

Evaluation the Effect of Number, Material and Configuration of Bolts on Rigid Bolted Connections under Fire

Hamid Saberi¹, Vahid Saberi^{1*}, Sadegh Javan², Abbasali Sadeghi³

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Eyvanekey University, Semnan, Iran

2- M.Sc, Department of Civil Engineering, Eyvanekey University, Semnan, Iran

3- PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

ABSTRACT

The present study investigates the influence of the number, material and configuration of bolts on rigid bolted connections under fire. In this study, 6 steel rigid bolted connection specimens with end-plate were modeled as A490 and A300 in ABAQUS software and they are assessed under fire by nonlinear dynamic analysis. By examining the results, the highest stress in the bolt is occurred with material A300. This is due to the lower yield stress of the A300 bolts than to the A490 because the A300 bolts yield at lower stresses and, as they enter the plastic deformations, cause the steel plates to become more involved and the values increase the stress, especially around the bolt holes. Sample stresses CON.M22 8B A490 and CON.M18 12B A490 T2 are different about 4%. This displacement value for specimens with A300 bolt materials increases to 240 MPa which is equivalent to the yield stress of material A300. The strain with material A490 for CON.M22 8B A490 and CON.M18 12B A490 T2 samples is about 59% and for CON.M18 12B A490 and CON.M22 8B A490 T2 samples is about 67%. The strain with materials A490 for CON.M22 8B A490 and CON.M18 12B A490 T2 samples is about 38% and for CON.M22 8B A490 and CON.M18 12B A490 samples is about 20%. Specimen displacement for bolts with materials A490 whereas this value for specimens with A300 bolts for CON.M22 8B A300 and CON.M18 12B A300 T2 specimens had the highest and lowest vertical displacements, respectively, which is about 25% difference. In the CON.M22 8B, CON.M18 12B and CON.M18 12B T2 samples with different bolt materials, the percentages are 15, 24 and 44%, respectively. The use of materials with lower yield and rupture stresses caused yielding in the lower temperature and reducing the resilience of structure under fire.

ARTICLE INFO

Receive Date: 01 May 2021

Revise Date: 31 August 2021

Accept Date: 20 September 2021

Keywords: Bolt Material,
Configuration of Bolt,
Rigid Bolted Connection,
Fire, ABAQUS Software

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2021.283722.2437

*Corresponding author: Vahid Saberi
Email address: saberi.vahid@gmail.com

بررسی تأثیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌ها بر عملکرد اتصالات صلب پیچی تحت آتش

حمید صابری^۱، وحید صابری^{۱*}، صادق جوان^۲، عباسعلی صادقی^۳

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی تأثیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌ها بر عملکرد اتصالات صلب پیچی تحت آتش می‌پردازد. در این مطالعه، ۶ نمونه اتصال گیردار پیچی با ورق انتهایی با مشخصات مصالح A490 و A300 در نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و تحت آتش مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند. با بررسی نتایج، بیشترین تنش در پیچ با مصالح A300 رخ داده است. این امر به دلیل پایین‌تر بودن تنش تسلیم پیچ‌های A300 نسبت به A490 است؛ زیرا پیچ‌های A300 در تنش‌های پایین‌تری جاری شده و با وارد شدن به ناحیه پلاستیک، باعث می‌شود ورق‌های فولادی بیش‌تر درگیر شده و مقادیر تنش به‌خصوص در اطراف سوراخ‌های پیچ افزایش یابد. تنش نمونه‌های CON.M18-12B-A490-T2 و CON.M22-8B-A490 حدوداً دارای ۴ درصد اختلاف می‌باشند. بدین ترتیب این مقدار تغییرمکان برای نمونه‌های با مصالح A300 فقط تا مقدار تنش ۲۴۰ مگاپاسکال که برابر با تنش تسلیم مصالح A300 است پیشروی کرده است. کرنش پیچ‌ها با مصالح A490 برای نمونه‌های CON.M22-8B-A490 و CON.M18-12B-A490-T2 حدود ۵۹ درصد و برای نمونه‌های CON.M18-12B-A490 و CON.M22-8B-A490-T2 حدود ۶۷ درصد می‌باشد. کرنش پیچ‌ها با مصالح A490 برای نمونه‌های CON.M22-8B-A490 و CON.M18-12B-A490-T2 حدود ۳۸ درصد و برای نمونه‌های CON.M22-8B-A490 و CON.M18-12B-A490 حدود ۲۰ درصد می‌باشد. مقدار تغییرمکان برای نمونه‌های CON.M22-8B-A300 و CON.M18-12B-A300-T2 به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرمکان قائم که حدوداً دارای ۲۵ درصد اختلاف می‌باشند. در نمونه‌های CON.M22-8B، CON.M18-12B و CON.M18-12B-T2 که مصالح پیچ با هم تفاوت دارد اختلاف به ترتیب ۱۵، ۲۴ و ۴۴ درصد می‌باشد. استفاده از مصالح با تنش تسلیم و گسیختگی پایین‌تر منجر به جاری شدن اتصال در دمای پایین‌تر شده و تاب آوری آن را در برابر آتش کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: جنس پیچ، چیدمان پیچ، اتصال صلب پیچی، آتش، نرم‌افزار ABAQUS.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	شناسه دیجیتال:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2021.283722.2437	https://doi.org/10.22065/jsce.2021.283722.2437	۱۴۰۱/۰۱/۳۱	۱۴۰۰/۰۶/۲۹	۱۴۰۰/۰۶/۲۹	۱۴۰۰/۰۶/۰۹	۱۴۰۰/۰۲/۱۱
			وحید صابری		*نویسنده مسئول:	
			saberi.vahid@gmail.com		پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

آتش‌سوزی همیشه یکی از تهدیدات جدی برای تمامی جنبه‌های حیات بشری بوده است و یکی از عوامل محیطی زیان آور برای سازه‌ها است که همه ساله در اکثر کشورها تلفات جانی و خسارات مالی سنگینی به ساختمان‌های مسکونی و تجاری وارد می‌کند. باوجود مزایای زیاد سازه‌های فولادی، حساسیت فولاد به دما یکی از ضعف‌های مهم آن است. شروع، گسترش و ویژگی آتش و نیز دمای ایجادشده در محیط، به عوامل متعددی مانند مشخصات محل وقوع، کالاها و تجهیزات موجود در محل و ارتباطات افقی و عمودی فضای داخلی بستگی دارد. آنچه امروزه در استانداردهای معتبر بر آن تأکید می‌شود، استفاده از پوشش عایق‌گونه بر وجوه المان‌های سازه فولادی است تا با تأخیر در سرایت حرارت، فرصت کافی برای اطفای آتش با استفاده از تجهیزات داخل ساختمان و عوامل آتش‌نشانی خارج از آن را فراهم کند [۱] و [۲]. براساس استاندارد *EUROCOD3* [۳]، دمای المان‌های سازه‌ای در معرض آتش به‌صورت لگاریتمی افزایش می‌یابد و پس از حدود یک ساعت، به ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. با گذر دما از ۴۰۰ درجه، مقاومت و سختی فولاد با شیب تندی کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که تنش تسلیم و مدول الاستیسیته فولاد در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب به ۵۰ و ۳۰ درصد مقادیر متناظر در دمای معمولی می‌رسد. با افزایش حرارت، تیرهای حامل سقف، همراه با نرم‌شدگی، افزایش طول و خیز قابل‌توجهی را تجربه می‌کنند. در این حالت، ستون‌ها علاوه بر کاهش در مقاومت و پایداری، به‌طرف داخل ساختمان کشیده شده و لنگرهای ناشی از اثر پی-دلتا افزایش می‌یابد [۴]. همچنین اتصالات تیر به ستون، تحت نیروی محوری قرار گرفته و از ظرفیت آن کاسته می‌شود. در صورتی‌که شعله‌های آتش مهار نشود، کمانش ستون ناشی از کاهش مدول الاستیسیته یا تخریب سقف یا بریده‌شدن اتصال یا ترکیبی از آنها رخ خواهد داد. ریزش آوار سقف تخریب‌شده بر کف و افزایش وزن طبقه توأم با کاهش مقاومت و پایداری ستون‌ها، محدوده‌ی تخریب را به طبقه زیرین و سپس به طبقات پایین‌تر گسترش خواهد داد و در مدت بسیار کوتاهی، کل سازه یا بخش عمده‌ای از آن فرو خواهد ریخت [۵] و [۶].

آگاهی از میزان تأثیرپذیری پارامترهای اتصالات رایج پیچی نظیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌های اتصال در برابر آتش برای طراحان از اهمیت زیادی برخوردار است چراکه شاید بتوان با یک انتخاب مناسب از این پارامترها علاوه بر تأمین انتظار لرزه‌ای، مقاومت این اتصالات را در برابر آتش نیز افزایش داد. مد خرابی مطلوب از دیدگاه مهندسی سازه، خرابی به واسطه‌ی تشکیل مفصل پلاستیک در تیرهاست. این درحالیست که ضعف در اتصالات منجر به تغییر این مد به شکست زودهنگام اتصالات خواهد شد. یکی از اتصالات رایج در سال‌های اخیر اتصالات صلب پیچی بوده است. عملکرد این نوع اتصالات به شدت وابسته به پارامترهای اتصال نظیر جنس، تعداد و چیدمان پیچ‌ها خواهد بود. همواره زلزله در مناطق زلزله خیز دنیا خسارات جبران‌ناپذیر را به بار می‌آورد ولی اغلب کشورها توانسته‌اند به وسیله پژوهش و دانش اندوزی حتی الامکان از خسارات ناشی از زلزله‌هایی با شدت بالا هم بکاهند. در ایران به علت عدم پژوهش کافی و نیز به کار نبردن تکنولوژی‌های نوین و کارآمد و وجود ضعف‌های طراحی باعث شده که در زمان وقوع زلزله خسارات شدید و جبران‌ناپذیری به وجود آید. ضعف در المان‌های سازه‌ای باعث از بین رفتن اتصالات و خرابی می‌شود. تغییر در رویه اتصالات و نوع آنها با توجه به جنس پیچ‌ها و چیدمان آنها باعث جلوگیری از خرابی در اتصالات و هزینه‌های ناشی از خرابی می‌شود. آگاهی از عملکرد این نوع اتصالات در برابر آتش متاثر از تغییر پارامترهای اتصال نظیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌ها برای طراحان ضروری خواهد بود، لذا در این تحقیق، به عنوان نوآوری تأثیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌های اتصالات پیچی در عملکرد سازه‌ای آنها تحت آتش برای نمونه‌های موردنظر به‌صورت عددی ارزیابی شده و نتایج حاصل از آنها مورد مقایسه قرار گیرند. به همین منظور یک روش استاندارد انجام آزمون آتش‌سوزی با مدت‌زمان و شدت کنترل‌شده مطابق با استاندارد *EUROCOD3* با این تفاوت که مدت‌زمانی که تحت تحلیل آزمایش آتش قرار می‌گیرد ۲ ساعت بوده و پس از رسیدن به دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد بخش تحت حرارت به‌آرامی سرد شده تا به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برسد؛ بنابراین ابتدا نمونه‌های موردنظر، با ایجاد تغییرات در تعداد، جنس، قطر و چیدمان پیچ‌های اتصال، بارگذاری شده به‌گونه‌ای که این نمونه‌ها به مقدار تغییرمکان مجاز مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ($L/240$) رسیده و در انتهای بارگذاری، نمونه‌ها تحت تحلیل آتش مطابق با استاندارد حرارت-زمان به‌صورت عددی ارزیابی شده و نتایج حاصل از این تغییرات در نمونه‌های موردنظر با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر رفتار سازه‌های فولادی در برابر آتش بسیار مورد توجه بوده (علی‌الخصوص پس از حادثه ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ میلادی و فروریختن برج ۷ تجارت جهانی) و مطالعات آزمایشگاهی و عددی زیادی توسط پژوهشگران انجام شده است. اکثر مطالعات آزمایشگاهی محدود به مطالعه رفتار یک عضو مانند تیر یا ستون و یا یک نوع اتصال تحت اثر آتش‌سوزی متمرکز بوده‌اند [۷-۱۰]. یکی از مطالعات اولیه عددی در خصوص رفتار کلی قاب‌های فولادی تحت تأثیر آتش‌سوزی، توسط لی و همکاران، انجام شد. این مطالعه بیشتر بر روی مقایسه نمودارهای منتج از دو نوع الگوی آتش‌سوزی (آتش طبیعی و آتش استاندارد) متمرکز بود. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد، آتش‌سوزی به دو عامل بستگی دارد که عبارتند از بزرگی بار آتش و تهویه مناسب. در آتش‌سوزی با کنترل تهویه، دمای گاز به آهستگی افزایش می‌یابد. در حالی که در آتش‌سوزی با کنترل بار آتش، دمای گاز بسیار سریع افزایش پیدا کرده و در نتیجه شانس خرابی سازه در این نوع آتش‌سوزی بسیار بیشتر می‌باشد [۱۱]. علی و همکاران به مطالعه اثرات آتش‌سوزی در یک قاب یک طبقه پرداختند. هدف آن‌ها بررسی تأثیر سناریوهای آتش‌سوزی بر تغییر مکان جانبی قاب و همچنین نوع خرابی ناشی از آن بود [۱۲]. در سال‌های اخیر رفتار سازه‌های فولادی در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله نیز بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است. معماری و همکاران به بررسی رفتار قاب‌های خمشی فولادی با اتصال تیر با مقطع کاهش یافته در معرض آتش‌سوزی پس از زلزله پرداختند و نهایتاً نتیجه گرفتند این نوع سازه‌ها در برابر آتش‌سوزی پس از زلزله پایدار می‌باشند [۱۳]. بهنام و همکاران یک قاب خمشی ۱۰ طبقه دو بعدی را در معرض آتش‌سوزی بعد از زلزله مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. همچنین کلر و پسیکی با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی آسیب‌های ناشی از زلزله در پوشش‌های مقاوم در برابر آتش و اثر آن بر عملکرد قاب‌های فولادی در آتش‌سوزی‌های پس از زلزله پرداختند [۱۵]. مطالعات سان و همکاران جزو اولین مطالعاتی است که به بررسی خرابی پیش‌رونده در قاب‌های فولادی تحت اثر خرابی یک ستون حرارت دیده می‌پردازد. آنها با استفاده از یک روش استاتیکی-دینامیکی، توسط نرم‌افزار *Volcan*، به مطالعه خرابی پیش‌رونده در قاب‌ها تحت اثر آتش‌سوزی پرداختند [۱۶]. سریچک و همکاران با هدف بهبود شبیه‌سازی اتصالات فولادی در معرض آتش‌گزارشی از بررسی رفتار اجزای جان یک ستون را ارائه نمودند [۱۷]. جالاستیسیته و همکاران خرابی پیش‌رونده در قاب‌های فولادی دوبعدی را، وقتی که یک ستون تحت اثر دماهای مختلف قرار می‌گیرد، با روش تحلیل دینامیکی صریح بررسی کردند [۱۸]. گو و هوانگ رفتار تیرهای فولادی با اتصال کاهش یافته را تحت تأثیر حرارت مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش یافتگی باعث افزایش شکل پذیری دورانی و محوری می‌شود و مقاومت نسبت به آتش را در این نوع اتصال افزایش می‌دهد [۱۹]. جالاستیسیته و همکاران، به بررسی اثر میرایی همچنین اثر نرخ کرنش در وقوع خرابی پیش‌رونده در قاب‌های فولادی تحت اثر آتش‌سوزی پرداختند. نتایج حاصل از مدل‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد در نسبت‌های میرایی صفر تا ۱۰ درصد می‌توان از اثر میرایی در وقوع خرابی پیش‌رونده در سازه‌های فولادی صرف نظر کرد [۲۰]. همچنین جرنای و گامبا به بررسی نیروی پسماند کششی در یک ستون تحت اثر آتش‌سوزی متمرکز پرداختند. آن‌ها برای شبیه‌سازی بار آتش از نمودار آتش طبیعی استفاده کردند تا بتوانند اثرات خنک شوندگی را در پدیده خرابی پیش‌رونده مورد مطالعه قرار دهند [۲۱]. خیزآب و همکاران سازه‌های فولادی قاب خمشی با و بدون دیوار برشی فولادی را تحت بارگذاری انفجاری در دو سناریو داخل و خارج صفحه‌ی قاب در نرم‌افزار اجزا محدودی مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قرار دادند و در نهایت امکان رخداد فروریزش پیش‌رونده را در مدل‌های مورد مطالعه بررسی و مقایسه نمودند [۲۲]. میر یوسفی اول و شاکری به بررسی رفتار کلی قاب‌های خمشی فولادی تحت اثر سناریوهای مختلف آتش‌سوزی از طریق مدل‌های تحلیلی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که بسته به سناریو اعمالی بار آتش و میزان نسبت بارهای ثقلی وارده، قاب‌های خمشی فولادی در مدهای خرابی متفاوتی دچار خرابی می‌شوند [۲۳]. قاسمی به بررسی اثر آتش بر عملکرد قاب‌های خمشی فولادی ویژه پرداخته است. بدین منظور، سناریوهای مختلف نظیر تغییر موقعیت آتش در دهانه‌ها و طبقات مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل حرارتی و تحلیل غیرخطی و در نهایت بررسی عملکرد سازه‌ها با استفاده از مصالح فولادی حرارتی اصلاح شده، انجام گردید [۲۴]. کفاش و کرم‌الدین، پاسخ کلی و رفتار موضعی قاب‌های مهاربندی هم‌محور بلندمرتبه را تحت یک سری سناریو آتش‌سوزی یکنواخت با در نظر گرفتن فازهای گرم شونده و خنک شونده در سطوح تراز مختلف طبقات به کمک تحلیل عددی بررسی نمودند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد کمانش تیرها و مهاربند‌های در معرض درجه حرارت بالا به دلیل نیروی محوری فشاری بزرگ در اثر محدودیت‌های انتهایی در برابر انبساط رخ می‌دهد [۲۵]. صابری و همکاران به بررسی تأثیر جنس، ضخامت و سوراخدار بودن صفحات کناری بر عملکرد چرخه‌ای اتصال خمشی پرداخته‌اند.

برای این منظور علاوه بر استفاده از صفحات کناری از جنس فولاد نرمه ($ST37$) و فولاد پر مقاومت کم آلیاژ ($ST52$)، از آلیاژ حافظه‌دار شکلی نیکل-تیتانیوم نیز استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش ظرفیت و شکل‌پذیری اتصالات با صفحه‌ی کناری از جنس آلیاژ حافظه‌دار شکلی بوده است [۲۶]. صادقی و همکاران به بررسی احتمالاتی عملکرد سازه‌های قاب خمشی فولادی تحت اثر بارهای ضربه‌ای ناشی از برخورد وسیله‌ی نقلیه پرداخته‌اند و احتمال خرابی سازه‌های مذکور با استفاده از منحنی‌های شکنندگی و روش‌های شبیه‌سازی قابلیت اطمینان برای سطوح مختلف خسارت ارائه شده است [۲۷-۲۹].

۳- روش تحقیق

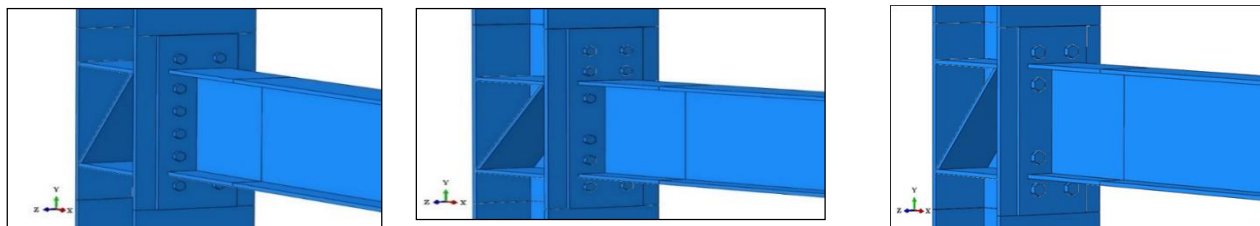
در این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌های اتصالات صلب پیچی در عملکرد سازه‌ای آن‌ها در برابر آتش، تعداد ۶ نمونه اتصال گیردار پیچی با ورق انتهایی با مشخصات مصالح $A490$ و $A300$ برای پیچ‌های اتصال نمونه‌های موردنظر در نرم افزار $ABAQUS$ [۳۰] مدل‌سازی شد و تحت تحلیل آزمون آتش مطابق با استاندارد $ASTM E119$ [۳۱] قرار گرفت. در ادامه فلوجارت روش تحقیق مطالعه‌ی حاضر مطابق شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: فلوجارت روش تحقیق مطالعه‌ی حاضر

۳-۱- معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی رفتار سازه‌ای و پایداری اتصالات، نمونه‌های موردنظر تحت آتش در نرم افزار $ABAQUS$ مدل‌سازی شده‌اند و تا لحظه‌ی باربری نهایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ابعاد تیر و ستون اتصال مورد مطالعه به ترتیب ۵۷۰۰ و ۳۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد. ضمناً اتصال از نوع ورق انتهایی است. نمای شماتیکی از مدل‌سازی اجزای نمونه‌های موردنظر در شکل (۲) ارائه شده است. مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه نیز در جدول (۱) آورده شده است.



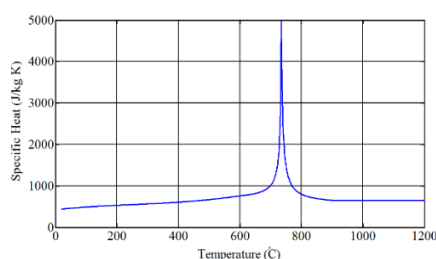
شکل ۲: نمای شماتیکی از مدل سازی نمونه های مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات نمونه های مورد مطالعه

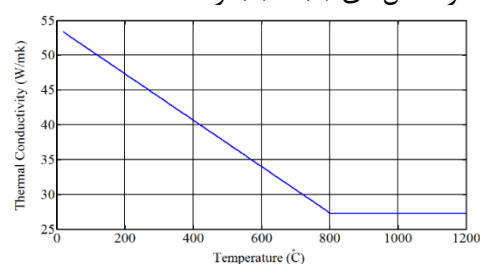
ردیف	نام نمونه	تصویر اتصال	تعداد پیچ	جنس مصالح پیچ	قطر پیچ (mm)
۱	CON.M22-8B-A490		۸	A490	۲۰
۲	CON.M22-8B-A300		۸	A300	۲۰
۳	CON.M18-12B-A490		۱۲	A490	۱۶
۴	CON.M18-12B-A300		۱۲	A300	۱۶
۵	CON.M18-12B-A490-T2		۱۲	A490	۱۶
۶	CON.M18-12B-A300-T2		۱۲	A300	۱۶

۲-۳- مشخصات حرارتی مصالح مورد استفاده

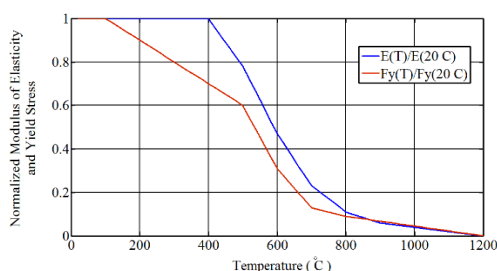
مطابق با استاندارد *EUROCOD3* [۳]، مقدار ظرفیت گرمایی ویژه و انبساط گرمایی فولاد به ترتیب در شکل های (۳) و (۴) نمایش داده شده است. همچنین نسبت مدول الاستیسیته در دماهای مختلف به مدول الاستیسیته در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و همین طور نسبت تنش تسلیم در دماهای مختلف به تنش تسلیم در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد در شکل (۵) نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل های (۳) تا (۵) ارائه شده است.



شکل ۴: مقدار رسانایی گرمایی ویژه فولاد در دماهای مختلف [۳]



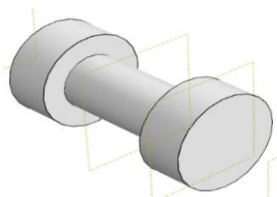
شکل ۳: مقدار ظرفیت گرمایی ویژه فولاد در دماهای مختلف [۳]



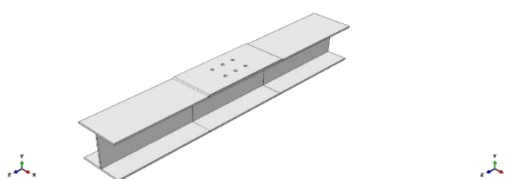
شکل ۵: تغییرات مدول الاستیسیته و تنش تسلیم فولاد در دماهای مختلف نسبت به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد [۳]

۳-۳- راستی آزمایشی مدل سازی

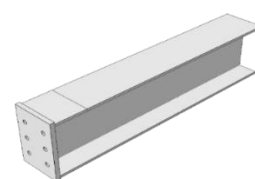
در این مطالعه، برای راستی آزمایشی مدل‌ها، از نتایج تحقیق رهنورد و توماس [۳۲] استفاده شد. قطعات تیر، ستون، پیچ و سخت کننده مطابق شکل‌های (۶) تا (۹) ارائه شده است. پس از مدل‌سازی نمونه قاب فولادی به همراه اتصالات موجود در مقاله مرجع [۳۲]، مش‌بندی، کانتور تنش فون مایسز و تغییر مکان اتصال مطابق شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) ارائه شده است. براساس شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، نتایج بار نهایی-تغییر مکان عمودی وسط دهانه و نیروی محوری پیچ‌ها در این پژوهش تطابق خوبی با نتایج مقاله مرجع [۳۲] دارند. اختلاف حاصل از نتایج صحت‌سنجی حداکثر ۱۰٪ می‌باشد که مطابق با ضوابط موجود برای راستی آزمایشی مطلوب تلقی می‌شود.



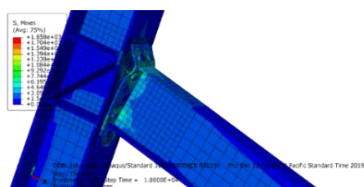
شکل ۸: پیچ مدل سازی شده



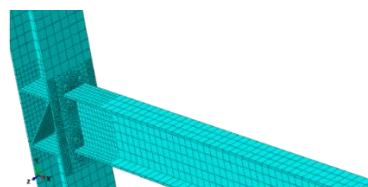
شکل ۷: ستون مدل سازی شده



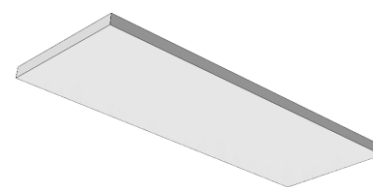
شکل ۶: تیر مدل سازی شده



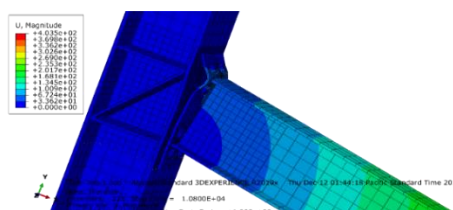
شکل ۱۱: نمایش کانتور تنش فون مایسز



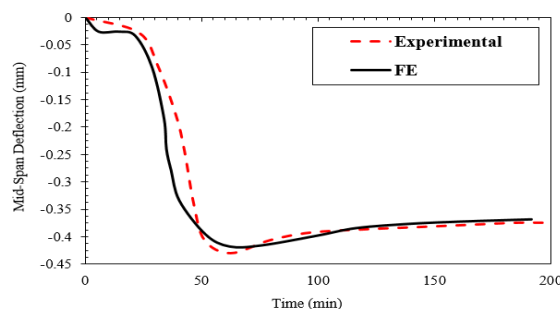
شکل ۱۰: مدل مش‌بندی شدهی اتصال



شکل ۹: سخت کننده مدل سازی شده



شکل ۱۲: نمایش کانتور تغییر مکان

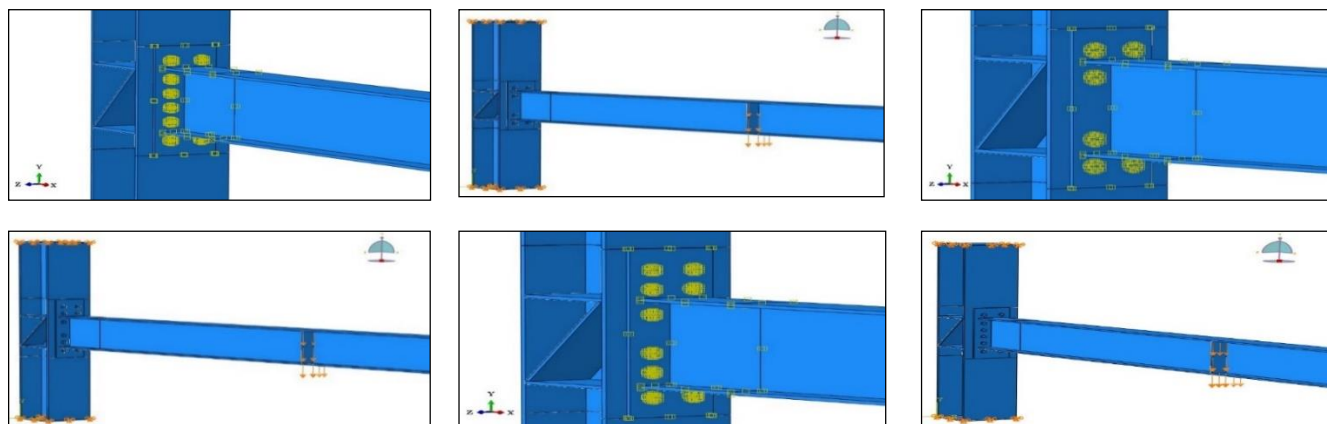


شکل ۱۳: همپوشانی منحنی تغییر مکان عمودی وسط دهانه-زمان مدل نرم افزاری و آزمایشگاهی

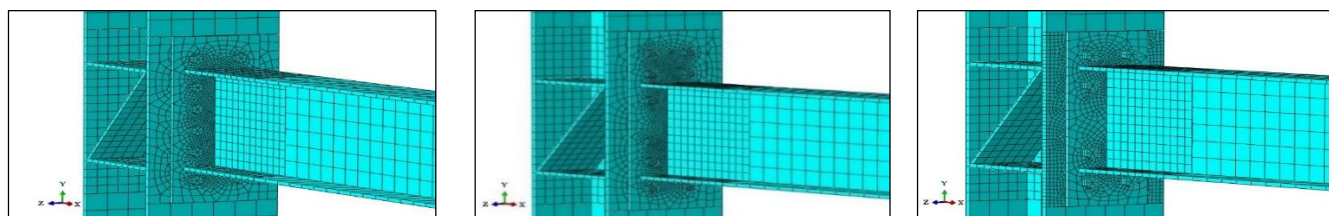
۳-۴- بررسی جزئیات نرم‌افزاری

در این تحقیق، مطابق شکل (۱۴)، هندسه کلی مدل‌های اجزا محدودی اتصال و شرایط تکیه‌گاهی آن‌ها ارائه شده است. مش‌بندی اجزای محدودی مدل‌ها مطابق شکل (۱۵) نشان داده می‌شود. به منظور مدل‌سازی اجزای اتصال شامل تیر، ستون، سخت‌کننده و جوش از

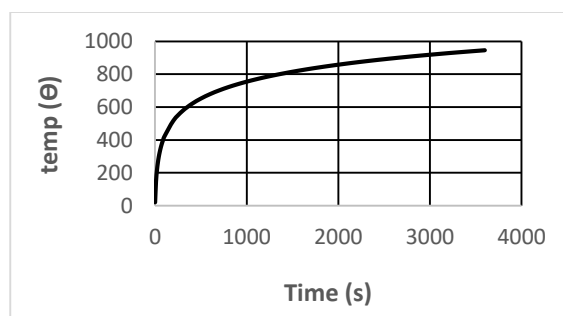
المان *Solid* و به منظور مدل سازی اجزای تیر، ستون، سخت کننده از المان *C3D8T* استفاده می شود. مطابق شکل (۱۶)، برای شبیه سازی اثر آتش از منحنی استاندارد دما-زمان *ISO 834* مطابق استفاده شده است. در این نمودار دما و زمان به ترتیب بر حسب فارنهایت و دقیقه محاسبه شده است.



شکل ۱۴: نمای شماتیکی از شرایط مرزی شامل شرایط تکیه گاهی و محدوده ی بارگذاری نمونه های مورد مطالعه



شکل ۱۵: نمای شماتیکی از مش بندی نمونه های مورد مطالعه



شکل ۱۶: منحنی دما-زمان برای اعمال اثر آتش

۴- ارائه ی نتایج تحلیل ها

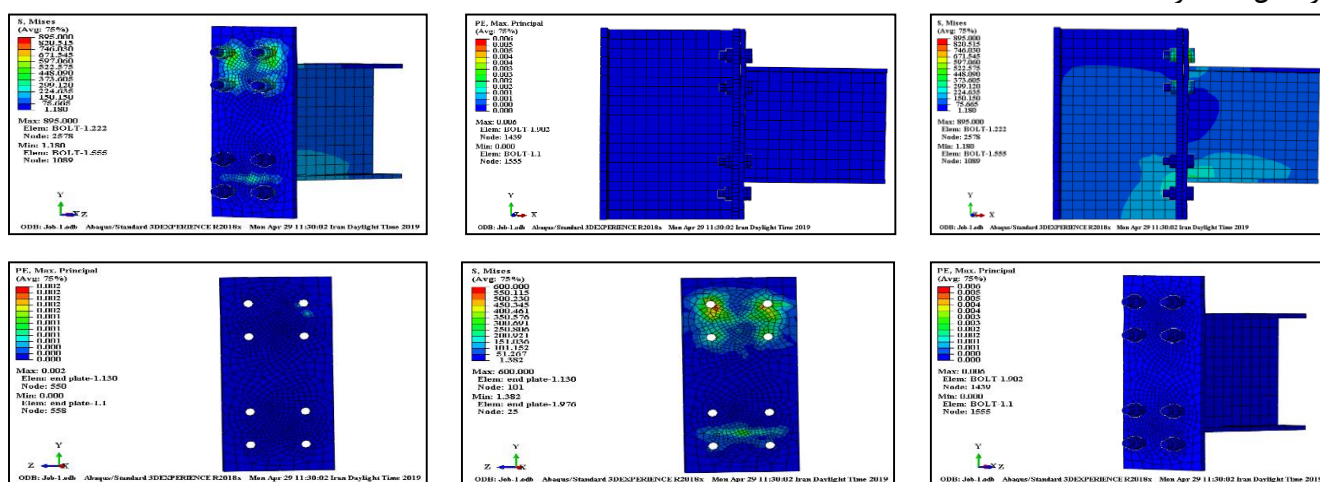
در این تحقیق، ابتدا نمونه های مورد نظر در نرم افزار *ABAQUS* مدل سازی شدند و پس از آن این نمونه ها تحت تحلیل بار استاتیکی غیرخطی حاصل از یک دامنه بارگذاری قرار گرفت. پس از تحلیل نمونه ها، نتایج عددی حاصل از ارزیابی ناپایداری اتصالات، با در نظر گرفتن تغییرات در تعداد، جنس و چیدمان پیچ ها در اتصالات، تحت آتش مورد بررسی قرار داده شدند. نتایج حاصل از این ارزیابی به تفصیل در ذیل آورده شده است.

۴-۱- بررسی عملکرد نمونه‌های دارای ۸ پیچ

در این بخش، نمونه‌های دارای ۸ پیچ با قطر ۲۰ میلی‌متر، یک‌بار با مصالح A490 و بار دیگر با مصالح A300 برای پیچ‌های اتصالات مورد ارزیابی قرار داده شده است که نتایج حاصل از آن در ادامه گزارش شده است.

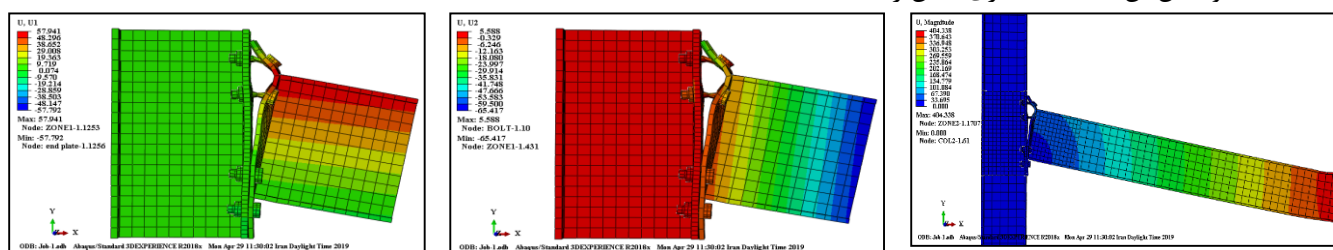
۴-۱-۱- بررسی عملکرد نمونه CON.M22-8B-A490

بیشینه تغییرمکان قائم (خیز تیر) برای مجموع ترکیب بار مرد و زنده مطابق با ضوابط موجود در مباحث مقررات ملی ساختمان برابر با $L/240$ که برای نمونه‌های موردنظر با طول دهانه $5/7$ متر حدوداً برابر با ۲۵ میلی‌متر محاسبه می‌شود که در مرحله اول بارگذاری به نمونه‌های موردنظر وارد شده است. در ادامه کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده‌ی مجاز بارگذاری نمونه CON.M22-8B-A490 در شکل (۱۷) ارائه شده است.



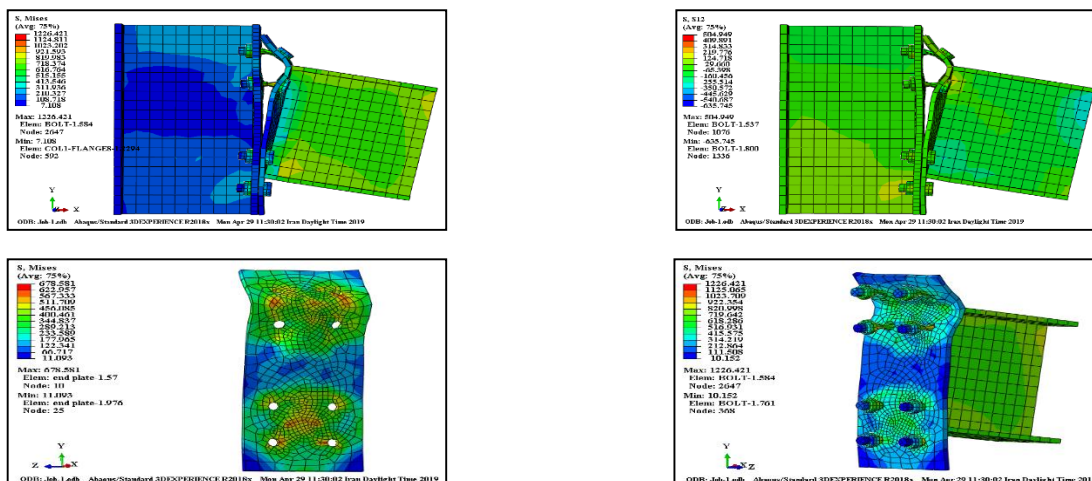
شکل ۱۷: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده‌ی مجاز بارگذاری نمونه CON.M22-8B-A490

مطابق شکل (۱۷) مشاهده می‌شود مقدار دوران نمونه در نقطه‌ی اتصال برابر با 0.135 رادیان گزارش شده است که از مقدار مجاز آئین‌نامه برابر 0.04 رادیان کمتر به دست آمده است. بیشترین مقدار تنش در محدوده مجاز بارگذاری برابر با ۸۹۵ مگاپاسکال برای پیچ‌ها مشاهده شده و تنش آن به آستانه جاری شدن رسیده است.



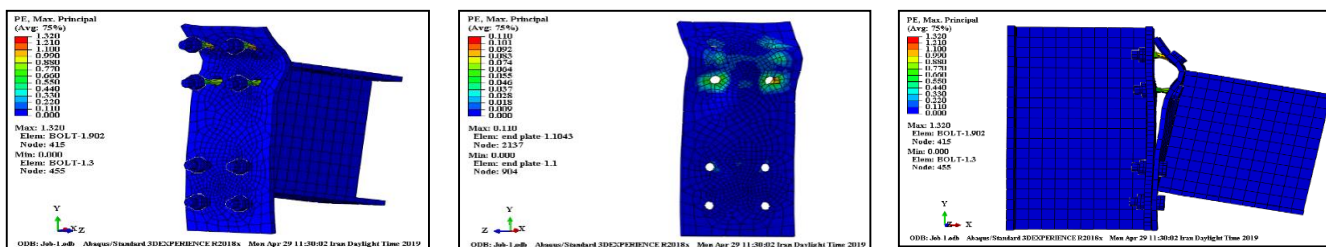
شکل ۱۸: کانتور تغییرمکان پس از تحلیل نمونه CON.M22-8B-A490 تحت آتش

مطابق شکل (۱۸)، مقادیر تغییرمکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه‌ای که مقدار تغییرمکان قائم در وسط دهانه برابر با ۴۰۴ میلی‌متر گزارش شده است.



شکل ۱۹: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M22-8B-A490 تحت آتش

مطابق شکل (۱۹)، حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱۲۲۶ و ۶۷۸ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۷ مگاپاسکال برای جان ستون حاصل شده است. وضعیت تنش فون مایسز در پیرامون سوراخ‌های پیچ‌های اتصال و پیچ‌ها بیشترین مقادیر تنش را دارا است. همان گونه که مشهود است مقادیر تنش برشی حاصل شده در این مرحله برابر ۶۳۶ مگاپاسکال گزارش شده که در محدوده مجاز باربری نمونه مطابق با آئین نامه، می‌باشند. همچنین وضعیت تنش برشی در پیچ‌ها بیشترین مقادیر تنش را دارا است.

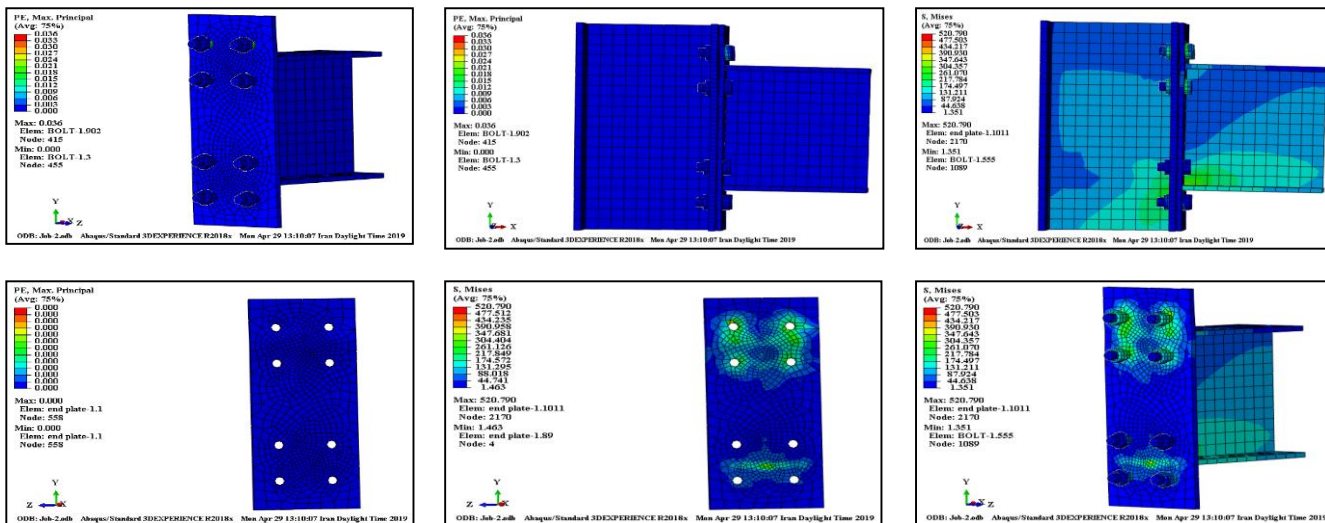


شکل ۲۰: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M22-8B-A490 تحت آتش

مطابق شکل (۲۰)، پس از آنالیز حرارت همان‌طور که مشاهده می‌شود حداکثر مقادیر کرنش برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱/۳۲ و ۰/۱۱ و حداقل مقادیر آن برای اعضای تیر و ستون در چشمه اتصال حاصل شده است. وضعیت کماتش موضعی نیز با افزایش حرارت تشدید یافته است به گونه‌ای که ورق انتهایی در محدوده کششی اتصال تا مرز پیچ‌ها در بخش فشاری به جز در لبه فوقانی ورق انتهایی به صورت کامل از ستون جدا شده و تنها ورق انتهایی در بخش فشاری هنوز در اتصال با ستون باقی مانده است و پیچ‌های اتصال به حد پارگی رسیده‌اند.

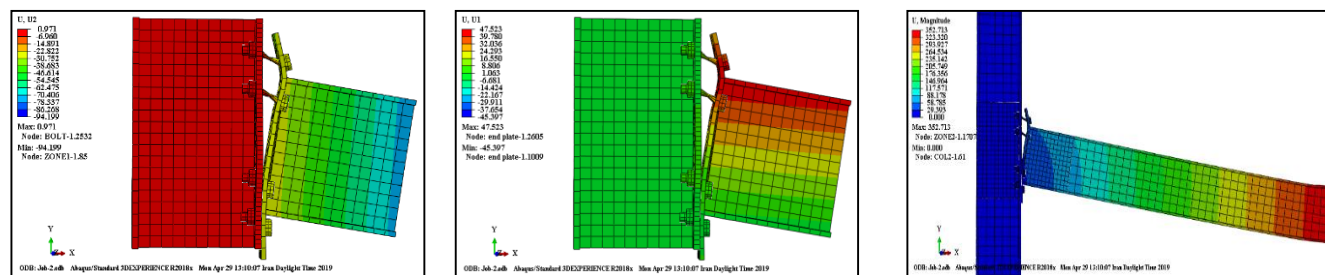
۴-۱-۲- بررسی عملکرد نمونه‌ی CON.M22-8B-A300

مطابق شکل (۲۱)، با کاهش تنش تسلیم و گسیختگی مصالح پیچ مقدار دوران نمونه در نقطه اتصال برابر با ۰/۰۱۴۷ رادیان گزارش شده است که از مقدار مجاز آئین نامه برابر ۰/۰۴ رادیان کمتر به دست آمده است. بیشترین مقدار تنش در محدوده مجاز بارگذاری برابر با ۲۴۰ مگاپاسکال برای پیچ‌ها مشاهده شده و تنش آن به آستانه جاری شدن رسیده است.

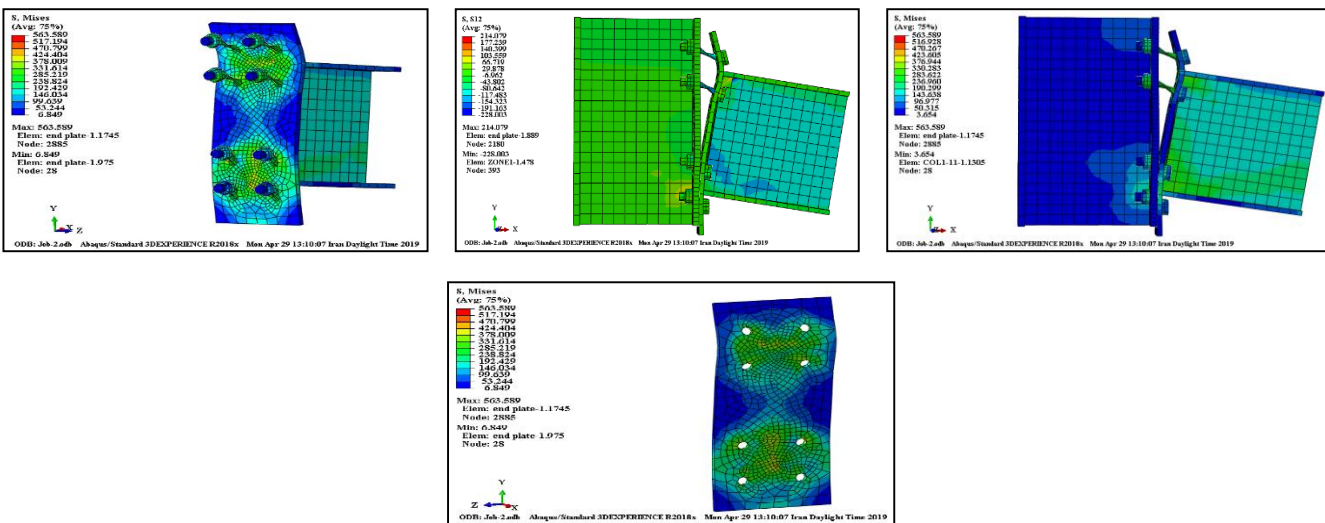


شکل ۲۱: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده مجاز بارگذاری نمونه CON.M22-8B-A300

مطابق شکل (۲۲)، مقادیر تغییرمکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه‌ای که مقدار تغییرمکان قائم در وسط دهانه برابر با ۳۵۲ میلی‌متر گزارش شده است. با افزایش دما در چشمه اتصال دوران در این منطقه به شدت افزایش یافته است به طوری که دوران در نقطه اتصال به ۰/۳۸۹ رادیان افزایش یافته است که بسیار بزرگ‌تر از مقادیر مجاز آئین‌نامه‌ای است.

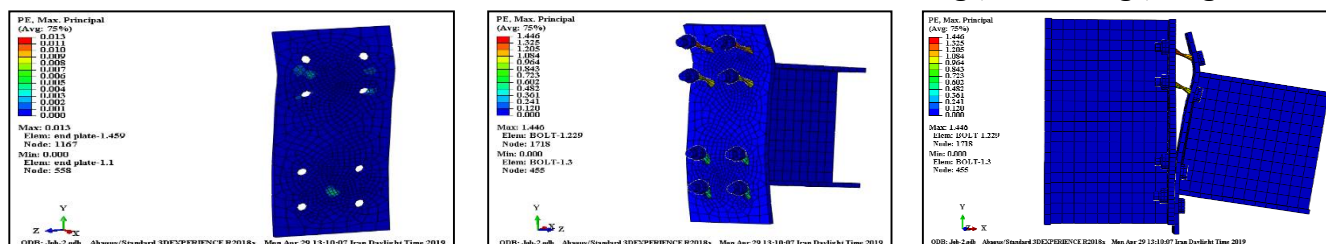


شکل ۲۲: کانتور تغییرمکان پس از تحلیل نمونه CON.M22-8B-A300 تحت آتش



شکل ۲۳: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونه CON.M22-8B-A300 تحت آتش

مطابق شکل (۲۳)، پس از تحلیل حرارت مشاهده می شود حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۲۴۰ و ۵۶۴ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۴ مگاپاسکال برای جان ستون حاصل شده است. وضعیت تنش فون مایسز در پیرامون سوراخ‌های پیچ‌های اتصال و پیچ‌ها بیشترین مقادیر تنش را دارا است.



شکل ۲۴: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M22-8B-A300 تحت آتش

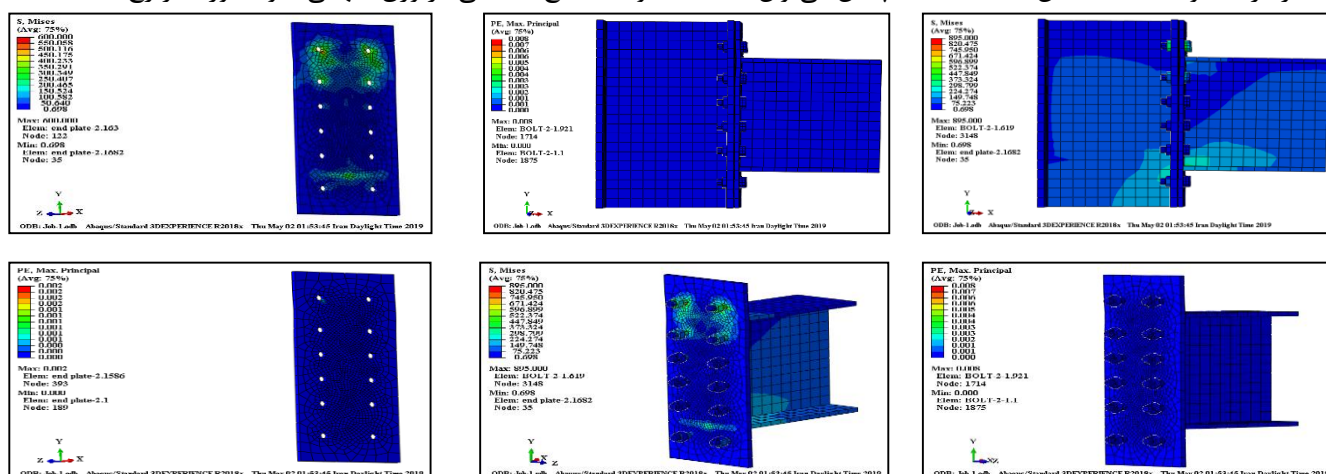
همان‌طور که در شکل (۲۴) مشاهده می‌شود حداکثر مقادیر کرنش برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱/۴۵ و ۰/۱۳ و حداقل مقادیر آن اعضای تیر و ستون در چشمه اتصال حاصل شده است.

۴-۲- بررسی عملکرد نمونه‌های دارای ۱۲ پیچ

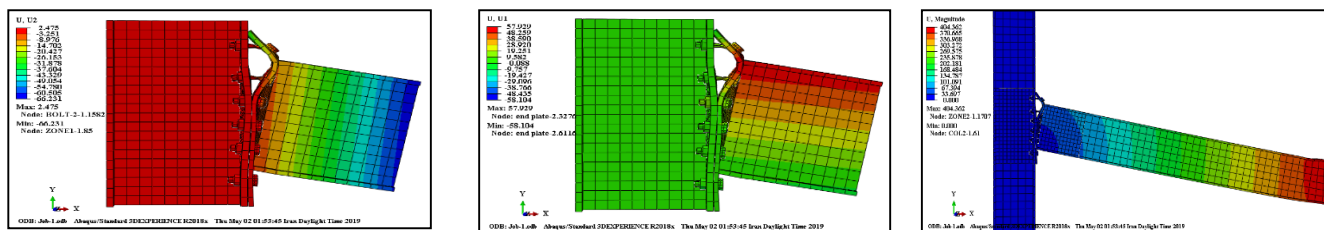
در این بخش، نمونه‌های دارای ۱۲ پیچ با قطر ۱۶ میلی متر، یک‌بار با مصالح A490 و بار دیگر با مصالح A300 برای پیچ‌های اتصالات مورد ارزیابی قرار داده شده است.

۴-۲-۱- بررسی عملکرد نمونه‌ی CON.M18-12B-A490

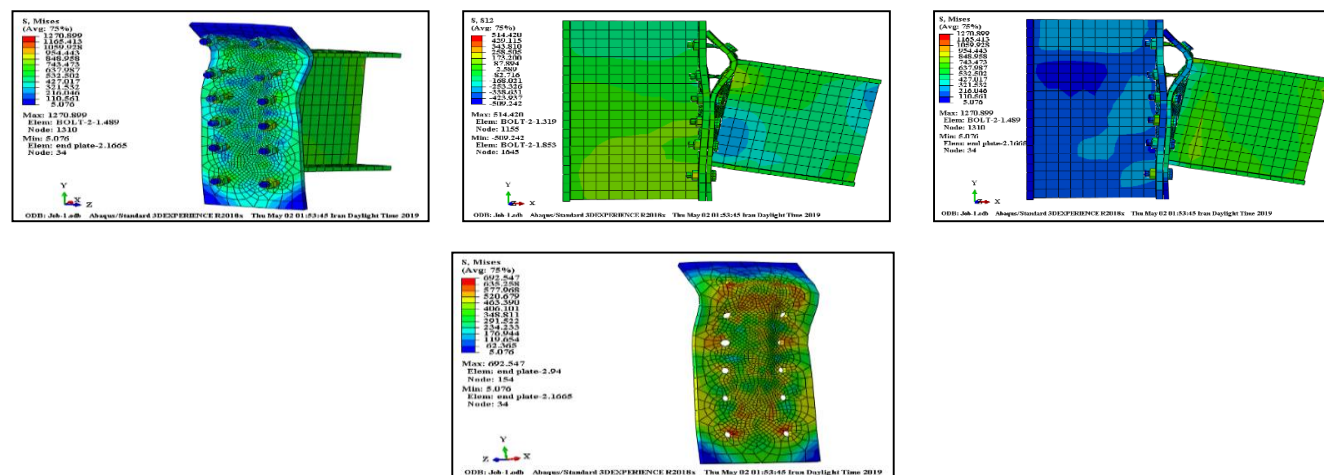
مطابق شکل (۲۵)، کمترین مقادیر تنش نیز در جان تیر و ستون برابر با ۱ مگاپاسکال حاصل شده است. مقادیر تنش ورق انتهایی برابر با ۶۰۰ مگاپاسکال به‌صورت موضعی در پیرامون سوراخ‌های پیچ در ناحیه کششی اتصال پدیدار شده است که از مقدار تنش گسیختگی خود برابر با ۳۷۰ مگاپاسکال بزرگ‌تر است ولی مقدار تنش موجود در ناحیه فشاری در محدوده مجاز باقی مانده است. از نتایج حاصله می‌توان دریافت که مقادیر کرنش در پیچ، ورق انتهایی و المان‌های تیر و ستون به ترتیب برابر با ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۲ و صفر گزارش شده است که این مقادیر در محدوده الاستیک این اعضا است. همچنین می‌توان مشاهده نمود که هیچ کماتشی در ورق انتهایی نمونه موردنظر رخ نداده است.



شکل ۲۵: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده‌ی مجاز بارگذاری نمونه‌ی CON.M18-12B-A490

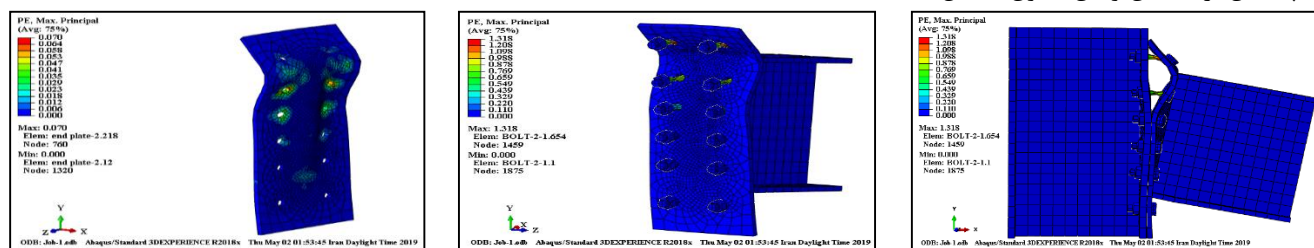


شکل ۲۶: کانتور تغییرمکان پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490 تحت آتش



شکل ۲۷: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490 تحت آتش

مطابق شکل (۲۶)، مقادیر تغییرمکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه‌ای که مقدار تغییرمکان قائم در وسط دهانه برابر با ۴۰۵ میلی متر گزارش شده است. بیشترین مقادیر تغییرمکان افقی و قائم به ترتیب برابر با ۵۸ میلی متر برای بال تیر، ورق انتهایی و پیچ‌ها در ناحیه کششی چشمه اتصال و برابر با ۶۶ میلی متر در محدوده بحرانی تیر رخ داده است. مطابق شکل (۲۷)، حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱۱۹۴ و ۶۹۲ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۵ مگاپاسکال برای جان و بال ستون حاصل شده است.



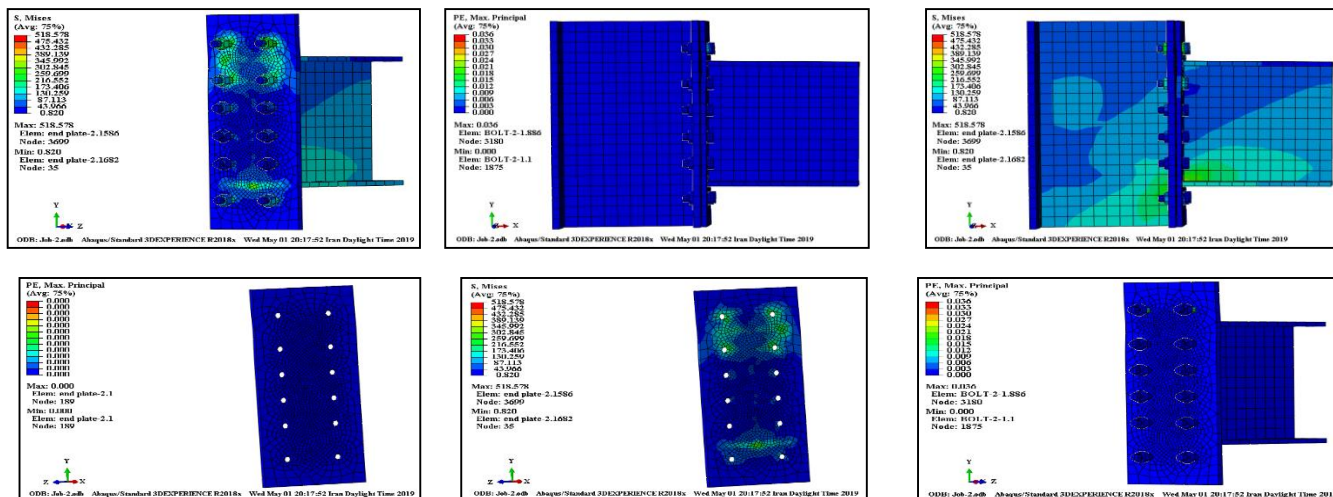
شکل ۲۸: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490 تحت آتش

مطابق شکل (۲۸)، حداکثر مقادیر کرنش برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱/۳۱۸ و ۰/۰۷ و حداقل مقادیر کرنش اعضای تیر و ستون در چشمه‌ی اتصال آن‌ها ایجاد شده است.

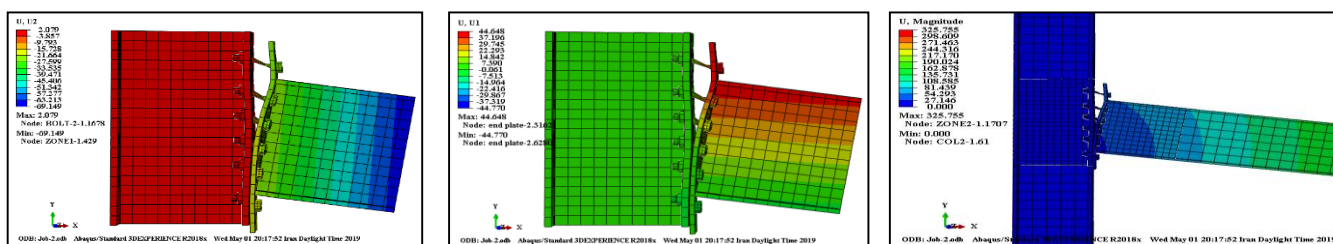
۴-۲-۲- بررسی عملکرد نمونه‌ی CON.M18-12B-A300

مطابق شکل (۲۹)، بیشترین مقدار تنش در محدوده مجاز بارگذاری برابر با ۲۴۰ مگاپاسکال برای پیچ‌ها مشاهده شده و تنش آن به آستانه جاری شدن رسیده است. کمترین مقادیر تنش نیز در جان تیر و ستون برابر با ۱ مگاپاسکال حاصل شده است. مقادیر تنش ورق انتهایی برابر با ۵۱۹ مگاپاسکال به صورت موضعی در پیرامون سوراخ‌های پیچ در ناحیه کششی اتصال پدیدار شده است که از مقدار تنش

گسیختگی خود برابر با ۴۰۰ مگاپاسکال بزرگ تر است ولی مقدار تنش موجود در ناحیه فشاری در محدوده مجاز باقی مانده است. از نتایج حاصله می توان دریافت که مقادیر کرنش در پیچ، ورق انتهایی و المان های تیر و ستون به ترتیب برابر با ۰/۰۳۶، صفر و صفر گزارش شده است که این مقدار در سطح تماس پیچ با قسمت زیرین سوراخ پیچ به صورت موضعی در محدوده غیر الاستیک این اعضا است. همچنین می توان مشاهده نمود که هیچ کمانشی در ورق انتهایی نمونه مورد نظر رخ نداده است.

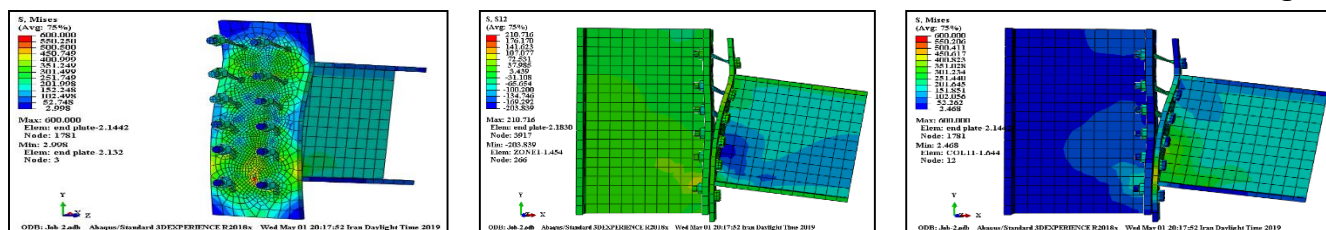


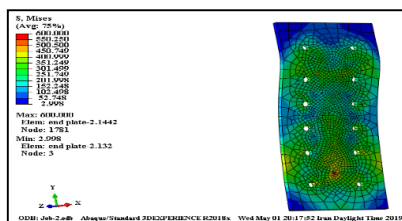
شکل ۲۹: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده مجاز بارگذاری نمونه CON.M18-12B-A300



شکل ۳۰: کانتور تغییر مکان پس از تحلیل نمونه CON.M18-12B-A300 تحت آتش

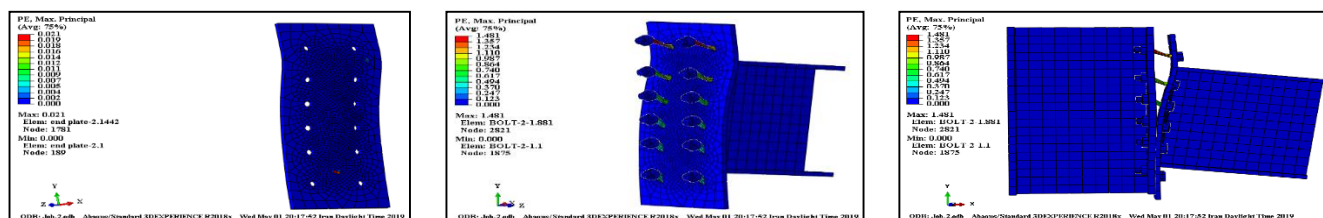
مطابق شکل (۳۰)، مقادیر تغییر مکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه ای که مقدار تغییر مکان قائم در وسط دهانه برابر با ۳۲۶ میلی متر گزارش شده است. با افزایش دما در چشمه اتصال دوران در این منطقه به شدت افزایش یافته است به طوری که دوران در نقطه اتصال به ۰/۲۲۶ رادیان افزایش یافته است که بسیار بزرگ تر از مقادیر مجاز آئین نامه ای است. بیشترین مقادیر تغییر مکان افقی و قائم به ترتیب برابر با ۴۵ میلی متر برای بال تیر، ورق انتهایی و پیچ ها در ناحیه کششی چشمه اتصال و برابر با ۶۹ میلی متر در لبه تیر رخ داده است.





شکل ۳۱: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونهی CON.M18-12B-A300 تحت آتش

براساس شکل (۳۱)، مقادیر تنش برشی حاصل شده در این مرحله برابر ۶۳۶ مگاپاسکال گزارش شده است که در محدوده مجاز باربری نمونه مطابق با آئین نامه، می باشند. همچنین وضعیت تنش برشی در پیچها بیشترین مقادیر را دارا است. پس از تحلیل حرارت مشاهده می شود حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۲۴۰ و ۶۰۰ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۷ مگاپاسکال برای جان ستون حاصل شده است. وضعیت تنش فون مایسز در پیرامون سوراخهای پیچهای اتصال و پیچها بیشترین مقادیر را دارا است.



شکل ۳۲: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونهی CON.M18-12B-A300 تحت آتش

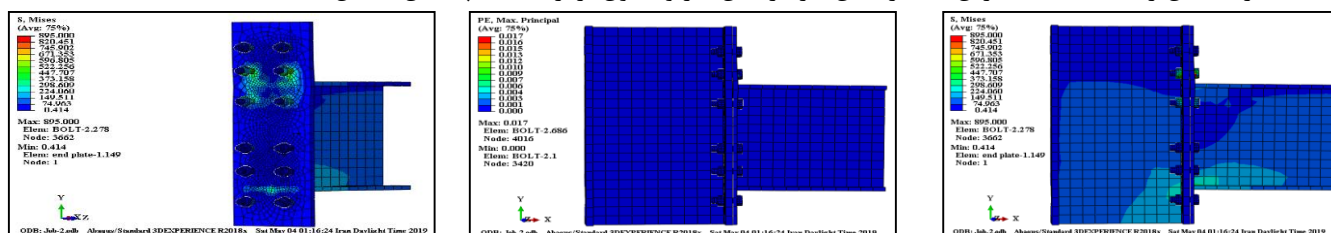
مطابق شکل (۳۲)، حداکثر مقادیر کرنش برای پیچها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱/۴۸۱ و ۰/۰۲۱ و حداقل مقادیر آن اعضای تیر و ستون در چشمه اتصال حاصل شده است. وضعیت کمانش موضعی نیز با افزایش حرارت تشدید یافته است به گونه ای که ورق انتهایی در محدوده کششی اتصال تا مرز پیچها در بخش فشاری به صورت کامل از ستون جدا شده و تنها ورق انتهایی در بخش فشاری هنوز در اتصال با ستون باقی مانده است و لغزشی به مقدار ۲۱ میلی متر در ناحیه فشاری به سمت پائین اتفاق افتاده و در پیچهای موجود در این ناحیه تغییر مکان برشی ایجاد کرده و پیچهای اتصال را به حد جدا شدگی رسانده است.

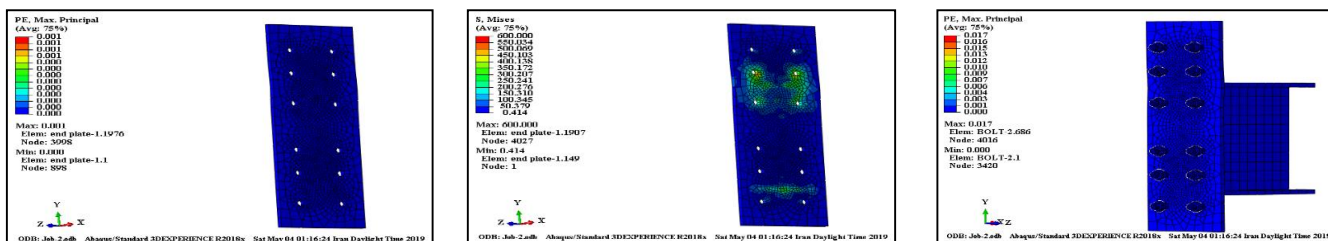
۴-۳- بررسی عملکرد نمونه های دارای ۱۲ پیچ تیپ ۲

در این بخش، نمونه های دارای ۱۲ پیچ با قطر ۱۶ میلی متر، یکبار با مصالح A490 و بار دیگر با مصالح A300 برای پیچهای اتصالات مورد ارزیابی قرار گرفته است.

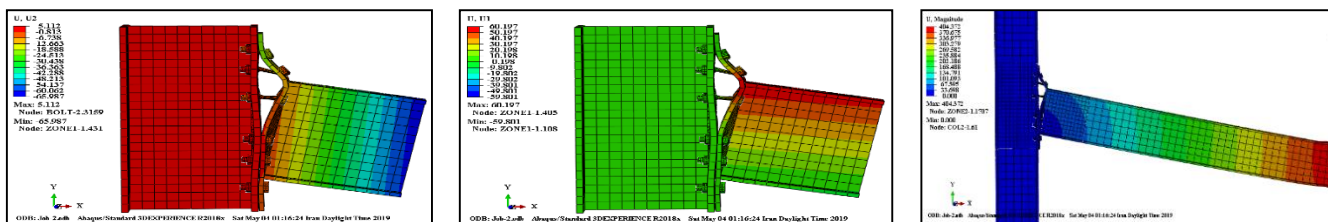
۴-۳-۱- بررسی عملکرد نمونهی CON.M18-12B-A490-T2

مطابق شکل (۳۳)، بیشترین مقدار تنش در محدوده مجاز بارگذاری برابر با ۸۹۵ مگاپاسکال برای پیچها مشاهده شده و تنش آن به آستانه جاری شدن رسیده است. کمترین مقادیر تنش نیز در جان تیر و ستون برابر با ۲ مگاپاسکال حاصل شده است.



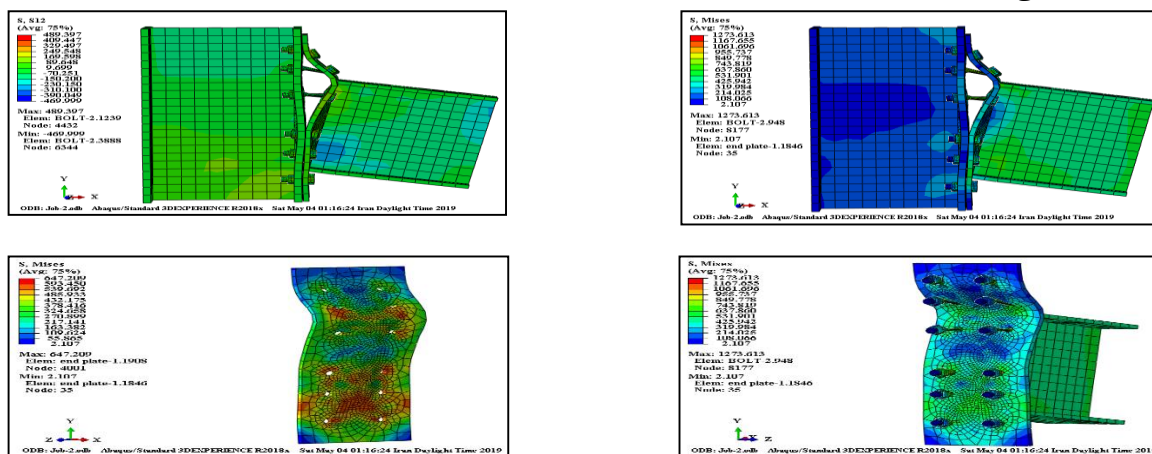


شکل ۳۳: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده‌ی مجاز بارگذاری نمونه‌ی CON.M18-12B-A490-T2

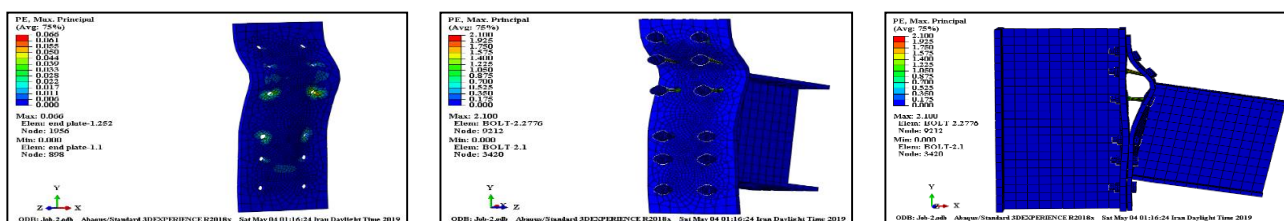


شکل ۳۴: کانتور تغییر مکان پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490-T2 تحت آتش

مطابق شکل (۳۴)، مقادیر تغییر مکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه‌ای که مقدار تغییر مکان قائم در وسط دهانه برابر با ۴۰۴ میلی‌متر گزارش شده است.



شکل ۳۵: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490-T2 تحت آتش

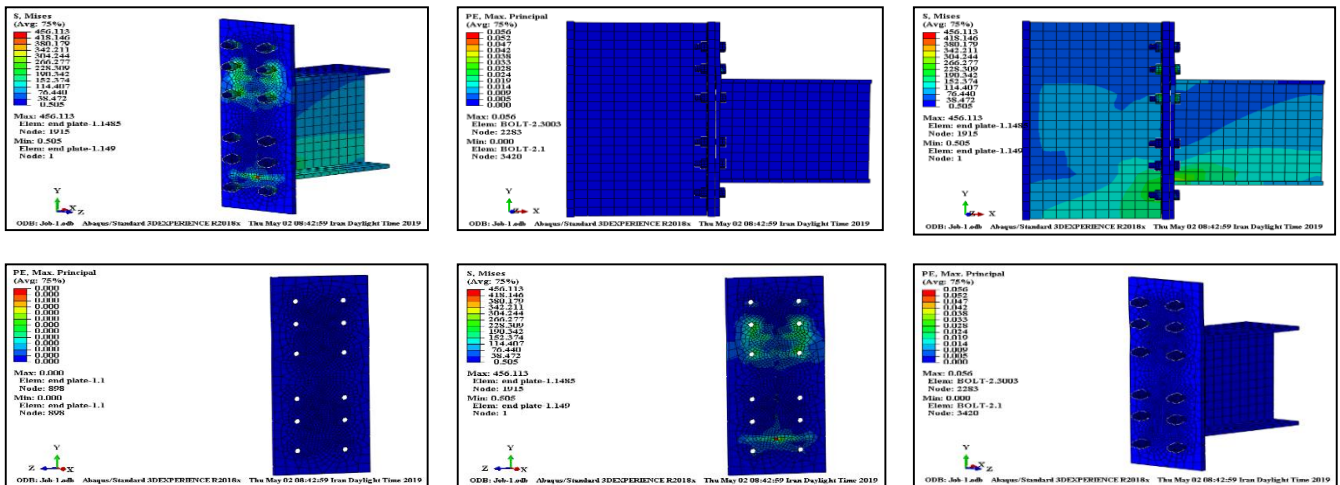


شکل ۳۶: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490-T2 تحت آتش

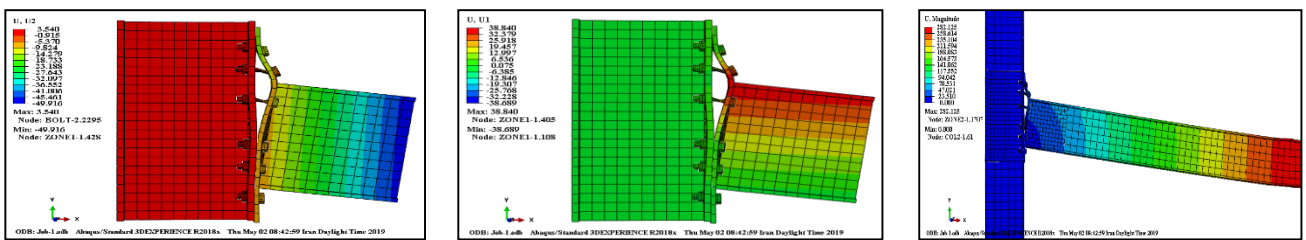
مطابق شکل (۳۵)، حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱۲۷۴ و ۶۴۷ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۲ مگاپاسکال برای جان ستون حاصل شده است. مطابق شکل (۳۶)، حداکثر مقادیر کرنش برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۲/۱ و ۰/۰۶۶ و حداقل مقادیر کرنش اعضای تیر و ستون در چشمه اتصال آن‌ها حاصل شده است.

۴-۳-۲- بررسی عملکرد نمونه CON.M18-12B-A300-T2

مطابق شکل (۳۷)، مقدار دوران نمونه در نقطه اتصال برابر با ۰/۱۳ رادیان گزارش شده است که از مقدار مجاز آئین نامه برابر ۰/۴ رادیان کمتر به دست آمده است. بیشترین مقدار تنش در محدوده مجاز بارگذاری برابر با ۸۹۵ مگاپاسکال برای پیچ‌ها مشاهده شده و تنش آن به آستانه جاری شدن رسیده است.

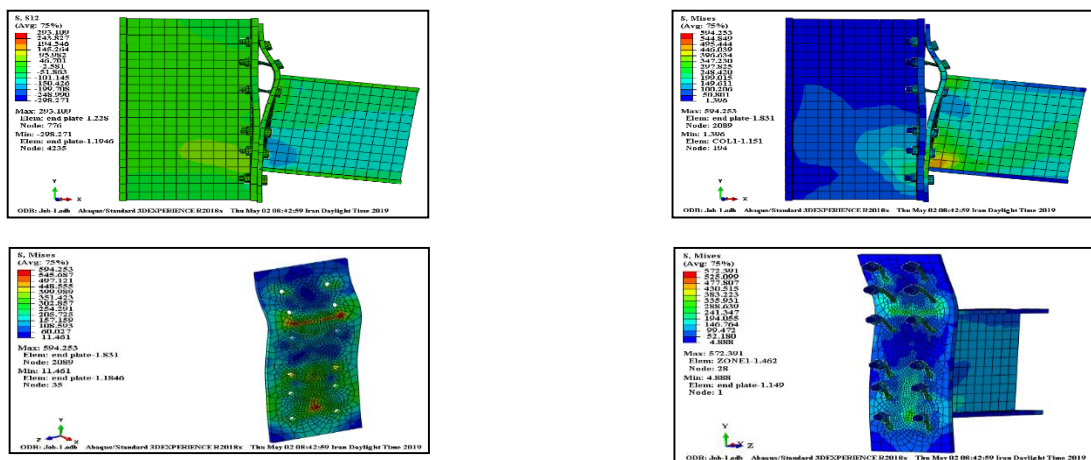


شکل ۳۷: کانتور تنش فون مایسز و کرنش در محدوده مجاز بارگذاری نمونه CON.M18-12B-A300-T2



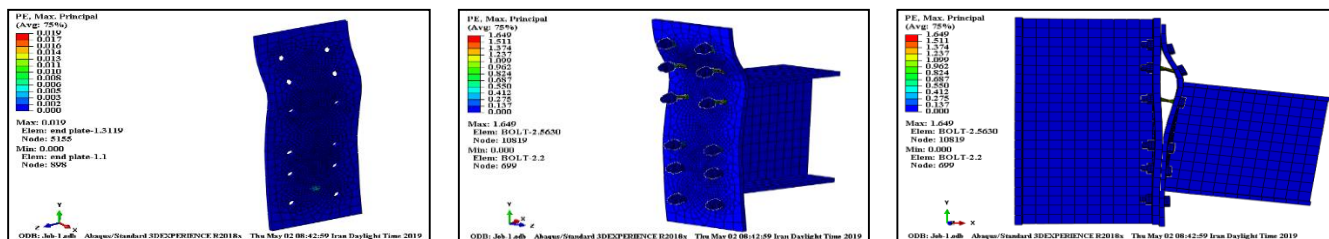
شکل ۳۸: کانتور تغییر مکان پس از تحلیل نمونه CON.M18-12B-A300-T2 تحت آتش

مطابق شکل (۳۸)، مقادیر تغییر مکان با افزایش دما در چشمه اتصال به شدت افزایش یافته به گونه‌ای که مقدار تغییر مکان قائم در وسط دهانه برابر با ۲۸۲ میلی‌متر گزارش شده است. با افزایش دما در چشمه اتصال، دوران در نقطه اتصال به ۰/۱۷ رادیان افزایش یافته است که بسیار بزرگ‌تر از مقادیر مجاز آئین‌نامه‌ای است. بیشترین مقادیر تغییر مکان افقی و قائم به ترتیب برابر با ۳۹ میلی‌متر برای بال تیر، ورق انتهایی و پیچ‌ها در ناحیه کششی چشمه اتصال و برابر با ۵۰ میلی‌متر در لبه تیر رخ داده است.



شکل ۳۹: کانتور تنش فون مایسز پس از تحلیل نمونه CON.M18-12B-A300-T2 تحت آتش

مطابق شکل (۳۹)، مشاهده می‌شود حداکثر مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۲۴۰ و ۵۹۴ مگاپاسکال و حداقل مقادیر این تنش برابر ۲ مگاپاسکال برای جان ستون حاصل شده است. وضعیت تنش فون مایسز در پیرامون سوراخ‌های پیچ‌های اتصال و پیچ‌ها بیشترین مقادیر تنش را دارا است.



شکل ۴۰: کانتور کرنش پس از تحلیل نمونه‌ی CON.M18-12B-A490-T2 تحت آتش

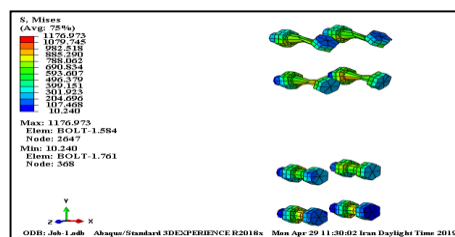
مطابق شکل (۴۰)، مشاهده می‌شود حداکثر مقادیر کرنش برای پیچ‌ها و ورق انتهایی اتصال به ترتیب برابر ۱/۶۵ و ۰/۱۹ و حداقل مقادیر آن اعضای تیر و ستون در چشمه اتصال حاصل شده است. وضعیت کمناش موضعی نیز با افزایش حرارت تشدید یافته است به گونه‌ای که ورق انتهایی در محدوده کششی اتصال به جز در قسمت فوقانی ورق انتهایی تا مرز پیچ‌ها در بخش فشاری به صورت کامل از ستون جدا شده و تنها ورق انتهایی در بخش فشاری هنوز در اتصال با ستون باقی مانده است و پیچ‌های ناحیه کششی به حد جداشدگی رسیده‌اند.

۴-۴- مقایسه عملکرد اجزای اتصالات نمونه‌های موردنظر

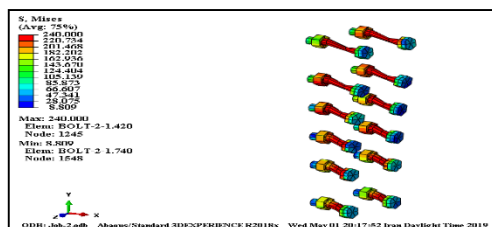
پس از بررسی مقادیر تنش، کرنش و تغییرشکل نمونه‌های موردنظر در لحظه باربری مجاز و در پایان تحلیل آتش، حال در این بخش قصد بر آن است تا اجزای اتصالات این نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه شده و عملکرد سازه‌ای آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. آزمون آتش برای نمونه‌های CON.M22-8B-A300، CON.M18-12B-A300 و CON.M18-12B-A300-T2 به ترتیب تا دماهای ۸۷۰، ۹۴۰ و ۹۰۰ درجه سانتی گراد انجام شد؛ در صورتی که نمونه‌های دارای مصالح پیچ از جنس A490 این آزمون را تا انتها به پایان رسانده‌اند.



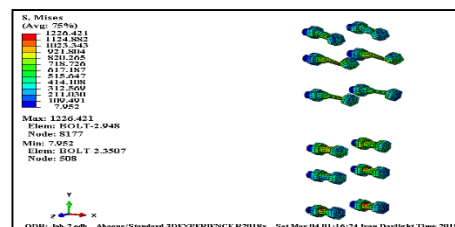
CON.M22-8B-A490



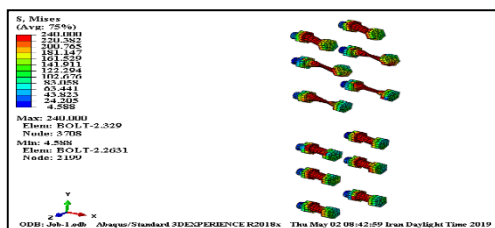
CON.M22-8B-A300



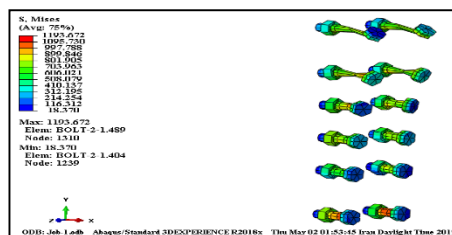
CON.M18-12B-A490



CON.M18-12B-A300



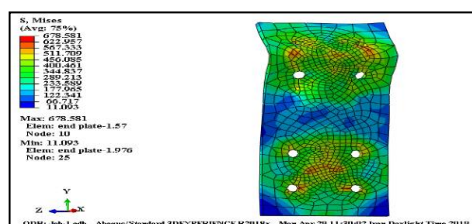
CON.M18-12B-A490-T2



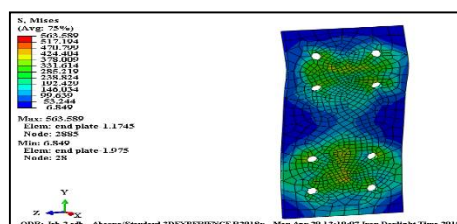
CON.M18-12B-A300-T2

شکل ۴۱: کانتور تنش فون مایسز برای پیچ‌های اتصالات نمونه‌های موردنظر پس از تحلیل آتش

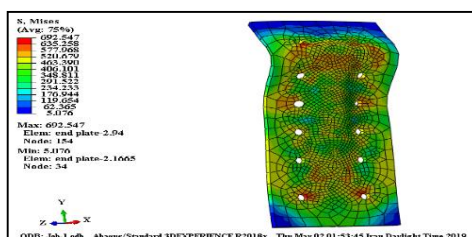
مطابق شکل (۴۱)، مقادیر تنش برای پیچ‌های اتصالات نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر تنش برای نمونه‌های *CON.M18-12B-A490*، *CON.M22-8B-A490*، *CON.M18-12B-A490-T2* و *CON.M18-12B-A490* به ترتیب برابر با ۱۱۷۷، ۱۱۹۴ و ۱۲۲۶ مگاپاسکال گزارش شده است. از نتایج حاصله می‌توان دریافت که نمونه‌های *CON.M18-12B-A490* و *CON.M18-12B-A490-T2* نسبت به *T2* نسبت به نمونه *CON.M22-8B-A490* به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۴/۲ درصد و همچنین نمونه *CON.M18-12B-A490-T2* نسبت به نمونه *CON.M18-12B-A490* ۷/۲ درصد تنش بالاتری را تجربه کرده است. تنش موجود در پیچ‌هایی که از مصالح *A300* استفاده کرده‌اند از ۲۴۰ مگاپاسکال که تنش مجاز آن‌ها است بالاتر نرفته و فقط افزایش طول داشته‌اند. همچنین می‌توان دریافت که *CON.M22-8B-A490*، *CON.M18-12B-A490* و *CON.M18-12B-A490-T2* نسبت نمونه‌های *A300* به ترتیب برابر با ۴/۹، ۴/۹۸ و ۵/۱۱ درصد برابر تنش‌های بالاتری را تجربه کرده‌اند.



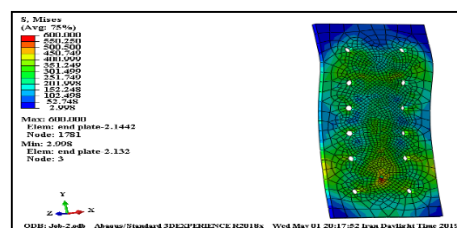
CON.M22-8B-A490



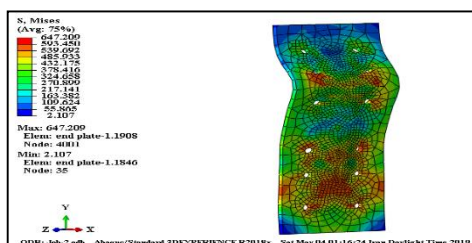
CON.M22-8B-A300



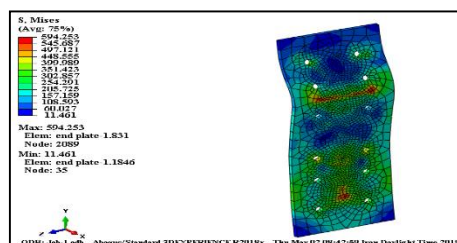
CON.M18-12B-A490



CON.M18-12B-A300



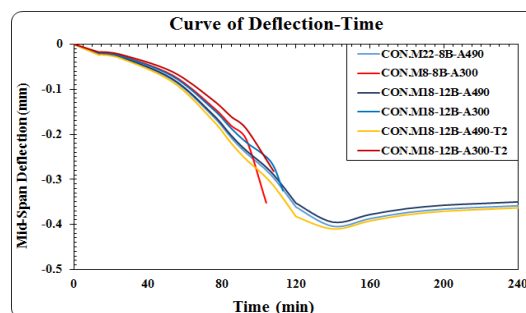
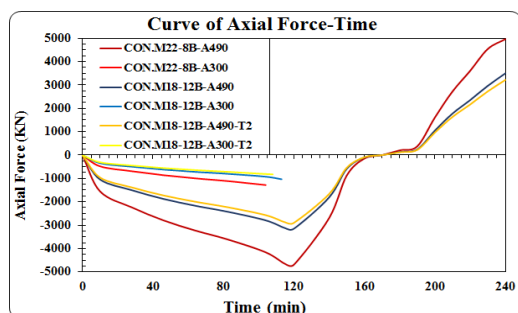
CON.M18-12B-A490-T2



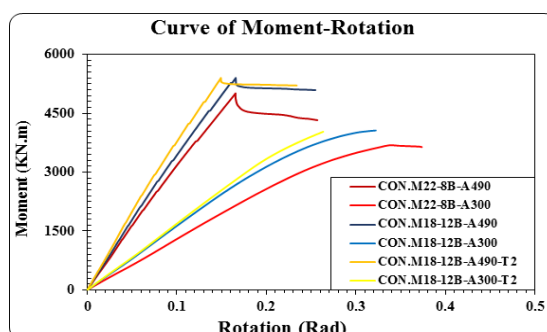
CON.M18-12B-A300-T2

شکل ۴۲: کانتور تنش فون مایسز برای ورق‌های انتهایی اتصالات نمونه‌های موردنظر پس از تحلیل آتش

مطابق شکل (۴۲)، مقادیر تنش برای ورق‌های انتهایی اتصالات نمونه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر تنش نیز برای ورق‌های انتهایی نمونه‌های *CON.M22-8B-A300*، *CON.M18-12B-A300* و *CON.M18-12B-A300-T2* به ترتیب برابر با ۵۶۴، ۶۰۰ و ۵۹۴ گزارش شده است. از نتایج حاصله می‌توان دریافت که نمونه‌های *CON.M18-12B-A300* و *CON.M18-12B-A300-T2* نسبت به نمونه *CON.M22-8B-A300* به ترتیب برابر ۶/۴ و ۵/۳ درصد و همچنین نمونه *CON.M18-12B-A300-T2* نسبت به نمونه *CON.M18-12B-A300* برابر با ۱ درصد کرنش بالاتری را تجربه کرده است. همچنین می‌توان دریافت که نمونه‌های *CON.M22-8B-A490*، *CON.M18-12B-A490* و *CON.M18-12B-A490-T2* نسبت نمونه‌های *CON.M22-8B-A490*، *CON.M18-12B-A490-T2* و *CON.M18-12B-A490* به ترتیب برابر با ۲۰، ۱۶ و ۹ درصد تنش‌های بالاتری را تجربه کرده‌اند.



شکل ۴۳: منحنی تغییرمکان قائم در مرکز دهانه نمونه‌های مورد مطالعه پس از تحلیل آتش
شکل ۴۴: منحنی نیروی محوری پیچ‌های نمونه‌های مورد مطالعه پس از تحلیل آتش



شکل ۴۵: منحنی لنگر-دوران نمونه‌های مورد مطالعه پس از تحلیل آتش

در ادامه، مطابق شکل (۴۳)، منحنی تغییرمکان قائم در مرکز دهانه برای نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج پیداست بیشترین تغییرمکان قائم برای نمونه *CON.M22-8B-A490* برابر با ۴۰۶ میلی‌متر و کمترین مقدار برای نمونه *CON.M18-12B-A300-T2* برابر با ۲۸۲ میلی‌متر گزارش شده است. مطابق شکل (۴۴)، منحنی نیروی محوری پیچ برحسب زمان برای نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همچنین بیشترین نیروی محوری برای نمونه *CON.M22-8B-A490* معادل ۴۹۶۵ کیلونیوتن و کمترین مقدار برای نمونه *CON.M18-12B-A300-T2* معادل ۸۲۵ کیلونیوتن گزارش شده است. مطابق شکل (۴۵)، بیشترین مقدار لنگر با دوران ۰/۱۴ رادیان برای نمونه *CON.M18-12B-A300-T2* معادل ۵۳۰۰ کیلونیوتن متر و کمترین مقدار لنگر با دوران ۰/۳۶۵ رادیان برای نمونه *CON.M22-8B-A300* معادل ۳۶۴۰ کیلونیوتن متر گزارش شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌های اتصالات صلب پیچی در عملکرد سازه‌های آن‌ها در برابر آتش، تعداد ۶ نمونه اتصال صلب پیچی با ورق انتهایی با مشخصات مصالح A490 و A300 در نرم افزار ABAQUS تحت بار آتش مدل‌سازی شد و نتایج حاصل از آن ارائه شد. از ارزیابی نتایج برای تنش فون مایسز برای نمونه‌های موردنظر می‌توان دریافت که در نمونه‌هایی که از مصالح A490 استفاده شده، بیشترین تنش در پیچ رخ داده در صورتی که در نمونه‌هایی که از مصالح A300 استفاده شده بیشترین مقدار تنش در ورق انتهایی حاصل شده است. گمان می‌رود علت این امر به دلیل پایین‌تر بودن تنش تسلیم پیچ‌های A300 نسبت به A490 است؛ زیرا پیچ‌های A300 در تنش‌های پایین‌تری جاری شده و با وارد شدن به ناحیه پلاستیک و تغییرشکل‌های غیر ارتجاعی، باعث می‌شود ورق‌های فولادی بیش‌تر درگیر شده و مقادیر تنش به‌خصوص در اطراف سوراخ‌های پیچ‌ها افزایش یابد. مقادیر تنش فون مایسز برای پیچ‌های نمونه‌هایی با مصالح A490 برای نمونه‌های CON.M22-8B-A490 و CON.M18-12B-A490-T2 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار تنش را شامل بوده است که حدوداً دارای ۴ درصد اختلاف مقدار می‌باشند. بدین ترتیب این مقدار تغییرمکان برای نمونه‌های با مصالح پیچ A300 فقط تا مقدار تنش ۲۴۰ مگاپاسکال که برابر با تنش تسلیم مصالح A300 است پیشروی کرده است. مقادیر تنش فون مایسز نیز برای ورق‌های انتهایی اتصالات نمونه‌ها برای نمونه‌هایی با مصالح A490 برای نمونه‌های CON.M22-8B-A490 و CON.M18-12B-A490-T2 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار تنش را شامل بوده است که حدوداً دارای ۷ درصد اختلاف مقدار و برای نمونه‌هایی با مصالح A300 برای نمونه‌های CON.M22-8B-A300 و CON.M18-12B-A300 به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار تنش را شامل بوده است که حدوداً دارای ۶ درصد اختلاف می‌باشند. همچنین در نمونه‌های نظیر که فقط مصالح پیچ در آن‌ها با هم تفاوت دارد برای نمونه‌های CON.M22-8B، CON.M18-12B و CON.M18-12B-T2 به ترتیب برابر ۲۰، ۱۶ و ۹ درصد اختلاف دارند. درنهایت پس از تحلیل نمونه‌های موردنظر در این تحقیق می‌توان استنباط کرد که به نظر می‌رسد که افزایش تعداد پیچ‌ها در اتصال منجر به افزایش سختی دورانی اتصال شده که علاوه بر کاهش مقادیر تغییرمکان قائم مرکز دهانه پایداری بیشتر اتصال تیر به ستون شده و این امر خرابی بخشی از سازه و یا کل سازه را در زمان آتش سوزی به تعویق می‌اندازد که در تاب آوری سازه بسیار حائز اهمیت است.

۶- پیشنهادات

برای مطالعه‌ی بیشتر و بهبود عملکرد اتصالات صلب پیچی تحت بار آتش با در نظر گرفتن تعداد، جنس و چیدمان پیچ‌ها، پیشنهادهایی برای ادامه‌ی تحقیقات در ذیل ارائه شده است:

- بررسی عملکرد سایر اتصالات گیردار تحت بار آتش و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با تحقیق حاضر.
- ارزیابی و مقایسه عملکرد اتصالات صلب پیچی با و بدون استفاده از آلیاژ حافظه دار شکلی تحت بار آتش.
- ارزیابی و مقایسه عملکرد اتصالات صلب پیچی با استفاده از فولاد پر مقاومت کم آلیاژ (ST52) و فولاد نرمه (ST37) تحت بار آتش.
- بررسی عملکرد اتصالات صلب پیچی با و بدون استفاده از ورق مورب و ماهیچه تحت بار آتش.
- بررسی عددی و مقایسه عملکرد اتصالات صلب پیچی با و بدون پوشش ضد آتش از قبیل رنگ و یا مصالح پوششی مانند کافکو تحت بار آتش.

مراجع

- [1] ASCE, (2018). Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, USA.
- [2] Bao YH, Kunnath SK. (2019). Simplified progressive collapse simulation of RC framewall structures. *Eng Struct*, 32(10): 3153–3162.
- [3] CEN, E. (2005). Eurocode: Design of steel structures-Part 1-2: General rules-Structural Fire Design. Brussels: CEN.
- [4] Department of Defense (DoD). (2019). Design of buildings to resist progressive collapse, unified facilities criteria, 4-023-03.
- [5] Demonceau, JF. (2018). Steel and composite frames: sway response under conventional loading and development of membrane effects in beams further to an exceptional action. *Doctor of Philosophy thesis*. Civil and Environmental Engineering, University of Liège.
- [6] Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K. (2020). Probabilistic Assessment of Seismic Collapse Capacity of 3D Steel Moment-Resisting Frame Structures. *Journal of Structural and Construction Engineering*. (In Persian).
- [7] Al-Jabri, KS., Burgess, IW., Lennon, T., & Plank, RJ. (2005). Moment–rotation–temperature curves for semi-rigid joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(3), 281–303.
- [8] Ahn, JK., Lee, CH., & Park, HN. (2013). Prediction of fire resistance of steel beams with considering structural and thermal parameters. *Fire safety journal*, 56, 65–73.
- [9] Zhang, C., Choe, L., Seif, M., & Zhang, Z. (2015). Behavior of axially loaded steel short columns subjected to a localized fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 111, 103–111.
- [10] Lennon, T., Moore, D. B., & BAILEY, C. (1999). The behaviour of full-scale steel-framed buildings subjected to compartment fires. *The Structural Engineer*, 77(8), 15–21.
- [11] Liew, J.R., Tang, L.K., Holmaas, T. and Choo, Y.S. (1998). Advanced analysis for the assessment of steel frames in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 47(1), 19–45.
- [12] Ali, H.M., Senseny, P.E. and Alpert, R.L. (2004). Lateral displacement and collapse of single-story steel frames in uncontrolled fires. *Engineering Structures*, 26(5), 593–607.
- [13] Memari, M., Hussam, M., & Bruce, E. (2014). Post-earthquake fire performance of moment resisting frames with reduced beam section connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 215–229.
- [14] Behnam, B., & Ronagh, HR. (2015). Post-Earthquake Fire performance-based behavior of unprotected moment resisting 2D steel frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(1), 274–284.
- [15] Keller, WJ., & Pessiki, S. (2012). Effect of earthquake-induced damage to spray-applied fire-resistive insulation on the response of steel moment-frame beam-column connections during fire exposure. *Journal of Fire Protection Engineering*, 22(4), 271–299.
- [16] Sun, Q., Guan, C., & Wang, D. (2014). Study on mechanical characteristics and safety evaluation method of steel frame structure after fire. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 4(3).
- [17] Strejček, M., Řezníček, J., Tan, K.-H., and Wald, F. (2011). Behaviour of column web component of steel beam-to-column joints at elevated temperatures, *J. Constr. Steel Res*, 67(12), 1890–1899.
- [18] Jiang, B., Li, G. Q., Li, L., & Izzuddin, B. A. (2017). Simulations on progressive collapse resistance of steel moment frames under localized fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 380–388.
- [19] Guo Zh., Huang Sh. (2016). Behaviour of restrained steel beam with reduced beam section exposed to fire, *Journal of Constructional Steel Research*, 122, 434–444.
- [20] Jiang, B., Li, G. Q., & Usmani, A. (2015). Progressive collapse mechanisms investigation of planar steel moment frames under localized fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 115, 160–168.
- [21] Gernay, T., & Gamba, A. (2018). Progressive collapse triggered by fire induced column loss: Detrimental effect of thermal forces. *Engineering Structures*, 172, 483–496.
- [22] Khizab, B., Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K., Nasseri, H. (2020). Investigation the performance of Dual Systems Moment-Resisting Frame with Steel Plate Shear Wall Subjected to Blast Loading. *Journal of Structural and Construction Engineering*. (In Persian).
- [23] Miryoysefi Aval, S., Shakeri, K. (2020). Stability of steel moment resisting frames under fire loading. *Journal of Structural and Construction Engineering*. (In Persian).

- [24] Ghasemi, A. (2021). Evaluation of the performance of special steel moment frames under fire conditions. *Journal of Structural and Construction Engineering*. (In Persian).
- [25] Kaffash, R., Karamodin, A. (2021). Investigating the behavior tall steel concentrically braced frames exposed to fire. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(3). (In Persian).
- [26] Saberi, V., Saberi, H., Mazaheri, O., Sadeghi, A. (2021). Numerical Investigation of Shape Memory Alloys and Side Plates Perforation Effect on Hysteresis Performance of Connections. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(8), 19–19. (In Persian).
- [27] Sadeghi, A., Kazemi, H., Samadi, M. (2022). Reliability Analysis of Steel Moment-Resisting Frame Structure under the Light Vehicle Collision. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(11), 14–14. (In Persian).
- [28] Sadeghi, A., Kazemi, H., Samadi, M. (2022). The Probabilistic Analysis of Steel Moment-Resisting Frame Structures Performance under Vehicles Impact. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(12), 16–16. (In Persian).
- [29] Sadeghi, A., Kazemi, H., Samadi, M. (2021). Reliability and Reliability-based Sensitivity Analyses of Steel Moment-Resisting Frame Structure subjected to Extreme Actions, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 15(57), 138–159.
- [30] *ABAQUSIns*. ABAQUS Theory User Manual, V 6.7. (2007).
- [31] *ASTM Standard E119-05*, Standard methods of fire tests of building construction and materials. (2005). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [32] Rahnvard, R., Thomas, R.J. (2018). Numerical evaluation of the effects of fire on steel connections; Part 1: Simulation techniques. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 445–453