

Laboratory study of RBS connection using box-shaped replaceable link at the joint formation site

Panam Zarfam ^{1*}, Pasha Javadi ², Behrouz Safarizad ³

1- Assistant Professor, dept. Civil of Engineering, Islamic Aazad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, dept. Civil of Engineering, Islamic Aazad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

3- Master of science, dept. Civil of Engineering, Islamic Aazad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

ABSTRACT

Before the occurrence of Northridge earthquake, it was believed that the conventional connections used in steel moment frame structures were capable of tolerating the great plastic rotation of 0.02 radians and above without a significant reduction in strength. Observation of the applied damages by the 1991 Northridge earthquake showed that the main damage was in the area of welded connections. For this reason and the weakness in welded connections, the idea of using the link area in steel connections has been proposed, which can be easily replaced after an earthquake. Therefore, in this study, the box-shaped linking element has been developed, which acts practically independent of the applied load and has a steady hysteresis behavior under tension and compression. In this research, laboratory numerical study has been conducted RBS connection using the box-shaped replaceable link at the joint formation site. For this purpose, first a validation based on a laboratory model has been performed in Abaqus software. In the following, models based on the validation paper have been developed and the idea of using a box-shaped link has been proposed. Two models have been developed and analyzed in Abaqus software and two laboratory models have been examined experimentally. Two links with different details were placed in the area of reduced joint to reduce the beam section. The results show that very high stress concentration occurs in the box-shaped link area and other parts of the beam and column elements of the stress surface are less than the yield point and energy absorption is done in the box-shaped link area. It was also found that according to the maximum rotation recorded in the specimens and according to the AISC regulations, specimen A is one of the allowable connections in the middle frame and, model B has the necessary conditions to be placed in the permitted connections in a special moment frame (tolerating rotation of above 0.04 radians).

ARTICLE INFO

Receive Date: 15 January 2021

Revise Date: 20 July 2021

Accept Date: 15 August 2021

Keywords: RBS connection

Laboratory study

Plastic hinge

box-shaped link

Energy absorption

Abaqus software

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2021.267277.2335

*Corresponding author: Panam Zarfam.

Email address: zarfam@srbiau.ac.ir

مطالعه آزمایشگاهی اتصال RBS با استفاده از پیوند قابل تعویض قوطی شکل در محل تشکیل مفصل

پنام زرفام^{۱*}، پاشا جوادی^۲، بهروز صفری زاد^۳

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

تا قبل از زلزله نورت ریج باور بر این بود که اتصال متعارف استفاده شده در سازه‌های قاب خمشی فولادی، توانایی تحمل دوران‌های بزرگ پلاستیک تا ۰٫۰۲ رادیان و بالاتر را بدون کاهش قابل توجهی در مقاومت دارند. مشاهده آسیب‌های وارد شده در زلزله سال ۱۹۹۱ نورت-ریج نشان داد که عمده خرابی در ناحیه اتصالات جوشی بوده است. به همین دلیل و ضعف در اتصالات جوشی ایده استفاده از ناحیه لینک در اتصالات فولادی مطرح شده است که پس از زلزله به راحتی قابل تعویض باشد لذا در این پژوهش المان پیوند قوطی شکل توسعه پیدا کرده است که نسبت به بار وارده عملاً مستقل عمل نموده و یک رفتار هیستریزیس پایدار در کشش و فشار دارد، در این پژوهش به مطالعه عددی آزمایشگاهی اتصال RBS با استفاده از پیوند قابل تعویض قوطی شکل در محل تشکیل مفصل پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا یک صحت‌سنجی بر مبنای یک مدل آزمایشگاهی در نرم‌افزار آباکوس انجام شده است. در ادامه مدل‌هایی بر مبنای مقاله صحت‌سنجی توسعه داده شده‌اند و ایده استفاده از پیوند قوطی شکل مطرح شده است. دو مدل در نرم‌افزار آباکوس و دو مدل آزمایشگاهی نیز مورد ساخت و تحلیل قرار گرفته‌اند. دو پیوند با جزئیات مختلف در قسمت ایجاد مفصل کاهش یافته برای کاهش مقطع تیر قرار داده شد. نتایج نشان می‌دهند که تمرکز تنش بسیار بالایی در ناحیه پیوند قوطی شکل رخ می‌دهد و سایر قسمت‌های المان‌های تیر و ستون سطح تنشها کمتر از حد جاری شدن است و جذب انرژی در ناحیه پیوند قوطی شکل انجام گرفته است. همچنین مشخص گردید با توجه میزان بیشینه دوران ثبت شده در نمونه‌ها و با توجه به آئین نامه AISC، نمونه A جزو اتصالات مجاز در قاب متوسط است، و نمونه B شرایط لازم برای قرارگیری در اتصالات مجاز در قاب خمشی ویژه (تحمل دوران بالای ۰٫۰۴ رادیان) را دارد.

کلمات کلیدی: اتصال RBS، مطالعه آزمایشگاهی، مفصل پلاستیک، لینک باکس شکل، جذب انرژی، نرم‌افزار آباکوس

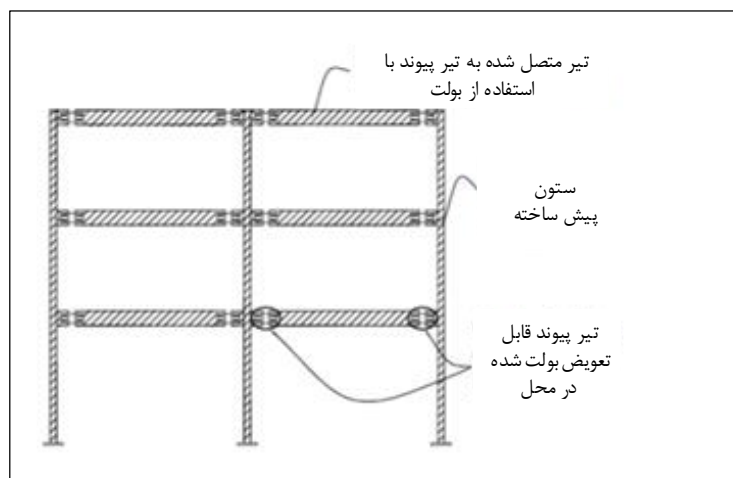
سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:
۱۳۹۹/۱۰/۲۶	۱۴۰۰/۴/۲۹	۱۴۰۰/۵/۲۴	۱۴۰۰/۵/۲۴	۱۴۰۱/۰۱/۳۱	10.22065/jsce.2021.267277.2335
*نویسنده مسئول:		پنام زرفام			
پست الکترونیکی:		zarfam@srbiau.ac.ir			

۱- مقدمه

از آنجا که، اتصالات از مهمترین اجزای یک قاب ساختمانی هستند درک درست از رفتار سازه ای یک اتصال و دانش کافی از نحوه انتقال نیرو توسط آن، از الزامات اساسی در طراحی یک اتصال ایمن می باشد. ساختمان‌های فولادی قاب خمشی برای مقاومت در برابر زلزله بر اساس این فرض که قادر به تحمل تغییر شکل تسلیم یا پلاستیک، بدون کاهش مقاومت می‌باشند، طراحی می‌شوند. تغییر شکل پلاستیک مورد نظر شامل دوران‌های پلاستیک تیرها در اتصال آنها به ستون‌ها است و از نظر تئوری اتلاف انرژی زلزله وارد شده بر سازه را نتیجه می‌دهد. تمامی اصلاحات که در سالهای اخیر برای اتصالات خمشی مطرح شده، هدفشان جابه‌جایی بیشترین ظرفیت پلاستیک شدن و یا تقاضای شکل پذیری از انتهای تیر یا ناحیه اتصال و انتقال تقاضای شکل پذیری به ناحیه‌ای در تیر و دور از ستون است. از طرف دیگر جزئیات اتصالات خمشی لرزه ای ارائه شده در FEMA-355E را می‌توان به دو گروه دسته بندی کرد: الف- روش‌های تقویت کردن ناحیه اتصال ب- روش‌های ضعیف کردن تیر. اتصالاتی که با تفکر قویتر کردن ناحیه اتصال ارائه شده اند انواع مختلفی دارند که به عنوان نمونه می‌توان به اتصال با ورق‌های پوششی جوش شده به بال، اتصال با ورق کناری، اتصال با نشیمن پیچ شده اتصال با ماهیچه جوشی و ... اشاره کرد. اما اتصالاتی که با تفکر ضعیف تر کردن تیر ارائه شده و به کار می‌روند تعداد محدودتری دارند که به عنوان نمونه می‌توان به اتصال RBS یا تیر با مقطع کاهش یافته اتصال تیر با بال آزاد، اتصال تیر با جان بریده شده و اتصال تیر با جان کاهش یافته اشاره کرد. یکی از روش‌های ساخت اتصالات RBS استفاده از اتصال تیر با مقطع کاهش یافته بوسیله پیوندهای تعویض پذیر است. استفاده از این پیوندهای تعویض پذیر یکی از روش‌های افزایش شکل پذیری و انتقال مفصل پلاستیک به داخل ناحیه کاهش یافته تیر است. در این اتصالات هدف انتقال مفصل پلاستیک به داخل ناحیه کاهش یافته تیر و به یک فاصله معین از بر ستون است. به گونه‌ای که در این اتصالات دور ساختن مفصل پلاستیک از بر ستون، باعث کاهش تمرکز تنش به وجود آمده در ناحیه جوش شده و در نتیجه باعث کاهش میزان ترک خوردگی جوش و در نتیجه کاهش شکست ترد در اتصالات می‌شود.

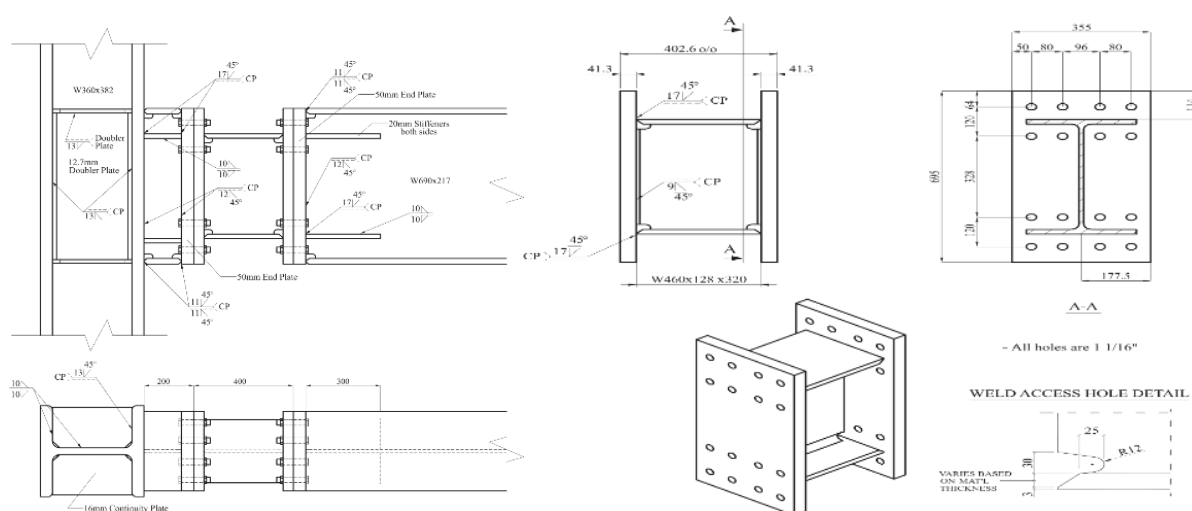
در زمین لرزه نورت ریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا، شکستگی‌های ترد در نزدیکی جوش اتصالات تیر به ستون در بیشتر از ۱۷۰ ساختمان‌های قاب خمشی فولادی بوجود آمد که در بسیاری از موارد بدون هیچ نشانه‌ای از تغییر شکل پلاستیک در تیر این شکستگی‌ها و ترک خوردگی‌ها مشاهده شدند. این در حالی است که مقادیر مقاومت خمشی که با توجه به آخرین آئین نامه‌های لرزه‌ای محاسبه شده بودند انتظار می‌رفت که آسیب‌های قابل ملاحظه‌ای در مکان‌های تسلیم شدگی خمشی در تیرها ایجاد شود و در زلزله سطح طراحی، ایمنی زندگی را تامین کند.

طراحی تیرها برای کنترل مقاومت و دریافت نیز به هم پیوسته است، که اغلب منجر به طراحی بیش از حد عناصر دیگر، مانند دیافراگم‌ها و پایه‌ها می‌شود. این نقایص را می‌توان با معرفی پیوندهای قابل تعویض در مکان‌های مورد انتظار رفتار غیرالاستیک کاهش داد. یک نمونه اولیه MRF با پیوند قابل تعویض در منطقه لرزه‌ای بالا طراحی شده است.



شکل ۱: مفهوم پیوند های قابل تعویض [۱].

در سال ۱۹۹۱ کارتر و ایوانکیو [۲] پژوهشی در موسسه AISC استفاده از اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر در قاب های خمشی فولادی انجام دادند. این پژوهش، طراحی و جزئیات مناسب شامل مکان، مقطع و اندازه قسمت کاهش یافته بال تیر، ملزومات اتصال تیر به ستون، ملزومات مهاربندی جانبی تیر و ملزومات جزئیات دال را مورد بحث قرار می داد. اثر RBS روی سختی قاب و ملاحظات بار گرانشی هم مورد مطالعه قرار گرفت و در پایان، نتایج موجود اتصال RBS ارائه شدند. در سال ۲۰۰۰ شن و همکارانش [۳] در پژوهشی روی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی خمشی با RBS انجام دادند و مسائل طراحی برای قاب های RBS را مطرح کردند. تحلیل های استاتیکی غیرخطی و تاریخچه زمانی روی ۲ قاب سه طبقه و ده طبقه با ترکیبات متفاوت RBS انجام شد. عملکرد کلی و موضعی قاب ها بر اساس تغییر شکل پلاستیک، نسبت جابجایی نسبی فرا ارتجاعی و مقاومت بحث شد و در نهایت پیشنهادهایی مانند نرخ کاهش بال و مکان RBS، مطرح شدند.



شکل ۲: جزئیات پیوند MRF [۱].

Shen و Nabil Mansour در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۰۴ [۴-۱] به بررسی چهار نمونه مقیاس کامل تیر به ستون با اتصالات برای طبقه اول در ساختمان نمونه اولیه پرداختند. نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی انجام شده توسط محققین نشان داد که MRF ها با پیوندهای خمشی قابل تعویض می توانند مقاومت و شکل پذیری مناسبی را در قاب های خمشی ایجاد نمایند. سپس مدل های اجزاء محدود به منظور بررسی عددی برای مشاهده کمانش موضعی، لغزش پیچ و تحمل پیچ ها، توسعه یافت. پیوند قابل تعویض شبیه به اتصالات RBS، به این صورت است که تیر در یک فاصله کوتاه از وجه ستون تضعیف شده و سیستم را مجبور می کند مفصل پلاستیک به دور از بخش بحرانی تشکیل شود و به جای کاهش بال های تیر یا کاهش در جان آن، پیوندهای قابل تعویض با کم کردن ظرفیت خمشی در مکان هایی که رفتار غیر الاستیک انتظار می رود باعث ایجاد مفصل پلاستیک در ناحیه کاهش یافته می شوند. در یکی دیگر از مقالات به محدود کردن کمانش موضعی جان تیر با استفاده از اتصال RBS پرداخته شده است که با این روش با به تاخیر انداختن کمانش تیر باعث محدود کردن کمانش می شوند. در این تحقیق که بصورت آزمایشگاهی و در مقیاس واقعی صورت گرفته اتصال تحت بارگذاری سایکلک مورد بررسی قرار میگیرد.

در سال ۲۰۱۱ نقی پور و همکارانش [۵] شکل‌پذیری اتصال تیر با مقطع کاهش یافته را در مهاربندهای غیر هم محور بررسی کردند. فرض آنها بر این بود که با توجه به اینکه در این نوع مهاربند یک طرف به ستون وصل می شود و شکست ها در این اتصال از نوع ترد است بنابراین در مطالعه شان با استفاده از آنالیز بارافزون سعی کردند که مفصل پلاستیک را از محل این اتصال دور نگه دارند. نتایج نشان داد که با تشکیل زودتر مفصل پلاستیک در ناحیه کاهش یافته، تسلیم اتصال بادی به ستون به تعویق می افتد.

در سال ۲۰۱۴ نیکولاس نیکیتاس و همکاران [۶] به بررسی اتصالات RBS با استفاده از سوراخ کردن جان تیر برای کاهش مقطع تیر پرداختند. اثر کاهش جان مقطع (RWS) با استفاده از شکل های غیر استاندارد طراحی و بر روی تیر با عمقها و موقعیتهای متغیر

بررسی شده است. بهسازی رفتار سازه حاکی از آن است که این روش سوراخ کردن عضو باعث افزایش بهره وری سازه می‌شود. نتایج آنها نشان داد که استفاده از سوراخ های بزرگ در جان تیر یک روش موثر برای بهبود رفتار اتصالات است که باعث افزایش شکل پذیری، ظرفیت چرخش و ظرفیت اتلاف انرژی می‌شوند. علاوه بر این می‌توانند بطور مناسبی در طراحی قابهای فولادی مقاوم لرزه ای مورد استفاده قرار گیرد.

در سال ۲۰۱۶ زهرائی و همکاران [۷] یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی تیرهای عمیق انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که Tubular Web RBS نه تنها منجر به تشکیل فیوز دور از اتصال تیر به ستون میشود بلکه باعث افزایش ظرفیت دررفت طبقات تا ۶ درصد بیشتر از آنچه توسط ایین نامه های لرزه ای مطرح شده است شود.

در سال ۲۰۱۸ رودسری و همکاران [۸] به بررسی تیر با مقطع کاهش یافته با استفاده از سخت کننده در ناحیه کاهش یافته پرداختند. آنها ۴ تست آزمایشگاهی بر روی اتصالات RBS ساخته شده از مقاطع IPE ۱۴۰ و IPE ۲۷۰ در ۲ حالت با و بدون سخت کننده قوطی شکل پرداخته شد. نتایج نشان داد که سخت کننده بطور قابل توجهی باعث افزایش شکل پذیری در اتصالات RBS در مقایسه با نمونه بدون سخت کننده می‌شود.

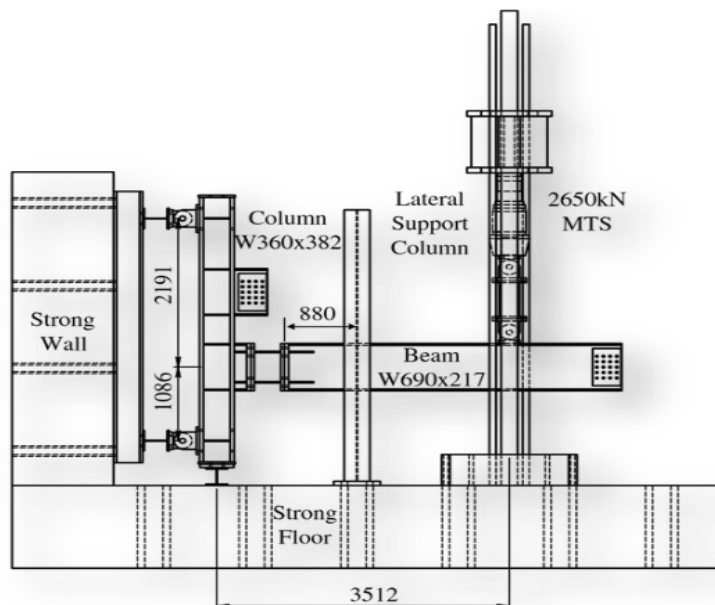
در سال ۲۰۱۸ میرقادری و دولتشاهی [۹] در یک مقاله نتایج آزمایشگاهی ۵ تست جهت ارزیابی رفتار چرخه ای قاب های مقاوم خمشی ویژه SMRF با استفاده از پیوندهای برشی که به اصطلاح به آن قاب با مقطع جان شکافدار گفته می‌شود را بررسی کردند. در این مقاله یک رویکرد جدید ارائه شده تا مفصل پلاستیک را از انتهای تیر به مرکز تیر انتقال دهند و این کار با استفاده از برش بخشی از وسط تیر و جایگزین کردن آن با پیوندهای برشی صورت گرفته است. یکی از آزمایش ها بر روی یک قاب جدید و دیگری بر روی یک قاب آسیب دیده که با این روش بهسازی شده است صورت گرفته که نتایج آن با نمونه MRF معمولی با همان هندسه و خواص مقایسه گردیده است. نتایج نشان داد که ایده پیشنهادی یک سیستم سخت و شکل پذیر را از طریق حلقه های ثابت هیسترتیک فراهم می‌آورد که این امر گزینه مناسبی رای طراحی ساختمان های جدید و ارتقاء و بهسازی قاب های مقاوم آسیب دیده می‌شود.

در سال ۲۰۲۰ محمودی و تهرانی [۱۰] در مقاله‌ای به بررسی رفتار چرخه ای قابهای مقاوم خمشی ویژه (SMRF) با استفاده از پیوندهای برشی پرداختند. در این مقاله یک رویکرد جدید ارائه شده تا تا مفصل پلاستیک را از انتهای تیر به مرکز تیر انتقال دهند و این کار با استفاده از برش بخشی از وسط تیر و جایگزین کردن آن با پیوندهای برشی صورت گرفته است. این ایده را می‌توان برای طراحی ساختمانهای جدید و به منظور بازسازی در SMRFs آسیب دیده اعمال نمود. در این آزمایش ۲ مدل از این قابها ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه ای شبه استاتیکی قرار گرفته است

این تحقیق به منظور درک بهتر از اتصالات RBS با استفاده از پیوندهای قابل تعویض با جزئیات ساخت متفاوت با تحقیقاتی که تاکنون صورت گرفته می‌باشد که می‌توانیم با انجام این تحقیق مقایسه‌ای نظام مند از این نوع اتصالات با اتصالات RBS که تاکنون انجام شده است داشته باشیم و بررسی کنیم که این اتصال با این جزئیات می‌تواند عملکرد مناسبی در زمان وقوع زمین لرزه داشته باشند و بعد از زلزله قابلیت تعویض داشته باشند. هدف اصلی این تحقیق بررسی و ارزیابی اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته بوسیله پیوندهای قابل تعویض به روش آزمایشگاهی می‌باشد که می‌توانیم پیش بینی مناسبی از رفتارهای اتصالات RBS در حالت MRF با پیوندهای قابل تعویض داشته باشیم و همچنین دستیابی به مقاومت و شکل پذیری مناسب در این اتصالات به هنگام وقوع زلزله از اهداف اصلی این تحقیق است.

۲- صحت سنجی

در این پژوهش به منظور اطمینان از صحت مدل‌سازی در نرم‌افزار اجزاء محدود مورد استفاده، از نمونه‌ی آزمایشگاه Shen و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. در آزمایشاتی که پژوهشگران فوق انجام دادند، ۴ نمونه لینک مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۳: مدل آزمایشگاهی مقاله Shen و همکاران [۱].

در جدول زیر ابعاد، نوع اتصال، شرایط سطحی و نوع تقویت انجام شده در مدل‌های مورد بررسی توسط Shen و همکاران (۲۰۱۰) آورده شده است.

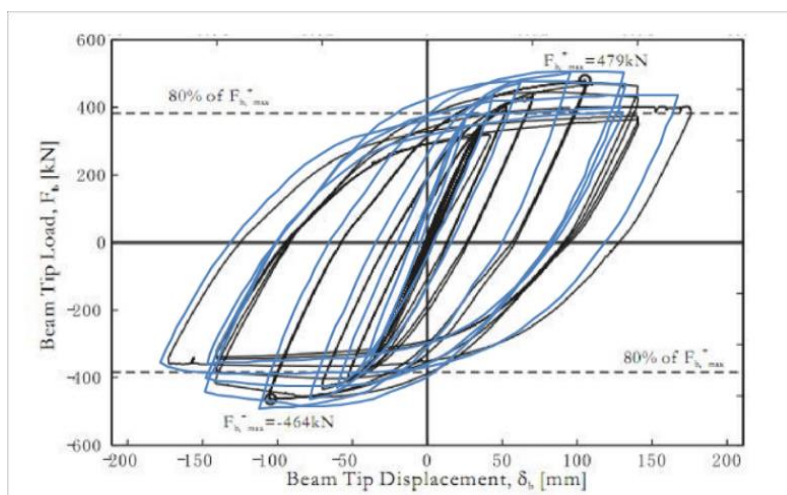
جدول ۱: ابعاد مدل‌های مورد بررسی در مقاله Shen و همکاران [۱].

Specimen No.	Link Section	Connection Type	Surface Condition	Reinforcement
MRF-1A	W460x128	Eccentrically Bolted Web	Mill Scale (A)	3/8" web doubler plate at connection
MRF-1B			Blast-cleaned (B)	1/4" web doubler plate at connection
MRF-2A	cut W460x89	Bolted End Plate	Mill Scale (A)	n/a
MRF-2A			Blast-cleaned (B)	n/a

در پژوهش Shen و همکاران به بررسی مدل‌های مختلف لینک در یک اتصال فولادی تحت بارگذاری سایکلیک پرداخته شده است.

۲-۱- مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی آباکوس و مدل آزمایشگاهی Shen و همکاران:

همان طور که در شکل زیر ملاحظه می‌کنید دو نمودار هیستریزیس مدل Shen و همکاران و مدل صحت‌سنجی که از خروجی نرم افزار آباکوس استخراج شده است و با هم مقایسه شده است. در این شکل مدل صحت‌سنجی با اختلافی بین ۱۰ تا ۱۵ درصدی رسم شده است و نشان از دقیق بودن اطلاعات و خروجی‌ها و اعداد نزدیک به نمونه‌ی Shen و همکاران می‌باشند



شکل ۴: مقایسه منحنی هیستریزیس پژوهش Shen و همکاران با نمونه مدل‌سازی شده [۱].

با توجه به این شکل دیده می‌شود که مقدار حداکثر و حداقل نیروی جذب شده در نمونه‌ی Shen و همکاران با نمونه صحت‌سنجی اختلاف چندانی نداشته است و صحت مدل‌سازی انجام شده به درستی بررسی شده است.

۳- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس

در این مقاله ۲ نمونه آزمایشگاهی و ۲ نمونه مدل‌سازی شده در نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفته شده است. مشخصات نمونه‌های ناحیه پیوند مدل‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس و مدل‌های آزمایشگاهی در جدول زیر آورده شده است.

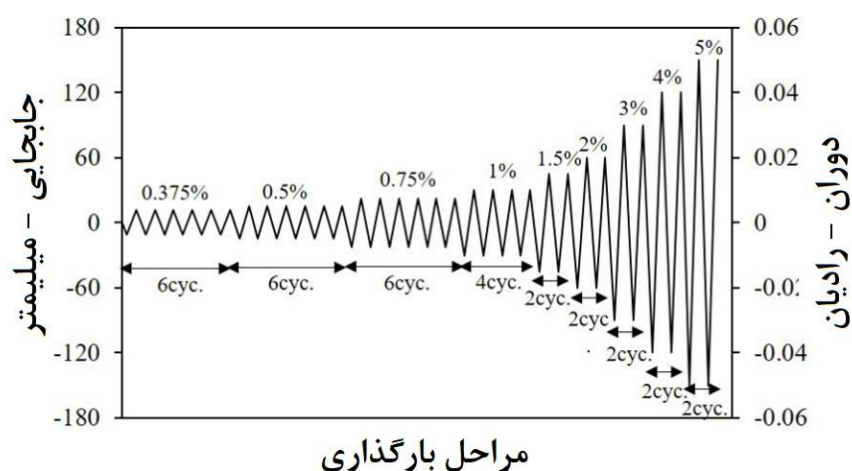
جدول ۲: مشخصات نمونه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس و نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه

شماره نمونه	عرض	ارتفاع	ضخامت
نمونه شماره ۱	۱۲۰ میلی‌متر	۲۰۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
نمونه شماره ۲	۱۵۰ میلی‌متر	۲۰۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
Link Box A	۱۲۰ میلی‌متر	۲۰۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
Link Box B	۱۵۰ میلی‌متر	۲۰۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر

جنس فولاد مصرفی در این نمونه‌ها از نوع فولاد ST-37 می‌باشد و تیر و ستون مورد استفاده از نوع تیر ورق می‌باشد و اجزای نمونه‌های آزمایشگاهی از قبیل تیر و ستون و پیوند‌ها در کارخانه اسکلت‌سازی اخباری واقع در ورامین ساخته شده‌اند.

۳-۱- بارگذاری وارده بر مدل‌ها

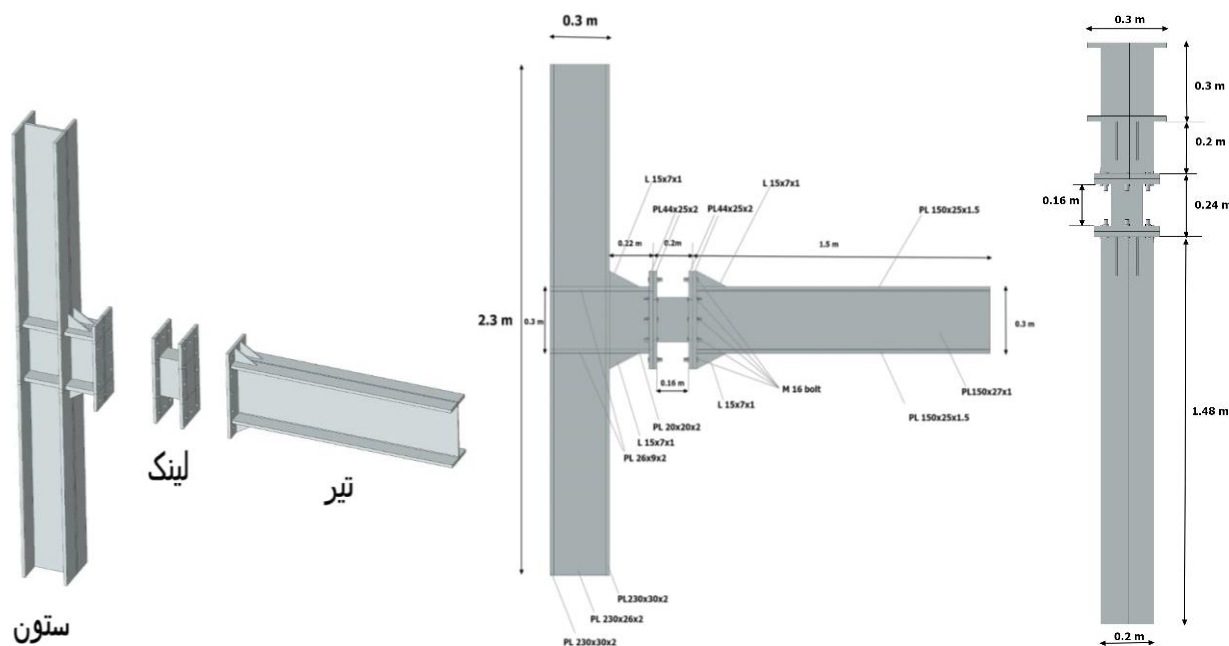
برای انجام آزمایش و همچنین تحلیل در نرم‌افزار آباکوس از پروتکل بارگذاری سیکلی به شکل زیر استفاده شده است.



شکل ۵: پروتکل بارگذاری سایکلک [۱].

۳-۲- مدل سازی و تحلیل نمونه ها در نرم افزار آباکوس

در این مقاله به منظور بررسی و تحلیل اتصالات از نرم افزار اجزاء محدود (FEM) آباکوس استفاده شده است. این نرم افزار با داشتن قابلیت های بسیار خوبی در زمینه مدل سازی رفتار فولاد مدلسازی انجام می گیرد، در شکل زیر شمای کلی و ابعاد مدل های مورد بررسی تیر و ستون و ناحیه لینک نشان داده شده است.

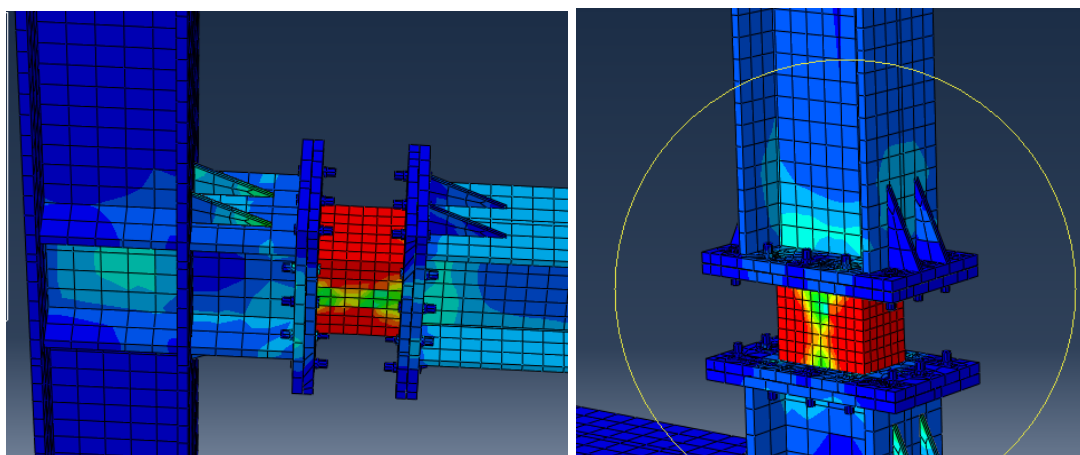


شکل ۶: شمای کلی و ابعاد مدل های مورد بررسی تیر و ستون و ناحیه پیوند.

۳-۲-۱- بررسی خروجی های نرم افزار اجزاء محدود

در شکل های زیر که از نرم افزار آباکوس آورده شده است خروجی های تنش مایز در اتصال و تمرکز بسیار دقیق که در قسمت پیوند رخ داده است را نشان می دهد. در این اتصال توزیع تنش به صورت یکنواخت صورت گرفته است و قسمت پیوند رفتار یکنواختی و مناسبی را در برابر کشش و فشار وارده از بار سایکلک از خود نشان داده است. همچنین سخت کننده های متصل به تیر و ستون و پیوند

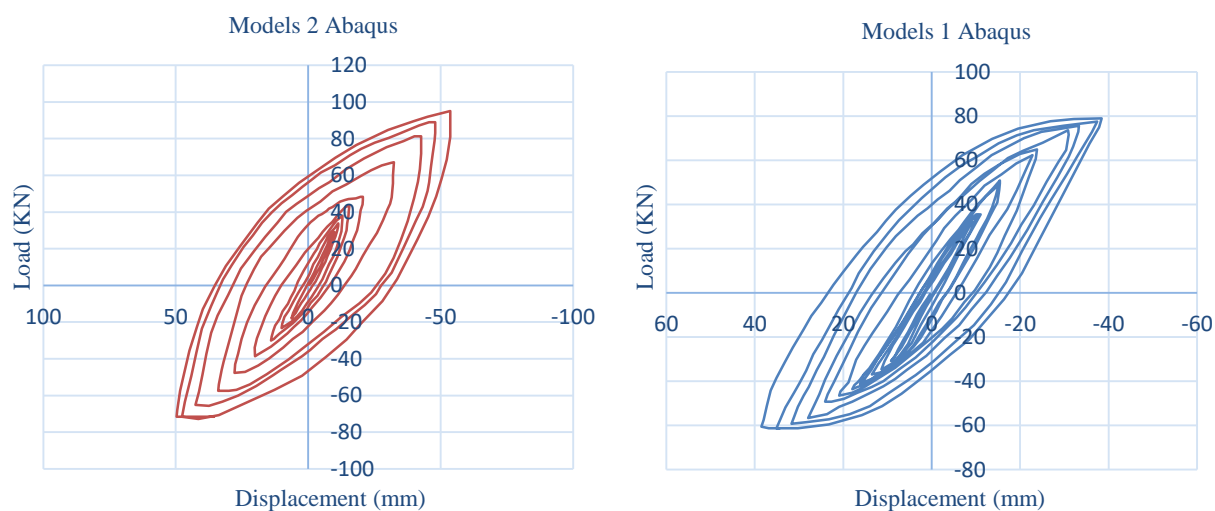
دیده می‌شود که به سلب ماندن اتصال و تیر و ستون کمک می‌کند. همچنین ورق پیوستگی ستون که در چپ و راست ستون قرار دارد و مانع از هرگونه رفتار مخرب و جابجایی اتصال و شکنندگی ستون می‌شود.



شکل ۷: کاهش تمرکز تنش در ناحیه میانی لینک قائم - عملکرد مناسب سخت کننده ها.

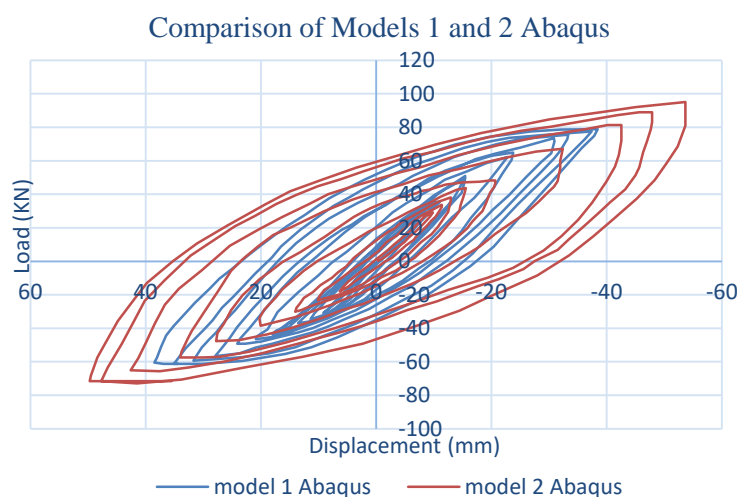
• نتایج هیستریزیس نیرو - جابجایی مدل‌های شماره ۱ و ۲

در شکل زیر منحنی هیستریزیس مدل شماره ۱ و ۲ در نرم افزار آباکوس نشان داده شده است. این منحنی از میزان تغییر مکان مثبت و منفی ۶ سانتی متر حاصل شده است و رفتاری کاملاً مشابه در ناحیه فشاری و کششی دیده می‌شود این منحنی جذب انرژی مناسب مدل ۱ و ۲ را نشان می‌دهد همچنین مشاهده می‌شود که مدل ۱ توانسته است تا ۸۰ کیلونیوتن نیرو و مدل ۲ تا ۹۵ کیلونیوتن نیرو را تحمل نماید.



شکل ۸: منحنی هیستریزیس مدل‌های شماره ۱ و ۲ در نرم‌افزار آباکوس.

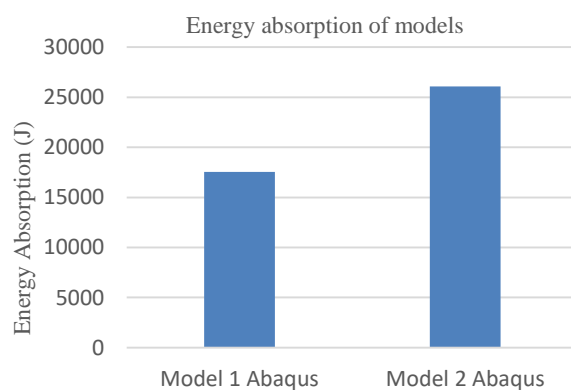
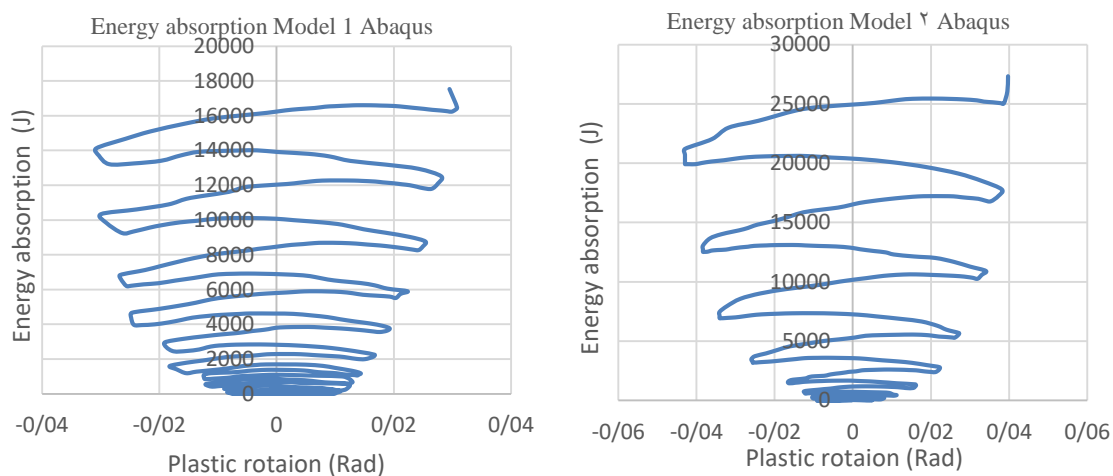
در نمودار زیر مقایسه منحنی‌های هیستریزیس نیرو - جابجایی مدل‌های نرم‌افزاری نشان داده شده است. این منحنی هیستریزیس نشان می‌دهد که مدل شماره ۲ بدون کاهش خاصی در مقاومت و سختی توانسته است جذب انرژی بسیار مناسبی داشته باشد که از نظر جذب انرژی نسبت به مدل شماره ۱ در حدود ۱,۲ برابر بیشتر نیرو تحمل میکند.



شکل ۹: مقایسه منحنی‌های هیستریزس مدل‌های نرم‌افزاری.

• نتایج انرژی جذب شده در نمونه‌ها

همانطور که در شکل‌های زیر مشاهده می‌شود میزان جذب انرژی نمونه مدلسازی شده ۲ از نمونه ۱ بیشتر می‌باشد، (میزان کل انرژی جذب شده در نمونه ۲ برابر ۲۶ کیلوژول و در نمونه ۱ برابر ۱۷,۵ کیلوژول می‌باشد) همچنین مشاهده می‌شود که نمونه ۲ حدود ۳۲,۷ درصد انرژی بیشتری نسبت به نمونه ۱ جذب کرده است.



شکل ۱۰: مقایسه انرژی جذب شده در اتصال‌های مدلسازی شده ۱ و ۲.

۳-۳- بررسی مدل آزمایشگاهی

آزمایش مورد نظر در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس (آزمایشگاه سازه و زلزله) به صورت اسکیل شده (۱/۲) انجام شده است. بارگذاری نمونه‌ها بصورت چرخه‌ای، توسط تغییرمکان و بر اساس استاندارد AISC تعریف شده است [۱۱]. بدین ترتیب که ۶ چرخه در هر یک از زوایای تغییرمکان نسبی طبقه برابر ۰,۰۰۳۷۵ رادیان ۰,۰۰۵ رادیان و ۰,۰۰۷ رادیان، ۴ چرخه در ۰,۰۱ رادیان و ۲ چرخه در زاویه تغییرمکان نسبی ۰,۰۱۵ رادیان، ۰,۰۲ رادیان و ۰,۰۳ رادیان و زوایای بزرگتر از آن انجام می‌گردد. ادامه بارگذاری در هر افزایش رادیان با ۲ چرخه بارگذاری در هر گام انجام می‌یابد و آزمایش تا زوال نمونه ادامه می‌یابد.

همچنین جک هیدرولیکی با توان اعمال بار ۱۰۰ تن استفاده شده است که در راستای افقی به تیر نیرو وارد کرده و جابجایی را اعمال مینماید. در میانه‌های تیر مهارهایی برای جلوگیری از کمانش خارج از صفحه قرار داده شده است.

۳-۳-۱- وسایل اتصال و نحوه اتصال ستون به Reaction Frame

پیچ‌های مورد استفاده در این آزمایش از نوع پیچ شش گوشه کلاس ۱۲,۹ و قطر اسمی M۱۶ می‌باشند که همگی این این پیچ‌ها بطور دقیق برای این پژوهش طراحی شده‌اند و طول این پیچ‌ها ۱۰ سانتیمتر و از نوع مقاومت بالا می‌باشد. مهره و واشر مورد استفاده از نوع HB است. پیوند تعویض پذیر نیز توسط ۱۲ عدد پیچ در هر طرف به تیر اصلی اتصال پیدا کرده است که مجموعاً پیوند مورد نظر با ۲۴ عدد پیچ مقاومت بالا به تیر اصلی اتصال یافته است که این پیچ‌ها همگی توسط Torque Meter به گشتاور مورد نیاز برای انجام آزمایش رسیده‌اند و حداکثر مقاومت را در برابر تغییر مکان اعمال شده و نیروی وارده از خود نشان می‌دهند.



شکل ۱۱: نمونه پیچ استفاده شده.

قسمت پایینی ستون از طریق اتصال مفصلی که توسط ۲ عدد مفصل مکانیکی فراهم گردیده به کف Reaction Frame بصورت قوی متصل می‌شود و ستون نیز بوسیله جوش به مفصل‌های مورد نظر اتصال پیدا کرد. همچنین انتهای تیر متکی است به پایه‌های قابل تنظیم با قابلیت حرکت جانبی که برای تامین شرایط مرزی مورد نظر فراهم شده است. در این آزمایش از جک هیدرولیکی با قابلیت اعمال بار ۱۰۰ تن استفاده شده و جک بصورت افقی به فریم عمودی توسط پیچ اتصال پیدا کرده است و سپس جک هیدرولیکی به انتهای تیر اصلی که بصورت قائم قرار گرفته متصل گردیده و اعمال بار در راستای افقی و بصورت رفت و برگشت اعمال می‌گردد. یک بخش انتهایی محرک به نمونه و سر دیگر آن که دارای چرخش آزاد است به قاب صلب متصل شده است تا اینکه شرایط مرزی شبیه سازی گردد.



شکل ۱۲: نحوه اتصال ستون و جک به Reaction Frame.

۳-۲-۳- جانمایی LVDT ها در مدل آزمایشگاهی

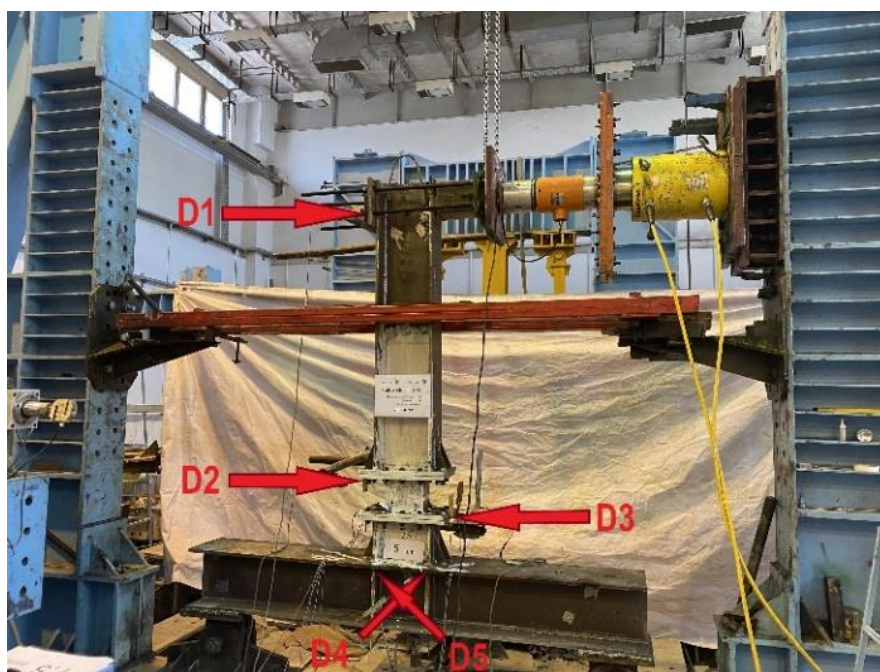
به منظور ثبت و بررسی رفتار مدل‌های آزمایشگاهی ساخته شده از سنسورهای الکترومکانیکی به شرح ذیل استفاده شده است:

D1: اولین سنسور الکترومکانیکی در بالای تیر اصلی قرار گرفت تا حرکت تیر اصلی را به خوبی مورد ارزیابی قرار دهیم.

D2: سنسور شماره ۲ در ناحیه اتصال تیر به بخش بالایی پیوند قرار داده شده است.

D3: این سنسور در ناحیه اتصال پیوند به بخش پایینی تیر که به ستون متصل شده قرار گرفته است.

D4 و D5: همچنین این ۲ سنسور نیز در قسمت وسط ستون قرار داده شد یکی در جلو ستون و دیگری در پشت تا بتواند عملکرد ستون را مورد ارزیابی قرار دهد.



شکل ۱۳: جانمایی LVDT ها در مدل آزمایشگاهی.

۳-۳-۳- جانمایی نصب کرنش سنج‌ها

در این مقاله برای اندازه گیری دقیق کرنشها از کرنش سنج استفاده شده است به این صورت که در هر نمونه ۸ کرنش سنج قرار داده شد و توسط چسب مخصوص به نمونه اتصال پیدا کرد. نحوه اتصال کرنش سنج‌ها به اینصورت است که ابتدا سطح مورد نظر بصورت کامل سمباده و پولیش زده شده و سپس سطح فولاد تمیز گردید و کرنش سنج به سطح فولاد پیوند نصب گردید (شکل ۱۴). ۲ عدد کرنش سنج در هر بال قسمت اتصال و ۲ عدد هم در هر طرف جان قسمت اتصال تعویض پذیر قرار داده شد که در مجموع ۴ عدد در بال و ۴ عدد در جان جانمایی گردید.

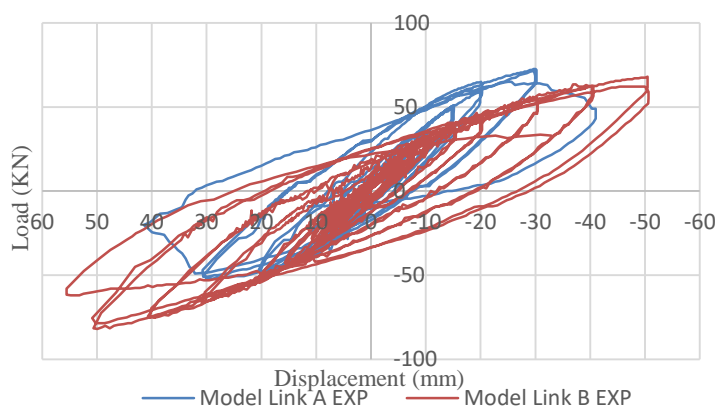


شکل ۱۴: محل نصب کرنش سنج‌های ۱ و ۲.

۳-۳-۴- نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی

• نتایج نمودار هیستریزس نیرو-جابجایی

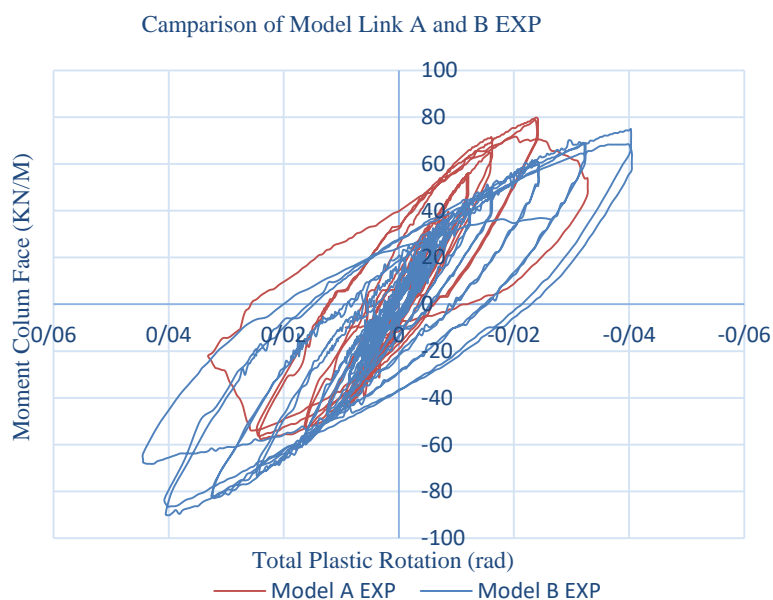
در زیر شکل زیر نمودار هیستریزس نیرو-جابجایی مدل‌های Link Box A و Link Box B که به صورت آزمایشگاهی مورد تست قرار گرفته اند دیده می‌شود در این آزمایش میزان تغییر مکان نهایی جک که برابر مثبت و منفی ۶۰ میلیمتر بوده است به نمونه‌ها اعمال گردید. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه Link Box B دارای رفتار بهتری بوده و در بخش مثبت منفی نمودار دارای رفتار تقریباً یکسانی بوده است و توانسته مقادیر جابجایی بیشتری را نسبت به نمونه Link Box A تحمل کند. در نمونه Link Box A مشاهده می‌شود که در سیکل‌های مختلف بارگذاری نمونه دچار کاهش مقاومت شده و در نهایت گسیخته شده است و دچار تغییر مکان پلاستیک شده است و وارد ناحیه پلاستیک شده است.



شکل ۱۵: مقایسه منحنی هیستریزس نیرو-جابجایی اتصال‌های Link Box A و Link Box B.

• نتایج نمودار هیستریزیس لنگر-دوران

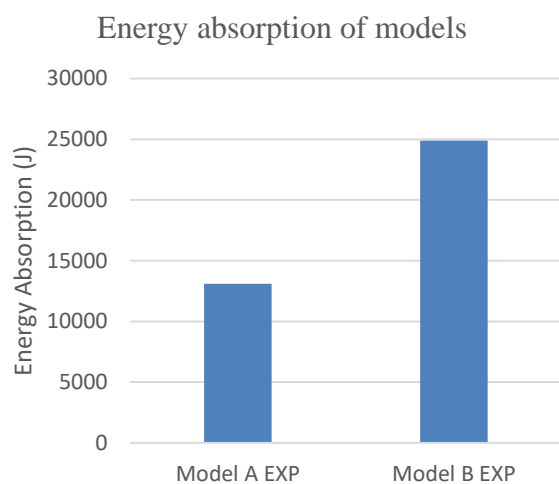
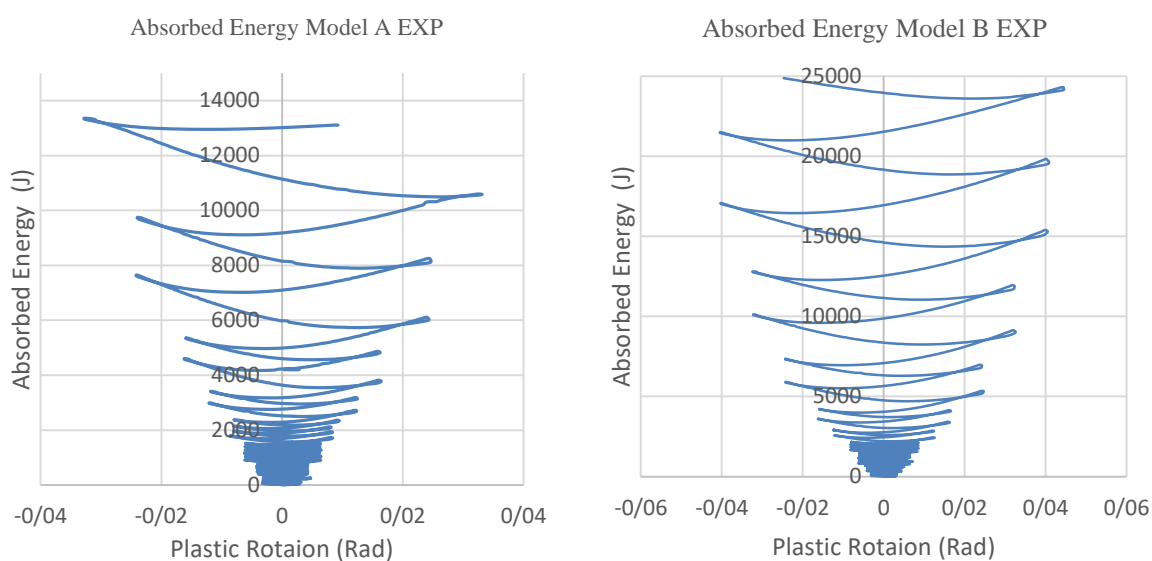
همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود به دلیل آنکه میزان بیشینه دوران ثبت شده در نمونه آزمایشگاهی Link Box A به $0,04$ رادیان نرسیده پس با توجه به آئین نامه AISC، این اتصال قابلیت استفاده در قاب خمشی ویژه را ندارد و جزو اتصالات مجاز در قاب متوسط است، همچنین با توجه به اینکه میزان بیشینه دوران ثبت شده در نمونه آزمایشگاهی Link Box B از $0,04$ رادیان گذشته پس با استناد به آئین نامه AISC، این اتصال قابلیت استفاده در قاب خمشی ویژه را دارد.



شکل ۱۶: مقایسه منحنی هیستریزیس لنگر-دوران اتصال‌های Link Box B و Link Box A

• نتایج انرژی جذب شده در نمونه‌ها

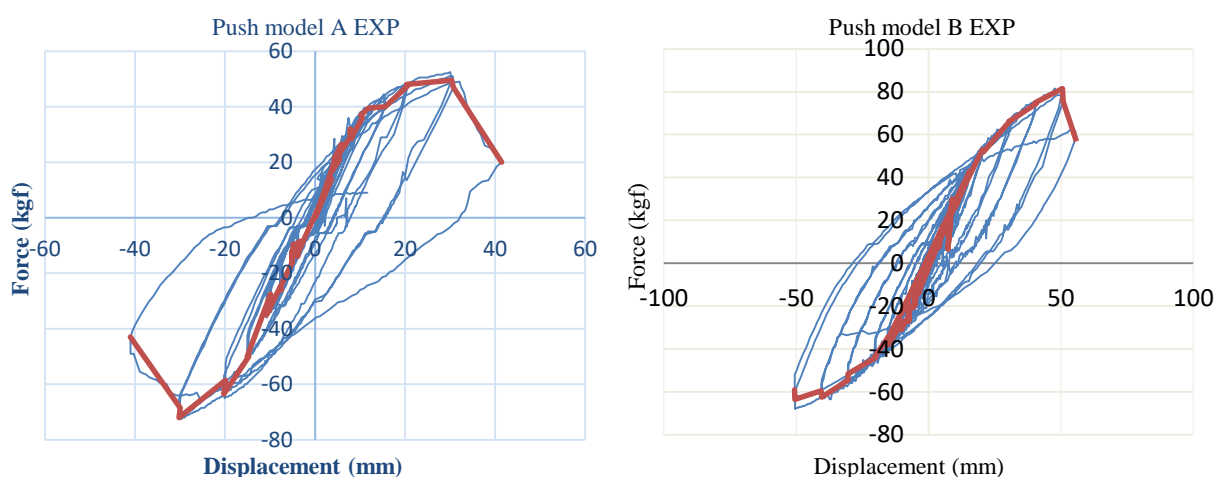
همانطور که در شکل‌های زیر مشاهده می‌شود میزان جذب انرژی نمونه آزمایشگاهی B از نمونه آزمایشگاهی A بیشتر می‌باشد، (میزان کل انرژی جذب شده در نمونه A برابر 13.3 کیلوژول و در نمونه B برابر 24,9 کیلوژول می‌باشد) که علت آن با توجه به نمودار هیستریزیس لنگر-دوران یا نیرو-جابجایی، وارد شدن زودتر اتصال نمونه A به ناحیه غیر خطی و نشان دادن رفتار پلاستیک از خود در بارگذاری صورت گرفته شده می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که نمونه B حدود 87 درصد انرژی بیشتری نسبت به نمونه A جذب کرده است. این موضوع نشان دهنده آن است که در تیر پیوند باکسی شکل اندازه ارتفاع جان بسیار با اهمیت می‌باشد چرا که تفاوت نمونه A و B در 30 میلیمتر اختلاف ارتفاع جان مقطع می‌باشد.



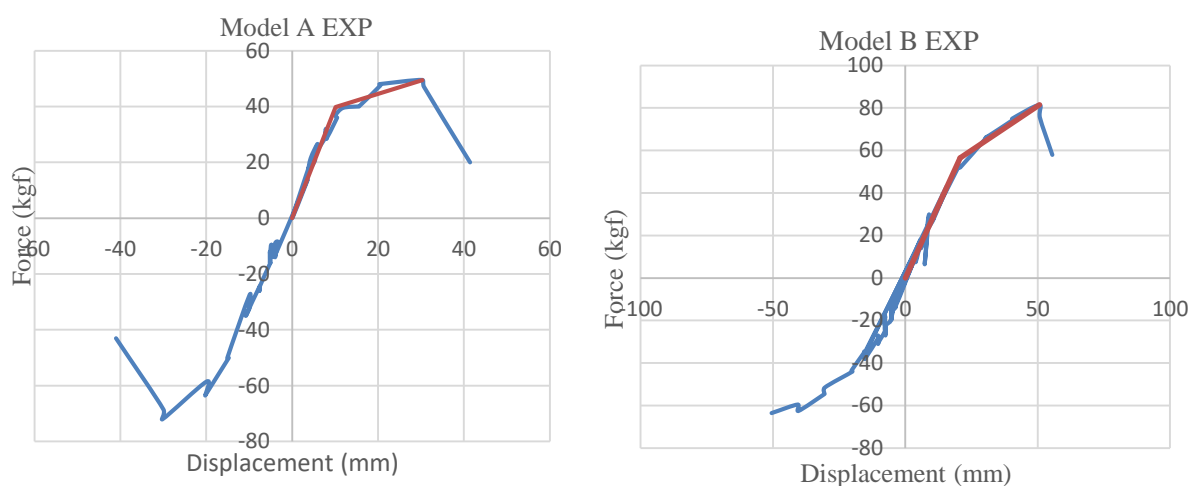
شکل ۱۷: مقایسه انرژی جذب شده در اتصال‌های Link Box A و Link Box B.

• پوش نمودار هیستریزس نیرو-جابجایی

در زیر شکل زیر نمودارهای پوش منحنی هیستریزس نیرو-جابجایی و نمودار دو خطی شده نمونه‌های A و B آورده شده است. با توجه به منحنی پوش و نمودار دو خطی حاصل از آن می‌توان مقادیر سختی (شیب اولیه نمودار) و شکل‌پذیری (نسبت جابجایی نهایی به جابجایی در نقطه تسلیم) را می‌توان حساب کرد.

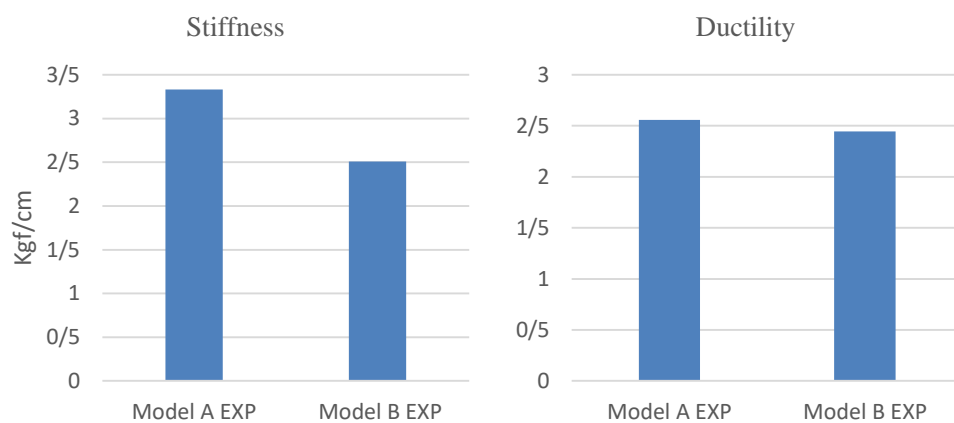


شکل ۱۸: پوش منحنی هیستریزس نیرو-جابجایی اتصال‌های Link Box A و Link Box B.



شکل ۱۹: نمودار دوخطی نیرو-جابجایی اتصال‌های Link Box A و Link Box B.

با توجه به شکل زیر مشاهده می‌شود که شکل‌پذیری نمونه‌ها چندان تفاوتی با هم نداشته و نمونه A، ۴۰٫۴۶ درصد شکل‌پذیری بیشتری نسبت به نمونه B دارد، همچنین میزان سختی در نمونه A، ۲۴٫۶۴ درصد بیشتر از نمونه B می‌باشد.



شکل ۲۰: نمودار سختی و شکل‌پذیری نمونه‌های A و B.



شکل ۲۱: تغییر شکل ها و ترک های بوجود آمده بعد از اعمال بارگذاری در لینک شماره ۱ و ۲ (سمت راست لینک ۱ و سمت چپ لینک ۲)

با توجه به اینکه در نمونه دوم آزمایشگاهی از لینک باکس شکل با عرض بیشتر استفاده شده است، میتوان بیان نمود که در تیر پیوند باکس شکل استفاده از بال با عرض بیشتر تاثیر بسزایی در شکل پذیری این نوع از اتصالات که دارای مقطع کاهش یافته هستند، دارد. همچنین در نمونه دوم شاهد کمانش موضعی در بال لینک باکس بوده ایم و مشاهده گردید اکثر کسبختگی های موجود در ناحیه تعویض-پذیر در این قسمت از لینک متمرکز می شوند و تنش های اصلی همانگونه که در تحلیل های نرم افزاری مشخص است در بال لینک باکس و در نزدیکی اتصال جوشی پیوند بیشتر از قسمت های دیگر است. همانطور که در عکس های نمونه ها مشخص است وقتی عرض بال لینک بیشتر است، شاهد ترک های کمتر و خسارت های جوشی کمتری در ناحیه اتصال هستیم.

در جدول ۴ مقادیر کرنش ماکزیمم در نقاط قرارگیری کرنش سنجها (نقاط ۱ تا ۸) و سیکل تسلیم که نشان دهنده سیکلی می-باشد که در آن کرنش سنج ها به حد نهایی خود رسیده و تسلیم شده اند، آورده شده است.

جدول ۴: مقادیر کرنش ماکزیمم و سیکل تسلیم در نقاط قرارگیری کرنش سنجها اتصال های Link Box A و Link Box B.

شماره کرنش سنج	نام نمونه	سیکل تسلیم	مقدار کرنش ماکزیمم
۱	Link Box A	-	۰/۰۰۱۵
	Link Box B	۳۶۳۳	۰/۰۰۵۲
۲	Link Box A	۳۱۷۵	۰/۰۰۲۱
	Link Box B	۳۶۳۰	۰/۰۰۵۷
۳	Link Box A	۳۱۷۵	۰/۰۰۲۱
	Link Box B	۴۱۷۰	۰/۰۰۲۷
۴	Link Box A	۳۱۷۵	۰/۰۰۲۱
	Link Box B	-	۰/۰۰۱۹
۵	Link Box A	-	۰/۰۰۱۹
	Link Box B	۲۹۳۳	۰/۰۰۳۲
۶	Link Box A	۳۳۳۶	۰/۰۰۲
	Link Box B	۲۱۴۳	۰/۰۰۴
۷	Link Box A	-	۰/۰۰۰۸۵
	Link Box B	۴۱۶۵	۰/۰۰۳۷
۸	Link Box A	-	-
	Link Box B	۹۴۲	۰/۰۰۳۳

با توجه به مقدار ماکزیمم کرنش همانطور که مشاهده می‌شود در نمونه Link Box B در نقاط ۸، ۷، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱ کرنش سنج‌های قرارداده شده مقدار کرنش از ۰،۲ بیشتر شده است پس تسلیم رخ داده است و در نمونه Link Box A در نقاط ۶، ۴، ۳، ۲ کرنش سنج‌های قرارداده شده مقدار کرنش از ۰،۲ بیشتر شده است و تسلیم رخ داده است.

تفاوت های رفتاری مشاهده شده بین دو نمونه آزمایشگاهی A و B (با توجه به یکسان بودن شرایط آزمایشگاهی و مصالح مصرفی) تنها به دلیل اختلاف در مشخصات هندسی حول محور قوی در خمش (ارتفاع جان مقطع باکس) این دو نمونه می‌باشد چرا که نمونه A و B در ۳۰ میلیمتر اختلاف در ارتفاع جان مقطع دارند و ارتفاع جان نمونه A، ۱۲۰ میلیمتر و نمونه B، ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به مطالعه عددی آزمایشگاهی اتصال RBS با استفاده از پیوند قابل تعویض قوطی شکل در محل تشکیل مفصل پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا یک صحت سنجی بر مبنای یک مدل آزمایشگاهی در نرم افزار اجزاء محدود مورد استفاده انجام شده است. در ادامه مدلهایی بر مبنای مقاله صحت سنجی توسعه داده شده اند و ایده استفاده از لینک باکس شکل مطرح شده است. دو مدل مورد بررسی نرم افزاری و دو مدل نیز مورد ساخت و تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفته اند نتایج به شرح زیر است:

۱- استفاده از تیر پیوند قابل تعویض از لحاظ اقتصادی این مزیت را دارد که پس از رویداد زلزله طرح، انرژی زلزله در محل تشکیل مفصل‌ها جذب شود و آسیب در کل سازه گسترش نیابد. و پس از زلزله تیرهای پیوند قابل تعویض از محل اتصال جدا شده و با تیرهای پیوند جدید جایگزین می‌شوند. بنابراین در سازه‌هایی که سیستم خمشی ویژه دارند این موضوع از اهمیت بیشتری برخوردار است.

۲- در مدل عددی شماره ۱ و ۲ با توجه به منحنی هیستریزس نیرو-تغییر مکان میزان بیشینه تغییر مکان مثبت و منفی ثبت شده تقریباً با هم برابر است و مدل‌ها رفتاری کاملاً مشابه در ناحیه فشاری و کششی دیده داشته اند. همچنین مشاهده می‌شود که مدل‌ها بدون کاهش خاصی در مقاومت و سختی توانسته اند جذب انرژی بسیار مناسبی داشته باشند.

۳- نحوه کاهش مقاطع تاثیر مهمی در رفتار تیرهای پیوند دارند به نحوی که در مقطع باکسی شکل کوچکتر بودن بال مقطع تاثیر به مراتب بیشتری در عملکرد آن داشته است. در نتیجه نمونه A که بال آن ۳۰ میلیمتر از نمونه B کوچکتر است دارای عملکرد ضعیفتری است و در نهایت منجر به گسیختگی زود هنگام این نمونه شده است.

۴- در بین مدل‌های ساخته شده در آزمایشگاه، نمودار هیستریزس نمونه A و نمونه B مدل که به صورت آزمایشگاهی مورد تست قرار گرفته اند دیده می‌شود دلیل قدرت بالاتر جک آزمایشگاهی میزان تغییر مکان نهایی جک که برابر مثبت و منفی ۶۰ میلیمتر بوده است به نمونه‌ها اعمال گردیده است. همچنین مشخص گردید که میزان جذب انرژی نمونه آزمایشگاهی B از نمونه آزمایشگاهی A بیشتر است که علت آن با توجه به نمودار هیستریزس لنگر-دوران یا نیرو-جابجایی، وارد شدن زودتر اتصال نمونه A به ناحیه غیر خطی و گسیختگی زودتر آن در بارگذاری صورت گرفته می‌باشد.

۵- با توجه به نمودارهای تغییر مکان و کرنش سنج نمونه B دارای کرنش بهتری بوده و تقریباً در بیشتر نقاط که کرنش سنج نصب شده بود مقدار کرنش از ۰،۰۲ بیشتر شده پس در نتیجه در آن نقاط به تسلیم رسیده است و فراتر رفته. ماکزیمم کرنش نمونه B از نمونه A بیشتر بوده است.

۶- با توجه به میزان ماکزیمم دوران ثبت شده در نمونه B به ۰،۰۴ رادیان نرسیده پس با توجه به آئین نامه AISC، این اتصال قابلیت استفاده در قاب خمشی ویژه را ندارد و جزو اتصالات مجاز در قاب متوسط است، همچنین با توجه به اینکه میزان ماکزیمم دوران ثبت شده در نمونه B از ۰،۰۴ رادیان گذشته پس با استناد به آئین نامه AISC، این اتصال قابلیت استفاده در قاب خمشی ویژه را دارد.

مراجع

- [1] Shen, Y. Christopoulos, C. Mansour, N. and Tremblay, R. (2011). Seismic Design and Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Nonlinear Replaceable Links. *Journal of Structural Engineering*, 137(10), 1107–1117.
- [2] Carter C. and Iwankiw N. (1998) Improved ductility in seismic steel moment frames with dogbone connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 46, 448-461.
- [3] Shen J., Kitjasetanphun T. and Srivanich W. (2000) Seismic performance of steel moment frames with reduced beam sections. *Journal of Engineering Structures*, 22(8), 968-983.
- [4] Nabil, M. Shen, Y. Constantin, C. and Robert, T. (2008) experimental evaluation of nonlinear replaceable links in eccentrically braced frames and moment resisting frames. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering October*, 12-17.
- [5] Naghipour, M. Javadi N. Naghipour A. (2011). Investigation of RBS connection ductility in eccentrically braced frame. *Procedia Engineering*, 14, 743-752.
- [6]. Tsavdaridis, K. D., Faghih, F., & Nikitas, N. (2014, October). Seismic evaluation of reduced web section (RWS) moment connections. In *Proceedings of the Hellenic National Conference of Steel Structures*. Leeds.
- [7]. Saleh, A., Mirghaderi, S. R., & Zahrai, S. M. (2016). Cyclic testing of tubular web RBS connections in deep beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, 214-226.
- [8]. Roudsari, M. T., & Moradi, S. H. (2018). Experimental and numerical assessment of reduced IPE beam sections connections with box-stiffener. *International Journal of Steel Structures*, 18(1), 255-263.
- [9] Dolatshahi, K. M., Gharavi, A., & Mirghaderi, S. R. (2018). Experimental investigation of slitted web steel moment resisting frame. *Journal of Constructional Steel Research*, 145, 438-448.
- [10] Mahmoudi, F., & Tehrani, P. (2020). A Technique for Seismic Rehabilitation of Damaged Steel Moment Resisting Frames. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 8(4), 106-117.
- [11] AISC, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC/ANSI 358-16, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, IL, 2016.
- [12] Sofias C. E., Kalfas C. N. & Pachoumis D. T. (2014). Experimental and FEM analysis of reduced beam section moment endplate connections under cyclic loading. *Engineering Structures*, 59, 320-329.
- [13] Huang Y., Yi W., Zhang R., Xu M. (2014) Behavior and design modification of RBS moment connections with composite beams. *Engineering Structures*, 59, 39-48.
- [14] Tawil, S., & Deierlein, G., (2001) Nonlinear analyses of mixed steel-concrete moment frames, I: beam-column element formulation. *Journal of Structural Engineering*, 127(6), 545-557.
- [15] Mirghaderi, R., Torabian, S., Imanpour, A., (2010) Seismic performance of the Accordion-Web RBS connection. *School of Civil Engineering, University of Tehran, P.O. Box 11365-4563, Tehran, Iran*
- [16] Pachoumis, D. T., Galoussis, E. G., Kalfas, C. N., & Christitsas, A. D. (2009). Reduced beam section moment connections subjected to cyclic loading: Experimental analysis and FEM simulation. *Engineering Structures*, 31(1), 216-223.