

## The effect of additional stiffeners on the Seismic performance of beam connection to concretes filled steel column

Ali Parvari <sup>1\*</sup>, Mehdi Vajdian <sup>2</sup>, Ghasem Asgari <sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Aligoudarz Branch, Islamic Azad University, Aligoudarz, Iran

3- M.Sc., Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran

### ABSTRACT

One of the common structural systems is steel moment frames, which are affected by various factors in the formability of these frames. Examining the performance of the connection spring and the ductility and energy absorption in the beam-to-column connection is one of the important issues in connection design. The purpose of this study was to investigate the effect of hardening on the beam-to-column connection behavior. Abaqus finite element software is used for modeling. Cyclic load is used for loading. The thickness of the hardener is 1.2, 1.4 and 1.6 cm. In addition, the models have been compared in two cases of steel columns filled with concrete and without concrete. One of the innovations of the research is the proposal of a connection with a new method and the addition of a stiffener at the joint of the beam and the column. The results show that increasing the thickness of the stiffener up to about 15% increases the anchor capacity, with an increase in capacity from 4% in the thickness of 1.2 cm to 15% in the thickness of 1.6 cm. However, in some models, no significant difference was observed between thicknesses of 1.4 and 1.6 cm, indicating that once the optimum thickness is reached, further increases may not have much effect and only increase costs. Also, the models with holes, especially the model with two rows of oval holes, performed better than the models without holes. In the columns filled with concrete, about 11 to 25% more moment was tolerated than the columns without concrete, which emphasizes the positive effect of concrete on increasing the moment capacity. In general, the results of this research show that the effective use of hardeners and concrete in structures Steel moment has good functional and economic effects.

### ARTICLE INFO

Receive Date: 20 June 2024

Revise Date: 09 September 2024

Accept Date: 25 October 2024

### Keywords:

panel zone  
stiffener  
moment capacity concrete-  
filled steel column  
seismic performance

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.462475.3440](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.462475.3440)

\*Corresponding author: Ali Parvari.

Email address: [ali.parvari@iau.ac.ir](mailto:ali.parvari@iau.ac.ir)

## تأثیر سخت کننده های الحاقی بر عملکرد لرزه ای اتصال تیر به ستون فولادی پر شده با بتن

علی پروری<sup>۱\*</sup>، مهدی وجدیان<sup>۲</sup>، قاسم عسگری<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران،

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

۳- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران،

### چکیده

یکی از سیستم های رایج سازه ای، قاب های خمشی فولادی می باشد که عوامل مختلفی در میزان شکل پذیری این قاب ها موثر می باشند. بررسی عملکرد چشمه اتصال و شکل پذیری و جذب انرژی در اتصال تیر به ستون یکی از موارد مهم در طراحی اتصال می باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثر سخت کننده بر روی رفتار اتصال تیر به ستون بوده است. جهت مدلسازی از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است. برای بارگذاری از بار سیکنی استفاده شده است. ضخامت سخت کننده نیز ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، مدل ها در دو حالت ستون های فولادی پر شده با بتن و بدون بتن مقایسه شده اند. از نوآوری های پژوهش پیشنهاد یک اتصال با روش جدید و الحاق یک سخت کننده در محل اتصال تیر به ستون می باشد. نتایج نشان می دهند که افزایش ضخامت سخت کننده تا حدود ۱۵ درصد موجب افزایش ظرفیت لنگر می شود، با افزایش ظرفیت از ۴ درصد در ضخامت ۱/۲ سانتیمتر تا ۱۵ درصد در ضخامت ۱/۶ سانتیمتر. با این حال، در برخی مدل ها تفاوت قابل توجهی بین ضخامت های ۱/۴ و ۱/۶ سانتیمتر مشاهده نشد، که نشان می دهد پس از رسیدن به ضخامت بهینه، افزایش بیشتر ممکن است تأثیر زیادی نداشته و تنها هزینه ها را افزایش دهد. همچنین، مدل هایی که دارای سوراخ بودند، به ویژه مدل با دو ردیف سوراخ بیضی شکل، عملکرد بهتری نسبت به مدل های بدون سوراخ نشان دادند. در ستون های پر شده با بتن حدود ۱۱ تا ۲۵ درصد بیشتر از ستون های بدون بتن لنگر خمشی تحمل کردند، که تأکیدی بر تأثیر مثبت بتن بر افزایش ظرفیت خمشی است. به صورت کلی نتایج این پژوهش نشان می دهد که استفاده مؤثر از سخت کننده ها و بتن در قاب های خمشی فولادی تأثیرات عملکردی و اقتصادی مناسبی دارد.

کلمات کلیدی: چشمه اتصال، سخت کننده، ظرفیت خمشی، ستون فولادی پر شده با بتن، عملکرد لرزه ای.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2024.462475.3440	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.462475.3440	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	۱۴۰۳/۰۸/۰۴	۱۴۰۳/۰۸/۰۴	۱۴۰۳/۰۶/۱۹	۱۴۰۳/۰۳/۳۱
			علی پروری		*نویسنده مسئول:	
			ali.parvari@iau.ac.ir		پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

اتصالات وظیفه انتقال نیروها از یک عضو سازه به عضو دیگر سازه و یا به تکیه-گاه را برعهده دارند. بررسی عملکرد اتصالات در سازه‌های فولادی از اهمیت بالایی برخوردار است و چنانچه طراحی و اجرای این اتصالات با دقت انجام نشود، موجب خرابی در اتصال می‌شود و همچنین تأثیرات مخربی نیز بر اعضای سازه و در نتیجه کل سازه خواهد داشت. در دهه ۱۹۶۰ مهندسی سازه بر این باور بودند که سیستم قاب‌های مقاوم خمشی فولادی با اتصالات جوشی در رده شکل‌پذیرترین سیستم‌های سازه‌ای قرار دارند و اگر خسارت سازه‌ای رخ دهد محدود به جاری شدن اعضای قاب بوده و اتصالات آن به صورت الاستیک باقی می‌مانند. با وقوع زلزله نورتریج در ۲۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ بسیاری از ساختمان‌ها که سیستم سازه‌ای آنها از قاب مقاوم خمشی فولادی بود دچار شکست ترد در ناحیه اتصال تیر به ستون شدند. به دنبال مطالعات خرابی-های زلزله نورتریج، مشخص شد آنچه در طراحی لرزه-ای سازه‌ها علاوه بر مقاومت و سختی بایستی در نظر گرفته شود، شکل-پذیری است. این فلسفه جدید طراحی لرزه-ای، به طراح این اجازه را می‌دهد که بخش-هایی از سازه را ضعیف‌تر از بخش-های دیگر طراحی نماید تا در هنگام زلزله این بخش-های ضعیف حتماً وارد ناحیه پلاستیک شوند و باعث جذب و اتلاف انرژی زلزله گردند [۱].

دهقانی و همکاران [۲] در سال ۱۳۹۶، به بررسی چگونگی مدل‌سازی ناحیه چشمه اتصال در قاب‌های فولادی گیردار با ورق انتهایی پرداختند. در این پژوهش با معرفی دو مدل تحلیلی متعارف در مدل‌سازی چشمه اتصال و تمرکز روی اتصال با ورق انتهایی، به بررسی دقیق تر تاثیر میزان طول ناحیه صلب انتهایی در نتایج مدل‌سازی قابهای فولادی پرداخته شده است. برای این منظور نتایج بدست آمده از تحلیل به روش مرسوم با نتایج بدست آمده از تحلیل دقیق تر براساس روش پیشنهادی آیین نامه یوروکد مقایسه شده اند [۳]. در نهایت پیشنهاداتی برای در نظر گرفتن میزان صلبیت ناحیه انتهایی المان‌ها به منظور دستیابی به نتایج دقیق تر سختی و مقاومت قاب فولادی ارائه شده است.

شیت و همکارانش [۴]، اتصال ستون پر شده با بتن به تیر فولادی، با بارگذاری اتصالی شامل صفحه انتهایی، سخت کننده مثلثی و میل مهارهای عبور کننده از درون ستون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این نوع اتصال، به دلیل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و همچنین ایجاد تغییر شکل های فرا ارتجاعی، می تواند در مناطق لرزه خیز عملکرد مناسبی داشته باشد.

لیاو [۵] در سال ۲۰۱۹، بر روی چشمه اتصال با ستون های مربعی پر شده با بتن پژوهش انجام داد. در این مطالعه نتایج نشان می دهد که جان قوطی فولادی و بتن اصلی به طور عمده برای تحمل نیروی برشی افقی، و قاب فولادی تشکیل شده از قوطی فولادی و دیافراگم برای مقاومت در برابر برش سهم ناچیز داشته اند. نتایج آزمایش مطابقت خوبی با نتایج حاصل از روش محاسبه داشته که نشان می دهد روش محاسبه پیشنهادی در نتایج پژوهش قبلی، از دقت و کاربرد مناسب برخوردار بوده است و از ظرفیت برشی منطقه پانل محاسبه شده در طراحی اتصالات استفاده شده است. لیاو و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۶، بر روی چشمه اتصال که از ستون های فولادی پر شده با بتن و تیر فولادی بوده است، مطالعه و پژوهش انجام دادند. نتایج این مطالعه نیز تایید کننده مرجع [۵] می باشد.

لینگلی و همکاران [۶]، در سال ۲۰۱۶ به بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات اتصال عمودی بر روی پایداری برشی چشمه اتصال پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که صفحات اتصال در کاهش پتانسیل کماتش برشی چشمه اتصال و در نتیجه بهبود هیستریزس مؤثر است. وانگ و همکاران [۷]، در سال ۲۰۱۹ به بررسی عملکرد اتصال فولادی با الیاژ حافظه دار پرداختند و نتایج این پژوهش نشان از عملکرد خوب و انعطاف پذیری اتصال در هنگام بار زلزله بسیار شدید و همچنین کارایی بالای این اتصال داشت. علاوه بر این، مدل تحلیلی از طریق مقایسه با نتایج آزمایش به دست آمده در حالت های حد اصلی مورد تایید قرار گرفت.

مایکول و همکاران [۸]، در سال ۲۰۱۹ با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی رفتار اتصال تحت شرایط بار ثقلی و بار زلزله پرداختند. در این مطالعه به طور خاص، مقاومت جانبی و مکانیسم های مقاومت جانبی قاب، مورد آزمایش قرار گرفته و با شبیه سازی های عددی براساس روش های مدل سازی پیشرفته مقایسه شده اند. داده های حاصل از این آزمایش ها بینش ارزشمندی در مورد رفتار قاب و تایید مدل های قاب در سطح سیستم بیان شده می دهند.

میرقادی و احمدی [۹] در سال ۲۰۱۹، به بررسی آزمایشگاهی اتصال خمشی با ورق سخت-کننده پرداخته اند. در این مطالعه به بررسی اتصال خمشی جدید برای تیر فولادی توخالی و ستون های لوله ای پر از بتن با استفاده از تکنیک درون صفحه پرداخته اند. در این اتصال از طریق صفحه، تمام خواسته های تیر ابتدا با عمل داخل صفحه به صفحه عمودی منتقل می شوند و متعاقباً به ستون منتقل می شوند. براساس پروتکل بارگذاری AISI / AISC341-16، سه اتصال مسطح داخلی در مقیاس کامل به صورت دورانی تحت کنترل جابجایی بارگیری می شوند. یک نیروی فشاری محوری مربوط به ۱۰٪ از ظرفیت محوری ستون بر روی ستون اعمال می شود. اهداف مطالعه تجربی به شرح زیر است: (۱) ارزیابی عملکرد اتصال تحت بارگذاری چرخه ای و (۲) ارزیابی مؤلفه های اتصال برای استخراج پارامترهای طراحی کلید. از بخش های تیر فولادی توخالی به شکل مربع با جوشکاری مقاومت الکتریکی برای ستون استفاده شده است. برای بررسی تأثیر بتن بر عملکرد اتصال، ستون فولادی توخالی و یکی از ستون های پر شده با بتن با استفاده از همان لوله فولادی ساخته می شوند. نسبت عرض به ضخامت برای نمونه های مربوطه ۲۷ و نمونه ستون پر شده با بتن دیگر با نسبت بالاتر ۳۴/۵ در نظر گرفته شده است. در کلیه نمونه ها، مفصل پلاستیک در تیر متمرکز است، بدون این که به ستون یا اجزای اتصال آسیب برساند. اتصال پیشنهادی از مقاومت، سختی و انعطاف پذیری بسیار بالایی برخوردار است و به عنوان یک اتصال مقاوم و سخت طبقه بندی می شود. علاوه بر این، این رفتار پایدار چرخه ای و اتلاف انرژی زیاد تا حداقل ۶٪ از طبقه را نشان می دهد و مقررات لرزه ای AISC را به عنوان یک اتصال خمشی خاص برآورده می کند.

در مطالعه دیگر توسط آتماچی و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۹، پژوهشی بر روی مدل اتصال فولادی پر شده با بتن انجام شده است. انواع مختلفی از فناوری ساختاری به سرعت شروع به توسعه کردند که یکی از آنها فولاد کامپوزیت بود. فولاد کامپوزیت (لوله یا باکس بتنی) سازه ای است که از دو یا چند ماده با خواص مواد مختلف تشکیل شده و یک واحد را تشکیل می دهد تا خواص ترکیبی بهتری تولید کند. در مقایسه با فولاد معمولی، این ستون دارای مزایای بسیاری از قبیل قالب بندی مناسب برای هسته های بتنی تهیه شده توسط لوله های فولادی، افزایش مقاومت و انعطاف پذیری خوب است. این مطالعه با در نظر گرفتن تغییرات در ستون پر شده با بتن در اتصال با استفاده از آباکوس، از ستون پر شده با بتن به عنوان متغیر اصلی استفاده می کند. روش پژوهش به صورت استاتیکی و شبه استاتیکی انجام شده است. نتایج این دو روش تحلیل نزدیک به هم بوده است. نتایج مدل سازی نشان داد که این اتصال قابلیت انعطاف پذیری کافی را دارد و برای استفاده در سیستم سازه های قاب بتنی کامپوزیت با مقاومت در برابر زلزله مناسب است.

جوبارحسن و همکاران در سال ۲۰۲۱ بر روی اتصال تیر به ستون که به صورت مقیاس کامل در آزمایشگاه ساخته شده است، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. علیرغم اهمیت شناخته شده اتصالات در ساختار فلزی، پژوهشات تجربی در مورد اتصالات تیر به ستون ضد زنگ، به ویژه نتایج آزمایش در مقیاس کامل، به صورت کم انجام شده است. این مقاله یک پژوهش تجربی در مقیاس کامل در مورد رفتار نیمه صلب اتصال پیچی بالایی (همچنین به عنوان اتصال "فلنجی" شناخته می شود) ساخته شده از فولاد ضد زنگ ارائه می دهد. ویژگی های تغییر شکل مختلف اتصال به دقت مورد بررسی قرار گرفت و متعاقباً برای کالیبره کردن مدل های اجزای محدود غیرخطی برای تحلیل پارامتریک استفاده شد. نتایج عددی به دست آمده برای توسعه یک مدل چهار پارامتری مورد استفاده قرار گرفت که بر عبارات ساده شده برای پارامترهای ورودی کلیدی برای پیش بینی رفتار نیمه صلب اتصالات مناسب است. نتایج پیش بینی شده با استفاده از مدل پیشنهادی و نتایج به دست آمده با استفاده از تکنیک های موجود بر اساس رفتار فولاد مقایسه شدند [۱۱]. چن و همکاران در سال ۲۰۲۲ بر روی اتصال تیر به ستون فولادی مقاوم لرزه ای جدید با استفاده از صفحات کمانشی قابل تعویض برای اتلاف انرژی مطالعه و پژوهش انجام دادند. چنین اتصالی شامل یک درخت ستون و یک قطعه تیر داخلی است که در محل از طریق صفحات فولادی پیچدار واقع در داخل فلنج های تیر متصل می شوند. صفحات فولادی به عنوان فیوزهای سازه ای برای جذب آسیب های غیر کشسان و اتلاف انرژی در نظر گرفته می شوند. کمانش بالقوه آنها توسط زبانه های برشی C شکل که به طور عمودی طراحی شده اند، مهار می شود، که همچنین برای اتصال تارهای تیر برای انتقال برش تیر استفاده می شود. بنابراین، هم استحکام پایدار و هم ظرفیت اتلاف انرژی را تضمین می نماید. شش آزمایش چرخه ای برای مطالعه رفتار لرزه ای و عملکرد تعمیرات پس از زلزله انجام شد. نتایج نشان داد که این مفصل قادر به ایجاد یک چرخش تجمعی پلاستیکی نرمال شده از ۵۵۰ تا ۱۱۰۰ تا زمان شکست است. صفحات فیوز پیشنهادی پس از آزمایش قابل تعویض

می‌باشند و اتصال تعمیر شده عملکرد لرزه‌ای تقریباً مشابهی قبل خواهد داشت. اتصال جدید پیشنهادی یک راه حل جایگزین برای سازه های فولادی مقاوم در برابر زلزله ارائه می‌دهد که هم مقرون به صرفه و هم موثر است [۱۲].

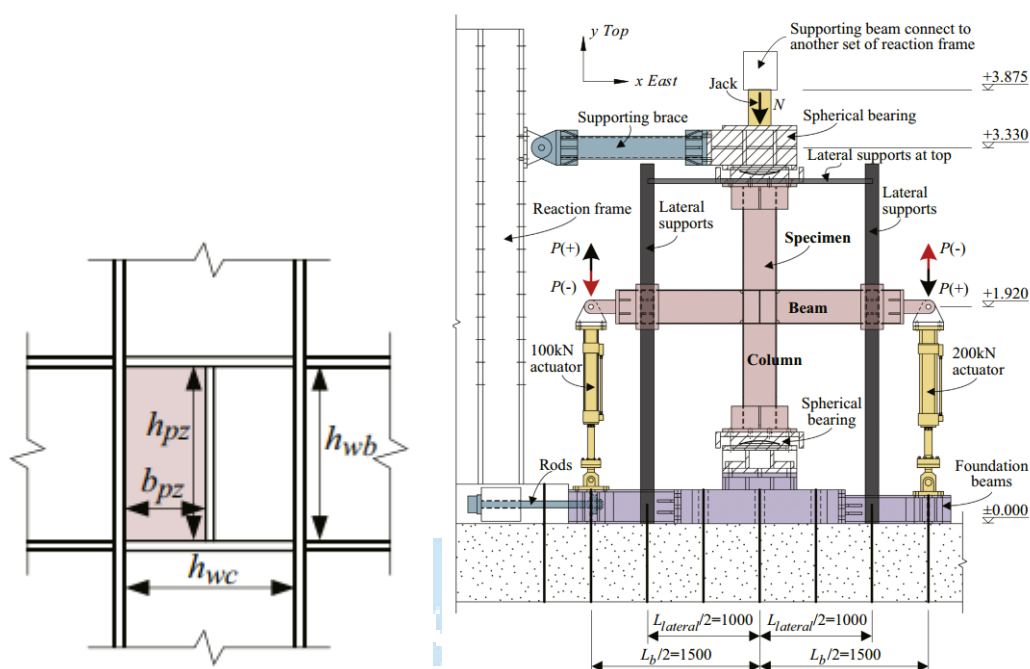
در این پژوهش، اتصال تیر به ستون فولادی پر شده با بتن و بدون بتن با استفاده از نرم افزار آباکوس مدل سازی شده است. تمرکز اصلی بر بررسی تأثیر سخت کننده‌ها بر رفتار اتصال تیر به ستون بوده است. بنابراین در این مقاله با شرایط ضخامت متفاوت و سوراخ متفاوت بر روی سخت کننده مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. برای بارگذاری از بار سیکلی استفاده شده است. ضخامت سخت کننده و الگوی سوراخ کاری و نوع سوراخ های بر روی سخت کننده متفاوت بوده است. نمودارهای هیستریزیس و نحوه خرابی اتصالات از جمله پارامترهای مورد بررسی بوده است. استفاده از سخت کننده‌ها با انواع سوراخ‌ها و اندازه‌های متفاوت یکی از نوآوری‌های این پژوهش است. این سخت کننده‌ها با استفاده از ورق‌های مخصوص، اتصال تیر به ستون را تقویت کرده و همچنین موجب کاهش نیروی وارد بر تیر و ستون شده‌اند.

ستون‌های فولادی پر شده با بتن به دلیل ترکیب خواص مثبت فولاد و بتن در ساختارهای ساختمانی محبوب هستند. این نوع ستون‌ها مقاومت بیشتری در برابر بارهای محوری و خمشی، و همچنین رفتار بهتری در برابر آتش و انتقال حرارت دارند. برای پژوهش‌های خاص، این ویژگی‌ها می‌توانند نتایج بهتری نسبت به ستون‌های فولادی خالص ارائه دهند. رفتار ستون‌های فولادی و ستون‌های فولادی پر شده با بتن می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد، به ویژه تحت بارهای مختلف و شرایط خاص. ستون‌های پر شده با بتن به طور خاص برای تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی پیشرفته طراحی می‌شوند و نیاز به بررسی دقیق دارند تا بتوانند به درستی عملکردشان را در برابر بارها و شرایط محیطی مختلف نشان دهند.

## ۲- شرح روند انجام پژوهش

### ۲-۱- صحت سنجی

در این بخش جهت حصول اطمینان از صحت نتایج تحلیل‌های انجام شده توسط نرم افزار اجزای محدود آباکوس، یک نمونه اتصالات تیر به ستون فولادی انجام شده توسط پان و همکاران [۱۳]، با استفاده از نرم افزار آباکوس مدل سازی شد و تحت عنوان نمونه های Abaqus نامگذاری گردید. نمونه آزمایشی با استفاده از ستون H شکل با ابعاد H270X175X6X8 میلیمتر که به ترتیب نشان دهنده عمق، پهنا و ضخامت ستون هستند؛ و تیر با مقطع H شکل بال پهن با ابعاد H270x125x5x6 که به ترتیب برای عمق، پهنا، ضخامت جان و ضخامت بال هستند؛ ساخته شده است. در (شکل ۱) هندسه مدل، جزئیات بارگذاری نشان داده شده است. مواد مورد استفاده در این آزمایش، Q345 (با تنش اسمی ۳۴۵ مگاپاسکال) در صفحات فولادی برای سخت کننده های T شکل و تیرها بود. المانهای افقی به تیر و به فلنج ستون با جوش های درز نیم جناغی یک طرفه (CJP) جوش داده شده اند. المانهای عمودی به المانهای افقی با استفاده از جوش گوشه و با استفاده از جوش های درز نیم جناغی یک طرفه جوش داده شدند.



شکل ۱: مشخصات هندسی مدل عددی [۱۳]

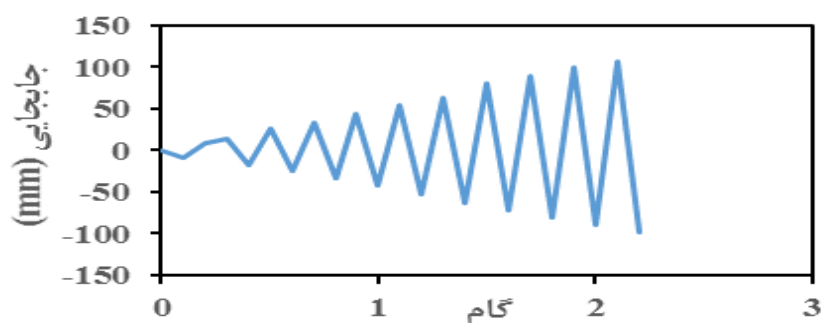
در ادامه نمونه‌های مذکور تحت بارگذاری چرخه‌ای افزایشده مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل از تحلیل با نتایج مطالعه آزمایشگاهی کنترل می‌شود.

جدول ۱: مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی [۱۳]

ضخامت اسمی (mm)	ضخامت اندازه گیری شده (mm)	تنش تسلیم (N/mm <sup>2</sup> )	تنش نهایی (N/mm <sup>2</sup> )	کرنش (درصد)
۵	۴/۸۸	۳۴۷	۴۹۹	۳۵/۰
۶	۵/۴۹	۳۵۸	۴۹۴	۳۳/۱
۷	۷/۶۶	۳۸۶	۵۳۴	۲۹/۸

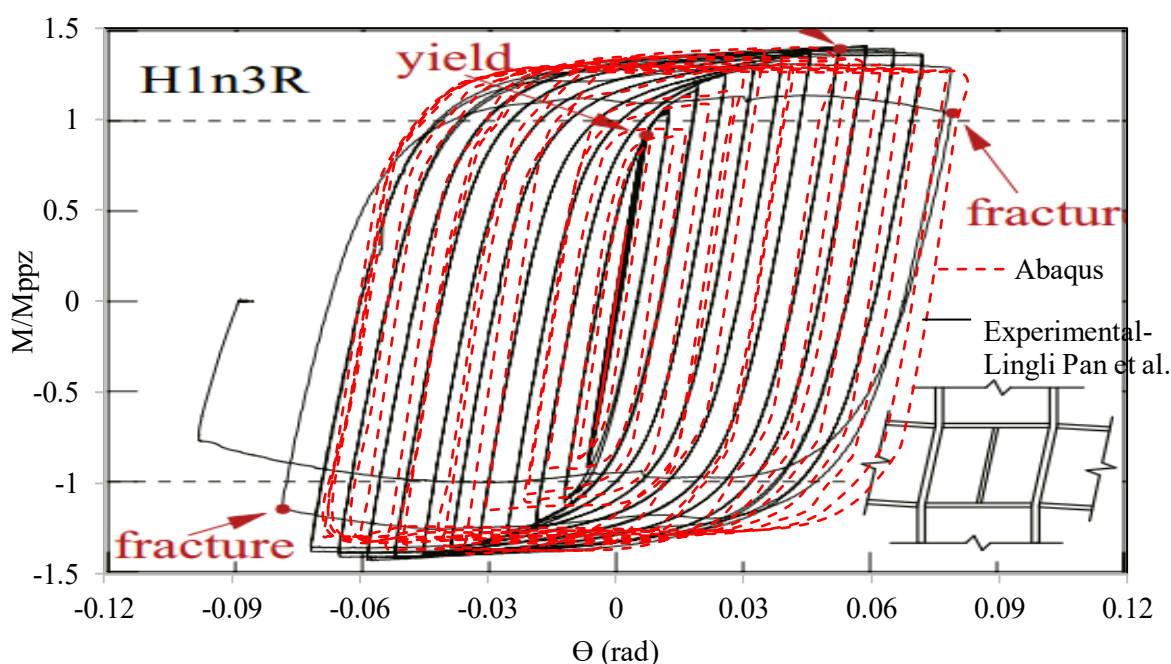
در این پژوهش رفتار تک محوره فولاد به وسیله مدل پلاستیسته کلاسیک فلزات در نرم افزار آباکوس شبیه سازی شد. در این مدل رفتار آرماتورها به صورت الاستیک-پلاستیک کامل و سطح تسلیم آن فون میسز فرض می‌شود، همچنین مقاومت کششی و فشاری فولاد یکسان در نظر گرفته می‌شود.

جهت مدل‌سازی بتن از المان‌های مکعبی هشت گره‌ای و برای تیر، ستون و ورق T شکل سخت کننده از المان توپر Solid استفاده گردید. همچنین هندسه مدل‌سازی شده با استفاده از دستور قطعه بندی برای مش بندی منظم قطعه بندی گردیده است. شرایط مرزی نمونه آزمایشگاهی به این صورت بود که تغییرمکان تمامی گره‌های واقع در بالا و پایین ستون به صورت گیردار مقید گردیدند. همچنین برای کماتش خارج از صفحه تیر نیز در قسمت میانی مقید گردیده است. کلیه شرایط مرزی و تکیه گاهی در مدل‌سازی اعمال گردیده است. بارگذاری نیز به صورت تاریخچه زمانی به مانند شکل ۲ به مدل اعمال شده است.



شکل ۲: نمودار بارگذاری اعمال شده به مدل [۱۳]

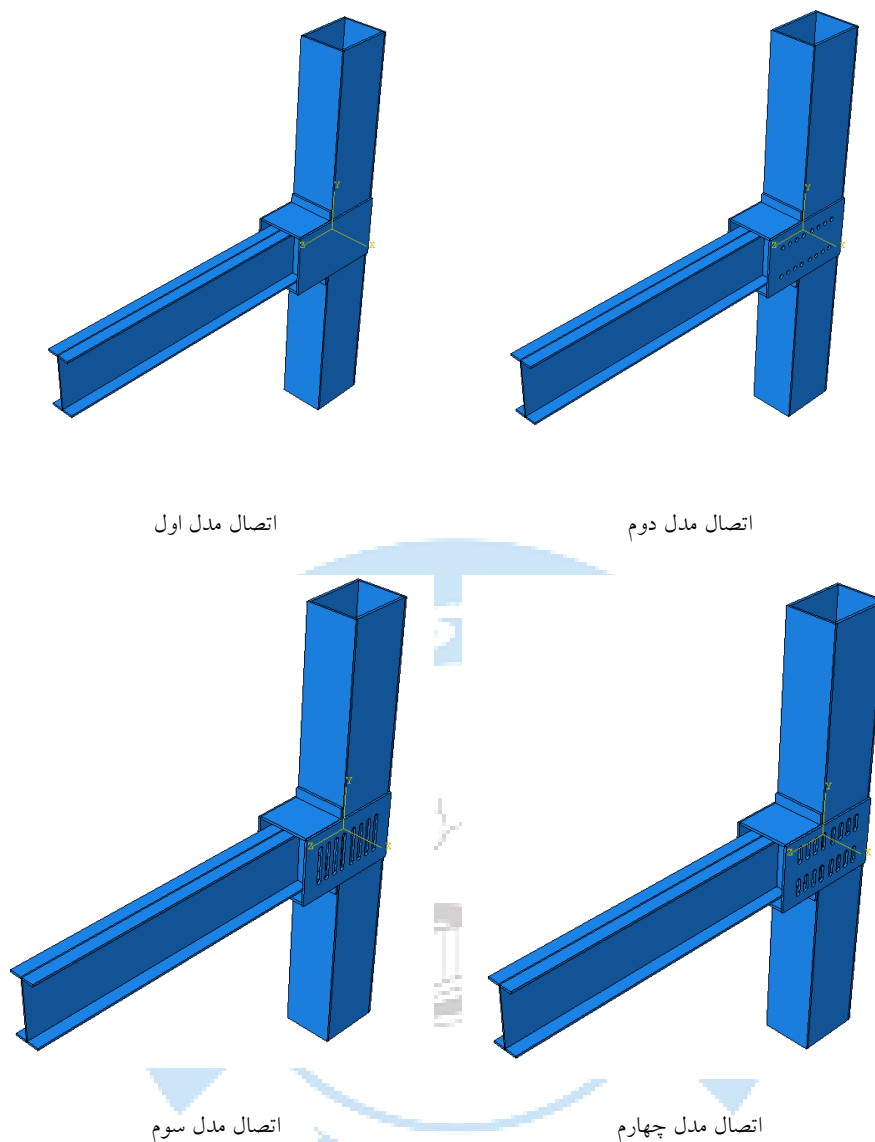
منحنی حاصل از کار مدل H1n3R و مقاله در شکل ۳ با هم مقایسه شده‌اند. در این نمودار بعد از مقایسه مشاهده شده است در بعضی از قسمت‌ها تقریباً خطا به کمتر از ۹ درصد می‌رسد. این خطا نیز طبیعی می‌باشد، زیرا شرایط آزمایشگاهی و مدلسازی با هم تفاوت‌هایی دارند، که بخشی از آن مربوط به تفاوت مصالح و جنس مصالحی است که در آزمایشگاه و مدل نرم‌افزاری تعریف می‌شود. علاوه بر این در نرم‌افزار تقریباً شرایط ایده‌آل در نظر گرفته شده است و موجب این خطا شده است. در کل با تطبیق لنگر و دوران مدل و نمونه آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که این تطبیق به صورت مناسبی حاصل آمده است.



شکل ۳: مقایسه نمودار بار - تغییر مکان مدل عددی با نمونه های آزمایشگاهی [۱۳]

### ۳- شرح مدلسازی

تیر و ستون براساس آیین نامه آمریکا نسخه ۲۰۱۰ طراحی شده است [۱۴]. برای ستون از مقطع ستون باکس شکل با ابعاد ۴۰۰ در ۵۰۰ با ضخامت ۲۰ میلی‌متر استفاده شده است و عرض بال تیر I شکل  $b_{fb} = 20$  cm، ضخامت بال تیر  $t_{fb} = 1.6$  cm، ضخامت جان تیر  $t_{wb} = 1.02$  cm، عمق جان تیر  $db = 50$  cm است. انواع اتصال پیشنهادی مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است.

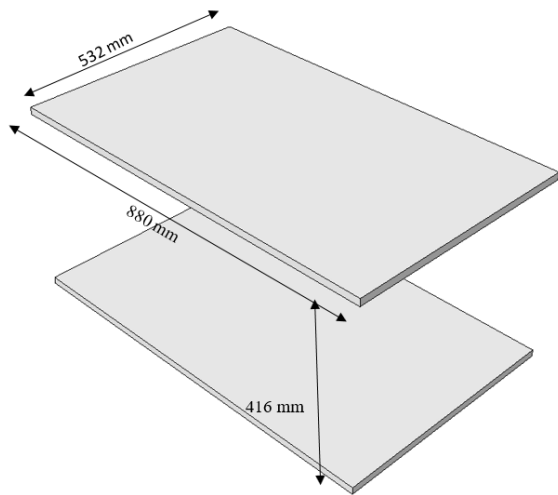
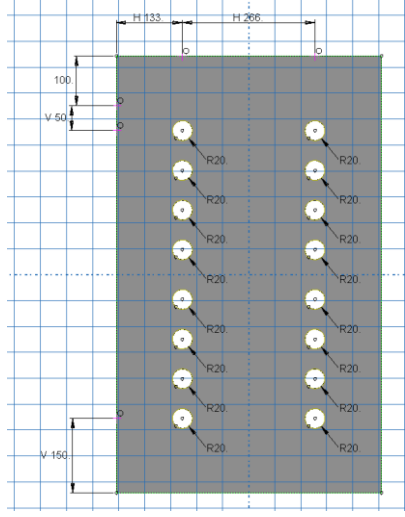
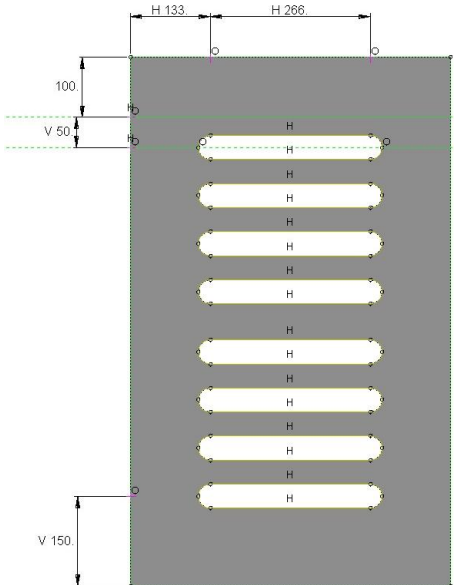
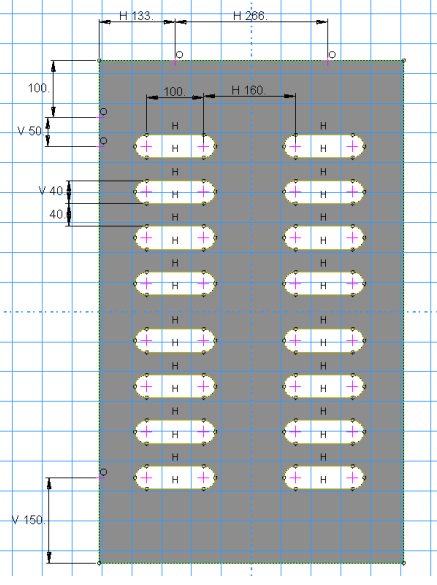


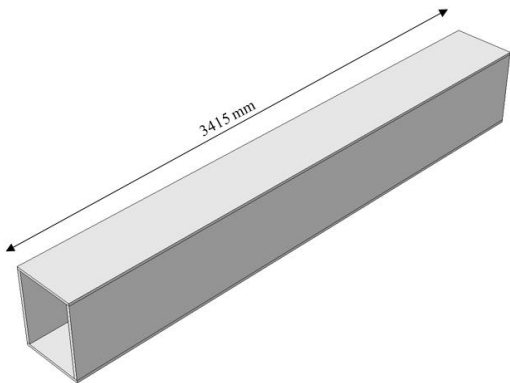
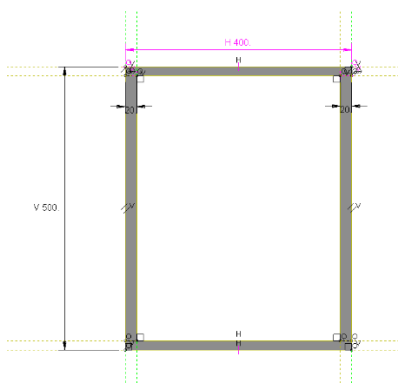
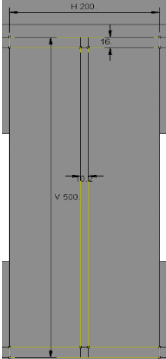
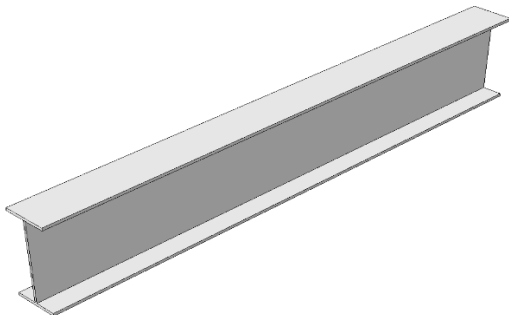
شکل ۴: انواع اتصالات مورد بررسی در این مطالعه

اتصالات از پیش تایید شده از لحاظ ابعاد مقاطع مانند مدل‌های پیشنهادی می‌باشد. اتصال فلنجی هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP) یافته است. ابعاد تیر در قسمت جان  $8 \times 400$  mm و در قسمت بال  $15 \times 200$  mm می‌باشد. ستون نیز دارای جان با ورق  $300 \times 500$  و بال  $300 \times 300$  mm می‌باشد. اتصال کله گاوی نیز ورق دوزنقه ای با ابعاد  $15 \times 100$  mm در دو طرف انتخاب شده است.

در شکل ۵ ابعاد و اندازه اتصالات مورد مطالعه نمایش داده شده است.



	
<p>طول ۸۸۰ میلی‌متر و عرض ۵۳۲ میلی‌متر فاصله دو صفحه ۴۱۶ میلی‌متر</p>	<p>شعاع سوراخ ها ۲۰ میلی‌متر، فاصله ابتدای ۱۵۰ میلی‌متر و فاصله سوراخ ها از یکدیگر ۱۰۰ میلی‌متر</p>
<p>سخت کننده ساده مدل اول</p>	<p>مدل سوراخ دار دایره ای مدل دوم</p>
	
<p>فاصله سوراخ ها از هم ۱۰۰ میلی‌متر، قطر کوچک ۲۰ میلی‌متر و قطر بزرگ ۲۸۰ میلی‌متر</p>	<p>فاصله سوراخ ها از هم ۱۰۰ میلی‌متر، قطر کوچک ۲۰ میلی‌متر و قطر بزرگ ۱۸۰ میلی‌متر</p>
<p>مدل سوم</p>	<p>سخت کننده مدل چهارم</p>

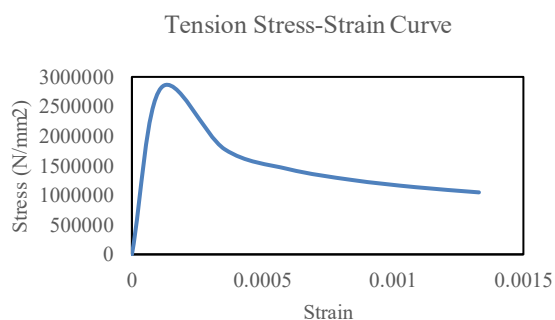
	
طول ستون ۳۴۱۵ میلیمتر	ستون قوطی ۵۰۰ در ۴۰۰ با ضخامت ۲۰ میلیمتر
ستون اتصال	
	
تیر از نوع IPE که ابعاد بال ۲۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱۶ میلیمتر و جان طول ۵۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰/۲ میلیمتر	طول تیر ۲۵۷۰ میلیمتر
ابعاد تیر	
شکل ۵: ابعاد و اندازه بخش های مختلف اتصال	

فاصله آکس به آکس ستون های دو طرف تیر ۵/۱۴ متر می باشد. پارامترهای در نظر گرفته شده در جدول برای مدل ها عبارتند

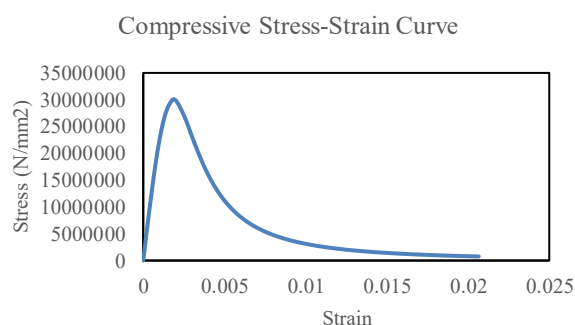
از:

- ضخامت سخت کننده در سه رده ۱۲، ۱۴ و ۱۶ میلیمتر در نظر گرفته شده است. سه رده از ضعیف به قوی تنظیم شده است و در این حالت درصد افزایش سختی و شکل پذیری به همراه مقاومت بدست می آید.
- مدل ها در دو نوع با بتن و بدون بتن می باشند.
- بتن با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال می باشد.

مدل آسیب بتن به صورت مدل بتن پلاستیک آسیب دیده (Concrete Damage Plasticity - CDP) در نرم افزار آباکوس در نظر گرفته شده است. این مدل یکی از رایج ترین روش ها برای شبیه سازی رفتار بتن آسیب دیده است. این مدل به طور همزمان اثرات پلاستیک و آسیب را مدلسازی می کند و می تواند تغییرات سختی و مقاومت بتن را با توجه به میزان آسیب و بارگذاری پیش بینی کند. در شکل ۶ مقاومت فشاری و کششی و همچنین در جدول ۲ مشخصات مربوط به بتن ارائه شده است.



نمودار تنش-کرنش در کشش



نمودار تنش-کرنش در فشار

شکل ۶: رفتار بتن در فشار و کشش

شرایط تکیه‌گاهی به طور مفصل در دو انتهای ستون در نظر گرفته شده است. بارگذاری در انتهای تیر به صورت پروتکل رفت و برگشتی اعمال شده است.

جدول ۲: مشخصات در نظر گرفته شده برای بتن

مدول الاستیسیته $N/mm^2$	ضریب پواسون	زایه اتساع	خروج از مرکزیت	$f_b0/f_c0$
۲۵۰۸۵	۰/۲	۳۰	۰/۱	۱/۱۶

در جدول ۳ مشخصات مدل های مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۳: مدل های مورد مطالعه

نام مدل	نوع سوراخ	تعداد ردیف	ضخامت سخت کننده cm	شعاع و ابعاد سوراخ cm	با بتن بدون بتن
S01	بدون سوراخ		۱/۲		بدون بتن
S02	بدون سوراخ		۱/۴		بدون بتن
S03	بدون سوراخ		۱/۶		بدون بتن
S04	دایره ای	۲	۱/۲	۲۰	بدون بتن
S05	دایره ای	۲	۱/۴	۲۰	بدون بتن
S06	دایره ای	۲	۱/۶	۲۰	بدون بتن
S07	بیضوی	۱	۱/۲	۲۰-۲۸۰	بدون بتن
S08	بیضوی	۱	۱/۴	۲۰-۲۸۰	بدون بتن
S09	بیضوی	۱	۱/۶	۲۰-۲۸۰	بدون بتن
S10	بیضوی	۲	۱/۲	۲۰-۱۸۰	بدون بتن
S11	بیضوی	۲	۱/۴	۲۰-۱۸۰	بدون بتن
S12	بیضوی	۲	۱/۶	۲۰-۱۸۰	بدون بتن
S13	دایره ای	۲	۱/۲	۲۰	با بتن
S14	دایره ای	۲	۱/۴	۲۰	با بتن
S15	دایره ای	۲	۱/۶	۲۰	با بتن

S16	بیضوی	۱	۱/۲	۲۰-۲۸۰	با بتن
S17	بیضوی	۱	۱/۴	۲۰-۲۸۰	با بتن
S18	بیضوی	۱	۱/۶	۲۰-۲۸۰	با بتن
S19	بیضوی	۲	۱/۲	۲۰-۱۸۰	با بتن
S20	بیضوی	۲	۱/۴	۲۰-۱۸۰	با بتن
S21	بیضوی	۲	۱/۶	۲۰-۱۸۰	با بتن
S22	بدون سوراخ	--	۱/۶		با بتن

بارگذاری مانند نمونه صحت سنجی انجام شده است، این باگذاری منطبق بر آیین نامه AISC می باشد. برای مصالح تیر و ستون از فولاد ST37 که مشخصات آن شامل: تنش تسلیم آن ۲۴۰ و تنش نهایی ۳۷۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۲۱۰ گیگاپاسکال و کرنش نهایی ۰.۲۶٪ می باشد، استفاده شده است. در نهایت دو نوع اتصال کله گاوی و اتصال از پیش تایید شده مبحث دهم مقررات ملی ساختمان از نوع اتصال فلنچی هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

در ادامه به بررسی نتایج حاصل از مدل ها پرداخته می شود.

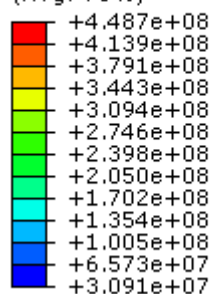
### ۳- یافته ها

در این بخش نتایج عددی حاصل از مدلسازی مدل های پرداخته می شود. نتایج بدست آمده از مدلسازی در نرم افزار اجزای محدود آباکوس می باشد.

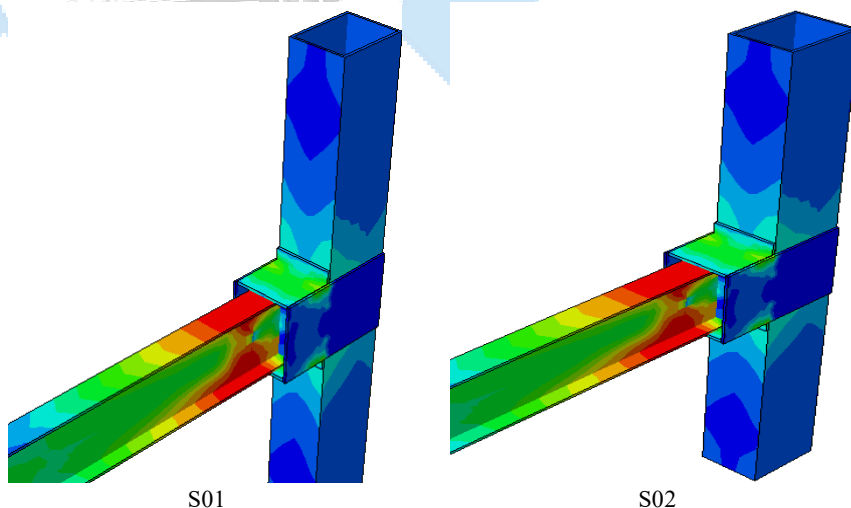
#### ۳-۱- مقایسه تنش ها

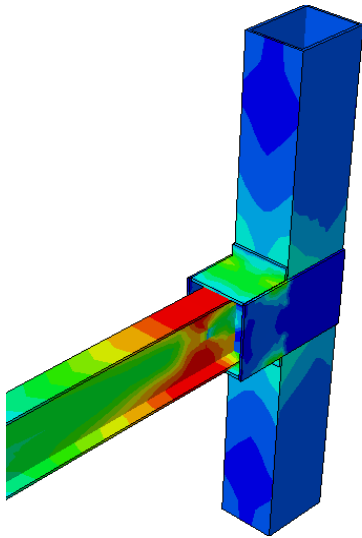
در این قسمت تنش های ایجاد شده در مدل ها براساس بار اعمالی نمایش داده می شود. در شکل ۷ تنش فون مایسز در مدل در لحظه ای که جابجایی بیشینه در انتهای تیر اعمال شده، نمایش در آمده است.

S, Mises  
SNEG, (fraction = -1.0)  
(Avg: 75%)

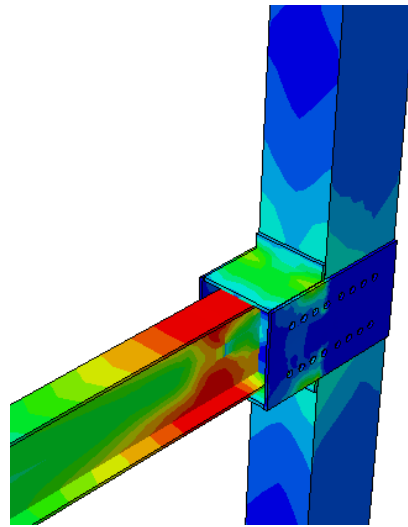


کانتور تنش

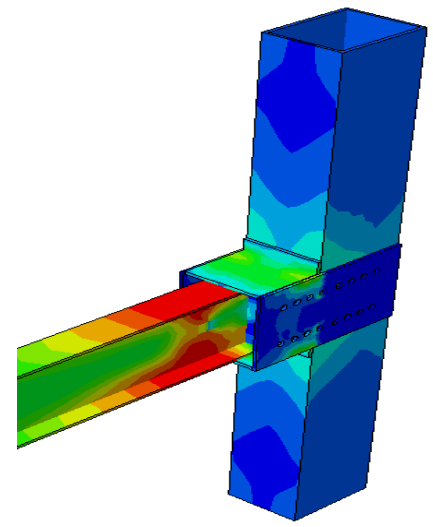




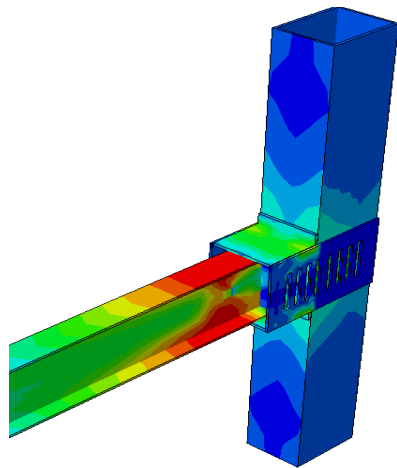
S03



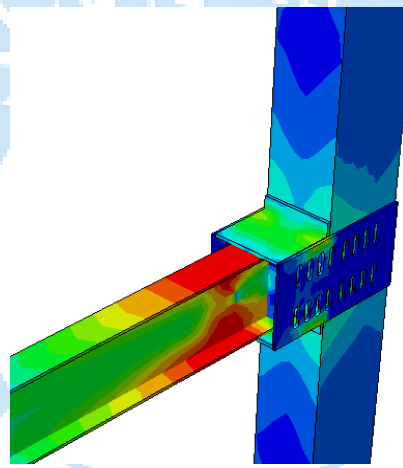
S04



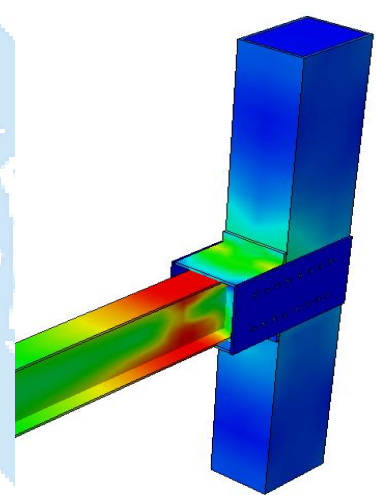
S05



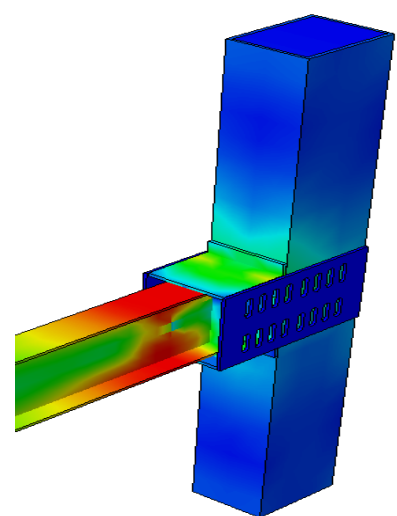
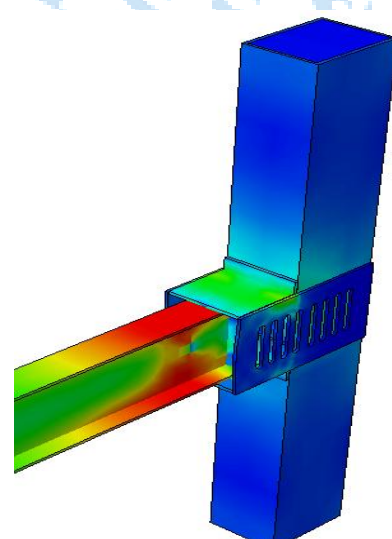
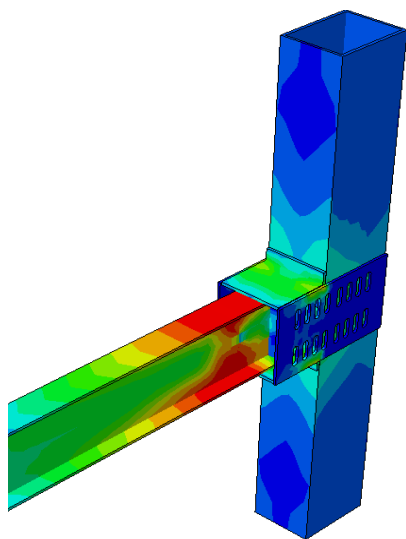
S07

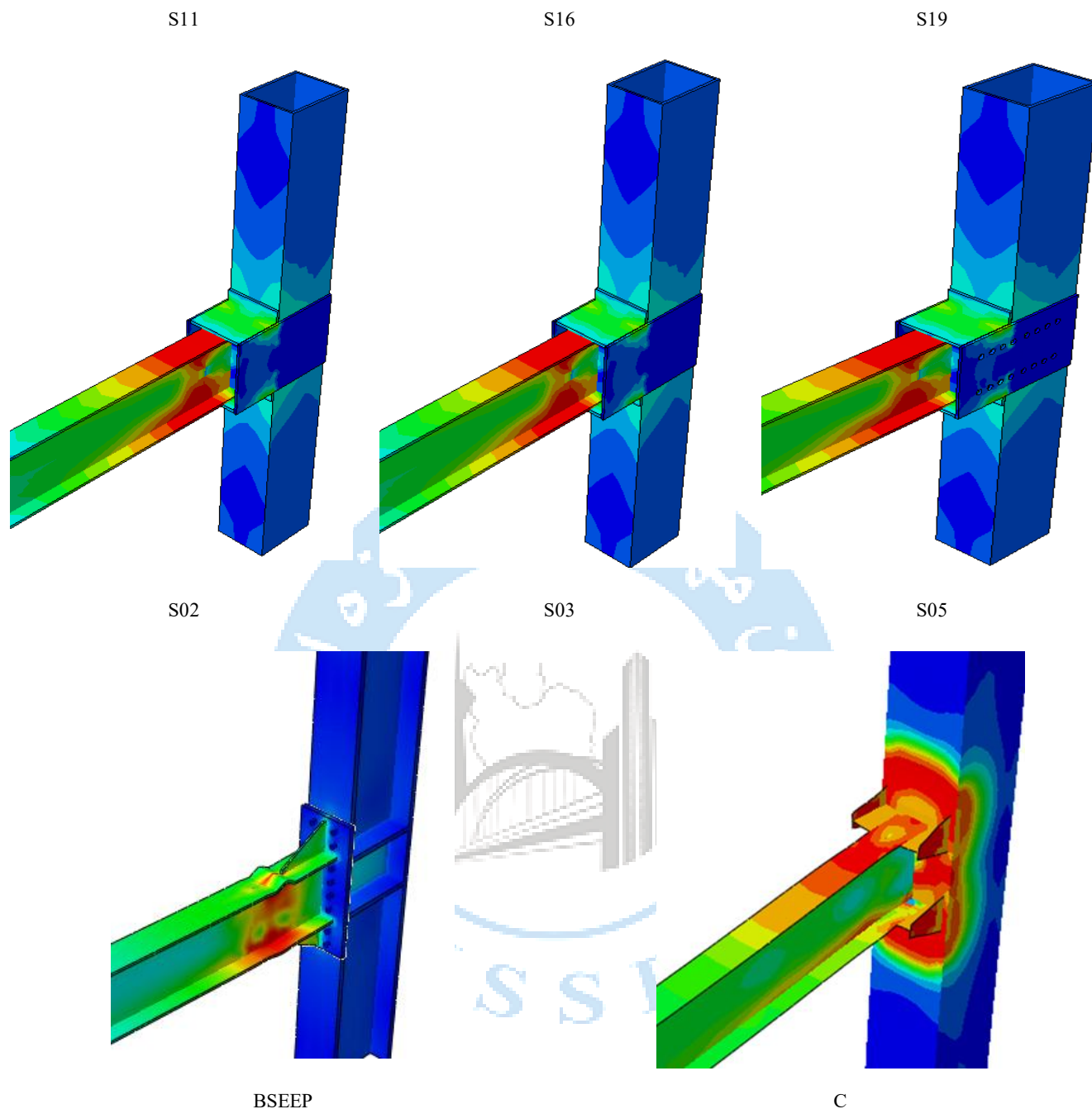


S10



S13



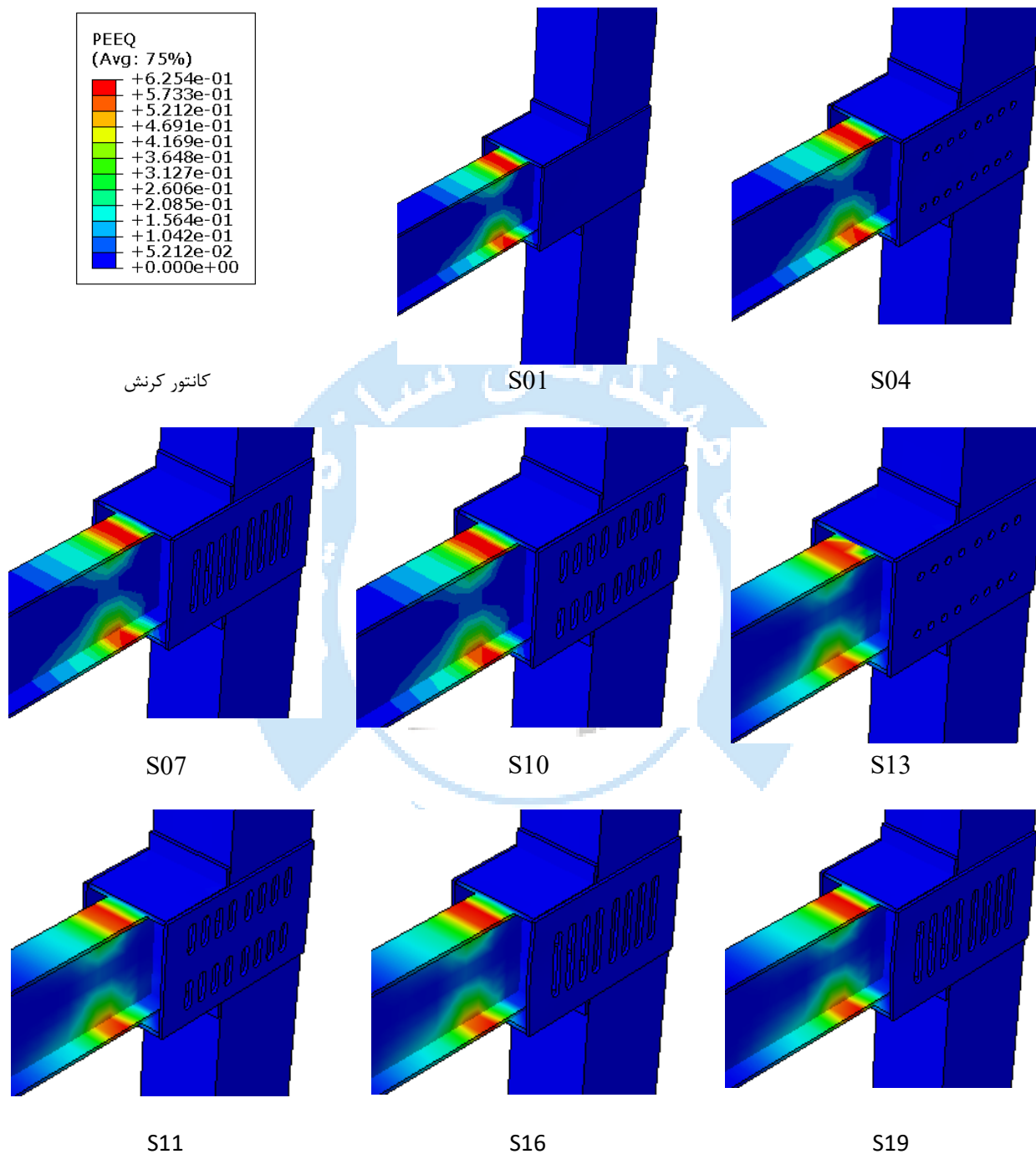


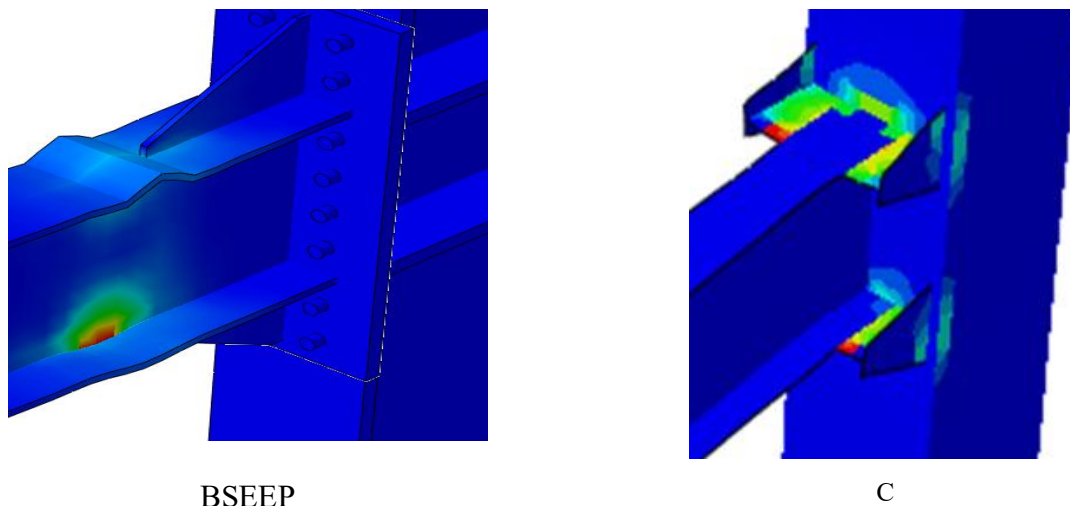
شکل ۷: تنش فون مایسز در لحظه آخر بارگذاری

با توجه به شکل ۷ مشاهده می شود، همان طور که مشاهده می شود در محل تیر از جایی که سخت کننده قرار داده شده است، تنش در تیر از همه نقاط بیشتر شده و این تنش تا نزدیکی ۲۰۰ سانتیمتر از محل تیر ادامه یافته است و در بال و جان تیر رخ داده است. علاوه بر این در مدل هایی که از سخت کننده در تیر استفاده شده است، در محل بال تیر کمانش موضعی و اعوجاج رخ داده است. از لحاظ توزیع تنش در مدل های پیشنهادی مشاهده می شود که تنش در صفحات بالای و صفحاتی که در آن سوراخ تعبیه شده است، موجب شده تا بخشی از نیرو وارد شده به چشمه اتصال را جذب و موجب توزیع بهتر تنش در چشمه اتصال و ناحیه بحرانی تیر شده است.

## ۲-۳- مقایسه کرنش ها

در این قسمت کرنش های پلاستیک معادل ایجاد شده در مدل ها براساس بار اعمالی نمایش داده می شود. در شکل ۸ کرنش در لحظه آخر نمایش داده شده است.



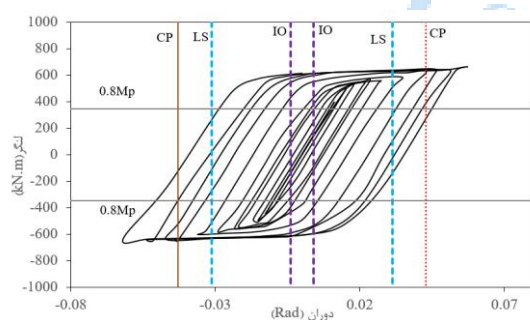


شکل ۸: کرنش پلاستیک معادل در لحظه آخر بارگذاری

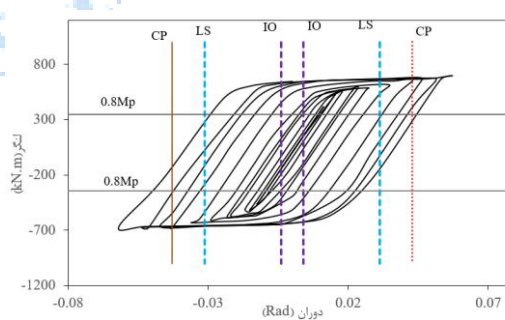
همان طور که از روی شکل ۷ مشاهده می شود کرنش پلاستیک در محل هایی که توزیع تنش بیشتر بوده، رخ داده است. در محل چشمه اتصال و در ناحیه بحرانی تیر کرنش پلاستیک در نمونه ها ایجاد شده است. این کرنش پلاستیک در تیر در محل بال و جان ایجاد شده است. با بررسی کرنش پلاستیک نیز مشاهده می شود که توزیع کرنش در اتصال پیشنهادی (مدل های S01 تا S11) با قرار دادن سخت کننده های افقی و قائم به صورت گسترده تر و در سطح بیشتری نسبت به بقیه مدل ها و اتصالات از پیش تایید شده توزیع شده است، که با توجه به توزیع تنش در مدل مشاهده می شود که بخشی از تنش در چشمه اتصال توسط این سخت کننده های قائم و افقی جذب شده است.

### ۳-۳- نمودارهای هیستریزیس

در این قسمت نمودار هیستریزیس ایجاد شده در مدل ها براساس بار اعمالی نمایش داده می شود. در نمودارهای هیستریزیس جهت مقایسه مناسب روی نمودار دو خط در بالا و پایین که نشان دهنده ۸۰ درصد ظرفیت خمشی اتصال است با نام  $MP \cdot 0.8$  نمایش داده شده است. در شکل ۹ نمودار هیستریزیس نمایش داده شده است.

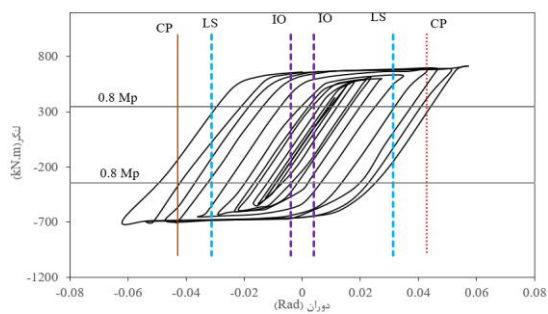


S-۰۱

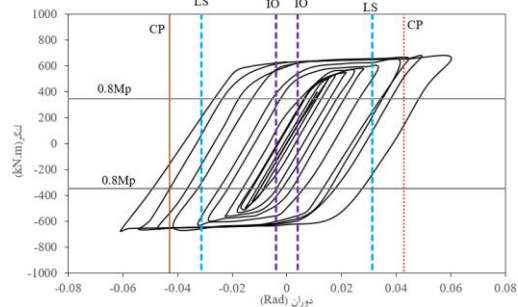


S-۰۲

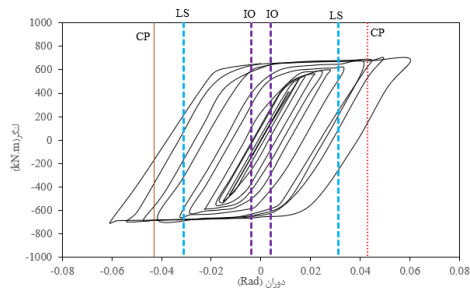




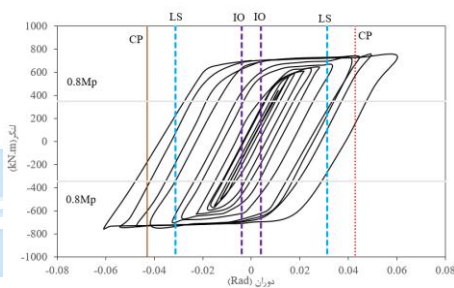
S-03



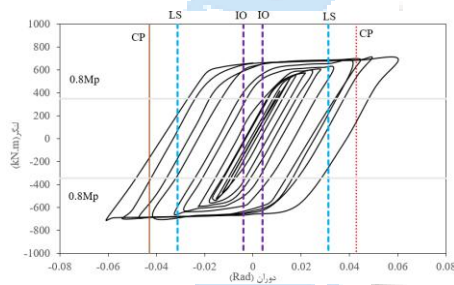
S-04



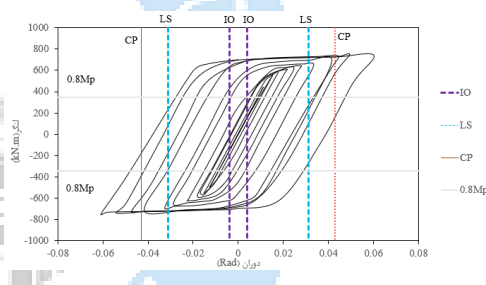
S-05



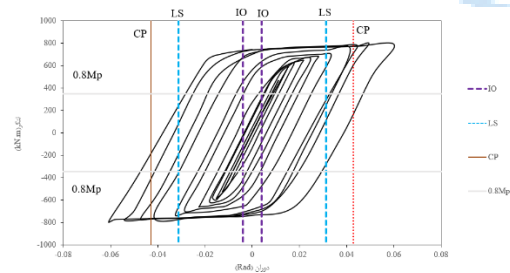
S-06



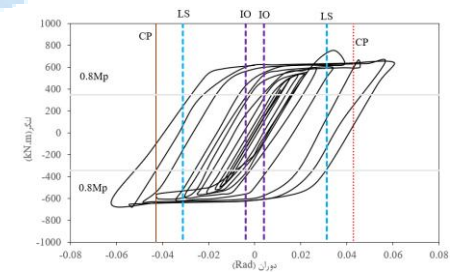
S-07



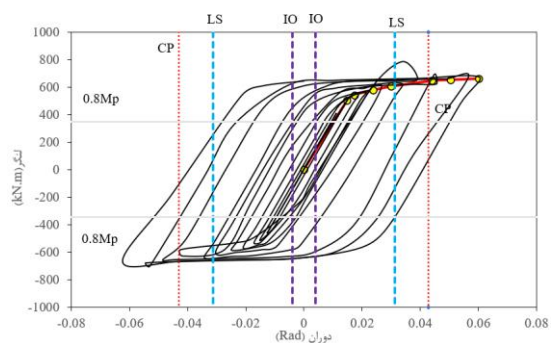
S-08



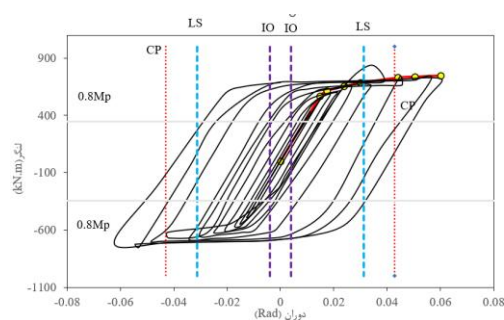
S-09



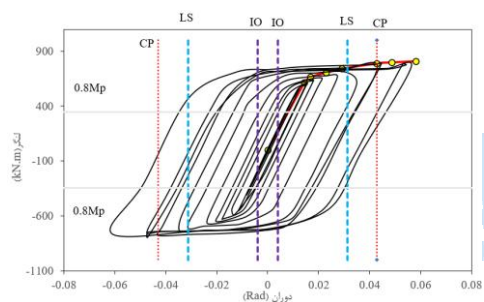
S-10



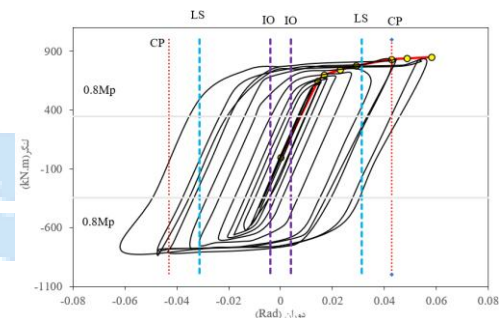
S-۱۱



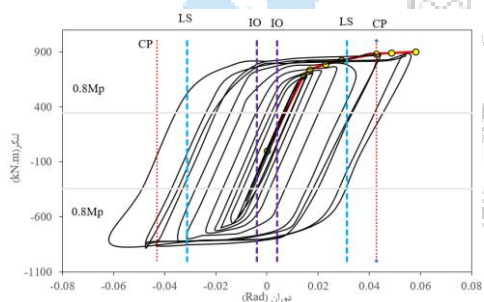
S-۱۲



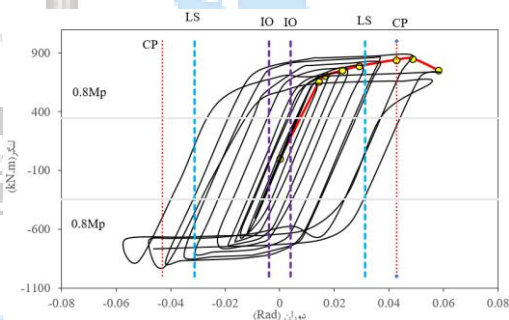
S۱۳



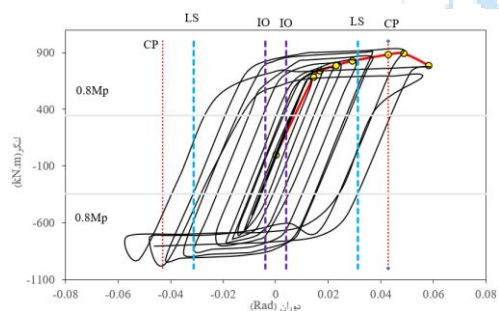
S۱۴



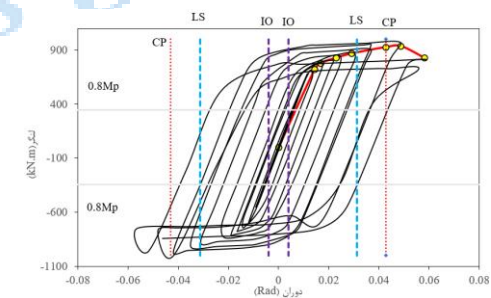
S۱۵



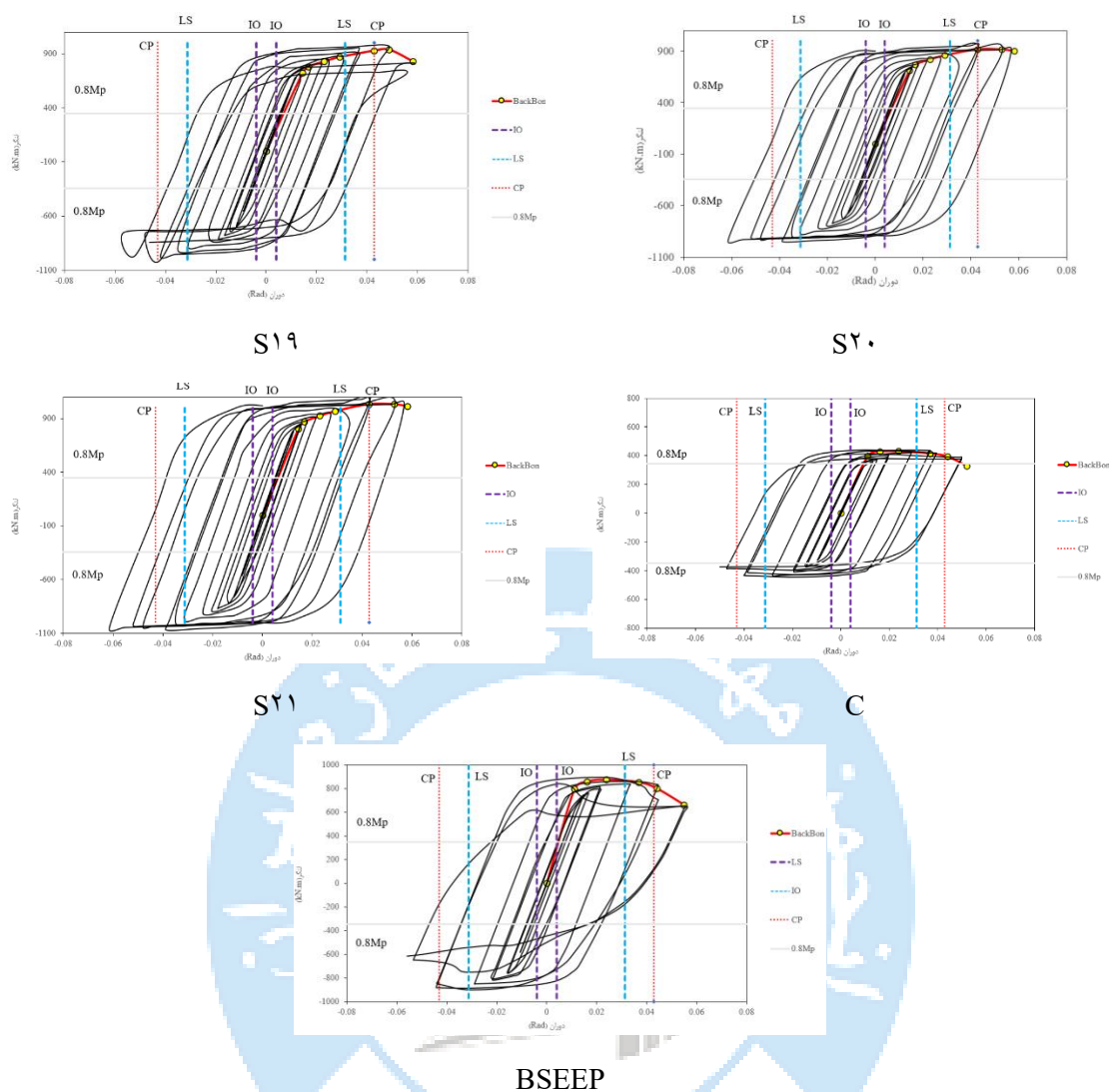
S۱۶



S۱۷



S۱۸

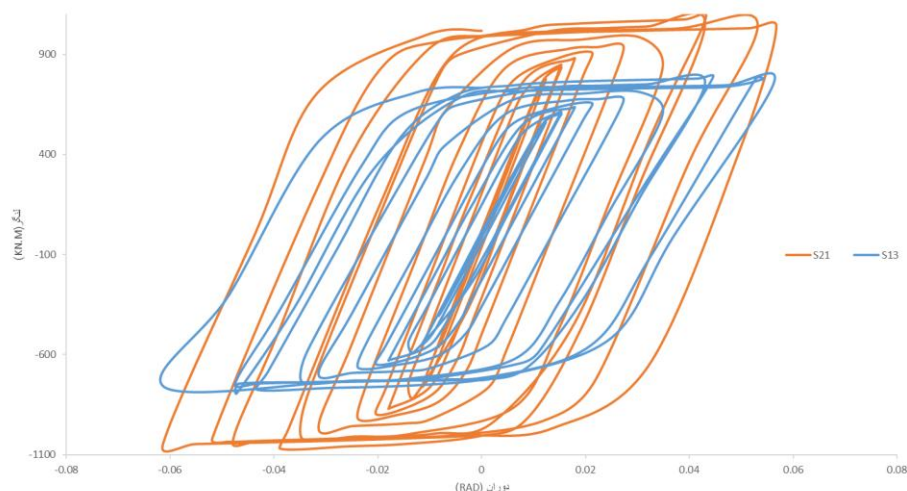


شکل ۹: نمودار هیستریزس مدل‌ها

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در بین مدل‌های بدون بتن، مدل S12 از لحاظ مقدار لنگر از بقیه مدل‌های بدون بتن، مقدار بیشتری را تحمل نموده است و این امر منجر به افزایش جذب انرژی و سطح زیر منحنی شده است. این مدل شامل دو ردیف سوراخ بیضی شکل بوده است و از طرفی ضخامت قطعه سخت کننده نیز ۱/۴ سانتیمتر بوده است، از اینرو با توجه به سختی بالا ناشی از ضخامت بیشتر و همچنین تعداد سوراخ‌ها که در دو ردیف می‌باشد، از جمله عواملی هستند که در رفتار این مدل تاثیرگذار بوده است. از طرفی در این مدل نمودار روند افزایشی در مقدار لنگر مشاهده می‌شود که نشان از ظرفیت بالای چشمه اتصال به علت ورق سخت کننده می‌باشد. در مدل‌ها پیشنهادی با ورق سخت کننده در محل اتصال به دلیل افزایش سختی چشمه اتصال مشاهده می‌شود که نمودار هیستریزس از شکل‌پذیری و سختی مناسبی برخوردار بوده است و از حد معین شده ایمنی جانی (که با خط چین آبی مشخص شده است) و همچنین ظرفیت خمشی مناسبی (تقریباً در محدوده ۱۵ تا ۳۵ درصد بالاتر از ۸۰ درصد ظرفیت خمشی) برخوردار بوده است. این نتایج برای مدل‌هایی که در داخل ستون بتن ریخته شده به صورت مشابه تکرار شده است و تفاوت مدل‌های با بتن در ظرفیت بالاتر ستون بوده است. در بین مدل‌هایی که در ستون با بتن پر شده، مدل S21 لنگر بیشتری را نسبت به بقیه مدل‌ها تحمل نموده است و این امر منجر به افزایش جذب انرژی و سطح زیر منحنی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح زیر منحنی هیستریزس اتصال پیشنهادی نسبت به اتصال

کله گاوی و اتصال از پیش تایید شده مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بیشتر می باشد و این اتصال از سختی و مقاومت بالاتری برخوردار می باشد.

همانطور که مشاهده می شود، در مدل S12 نمودار لنگر بیشتری تحمل نموده است و این امر منجر به افزایش جذب انرژی و سطح زیر منحنی شده است. از طرفی در این مدل نمودار روند افزایشی داشته است. نمونه بهترین و بدترین مدل بتن در شکل ۱۰ مقایسه شده است.



شکل ۱۰- مدل با بتن بیشترین و کمترین سطح زیر منحنی در مدل

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، در مدل S21 نمودار لنگر بیشتری تحمل نموده است و این امر منجر به افزایش جذب انرژی و سطح زیر منحنی شده است. با توجه به اینکه پروتکل جابجایی که منجر به دوران در دو مدل می شود، یکسان بوده است، تفاوت دو نمودار هیستریزیس در سختی و مقاومت خمشی رخ داده است، همان طور که از روی شکل مشاهده می شود، مدل S21 سختی خمشی بالاتر دارد که این منجر به افزایش جذب انرژی در مدل شده است. در جدول ۴ مقادیر لنگر خمشی بیشینه در کلیه مدل ها ارائه شده است.

جدول ۴: مقادیر لنگر خمشی بیشینه در کلیه مدل ها

نام مدل	BSEEP	S01	S02	S03	S04	S05
لنگر بیشینه (kN.m)	445.0688	661.271	694.3346	715.1646	671.242	701.4479
نام مدل	S06	S07	S08	S09	S10	S11
لنگر بیشینه (kN.m)	748.693	704.8041	747.0923	791.9179	754.4459	784.6237
نام مدل	S12	S13	S14	S15	S16	S17
لنگر بیشینه (kN.m)	837.4349	792.0867	831.6911	881.5925	913.2674	958.9308
نام مدل	S18	S19	S20	S21	S22	
لنگر بیشینه (kN.m)	1006.877	958.5534	1054.409	1083.165	847.9206	

با توجه به نتایج تحقیق، مشاهده شد که افزایش ضخامت سخت کننده تا حدود ۱۵ درصد منجر به افزایش ظرفیت لنگر می شود، با افزایش ظرفیت از ۴ درصد در ضخامت ۱/۲ سانتیمتر تا ۱۵ درصد در ضخامت ۱/۶ سانتیمتر. با این حال، در برخی مدل ها تفاوت قابل توجهی بین ضخامت های ۱/۴ و ۱/۶ سانتیمتر وجود نداشت، که نشان می دهد افزایش ضخامت بیشتر از مقدار بهینه ممکن است تنها به افزایش هزینه ها منجر شود بدون اینکه تأثیر معناداری بر رفتار اتصال داشته باشد. علاوه بر این، مدل هایی که دارای سوراخ بودند، به ویژه مدل با دو ردیف سوراخ بیضی شکل، عملکرد بهتری نسبت به مدل های بدون سوراخ نشان دادند، که احتمالاً به دلیل تمرکز بهینه تنش ها

در محل سوراخ‌ها است. همچنین، ستون‌های پر شده با بتن به میزان ۱۱ تا ۲۵ درصد بیشتر از ستون‌های بدون بتن لنگر خمشی را تحمل کردند، تأکیدی بر تأثیر مثبت بتن در افزایش ظرفیت خمشی است. این نتایج به طراحی بهینه‌تر اتصالات و استفاده مؤثر از سخت‌کننده‌ها و بتن در سازه‌های خمشی فولادی کمک می‌کند و تأثیرات عملکردی و اقتصادی این تغییرات را در نظر می‌گیرد. نمونه‌های پر شده با بتن حدود ۱۱ تا ۲۵ درصد بیشتر از نمونه‌های بدون بتن لنگر خمشی تحمل کرده‌اند. این نشان‌دهنده تأثیر مثبت پر شدن ستون‌ها با بتن بر افزایش ظرفیت خمشی است.

نتایج نشان می‌دهند که ستون‌های پر شده با بتن به طور قابل توجهی ظرفیت خمشی بیشتری نسبت به ستون‌های بدون بتن دارند (با افزایش ظرفیت لنگر به میزان ۱۱ تا ۲۵ درصد). این افزایش ظرفیت ناشی از چندین عامل کلیدی است:

- تقویت بتن: بتن در ستون‌ها به عنوان یک تقویت‌کننده عمل می‌کند که موجب افزایش مقاومت در برابر بارهای خمشی و محوری می‌شود.
  - توزیع بهینه تنش‌ها: بتن به توزیع یکنواخت‌تر تنش‌ها در مقطع ستون کمک می‌کند و به این ترتیب کاهش تمرکز تنش‌های محلی را به همراه دارد.
  - افزایش سختی و مقاومت: اضافه کردن بتن باعث افزایش سختی و مقاومت کلی ستون می‌شود، که به بهبود عملکرد سازه در برابر بارهای مختلف کمک می‌کند.
  - ستون‌های پر شده با بتن همچنین بهبود در شکل‌پذیری و جذب انرژی را نشان می‌دهند. این به این معنی است که این ستون‌ها قادر به تحمل تغییرات بزرگ‌تری در بارهای خمشی قبل از رسیدن به حد تسلیم هستند، که باعث افزایش دوام و مقاومت کلی سازه در برابر بارهای دینامیکی و زلزله می‌شود.
  - ستون‌های بدون بتن به دلیل نداشتن تقویت اضافی، ظرفیت خمشی کمتری نسبت به ستون‌های پر شده با بتن دارند. این به معنی این است که ستون‌های بدون بتن ممکن است زودتر به وضعیت شکست یا تسلیم برسند، که می‌تواند منجر به کاهش ایمنی و عملکرد سازه در برابر بارهای خمشی شود.
  - با توجه به افزایش ظرفیت خمشی تا ۲۵ درصد در ستون‌های پر شده با بتن، استفاده از بتن در طراحی ستون‌ها می‌تواند یک راهکار اقتصادی و مؤثر برای بهبود عملکرد سازه باشد. این افزایش ظرفیت می‌تواند به کاهش نیاز به تقویت‌های اضافی و همچنین بهبود ایمنی و پایداری سازه منجر شود.
  - استفاده از بتن در طراحی ستون‌ها به ویژه در مواردی که نیاز به تحمل بارهای خمشی بالا یا شرایط بارگذاری دینامیکی است، توصیه می‌شود. این امر می‌تواند به بهبود کلی عملکرد سازه و افزایش طول عمر آن کمک کند.
- در مجموع، استفاده از بتن در ستون‌ها به طور قابل توجهی عملکرد خمشی را بهبود می‌بخشد و می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای تقویت ساختارهای فولادی در نظر گرفته شود.

#### ۴- مدلسازی اتصال پیشنهادی در قاب ۶ طبقه

برای ستون از مقطع IPB تیر از IPE استفاده شده است. برای مصالح تیر و ستون از فولاد ST37 استفاده شده است. خاک نوع II و منطقه لرزه خیز تهران می‌باشد. سازه به صورت دو بعدی طراحی و در نظر گرفته شده است. اتصال پیشنهادی مدل S12 و اتصال از پیش تایید شده مبحث دهم مقررات ملی برای قاب مورد مطالعه انتخاب شده اند. جهت مدلسازی در نرم افزار سختی دورانی اتصال محاسبه شده است.

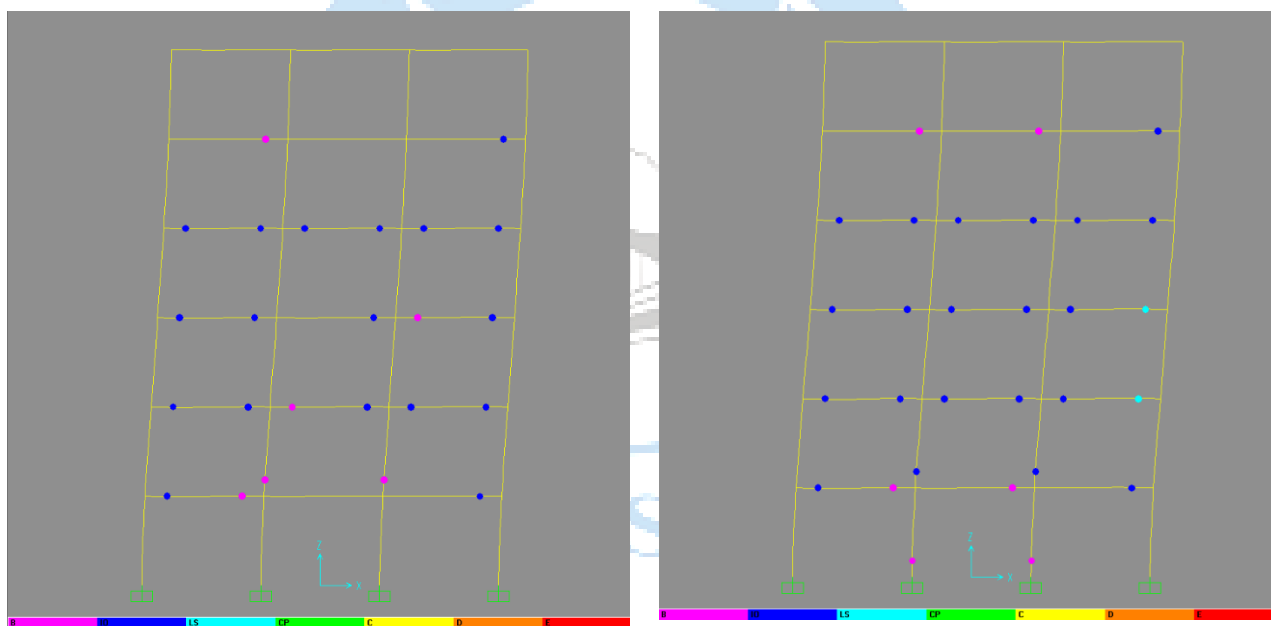
برای سازه مورد مطالعه بار زنده ۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر و بار مرده ۳۰۰۰ کیلوگرم بر متر بر روی تیرها پخش شده است. دهانه عمود بر راستای قاب ۶ متر در هر طرف فرض شده است. جهت مدلسازی رفتار اتصال سختی چشمه اتصال براساس نتایج مدل ها در بخش قبلی محاسبه و در نرم افزار SAP2000 در قسمت چشمه اتصال سختی هر قسمت از اتصال وارد شده است.

سازه های مورد مطالعه به صورت ۶ طبقه در نظر گرفته شده است. هر یک از سازه ها به صورت قاب خمشی فولادی ویژه مدلسازی شده است. مقاطع استفاده شده برای این سازه ۶ طبقه در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳: مقاطع استفاده شده برای سازه ۶ طبقه

ستون	تیر	طبقه
220x220x16	IPE330	اول
220x220x16	IPE330	دوم
220x220x16	IPE330	سوم
220x220x16	IPE330	چهارم
220x220x16	IPE330	پنجم
220x220x16	IPE330	ششم

تحلیل پوش آور برای الگوی بار جانبی مودال انجام شده است. نتایج حاصل از این تحلیل در شکل ۹ نمایش داده شده است.

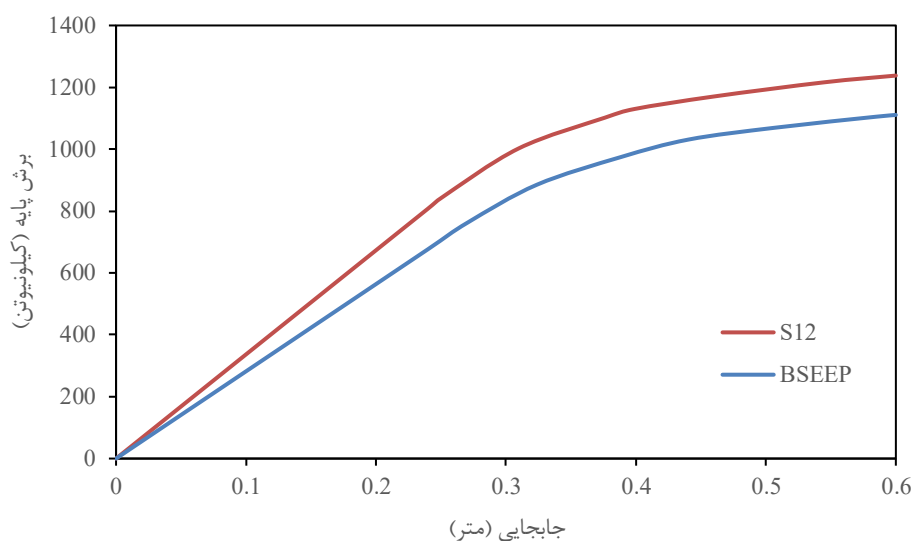


چشمه اتصال از نوع اتصالات پیشنهادی

چشمه اتصال از نوع اتصالات تایید شده

شکل ۹: مفاصل تشکیل شده در گام آخر تحلیل پوش آور

نمودار پوش دو سازه مورد مطالعه در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: پوش آور قاب های مورد مطالعه با اتصال از پیش تایید شده و اتصال پیشنهادی

در جدول ۴ مشخصات حاصل از تحلیل پوش آور نمایش داده شده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از تحلیل پوش آور

پارامتر	علامت	اتصال از پیش تایید شده	اتصال پیشنهادی
سختی سازه	K	۲۸۱۹/۲۸	۳۲۵۸/۹۳
اضافه مقاومت	$\Omega = \Delta y / \Delta s$	۱/۰۸	۱/۱۲
تغییر شکل پلاستیک	$\Delta u - \Delta y =$	۰/۳۳	۰/۳۴
ضریب شکل پذیری	$\mu = \Delta u / \Delta y$	۲/۲۵	۲/۲۵
ضریب تنش مجاز	$Y = \Delta s / \Delta d$	۲/۷۸	۲/۹۳
ضریب کاهش	$R\mu =$	۱/۸۲	۱/۹۵
سختی اولیه	k1 =	۲۸۱۹/۲۸	۳۲۵۸/۹۳
سختی نهایی	k2 =	۲۰۱۵/۴۹	۲۱۷۵/۰۲
ضریب تشدید تغییر مکان	Cd =	۶/۰۶	۶/۸۹
ضریب رفتار	$R = \Omega.Y.R\mu$	۵/۴۳	۶/۳۹

## نتیجه گیری

۱- با افزایش ضخامت سخت کننده ظرفیت خمشی اتصال نیز افزایش داشته است. میزان این افزایش از ۴ تا ۱۵ درصد مشاهده شده است.

۲- با افزایش ضخامت سخت کننده تا حدود ۴ تا ۱۵ درصد ظرفیت افزایش داشته است، در ضخامت ۱/۲ مقدار افزایش ظرفیت لنگر به میزان ۴ درصد افزایش و در ضخامت ۱/۶ سانتیمتر به میزان ۱۵ درصد افزایش مشاهده شده است. در بعضی از مدل ها تفاوت چشمگیری بین افزایش ضخامت ۱/۴ و ۱/۶ سانتیمتر مشاهده نشده است. از این رو چون اکثریت مدلها با افزایش ضخامت از ۱/۴ تا ۱/۶ سانتیمتر تفاوت چشمگیری نداشته اند، می توان دریافت، که افزایش ضخامت تا حدی در ظرفیت مقطع تاثیر دارد و در صورت افزایش زیاد از مقدار بهینه تنها باعث افزایش هزینه خواهد شد و در رفتار اتصال تاثیر چندانی نخواهد داشت.

- ۳- در مدل ها با سوارخ رفتار بهتری نسبت به مدل بدون سوارخ داشته است و می توان علت آن را در تمرکز تنش در محل سوارخ های سخت کننده دانست. از طرفی مدل با دو ردیف سوارخ بیضی شکل از بقیه مدل ها رفتار بهتری داشته است.
- ۴- نمونه های پر شده با بتن تقریباً ۱۱ تا ۲۵ درصد بیشتر از نمونه های بدون بتن لنگر خمشی تحمل نموده اند.
- ۵- با بررسی رفتار اتصال پیشنهادی در قاب ۶ طبقه و مقایسه رفتار آن با اتصال از پیش تایید شده مشاهده می شود که اتصال پیشنهادی دارای سختی اولیه بالاتری در حدود ۱۶ درصد نسبت به اتصال از پیش تایید شده می باشد. همچنین ضریب رفتار سازه با اتصال پیشنهادی نزدیک به ۱۸ درصد بیشتر از اتصال از پیش تایید شده است. به صورت کلی نتایج این پژوهش نشان میدهد که استفاده مؤثر از سخت کننده ها و بتن در قاب های خمشی فولادی تأثیرات عملکردی و اقتصادی مناسبی دارد.

#### ۴- مراجع

- [1]. Shirasb S. (2014). "Investigation of seismic behavior of steel beam connection to CFT column by end plate and the tendency of restraint passing through the column", Imam Khomeini International University - Qazvin - Faculty of Engineering. [In Persian]
- [2]. Dehghani Ehsan, Bahrani Mohammad Kazem, Afkhami Vahidreza. Investigating how to model the connection spring area in steel frames clamped with end plates. Scientific-Research Journal of Civil Engineering, Volume 17, Number 2, pp. 119-131. [In Persian]
- [3]. ECCS-European Convention for Constructional Steelwork. (2015). *Design of steel structures: eurocode 3: design of steel structures, part 1-1: general rules and rules for buildings*. John Wiley & Sons.
- [4]. Sheet, I.S., Gunasekaran, U. and MacRae, G.A. (2013), "Experimental Investigation of CFT Column to Steel Beam Connections under Cyclic Loading", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 86, pp. 167-182.
- [5]. Wu, Liao. "Experimental study on panel zone behavior of diaphragm-through connections to concrete-filled tube columns." *Advances in Structural Engineering* 23, no. 1 (2020): 190-202.
- [6]. Wu, L., Chen, Z., Rong, B., & Luo, S. (2016). Panel zone behavior of diaphragm-through connection between concrete-filled steel tubular columns and steel beams. *Advances in Structural Engineering*, 19(4), 627-641.
- [7]. Pan, L., Chen, Y., Chuan, G., Jiao, W., & Xu, T. (2016). Experimental evaluation of the effect of vertical connecting plates on panel zone shear stability. *Thin-Walled Structures*, 99, 119-131.
- [8]. Wang, P., Wang, Z., Pan, J., Zheng, Y., & Liu, D. (2019). Cyclic Behavior of Steel Beam to CFT Column Connections with Gusset Plates. *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- [9]. Maikol Del Carpio, R., Mosqueda, G., & Lignos, D. G. (2019). Experimental investigation of steel building gravity framing systems under strong earthquake shaking. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 230-241.
- [10]. Ahmadi, M. M., & Mirghaderi, S. R. (2019). Experimental studies on through-plate moment connection for beam to HSS/CFT column. *Journal of Constructional Steel Research*, 161, 154-170.
- [11]. Atmaji, A. D., Suswanto, B., & Wahyuni, E. (2019). CONNECTION MODEL OF CONCRETE FILLED STEEL TUBE (CFT) COLUMN TO STEEL BEAM UNDER CYCLIC. *Journal of Civil Engineering*, 34(1), 9-17.
- [12]. Hasan, M. J., Ashraf, M., Al-Deen, S., Shill, S. K., & Uy, B. (2021, December). Stainless steel top-seat angle beam-to-column connection: Full-scale test and analytical modelling. In *Structures* (Vol. 34, pp. 4322-4338). Elsevier.
- [13]. Chen, P., Pan, J., Hu, F., & Wang, Z. (2022). Experimental investigation on earthquake-resilient steel beam-to-column joints with replaceable buckling-restrained fuses. *Journal of Constructional Steel Research*, 196, 107413.
- [14]. Lingli Pan. Pan, Lingli, et al. "Experimental evaluation of the effect of vertical connecting plates on panel zone shear stability." *Thin-Walled Structures* 99 (2016): 119-131.
- [15]. AISC, (2010), "Specification for Structural Steel Buildings". American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.