بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی رفتار استاتیکی غیرخطی و ارائه مدل غیرخطی معادل برای اتصالات تیر- ستون بتن مسلح

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه

مرتضی امیدی

استاد راهنما:

دکتر فرهاد بهنام‌فر

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران- سازه آقای مرتضی امیدی

تحت عنوان

بررسی رفتار استاتیکی غیرخطی و ارائه مدل غیرخطی معادل برای اتصالات تیر- ستون بتن مسلح

در تاریخ ۱۳۹۰/۱/۱۷ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر فرهاد بهنام‌فر
استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مرتضی مدح خوان
استاد داور	دکتر محمد علی رهگذر
استاد داور	دکتر کیاچهربهفرنیا
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

تقدیر و تشکر

خدواند منان را شاکرم که به من توفیق داد تا این دوره را به پایان برسانم. بی شک گذراندن این دوره بدون همکاری و زحمات اساتید، دوستان و خانواده عزیزم ممکن نبود و از خداوند متعال موفقیت روزافزون این عزیزان را خواستارم.

در ابتدا لازم می دانم از استاد راهنمای عزیز و بزرگوارم، جناب آقای دکتر فرهاد بهنام فر به خاطر زحمات زیاد و صبر و حوصله ی فراوانی که داشتند، صمیمانه تشکر کنم. نظم و تلاش مضاعف در کار، همراه با ویژگی های برجسته اخلاقی ایشان، همواره برای من یک الگو و نمونه خواهد بود.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مرتضی مدح خوان که در طول این دوره همواره با پیشنهادات و نظرات مثبت شان گره گشای کار بودند تشکر و قدردانی می کنم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر کیاچهر بهفرنیا و جناب آقای دکتر محمد علی رهگذر که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نمودند، تشکر می-کنم.

یاد و خاطره دوستان بسیار عزیزم که بودن در کنار آنها تحمل بسیاری از سختی ها را آسان می نمود را نیز گرامی می دارم و از همه این عزیزان به خاطر لطف و عنایتی که در طول این مدت نسبت به بنده داشتند نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از زحمات سرکار خانم فروغی، مسئول محترم سایت تحصیلات تکمیلی نیز نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان
است.

تقدیم به

پدر عزیزم

و

مادر دلسوز و مهربانم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	
۱-۱-کلیات	۲
۱-۲- اهداف و انگیزه تحقیق	۵
۱-۳- محتوای فصل‌های بعدی	۶
فصل دوم : تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین بر روی اتصالات تیر به ستون بتن مسلح	
۲-۱- مقدمه	۷
۲-۲- مطالعات آزمایشگاهی	۷
۲-۲-۱- هیگاشی و اُهوادا	۷
۲-۲-۲- مین هیت و جیرسا	۸
۲-۲-۳- بکینگ‌سل	۸
۲-۲-۴- درانی و وایت	۸
۲-۲-۵- اتانی و همکاران	۸
۲-۲-۶- کی تایاما و همکاران	۹
۲-۲-۷- پارک و رویتنگ	۹
۲-۲-۸- روبرتو تی‌لئون	۹
۲-۲-۹- اسپی پسیکی و همکاران	۱۰
۲-۲-۱۰- اِندوه و همکاران	۱۰
۲-۲-۱۱- جُه و همکاران	۱۰
۲-۲-۱۲- اُکا و شیوهارا	۱۱
۲-۲-۱۳- ناگوچی و کاشی‌وازاکی	۱۱
۲-۲-۱۴- هایاشی و همکاران	۱۱
۲-۲-۱۵- هاکتو و همکاران	۱۱

۲-۲-۱۶- تراوکا و همکاران ۱۲
۲-۲-۱۷- هی‌توشی شیوهارا ۱۲
۲-۲-۱۸- زید ۱۳
۲-۲-۱۹- واکر و آلیر ۱۴
۲-۲-۲۰- لی و همکاران ۱۴
۲-۲-۲۱- عصاالا و اگبابیان ۱۴
۲-۲-۲۲- واکر و همکاران ۱۵
۲-۲-۲۳- جیمز ام‌لفاو و جی‌هنگ کیم ۱۶
۲-۲-۲۴- سزن وآلمدر ۱۷
۲-۲-۲۵- بینگ لی و همکاران ۱۸
۲-۲-۲۶- هی‌توشی شیوهارا و فومیو کوسوهارا ۲۱
۲-۲-۲۷- جی پی لیگ نوال و همکاران ۲۳
۲-۳- مطالعات تحلیلی ۲۴
۲-۳-۱- جیبرسون ۲۴
۲-۳-۲- آلز و کناز ۲۴
۲-۳-۳- بیده و قباراه ۲۵
۲-۳-۴- یوسف و قباراه ۲۵
۲-۳-۵- لورا لاوز و آرش آلتوونتش ۲۷
۲-۳-۶- ایهای باو و بریس جرمیک ۳۱
۲-۳-۷- سیتارو تجیری و همکاران ۳۲
۲-۳-۸- ایهای باو و همکاران ۳۴
۲-۳-۹- آنا بیرلی و همکاران ۳۷
۲-۴- خلاصه ۳۹
فصل سوم : کلیات و مفاهیم اساسی
۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۲- انواع اتصالات تیر- ستون ۴۰
۳-۲-۱- طبقه‌بندی بر اساس شکل اتصال ۴۰

۳-۲-۲- طبقه‌بندی بر اساس شرایط بارگذاری و نحوه تغییرشکل ۴۱
۳-۲-۳- تقسیم‌بندی اتصالات از نظر تشکیل ناحیه پلاستیک ۴۲
۳-۳- رفتار اتصالات تحت بارگذاری لرزه‌ای..... ۴۴
۳-۴- عوامل تأثیر گذار بر رفتار اتصالات بتن مسلح ۴۵
۳-۵- پارامترهای مدل‌سازی..... ۴۶
۳-۶- تعریف شرایط سازگار و ناسازگاری آرماتورگذاری عرضی اعضای بتن مسلح..... ۴۷
۳-۷- مقاومت برشی اسمی اتصال ۴۷
۳-۸- نیروی برشی اتصال..... ۴۸
۳-۹- انواع شکست‌های محتمل در اتصالات بتن مسلح ۵۰
۳-۱۰- سنجش شکل‌پذیری برای اتصالات شبیه‌سازی شده در این پایان‌نامه ۵۱
۳-۱۱- سختی اولیه اتصال..... ۵۳
۳-۱۲- خلاصه ۵۴
فصل چهارم : مدل‌سازی غیر خطی به روش اجزاء محدود
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- جایگاه و اهمیت کالیبراسیون نرم‌افزار ۵۶
۴-۳- معرفی اجمالی نرم‌افزار ANSYS ۵۷
۴-۴- مروری بر مفهوم آنالیز غیرخطی..... ۵۷
۴-۵- مدل‌سازی اجزاء محدود ۵۷
۴-۵-۱- المان‌های مورد استفاده در ANSYS ۵۷
۴-۵-۲- اطلاعات ورودی المان SOLID65 ..... ۶۰
۴-۵-۳- معیار گسیختگی بتن..... ۶۲
۴-۵-۴- تحلیل استاتیکی غیرخطی درANSYS ۶۳
۴-۶- تحلیل غیرخطی نمونه‌های آزمایشگاهی و مقایسه نتایج..... ۶۵
۶-۴-۱-نمونه آزمایشگاهی چئوک و همکاران..... ۶۵
۶-۴-۲- نمونه‌های آزمایشگاهی شیوهارا و کوسوهارا ۷۶
۴-۷- خلاصه ۹۱
فصل پنجم : نمونه‌های شبیه‌سازی شده در تحقیق حاضر و بررسی نتایج آن

۵-۱- مقدمه ۹۲
۵-۲- معرفی نمونه‌های مبنا ۹۲
۵-۳- تأثیر چشمه اتصال بر پاسخ کلی اتصال ۹۵
۵-۴- بررسی تأثیر بارمحوری ستون بر رفتار اتصالات مبنا ۹۸
۵-۴-۱- اتصال مبنای A-M-Z-4 ..... ۹۸
۵-۴-۲- اتصال مبنای B01 ..... ۹۹
۵-۴-۳- اتصال مبنای D07..... ۱۰۰
۵-۵- بررسی تأثیر نسبت نیاز برشی بر رفتار اتصالات مورد مطالعه ۱۰۲
۵-۵-۱- اتصال مبنای A-M-Z-4 ..... ۱۰۲
۵-۵-۲- اتصال مبنای B01 ..... ۱۰۹
۵-۵-۳- اتصال مبنای D07..... ۱۰۹
۵-۶- بررسی تأثیر ناسازگاری آرماتورهای عرضی بر رفتار اتصالات مورد مطالعه..... ۱۱۳
۵-۶-۱- رفتار اتصالات مورد مطالعه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت(I)..... ۱۱۳
۵-۶-۲- رفتار اتصالات مورد مطالعه با شرایط آرماتور گذاری عرضی حالت(II)..... ۱۲۰
۵-۶-۳- رفتار اتصالات مورد مطالعه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت(III)..... ۱۲۹
۵-۷- مقایسه نتایج حاصل ازتحلیل اجزاء محدود با مدل‌های ارزیابی لرزه‌ای..... ۱۳۹
۵-۷-۱- حالت سازگار..... ۱۴۰
۵-۷-۲- حالت ناسازگار ۱۴۱
۵-۸- مقادیر پیشنهادی برای حداکثر کرنش برشی اتصال(d) ۱۴۶
۵-۹- سختی اولیه اتصال و مقایسه با مدل‌های ارزیابی لرزه‌ای..... ۱۴۸
۵-۱۰- نتیجه گیری..... ۱۵۰
فصل ششم : ارائه یک مدل تحلیلی برای شبیه‌سازی رفتار اتصالات تیر - ستون بتن مسلح
۶-۱- مقدمه..... ۱۵۳
۶-۲- مقایسه مدل تحلیلی ارائه شده با سایر مدل‌های‌تحلیلی ۱۵۳
۶-۳- پایگاه داده‌ای مورد استفاده..... ۱۵۵
۶-۴- مدل تحلیلی ارائه شده ۱۵۵
۶-۴- ۱- مدل خطی ۱۵۵

۶-۴-۲- مدل غیرخطی ۱۵۸
۶-۵- کالیبراسیون مدل تحلیلی ۱۶۲
۶-۶- ارزیابی مدل تحلیلی ارائه شده..... ۱۶۳
۶-۶-۱- مقایسه نتایج حاصل از مدل تحلیلی ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی..... ۱۶۷
۶-۶-۲- نتایج حاصل از ارزیابی مدل تحلیلی ارائه شده ۱۷۹
۶-۷- نتیجه‌گیری..... ۱۸۰
فصل هفتم : خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷-۱- خلاصه ۱۸۱
۷-۲- نتایج به دست آمده در پایان‌نامه ۱۸۱
۷-۳ - پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده..... ۱۸۳
پیوست ۱ : تعیین مشخصات فنرهای غیرخطی تیر، ستون و چشمه اتصال ۱۸۵
مراجع ۱۹۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱-گسیختگی اتصال در زلزله تایوان، چی چی ۳
شکل۱-۲- گسیختگی اتصال در زلزله ترکیه، ایزمیت سال ۱۹۹۹ ..... ۳
شکل ۱-۳- گسیختگی اتصال در زلزله ترکیه، ایزمیت سال ۱۹۹۹ ..... ۴
شکل ۱-۴- گسیختگی اتصالات در زلزله ترکیه، ایزمیت سال ۱۹۹۹ ..... ۴
شکل ۲-۱- مکانیزم گسیختگی برشی اتصال و جریان نیرو در اعضای مجاور ۱۲
شکل ۲-۲- تأثیر ظرفیت مهاری بر مقاومت خمشی اتصال تیر- ستون ۱۳
شکل۲-۳- سهم مولفه‌های کششی و فشاری بر تغییر شکل برشی اتصال ۱۳
شکل۲-۴- نواحی صلب انتهایی برای مدل‌سازی اتصال تیر- ستون ۱۵
شکل۲-۵- مقایسه نتایج نمونه های اتصال تیر- ستون آزمایشگاهی واکرو همکاران، با مدل سختی ارائه شده و مدل سختی FEMA356 ..... ۱۶
شکل۲-۶- مقایسه مدل‌های FEMA356 با نتایج آزمایشگاهی اتصالات تیر- ستون ۱۸
شکل۲-۷- جزییات آزمایشگاهی نمونه‌های بینگ‌لی و همکاران (نمونه AS2) ۱۹
شکل۲-۸- تأثیر نسبت بار محوری بر رفتار نمونه های AL1 وAL2 حاصل از تحلیل اجزاء محدود ۲۰
شکل۲-۹- جزییات آزمایشگاهی نمونه‌های شیوهارا و کوسوهارا ۲۱
شکل ۲-۱۰- تأثیر نسبت آرماتور مکانیکی بر مقاومت ۲۳
شکل ۲-۱۱- تأثیر نسبت طرفیت خمشی ستون به ظرفیت خمشی تیر ۲۳
شکل ۲-۱۲- مدل تحلیلی پیشنهاد شده توسط جیبرسون ۲۴
شکل ۲-۱۳- مدل اتصال پیشنهادی آلز وکناز ۲۵
شکل۲-۱۴- مدل اتصال پیشنهادی بیده و قباراه ۲۵
شکل ۲-۱۵- مدل اتصال پیشنهادی یوسف و قباراه ۲۶
شکل ۲-۱۶- مدل هیسترزیس مصالح در مدل پیشنهادی یوسف و قباراه ۲۷
شکل ۲-۱۷- مقایسه نتایج : (a) مدل تحلیلی و (b) مدل آزمایشگاهی، بر اساس مدل پیشنهادی یوسف و قباراه ۲۷
شکل۲-۱۸- مدل اتصال تیر- ستون بتن مسلح پیشنهاد شده توسط لاوز و آلتوونتش ۲۸
شکل۲-۱۹- مدل یک بعدی مصالح در مدل پیشنهادی لاوز و آلتوونتش ۲۹
شکل۲-۲۰- توزیع تنش چسبندگی و تنش آرماتور برای یک آرماتور مهار شده در ناحیه اتصال تیر - ستون ۲۹
شکل۲-۲۱- جزییات مربوط به شرایط مرزی و بارگذاری اتصالات آزمایشگاهی پارک و رویتنگ ۳۰
شکل ۲-۲۲- پاسخ مشاهده شده و شبیه‌سازی شده از نمونه‌های آزمایشگاهی پارک و رویتنگ ۳۱
شکل ۲-۲۳- مدل اتصال پیشنهاد شده توسط باو وجرمیک ۳۲

شکل۲-۲۴- مقایسه منحنی‌های پوش‌اور به دست آمده از مدل باو و جرمیک با سایر مدل‌ها ۳۲
شکل ۲-۲۵- ماکروالمان پیشنهادی سیتارو تجیری و همکاران ۳۳
شکل ۲-۲۶- روابط کلی بار- تغییر شکل : (a) مشاهده شده ازآزمایش کوسوهارا و همکاران (b) شبیه‌سازی شده بر اساس ماکرومدل سیتارو تجیری و همکاران ۳۴
شکل۲-۲۷- مدل پیشنهادشده توسط ایهای باو و همکاران..... ۳۵
شکل۲-۲۸- مدل مصالح: (a) رابطه نیروی فنر- لغزش برای فنرهای معادل K_{bb} و K_{bt}، (b) رابطه لنگر- چرخش برای فنر اتصال(K_s) ۳۶
شکل۲-۲۹- شرایط مرزی مدل اجزاء محدود اتصالاتSDC-C و SDC-D طراحی شده توسط ایهای باو و همکاران ۳۶
شکل۲-۳۰- پوش پاسخ ۳۷
شکل ۲-۳۱- مدل غیرخطی با استفاده از المان تیر با پلاستیسیته متمرکز پیشنهاد شده توسط بیرلی و همکاران ۳۸
شکل۲-۳۲- منحنی لنگر- چرخش برای a) فنر تیر، b) فنر اتصال و c) فنر مفصل پلاستیک حاصل از ترکیب سری فنرهای تیر و اتصال در مدل غیرخطی بیرلی و همکاران ۳۸
شکل۲-۳۳- پوش‌های پاسخ ۳۹
شکل۳-۱- انواع اتصالات تیر - ستون بتن مسلح ۴۱
شکل۳-۲- لنگرهای طراحی تیر ضعیف- ستون قوی ۴۲
شکل۳-۳- بارگذاری لرزه ای در ناحیه اتصال تیر- ستون یک قاب سازه‌ای ۴۴
شکل ۳-۴- نیروهای داخلی در ناحیه اتصال ۴۵
شکل ۳-۵- پارامترهای مدل‌سازی FEMA356 و ASCE/SEI 41-06 ..... ۴۶
شکل۳-۶- تعریف ابعاد اتصال تیر- ستون ۴۸
شکل ۳-۷- دیاگرام جسم آزاد اتصال ۴۹
شکل ۳-۸- دیاگرام جسم آزاد ستون برای محاسبه برش ستون ۴۹
شکل ۳-۹- انواع شکست‌های محتمل در اتصالات تیر- ستون بتن مسلح ۵۱
شکل۳-۱۰- منحنی ساده شده بار- تغییرمکان ۵۲
شکل۳-۱۱- پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه کرنش برشی اتصال ۵۳
شکل۳-۱۲- مقادیر سختی موثر پیشنهادی FEMA356 و ASCE/SEI41-06 ..... ۵۴
شکل ۴-۱- هندسه، محل قرار گیری گره‌ها و سیستم مختصات المانSolid 45 ..... ۵۸
شکل ۴-۲- جزییات المان link8 ..... ۵۸
شکل۴-۳- هندسه، محل قرار گیری گره‌ها و سیستم مختصات المان SOLID65 ..... ۵۹
شکل۴-۴- روش‌های مختلف جایگذاری آرماتورها در مدل‌های اجزاء محدود بتن مسلح ۶۰
شکل۴-۵- سطح گسیختگی سه بعدی ویلیام - وارنک برای المان بتن ۶۲

شکل۴-۶- روش تکرارهای تعادلی نیوتن-رافسون ۶۳
شکل۴-۷- عملکرد روش Arc-length ۶۴
شکل۴-۸- تاریخچه بارگذاری مربوط به یک تحلیل غیرخطی نوعی ۶۵
شکل۴-۹- مشخصات هندسی اتصال A-M-Z4 ..... ۶۶
شکل ۴-۱۰- مشخصات هندسی اتصال A-M-Z4 ..... ۶۶
شکل۴-۱۱- نمودار تنش - کرنش بتن اتصال A-M-Z-4 ..... ۶۷
شکل ۴-۱۲- نمودار تنش کرنش آرماتورهای طولی و عرضی اتصالA-M-Z-4 ..... ۶۷
شکل۴-۱۳- نحوه المان بندی اتصال A-M-Z-4 ..... ۶۸
شکل۴-۱۴- منحنی بار - تغییر مکان نمونه A-M-Z-4 ..... ۶۹
شکل۴-۱۵- نمودار بار - تغییرمکان نمونه A-M-Z-4 ..... ۷۰
شکل۴-۱۶- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان کششی فولادی ۷۰
شکل۴-۱۷- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری فولادی ۷۱
شکل۴-۱۸- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری بتن ۷۱
شکل۴-۱۹- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت چشمه اتصال ۷۱
شکل۴-۲۰- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت تیر ۷۲
شکل۴-۲۱- کرنش المان‌های بتن اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۷۲
شکل۴-۲۲- المان های بتنی تیر در وجه چشمه اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۷۳
شکل۴-۲۳- تنش آرماتورهای طولی و عرضی اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۷۴
شکل۴-۲۴- کرنش الاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست.. ۷۴
شکل۴-۲۵- کرنش پلاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست.. ۷۵
شکل۴-۲۶- تنش المان‌های بتن اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۷۵
شکل۴-۲۷- نحوه ترک خوردگی اتصال A-M-Z-4 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۷۶
شکل۴-۲۸- مشخصات هندسی و جزییات اتصالات B01 و D07 ..... ۷۷
شکل۴-۲۹- نمودار تنش - کرنش آرماتورهای طولی و عرضی ۷۸
شکل۴-۳۰- منحنی بار - تغییرمکان نمونه B01 ..... ۷۹
شکل۴-۳۱- منحنی بار - تغییرمکان نمونه D07 ..... ۷۹
شکل۴-۳۲- نمودار بار - تغییرمکان نمونه B01 ..... ۸۰
شکل۴-۳۳- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان کششی فولادی ۸۱
شکل۴-۳۴- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری فولادی ۸۱
شکل۴-۳۵- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری بتن ۸۱
شکل۴-۳۶- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت چشمه اتصال ۸۲

شکل۴-۳۷- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت تیر ۸۲
شکل۴-۳۸- کرنش المان‌های بتن اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۳
شکل۴-۳۹- المان های بتنی تیر در وجه چشمه اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۳
شکل۴-۴۰- تنش آرماتورهای طولی و عرضی اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۴
شکل۴-۴۱- کرنش الاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۴
شکل۴-۴۲- کرنش پلاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۵
شکل۴-۴۳- تنش المان‌های بتن اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۵
شکل۴-۴۴- نحوه ترک خوردگی اتصال B01 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۵
شکل۴-۴۵- نمودار بار- تغییرمکان نمونه D07 ..... ۸۶
شکل۴-۴۶- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان کششی فولادی ۸۶
شکل۴-۴۷- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری فولادی ۸۷
شکل۴-۴۸- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان فشاری بتن ۸۷
شکل۴-۴۹- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت چشمه اتصال ۸۷
شکل۴-۵۰- نمودار تنش-کرنش بحرانی‌ترین المان خاموت تیر ۸۸
شکل۴-۵۱- کرنش المان‌های بتن نمونه D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۸
شکل۴-۵۲- المان های بتنی تیر در وجه چشمه اتصال نمونه D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۸۹
شکل۴-۵۳- تنش آرماتورهای طولی و عرضی اتصال D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۹۰
شکل۴-۵۴- کرنش الاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۹۰
شکل۴-۵۵- کرنش پلاستیک آرماتورهای طولی و عرضی اتصال D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۹۰
شکل۴-۵۶- تنش المان‌های بتن اتصال D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۹۱
شکل۴-۵۷- نحوه ترک خوردگی اتصال D07 در آخرین زیر گام قبل از شکست ۹۱
شکل۵-۱- تأثیر سختی چشمه اتصال برمنحنی بار- تغییر مکان اتصال مبنای A-M-Z-4 ..... ۹۶
شکل۵-۲- تأثیر سختی چشمه اتصال برمنحنی بار- تغییر مکان اتصال مبنای B01 ..... ۹۷
شکل۵-۳- تأثیر سختی چشمه اتصال برمنحنی بار- تغییر مکان اتصال مبنای D07 ..... ۹۷
شکل۵-۴- تأثیر نسبت بار محوری ستون بر رفتار اتصال مبنای A-M-Z-4 ..... ۹۸
شکل۵-۵- تأثیر نسبت بار محوری ستون بر رفتار اتصال مبنای B01 ..... ۱۰۰
شکل۵-۶- تأثیرنسبت بار محوری ستون بر رفتار اتصال مبنای D07 ..... ۱۰۱
شکل۵-۷- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای A-M-Z-4 تحت نسبت بار محوری صفر ۱۰۲
شکل۵-۸- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای A-M-Z-4 تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۰۳
شکل۵-۹- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای A-M-Z-4 تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۰۳
شکل۵-۱۰- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای B01 تحت نسبت بار محوری صفر ۱۰۶

شکل۵-۱۱- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای B01 تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۰۶
شکل۵-۱۲- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای B01 تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۰۷
شکل۵-۱۳- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای B01 تحت نسبت بار محوری ۰/۵ ..... ۱۰۷
شکل۵-۱۴- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای D07 تحت نسبت بار محوری صفر ۱۱۰
شکل۵-۱۵- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای D07 تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۱۰
شکل۵-۱۶- تأثیر نیاز برشی اتصال بر رفتار اتصال مبنای D07 تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۱۱
شکل۵-۱۷- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری صفر ۱۱۴
شکل۵-۱۸- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۱۴
شکل۵-۱۹- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۱۵
شکل۵-۲۰- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری صفر ۱۱۷
شکل۵-۲۱- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۱۷
شکل۵-۲۲- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۱۸
شکل۵-۲۳- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت I و تحت نسبت بار محوری ۰/۵ ..... ۱۱۸
شکل۵-۲۴- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت II و تحت نسبت بار محوری صفر ۱۱۹
شکل۵-۲۵- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت II و تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۲۰
شکل۵-۲۶- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت II و تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۲۰
شکل۵-۲۷- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت II و تحت نسبت بار محوری صفر ۱۲۳
شکل۵-۲۸- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری عرضی حالت II و تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۲۴
شکل۵-۲۹- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنای B01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری

عرضی حالتIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۲۴
شکل۵-۳۰- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایB01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۵ ..... ۱۲۵
شکل۵-۳۱- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIو تحت نسبت بار محوری صفر ۱۲۷
شکل۵-۳۲- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۲۷
شکل۵-۳۳- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۲۸
شکل۵-۳۴- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایA-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط
آرماتورگذاری عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری صفر ۱۳۰
شکل۵-۳۵- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایA-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط
آرماتورگذاری عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۳۰
شکل۵-۳۶- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایA-M-Z-4 و حالات مربوطه با شرایط
آرماتورگذاری عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۳۱
شکل۵-۳۷- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایB01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری صفر ۱۳۳
شکل۵-۳۸- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایB01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۳۳
شکل۵-۳۹- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایB01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۳۴
شکل۵-۴۰- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایB01 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۵ ..... ۱۳۴
شکل۵-۴۱- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری صفر ۱۳۷
شکل۵-۴۲- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۱ ..... ۱۳۷
شکل۵-۴۳- نمودار نیروی برشی- کرنش برشی اتصال مبنایD07 و حالات مربوطه با شرایط آرماتورگذاری
عرضی حالتIIIو تحت نسبت بار محوری ۰/۴ ..... ۱۳۸
شکل۵-۴۴- مقایسه مقادیر پیشنهادی حداکثر کرنش برشی اتصال(d) با مقادیر بدست آمده از تحلیل اجزاء
محدود درحالت شرایط آرماتورگذاری عرضی سازگار ۱۴۱

شکل۵-۴۵- مقایسه مقادیر پیشنهادی حداکثر کرنش برشی اتصال(d) با مقادیر بدست آمده از تحلیل اجزاء محدود درحالت شرایط آرماتورگذاری عرضی ناسازگار حالت(I) ۱۴۳
شکل۵-۴۶- مقایسه مقادیر پیشنهادی حداکثر کرنش برشی اتصال(d) با مقادیر بدست آمده از تحلیل اجزاء محدود درحالت شرایط آرماتورگذاری عرضی ناسازگار حالت(II) ۱۴۴
شکل۵-۴۷- مقایسه مقادیر پیشنهادی حداکثر کرنش برشی اتصال(d) با مقادیر بدست آمده از تحلیل اجزاء محدود درحالت شرایط آرماتورگذاری عرضی ناسازگار حالت(III) ۱۴۶
شکل۵-۴۸- مقایسه سختی اولیه اتصال مبنای A-M-Z-4 و حالات مختلف مربوطه با مقادیر پیشنهادی FEMA356 و ASCE/SEI41-06 ..... ۱۴۸
شکل۵-۴۹- مقایسه سختی اولیه اتصال مبنای B01 و حالات مختلف مربوطه با مقادیر پیشنهادی FEMA356 و ASCE/SEI41-06 ..... ۱۴۹
شکل۵-۵۰- مقایسه سختی اولیه اتصال مبنای D07و حالات مختلف مربوطه با مقادیر پیشنهادی FEMA356 و ASCE/SEI41-06 ..... ۱۴۹
شکل۶-۱- نواحی صلب انتهایی برای مدل‌سازی اتصال تیر- ستون ۱۵۷
شکل۶-۲- جزییات مدل تحلیلی ارائه شده ۱۵۹
شکل۶-۳- پاسخ لنگر - چرخش فنر های غیرخطی تیر و ستون ۱۶۰
شکل۶-۴- پاسخ لنگر - چرخش فنر غیرخطی چشمه اتصال ۱۶۱
شکل۶-۵- شرایط مرزی و جزییات نمونه‌های آزمایشگاهی سری B، C و D شیوهارا و کوسوهارا ۱۶۴
شکل۶-۶- جزییات نمونه های آزمایشگاهی AL1 و AL2 بینگ لی و همکاران ۱۶۶
شکل۶-۷- ابعاد و جزییات تیر و ستون در نمونه های AL1و AL2 ..... ۱۶۷
شکل۶-۸- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی و مدل اجزاءمحدود نمونه A-M-Z-4 ..... ۱۶۸
شکل۶-۹- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی و مدل اجزاءمحدود نمونه B01 ..... ۱۶۸
شکل۶-۱۰- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی و مدل اجزاءمحدود نمونه D07 ..... ۱۶۹
شکل۶-۱۱- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B02 ..... ۱۶۹
شکل۶-۱۲- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B03 ..... ۱۷۰
شکل۶-۱۳- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B04 ..... ۱۷۰
شکل۶-۱۴- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B05 ..... ۱۷۱
شکل۶-۱۵- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B06 ..... ۱۷۱
شکل۶-۱۶- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B07 ..... ۱۷۲

شکل۶-۱۷- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B08 ..... ۱۷۲
شکل۶-۱۸- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B09 ..... ۱۷۳
شکل۶-۱۹- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه B10 ..... ۱۷۳
شکل۶-۲۰- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه C01 ..... ۱۷۴
شکل۶-۲۱- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه C03 ..... ۱۷۴
شکل۶-۲۲- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D01 ..... ۱۷۵
شکل۶-۲۳- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D02 ..... ۱۷۵
شکل۶-۲۴- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D03 ..... ۱۷۶
شکل۶-۲۵- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D04 ..... ۱۷۶
شکل۶-۲۶- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D05 ..... ۱۷۷
شکل۶-۲۷- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D06 ..... ۱۷۷
شکل۶-۲۸- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه D08 ..... ۱۷۸
شکل۶-۲۹- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه AL1..... ۱۷۸
شکل۶-۳۰- پاسخ آزمایشگاهی و شبیه سازی شده با استفاده از مدل تحلیلی پیشنهادی نمونه AL2 ..... ۱۷۹
شکل پ۱-۱- تحلیل مقطع تیر ۱۸۶
شکل پ۱-۲- تحلیل مقطع ستون ۱۸۷
شکل پ۱-۳- فنرهای غیرخطی تیر، ستون و چشمه اتصال در مدل تحلیلی اتصال B02 ..... ۱۸۹
شکل پ۱-۴- مشخصات مقطع تیر در اتصال B02 ..... ۱۸۹
شکل پ۱-۵- نمودار لنگر - چرخش فنرهای غیرخطی تیر شماره۱و۲ در اتصال B02 ..... ۱۹۱
شکل پ۱-۶- نمودار لنگر - چرخش فنرهای غیرخطی چشمه اتصال شماره ۵و۶ در اتصالB02 ..... ۱۹۳
شکل پ۱-۷- نمودار لنگر - چرخش فنرهای غیرخطی چشمه اتصال شماره ۷و۸ در اتصالB02 ..... ۱۹۴