مطالعه آزمایشگاهی رفتار اتصالات عرشه سکوهای نفتی در آتش‌سوزی

مصطفی زین الدینی[۱]، سید احمد حسینی[۲*]، محمد رضا بهاری[۳]

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی
۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه تهران

چکیده

اتصالات تیر- ستون تاثیر قابل توجهی بر رفتار سازه‌ها در دمای معمولی و در دماهای بالا دارند. بررسی‌های صورت گرفته بر روی آتش‌سوزی‌های واقعی و همچنین آزمایشهایی که صورت گرفته‌اند، مشخص می‌کنند که اتصالات بر زمان دوام اعضای سازه‌ای در آتش نیز 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.

یکی از این اتصالات، اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در عرشه سکوهای نفتی می‌باشد. به دلیل احتمال بالای خطر آتش‌سوزی در سکوهای نفتی، بررسی رفتار این اتصالات در حرارت‌های بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بنابراین، ۱۱ آزمایش بر روی این نوع اتصالات انجام شد تا مقاومت به آتش سوزی این اتصالات ارزیابی شود. مودهای گسیختگی و الگوی تغییر شکل نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مود اصلی گسیختگی اتصال، گسیختگی کششی استار پلیت بالایی می‌باشد.

کلمات کلیدی: اتصالات تیر به ستون لوله‌ای، سکوهای نفتی، رفتار در دمای بالا، نمودار دما-دوران، آتش، مطالعه آزمایشگاهی

Experimental Study of Structural Fire Behavior of Oil Platform Decks Connections

M. Zeinoddini[1], S. A. Hosseini[2], M. R. bahaari[3]

1-Associate Prof., Faculty of Civil Eng. KNToosi University of Technology.
2-Phd student, Faculty of Civil Eng. KNToosi University of Technology.
3- Associate Prof., Faculty of Civil Eng. Tehran University.

Abstract

Beam-to-column connections have been found to be of great significance in influencing structural behavior at ambient and elevated temperatures. Observations from full-scale fire tests and damaged structures confirm that connections have a considerable effect on the stability time of structural components in fire. Due to the high cost of elevated temperature tests, adequate experimental data about a broad range of connections is not available. One type of such connections is the connections between I-shape beam and pipe shape columns in oil platform decks. Considering the high probability of fire in oil platforms, study of the behavior of these connections at elevated temperatures is of great importance. Therefore, 11 experimental tests were conducted on this connection type to investigate their fire-resistance capacity. The failure modes and deformation patterns of these specimens were studied. The results showed that the main failure mode of the connection is the tensile failure of top star plate.

Keywords: topside connections, oil platforms, elevated-temperature, experimental study, fire

* نویسنده مسئول مقاله hosseini@dena.kntu.ac.ir

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

۱- مقدمه

قابهای فولادی از تیر و ستون‌هایی تشکیل شده‌اند که توسط اتصالات به هم متصل شده‌اند. عملکرد قاب از رفتار اتصالات تاثیر می‌پذیرد که در تحلیل کلی سازه باید در نظر گرفته شود. برای ساده‌سازی در طراحی و تحلیل قابهای فولادی و کامپوزیت، فرض می‌شود که اتصالات تیر- ستون یا کاملاً مفصلی و یا کاملاً گیردار هستند [۱]. گرچه فرض کردن اتصالات به صورت مفصلی و یا گیردار، طراحی و تحلیل را به طور قابل ملاحظه‌ای ساده می‌کند ولی در عمل رفتار واقعی اتصال در طیف گسترده‌ای بین این دو حد است. اکثر اتصالاتی که مفصلی در نظر گرفته شده‌اند دارای مقداری سختی دورانی هستند و اتصالاتی که صلب در نظر گرفته شده‌اند نیز مقداری انعطاف‌پذیری نشان می دهند. طراحان می‌توانند در تحلیل از رفتار دقیقتر اتصالات استفاده کنند ولی اکثر طراحان این کار را انجام نمی‌دهند زیرا روشهای ساده‌سازی شده باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها می‌شوند و در ضمن نتایج حاصل به اندازه کافی قابل اعتماد هستند. اگر چه این روشهای ساده‌سازی شده برای طراحی در دمای معمولی کفایت می‌کنند ولی وقتی سازه‌های فولادی در معرض آتش قرار می‌گیرند رفتار اتصالات تاثیر بیشتری بر پاسخ کلی سازه می‌گذارند و در صورتی که رفتار اتصال به درستی بررسی نشود نتایج حاصل از اعتبار کافی برخوردار نخواهند بود.

با توجه به اهمیت رفتار اتصالات در سازه‌های فولادی در حین آتش‌سوزی، تحقیقات متعددی به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار اتصالات فولادی انجام شده است [۲]- [۱۲]. اما روی رفتار اتصالات سکوهای نفتی در برابر آتش‌سوزی مطالعات بسیار کمی صورت گرفته است.

ایورت و نهرینگ[1] در سال ۱۹۷۶، روشی را برای مقابله با حریق‌های ایجاد شده در سکوهای عظیم مناطق دورافتاده دریای شمال، ارائه دادند. در این تحقیق، که نتایج تجربه چندین ساله کمیته بهره برداران از سازه‌های فراساحلی انگلستان می‌باشد، بعد از ارائه پارامترهای طراحی، پیشنهادهایی برای جایابی کشتی‌های کنترل آتش و حالت های اجرایی برای مناطق با فعالیت صنعتی متمرکز در دریای شمال، داده شده است [۱۳].

ایبرگ[2] و همکاران در سال ۱۹۹۲، به توسعه روشی برای تحلیل خرابی سکوهای دریایی قرار گرفته در معرض آتش پرداختند. در این روش که توافق خوبی با نتایج آزمایش های انجام شده روی تیر- ستون‌ها و قابها و همچنین با پیش بینی های عددی در سازه‌های واقع بر خشکی دارد، نشان داده شده است که ارائه مدل ساده‌شده‌ای از پروفیل دمایی مقطع قابل پذیرش می‌باشد و دما در خرابی نهایی، بطور عمده بزرگتر از دما در خرابی اولین عضو می‌باشد[۱۴].

در سال ۱۹۹۸، شتی[3] و همکاران، یک روش احتمالاتی برای بررسی ایمنی در برابر آتش و طراحی بهینه سیستم حفاظت در برابر آتش برای عرشه سازه‌های دریایی ارائه دادند. تحلیل قابلیت اعتماد، هم برای خواص مکانیکی و حرارتی فولاد، عایق کاری سازه‌های روکش‌دار و سازه‌های قابی عرشه، که جز عدم قطعیت‌ها در بارگذاری آتش و انفجار می‌باشند، ارائه شده است. بهینه‌سازی سیستم حفاظت در برابر آتش به نحوی انجام شده است که مجموع هزینه‌های مورد انتظار سیستم‌های حفاظتی حداقل شده باشد [۱۵].

اهمیت طراحی دقیق اتصالات در طراحی سازه‌ها با افزایش سطح اهمیت سازه مورد نظر افزایش مضاعف می‌یابد. بدان معنا که در سازه‌هایی که کاربردهای خاص و با اهمیت ویژه دارند طراحی دقیق و واقع گرایانه با کمترین فرضیات ساده‌کننده لازم و ضروری است. لذا با توجه به این مساله، طراحی دقیق اتصالات در سازه‌هایی مانند سکوهای نفتی که از نظر سیاسی، اقتصادی و استراتژیک از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند و علاوه بر این احتمال بروز آتش‌سوزی نیز در آنها بسیار بالاست، بسیار مهم و ضروری است .

با توجه به موارد ذکر شده، هدف اصلی در این تحقیق بررسی رفتار اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در عرشه سکوهای نفتی می‌باشد. در شکل۱ نمایی از سکوهای نفتی نشان داده شده است. اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در این نما به خوبی مشاهده

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

می‌شود.



شکل ۱ - نمایی از کاربرد وسیع اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در سکوهای نفتی [۱۶]

۲- سکوهای نفتی

نفت یکی از مهمترین منابع تامین انرژی در سطح جهان می‌باشد و افزایش و یا کاهش استخراج نفت در کشورهای نفت خیز، تاثیرات اقتصادی و سیاسی متعددی را در سطح بین المللی ایجاد می‌کند. این مساله موجب شده که استخراج نفت از میادین نفتی یکی از مسائل مهم کشورهای نفت‌خیز باشد. با توجه به وجود میادین نفتی متعدد در اعماق دریاها، ساخت و استفاده از سکوهای نفتی همواره مورد توجه بوده است. با توجه به کاربرد فراوان سکوهای نفتی فلزی و وجود منابع سوختی دائمی در آنها، خطر آتش‌سوزی یکی از مهمترین خطراتی است که سکوهای فلزی نفتی را تهدید می‌نماید. علاوه بر آتش‌سوزی‌هایی که بر اساس بروز حوادث در حین کار در این سازه‌ها بروز می‌نماید به دلیل اهمیت بالای این سازه‌ها از نظر استراتژیک و نظامی در حین بروز جنگ ها نیز، سکوهای نفتی جزو مهمترین اهداف نظامی می‌باشند، که در بسیاری موارد مورد هدف تسلیحات نظامی قرار گرفته و علاوه بر بروز انفجار، دچار آتش‌سوزی نیز می‌شوند. انفجار و آتش‌سوزی سکوهای نفتی در جنگ بین ایران و عراق از جمله شواهد این مساله می‌باشد[۱۶].

آمار ارائه شده در مجموعه " بانک اطلاعاتی سوانح دریایی در سراسر جهان[۴]"نیز نشان می‌دهد که هر ساله وقوع آتش‌سوزی یکی از عواملی است که بیشترین خرابی را در سکوهای فلزی نفتی ایجاد می‌کند[۱۷]. در شکل ۲ نمایی از وقوع آتش‌سوزی در سکوهای دریایی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - نمونه‌هایی از آتش‌سوزی در سکوهای نفتی [۱۷]

اگرچه با توجه به اهمیت بالای سکوهای نفتی، این سازه‌ها به طور معمول در مناطق بحرانی با استفاده از پوشش های ضدحریق محافظت می‌شوند اما بایستی به این نکته توجه نمود که با توجه به هزینه بالای پوشش‌های ضدحریق، امکان استفاده از آنها در تمامی بخش‌های سازه یا میسر نیست و یا هزینه بالایی را موجب می‌شود؛ در حالیکه در صورتی که طراحی ضد آتش برای سازه مورد نظر انجام شده باشد می‌توان هزینه استفاده از پوشش ها را تا ۳۰ در صد کاهش داد [۱۸].

سکوهای نفتی از ۳ قسمت اصلی شمع، جاکت و عرشه تشکیل شده‌اند. در این تحقیق رفتار اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای به کار رفته در عرشه سکوهای نفتی در برابر آتش‌سوزی به صورت آزمایشگاهی مطالعه شده است .

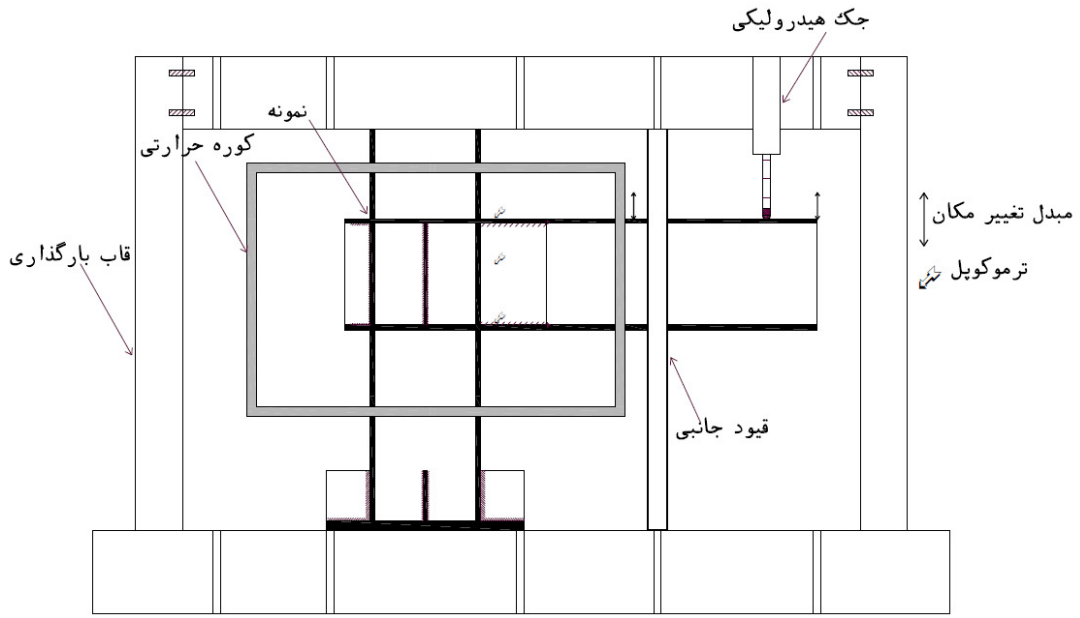
۳- مطالعات تجربی

۳-۱- چیدمان و ابزار آزمایش

آزمایشات در داخل یک کوره گازی که به منظور انجام آزمایشات اتصال طراحی شده بود انجام گردید. شکل ۳ چیدمان تست‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

از انجاییکه در این تحقیق هدف بررسی رفتار اتصالات تحت شرایط کوره استاندارد بوده لذا دمای کوره متناسب با منحنی‌های ایزو۸۳۴ [۵] و ای‌اس‌تی‌ام-ای-۱۱۹ [۶] [۱۹]،[۲۰] افزایش یافته است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]



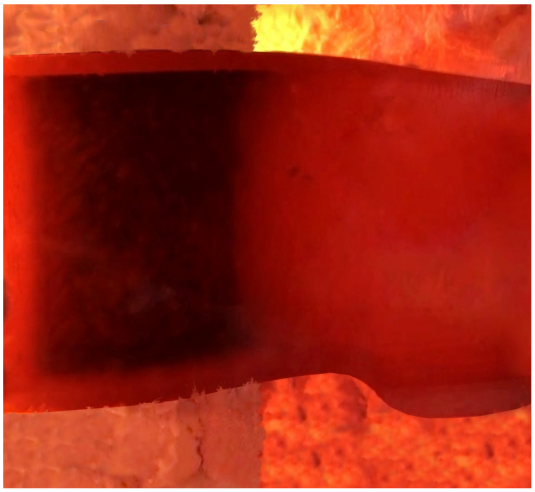
شکل ۳ - چیدمان آزمایش (نمای روبرو)

ابزار آزمایش شامل شیب‌سنج برای اندازه‌گیری دوران، ترانسدیوسرهای تغییر مکان و سلول های بار و ترموکوپل بوده است. هم ابزارهای آنالوگ و هم ابزارهای دیجیتال توسط یک دیتالاگر مدل تی‌دی‌اس-۳۰۳ [۷] و ساخت کمپانی تی‌ام‌ال [۸] ژاپن مونیتور شده‌اند. توضیح کامل در مورد ابزارهای استفاده شده در آزمایش‌ها، قبلا منتشر شده است [۲۱].

رویه آزمایش شامل سه مرحله است. در ابتدا نمونه‌ها تا رسیدن به تراز بار از پیش تعیین شده بارگذاری شده‌اند. سپس کوره روشن شده در حالیکه بار ثابتی بر روی نمونه‌ها اعمال شده است و در نهایت وقتی که گسیختگی در اتصال رخ داد، کوره خاموش می‌شود. در طول هر آزمایش در دماهای مختلف عکسبرداری انجام شده است.

تیر و ستون که در داخل کوره قرار گرفته است با روکش فیبرسرامیک به ضخامت ۲/۵ cm پوشانده شده‌اند. تنها ناحیه اتصال در معرض آتش قرار داده شده است.

در شکل ۴ نمایی از یکی از نمونه‌ها در داخل کوره در حین آزمایش نشان داده شده است. در این تصویر فیبرهای سرامیکی در بالا و پایین محدوده چشمه اتصال روی ستون به خوبی مشاهده می‌شوند. همانطور که ذکر شد با استفاده از این فیبرها سعی شده تا صرفا محل چشمه اتصال حرارت داده شود و سایر نقاط مستقیما گرم نشوند.



شکل ۴ - نمایی از یکی از نمونه‌ها در حین حرارت دهی (نمای روبرو)

۳-۲- جزییات نمونه‌ها

تمام موارد نمونه‌های آزمایشگاهی، شامل یک ستون تکی به ارتفاع ۸۰ سانتیمتر از نوع لوله به قطر ۲۱۹/۱ *mm* و ضخامت ۱۲/۷ *mm* و یک تیر آی‌پی‌ای ۲۲۰ [۹] بطول ۷۵ سانتیمتر بودند. بار نیز در

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

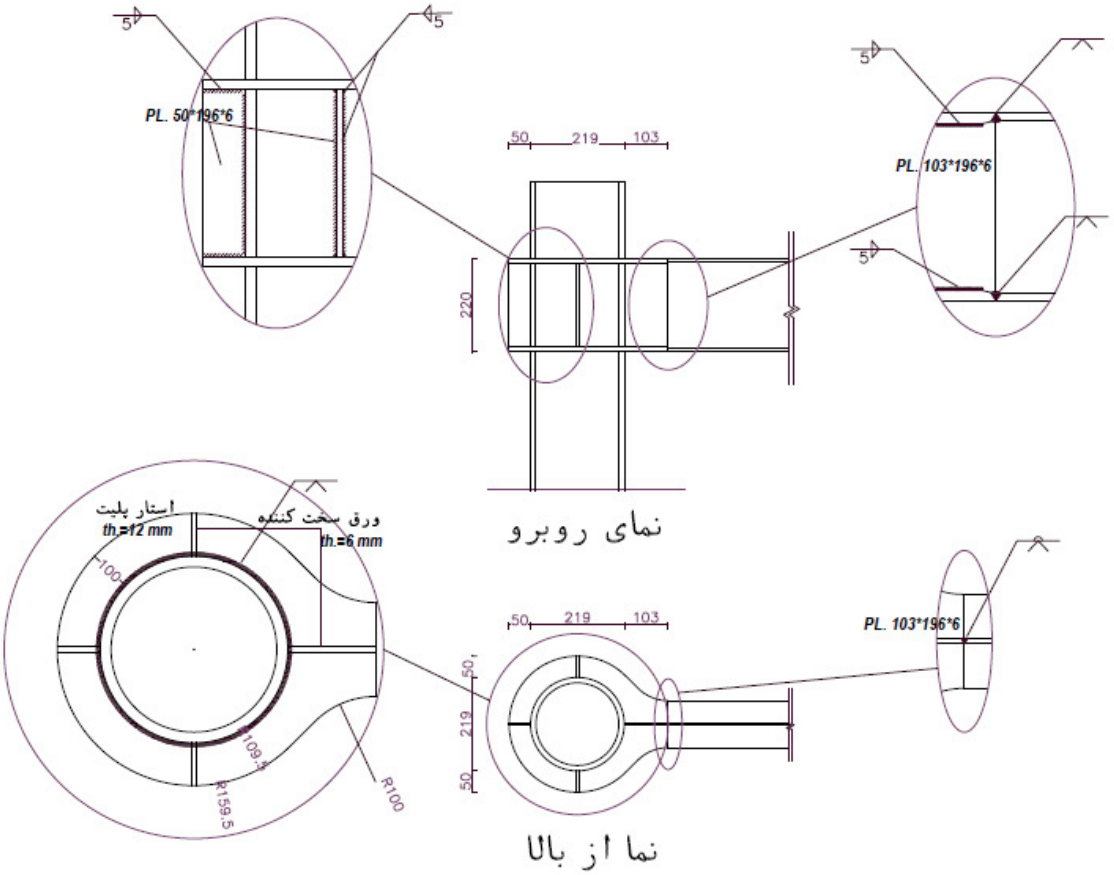
فاصله ۷۰ سانتیمتری از ابتدای تیر اعمال شده است. جزییات دقیق اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای در نمونه‌های آزمایشگاهی در شکل ۵ ارائه شده است.

به منظور جلوگیری از پیچش احتمالی تیر در طی انجام آزمایش، در طول تیر مهارهای جانبی تعبیه شده بود؛ این مهارها با توجه به ماکزیمم ظرفیت پیچشی تیر طراحی شده بودند. در شکل ۳ نوع مهار های استفاده شده و جهت قرار گیری آنها نشان داده شده است.

در مجموع ۱۱ آزمایش بر روی اتصالات فوق انجام شده است. در جدول ۱ مشخصات اتصال در هر آزمایش ارائه شده است. تصویر جامعی از تعدادی از نمونه‌ها بعد از آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به حساسیت و اهمیت بالای آزمایشات حرارتی نمونه‌های S1,S3,S5 هر کدام دو بار آزمایش شده‌اند تا صحت و دقت نتایج حاصل از آزمایشات کاملا روشن شود. نتایج حاصل از دو بار آزمایش انجام شده بر این نمونه‌ها با اختلاف کمتر از ۷٪، نزدیک به هم بودند.

جدول ۱- مشخصات اتصالات به کار رفته در هر آزمایش

شماره آزمایش	شماره نمونه	ضخامت ورق جان (mm)	ضخامت استار پلیت (mm)
۱	S1	۶	۱۲
۲	S2	۶	۱۲
۳	S3	۶	۱۲
۴	S4	۶	۱۲
۵	S5	۶	۱۲
۶	S6	۶	۱۵
۷	S7	۸	۱۲
۸	S8	۶	۱۲
۹	S9	۶	۱۲
۱۰	S10	۶	۱۲
۱۱	S11	۶	۱۲



شکل ۵- جزییات نمونه‌های آزمایشگاهی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]



شکل ۶- تصویر جامعی از تعدادی از نمونه‌ها بعد از آزمایش

۳-۳- بارگذاری نمونه‌ها

با توجه به اینکه نیروی وارده بر اتصالات در این آزمایشات ترکیبی از ممان ناشی از بار وارده توسط جک ها و نیروهای حرارتی ناشی از افزایش درجه حرارت می‌باشد در نتیجه مسلما هرچه ممان وارده بیشتر باشد اتصالات در درجه حرارت پایین‌تری گسیخته می‌شوند. با توجه به این موضوع و از انجا که هدف از این تحقیق بررسی رفتار اتصالات در حرارت‌های بالا می‌باشد سعی شده تا ممان وارده به نحوی انتخاب شود که گسیختگی زودهنگام در اتصالات رخ نداده و اتصال توانایی تحمل درجه حرارت بالاتری را داشته باشد تا بدین وسیله امکان بررسی رفتار اتصال در حرارت‌های بالا میسر شود. لذا ابتدا میزان ظرفیت دورانی هر اتصال به صورت تئوری محاسبه شد و سپس ممان وارده به صورت ضریبی از این ظرفیت دورانی به هر نمونه اعمال شد. نحوه بارگذاری نمونه‌ها و ظرفیت دورانی اتصالات در جدول ۲ ارایه شده است.

۳-۴- نحوه جوشکاری اتصالات و خصوصیات مصالح

جوش‌ها از جمله مهمترین بخش‌های یک اتصال جوشی می‌باشند. استفاده از الکترود مناسب، سیستم جوشکاری مناسب و نحوه صحیح جوشکاری در اتصالات به کار رفته در سکوهای دریایی که سازه‌هایی با اهمیت بالا تلقی می‌شوند، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

با توجه به اهمیت این مساله در کلیه آزمایشات جوشکاری به روش جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار[۱۰] انجام شده است، چرا که این روش یکی از مهمترین و ساده‌ترین روشهای جوشکاری برای فولاد های ساختمانی است [۱].

جدول۲- تراز بار وارده بر اتصالات آزمایش شده

شماره آزمایش	سطح لنگر	بار بکار رفته (kN.m)	بار ثبت شده (kN.m)
۱	0.4 Mcc	۴۴/۸	۴۴/۷۸
۲	0.4 Mcc	۴۴/۸	۴۴/۸۵
۳	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۶۵
۴	0.2 Mcc	۲۲/۴	۲۲/۴۲
۵	0.1 Mcc	۱۱/۲	۱۱/۲۸
۶	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۶۶
۷	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۶۴
۸	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۵۵
۹	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۵۵
۱۰	0.3 Mcc	۳۳/۶	۳۳/۶۴
۱۱	0.1 Mcc	۱۱/۲	۱۱/۲۴

Mcc ظرفیت پلاستیک اتصال می‌باشد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

الکترود مورد استفاده برای این آزمایشات الکترود E7018 بود که در فرایند جوش‌کاری به روش SMAW استفاده می‌شود و نسبت به الکترودهای معمول، رفتار شکل‌پذیرتری را ارایه می‌دهد.

با توجه به ویژگی‌ها و کاربردهای خاص این نوع اتصالات، از دو نوع جوش گوشه و شیاری با نفوذ کامل در ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. محل جوش‌کاری‌ها در شکل ۵ به خوبی مشخص شده است.

با توجه به اهمیت عملکرد جوش‌ها در رفتار اتصالات، جوش‌ها به طور کامل بر اساس مشخصات ارائه شده در در پروسه جوشکاری[11] [۲۲] مربوطه و توسط جوشکارهای حرفه‌ای انجام شده‌اند. در نهایت بعد از اتمام ساخت نمونه‌ها به منظور اطمینان از صحت جوشکاری‌های انجام شده، بازرسی و کنترل کامل جوش‌ها نیز به کمک تست غیر مخرب (با استفاده از اولتراسونیک) بر روی جوش‌کاری نمونه‌ها انجام شده است.

برای تمامی نمونه‌ها، خصوصیات مصالح در دمای معمولی با استفاده از آزمایشهای کوپن کششی استاندارد اندازه‌گیری شده و ابعاد، سطح مقطع و... قبل از انجام آزمایش در کوره، یادداشت شده‌اند. نتایج گزارش تست میل برای این نوع فولاد در جدول ۳ آمده است.

جدول۳- مشخصات مصالح

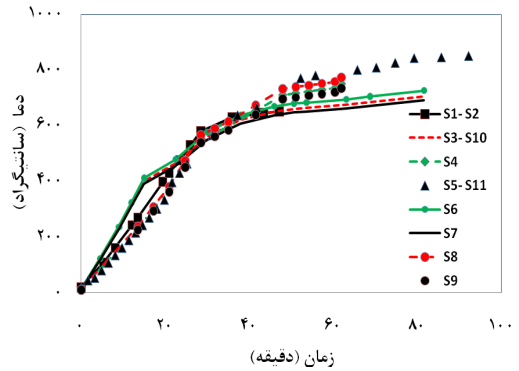
مصالح	تنش تسلیم (N/mm^2)	تنش نهایی (N/mm^2)	مدول ارتجاعی (N/mm2)	CVN (J)
تیر، ستون و ورق ها	۳۵۵	۴۹۰	۲/۰۵*۱۰^۵	-
مصالح جوش	۴۸۵/۵	۵۵۵	۲/۰۵*۱۰^۵	۱۸۵

۳-۵- توزیع دما

برای تمامی نمونه‌ها ۷ ترموکوپل بر روی اتصالات نصب شده بود تا تغییرات دما در طول آزمایش را اندازه‌گیری نمایند.

بررسی مقادیر دمایی ارائه شده توسط ترموکوپل های مختلف نصب شده بر روی اتصالات نشان می‌دهد که در توزیع حرارت در اطراف اتصال اختلافاتی وجود دارد اما تفاوت دماها در اطراف اتصالات خیلی بزرگ نیست.

از آنجا که استفاده از توزیع حرارت غیر یکنواخت در طول اتصال در تحلیل‌ها با دشواری‌های زیادی همراه است، در تحلیل فرض شده که اتصالات به طور یکنواخت گرم شده‌اند که برای این کار از متوسط دمایی که توسط ترموکوپل‌ها ثبت شده استفاده شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷ - متوسط دمای هر نمونه

۳-۶- اندازه‌گیری دوران اتصال

شیب‌سنج و ترانسدیوسر تغییرمکان برای اندازه‌گیری دوران اتصال تیر به ستون استفاده شده است. ترانسدیوسرهای تغییر مکان برای اندازه‌گیری خیز عمودی در نقاط مختلف تیر به کار برده شده‌اند. با این وجود می‌توان از آنها به طرز غیر مستقیم برای اندازه‌گیری دوران اتصال استفاده کرد. دوران اتصال φ را براساس مقدار قرائت شده از ترانسدیوسرها می‌توان از معادلهٔ زیر بدست آورد [۱۰]:

$$\varphi = \tan{-1}\ (u/L) \qquad (۱)$$

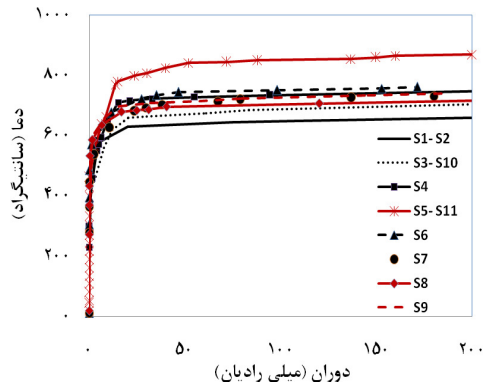
که در معادله بالا u خیز نقطه مورد نظر از تیر و L فاصله بین مرکز اتصال و نقطه اندازه‌گیری خیز بر روی تیر است.

در آزمایشات بین اعداد ثبت شده توسط شیب‌سنج‌ها و مقادیر محاسبه شده از ترانسدیوسرها، اختلاف ناچیزی وجود داشت. با توجه به این موضوع، دوران‌های محاسبه شده براساس ترانسدیوسرها در مواقعی که شیب سنج‌ها در برخی آزمایشات دچار مشکل شده‌اند مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

۴- پاسخ دما – دوران اتصالات

امکان استخراج منحنی‌های دما- دوران اتصالات تیر به ستون نمونه‌ها در درجه حرارتهای بالا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، وجود دارد. منحنی‌های دما– دوران اتصالات، در شکل ۸ مشخص شده است.
ملاحظه می شود که منحنی‌های دما – دوران اتصالات به سه ناحیه قابل تقسیم است. در ابتدا تا قبل از وقوع جاری شدن یک یا چند المان اتصال، رابطه تقریباً خطی است. سپس رابطه به حالت منحنی شکل در می‌آید که بیانگر جاری شدن اتصال است. در نهایت نیز وقتی به گسیختگی اتصال نزدیک می‌شویم نرخ دوران به سرعت افزایش پیدا می‌کند که باعث ایجاد ناحیه‌ای نسبتاً مسطح در پاسخ اتصال می‌شود.



شکل ۸ – منحنی دما – دوران نمونه‌ها

۵- تحلیل نتایج

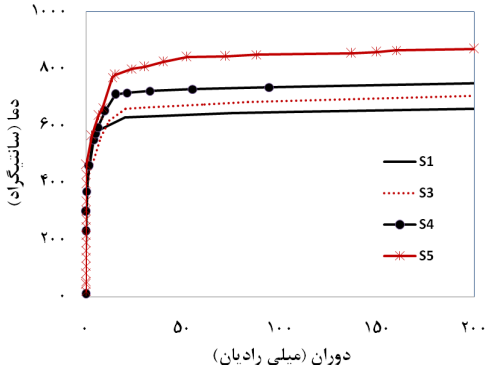
۱۱ آزمایش بر روی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای صورت گرفته است و نتایج به صورت خانواده‌ای از منحنی‌های دوران – دما برای این اتصالات استخراج گردیده است. این نتایج علاوه بر آنکه رفتار این دسته از اتصالات را در حرارت های بالا مشخص می‌کند می‌تواند معیار مناسبی جهت مدل‌های قدرتمند عددی در زمینه رفتارسنجی این نوع اتصالات باشد. همانطور که در ابتدا اشاره شد در این بررسی، چینش آزمایشات به گونه‌ای انجام شده که بتوان تاثیر یا عدم تاثیر برخی از پارامتر های موثر بر رفتار اتصالات را در حرارت‌های بالا بررسی کرد. به منظور روشن شدن نحوه ارتباط این آزمایشات، در جدول ۴ نحوه ارتباط آزمایشات جهت بررسی اثر هر پارامتر ارایه شده است. البته لازم به ذکر است که نتایج حاصله در طیف محدود این تحقیق حاصل شده و نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد .

جدول۴- نحوه ارتباط آزمایش‌های مختلف

شماره آزمایش	ارتباط بین آزمایش‌ها
۴،۵،۱،۳	تاثیر میزان لنگر روی رفتار اتصال
۳،۶،۷	تاثیر تقویت اتصال
۳،۸،۹	تاثیر استفاده از عایق
۱،۲	تکرار آزمایش
۳،۱۰	تکرار آزمایش
۵،۱۱	تکرار آزمایش

۵-۱- بررسی اثر میزان ممان وارد شده بر اتصال

یک اتصال مشخص در یک سازه با قرارگیری در موقعیت‌های مختلف و در شرایط متفاوت، تحت تاثیر لنگرهای مختلفی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، در یک سکوی نفتی بار مرده وارده در شرایط مختلف کاری (به دلیل تجهیزات مختلف) ممکن است متغیر باشد و در نتیجه، لنگرهای متفاوتی در زمان های مختلف بر اتصال وارد می‌شود. با توجه به این مهم در این تحقیق تاثیر میزان ممان وارد شده بر اتصالات مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در جدول ۵ نیز ذکر شده است تنها تفاوت بین نمونه‌های S1, S3, S4, S5 در میزان ممان وارده بر اتصال می‌باشد. به نمونه S1، بالاترین میزان لنگر و به نمونه S5، پایین ترین میزان لنگر وارد شده است. در شکل ۹ نمودار دما – دوران این نمونه‌ها ارائه شده است.



شکل ۹ – تاثیر کاهش ممان وارده بر نمودار دما-دوران

همانطور که از نتایج این نمونه‌ها مشخص است با

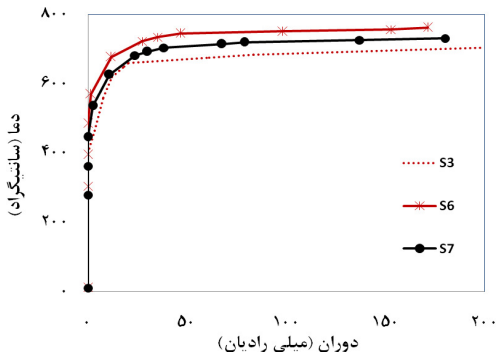
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

افزایش ممان وارده، اتصال دمای بالاتری را تحمل می‌کند. در مورد علت این مساله اینطور می‌توان استدلال کرد که در شرایط موجود در این آزمایشات، اتصال تحت ترکیب ممان وارده توسط نیروی حاصل از جک ها و نیروهای حرارتی ناشی از افزایش دما می‌باشد و مسلما با کاهش ممان وارده، اتصال توانایی تحمل حرارت‌های بالاتری را بدست می‌آورد.

۵-۲- اثر تقویت اتصال

همانطور که در جدول ۴ نیز اشاره شده است اثر تقویت اتصال بر رفتار دورانی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای با مقایسه نتیجه حاصل از آزمایش نمونه S3 با نمونه‌های S6 و S7 قابل بررسی است.

همانطور که در جدول ۱ نیز قابل مشاهده است تنها تفاوت نمونه S3 با دو نمونه دیگر در آن است که در نمونه S6 استار پلیت در محدوده چشمه اتصال تقویت شده و در نمونه S7 ورق جان در محدوده چشمه اتصال تقویت شده است. در شکل ۱۰ نمودار دوران – دما برای این سه نمونه ارائه شده است.



شکل ۱۰- تاثیر تقویت اتصال بر نمودار دما-دوران

همان‌طور که از نتایج حاصل نیز به خوبی مشاهده می‌شود تقویت چشمه اتصال موجب افزایش ظرفیت حرارتی اتصال شده و اتصال ترازهای دمایی بالاتری را نیز تحمل می‌نماید. دلیل این مساله آن است که سختی و مقاومت یک اتصال به صورت مستقیم وابسته به میزان سختی و مقاومت اعضای آن اتصال می‌باشد و سختی و مقاومت اعضای اتصال وابسته به میزان مدول الاستیسیته و مقاومت فولاد به کار رفته در آنها دارد. با افزایش ضخامت ورق جان در محدوده اتصال و یا ورق بال در محدوده اتصال، سختی این اعضا و در پی آن سختی اتصال افزایش می‌یابد. با افزایش درجه حرارت، مدول الاستیسیته و مقاومت فولاد بر طبق جدول ۵ دچار زوال می‌شود و لیکن اتصالی که سختی بالاتری دارد در دمای بالاتری دچار زوال کامل سختی و مقاومت می‌شود و نتیجتا نسبت به همان اتصال با ورق های نازک‌تر حرارت‌های بالاتری را تحمل می‌کند.

همانطور که مشاهده می‌شود تاثیر افزایش ضخامت استارپلیت، اندکی بیشتر از تاثیر افزایش ضخامت ورق جان می‌باشد. این رویداد به این علت می‌باشد که گسیختگی نهایی اتصال در استار پلیت می‌باشد. بنابراین افزایش این موضع، گسیختگی را به تاخیر انداخته و موثرتر از افزایش ضخامت ورق جان می‌باشد.

جدول۵- ضرایب کاهش منحنی های تنش- کرنش مصالح فولادی در دمای بالا [۲۳]

دمای فولاد	ضریب کاهش مدول ارتجاعی E_s	ضریب کاهش تنش تسلیم f_y
۲۰	۱	۱
۱۰۰	۱	۱
۲۰۰	۰/۹	۱
۳۰۰	۰/۸	۱
۴۰۰	۰/۷	۱
۵۰۰	۰/۶	۰/۷۸
۶۰۰	۰/۳۱	۰/۴۷
۷۰۰	۰/۱۳	۰/۲۳
۸۰۰	۰/۰۹	۰/۱۱
۹۰۰	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶
۱۰۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۴
۱۱۰۰	۰/۰۲۲۵	۰/۰۲
۱۲۰۰	۰	۰

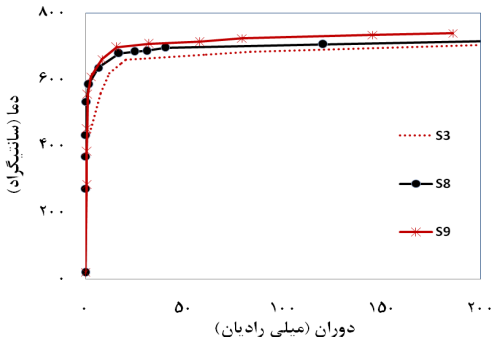
۵-۳- اثر استفاده از عایق

یکی از موارد متداول در مقاوم‌سازی اعضای فولادی در برابر آتش، استفاده از عایق‌ها می‌باشد. استفاده از عایق‌ها بالاخص در سازه‌های با درجه اهمیت بالا مانند سکوهای نفتی، بسیار متداول می‌باشد (شکل۱). اگرچه پر واضح است که استفاده از عایق میزان حرارت موثری را که بر اتصال وارد می‌شود کاهش داده و نتیجتا اتصال

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

می‌تواند ترازهای حرارتی بالاتری را تحمل نماید؛ اما با توجه به قیمت بالای پوشش های حرارتی و همچنین دشواری های خاصی که در استفاده از آنها وجود دارد استفاده بهینه و حداقلی از عایق‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

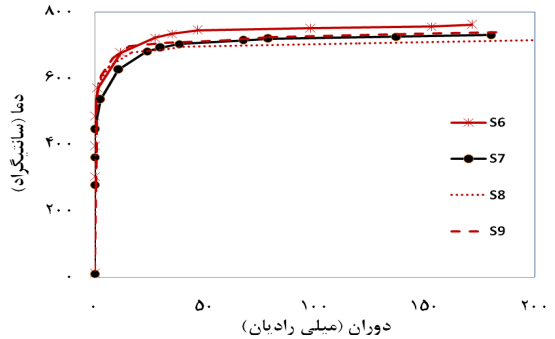
با توجه به این مساله در این تحقیق نمونه‌های S8 و S9 به منظور بررسی چینش عایق و همچنین میزان تاثیر عایق انتخاب شده‌اند. این دو نمونه کاملا مشابه نمونه S3 هستند با این تفاوت که در نمونه S8 ورق جان در محدوده چشمه اتصال عایق شده است و در نمونه S9، استار پلیت در محدوده چشمه اتصال عایق شده است. در شکل ۱۱ نمودار دوران – دما برای این سه نمونه ارائه شده است .



شکل ۱۱ - تاثیر استفاده از عایق بر نمودار دما–دوران نمونه‌ها

نتایج ارائه شده در نمودارهای شکل ۱۱ نشان می‌دهند همانطورکه انتظار می‌رفت استفاده از عایق‌ها باعث می‌شود که ظرفیت حرارتی اتصال افزایش یابد.

مقایسه نتایج ارائه شده در بخش ۵-۲ و ۵-۳ نشان می‌دهد که اگرچه هر دو روش مقاوم سازی اتصال با استفاده از افزایش ضخامت اعضا و همچنین استفاده از عایق باعث افزایش حرارت شده است ولیکن در این سری آزمایشات افزایش ضخامت اعضا موثرتر بوده است. در مورد علت این مساله، می‌توان اینطور نتیجه‌گیری نمود که احتمالا به دلیل آنکه عایق صرفا در بخش کوچکی از محدوده چشمه اتصال استفاده شده است (مثلا استار پلیت) موجب شده که آن بخش نسبت به سایر بخش های چشمه اتصال اختلاف گرمایی بسیار زیادی داشته باشد. وجود این مساله باعث شده که نسبت دوران و تغییر شکل‌های رخ داده در این بخش نسبت به بخش‌های مجاور در محدوده چشمه اتصال بسیار کمتر شده و پیوستگی بین اعضای چشمه اتصال و رفتار اندرکنشی بین آنها از بین رود و کلیه تغییر مکان‌ها و دوران‌ها به سایر بخش‌های چشمه منتقل شده و موجب شود آن بخش‌ها زودتر دچار گسیختگی شوند. در حالیکه در حالتی که عایق وجود نداشته باشد، دوران‌ها و تغییرشکل‌ها همزمان با افزایش حرارت ایجاد شده و بین بخش های مختلف اتصال توزیع شده و هر یک سهم مشخصی در پذیرش آنها دارند. با توجه به این نتیجه‌گیری، به نظر می‌رسد در صورت تمایل به استفاده از عایق، بایستی که کل محدوده چشمه اتصال عایق شود تا اعضا چشمه اتصال هم‌زمان درجه حرارت یکسانی داشته و امکان عملکرد یکپارچه و اندرکنشی بین آنها فراهم شده و هر یک سهم مشخصی از تغییرشکل ها و اثرات حرارتی داشته باشند. مقایسه بین نتایج مقاوم کردن و عایق کردن اتصال در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- مقایسه بین نتایج مقاوم کردن و عایق کردن اتصال

۵-۴- مد گسیختگی اتصالات

یکی از موارد مهم در بررسی رفتار اتصالات، شناخت و بررسی نحوه گسیختگی این نوع از اتصالات می‌باشد؛ چرا که در یک طراحی مناسب، یک طراح بایستی با شناخت دقیق نحوه گسیختگی هر یک از اعضای سازه به نحوی عمل نماید که از گسیختگی های ترد و غیر منتظره در سازه اجتناب نموده و مد گسیختگی را در بخش هایی از سازه که گسیختگی انعطاف پذیر و مناسبی دارند ایجاد نماید. بررسی نتایج حاصله در این مجموعه نشان می‌دهد که اگرچه ورق

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

جان در محدوده چشمه اتصال تا حدی جاری می‌شود ولیکن جاری شدن کامل استار پلیت بالا و پایین و در نهایت گسیختگی جوش اتصال دهنده استارپلیت به تیر موجب گسیختگی اتصالات می‌شود. در شکل ۱۳ نحوه گسیختگی اتصالات نشان داده شده است.



شکل ۱۳- نحوه گسیختگی اتصالات

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مهم نفت در عرصه های سیاسی و اقتصادی و همچنین اهمیت سکوهای نفتی در استخراج نفت، حفظ و افزایش عمر مفید این سازه‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار است. با توجه به این مساله از یک سو و احتمال بالای وقوع آتش‌سوزی از سوی دیگر، در این تحقیق رفتار اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای به عنوان یکی از انواع رایج اتصالات به کار رفته در این سازه‌ها در برابر آتش مطالعه شده است. به منظور انجام این تحقیق ۱۱ آزمایش مختلف بر روی این نوع اتصالات انجام شده است.

از نتایج تجربی، خانواده‌ای از منحنی دوران– دما برای این اتصالات استخراج گردید انتظار می‌رود که این نتایج برای سایر تحقیقات در مورد رفتار اتصالات در آتش نیز مفید باشد؛ بالاخص از نتایج این آزمایشات برای ایجاد مدل های عددی متناسب برای این نوع اتصالات می‌توان سود برد. زیرا چنین داده‌هایی به دلیل کمبود داده‌های تجربی در این زمینه در دسترس نیستند. تاثیر یا عدم تاثیر پارامتر های متعددی بر رفتار این دو دسته از اتصالات بررسی شده که با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت استفاده از عایق های حرارتی، افزایش ضخامت اعضای اتصال (استار پلیت، استیفنر و ...)، کاهش ممان وارده بر اتصالات از جمله مواردی هستند که به کمک آنها می‌توان مقاومت اتصال را در برابر حرارت افزایش داد.

در بحث افزایش مقاومت اعضای اتصال باید توجه نمود که در صورت وجود محدودیت، موثرترین گزینه، افزایش ضخامت استار پلیت می‌باشد؛ چرا که مد اصلی گسیختگی این اتصالات جاری شدن و گسیختگی استار پلیت از محل جوش آن می‌باشد که با افزایش ضخامت استار پلیت و پیرو آن افزایش عمق جوش شیاری، آن مد گسیختگی به تعویق افتاده و ظرفیت افزایش می‌یابد.

ولیکن این نکته قابل توجه است که همانطور که نتایج این آزمایشات نیز نشان می‌دهد در صورت استفاده از فولاد معمولی ساختمانی امکان آنکه اتصال دمایی بالاتر از ۷۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل کند وجود ندارد و در این دما سختی اتصال به صفر می‌رسد.

علاوه بر این، نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد بدون تردید جوش ها یکی از مهمترین اجزای یک اتصال جوشی در حرارت های بالا می‌باشند و عدم عملکرد مناسب آنها به طور جدی مانع عملکرد سایر اجزا و استفاده مناسب از ظرفیت‌های آن اتصال می‌شود.

لذا انجام تست‌های غیر مخرب و بازرسی‌های متعدد در اتصالات جوشی به کار رفته در سکوهای نفتی به شدت توصیه می‌شود. با توجه به نمودار دما- دوران ارایه شده، تمامی منحنی تا وقتی که به یک دمای خاص نرسیده‌اند رفتار الاستیک دارند و بعد از این دما، آنها تا پایان آزمایش از یک منحنی تغییرشکل پلاستیک پیروی می‌کنند. شروع رفتار پلاستیک نمونه‌ها در دمایی بین ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۷- کلید واژگان

1-Evertt and Nehring
2-Eberg
3-Shettty
4-Worldwide offshore accident data bank
5-ISO 834
6-ASTM-E-119
7-TDS- 303

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]

8-TML
9-IPE220
10-SMAW (Shielded Metal Arc Welding)
11-Wps

۸- مراجع

1-Jones, SW., Kirby, PA. and Nethercot, DA., (1981), The analysis of frames with semi-rigid joints: A state-of-the-art report, Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield.
2-Liu, TCH., (1999), Moment–rotation–temperature characteristics of steel/ composite connections, Journal of Structural Engineering, Vol. 125(10), p. 1188–97.
3-Mao, C.J., Chiou, Y.J., Hsiao, P.A. and Ho, M.C., (2009), Fire response of steel semi-rigid beam column moment connections, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, p. 1290-1303.
4-Rahman, R., Hawileh, R. and Mahamid, M., (2004), The effect of fire loading on a steel frame and connection, In: Brebbia CA, de Wilde WP, editors. High-performance structures and materials II. WIT Press, p. 307-16.
5-Saedi Daryan, A. and Yahyai, M., (2009), Behavior of bolted top-seat angle connections in fire, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, p. 531-54.
6-Saedi Daryan, A. and Yahyai, M., (2009), Modeling of bolted angle connections in fire, Fire Safety Journal, Vol. 44, p. 976-988.
7-Saedi Daryan, A. and Bahrampoor, H., (2009), The study of behavior of Khorjini connections in fire, Fire Safety Journal, Vol. 44, p. 659-664.
8-Saedi Daryan, A. and Yahyai, M., (2009), Behavior of welded top-seat angle connections exposed to fire, Fire Safety Journal,Vol. 44. p. 603-611.
9-Saedi Daryan, A., (2011), Building fire simulation and progressive collapse analysis, PhD thesis, Tehran (Iran), K.N. Toosi University.
10-El-Housseiny, OM., Abdel Salam, S., Attia, G.A.M. and Saad, AM., (1998), Behavior of extended end plate connections at high temperature, Journal of Construction Steel Research, Vol. 46(1-3), p. 299.
11-da Silva, LS. and Coelho, AMG., (2001), An analytical evaluation of the response of steel joints under bending and axial force, Journal of Computers & Structures, Vol. 79, p. 873-81.
12-Wald, F., Simo˜ nes da Silva, L., Moore, DB., Lennon, T., Chaldna, M. and Santiago, M., (2006), Experimental behavior of a steel structure under natural fire, Fire Safety Journal, Vol. 41, p. 509-22.
13-Everett, E.G. and Nehring, G., (1976), An approach to fire control in offshore operations in the North Sea, Eighth Annual Offshore Technology Conference Proceedings, Published by: Offshore Technology Conference, Dallas, TX (USA), Vol. 2, p. 405-416.
14-Eberg, E., Amdahl, J., Homlas, H. and Hekkelstrand, B., (1992), Integrated analysis of offshore structures subjected to fire, Conf. on Structural Design against Accidental Loads – London, UK.
15-Shetty, N.K., Soares, C., Thoft-Christensen, P. and Jensen, F.M., (1998), Fire safety assessment and optimal design of passive fire protection for offshore structures, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 61 (1-2), p. 139-149.
16-Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), (2010), Tehran, Iran, www.ripi.ir.
17-WOAD, Worldwide Offshore Accident Databank, Det Norske Veritas, Oslo, published biannually.
18-2-Lennon, T., (1996), Personal correspondence, Watford, UK: Building Research Establishment Ltd (BRE).
19-ISO 834, (2002), Fire resistance tests-elements of building construction.
20-ASTM- E 119- 05a, (2003), Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
21-Hosseini, S.A., (2012), Fire effects on behaviour of welded steel I-beam to circular tubular chord connections in oil platform decks, PhD thesis. Tehran (Iran): K.N. Toosi University, (In Persian).
22-AWS Catalogs, (2005), American Welding Society.
23-European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 3, (2003), Design of steel structures, Part 1.2: General rules structural fire design, prEN-1993-1-2.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.7.8]