی مختلف برای مدل سازی و بررسی رفتار میراگرهای فلزی استفاده شده است. به نظر می رسد در زمینه بهینه سازی مقطع میراگر و استفاده از آن برای بهسازی لرزه ای سازه های بتنی بررسی نشده است.

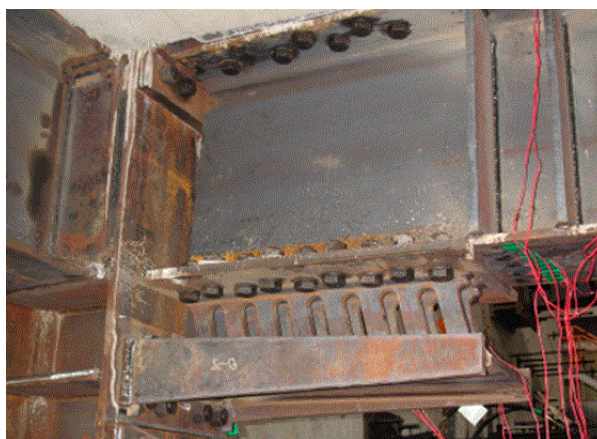
با بررسی تحقیقات مرتبط با استفاده از میراگرها در بهبود رفتار سازه ها می توان نتیجه گیری کرد که بهینه سازی میراگرهای فلزی تسلیم شونده به روش المان محدود و استفاده از مقطع بهینه میراگر در سازه های با تعداد طبقات مختلف و مقایسه آن با سایر سیستم های سازه ای کمتر مورد توجه قرار گرفته و نوآوری تحقیق حاضر است. در این تحقیق تأثیر میراگر بهینه شده بر رفتار سازه های با تعداد طبقات ۸، ۱۴ و ۲۰ بررسی شده است.

## ۲- صحت سنجی

در مطالعه حاضر مدل اجزای محدود توسط نرم افزار ABAQUS انجام شده است. مدل میراگر فلزی شیاردار در محل اتصال تیر به ستون قرار می گیرد. از المان حجمی برای ساخت قطعات مدل سازی استفاده شده است. شکل ۱ جزئیات و جزئیات میراگر در اتصال سازه فولادی را نشان می دهد. در مطالعه حاضر رفتار فولاد به صورت غیرخطی در نظر گرفته شده است. از مدل رفتاری همسانگرد ایزوتروپیک برای رفتار سخت شوندگی فولاد استفاده شده است. مدل حاضر به استناد مدل آزمایشگاهی مرجع [15] شامل چند بخش است که عبارتند از: تیر، ستون، سخت کننده های ستون، میراگر فلزی تسلیم شونده شیاردار، دو ورق اتصال T شکل، ورق متصل کننده میراگر به تیر می باشد. شکل ۲ مدل مونتاژ شده اتصال تیر به ستون با قرارگیری میراگر فلزی شیار دار در زیر تیر را نشان می دهد.

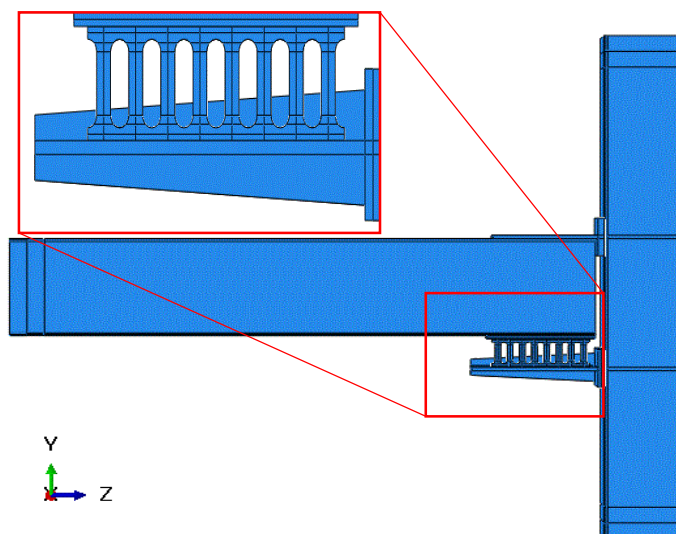


الف) مشخصات ابعادی نمونه مدل آزمایشگاهی



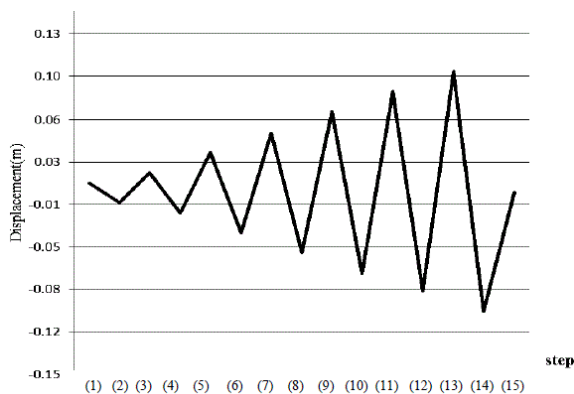
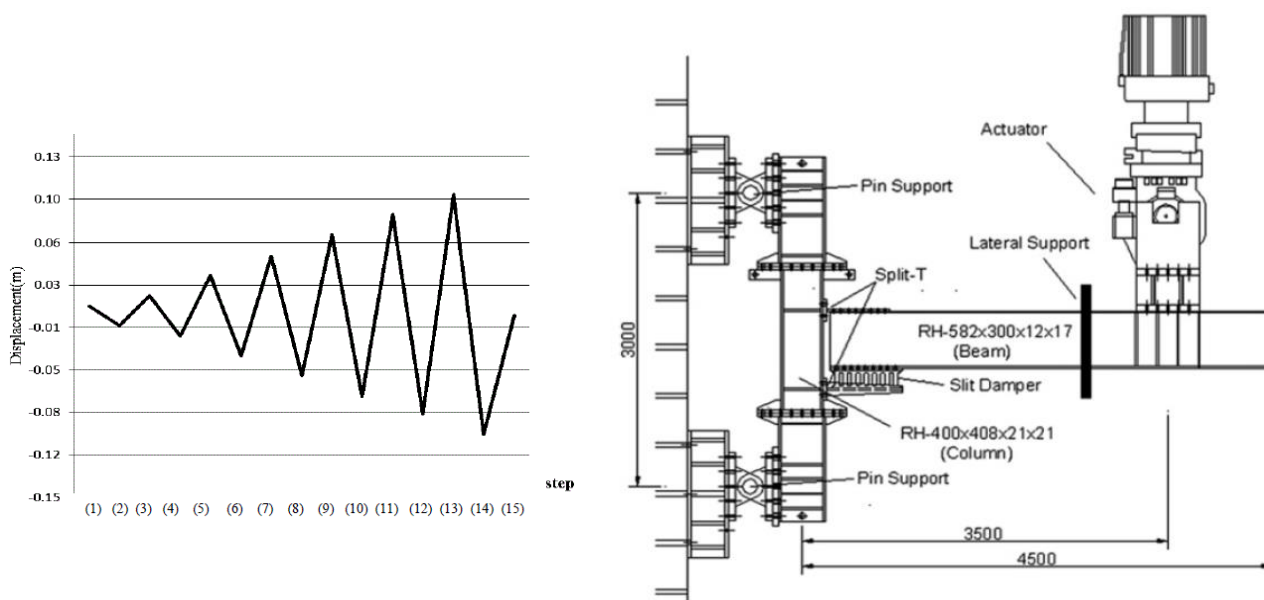
ب) موقعیت میراگر در نمونه آزمایشگاهی

شکل ۱: مشخصات و جزئیات نمونه آزمایشگاهی مرجع مورد استفاده در صحت سنجی و مدل مینا [15]



شکل ۲: مدل ساخته شده میراگر فلزی با قرارگیری در محل اتصال تیر به ستون فولادی

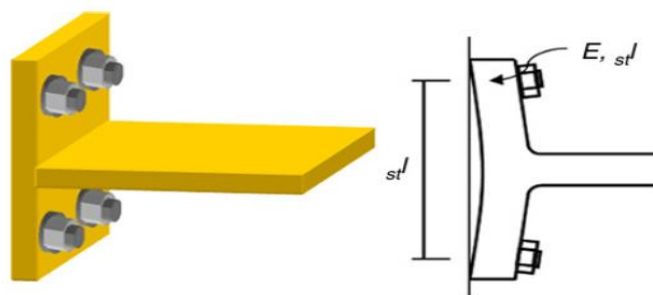
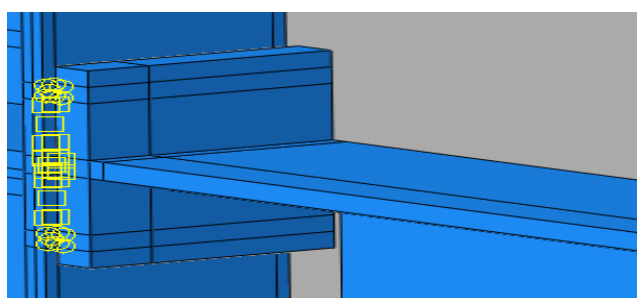
به دلیل عدم وابستگی رفتار ماده و میراگر به زمان از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. شرایط بارگذاری مدل با توجه مرجع [14] شبیه به شرایط آزمایشگاهی انتخاب شده است. در شکل ۳ شرایط آزمایشگاهی نشان داده شده است. بارگذاری سیکلیک رو مدل انجام می‌شود. بدین منظور از ۱۵ سیکل بارگذاری افزایشی مطابق شکل ۴ در مدل استفاده شده است. بارگذاری به صورت افزایشی در ۱۵ مرحله به مدل وارد می‌شود. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود میراگر بین اتصال تیر به ستون قرار گرفته است.



شکل ۴: الگوی بارگذاری سیکلی افزایشی

شکل ۳: بارگذاری و شرایط تکیه گاهی در مدل آزمایشگاهی مرجع [14]

با توجه به شرایط آزمایشگاهی و تغییر شکل مدل، نتیجه گیری شد که در اتصال سخت کننده‌ها به تیر ستون نیروی اندرکنش وجود دارد. ورق اتصال T شکل در شرایط آزمایشگاهی از بالا و پایین مقید شده و وسط سخت کننده اجازه جابجایی دارد. در مدل عددی برای دست یافتن به شرایط شبیه آزمایش اجازه تغییر شکل به سخت کننده در بالا و پایین از طریق مقید کردن داده نشد، اما در وسط سخت کننده قیدی بین سخت کننده و ستون در نظر گرفته نشد. در تحقیق حاضر اثر اندرکنش اتصال ورق به تیر و ستون لحاظ شده است. شکل ۵ الف نمونه آزمایشگاهی و ۵ ب مدل نرم افزاری را نشان می‌دهد.



شکل ۵ ب) مدل نرم افزاری ورق اتصال T شکل

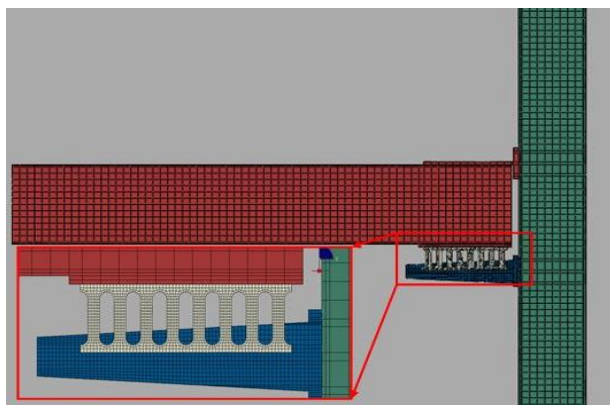
شکل ۵ الف) مدل آزمایشگاهی ورق اتصال T شکل

شکل ۵: مدل آزمایشگاهی و نرم افزاری ورق اتصال T شکل

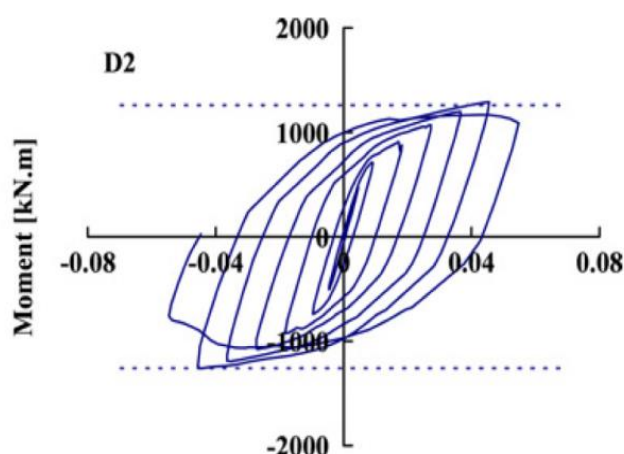
بارگذاری به روش کنترل جابجایی بر روی نمونه انجام گرفت. با سعی و خطا مدل عددی شبیه به مدل آزمایشگاهی ساخته شد.



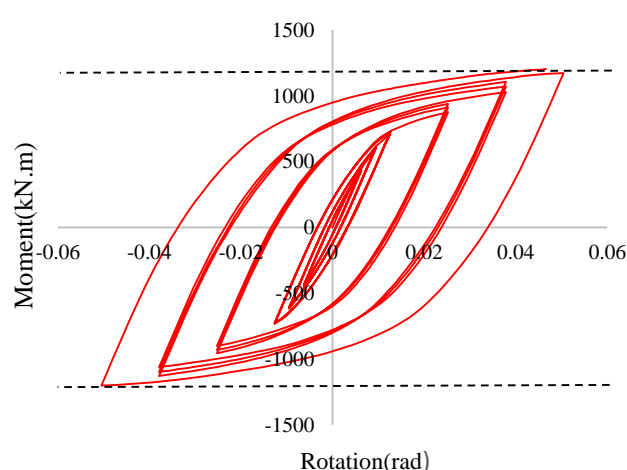
در مدل بار از طریق جک به انتهای تیر وارد می‌شود. کف ستون به زمین مقید شده است. درجات آزادی انتقالی ستون در محل تکیه گاه مقید شده است. گسسته سازی قطعات به دلیل اهمیت قطعه با روش‌های مختلفی انجام شده است. از جزءهای structure برای مدل استفاده شده است. برای تیر و ستون و سخت کننده از جزءهای ۸ گرهی C3D8R با انتگرال کاهش یافته استفاده شده است. برای میراگر و سخت کننده زیر میراگر از جزءهای ۲۰ گرهی مکعبی C3D20R استفاده شده است. مدل گسسته سازی شده در شکل ۶ قابل مشاهده است. برای اطمینان از دقت مدل سازی عددی نتایج نرم افزاری با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه انجام گرفته است. شکل ۷ نمودارهای نیرو تغییر مکان را برای ۱۵ سیکل بارگذاری نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است میزان اختلاف روش عددی و آزمایشگاهی کم بوده و نتایج قابل اطمینان است. در شکل ۸ کانتور تنش و کرنش پلاستیک به وجود آمده در میراگر فلزی شیاردار تحت بارگذاری نشان داده شده است. همان طور که مشخص است میراگر اثر بسیار مثبتی بر کاهش تنش و کرنش در تیر و ستون دارد. میراگر به دلیل عملکرد مناسب باعث شده که تیر و ستون آسیب نبینند. بر اساس فلسفه طراحی در آیین نامه‌های معتبر طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مانند ASCE (2017) [16] عملکرد پایداری ستون در سازه بسیار مهم است. خرابی در ستون می‌تواند منجر به فرو ریزش سازه شود. اولویت مهم در طراحی سازه‌ها حفظ عملکرد مناسب برای ستون است. در اولویت دوم آسیب تیر در آیین نامه‌ها پیش بینی شده است. با قرار دادن میراگر تسلیم شونده مورد استفاده در تحقیق حاضر در محل اتصال تیر به ستون رفتار اتصال از مناسب و قابل قبول است. رفتار پلاستیک در میراگر متمرکز می‌شود و تیر و ستون عملکرد خوبی دارند.



شکل ۶: مدل مش بندی شده در نرم افزار ABAQUS

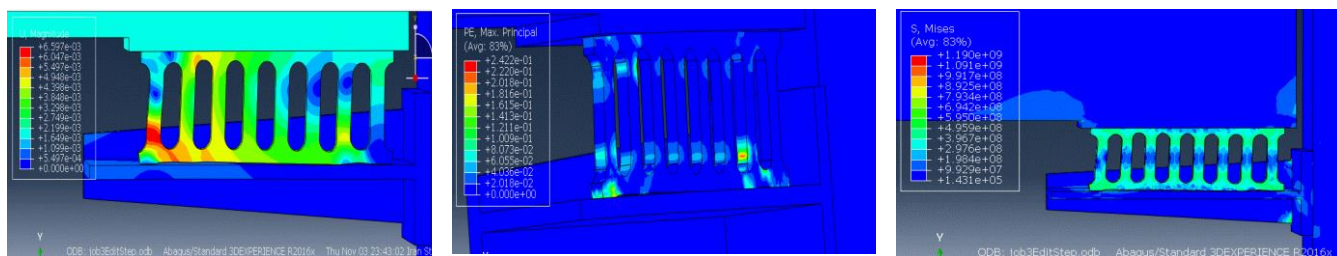


(ب) نتایج مدل آزمایشگاهی از مرجع صحت سنجی [15]



(الف) نتایج مدل نرم‌افزاری از مرجع صحت سنجی

شکل ۷: مقایسه نتایج مدل عددی حاضر و آزمایشگاهی مرجع [15]

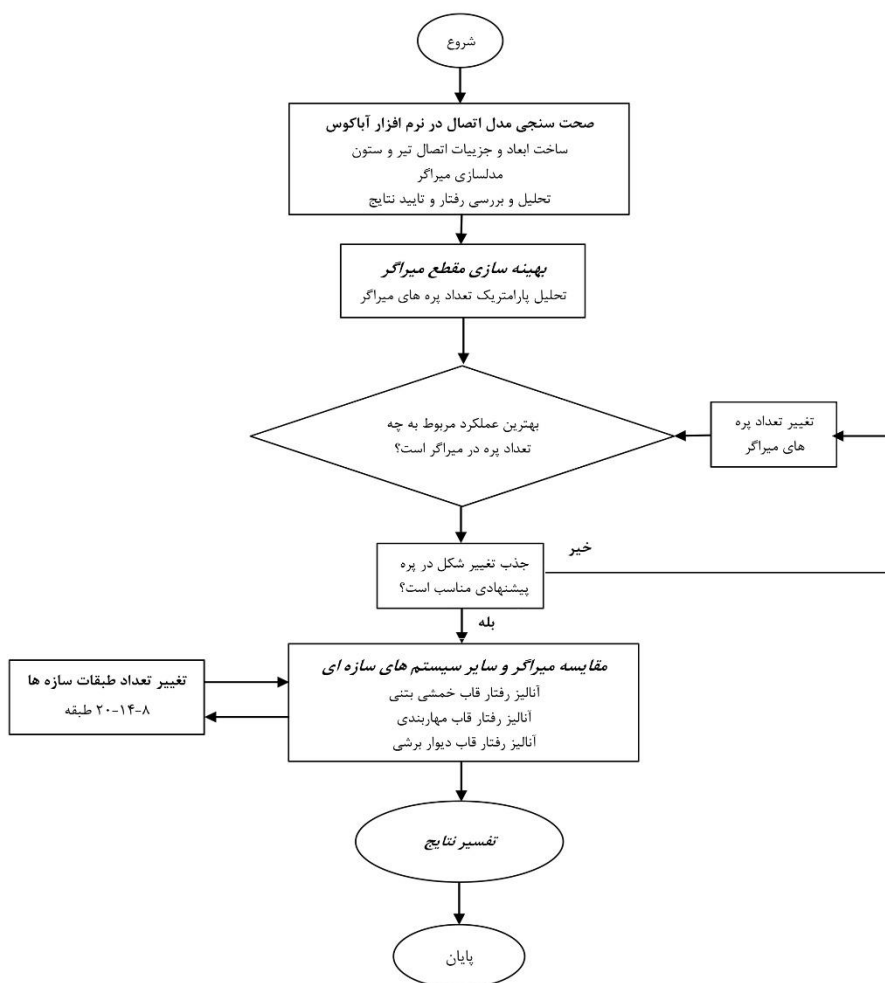


الف) کانتور تنش وون میسر در میراگر (پاسکال)      ب) کانتور کرنش پلاستیک در میراگر      ج) کانتور جابجایی میراگر (متر)

شکل ۸: کانتور تنش وون میسر در میراگر و کرنش پلاستیک ایجاد شده در میراگر پیشنهادی در محل اتصال تیر به ستون

### ۳- طراحی سازه‌ها

در این تحقیق ابتدا قاب‌های بتنی با استفاده از تحلیل دینامیکی طیفی تحلیل و طراحی شده و مقاطع مناسب برای اعضای سازه‌ای ستون، تیر و بادبند و دیوار برشی تعیین و تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون (پوش آور) انجام گرفته و نتایج ارائه شده است. فلوچارت روش انجام تحقیق در شکل ۹ نشان داده شده است.

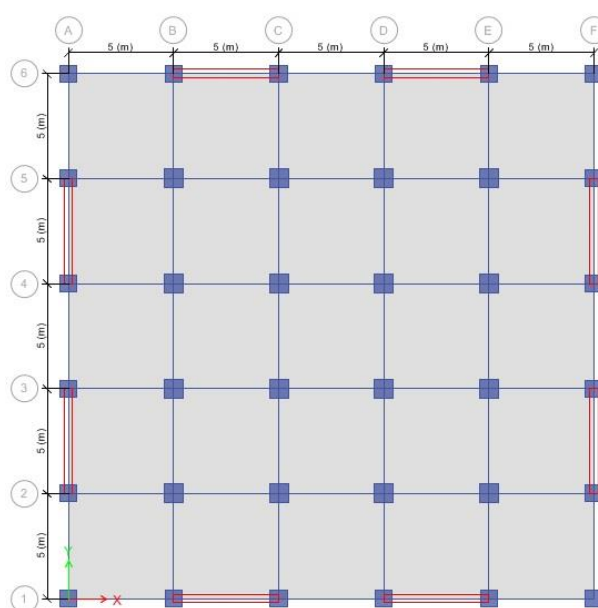


شکل ۹: فلوچارت روش انجام تحقیق

## ۳-۱- انتخاب مدل‌های سازه‌ای

در این تحقیق ۴ گروه سازه بتنی از لحاظ سیستم باربر جانبی مورد مطالعه و مقایسه قرار می‌گیرد:

- ✓ قاب خمشی بتنی متوسط با ضریب رفتار ( $R = 5$ )
  - ✓ قاب خمشی بتنی متوسط همراه با دیوار برشی با شکل پذیری متوسط
  - ✓ قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط همراه با مهاربند فولادی EBF
  - ✓ قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط همراه با مهاربند فولادی EBF مجهز به میراگر فلزی تسلیم شونده
- سازه‌های مورد بررسی قاب‌های ساختمانی دارای ابعاد  $25 \times 25$  متر هستند که در طبقات ۸، ۱۴ و ۲۰ طبقه مدل سازی شده‌اند. هر بعد سازه در پلان دارای ۵ دهانه به طول‌های متر می‌باشد. ارتفاع هر طبقه ۳ متر در نظر گرفته شده است. پلان قاب سازه‌ای و موقعیت قرار گیری دیوارهای برشی و مهاربندها در شکل ۱۰ نشان داده شده است



شکل ۱۰: پلان سازه مورد مطالعه در تحقیق حاضر

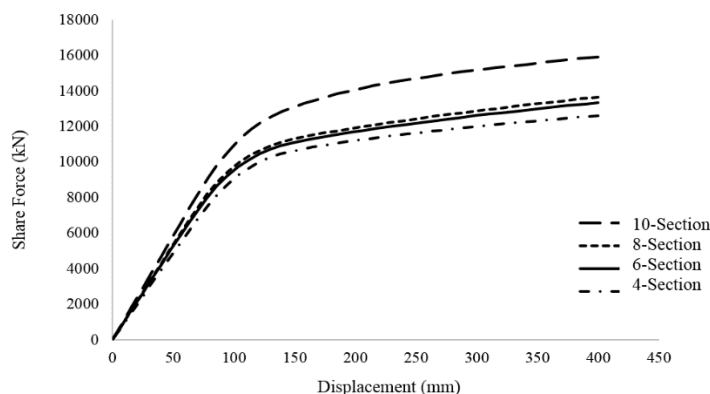
آیین نامه ۲۸۰۰ [17] محدودیت‌هایی برای ارتفاع ساختمان‌ها با سیستم‌های سازه‌ای مختلف قرار داده که در این تحقیق با توجه به اینکه هدف بررسی عملکرد میراگر جاری شونده در ساختمان‌های با ارتفاع‌های مختلف و مقایسه با سایر سیستم‌های سازه‌ای می‌باشد از در نظرگیری آن‌ها صرف‌نظر شده است. مشخصات نوع زمین و سازه به در جدول ۱ آورده شده است. برای مدل سازی میراگر از قابلیت پلاستیک چندخطی با منحنی هیستریزس سینماتیک انتخاب شده است. برای تمام سازه‌ها نوع زمین ۲ و مقدار ۱ برابر ۱ و شتاب مینای طرح  $0/35$  در نظر گرفته شده است. مقدار  $S$  برابر  $1/5$  و  $S_0$  برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مشخصات سازه‌های طراحی شده

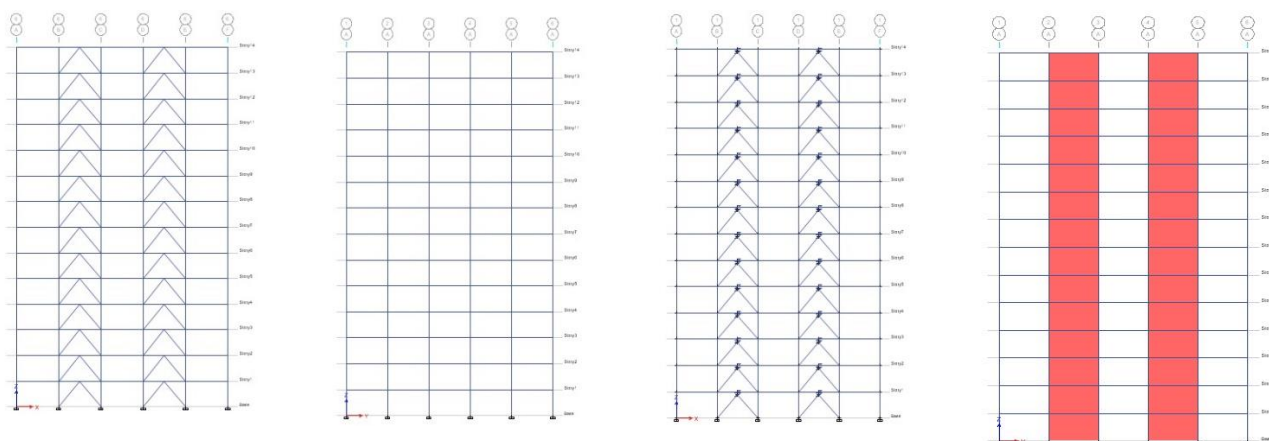
نوع سازه	تعداد طبقات	$T$	$T_0$	$T_S$	$N$	$B$
قاب خمشی	۸	۰/۸۷۳	۰/۱	۰/۵	۱/۰۷۵	۱/۵۴
قاب خمشی	۱۴	۱/۴۵	۱/۱۹	۱/۰۲۸	۱/۹	۱/۰۲۸
قاب خمشی	۲۰	۱/۹۹	۰/۱	۰/۵	۱/۲۹۹	۰/۸۱۵

## ۴- نتایج تحقیق

در مدل سازی سازه‌های دارای میراگر از چهار نوع میراگر مدل‌سازی شده با ۴، ۶، ۸ و ۱۰ صفحه جاری شونده در میراگر استفاده شده است که با مقایسه آن‌ها مشخص شده است که میراگر دارای ۱۰ صفحه جاری شونده عملکرد بهتری دارد و از نتایج آن سازه در مقایسه با سیستم‌های دیگر استفاده گردید. مقایسه ظرفیت میراگرها تحت بارگذاری یک‌سویه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. گفتنی است که میراگر با تعداد ۱۵ صفحه جاری شونده نیز مدل‌سازی شد، اما به دلیل سختی بالای آن تعداد کمی از میراگرها به حد جاری شدن رسیده و عملکرد مطلوب تأمین نشده است، به همین دلیل استفاده از میراگر دارای ۱۰ صفحه جاری شونده جهت استفاده در مدل‌سازی‌ها انتخاب گردید. مدل سازه‌های ساخته شده در نرم افزار ETABS را در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: مقایسه نمودار نیرو تغییر مکان میراگر با تعداد صفحه‌های جاری شونده مختلف



(د) مدل سازه مهاربند EBF

(ج) مدل سازه قاب خمشی بتنی

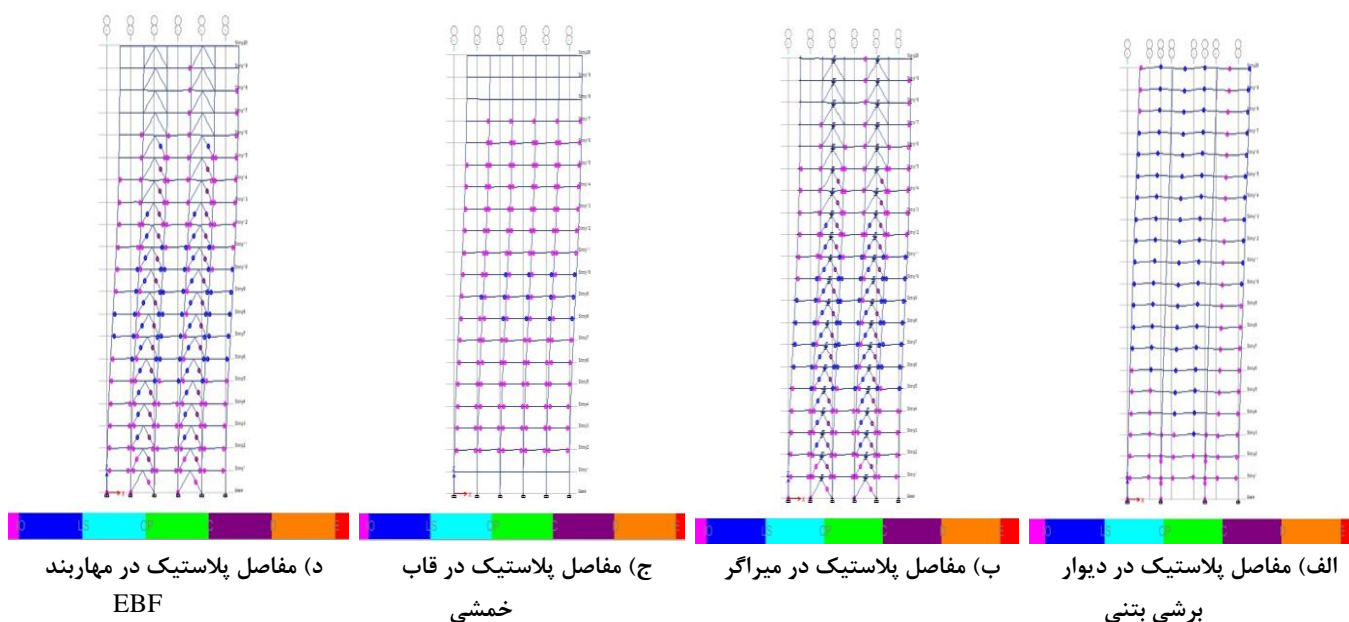
(ب) مدل سازه با میراگر بهینه

(الف) مدل سازه دیوار برشی بتنی

شکل ۱۲: سازه‌های مختلف مدل‌سازی شده در تحقیق حاضر

## ۴-۱- بررسی مکانیسم‌های ایجاد شده مدل‌ها

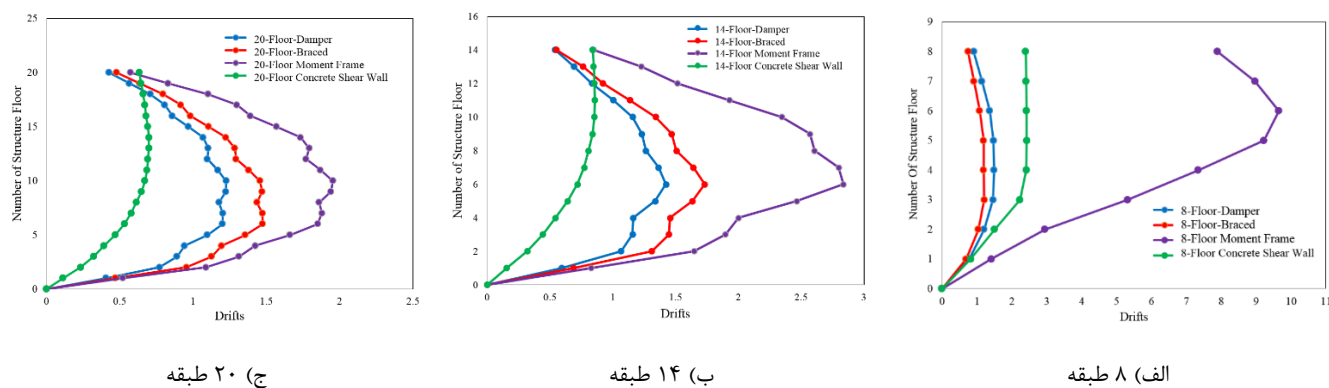
در شکل ۱۳ مفاصل پلاستیک تشکیل شده در اعضای سازه مشاهده می‌شود. در تیرها و ستون‌ها که اجزای اصلی سازه هستند مفاصل از سطح ایمنی جانی (LS) عبور نکرده است.



شکل ۱۳: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل‌های مختلف مورد بررسی در تحقیق حاضر

#### ۴-۲- تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل‌ها

یکی از پارامترهای کنترلی که در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد. این کمیت با میزان خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای، رابطه مستقیم داشته و بحث‌های مختلفی درباره آن در ادبیات فنی و آیین نامه‌ها دیده می‌شود. در شکل ۱۴ منحنی‌های حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات برای هر سه سازه و سیستم‌های سازه‌ای مورد بررسی آورده شده است. در بررسی تغییر مکان‌های جانبی نسبی از حالت بار کامل در تحلیل بار افزون استفاده شده است.

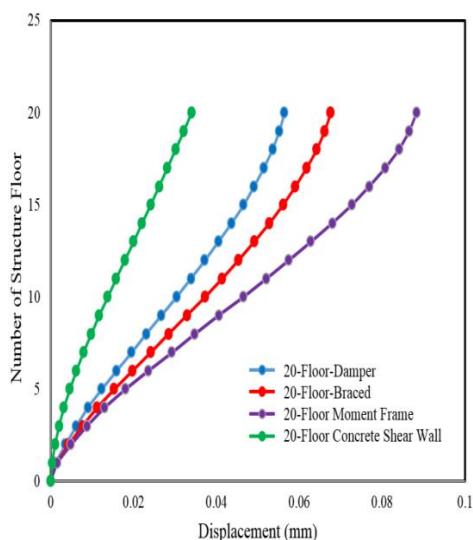


شکل ۱۴: نمودار تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در سازه‌های با ارتفاع مختلف

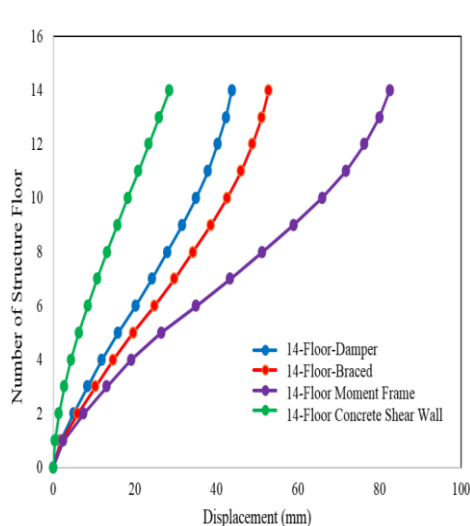
همان‌طور که در منحنی‌های فوق پیداست وجود مهاربند و میراگر جاری شونده در سازه‌های بتنی قاب خمشی به میزان قابل توجهی باعث کاهش تغییر شکل نسبی بین طبقه‌ای می‌شوند، که در سازه ۸ طبقه حتی از دیوار برشی هم عملکرد بهتری داشته‌اند. با افزایش طبقات دیوار برشی بهتر عمل می‌کند.

## ۳-۴ - حداکثر تغییر مکان طبقات

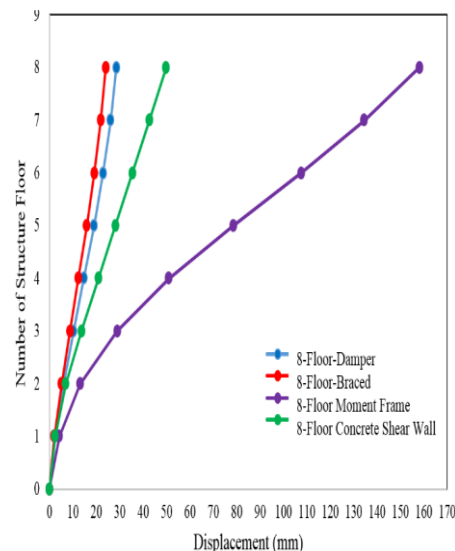
یکی دیگر از کمیت‌هایی که بعضاً در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد، حداکثر تغییر مکان طبقات است. منحنی‌های حداکثر تغییر مکان طبقات، برای هر سازه و سیستم‌های باربر مختلف مورد بررسی در شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ آورده شده است. با توجه به پروفیل تغییر مکان‌های گفته شده مشاهده می‌شود که در سازه ۸ طبقه سیستم‌های مهاربند و میراگر به‌خوبی عمل کرده و جابجایی طبقات کاهش یافته است، اما با افزایش طبقات دیوار برشی عملکرد بهتری دارد.



شکل ۱۵: تغییر مکان طبقات در سازه‌های ۲۰ طبقه



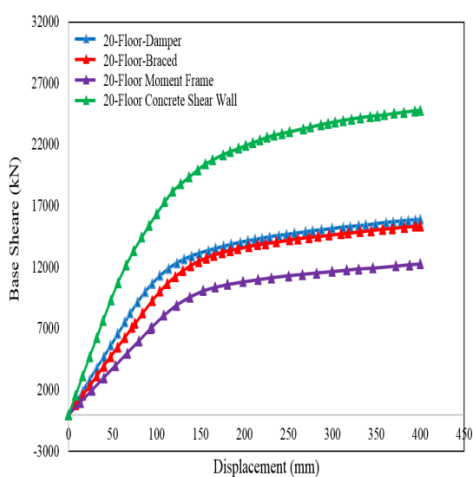
شکل ۱۶: تغییر مکان طبقات در سازه‌های ۱۴ طبقه



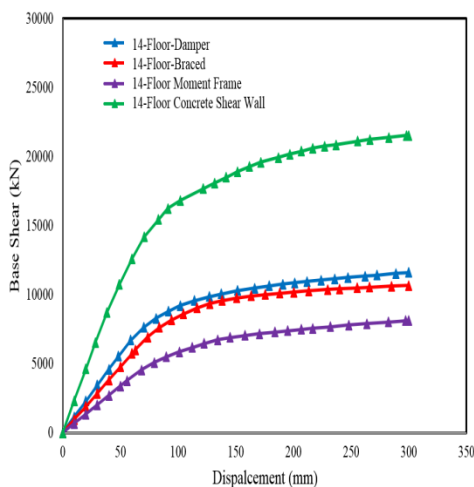
شکل ۱۷: تغییر مکان طبقات در سازه‌های ۸ طبقه

## ۴-۴ - نتایج برش پایه - جابجایی

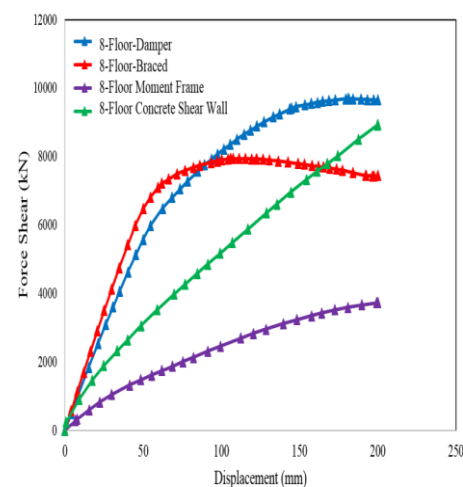
در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ نمودارهای برش پایه - جابجایی را برای طبقات و سیستم‌های سازه‌ای، مورد بررسی نشان داده شده است. همانطور که از شکل‌ها مشخص است با افزایش طبقات دیوار برشی، برش بسیار بالاتری تحمل می‌نماید. با افزایش طبقات اختلاف برش پایه تحمل شده در سازه‌های دارای مهاربند EBF و میراگر کم می‌شود، اما این پدیده در مورد تغییر مکان نسبی میان طبقه‌ای و تغییر مکان طبقه صادق نمی‌باشد. در شکل ۲۰ نیز نیروی برشی ایجاد شده در میراگرها قابل مشاهده است که نشان می‌دهد عملکرد خوبی دارند.



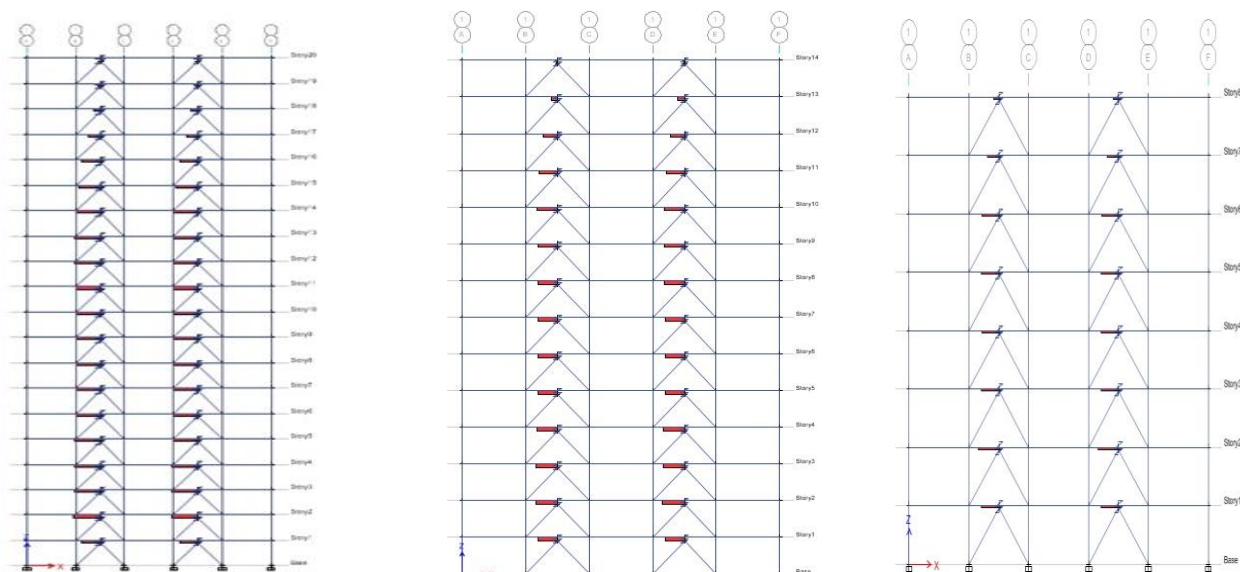
شکل ۱۸: برش پایه - جابجایی در سازه‌های ۲۰ طبقه



شکل ۱۹: برش پایه - جابجایی در سازه‌های ۱۴ طبقه



شکل ۲۰: برش پایه - جابجایی در سازه‌های ۸ طبقه



ج) نیروی برشی میراگر در سازه ۲۰ طبقه

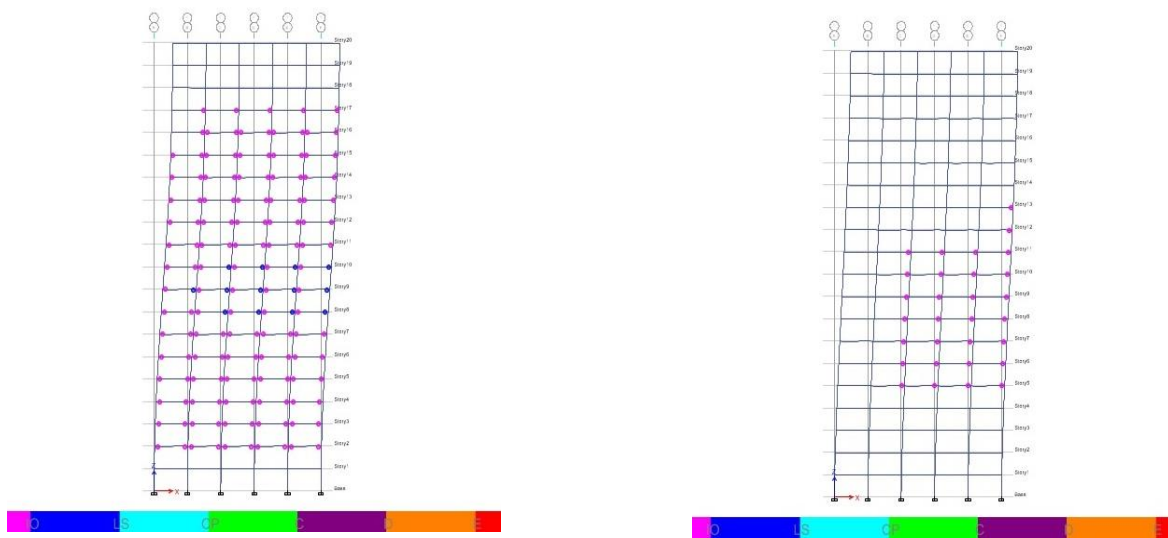
ب) نیروی برشی میراگر در سازه ۱۴ طبقه

الف) نیروی برشی میراگر در سازه ۸ طبقه

شکل ۲۰: نیروی برش پایه در سازه با میراگر فلزی جاری شونده برای سازه‌ها با تعداد طبقات مختلف

#### ۴-۵- بررسی مفاصل پلاستیک

روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مکانیسم‌های مناسب سازه‌ها به این ترتیب است که ابتدا المان‌های لینک تسلیم و پس از آن مفاصل غیرخطی در مهاربندها ایجاد شوند، پس از مهاربندها در تیرها و در نهایت در ستون‌ها مفصل غیرخطی ایجاد شود که در شکل‌های ۲۱ الی ۲۴ قابل مشاهده است.

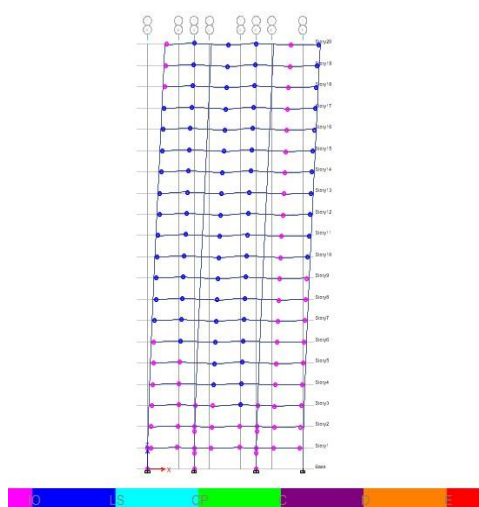


ج) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه قاب خمشی سطح ۱۰

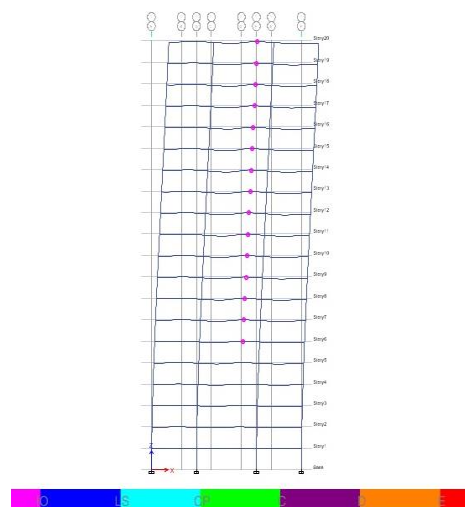
الف) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه قاب خمشی در مرحله شروع

رفتار پلاستیک و ایجاد سطح ۱۰

شکل ۲۱: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه قاب خمشی در استپ‌های زمانی مختلف

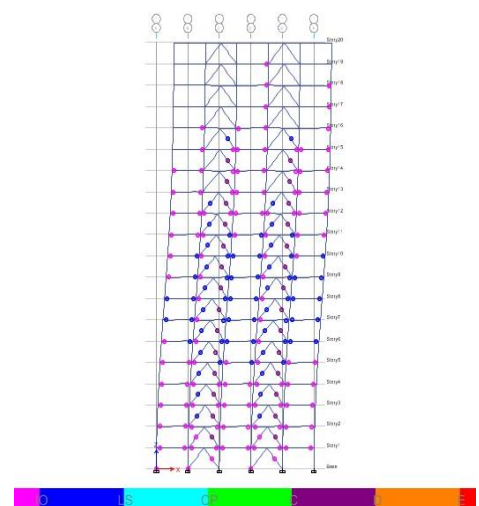


ب) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دیوار برشی سطح IO

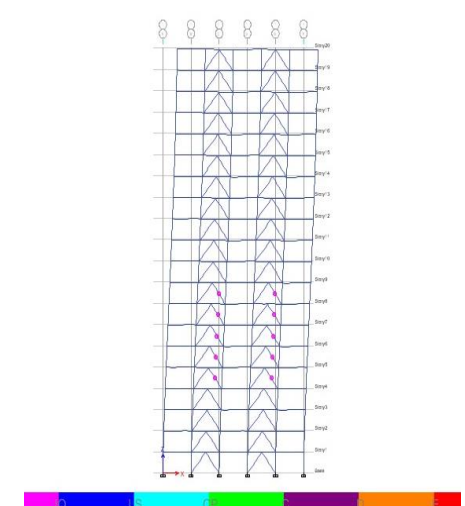


الف) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دیوار برشی در مرحله شروع رفتار پلاستیک و ایجاد سطح IO

شکل ۲۲: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دیوار برشی در استپ‌های زمانی مختلف



ب) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه مهاربند سطح IO

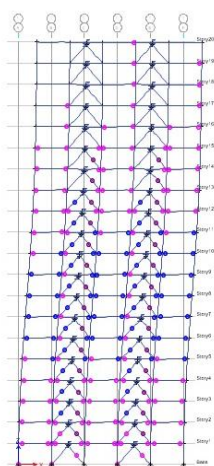


الف) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه مهاربند در مرحله شروع رفتار پلاستیک و ایجاد سطح IO

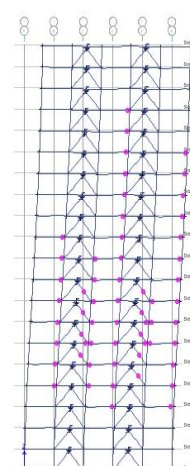
شکل ۲۳: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه مهاربند در استپ‌های زمانی مختلف

بررسی‌های سطوح عملکرد سازه‌ای در تحلیل‌های بار افزون نشان از عملکرد ایمن‌تر سازه‌های دارای میراگر جاری شونده دارد. به‌طوری‌که در این گروه سازه‌ها، مفاصل بیشتری در محدوده قابلیت استفاده بی‌وقفه و ایمنی جانی قرار می‌گیرد. در جدول ۲ مقایسه میان مفاصل پلاستیک سازه‌های مختلف نشان داده شده است.





ب) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دارای میراگر سطح IO



الف) تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دارای میراگر در مرحله شروع رفتار پلاستیک و ایجاد سطح IO

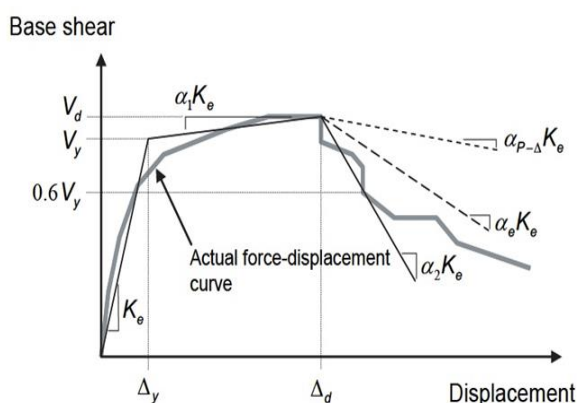
شکل ۲۴: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه دارای میراگر در استپ‌های زمانی مختلف

جدول ۲: مفاصل تشکیل شده برای سازه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر

مفاصل	تعداد طبقات	A to B	B to C	C to D	A to IO	IO to LS	LS to CP	Total
قاب خمشی	۸	۲۳۷۰	۶۸۱	۲۴	۲۸۶۳	۱۰۹	۷۵	۳۰۷۲
میراگر	۸	۲۳۶۶	۷۰۵	۰	۲۹۴۵	۸۵	۴۱	۳۰۷۲
قاب خمشی	۱۴	۴۶۶۶	۷۱۰	۰	۵۲۳۸	۱۴۲	۰	۵۳۷۴
میراگر	۱۴	۴۷۲۴	۶۵۵	۰	۵۳۱۲	۵۴	۱۰	۵۳۷۶
قاب خمشی	۲۰	۶۷۶۰	۹۱۹	۰	۷۶۳۸	۴۵	۰	۷۶۸۰
میراگر	۲۰	۶۷۷۰	۹۱۰	۰	۷۶۸۲	۴	۰	۷۶۸۰

#### ۴-۶- بررسی ضریب رفتار سازه‌ها

عمده‌ترین فعالیت ساخت سازه مقاوم در برابر زلزله به شکل پذیری ساختمان بر می‌گردد. به علت رفتار غیرخطی و شکل پذیری سازه‌ها، می‌توان برای تحمل نیروهای شدید زلزله، به جای طراحی سازه برای نیروهای بسیار بزرگ، از این رفتار غیرخطی آن‌ها استفاده کرد. به این ترتیب بررسی پارامترهای موجود در رفتار غیرخطی و شکل پذیری دارای اهمیت زیادی است. این مباحث تحت عنوان ضریب رفتار مطرح می‌شود. در ادامه ضریب رفتار را برای سازه‌های مورد بررسی در تحقیق آورده شده است. برای درک روند محاسبه ضریب رفتار، برای قاب خمشی نحوه محاسبه و استخراج ضریب رفتار آورده شده است. برای استخراج اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه ضریب رفتار ابتدا باید منحنی برش پایه برحسب منحنی پوش که از تحلیل استاتیکی غیرخطی بدست آمده را با یک روش مناسب به صورت ایده آل دو خطی استخراج شده است. نرم افزار ETABS این کار را بر اساس آیین نامه FEMA 440 [18] انجام می‌دهد، که در شکل ۲۵ نشان داده شده است.



شکل ۲۵: ایده آل سازی منحنی برش پایه - تغییر مکان در تحلیل استاتیکی غیرخطی

روند محاسبه ضریب رفتار در سازه قاب خمشی ۸ طبقه:

$$V_{des} = C.W \quad (1)$$

در رابطه ۱، C: ضریب زلزله که برابر 0.1077 می باشد. W: وزن سازه که از نرم افزار ETABS قابل استخراج می باشد.

$$V_{des} = 0.1077 \times 10069738.6 = 1084510.84 \text{ N} \quad (2)$$

مقدار  $V_y$  نیز از منحنی ایده آل شده برداشت می شود.

$$V_y = 2099146 \text{ N} \quad (3)$$

$$R_s = \frac{V_y}{V_{des}} = 1.935 \quad (4)$$

برای در نظر گرفتن اثرات رفت و برگشتی بار زلزله ظرفیت جابجایی بام را تقلیل داده می شود.

$$\phi = 1 + \frac{1}{T(10 - \mu)} - \frac{1}{2T} \exp[-1.5(\ln T - 0.6)^2] \quad (5)$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{1.305 \times (10 - 1.42)} - \frac{1}{2 \times 1.305} e^{[-1.5(\ln 1.305 - 0.6)^2]} = 0.765 \quad (6)$$

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \quad (7)$$

$$R_\mu = \frac{1.42 - 1}{0.765} = 1.549 \quad (8)$$

$$R = R_s R_\mu R_R = 1.935 \times 1.549 \times 1 = 3 \quad (9)$$

$$R = 3 \quad (10)$$

برای سایر سازه ها نیز به همین ترتیب ضریب رفتار محاسبه می شود. در جدول ۳ مقادیر ضریب رفتار را برای سازه های مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۳: ضریب رفتار در سازه‌ها

ضریب رفتار	تعداد طبقات سازه	نوع سیستم باربر سازه
۳	۸	قاب خمشی
۳/۵	۱۴	قاب خمشی
۴	۲۰	قاب خمشی
۲/۵۵	۸	دیوار برشی
۸/۴۴	۱۴	دیوار برشی
۷/۰۶	۲۰	دیوار برشی
۱۱/۷۵	۸	مهاربند EBF
۵/۴۸	۱۴	مهاربند EBF
۵/۱۵	۲۰	مهاربند EBF
۹/۹۵	۸	میراگر تسلیم شونده
۴/۸۴	۱۴	میراگر تسلیم شونده
۵/۱	۲۰	میراگر تسلیم شونده

همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است، سازه‌های ۸ طبقه دارای مهاربند و میراگر جاری شونده ضریب رفتار بسیار مناسبی دارند که نشان از شکل پذیری بالای آن‌ها می‌باشد. اما با افزایش طبقات دیوار برشی عملکرد مناسب‌تری دارد. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، سازه‌های ۸ طبقه دارای مهاربند و میراگر جاری شونده ضریب رفتار بسیار مناسبی دارند که نشان از شکل پذیری بالای آن‌ها می‌باشد. اما با افزایش طبقات دیوار برشی عملکرد مناسب‌تری دارد.

## ۵- بحث و نتیجه گیری

در مقاله حاضر، بهینه یابی مقطع میراگر فلزی جاری شونده با مقطع پیشنهادی جدید و بررسی رفتار سازه‌های بتنی مقاوم سازی شده با میراگر انجام شده است. ابتدا با نرم افزار ABAQUS مدل‌سازی عددی انجام و مقطع بهینه میراگر بار تغییر تعداد پره‌های میراگر بدست آمده است. سازه‌های با تعداد طبقات متفاوت و سیستم سازه‌ای مختلف بررسی و تأثیر میراگر بر رفتار سازه بررسی شده است. با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته و نتایج حاصل از مدل‌های مورد مطالعه، موارد زیر نتیجه گیری شده است:

- نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه تغییر مکان حداکثر سازه‌های ۸ طبقه دارای مهاربند و میراگر عملکرد بهتری از قاب خمشی و دیوار برشی دارند. با افزایش طبقات دیوار برشی بهتر عمل می‌کند. در مدل‌های ۸ طبقه مقدار حداکثر تغییر مکان نهایی در مهاربند ۱۷ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. و تغییر مکان میراگر نسبت به دیوار برشی ۴۲ درصد کمتر بدست آمد.
- مقایسه تغییر مکان حداکثر سازه‌های ۱۴ طبقه دیوار برشی بتنی عملکرد بهتری نسبت به میراگر پیشنهادی دارد. حداکثر تغییر مکان نهایی در دیوار برشی ۳۶ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. و تغییر مکان میراگر نسبت به مهاربند ۱۳ درصد کمتر بدست آمد. مقدار حداکثر تغییر مکان میراگر در مقایسه با قاب خمشی ۴۷ درصد کمتر بدست آمد.
- نتایج رفتار سازه‌های ۲۰ طبقه نشان داد که در مقایسه بین ۴ نوع سیستم باربر مورد بررسی در تحقیق حاضر، دیوار برشی بتنی و میراگر پیشنهاد بهترین عملکرد را نسبت به سیستم‌های سازه‌ای قاب خمشی و مهاربند دارد. حداکثر تغییر مکان نهایی در دیوار برشی ۳۶ درصد بیشتر از میراگر بدست آمد. تغییر مکان میراگر نسبت به مهاربند ۱۴٫۵ درصد کمتر بدست آمد. مقدار حداکثر تغییر مکان میراگر در مقایسه با قاب خمشی ۳۵٫۵ درصد است.

- میزان تغییر مکان جانبی نسبی در سازه‌های دارای میراگر در مقایسه با سازه قاب خمشی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در بین سازه‌های ۸ طبقه، سازه دارای مهاربند و میراگر عملکردی بهتر از دیوار برشی دارند، اما با افزایش طبقات دیوار برشی برتری دارد.
- بررسی رفتار سازه‌های مختلف در سطوح عملکردی نشان می‌دهد که سازه دارای میراگر در مقایسه با سازه معمولی قاب خمشی مفاصل پلاستیک کمتری در سطوح بحرانی دارد، این نشان می‌دهد که سازه پس از زلزله خسارت کمتری می‌بیند.
- منحنی ظرفیت برش پایه - جابجایی که با اعمال تغییر مکان یکسان طبقه بام در انواع سیستم‌های سازه‌ای نشان داد در سازه‌های ۸ طبقه دارای میراگر بیشترین برش پایه تحمل می‌شود. در سازه ۸ طبقه با میراگر پیشنهادی بهترین عملکرد را داشته و در مقایسه با سایر سیستم‌ها از مانند مهاربند مقدار ۲۶ درصد، در مقایسه با دیوار برشی ۷،۷ درصد، در مقایسه با قاب خمشی ۶۲ درصد عملکرد میراگر بهتر است.
- با افزایش طبقات دیوار برشی بسیار بهتر عمل می‌کنند، که نشان داد که سختی جانبی آن‌ها بسیار بالاتر از سایر سیستم‌های سازه‌ای می‌باشد.
- ضرایب رفتار بدست آمده نشان می‌دهد سازه‌های دارای میراگر به نسبت قاب‌های خمشی معمولی استهلاک انرژی بالاتری دارند.
- در سازه‌های با تعداد طبقه پایین میراگرها می‌توانند جایگزین مناسبی برای دیوارهای برشی باشند. علاوه بر عملکرد بهتر و تأمین نیروی مقاوم لازم، اتلاف انرژی توسط میراگر باعث تمرکز خرابی در آن می‌شود. تعمیرات خرابی‌های ناشی از زلزله در میراگرها بسیار راحت‌تر و کم هزینه‌تر است.
- به‌عنوان نتیجه گیری کلی، در سازه‌های با تعداد طبقات پایین استفاده از میراگرها مناسب‌تر هستند و در سازه‌های بلند، دیوارهای برشی بهتر عمل می‌نمایند.

## مراجع

- [۱] غلامپور، سیروس، ناصری، علی، متولی، غزاله. (۱۳۹۷). تاثیر میراگر TADAS در سازه های فولادی تحت زلزله حوزه دور و نزدیک گسل. نشریه مهندسی سازه و ساخت doi: 10.22065/jsce.2019.119969.1475
- [۲] هویدایی، نادر، میرزاپور، میثم، کاردان، نازیلا. (۱۳۹۸). ارزیابی اثر میراگرهای مایع تنظیم شده (TLD) و تنظیم شده ی اصلاحی (MTLD) بر رفتار لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی. نشریه مهندسی سازه و ساخت doi: 10.22065/jsce.2019.165876.1756
- [۳] وهدانی، رضا، خزائی، محسن، خیرالدین، علی. (۱۳۹۹). تعیین موقعیت بهینه میراگرهای جرمی تنظیم شده چندگانه در ساختمانهای فولادی منظم و نامنظم در پلان تحت زلزله های دور و نزدیک گسل. نشریه مهندسی سازه و ساخت doi: 10.22065/jsce.2020.207567.1995
- [4] Bayat, K., & Shekastehband, B. (2019). Seismic performance of beam to column connections with T-shaped slit dampers. *Thin-Walled Structures*, 141, 28-46.
- [5] NourEldin, M., Naeem, A., & Kim, J. (2019). Life-cycle cost evaluation of steel structures retrofitted with steel slit damper and shape memory alloy-based hybrid damper. *Advances in Structural Engineering*, 22(1), 3-16.
- [6] Liu, Y., et al. (2019). An innovative resilient rocking column with replaceable steel slit dampers: Experimental program on seismic performance. *Engineering Structures*, 183, 830-840.
- [7] Khoshkroodi, A., & Sani, H. P. (2019). Evaluation of Friction-Slit Hybrid Dampers in MR Steel Frames.
- [8] Zabihi-Samani, M. (2019). Design of Optimal Slit Steel Damper Under Cyclic Loading for Special Moment Frame by Cuckoo Search. *International Journal of Steel Structures*, 1-12.
- [9] Chen, Y., Chen, C., Jiang, H., Liu, T., & Wan, Z. (2019). Study of an innovative graded yield metal damper. *Journal of Constructional Steel Research*, 160, 240-254.
- [10] Zhai, Z., Guo, W., Yu, Z., He, C., & Zeng, Z. (2020). Experimental and numerical study of S-shaped steel plate damper for seismic resilient application. *Engineering Structures*, 221, 111006.
- [11] Xu, W., Wang, S., Liu, W., & Du, D. (2020). Experimental Study on Mechanical Properties of Shear-type Mild Steel Damper.

- [12] Kazemi, M., Kafi, M. A., Hajforoush, M., & Kheyroddin, A. (2020). Cyclic behaviour of steel ring filled with compressive plastic or concrete, installed in the concentric bracing system. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(1), 29-39.
- [13] Khoshvatan, M. Nouri, E. Ganji Morad, S (2021). Investigation of the Effect of Using Slit Dampers on the Seismic Behavior of Steel Structures of Moment Frame. Vol. 14 No. 1. 56-78.
- [14] Lee, K. S., Lee, B. G., & Jung, J. S. (2021). Nonlinear dynamic response of R/C buildings strengthened with novel stud-typed seismic control system using non-buckling slit damper. *Engineering Structures*, 244, 112749.
- [15] Oh, S. H., Kim, Y. J., & Ryu, H. S. (2009). Seismic performance of steel structures with slit dampers. *Engineering structures*, 31(9), 1997-2008.
- [16] ASCE (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

[۱۷] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، ۱۳۹۳.

- [18] FEMA 440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Prepared by ATC (ATC-55 project), 2005