

Experimental Investigation of the Performance of Two-Level Circular Yielding Dampers with Bolt Connection and the Effect of Friction on Their Behavior

Farough Bahrololoom Tabatabai¹, S.Mohammad Mirhosseini^{2*}, Ehsanollah Zeighami³

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

ABSTRACT

The use of dual-stage yielding dampers has recently attracted the attention of researchers and engineers. Considering the two-level performance of these systems in mild earthquakes as well as destructive excitations, it can be expected that the use of these dampers in severe earthquakes will prevent drastic form changes in the main structural elements. In this research, an attempt has been made to determine the effect of using dual-stage systems on the ultimate strength and energy dissipation capacity of the structure by using the results of testing three full-scale experimental samples of circular yielding dampers and dual-stage circular yielding dampers with bolted connections. In another experimental specimen, the effect of using friction in dual-stage dampers was investigated. The experimental specimens were subjected to quasi-static cyclic loading and their results demonstrated that the use of dual-stage circular yielding dampers can increase the ultimate strength in compression and tension by 84% and 40%, respectively. Also, the effect of friction in dual-stage dampers was 7%. The energy dissipation capacity has also increased by 28% in the dual-stage damper specimen. Also, the bolt connection of the damper has been able to prevent brittle and premature failure of the connection.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 May 2024

Revise Date: 27 August 2024

Accept Date: 25 September 2024

Keywords:

Yielding damper
Ultimate strength
Energy dissipation capacity
Dual-stage damper
Experimental plan
Bolted connection

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.455575.3404](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.455575.3404)

*Corresponding author: S.Mohammad Mirhosseini

Email address: mo.mirhosseini@iau.ac.ir

بررسی آزمایشگاهی عملکرد میراگرهای تسلیمی دایره‌ای دوسطحی دارای اتصال پیچ و مهره‌ای و اثر اصطکاک بر رفتار آن‌ها

فاروق بحر العلوم طباطبایی^۱، سید محمد میرحسینی^{۲*}، احسان اله ضیغمی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

چکیده

استفاده از میراگرهای تسلیمی دوسطحی اخیراً مورد توجه محققان و مهندسين قرار گرفته است. با توجه به عملکرد دوسطحی این سیستم‌ها در زلزله‌های خفیف و همچنین زلزله‌های مخرب، می‌توان انتظار داشت که استفاده از این میراگرها در زلزله‌های شدید مانع از تغییر فرم قابل توجه در عناصر اصلی سازه‌ای گردد. در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از نتایج آزمایش سه نمونه آزمایشگاهی با مقیاس کامل میراگرهای تسلیمی دایره‌ای و میراگر تسلیمی دایره‌ای دو سطحی دارای اتصال پیچ و مهره‌ای، اثر استفاده از سیستم‌های دوسطحی بر مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی در سازه‌ها مقایسه گردد. همچنین در یک نمونه آزمایشگاهی دیگر اثر استفاده از اصطکاک در میراگرهای دوسطحی مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های آزمایشگاهی تحت بارگذاری چرخه‌ای شبه استاتیکی قرار گرفتند و نتایج آنها از نظر مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی نشان داد که استفاده از میراگرهای دوسطحی می‌تواند در فشار و کشش مقاومت نهایی را به ترتیب ۸۴٪ و ۴۰٪ افزایش دهد. همچنین اثر اصطکاک در میراگرهای دو سطحی بر مقاومت در حدود ۷٪ بوده است. ظرفیت اتلاف انرژی نیز در نمونه میراگر دو سطحی ۲۸٪ افزایش داشته است. همچنین اتصال پیچ و مهره‌ای میراگر توانسته است از خرابی ترد و زود هنگام اتصال جلوگیری کند.

کلمات کلیدی: میراگر تسلیمی دایره‌ای، مقاومت نهایی، ظرفیت اتلاف انرژی، میراگر دوسطحی، برنامه آزمایشگاهی، اتصال پیچ و مهره‌ای

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2024.455575.3404	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.455575.3404	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	۱۴۰۳/۰۷/۰۴	۱۴۰۳/۰۷/۰۴	۱۴۰۳/۰۶/۰۶	۱۴۰۳/۰۲/۱۴
سید محمد میرحسینی* mo.mirhosseini@iau.ac.ir					نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

در صنعت ساخت و ساز سیستم های سازه ای بسیار مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند. قاب های خمشی، دیوارهای برشی، و سیستم های مختلف مهار جانبی به منظور تحمل و انتقال بار وارده به ساختمان در سازه های طراحی شده مورد استفاده قرار می گیرند. افزایش مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی و بطور کلی بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان ها همواره از اهداف مهندسان و محققان در زمینه مهندسی سازه بوده است. میراگرهای تسلیمی که در شاخه مکانیزم های غیر فعال دسته بندی می شوند از جمله عناصر سازه ای هستند که به منظور افزایش ظرفیت باربری و جذب انرژی در سازه ها مورد استفاده قرار می گیرند. میراگر های تسلیمی که سازوکار عملکرد آنها بر اساس تغییر فرم هندسی و تسلیم مقاطع فولادی است در انواع مختلفی از نظر هندسی، ابعاد، و محل قرارگیری در سازه پیشنهاد، طراحی و مورد بررسی قرار گرفته اند.

استفاده از میراگر های تسلیمی با توجه به انواع مختلفی که دارند می تواند چالشی برای طراحان این سیستم های سازه ای باشد. از آنجائیکه عملکرد این نوع از میراگرها با وارد شدن انرژی به سازه فعال می گردد، تعیین ظرفیت این عناصر، نحوه قرارگیری آنها و چیدمان آنها در یک سازه حائز اهمیت است [۳-۱]. با توجه به اینکه سازه های دارای میراگر تسلیمی دچار تغییر در پاسخ لرزه ای می گردند، طراحی این عناصر سازه ای بسته به مقدار انرژی وارده به سازه نیازمند توجه است. از این رو ایده طراحی دو سطحی میراگر های تسلیمی که در آن با ایجاد بارگذاری میراگر وارد عمل شده و با افزایش مقادیر جابجایی بخش دیگری از میراگر وارد عمل می گردد، می تواند در کنترل نحوه ی عملکرد میراگر های تسلیمی تاثیر گذار باشد. با استفاده از طراحی مناسب برای یک میراگر دو سطحی می توان انتظار داشت که سازه مورد نظر در زلزله های خفیف مقادیری از انرژی را توسط میراگر تسلیمی جذب نموده و در صورت ایجاد تغییر شکل های بزرگ در سازه، با فعال شدن سطح دوم میراگر و با بکار افتادن عناصر درونی آن با توان بیشتری به جذب انرژی وارده کمک کند. در ادامه به بخشی از مهمترین تحقیقات در رابطه با میراگر های تسلیمی و سیستم های دو سطحی پرداخته می شود [۸-۴].

میراگر های تسلیمی در سال ۱۹۷۲ برای اولین بار پیشنهاد شدند [۱]. این میراگر ها تمرکز تنش را از اتصالات تیر به ستون جابجا نموده و بخش عمده ی اتلاف انرژی را بر عهده می گیرند. انواع مختلفی از میراگر های تسلیمی ارزیابی و پیشنهاد شدند که از جمله آنها می توان به میراگر های ADAS و TADAS اشاره نمود که در دهه های بعد توسط محققین ارائه شدند [۲ و ۳]. این میراگرهای تسلیمی عمدتاً از ورق با شکل های هندسی متفاوتی ساخته میشوند و حتی برای مقاوم سازی سازه های بتن آرمه نیز مورد استفاده قرار گرفته اند. رفتار میراگر ADAS به علت تمرکز تنش کمتر، عمدتاً نسبت به رفتار TADAS بهتر است و دارای ظرفیت جابجایی بالاتری میباشد [۴].

بررسی آزمایشگاهی فیوز لوله ای (دایره ای) برای جذب انرژی غیر فعال، و ارزیابی مقدار جذب انرژی نهایی میراگر های لوله ای فلزی در دو تحقیق جداگانه نشان داد که میراگر های دایره ای شکل، از ظرفیت اتلاف انرژی بالایی برخوردار بوده و نمونه های آزمایشگاهی و عددی رفتار چرخه ای پایداری را از خود نشان می دهند [۵ و ۶]. مطالعات دیگری هم برای پیشنهاد میراگر های تسلیمی نوین ارائه شده اند تا با استفاده از میراگر های شیار دار بلوکی و همچنین میراگر های تلسکوپی سربی ظرفیت اتلاف انرژی را افزایش دهند [۷ و ۸].

از مهمترین میراگر های تسلیمی، میراگرهای دارای فرم دایره ای هستند. بررسی اثر استفاده از میراگر های لوله ای و کاربرد این میراگر ها در پل ها در دو تحقیق جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است [۹ و ۱۰]. آنها در این تحقیق لوله های پر شده و پر نشده با بتن را به عنوان میراگر های تسلیمی تحت بارگذاری های یکنواخت و چرخه ای ارزیابی کرده و یک مدل دوخطی ساده شده بر اساس رگرسیون خطی و بر اساس خروجی های بدست آمده از مدل های اجزا محدود را برای تحلیل رفتار چرخه ای میراگر های تسلیمی دایره ای ارائه کردند.

در تحقیقی دیگر اثر استفاده از میراگر های تسلیمی دایره ای در قاب با اتصال نیمه صلب بر روی ظرفیت اتلاف انرژی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کاهش قطر میراگر و همچنین افزایش ضخامت آن می تواند به افزایش نیروی لازم برای رسیدن به یک جابجایی هدف تاثیر گذار باشد [۱۱]. عملکرد لرزه ای سازه های دارای میراگر های دوگانه دایره ای از دیگر تحقیقات مورد بررسی بوده است که در این تحقیق اثر وجود این میراگر ها در ساختمان های ۵، ۱۰، و ۲۰ طبقه بررسی و مقایسه گردید [۱۲].

اتصال میراگر های دایره ای به سیستم های سازه ای به دو صورت جوشکاری و استفاده از پیچ قابل انجام است که در عموم مقالات و تحقیقات پیشین استفاده از جوش به عنوان ابزار اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی اثر حضور میراگر های تسلیمی دایره ای در مهاربند های جانبی، بررسی عملکرد لرزه ای میراگر های دایره ای دوگانه و همچنین ارزیابی میراگر های دایره ای چند سطحی از تحقیقات دیگر بر روی میراگر های تسلیمی دایره ای بوده اند. تحقیقات بیان شده نشان داده اند که مقاومت در میراگر باید در هماهنگی با دیگر عناصر سازه ای طراحی شود. همچنین با افزایش قطر میراگر دایره ای، ظرفیت اتلاف انرژی افزایش می یابد [۱۳-۱۵]. در تحقیق دیگری برای اتصال میراگر های نیم دایره ای به سیستم انتقال نیرو از پیچ استفاده شد. در این مطالعه نشان داده شد که اتصال جوشی سختی بالاتر و شکست زود هنگام در میراگر را به دنبال داشته در حالیکه اتصال پیچی در زلزله های قوی و متوسط رفتار مناسبی داشته است [۱۶]. زهرایی و چراغی در سالهای ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ از میراگر تسلیمی دایره ای دو سطحی برای کاهش پاسخ لرزه ای قاب فلزی استفاده کردند. در این مقاله که اتصال بین میراگر دایره ای و مهاربند با جوشکاری بوده است نشان داده شد که استفاده از سیستم پیشنهادی باعث افزایش شکل پذیری و همچنین نسبت میرایی معادل می گردد [۱۷ و ۱۸]. هر چند که در یکی از دو نمونه تست شده، شکست زودرس در جوش مانع از عملکرد مناسب میراگر شد. بطور کلی تحقیقات بسیاری در سالهای اخیر نشانگر این موضوع

بوده اند که استفاده از سیستم های دو سطحی میرایی نه تنها می تواند مقاومت نهایی در سیستم های باربری را افزایش دهد، بلکه در صورت طراحی بهینه می تواند شکل پذیری در سازه ها را نیز ارتقا دهد. افزایش ظرفیت اتلاف انرژی نیز از نتایج استفاده از این سیستم های میرایی می باشد [۱۹-۲۳].

در تحقیقات جدیدتری درباره ی میراگر های تسلیمی و ابزار های افزایش ظرفیت اتلاف انرژی انواع مختلفی از عناصر سازه ای و روش های تحلیل آنها ارزیابی شده است. میراگر های C شکل حرارت دیده، میراگر های لوله ای فلزی پیچشی، بهبود عملکرد سازه های بتن آرمه با استفاده از میراگر های دایره ای، ارتقای ظرفیت اتلاف انرژی به کمک میراگر های تسلیمی، و همچنین بررسی رفتار این میراگر ها در بارگذاری دو محوره مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیقات نشان داده شد که سیستم های پیشنهادی می توانند پارامتر های لرزه ای را بهبود بخشیده و کارکرد لرزه ای سازه را ارتقا دهند. همچنین استفاده از الگوریتم های مختلف در ارزیابی افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و کاهش وزن سازه در تحقیقات مورد استفاده قرار گرفت [۲۴-۳۰].

با بررسی مطالعات گذشته می توان به این نتیجه رسید که استفاده از میراگر های تسلیمی بخصوص با فرم هندسی دایره ای می تواند باعث افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و پارامتر های لرزه ای مانند مقاومت نهایی و سختی شود. همچنین استفاده از میراگر های تسلیمی دو سطحی می تواند از ایجاد تغییر شکل های بزرگ در اعضای اصلی سازه در تحریکات شدید لرزه ای جلوگیری نماید. اما با توجه به عوامل مختلف تاثیرگذار در عملکرد این میراگر ها از جمله نحوه قرارگیری در سازه، نحوه اتصال به عناصر سازه ای و همچنین ابعاد و ضخامت ورق های تشکیل دهنده نیاز به بررسی آزمایشگاهی این میراگر ها در اندازه کامل و مقایسه حالت دو سطحی با نوع ساده این میراگر ها احساس می شود. از این رو در این تحقیق تلاش شده است تا با انجام تست های آزمایشگاهی اندازه کامل مقادیر انرژی جذب شده توسط میراگر های تسلیمی دایره ای و سیستم های دو سطحی مورد بررسی دقیق قرار بگیرد.

با توجه به ویژگی های قابل توجه میراگرهای تسلیمی دایره ای و عدم استفاده گسترده از این عناصر سازه ای در صنعت ساختمان کشور، انجام مطالعات و ارزیابی های دقیقی در رابطه با انواع مختلفی از میراگر های تسلیمی دایره ای مورد نیاز می باشد. هرچند تحقیقات قبلی در رابطه با این عناصر سازه ای اهمیت و کاربری این سیستم های سازه ای را در مقاوم سازی ساختمان های موجود و یا طراحی سازه های خاص را مورد بررسی قرار داده اند اما نوع اتصال این عناصر به سازه ها، که عموماً توسط اتصالات جوشی بوده است، و همچنین عدم تمرکز بر روی عملکرد دو سطحی در این میراگر ها نیاز به مطالعات بیشتر را نشان می دهد. در این رابطه، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اتصال نوین پیچ و مهره ای میراگر به سازه، و همچنین هندسه پیشنهادی نوین اتصال میراگر های داخلی به خارجی و همچنین ارزیابی اثر استفاده از اصطکاک در این میراگر ها می تواند بخشی از نیاز های تحقیقاتی در این زمینه را پوشش دهد.

در تحقیق پیش رو در یک برنامه آزمایشگاهی میراگر تسلیمی دایره ای و میراگر دایره ای دو سطحی با ابعاد واقعی مورد آزمایش قرار گرفتند. تا اثر استفاده از سیستم دو سطحی در این میراگرها و میزان بهبود عملکرد در این میراگرها تعیین گردد. همچنین به منظور بهبود عملکرد میراگرهای دو سطحی یک نمونه آزمایشگاهی دیگر که در آن استفاده از نیروی اصطکاک به منظور بهبود عملکرد میراگر استفاده شده است نیز مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از میراگر های دو سطحی می تواند باعث بهبود عملکرد میراگر بصورت ویژه ای گردد و همچنین اثر وجود اصطکاک می تواند عملکرد سیستم دو سطحی را انتقال دهد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

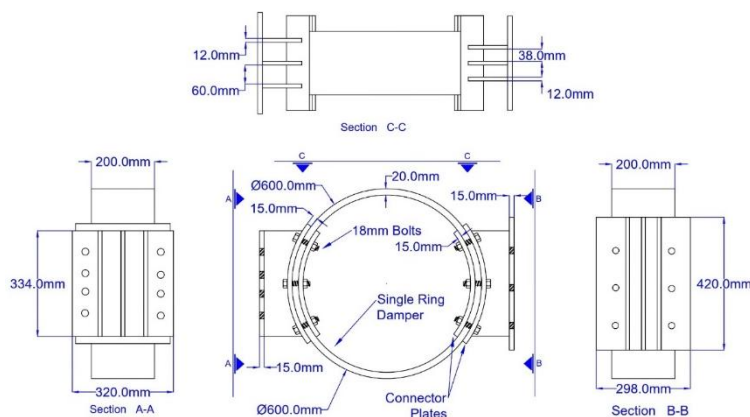
به منظور بررسی اهداف این تحقیق سه نمونه آزمایشگاهی میراگر تسلیمی دایره ای بر اساس مقیاس کامل ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. در این راستا یک نمونه میراگر تسلیمی دایره ای ساده به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. نمونه دوم آزمایشگاهی در این تحقیق یک میراگر تسلیمی دایره ای با ابعاد و اندازه های یکسان با نمونه شاهد بوده با این تفاوت که در نمونه دوم یک میراگر دایره ای با ابعاد کوچکتر و ابزار اتصال ورق های فولادی شیار دار شانه ای به میراگر اصلی متصل شده است تا بتوان اثر استفاده از میراگر های دو سطحی و عملکرد این سیستم نسبت به میراگر های یک سطحی را مورد بررسی قرارداد.

در ادامه برنامه آزمایشگاهی این تحقیق نمونه سومی با ابعاد و اندازه های کاملاً یکسان با نمونه دوم آزمایشگاهی ساخته شده است با این تفاوت که با ایجاد پیش تنیدگی در پیچ پر مقاومتی که اتصال بین میراگر دایره ای بزرگ و کوچک را تامین کرده است، اثر وجود اصطکاک در سیستم اتصال بین میراگر ها مورد بررسی قرار بگیرد. به این ترتیب با بررسی این نمونه های آزمایشگاهی می توان اثر استفاده از میراگر های دو سطحی و همچنین اثر وجود اصطکاک در این میراگر ها را بررسی نمود.

۲-۱- مشخصات نمونه های آزمایشگاهی

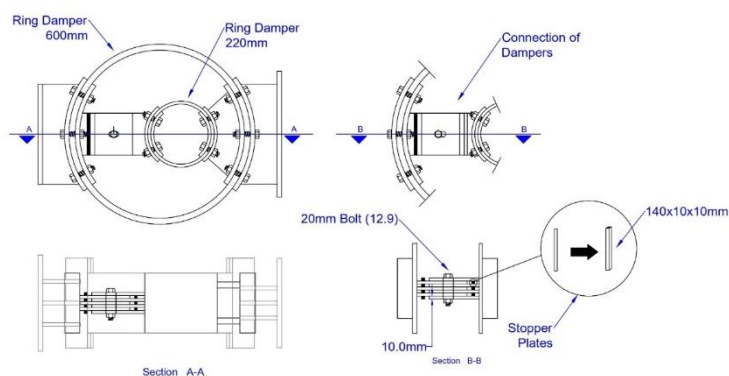
مشخصات دایره میراگر در تمامی سه نمونه آزمایشگاهی یکسان در نظر گرفته شده است. ابعاد و اندازه های میراگر و قطعات اتصال در این نمونه های آزمایشگاهی با توجه به امکانات و محدودیت های آزمایشگاهی و همچنین با توجه به تحقیقات قبلی [۱۴] در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف این مطالعه که بررسی رفتار میراگرهای دو سطحی بوده است نمونه اول آزمایشگاهی شامل یک میراگر دایره ای بعنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شده است. در نمونه اول آزمایشگاهی

(S60) قطر دایره میراگر ۶۰۰ میلیمتر و عرض دایره ۲۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است که ضخامت ورق مورد استفاده ۲۰ میلیمتر بوده است. طرفین دایره میراگر توسط ورق هایی با ابعاد قطاع هایی از دایره بصورت پیچ و مهره ای با کمک پیچ های پر مقاومت ۱۰.۹ به ورق های خارجی اتصال به جک هیدرولیکی متصل شده است که ضخامت این ورق ها ۱۵ میلیمتر در نظر گرفته شده است. شکل ۱ نشان دهنده مشخصات نمونه آزمایشگاهی S60 می باشد.



شکل ۱ - مشخصات هندسی نمونه اول آزمایشگاهی (S60)

در نمونه های آزمایشگاهی DS و DF یک میراگر دایره ای داخلی به قطر ۲۲۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر توسط یک سیستم ورق های شانه ای به میراگر اصلی متصل شده است. ورق های اتصال با ضخامت ۱۰ میلیمتر و بصورت شانه ای قرار گرفته اند و یک شیار لوبیایی به طول ۳۳ میلیمتر در این ورق ها تعبیه شده است که یک پیچ پر مقاومت ۱۲.۹ با قطر ۱۸ میلیمتر در این شیار جای گرفته است. این ورق ها و شیار داخلی آن به گونه ای قرار گرفته اند که پس از ورود به تغییر شکل های بزرگ در میراگر اصلی، میراگر داخلی وارد عمل شده و به سیستم اضافه گردد. سیستم اتصال نمونه آزمایشگاهی به ورق های اتصال به جک کاملا منطبق با نمونه آزمایشگاهی شاهد بوده است. لازم به ذکر است که پیچ پر مقاومت شیار ورق های شانه ای در نمونه DS صرفا به این علت در جای خود قرار گرفته است که ورق های شانه ای پس از رسیدن جابجایی به انتهای بازه ی شیار لوبیایی درگیر شده و باعث وارد عمل شدن میراگر داخلی شوند. علت عدم تقارن میراگر داخلی در محل قرارگیری خود تامین فواصل مورد نظر برای عملکرد ورق های شانه ای و اصطکاک مابین این ورق ها بوده است. اما در نمونه DF این پیچ پر مقاومت بر اساس مقادیر مورد نظر آئین نامه پیش تنیده شده است تا اصطکاک مابین ورق های شانه ای قبل از عملکرد میراگر داخلی مقادیری از انرژی وارد به سیستم را مستهلک نماید. شکل ۲ نشان دهنده ی مشخصات هندسی نمونه های آزمایشگاهی دوم و سوم می باشد.



شکل ۲ - مشخصات هندسی نمونه های آزمایشگاهی دوم (DS) و سوم (DF)

۲-۲ - مشخصات مصالح

مشخصات مصالح در نمونه های آزمایشگاهی ساخته شده و ورق های فولادی استفاده شده در آنها بر اساس آزمایش کشش بر اساس استاندارد ASTM A370 [۳۱] بدست آمدند. ورق های استفاده شده به ضخامت ۲۰، ۱۵، ۱۲، و ۱۰ میلیمتر و پیچ های پر مقاومت مورد آزمایش قرار گرفتند و مشخصات مصالح آنها از جمله مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، تنش نهایی، و کرنش شکست محاسبه گردید. لازم به ذکر است که تمامی پیچ های مورد استفاده در نمونه های آزمایشگاهی بر اساس استاندارد ISO 898-1 [۳۲] پیش تنیده شدند. جدول ۱ نشان دهنده نتایج آزمایشات کشش برای ورق های مورد استفاده در این نمونه های آزمایشگاهی می باشد.

جدول ۱ - مشخصات مصالح ورق های مورد استفاده برای نمونه های آزمایشگاهی بر اساس آزمایش کشش

ورق	مدول الاستیسیته (GPa)	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)	ضریب کشیدگی (%)
20 mm	202.3	364.3	422.6	26.8
15 mm	192.1	343.9	443.4	18.7
12 mm	188.3	295.1	448.8	23.6
10 mm	185.2	263.1	421.1	25.6
پیچ ها	215.1	837.2	1066.9	13.2

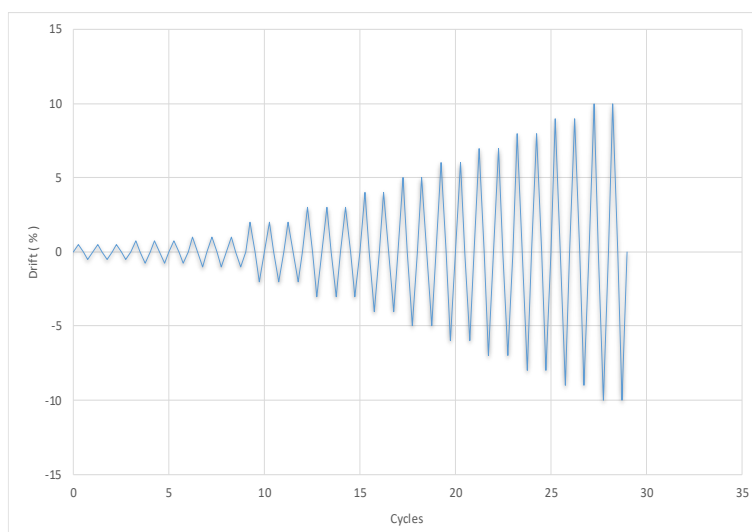
۲-۳ - پروتکل^۱ بارگذاری

بارگذاری در نمونه ها بر اساس بارگذاری چرخه ای ارائه شده در پروتکل ATC-24 انجام شده است [۳۳]. این پروتکل در تحقیقات آزمایشگاهی برای تست های اتصالات فولادی مورد استفاده قرار می گیرد [۳۴ و ۳۵]. در این پروتکل دررفت^۲ های اعمال بارگذاری به همراه تعداد تکرار چرخه های هر دررفت ارائه شده است. دررفت ارائه شده در پروتکل های بارگذاری معادل زاویه تغییر مکانی است که در طول نمونه های آزمایشگاهی ضرب شده و مقادیر جابجایی در هر طول دلخواه برای نمونه را تعیین می کند. در این پروتکل مقادیر دررفت های بارگذاری بر اساس جابجایی نقطه تسلیم (δy) محاسبه شده برای نمونه مورد آزمایش محاسبه و اعمال می گردد. بر اساس محاسبات تحلیلی انجام گرفته برای اتصال پیچ و مهره ای مقدار جابجایی نقطه تسلیم برای میراگر با قطر ۶۰۰ میلیمتر معادل ۸ میلیمتر و برای میراگر با قطر ۲۲۰ میلیمتر برابر با ۳.۲ میلیمتر بدست آمد. در ابتدای بارگذاری سه سیکل^۳ چرخه ای با دررفت معادل $0.5 \delta y$ ، سپس $0.75 \delta y$ ، و پس از آن به مقادیر پلکانی $1 \delta y$ بارگذاری انجام می گردد. تعداد سیکل ها در این پروتکل تا $3 \delta y$ سه سیکل بوده و پس از آن هر دررفت در دو سیکل تکرار شده است. شکل ۳ نشان دهنده ی نمودار دررفت - سیکل برای پروتکل بارگذاری بوده است.

¹ Protocol

² Drift

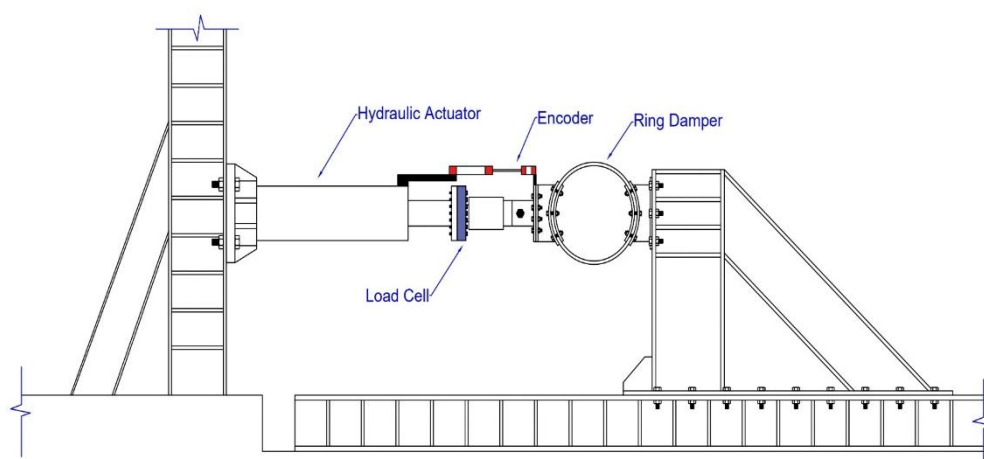
³ Cycle



شکل ۳- پروتکل بارگذاری در نمونه های آزمایشگاهی

۲-۴- چیدمان آزمایش

در انجام آزمایشات این تحقیق از یک جک هیدرولیکی^۴ با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلو نیوتون و کورس پیستون ± ۳۰۰ میلیمتر استفاده شد. سمت مقابل نمونه های آزمایشگاهی به یک تکیه گاه خریابی متصل گردید. در این آزمایشات برای برداشت نیرو از یک دستگاه لود سل^۵ با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلو نیوتون و دقت ۲۱۰ نیوتون استفاده شد. برای اندازه گیری مقادیر جابجایی از یک خط کش اهمی^۶ (LPT) با کورس ± ۲۲۵ میلیمتر و دقت پنج صدم میلیمتر استفاده شد که این LPT در راستای بارگذاری جک هیدرولیکی به نمونه متصل گردید. برای اعمال مقادیر جابجایی بصورت اتوماتیک و برداشت نتایج از یک دیتالاگر^۷ استفاده شد. مقادیر جابجایی بصورت شبه استاتیکی با سرعت بسیار پایینی به نمونه اعمال شدند تا اثرات دینامیکی بارگذاری در نتایج آزمایشگاهی اثر نگذارند. در آزمایشات انجام گرفته در این تحقیق سرعت بارگذاری بصورت یکسان و به مقدار ۳۰ میلیمتر بر دقیقه بوده است. شکل ۴ نشان دهنده ی چیدمان آزمایش برای نمونه های آزمایشگاهی در این تحقیق می باشد.



⁴ Hydraulic Actuator

⁵ Load Cell

⁶ Linear Potentiometer Transducer (LPT)

⁷ Data Logger

شکل ۴ - چیدمان آزمایش

۲-۵ - گزارش آزمایشات

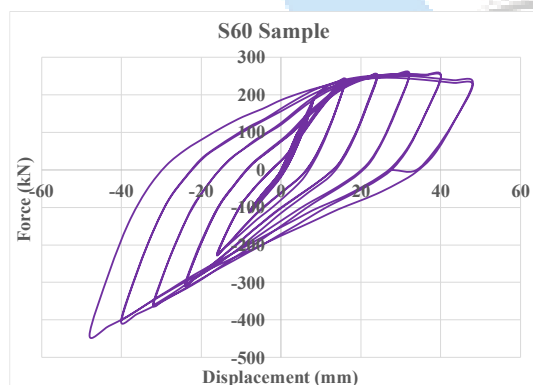
اولین آزمایش انجام شده بر روی نمونه آزمایشگاهی شاهد (S60) بوده است. در این نمونه با شروع بارگذاری رفتار میراگر بصورت خطی در کشش و فشار مشهود بود. تا دریافت معادل جابجایی نقطه تسلیم فرم هندسی نمونه در فشار و کشش با تغییر شکل دایره ای نمونه به فرم بیضی انجام شده و با برداشتن نیرو شکل اولیه حفظ گردید. نسبت مقادیر نیروی تحمل شده تا جابجایی ۸ میلیمتر معادل نقطه تسلیم تقریباً یکسان بود. با افزایش مقادیر جابجایی نمونه وارد فاز غیر خطی شده و تغییر شکل های ماندگاری در فرم هندسی میراگر ایجاد گردید. همچنین مقادیر نیرو در ناحیه فشاری به علت تشکیل مفصل پلاستیک در قسمت بالایی و پایینی دایره میراگر کمتر از مقادیر نیروی کششی بوده است. به علت فرم اتصالات پیچی در طرفین میراگر تعداد مفاصل پلاستیک نسبت به اتصال جوشی ساده بیشتر شده است و دو مفصل در محل اتصال پیچی در هر طرف و در قسمت های بالایی و پایینی دایره نیز مفاصل پلاستیک تشکیل شد. با رسیدن به جابجایی برابر با ۲۸ میلیمتر معادل $4 \delta y$ نیرو در ناحیه فشاری دچار افت شد اما در ناحیه کششی با ادامه بارگذاری نرخ افزایش نیرو صعودی بود. در این نمونه نیروی ماکزیمم در ناحیه فشاری ۲۵۵.۵ کیلو نیوتون و در ناحیه کششی ۴۴۱.۱ کیلو نیوتون ثبت گردید. شکل ۵ نشان دهنده ی مراحل مختلف آزمایش نمونه S60 می باشد.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵ - تصاویر آزمایش نمونه ی S-60 (الف) ابتدای آزمایش (ب) نمونه در بارگذاری فشاری (ج) مفصل پلاستیک در محل اتصال میراگر به اتصال پیچی (د) نمودار نیرو جابجایی برای این نمونه آزمایشگاهی

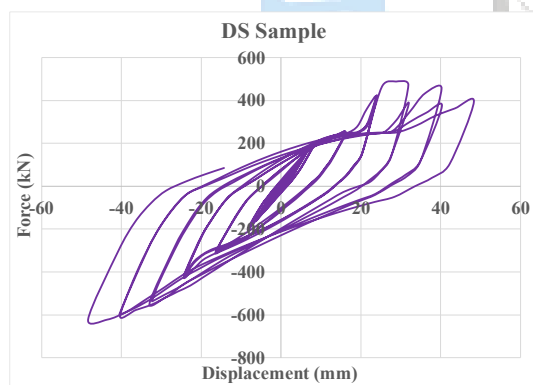
نمونه ی آزمایشگاهی DS اولین نمونه ی ترکیبی دارای سیستم دو سطحی بود که در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفت. با شروع بارگذاری رفتار نمونه بصورت خطی مشاهده شد. با توجه به تنظیمات اتصال ورق های شانه ای و پیچ نگهدارنده اتصال شانه ای، میراگر دایره ای کوچک در ابتدای آزمایش تا رسیدن به مقادیر جابجایی بالاتر از دریفت معادل $2\delta_y$ وارد عملکرد سیستم نشد. با عبور از دریفت معادل نقطه تسلیم و با وارد شدن به مقادیر بالاتر جابجایی نمونه وارد فاز غیر خطی شده و مقادیر نیرو افزایش پیدا کردند. نکته مهم اینکه در فاز پلاستیک آزمایش و در زمانی که تغییر شکل های ماندگار فشاری در میراگر داخلی ایجاد شده، با اعمال بارگذاری های کششی رینگ داخلی همچنان به حالت کششی وارد نشده که دلیل آن تاخیر رینگ داخلی در ورود به فاز کشش به دلیل اتصال شانه ای بین دو میراگر است. نتیجه این عملکرد در عدم دو سطحی بودن سختی کششی در نمودار هیستریزس قابل مشاهده است. پس از ورود به دریفت معادل $3\delta_y$ که معادل ۲۴ میلیمتر بوده است نیرو با وارد شدن میراگر داخلی دچار افزایش قابل توجهی شده که نشان دهنده ی عملکرد یکپارچه سیستم میراگر در این مقدار جابجایی بوده است. نیرو در بخش فشاری با بیشینه ۴۷۰.۹ کیلو نیوتون در جابجایی ۴۰ میلیمتر و در بخش کششی با بیشینه ۶۲۰.۲ کیلو نیوتون در جابجایی ۴۸ میلیمتر ثبت گردید. این افزایش چشمگیر را می توان به رفتار دو سطحی در میراگر نسبت داد. شکل ۶ نشان دهنده ی مراحل مختلف آزمایش نمونه ی DS می باشد.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶ - تصاویر آزمایش نمونه ی DS (الف) ابتدای آزمایش (ب) نمونه در بارگذاری فشاری (ج) نمونه در بارگذاری کششی (د) نمودار نیرو جابجایی برای این نمونه آزمایشگاهی

در نمونه آزمایشگاهی سوم DF با استفاده از پیش تنیدگی پیچ قرار داده شده در سوراخ لوبیایی اتصال شانه ای دو میراگر اثر وجود اصطکاک بر سیستم میراگر پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این نمونه نیز با شروع بارگذاری رفتار نمونه تا جابجایی ۸ میلیمتر معادل جابجایی محاسباتی نقطه تسلیم بصورت خطی بود. با توجه به وجود اصطکاک در اتصال شانه ای از ابتدای بارگذاری از بخشی از توان دایره داخلی استفاده شده و مقادیر نیرو نسبت به نمونه ی DS بیشتر بوده و سختی بالاتری در نمودار چرخه ای نمونه ی آزمایشگاهی مشهود بود. در این نمونه نیز با رسیدن به جابجایی ۱۶ میلیمتر معادل $2\delta_y$ و برخورد اتصال شانه ای به پیچ اصطکاک سیستم وارد عملکرد دو سطحی خود شده و دایره داخلی نیز دچار تغییر شکل های ماندگار گردید. در این نمونه نیروی فشاری در جابجایی ۳۲ میلیمتر برابر

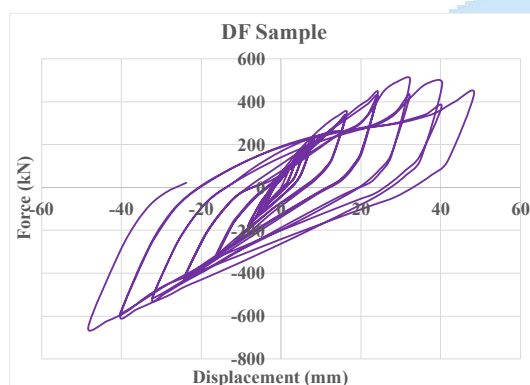
۵۰۳.۶ کیلو نیوتون و در ناحیه کششی در جابجایی ۴۸ میلی متر معادل ۶۵۱ کیلو نیوتون ثبت گردید. رفتار این نمونه به واسطه وجود اصطکاک در ورق های اتصال شانه ای نسبت به نمونه ی قبلی متفاوت بوده است. شکل ۷ نشان دهنده ی رفتار نمونه DF در مراحل مختلف آزمایش بوده است.



(ب)



(الف)



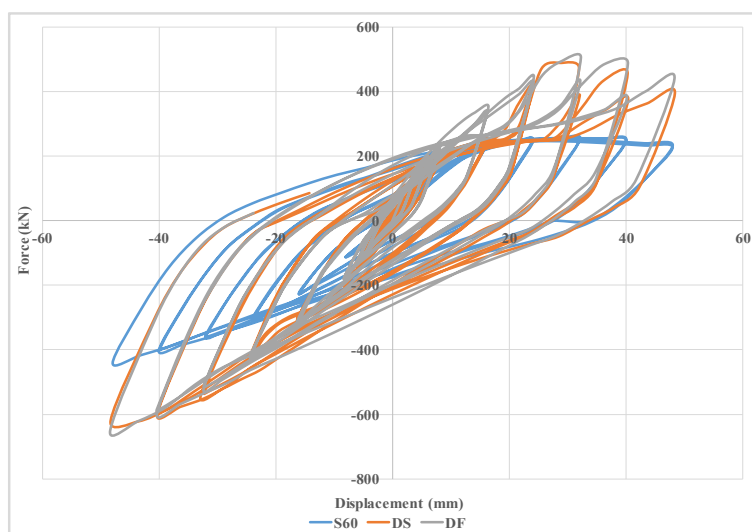
(د)



(ج)

شکل ۷ - تصاویر آزمایش نمونه ی DF (الف) ابتدای آزمایش (ب) نمونه در بارگذاری فشاری (ج) نمونه در بارگذاری کششی (د) نمودار نیرو جابجایی برای این نمونه آزمایشگاهی

در تمام تست های انجام شده بارگذاری چرخه ای به نمونه ها اعمال گردید و نتایج آن بصورت نمودار های هیستریزس بدست آمد که نمودار مقایسه ای برای نمونه های آزمایشگاهی در شکل ۸ آمده است. با نگاهی به نمودار های هیستریزس می توان دریافت که عملکرد دو سطحی در نمونه های آزمایشگاهی DF و DS بصورت مورد انتظار انجام پذیرفته است. در نمونه دارای رینگ ۶۰۰ میلی متری نمونه آزمایشگاهی تا جابجایی ۴۸ میلی متر معادل δy 6 انجام پذیرفته است. آزمایشات به علت افت در مقادیر نیرو و تغییر شکل های ماندگار مشهود در نمونه ها متوقف شدند. با توجه به نمودار های هیستریزس می توان مشاهده کرد که مقاومت نمونه ی DS با تنظیم صحیح در هندسه نمونه و ورود میراگر دایره ای کوچک در دریافت مورد انتظار، نیروی بیشتری را اتلاف کرده است. همچنین نمونه ی DF نیز با کمک اصطکاک در پیچ اتصال شانه ای رفتار بهتری از نظر مقاومت نهایی و سختی اولیه از خود ارائه داده است. همچنین از رفتار متفاوت نمونه ها در کشش و فشار می توان انتظار داشت که پارامتر های لرزه ای و بطور کلی عملکرد سیستم های پیشنهادی در کشش و فشار متفاوت باشد. از این رو نیاز به ارزیابی دقیق تری در رابطه با پارامتر های لرزه ای در این نمونه ها احساس می شود.



شکل ۸ - نمودار های چرخه ای نمونه های آزمایشگاهی این مطالعه

با نگاهی دقیق تر به نمودار های چرخه ای نتایج آزمایشات می توان اثر خستگی سیکل کوتاه را در نمونه های مختلف بررسی کرد. در نمونه S60 در سیکل های دوم بارگذاری در هر جابجایی افت مشهودی در مقادیر نیرو مشاهده نمی شود، اما در نمونه های DS و DF از جابجایی معادل $3\delta_y$ که میراگر داخلی نیز به کل سامانه بارگذاری ملحق شده است، در تکرار چرخه های بارگذاری افت مشهودی مشاهده می گردد. این افت نیرو که در بخش بارگذاری فشاری بیشتر مشخص می باشد را می توان به افزایش ناگهانی نیرو و اثر جابجایی های اولیه در مصالح فولادی که دچار خستگی سیکل کوتاه شده اند نسبت داد. از آنجائیکه در بخش بارگذاری کششی نیروی وارده صرف رفع تغییر فرم در محل تشکیل مفصل پلاستیک می گردد، نیرو دچار افت در سیکل های مکرر نشده است. بنابراین می توان گفت افزایش نیرو به واسطه عملکرد دوسطحی توانسته است اثر خستگی سیکل کوتاه در ناحیه فشاری را در میراگر ها تشدید کند. در ادامه به بررسی نتایج این آزمایشات بر اساس پارامتر های لرزه ای و اهداف آزمایش پرداخته می شود.

۳ - ارزیابی نتایج

در این تحقیق تلاش بر آن بوده است که رفتار میراگر های تسلیمی دایره ای با عملکرد دو سطحی مورد ارزیابی قرار بگیرد. بررسی رفتار این میراگر های دو سطحی که در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند از نگاه مقاومت نهایی در حالت کششی و فشاری و ظرفیت اتلاف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر وجود اصطکاک در نمونه های دوم و سوم مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه عموماً استفاده از میراگر های تسلیمی دایره ای با استفاده از اتصالات جوشی در مرور ادبیات ارائه شده است، در این تحقیق اثر استفاده از اتصالات پیچ و مهره ای و جلوگیری آن از شکست ترد و زود هنگام مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج بدست آمده در ادامه ارائه می گردد.

۳-۱ - مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی

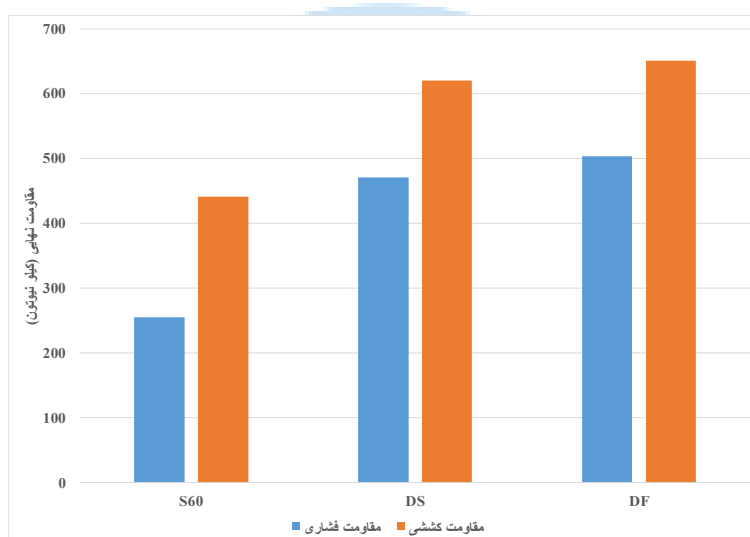
پارامتر های مقاومت نهایی، ظرفیت اتلاف انرژی برای نمونه های مختلف آزمایشگاهی محاسبه شدند. بر اساس این پارامتر ها می توان به بررسی دقیق تری از نمونه های آزمایشگاهی پرداخت. جدول ۲ نشان دهنده ی مقاومت نهایی و همچنین ظرفیت اتلاف انرژی برای نمونه های آزمایشگاهی می باشد. لازم به ذکر است که جهت نیروی کششی در این مطالعه منفی در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ - مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی برای نمونه های آزمایشگاهی

نمونه	مقاومت نهایی فشاری (kN)	مقاومت نهایی کششی (kN)	ظرفیت اتلاف انرژی (kN.mm)
S60	255.5	-441.1	125208.9
DS	470.9	-620.2	160319.9
DF	503.6	-651	166053.4

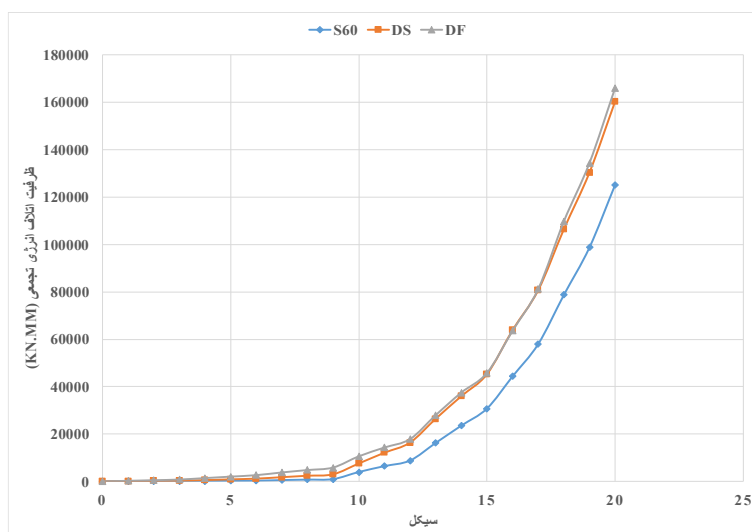
همانطور که از نتایج قابل استنباط است، مقاومت نهایی در نمونه ی DS نسبت به نمونه S60 رشد چشمگیری داشته است. رشد مقاومت نهایی فشاری در نمونه ی DS در مقایسه با نمونه S60 معادل ۸۴٪ بوده است که این موضوع نشان دهنده ی اثر مثبت استفاده از سیستم های دوسطحی در میراگر دایره ای می باشد. همچنین این نمونه در ناحیه کششی نیز رشد ۴۰ درصدی در مقاومت نهایی داشته است. علت کمتر بودن رشد مقاومت نهایی در ناحیه کششی به دلیل عملکرد سیستم از نظر هندسی در سیستم های میراگر دایره ای است که در ناحیه فشاری به دلیل ایجاد مفصل پلاستیک در نواحی مختلف دایره افت در نیرو مشاهده می شود اما با وارد شدن به ناحیه کششی از تمام ظرفیت سطح مقطع دایره به مثابه یک ورق کششی استفاده می شود بنابراین معمولاً افت نیرو در ناحیه کششی در این سیستم ها بسیار کمتر است.

استفاده از اصطکاک در نمونه ی DF نیز باعث رشد مقاومت نهایی در این نمونه نسبت به نمونه ی DS به مقدار ۷٪ در ناحیه فشاری و ۴٪ در ناحیه کششی بوده است. این مقادیر با توجه به رشد فوق العاده در سیستم دو گانه مقادیر ناچیزی محسوب می شوند. شکل ۹ نشان دهنده نمودار مقایسه ای برای مقاومت نهایی در حالت کششی و فشاری برای نمونه های آزمایشگاهی است که در این نمودار به منظور مقایسه شهودی بهتر مقادیر مقاومت کششی به صورت قدر مطلق در نظر گرفته شده است.



شکل ۹ - نمودار میله ای مقایسه ای مقاومت نهایی برای نمونه های آزمایشگاهی

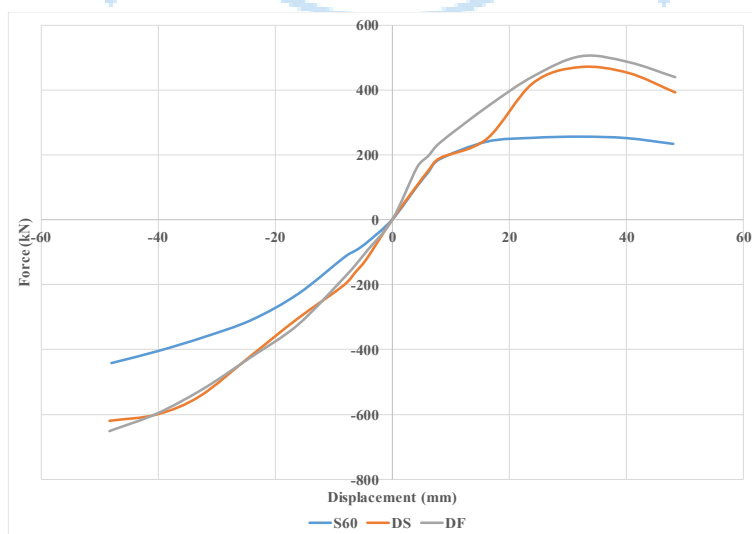
در رابطه با ظرفیت اتلاف انرژی می توان مشاهده کرد که این پارامتر در نمونه های DS و DF نسبت به نمونه ی S60 رشد قابل توجهی داشته است. در نمونه ی DS نسبت به نمونه ی S60 رشد ۲۸٪ در ظرفیت اتلاف انرژی مشاهده می شود. مقایسه ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه های DF و DS نشان دهنده این مطلب است که ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه ی DF به واسطه وجود اصطکاک با افزایشی در حدود ۴٪ مواجه شده است. با توجه به اینکه این مقدار صرفاً با اضافه کردن نیروی پیش تنیدگی در پیچ اتصال شانه ای ایجاد شده است می توان آن را قابل قبول دانست. شکل ۱۰ نشان دهنده نمودار مقایسه ای برای ظرفیت اتلاف انرژی تجمعی نمونه های آزمایشگاهی می باشد.



شکل ۱۰ - نمودار مقایسه ای ظرفیت اتلاف انرژی تجمعی برای نمونه های آزمایشگاهی

۳-۲ - رفتار میراگرها و عملکرد دو مرحله ای

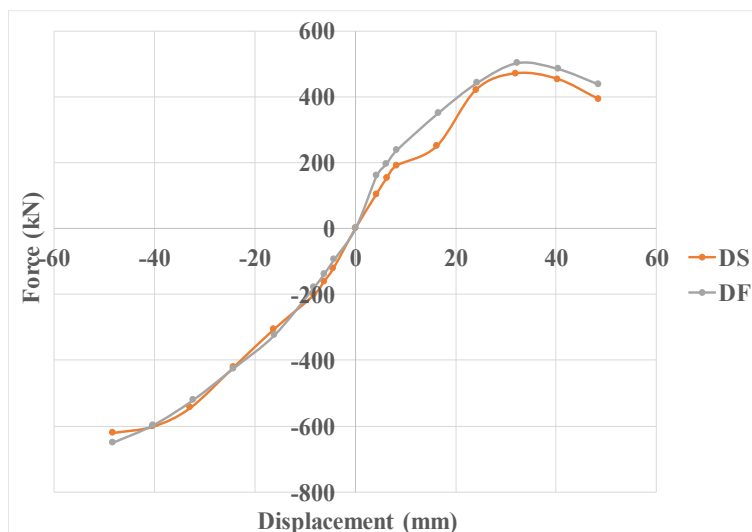
استفاده از تنظیمات هندسی مناسب در اتصال بین میراگر داخلی و میراگر اصلی بصورت مشهودی توانسته است عملکرد دوسطحی در نمونه DS را ایجاد کند. شکل ۱۱ نمودار مقادیر نیروی ماکزیمم برای دررفت های بارگذاری مختلف در نمونه های S60، DS و DF را نشان می دهد. در این نمودار مشاهده می شود که در نمونه ی DS رفتار فشاری نمونه تا جابجایی معادل دو برابر نقطه تسلیم با رفتار نمونه S60 یکسان بوده است. با بیشتر شدن مقادیر جابجایی بیشتر از ۱۶ میلیمتر (دو برابر مقدار جابجایی تسلیم) و با وارد شدن میراگر داخلی به سیستم مقادیر نیرو افزایش چشمگیری را داشته اند. با توجه به عدم ایجاد ضعف در اتصالات پیچی به نسبت نمونه های دارای اتصال جوشی مشاهده می شود که عملکرد نمونه DS بصورت مناسبی ادامه پیدا کرده است و با ایجاد مفاصل پلاستیک در دایره های بزرگ و کوچک نمونه دچار افت شده است. در ناحیه کششی نیز با وجود میراگر داخلی مقادیر نیرو رشد بسیار زیادی را تجربه کرده اند. همچنین با نگاهی به نمودار نمونه DF می توان دریافت که وجود اصطکاک در ورق های اتصال توانسته است مقادیر نیرو در دررفت های قبل از ورود میراگر داخلی به سیستم را افزایش دهد.



شکل ۱۱ - نمودار نیرو جابجایی برای نیروی بیشینه جابجایی های مختلف در نمونه های آزمایشگاهی S60، DS و DF

۳-۳- اثر اصطکاک بر عملکرد سیستم دو مرحله ای

در نتایج آزمایشگاهی و مقایسه نتایج نمونه های DS و DF می توان اثر پیش تنیدگی پیچ در سیستم اتصال شانه ای را مشاهده کرد. با اعمال نیروی پیش تنیدگی در پیچ سوراخ لوبیایی، میراگر داخلی از ابتدا وارد عمل شده هر دو میراگر داخلی و خارجی از لحظه ابتدایی بارگذاری در سیستم وارد شده اند. هرچند که رفته رفته با رسیدن به جابجایی معادل دو برابر نقطه تسلیم و همچنین اثر ساییدگی رفت و برگشتی در ورق های اتصال این افزایش نیرو کمتر شده است. مقادیر افزایش نیرو در ناحیه کششی بر اثر استفاده از نیروی اصطکاک بسیار کمتر قابل مشاهده است که این مسئله را می توان بخاطر مقادیر بزرگ نیرو در این ناحیه دانست. نمودار شکل ۱۲ نشان دهنده ی نیرو های ماکزیمم برای دریافت های مختلف در نمونه های DS و DF می باشد.



شکل ۱۲ - نمودار نیرو های بیشینه در دریافت های مختلف بارگذاری در نمونه های DS و DF

۳-۴- مقایسه میراگر دوسطحی پیشنهادی با تحقیقات قبلی

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده و همچنین بررسی مقالات قبلی در رابطه با میراگر های تسلیمی دایره ای و میراگر های دوسطحی می توان اثرات استفاده از اتصال پیچ و مهره ای، اثر استفاده از اتصال با ورق های شانه ای بین میراگرهای دایره ای و همچنین استفاده از اصطکاک در سیستم میراگر را بررسی نمود. ابعاد مورد استفاده در نمونه های آزمایشگاهی این تحقیق با ابعاد مورد استفاده در تحقیقات قبلی که توسط زهرایی و چراغی در سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ انجام شده است [۱۷ و ۱۶] تقریباً یکسان می باشد. بنابراین می توان مقایسه نسبتاً مناسبی از عملکرد نمونه های آزمایشگاهی در این تحقیقات ارائه نمود.

از نظر مقایسه اتصال میراگر به سازه می توان بیان نمود که بصورت واضحی استفاده از اتصالات پیچ و مهره ای می تواند باعث عملکرد بهتر در میراگر های تسلیمی شود. با توجه به شکل ۱۳ که نشان دهنده تصاویر مربوط به آزمایشات انجام شده در تحقیق زهرایی و چراغی و همچنین آزمایش انجام شده در این تحقیق می باشد، می توان مشاهده کرد که استفاده از اتصال جوشی می تواند باعث ایجاد پارگی در اتصال میراگر به سیستم سازه ای گردد. این در حالی است که استفاده از اتصال پیچ و مهره ای توانسته است بدون پارگی در نمونه انتقال بار و اتلاف انرژی را کنترل کند.



(ب)

(الف)

شکل ۱۳ - مقایسه اتصال میراگر تسلیمی در حالت الف) استفاده از جوش [۱۶] ب) استفاده از پیچ و مهره

همچنین نتایج آزمایشات نشان می دهد که استفاده از اتصال شانه ای باعث کاهش فرورفتگی در نمودار چرخه ای ۸ شده و نمودارهای چرخه ای آزمایشات انجام شده در این تحقیق توانسته اند با چرخه های بزرگتری و بدون افت نیرو در برگشت ظرفیت اتلاف بیشتری را فراهم نمایند. همچنین استفاده از اثر اصطکاک که با استفاده از ایجاد پیش تنیدگی در پیچ اتصال ایجاد شده است، نسبت به نمونه های آزمایشگاهی تحقیقات قبلی مقاومت نهایی و سختی اولیه میراگر های تسلیمی را افزایش دهد.

۴ - نتیجه گیری

اخیرا استفاده از میراگر های دو سطحی در سازه های نوین مورد توجه محققان و مهندسين قرار گرفته است. در صورت استفاده از میراگر های دو سطحی تسلیمی می توان انتظار داشت سازه مورد نظر بتواند نسبت به تغییر شکل های بزرگ اعمال شده از طرف زلزله رفتار مناسبتری ارائه کرده و انرژی بیشتری را در صورت نیاز جذب کرده و مانع از ایجاد تغییر شکل های بزرگ در عناصر اصلی سازه گردد. در تحقیق ارائه شده با استفاده از یک برنامه آزمایشگاهی تلاش شده است تا عملکرد میراگر های تسلیمی دوسطحی دایره ای نسبت به میراگر تسلیمی دایره ای مقایسه شده و مقادیر مقاومت نهایی در فشار و کشش و همچنین ظرفیت اتلاف انرژی بررسی گردد.

با توجه به اینکه عموماً استفاده از جوش در اتصال میراگر های دایره ای به سازه ها مورد استفاده بوده است و استفاده از این نوع اتصال باعث شکست ترد زود هنگام در این قطعات و افت زودرس در عملکرد سیستم سازه ای می گردد؛ در این تحقیق تلاش شد تا با استفاده از یک سیستم اتصال پیچ و مهره ای برای اتصال میراگر به عناصر سازه ای این مشکل نیز برطرف گردد. از این رو سه نمونه آزمایشگاهی با مقیاس کامل ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه اول آزمایشگاهی یک میراگر تسلیمی دایره ای (S60) و نمونه های دوم (DS) و سوم (DF) آزمایشگاهی دو میراگر تسلیمی دایره ای دو سطحی بوده اند که در نمونه دوم یک میراگر دایره ای داخلی به نمونه اضافه شده و در نمونه سوم از اثر اصطکاک در اتصال میراگر داخلی به میراگر اصلی نیز استفاده شده است. بارگذاری نمونه ها بصورت شبه استاتیکی و چرخه ای بوده است. نتایج این تحقیق در ادامه ارائه شده است.

نتایج آزمایشات نشان داده است که استفاده از سیستم هندسی پیشنهادی میراگر های دو سطحی می تواند مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی را افزایش دهد. عملکرد دو سطحی می تواند مانع از کاهش نرخ مقاومت در میراگر در جابجایی معادل دو برابر جابجایی نقطه تسلیم شده و سختی سیستم را مجدداً افزایش دهد. با توجه به ماهیت این نوع از میراگر رفتار فشاری و کششی در نمونه های دوسطحی متفاوت بوده است و در بارگذاری کششی با توجه به نوع تغییر فرم میراگر اصلی دایره ای و عملکرد کششی میراگر، افزایش نیرو بصورت تک نرخی انجام می شود.

با توجه به تنظیمات هندسی انجام شده در نمونه های آزمایشگاهی، استفاده از سیستم شانه ای ورق های اتصال بین میراگر های دایره ای کوچک و بزرگ در نمونه ی DS و DF باعث شدند لحظه وارد شدن میراگر داخلی به سیستم کلی را تعیین نمود. در نمونه های DS و DF بصورت کاملاً مشهودی سیستم میراگر بصورت دو سطحی عمل کرده است. حالت عملکرد دوگانه با موفقیت توانسته است در ناحیه فشاری مقاومت نهایی را به مقدار ۸۰٪ و در ناحیه کششی افزایش ۴۰٪ را در نمونه DS نسبت به نمونه S60 ایجاد کند.

⁸ Pinching

مقایسه ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه های آزمایشگاهی DS و S60 نشان دهنده ی افزایش ۲۸ درصدی در پارامتر ظرفیت اتلاف انرژی می باشد. ایجاد مفاصل پلاستیک بیشتر می تواند دلیلی بر افزایش ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه های آزمایشگاهی باشد. همچنین مقایسه نمونه های DS و DF برای ارزیابی اثر اصطکاک که به واسطه پیش تنیدگی در نیروی پیچ به سیستم اضافه شده است نشان می دهد که پیش تنیده کردن پیچ اتصال شانه ای پیشنهادی در دیتایل نمونه DS می توان مقاومت نهایی را به مقدار ۷٪ در ناحیه فشاری و ۴٪ در ناحیه کششی افزایش دهد. همچنین ظرفیت اتلاف انرژی نیز به مقدار حدودی ۴٪ افزایش داشته است.

نمونه آزمایشگاهی S60 در بارگذاری چرخه ای نشان داد که سیستم اتصال پیچ و مهره ای پیشنهادی می تواند باعث کاهش قابل توجه تمرکز تنش در اتصال میراگر به المان های سازه ای شده و از گسیختگی در ناحیه اتصال بطور کامل جلوگیری کند. ایجاد مفصل پلاستیک در ناحیه اتصال میراگر دایره ای به اتصال پیچی نشان دهنده ی عملکرد مناسب این اتصال و جلوگیری از گسیختگی می باشد.

منابع

- [1] Kelly, James M., R. I. Skinner, and A. J. Heine. "Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures." *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* 5, no. 3 (1972): 63-88.
- [2] Bergman, D. M. Goel, S. C. (1987). Evaluation of cyclic testing of steel plate devices for added damping and stiffness. Report No. UMCE87-10, The University of Michigan, MI, USA.
- [3] Tsai, Keh-Chyuan, Huan-Wei Chen, Ching-Ping Hong, and Yung-Feng Su. "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction." *Earthquake spectra* 9, no. 3 (1993): 505-528.
- [4] TahamouliRoudsari, Mehrzad, Eslamimanesh, M.B., Entezari, A.R., Noori, O. and Torkaman, M., Experimental Assessment of Retrofitting RC Moment Resisting Frames with ADAS and TADAS Yielding Dampers, *Structures*, 14, 75-87, 2018.
- [5] Aghlara, Reza, Mahmood Md Tahir, and Azlan Bin Adnan. "Experimental study of pipe-fuse damper for passive energy dissipation in structures." *Journal of Constructional Steel Research* 148 (2018): 351-360.
- [6] Utomo, Junaedi, Muslinang Moestopo, Adang Surahman, and Dyah Kusumastuti. "Estimating the ultimate energy dissipation capacity of steel pipe dampers." *Procedia Engineering* 125 (2015): 1101-1107.
- [7] Amiri, Hossein Ahmadi, Esmail Pournamazian Najafabadi, and Homayoon E. Estekanchi. "Experimental and analytical study of Block Slit Damper." *Journal of Constructional Steel Research* 141 (2018): 167-178.
- [8] Eskandari, M., and Esmail Pournamazian Najafabadi. "Experimental and analytical study of telescopic lead yielding damper." *Journal of Constructional Steel Research* 150 (2018): 371-383.
- [9] Maleki, Shervin, and Saman Bagheri. "Pipe damper, Part I: Experimental and analytical study." *Journal of Constructional Steel Research* 66, no. 8-9 (2010): 1088-1095.
- [10] Maleki, Shervin, and Saman Bagheri. "Pipe damper, Part II: Application to bridges." *Journal of Constructional Steel Research* 66, no. 8-9 (2010): 1096-1106.
- [11] Verki, Amir Masoumi, and Adolfo Preciado. "Experimental and analytical investigations of enhanced semi-rigid connections with dual pipe dampers." In *Structures*, vol. 33, pp. 3765-3778. Elsevier, 2021.
- [12] Mahjoubi, Saeed, and Shervin Maleki. "Seismic performance evaluation and design of steel structures equipped with dual-pipe dampers." *Journal of Constructional Steel Research* 122 (2016): 25-39.
- [13] Abdollahiparsa, Hossein, Behnam Mahboubi, Alireza Zohari, and Saeid Abdollahiparsa. "Seismic behavior of braced steel frames with pipe dampers." *Advances in Structural Engineering* 24, no. 8 (2021): 1526-1538.
- [14] Cheraghi, Abdullah, and Seyed Mehdi Zahrai. "Cyclic testing of multilevel pipe in pipe damper." *Journal of Earthquake Engineering* 23, no. 10 (2019): 1695-1718.
- [15] Azandariani, Mojtaba Gorji, Ali Gorji Azandariani, and Hamid Abdolmaleki. "Cyclic behavior of an energy dissipation system with steel dual-ring dampers (SDRDs)." *Journal of Constructional Steel Research* 172 (2020): 106145.
- [16] Guo, Wei, Xueyuan Chen, Yujie Yu, Dan Bu, Shu Li, Wenbin Fang, Xingye Wang, Chen Zeng, and Yang Wang. "Development and seismic performance of bolted steel dampers with X-shaped pipe halves." *Engineering Structures* 239 (2021): 112327.
- [17] Cheraghi, Abdullah, and Seyed Mehdi Zahrai. "Innovative multi-level control with concentric pipes along brace to reduce seismic response of steel frames." *Journal of Constructional Steel Research* 127 (2016): 120-135.
- [18] Zahrai, Seyed Mehdi, and Abdullah Cheraghi. "Reducing seismic vibrations of typical steel buildings using new multi-level yielding pipe damper." *International Journal of Steel Structures* 17, no. 3 (2017): 983-998.
- [19] Kiani, B. K., & Hashemi, B. H. (2021). Development of a double-stage yielding damper with vertical shear links. *Engineering Structures*, 246, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112959>
- [20] Pan, P., Cao, Y., Wang, H., & Sun, J. (2020). Development of double-stage yielding coupling beam damper. *Journal of Constructional Steel Research*, 172, 106147. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106147>

- [21] Sun, T., Liu, Y., Dai, K., Camara, A., Lu, Y., & Wang, L. (2024). Experimental and analytical studies on a novel double-stage coupling damper. *Thin-Walled Structures*, 195, 111324. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.111324>
- [22] Qiu, C., Liu, J., Jiang, T., & Du, X. (2023). Tests of double-stage SMA slip friction damper. *Engineering Structures*, 288, 116171. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116171>
- [23] Feng, W. H., Xu, Z. M., Yin, S., Sun, J. X., Zheng, B. L., & Wang, S. J. (2023). Weathering steel damper and its application: A case study for double-column piers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 173, 108160. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108160>
- [24] Farsi, A., H. R. Amiri, and SH Dehghan Manshadi. "An innovative C-shaped yielding metallic dampers for steel structures." In *Structures*, vol. 34, pp. 4254-4268. Elsevier, 2021.
- [25] Lie, Wenchen, Congxiao Wu, Weili Luo, Changgen Wu, Changhong Li, Dingbin Li, and Congyong Wu. "Cyclic behaviour of a novel torsional steel-tube damper." *Journal of Constructional Steel Research* 188 (2022): 107010.
- [26] Rousta, Ali Mohammad, Mojtaba Gorji Azandariani, Masoud Amin Safaei Ardakani, and Sohrab Shoja. "Cyclic behavior of an energy dissipation system with the vertical steel panel flexural-yielding dampers." In *Structures*, vol. 45, pp. 629-644. Elsevier, 2022.
- [27] Ferraioli, Massimiliano, Gennaro Di Lauro, Pasquale Crisci, Gianfranco Laezza, Angelo Lavino, and Carolina Bellantoni. "Seismic retrofit of a RC building using metallic yielding dampers: a case study." *Procedia Structural Integrity* 44 (2023): 982-989.
- [28] Feng, Huan, Fangyuan Zhou, and Hongping Zhu. "Proposing a butterfly-liked metallic damper for passive energy dissipation in structures." *Journal of Constructional Steel Research* 187 (2021): 106962.
- [29] Kim, Jinwoo, Susumu Kuwahara, and Hae-Yong Park. "Mechanical characteristics of circular hollow section damper under bidirectional cyclic loading." *Journal of Constructional Steel Research* 194 (2022): 107307.
- [30] Kaveh, A., Hoseini Vaez, S. R., Hosseini, P., & Abedini, H. (2020). Weight minimization and energy dissipation maximization of braced frames using EVPS algorithm. *Int J Optim Civil Eng*, 10(3), 513-29.
- [31] American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products. ASTM Standard A370-02 2002. Philadelphia, PA.
- [32] ISO 898-1: Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel. Part 1: Bolts, screws and studs. Fourth ed. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization (CEN); 2009.
- [33] ATC-24 "Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures", (1992), Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- [34] GanjiMorad, S., Oghabi, M., & TahamouliRoudsari, M. (2023, November). Experimental investigation of rigid khorjini connections using reduced beam sections with diagonal and horizontal-vertical stiffeners. In *Structures* (Vol. 57, p. 105101). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105101>
- [35] TahamouliRoudsari, M., H. Jamshidi K., Torkaman, M., & S. Ganji M. (2018, November). Experimental and numerical investigations of rigid IPE beam connections with drilled flange and web stiffener. In *Structures* (Vol. 16, pp. 303-316). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.10.008>