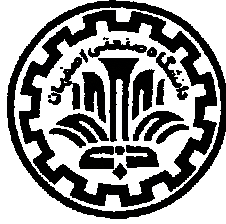


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی عددی رفتار لوزه‌ای اتصال مقاوم خمشی تیر به ستون بتنی پیش ساخته

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران

گرایش سازه

معین الدین ظفری نائینی

استاد راهنما

دکتر مرتضی مدح خوان



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش سازه آقای معین الدین ظفری نائینی

تحت عنوان

بررسی عددی رفتار لوزه‌ای اتصال مقاوم خمشی تیر به ستون بتنی پیش ساخته

در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر مرتضی مدح خوان

۲- استاد داور

دکتر علیرضا خالو

۳- استاد داور

دکتر فرهاد بهنام فر

۴- مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده

دکتر عبدالرضا کبیری

سپاسگزاری

حمد و ستایش ایزد مهربان که قدم در راه علم را به من توفیق عطا نمود، باشد که شاکر باشم. در این رکعت، شایسته است از تمامی عزیزانی که مراد این راه یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم. سر تعظیم در برابر پروردگار عزیزم فرود می آورم، بر دستا نشان بوسه می زنم و آن دو را می ستایم که تجلی مهر و لطف خداوندی برای من هستند. از خداوند بزرگ برای ایشان طول عمر قرین با سلامتی و عزت و شادی طلب می کنم. از دو برادر عزیزم که همواره مشوق و پشتیبان من بوده اند تشکر نموده و از خداوند متعال موفقیت، شادکامی و سرفرازی بهیچکی را برایشان خواستارم.

از استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر روح خان بسیار سپاسگزارم که در کلیه مراحل انجام این پایان نامه با دانش و تجربه خود راهنمایی من بودند و ساگرودی ایشان همیشه افتخار من بوده، بست و خواهد بود. هم چنین بر خود لازم می دانم از اساتید ارجمند جناب آقایان دکتر خالو و دکتر بهنام فر که با صبر و حوصله فراوان این پایان نامه را مطالعه و با پیشنهادهای علمی و سازنده‌ی خود به غنی تر شدن مطالب ارائه شده کمک به سزایی نمودند سپاسگزاری نمایم. از جناب آقایان دکتر برومند و دکتر شایخی که با راهنمایی‌های سازنده‌ی خود مراد انجام این پایان نامه یاری بخشیدند نیز کمال تشکر دارم. از تمامی اساتید عمران و دانشگاه صنعتی اصفهان که علاوه بر مطالب علمی، درس‌های زندگی به من آموختند تقدیر می نمایم. امیدوارم همه‌ی این عزیزان در تمام مراحل زندگی موفق و پیروز باشند.

جادار از شرکت دیسان و به ویژه جناب مهندس آقایانی که با پشتیبانی مالی و تجهیزاتی خود مراد انجام این تحقیق یاری نمودند سپاسگزاری نمایم. در پایان، از دوستان عزیزم به ویژه آقایان مهندس سید حسین دیماچیان، مهندس سید حلیل حسینی، مهندس حسن زیبا سخن و مهندس محمد رضا تقدیریان و هم چنین مسئولین پرتلاش سایت کامپیوتری دانشکده عمران سرکار خانم با فروغی و بهشتی که در تمام این مدت صیانه همراه من بودند تشکر می کنم و امیدوارم در همه‌ی مراحل زندگی شاد و سربلند و سلامت باشند.

باسپاس فراوان

مصین الدین فخری نائینی

اردیبهشت ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از
تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به دو فرشته‌ی مهربان و دلسوز باغ زندگیم

در و مادر



عزیزم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱-۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱-۱-۲	مروری بر تاریخچه پیش ساختگی
۳-۱-۱-۳	معایب و مزایای سیستم سازه‌ای پیش ساخته
۳-۱-۱-۳-۱	مزایای سیستم سازه‌ای پیش ساخته
۳-۱-۱-۳-۲	معایب سیستم سازه‌ای پیش ساخته
۴-۱-۱-۴	انواع سیستم‌های سازه‌ای پیش ساخته
۴-۱-۱-۴-۱	سیستم جعبه‌ای
۴-۱-۱-۴-۲	سیستم دیوار باربر
۴-۱-۱-۴-۳	سیستم سازه‌ای اسکلتی
۵-۱-۱-۵	انواع اتصالات در سازه‌های پیش ساخته
۵-۱-۱-۵-۱	انواع اتصالات در سازه‌های پیش ساخته از نظر شیوه اجرا
۵-۱-۱-۵-۲	انواع اتصالات در سازه‌های پیش ساخته از نظر درصد گیرداری
۵-۱-۱-۵-۳	انواع اتصالات در سازه‌های پیش ساخته از نظر محل اتصال
۶-۱-۱-۶	اهمیت موضوع
۷-۱-۱-۷	هدف تحقیق
۸-۱-۱-۸	فصل بندی پایان نامه
	فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین
۱-۲-۱-۱۳	مقدمه
۲-۲-۱-۱۳	تحقیقات پیشین
۱-۲-۲-۱۳	پروژه NIST
۲-۲-۲-۱۵	پروژه PRESSS
۳-۲-۲-۱۷	تحقیقات Park و Bull
۴-۲-۲-۱۹	تحقیقات Restrepo و همکاران
۵-۲-۲-۲۲	تحقیقات Khoo و همکاران

۲۴	تحقیقات Ousalem و همکاران.....
۲۶	تحقیقات انجام گرفته در ایران
۲۶	تحقیقات پرستش و خالو.....
۲۸	تحقیقات اخلاقی و مؤمنی
۲۸	تحقیقات بختیاری دوست و خالو.....
۲۹	رفیع زاده و بهنام فر.....
۳۰	خلاصه فصل
فصل سوم: مدل سازی در نرم افزار و پارامترهای مؤثر بر آن	
۳۱	مقدمه
۳۱	بررسی رفتار پلاستیک بتن
۳۳	مفاهیم مورد نیاز برای تعیین سطح تسلیم در مسائل سه بعدی.....
۳۶	خصوصیات کلی سطح تسلیم در بتن
۳۷	تئوری های پلاستیسیته به کار رفته
۳۷	۱-۵-۳- معیار تسلیم ون- مایسز
۳۸	۲-۵-۳- معیار شکست دراگر- پراگر
۳۹	۶-۳- رفتار پس از تسلیم
۴۰	۷-۳- معرفی تئوری پلاستیسیته ی حاکم بر رفتار بتن در نرم افزار.....
۴۱	۱-۷-۳- ثابت های تنش مؤثر
۴۱	۲-۷-۳- تابع پتانسیل جریان پلاستیک
۴۲	۳-۷-۳- سطوح تسلیم
۴۴	۸-۳- معرفی ماده بتن در نرم افزار
۴۴	۱-۸-۳- نمودار تنش- کرنش پلاستیک تک محوره بتن.....
۴۷	۲-۸-۳- پارامترهای آسیب
۴۸	۳-۸-۳- ویسکوزیته
۴۹	۹-۳- معرفی فولاد و میلگردهای مصرفی در نرم-افزار
۴۹	۱-۹-۳- معرفی ماده فولاد در نرم-افزار
۴۹	۲-۹-۳- مدل سازی آرماتورها.....
۵۰	۱۰-۳- المان های مورد استفاده.....

۵۰	۱۱-۳- ابعاد المان‌های مورد استفاده.....
۵۱	۱۲-۳- روش حل عددی مورد استفاده.....
۵۱	۱۳-۳- شرایط مرزی و بارگذاری
۵۱	۱۴-۳- خلاصه فصل.....
فصل چهارم: اتصال آرماتورها به کمک اسلیو و مدل‌سازی آن	
۵۲	۱-۴- مقدمه
۵۲	۲-۴- بست‌های مکانیکی.....
۵۳	۳-۴- نکات آیین‌نامه‌ای در استفاده از بست‌های مکانیکی.....
۵۴	۱-۳-۴- بست‌های مکانیکی نوع اول.....
۵۴	۲-۳-۴- بست‌های مکانیکی نوع دوم.....
۵۵	۴-۴- اسلیوها
۵۶	۱-۴-۴- تحقیقات <i>Einea</i> و همکاران
۵۷	۲-۴-۴- تحقیقات <i>Kim</i>
۵۸	۳-۴-۴- تحقیقات مؤسسه حمل و نقل میشیگان.....
۶۰	۴-۴-۴- تحقیقات مشترک دانشگاه تکنولوژی و مؤسسه‌ی تحقیقات ساختمان مالزی
۶۲	۵-۴-۴- تحقیقات <i>Hiang Miang</i>
۶۲	۵-۴-۵- تنش‌های چسبندگی بین بتن و میلگرد.....
۶۳	۱-۵-۴- تحقیقات <i>Henry</i> و <i>Untrauer</i>
۶۳	۲-۵-۴- تحقیقات <i>Eligehausen</i> و همکاران
۶۴	۳-۵-۴- تحقیقات <i>Bigaj</i> و <i>Uijl</i>
۶۶	۴-۵-۴- تحقیقات <i>Haskett</i> و همکاران.....
۶۷	۶-۴- مکانیزم لغزش میلگرد آجدار از داخل بتن
۶۸	۷-۴- مدل چسبندگی- لغزش مورد استفاده در این مطالعه.....
۷۰	۸-۴- نحوه‌ی مدل‌سازی اجزای اتصال اسلیو گروتی در نرم‌افزار
۷۱	۱-۸-۴- اسلیو و آرماتورها.....
۷۱	۲-۸-۴- گروت.....
۷۱	۳-۸-۴- المان‌های چسبنده

- ۷۵-۴-۸-۴- نحوه‌ی تنظیم پارامترهای المان‌های چسبنده با مدل چسبندگی- لغزش.....
- ۷۶-۴-۸-۵- شرایط مرزی.....
- ۷۷-۴-۹- بررسی صحت مدل‌سازی.....
- ۷۷-۴-۹-۱- مدل‌سازی در نرم‌افزار.....
- ۸۰-۴-۹-۲- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی.....
- ۸۴-۴-۱۰- مدل‌سازی اسلیو به کار رفته در اتصال *Ousalem* و همکاران [۳۴].....
- ۸۵-۴-۱۱- مدل‌سازی اسلیو به کار رفته در اتصالات پیش‌ساخته‌ی طراحی شده.....
- ۸۸-۴-۱۲- آزمایش‌های انجام شده در دانشگاه صنعتی اصفهان.....
- ۹۰-۴-۱۳- خلاصه فصل.....

فصل پنجم: بررسی صحت مدل‌سازی اتصالات در نرم‌افزار

- ۹۱-۵-۱- مقدمه.....
- ۹۱-۵-۲- مشکلات مدل‌سازی بارگذاری رفت و برگشتی.....
- ۹۲-۵-۳- مدل‌سازی اتصال یکپارچه.....
- ۹۴-۵-۳- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در اتصال یکپارچه.....
- ۹۵-۵-۳-۱- منحنی بار- تغییر مکان.....
- ۹۵-۵-۳-۲- مود شکست نمونه.....
- ۹۶-۵-۳-۳- الگوی ترک خوردگی.....
- ۹۷-۵-۴- مدل‌سازی اتصال پیش‌ساخته مورد نظر.....
- ۱۰۰-۵-۵- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در اتصال پیش‌ساخته.....
- ۱۰۰-۵-۱- منحنی برش- دریافت طبقه.....
- ۱۰۲-۵-۲- مود شکست نمونه.....
- ۱۰۴-۵-۳- الگوی ترک خوردگی.....
- ۱۰۶-۵-۶- بررسی اثر لغزش مهار و توانایی نرم‌افزار در این زمینه.....
- ۱۰۶-۵-۱- نفوذ کرنش.....
- ۱۰۶-۵-۲- لغزش آرماتورها در داخل بتن.....
- ۱۰۷-۵-۳- توانایی نرم‌افزار.....
- ۱۰۷-۵-۷- بررسی رفتار اتصال بتنی پیش‌ساخته همراه با لغزش مهار.....

۱۱۱.....	۸-۵- مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در اتصال پیش ساخته.....
۱۱۲.....	۱-۸-۵- منحنی بار- تغییر مکان
۱۱۲.....	۲-۸-۵- مود شکست نمونه
۱۱۳.....	۳-۸-۵- الگوی ترک خوردگی
۱۱۵.....	۹-۵- بررسی میزان لحاظ اثر لغزش مهاری در مدل ساخته شده.....
۱۱۵.....	۱-۹-۵- اختلاف بین نمودار بار- تغییر مکان تحلیل عددی و آزمایشگاهی
۱۱۶.....	۲-۹-۵- تغییرات تنش در میلگردهای دارای لغزش.....
۱۱۷.....	۳-۹-۵- تغییر شکل المان‌های اطراف.....
۱۱۸.....	۱۰-۵- خلاصه فصل.....
فصل ششم: مقایسه رفتار اتصال بتنی پیش ساخته با اتصال یکپارچه مشابه	
۱۱۹.....	۱-۶- مقدمه
۱۱۹.....	۲-۶- طراحی اتصال
۱۲۲.....	۳-۶- مقایسه رفتار اتصالات در حضور سربار فشاری $0.2A_g f'_c$
۱۲۲.....	۱-۳-۶- نمودار بار- تغییر مکان جانبی
۱۲۳.....	۲-۳-۶- ترک خوردگی در اتصالات
۱۲۵.....	۳-۳-۶- جذب انرژی
۱۲۵.....	۴-۶- مقایسه رفتار اتصالات در حضور سربار فشاری $0.5A_g f'_c$
۱۲۶.....	۱-۴-۶- نمودار بار- تغییر مکان جانبی
۱۲۶.....	۲-۴-۶- الگوی ترک خوردگی
۱۲۸.....	۳-۴-۶- جذب انرژی
۱۲۸.....	۵-۶- سربار محوری کششی $0.5A_g F_y$
۱۲۹.....	۱-۵-۶- نمودار بار- تغییر مکان جانبی
۱۳۱.....	۲-۵-۶- الگوی ترک خوردگی
۱۳۳.....	۳-۵-۶- جذب انرژی
۱۳۳.....	۶-۶- سربار محور کششی $0.9A_g F_y$
۱۳۴.....	۱-۶-۶- نمودار بار- تغییر مکان جانبی
۱۳۶.....	۲-۶-۶- الگوی ترک خوردگی

۱۳۷.....	۳-۶-۶- جذب انرژی
۱۳۸.....	۷-۶- بررسی تأثیرات سربار محوری بر عملکرد اتصالات بتنی
۱۳۸.....	۱-۷-۶- نمودار بار- تغییر مکان جانبی
۱۳۹.....	۲-۷-۶- مود شکست اتصال
۱۳۹.....	۳-۷-۶- جذب انرژی
۱۴۰.....	۸-۶- خلاصه فصل

فصل هفتم: مروری بر مطالعات انجام شده، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۴۲.....	۱-۷- مقدمه
۱۴۲.....	۲-۷- خلاصه‌ی کارهای انجام شده در این پروژه
۱۴۴.....	۳-۷- نتیجه گیری
۱۴۵.....	۴-۷- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های بعدی
۱۴۷.....	مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ سیستم سازه‌ای پیش ساخته جعبه‌ای.....	۴
شکل ۱-۲ سیستم سازه‌ای پیش ساخته دیوار باربر	۵
شکل ۱-۳ سیستم سازه‌ای پیش ساخته اسکلتی با ستون یکپارچه	۶
شکل ۱-۴ سیستم سازه‌ای پیش ساخته اسکلتی با ستون مجزا	۶
شکل ۱-۵ سیستم سازه‌ای پیش ساخته اسکلتی قاب پرتال	۷
شکل ۱-۶ سیستم سازه‌ای پیش ساخته اسکلتی دال-ستون	۷
شکل ۱-۷ اتصال خشک در سازه‌های بتنی پیش ساخته [۲]	۸
شکل ۱-۸ اتصال تر در سازه‌های بتنی پیش ساخته [۲]	۹
شکل ۱-۹ جزئیات اتصال از نظر درجه گیرداری [۲]	۹
شکل ۱-۱۰ جزئیات اتصالات مختلف بر اساس اعضای متصل شونده [۲]	۱۰
شکل ۲-۱ شرایط مرزی و تاریخچه بار جانبی اعمالی به نمونه‌های مورد آزمایش در پروژه NIST [۱].....	۱۴
شکل ۲-۲ پلان طبقات اول تا سوم سازه مورد آزمایش در پروژه PRESS [۲۷]	۱۶
شکل ۲-۳ نمایی از طبقات سازه مورد آزمایش در پروژه PRESS [۲۷].....	۱۷
شکل ۲-۴ جزئیات اتصال تیر به ستون معرفی شده توسط Bull و Park [۲۸].....	۱۷
شکل ۲-۵ نمایی از شرایط مرزی و نحوه بارگذاری در اتصال معرفی شده توسط Bull و Park [۲۸].....	۱۸
شکل ۲-۶ پاسخ هیستریزیس و نمایی از خسارات وارد شده به اتصال نمونه‌ی ۱ در طول آزمایش Bull و Park [۲۸].....	۱۹
شکل ۲-۷ پاسخ هیستریزیس و نمایی از خسارات وارد شده به اتصال نمونه‌ی ۲ در طول آزمایش Bull و Park [۲۸].....	۱۹
شکل ۲-۸ نمودار لنگر خمشی تیر واقع در قاب‌های خمشی پیرامونی [۸]	۲۰
شکل ۲-۹ نمونه‌های صلیبی شکل مورد آزمایش توسط Restrepo و همکاران [۸].....	۲۱
شکل ۲-۱۰ قاب‌های بارگذاری مورد استفاده برای آزمایش نمونه‌ها در تحقیقات Restrepo و همکاران [۸]	۲۲
شکل ۲-۱۱ مراحل اجرا و جزئیات اتصالات مورد بررسی توسط Khoo و همکاران [۳۲]	۲۳

- شکل ۲-۱۲ نمایی از جزئیات اتصال تیر سراسری به ستون ۲۴
- شکل ۲-۱۳ نحوه‌ی اتصال بین اعضای پیش ساخته در اتصال معرفی شده توسط *Ousalem* و همکاران [۳۴] ۲۵
- شکل ۲-۱۴ نحوه‌ی بارگذاری نمونه‌ها در آزمایش‌های *Ousalem* و همکاران [۳۴] ۲۵
- شکل ۲-۱۵ جزئیات اتصال تیر به ستون بتنی پیش ساخته پیشنهادی پرستش و خالو [۳۶] ۲۶
- شکل ۲-۱۶ بارگذاری شبه استاتیکی جانبی وارد بر نمونه‌ها [۳۶] ۲۷
- شکل ۲-۱۷ نحوه‌ی بارگذاری نمونه‌ها در فاز اول و دوم تحقیقات پرستش و خالو [۳۶ و ۳۷] ۲۸
- شکل ۲-۱۸ جزئیات اتصال تیر به ستون بتنی پیش ساخته مورد بررسی در تحقیقات بختیاری دوست و خالو [۳۹] ۲۹
- شکل ۳-۱ نمودار تنش- کرنش بارگذاری تک محوره بتن [۴۲] ۳۲
- شکل ۳-۲ سطح گسیختگی بتن تحت تنش دو محوره [۴۲] ۳۳
- شکل ۳-۳ مؤلفه‌های تنش در فضای تنش‌های اصلی [۴۱] ۳۴
- شکل ۳-۴ صفحه‌ی انحرافی و مقطع عرضی یک سطح گسیختگی [۴۱] ۳۶
- شکل ۳-۵ منحنی نصف النهاری بدست آمده از تحقیقات تجربی [۴۱] ۳۷
- شکل ۳-۶ معیار تسلیم ون- مایسز [۴۱] ۳۸
- شکل ۳-۷ مقایسه مدل‌های مور- کلمب و دراگر- پراگر در صفحه انحرافی [۴۲] ۳۸
- شکل ۳-۸ معیار شکست دراگر- پراگر [۴۱] ۳۹
- شکل ۳-۹ رفتار پلاستیک مواد مختلف پس از تسلیم ۴۰
- شکل ۳-۱۰ تابع پتانسیل جریان دراگر- پراگر [۴۲] ۴۲
- شکل ۳-۱۱ اثر مقدار K_c بر روی مقطع عرضی سطح تسلیم [۴۲] ۴۳
- شکل ۳-۱۲ سطح تسلیم در شرایط تنش صفحه‌ای [۴۲] ۴۳
- شکل ۳-۱۳ مدل تحلیلی برای بیان نمودار تنش- کرنش بتن در فشار [۴۷] ۴۵
- شکل ۳-۱۴ نحوه محاسبه کرنش پلاستیک از نمودار تنش- کرنش [۴۲] ۴۶
- شکل ۳-۱۵ مدل‌های تحلیلی برای بیان نمودار تنش- کرنش بتن در کشش [۴۷] ۴۷
- شکل ۳-۱۶ نمودار تنش- کرنش کششی بتن به کار رفته در نرم افزار *ABAQUS* ۴۷

- شکل ۳-۱۷ نحوه تاثیر پارامترهای آسیب در نرم‌افزار *ABAQUS* [۴۲]..... ۴۸
- شکل ۳-۱۸ تعدادی از مدل‌های ارائه شده برای بیان نمودارهای تنش - کرنش فولاد..... ۴۹
- شکل ۴-۱ دو نمونه از پر کاربردترین اسلیوهای مورد استفاده در سازه‌های پیش ساخته..... ۵۳
- شکل ۴-۲ اسلیو معرفی شده توسط *Alfred A. Yee* و روش به کارگیری آن [۵۷]..... ۵۶
- شکل ۴-۳ روش‌های مختلف اجرای اتصال اعضا به کمک اسلیو [۵۸]..... ۵۶
- شکل ۴-۴ جزئیات نمونه‌ها در تحقیقات *Einea* و همکاران [۵۹]..... ۵۷
- شکل ۴-۵ جزئیات اسلیوهای به کار رفته در اتصالات پیش ساخته در تحقیقات *KIM* [۶۰]..... ۵۸
- شکل ۴-۶ نمودار بار - لغزش یک اتصال اسلیو مورد آزمایش در تحقیقات *Kim* [۶۰]..... ۵۸
- شکل ۴-۷ مراحل آزمایش‌های کشش توصیه شده توسط *ASTM A1034-05* [۶۲]..... ۶۰
- شکل ۴-۸ انواع شکست در نمونه‌های آزمایشی در تحقیقات مؤسسه حمل و نقل میشیگان [۶۲]..... ۶۰
- شکل ۴-۹ نمونه‌های مورد آزمایش در تحقیقات مشترک دانشگاه تکنولوژی و موسسه‌ی تحقیقات ساختمان مالزی [۶۳ و ۶۴]..... ۶۱
- شکل ۴-۱۰ مودهای شکست نمونه‌ها در تحقیقات مشترک دانشگاه تکنولوژی و موسسه‌ی تحقیقات ساختمان مالزی [۶۳ و ۶۴]..... ۶۱
- شکل ۴-۱۱ نمونه‌های مورد بررسی در تحقیقات *Hiang Miang* [۶۵]..... ۶۲
- شکل ۴-۱۲ دیاگرام جسم آزاد مقطع اسلیو..... ۶۳
- شکل ۴-۱۳ نمودار مدل تنش چسبندگی - لغزش ارائه شده توسط *Eligehausen* و همکاران [۶۹]..... ۶۴
- شکل ۴-۱۴ مدل باز شدگی بتن ترک خورده اطراف آرماتور تحت تنش‌های محصور شدگی ارائه شده توسط *Van der Veen* [۷۱]..... ۶۵
- شکل ۴-۱۵ مراحل سه گانه‌ی مدل استوانه‌ای جدار ضخیم در نمودار تنش - کرنش شعاعی [۷۰]..... ۶۶
- شکل ۴-۱۶ مدل چسبندگی - لغزش ارائه شده برای آرماتورهای آجدار ارائه شده توسط *Haskett* و همکاران [۷۲]..... ۶۷
- شکل ۴-۱۷ مرحله آغاز لغزش میلگرد آجدار از داخل بتن..... ۶۷
- شکل ۴-۱۸ زوال چسبندگی بتن و میلگرد آجدار و رفتار اصطکاکی بین سطوح..... ۶۸
- شکل ۴-۱۹ مدل عددی تنش چسبندگی - لغزش ارائه شده در آیین‌نامه‌ی *CEB-FIP 90* [۷۳]..... ۶۹
- شکل ۴-۲۰ مدل تنش چسبندگی - لغزش ارائه شده به المان‌های چسبنده..... ۷۲
- شکل ۴-۲۱ معیار تنش‌های مستقل ماکزیمم مورد استفاده در المان‌های چسبنده [۴۲]..... ۷۳

- شکل ۴-۲۲ مدل چسبندگی- لغزش با الگوی کاهش خطی در سختی [۴۲]..... ۷۴
- شکل ۴-۲۳ مدل چسبندگی- لغزش با الگوی کاهش سختی به صورت نمایی [۴۲]..... ۷۴
- شکل ۴-۲۴ راستاهای اصلی معرفی شده به المان‌های چسبیده در مدل‌سازی [۴۲]..... ۷۵
- شکل ۴-۲۵ نحوه‌ی در نظر گرفتن رفتار چسبندگی- لغزش مورد نظر با استفاده از چهار المان چسبیده..... ۷۶
- شکل ۴-۲۶ نمایش پارامترهای ارائه شده در جدول مشخصات هندسی اسلیوهای تولیدی شرکت *NMB* [۵۸]..... ۷۷
- شکل ۴-۲۷ نمودار تنش چسبندگی- لغزش به کار رفته در مدل‌سازی اتصال اسلیو مؤسسه حمل‌ونقل میشیگان..... ۷۹
- شکل ۴-۲۸ مشخصات هندسی آرماتور #۶ [۷۶]..... ۸۰
- شکل ۴-۲۹ نحوه‌ی تخصیص دادن مواد و مش‌بندی در طول و مقطع عرضی اتصال اسلیوی..... ۸۰
- شکل ۴-۳۰ کنترل راستاهای اصلی در المان‌های چسبیده..... ۸۱
- شکل ۴-۳۱ مقایسه‌ی نمودار بار- تغییر مکان حاصل از تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی اتصال اسلیو..... ۸۲
- شکل ۴-۳۲ تغییرات تنش‌های مایسز در طول اتصال اسلیو..... ۸۳
- شکل ۴-۳۳ میزان آسیب‌های وارد شده به گروت داخل اسلیو در اثر تنش‌های کششی..... ۸۳
- شکل ۴-۳۴ نمودار بار- تغییر مکان حاصل از تحلیل عددی اسلیو به کار رفته در تحقیقات *Ousalem* و همکاران [۳۴]..... ۸۵
- شکل ۴-۳۵ مقایسه‌ی نمودار تنش- کرنش آرماتور و تحلیل عددی اتصال اسلیو به کار رفته در تحقیقات *Ousalem* و همکاران [۳۴]..... ۸۵
- شکل ۴-۳۶ نمودار بار- تغییر مکان حاصل از تحلیل عددی اسلیو اتصالات پیش ساخته..... ۸۷
- شکل ۴-۳۷ تغییرات تنش‌های مایسز در طول اتصال اسلیو و ایجاد گسیختگی در آرماتورهای خارج از اسلیو..... ۸۷
- شکل ۴-۳۸ مقایسه‌ی نمودار تنش- کرنش آرماتورها و اتصال اسلیو اتصالات پیش ساخته..... ۸۷
- شکل ۴-۳۹ نمایی از ابعاد در نظر گرفته شده برای طراحی اسلیو (واحدها بر حسب میلیمتر هستند)..... ۸۸
- شکل ۴-۴۰ نمایی از نمونه اسلیوهای مورد آزمایش..... ۸۸
- شکل ۴-۴۱ یکی از اسلیوهای ساخته شده تحت آزمایش کشش مستقیم..... ۸۹
- شکل ۴-۴۲ نمودار بار- تغییر طول بدست آمده از آزمایش کشش مستقیم اتصال آرماتورهای قطر ۱۸ میلیمتر به کمک اسلیو..... ۸۹
- شکل ۴-۴۳ نمودار بار- تغییر طول بدست آمده از آزمایش کشش مستقیم اتصال آرماتورهای قطر ۲۰ میلیمتر به کمک اسلیو..... ۹۰
- شکل ۵-۱ ابعاد و نحوه‌ی فولادگذاری مقاطع تیر و ستون اتصال یکپارچه در تحقیقات *Cheok* و همکاران [۲۰]..... ۹۲

- شکل ۵-۲ ابعاد و نحوه‌ی بارگذاری وارد بر اتصال در تحقیقات *Cheok* و همکاران [۲۰]..... ۹۳
- شکل ۵-۳ شیوه‌ی مش‌بندی بتن اتصال یکپارچه ۹۴
- شکل ۵-۴ شیوه‌ی مدل‌سازی میلگردهای طولی و عرضی اتصال یکپارچه ۹۴
- شکل ۵-۵ نمودار بار- تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیلی برای اتصال بتنی یکپارچه *Cheok* و همکاران [۲۰]..... ۹۵
- شکل ۵-۶ مقادیر تنش مایسز در آرماتورهای اتصال یکپارچه در انتهای بارگذاری مدل تحلیلی ۹۶
- شکل ۵-۷ الگوی ترک خوردگی در مدل اتصال یکپارچه تحت بارگذاری نهایی ۹۶
- شکل ۵-۸ ابعاد و مقاطع نمونه اتصال پیش‌ساخته در تحقیقات *Ousalem* و همکاران [۳۴]..... ۹۷
- شکل ۵-۹ میزان سربار محوری وارد بر ستون در تحقیقات *Ousalem* و همکاران [۳۴]..... ۹۸
- شکل ۵-۱۰ جزئیات چشمه اتصال در اتصال بتنی پیش‌ساخته مورد بررسی ۹۹
- شکل ۵-۱۱ نحوه‌ی مش‌بندی و آرماتورگذاری اتصال بتنی پیش‌ساخته معرفی شده توسط *Ousalem* و همکاران [۳۴]..... ۹۹
- شکل ۵-۱۲ نمودار نیروی برشی- زاویه دریافت طبقه آزمایشگاهی و تحلیلی برای اتصال مورد نظر تحت بار محوری فشاری ۱۰۰
- شکل ۵-۱۳ نمودار نیروی برشی- زاویه دریافت طبقه آزمایشگاهی و تحلیلی برای اتصال مورد نظر تحت بار محوری کششی ۱۰۱
- شکل ۵-۱۴ نمودار تنش- کرنش آرماتورهای طولی تیر و ستون در دریافت جانبی ۰/۰۱۹..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۵ وضعیت تنش‌های مایسز ایجاد شده در آرماتورهای اتصال پیش‌ساخته با سربار فشاری ۱۰۳
- شکل ۵-۱۶ وضعیت تنش‌های ایجاد شده در آرماتورهای اتصال پیش‌ساخته با سربار کششی ۱۰۴
- شکل ۵-۱۷ الگوی ترک خوردگی در مدل اتصال پیش‌ساخته در انتهای بارگذاری با سربار فشاری ۱۰۵
- شکل ۵-۱۸ الگوی ترک خوردگی در مدل اتصال پیش‌ساخته در انتهای بارگذاری با سربار کششی ۱۰۵
- شکل ۵-۱۹ ابعاد و جزئیات مقاطع اتصال پیش‌ساخته پیشنهادی توسط *Restrepo* و همکاران [۸]..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۰ نحوه بارگذاری جانبی اتصال پیش‌ساخته در آزمایش *Restrepo* و همکاران [۸]..... ۱۱۰
- شکل ۵-۲۱ نحوه‌ی مش‌بندی اتصال پیش‌ساخته پیشنهادی توسط *Restrepo* و همکاران [۸] (نقاط پر رنگ تر بیانگر بتن درجاریز هستند)..... ۱۱۱
- شکل ۵-۲۲ نحوه آرماتورگذاری اتصال پیش‌ساخته پیشنهادی توسط *Restrepo* و همکاران [۸]..... ۱۱۱
- شکل ۵-۲۳ نمودارهای بار- تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیلی برای اتصال بتنی پیش‌ساخته ۱۱۲
- شکل ۵-۲۴ وضعیت تنش‌های مایسز ایجاد شده در آرماتورهای اتصال پیش‌ساخته در انتهای بارگذاری مدل تحلیلی ۱۱۳

- شکل ۵-۲۵ الگوی ترک خوردگی در نمای خارجی مدل اتصال پیش ساخته در انتهای بارگذاری ۱۱۴
- شکل ۵-۲۶ الگوی ترک خوردگی در مقطع داخلی مدل اتصال پیش ساخته در انتهای بارگذاری ۱۱۴
- شکل ۵-۲۷ مقایسه نمودارهای بار- تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیلی برای اتصال بتنی پیش ساخته ۱۱۶
- شکل ۵-۲۸ نمودار شماتیکی از تنش پیوستگی- لغزش برای آرماتورهای مدفون در بتن ۱۱۶
- شکل ۵-۲۹ وضعیت تنش های مایسز در آرماتورهای اتصال و در محل لغزش ۱۱۷
- شکل ۵-۳۰ نمایش برداری جهات و مقادیر کرنش های اصلی در المان های اطراف آرماتورهای طولی تیر در ناحیه چشمه اتصال ۱۱۸
- شکل ۶-۱ پلان طبقات سازه ی طراحی شده ۱۲۰
- شکل ۶-۲ مقاطع ستون و تیر طراحی شده برای اتصالات مورد بررسی ۱۲۰
- شکل ۶-۳ مشخصات طولی اعضا، شرایط تکیه گاهی و نحوه ی بارگذاری اتصالات مورد بررسی ۱۲۱
- شکل ۶-۴ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۲
- شکل ۶-۵ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۳
- شکل ۶-۶ الگوی ترک خوردگی اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۴
- شکل ۶-۷ الگوی ترک خوردگی اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۴
- شکل ۶-۸ میزان جذب انرژی در اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۵
- شکل ۶-۹ میزان جذب انرژی در اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.2A_g f_c'$ ۱۲۵
- شکل ۶-۱۰ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۶
- شکل ۶-۱۱ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۶
- شکل ۶-۱۲ الگوی ترک خوردگی اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۷
- شکل ۶-۱۳ الگوی ترک خوردگی اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۷
- شکل ۶-۱۴ میزان جذب انرژی در اتصال یکپارچه با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۸
- شکل ۶-۱۵ میزان جذب انرژی در اتصال پیش ساخته با حضور سربار فشاری $0.5A_g f_c'$ ۱۲۸
- شکل ۶-۱۶ تسلیم شدن آرماتورهای برشی چشمه اتصال در اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.5A_g F_y$ ۱۳۰
- شکل ۶-۱۷ تسلیم شدن آرماتورهای طولی ستون در اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.5A_g F_y$ ۱۳۰

- شکل ۶-۱۸ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۱
- شکل ۶-۱۹ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۱
- شکل ۶-۲۰ الگوی ترک خوردگی اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۲
- شکل ۶-۲۱ الگوی ترک خوردگی اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۲
- شکل ۶-۲۲ میزان جذب انرژی در اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۳
- شکل ۶-۲۳ میزان جذب انرژی در اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.5A_s F_y$ ۱۳۳
- شکل ۶-۲۴ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۴
- شکل ۶-۲۵ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۴
- شکل ۶-۲۶ تسلیم شدن آرماتورهای طولی ستون در اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۵
- شکل ۶-۲۷ تسلیم شدن آرماتورهای طولی ستون در اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۵
- شکل ۶-۲۸ الگوی ترک خوردگی اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۶
- شکل ۶-۲۹ الگوی ترک خوردگی اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۷
- شکل ۶-۳۰ میزان جذب انرژی در اتصال یکپارچه با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۷
- شکل ۶-۳۱ میزان جذب انرژی در اتصال پیش ساخته با حضور سربار کششی $0.9A_s F_y$ ۱۳۸
- شکل ۶-۳۲ نمودار بار- تغییر مکان جانبی اتصال بتنی یکپارچه با حضور مقادیر مختلف سربار وارد بر روی ستون ۱۳۸
- شکل ۶-۳۳ میزان جذب انرژی اتصال بتنی یکپارچه با حضور مقادیر مختلف سربارهای وارد بر روی ستون ۱۴۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱ جزئیات آزمایش های کشش و فشار رفت و برگشتی [۵۵].....	۵۵
جدول ۴-۲ پارامترهای مورد نیاز جهت مدل چسبندگی- لغزش ارائه شده در آیین نامه ی <i>CEB-FIP 90</i> [۷۳].....	۷۰
جدول ۴-۳ مشخصات هندسی اسلیوهای تولیدی شرکت <i>NMB</i> [۵۸].....	۷۸
جدول ۴-۴ مشخصات هندسی به کار رفته در مدلسازی اتصال اسلیو مؤسسه حمل و نقل میشیگان.....	۷۸
جدول ۴-۵ مشخصات مواد به کار رفته در اتصال اسلیو [۶۱].....	۷۹
جدول ۴-۶ مقادیر مشخصات هندسی و مکانیکی آرماتور #۶ [۷۶].....	۷۹
جدول ۴-۷ مشخصات مواد به کار رفته در اسلیو استفاده شده در تحقیقات <i>Ousalem</i> و همکاران [۳۴].....	۸۴
جدول ۴-۸ مشخصات هندسی به کار رفته جهت مدلسازی اسلیو استفاده شده در تحقیقات <i>Ousalem</i> و همکاران [۳۴].....	۸۴
جدول ۴-۹ مشخصات مواد به کار رفته در اسلیو اتصالات پیش ساخته.....	۸۶
جدول ۴-۱۰ مشخصات هندسی به کار رفته جهت مدلسازی اسلیو اتصالات پیش ساخته.....	۸۶
جدول ۴-۱۱ مشخصات مصالح مصرفی در اسلیو مورد آزمایش.....	۹۰
جدول ۵-۱ مشخصات مواد به کار رفته برای مدلسازی اتصال یکپارچه در تحقیقات <i>Cheok</i> و همکاران [۲۰].....	۹۳
جدول ۵-۲ مشخصات مقاطع تیر و ستون در اتصال مورد نظر [۳۴].....	۹۸
جدول ۵-۳ مشخصات مصالح مورد استفاده در اتصال بتنی پیش ساخته [۳۴].....	۹۸
جدول ۵-۴ مقایسه برش نهایی طبقه به دست آمده از تحلیل عددی و آزمایشگاهی.....	۱۰۲
جدول ۵-۵ مشخصات مقاطع تیر و ستون در اتصال پیشنهادی توسط <i>Restrepo</i> و همکاران [۸].....	۱۰۹
جدول ۵-۶ مشخصات مصالح استفاده شده در اتصال پیشنهادی توسط <i>Restrepo</i> و همکاران [۸].....	۱۰۹
جدول ۵-۷ درصد اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی.....	۱۱۵
جدول ۶-۱ مشخصات مواد مورد استفاده در اتصالات مورد بررسی.....	۱۲۱
جدول ۶-۲ مقایسه رفتار جانبی اتصال بتنی یکپارچه با حضور مقادیر مختلف سربارهای وارد بر روی ستون.....	۱۳۹