

Experimental evaluation of I-shaped beam-to-hollow circular column external diaphragm connections

Mehrzad TahamouliRoudsari ^{1*}, Mehdi Kahrizi ², Mohsen Fathi ³, Amirreza Darvishpour ³, Mohammadhadi Farhadi ³, Mehdi Mohebi ³, Mehrdad Salehi basir ³, Zahra Mohammadi ³

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

²- Ph. D in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

³- MSc Student in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

ABSTRACT

With their wide range of applications in the design and construction of steel structures, rigid connections are among the most prevalent types of connections. In many cases, hollow circular columns are used as a component in moment resisting frames. Circular columns have a wide range of applications, primarily due to their high flexural strength around the principal perpendicular axes, their ductility, energy dissipation, and low susceptibility to local buckling. These hollow sections are available and used in two forms: rolled sections and sections manually manufactured using plates. The most important weak point of these sections is when they are used in moment resisting frames and structures located in areas with a high level of seismicity. In these cases, design standards necessitate the use of continuity plates along the beam's flanges. However, due to the inaccessibility of the inner spaces of these types of columns, using continuity plates is either impossible or very difficult. This study introduces an external diaphragm connection between the I-shaped beam and hollow circular column which uses continuity plates outside the section (column). Through an experimental investigation, the behavior and strength of welded and bolted connections are evaluated under cyclic loading. The results show that the proposed detail possesses suitable strength and ductility, and provides the connection with a suitable level of rigidity. The connection satisfies the specifications of existing seismic codes.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 November 2021

Revise Date: 26 February 2022

Accept Date: 04 March 2022

Keywords: External diaphragm connection, circular columns, welded and bolted connections, experimental study, cyclic loading

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2022.316844.2655

*Corresponding author: Mehrzad TahamouliRoudsari.

Email address: tahamouli@iauksh.ac.ir

مطالعه آزمایشگاهی اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستونهای دایره ای توخالی

مهرزاد تحملی رودسری^{۱*}، مهدی کهریزی^۲، محسن فتحی^۳، امیر رضا درویش پور^۳، محمدهادی فرهادی^۲، مهدی محبی^۳

مهرداد صالحی بصیر^۳، زهرا محمدی^۳

۱- دانشیار گروه عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

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

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

استفاده از ستون های دایره ای شکل در سازه های فولادی به دلیل مقاومت خمشی بالا حول هر یک از محورهای اصلی متعامد، انعطاف پذیری بالا و قابلیت اتلاف انرژی و حساسیت کم به کمانش موضعی، کاربرد وسیعی دارند. این مقاطع توخالی اغلب به صورت نورد شده و یا ساخته شده با ورق مورد استفاده قرار می گیرند. مهم ترین ضعف این مقاطع مربوط به حالتی است که از این مقاطع به عنوان بخشی از قابهای خمشی در مناطق با لرزه خیزی زیاد استفاده شود. در این حالت علیرغم الزام آیین نامه ها به اجرای ورق پیوستگی در امتداد بالهای تیر، به علت شکل بسته ستونهای دایره ای نسبت به سایر مقاطع و عدم دسترسی به درون آنها برای جوشکاری، اجرای ورق های پیوستگی ممکن نبوده و یا با دشواری های فراوانی همراه می باشد. در این مقاله، یک نوع اتصال دیافراگم خارجی بین تیر I شکل و ستون دایره ای توخالی معرفی و در یک مطالعه آزمایشگاهی، رفتار و مقاومت آن در حالات مختلف جوشی و پیچی، تحت اثر بارگذاری چرخه ای مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج نشان می دهد اتصال مذکور عملکرد مناسبی در تامین صلبیت اتصال داشته و از مقاومت و شکل پذیری مناسبی برخوردار می باشد و می تواند در ساختمانهای فولادی با ستون های دایره ای مورد استفاده قرار گیرد. همچنین اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی مضاعف ضمن دارا بودن مقاومت مطلوب دارای بیشترین مقدار سختی موثر، شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی می باشد ضمن اینکه به دلیل استفاده از پیچ و مهره اجرای آن آسانتر بوده و قابلیت تعویض سریع، پس از آسیب های ناشی از زلزله را دارد. نتایج این بررسی نشان داد استفاده از جوش در این نوع اتصال، در حالت ستون دایره ای توخالی، چندان مطلوب نیست.

کلمات کلیدی: اتصال دیافراگم خارجی، ستونهای دایره ای، اتصالات جوشی و پیچی، مطالعه آزمایشگاهی، بارگذاری چرخه ای

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jscce.2022.316844.2655	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jscce.2022.316844.2655	۱۴۰۱/۰۴/۳۱	۱۴۰۰/۱۲/۱۳	۱۴۰۰/۱۲/۱۳	۱۴۰۰/۱۲/۰۷	۱۴۰۰/۰۹/۰۵
			مهرزاد تحملی رودسری		*نویسنده مسئول:	
			tahamouli@iauksh.ac.ir		پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

اتصالات میان اعضاء، مهمترین جزء سازه های فولادی است که وظیفه‌ی انتقال نیروها و لنگرهای اعضاء فولادی به یکدیگر و به تکیه‌گاه‌ها را بر عهده دارد. از طرفی دیگر یکی از مهم ترین اتصالات مورد استفاده در سازه‌های فولادی اتصال صلب است که به دلایل مختلف به طور وسیعی در سازه های فولادی طراحی و اجرا می گردد. اگر دو عضو خمشی مانند تیر و ستون با اتصال صلب بهم متصل شوند، لنگر ایجاد شده مابین آنها می‌تواند از طریق اتصال صلب به دیگری منتقل گردد. بنابراین بارزترین ویژگی اتصالات صلب قابلیت انتقال لنگر می‌باشد. بر طبق آیین‌نامه‌های طراحی، در صورتی که مقدار نیروی انتقالی از تیر به ستون زیاد بوده و یا ضخامت ورق ستون کم باشد، به منظور جلوگیری از اثرات موضعی نظیر لهیدگی، کمانش و ... ، باید در راستای ورق‌های بال تیر، ورق‌های پیوستگی در داخل ستون اجرا شود [۱].

از سوی دیگر مقاطع قوطی و دایره ای شکل توخالی غالباً به عنوان بخشی از قاب خمشی در مناطق لرزه خیز دنیا مانند کشورهای آسیایی و از جمله ایران بکار برده می شود [۲]. انعطاف پذیری بالا و قابلیت اتلاف انرژی به دلیل حساسیت کم به کمانش موضعی و داشتن مقاومت پس کمانشی، این مقاطع را برای ستون های لرزه ای قاب خمشی مناسب می سازد. [۳] با وجود تمامی مزایای یاد شده ، محدودیت هایی به علت شکل بسته ستونهای قوطی و دایره ای نسبت به سایر مقاطع وجود دارد که از جمله آنها می توان به عدم دسترسی به درون آنها برای جوشکاری و اجرای ورق های پیوستگی و به دنبال آن دشواری های بازرسی جوش اشاره نمود. [۱] در ستون های قوطی ساخته شده با ورق می توان با تمهیداتی ورق های پیوستگی را در داخل مقطع اجرا نمود اما در پروفیل های قوطی و دایره ای مورد استفاده برای ستون اجرای ورق های پیوستگی عملاً غیر ممکن می باشد.

بررسی رفتار دینامیکی قابهای خمشی در سازه های چند طبقه فولادی از موضوعات مهمی است که در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. بیشتر تمرکز این تحقیقات بر روی اتصالات و جزئیات اجرایی آنها می باشد. یک نوع ویژه از اتصال تیر به ستون با نام دیافراگم خارجی یا اتصال یقه ای توسط سوی و یاماناری [۴] معرفی شده است. در این نوع اتصال ابتدا مقطع ستون برش داده شده و سپس دو ورق فولادی (صفحات دیافراگم) به ستون جوش می گردد. بنابر این ستون در محل تراز طبقات به صورت منقطع و سه تکه ای اجرا می شود. در این نوع اتصال به دلیل برشکاری ستون ها و حجم زیاد جوشکاری در محل اتصال و تراز سقف طبقات، ضعف اساسی در سازه ایجاد می شد و جوشهای نزدیک بال کششی تیرها دچار ترک خوردگی می شدند. عملکرد نامناسب این نوع اتصالات در زمان وقوع زلزله کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ نیز مشاهده شده بود.

در مطالعه دیگری سوی و همکاران [۵]، نوع دیگری از اتصال با دیافراگم خارجی، که یک اتصال نیمه صلب بود را معرفی نمودند. در این بررسی، رفتار غیر خطی لرزه ای قاب های فولادی با دیافراگم خارجی، با ایجاد تنوع در تعداد دهانه و طبقات بررسی شدند نتایج حاصل از این پژوهش با مقایسه پارامتر میزان نسبت ظرفیت لنگر نهایی اتصال به لنگر پلاستیک تیر متصل به آن بررسی و مقایسه گردیده است. ونگ و همکاران [۶] در یک مطالعه آزمایشگاهی، رفتار لرزه ای اتصال تیر به ستون دایروی با دیافراگم خارجی، تحت بارگذاری چرخه ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که در قاب های با پائل ضعیف، حالات شکست متفاوت بوده و کمانش برشی و اعوجاج در دیافراگم خارجی رخ می دهد. همچنین شکست دیافراگم عمدتاً وابسته به ضخامت ستون بوده و کم کردن عرض دیافراگم از یک حد معین باعث تخریب دیافراگم قبل از تغییر شکل پلاستیک می گردد.

سو و چن [۷] در پژوهشی با در نظر گرفتن این واقعیت که مقاطع دایره ای تو خالی دارای مقاومت بیشتری نسبت به مقاطع باز در برابر کمانش پیچشی می باشند، به بررسی رفتار مدل دو بعدی و سه بعدی یک اتصال با دیافراگم خارجی پرداختند. در این پژوهش ضمن بررسی نمودارهای نیرو- تغییر مکان، مدهای شکست اتصال مورد بررسی قرار گرفت. ونگ و همکاران [۸] نیز رفتار لرزه ای یک اتصال با ستون دایروی و دیافراگم خارجی را تحت بارگذاری چرخه ای مورد آزمایش قرار دادند. آیتم های مورد نظر و متغیرها در این آزمایش قطر و ضخامت ستون، عرض دیافراگم، عرض بال تیر، نوع بارگذاری و نوع جوش بین ستون و دیافراگم می باشد. نتایج این بررسی

حاکمی از آن است که حالت شکست از ضخامت ستون مستقل نبوده و یک اتصال با پانل ضعیف، دارای عملکرد و شکل پذیری بهتری نسبت به یک اتصال با تیر ضعیف می باشد.

تحقیقات گسترده ای نیز بر روی رفتار اتصال با دیافراگم خارجی در ستونهای دایره ای پر شده با بتن به انجام رسیده است. از جمله این موارد می توان به تحقیقات ژانگ و همکاران [۹] اشاره نمود. در این تحقیق نویسندگان یک نمونه قاب را تحت بارگذاری محوری مداوم در ستونها و بارگذاری چرخه ای در انتهای تیرها (محل اتصال تیر به ستون) قرار داده اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که حالت های شکست، تحت تاثیر و ناشی از نحوه توزیع تنش می باشند. همچنین بر اساس ارزیابی نوع شکست اعضای قاب، کمناش موضعی در تیرها و تغییر شکل برشی در پانل های اتصال به عنوان عوامل شکست معرفی گردیده اند.

فادن و مک کورمیک [۱۰] با بررسی مقاطع سازه ای توخالی (HSS) یک روش طراحی برای اتصال خمشی مقاطع HSS به HSS با جوش کامل در حالات دیافراگم داخلی و خارجی ارائه نمودند. در این پژوهش، آزمایشات تجربی برای این نوع اتصال در حالاتی که عرض تیر با عرض ستون برابر بوده و نیز برابر نباشد، با اعمال بارهای چرخه ای تا لحظه شکست اتصال انجام گردیده است. همچنین مدل المان محدود ۲۴ نمونه با دیافراگم داخلی و ۲۴ نمونه با دیافراگم خارجی این اتصال نیز تحلیل گردید. رفتار هیستریزیک نشان داد که این اتصالات برای جداسازی غیر الاستیک عضو تیر و چشمه اتصال دارای محدودیت هستند. همچنین تمام مدل های اتصال با دیافراگم ورق نشان دادند که هر دو اتصال خمشی مذکور در حالات تقویت شده داخلی و خارجی، قادر به رسیدن به یک ظرفیت لنگر معمولی بیشتر از واحد هستند.

بنا به اظهار کین و همکاران [۱۱]، اتصال تیر به ستون به عنوان یک عنصر کلیدی برای حفظ یکپارچگی سازه فولادی در شرایط بارگذاری خرابی پیش رونده به شمار می رود. به همین دلیل در یک مطالعه آزمایشگاهی، دو قاب فولادی با مقیاس کامل با جزییات اتصال مختلف و با اعمال حذف ستون مورد مطالعه قرار دادند. یک نمونه دارای اتصالات رایج جوشی و دیگری دارای اتصالات اصلاح شده پیچی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که اتصالات اصلاح شده پیچی می تواند موجب تاخیر در وقوع شکست فلنج تحتانی اتصال گردد لذا این اتصال می تواند به طور کامل و بدون کاهش مقاومت و شکل پذیری دارای عملکرد مناسبی باشد. در این مطالعه نشان داده شد که استفاده از سیستم اتصال اصلاح شده پیچی می تواند برای افزایش مقاومت فروریزش قابهای فولادی به نحو موثری مورد استفاده قرار گیرد.

یانگ و همکاران [۱۲] معتقدند اتصال conXL^۲ یک اتصال قاب خمشی دو محوره استاندارد و مقرون به صرفه است. این اتصال می تواند برای بهره وری بیشتر ساخت و ساز، در حالتی که ستون قوطی فلزی با بتن پر نشده باشد، مورد استفاده قرار گیرد. آنها در یک مطالعه عددی، یک مدل اجزاء محدود غیر خطی ترکیبی را با استفاده از نرم افزار ABAQUS مورد مطالعه قرار دادند. به همین منظور پس از صحت سنجی مدل المان محدود، ۴ نمونه مختلف دیگر در حالت پر نشده با بتن، شامل یک اتصال داخلی دو بعدی، یک اتصال داخلی سه بعدی، یک اتصال خارجی سه بعدی و یک اتصال گوشه سه بعدی، تحت اثر بارهای چرخه ای یکطرفه و دو طرفه مورد بررسی قرار دادند. رفتار هیستریزیک در سطوح مختلف بار محوری در ستون تحلیل گردید. همچنین مقایسه عملکرد لرزه ای اشکال مختلف اتصال و رابطه بار قائم - جابجایی در انتهای تیر به عنوان نیروی برشی طبقه در مقابل جابجایی نسبی یک ستون، با توجه به اصل بقای انرژی بیان شد.

یانگ و همکاران [۱۳] در یک مطالعه آزمایشگاهی و المان محدود، استحکام نهایی ورق های تیپ X طولی در اتصالات مقاطع دایره ای توخالی تقویت شده با سخت کننده های حلقه ای خارجی (PCE) را تحت اثر ممان های خمشی داخل صفحه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه آزمایشات استاتیکی بر روی چهار نمونه با مقیاس بزرگ تحت بارهای متقارن و نامتقارن صورت گرفت. در آزمایشات انجام شده، کمناش محوری محلی و همچنین شکست های ناشی از تغییر شکل های پلاستیک عرضی در اتصالات PCE مشاهده شد. بعلاوه تحلیل المان محدود نشان داد که سخت کننده حلقه ای خارجی می تواند به نحو موثری موجب تقویت اتصال گردند.

Hollow structural sections

² CONXL connection

³ Longitudinal Xtype plate-to-circular hollow section connections reinforced by external ring stiffeners

دو و همکاران [۱۴] ستونهای مربعی فولادی پر شده با بتن و تیرهای مرکب با دیافراگم خارجی، تحت اثر بارهای چرخه ای را بررسی نمودند. در ادامه مطالعات برای بررسی تاثیر پارامترهای نسبت عرض به ضخامت ستون، مقاومت بتن ناحیه اتصال، نسبت بار محوری ستون و نسبت عمق به عرض پانل اتصال بر ظرفیت برش و تغییر شکل در ناحیه چشمه اتصال انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داد نسبت عرض به ضخامت ستون، نسبت بار محوری ستون و نسبت عمق به عرض در ناحیه پانل اتصال تاثیر قابل توجهی بر عملکرد برشی پانل اتصال در اتصالات مرکب دارد در حالی که مقاومت بتن هسته تاثیر کمی بر روی آن دارد.

اتصال تیر به ستون قوطی از طریق دیافراگم، یک نوع اتصال رایج است که به طور گسترده ای در کشورهای آسیایی مورد استفاده قرار می گیرد با این حال در اتصال با طرح فلنج های جوشی مرسوم، اغلب جوش اتصال فلنج پایین به دیافراگم به علت کیفیت نامناسب جوشکاری می شکند. به همین دلیل، یو و همکاران [۱۵] نوع جدیدی از اتصال تیر به ستون قوطی با اتصالات متفاوت در فلنج های فوقانی و تحتانی ارائه نمودند. در این مطالعه نوع جدیدی از اتصالات با فلنج فوقانی جوشی و فلنج تحتانی پیچی به منظور جلوگیری از شکست زودرس در اتصالات فلنج تحتانی ارائه شده است که روند ساخت این اتصال جدید راحت تر از شکل مرسوم آن است. در این مطالعه به منظور بررسی خواص مکانیکی و رفتار لرزه ای اتصال، سه نمونه طراحی و آزمایش شدند و حالات شکست، منحنی های هیسترتیک، منحنی های استحکام و قابلیت اتلاف انرژی این اتصالات مورد بررسی قرار گرفت. سپس با شبیه سازی اجزاء محدود، الگوی تغییر شکل و عملکرد باربری این نوع اتصال در مقایسه با فلنج های جوشی مرسوم ارزیابی شد.

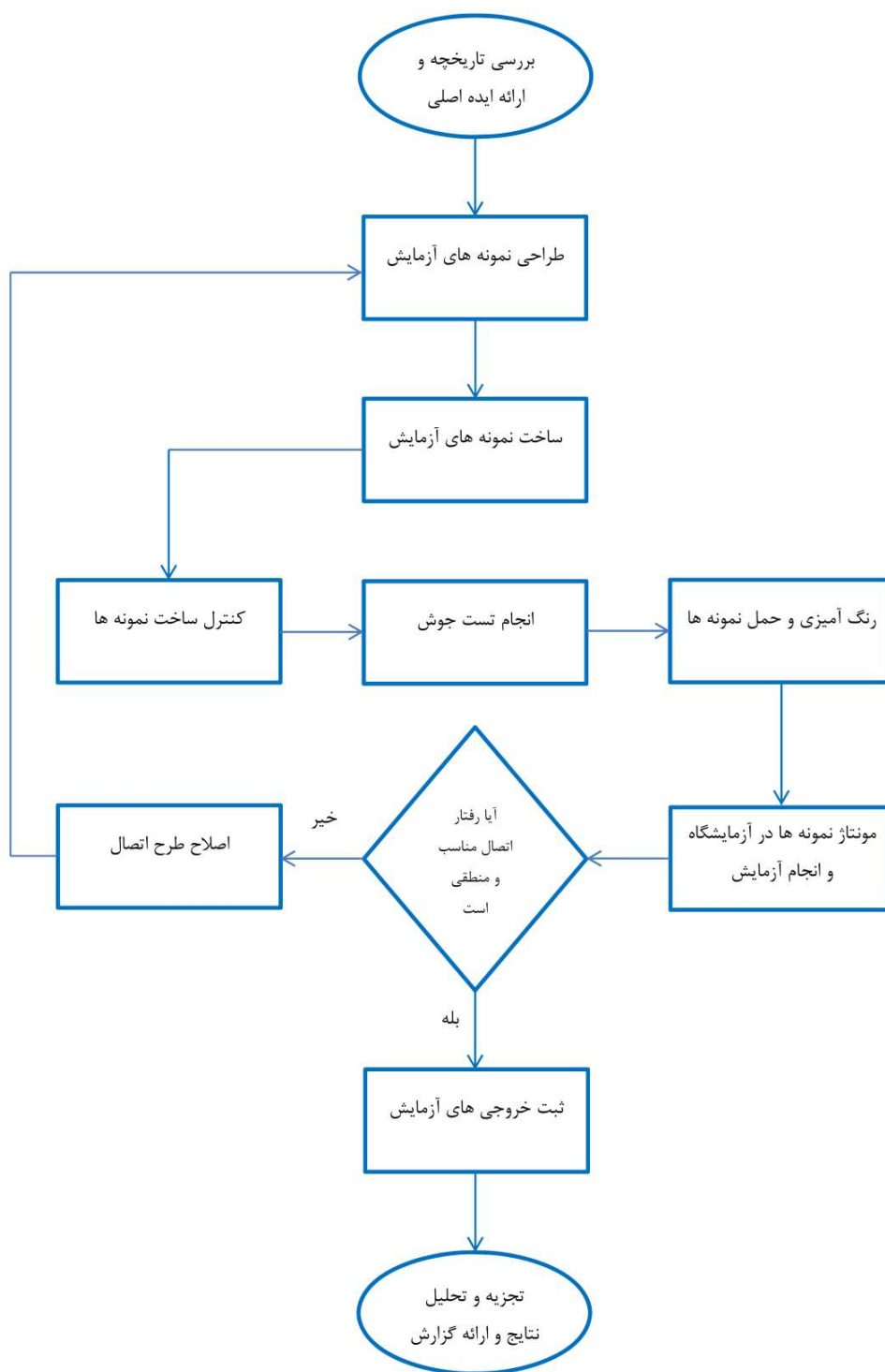
پاچیده و همکاران [۱۶] در یک مطالعه تجربی و عددی، ستون لوله فولادی پر شده با بتن و محصور شده توسط پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) را ارزیابی نمودند. ایده اصلی این مطالعه استفاده از یک ستون بتنی مرکب، با مقاومت و شکل پذیری بالا می باشد. برای این منظور در یک برنامه آزمایشی سه ستون تحت بارگذاری فشاری محوری یکنواخت مورد آزمایش قرار گرفتند. علاوه بر این، نمونه ها با استفاده از روش اجزای محدود و با استفاده از نرم افزار ANSYS نیز تجزیه و تحلیل شده و ظرفیت نهایی هر ستون مرکب آزمایش شده با ظرفیت نظری مدل عددی پیشنهادی مقایسه شده است. نتایج نشان داد که سازگاری و تطابق خوبی بین نمونه های آزمایشی و تحلیل عددی وجود دارد.

پاچیده و همکاران [۱۷] در مطالعه دیگری تاثیر افزایش دما بر عملکرد ستون های فولادی لوله ای دو پوسته پر شده با بتن و با هندسه منشوری را بررسی نمودند. در این مطالعه ستون های متعددی که هسته های داخلی آن ها مربع، لوزی و دایره ای شکل و بیرون آن ها منشوری با سطح مقطع مربع و دارای شیب ۲۰٫۱ درجه از بالا به پایین بود ساخته شدند. نمونه ها تحت اثر دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، ۲۵۰ درجه سانتیگراد، ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۷۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و سپس تحت بارهای چرخه ای مطابق دستورالعمل ATC-24 قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اگرچه حالت های شکست ستون های با هسته داخلی مربع یا لوزی مشابه یکدیگر است، اما ستون هایی که هسته های داخلی آن ها به صورت دایره ای شکل بود، آسیب های شدیدتری را نسبت به بقیه تجربه کردند. علاوه بر این، نسبت سختی و شکل پذیری اولیه ستون های با هسته داخلی لوزی شکل تقریباً دو برابر بیشتر از سایر ستون ها بود.

تحملی و همکاران [۱۸ و ۱۹] براساس ۱۲ نمونه آزمایشگاهی مقیاس کامل، نوع جدیدی از اتصال صلب تیر I-شکل به ستون لوله ای توخالی و پر شده با بتن ارائه دادند. در این جزییات جدید از ناودانی سخت شده به عنوان یک سخت کننده خارجی استفاده شد. بارگذاری بصورت چرخه ای روی نمونه ها انجام شد و تا وقوع شکست و مشاهده افت در نمودار هیستریزس ادامه یافت. ارزیابی پارامترهای لرزه ای نشان داد که شکل پذیری در اتصال پیشنهادی، نسبت به اتصال مستقیم تیر به ستون توخالی، بیش از ۵۰ درصد و برای ستون پر شده با بتن بیش از ۷۰ درصد افزایش داشته است. سهایی و همکاران [۲۰] براساس مدل سازی عددی مقیاس کامل در نرم افزار آباکوس، روشی را برای طراحی اتصال صلب تیر I-شکل به ستون دایره ای پر شده با بتن توسط ناودانی سخت شده ارائه دادند. با انجام بیش از ۲۰۰ تحلیل چرخه ای و بارافزون، رابطه ای برای ضخامت ناودانی سخت شده، بر اساس ابعاد آن و سایز تیر ارائه شد. ضمناً با ارزیابی ضوابط آیین نامه، حداقل ضخامت ناودانی سخت شده طوری تعیین شد تا در زمره اتصالات صلب قرار گیرد.

پاچیده و همکاران [۲۱] عملکرد لرزه‌ای ستون‌های لوله‌ای فولادی دو پوسته پر شده با بتن و دارای هندسه منشوری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تعدادی نمونه ستون با مقطع داخلی مربع، لوزی و اشکال دایره ای و همچنین مقطع بیرونی با هندسه منشوری (مقطع مربع) که شیب آن از بالا به پایین با شیب ۲,۱ رشد می کند ساخته شدو تحت پروتکل بارگذاری تعیین شده توسط ATC-24 قرار گرفتند. نتایج نشان داد، حالت شکست ستون‌های با مقطع داخلی مربع و لوزی مشابه است، اما نمونه‌های با مقطع دایره‌ای آسیب شدیدتری متحمل شدند. علاوه بر این، سختی و شکل‌پذیری اولیه نمونه‌های با مقطع داخلی لوزی بیشتر از نمونه‌های دیگر بود. نتیجه مهم دیگر آنکه ستون با مقطع داخلی دایره ای رفتار پایداری از خود نشان داد و در مقایسه با سایر ستون ها دچار کاهش ناگهانی ظرفیت جذب انرژی نگردید.

در سالهای اخیر تحقیقات قابل ملاحظه ای در مورد رفتار لرزه ای چشمه اتصال و شکل پذیری آن در ستون I شکل انجام شده و در آنها، برای تامین سختی و تقویت چشمه اتصال، استفاده از سخت کننده های خارجی پیشنهاد گردیده است. مراجع و آیین‌نامه‌ها نیز روش‌هایی برای اجرای ورق پیوستگی در ستون قوطی ارائه کرده اند اما در این مراجع درباره جایگزینی سخت کننده های خارجی بجای ورق پیوستگی موردی ذکر نشده است. در مورد ستون دایره ای نیز تحقیقات کمی صورت گرفته که اغلب نیز مطالعات عددی و نرم افزاری هستند. به همین علت در این مقاله سعی می گردد جزئیات ساده و کاربردی جهت اجرای اتصالات صلب بین تیر I شکل و ستون دایره ای با اجرای ورق های پیوستگی در خارج از مقطع ارائه گردد به نحوی که عملکرد مناسبی در تامین صلبیت اتصال داشته و نیز پاسخگوی نیازهای آیین نامه های لرزه ای موجود باشد. در شکل ۱ نمودار روندنما و مراحل انجام مطالعه آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۱: نمودار روندنمای مراحل انجام مطالعه آزمایشگاهی

۲- نمونه های آزمایش و مشخصات مصالح

۳ قاب فولادی با اتصال دیافراگم خارجی تیر به ستون و با ابعاد متناسب با امکانات آزمایشگاه سازه ساخته شدند و تحت اثر بار چرخه ای در صفحه قرار گرفته اند. مقاطع مورد استفاده در ساخت نمونه های آزمایشگاهی با توجه به مقاطع موجود در ایران و در محدوده مقاطع مورد استفاده در مطالعات قبلی انتخاب گردیده است [۹ و ۴،۷]. ضخامت ورق ها، ابعاد جوش ها و مشخصات پیچ ها نیز با انجام محاسبات دستی طراحی و انتخاب شده اند [۲۵]. مقاطع انتخابی قبل از ساخت نمونه ها با استفاده از نرم افزار ETABS تحلیل و براساس ترکیب بار LRFD طراحی شدند. نهایتاً قبل از ساخت نمونه ها، ارزیابی اولیه ای در نرم افزار آباکوس انجام شد و به انتهای تیر تا حد ظرفیت لازم اتصال صلب در قابهای با شکل پذیری ویژه (۰،۴ رادیان) جابجایی یکنواخت اعمال و تنش و کرنش پلاستیک در نواحی مختلف کنترل گردید. کلیه نمونه ها در کارخانه اسکلت فلزی و با استفاده از دستگاههای مدرن ساخته شدند. تمامی جوشها به روش های اسپری مواد نافذ و التراسونیک آزمایش و مورد تایید قرار گرفته اند. (شکل ۲).



شکل ۲: مراحل ساخت نمونه ها.

طول ستون ۲۰۰۰ میلیمتر و طول تیر ۱۳۵۰ میلیمتر است. از ستون با مقطع pipe 219.1*8 mm ، به صورت توخالی (فاقد بتن) و تیر با مقطع IPE 180 استفاده شده است. در دو انتهای قاب ۲ عدد ورق با ابعاد 25*440*440 mm نصب گردیده است. این ورق ها با استفاده از ۶ عدد پیچ به قطر ۲۵ میلی متر به صورت اصطکاکی به دو تکیه گاه جانبی کاملاً متصل و مهار شدند. تکیه گاههای جانبی نیز به وسیله پیچ هایی به قطر ۲۵ میلی متر کاملاً به شاسی زیرین متصل و مهار گردید. در جدول ۱ مشخصات و جزییات نمونه های مورد آزمایش نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات نمونه های آزمایش

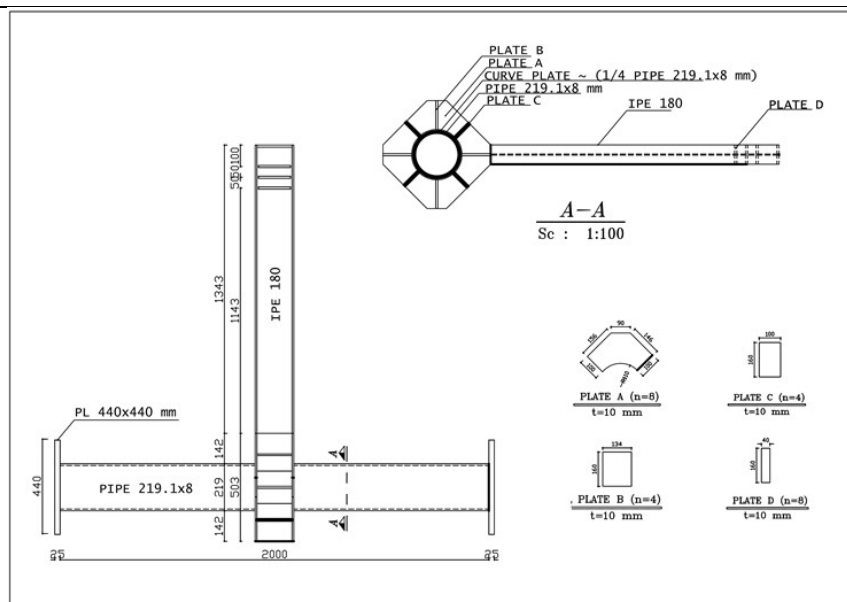
شماره نمونه	نام نمونه	مشخصات نمونه
۱	C1	اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات جوشی
۲	C2	اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی
۳	C3	اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی مضاعف

اتصال دیافراگم خارجی شامل ورق هایی در محیط ستون می باشد که در امتداد بالهای فوقانی و تحتانی تیر اجرا شده اند. در حد فاصل این ورقها ورق های قائم اجرا شده است. به منظور بررسی اثرات بارگذاری و مطالعه تغییر شکل ها، ضخامت کلیه این ورق هایکسان و ۱۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. اتصال دیافراگم خارجی به منظور سهولت اجرا به صورت ۴ قسمت مجزا ساخته شده و سپس در هر نمونه به روشهای متفاوت به یکدیگر متصل و مونتاژ گردیده اند بنابراین مناسب ترین وسیله اتصال برای آن نیز مورد بررسی قرار می گیرد. در نمونه C1 اتصال چهار قسمت دیافراگم با استفاده از جوش های گوشه با بعد ۶ میلیمتر انجام گردید. در نمونه C2 اتصال چهار قسمت دیافراگم با استفاده از پیچ های پر مقاومت A325 (8.8) و به صورت اصطکاکی انجام شده است. نمونه C3 دارای جزئیات اتصال همانند نمونه C2 می باشد با این تفاوت که در این نمونه از ورق های اتصال مضاعف با اتصال پیچی در محل درزهای بالا و پایین دیافراگم و در هر چهار طرف استفاده شده است. در شکل ۳ هندسه و جزئیات نمونه های مورد آزمایش نشان داده شده است.

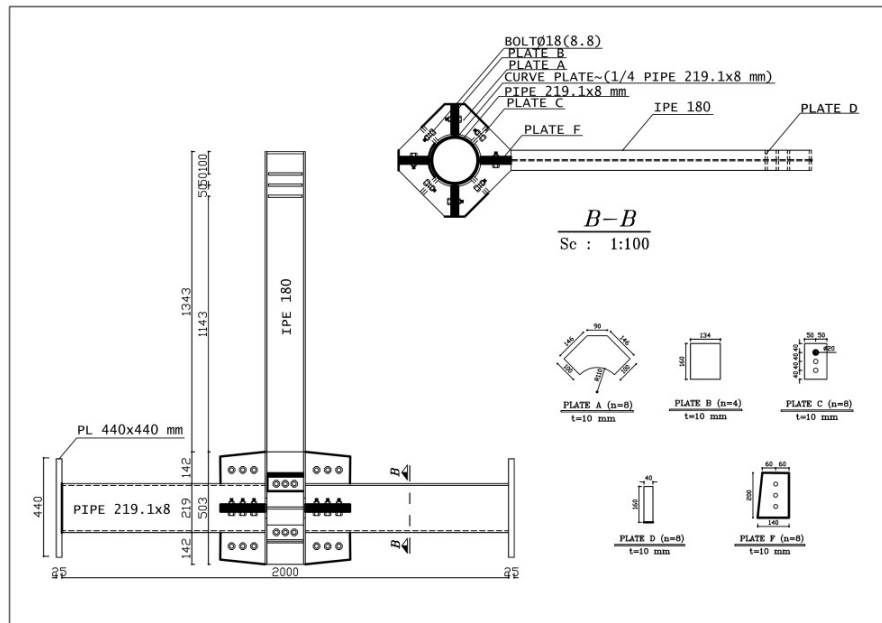
به منظور تعیین مشخصات مصالح، برای پروفیل های فولادی IPE و PIPE تست کشش براساس استاندارد ASTM A370 [۲۲] انجام شد و مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، تنش نهایی و کرنش نهایی بدست آمدند. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات مصالح فولادی

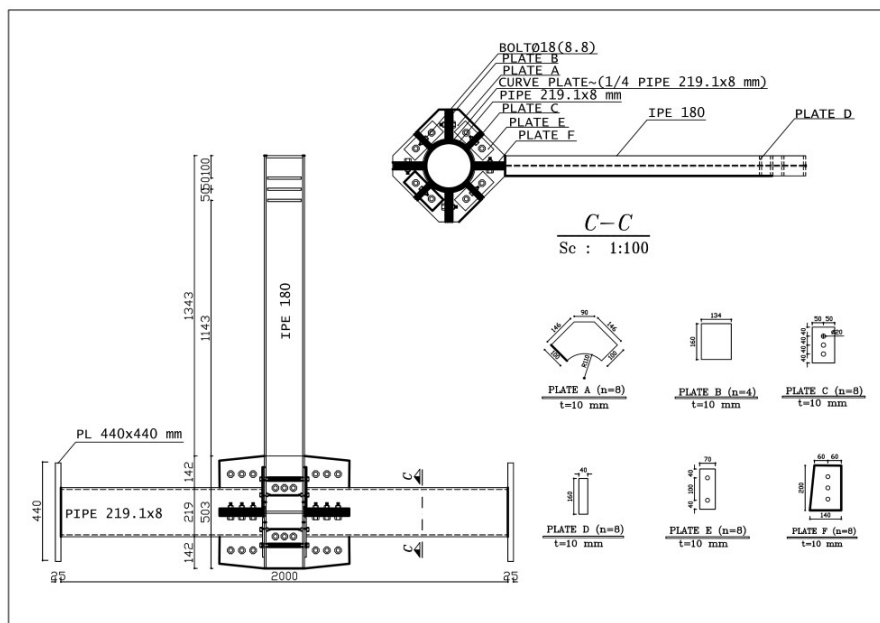
مقطع	جزء مقطع	مدول الاستیسیته (Gpa)	مقاومت حد تسلیم Fy (Mpa)	مقاومت نهایی Fu (Mpa)	ازدیاد طول (%)
IPE180	بال	195	398.2	588.5	20.18
	جان	188	387.7	579.6	19.62
PIPE 219.1*8		192	401.6	624.5	25.30



(a)



(b)

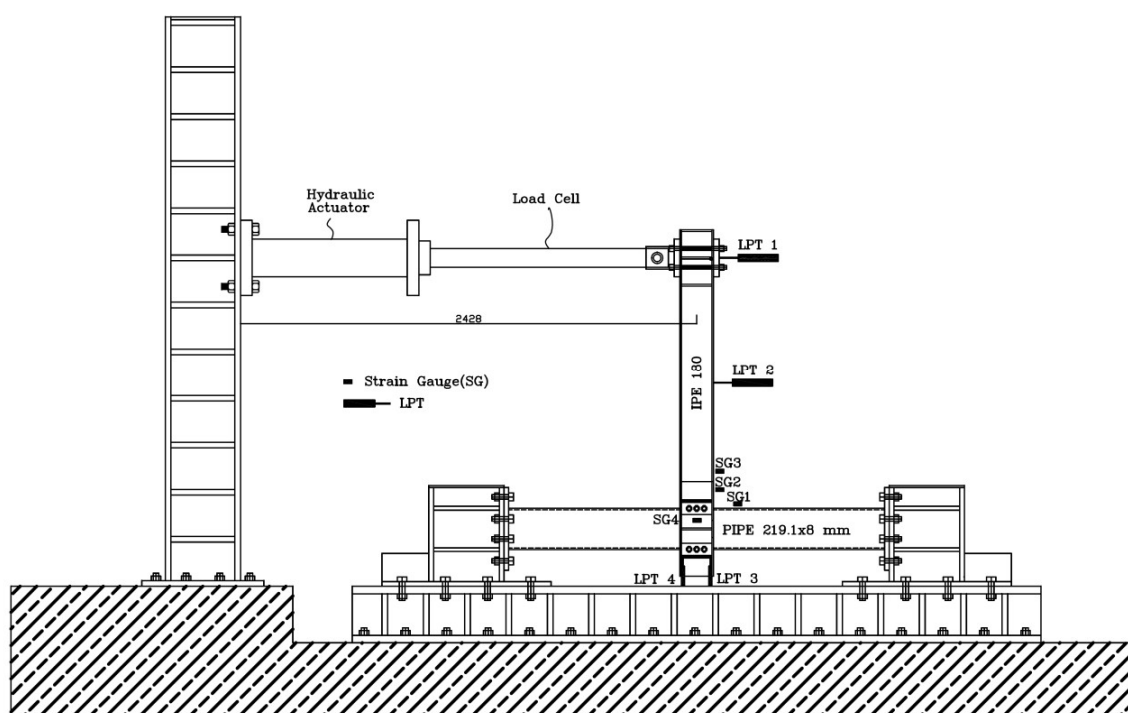


(c)

شکل ۳: هندسه و جزئیات نمونه های آزمایش.

۳- تنظیمات آزمایش

فرآیند آزمایش در آزمایشگاه سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه انجام گردید. جزئیات اجرای آزمایش از جمله سیستم بارگذاری، نحوه مهار قاب، سیستم اندازه گیری نیرو و تغییر شکل های قاب در شکل ۴ نشان داده شده است. بار جانبی توسط یک محرک هیدرولیکی با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلو نیوتن اعمال گردیده است. بارگذاری نمونه ها به صورت چرخه ای و مطابق دستورالعمل آیین نامه AISC 341 [۲۳] انجام گردید (شکل ۵).



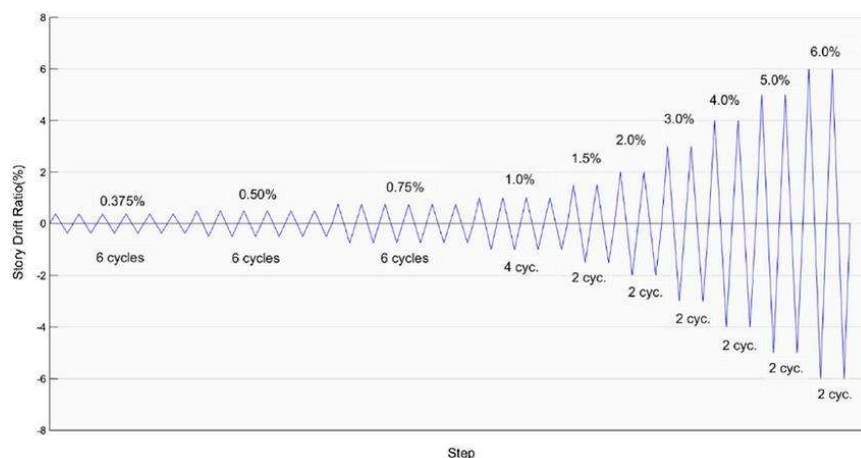
شکل ۴: تنظیمات آزمایش.

آزمایش با کنترل جابجایی انجام گردید. جابجایی جانبی نمونه ها با استفاده از ۲ عدد حسگر LPT^۴ که در قسمت انتهایی تیر و قسمت میانی ارتفاع تیر و نیز ۲ عدد حسگر در قسمت اتصال دیافراگم خارجی (به منظور کنترل دوران) نصب گردیده اند، اندازه گیری گردیده است.

به منظور کنترل و اندازه گیری کرنش در هنگام اعمال بار به قاب، ۴ عدد کرنش سنج YEFLA-5 در قسمت‌های مختلف قاب شامل قسمت بدنه ستون در نزدیکی اتصال، ورق سمت راست اتصال دیافراگم خارجی، بال سمت راست تیر و نیز چشمه اتصال نصب گردیده است.

تکیه گاه تحتانی قاب یک شاسی بسیار قوی می باشد که توسط تعداد زیادی بولت کاملاً به فونداسیون زیر خود متصل و مهار گردیده است. تمام نمونه ها در برابر حرکت خارج از صفحه به وسیله قابهای ثانویه در دوطرف تیر قاب مهار شدند. یک سیستم دریافت داده به صورت مداوم و خودکار جهت ثبت بار و جابجایی مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای اندازه گیری شده شامل نیرو، تغییر مکان و کرنش در نقاط مختلف قاب می باشد. برای هر یک از نمونه ها، پس از رسم نمودار لنگر-جابجایی نسبی قاب، نمودار Backbone و نیز نمودار دو خطی معادل با استفاده از دستورالعمل FEMA 356 [۲۴] رسم گردید و مقادیر سختی، مقاومت، شکل پذیری و سایر پارامترهای مورد مطالعه به وسیله این نمودار محاسبه گردیده است.

^۴Linear Potentiometer Transducer



شکل ۵: دستورالعمل بارگذاری نمونه‌ها [۲۳]

۴- شرح کار آزمایشگاهی و نتایج آزمایش

۴-۱ رفتار نمونه C1

اولین نمونه‌ای که مورد آزمایش قرار گرفت اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره‌ای با استفاده از اتصالات جوشی بود. در شکل ۶ نمونه قاب C1 در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است. نمودار هیستریزیس لنگر-جابجایی نسبی قاب C1 و نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل آن نیز در شکل ۷ نشان داده شده است.



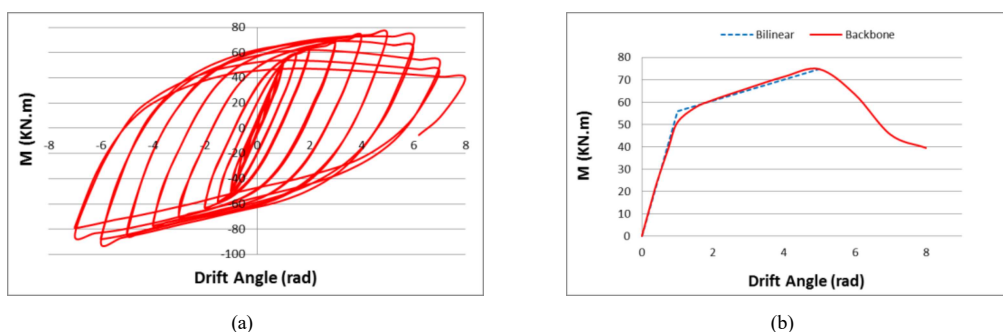
شکل ۶: نمونه قاب C1 در مراحل مختلف بارگذاری و تغییر شکل‌های پلاستیک تیر.

برای رسم این نمودارها مقدار لنگر از حاصلضرب نیروی اعمال شده توسط جک به انتهای تیر در فاصله تا بر ستون و همچنین جابجایی نسبی نیز از تقسیم مقدار جابجایی به فاصله از محل اعمال بار تا بر ستون محاسبه گردیده است. نمودار Backbone از نمودار هیستریزیس استخراج گردیده و سپس با یک نمودار دوخطی تقریب زده می‌شود. رسم نمودار دوخطی به نحوی انجام می‌شود که سطح

زیر نمودار ساده شده با نمودار اصلی یکسان باشد و نیز نمودار دوخطی، منحنی Backbone را طوری قطع کند که برش نقطه برخورد برابر 0.6 برش نقطه تسلیم باشد.

در این نمونه با اعمال بارگذاری چرخه ای، تا دوران 1% هیچگونه آسیبی در تیر، ستون و اتصال مشاهده نگردید. از این مقدار دوران به بعد به دلیل تمرکز تغییر شکل در انتهای تیر و نزدیکی اتصال یقه ای، پوسته شدن رنگ در قسمت بالهای تیر اتفاق افتاد. با افزایش جابجایی و در دوران $1/8\%$ اولین تغییرشکل ها در بال تیر مشاهده شد. با افزایش جابجایی، کمانش موضعی در جان تیر گسترش یافت و مفصل پلاستیک در تیر به صورت کامل تشکیل گردید.

هیچگونه ترک و یا شکستی در ستون، ورق های اتصال و جوش ها مشاهده نگردید و تمرکز خرابی و تغییر شکل پلاستیک در تیر می باشد لذا عملکرد اتصال مناسب ارزیابی می گردد.



شکل ۷: نمونه C1. (a) نمودار هیستریزس لنگر - دوران (b) نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل

نمونه C1 دارای سختی موثر $55/53$ KN.m می باشد. مطابق نمودار لنگر- دوران، شروع تسلیم نمونه در دوران $1/0.5\%$ اتفاق می افتد. با شروع تسلیم نمونه، تشکیل و توسعه مفصل پلاستیک در ناحیه انتهای تیر به همراه پوسته شدن رنگ این قسمتها مشاهده گردید. بیشترین مقدار لنگر ثبت شده در این نمونه $74/7$ KN.m می باشد که مربوط به دوران 5% بوده و موجب تغییر شکل های پلاستیک پایدار در بال تیر گردید. از این مقدار دوران به بعد افت مقدار لنگر رخ می دهد که در نمودار به خوبی قابل مشاهده است. آزمایش با اعوجاج و کمانش جانبی تیر متوقف شد.

مطابق نمودار لنگر- دوران، ضریب شکل پذیری (θ_y / θ_u) این نمونه $4/97$ است. همچنین اتلاف انرژی قاب تا لحظه بیشترین مقدار بار MED برابر $358/82$ J می باشد.

۲-۴ رفتار نمونه C2

نمونه بعدی که مورد آزمایش قرار گرفت اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی بود. در شکل ۸ نمونه قاب C2 در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است. نمودار هیستریزس لنگر- جابجایی نسبی قاب C2 و نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل آن نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.



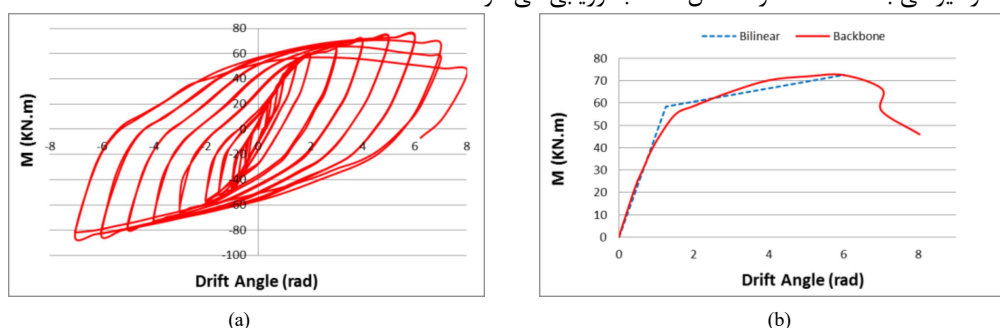
⁵ Maximum Energy Dissipation



شکل ۸: نمونه قاب C2 در مراحل مختلف بارگذاری و تغییر شکل های پلاستیک تیر.

در نمونه C2 تا دوران $1/2\%$ هیچگونه آسیبی در تیر، ستون و اتصال مشاهده نگردید. از این مقدار دوران به بعد به دلیل تمرکز تغییر شکل در انتهای تیر و نزدیکی اتصال یقه ای، پوسته شدن رنگ در قسمت بالهای تیر اتفاق افتاد. با افزایش جابجایی و در دوران $2/2\%$ اولین تغییرشکل ها در بال تیر مشاهده شد. با افزایش جابجایی، کماتش موضعی در جان تیر گسترش یافت و مفصل پلاستیک در تیر به صورت کامل تشکیل گردید.

همانند نمونه C1 هیچگونه ترک و یا شکستی در ستون، ورق های اتصال و جوش ها مشاهده نگردید و تمرکز خرابی و تغییر شکل پلاستیک در تیر می باشد لذا عملکرد اتصال مناسب ارزیابی می گردد.



شکل ۹: نمودار هیستریزس لنگر- دوران (a) نمودار هیستریزس لنگر- دوران (b) نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل

سختی موثر نمونه $46/34$ KN.m می باشد. مطابق نمودار لنگر- دوران، شروع تسلیم نمونه در دوران $1/257\%$ اتفاق می افتد. با شروع تسلیم نمونه، تشکیل و توسعه مفصل پلاستیک در ناحیه انتهای تیر به همراه پوسته شدن رنگ این قسمتها مشاهده گردید. بیشترین مقدار لنگر ثبت شده در این نمونه $72/45$ KN.m می باشد که مربوط به دوران $6/01\%$ بوده و موجب تغییر شکل های پلاستیک پایدار در بال تیر گردید. از این مقدار دوران به بعد افت مقدار لنگر رخ می دهد که در نمودار به خوبی قابل مشاهده است. آزمایش با اعوجاج و کماتش جانبی تیر متوقف شد.

مطابق نمودار لنگر- دوران، ضریب شکل پذیری (θ_y / θ_u) در این نمونه $4/79$ است. اتلاف انرژی قاب تا لحظه بیشترین مقدار بار برابر $350/13J$ است.

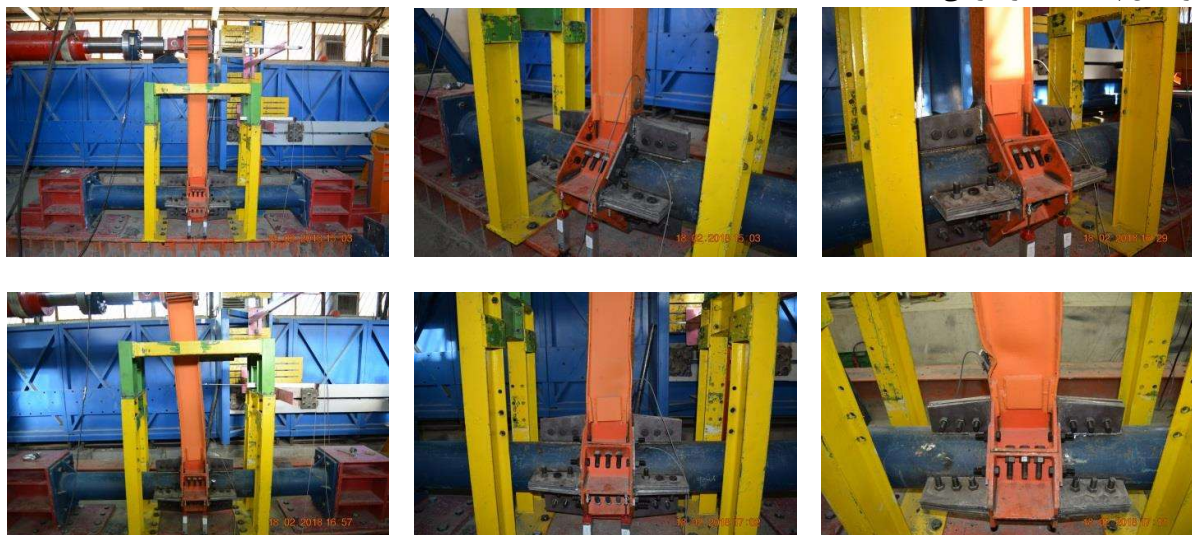
۳-۴ رفتار نمونه C3

آخرین نمونه که مورد آزمایش قرار گرفت اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی مضاعف بود. در شکل ۱۰ نمونه قاب C3 در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است.

در این نمونه تا دوران $0/9\%$ هیچگونه آسیبی در تیر، ستون و اتصال مشاهده نگردید. از این مقدار جابجایی نسبی به بعد به دلیل تمرکز تغییر شکل در انتهای تیر و نزدیکی اتصال یقه ای، پوسته شدن رنگ در قسمت بالهای تیر اتفاق افتاد. اولین تغییرشکل ها در بال

تیر در دوران ۱/۵٪ مشاهده شد. با افزایش جابجایی، کمانش موضعی در جان تیر گسترش یافت و مفصل پلاستیک در تیر به صورت کامل تشکیل گردید.

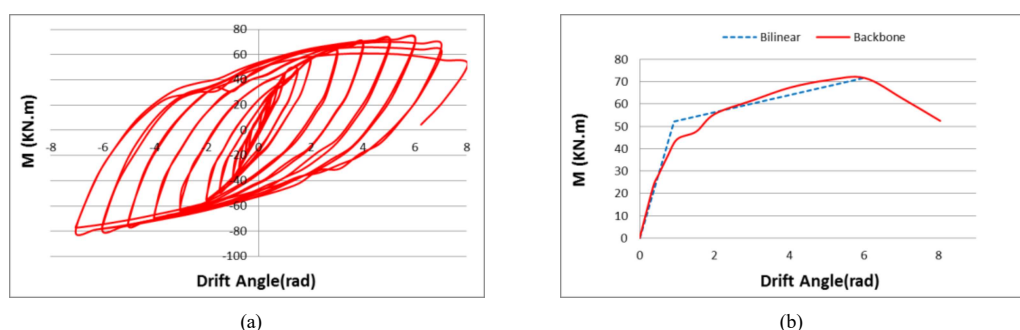
همانند نمونه های دیگر، هیچگونه ترک و یا شکستی در ستون، ورق های اتصال و جوش ها مشاهده نگردید و تمرکز خرابی و تغییر شکل پلاستیک در تیر می باشد.



شکل ۱۰: نمونه قاب C3 در مراحل مختلف بارگذاری و تغییر شکل های پلاستیک تیر.

نمودار هیستریزیس لنگر- دوران قاب C3 و نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل آن نیز در شکل ۱۱ نشان داده شده است. سختی موثر نمونه ۵۶/۱۸ KN.m می باشد. مطابق نمودار لنگر- دوران، شروع تسلیم نمونه در دوران ۰/۹۳٪ اتفاق می افتد. با شروع تسلیم نمونه، تشکیل و توسعه مفصل پلاستیک در ناحیه انتهای تیر به همراه پوسته شدن رنگ این قسمتها مشاهده گردید. بیشترین مقدار لنگر ثبت شده در این نمونه ۷۱/۶ KN.m می باشد که مربوط به دوران ۶/۰۳٪ بود. از این مقدار دوران به بعد مقدار لنگر افت می کند که در نمودار به خوبی قابل مشاهده است. آزمایش با اعوجاج و کمانش تیر متوقف شد.

مطابق نمودار لنگر- دوران، ضریب شکل پذیری (θ_y / θ_u) این نمونه ۶/۵ است. همچنین اتلاف انرژی قاب تا لحظه بیشترین مقدار بار ۵۰۹/۷ J است.



شکل ۱۱: نمونه C3. (a) نمودار هیستریزیس لنگر- دوران (b) نمودار Backbone به همراه نمودار دو خطی معادل

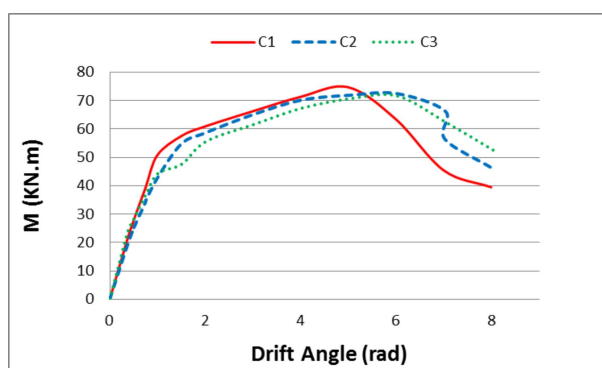
۵- تحلیل پاسخ ها و مقایسه نتایج

در جدول ۳ خلاصه نتایج آزمایش سه نمونه براساس نمودار دوخطی معادل نشان داده شده است. در این جدول سختی موثر بر اساس شیب خط اول نمودار دوخطی معادل محاسبه گردیده است. همچنین MED مقدار اتلاف انرژی تا لحظه ماکزیمم مقدار لنگر است که برابر سطح زیر نمودار دوخطی معادل تا بیشترین مقدار لنگر می باشد. در شکل ۱۲ نمودارهای هر سه نمونه مورد آزمایش نشان داده شده است. در ادامه نتایج این آزمایشات مقایسه و مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

جدول ۳. خلاصه نتایج آزمایش سه نمونه براساس نمودار دوخطی معادل

نمونه	جابجایی نسبی متناظر لنگر تسلیم (%)	جابجایی نسبی متناظر لنگر ماکزیمم (%)	لنگر تسلیم KN.m	لنگر ماکزیمم KN.m	سختی موثر KN.m	شکل پذیری	MED (J)
C1	1.005	5.00	55.83	74.7	55.53	4.97	358.8
C2	1.257	6.01	58.26	72.45	46.34	4.79	350.13
C3	0.93	6.03	52.08	71.6	56.18	6.5	509.7

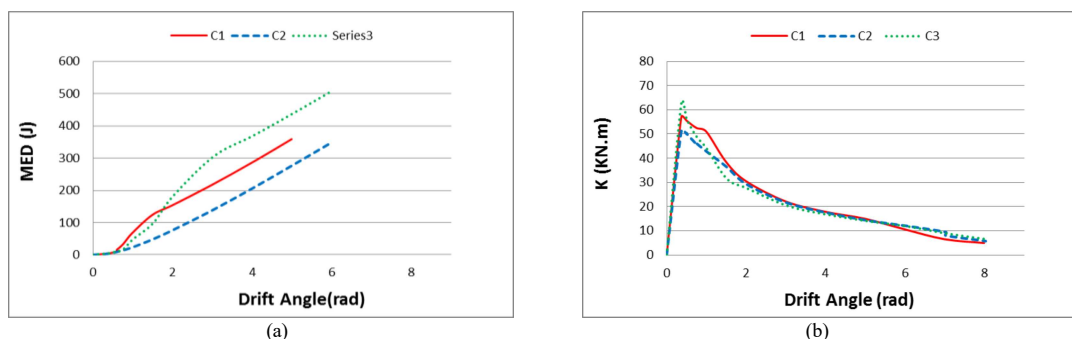
بررسی نمودارهای Backbone و دوخطی نمونه ها نشان می دهد بیشترین مقدار لنگر به ترتیب در نمونه های C1، C2 و C3 رخ می دهد. بنابر این از نقطه نظر مقاومت نهایی، نمونه C1 با اتصال جوشی نسبت به سایر نمونه ها دارای مقاومت نهایی بیشتری است. این موضوع را می توان ناشی از یکپارچگی بیشتر اتصال جوشی نسبت به اتصال پیچی دانست. لنگر حداکثر نمونه C1 در مقایسه با نمونه C2 به میزان ۳/۲٪ بیشتر و در مقایسه با نمونه C3 به مقدار ۴/۳٪ بیشتر است. بررسی میزان لنگر تسلیم در نمونه ها نشان می دهد نمونه C1 علی‌رغم دارا بودن بیشترین لنگر حداکثر، دارای میزان ۴/۳٪ لنگر تسلیم کمتر نسبت به نمونه C2 می باشد. نمونه C3 دارای کمترین مقدار لنگر تسلیم می باشد.



شکل ۱۲: نمودار Backbone نمونه های آزمایش

از نظر شکل پذیری نمونه C3 با عدد شکل پذیری ۶/۵ دارای بیشترین مقدار شکل پذیری است و نمونه C2 با مقدار شکل پذیری ۴/۷۹ کمترین شکل پذیری در میان نمونه های آزمایش است. نمونه C1 نیز با مقدار ۴/۹۷ دارای شکل پذیری کمی بیش از نمونه C2 است. نمونه C3 همچنین دارای بیشترین مقدار جذب و اتلاف انرژی در میان سایر نمونه ها می باشد. و کمترین میزان اتلاف انرژی مربوط به نمونه C2 است (شکل ۱۳a).

مقایسه سختی موثر نمونه‌ها نشان می‌دهد بیشترین مقدار سختی به ترتیب مربوط به نمونه‌های C1، C3 و C2 می‌باشد. حضور ورق‌های مضاعف جهت پوشش درز میان قطعات اتصال موجب می‌گردد سختی نمونه به میزان ۲۱/۲٪ افزایش یابد که این مقدار کمی بیشتر از سختی موثر اتصال جوشی است. البته سختی موثر بر اساس نمودار دوخطی معادل بدست می‌آید و دوران نهایی و شکل کلی نمودار هیستریزس در این سختی تاثیر گذار است. برای مقایسه بهتر، سختی لحظه‌ای براساس شیب نقطه به نقطه ی نمودار Backbone محاسبه و ترسیم شده است (شکل ۱۳b). تفاوت معنی داری بین سختی نمونه‌ها وجود ندارد و روند افت سختی در نمونه‌ها، پس از دوران ۲ درصد مشابه است.

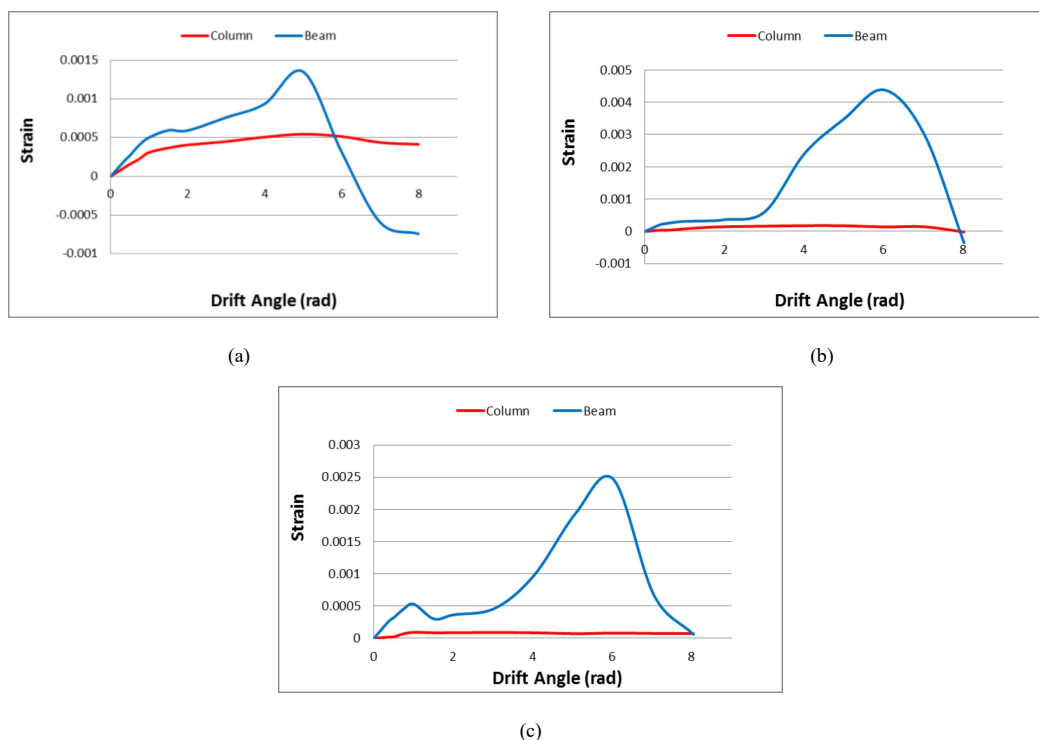


شکل ۱۳: (a) نمودار اتلاف انرژی نمونه‌ها تا حد جابجایی نسبی متناظر با لنگر حداکثر (b) نمودار تغییرات سختی نمونه‌ها

با مقایسه تمامی نتایج آزمایشات نمونه‌ها، مشخص است که نمونه C3 چه از نظر سختی و مقاومت و چه از نظر شکل پذیری و جذب انرژی نسبت به سایر نمونه‌ها مناسب‌تر می‌باشد. ضمن اینکه اجرای آن به سبب استفاده از پیچ جهت اتصال بسیار ساده و کاربردی می‌باشد و قابلیت تعویض سریع و آسان در آسیب‌های پس از زلزله را نیز دارا می‌باشد. لذا استفاده از این نوع اتصال در مناطق لرزه خیز و با خطر نسبی لرزه ای زیاد می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

نتایج حاصل از آزمایش نمونه C1 نشان می‌دهد این نمونه در حالیکه از مقاومت مناسبی برخوردار می‌باشد اما به دلیل شکل پذیری و اتلاف انرژی کمتر، از اولویت بالایی جهت استفاده در مناطق لرزه خیز برخوردار نیست. ضمن اینکه اجرای آن نیز به نسبت سایر نمونه‌ها دشوارتر است. نمونه C2 که فاقد ورق‌های مضاعف در محل درزهای اتصال است، دارای عملکرد مناسبی نسبت به سایر نمونه‌ها نمی‌باشد و به دلیل باز شدن درزهای اتصال در حین اعمال بار، چندان مناسب نیست.

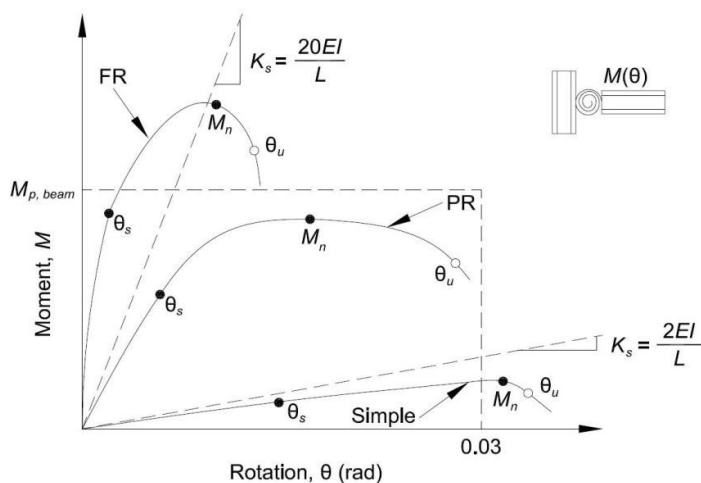
در شکل ۱۴ نمودارهای کرنش- دوران نمونه‌های آزمایش نشان داده شده است. در نمونه C1 ماکزیمم کرنش تیر و ستون در دوران ۵٪ اتفاق می‌افتد. ماکزیمم کرنش دو نمونه دیگر در دوران ۶٪ اتفاق می‌افتد. بررسی نمودارهای کرنش در تیر نشان می‌دهد نمونه C2 دارای بیشترین مقدار کرنش و نمونه C1 دارای کمترین مقدار کرنش در تیر است. اما نمودارهای کرنش ستون بیانگر این موضوع است که بیشترین مقدار کرنش ستون در نمونه C1 و کمترین مقدار در نمونه C3 رخ می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در نمونه C1 که اتصال به صورت جوشی اجرا گردیده است، تغییر شکل در تیر کاهش یافته و عمدتاً در ستون متمرکز می‌شوند که این موضوع مطلوب نیست و لذا از دیدگاه کرنش نیز عملکرد نمونه C1 مناسب نمی‌باشد. نمونه C3 به دلیل دارا بودن حداقل میزان کرنش در ستون و نیز کرنش قابل قبول در تیر دارای مناسب‌ترین عملکرد در بررسی کرنش نمونه‌ها نیز می‌باشد.



شکل ۱۴: نمودار کرنش - دوران نمونه های آزمایش. (a) نمونه C1. (b) نمونه C2. (c) نمونه C3

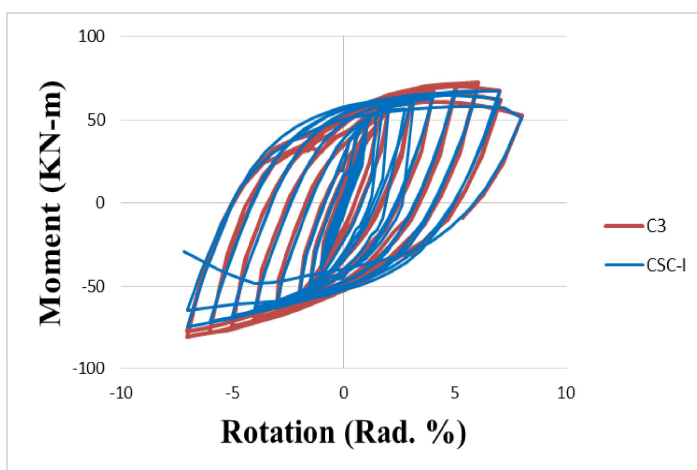
۶- بررسی صلبیت اتصال

اتصالات تیر به ستون به سه دسته اتصال ساده (Simple)، اتصال نیمه صلب (PR) و اتصال صلب (FR) تقسیم بندی می شوند [۲۵]. دسته بندی اتصالات، بر اساس نمودار لنگر- دوران انجام می شود (شکل ۱۵). در این شکل M_s و θ_s به ترتیب لنگر و دوران المانهای اتصال در بار سرویس هستند. اگر E, L و I به ترتیب طول، مدول الاستیسیته و ممان اینرسی تیر باشند، کلاسیفیکاسیون اتصال با مقایسه K_s و EI/L انجام میشود. اگر $K_s < 2EI/L$ باشد، اتصال ساده تلقی شده و فرض می شود قادر به انتقال لنگر نیست. اگر $K_s \geq 2EI/L$ باشد، اتصال در گروه FR قرار می گیرد و در غیر اینصورت PR است. البته برای کنترل و مقایسه K_s و EI/L باید تحلیل های عددی انجام شود.



شکل ۱۵: دسته بندی اتصالات تیر به ستون طبق آیین نامه AISI [۱۹]

همانطوری که در مقدمه بیان شد، تحملی و همکاران [۱۹] براساس نمونه آزمایشگاهی مقیاس کامل، نوع جدیدی از اتصال صلب تیر I-شکل به ستون لوله ای توخالی و پر شده با بتن را در سال ۲۰۲۱ ارائه دادند. در واقع آنها بجای استفاده از ورق مضاعف و پیوستگی، از نودانی سخت شده برای اتصال تیر به ستون استفاده کردند. نتایج ۶ تست آزمایشگاهی و ارزیابی عددی برخی از آنها نشان داد که نمونه CSC-I تمام شرایط اتصال صلب را طبق ضوابط آیین نامه AISC دارد. چینش و طراحی نمونه های آن آزمایشات، مقیاس آنها و نحوه انجام تست ها کاملاً مشابه با نمونه های C1، C2 و C3 بود و از IPE180 برای تیر استفاده شده بود. در آن مطالعه با انجام تحلیلهای عددی نشان داده شد که نمونه CSC-I حداقل سختی لازم را برای قرارگیری در دسته FR دارد. بنابراین کافی است نمودار هیستریزس نمونه C3 با CSC-I مقایسه گردد. این مقایسه در شکل ۱۶ انجام شده است.



شکل ۱۶: مقایسه نمودار هیستریزس نمونه های C3 و CSC-I

در عملکرد یک اتصال، تیر، چشمه اتصال و ستون تاثیر گذارند. مکانیزم مورد علاقه آیین این است که چشمه اتصال و ستون در حدی قوی باشند که مفصل پلاستیک در تیر تشکیل شود. این مکانیزم در همه نمونه های C1، C2 و C3 و CSC-I رخ داده است. در این حالت رفتار اتصال بیش از هر چیزی متاثر از رفتار تیر است. بنابراین میتوان با مقایسه نمودار هیستریزس نمونه CSC-I و نمونه های C1، C2 و C3 نه تنها در مورد میزان صلبیت این نمونه ها اظهار نظر نمود بلکه میتوان مشاهده نمود که نمودارهای هیستریزس انطباق مناسبی دارند و نتایج آزمایشات نیز بدین وسیله صحت سنجی میگردند.

مشاهده می شود که شیب بارگذاری و باربرداری این دو نمونه و سختی آنها بسیار مشابه است. بنابراین می توان نمونه C3 را قطعاً جزو اتصالات صلب فرض نمود. باید توجه نمود که نتایج تنش تسلیم و نهایی برای بال و جان تیر در این نمونه ها کمی متفاوت است ولی مدول الاستیسیته آنها بسیار نزدیک است و سختی، تابعی از مدول الاستیسیته می باشد. نویسندگان مقاله در حال انجام تحلیلهای گسترده عددی روی نمونه های C1 الی C3 و جزییات پیشنهادی در این مقاله هستند. قطعاً نتایج این تحقیق هنگامی کامل خواهد شد که نتایج عددی و روند طراحی برای جزییات پیشنهادی ارائه گردد. بنابراین باید از مدلسازی عددی صحت سنجی شده بر اساس نتایج آزمایشگاهی استفاده نمود. تحلیل های گسترده پارامتریک انجام داد و حساسیت دتایل جدید را نسبت به پارامترهای مختلف سنجید. در قسمت دوم این مقاله که بخشی از آن هم انجام شده است، تئوری ها و مبانی نظری این اتصالات به دقت ارزیابی شده است و با بحث کامل روی نتایج عددی ضوابط طراحی ارائه خواهند شد.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، یک نوع اتصال دیافراگم خارجی بین تیر I شکل و ستون دایره ای معرفی و در یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی رفتار و مقاومت آن در حالات مختلف جوشی و پیچی، تحت اثر بارگذاری چرخه ای مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش برخی دستاوردهای قابل طرح در محدوده مطالعات انجام یافته در این مقاله به صورت خلاصه ارائه می شود :

- مراحل ساخت و مونتاژ این اتصال جهت انجام آزمایش نشان داد این اتصال می تواند به سادگی و با تعداد زیاد ساخته شده و به صورت عمومی در کارهای عملی ساخت و ساز مورد استفاده قرار گیرد.

- مقایسه نتایج نمونه های آزمایش نشان داد نمونه C3 (اتصال دیافراگم خارجی تیر I شکل به ستون دایره ای با استفاده از اتصالات پیچی مضاعف) ضمن دارا بودن مقاومت مطلوب دارای بیشترین مقدار سختی موثر، شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی می باشد ضمن اینکه به دلیل استفاده از پیچ و مهره اجرای آن آسانتر بوده و قابلیت تعویض سریع پس از آسیب های ناشی از زلزله را دارد. لذا استفاده از جزییات نمونه C3 به عنوان بهترین حالت اجرا توصیه می گردد.

- بررسی نمودارهای کرنش نشان داد در نمونه C3 کمترین مقدار کرنش در ستون بوجود می آید ضمن اینکه کرنش تیر نیز دارای مقدار متوسطی است. لذا از نظر بررسی کرنش نمونه ها نیز نمونه C3 دارای عملکرد مناسبی می باشد.

- بررسی نتایج نمونه C3 و آزمایشات تحقیقات قبلی نشان داد که این اتصال، آستانه سختی لازم را برای قرار گرفتن در زمره اتصالات صلب داراست.

- بررسی پارامترهای مهم اتصال مورد مطالعه نشان داد استفاده از جوش در این اتصال (در حالت ستون دایره ای توخالی) چندان مطلوب نیست.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری آزمایشگاه سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

- [1] FEMA-355D. State of the art report on connection performance. Washington(DC): Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [2] Nakashima, M., Roeder, C. W., & Maruoka, Y. (2000). Steel moment frames for earthquakes in United States and Japan. *Journal of Structural Engineering*, 126(8), 861-868.
- [3] Sherman, D. R. (1996). Designing with structural tubing. *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction*, 33, 101-109.
- [4] Sui, W., & Yamanari, M. (2007). Evaluation of the characteristics of external diaphragm connections with steel CHS columns and wide-flange steel beams. In *Proceedings of 8th Pacific Structural Steel Conference: Steel Structures in Natural Hazards, PSSC 2007* (No. 2, pp. 123-129). The Pacific Council of Structural Steel Associations.
- [5] W.N.sui, T. otsuka, M. yamanari. (2008). Seismic Design requirement of steel frames with external diaphragm connections. the 14th world conference on earthquake engineering October 12-17. Beijing, china.
- [6] Wang, W., Chen, Y. Y., Li, W. Q., & Chen, X. (2009). Welded tubular column to H-beam connections: three dimensional cyclic tests. In *Proceedings of the 6th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas, Philadelphia* (pp. 457- 463).
- [7] Sui, W. N., & Chen, Y. Y. (2010). Behavior of External diaphragm connection of CHS column with H-shaped beams. *Tubular Structures*, 12, 167-174.
- [8] Wang, W., Chen, Y., Li, W., & Leon, R. T. (2011). Bidirectional seismic performance of steel beam to circular tubular column connections with outer diaphragm. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 40(10), 1063-1081.
- [9] Zhang, D., Gao, S., & Gong, J. (2012). Seismic behaviour of steel beam to circular CFST column assemblies with external diaphragms. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 155-166.
- [10] Fadden, M., & McCormick, J. (2013). Evaluation of HSS-to-HSS moment connections for seismic applications. In *Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession* (pp. 2334-2345).
- [11] Qin, X., Wang, W., Chen, Y., & Bao, Y. (2015). Experimental study of through diaphragm connection types under a column removal scenario. *Journal of Constructional Steel Research*, 112, 293-304.
- [12] Yang, C., Yang, J. F., Su, M. Z., & Liu, C. Z. (2016). Numerical study on seismic behaviours of ConXL biaxial moment connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 185-201.
- [13] Yang, Z., Deng, H., & Hu, X. (2018). Strength of longitudinal X-type plate-to-circular hollow section (CHS) connections reinforced by external ring stiffeners. *Thin-Walled Structures*, 131, 500-518.
- [14] Du, G. F., Bie, X. M., Li, Z., & Guan, W. Q. (2018). Study on constitutive model of shear performance in panel zone of connections composed of CFSSTCS and steel-concrete composite beams with external diaphragms. *Engineering Structures*, 155, 178-191.
- [15] Yu, Y., Lan, L., Chen, Z., & Huang, J. (2019). Mechanical and seismic behaviors of bottom-flange-bolted upper-flange-welded through-diaphragm connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 156, 86-95.
- [16] Pachideh, G., & Gholhaki, M. (2019). Evaluation of Concrete Filled Steel Tube Column Confined with FRP. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(6), 4343-4354.
- [17] Pachideh, G., Gholhaki, M., & Moshtagh, A. (2020). Impact of Temperature Rise on the Seismic Performance of Concrete-Filled Double Skin Steel Columns with Prismatic Geometry. *Journal of Testing and Evaluation*, 49(4).
- [18] Roudsari, M. T., Sohaei, S., Torkaman, M., Safaei, S. A., Tahmasebi, S., Mohammadi, S., & Ghiasvand, M. M. (2020). Presenting a new detail for the rigid connection between I-shaped beam and concrete-filled steel tube column with stiffened channel link. *International Journal of Steel Structures*, 20, 655-667.
- [19] Tahamouli Roudsari, M., Sohaei, S., Torkaman, M., Alizadeh, A., Safaei, S., Haghania, A., & MohammadiMajd, M. (2021). Experimental investigation of I-shaped beam to circular column rigid connection with stiffened and non-stiffened channel link. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(13), 2605-2627.
- [20] Sohaei, S., Roudsari, M. T., & Memarzadeh, P. (2021). Numerical Investigation of I-Shaped Beam to Concrete Filled Tube Column Connection without Continuity Plate. *International Journal of Steel Structures*. DOI :10.1007/s13296-021-00554-2.
- [21] Pachideh, G., Gholhaki, M., & Moshtagh, A. (2021). An Experimental Study on Cyclic Performance of the Geometrically Prismatic Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular (CFDST) Columns. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45(2), 629-638.
- [22] American Society for Testing and Materials (ASTM) [2002] Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products, ASTM Standard A370-02, Philadelphia, PA.
- [23] American Institute of Steel Construction, AISC. (2005). AISC 341- 05 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (Including Supplement No. 1), Inc, Chicago.
- [24] Federal Emergency Management Agency, FEMA. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report no. FEMA 356. Washington (DC); FEMA.
- [25] American Institute of Steel Construction (ANSI/AISC 360-16). (2016). Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, Illinois.