

بررسی رفتار حرارتی تیرهای فولادی با اتصال خورجینی با تاکید بر تاثیر مقدار دما و زمان قرارگیری در معرض آتش

عباس سرقلی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی،

آبادان، ایران

سید عبدالنبی رضوی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران

مسعود عابدینی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران

razavi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۱/۰۲

چکیده

قاب‌های دارای اتصال خورجینی یکی از سیستم‌های رایج سازه‌ای در ایران می‌باشد. در این قاب‌ها تیرها از طرفین ستون گذشته و هر تیر روی یک نبشی زیرین قرار می‌گیرد. ستون‌ها از نوع دابل تسمه‌دار بوده و در محل اتصال دارای یک ورق نسبتاً بلند می‌باشند به طوری که نبشی‌های زیرین و بالایی را در خود جای می‌دهد. آنچه باعث شده است که این نوع اتصال استفاده فراوانی داشته باشد سرعت بالا و سهولت اجرای قاب‌های خورجینی است. مطالعات متعددی نشان داده که در زمان قرارگیری سازه در معرض آتش مقاومت آن دچار تغییر می‌گردد. بررسی حاضر به منظور بررسی رفتار تیرهای فولادی با اتصالات خورجینی در دما و زمان‌های مختلف است. نخست پس از مطالعات کتابخانه‌ای، صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی توسط نرم‌افزار آباکوس، مورد بررسی قرار گرفت. با انجام مراحل کار با داده‌های مطابق داده‌های آزمایشگاهی نتایج حاصل از بررسی عددی با نتایج حاصل از بررسی آزمایشگاهی موجود در مقاله مقایسه گردید و نتایج حاصل از این مقایسه نشان داد که تطابق نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از بررسی عددی دارای درصد اختلافی کمتر از ۱۰ درصد است. به منظور توسعه مدل عددی ۱۷ مدل مختلف با تغییرات دما و زمان قرارگیری تیر در معرض آتش مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش دمای حرارت در اتصالات خورجینی باعث کاهش مقاومت نهایی، افزایش میزان خرابی و تغییر شکل در ناحیه اتصال می‌گردد. دیگر نتایج مطالعه نشان داد که هر چه زمان قرارگیری اتصالات خورجینی در معرض آتش بیشتر باشد، مقاومت نهایی کاهش، میزان خرابی افزایش و تغییر شکل سازه بیشتر خواهد بود.

کلید واژگان: اتصالات خورجینی، تیر فولادی، دمای تحمل اتصال خورجینی، زمان تحمل اتصال خورجینی، مقاومت نهایی اتصالات خورجینی

۱- مقدمه

یکی از برتری‌های سازه‌های فولادی در مقایسه با دیگر سازه‌ها سرعت و سهولت اجرا در این سازه‌ها می‌باشد. در طراحی و ساخت سازه‌های فلزی در ایران مهمترین پارامتری که همیشه باید مد نظر طراحان قرار گیرد سهولت اجرا با توجه به امکانات محدود می‌باشد. عدم وجود تکنولوژی پیشرفته در زمینه‌های مختلف کارهای ساختمانی نظیر برشکاری، سنگزنی، ایجاد اتصالات پیچی و جوش صحیح در کشور همواره مانع از اجرای طرح‌های کارآمد و دقیق می‌باشد. به همین جهت ناگزیر تا حد امکان از پیچیدگی‌های طرح کاسته شده و روندی دنبال می‌شود که به سادگی قابل فهم و از سوی سازندگان قابل اجرا باشد. اتصالات مفصلی از لحاظ سهولت اجرا مناسب بوده ولی از نظر سختی سازه و استفاده از مصالح دارای ضعف می‌باشند و در صورت استفاده از آن‌ها باید سازه مهاربندی شود. اتصالات صلب نیاز سختی سازه بخصوص مقاومت در برابر نیروهای جانبی را برآورده ساخته اما اجرای دقیق اتصالات آن مشکلات فراوان و هزینه بسیاری در بر دارند

از این رو سازندگان و طراحان ساختمان‌های فلزی به فکر جایگزین کردن این اتصالات با اتصال ساده‌تری افتادند. شواهد موجود نشان می‌دهد که در ساخت و ساز معمول ساختمان‌های فلزی در ایران، بخصوص در شهرستان‌ها به علت کمبود امکانات نظیر وجود افراد متخصص در زمینه‌های مختلف کارهای ساختمانی از اتصالات مرسوم به اتصال خورجینی استفاده می‌شود. با وجود این که در رابطه با رفتار اتصالات خورجینی در زلزله‌ها اشکالات فراوانی وجود دارد و هنوز شیوه‌ای مناسب برای طراحی این اتصال پیشنهاد نگردیده است، در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران استفاده از این اتصال همراه با فرض قاب ساده ساختمانی برای این نوع قاب‌ها و قرار دادن ضریب $R=6$ ، مجاز شمرده شده است.

آتش‌سوزی خطری بالقوه در ساختمان‌های فولادی است، لذا باید به گونه‌ای ساخته شوند که بتوانند ایمنی جانی افراد و کارایی خود را حفظ نمایند.

طراحی سازه در شرایط آتش‌سوزی به خاطر نیروهای داخلی ایجاد شده در اثر انبساط حرارتی، کاهش مقاومت و رفتار غیرخطی مصالح در دماهای بالا، تغییر شکل‌های بزرگ‌تر و عوامل متعدد دیگر، اغلب از پیچیدگی بالایی برخوردار است.

حرارت با استفاده از روش عددی اجزاء محدود و با بکارگیری نرم‌افزار آباکوس ارزیابی شده‌اند. مدل‌های مورد استفاده به کمک مدل آزمایشگاهی از طریق دامنه الاستیک و پلاستیک تا زمان گسیختگی صحت سنجی شده و ضمن نتایج عددی، اثر تغییر شکل‌های بزرگ در ناحیه غیرخطی لحاظ شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اتصال با صفحه انتهایی عملکرد بهتری در برابر حرارت نسبت به سایر اتصالات نشان می‌دهد. همچنین کاهش سختی و کمانش جانبی در این اتصال کمتر از سایر اتصالات مورد بررسی است [۱۴]. نصیری و همکاران در سال ۱۳۹۳، رفتار انواع اتصالات فولادی در برابر آتش‌سوزی و مقایسه عملکرد آن‌ها را مورد بررسی تخصصی قرار داده و بیان کردند که با وجود مزایای زیاد سازه‌های فولادی، حساسیت فولاد به دما یکی از ضعف‌های مهم آن می‌باشد. همچنین ضعف اتصال می‌تواند عامل بسیار تعیین‌کننده‌ای در خرابی سازه‌های فولادی باشد [۱۵]. رضائیان و یحیایی در سال ۱۳۹۴، رفتار اتصالات فولادی تیر به ستون در شرایط آتش‌سوزی را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که اتصالات تأثیر بسزایی بر زمان تحمل اجزاء سازه‌ها در معرض آتش دارند. از این روی رفتار دو نوع از اتصالات مفصلی و صلب رایج در سازه‌های فولادی ایران که بر اساس ملاحظات آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی آمریکا و ایزو ۸۳۴ در مقیاس واقعی طراحی و تحت اثر آتش آزمایش شده‌اند، ارائه گردیده است. پاسخ‌های حرارتی و مکانیکی نمونه‌ها و مودهای خرابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج این بررسی علاوه بر ایجاد شناخت لازم از رفتار این گونه اتصالات در آتش، اطلاعات مفیدی به دست می‌دهد که می‌تواند در ارائه راهکارهای

در آیین‌نامه‌های طراحی فعلی نظیر یوروکد^۱ [۱] و AIC [۲] تأثیر نوع اتصال بر رفتار تیرها در آتش هنوز لحاظ نشده است که این امر ناشی از کمبود تحقیقات و داده‌های آزمایشگاهی لازم جهت تدوین روش‌های کاربردی طراحی در این زمینه می‌باشد. آزمایش‌های آتش بسیار گران و مشکل بوده و از پیچیدگی‌های خاصی برخوردارند. شناخت عملکرد سازه‌های فولادی در آتش می‌بایست با مشاهده رفتار مدل‌های فیزیکی آغاز گردد. اغلب آزمایش‌ها تاکنون بر روی اعضای منفرد سازه‌ای و اتصالات انجام شده است [۲-۵].

با بررسی‌های کتابخانه‌ای مشخص گردید که آزمایش‌های عملکرد سازه‌های فولادی در آتش بسیاری از جنبه‌های رفتار سازه‌ای ناشی از اندرکنش بین اعضای مجاور در آن قابل مطالعه نمی‌باشند. از طرفی انجام آزمایش‌های آتش بر روی تیرها در یک سازه فولادی کامل نظیر آزمایش‌های آتش کاردینگتون بسیار گران خواهد بود [۶]. با بررسی‌های کتب و مقالات نتیجه شد که آزمایش یک تیر فولادی با مهار محوری می‌تواند نیروهای واقعی وارد بر تیر و اتصالات آن در آتش‌سوزی را شبیه‌سازی نماید. تاکنون تعدادی از محققان با استفاده از این روش موفق به مطالعه رفتار تیرهای فولادی با برخی اتصالات در آتش گردیده‌اند [۷-۱۱]. از طرفی با توجه به لزوم تهیه امکانات خاص و هزینه‌های بالای انجام آزمایش‌های آتش بر روی سازه‌ها، بکارگیری مدل‌های عددی صحت سنجی شده ابزاری مفید و جذاب در این زمینه می‌باشد [۱۳، ۱۲]. در آخر با توجه به محدود بودن امکان بررسی آزمایشگاهی و محدود بودن تحقیقات مرتبط به رفتار تیرهای

¹ Eurocode 3: Design of steel structures,

² American Institute of steel construction

³ Isolated structural members

طراحی این اجزاء در سازه‌های فولادی تحت اثر آتش مورد توجه قرار گیرند [۱۶]. رضائیان و یحیایی در سال ۱۳۹۴، رفتار تیر و اتصالات پیچی در قاب‌های خمشی درختی را تحت اثر آتش مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. بدین منظور دو قاب فولادی با اتصالات متفاوت در مقیاس واقعی تحت اثر آتش استاندارد ایزو ۸۳۴ آزمایش گردید. رفتارهای سازه‌ای و حرارتی نمونه‌ها در آتش، شامل تاریخچه دماها، نمودارهای دما خیز و زمان خیز تیر، دما دوران اتصال و مودهای خرابی مطالعه شده است که محقق بیان کرد که اتصال تیر میانی به دستک به علت گسیختگی برشی پیچ‌های وصله بال بالایی در دمای بالاتر از ۷۵۰ درجه سانتیگراد دچار خرابی می‌گردد و این در حالی است که تیر خیزهای بزرگی بیش از یک‌بیستم دهانه را تجربه نمی‌نماید. همچنین استفاده از ورق‌های دابل با پیچ‌های دو برشه در وصله بال می‌تواند باعث بهبود تاب حرارتی و ظرفیت دورانی اتصالات وصله‌ای پیچی تیر شود [۱۷]. زیارتی و همکاران در سال ۱۳۹۴ اثر حرارت بر روی اتصالات پیچی را با استفاده از روش اجزاء محدود مورد بررسی تخصصی قرار داده و بیان کردند که اتصالات تیر به ستون به مقدار قابل توجهی و دو تیر طره به طول ۳۶۰۰ میلی‌متر با مقطع IPE 120 استفاده گردید. همچنین در صحت سنجی بارهای وارده بنا بر اطلاعات موجود در مقاله تجربی بارها در فاصله ۱۵۰۰ میلیمتری از ابتدای تیر وارد شده‌اند [۲۰].

آزمایش در سه مرحله انجام شد که در ابتدا نمونه‌ها تا رسیدن به تراز بار از پیش تعیین شده بارگذاری شدند. سپس در حالی که بار ثابتی بر روی نمونه‌ها اعمال می‌شد، کوره روشن گردید. نهایتاً وقتی که گسیختگی در اتصال رخ داد کوره خاموش شد. دمای کوره متناسب با منحنی ISO 834 افزایش داده شد. جهت اندازه‌گیری داده‌های لازم از شیب‌سنج، ترانس دیوسرهای جابجایی و ترموکوپل استفاده گردید [۲۰].

۳-۱- مشخصات نمونه تجربی استفاده شده برای

صحت‌سنجی

میان چند نمونه که با دماهای مختلف مورد بررسی تجربی قرار گرفته، دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد جهت بررسی تحلیلی توسط نرم‌افزار انتخاب شده است. مدل مورد نظر به وسیله نرم‌افزار آباکوس که مشخصات آن در جدول (۱ و ۲) آمده است جهت بررسی قرار گرفته است.

مدول یانگ فولاد برابر ۲۱۰۰۰۰ مگا پاسکال و ضریب پواسون فولاد ۰/۳ می‌باشد [۲۱]. شکل (۲) نمایی از مونتاژ قطعات را نشان می‌دهد که پس از مونتاژ قطعات بارگذاری مورد نیاز طبق بررسی عددی اعمال می‌گردد.

فولادی با اتصال خورجینی در شرایط آتش‌سوزی به صورت آزمایشگاهی [۱۱، ۴، ۱۰، ۳] در این تحقیق به منظور بررسی مدل‌های مختلف و انتخاب حالت بهینه در شرایط آتش‌سوزی، یک نمونه آزمایشگاهی را به وسیله نرم‌افزار آباکوس^۴ صحت‌سنجی کرده و پس از صحت‌سنجی و مطابقت مدل تجربی و مدل عددی اقدام به توسعه مدل شده است تا بهینه‌ترین حالت در شرایط آتش‌سوزی برای اتصالات خورجینی به دست آید.

۲- پیشینه تجربی پژوهش

کهزادیان و همکاران در سال ۱۳۹۳، رفتار اتصالات صلب رایج فولادی تحت اثر آتش‌سوزی را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که یکی از مهم‌ترین اعضای سازه‌های فولادی ناحیه اتصال به ویژه اتصال تیر به ستون است. اتصال صلب در قاب‌های خمشی فولادی نقش ویژه‌ای در رفتار این سازه‌ها داشته و مقاومت و پایداری این اتصالات تحت اثر آتش‌سوزی می‌تواند حائز اهمیت باشد. در این بررسی رفتار پنج نوع اتصال صلب فولادی رایج در ایران تحت اثر بر رفتار سازه‌ها چه در دمای معمولی و چه در دماهای بالا تاثیر دارند.

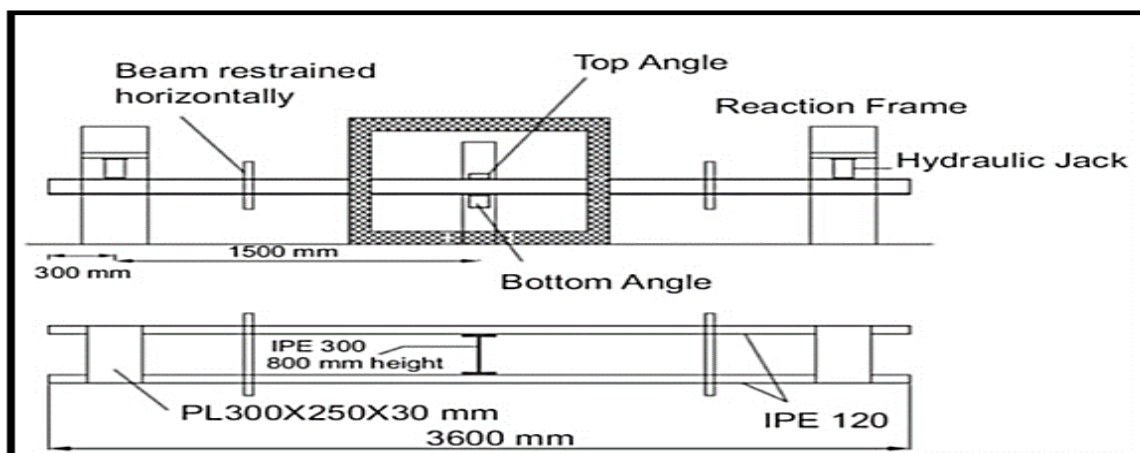
وقتی سازه‌های فولادی در معرض آتش قرار می‌گیرند قابلیت تحمل آن‌ها به شدت کاهش پیدا می‌کند و عملکرد اتصال در این مورد اهمیت خاص می‌یابد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی آتش‌سوزی‌های واقعی و همچنین آزمایش‌های که با مقیاس واقعی صورت گرفته‌اند به خوبی مشخص می‌کنند که اتصالات بر زمانی که اعضای سازه‌ای در آتش قرار دارند تاثیر قابل توجهی دارند. ولی با این وجود به دلیل هزینه بالایی که آزمایش‌های در دمای بالا دارند در مورد طیف گسترده‌ای از اتصالات اطلاعات آزمایشگاهی کافی موجود نیست که به همین دلیل در آیین‌نامه‌های طراحی کنونی تاثیر آن‌ها به خوبی در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر آن استفاده موثر از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی رفتار کلی سازه‌ها در دمای بالا با محدودیت‌های زیادی مواجه می‌شوند [۱۸]. غلامرضا عبدالله زاده و همکاران در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی برای بررسی تاثیر آتش در اتصالات^۵ RCS (تیر عبوری) بیان کردند که قالب‌های RCS چون از ستون‌های بتنی هستند مقاومت بیشتری در برابر آتش دارند همچنین استفاده از سخت‌کننده‌ها باعث افزایش مقاومت در مقابل آتش می‌شود به گونه‌ای که این اتصالات نسبت به اتصالات فولادی دارای دوران کمتری می‌باشند و مفصل پلاستیک در اتصالات مرکب با فاصله بیشتری نسبت به اتصالات فولادی تشکیل می‌شود [۱۹].

۳-صحت‌سنجی عددی

نمونه تجربی صحت‌سنجی شده در داخل یک کوره گازی که بدین منظور طراحی شده بود انجام گردید. چیدمان آزمایش‌ها در شکل (۱) مشاهده می‌شود. در تمام آزمایش‌ها از یک چیدمان صلیبی متقارن که متشکل از یک ستون تکی به ارتفاع ۸۰۰ میلی‌متر با IPE 300

⁴ ABAQUS

⁵ Rich Communication Service



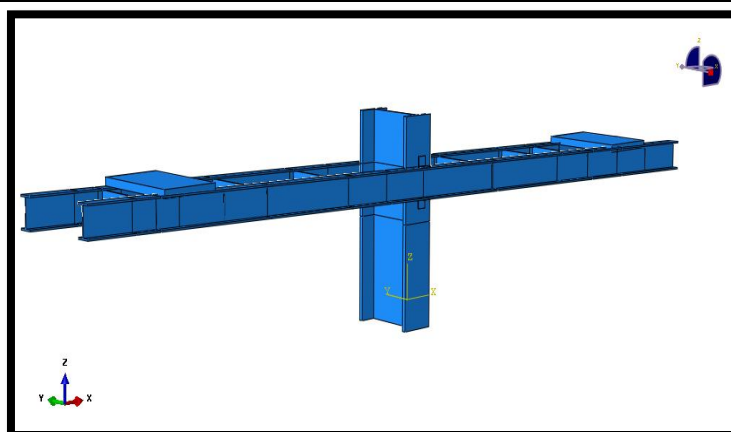
شکل ۱- چیدمان آزمایش‌های اتصال نبشی جوشی [۲۰]

جدول ۱- مشخصات نمونه جهت مدل‌سازی [۲۰]

SPSW (S4)	نمونه‌ها
IPE300	ستون
IPEE120	تیرها
30(mm)	ضخامت ورق فولادی بارگذاری
۱ (mm)	ضخامت ورق فولادی اتصال

جدول ۲- مشخصات فولاد در نمونه‌های یک طبقه

Section type	Yield stress(N/mm ²)	Ultimate strength(N/mm ²)
IPE300, IPEE120	۲۳۵	۴۲۰
Plate	۲۸۰	۴۲۰



شکل ۲- نمایی از منتاژ مدل عددی مورد بررسی با المان Solid

۳-۲- بارگذاری نمونه تجربی

اتصالات نبشی در آزمایش‌ها تحت تاثیر دو عامل یعنی لنگر ناشی از بارهای ثقلی و کاهش مقاومت و سختی فولاد در اثر افزایش حرارت قرار دارند و به علت ترکیب اثر این دو عامل در نهایت دچار گسیختگی می‌شوند. لذا هرچه لنگر وارده بیشتر باشد اتصالات در درجه حرارت پایین‌تری گسیخته می‌شوند. از آن جایی که هدف از این تحقیق بررسی رفتار اتصالات در دماهای بالا می‌باشد سعی شد تا لنگر وارده به نحوی انتخاب شود که گسیختگی زود هنگام در اتصالات رخ ندهد و اتصال توانایی تحمل دماهای بالاتری را داشته باشد تا بدین وسیله امکان بررسی رفتار اتصال در حرارت بالا میسر شود. لذا ابتدا میزان ظرفیت دورانی هر اتصال به صورت تئوری محاسبه شد و سپس لنگر وارده به صورت ضریبی از این ظرفیت دورانی به هر نمونه اعمال شده است. در نمونه مورد بررسی لنگر وارده $4/25 (N.m)$ و تراز لنگر $0/2$ نیوتن متر در نظر گرفته شده است. جدول (۳).

۳-۳- بررسی توزیع تنش و خرابی نمونه تجربی

در تصویر (۳) تنش در جابجایی نهایی نشان داده شده است. همانطور که در این تصویر مشاهده می‌شود تنش در وسط مدل و در محل اتصال خورجینی تیر به ستون بیش از نواحی دیگر است. میزان مطابقت شکل (۳) که برگرفته از بررسی عددی است با شکل (۴) که در مقاله تجربی به عنوان خروجی حاصله معرفی گردیده، نشان دهنده رفتار صحیح و مدل‌سازی درست مدل آزمایشگاهی به وسیله نرم‌افزار آباکوس می‌باشد.

اثر فشار موجود بر روی تیرها که باعث ایجاد ترک در میان مدل فولادی می‌شود به صورت تمرکز تنش در ناحیه اتصال خورجینی تیر به ستون مشهود است. چنانچه این اتصال دارای مقاومت زیاد نباشد فشار ایجاد شده در میان تیر قبل از این که اتصال به گسیختگی برسد باعث گسیختگی المان‌های سازه مورد بررسی می‌شود.

همانطور که در دو شکل (۳) و (۴) مشاهده می‌گردد، پس از بررسی تطابق خوب بین دو شکل، بیشترین میزان تمرکز تنش در وسط مدل و در کنار اتصال خورجینی مشاهده می‌شود و هر چه به انتهای تیر حرکت شود میزان تنش کمتر است. با توجه به این مسئله که بارگذاری مکانیکی در انتهای مدل است ولی تنش ظاهر شده به خاطر وجود بار حرارتی است.

۳-۴- نتیجه‌گیری صحت سنجی

مقایسه‌ای که در شکل (۵) آورده شده است نشان می‌دهد تطابق بسیار خوبی بین دو روش در ناحیه خطی وجود دارد شیب ناحیه خطی به دست آمده توسط نرم‌افزار با تقریب بسیار خوبی منطبق بر قسمت خطی نمودار آزمایشگاهی می‌باشد.

این پدیده نشان می‌دهد که روش‌های استفاده شده برای مونتاژ المان‌های مدل تا حد بسیار زیادی قابل قبول است.

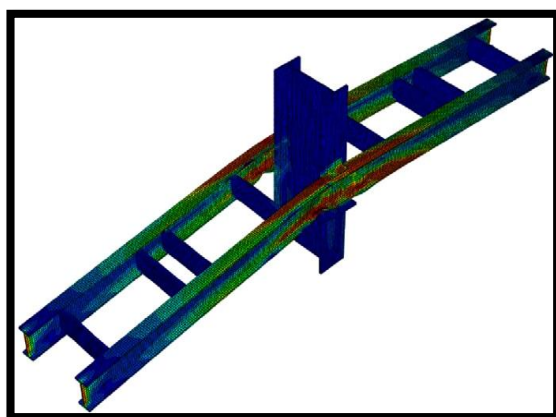
همچنین المان‌های مدل تا حد بسیار زیادی قابل قبول است. همچنین مقدار نهایی دو نمودار بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد. بنابراین مقاومت نهایی انتخابی در مدل از دقت خوبی برخوردار است. تغییر مکان‌ها به ۹۵ میلی‌متر (۱۱۰ جابجایی بر حسب millirads) محدود گشته است. با توجه به این که نتایج آزمایشگاهی تا همین تغییر مکان در دسترس بوده است آنالیز مدل در نرم‌افزار تا این تغییر مکان ادامه داده شده است.

نتایج به دست آمده در شکل (۵) نشان می‌دهد که روش استفاده شده برای مدل‌سازی قابل اعتماد می‌باشد. لذا در توسعه مدل از همین مشخصات استفاده می‌شود.

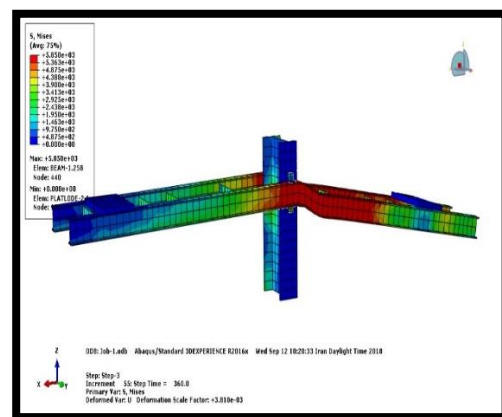
پس می‌توان نتیجه گرفت که نتایج نمونه آزمایشگاهی به وسیله نرم‌افزار شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از تحقیق مرجع قابل اطمینان با متوسط ۶ درصد خطا (اختلاف) می‌باشد. لذا با ایجاد تغییرات در پارامترهای مؤثر در مقاومت نهایی می‌توان حالت بهینه را انتخاب نمود.

جدول ۳- جهت بار و شرایط مرزی مدل آزمایشگاهی [۲۰]

شرایط مرزی و درجه آزادی				جهت بار	جایگاه در مدل
UR1;UR2;UR3	x	y	z		
صفر	صفر	صفر	صفر	ندارد	پایه ستون اصلی
صفر	صفر	صفر	صفر	ندارد	اتصال تیر به ستون
صفر	صفر	صفر	صفر	در جهت Z	پلیت
صفر	---	---	-۱	در جهت Z	دو تیر اصلی



شکل ۴- نمونه تنش حاصل از مقاله آزمایشگاهی



شکل ۳- نمونه تنش حاصل از بررسی عددی مدل آزمایشگاهی

۴- توسعه مدل

به منظور توسعه مدل و ارائه نتایج کامل و واضح برای متغیر دما و زمان چندین نمونه به طور عددی مورد بررسی قرار گرفتند که در آخرین بخش نتایج حاصل از بررسی عددی شرح داده خواهد شد. جدول (۴).

۴-۱- بررسی عددی تغییرات دمایی

مدل‌های مربوط به تغییرات دمای سازه با استفاده از مشخصات مدل اصلی، ساخته شده است و در آن تیرها در دماهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار گرفته است؛ مدل‌های مذکور به ترتیب به نام‌های BSFT900، BSFT800، BSFT700، BSFT600، BSFT500، BSFT1000، BSFT1100، BSFT1200 و BSFT1300 معرفی شده است.

هدف از طراحی این مدل‌ها، بررسی اثر حرارت تیر فولادی تحت اثر آتش بر روی تنش جاری شدن نمونه و میزان خرابی می‌باشد.

در شرایط تجربی و در شرایط طراحی اتصال دو تیر و دو تسمه که ابعاد آن‌ها از ابعاد بال تیرها کمتر نیست، بال‌های فوقانی ضمن اتصال به تسمه فوقانی اتصال خورجینی و اتصال بال فوقانی به بال تحتانی به وسیله جان تیر، بال تحتانی اتصال لازم را با تسمه تحتانی اتصال خورجینی برقرار می‌کند.

سر تسمه در امتداد محور طولی تیر باید به صورت کامل به بال تیر اتصال برقرار کند.

در نمونه با دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد اولین نمونه‌ای است که در نقاط اتصال تیر به ستون و ناحیه اتصال، میزانی از انرژی وارد شده را به ستون اصلی سازه منتقل می‌کند. همچنین شاهد ایجاد ناحیه تنش در ستون اصلی بوده‌ایم. (شکل ۹). نمونه‌های قبل از دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد انرژی وارد شده را به ستون منتقل نکرده و تنش فقط در نقطه اتصال خورجینی اتفاق می‌افتد.

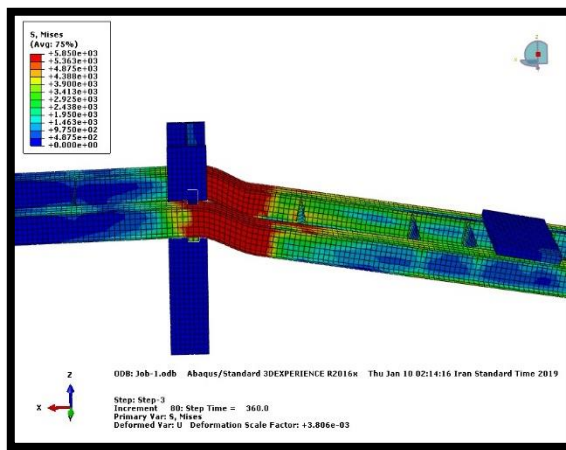
در نمونه با دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد تغییر شکل در F_u برابر $5850 \text{ (kgF/cm}^2\text{)}$ حالت ثابتی را به خود گرفته است. نمونه‌ها پس از این که تحت اثر آتش قرار گرفتند، تنش حاصل در تیر و در محل اتصال

تیر به ستون حاصل گردیده است. شکل (۱۰). همچنین در دیگر نمونه‌ها پس از این که در معرض آتش قرار گرفتند همانند دیگر نمونه‌ها تنش فقط در تیر اتفاق افتاده است. در دیگر نمونه‌ها به سبب درجه بالای حرارت و ارتفاع تیر فولادی، تنش تا انتهای تیر پیش نرفته و هر چه میزان طول تیر افزایش پیدا کند درصد کمتری از تیر فولادی در معرض تنش قرار می‌گیرد. نمونه تجربی و عددی با طول ۳۶۰ سانتیمتر، درصد معادل با ۷۰ درصد آن دچار تنش شده است.

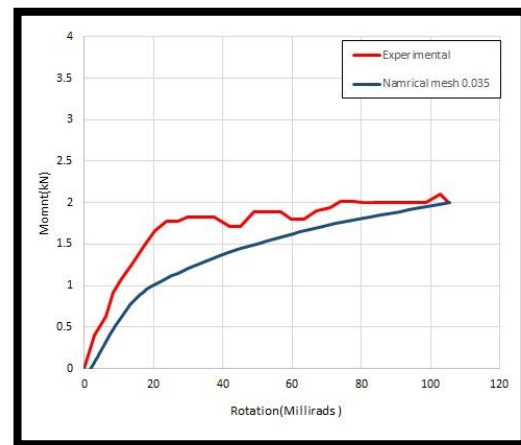
در هیچ کدام از مدل‌ها میزان تنش تا انتهای تیر پیش‌روی نکرده اما جابجایی در همه مدل‌ها مشاهده می‌شود. تغییر شکل از لحاظ جایگاه در همه نمونه‌ها تقریباً مشابه است. محل تغییر شکل در همه نمونه‌ها در کنار ستون اصلی و محل اتصال می‌باشد. همچنین ذکر این نکته ضروری است که به اتصال خورجینی هیچ‌گونه تنشی وارد نشده و فقط تیر اصلی است که در معرض تنش قرار می‌گیرد. در نمونه اولیه که به ستون اصلی تنش وارد گردیده و این

کلیه نمونه‌های مورد بررسی عددی دارای F_u برابر ۹۷۵۰۰۰ تا ۴۸۷۵۰۰۰ (kgF/cm^2) هستند که انتظار می‌رود هیچ‌گونه تغییر شکلی در نمونه‌ها تا رسیدن به حداقل میزان F_u حاصل نگردد. همچنین اولین نقطه جاری شدن در حداقل (kgF/cm^2) ۴۷۷۵۰۰۰ باشد. در اولین نمونه، تیر اصلی دارای طولی برابر ۳۶۰ سانتیمتر می‌باشد، اولین نقطه جاری شدن نمونه مورد بررسی در F_u برابر (kgF/cm^2) ۹۶۵۰۰۰ می‌باشد که این میزان از F_u جابجایی فولاد در شرایطی به غیر از شرایط آتش بسیار کمتر است. شکل (۶) و (۷).

در شرایط طراحی تیرها باید حتی الامکان به بر ستون و یا صفحه‌ای که در محل گره اتصال روی ستون نصب شده است بچسبند. در نمونه تجربی با دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد تنش حاصل از حرارت آتش توسط اتصال مهارگردیده و با ایجاد انعطاف لازم یا انعطاف پذیری مطلوب اتصال تیر به ستون باعث تخلیه انرژی می‌گردد. شکل (۸) و (۹).



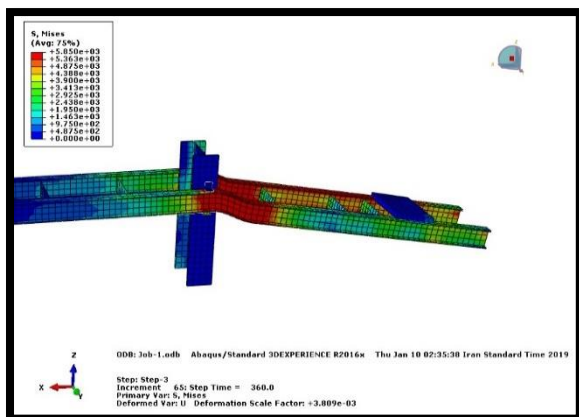
شکل ۶- اولین نقطه جاری شدن نمونه BSFT500



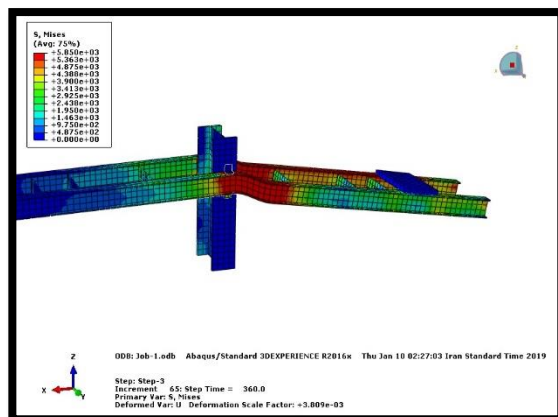
شکل ۵- مقایسه نمودار بررسی آزمایشگاهی و عددی

جدول ۴- مشخصات مدل‌های توسعه‌یافته

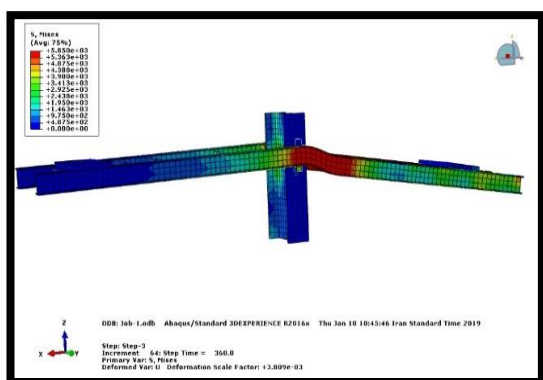
نام مدل	زمان آتش (ثانیه)	نام مدل	مقدار دما (درجه سانتیگراد)
BSFS360	۳۶۰	BSFT500	۵۰۰
BSFS540	۵۴۰	BSFT600	۶۰۰
BSFS720	۷۲۰	BSFT700	۷۰۰
BSFS900	۹۰۰	BSFT800	۸۰۰
BSFS1200	۱۲۰۰	BSFT900	۹۰۰
BSFS1500	۱۵۰۰	BSFT1000	۱۰۰۰
BSFS1800	۱۸۰۰	BSFT1100	۱۱۰۰
		BSFT1200	۱۲۰۰
		BSFT1300	۱۳۰۰



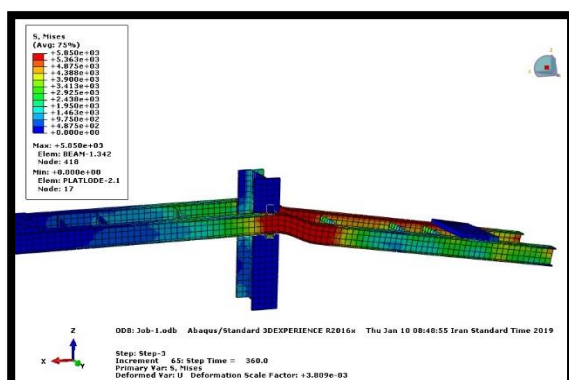
شکل ۸- اولین نقطه جاری شدن نمونه BSFT700



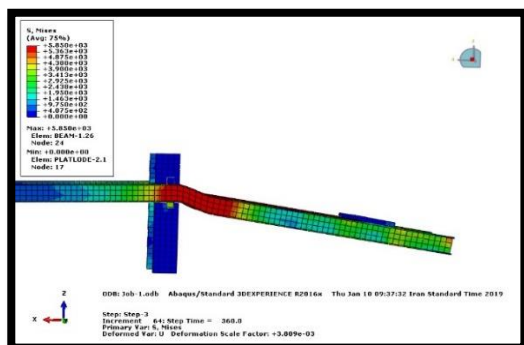
شکل ۷- اولین نقطه جاری شدن نمونه BSFT600



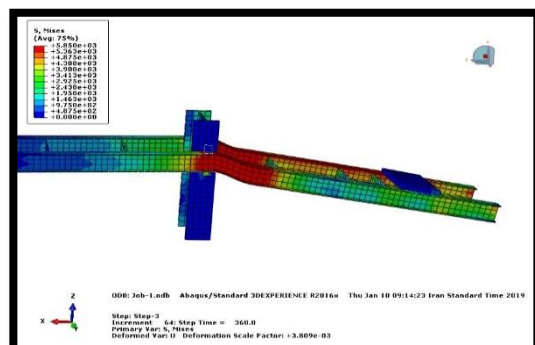
شکل ۱۰- نمایی از تنش جاری در نمونه BSFT900



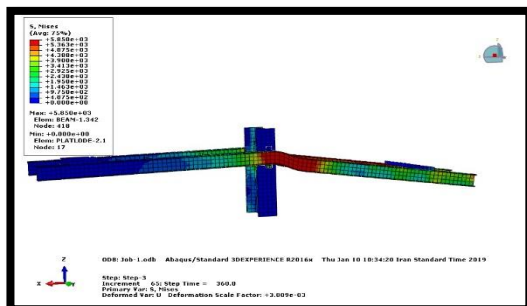
شکل ۹- اولین نقطه جاری شدن نمونه BSFT800



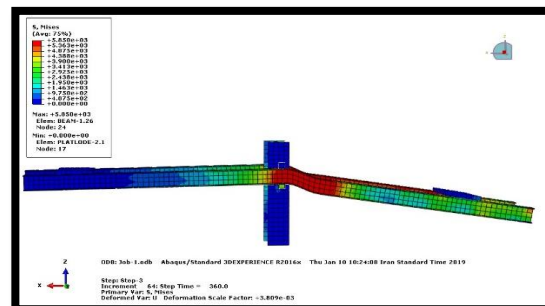
شکل ۱۲- نمایی از تنش جاری در نمونه BSFT1100



شکل ۱۱- نمایی از تنش جاری در نمونه BSFT1000



شکل ۱۴- نمایی از تنش جاری در نمونه BSFT1300



شکل ۱۳- نمایی از تنش جاری در نمونه BSFT1200

افزایش پیدا کرده که با افزایش درجه حرارت میزان جابجایی و تغییر شکل افزایش یافته است. همچنین در دماهای ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد میزان انرژی و جابجایی کل باعث شده تا مدل مورد نظر دچار تغییرات شود. البته این میزان نتایج گویای مطالب زیادی است. وقتی نمونه در معرض آتش قرار می‌گیرد تغییر حاصل در کل تیر اتفاق می‌افتد. همان‌طور که در مطالب قبلی عنوان شد محل ایجاد تنش، جابجایی و خرابی در محل اتصال تیر به ستون بوده و در کناره محل اتصال خورجینی اتفاق می‌افتد که تیرهای کوتاه توان تحمل تنش کافی را نداشته و مقداری از تنش را به ستون اصلی منتقل می‌کند.

جدول ۵- میزان مقاومت نهایی تغییرات دما تیر اصلی در نمونه‌ها

Model	مقاومت نهایی (KN)
BSFT500	۲۴۹۴
BSFT600	۲۵۵۵
BSFT700	۲۶۳۰
BSFT800	۲۵۵۶
BSFT900	۱۲۷۶
BSFT1000	۱۱۹۶
BSFT1100	۱۱۱۶
BSFT1200	۱۰۷۵
BSFT1300	۱۰۱۴

هدف از طراحی این مدل‌ها، بررسی اثر زمان قرارگیری تیر فولادی تحت اثر آتش بر روی تنش جاری شدن نمونه و میزان جابجایی می‌باشد. در شرایط طراحی، تیرها باید حتی‌الامکان به بر ستون و یا صفحه‌ای که در محل گره اتصال روی ستون نصب شده است بچسبند. نمونه‌های مورد بررسی به همراه مشخصات نمونه تجربی در جدول (۱) آمده است. برای تیرهای فولادی در معرض آتش دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و تحلیل از نوع استاتیکی در نظر گرفته شده است. در کل بازه زمانی سازه در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و تنظیم پروفایل حرارتی طبق آیین‌نامه (جدول فنی آیین‌نامه بتن - مبحث ۹ مقررات ملی ایران، ضوابط ویژه طراحی در برابر آتش‌سوزی) نشان می‌دهد که تقریباً یک‌سوم بازه زمانی طول می‌کشد تا دما به حالت مطلوب برسد و پس از آن سیر ثابتی را طی خواهد کرد. پس از اعمال بار حرارتی در سازه، در بازه زمانی موردنظر، در ۷ مدل مورد بررسی این میزان حرارت در ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است. چون در بازه‌های زمانی متفاوتی حرارت به ۷ نمونه مورد بررسی اعمال شده تأثیرات حرارت و میزان جابجایی آن متفاوت است. شکل‌های (۱۶) تا (۲۲). تصاویر کانتورهای تنش را نشان می‌دهد که در نمونه‌های ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ و ۹۰۰ ثانیه تنش حاصل از قرارگیری مدل در معرض آتش به وسیله اتصال خورجینی مهار شده و ایجاد انعطاف‌پذیری کافی و لازم از انتقال آن به ستون اصلی جلوگیری کرده تا موجب تخریب سازه نگردد. سازه و اتصال موجود در سازه مورد بررسی تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد از خود مقاومت نشان داده و از انتقال نیرو به سازه جلوگیری کرده است.

قضیه گویای این مطلب است که در نمونه‌های شکل (۸) (۹) و (۱۰) تیر و اتصال با شکل‌پذیری لازم، تنش را جذب کرده و از ورود تنش به ستون اصلی جلوگیری می‌کند؛ و در مواردی مانند نمونه BSFT1000 در شکل (۱۱) (۱۲) (۱۳) و (۱۴) که در بازه دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد است، تیر به تنهایی قابلیت تحمل تنش را نداشته و درصدی از تنش را به ستون اصلی منتقل می‌کند. در کلیه مدل‌های مورد بررسی قرارگرفته از لحاظ مقاومت نهایی، هر چه میزان تولید حرارت افزایش یابد، مقاومت نهایی کاهش پیدا می‌کند که این میزان به بیش از یک‌سوم می‌رسد. جدول (۵). همچنین در بررسی مدل‌های با دمای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد نشان داده است که با افزایش درجه حرارت میزان انرژی

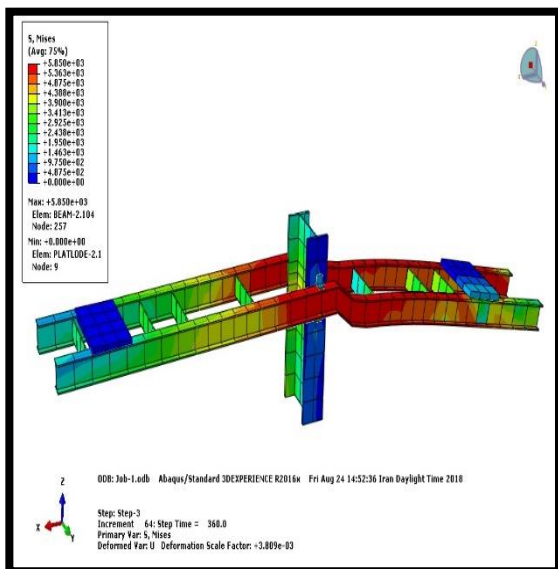
میزان تغییر شکل مدل مورد بررسی تا دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد به میزان ثابتی بوده و پس از دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد میزان تغییر شکل در مدل مورد بررسی دچار جهش می‌گردد. حال در دماهای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد با افزایش درجه حرارت میزان جابجایی افزایش یافته ولی میزان مقاومت سازه کاهش خواهد یافت. شکل (۱۵). البته این میزان نتایج گویای مطالب زیادی است، وقتی نمونه در معرض آتش قرار می‌گیرد تغییر حاصل در کل تیر اتفاق می‌افتد. میزان خرابی و جابجایی و تنش در تیر مربوط به سازه در محل اتصال خورجینی و در کنار اتصال تیر اصلی به ستون است. لذا این میزان جابه‌جایی تا انتهای تیر پیشروی نکرده و میزان جابجایی کاهش می‌یابد به همین علت است که تنش جابجایی در تیرهای فولادی تحت تأثیر آتش با طول تیر رابطه عکس دارد، هرچه میزان طول تیر بیشتر باشد و تحت تأثیر آتش قرار می‌گیرد میزان جابجایی در آن کاهش می‌یابد.

۲-۴- بررسی عددی تغییرات زمان قرارگیری اتصال در معرض آتش

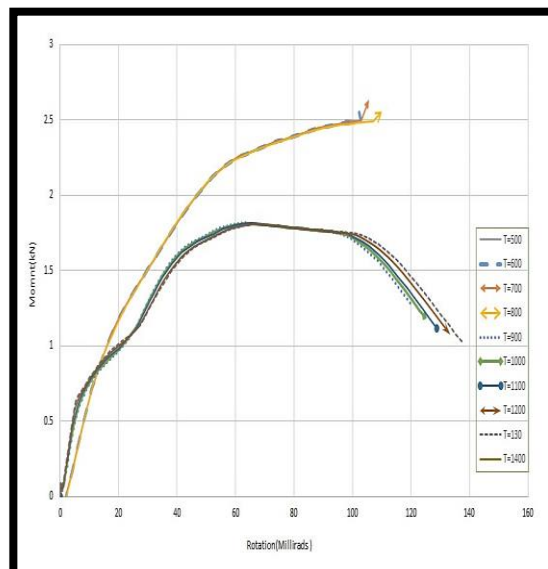
مطالعات کتابخانه‌ای متعدد نشان داده است که زمان قرارگیری سازه در معرض آتش می‌تواند تأثیر بسزایی در رفتار تیرهای فولادی تحت اثر آتش داشته باشد که به این منظور زمان قرارگیری سازه در ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ ثانیه مورد

ولی در ۱۲۰۰ ثانیه مقاومت اتصال کاهش یافته و تنش به تیر اصلی منتقل می‌گردد. (شکل ۲۰).

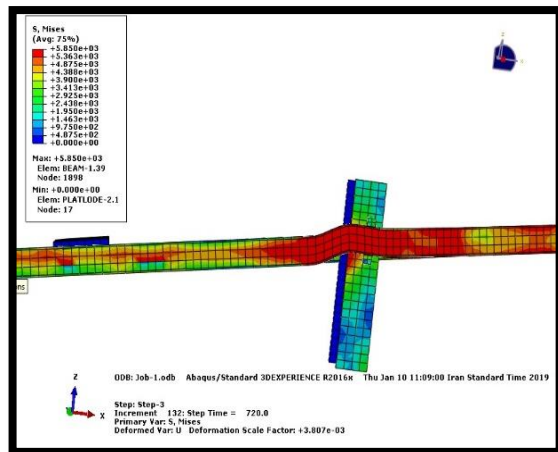
بررسی تخصصی قرار داده شده است. مدل‌های مذکور به ترتیب به نام‌های BSFS900، BSFS720، BSFS540، BSFS360، BSFS1800 و BSFS1500 معرفی شده است.



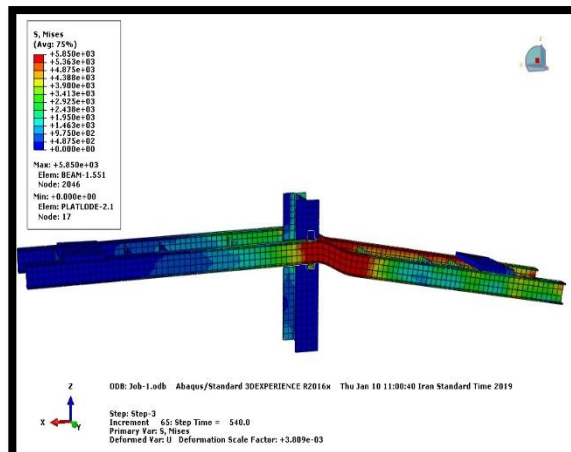
شکل ۱۶- تغییرات سازه در ۳۶۰ ثانیه در معرض آتش



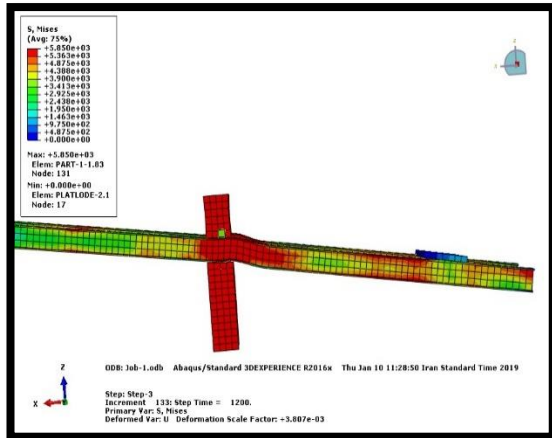
شکل ۱۵- میزان جابجایی حاصل از بررسی کل سازه اصلی



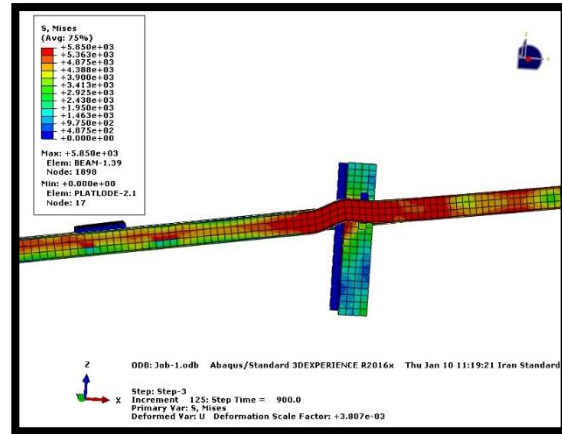
شکل ۱۸- تغییرات سازه در ۷۲۰ ثانیه در معرض آتش



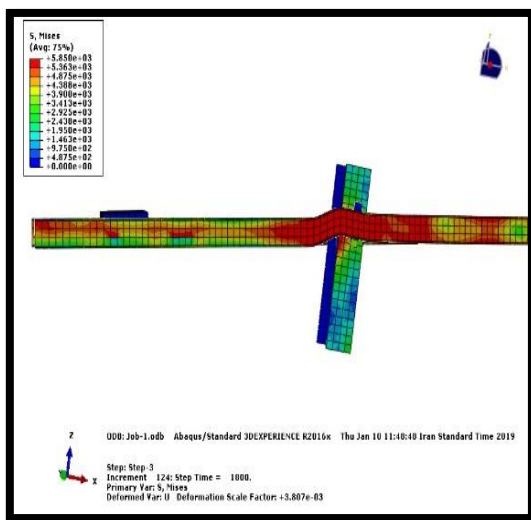
شکل ۱۷- تغییرات سازه در ۵۴۰ ثانیه در معرض آتش



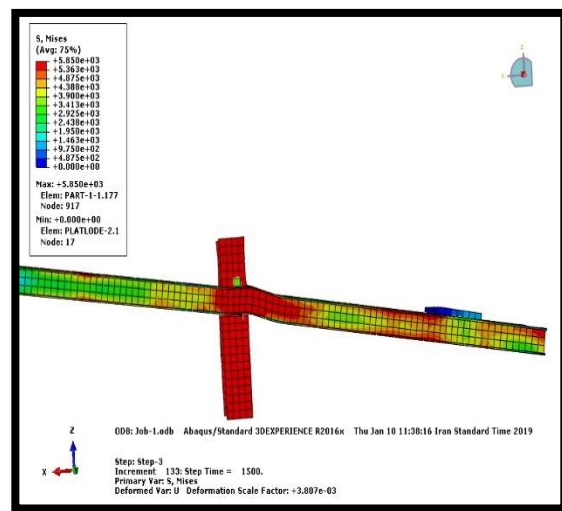
شکل ۲۰- تغییرات سازه در ۱۲۰۰ ثانیه در معرض آتش



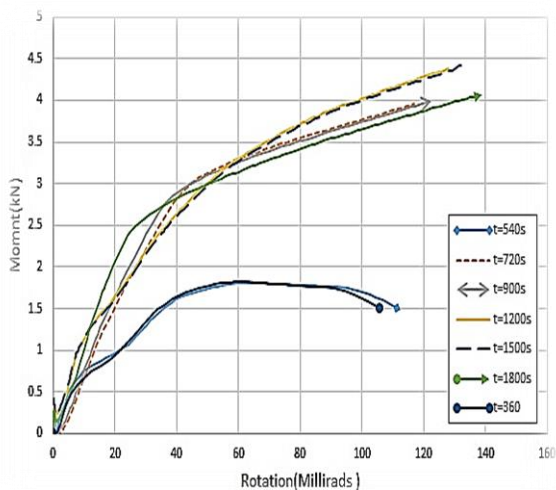
شکل ۱۹- تغییرات سازه در ۹۰۰ ثانیه در معرض آتش



شکل ۲۲- تغییرات سازه در ۱۸۰۰ ثانیه در معرض آتش



شکل ۲۱- تغییرات سازه در ۱۵۰۰ ثانیه در معرض آتش



شکل ۲۳- نمودار تغییرات در بازه‌های زمانی متفاوت مطالعه عددی

به منظور بررسی اولین نقطه جاری شدن نمونه‌ها همچنین در بررسی میزان خرابی اولیه مشخص گردید که هیچ‌گونه خرابی در نمونه‌ها، مشاهده نشده است. جدول (۶).

جدول (۷) مقاومت نهایی نمونه‌های بررسی عددی پیش از نقطه جاری شدن را نشان می‌دهد. استخراج داده‌ها پس از بررسی عددی نمونه‌ها، نشان داده است که با ۳ برابر شدن میزان نیوتن (از ۱/۵ تا ۴/۵ کیلو نیوتن) میزان جابجایی به میزان ۳۰ درصد افزایش یافته است. شکل (۲۳)

جدول ۶- مشخصات و اولین نقطه جاری شدن نمونه‌های بررسی عددی

نمونه	MODEL	اولین نقطه جاری شدن (kgF/cm ²)	نتیجه خرابی	نتیجه تغییر شکل
IPE120	BSFS360	۳۸۹۰	ندارد	دارد
	BSFS540	۳۶۸۹	ندارد	دارد
	BSFS720	۳۴۴۴	ندارد	دارد
	BSFS900	۳۲۸۷	ندارد	دارد
	BSFS1200	۳۱۴۸	ندارد	دارد
	BSFS1500	۳۰۱۷	ندارد	دارد
	BSFS1800	۲۸۹۳	ندارد	دارد

جدول ۷- میزان تغییرات مقاومت نهایی نمونه‌های بررسی عددی

Model	مقاومت نهایی (k.N)
BSFS360	۱۵۰۳
BSFS540	۱۵۰۴
BSFS720	۳۹۵۵
BSFS900	۳۹۸۹
BSFS1200	۴۳۸۱
BSFS1500	۴۴۱۵
BSFS1800	۴۰۷۵

۵- نتیجه گیری

مطالعه موجود به منظور بررسی رفتار تیرهای فولادی با اتصالات خورجینی در شرایط آتش انجام شده است. مشابه این مطالعه به صورت آزمایشگاهی، توسط متخصصان ایرانی، مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدای کار برای اطمینان از داده‌ها و روش کار یکی از مدل‌های مقاله صحت‌سنجی گردید.

صحت‌سنجی نمونه آزمایشگاهی توسط نرم‌افزار آباکوس مورد بررسی قرار گرفت. با انجام مراحل کار با داده‌های مطابق داده‌های آزمایشگاهی نتایج حاصل از بررسی عددی با نتایج حاصل از بررسی آزمایشگاهی موجود در مقاله مقایسه گردید و نتایج حاصل از این مقایسه نشان داد که همخوانی بسیار خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و عددی است.

تطابق نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از بررسی عددی با درصد اختلافی کمتر از ۱۰ درصد نشان داد که داده‌های موجود در مقاله حقیقی بوده و قابل اطمینان هستند. لذا به منظور شبیه‌سازی و بررسی رفتار تیرهای فولادی می‌توان از مدل‌های موجود در مقاله استفاده نمود.

به منظور توسعه مدل آزمایشگاهی، مطالعات مختلف نشان داده که مهمترین عامل موثر بر رفتار تیرهای فولادی با اتصالات خورجینی در شرایط آتش‌سوزی، دما و زمان قرارگیری سازه در معرض آتش است.

برای توسعه مدل آزمایشگاهی به مدل‌های متعدد، در مرحله اول تغییرات دمایی مورد بررسی تخصصی قرار گرفته که برای این منظور ۱۰ مدل (تیر فولادی) در دماهای ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار گرفته شده است؛ که مدل‌های مذکور به ترتیب به نام‌های BSFT800، BSFT700، BSFT600، BSFT500، BSFT900، BSFT1000، BSFT1100، BSFT1200 و BSFT1300 مورد بررسی تخصصی قرار گرفتند.

همچنین برای بررسی زمان قرارگیری سازه در معرض آتش زمان‌های ۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ ثانیه مورد بررسی تخصصی قرار گرفته که مدل‌های مذکور به ترتیب به نام‌های BSFS360، BSFS540، BSFS720، BSFS900، BSFS1200، BSFS1500 و BSFS1800 معرفی شده است.

منابع

- [1] CEN. EN 1993-1-2; "Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.2: general rules-structural fire design," *British Standards Institution*, 2005.
- [2] AISC, "Specification for structural steel buildings 360-10," *American Institute of Steel Construction Inc*, 2010.
- [3] Al-Jabri, K. S.; Burgess, I.W.; Lennon, T. and Plank, R.J., "Moment-rotation-temperature curves for semi-rigid joint," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 61, pp. 281-303, 2005.
- [4] Saedi Daryan, A. and Yahyai, M., "Behavior of bolted top-seat angle connections in fire," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 55, p. 531-541, 2009.
- [5] Saedi Daryan, A. and Yahyai, M., "Behavior of welded top-seat angle connections exposed to fire," *Fire Saf. J.*, vol. 44, pp. 603-611, 2009.
- [6] Wald, F.; Simoes da Silva, L.; Moore, D.B.; Lennon, T.Chladna, M.; Santiago, A. and et al., "Experimental behavior of a steel structure under natural fire," *Fire Saf. J.*, vol. 41, p. 509-522, 2006.
- [7] Liu, T.C.H.; Fahad, M.K. and Davies, J.M., "Experimental investigation of behavior of axially restrained steel beams in fire," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 58, p. 1211-1230, 2002.
- [8] Li, G.Q. and Guo, S.X., "Experiment on restrained steel beams subjected to heating and cooling," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 64, p. 268-274, 2008.
- [9] Santiago, A.; Simoes da Silva, L.; Vaz, G.; Vila Real, P. and Gameiro Lopes, A., "Experimental investigation of the behavior of a steel sub-frame under a natural fire," *Steel Compos. Struct.*, vol. 8, pp. 243-264, 2008.
- [10] Ding, J. and Wang, Y.C., "Experimental study of structural fire behavior of steel beam to concrete filled tubular column assemblies with different types of joints," *Eng. Struct.*, vol. 29, p. 3485-3502, 2007.

فصلنامه آنالیز سازه- زلزله

کلیه نمونه‌های مورد بررسی عددی دارای F_u برابر ۹۷۵۰۰۰ تا ۴۸۷۵۰۰۰ (kgf/cm^2) هستند که انتظار می‌رود هیچ‌گونه تغییر شکلی در نمونه‌ها تا رسیدن به حداقل میزان F_u حاصل نگردد.

نمونه‌ها پس از این که تحت اثر آتش قرار گرفتند، تنش حاصل در تیر اتفاق افتاده است. همچنین تغییر شکل حاصل در محل اتصال تیر به ستون حاصل گردیده البته ذکر این مطلب ضروری است که در نمونه BSFS1200 و BSFS1500 ثانیه تنش به کل تیر و تا حدودی به ستون منتقل شده است، ولی در نمونه‌های کمتر از ۱۲۰۰ ثانیه تنش به کل تیر وارد نشده و تا ۷۰ درصد طول تیر پیش‌روی داشته است. از نتایج این بررسی می‌توان به نتایج زیر دست یافت.

۱- اتصالات خورجینی با قالب فولادی در معرض آتش قرار بگیرند با گذشت زمان ظرفیت تحمل بار حرارتی، کاهش یافته و باعث تغییر شکل سازه می‌گردد. تغییر شکل اتصالات خورجینی بسته به جزئیات اتصال، مقدار بار و زمان قرارگیری سازه در معرض آتش دارد.

۲- اتصالات تاثیر بسزایی بر زمان تحمل اجزاء سازه در آتش دارند.

۳- مطالعات کتابخانه‌ای نشان داده که دیگر موارد تاثیر گذار بر اتصالات خورجینی در معرض آتش نوع فولاد به کار رفته و اندازه بال و جان تیر فولادی است که به دلیل محدودیت عنوان مطالعه، تاثیرات نوع فولاد، جان و بال بررسی نشده است.

۴- تیرهای فولادی با اتصال خورجینی در معرض آتش سوزی ساختمان فولادی قرار بگیرند دمای تیر و اتصال طبق استاندارد (جداول فنی آیین نامه بتن - مبحث ۹ مقررات ملی ایران، ضوابط ویژه طراحی در برابر آتش سوزی) و به صورت یکنواخت افزایش می‌یابد. ولی در همه مواقع به ستون اصلی منتقل نمی‌گردد.

۵- تغییر شکل اتصالات خورجینی بسته به جزئیات اتصال و مقدار بار در دماهای مختلف به صورت متفاوت از لحاظ کمی صورت می‌گیرد.

۶- اتصالات تاثیر بسزایی بر زمان تحمل اجزاء سازه در آتش دارند. که در مواقع کمتری اتصال اجازه می‌دهد تا بار حرارتی و یا انرژی به ستون منتقل گردد.

۷- میزان خرابی و جابجایی و تنش در تیر مربوط به سازه در محل اتصال خورجینی و در کنار اتصال تیر اصلی به ستون است. لذا این میزان جابه‌جایی تا انتهای تیر پیش‌روی نکرده و میزان جابجایی کاهش می‌یابد به همین علت است که تنش جابجایی در تیرهای فولادی تحت تاثیر آتش با طول تیر رابطه عکس دارد هر چه میزان طول تیر بیشتر باشد و تحت تاثیر آتش قرار می‌گیرد میزان جابجایی در آن کاهش می‌یابد.

[11] Wang, Y.C., Dai, X.H. and Bailey, C.G., "An experimental study of relative structural fire behavior and robustness of different types of steel joint in restrained steel frames," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, pp. 1149-1163, 2011.

[12] Saedi Daryan A, Yahyai M., "Modeling of bolted angle connections in fire," *Fire Saf. J.*, vol. 44, pp. 976-988, 2009.

[13] Yahyai, M. and Saedi Daryan, A., "The study of welded semi-rigid connections in fire," *Struct. Design Tall Spec.*, 2011.

[۱۴] کهزادیان، میلاد؛ حسنی پور، اکبر؛ سیاهپلو، نوید؛ "ارزیابی تحلیلی رفتار اتصالات صلب رایج فولادی تحت اثر آتش سوزی،" پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی و غیر دولتی جهاد دانشگاهی خوزستان - دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۹۳.

[۱۵] نصیری، ستار؛ بادامچی، کریم؛ حسین زاده اصل، مسعود؛ "بررسی رفتار انواع اتصالات فولادی در برابر آتش سوزی و مقایسه عملکرد آن‌ها،" پایان نامه دکتری، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه تبریز - دانشکده عمران، ۱۳۹۳.

[۱۶] رضائیان، عباس؛ یحیایی، محمود؛ "رفتار اتصالات فولادی تیر به ستون در شرایط آتش سوزی،" در دومین همایش ملی مهندسی سازه / ایران، تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۴.

[۱۷] رضائیان، عباس؛ یحیایی، محمد؛ "عملکرد اتصال پیچی لینک به دستک در قاب‌های خمشی درختی تحت اثر آتش سوزی،" نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، جلد سال دوم، شماره ۳، ۱۳۹۴.

[۱۸] عسکری زیارتی، اکبر؛ بادل، ابراهیم؛ تجری، حسین؛ مهیمنی، حسین؛ "بررسی اثر حرارت بر روی اتصالات پیچی با استفاده از روش اجزاء محدود،" در کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیر ساخت‌های شهری، تهران، ۱۳۹۴.

[۱۹] عبدالله زاده، غلامرضا؛ قاسمی، ایمان؛ ماه آور، پوریا؛ "بررسی تاثیر آتش در اتصالات RCS (تیر عبوری)،" در دومین همایش بین المللی معماری، عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران، ۱۳۹۵.

[20] Amir SaediDaryan ,HesamBahrampoor, "Behavior of Khorjini connections in fire," *Fire SafetyJournal*, vol. 44, p. 659-664, 2009.

[21] American Institute of Steel Construction, "ANSI/AISC 360. Specification forStructural Steel Buildings. Chicago, Illinois," 2005.

Study of Thermal Behavior of Steel Beams with khorjini Connection on the Effect of Temperature and Exposure Time of Fire

Abbas Sargholi

Master of Science in Civil Engineering, Structural Engineering, Civil Engineering
Department, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran.

Seyed Abdonnabi Razavi*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Abadan Branch, Islamic Azad
University, Abadan, Iran.

Masoud Abedini

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Abadan Branch, Islamic Azad
University, Abadan, Iran.

Abstract:

Frames with a Khorjini connections is one of the most commonly used structural systems in Iran. In these frames, the beams are placed on the sides of the pillar and each beams are placed on a lower corridor. The columns are double-skinned and have a relatively long sheet at the Khorjini, so that the lower and upper corners are in place. What makes this type of connection a lot of use is the high speed and ease of execution of sophisticated frames. Several studies have shown that when exposed to the structure, the exposed fire will change its resistance. The purpose of this study is to investigate the behavior of steel beams with Khorjini connections at different temperatures and times. First, after the library studies, the laboratory test was verified by Abacus software. The results of the numerical investigation were compared with the results of the experimental study in the paper, and the results of this comparison showed that the matching of the experimental results and the results of the numerical study with a percentage difference of less than 10 Percentage. In order to develop a numerical model, 17 different models were investigated with temperature variations and exposure time of exposed beams. The results of this study showed that increasing the temperature of the heat in the Khorjini connection reduces the resistance, increases the amount of failure and deformation in the joint area. Other results of the study showed that as the Khorjini connections are exposed to more fire, the resistance will be reduced, the failure rate will increase and the structural deformation will be higher.

Keywords: Khorjini connections, steel beam, fire, Tangential bonding bearing temperature, Tangential connection bearing time, Ultimate strength of Khorjini connections