





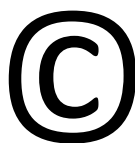
دانشگاه شمال
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته عمران - سازه

عنوان پایان نامه
بررسی عددی بر رفتار اتصالات خارجی تیر - ستون بتن مسلح تقویت
شده با CFRP

استاد راهنما
دکتر حبیب اکبرزاده بنگر
دکتر سید محمد سید پور

نگارش
روزبه کریمی



حق طبع و نشر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه باید با ذکر مرجع صورت گیرد .

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شمال می باشد .

روزبه کریمی

۱۳۹۲

تقدیم بہ پدرم

کوبی استوار و حامی من در تمام طول زندگی

تقدیم بہ مادرم

سنگ صبری کہ الفبای زندگی بہ من آموخت

و تقدیم بہ آنان کہ آموختند مرا تا بیا موزم

تقدیر و تشکر

پاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را نمونه‌مان شد و به بهمنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌ان ساخت.

از زحمات بی دریغ اساتید فریخته جناب آقای دکتر اکبرزاده بنکر و جناب آقای دکتر سید پور، که مراد امر این پیمان نامه‌یاری رسانند و بار اینمانی باری مفید و ارزنده خود باعث پیشرفت من در مسیر علم شده اند کمال تشکر و قدردانی دارم.

از کلیه عزیزانی که با همکاری خود مراد پیش برد و کرد آوری این پیمان نامه‌یاری رسانند نیز سپاس گذارم.

چکیده

بررسی زلزله های مخربی که در سالهای اخیر رخ داده اند، نشان دهنده این است که اتصالات تیر ستون نقش بسیار مهمی در پایداری سازه های بتنی دارند. از اینرو در سالهای اخیر آیین نامه های معتبر جهانی توجه ویژه ای به طراحی لرزه ای اتصالات بتنی نموده اند. بدون یک طراحی صحیح، اتصالات میتوانند آسیب پذیرترین عضو سازه ای باشند و باعث خسارات شدیدی به تیر و ستونها و در نهایت به کل سازه شوند. در گذشته به دلیل کمبود امکانات تحلیلی، فرضیات ساده کننده ای برای انجام محاسبات دستی لازم بود. به عنوان مثال اتصالات را صلب و یا کاملاً مفصلی فرض می نمودند. امروزه با گسترش امکانات تحلیل غیر خطی رایانه ای مشاهده می شود که اتصالات صرفاً صلب یا مفصلی نیستند. از این دیدگاه، منحنی لنگر- دوران در اتصالات، به عنوان مهمترین مشخصه رفتاری اتصالات مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل های انجام شده توسط نرم افزار های اجزاء محدودی جهت بدست آوردن نمودار لنگر-دوران بسیار وقت گیر و زمان بر هستند. راه های مختلفی برای مقاوم سازی اتصال و انتقال مفصل پلاستیک از بر اتصال به فاصله دورتر در تیر ارائه شده، که استفاده از FRP بخاطر اجراء ساده تر و هزینه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق ما به بررسی رفتار دو دسته از اتصالات خارجی تیر - ستون بتن مسلح می پردازیم. دسته اول اتصالاتی را در بر می گیرد که بر اساس آیین نامه ACI-318 برای حالت شکل پذیری متوسط طراحی شده و هیچ گونه عملیاتی برای تقویت آنها انجام نگرفته است. دسته دوم نیز شامل همین اتصالات می باشد با این تفاوت که برای بهبود در رفتار اتصال و انتقال مفصل پلاستیک از الیاف پلیمر کربن یا همان CFRP استفاده شده است. در مجموع ۲۱۶ اتصال پس از تایید سازگاری مدل عددی با مدل آزمایشگاهی، با استفاده از نرم افزار Abaqus مدل سازی شده، و تحت اثر بارگذاری یک طرفه مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرند. سپس اثر مقاوم سازی اتصال با CFRP^۱ در پارامتر های لنگر مقاوم نهایی و دوران نهایی اتصال بررسی می گردد. از آنجا که تحلیل های انجام شده توسط نرم افزار های اجزاء محدودی بسیار وقت گیر و نیازمند صرف ساعتها وقت می باشد، از این رو در این تحقیق با نتایج ۲۱۶ اتصال به آموزش یک شبکه عصبی پرداخته شده تا رفتار لنگر-دوران هر اتصال عادی و مقاوم سازی شده را پیش بینی نماید. نتایج آموزش شبکه عصبی نشان می دهد که این ابزار رفتار لنگر-دوران یک اتصال را با دقت بسیار خوبی پیش بینی می کند.

کلمات کلیدی: اتصالات خارجی، تیر- ستون، FRP، لنگر نهایی، دوران نهایی، شبکه عصبی، لنگر- دوران.

فهرست مطالب

فصل اول: بیان مسئله و مروری بر مطالعات انجام شده	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ انواع اتصالات تیر - ستون	۳
۱-۲-۱ طبقه بندی بر اساس شرایط بارگذاری و نحوه تغییر شکل	۳
۲-۲-۱ طبقه بندی بر اساس شکل و محل قرارگیری در سازه	۳
۳-۱ بررسی کارهای انجام شده در زمینه اتصالات	۴
۱-۳-۱ مطالعات تحلیلی	۴
۲-۳-۱ مطالعات تجربی	۷
۴-۱ شبکه های عصبی مصنوعی	۱۴
۱-۴-۱ تاریخچه علم شبکه های عصبی مصنوعی	۱۴
۲-۴-۱ کاربردهای شبکه های عصبی	۱۵
۳-۴-۱ کاربرد شبکه های عصبی در مهندسی سازه	۱۵
۵-۱ مروری بر فصول پایان نامه	۱۸
فصل دوم: مفاهیم اساسی در زمینه اتصالات و شبکه های عصبی	۱۹
۱-۲ مقدمه	۲۰
۲-۲ لزوم مقاوم سازی اتصالات	۲۱
۳-۲ روشهای تقویت اتصال تیر به ستون	۲۳
۱-۳-۲ تزریق رزین	۲۴
۲-۳-۲ طوق های پیش تنیده X شکل	۲۴
۳-۳-۲ افزودن ورق های فولادی	۲۵
۴-۳-۲ اجرای جاکت با استفاده از ورقهای فولادی موجدار	۲۵
۵-۳-۲ استفاده از جاکت های بتن آرمه	۲۷

۲۸	۶-۳-۲ تقویت برشی اتصالات تیر به ستون با استفاده از ورقهای پلیمری مسلح فیبری شیشه ای و کربنی CFRP و GFRP
۳۱	۴-۲ شکل پذیری قابهای بتنی مقاوم در برابر زلزله
۳۱	۱-۴-۲ عوامل موثر در شکل پذیری اعضا قابها
۳۳	۲-۴-۲ مفصل پلاستیک
۳۴	۵-۲ مکانیزم های شکست اتصال
۳۵	۱-۵-۲ مکانیزم برش تیر
۳۶	۲-۵-۲ مکانیزم خرابای ۴۵ درجه
۳۷	۳-۵-۲ مکانیزم استرات بتنی
۳۸	۶-۲ نیروهای موجود در اتصالات
۴۴	۷-۲ بررسی آیین نامه های ACI318-05 و ACI352R-02
۴۷	۸-۲ مروری بر آیین نامه ی بتن ایران (آبا)
۴۸	۱-۸-۲ بررسی نیروی برشی اتصال
۴۹	۲-۸-۲ تعیین مقاومت برشی اتصال
۵۰	۹-۲ شبکه های عصبی مصنوعی
۵۱	۱-۹-۲ مروری بر کلیات و مفاهیم شبکه عصبی مصنوعی
۵۱	۲-۹-۲ مدل بیولوژیک سلول عصبی
۵۲	۳-۹-۲ سلول عصبی مصنوعی
۵۳	۴-۹-۲ توابع انتقال
۵۶	۵-۹-۲ شبکه های عصبی مصنوعی تک لایه
۵۷	۶-۹-۲ شبکه های عصبی مصنوعی چند لایه
۵۸	۷-۹-۲ شبیه سازی
۵۸	۸-۹-۲ آموزش یک شبکه

۵۹	..... آموزش نظارت شده ۱-۸-۹-۲
۵۹	..... آموزش غیر نظارت شده ۲-۸-۹-۲
۶۱	..... فصل سوم: مراحل مدل سازی اتصال به کمک نرم افزار Abaqus و بررسی صحت آن با مدل آزمایشگاهی
۶۲	..... ۱-۳ مقدمه
۶۳	..... ۲-۳ آشنایی با نرم افزار Abaqus
۶۳	..... ۱-۲-۳ مبانی برنامه‌ی Abaqus
۶۳	..... ۱-۱-۲-۳ مرحله‌ی پیش پردازش
۶۴	..... ۲-۱-۲-۳ مرحله‌ی پردازش
۶۵	..... ۳-۱-۲-۳ مرحله‌ی پس پردازش
۶۵	..... ۳-۳ مدل سازی
۶۶	..... ۴-۳ مراحل مدل سازی و تعریف خصوصیات مصالح
۶۶	..... ۱-۴-۳ ساخت عناصر مدل
۶۷	..... ۲-۴-۳ ویژگی های مصالح تشکیل دهنده اتصال
۶۷	..... ۱-۲-۴-۳ تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده ی بتنی
۶۹	..... ۱-۱-۲-۴-۳ رفتار بتن تحت فشار
۷۲	..... ۲-۱-۲-۴-۳ رفتار بتن تحت کشش
۷۵	..... ۳-۱-۲-۴-۳ معرفی بتن به نرم افزار
۷۷	..... ۲-۲-۴-۳ تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده فولادی
۷۸	..... ۳-۲-۴-۳ تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده الیاف مسلح کننده پلیمری
۷۸	..... ۱-۳-۲-۴-۳ مزایای الیاف مسلح کننده پلیمری
۷۹	..... ۲-۳-۲-۴-۳ اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت FRP
۸۰	..... ۳-۳-۲-۴-۳ انواع الیاف FRP
۸۳	..... ۴-۲-۴-۳ تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده صفحات صلب

۸۳	..... مونتاژ کردن مدل ۳-۴-۳
۸۴	..... تعیین گام های تحلیل ۴-۴-۳
۸۴	..... بر همکنش بین قطعات مختلف ۵-۴-۳
۸۵	..... بارگذاری مدل ۶-۴-۳
۸۶	..... شبکه بندی ۷-۴-۳
۸۶	..... تحلیل ۸-۴-۳
۸۷	..... نتایج ۹-۴-۳
۸۷	..... بررسی صحت مدل سازی با نمونه آزمایشگاهی ۵-۳
۸۷	..... اتصال در حالت معمولی و بدون استفاده از FRP ۱-۵-۳
۹۵	..... اتصال در حالت تقویت شده با استفاده از FRP ۲-۵-۳
۱۰۰	..... فصل چهارم: معرفی و ساخت نمونه های مطالعه شده در این تحقیق ۱۰۰
۱۰۱	..... مقدمه ۱-۴
۱۰۲	..... معرفی مشخصات اتصالات مورد بررسی ۲-۴
۱۰۲	..... ۱-۲-۴ مشخصات هندسی و ابعادی
۱۰۴	..... ۲-۲-۴ میزان فولادهای طولی
۱۰۶	..... ۳-۲-۴ میزان فولاد عرضی
۱۰۶	..... ۴-۲-۴ مقاومت مشخصه بتن
۱۰۷	..... ۵-۲-۴ نیروی محوری وارد شده به ستون
۱۰۸	..... ۶-۲-۴ نامگذاری و طبقه بندی اتصالات
۱۰۹	..... ۳-۴ مدل سازی سه بعدی اتصال در نرم افزار
۱۰۹	..... ۱-۳-۴ ساخت مدل سه بعدی اتصالات در حالت تقویت نشده
۱۱۰	..... ۱-۱-۳-۴ ساخت المان های فلزی
۱۱۲	..... ۲-۱-۳-۴ ساخت المان های صلب بارگذاری و تکیه گاهی

- ۱۱۲ ۳-۱-۳-۴ ساخت المان های بتنی
- ۱۱۴ ۲-۳-۴ ساخت مدل سه بعدی اتصالات حالت تقویت شده
- ۱۱۴ ۱-۲-۳-۴ محل قرارگیری لایه های FRP مورد استفاده در اتصالات
- ۱۱۷ ۲-۲-۳-۴ طول گسترش لایه های FRP مورد استفاده در تیر و ستون
- ۱۱۸ ۳-۲-۳-۴ تعداد لایه های FRP مورد استفاده در اتصالات
- ۱۲۲ **فصل پنجم:** نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه های مورد بررسی
- ۱۲۳ ۱-۵ مقدمه
- ۱۲۴ ۲-۵ بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در رفتار اتصالات
- ۱۲۴ ۱-۲-۵ بررسی تاثیر میزان فولاد طولی تیر و ستون
- ۱۲۸ ۲-۲-۵ بررسی تاثیر نیروی محوری اعمال شده به ستون
- ۱۳۲ ۳-۲-۵ مقایسه نمودارهای لنگر- دوران اتصالات در حالت عادی و تقویت شده
- ۱۴۱ ۴-۲-۵ بررسی تاثیر مقاوم سازی اتصالات با استفاده از CFRP در لنگر و دوران های نهایی
- ۱۴۹ ۵-۲-۵ بررسی اثر مقاوم سازی در محل تشکیل مفصل پلاستیک
- ۱۵۵ **فصل ششم:** پیش بینی رفتار اتصالات با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی
- ۱۵۶ ۱-۶ مقدمه
- ۱۵۷ ۲-۶ نگاهی به محیط عملیاتی نرم افزار MATLAB
- ۱۵۸ ۳-۶ شبکه های عصبی مصنوعی
- ۱۵۸ ۱-۳-۶ شبکه های عصبی شعاع مبنا
- ۱۵۸ ۱-۱-۳-۶ توابع شعاع مبنا
- ۱۶۰ ۲-۱-۳-۶ معماری شبکه
- ۱۶۱ ۳-۱-۳-۶ تابع newrbe
- ۱۶۲ ۴-۱-۳-۶ تابع newrb
- ۱۶۳ ۴-۶ الگوریتم آموزشی مورد استفاده در آموزش شبکه عصبی

۱۶۳	.....	۵-۶ آماده سازی داده ها برای آموزش شبکه عصبی
۱۶۳	.....	۱-۵-۶ ورودی های اعمال شده به شبکه عصبی
۱۶۴	.....	۲-۵-۶ خروجی های اعمال شده به شبکه عصبی
۱۶۴	.....	۳-۵-۶ برآورد درصد خطا
۱۶۵	.....	۶-۶ استخراج منحنی لنگر- دوران اتصالات عادی با استفاده از شبکه های آموزش یافته
۱۶۹	.....	۷-۶ استخراج منحنی لنگر- دوران اتصالات تقویت شده با استفاده از شبکه های آموزش یافته
۱۷۵	.....	فصل هفتم: خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آینده
۱۷۶	.....	۱-۷ مقدمه
۱۷۷	.....	۲-۷ خلاصه
۱۷۹	.....	۳-۷ نتایج
۱۸۲	.....	۴-۷ پیشنهادات برای تحقیقات آینده
۱۸۳	.....	منابع و مآخذ
۱۸۸	.....	پیوست ها

فهرست جداول

جدول ۱-۳	چگالی مواد FRP رایج بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب	۸۱
جدول ۲-۳	ضریب انبساط حرارتی مواد FRP	۸۱
جدول ۳-۳	مشخصات مکانیکی انواع الیاف	۸۱
جدول ۴-۳	مشخصات CF130	۸۲
جدول ۵-۳	ویژگی مصالح CFRP	۸۲
جدول ۶-۳	مشخصات مصالح CFRP	۸۳
جدول ۴-۳	مشخصات نمونه CSM0	۸۸
جدول ۱-۴	میزان فولاد طولی تیر و ستون	۱۰۵
جدول ۲-۴	طبقه بندی اتصالات	۱۰۸
جدول ۳-۴	مقادیر کرنش دبان‌دینگ برای لایه های مختلف	۱۲۰
جدول ۱-۶	مشخصات نمونه های آزمایش	۱۶۴
جدول ۲-۶	مشخصات اتصال جدید برای اعمال به شبکه عصبی	۱۶۹
جدول ۲-۶	مشخصات نمونه های آزمایش	۱۷۰
جدول ۳-۶	مشخصات اتصال جدید برای اعمال به شبکه عصبی	۱۷۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ طبقه بندی اتصال در سازه ۳
- شکل ۱-۲ شکست برشی در اتصال ۲۱
- شکل ۲-۲ خرابی اتصالات در زلزله از میت ترکیه ۲۲
- شکل ۳-۲ شکست برشی در پای ستون ها و اتصال ۲۳
- شکل ۴-۲ الف- آرایش عمومی و شکل تقویت ۲۴
- شکل ۴-۲ ب- جزئیات طوق های پیش تنیده ۲۴
- شکل ۴-۲ تقویت اتصال با طوق های پیش تنیده ۲۴
- شکل ۵-۲ الف- استفاده از قفس فولادی ۲۵
- شکل ۵-۲ ب- استفاده از پیش تنیدگی ۲۵
- شکل ۵-۲ ج- استفاده از جاکت فولادی با نبشی ۲۵
- شکل ۵-۲ انواع تقویت با ورق فولادی ۲۵
- شکل ۶-۲ الف- جاکت های تیر - ستون ۲۷
- شکل ۶-۲ ب- شکل محل اتصال پس از جایگذاری جاکت ها ۲۷
- شکل ۷-۲ استفاده از جاکت بتن آرمه (تقویت تیر بدون تقویت ستون) ۲۸
- شکل ۸-۲ الف- تقویت ستون با GFRP ۲۹
- شکل ۸-۲ ب- تقویت هسته اتصال با GFRP ۳۰
- شکل ۸-۲ تقویت اتصال تیر - ستون بتنی ۳۰
- شکل ۹-۲ شیوه های گوناگون تقویت اتصالات با ورق های FRP ۳۰
- شکل ۱۰-۲ ایجاد مفصل پلاستیک در قاب خمشی ۳۳
- شکل ۱۱-۲ مکانیزم های انتقال بار ۳۵
- شکل ۱۲-۲ سه عضو خرابایی ۳۶
- شکل ۱۳-۲ مکانیزم استرات بتنی ۳۸

- شکل ۱۴-۲ a- نیروی ناشی از بار ثقلی اعمال شده به سازه ۳۹
- شکل ۱۴-۲ b- لنگر ایجاد شده در اتصال داخلی ۳۹
- شکل ۱۴-۲ c- لنگر ایجاد شده در اتصال خارجی ۴۰
- شکل ۱۵-۲ a- نیروی ناشی از بار جانبی اعمال شده به سازه ۴۰
- شکل ۱۵-۲ b- لنگر ایجاد شده در اتصال داخلی ۴۰
- شکل ۱۵-۲ c- لنگر ایجاد شده در اتصال خارجی ۴۱
- شکل ۱۶-۲ دیاگرام ممان و نیروی های برشی در اتصالات داخلی و خارجی ۴۱
- شکل ۱۷-۲ دیاگرام نیرو های برشی در هسته اتصال در اتصال داخلی و خارجی ۴۲
- شکل ۱۸-۲ ضرایب مقاومت برشی ۴۶
- شکل ۱۹-۲ نمایش نیروهای برشی موجود در هسته اتصال ۴۸
- شکل ۲۰-۲ نورون های عصبی زیستی ۵۲
- شکل ۲۱-۲ سلول عصبی مصنوعی ۵۳
- شکل ۲۲-۲ تابع انتقال Hardlimit ۵۴
- شکل ۲۳-۲ تابع انتقال خطی ۵۴
- شکل ۲۴-۲ تابع انتقال لگاریتمی ۵۵
- شکل ۲۵-۲ تابع انتقال رقابتی ۵۵
- شکل ۲۶-۲ شبکه عصبی مصنوعی تک لایه ۵۶
- شکل ۲۷-۲ شبکه عصبی مصنوعی چند لایه ۵۷
- شکل ۱-۳ منحنی تنش - کرنش بتن تحت فشار تک محوره ۶۹
- شکل ۲-۳ منحنی تنش - کرنش بتن با مقاومت های مختلف ۷۰
- شکل ۳-۳ منحنی تناوبی یک نمونه بتنی تحت فشار ۷۲
- شکل ۴-۳ نمودار تنش - کرنش بتن . الف- تحت کشش ۷۳
- شکل ۴-۳ نمودار تنش - کرنش بتن . ب- تحت فشار ۷۳

- شکل ۳-۵ منحنی تنش کرنش بتن در حالت دو خطی ۷۴
- شکل ۳-۶ نمونه آزمایش تناوب کششی ۷۵
- شکل ۳-۷ نمودار تنش - کرنش فولاد ۷۸
- شکل ۳-۸ نمودار تنش - کرنش الیاف پلیمری در مقایسه با فولاد معمولی (fib 2001) ۸۰
- شکل ۳-۹ اتصال خارجی سازه بتنی ۸۸
- شکل ۳-۱۰ نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی CSMO ۸۹
- شکل ۳-۱۱ صفحات صلب مورد استفاده در تکیه گاه و منطقه بارگذاری ۹۰
- شکل ۳-۱۲ میلگرد طولی ستون ۹۰
- شکل ۳-۱۳ میلگرد عرضی ستون ۹۰
- شکل ۳-۱۴ میلگرد طولی تیر ۹۱
- شکل ۳-۱۵ میلگرد عرضی تیر ۹۱
- شکل ۳-۱۶ شبکه بندی کل آرماتورهای اتصال ۹۲
- شکل ۳-۱۷ سازه بتنی ۹۲
- شکل ۳-۱۸ شبکه بندی سازه بتنی ۹۳
- شکل ۳-۱۹ کل اتصال بتنی ۹۳
- شکل ۳-۲۰ نمودار نیرو - تغییر مکان مدل اجزاء محدودی تحت بارگذاری یک طرفه ۹۴
- شکل ۳-۲۱ مقایسه رفتار اتصال در حالت آزمایشگاهی و تحلیلی نرم افزار ۹۵
- شکل ۳-۲۲ نمونه RSM2 ، ساخته شده در آزمایشگاه ۹۶
- شکل ۳-۲۳ نمودار نیرو - تغییر مکان ۹۷
- شکل ۳-۲۴ FRP مورد استفاده در اتصال در حالت کلی ۹۷
- شکل ۳-۲۵ شبکه بندی FRP ۹۸
- شکل ۳-۲۶ قرارگیری FRP در محل اتصال تیر به ستون ۹۸
- شکل ۳-۲۷ مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان در حالت آزمایشگاهی و نرم افزار Abaqus ۹۹

- شکل ۱-۴ مشخصات هندسی اتصال A ۱۰۳
- شکل ۲-۴ مشخصات هندسی اتصال B ۱۰۳
- شکل ۳-۴ مشخصات هندسی اتصال C ۱۰۴
- شکل ۴-۴ نمایش شماتیک انتقال نیرو به اتصال ۱۰۷
- شکل ۵-۴ میلگرد طولی و عرضی تیر ۱۱۰
- شکل ۶-۴ میلگرد طولی و عرضی ستون ۱۱۱
- شکل ۷-۴ آرماتورهای طولی و عرضی تیر و ستون ۱۱۱
- شکل ۸-۴ صفحه های صلب تکیه گاهی ۱۱۲
- شکل ۹-۴ ابعاد 30x30 ۱۱۳
- شکل ۱۰-۴ ابعاد 40x40 ۱۱۳
- شکل ۱۱-۴ ابعاد 50x50 ۱۱۳
- شکل ۱۲-۴ منطقه قرارگیری FRP در اتصال ۱۱۵
- شکل ۱۳-۴ FRP مورد استفاده : الف) به صورت دورپیچ در تیر ۱۱۵
- شکل ۱۳-۴ FRP مورد استفاده : ب) به صورت L شکل در بالا و پایین تیر ۱۱۵
- شکل ۱۳-۴ FRP مورد استفاده : ج) به صورت دورپیچ در ستون ۱۱۵
- شکل ۱۴-۴ FRP مورد استفاده در اتصال به صورت کلی ۱۱۶
- شکل ۱۵-۴ قرارگیری FRP در اتصال ۱۱۶
- شکل ۱۶-۴ فاصله موثر برای انتقال مفصل پلاستیک ۱۱۷
- شکل ۱۷-۴ مکانیزم های آسیب هسته اتصال ۱۱۸
- شکل ۱-۵-۱ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع A، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون ۱۲۵

شکل ۲-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع A، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون..... ۱۲۵

شکل ۳-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع B، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون..... ۱۲۶

شکل ۴-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع B، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون..... ۱۲۶

شکل ۵-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع C، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون..... ۱۲۷

شکل ۶-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع C، در حالت ۱ و ۲ درصد فولاد طولی برای تیر و ۱، ۲ و ۳ درصد فولاد طولی برای ستون..... ۱۲۷

شکل ۷-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع A، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۲۹

شکل ۸-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع A، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۲۹

شکل ۹-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع B، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۳۰

شکل ۱۰-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع B، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۳۰

شکل ۱۱-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع C، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۳۱

شکل ۱۲-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع C، در حالت ضریب نیروی محوری ۰/۲ و ۰/۴ و درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳..... ۱۳۱

شکل ۱۳-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع A..... ۱۳۲

- شکل ۱۴-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع A ۱۳۳
- شکل ۱۵-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع A ۱۳۴
- شکل ۱۶-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع A و B ۱۳۵
- شکل ۱۷-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع B ۱۳۶
- شکل ۱۸-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع B ۱۳۷
- شکل ۱۹-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع B و C ۱۳۸
- شکل ۲۰-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع C ۱۳۹
- شکل ۲۱-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع C ۱۴۰
- شکل ۲۲-۵ نمودار لنگر- دوران اتصال نوع C ۱۴۱
- شکل ۲۳-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع A. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۲
- شکل ۲۴-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع A. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۳
- شکل ۲۵-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع B. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۳
- شکل ۲۶-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع B. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۴
- شکل ۲۷-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع C. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۴
- شکل ۲۸-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع C. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۵
- شکل ۲۹-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع A. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۵
- شکل ۳۰-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع A. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۶
- شکل ۳۱-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع B. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۶
- شکل ۳۲-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع B. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۷
- شکل ۳۳-۵ مقایسه لنگر نهایی برای اتصال نوع C. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۷
- شکل ۳۴-۵ مقایسه دوران نهایی برای اتصال نوع C. درصد فولاد طولی ستون ۱، ۲ و ۳٪ ۱۴۸
- شکل ۳۵-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع A ۱۴۹
- شکل ۳۶-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع B ۱۵۰

- شکل ۳۷-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع C ۱۵۰
- شکل ۳۸-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع A به همراه FRP ۱۵۱
- شکل ۳۹-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع B به همراه FRP ۱۵۲
- شکل ۴۰-۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک برای اتصال نوع C به همراه FRP ۱۵۲
- شکل ۴۱-۵ مقایسه تغییرات کرنش در آرماتورهای طولی تیر قبل و بعد از تقویت با FRP ۱۵۳
- شکل ۴۲-۵ ترک های برشی در هسته اتصال ۱۵۴
- شکل ۴۳-۵ آسیب برشی در هسته اتصال . الف) - حالت عادی ۱۵۴
- شکل ۴۳-۵ آسیب برشی در هسته اتصال . ب) - حالت تقویت شده ۱۵۴
- شکل ۱-۶ شمایی از یک شبکه شعاع مینا ۱۵۸
- شکل ۲-۶ تابع انتقال شعاع مینا ۱۵۹
- شکل ۳-۶ معماری شبکه های شعاع مینا ۱۶۰
- شکل ۴-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال B-C30-C2-B2-0.2 ۱۶۶
- شکل ۵-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال B-C40-C3-B1-0.2 ۱۶۶
- شکل ۶-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال C-C40-C2-B2-0.2 ۱۶۶
- شکل ۷-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال A-C20-C2-B2-0.2 ۱۶۷
- شکل ۸-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال C-C30-C3-B1-0.2 ۱۶۷
- شکل ۹-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال B-C20-C3-B2-0.4 ۱۶۷
- شکل ۱۰-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال B-C40-C3-B2-0.2 ۱۶۸
- شکل ۱۱-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال C-C40-C3-B2-0.4 ۱۶۸
- شکل ۱۲-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال A-C40-C1-B1-0.2 ۱۶۸
- شکل ۱۳-۶ منحنی لنگر-دوران برای مشخصات اتصال ذکر شده در جدول ۲-۶ ۱۶۹
- شکل ۱۴-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال C-C40-C3-B2-0.2-9 ۱۷۱
- شکل ۱۵-۶ مقایسه نمودار لنگر-دوران نرم افزار Abaqus و شبکه عصبی، اتصال C-C30-C1-B2-0.4-11 ۱۷۱