



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹ و ۸ بهمن ۱۴۰۴



ارزیابی تاثیر آتش بر ظرفیت باربری اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر

حدیث خلیلی^{۱*}، پرهام معمارزاده^{۲،۳}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

h.khalili1369@gmail.com

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

parham.memarzadeh@iau.ac.ir

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

parham.memarzadeh@iau.ac.ir

چکیده

با توجه هدف اصلی در پژوهش حاضر که ارزیابی تاثیر آتش بر ظرفیت باربری اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر می‌باشد، پس از اطمینان از روند صحت سنجی، یک نمونه اتصال تیر به ستون تحت بارگذاری حرارتی و ۵ نمونه اتصال تیر به ستون با مقطع کاهش یافته تیر نیز تحت بارگذاری حرارتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در مدل‌های مورد مطالعه، کاهش سطح مقطع تیر با ایجاد حفره‌هایی دایره‌ای شکل و بیضوی شکل در بال و جان تیر حاصل شده و نتایج به دست آمده به ازای حالت‌های مختلف مدل‌سازی با نتایج مربوط به مدل شاهد (مدل تیر با مقطع کاهش یافته RBS) مقایسه شده است. پاسخ‌های بررسی شده در این پژوهش، منحنی ظرفیت باربری اتصال می‌باشد. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد در اتصالات‌های RFS-I و RFS-C بیشینه ظرفیت باربری به ترتیب ۶.۶ و ۱۵.۱ درصد کاهش یافته است. همچنین در خصوص اتصالات‌های RWS-I و RWS-C در مقایسه با مدل مبنا، بیشینه ظرفیت باربری ثبت شده به ترتیب ۲.۸ و ۹.۴ درصد افزایش یافته است. سایر نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، بر اساس معیارهای ظرفیت باربری، اتصال ستون به تیر دارای حفره بیضوی شکل در جان تیر (RWS-I) بهینه‌ترین و مطلوب‌ترین نوع اتصال، در میان مدل‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آتش، ظرفیت باربری، اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر، بازشو دایره ای و بیضوی شکل

Evaluation of the effect of fire on load-bearing capacity of reduced beam section connections

Hadis Khalili^{1*}, Parham Meamarzade ^{2,3}

1 Master's student in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
h.khalili1369@gmail.com

2 Associate Professor, Department of Civil Engineering, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
parham.memarzadeh@iau.ac.ir

3 Associate Professor, Sustainable Development in Civil Engineering Research Center, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
parham.memarzadeh@iau.ac.ir



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹ و ۱۴۰۴ بهمن



Abstract

Considering the main objective of the present study, which is to evaluate the effect of fire on the load-bearing capacity of reduced beam cross-section connections, after ensuring the verification process, one beam-to-column connection sample under thermal loading and 5 beam-to-column connection samples with reduced beam cross-section were also investigated and evaluated under thermal loading. In the models under study, the reduction of the beam cross-section was achieved by creating circular and elliptical holes in the flange and web of the beam, and the results obtained for different modeling cases were compared with the results of the control model (beam model with reduced cross-section (RBS). The responses examined in this study include the connection load capacity curve. The results obtained from this study showed that in RFS-I and RFS-C connections, the maximum load capacity decreased by 6.6 and 15.1 percent, respectively. Also, in the case of RWS-C and RWS-I connections, compared to the base model, the maximum load capacity recorded increased by 2.8 and 9.4 percent, respectively. Other results of this study show that, based on the load capacity criteria, the column-beam connection with an elliptical hole in the beam web (RWS-I) is the most optimal and desirable type of connection among the models under study in the present study.

Keywords: Fire, Load Capacity, Reduced Beam Section Connections, Circular and Elliptical Opening.

۱- مقدمه

علی‌رغم این که سازه‌ها، به منظور رویارویی با حوادث محتمل در طول عمر مفید خود طراحی می‌شوند، اما رویدادهایی نظیر انهدام سازه‌ها در زلزله کوبه و تخریب برج‌های تجارت جهانی آمریکا در سال‌های دور و فرو ریزش ساختمان پلاسکو در اثر آتش‌سوزی در سال‌های اخیر و تخریب سازه‌های فولادی در بندر شهید رجایی بندرعباس در اثر انفجار و آتش‌سوزی در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۴، نشان می‌دهد سازه‌ها، ممکن است در طول عمر خود با حوادثی شدیدتر از سطح طراحی مربوطه مواجه شوند. وقوع آتش‌سوزی پس از زلزله، پدیده‌ای است که وقوع آن دور از انتظار نبوده و می‌تواند خسارات غیرقابل جبرانی به همراه داشته باشد. در مناطق با خطر لرزه‌پذیری بالا، یکی از ایده‌آل‌ترین روش‌ها به منظور بهبود عمل‌کرد ساختمان‌ها، استفاده از قاب‌های خمشی می‌باشد. اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی نقش منحصربه‌فردی را در شکل‌پذیری آن‌ها ایفا می‌کنند و تا مدت‌ها تصور می‌شد که اتصالات خمشی به کار رفته در این نوع قاب‌ها، به خوبی شکل‌پذیری سازه را تامین می‌کنند. در حالی که وقوع زلزله نورتریج در سال ۱۹۹۴ میلادی، نقطه عطفی در عمل‌کرد قاب‌های خمشی محسوب می‌شود. پس از این زلزله مشخص شد که اتصالات تیر به ستون در این قاب‌ها در بسیاری از ساختمان‌ها، دچار گسیختگی ترد شده و شکل‌پذیری آن‌ها، مورد تردید قرار گرفت. به منظور رفع این مشکل، تضعیف عمدی تیرهای متصل به ستون به عنوان یک راه‌کار مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفت. ¹RBS به معنای تضعیف عمدی ظرفیت خمشی تیر به صورت موضعی در نزدیکی اتصال تیر به ستون است که خود سبب افزایش شکل‌پذیری و دوران پلاستیک اتصال، بدون زوال سختی و مقاومت خواهد شد. در اتصال مستقیم تیر به ستون از نوع RBS در قاب فولادی با ایجاد تجمع تغییر شکل پلاستیک در اطراف ناحیه محافظت شده، انرژی زلزله جذب و مستهلک شده و مانع افزایش بیش از حد مقاومت مورد نیاز در ناحیه اتصال و ستون‌ها می‌شود. در شکل (۱) اتصال RBS همراه با پارامترهای هندسی مربوطه، نمایش داده شده است. متغیرهای ناحیه کاهش‌یافته با برش شعاعی، فاصله ابتدای ناحیه کاهش یافته (a)، طول

¹Reduced Beam Section



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹ و ۱۰ بهمن ۱۴۰۴



ناحیه کاهش یافته (b)، عمق برش (c) و شعاع برش (R) می باشد. در ناحیه کاهش یافته،

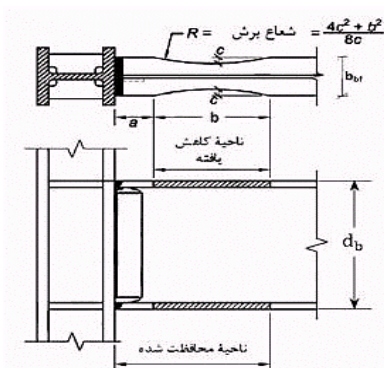
محدودیت‌های زیر در بین پارامترهای مختلف برقرار است [۱]:

$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} \quad (1)$$

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf} \quad (2)$$

$$0.6d_b \leq b \leq 0.85d_b \quad (3)$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (4)$$



شکل (۱): جزییات اتصال RBS و پارامترهای هندسی مربوطه [۱]

عوامل مختلفی موجب بروز آتش‌سوزی می‌شود. تجربیات به دست آمده از زلزله‌های نورثریچ (۱۹۹۴) و کوبه ژاپن (۱۹۹۵) نشان می‌دهد، زلزله یکی از علل ایجاد حریق در سازه‌های مختلف محسوب می‌شود. آتشی که پس از زلزله گسترش پیدا می‌کند، ممکن است در اثر احتراق و آتش‌سوزی، خسارات مالی و جانی بسیاری به سازه و افراد تحمیل خواهد بسیار فاجعه بارتر از خود زلزله باشد [۲]. با توجه به فراوانی و گستردگی تاسیسات برق شهری و خطوط انتقال گاز در نقاط مختلف کشور ایران و همچنین نظر به پتانسیل بالای کشور ایران از منظر وقوع زلزله به دلیل استقرار موقعیت جغرافیایی این کشور بر روی کمربند لرزه‌ای آلپ-هیمالیا، پس از وقوع زلزله در شهرهای مختلف کشور، بروز حریق و آتش‌سوزی دور از انتظار نخواهد بود. از طرفی، در سازه‌های مختلف، از جمله سازه‌های فولادی، اتصالات جزء ضعیف‌ترین و آسیب‌پذیرترین المان‌های سازه‌ای محسوب می‌شوند. لذا با طراحی و انتخاب بهینه می‌توان تا حد زیادی به افزایش تاب‌آوری و بهبود مقاومت اعضا در طی فرآیند آتش‌سوزی کمک کرد و همچنین از، اتصالات شکست ترد ناشی از انهدام اتصال، اجتناب نمود. همان‌گونه که مطرح شد، یکی از انواع مختلف اتصالات پرکاربرد در قاب‌های می‌باشد. لذا در این پژوهش، به ارزیابی تاثیر آتش بر ظرفیت باربری RBS فولادی خمشی، استفاده از اتصالات گیردار پیش‌تایید شده با استفاده از روش‌های مختلف تضعیف تیر خواهیم پرداخت. به منظور ایجاد تضعیف در مقطع تیر، از دو روش کاهش RBS اتصالات مقطع بال (از طریق برش شعاعی و ایجاد سوراخ دایره‌ای و بیضوی در بال) و کاهش مقطع جان (ایجاد سوراخ دایره‌ای و بیضوی) تعیین می‌شود. در این پژوهش، شعاع برش در بال، براساس کران بالا و پایین روابط (۱) تا (۴) سوراخ‌های ایجاد شده در بال و جان، معادل با کاهش مساحت مقطع بال تیر از طریق روش برش شعاعی خواهد بود.

با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه در پژوهش حاضر، شاهد انجام مطالعات گسترده‌ای در حوزه اتصالات RBS و آتش



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹ و ۸ بهمن ۱۴۰۴



در سازه‌های مختلف بوده‌ایم. در این بخش به مرور مطالعات داخلی و خارجی مرتبط با موضوع مورد مطالعه در این پژوهش، پرداخته شده است. پروری و همکاران در پژوهشی به بررسی رفتار اتصال تیر فولادی با بال کاهش یافته به وسیله دریل به ستون بتن آرمه پرداختند [۳]. در این مطالعه، برای ایجاد اتصال از یک، دو، سه تا پنج ردیف سوراخ در نظر گرفته شده است. با بررسی نتایج به دست آمده از این مطالعه مشاهده شد که سه ردیف سوراخ در اتصال تیر به ستون از لحاظ تشکیل مفصل، توزیع تنش و نیروها از بقیه سوراخ‌ها، مناسب‌تر است. سایر نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد، محدوده تغییرات لنگر خمشی از حدود ۸ تا ۴۶ درصد بوده است و در مدل با سه ردیف سوراخ کاری، کم‌ترین مقدار و در مدل با یک ردیف سوراخ، بیش‌ترین لنگر رخ داده است. همچنین جذب انرژی نیز در محدوده ۴ تا ۲۰ درصد متغیر بوده است. صابری و همکاران در سال ۱۴۰۱ در پژوهشی به بررسی عمل‌کرد اتصالات صلب تیر با مقطع کاهش یافته با سخت‌کننده‌های افقی و قائم در قاب خمشی فولادی پرداختند [۴]. نتایج این مطالعه نشان داد، در حالت استفاده از ترکیب دو سخت‌کننده افقی و قائم، مقاومت اولیه و نهایی اتصال در مقایسه با اتصال بدون سخت‌کننده به ترتیب ۲۰۶ و ۲۶ درصد افزایش یافته است. جلالی و رفیعی در پژوهشی به ارزیابی عمل‌کرد قاب خمشی با اتصالات پیچی دارای تیر با مقطع کاهش یافته پرداختند [۵]. نتایج این مطالعه نشان داد، ایجاد تیر با مقطع کاهش یافته می‌تواند سبب انتقال مفصل پلاستیک از بر ستون به فاصله مناسب در محل مقطع کاهش یافته شود. همچنین قاب با شیار طولی در جان تیر با ۳۱۰۸ درصد ظرفیت باربری بیشتر و ۳۰۹ درصد استهلاک بیش‌تر در مقایسه با سایر قاب‌های با تیر با مقطع کاهش یافته، عمل‌کرد بهتری دارد. میرزایی ابر و همکاران در پژوهشی [۶] به ارائه یک نمونه اتصال RBS با پیچ و مهره دوتایی پرداختند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد، اتصال پیشنهادی در مقایسه با اتصال RBS معمولی، مقاومت و استهلاک انرژی را به ترتیب ۱۶ و ۱۲ درصد افزایش داده است. همچنین استفاده از اتصال پیشنهادی، در مقایسه با اتصال معمولی، موجب بروز خسارت و کماتش کمتری شده است. معماری و محمود در پژوهشی [۷] به تحلیل چند جزئی از قاب‌های فولادی دارای اتصال RBS تحت اثر بارگذاری حریق پرداختند. نتایج این پژوهش عدم کفایت طراحی ارائه شده مربوط به تیر و ستون را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این مطالعه، در اتصال RBS تحت حریق، در جان و بال تیر، شاهد تشکیل و توسعه کماتش موضعی خواهیم بود که این امر، ظرفیت باربری اتصال را به شدت کاهش می‌دهد. لی و همکاران در پژوهشی [۸] به بررسی اثر آتش بر رفتار یک اتصال تیر به ستون در حالت متداول در قاب فولادی پرداختند. مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش در کشور تایوان انجام شد و در آن، نمونه اتصال با ابعاد واقعی در کوره، مورد تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفتند. همچنین فرآیند شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار آباکوس انجام شد. نتایج عددی به دست آمده از این مطالعه، انطباق قابل قبولی را با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد. عرفانی و دهستانی در پژوهشی در سال ۲۰۲۰ میلادی به بررسی عملکرد قاب پرتال فولادی آسیب دیده با اتصال RBS تحت اثر حریق پرداختند [۹]. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، به منظور دستیابی به نتایج کاربردی و واقعی، در نظر گرفتن پارامترهای خسارت، ضرورت دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد، تنش‌های حرارتی ناشی از بارگذاری حریق، در انتهای بال تیر با مقطع کاهش یافته رخ می‌دهد، که می‌تواند عمل‌کرد اصلی اتصال را تحت‌تاثیر قرار دهد. به نحوی که کاهش ظرفیت باربری المان‌های ناحیه آسیب دیده، منجر به باز توزیع تنش‌ها، کماتش و لهیدگی در نواحی مجاور اتصال می‌شود.

کفایش و همکاران در پژوهشی، رفتار قاب‌های فولادی مهاربندی شده را تحت بارگذاری ناشی از آتش مورد بررسی و



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



ارزیابی قرار دادند [۱۰]. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد: مهاربندها در دمای بالا، به دلیل نیروهای محوری فشاری بزرگ و گسترش مهارهای جانبی، کماتش می‌کنند. این پدیده منجر به از دست رفتن زود هنگام مقاومت جانبی طبقه و در نتیجه شکست ستون‌ها شده است. ژانگ و همکاران در پژوهشی در سال ۲۰۲۵ میلادی به بررسی مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده پس از آتش‌سوزی در اتصالات RBS پرداختند [۱۱]. در این پژوهش ۱۰ مدل اتصال تیر به ستون مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد، آتش به طور قابل توجهی توانایی RBS را در جابجایی مفصل پلاستیک‌به ویژه در دماهای بالا، مختل می‌کند به نحوی که در این حالت مفصل در خارج از محدوده کاهش یافته و در نزدیکی اتصال تیر به ستون، تشکیل می‌شود. سایر نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، در دمای ۸۰۰ درجه، مقاومت در برابر فروریزش در فواصل مختلف کاهش، تقریباً ثلث می‌ماند، اما افزایش طول کاهش، در ابتدا مقاومت را افزایش و در ادامه کاهش می‌دهد. همچنین افزایش عمق کاهش، به اندازه ۳۰ میلی متر، ظرفیت خمشی و کششی ناحیه RBS را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و حالت شکست را از اتصال تیر به ستون به ناحیه RBS منتقل می‌کند. داورپناه و همکاران در پژوهشی به بررسی عمل کرد چرخه‌ای یک قاب خمشی سه دهانه هشت طبقه با اتصالات RWS بیضوی شکل و مقایسه آن با قاب‌های دارای مقاطع تیر کامل یا کاهش یافته معمولی پرداختند [۱۲]. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد، ایجاد یک بازشو بیضوی شکل در جان تیر می‌تواند، یک روش مناسب جایگزین اتصالات با مقطع RBS شود که قابلیت بهبود رفتار لرزه‌ای در قاب‌های خمشی فولادی را نیز داراست.

با مرور ادبیات پژوهش و بررسی مطالعات انجام شده، مشاهده شد علی‌رغم حجم قابل توجه مطالعات صورت گرفته در حوزه بررسی تاثیر آتش بر رفتار اتصالات، شاهد انجام پژوهشی در خصوص بررسی تاثیر آتش بر ظرفیت باربری اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر به ازای روش‌های مختلف کاهش سطح مقطع در بال و جان تیر نبوده‌ایم. لذا در پژوهش حاضر، برای نخستین بار، به بررسی تاثیر آتش بر رفتار اتصالات با مقطع کاهش یافته از طریق ایجاد برش شعاعی در بال‌های تیر و همچنین ایجاد بازشوهای دایره‌ای شکل و بیضوی شکل در بال و جان تیر، با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار آباکوس خواهیم پرداخت.

۲- صحت سنجی روش انجام تحقیق

به منظور اطمینان از روند مدل سازی نمونه‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار آباکوس، مدل ارائه شده توسط لی و همکاران [۳] مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته است. در این مدل، یک نمونه اتصال تیر به ستون تحت بارگذاری حرارتی قرار گرفته که مقطع تیر I شکل و مقطع ستون قوطی بوده و برای برقراری اتصال در ناحیه ستون به تیر از جوش و در ناحیه تیر به تیر از ۱۰ پیچ با مشخصات ارائه شده در این مرجع استفاده شده است. بارگذاری حرارتی بر اساس اطلاعات موجود در این مرجع و مطابق با جدول (۱)، نمودار تنش و کرنش در شکل (۲) و مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در جدول (۲) مورد مطالعه اعمال شده است. همچنین بار متمرکز برابر با ۳۶۸ کیلو نیوتن به انتهای تیر اعمال شده است. در شکل (۳) شکل هندسی مدل مورد بررسی به منظور صحت‌سنجی به همراه مقاطع تیر و ستون مدل، قابل مشاهده است. به منظور راستی‌آزمایی مدل مورد مطالعه، پاسخ زمان-جابجایی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در شکل (۴) تنش فون میسز توزیع شده در مدل



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



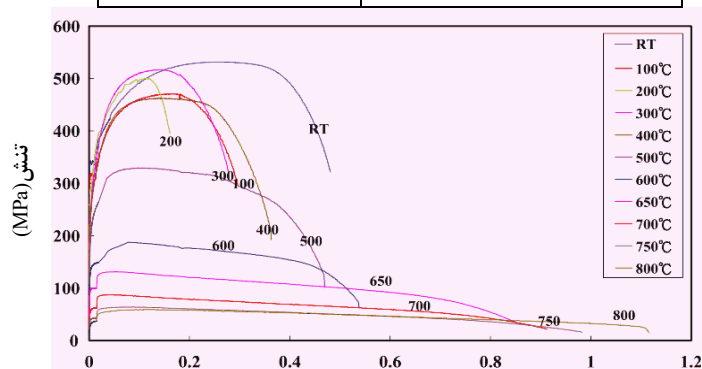
صحت‌سنجی و در شکل (۵) نمودار زمان-جابجایی به دست آمده از پژوهش حاضر، با نمودار به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی توسط لی و همکاران [۸]، مقایسه شده است. انطباق نتایج، بیانگر دقت قابل قبول روند مدل‌سازی در پژوهش حاضر می‌باشد.

جدول (۱): تابع بارگذاری حرارتی تیر و ستون [۸]

زمان	حرارتی	زمان	حرارتی	حرارت
اعمالی به ستون	اعمالی به تیر	اعمالی به ستون	اعمالی به تیر	اعمالی به ستون
۰	۳۱.۰۷۸	۰	۳۱.۰۷۸	۲۶.۸۰۸
۱.۳۸۱	۴۹.۷۲۵	۰.۷۱۱	۴۹.۷۲۵	۵۱.۷۰۲
۳.۰۵۶	۸۷.۰۲۰	۲.۶۷۹	۸۷.۰۲۰	۷۶.۵۹۵
۴.۶۴۷	۱۱۶.۰۲۷	۴.۰۶۱	۱۱۶.۰۲۷	۸۰.۴۲۵
۶.۴۰۵	۱۳۴.۶۷۴	۵.۱۴۹	۱۳۴.۶۷۴	۹۵.۷۴۴
۹	۱۷۶.۱۱۲	۷.۲۸۵	۱۷۶.۱۱۲	۱۲۴.۴۶
۱۲.۶۴۴	۲۰۵.۱۱۹	۸.۲۸۹	۲۰۵.۱۱۹	۱۹۱.۴۸۹
۱۵.۰۳۰	۲۶۵.۲۰۵	۱۱.۰۹۵	۲۶۵.۲۰۵	۲۲۴.۰۴۲
۱۶.۱۶۱	۳۲۵.۲۹۰	۱۳.۴۳۹	۳۲۵.۲۹۰	۲۴۵.۱۰۶
۱۷.۹۱۹	۳۷۲.۹۴۴	۱۵.۲۳۳	۳۷۲.۹۴۴	۲۷۳.۸۲۹
۲۰.۳۰۵	۴۰۶.۰۹۵	۱۶.۶۶۳	۴۰۶.۰۹۵	۳۱۵.۹۵۷
۲۲.۷۳۴	۴۶۶.۱۸۰	۱۹.۴۶۸	۴۶۶.۱۸۰	۳۵۰.۴۲۵
۲۵.۶۲۳	۴۹۹.۳۳۱	۲۰.۹۷۵	۴۹۹.۳۳۱	۳۹۸.۲۹۷
---	۵۳۸.۶۹۷	۲۳.۱۹۴	۵۳۸.۶۹۷	---
---	۵۶۹.۷۷۶	۲۵.۵۸۱	۵۶۹.۷۷۶	---
---	۵۷۳.۹۲۰	۲۶	۵۷۳.۹۲۰	---

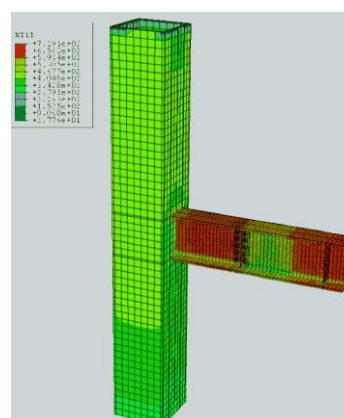
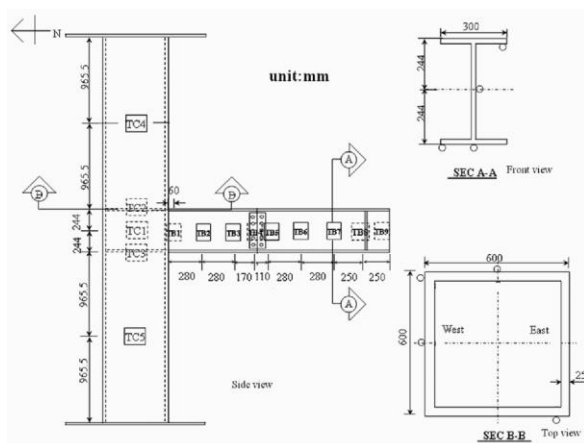
جدول (۲): مشخصات مکانیکی فولاد

مشخصات مکانیکی	کلیه اجزای اتصال
تنش تسلیم (MPa)	۲۳۵
تنش نهایی (MPa)	۴۲۰
ضریب پواسون	۰.۳
مدول الاستیسیته (MPa)	۲۰۶۰۰۰



کرنش (mm)

شکل (۲): نمودار تنش-کرنش اجزای اتصال در دماهای مختلف [۸]



شکل (۳): جزئیات مدل مورد مطالعه به منظور صحت‌سنجی [۸]



کد اختصاصی:

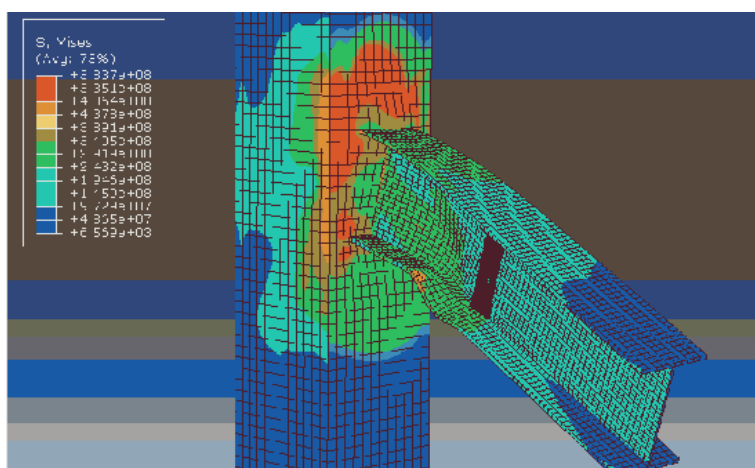
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

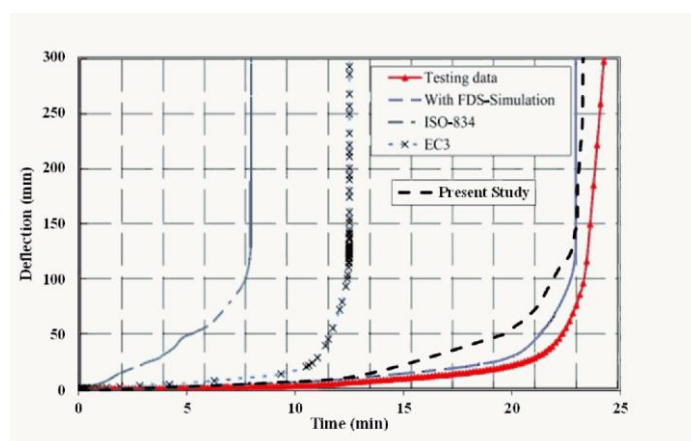
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل (۴): تنش فون میسز توزیع شده و در مدل لی و همکاران



شکل (۵): مقایسه منحنی زمان-جابجایی پژوهش حاضر با نتایج مطالعات لی و همکاران

بیشینه خطای محاسباتی مربوط به نتایج مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر با مقاله صحت سنجی (منحنی آبی) ۳/۴ درصد حاصل شده است.

۲-۱ انتخاب مدل و جزئیات مقاطع

با توجه به هدف اصلی در پژوهش حاضر که ارزیابی تاثیر آتش بر ظرفیت باربری اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر می باشد، ۵ مدل مختلف از اتصالات تیر به ستون، با مقطع کاهش یافته تیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. ساختار هندسی مدل‌های بررسی شده، بر مبنای مدل مربوط به مطالعات لی و همکاران [۸] انتخاب شده و بارگذاری اعمالی به تمام مدل‌ها بر



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



اساس بارگذاری حرارتی معرفی شده توسط لی و همکاران در نظر گرفته شده است. لذا ۵ ساختار مختلف کاهش سطح مقطع در تیر منظور شده و رفتار اتصال به ازای این حالات ۵ گانه، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پس از نام‌گذاری مدل‌ها در جدول (۳) و نمایش مدل‌های مورد مطالعه، به تحلیل نتایج به دست آمده از مدل‌های مورد بررسی خواهیم پرداخت. در این نام‌گذاری F بیانگر کاهش سطح مقطع در بال، W بیانگر کاهش سطح مقطع در جان، C بیانگر بازشو با شکل هندسی دایره‌ای و I بیانگر بازشو با شکل هندسی بیضوی شکل می‌باشد. متغیرهای اصلی در پژوهش حاضر، نوع اتصال تیر به ستون، شکل هندسی بازشو و موقعیت ایجاد بازشوها می‌باشد.

جدول (۳): معرفی مدل‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر

نام مدل	تشریح
۱ RBS	اتصال با مقطع کاهش یافته تیر براساس برش شعاعی
۲ RFS-C	اتصال با مقطع کاهش یافته بر اساس ایجاد بازشوی دایره‌ای شکل در بال‌های تیر
۳ RFS-I	اتصال با مقطع کاهش یافته بر اساس ایجاد بازشوی بیضوی شکل در بال‌های تیر
۴ RWS-C	اتصال با مقطع کاهش یافته بر اساس ایجاد بازشوی دایره‌ای شکل در جان تیر
۵ RWS-I	اتصال با مقطع کاهش یافته بر اساس ایجاد بازشوی بیضوی شکل در جان تیر

۱-۱-۲ مشخصات هندسی مدل‌ها

ساختار کلی مدل مورد مطالعه در این پژوهش که شامل یک اتصال تیر به ستون، با مقطع کاهش یافته تیر است، مطابق با جزئیات ارائه شده توسط مطالعات لی و همکاران انتخاب شده است. در این ساختار، ۲ تیر فولادی به طول‌های ۷۵ و ۱۱۵ سانتی‌متر توسط ۱۰ عدد پیچ به قطر ۲ سانتی‌متر به یک‌دیگر متصل شده است. در این ساختار، تیر کوتاه‌تر به ستون فولادی متصل شده است. تیر ساخته شده از ورق‌های فولادی دارای ارتفاع کلی ۴۸۸ میلی‌متر بوده و عرض بال فشاری و کششی در

تیر برابر با ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. همچنین ابعاد ستون قوطی شکل ۶۰۰ در ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. ضخامت ستون قوطی شکل برابر با ۲۵ میلی‌متر و ضخامت بال و جان تیر برابر با ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. بارگذاری حرارتی به دو المان تیر و ستون در تمام مدل‌ها، مطابق با جزئیات ارائه شده در جدول (۱) اعمال شده است. لازم به ذکر است، تفاوت مدل‌های بررسی شده، تنها در سطح مقطع کاهش یافته در تیر کوتاه‌تر می‌باشد و سایر مشخصات هندسی در تمام مدل‌های مورد مطالعه، یکسان در نظر گرفته شده است. نام‌گذاری و توضیحات مربوط به مدل‌های ۵ گانه‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، در جدول (۲) ارائه شده است. در مدل RBS از مقادیر حداقل آیین‌نامه برای ایجاد سطح مقطع کاهش یافته تیر (روابط ۱ تا ۴) استفاده شده است. بر همین اساس پارامترهای a (فاصله آغاز کاهش سطح مقطع از بر ستون)، b (طول ناحیه کاهش یافته) و c (شعاع



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



ناحیه کاهش یافته) برای این مدل به ترتیب برابر با ۱۵۰، ۲۹۲.۸ و ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است، کاهش سطح مقطع تیر در تمام حالات مورد بررسی، در فاصله ۱۵۰ میلی‌متری از بر اتصال تیر به ستون انجام شده است. در مدل RFS-C شاهد ایجاد دو نیم دایره در بال‌های فشاری و کششی تیر کوتاه خواهیم بود. شعاع این نیم دایره‌ها برابر با ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در مدل RFS-I دو نیم بیضی در بال‌های فشاری و کششی تیر کوتاه ایجاد شده است. شعاع بلندتر و کوتاه‌تر بیضی به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در مدل RWS-C در جان تیر کوتاه‌تر، دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ میلی‌متر ایجاد شده است و در نهایت در مدل RWS-I شاهد ایجاد حفره‌ای بیضی شکل در جان تیر کوتاه‌تر خواهیم بود. شعاع بلندتر و کوتاه‌تر این حفره به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در شکل (۵) شکل هندسی مقاطع کاهش‌یافته تیر مربوط به مدل‌های ۵ گانه مورد بررسی در پژوهش حاضر، نمایش داده شده است. نکته قابل توجه در خصوص مدل‌های مورد بررسی آن است که سطح مقطع کاهش یافته در تمامی مدل‌های مورد بررسی، معادل با یک‌دیگر در نظر گرفته شده است. همچنین در بین مدل‌های مورد مطالعه، نتایج مربوط به مدل RBS به عنوان مدل شاهد و مبنا لحاظ شده و نتایج سایر حالات مدل‌سازی با نتایج مدل مبنا، ارزیابی و بررسی شده است.

۳- تحلیل نتایج

با توجه به اعمال بارگذاری حرارتی در پژوهش حاضر، پاسخ‌های بررسی شده در این مطالعه، منحنی ظرفیت باربری اتصال تیر به ستون در حالت‌های مختلف مدل‌سازی می‌باشد. در ادامه پاسخ‌های به دست آمده به ازای روش‌های مختلف کاهش سطح مقطع تیر ارائه و نتایج به دست آمده مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است پارامترهایی نظیر تنش‌فون‌میسز و خسارت ایجاد شده در اثر بارگذاری حرارتی، مولفه‌های دیگری هستند که به ازای مدل‌های ۵ گانه، در پژوهش حاضر، نمایش داده شده است.

۱-۳ نتایج مربوط به مدل RBS (مدل شاهد)

اولین مدل بررسی شده در پژوهش حاضر، مدل RBS است که در آن، سطح مقطع کاهش یافته در دو بال فشاری و کششی براساس الزامات ارائه شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱] لحاظ شده است. در شکل (۶) توزیع تنش فون‌میسز در این اتصال نمایش داده شده است. همچنین در شکل (۷) خسارت ایجاد شده در این نوع اتصال قابل مشاهده است. منحنی ظرفیت مربوط به این اتصال در شکل (۸) قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، ظرفیت باربری اتصال در این حالت برابر با ۲.۱۲ مگاپاسکال به دست آمده است.



کد اختصاصی:

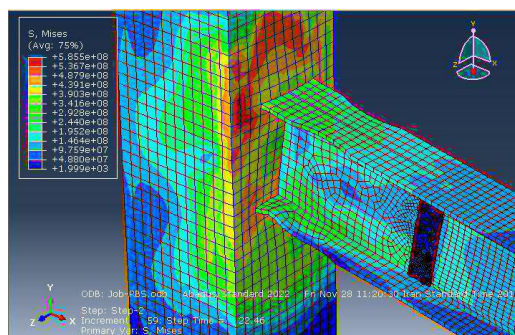
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

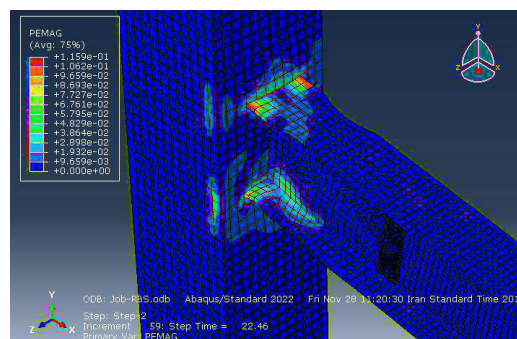
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

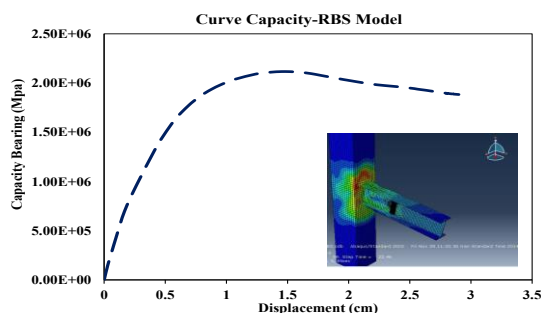
۹ و ۱۰ بهمن ۱۴۰۴



شکل (۶): توزیع تنش فون میسر در مدل RBS



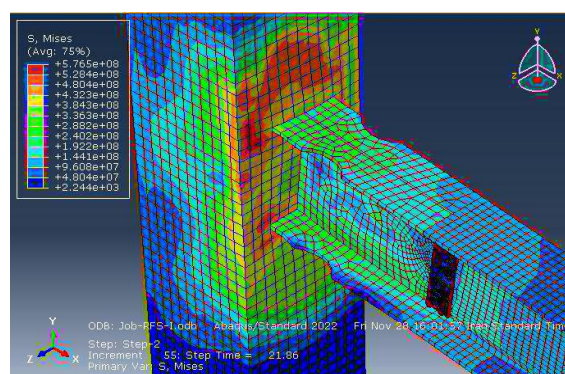
شکل (۷): خسارت ایجاد شده در مدل RBS



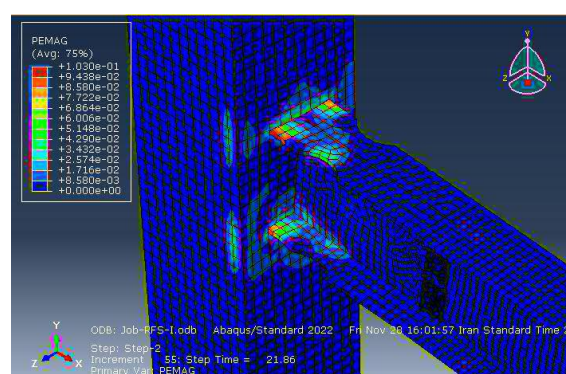
شکل (۸): منحنی ظرفیت مربوط به مدل RBS

۳-۲ نتایج مربوط به مدل RFS-I

در مدل RFS-I، کاهش سطح مقطع تیر با استفاده از دو نیم بیضی حاصل شده است. این دو نیم بیضی در طرفین بال فشاری و بال کششی تیر به صورت متقارن جانمایی شده است. در شکل (۹) توزیع تنش فون میسر در این اتصال قابل مشاهده است. همچنین در شکل (۹) خسارت ایجاد شده در این نوع اتصال، نمایش داده شده است. لازم به ذکر است، منحنی ظرفیت مربوط به این اتصال در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، در مدل RFS-I ظرفیت باربری اتصال در این حالت برابر با ۱.۹۸ مگاپاسکال حاصل شده است.



شکل (۹): توزیع تنش فون میسر در مدل RFS-I



شکل (۱۰): خسارت ایجاد شده در مدل RFS-I



کد اختصاصی:

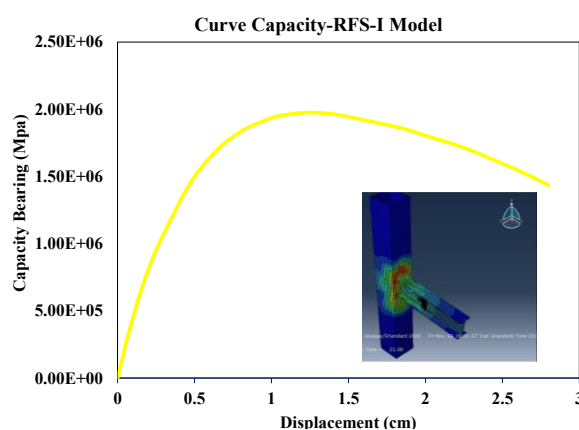
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل (۱۱): منحنی ظرفیت مربوط به مدل RFS-I

۳-۳ نتایج مربوط به مدل RFS-C

سومین مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر، مدل RFS-C می‌باشد که در آن، کاهش سطح مقطع تیر با استفاده از دونیم‌دایره صورت گرفته است. این دونیم‌دایره در طرفین بال فشاری و بال کششی تیر به صورت متقارن جانمایی شده است. در شکل (۱۲) و (۱۳) به ترتیب توزیع تنش فون میسز و خسارت ایجاد شده، در این اتصال قابل مشاهده است. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که ظرفیت باربری اتصال در این حالت برابر با ۱.۸۰ مگاپاسکال حاصل شده است.

۳-۴ نتایج مربوط به مدل RWS-C

دیگر مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر، مدل RWS-C می‌باشد که در آن، کاهش سطح مقطع تیر با استفاده از یک حفره دایره‌ای شکل در جان تیر انجام شده است. مرکز این دایره، بر روی محور تقارن طولی تیر واقع شده است. در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب توزیع تنش فون میسز و خسارت ایجاد شده، در این اتصال نمایش داده شده است. همچنین منحنی ظرفیت مربوط به این اتصال در شکل (۱۶) قابل مشاهده است. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در مدل RWS-C ظرفیت باربری اتصال در این حالت برابر با ۲.۱۸ مگاپاسکال به دست آمده است.



کد اختصاصی:

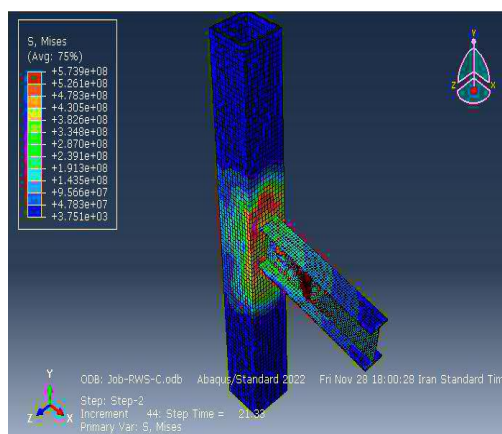
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

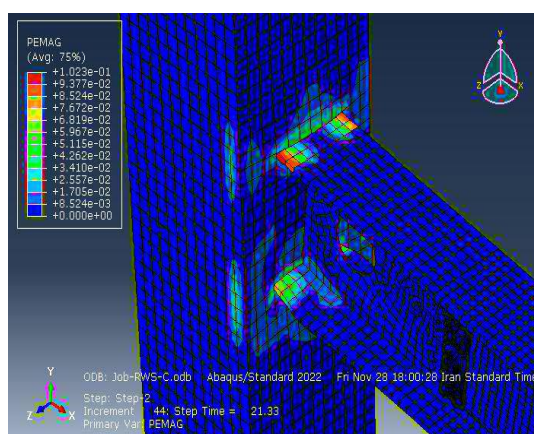
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

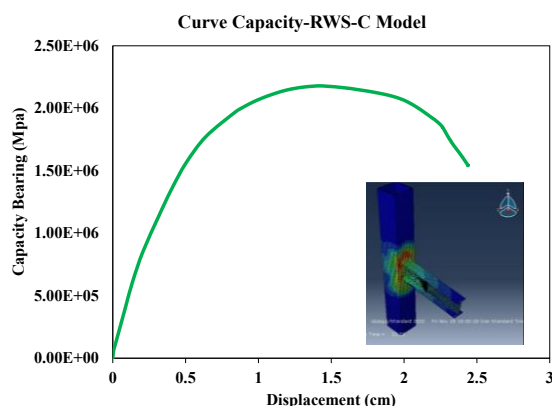
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل (۱۴): توزیع تنش فون میسز در مدل RWS-C



شکل (۱۵): خسارت ایجاد شده در مدل RWS-C



شکل (۱۶): منحنی ظرفیت مربوط به مدل RWS-C

۳-۵ نتایج مربوط به مدل RWS-I

آخرین مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر، مدل RWS-I می‌باشد که در آن، کاهش سطح مقطع تیر با استفاده از یک حفره بیضوی شکل در جان تیر انجام شده است. مرکز این بیضی، بر روی محور تقارن طولی تیر واقع شده است. در شکل‌های (۱۷) و (۱۸) به ترتیب توزیع تنش فون میسز و خسارت ایجاد شده، در این نمونه اتصال نمایش داده شده است. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در مدل RWS-I ظرفیت باربری اتصال در این حالت برابر با ۲.۳۲ مگاپاسکال به دست آمده است.



کد اختصاصی:

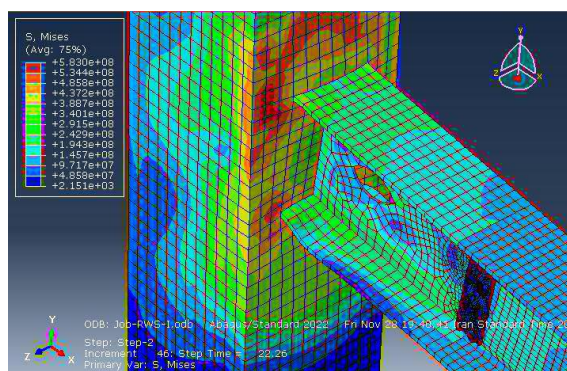
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

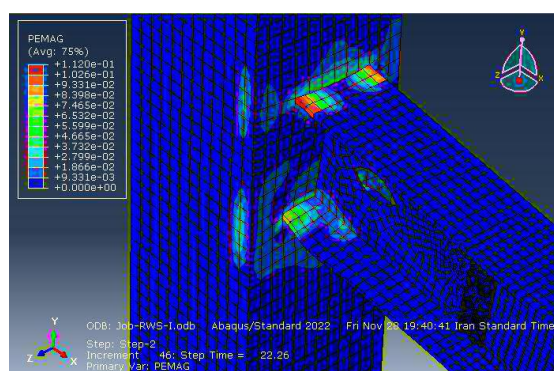
ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

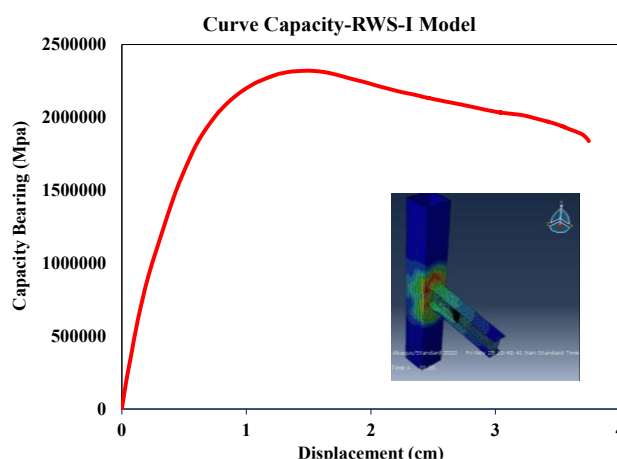
۱۴۰۴ بهمن ۹ و ۸



شکل (۱۷): توزیع تنش فون میسز در مدل RWS-I



شکل (۱۸): خسارت ایجاد شده در مدل RWS-I



شکل (۱۹): منحنی ظرفیت مربوط به مدل RWS-I

در ادامه به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد اتصال تیر به ستون در حالت‌های مختلف بارگذاری تحت اثر اعمال بار حرارتی،

نتایج در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با نتایج مربوط به مدل شاهد (اتصال RBS) مقایسه شده است.

۴- مقایسه عددی نتایج به دست آمده در حالت‌های مختلف مدل‌سازی

مقادیر عددی مربوط به پارامترهای بیشینه ظرفیت باربری اتصال در ۵ حالت مختلف مدل‌سازی در پژوهش حاضر، در

جدول (۴) ارائه شده است. معیار انتخاب بهینه‌ترین حالت مدل‌سازی اتصال تیر به ستون، بیشینه شدن پارامتر ظرفیت باربری

اتصال در نظر گرفته شده است. لذا بر اساس معیارهای عنوان شده، می‌توان بهینه‌ترین نوع اتصال تیر به ستون را در بین

حالات مورد بررسی، شناسایی نمود.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

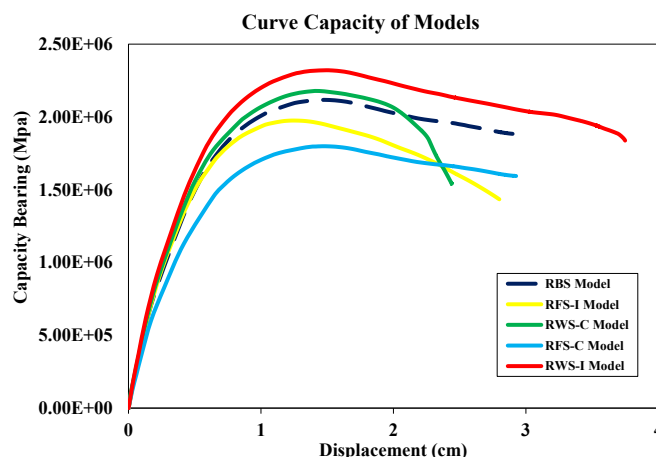
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول (۴): مقادیر عددی مربوط به پارامترهای پیشینه ظرفیت باربری اتصال

مدل	پیشینه ظرفیت باربری (MPa)
RBS	۲.۱۲
RFS-I	۱.۹۸
RFS-C	۱.۸
RWS-C	۲.۱۸
RWS-I	۲.۳۲

با مبنا قراردادن نتایج مربوط به مدل RBS به عنوان مدل شاهد و با مقایسه نتایج به دست آمده در خصوص پارامتر ظرفیت باربری مشاهده می‌شود، پیشینه ظرفیت باربری در اتصال‌های RFS-I و RFS-C در مقایسه با مدل مبنا، به ترتیب ۶.۶ و ۱۵.۱ درصد کاهش یافته است. همچنین پیشینه ظرفیت باربری ثبت شده در اتصال‌های RWS-I و RWS-C در مقایسه با مدل مبنا به ترتیب ۲.۸ و ۹.۴ درصد افزایش یافته است. در شکل (۲۰) مقایسه منحنی ظرفیت باربری به ازای تمامی مدل‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، بیشترین ظرفیت باربری در حالت اتصال تیر به ستون دارای سوراخ بیضوی شکل در جان تیر (RWS-I) و کمترین ظرفیت باربری در حالت اتصال تیر به ستون دارای سوراخ دایره‌ای شکل در بال تیر (RFS-C) به دست آمده است.



شکل (۲۰): مقایسه منحنی ظرفیت در مدل‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



در حالت کلی و بر اساس نتایج به دست آمده ظرفیت باربری مطلوب‌ترین اتصالات از میان مدل‌های بررسی شده در پژوهش حاضر، به ترتیب زیر قابل بیان است. یادآوری می‌شود، بهینه‌ترین اتصال به ازای حالتی انتخاب شده است که در آن ظرفیت باربری بیشینه باشد.

۱. اتصال ستون به تیر دارای حفره بیضوی شکل در جان تیر (RWS-I)

۲. اتصال ستون به تیر دارای حفره دایره ای شکل در جان تیر (RWS-C)

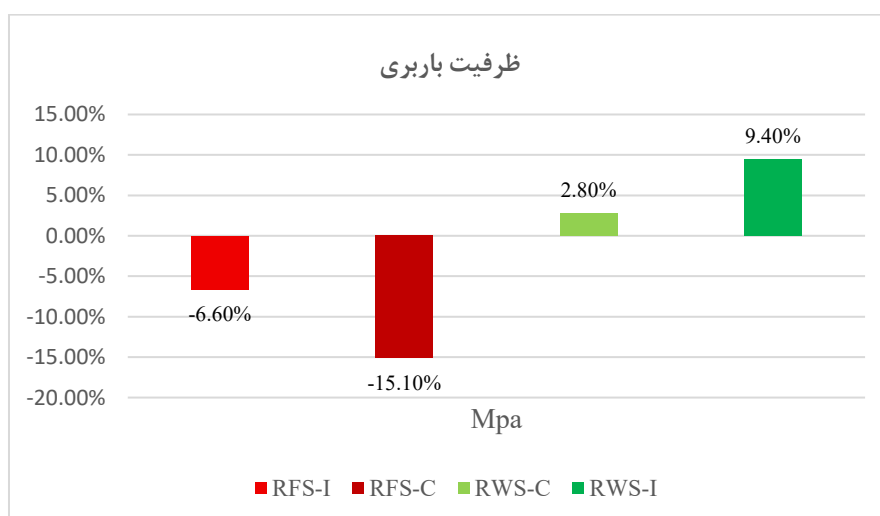
۳. اتصال ستون به تیر با مقطع کاهش یافته RBS

۴. اتصال ستون به تیر دارای حفره بیضوی شکل در بال تیر (RFS-I)

۵. اتصال ستون به تیر دارای حفره دایره ای شکل در بال تیر (RFS-C)

۵- نتیجه گیری

با توجه به نمودار شکل (۲۱) مهم‌ترین نتیجه به دست آمده از این پژوهش به صورت درصدی نسبت به مدل شاهد، بیشینه ظرفیت باربری در اتصالات‌های RFS-I و RFS-C در مقایسه با مدل مبنا، به ترتیب ۶.۶ و ۱۵.۱ درصد کاهش و بیشینه ظرفیت باربری ثبت شده در اتصالات‌های RWS-C و RWS-I در مقایسه با مدل مبنا به ترتیب ۲.۸ و ۹.۴ درصد افزایش یافته است.



شکل (۲۱): مقایسه ظرفیت باربری در مدل‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر

۶- منابع:

[۱]. مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، ویرایش پنجم، ۱۴۰۱.



کد اختصاصی:
۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹ و ۸ بهمن ۱۴۰۴



- [2]. A. Plumier, The dog bone: back to future, Engineering Journal-American Institute of Steel Construction, 34 (1997), pp61-67.
- [3]. A. Parvari, H. Baratali, F. Shahrokhi (2023), Connection Behavior Analysis of Drilled Reduced Beam Flange and Reinforced Concrete Column, Amirkabir J. Civil Eng, 54(12), pp921-924.
- [4]. V. Saberi, H. Saberi, M. Salimikia, A. Sadeghi (2022), Investigation the cyclic behavior of rigid RBS connections with horizontal and vertical stiffeners in steel moment-resisting frame, Amirkabir J. Civil Eng, 54(4), pp257-260.
- [5]. M.A. Jalali, A. Rafiee (2024), Performance Evaluation of Bolted Moment Frame with Reduced Beam Section, Journal of Structural and Construction Engineering, 11(2), pp 168-185.
- [6]. B. Mirzaie Abar, Y. Bakhshayesh, R. Garcia, I (2023), Hajirasouliha. new energy-dissipating RBS connection with double-nut-bolts: Seismic performance assessment and design methodology, Engineering Structures.
- [7]. M.Memari, H. Mahmoud (2018), Multi-resolution analysis of the SAC steel frames with RBS connections under fire, Fire Safety Journal, pp 90-108.
- [8]. C. Lee, Y. Chiou, H. Chunga, C. Chenb (2011), Numerical modeling of the fire–structure behavior of steel beam-to-column connections, Journal of Constructional Steel Research 67, pp1386-1400.
- [9]. A. Erfani, M. Dehestani (2021), Fire resistance behavior of damaged steel portal frame with RBS connections, Journal of Constructional Steel Research 182.
- [10]. M. R. Kaffash, A. Karamodin, M. Moghiman (2022), Behavior of concentrically braced steel frames under fire loading. Sharif University of Technology, Scientia Iranica, 29(3), pp 951-963.
- [11]. W. Zhang, Z. Xu, H. Xu, W. Zhang, Z. Wang, Y. Chen (2025), Post-fire progressive collapse resistance of beam-column substructures with RBS connections, Journal of Constructional Steel Research 224.
- [12]. M. Davarpanah, H. Ronagh, P. Memarzadeh, F. Behnamfar (2020), Cyclic behavior of welde delliptical-shaped RWS moment frame, Journal of Constructional Steel Research 173.