دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش مهندسی زلزله

بررسی رفتار اتصال خمشی تیر I شکل به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در دو امتداد

محمدرضا صدیقیان کاشانی

استاد راهنما

دکتر علی اکبر آقاکوچک

استاد مشاور

دکتر شریف شاه‌بیک

بهمن 1390

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد رضا صدیقیان کاشانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی رفتار اتصال خمشی تیر I شکل به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در دو امتداد در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی زلزله 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 غنه بیک	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فرهاد دانشجو	استاد	
استاد ناظر	دکتر مهدی قاسمیه	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فرهاد دانشجو	استاد	

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محمدرضاصدیقیان دانشجوی رشته مهندسی عمران ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۸ مقطع ارشد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست متعهد می شوم کِلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: .....

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

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده 3: 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 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50% بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده 6: اینجانب محمد رضا صدیقیان کاشانی دانشجوی رشته : مهندسی عمران مقطع : ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد رضا صدیقیان کاشانی

تاریخ و امضا:

تقدیم به پدر و مادرم

تشکر و قدردانی

صمیمانه از زحمات استاد ارجمندم دکتر آقا کوچک

متشکر و از خداوند منان برای ایشان توفیق روز افزون طلب می نمایم.

چکیده

در صنعت ساخت و ساز فولادی ایران مانند دیگر کشورهای آسیایی از مقاطع ساخته شده قوطی شکل برای عضو ستون در قاب‌های خمشی استفاده فراوانی می‌شود زیرا نیمرخ H شکل بزرگ در دسترس نیست و از طرفی ستون قوطی شکل دارای ویژگی‌های سازه‌ای مناسبی است. با این وجود ایجاد اتصال صلب برای تیر I شکل به ستون قوطی و بخصوص قرار دادن ورق پیوستگی داخل ستون، مشکل و پرهزینه می‌باشد. همچنین نمی‌توان به طور مستقیم و بدون بررسی، نتایج حاصل از تحقیقات و جزئیات اتصال صلب تیر به ستون H شکل را به این مورد تعمیم داد. به سبب هندسه متقارن و ویژگی‌های ذاتی ستون قوطی شکل، اتصال خمشی در دو راستا نیز برای آن متداول است. اما تحقیقاتی درباره اتصال صلب دو محوره تیر به ستون قوطی شکل انجام نشده است. برخلاف تحقیقات کم موجود که به بررسی و ارائه اتصال تیر به ستون قوطی تنها در یک راستا پرداخته‌اند، در این پایان‌نامه به بررسی و تشریح عملکرد هندسه‌های مختلف اتصال تیر به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در یک امتداد و سپس در دو امتداد پرداخته می‌شود. به منظور بررسی رفتار اتصال تحت اثر لنگر در دو راستا، از یک زیرسازه دومحوره جدید که مبتنی بر وضعیت واقعی گره اتصال در سازه است، استفاده می‌شود. همچنین با توجه به عملکرد اتصالات بررسی شده، هندسه اتصال جدیدی بدون نیاز به ورق پیوستگی داخلی بر اساس روش ساخت ستون درختی برای تامین اتصال صلب تک محوره و دو محوره ارائه می‌شود. در پایان نامه حاضر برای ارزیابی و تایید صلاحیت اتصالات از مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی اجزای محدود استفاده شده است. در این تحلیل‌ها، کرنش معادل خمیری به عنوان معیاری برای ارزیابی آغاز شکست در اتصالات، محاسبه و کنترل می‌شود. نتایج حاکی از آن است که از میان اتصالات تحلیل شده، هندسه اتصال پیشنهادی از صلبیت و مقاومت کافی برخوردار بوده و بارگذاری چرخه‌ای را در یک راستا و دو راستا تا بیش از تغییر مکان نسبی طبقه 4% بدون افت قابل ملاحظه مقاومت و رخداد شکست ترد، تحمل می‌کند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد، وجود لنگر در دو راستا برای اتصالات دومحوره شرایط بحرانی‌تری ایجاد می‌کند و با وارد شدن گره اتصال به رفتار غیرخطی، لنگر در یک راستا سبب اثرات کاهشی در رفتار خمشی راستای دیگر خواهد شد.

کلید واژه: اتصال خمشی دومحوره، ستون قوطی شکل، مدل‌سازی اجزای محدود،کرنش معادل خمیری.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ه
فهرست جدول‌ها ..... و
فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- هدف از پایان‌نامه ۱
۱-۳- جنبه نوآوری ۲
۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۳

فصل ۲- شناخت اتصالات خمشی و رفتار آن‌ها ۴
۲-۱- مقدمه ۴
۲-۲- چشمه اتصال، ادوات اتصال و گره اتصال ۵
۲-۳- دسته‌بندی اتصالات خمشی ۵
۲-۳-۱- معیار سختی ۶
۲-۳-۲- معیار مقاومت خمشی ۸
۲-۳-۳- معیار ظرفیت چرخش ۹
۲-۳-۴- اتصال از لحاظ ابعاد ۱۱
۲-۳-۵- اتصال از لحاظ مقطع ستون ۱۲
2-3-5-1- اتصال تیرI شکل به ستون H شکل (IBHC) ۱۲
2-3-5-2- اتصال تیرI شکل به ستون قوطی شکل (IBBC) ۱۴
۲-۳-۵-۳- اتصال تیر به ستون صلیبی شکل ۱۶
۲-۳-۶- اتصال از لحاظ روش ساخت و اجرا ۱۷
۲-۴- اصول طرح لرزه‌ای اتصال صلب برای قاب خمشی ۱۸
۲-۴-۱- سازوکار خمیری در قاب خمشی ۱۹
۲-۴-۲- لنگر خمیری مورد انتظار ۲۰
۲-۴-۳- برش در محل مفصل خمیری ۲۱
۲-۴-۴- طراحی لرزه‌ای اتصال خمشی ۲۱
۲-۴-۵- ضوابط طرح لرزه‌ای برای تیرهای قاب خمشی ۲۲
۲-۵- جمع‌بندی ۲۲

فصل ۳- پیشینه تحقیقات درباره اتصالات صلب تیر به ستون قوطی شکل ۲۳
۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۲- تعاریف ۲۴
۳-۳- اتصالات بهبود یافته- دسته اول ۲۷
۳-۳-۱- اتصال تقویت شده با پشت بند ۲۷
۳-۳-۲- اتصال تیر با بال پهن شده ۲۹
۳-۳-۳- اتصال با ورق پوششی و سخت کننده T شکل ۳۰
۳-۳-۴- اتصال تیر با جان آکاردئونی ۳۱
۳-۳-۵- اتصال با ورق کناری ۳۲
۳-۴- اتصالات بهبود یافته- دسته دوم ۳۳
۳-۴-۱- اتصال با سخت کننده خارجی T شکل ۳۳
۳-۴-۲- اتصال یقه‌ای شکل ۳۴
۳-۴-۳- اتصال ورق میانگذر ۳۵
۳-۵- اتصالات بهبود یافته-دسته سوم ۳۷
۳-۵-۱- اتصال با سخت کننده T شکل و اجزای نفوذ کرده در بتن ۳۷
۳-۵-۲- اتصال با سخت کننده خارجی ۳۷
۳-۶- سایر تحقیقات در زمینه اتصال IBBC ۳۸
۳-۷- جمع‌بندی ۴۱

فصل ۴- تحلیل اجزای محدود و صحت‌سنجی نحوه مدل‌سازی ۴۲

۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- روش اجزای محدود و کاربرد نرم افزارAbaqus ۴۲
۴-۳- المان مناسب جهت مدلسازی اتصالات فولادی ۴۳
۴-۴- مدل کردن مصالح ۴۴
۴-۵- تحلیل غیر خطی مادی و هندسی ۴۵
۴-۶- اعتبار سنجی ۴۶
۴-۶-۱- فرضیات مصالح و المان مورد استفاده در مدلسازی ۴۷
۴-۶-۲- مقایسه نتایج ۴۸
۴-۷- تدوین معیاری برای کنترل وقوع ترک در ناحیه جوش شده تیر به ستون ۵۰
۴-۷-۱- انتخاب آزمایش ۵۰
۴-۷-۲- مدل‌سازی اجزای محدود ۵۰
۴-۷-۳- تحلیل مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای تا گسیختگی ۵۱
۴-۸- جمع‌بندی ۵۲

فصل ۵- تحلیل اتصالات تیر به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در یک امتداد ۵۳

۵-۱- مقدمه ۵۳
۵-۲- زیرسازه ۵۴
۵-۲-۱- معرفی زیرسازه ۵۴

۵-۲-۲- شرط تیر ضعیف-ستون قوی ۵۵
۵-۲-۳- شرایط مرزی ۵۶
۵-۲-۴- بارگذاری ۵۶
۵-۳- معرفی مدل‌ها ۵۷
۵-۳-۱- اتصال مستقیم تیر به ستون (اتصال سنتی) ۵۷
۵-۳-۲- اتصال مستقیم تیر به ستون با ورق کناری تمام عمق ۵۷
۵-۳-۳- اتصال با ورق پوششی (ورق روسری و زیرسری) ۵۸
۵-۳-۴- اتصال تیر با بال پهن شده ۵۸
۵-۳-۵- اتصال پیشنهادی (اتصال یقه‌ای شکل با ستون چرخیده در پلان) ۵۹
۵-۳-۵-۱- بررسی رفتار ستون قوطی شکل مربعی چرخیده در پلان ۶۰
الف)سختی خمشی ۶۰
ب)مقاومت خمشی ۶۰
پ)شکل پذیری ۶۱
ت)جمع بندی رفتار مقطع ۶۲
۵-۳-۵-۲- جزئیات اتصال پیشنهادی ۶۲
۵-۴- نتایج تحلیل ۶۳
۵-۴-۱- رفتار تحت بارگذاری یکنوا ۶۳
۵-۴-۲- رفتار تحت بارگذاری چرخه‌ای ۶۸
۵-۵- جمع‌بندی ۷۳
فصل ۶- تحلیل اتصالات تیر به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در دو امتداد ۷۴
۶-۱- مقدمه ۷۴
۶-۲- زیرسازه با بارگذاری دومحوری ۷۶
۶-۲-۱- معرفی زیرسازه مورد استفاده ۷۷
۶-۲-۲- شرایط مرزی ۷۸
۶-۲-۳- بارگذاری ۷۸
۶-۳- معرفی مدل‌های دومحوری ۷۸
۶-۳-۱- اتصال دومحوره تیر با بال پهن شده ۷۸
۶-۳-۲- اتصال دو محوره یقه‌ای شکل با ستون چرخیده در پلان ۷۹
۶-۳-۲-۱- جزئیات اتصال ۸۰
۶-۴- نتایج تحلیل براساس زیرسازه الف ۸۱
۶-۴-۱- وضعیت مدل‌ها در رفتار خطی و غیر خطی ۸۱
۶-۴-۲- کنترل شکست ترد در اتصالات ۸۳
۶-۴-۳- منحنی چرخه‌ای و مقاومت اتصالات ۸۳
۶-۴-۴- رفتار چشمه اتصال ۸۵
۶-۵- نتایج تحلیل براساس زیرسازه ب ۸۷
۶-۵-۱- رفتار کلی ۸۷

۶-۵-۲- وضعیت مدل‌ها در رفتار خطی و غیر خطی ۸۸
۶-۵-۳- کنترل شکست ترد در اتصالات ۹۱
۶-۵-۴- منحنی چرخه‌ای و مقاومت اتصالات ۹۱
۶-۶- مقایسه وزن مصالح و خط جوش مورد نیاز ۹۳
۶-۷- اثرات حاصل از اعمال لنگر دو راستا به گره اتصال ۹۳
۶-۷-۱- کم بودن اثر بارگذاری دو محوره تا قبل از تغییر مکان نسبی ۲% ۹۳
۶-۷-۲- بحرانی بودن بارگذاری دو محوره ۹۴
۶-۸- جمع‌بندی ۹۴
فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۵
۷-۱- مقدمه ۹۵
۷-۲- نتایج حاصل از تحلیل هندسه‌های مختلف اتصال IBBC ۹۶
۷-۲-۱- اتصال سنتی ۹۶
۷-۲-۲- اتصال با سخت کننده ورق کناری ۹۶
۷-۲-۳- اتصال با ورق پوششی ۹۷
۷-۲-۴- اتصال تیر با بال پهن شده ۹۷
۷-۲-۵- اتصال پیشنهادی ۹۸
۷-۳- اثر حضور لنگر در دو راستا ۹۹
۷-۴- پیشنهادها برای مطالعات آتی ۱۰۰
ضمیمه أ -طرح اتصالات ۱۰۱
فهرست مراجع ۱۰۶
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۱۰۹
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۱۰

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
بردار تلاش داخلی	F
بردار تغییر شکل	D
سختی اولیه اتصال	K_i
سختی سکانتی اتصال	K_S
مدول ارتجاعی	E
مقاومت تسلیم مصالح	F_y
ضریب مقاومت افزون	R_y
عمق مقطع	d
ضخامت بال	t_f
ضخامت جان	t_w
تغییر مکان نسبی طبقه	q
ممان اینرسی مقطع	I
مدول خمیری مقطع	Z
کرنش معادل خمیری	$PEEQ$
ظرفیت خمشی مورد انتظار تیر	M_{pe}
لنگر خمیری مورد انتظار در محل مفصل خمیری	M_{pr}
لنگر خمشی طرح در محل بر ستون با روش LRFD	M_{EU}
نیروی برشی طرح در محل بر ستون با روش LRFD	V_{EU}
قطر چشمه اتصال تغییر شکل یافته	d_z
ارتفاع اولیه چشمه اتصال	h_z
طول اولیه چشمه اتصال	l_z

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 2-1- ضوابط تیر و ستون برای اتصال تایید صلاحیت شده RBS [۱] ۱۱
جدول 3-1- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها [18] ۲۸
جدول 5-1- بررسی شرط ستون قوی- تیر ضعیف ۵۵
جدول 5-2- تعداد چرخه و مقادیر جابجایی ۵۶
جدول 5-3- ابعاد هندسی اجزای اتصال پیشنهادی ۶۳
جدول 6-1- ابعاد هندسی اجزای مدل Dual-Pr ۸۱
جدول 6-2- مقایسه وزن مصالح و خط جوش مورد نیاز در زیرسازه سه نوع اتصال ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 2-1- تلاش‌های وارده به یک اتصال [2] ۴
شکل 2-2- اجزای گره اتصال [3] ۵
شکل 2-3- منحنی لنگر-دوران نسبی [4] : بترتیب، حدود سختی برای اتصال صلب و ساده؛ سختی اولیه و سختی سکانتی ۷
شکل 2-4- اجزای گره اتصال بر اساس فنر [6] ۸
شکل 2-5- منحنی لنگر-دوران نمونه اتصالات مقاوم و نسبتا مقاوم [3] ۹
شکل 2-6- نمودار چرخه‌ای لنگر-دوران اتصال مناسب در قاب خمشی ویژه [8] ۱۰
شکل 2-7- مقاطع مختلف برای عضو ستون [10] ۱۲
شکل 2-8- هندسه اتصال پیش از نورثریج برای اتصال خمشی IBHC [14] ۱۳
شکل 2-9-چالش‌های موضعی اتصال IBHC، الف) لهیدگی جان ستون بال پهن در برابر بال فشاری تیر، ب) خمش موضعی بال ستون بال پهن در برابر بال کششی تیر [10] ۱۳
شکل 2-10- نرمی خارج از صفحه بال ستون قوطی شکل [17] ۱۵
شکل 2-11- بردارهای تنش اصلی در اتصال تقویت نشده IBBC [18] ۱۵
شکل 2-12- هندسه اتصال متداول قدیمی IBBC [21] ۱۶
شکل 2-13- دو گزینه متداول برای اجرای اتصال پیوند [14] ۱۷
شکل 2-14- ساخت قاب خمشی بر اساس ستون درختی [23] ۱۸
شکل 2-15- تقاضای لنگر در قاب خمشی تحت اثر بارجانبی ۱۹
شکل 2-16-تشکیل مفصل خمیری ۲۰
شکل 2-17- بخشی از قاب خمشی ویژه [6] ۲۱
شکل 2-18- برش و خمش طراحی اتصال در قاب خمشی ویژه [10] ۲۱
شکل 3-1- زیرسازه‌های مختلف و تغییرمکان نسبی طبقه در آن‌ها ۲۵
شکل 3-2- روند بارگذاری SAC [4] ۲۶
شکل 3-3- منحنی‌های حاصل از تحلیل [21]: ۲۷
شکل 3-4- هندسه و جزئیات اتصال با پشت بند تقویتی [21] ۲۸
شکل 3-5- هندسه و جزئیات اتصال تیر با بال پهن شده [14] ۲۹
شکل 3-6- توزیع کرنش معادل خمیری نرمال شده در امتداد تقاطع بال تیر و ستون [14] ۳۰
شکل 3-7- هندسه قدیمی اتصال با سخت کننده T شکل [26] ۳۰
شکل 3-8- جزئیات اتصال پیشنهادی قبادی و همکاران [26] ۳۱
شکل 3-9- هندسه و جزئیات اتصال AW-RBS [27] ۳۱
شکل 3-10- اتصال تقویت شده با ورق کناری: الف) نیمه عمق ب) تمام عمق [28] ۳۲
شکل 3-11- نمونه آزمایشگاهی و رخداد کمانش موضعی تیر [28] ۳۲
شکل 3-12- منحنی‌های لنگر-دوران اتصالات با انواع سخت کننده خارجی [30] ۳۳
شکل 3-13- اتصال ورق یقه‌ای با پشت بند مایل [18] ۳۴
شکل 3-14- کانتور کرنش معادل خمیری برای سه نمونه اتصال [18] ۳۵
شکل 3-15- هندسه و جزئیات اتصال با ورق میانگذر [32] ۳۶

شکل 3-16- صلبیت و رفتار چرخه‌ای اتصال ورق میانگذر [32] ۳۶
شکل 3-17- اتصال ورق میانگذر قطری و اتصال دومحوره با ورق میانگذر [32] ۳۶
شکل 3-18- انواع مختلف اتصال با سخت کننده T شکل و اجزای نفوذکرده در بتن برای ستون CFT [33] ۳۷
شکل 3-19- از راست به چپ: مسیر انتقال بار و مودهای زوال در اتصال با سخت کننده خارجی [34] ۳۸
شکل 3-20- روش‌های مختلف تعریض بال تیر [37] ۳۹
شکل 3-21- اتصالات جدید در ژاپن: الف) اتصال سپری، ب) اتصال تیر با بال پهن شده و سخت کننده کناری [38] ۴۰
شکل 3-22- تقاضای خمیری در اتصال با ورق پوششی [39] ۴۰
شکل 3-23- توزیع کرنش خمیری: الف) اتصال با ورق پوششی متداول، ب) اتصال با ورق پوششی سوراخ شده [39] ۴۰
شکل 4-1- معیار تسلیم فون میسز در حالت دوبعدی و سه بعدی [13] ۴۴
شکل 4-2- سطوح تسلیم در قواعد سخت شدگی پویا و همسانگرد [13] ۴۵
شکل 4-3- مقایسه معادلات رفتاری محیط‌های دارای سخت شدگی پویا و همسانگرد در حالت چندخطی [13] ۴۵
شکل 4-4- زیرسازه آزمایش چن [14] ۴۶
شکل 4-5- مدل‌های اجزا محدود، الف) مدل بازسازی شده، ب) مدل تحقیق چن [14] ۴۷
شکل 4-6- رفتار یکنوای اتصال ۴۸
شکل 4-7- مقایسه مدل عددی با المان پوسته و آزمایش تمام مقیاس چن [14] ۴۹
شکل 4-8- رفتار چرخه‌ای اتصال ۴۹
شکل 4-9- گسیختگی در ناحیه جوش بال تیر به ستون [21] ۵۰
شکل 4-10- مدل‌های عددی: الف) مدل تحقیق حاضر، ب) مدل چن [21] ۵۱
شکل 4-11- اعتبار سنجی مدل بازسازی شده: الف)تنش طولی نرمال، ب)کرنش معادل خمیری نرمال شده ۵۱
شکل 4-12- مدل تحقیق حاضر در انتهای چرخه با تغییرمکان نسبی طبقه 2/3% ۵۲
شکل 5-1- پلان ساختمان با سیستم قاب خمشی در راستای افقی و قاب ساده در راستای دیگر ۵۳
شکل 5-2- اتصال کناری و میانی قاب خمشی و زیرسازه‌های متناظر آن‌ها ۵۴
شکل 5-3- زیرسازه صلیبی شکل انتخاب شده ۵۵
شکل 5-4- مدل WF-WAH ۵۷
شکل 5-5- اتصال با ورق کناری : مدل SdPL ۵۸
شکل 5-6- مدل CvPL ۵۸
شکل 5-7- اتصال تیر با بال پهن شده: الف) مدل Wd1، ب) مدل Wd2 ..... ۵۹
شکل 5-8- اتصال یقه‌ای شکل با ستون چرخیده در پلان ۵۹
شکل 5-9- تاثیر دوران مقطع قوطی شکل بر مدول خمیری مقطع [13] ۶۰
شکل 5-10- منحنی لنگر-انحنا در جهت‌گیری‌ها و سطوح مختلف بار محوری ۶۱
شکل 5-11- جزئیات و ادوات برای اتصال یقه‌ای پیشنهادی ۶۲
شکل 5-12- اتصال مستقیم: الف) مدل WF-noCP، ب) مدل WF، پ) مدل WF-WAH ۶۴
شکل 5-13- اتصال ورق کناری؛ مدل SdPL ۶۵
شکل 5-14- اتصال ورق پوششی؛ مدل CvPL ۶۵
شکل 5-15- اتصال تیر با بال پهن شده؛ الف) مدل Wd1، ب) مدل Wd2، پ) مدل Wd2-noCP ۶۶
شکل 5-16- اتصال یقه‌ای پیشنهادی؛ مدل P1 ..... ۶۶
شکل 5-17- نمودار نیرو دربرابر تغییر مکان نسبی طبقه برای اتصالات مختلف ۶۷
شکل 5-18- ظرفیت خمشی هندسه‌های مختلف اتصال ۶۷
شکل 5-19- صلبیت هندسه‌های مختلف اتصال (در راهنمای شکل، مدل‌ها به ترتیب صلبیت می‌باشند) ۶۸
شکل 5-20-وضعیت تغییر شکل یافته و کانتور کرنش معادل خمیری دراتصالات مختلف ۷۱

شکل 5-21- منحنی بیشینه PEEQ index طی چرخه‌های بارگذاری در ناحیه تقاطع تیر و ستون برای مدل‌های مختلف ۷۱
شکل 5-22- منحنی های چرخه‌ای برای مدل‌های مختلف ۷۲
شکل 6-1- پلان ساختمان با سیستم قاب خمشی در هر دو راستا ۷۴
شکل 6-2- نمونه آزمایش دومحوری از اتصال با سخت کننده T شکل [31] ۷۵
شکل 6-3- زیرسازه چهارطرفه پیشنهادی شانموگام [31] ۷۶
شکل 6-4- زیرسازه دو محوره T شکل با روند بارگذاری دومحوره 4-cloves [48] ۷۷
شکل 6-5- زیر سازه دو محوری پیشنهادی ۷۷
شکل 6-6- لنگر برآیند حاصل از لنگرهای دو امتداد ۷۸
شکل 6-7-اتصال دو محوره تیر با بال پهن شده، مدل Dual-Wd ۷۹
شکل 6-8- اتصال دو محوره پیشنهادی، مدلDual-Pr ۷۹
شکل 6-9- جزئیات اتصال ۸۰
شکل 6-10- کانتور تنش فون میسز برای دو مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای با تغییر مکان نسبی 0/75% الف) مدل Dual-Wd ، ب) مدل Dual-Pr ۸۲
شکل 6-11- کانتور کرنش معادل خمیری برای دو مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای با تغییر مکان نسبی 4% الف) مدل Dual-Wd ، ب) مدل Dual-Pr ۸۳
شکل 6-12- منحنی بیشینه PEEQ index طی چرخه‌های بارگذاری در ناحیه تقاطع تیر و ستون ۸۴
شکل 6-13-منحنی‌های چرخه‌ای، الف) مدل Dual-Wd ، ب) مدل Dual-Pr ۸۵
شکل 6-14- رفتار چرخه‌ای چشمه اتصال، الف) مدل Dual-Wd، ب) مدل Dual-Pr ۸۶
شکل 6-15- کانتور تنش برشی در چشمه اتصال مدل‌ها، الف) مدل Dual-Wd، ب) مدل Dual-Pr ۸۷
شکل 6-16- رفتار یکنوای مدل‌ها ۸۸
شکل 6-17-کانتور تنش فون میسز برای دو مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای با تغییر مکان نسبی 0/75% الف) مدل Dual-Wd، ب) مدل Dual-Pr ۸۹
شکل 6-18-کانتور کرنش معادل خمیری برای دو مدل تحت بارگذاری چرخه‌ای با تغییر مکان نسبی 4% الف) مدل Dual-Wd، ب) مدل Dual-Pr ۹۰
شکل 6-19-تقاضای خمیری در مرز تقاطع تیر به ستون ۹۱
شکل 6-20- منحنی بیشینه PEEQ index طی چرخه‌های بارگذاری در ناحیه تقاطع تیر و ستون ۹۱
شکل 6-21- منحنی‌های چرخه‌ای ۹۲
شکل 6-22-نمودار پوش منحنی لنگر-تغییر مکان نسبی طبقه، الف) مدل Dual-Wd، ب) مدل Dual-Pr ۹۲

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

همواره در مورد سازه‌های فولادی با سیستم قاب مقاوم خمشی، چه در بحث طراحی و اجرا و چه در بحث تحقیقات، موضوع اتصال تیر به ستون از اهمیت بالایی برخوردار است و سهم عمده‌ای را شامل می‌شود. زیرا طبق شواهد عدیده‌ای از زلزله‌های گذشته و همچنین تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده، عملکرد لرزه‌ای قاب خمشی متأثر از عملکرد گره اتصال تیر به ستون بوده است. این موضوع در آئین‌نامه‌های لرزه‌ای نیز دیده شده است. برای مثال ارائه سه نوع قاب خمشی ویژه، متوسط و معمولی در آئین‌نامه لرزه‌ای آمریکا که هر کدام ملزومات مشخصی را در گره اتصال دارند، نشان دهنده این وابستگی رفتار قاب خمشی با گره اتصال تیر به ستون است. اصولا قاب خمشی فولادی در آئین‌نامه‌های ساختمانی سیستم‌های شکل‌پذیری به حساب می‌آید و انتظار می‌رود، قاب طی زلزله با ایجاد سازوکار خمیری در تیرها این شکل‌پذیری را تامین کند. حال اگر گره اتصال قبل از سازوکار خمیری در تیر، دچار گسیختگی زودهنگام گردد، همه فرضیات باطل می‌شود و ظرفیت بالقوه قاب خمشی در اتلاف انرژی لرزه‌ای هدر می‌رود. چگونگی رفتار اتصالات، رفتار کل قاب خمشی را رقم می‌زند. معمولا در عمل نیز به دلیل عدم شناخت کافی از رفتار اتصالات و یا طراحی نامناسب آن‌ها، سازه‌های فولادی با سیستم باربر قاب خمشی از ناحیه اتصالات تیر به ستون بیشتر دچار آسیب می‌شوند تا از طرف اعضا، بنابراین شناخت اتصالات در قاب‌های خمشی و بررسی رفتار آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱-۲- هدف از پایان‌نامه

در صنعت ساخت سازه‌های فولادی ایران به سبب در دسترس نبودن نیمرخ‌های کارخانه‌ای بزرگ بال‌پهن، از مقاطع ساخته شده قوطی شکل برای عضو ستون استفاده زیادی می‌شود. ستون قوطی دارای ویژگی‌های سازه‌ای مناسبی می‌باشد و استفاده از آن در قاب‌های خمشی در مناطق با خطر لرزه‌ای مثل کشور ژاپن و همچنین دیگر کشورهای آسیایی متداول است. از سوی دیگر اتصال تیر به ستون نقطه بحرانی قاب‌های خمشی فولادی می‌باشند و آسیب‌های حاصل از زلزله‌های گذشته محققین را بر آن داشته که به توسعه و بهبود عملکرد لرزه‌ای آن‌ها بپردازند. از این جهت محققین هندسه‌های اصلاح شده فراوانی پیشنهاد داده‌اند که می‌توان به اتصالات جوشی و پیچی تایید صلاحیت شده FEMA 350 [1] اشاره کرد. اما اکثر تحقیقات محدود به اتصال صلب تیر به

ستون بال پهن محدود شده و درضمن اتصال تحت اثر لنگر در یک راستا بحث می‌شود. بنابراین به سبب کمبود تحقیقات در زمینه رفتار لرزه‌ای اتصال صلب تیر به ستون قوطی شکل و همچنین استفاده فراوان در قاب‌های خمشی در ایران، در این پایان‌نامه به بررسی اتصال صلب تیر I شکل به ستون قوطی شکل تحت اثر لنگر در یک راستا و همچنین دو راستا پرداخته می‌شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته یک هندسه جدید اتصال تیر به ستون قوطی با عنوان اتصال یقه‌ای شکل با ستون چرخیده در پلان ارائه می‌شود. این اتصال جدید که بر اساس ساخت ستون درختی است، نیازی به ورق پیوستگی داخلی ندارد و برای قاب خمشی در یک راستا و همچنین دو راستا جزئیات‌بندی شده است. عملکرد لرزه‌ای اتصالات به روش مدل‌سازی و تحلیل غیر خطی اجزای محدود مورد ارزیابی قرار گرفته و از معیار تدوین شده کرنش معادل خمیری برای بررسی شکست در مدل‌های عددی استفاده شده است.

۱-۳- جنبه نوآوری

همان‌طور که اشاره شد، تحقیقات و آزمایش‌های کمی درباره اتصال صلب تیر به ستون قوطی شکل انجام شده است. به علت تفاوت‌های هندسی، تعمیم مستقیم نتایج اتصال با ستون بال پهن به اتصال با ستون قوطی شکل نادرست است. همچنین اکثر تحقیقات موجود محدود به رفتار خمشی اتصال در یک راستا است. از طرفی از ستون قوطی شکل در ساخت و ساز فولادی ایران و در قاب‌های خمشی استفاده فراوانی می‌شود و برای اتصال تیر به ستون، از هندسه اتصال ورق پوششی و اجرای ورق پیوستگی داخل ستون، استفاده می‌شود. بنابراین جایگاه مهم و بدیع تحقیق حاضر که درباره رفتار اتصال تیر به ستون قوطی شکل، هندسه‌های مختلف اتصال و اتصال دومحوره (تحت اثر لنگر در دو امتداد) است، به‌خوبی مشخص می‌شود.

از جنبه‌های نو در این تحقیق می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

- بررسی هندسه‌های مختلف اتصال تیر به ستون قوطی شکل و مقایسه رفتار آن‌ها در محدوده خطی و غیرخطی
- بکارگیری معیاری جهت بررسی و کنترل شکست ترد در مدل‌های عددی اتصال بر اساس کرنش معادل خمیری
- ارائه یک هندسه اتصال صلب تک‌محوره بدون نیاز به ورق پیوستگی داخلی برای اتصال تیر به ستون قوطی با ویژگی‌های رفتاری مناسب
- ارائه یک زیرسازه جدید دومحوری با قابلیت بارگذاری چرخه‌ای در دو راستا منطبق بر شرایط واقعی گره اتصال در سازه با سیستم قاب خمشی در دو راستا
- مقایسه رفتار اتصالات دومحوری تحت اثر لنگر در یک راستا و دو راستا
- ارائه یک هندسه اتصال صلب دومحوری بدون نیاز به ورق پیوستگی داخلی برای اتصال تیر به ستون قوطی با ویژگی‌های رفتاری مناسب

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

مطالب در 7 فصل بشرح زیر بیان شده است.

در فصل 2 به شناخت اتصال خمشی پرداخته می‌شود بدین ترتیب که بعد از بیان تعاریف و قراردادها با معیارهای مختلفی اتصالات خمشی طبقه‌بندی خواهد شد که در بازشناسی رفتار اتصالات بسیار مفید خواهد بود. صلبیت اتصال، مقاومت خمشی و ظرفیت چرخش خمیری اتصال جزء معیارهای رفتاری مورد توجه آئین‌نامه‌ها است که در طبقه‌بندی اتصالات آورده شده است. دیگر معیارهای تشریح شده عبارتند از، ابعاد اتصال، مقطع ستون و نحوه اجرای اتصال.

"پیشینه تحقیقات در زمینه اتصالات گیردار تیر به ستون قوطی شکل" عنوان فصل 3 بوده و در آن سعی شده به بیان تحقیقات عددی و آزمایشگاهی و دستاوردهای جدید محققین درباره اتصال تیر به ستون قوطی شکل پرداخته شود.

از آنجایی که در این پایان‌نامه از روش مدل‌سازی و تحلیل اجزای محدود استفاده می‌شود، در فصل 4 بعد از توضیحاتی درباره روش اجزای محدود و نرم افزار استفاده شده، به بازسازی یک نمونه آزمایش معتبر اتصال صلب تیر به ستون قوطی شکل پرداخته شده تا با کنترل نتایج تحلیل عددی با آزمایش واقعی، نحوه مدل‌سازی و محاسبات نرم افزار صحت‌سنجی شود. مقایسه‌های صورت گرفته در این فصل نشان دهنده تطابق قابل قبولی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی است. همچنین در این فصل با شبیه‌سازی اجزای محدود یک آزمایش تمام مقیاس اتصال جوشی تیر به ستون قوطی تا لحظه شکست در ناحیه جوش شده بال تیر به ستون، معیاری جهت پیش بینی آغاز ترک در این نواحی بحرانی بدست می‌آید.

فصل 5 به عنوان پیش درآمد فصل بعدی می‌باشد. در این فصل به معرفی و ارزیابی عملکرد اتصال تک محوری تیر به ستون قوطی با هندسه‌های مختلف پرداخته می‌شود. بنابراین زیرسازه استفاده شده در این فصل صلیبی شکل تک‌محوری است. طی این فصل، یک هندسه جدید بدون ورق پیوستگی داخلی برای اتصال صلب تیر به ستون قوطی شکل پیشنهاد و ارزیابی می‌شود.

در فصل 6 پس از ساخت مدلی که در آن ستون در هر دو امتداد دارای اتصال صلب است، از میان هندسه اتصالات مورد مطالعه در فصل قبل مواردی که عملکرد تک محوری مناسبی داشته‌اند، انتخاب و مورد مطالعه و ارزیابی تحت اثر لنگر در دو امتداد قرار می‌گیرند. زیرسازه پیشنهادی استفاده شده در این فصل صلیبی شکل دومحوری است و دو نوع بارگذاری شامل بارگذاری در یک راستا و بارگذاری در دو راستا برای آن در نظر گرفته شده است.

فصل 7 که فصل پایانی است که شامل جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و خلاصه دستاوردها و ارائه پیشنهادهایی جهت مطالعات آتی می‌باشد.