بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

رساله دکتری

مهندسی عمران-سازه

تحلیل رفتار اتصالات خورجینی متداول تحت اثر بارهای رفت و برگشتی با تعداد تناوب کم و چگونگی شکست آنها

تهیه کننده:

حمیدرضا امیری هرمزکی

استاد راهنما:

دکتر علی اکبر آقاکوچک

استاد مشاور:

شریف شاه بیک

آذر ماه ۱۳۹۱

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای حمید رضا امیری هرمزکی رساله ۲٤ واحدی خود را با عنوان **تحلیل رفتار اتصالات خورجینی متداول تحت اثر بارهای چرخه ای با تعداد تناوب کم وچگونگی شکست آنها** در تاریخ ۱۳۹۱/۹/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی عمران - سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر علی اکبر آقا کوچک	استاد	
استاد مشاور	دکتر شریف شاه بیک	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فرهاد دانشجو	استاد	
استاد ناظر	دکتر حمید محرمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسن مقدم	استاد	
استاد ناظر	دکتر شاهرخ مالک	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل عزیزاده	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی عمران- سازه است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر علی اکبر آقاکوچک و مشاوره جناب آقای دکتر شریف شاه بیک از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حمیدرضا امیری دانشجوی رشته مهندسی عمران-سازه مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حمیدرضا امیری

تاریخ و امضا:

تقدیم به پدر ومادر عزیزم

به خاطر همه حمایت ها و زحمات بی دریغشان

و

تقدیم به همسرعزیزم

که در لحظه لحظه های اجرای این کار تحقیقی، یار و همراهم بود.

تشکر و قدردانی:

پس از سپاس از ایزد منان، وظیفه خود میدانم از جناب آقای دکتر آقاکوچک استاد راهنمای اینجانب که با راهنمایی های ارزنده خود مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. بی شک مساعدتها و کمکهای فکری این استاد بزرگوار بیشترین نقش را در انجام موفق این پایان نامه برعهده داشته است.

همچنین از جناب آقای دکتر شاه بیک استاد مشاور اینجانب که مشورت با ایشان و کمکهای ارزنده ایشان نقش به سزایی در پیشبرد این تحقیق ایفا نموده است تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان گرانقدر آقایان علیرضا مرادی، علیرضا میرجلیلی، غلامرضا عاطفت دوست و محمدرضا ماهینی که در طول تحصیل اینجانب از مساعدتهای ایشان بهره مند شدم نیز تشکر می نمایم.

چکیده:

اتصالات خورجینی یکی از اتصالاتی است که طی سالیان متمادی در سازه های فولادی ساخته شده در ایران مورد استفاده قرار گرفته است. این اتصال با آنکه دارای مزایایی از قبیل سهولت اجرا و بهبود رفتار در برابر بارهای ثقلی است اما معایبی دارد که میتواند در هنگام زلزله خسارات مادی و معنوی جبران ناپذیری را باعث گردد. بدلیل استفاده از این نوع از اتصالات در بسیاری از ساختمانهای موجود، وجود معیاری مناسب جهت کنترل این نوع از سازه ها برای مقاصد بهسازی لرزه ای احساس می گردد. لذا در این تحقیق تلاش گردید تا با استفاده از آزمایش و مدلسازی المان محدود نمونه هایی از این اتصال،ضمن مطالعه رفتار آنها در برابر بارهای چرخه ای، معیاری مناسب جهت کنترل عملکرد این نوع از اتصالات در مقاوم سازی بدست آید.

در این راستا تعداد ۶ نمونه از این اتصالات تحت بارهای چرخه ای قرار گرفت. برای هر نمونه نتایجی همچون دورانها و سیکل های متناظر با شروع ترک خوردگی در جوشهای مختلف، شکست نهایی پس از انجام آزمایش و منحنی های لنگر- دوران بدست آمد. با استفاده از راهکار ارائه شده در نشریات FEMA، منحنی پشتواره هر یک از نمونه ها، نوع کنترل شوندگی عضو و دورانهای متناظر با سطوح عملکرد مختلف برای این نمونه ها مشخص گردید. شناخت بیشتر این موارد در نمونه های دیگر این نوع از اتصال از طریق مدلسازی المان محدود صورت پذیرفت. باتوجه به آنکه مود غالب کاهش ظرفیت در این اتصالات، شکست در جوشهای نبشی ها به تیر و ستون است، در این تحقیق روشی که بتواند گسترش ترک را در مدل المان محدود شبیه سازی نماید، پیشنهاد گردید. صحت این روش ابتدا در نمونه هایی آزمایش شده از اتصالات ستون به صفحه ستون، که نتایج آنها در ادبیات فنی موجود بود، و سپس در ۶ نمونه آزمایش شده اتصال خورجینی تحقیق حاضر مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به تطابق قابل قبول نتایج این روش، مدلسازی و آنالیز المان محدود تعداد ۸ نمونه جدید از این اتصالات نیز انجام شد و منحنی های پشتواره منحنی لنگر – دوران هر یک از نمونه ها ترسیم گردید. در پایان با استفاده از روش رگرسیون برای هر یک از پارامترهای مشخصه منحنی های پشتواره حاصل از آنالیز و آزمایش، شامل سختی اولیه، لنگر تسلیم، لنگر نهایی و دوران حداکثر روابطی برای اتصالات خورجینی متداول ارائه گردید.

کلمات کلیدی: اتصال خورجینی، خستگی در تعداد سیکل خیلی کم، شکست، گسترش ترک، جوش

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- انگیزه تحقیق ۱

۱-۲- اهداف تحقیق ۴

۱-۳- چگونگی سازماندهی رساله ۶

فصل دوم: اتصالات خورجینی

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- تحقیقات انجام شده بر روی اتصال متداول خورجینی ۱۱

۲-۲-۱- بررسی پارامترهای مربوط به اتصالات خورجینی ۱۹

۲-۲-۱-۱- سختی اولیه اتصال ۲۰

۲-۲-۱-۲-درصد گیر داری ۲۲

۲-۲-۱-۳-نمودارهای لنگر- چرخش و ممان نهایی ۲۳

۲-۲-۱-۴- نحوه شکست اتصال خورجینی ۲۶

فصل سوم: شکست در اجزای فولادی تحت اثر خستگی‌در تعداد سیکل‌خیلی‌کم

۳-۱- مقدمه ۲۹

۳-۲- مکانیسم شکست در مواد فولادی سازه‌ای ۳۱

۳-۳- دیدگاه‌های مرسوم شکست ۳۲

۳-۴- مدلهای مایکرومکانیکال برای پیش بینی ترک در فلزات و آلیاژهای فلزی ۳۲

۳-۴-۱- مدل‌های مایکرومکانیکال پیش‌بینی‌شکست بر اثر رشد فضاهای خالی و بهم پیوستگی آنها .. ۳۴

۳-۴-۱-۱-کالیبره نمودن پارامترهای مدل مایکرومکانیکال: ۳۷

۳-۴-۱-۱-۱-کالیبراسیون طول مشخصه l^* ۳۸

۳-۴-۱-۲- استفاده از تکنیک های SMCS و VGM در دیتایل های سازه ای: ۴۰
۳-۵- خستگی در تعداد سیکل خیلی کم ۴۵
۳-۵-۱-دیدگاه‌های مرسوم خستگی ۴۶
۳-۵-۲- دیدگاه‌های مایکرومکانیکال خستگی در فلزات ۴۸
۳-۵-۲-۱- مکانیسم خستگی در تعداد سیکل بسیار پایین ۴۹
۳-۵-۳- مدل کرنش پلاستیک موثر کاهش یافته (DSPS) ۵۱
۳-۵-۳-۱- استفاده از مدل DSPS ۵۴
۳-۵-۴- مدل CVGM جهت پیش‌بینی شکست ۵۵
۳-۵-۵- کالیبره نمودن پارامترها در مدل‌های DSPS و CVGM ۵۶
۳-۵-۵-۱- طول مشخصه l^* ۵۹
۳-۵-۶- استفاده از مدل‌های DSPS و CVGM در دیتایل‌های سازه‌ای ۶۰
۳-۵-۶-۱- آزمایشات سیکلی نمونه‌های RBS ۶۰
۳-۵-۶-۲- استفاده از روش CVGM و پیش‌بینی شکست در مهاربندها ۶۱

فصل چهارم: عملکرد لرزه‌ای اجزای فولادی و روش‌های تعیین معیارهای پذیرش

۴-۱- مقدمه ۶۵
۴-۲- رفتار اجزای سازه و سطوح عملکرد ۶۵
۴-۳- تعیین معیارهای پذیرش ۷۰
۴-۴- معیارهای پذیرش ۷۱
۴-۴-۱-روش‌های خطی ۷۳
۴-۴-۱-۱- برآورد نیروها و تغییرشک های طراحی ۷۳
۴-۴-۱-۱-۱-کنترل شونده توسط تغییر شکل ۷۴

۴-۴-۱-۱-۲-کنترل شونده توسط نیرو ۷۴
۴-۴-۱-۲- معیارهای پذیرش ۷۴
۴-۴-۱-۲-۱- کنترل شونده توسط تغییر شکل ۷۵
۴-۴-۱-۲-۲- کنترل شونده توسط نیرو ۷۵
۴-۴-۲- روش‌های غیرخطی ۷۵
۴-۴-۲-۱- برآورد نیروها وتغییرشکل‌های طراحی ۷۵
۴-۴-۲-۲- معیارهای پذیرش برای روش‌های غیرخطی ۷۵
۴-۴-۲-۲-۱-کنترل شونده توسط تغییر شکل ۷۵
۴-۴-۲-۲-۲- تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو ۷۶

فصل پنجم: انجام آزمایشات سیکلی بر روی اتصالات خورجینی

۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- پیکربندی استفاده شده در آزمایشات ۷۷
۵-۳- جزئیات نمونه‌ها ۷۸
۵-۴- پروتکل بارگذاری ۸۴
۵-۵- مشاهدات آزمایش ۸۵
۵-۵-۱- آزمایش T1 ۸۵
۵-۵-۲- آزمایش T2 ۸۸
۵-۵-۳- آزمایشT3 ۹۰
۵-۵-۴- آزمایش T4 ۹۲
۵-۵-۵- آزمایشT5 ۹٤
۵-۵-۶- آزمایش T6 ۹۷

۵-۶- خلاصه مشاهدات آزمایش ۹۹
۵-۷- بحث و بررسی نتایج حاصل از آزمایش ۱۰۱
۵-۷-۱- سختی اولیه و مقاومت نهایی ۱۰۱
۵-۷-۲- ترک خوردگی‌های اولیه ۱۰۳
۵-۷-۳- شکست نهایی ۱۰۶
۵-۷-۴- استخراج منحنی پشتواره ۱۰۸
۵-۸- جمع بندی ۱۱۲

فصل ششم: مدلسازی شروع وگسترش ترک خوردگی در اجزای فولادی

۶-۱- مقدمه ۱۱۴
۶-۲- روش پیشنهادی برای توسعه ترک خوردگی تحت ULCF ۱۱۶
۶-۲-۱- استفاده عملی از روش پیشنهادی ۱۱۹
۶-۳- آزمایشات انجام شده بر روی صفحه ستون ۱۲۰
۶-۳-۱- بارگذاری اعمالی ۱۲۳
۶-۳-۲- نتایج آزمایش ۱۲۰
۶-۴- مدلسازی المان محدود نمونه‌ها ۱۲۷
۶-۴-۱- استراتژی مدلسازی ۱۲۸
۶-۴-۲- مدل ۱۲۹
۶-۴-۲-۱- مشخصه مواد ۱۲۹
۶-۴-۲-۲- هندسه استفاده شده ۱۳۰
۶-۴-۳- مش مورد استفاده در مدل ۱۳۰
۶-۴-۴- شرایط مرزی ۱۳۱

۶-۵- نتایج مدلسازی و مقایسه آن با نتایج آزمایش ۱۳۳
۶-۶- بحث و بررسی نتایج ۱۳۸
۶-۷- جمع بندی ۱۴۰

فصل هفتم: آنالیز المان محدود اتصالات خورجینی متداول

۷-۱- مقدمه ۱۴۲
۷-۲- مدلسازی المان محدود نمونه‌ها ۱۴۲
۷-۲-۱- استراتژی مدلسازی ۱٤٤
۷-۲-۲- مدل المان محدود ۱٤٤
۷-۲-۲-۱- رفتار مشخصه ماده ۱۴۰
۷-۲-۲-۲- هندسه استفاده شده ۱۴۷
۷-۲-۳- مش مورد استفاده ۱٤۸
۷-۲-۴- شرایط مرزی مدل‌ها ۱۵۰
۷-۳- مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی و آزمایشات ۱۵۱
۷-۳-۱- نمونه T1 ۱۵۱
۷-۳-۲- نمونه T2 ۱۵٦
۷-۳-۳- نمونه T3 ۱٦۱
۷-۳-۴- نمونه T4 ۱٦٦
۷-۳-۵- نمونه T5 ۱۷۱
۷-۳-۶- نمونه T6 ۱۷٤
۷-۴- بحث و بررسی نتایج حاصل از مدلسازی ۱۷۸
۷-۴-۱- سختی اولیه ۱۷۸

۷-۴-۲- پیش بینی شکست اولیه ۱۷۹
۷-۴-۳- شکست نهایی ۱۸۲
۷-۴-۴- مقاومت نهایی ۱۸٤
۷-۴-۴- منحنی پشتواره ۱۸۵
۷-۵- جمع بندی ۱۸۸

فصل هشتم: توسعه روابط پارامتری مشخصه های رفتاری اتصالات خورجینی متداول

۸-۱- مقدمه ۱۹۰
۸-۲- مدل سازی و آنالیز نمونه های اتصال متداول خورجینی ۱۹۱
۸-۳- مدل سازی المان محدود نمونه‌ها و نتایج حاصل از آن ۱۹۲
۸-۴- نتایج حاصل از آنالیز مدل‌ها ۲۰۵
۸-۴-۱- خلاصه مشاهدات آنالیزها ۲۰۵
۸-۴-۲- استخراج منحنی پشتواره ۲۰۶
۸-۵- پیش بینی منحنی رفتاری نمونه‌ها ۲۱۰
۸-۶- پیش‌بینی پارامترهای منحنی رفتاری نمونه‌ها ۲۱۱
۸-۷- روابط ارائه شده جهت تخمین پارامترها توسط محققین دیگر ۲۲۰
۸-۸- جمع بندی ۲۲۴

فصل نهم : نتیجه گیری

۹-۱- مقدمه ۲۲۶
۹-۲- نتیجه‌گیری ۲۲۸
۹-۲-۱- نتایج حاصل از آزمایش ۲۲۸

۹-۲-۲- روش پیشنهادی برای توسعه ترک خوردگی تحت ULCF ۲۲۹
۹-۲-۳- استفاده از روش پیشنهادی در پیش بینی رفتار اتصالات خورجینی ۲۳۱
۹-۲-۴- توسعه روابط پارامتری مشخصه های رفتاری اتصالات خورجینی متداول ۲۳۲
۹-۲-۵-پیشنهادات..... ۲۳۳
مراجع..... ۲۳۵
واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۲۴۰

فهرست جداول

جدول (۲-۱) تیرهای استفاده شده در تحقیق آقاکوچک و حسینخان.....۱۴

جدول ۲-۲: جزئیات استفاده شده در نمونه ها.....۱۸

جدول (۲-۳) نتایج حاصل از آزمایشات آقاکوچک و حسینخان.....۲۰

جدول (۲-۴) نتایج حاصل از آزمایشات صادقیان و مقدم.....۲۱

جدول (۲-۵) نتایج حاصل از آزمایشات موید علایی و مقدم.....۲۲

جدول (۲-۶) نتایج آزمایشات روی نمونه‌های اتصال خورجینی.....۲۵

جدول (۲-۷) نتایج آزمایشات روی نمونه‌های اتصال خورجینی.....۲۶

جدول (۲-۱) مقادیر l^* های بدست آمده توسط Kanvinde برای فولادهای مختلف.....۳۹

جدول (۲-۲) نتایج حاصل از آزمایش و حاصل از روش SMCS وVGM.....۴۳

جدول (۲-۳) نتایج حاصل از آزمایش و حاصل از روش SMCSوVGMدر RBS.....۴۴

جدول (۲-۴) مقادیر λ_{CVGM} و λ_{DSPS} برای فولادهای مختلف.....۵۹

جدول (۲-۵) نتایج حاصل از روش‌های CVGM و DSPS برای بال در اتصالRBS.....۶۱

جدول (۲-۶) مشخصات مهاربندها.....۶۲

جدول (۲-۷) تاریخچه زمانی بارگذاری وارد شده به مهاربند.....۶۲

جدول (۵-۱) مشخصات مربوط به نمونه ها.....۸۲

جدول (۵-۲) میزان ترک خوردگی در جوش‌های نمونه ها پس از انجام آزمایش.....۱۰۰

جدول (۵-۳) ترک خوردگی اولیه در جوش‌های نمونه ها و سیکل‌ها.....۱۰۰

جدول (۵-۴) سختی اولیه و مقاومت نهایی نمونه ها.....۱۰۱

جدول (۵-۵) لنگر تسلیم وپلاستیک مقاطع تیر ها برحسب (ton.m) بر اساس تنش ۱۰۲

جدول (۵-۶) سطوح عملکرد در نمونه‌های کنترل شونده توسط تغییر شکل.....۱۱۰

جدول (۶-۱) مشخصات مصالح مورد آستفاده در آزمایشات.....۱۲۲
جدول (۶-۲) خلاصه نتایج آزمایشات.....۱۲۶
جدول (۶-۳) پارامترهای مربوط به مدل مشخصه استفاده شده جهت مواد در مدلسازی.....۱۳۰
جدول (۶-۴) پارامترهای مربوط به روش CVGM.....۱۳۰
جدول (۶-۵) نتایج بدست آمده از آنالیز المان محدود و آزمایش برای نمونه ها.....۱۳۹
جدول (۶-۶) مقدار $\theta_{accumulated}$ بدست آمده از آزمایش و مدلسازی.....۱۴۰
جدول (۷-۱) مشخصات مربوط به جوش و فولاد.....۱۴۵
جدول (۷-۲) پارامترهای چرخه ای استفاده شده در مدلسازی.....۱۴۵
جدول (۷-۳) پارامترهای چرخه ای استفاده شده در مدلسازی برای جوش.....۱۴۷
جدول (۷-۴) سیکل‌های مربوط به شروع ترک‌خوردگی در جوشهای مختلف اتصال ۱۵۳
جدول (۷-۵) میزان ترک خوردگی در جوشهای نمونه T1 پس از انجام آزمایش و آنالیز.....۱۵۵
جدول (۷-۶) سیکل‌های مربوط به شروع ترک خوردگی در جوشهای مختلف ۱۵۸
جدول (۷-۷) میزان ترک خوردگی در جوش‌های نمونه ها پس از انجام ۱۵۹
جدول (۷-۸) سیکل‌های مربوط به شروع ترک خوردگی در جوشهای مختلف اتصال ۱۶۳
جدول (۷-۹) میزان ترک خوردگی در جوشهای نمونه ها پس از انجام آزمایش و آنالیز.....۱۶۴
جدول (۷-۱۰) سیکل‌های مربوط به شروع ترک خوردگی در جوشهای مختلف اتصال ۱۶۹
جدول (۷-۱۱) میزان ترک خوردگی در جوشهای نمونه ها پس از انجام ۱۶۸
جدول (۷-۱۲) سیکل‌های مربوط به شروع ترک خوردگی در جوشهای مختلف اتصا.....۱۷۳
جدول (۷-۱۳) میزان ترک خوردگی در جوش‌های نمونه ها پس از انجام آزمایش و آنالیز.....۱۷۳
جدول (۷-۱۴) سیکل‌های مربوط به شروع ترک خوردگی در جوش‌های مختلف ۱۷۷
جدول (۷-۱۵) میزان ترک خوردگی در جوش‌های نمونه ها پس از انجام آزمایش و آنالیز.....۱۷۷

جدول (۷-۱۶) سختی حاصل از دو روش آزمایش و مدلسازی.....۱۷۹
جدول (۷-۱۶) سیکل‌های مربوط به ترک خوردگی اولیه در جوشهای مختلف.....۱۷۹
جدول (۷-۱۷) سیکل‌های مربوط به ترک خوردگی اولیه در جوشهای مختلف.....۱۸۰
جدول (۷-۱۸) میزان ترک خوردگی نهایی در پایان آزمایش و آنالیز هر یک از نمونه‌ها.....۱۸۳
جدول (۷-۱۹) میزان ترک خوردگی نهایی در پایان آزمایش و آنالیز هر یک از نمونه ها.....۱۸۳
جدول (۷-۲۰) مقادیر مربوط به پارامترهای e و g بدست آمده.....۱۸۶
جدول (۷-۲۱) مقادیر مقاومت تسلیم و نهایی بدست آمده از منحنی های پشتواره ۱۸۷
جدول (۸-۱) مشخصات مربوط به نمونه ها.....۱۹۲
جدول (۸-۲) سیکل و دوران متناظر با شروع ترک خوردگی در نمونه‌ها.....۲۰۶
جدول (۸-۳) میزان ترک خوردگی در نمونه ها پس از پایان آنالیز.....۲۰۶
جدول (۸-۴) مقادیر لنگر تسلیم ، نهایی و دوران متناظر با تسلیم و کاهش مقاومت.....۲۰۹
جدول (۸-۵) مقادیر دوران متناظر با سطوح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش.....۲۰۹
جدول (۸-۶) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم و سختی اولیه ۲۱۳
جدول (۸-۷) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر و چرخش نهایی.....۲۱۶
جدول (۸-۸) مقادیر متوسط خطا، متوسط مجذور مربعات آن و ضریب تبیین.....۲۱۸
جدول (۸-۹) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم و سختی اولیه ۲۱۸
جدول (۸-۱۰) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر و چرخش نهایی ۲۱۸
جدول (۸-۱۱) مقادیر متوسط خطا، متوسط مجذور مربعات آن و ضریب تبیین.....۲۲۰
جدول (۸-۱۲) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم با ۲۲۱
جدول (۸-۱۳) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم ۲۲۲

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) اتصال خورجینی متداول: (الف) یکطرفه (ب) کامل..... ۹

شکل (۲-۲) نحوه جوشکاری اجرائی در اتصالات خورجینی..... ۱۱

شکل (۲-۳) مدل آزمایشگاهی اتصال خورجینی و جابجایی‌های اندازه‌گیری شده ۱۳

شکل (۲-۴) آرایش کلی آزمایشات..... ۱۷

شکل (۲-۵) نمودار لنگر چرخش بدست آمده از آزمایشات طاحونی[۲] ۲۴

شکل (۲-۶) نمودار لنگر چرخش بدست آمده از آزمایشات مزروعی و مصطفایی ۲۵

شکل (۲-۷) نام‌گذاری نقاط مختلف جوش در آزمایشات موید علایی..... ۲۷

شکل (۳-۱) گسترش فضاهای خالی و به هم پیوستگی آنها..... ۳۵

شکل (۳-۲) میله شکاف دار جهت انجام آزمایش..... ۳۷

شکل (۳-۳) نمودار نیرو- تغییرمکان در یک میله شکاف دار..... ۳۸

شکل (۳-۴) نمونه ورق تحت کشش BH..... ۴۰

شکل (۳-۵) نمونه ورق تحت کشش سوراخدار (BB) ۴۱

شکل (۳-۶) مدل المان محدود نمونه BB..... ۴۱

شکل (۳-۷) مقادیر SMCS در برابر تغییر طول در نمونه BH [۱۹] ۴۲

شکل (۳-۸) اتصال مقطع تیر کاهش یافته (متمرکز کردن مفصل پلاستیک ۴۳

شکل (۳-۹) مقدار SMCS در برابر تغییر طول در مقطع بال..... ۴۴

شکل۳-۹: نواحی مختلف خستگی..... ۴۶

شکل (۳-۱۰) مکانیسم مختلف بوجود آمدن فضای خالی تحت نیروها..... ۵۰

شکل (۳-۱۱) سطح Fractograph پس از بارگذاری چرخه ای و یک‌طرفه[۳۳] ۵۰

شکل (۳-۱۲) بارگذاری‌های اعمالی جهت کالیبراسیون[۳۳] ۵۷

شکل (۳-۱۳) نمودار نیرو- جابجایی مطابق با بارگذاری نوع ۱ ..... ۵۷
شکل (۳-۱۴) برازش منحنی جهت کالیبراسیون λ_{Dsps} مدل DSPS[۳۳] ۵۸
شکل (۳-۱۵) مدل‌سازی FE اتصال RBS[19]..... ۶۱
شکل (۳-۱۶) مدل‌سازی المان محدود مهاربند..... ۶۲
شکل (۳-۱۷) شاخص شکست در برابر تعداد سیکل‌ها برای گره ۱ و۲..... ۶۳
شکل (۳-۱۸) محل ایجاد شکست در روش تحلیلی و آزمایشگاهی..... ۶۴
شکل (۳-۱۹) تغییر طول محوری بدست آمده از دو روش..... ۶۴
شکل (۴-۱) منحنی رفتاری کلی اعضاء..... ۶۶
شکل (۴-۲) منحنی نیرو- تغییر شکل ایده‌آل با در نظرگرفتن تغییر شکل ۶۸
شکل (۴-۳) منحنی نیرو- تغییر شکل ایده‌آل با در نظرگرفتن نسبت تغییر شکل ۶۸
شکل (۴-۴) مقدار تغییر شکل مطابق با سطوح عملکرد مختلف..... ۶۹
شکل (۴-۵) منحنی به دست آمده از مرحله (۱) ۷۱
شکل (۴-۶) منحنی به دست آمده برای یک آزمایش واقعی..... ۷۱
شکل (۴-۷) منحنی نیرو- تغییر مکان جایگزین منحنی اولیه..... ۷۲
شکل (۵-۱) پیکربندی و جزئیات استفاده شده در آزمایشات..... ۷۸
شکل (۵-۲) پیکربندی استفاده شده در آزمایشات..... ۷۹
شکل (۵-۳) دیتایل استفاده شده در محل اعمال نیرو..... ۷۹
شکل (۵-۴) نحوه اندازه گیری چرخش در اتصال..... ۸۱
شکل (۵-۵) نحوه اندازه گیری جابجایی انتهای تیر..... ۸۱
شکل (۵-۶) نحوه اندازه‌گیری جابجایی در نبشی‌های اتصال..... ۸۲
شکل (۵-۷) جوش‌های اتصال دهنده نبشی‌های بالا و پائین به تیر و ستون یکی ۸۳