

دانشگاه صنعتی شاهرود / ضمیمه نوابه ضمیمه الیرین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

رساله دوره دکتری رشته مهندسی عمران – سازه

موضوع رساله به فارسی:

ارزیابی رفتار سازه عرشه سکوه‌های فراساحل فولادی نفت و گاز در برابر آتش‌سوزی

استاد/اساتید راهنما:

دکتر مصطفی زین‌الدینی

استاد مشاور:

دکتر محمد دقیق

پژوهشگر:

سید احمد حسینی

تیر ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزه

که تمام تلاش و آرزویشان موفقیت اینجانب بود

همسر صبور

که در تمامی سختی‌های دوران انجام رساله همراه بود

تقدیر و تشکر:

- از کمک‌ها و راهنمایی‌های استاد عزیزم آقای دکتر زین‌الدینی کمال تشکر را دارم.
- از همسرم که با بردباریشان، آرامش لازم را برای انجام این کار تحقیقی برای اینجانب فراهم آوردند سپاسگزارم.
- از پدر و مادر دلسوزم که اصلی‌ترین مشوق و حامی من در این مسیر علمی بودند متشکرم.
- از آقای دکتر دقیق و دوست عزیزم آقای دکتر ساعدی که از مشاوره‌شان استفاده فراوانی کردم تشکر می‌کنم.
- از آقایان دکتر صدرنژاد، صادق آذر، بهاری و عسگریان که داوری رساله را بر عهده داشتند و نظرات مشورتی ارزشمندی به اینجانب دادند سپاسگزارم.
- از آقایان مهندس رهبری، دکتر بهاری، مهندس حسامی و مهندس چنگیزی که زمینه انجام آزمایش‌ها را فراهم آوردند کمال تشکر را دارم.
- از برادرم آقای مهندس حسینی و از دوستان آقایان مهندس حیدرزاده و مهندس سزازی که در انجام آزمایش‌ها کمک بنده بودند تشکر می‌کنم.

چکیده

اتصالات تیر به ستون اهمیت بالایی در رفتار مکانیکی سازه‌ها در دمای معمولی و دمای بالا دارند. هنگامی که سازه‌های فولادی در معرض آتش‌سوزی قرار می‌گیرند، ظرفیت باربری‌شان شدیداً کاهش می‌یابد و رفتار اتصالات تأثیر مهمی در رفتار عمومی سازه خواهد داشت. مشاهدات آزمایش‌های آتش‌سوزی با مقیاس کامل و سازه‌های آسیب‌دیده در آتش‌سوزی بیانگر آن است که اتصالات نقش مهمی در زمان مقاومت اجزای سازه‌ای در آتش‌سوزی بازی می‌کنند.

به خاطر هزینه بالای آزمایش‌های حرارت بالا، داده‌های آزمایشگاهی کافی روی طیف وسیعی از اتصالات در دسترس نمی‌باشد. یکی از این اتصالات، اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای در عرشه سکوی فراساحل می‌باشد. با توجه به احتمال بالای خطر آتش‌سوزی در سکوی نفت و گاز و پیامدهای سنگین آن، این رساله دکتری روی رفتار سازه‌ای این اتصالات در دماهای بالا متمرکز شده است.

در بخشی از این مطالعه، ۱۱ آزمایش با مقیاس کوچک روی اتصالات فولادی تیر I شکل به ستون لوله‌ای با دیافراگم خارجی انجام شده است تا ظرفیت حرارتی آن‌ها بررسی شود. مودهای خرابی و الگوی تغییرشکل این نمونه‌ها مطالعه شده است و نتایج در قالب نمودارهای دما-دوران ارائه شده است.

هم‌چنین پاسخ اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای در دماهای بالا با استفاده از روش مدل‌سازی عددی شبیه‌سازی شده است. یک مدل اجزای محدود غیرخطی مکانیکی-حرارتی درگیر بدین منظور بکار برده شده است. این مدل، ابتدا با مقایسه با داده‌های آزمایش آتش روی این نوع از اتصالات که در بالا اشاره شد صحت‌سنجی شده است. توافق خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و مطالعات عددی بدست آمده است. این مدل عددی، سپس برای شبیه‌سازی پاسخ به آتش‌سوزی تعدادی از اتصالات با مقیاس کامل تیر I شکل فولادی به ستون CHS در سکوی دریایی موجود، بکار رفته است. تأثیرات پارامترهایی مانند بزرگی بارگذاری اولیه، تنش محوری در ستون، مشارکت سخت‌کننده‌ها در سختی خمشی و مودهای خرابی این اتصالات در دماهای بالا بررسی شده است.

رفتار سازه‌ای این نوع از اتصالات در شرایط پس از آتش‌سوزی نیز به صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی شده است. در مجموع، چهار آزمایش مقیاس کوچک روی اتصالات جوشی تیر I شکل به ستون لوله‌ای با دیافراگم‌های خارجی انجام شده است تا رفتار پس از آتش‌سوزی و مقاومت پسماند آنها بررسی شود. سپس یک مدل اجزای محدود سه بعدی از این اتصالات ساخته شده است. مقایسه این مدل عددی با داده‌های آزمایش‌های مذکور، میزان دقت بالای مدل را نشان می‌دهد. مدل صحت‌سنجی شده، برای انجام مطالعات پارامتری رفتار اتصال در شرایط پس از آتش‌سوزی بکار رفته است.

علاوه بر این تلاش شده است تا یک روش تحلیلی برای پیش‌بینی منحنی‌های لنگر-دوران و سختی دورانی-دوران اتصال تیر I شکل به ستون CHS هم در دمای اتاق و هم در دمای بالا استخراج شود. توافق خوبی بین نتایج مدل تحلیلی و نتایج مدل‌های آزمایشگاهی/عددی بدست آمده است.

۱.....	فصل اول: معرفی
۲.....	۱-۱- معرفی رساله
۴.....	۲-۱- اهداف رساله
۵.....	۳-۱- ساختار رساله
۷.....	فصل دوم: مروری بر رفتار اتصالات عرشه سکوهای دریایی در آتش‌سوزی
۸.....	۱-۲- انواع آتش‌سوزی در سکوهای دریایی و روش‌های رایج مقابله با آن
۸.....	۱-۱-۲- محافظت غیر فعال در برابر آتش
۹.....	۲-۱-۲- محافظت فعال در برابر آتش و خاموش کردن آتش
۱۱.....	۲-۲- انتقال دما در حین آتش‌سوزی
۱۱.....	۱-۲-۲- مقدمه
۱۳.....	۲-۲-۲- مبانی نظری انتقال حرارت
۱۴.....	۳-۲-۲- انتقال حرارت هدایت- ناپایدار و گذرا
۱۵.....	۳-۲- رفتار فولاد در برابر آتش
۱۶.....	۱-۳-۲- کاهش تنش تسلیم با دما
۱۷.....	۲-۳-۲- کاهش مدول ارتجاعی با دما
۲۲.....	۴-۲- انواع اتصالات در عرشه سکوهای فولادی دریایی
۲۲.....	۱-۴-۲- مقدمه
۲۳.....	۲-۴-۲- اتصالات مدول‌های عرشه
۲۴.....	۳-۴-۲- اتصال تیرچه و تیر حمل
۲۴.....	۴-۴-۲- اتصال تیر فرعی به تیر اصلی
۲۶.....	۵-۴-۲- اتصال تیر اصلی به پایه عرشه
۲۷.....	۶-۴-۲- اتصال تیرها و ستون بین طبقات
۳۰.....	۵-۲- خلاصه
۳۱.....	فصل سوم: مرور مطالعات قبلی
۳۲.....	۱-۳- تحقیقات قبلی بر روی آتش‌سوزی در سکوهای فراساحل فلزی
۳۴.....	۲-۳- تحقیقات انجام شده روی ساختمانهای فولادی واقع در خشکی
۳۵.....	۱-۲-۳- پاسخ انواع اتصالات فولادی به پدیده آتش‌سوزی
۴۳.....	۲-۲-۳- مطالعات آتش‌سوزی روی دیگر اعضای فولادی (به غیر از اتصالات)
۵۷.....	۳-۳- توصیه‌های آیین‌نامه‌ای برای طراحی ساختمانهای فولادی در برابر آتش
۵۷.....	۱-۳-۳- Eurocode آیین‌نامه
۶۱.....	۲-۳-۳- AISC آیین‌نامه
۶۲.....	۳-۳-۳- API-RP 2A-WSD استاندارد
۶۷.....	۴-۳- خلاصه و نتیجه‌گیری
۷۱.....	فصل چهارم: مبانی مطالعات آزمایشگاهی و عددی
۷۲.....	۱-۴- مبانی مطالعات آزمایشگاهی
۷۲.....	۱-۱-۴- مقدمه
۷۲.....	۲-۱-۴- تهیه تجهیزات مورد نیاز

۷۶	۳-۱-۴- تهیه و آماده سازی نمونه‌های آزمایشگاهی
۸۸	۴-۱-۴- نصب، کنترل و راه‌اندازی تجهیزات آزمایشگاهی
۹۲	۴-۱-۵- انجام آزمایش
۱۰۰	۴-۲- مبنای مدل‌سازی عددی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در آتش‌سوزی
۱۰۰	۴-۲-۱- آشنایی با نرم‌افزار ABAQUS
۱۰۱	۴-۲-۲- نحوه تحلیل مسائل انتقال حرارت در نرم‌افزار ABAQUS
۱۰۵	۴-۲-۳- مبنای مدل‌سازی اتصال تیر فولادی به ستون لوله‌ای عرشه سکوی فراساحل در برابر آتش‌سوزی
۱۱۰	۴-۳- خلاصه و جمع‌بندی
۱۱۱	فصل پنجم: نتایج آزمایش‌های آتش بر روی اتصالات تیر به ستون عرشه سکوهای فراساحل
۱۱۲	۵-۱- مقدمه
۱۱۳	۵-۲- معرفی
۱۱۳	۵-۲-۱- اتصالات در سکوهای فلزی
۱۱۴	۵-۲-۲- رفتار اتصال تیر I شکل به پایه لوله‌ای در دمای محیط
۱۱۵	۵-۲-۳- حوادث آتش‌سوزی در سکوهای دریایی نفت و گاز
۱۱۷	۵-۲-۴- مقررات طراحی سازه‌های دریایی و آتش‌سوزی
۱۱۸	۵-۲-۵- رفتار اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در حرارت‌های بالا
۱۱۹	۵-۲-۶- گستره و اهداف مطالعه حاضر
۱۲۰	۵-۳- طراحی تنظیمات آزمایشگاهی و نمونه‌ها
۱۲۰	۵-۳-۱- نمونه‌های آزمایش
۱۲۲	۵-۳-۲- چیدمان آزمایش
۱۲۴	۵-۳-۳- تجهیزات اندازه‌گیری
۱۲۵	۵-۳-۴- سیستم بارگذاری
۱۲۷	۵-۴- روند انجام آزمایش
۱۲۷	۵-۴-۱- جزئیات آزمایش‌ها
۱۲۸	۵-۴-۲- توزیع دما
۱۲۹	۵-۴-۳- محاسبه دوران
۱۳۰	۵-۵- نتایج و بحث‌ها
۱۳۱	۵-۵-۱- پاسخ‌های دما- دوران
۱۳۲	۵-۵-۲- تأثیر بار اعمالی روی رفتار اتصال
۱۳۳	۵-۵-۳- تأثیر افزایش ضخامت دیافراگم‌ها/ سخت‌کننده‌ها
۱۳۵	۵-۵-۴- تأثیر عایق کردن جزئی چشمه اتصال
۱۳۹	۵-۵-۵- مودهای شکست اتصال
۱۴۰	۵-۵-۶- سختی دورانی اتصال در دماهای بالا
۱۴۲	۵-۶- ملاحظات نهایی
۱۴۵	فصل ششم: پاسخ سازه‌های اتصالات تیر I شکل فولادی به ستون CHS در آتش‌سوزی: مدل‌سازی عددی
۱۴۶	۶-۱- مقدمه
۱۴۷	۶-۲- معرفی
۱۴۷	۶-۲-۱- حادثه آتش‌سوزی در سکوهای دریایی
۱۴۸	۶-۲-۲- اتصالات تیر I شکل به CHS در دمای محیط

- ۱۴۹ ۳-۲-۶ رفتار اتصالات تیر I شکل به ستون CHS در دماهای بالا
- ۱۵۰ ۴-۲-۶ اهداف این مطالعه
- ۱۵۱ ۳-۶ انعطاف‌پذیری اتصال
- ۱۵۲ ۴-۶ هندسه مدل‌ها
- ۱۵۳ ۱-۴-۶ اتصالات مقیاس کوچک
- ۱۵۵ ۲-۴-۶ اتصالات با مقیاس کامل
- ۱۵۵ ۵-۶ مدل اجزای محدود
- ۱۵۵ ۱-۵-۶ مدل‌سازی و تحلیل
- ۱۵۷ ۲-۵-۶ شرایط مرزی و بارگذاری
- ۱۵۹ ۳-۵-۶ خصوصیات مصالح
- ۱۵۹ ۶-۶ صحت‌سنجی مدل‌ها
- ۱۵۹ ۱-۶-۶ شبیه‌سازی عددی آزمایش اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای
- ۱۶۰ ۲-۶-۶ شبیه‌سازی عددی آزمایش آتش دیگر محققین
- ۱۶۳ ۷-۶ عمل‌کرد در برابر آتش‌سوزی اتصالات مقیاس کامل
- ۱۶۷ ۱-۷-۶ اثر بار محوری در ستون
- ۱۷۱ ۲-۷-۶ اثر بزرگی لنگر خمشی
- ۱۷۳ ۳-۷-۶ اثر بزرگی نیروی برش عرضی
- ۱۷۵ ۴-۷-۶ اثر قید در انتهای تیر I شکل
- ۱۷۶ ۵-۷-۶ اثر تقویت موضعی اتصال
- ۱۸۰ ۶-۷-۶ اثر سوراخ دسترسی جوش
- ۱۸۱ ۸-۶ بحث و بررسی روی روند کاهش سختی اتصالات در حرارت‌های بالا
- ۱۸۴ ۹-۶ نتایج
- فصل هفتم: عمل‌کرد اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در عرشه سکوه‌های دریایی در معرض شرایط آتش‌سوزی و پس از آتش‌سوزی**
- ۱۸۷ ۱-۷ مقدمه
- ۱۸۹ ۲-۷ معرفی
- ۱۹۲ ۳-۷ رویداد آتش‌سوزی و پس از آتش‌سوزی
- ۱۹۳ ۴-۷ هندسه مدل‌ها
- ۱۹۵ ۱-۴-۷ اتصالات مقیاس کوچک
- ۱۹۵ ۲-۴-۷ اتصالات با مقیاس کامل
- ۱۹۶ ۵-۷ روش اجزای محدود
- ۱۹۶ ۱-۵-۷ مبانی مدل‌سازی
- ۱۹۷ ۲-۵-۷ شرایط مرزی و بارگذاری
- ۱۹۸ ۳-۵-۷ رفتار مصالح در گرمایش و سرمايش
- ۲۰۱ ۶-۶ صحت‌سنجی مدل عددی
- ۲۰۲ ۷-۷ پاسخ لنگر- دوران اتصالات در شرایط پس از آتش‌سوزی
- ۲۰۴ ۸-۷ نتایج و بحث
- ۲۰۴ ۱-۸-۷ اثر نسبت لنگر اعمال شده در ظرفیت باربری پس از آتش‌سوزی اتصال
- ۲۰۵ ۲-۸-۷ اثرات حداکثر دمای مرحله گرمایش بر رفتار پس از آتش‌سوزی اتصال

۲۰۷	۳-۸-۷- شاخص مقاومت پسماند
۲۱۰	۹-۷- خلاصه و نتیجه‌گیری
فصل هشتم: ارائه مدل تحلیلی برای رفتار اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در دمای معمولی و دمای بالا	
۲۱۳	۱-۸- معرفی
۲۱۴	۱-۱-۸- مقدمه
۲۱۴	۲-۱-۸- رفتار اتصال
۲۱۸	۳-۱-۸- طبقه‌بندی مدل‌های اتصال
۲۱۸	۴-۱-۸- انواع مدل‌های اتصال
۲۲۳	۲-۸- پیش‌بینی منحنی‌های لنگر- دوران اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای در دمای معمولی
۲۲۳	۱-۲-۸- محاسبه مقطع موثر اتصال
۲۲۵	۲-۲-۸- تعیین مشخصات هندسی مقطع موثر
۲۲۶	۳-۲-۸- محاسبه توزیع بار لنگر وارده بر روی اجزای اتصال
۲۳۳	۴-۲-۸- تعیین لنگر تسلیم مقطع
۲۳۴	۵-۲-۸- تعیین لنگر خمیری مقطع
۲۳۵	۶-۲-۸- صحت‌سنجی مقادیر پیشنهادی برای لنگر تسلیم و لنگر خمیری با استفاده از مدل عددی
۲۳۸	۷-۲-۸- ارائه مدل تحلیلی برای محاسبه منحنی‌های $M - \varphi$ و $kj - \varphi$ اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای
۲۴۳	۳-۸- مدل تحلیلی لنگر- دوران اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای در دماهای بالا
۲۴۶	۴-۸- خلاصه و نتیجه‌گیری
فصل نهم: نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات بعدی	
۲۴۹	۱-۹- خلاصه و نتیجه‌گیری
۲۵۵	۲-۹- اهم دستاوردهای رساله
۲۵۶	۳-۹- ارائه پیشنهاداتی برای مطالعات آینده
۲۵۹	پیوست: مقالات استخراج شده از رساله دکتری
۲۶۵	منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ تصاویری از آتش‌سوزی در سکوهای فراساحل نفت و گاز ۳
- شکل ۲-۱ نمایی شماتیک از اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه سکوهای دریایی ۴
- شکل ۳-۱ نمایی از کاربرد وسیع اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در سکوهای فراساحل ۴
- شکل ۱-۲ داده‌های آزمایشگاهی برای کاهش تنش تسلیم با دما [۲] ۱۸
- شکل ۲-۲ نمونه روابط پیشنهادی برای ضریب کاهش تنش تسلیم با دما [۲] ۱۸
- شکل ۳-۲ مقایسه بین روابط پیشنهادی Miamis [۲] و روابط ارائه شده توسط Eurocode 3 [۳] و New Zealand Steel Structures Standard [۴] برای ضریب کاهش تنش تسلیم با دما ۱۹
- شکل ۴-۲ اطلاعات آزمایش برای کاهش مدول ارتجاعی با دما [۲] ۲۱
- شکل ۵-۲ نمونه‌ای از روابط پیشنهادی برای ضریب کاهش مدول ارتجاعی با دما [۲] ۲۱
- شکل ۶-۲ مقایسه بین روابط پیشنهادی Miamis [۲] و روابط استفاده شده توسط Eurocode 3 [۳] و New Zealand Steel Structures Standard [۴] برای کاهش مدول ارتجاعی با دما ۲۲
- شکل ۷-۲ نحوه انتقال بار در یک اتصال سیستم کف [۹] ۲۵
- شکل ۸-۲ نحوه انتقال بار در اتصال یک سیستم همتراز (با تیر حمال عرشه) [۹] ۲۵
- شکل ۹-۲ اتصال تیر فرعی به تیر اصلی در یک مفهوم کف سوار [۹] ۲۶
- شکل ۱۰-۲ اتصال تیپ تیر اصلی به پایه (هنگامی که اسکلت از قاب پرتال است) [۹] ۲۹
- شکل ۱۱-۲ اتصال فاقد تقویت تیر اصلی به پایه عرشه [۹] ۳۰
- شکل ۱۲-۲ اتصال تیر محور به دیواره ستون عرشه (با عبور دادن عضو لوله‌ای از داخل تیر) [۹] ۳۱
- شکل ۱-۳ تصویر پس از آزمایش نمونه اتصال- مشاهده ترک در عایق PFP در تصویر سمت راست در مطالعات Amdahl و همکاران [۱۶] ۳۴
- شکل ۲-۳ جزئیات تنظیمات آزمایش برای حالت‌های مختلف اتصال در مطالعات Wang و Ding [۱۸] ۳۸
- شکل ۳-۳ مود شکست اتصالات در آزمایش‌های Saedi و Yahyai [۲۱] ۴۰
- شکل ۴-۳ جزئیات مدل اجزای محدود ارائه شده برای شبیه‌سازی اتصال برشی تیر به ستون در تحقیقات Sarraj و همکاران [۲۴] ۴۲
- شکل ۵-۳ نمودار نیرو- دوران برای اتصالات آزمایش شده توسط Hongxia [۲۵] ۴۳
- شکل ۶-۳ موقعیت اجزای آتش آزمایش آتش ساختمان هفت طبقه روی پلان قاب Cardington [۲۶] ۴۵
- شکل ۷-۳ جزئیات آزمایش مقیاس کامل Cardington (a) بار آتش در مکان تولید آتش؛ (b) بار آتش اطراف ستون D2؛ (c) نصب کرنش‌سنج‌ها روی ستون بالای واحد آتش؛ (d) و (e) نصب کرنش‌سنج‌ها روی ستون در واحد آتش؛ (f) عایق آتش ستون داخلی E2 بعد از آزمایش؛ (g) عایق آتش ستون بیرونی E1 بعد از آزمایش روی قاب Cardington [۲۶] ۴۶
- شکل ۸-۳ نمایی از اجزای آزمایش در مطالعات Liu و همکاران [۲۷] ۴۷
- شکل ۹-۳ لنگر ورق انتهایی اتصال برای قید محوری 8 kN/mm در مطالعات Liu و همکاران [۲۷] ۴۸
- شکل ۱۰-۳ بیشینه لنگر ثبت شده حول محور ضعیف ستون در تحقیقات Bailey و همکاران [۳۰] ۵۱
- شکل ۱۱-۳ نمای عایق کاری برای نمونه‌های ستون در مطالعات Quiel [۳۳] ۵۵
- شکل ۱۲-۳ ضریب کاهش مقاومت برای فولادها، با استفاده از تنش مربوط به کرنش ۰.۲٪ در دمای بالای 400 °C ۵۷
- شکل ۱۳-۳ ضریب کاهش برای رابطه تنش کرنش فولاد کربنی در دمای بالا در آیین‌نامه Eurocode 3 [۳] ۵۹
- شکل ۱۴-۳ افزایش طول گرمایی فولاد کربنی بعنوان تابعی از دما در آیین‌نامه Eurocode 3 [۳] ۵۹

- شکل ۳-۱۵ گرمای مخصوص فولاد کربنی بعنوان تابعی از دما در آیین‌نامه Eurocode 3 [۳] ۶۰
- شکل ۳-۱۶ هدایت گرمایی فولاد کربنی بعنوان تابعی از دما در آیین‌نامه Eurocode 3 [۳] ۶۰
- شکل ۳-۱۷ ضریب کاهش مقاومت تسلیم فولاد طبق استاندارد API [۳۸] ۶۴
- شکل ۳-۱۸ بیشینه دمای مجاز فولاد به عنوان تابعی از روش تحلیل طبق استاندارد API [۳۸] ۶۸
- شکل ۳-۱۹ تأثیر انتخاب کرنش در خطی‌سازی خصوصیات تنش/کرنش فولاد در دمای بالا طبق استاندارد API [۳۸] ۶۹
- شکل ۴-۱ تصاویر نمونه‌ای از تجهیزات آزمایشگاهی استفاده شده در این رساله ۷۳
- شکل ۴-۲ مراحل عایق بندی دیواره کوره با استفاده از عایق‌های فایبر سرامیک و پشم سنگ ۷۶
- شکل ۴-۳ نمایی از یارد ساخت سکوه‌های فراساحل واقع در بندر خرمشهر ۷۷
- شکل ۴-۴ عرشه سکوی چین ساخت فاز ۱۲ پارس جنوبی واقع در بندر خرمشهر ۷۸
- شکل ۴-۵ حالات مختلف اتصال شاهتیر اصلی I شکل به ستون اصلی لوله‌ای عرشه سکوه‌های فراساحل ۸۰
- شکل ۴-۶ جزئیات دقیق اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای ساخته شده برای آزمایش در آتش‌سوزی ۸۱
- شکل ۴-۷ تصاویری از مراحل ساخت و جوشکاری نمونه‌ها ۸۲
- شکل ۴-۸ مشخصات فرایند جوشکاری آزمایش اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه سکوی فراساحل [۴۰] ... ۸۳
- شکل ۴-۹ نمونه‌ای از بازرسی و کنترل کامل جوش‌ها به کمک تست غیر مخرب اولتراسونیک [۴۰] ۸۶
- شکل ۴-۱۰ نمایی شماتیک از نمونه آزمایش که همزمان تحت بارگذاری و حرارت توسط کوره قرار دارد ۸۹
- شکل ۴-۱۱ بخشی از مراحل ساخت نمونه‌های مقدماتی در تهران ۹۲
- شکل ۴-۱۲ نمودارهای مختلف زمان-دمای کوره [۴۱] ۹۴
- شکل ۴-۱۳ نمایی از یکی از نمونه‌ها در حین حرارت‌دهی ۹۵
- شکل ۴-۱۴ تغییر شکل مرحله به مرحله اتصال در داخل کوره حرارتی (نمونه S3) ۹۸
- شکل ۴-۱۵ جزئیات مربوط به اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه ۱۰۷
- شکل ۴-۱۶ نمایی از نحوه انجام مدل‌سازی و اعمال قیود در مطالعه Song و همکاران [۴۳] ۱۰۸
- شکل ۵-۱ نمایی شماتیک از اتصالات جوشی با تقویت و فاقد تقویت تیر I شکل به ستون لوله‌ای [۴۷] ۱۱۴
- شکل ۵-۲ نمونه‌هایی از حوادث آتش‌سوزی در سکوه‌های فراساحل ۱۱۶
- شکل ۵-۳ نمایی شماتیک از چیدمان آزمایش ۱۲۴
- شکل ۵-۴ تصویر پس از آزمایش بعضی نمونه‌ها ۱۲۸
- شکل ۵-۵ متوسط دما در نمونه‌های مختلف ۱۳۰
- شکل ۵-۶ پاسخ‌های دما-دوران اتصالات ۱۳۲
- شکل ۵-۷ تأثیر میزان لنگر اعمالی روی منحنی دما-دوران نمونه‌ها ۱۳۳
- شکل ۵-۸ تأثیر افزایش مقاومت دیافراگم‌ها/سخت‌کننده‌ها روی پاسخ دما-دوران نمونه‌ها ۱۳۴
- شکل ۵-۹ تأثیرات عایق کردن جزئی چشمه اتصال روی منحنی‌های دما-دوران نمونه‌ها ۱۳۸
- شکل ۵-۱۰ مقایسه تأثیرات افزایش مقاومت اتصال و عایق کردن چشمه اتصال روی پاسخ دما-دوران نمونه‌ها ... ۱۳۸
- شکل ۵-۱۱ نمای پس از آزمایش آتش‌سوزی نمونه S4 (نشان دهنده بعضی از مکانیزم‌های شکست) ۱۴۱
- شکل ۵-۱۲ تغییرات سختی دورانی بی‌بعد شده اتصال و مدول یانگ با دما ۱۴۲
- شکل ۶-۱ تعریف نقاط اندازه‌گیری متغیرهای بیانگر تغییر شکل اتصال ۱۵۲
- شکل ۶-۲ یکی از نمونه‌های تیپ آزمایش قبل از انجام آزمایش آتش‌سوزی ۱۵۴
- شکل ۶-۳ جزئیات نمونه‌های آزمایش آتش‌سوزی ۱۵۴
- شکل ۶-۴ مدل اجزای محدود اتصال ۱۵۷
- شکل ۶-۵ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای ۱۶۱

شکل ۶-۶ تصویر پس از آتش‌سوزی تغییرشکل یک اتصال با مقیاس کوچک (نمونه S2) به همراه شکل مرتبط مدل‌سازی عددی	۱۶۲
شکل ۶-۷ اتصال جوشی برشی تیر به ستون با نبشی نشیمن [۲۱]	۱۶۲
شکل ۶-۸ مدل اجزای محدود این اتصال	۱۶۳
شکل ۶-۹ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای	۱۶۳
شکل ۶-۱۰ شبیه‌سازی عددی هشت اتصال با مقیاس کامل: منحنی‌های لنگر- دوران در دماهای مختلف	۱۶۶
شکل ۶-۱۱ شبیه‌سازی عددی هشت اتصال با مقیاس کامل: اثر فشار محوری در ستون بر سختی دورانی اتصال در دماهای بالا	۱۷۰
شکل ۶-۱۲ شبیه‌سازی عددی اتصالات با مقیاس کامل: اثر بزرگی لنگر بر سختی دورانی اتصال در دماهای بالا ..	۱۷۲
شکل ۶-۱۳ شبیه‌سازی عددی هشت اتصال با مقیاس کامل: اثر بزرگی نیروی برشی بر سختی دورانی اتصال در دماهای زیاد	۱۷۴
شکل ۶-۱۴ شبیه‌سازی عددی هشت اتصال با مقیاس کامل: اثر مقید کردن انبساط تیر بر سختی دورانی اتصال در دماهای زیاد	۱۷۷
شکل ۶-۱۵ شبیه‌سازی عددی هشت اتصال با مقیاس کامل: اثرات افزایش ضخامت اجزاء اتصال بر سختی دورانی در دماهای بالا	۱۷۹
شکل ۶-۱۶ سوراخ دسترسی در شبیه‌سازی عددی	۱۸۱
شکل ۶-۱۷ اثر شکاف دسترسی بر سختی اتصال در دماهای بالا	۱۸۲
شکل ۶-۱۸ منحنی‌های کاهش سختی اتصال در لنگرهای اعمالی مختلف به همراه کاهش مدول یانگ با دما	۱۸۳
شکل ۶-۱۹ منحنی تنش فون میسس دیافراگم کششی اتصال در لنگرهای مختلف به همراه منحنی تنش تسلیم فولاد با دما	۱۸۴
شکل ۷-۲ مسیر کامل دما- بار- زمان [۱۲۰]	۱۹۴
شکل ۷-۳ نمایی از منحنی آتش کوره استاندارد هیدروکربنی EN 1363-2 به همراه فاز سرمایش [۳۹]	۱۹۴
شکل ۷-۴ دمای میانگین ثبت شده در نمونه‌های مختلف آزمایش طی مراحل آتش و سرمایش	۱۹۸
شکل ۷-۵ مقایسه نتایج مدل اجزای محدود با آزمایش	۲۰۲
شکل ۷-۶ منحنی لنگر- دوران تیپ [۱۲۰]	۲۰۳
شکل ۷-۷ اثرات نسبت لنگر اعمالی بر پاسخ نمونه‌های مقیاس کامل ($t_h = 600^\circ\text{C}$)	۲۰۶
شکل ۷-۸ اثرات دمای حداکثر مرحله گرمایش بر پاسخ لنگر- دوران نمونه‌های مقیاس کامل ($m = 0.1$)	۲۰۸
شکل ۷-۹ تغییر شکل نمونه TS3 در مراحل مختلف گرمایش و سرمایش اتصال ($m=0.1; T_h=866^\circ\text{C}$)	۲۰۹
شکل ۸-۱ انواع اتصالات تیر به ستون [۱۲۴]	۲۱۶
شکل ۸-۲ تغییر شکل دورانی یک اتصال	۲۱۷
شکل ۸-۳ منحنی‌های لنگر- دوران اتصالات معمول [۱۲۴]	۲۱۷
شکل ۸-۴ انواع مختلف مدل‌های اتصال [۵]	۲۲۲
شکل ۸-۵ نمایی از اتصالات تیپ تیر I شکل دارای ورق دیافراگم به ستون لوله‌ای	۲۲۴
شکل ۸-۶ مقطع موثر اتصال در برابر لنگر خمشی وارد بر آن	۲۲۵
شکل ۸-۷ توزیع بار محوری ناشی از لنگر خمشی روی اجزای اتصال	۲۲۷
شکل ۸-۸ نیروهای داخلی ایجاد شده در یک حلقه [۱۳۲]	۲۲۹
شکل ۸-۹ نحوه مشارکت انواع بارهای وارد بر مقطع در به تسلیم رساندن کل مقطع	۲۳۴
شکل ۸-۱۰ منحنی لنگر- دوران اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در دمای معمولی (برگرفته از فصل ششم) ..	۲۳۶
شکل ۸-۱۱ مقایسه نتایج مدل تحلیلی با مقادیر مدل عددی در محاسبه لنگر تسلیم	۲۳۷

- شکل ۸-۱۲ مقایسه نتایج مدل تحلیلی با مقادیر مدل عددی در محاسبه لنگر خمیری ۲۳۷
- شکل ۸-۱۳ منحنی سختی- دوران و لنگر- دوران آزمایش اتصال مقیاس کوچک تیر I شکل به ستون لوله‌ای و مقایسه آن با مدل خط کران‌دار پیشنهادی ۲۳۹
- شکل ۸-۱۴ منحنی‌های سختی- دوران و لنگر- دوران با مدل خط کران‌دار پیشنهادی برای انواع مختلف اتصالات و مقایسه آن با مدل عددی ۲۴۱
- شکل ۸-۱۵ منحنی لنگر- دوران اتصال NS1 در دماهای بالا با استفاده از روش محاسباتی پیشنهادی ۲۴۴
- شکل ۸-۱۶ منحنی‌های لنگر- دوران و سختی- دوران اتصال NS1 در دماهای مختلف با مدل خطی کران‌دار پیشنهادی و مقایسه آن با نتایج مدل عددی ۲۴۵

فهرست جداول

- جدول ۲-۱ جدول ضرایب کاهش تنش تسلیم و مدول ارتجاعی با دما بر اساس Eurocode 3 [۳] ۱۹
- جدول ۳-۱ ضریب کاهش برای رابطه تنش- کرنش فولاد کربنی در دمای بالا در آیین‌نامه Eurocode 3 [۳] ۵۸
- جدول ۳-۲ ضریب کاهش مقاومت تسلیم فولاد در دماهای بالا طبق استاندارد API [۳۸] ۶۵
- جدول ۳-۳ بیشینه دمای مجاز فولاد بعنوان تابعی از کرنش برای استفاده با روش منطقه‌ای طراحی طبق استاندارد API [۳۸] ۶۸
- جدول ۳-۴ بیشینه دمای مجاز فولاد به عنوان تابعی از نسبت استفاده (UR) طبق استاندارد API [۳۸] ۶۹
- جدول ۴-۱ خصوصیات مکانیکی مصالح در دمای معمولی ۸۲
- جدول ۴-۲ مشخصات اتصالات به کار رفته در هر آزمایش ۹۳
- جدول ۴-۳ ارتباط بین آزمایش‌های مختلف در مرحله گرمایش ۹۶
- جدول ۴-۴ تراز بار وارده بر اتصالات آزمایش شده ۹۶
- جدول ۴-۵ تراز بار وارده اولیه و زمان اعمال حرارت بخش گرمایش بر اتصالات آزمایش شده قسمت سرمایش ۹۹
- جدول ۴-۶ ارتباط بین آزمایش‌های مختلف در بخش سرمایش ۱۰۰
- جدول ۵-۱ حوادث بزرگ سکوه‌های نفت و گاز [۶۷] ۱۱۶
- جدول ۵-۲ ضخامت ورق‌های دیافراگم خارجی و سخت‌کننده جان و بار اعمالی در نمونه‌های مختلف ۱۲۹
- جدول ۵-۳ اهداف و ارتباط بین آزمایش‌های مختلف ۱۳۱
- جدول ۵-۴ ضرایب کاهش منحنی‌های تنش- کرنش فولاد در دماهای بالا [۳] ۱۳۷
- جدول ۵-۵ رابطه بین نتایج آزمایش و کاهش خواص مصالح به همراه مودهای شکست در نمونه‌های مختلف ۱۴۱
- جدول ۶-۱ ضخامت ورق‌های دیافراگم خارجی و سخت‌کننده در نمونه‌های مختلف ۱۵۵
- جدول ۶-۲ خصوصیات اتصالات واقعی ۱۵۶
- جدول ۶-۳ مقاومت دورانی و سختی اتصالات تیر I شکل به ستون CHS با مقیاس کامل در دمای محیط ۱۶۷
- جدول ۶-۴ رابطه بین مدل‌های استفاده شده برای ارزیابی اثرات تقویت موضعی اتصالات ۱۷۸
- جدول ۷-۱ مشخصات اتصالات مقیاس کامل ۱۹۶
- جدول ۷-۲ نسبت‌های بار و حداکثر دمای مرحله گرمایش روی نمونه‌های مختلف آزمایش ۲۰۲
- جدول ۷-۳ میزان شاخص مقاومت پسماند (α_r) در نمونه‌های مختلف مقیاس کامل ۲۱۰
- جدول ۸-۱ مشخصات اتصالات با مقیاس کامل تیر I شکل به ستون لوله‌ای استفاده شده در این تحقیق ۲۳۵
- جدول ۸-۲ مقادیر لنگرهای تسلیم و خمیری و سختی نواحی خطی ارتجاعی و خطی خمیری محاسبه شده از روابط تحلیلی پیشنهادی ۲۴۰
- جدول ۸-۳ مقادیر محاسبه شده برای لنگر تسلیم و خمیری و سختی نواحی خطی در دمای بالا برای اتصال NS1 با استفاده از روابط قبلی پیشنهادی ۲۴۴

✓ فصل اول: معرفی

۱-۱- معرفی رساله

بعد از حادثه ۱۱ سپتامبر برج‌های تجارت جهانی، پدیده آتش‌سوزی در سازه‌های فولادی، انفجار در داخل و جنب ساختمانها و خرابی‌های دیگری از این دست مورد توجه جدی محققین سازه قرار گرفته است. البته قبل از آن هم تحقیقات مختلفی در زمینه عمل‌کرد سازه‌های مختلف فولادی و بتنی واقع در خشکی در برابر انفجار و آتش‌سوزی انجام پذیرفته است. این تحقیقات رفتار کلی سازه در آتش، رفتار اتصالات در برابر آتش، بررسی رفتار اعضای منفرد در آتش و ... را شامل شده است. راهکارهای پیشگیری از وقوع آتش و روشهای غیر فعال و فعال مقابله با آن در سکوه‌های فراساحل همواره مورد بحث و توجه بوده‌اند. بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که ارزیابی عمل‌کرد سکوه‌های فلزی در برابر آتش، ارزیابی مقاومت باقیمانده اعضا پس از آتش‌سوزی، روشهای ترمیم، تقویت و بازسازی سازه آتش گرفته مورد توجه محققین قرار نگرفته است.

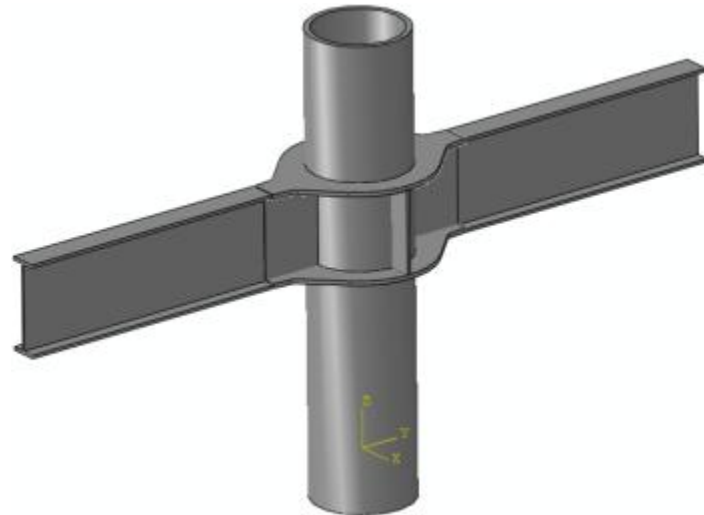
بررسی پدیده آتش‌سوزی و تأثیر آن بر رفتار سازه‌های سکوه‌های فلزی دریایی و بالاخص اتصالات اعضای آن، موضوعی حائز اهمیت در صنعت نفت و گاز می‌باشد. حادثه آتش‌سوزی تا کنون چندین بار سکوه‌های فلزی نفت و گاز واقع در خلیج فارس را با آسیب‌های جدی و خرابی‌های عمده مواجه کرده است (شکل ۱-۱).

سکوه‌های فلزی شرایط ویژه‌ای نسبت به سازه‌های مرسوم، از قبیل مواجهه با وزش باد و موج دریا، فاصله زیاد از خشکی و از تاسیسات اطفای حریق مجهز، وجود اعضای لوله‌ای، اتصالات خاص تیر به ستون لوله‌ای، غیر پوشیده بودن اعضای فولادی سازه، راحتی انتقال آتش بین اعضا و طبقات مختلف و ... دارد. با توجه به اهمیت موارد ذکر شده در بالا و شرایط خاص این نوع سازه، انجام یک تحقیق مبسوط بر روی سکوه‌های نفت و گاز در برابر پدیده آتش‌سوزی دارای اهمیت و ضرورت می‌باشد. در این رساله، رفتار یکی از مهم‌ترین اتصالات عرشه سکوه‌های فراساحل نفت و گاز، یعنی اتصال تیر I شکل به پایه اصلی عرشه، در شرایط آتش‌سوزی و پس از آتش‌سوزی بررسی می‌شود. شکل ۲-۱

نمایی شماتیک از این اتصال و شکل ۱-۳، مثالی از کاربرد گسترده این اتصالات در عرشه سکوهای فراساحل را نشان می‌دهد .



شکل ۱-۱ تصاویری از آتش‌سوزی در سکوهای فراساحل نفت و گاز



شکل ۲-۱ نمایشی شماتیک از اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه سکوهای دریایی



شکل ۳-۱ نمایشی از کاربرد وسیع اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای در سکوهای فراساحل

۲-۱- اهداف رساله

هدف اصلی از انجام این رساله، بررسی رفتار اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه سکوهای دریایی، که در بخش ۱-۱ به آن اشاره شد، در برابر آتش‌سوزی و تخمین کاهش سختی و باربری این

اتصالات در اثر آتش‌سوزی می‌باشد. همچنین، پیش‌بینی آسیب‌های ناشی از این پدیده بر روی باربری این اتصالات، روش‌های بهبود رفتار این اتصالات در برابر آتش‌سوزی و تخمین سختی و مقاومت باقیمانده اعضا پس از آتش‌سوزی مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۳- ساختار رساله

در این تحقیق، به علت اهمیت بالای پدیده آتش‌سوزی بر روی خرابی سکوی فلزی فراساحل، به بررسی رفتار اتصال تیر I شکل به ستون لوله‌ای عرشه سازه سکو در برابر آتش پرداخته شده است. بدین منظور، در فصل دوم، کلیاتی راجع به انواع آتش‌سوزی در سکوها و رفتار فولاد در برابر آتش‌سوزی، ارائه شده است. در فصل سوم، تاریخچه پژوهش‌های قبلی در ارتباط با رفتار سکوی دریایی فولادی در برابر آتش بررسی شده است. در فصل چهارم، نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی و مبانی مدل عددی شرح داده شده است.

در ادامه و در فصل پنجم، نتایج ۱۱ آزمایش با مقیاس کوچک بر روی اتصالات فولادی تیر I شکل به ستون لوله‌ای با دیافراگم خارجی تشریح شده است. ظرفیت باربری، مودهای خرابی و الگوی تغییر شکل این نمونه‌ها مطالعه و نتایج در قالب نمودارهای دما- دوران ارائه شده است. فصل ششم، نتایج یک مطالعه عددی بر روی پاسخ این نوع از اتصالات را در دماهای بالا گزارش داده است. یک مدل اجزای محدود غیر خطی مکانیکی- حرارتی درگیر بدین منظور بکار برده شده است. این مدل، ابتدا با شبیه‌سازی با آزمایش‌های آتش‌سوزی مقیاس کوچک (آزمایش‌های تشریح شده در فصل پنجم) روی این نوع از اتصالات، صحت‌سنجی شده است. این مدل عددی، به منظور شبیه‌سازی پاسخ آتش‌سوزی تعدادی از اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای، با مقیاس کامل در عرشه سکوی دریایی موجود بکار رفته است. تأثیر پارامترهایی مانند بزرگی بارگذاری اولیه، تنش محوری در ستون، مشارکت اجزای اتصال در سختی دورانی اتصال و مودهای شکست این اتصالات در دماهای بالا بررسی شده است.

بررسی رفتار سردشدگی و رفتار پس از آتش‌سوزی این اتصالات در فصل هفتم گزارش شده است. ابتدا چهار آزمایش در مقیاس کوچک برای بررسی رفتار پس از آتش‌سوزی اتصالات تیر I شکل به ستون لوله‌ای انجام شده است. سپس با ساخت یک مدل اجزای محدود سه بعدی غیرخطی مکانیکی- حرارتی درگیر و مقایسه با نتایج آزمایش، این مدل صحت‌سنجی شده است. این مدل عددی، در مطالعات عددی پارامتری برای تولید داده‌های نظری برای فهم دقیق رفتار این اتصالات با مقیاس کامل در شرایط پس از آتش‌سوزی بکار رفته است.

در انتها و در فصل هشتم، یک مدل تحلیلی برای بدست آوردن منحنی‌های لنگر- دوران و سختی- دوران این اتصالات در دمای معمولی و دماهای بالا ارائه شده است. این مدل تحلیلی با مقایسه با نتایج آزمایش اتصالات مقیاس کوچک (فصل پنجم) و نتایج مدل عددی مقیاس کامل (فصل ششم) صحت‌سنجی شده است.

✓ فصل دوم: مروری بر رفتار

اتصالات عرشه سکوهاى

دریایی در آتش سوزی