٢٠٢١٦٤٦ - ١٤٧٢٨٦

دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی سازه

پایان نامه
برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی عمران- سازه

عنوان

# بررسی رفتار اتصالات ورق انتهایی در قاب های خمشی فولادی تحت تاثیر خرابی پیش رونده

استاد راهنما
دکتر علی حدیدی

استاد مشاور
دکتر بهمن فرهمند

پژوهشگر
سید وحید فرج خواه

شهریور ۸۹

۱۳۸۹/۹/۲۸

۱۴۷۶۸۶

تقدیم به

مادرم

که همواره راهنما و مشوق من بوده اند.

به نام خدا

## سپاسگزاری

در آغاز بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس فراوان خود را از زحمات بی دریغ و منش بزرگوارانه استاد ارجمند جناب آقای دکتر علی حدیدی اعلام نمایم، چرا که راهنمایی های عالمانه ایشان عامل اصلی پیشبرد این پژوهش بوده است.

همچنین می بایست از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر بهمن فرهمند، استاد مشاور این پایان نامه، کمال تشکر را داشته باشم.

سید وحید فرج خواه

شهریور ۸۹

**نام خانوادگی:** فرج خواه **نام:** سید وحید

**عنوان پایان نامه:** بررسی رفتار اتصالات ورق انتهایی در قاب های خمشی فولادی تحت تاثیر خرابی پیش رونده

**استاد راهنما:** دکتر علی حدیدی

**استاد مشاور:** دکتر بهمن فرهمند

**مقطع تحصیلی:** کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** تبریز

**دانشکده:** مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** **تعداد صفحات:**

**کلید واژه ها:** خرابی پیش رونده ، قاب های خمشی فولادی، اتصالات ورق انتهایی

**چکیده:**

اتصالات ورق انتهایی (Extended End Plate) یکی از انواع اتصالات پیچی متداول می باشد که پس از زلزله های شدید اخیر نورث ریج کالیفرنیا و کوبه ژاپن انتظار می رود جایگزین اتصالات صلب جوشی شوند. تحقیقات اخیر نشان داده است که این اتصالات در صورت طراحی صحیح می توانند رفتار لرزه ای مطلوبی داشته و بعنوان اتصالات صلب کاربرد داشته باشند .اتصالات نقش بسیار مهمی در عملکرد سازه های فولادی دارند، مخصوصاً در مواردی که سازه ی مورد نظر تحت تاثیر بارگذاری های بحرانی نظیر زلزله های شدید ، انفجار، برخوردهای شدید تحت تصادفات و آتش سوزی و در نتیجه خرابی پیش رونده ی ناشی از این موارد قرار می گیرد.در هیچ یک از تحقیقات صورت گرفته تا کنون بر روی اتصالات ورق انتهایی جوش شده به تیر تأثیر نیروهای حاصل از خرابی های پیش رونده در عملکرد این اتصالات بررسی نشده است. از بین رفتن ستونی در ساختمان ، مخصوصاً اگر ستونی از قابهای بیرونی باشد می تواند یکی از عوامل تخریب سازه باشد، در این پایان نامه تاثیر خرابی پیش رونده بر روی اتصالات ورق انتهایی تحت این شرایط بررسی می گردد. در ابتدا چندین نمونه المان محدودی شبیه به نمونه های آزمایشگاهی در نرم افزار ANSYS ساخته شده و آنالیز گردیده است. نتایج مقایسه بین نمونه های آزماشگاهی و المان محدودی تطابق بالایی با یکدیگر دارند. سپس این نمونه ها تحت شرایط بارگذاری خرابی پیش رونده قرار می گیرند. بارگذاری ها به گونه ای می باشند که شرایط دهانه های میانی و کناری قاب را شبیه سازی می کنند. نتایج آنالیز نشان می دهد که تحت تاثیر خرابی پیش رونده نیرو های فشاری و کششی قابل توجهی در تیر ها و اتصالات ایجاد می گردد که باعث ایجاد تغییراتی در رفتار اتصالات و تیرها می گردد. این نیرو ها باعث افزایش سختی اولیه اتصال و در نتیجه افزایش صلبیت اتصال می شوند. همچنین تحت این بارگذاری تیر های اتصال در بال پایینی دچار کمانش می شوند و مفاصل پلاستیک به صورت گسترده ای در طول تیر گسترش پیدا می کند.

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فصل اول: مقدمه و کلیات

مقدمه ..... ۲

فصل دوم: بررسی اتصالات

۱.۲. تقسیم بندی اتصالات ..... ۶

۱.۱.۲. تقسیم بندی اتصالات بر اساس AISC ..... ۶

۲.۱.۲. تقسیم بندی اتصالات بر اساس آیین نامه EuroCode3 ..... ۶

۳.۱.۲. تقسیم بندی اتصالات توسط برخی محققین ..... ۷

۲.۲ مشخصات اصلی یک اتصال ..... ۱۰

۱.۲.۲. مفهوم درجه گیرداری اتصال ..... ۱۰

۲.۲.۲. منحنی مشخصه لنگر – دوران ( $M-\theta$ ) اتصالات ..... ۱۲

۳.۲.۲. مقاومت اتصال ..... ۱۴

۴.۲.۲. سختی(صلبیت)اتصال ..... ۱۵

۱.۴.۲.۲. تعیین میزان صلبیت اتصال بر اساس سختی وتری ..... ۱۷

۵.۲.۲. شکل پذیری اتصال ..... ۱۸

فصل سوم: بررسی اتصالات ورق انتهایی

۱.۳. مقدمه ..... ۲۲

۲.۳. مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۲۶

۱.۲.۳. طراحی ورق انتهایی ..... ۲۶

۲.۲.۳. طراحی پیچ ها ..... ۲۹

۳.۲.۳. طراحی قسمت ستون ..... ۳۱

۴.۲.۳. تست های بارگذاری چرخه ای بر روی اتصالات ورق انتهایی ..... ۳۳

۵.۲.۳. آنالیز المان محدودی اتصالات خمشی ورق انتهایی ..... ۳۸

۳.۳. مروری بر اصول طراحی و مکانیسم اتصال ..... ۴۰

۱.۳.۳. بررسی لنگر طراحی ..... ۴۱

۲.۳.۳. تئوری خط تسلیم ..... ۴۳
۳.۳.۳. نیروهای وارده بر پیچ ها ..... ۴۶
۴.۳. چک لیست حالات حدی ..... ۴۹
۵.۳. جزئیات اجرایی و روش های ساخت ..... ۵۰
۱.۵.۳. جزئیات اجرایی اتصال ..... ۵۱
۲.۵.۳. جزئیات اجرایی دال های کامپوزیت ..... ۵۵

## فصل چهارم: مروری بر خرابی پیش رونده

۱.۴. مقدمه ..... ۵۸
۲.۴. آئین نامه های طراحی در مقابل خرابی پیش رونده ..... ۶۰
۳.۴. ضوابط مورد قبول خرابی پیش رونده ..... ۶۴
۴.۴. روش های آنالیز خرابی پیش رونده ..... ۶۶
۱.۴.۴. آنالیز استاتیکی خطی ..... ۶۷
۲.۴.۴. آنالیز استاتیکی غیر خطی ..... ۶۸
۳.۴.۴. آنالیز دینامیکی خطی ..... ۶۹
۴.۴.۴. آنالیز دینامیکی غیر خطی ..... ۷۰
۵.۴. ترکیب بارهای مورد استفاده در آنالیز خرابی پیش رونده ..... ۷۲
۶.۴. مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۷۳
۱.۶.۴. بررسی روش های مختلف آنالیز خرابی پیش رونده ..... ۷۳
۱.۱.۶.۴. آنالیز استاتیکی خطی ..... ۷۵
۲.۱.۶.۴. آنالیز استاتیکی غیر خطی ..... ۷۶
۳.۱.۶.۴.آنالیز دینامیکی خطی ..... ۷۷
۴.۱.۶.۴. آنالیز دینامیک غیرخطی ..... ۷۸
۲.۶.۴. بررسی خرابی پیش رونده ساختمان های فولادی با قاب های خمشی ..... ۷۸
۳.۶.۴. بررسی اتصالات قاب های خمشی ویژه در خرابی پیش رونده سازه های فولادی ..... ۸۰
۴.۶.۴ .بررسی خرابی پیش رونده در ساختمان ها به شیوه آنالیز ماکرو ..... ۸۳
۵.۶.۴. بررسی خرابی پیش رونده در قاب های فولادی مهاربندی شده ..... ۸۶
۶.۶.۴. آنالیز خرابی پیش رونده در سازه های خمشی با اتصالات جوشی ..... ۹۰
۷.۶.۴. بررسی مقاومت سازه های فولادی در مقابل خرابی پیش رونده ..... ۹۳
۱.۷.۶.۴. آنالیز استاتیکی خطی ..... ۹۴
۲.۷.۶.۴. آنالیز دینامیکی خطی ..... ۹۶
۳.۷.۶.۴. آنالیز دینامیکی غیر خطی ..... ۹۶

۸.۶.۴ بررسی خرابی پیش رونده سازه های فولادی دارای اتصالات مختلف ..... ۹۸
۹.۶.۴. آنالیز خرابی پیش رونده ساختمان های بلند به روش المان محدودی ..... ۱۰۳

## فصل پنجم: مواد و روش ها

۱.۵. مقدمه ..... ۱۰۸
۲.۵. رفتار غیر خطی در سازه ها ..... ۱۰۹
۳.۵. تحلیل غیر خطی ..... ۱۱۰
۴.۵.کنترل همگرایی در سیستم ..... ۱۱۲
۵.۵. روش حل معادلات در برنامه ANSYS ..... ۱۱۳
۶.۵. معیارهای گسیختگی و همگرایی جهت آنالیز ..... ۱۱۴
۱.۶.۵. نرخ پلاستیسیته مستقل از سرعت ..... ۱۱۴
۷.۵. المانهای منتخب و خصوصیات آنها ..... ۱۱۶
۱.۷.۵. المان SOLID45 ..... ۱۱۶
۸.۵ آنالیز تماس ..... ۱۱۷
۱.۸.۵. تماس گره با گره ..... ۱۱۸
۲.۸.۵. تماس نقطه به صفحه ..... ۱۱۸
۳.۸.۵. تماس سطح به سطح ..... ۱۱۸
۹.۵. مدل اجزای محدود اتصال ..... ۱۲۰
۱.۹.۵. مدلسازی پیچها ..... ۱۲۰
۲.۹.۵. مدلسازی ورق انتهایی و سخت کننده اتصال ..... ۱۲۲
۳.۹.۵. سطوح تماسی ..... ۱۲۳
۴.۹.۵. مدلسازی اجزای تیر-ستون و شرایط مرزی ..... ۱۲۳
۱۰.۵. نمونه های آزمایشگاهی ..... ۱۲۵
۱۱.۵. خصوصیات مواد ..... ۱۲۷
۱۲.۵. شرایط مرزی اعمالی بر نمونه ها ..... ۱۲۷
۱۳.۵. بررسی صحت مدل سازی ..... ۱۲۸
۱۴.۵. عملکرد اتصالات تحت اثر حذف ستونی از قاب ..... ۱۳۲
۱.۱۴.۵. شرایط تکیه گاهی اعمالی ..... ۱۳۲

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات


۱.۶. مقدمه ..... ۱۳۷

۲.۶. نمونه تحت اثر خرابی پیش رونده در دهانه های میانی ..... ۱۳۸

۱.۲.۶. نمونه EPC1 : ضخامت ورق انتهایی 20mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۳۸

۲.۲.۶. نمونه EPC2 : ضخامت ورق انتهایی 25mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۴۱

۳.۲.۶. نمونه EPC3 : ضخامت ورق انتهایی 20mm ، قطر پیچ ها 24mm ..... ۱۴۴

۴.۲.۶. نمونه EPC4 : ضخامت ورق انتهایی 25mm ، قطر پیچ ها 24mm ..... ۱۴۷

۵.۲.۶. نمونه EPC5 : ضخامت ورق انتهایی 16mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۵۰

۳.۶. نمونه تحت اثر خرابی پیش رونده در دهانه های کناری ..... ۱۵۳

۱.۳.۶. نمونه EPC1 : ضخامت ورق انتهایی 20mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۵۳

۲.۳.۶. نمونه EPC2 : ضخامت ورق انتهایی 25mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۵۵

۳.۳.۶. نمونه EPC3 : ضخامت ورق انتهایی 20mm ، قطر پیچ ها 24mm ..... ۱۵۸

۴.۳.۶. نمونه EPC4 : ضخامت ورق انتهایی 25mm ، قطر پیچ ها 24mm ..... ۱۶۱

۵.۳.۶. نمونه EPC5 : ضخامت ورق انتهایی 16mm ، قطر پیچ ها 20mm ..... ۱۶۳

۴.۶. نمونه L3: ضخامت ورق انتهایی 20mm ، قطر پیچ ها 24mm ، طول تیر 2.4m ..... ۱۶۵

۵.۶. نتیجه گیری ..... ۱۶۷

۶.۶. پیشنهادات ..... ۱۶۸

منابع مورد استفاده ..... ۱۶۹

## فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**

۱.۴ حدود مجاز خرابی پیش رونده در آنالیز غیر خطی ..... ۶۵

۱.۵پارامترهای نرخ پلاستیسیته..... ۱۱۴

۲.۵ مشخصات هندسی نمونه ها ..... ۱۲۶

۳.۵ مشخصات مواد اجزاء اتصال..... ۱۲۷

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


۱.۲تقسیم بندی اتصالات پیشنهادی Eurocode3 ..... ۷
۲.۲ تقسیم بندی اتصالات پیشنهادی مازولانی و پیلوسو ..... ۸
۳.۲ تعریف فابهای مقاوم خمشی صلب، نیمه صلب و انعطاف پذیر ..... ۱۰
۴.۲ فرضیات شرایط تکیه گاهی ..... ۱۱
۵.۲ تغییر شکل دورانی یک اتصال ..... ۱۳
۶.۲ نمودارهای ممان دوران تقریبی اتصالات مختلف ..... ۱۳
۷.۲ رفتار اتصال در اثر بارگذاری چرخه ای ..... ۱۴
۸.۲ منحنی لنگر – دوران اتصال برای ظرفیت و صلبیت اتصال به روش سختی وتری ..... ۱۸

۳.۱ انواع نمونه های اتصال ورق انتهایی ..... ۲۲
۲.۳ محل تشکیل مفصل های پلاستیک در اتصالات ورق انتهایی با سخت کننده و بدون سخت کننده ..... ۴۱
۳.۳ محاسبه لنگر طراحی اتصال ..... ۴۳
۴.۳ خطوط تسلیم و تغییر مکان مجازی اتصال ورق انتهایی بدون سخت کننده ..... ۴۴
۵.۳ خطوط تسلیم بال ستون در اتصالات ورق انتهایی ۸ پیچ دارای سخت کننده و بدون سخت کننده ..... ۴۵
۳ ۶.۳ حالت رفتاری ورق در مدل Kennedy ..... ۴۷
۷.۳ مدل طراحی نیروی پیچ ورق ضخیم ..... ۴۸
۸.۳ مشخصات هندسی ورق انتهایی ..... ۵۱
۹.۳ هندسه و طرح اولیه سخت کننده ورق انتهایی ..... ۵۳
۱۰.۳ تیپ واشرهای زبانه ای ..... ۵۶

۱.۴ عملکرد سازه تحت اثر حذف یکی از ستون های داخلی ..... ۶۳
۲.۴ ترکیب بارهای مورد استفاده در آنالیز خرابی پیش رونده ..... ۷۳
۳.۴ مدل ۳بعدی المان محدودی ..... ۷۴
۴.۴ محل تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه ..... ۷۷
۵.۴ سیستم سازه ای در نظر گرفته شده توسط Khandelwal و El-tawil ..... ۷۹
۵.۴ روند خرابی پیش رونده در قاب خمشی فولادی ..... ۸۰
۶.۴ شرایط تکیه گاهی نمونه ها ..... ۸۱

۷.۴ منحنی های سخت شدگی فولاد ..... ۸۲
۸.۴ جزئیات اتصال ..... ۸۴
۹.۴ مقایسه بین نتایج حاصل از آنالیز ماکرو و آنالیزو میکرو ..... ۸۵
۱۰.۴ مؤلفه های اتصالات برشی تیر به ستون ..... ۸۷
۱۱.۴ نحوه مدل سازی تیر لینک ..... ۸۷
۱۲.۴ سیستم های سازه ای به کار رفته ..... ۸۹
۱۳.۴ نمونه المان محدودی به کار رفته و نحوه محاسبه دوران ..... ۹۰
۱۴.۴ بر همکنش بین لنگر خمشی و نیروی محوری ..... ۹۲
۱۵.۴ نحوه گسترش نیروهای کاتنری در تیر هایی با نسبت طول به عمق مختلف ..... ۹۳
۱۶.۴ شبیه سازی خرابی پیش رونده با جایگزینی ستون با بار محوری آن ..... ۹۴
۱۷.۴ نحوه بارگذاری اعمالی در طول زمان ..... ۹۴
۱۸.۴ بررسی سازه تحت تاثیر حذف ستون دوم ..... ۹۵
۱۹.۴ جزئیات اتصالات لرزه ای FEMA ..... ۹۹
۲۰.۴ منحنی های پوش داوون سازه طراحی شده برای مناطق با خطر نسبی متوسط ..... ۱۰۰
۲۱.۴ منحنی های پوش داوون سازه طراحی شده برای مناطق با خطر نسبی زیاد ..... ۱۰۱
۲۲.۴ سناریوی اول و دوم ..... ۱۰۴
۲۳.۴ سناریوی سوم و چهارم ..... ۱۰۵
۲۴.۴ سناریوی پنجم ..... ۱۰۵

۱.۵ حل مستقیم در مقایسه با روش نیوتن رافسون ..... ۱۱۱
۲.۵ گامهای یک بارگذاری ..... ۱۱۱
۳.۵ تقسیم گامهای بارگذاری به قسمتهای مختلف ..... ۱۱۲
۴.۵ نمودار تنش ـ کرنش مختلف ..... ۱۱۵
۵.۵ شکل کلی و گره های المان ..... ۱۱۷
۶.۵ المانهای تماسی و هدف ..... ۱۱۹
۷.۵ مدل اجزاء محدود پیچهای اتصال ..... ۱۲۱
۸.۵ مشبندی ورق انتهایی و سخت کننده ..... ۱۲۲
۹.۵ قسمتی از سطوح تماسی اتصال و ارتباط اجزا ..... ۱۲۳
۱۰.۵ مدل اجزاء محدود کل اتصال ..... ۱۲۴
۱۱.۵ جزئیات نمونه ها ..... ۱۲۶
۱۲.۵ مدل سازی و مش بندی نمونه EPC1 ..... ۱۲۶
۱۳.۵ شکل شماتیک دوران اتصال ..... ۱۲۸

۱۴.۵ مقایسه نتایج حاصل از آنالیز المان محدودی با نمونه های آزمایشگاهی ..... ۱۲۹
۱۵.۵ نمونه های المان محدودی ساخته شده توسط Shi و همکاران ..... ۱۳۰
۱۶.۵ مقایسه نمودارهای ممان – دوران حاصل از آزمایش و انالیز المان محدودی ..... ۱۳۱
۱۷.۵ نمونه های المان محدودی ساخته شده توسط Khandelwal و همکاران ..... ۱۳۳
۱۸.۵ نقطه عطف بوجود آمده در ستون تحت اثر خرابی پیش رونده ..... ۱۳۳
۱۹.۵ نحوه مدلسازی نقطه عطف بوجود آمده درتیر تحت اثر خرابی پیش رونده ..... ۱۳۴
۲۰.۵ نقطه عطف تیر هایی با اتصالات دارای سختی متفاوت ..... ۱۳۴
۲۱.۵ شرایط تکیه گاهی اعمالی بر نمونه های RFEJ ..... ۱۳۵
۲۲.۵ شرایط تکیه گاهی اعمالی بر نمونه های FFEJ ..... ۱۳۵

۱.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه RFEJ1 و نمونه EPC1 ..... ۱۳۸
۲.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ1 ..... ۱۳۸
۳.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۳۹
۴.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۳۹
۵.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۴۰
۶.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در نمونه ..... ۱۴۰
۷.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه RFEJ2 و نمونه EPC2 ..... ۱۴۱
۸.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ2 ..... ۱۴۱
۹.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۴۲
۱۰.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۴۲
۱۱.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۴۳
۱۲.۶تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در نمونه ..... ۱۴۳
۱۳.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه RFEJ3 و نمونه EPC3 ..... ۱۴۴
۱۴.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ3 ..... ۱۴۴
۱۵.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۴۵
۱۶.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۴۵
۱۷.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۴۶
۱۸.۶:تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در نمونه ..... ۱۴۶
۱۹.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه RFEJ4 و نمونه EPC4 ..... ۱۴۷
۲۰.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ4 ..... ۱۴۷
۲۱.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۴۸
۲۲.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۴۸

۲۳.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۴۹
۲۴.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در نمونه..... ۱۴۹
۲۵.۶: نمودارهای ممان دورانی نمونه RFEJ5 و نمونه EPC5 ..... ۱۵۰
۲۶.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ5..... ۱۵۰
۲۷.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۵۱
۲۸.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۵۱
۲۹.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۵۲
۳۰.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در نمونه ..... ۱۵۲
۳۱.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه FFEJ1 و نمونه EPC1 ..... ۱۵۳
۳۲.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه ها تحت اثر خرابی پیش رونده ..... ۱۵۳
۳۳.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۵۴
۳۴.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۵۴
۳۵.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۵۵
۳۶.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه FFEJ2 و نمونه های EPC2 ..... ۱۵۵
۳۷.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه RFEJ2 ..... ۱۵۶
۳۸.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۵۶
۳۹.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۵۷
۴۰.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۵۷
۴۱.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه FEJ3 و نمونه های دیگر ..... ۱۵۸
۴۲.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه FFEJ3 ..... ۱۵۸
۴۳.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۵۹
۴۴.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۵۹
۴۵.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۶۰
۴۶.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه FEJ4 و نمونه های دیگر ..... ۱۶۱
۴۷.۶ نحوه گسترش نیرو های محوری در نمونه FFEJ4 ..... ۱۶۱
۴۸.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۶۲
۴۹.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در صفحه انتهایی ..... ۱۶۲
۵۰.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۶۳
۴۷.۶ نمودارهای ممان دورانی نمونه FEJ5 و نمونه های دیگر ..... ۱۶۳
۵۱.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در پیچ ها ..... ۱۶۴
۵۲.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۶۵

۵۳.۶ نمودار ممان دوران تمونه L3 و RFEJ3 ..... ۱۶۵
۵۴.۶ نحوه گسترش نیروهای مح.ری در نمونه های L3 و RFEJ3 ..... ۱۶۶
۵۵.۶ تغییر شکل و نحوه توزیع تنش های نهایی فون- میزز در تیر اتصال ..... ۱۶۶

# فصل اول

## مقدمه

## ۱. مقدمه

در طی دهه های گذشته، موارد زیادی از خرابی سازه ها تحت اثر بارگذاری های غیر مترقبه نظیر آتش سوزی ، تصادفات و انفجار بوجود آمده است. اگر چه خرابی سازه ها تحت اثر این عوامل پدیده ای بسیار نادر است ولی در صورت وقوع باعث بوجود آمدن صدمات جانی و مالی گسترده ای می شود.

خرابی پیش رونده برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ بعد از انفجار آپارتمان ۲۲ طبقه رونان پوینت در لندن نظر مهندسین را جلب کرد و بعد از بمب گذاری در ساختمان فدرال آلفرد مورای در سال ۱۹۹۵ که باعث خرابی بخش هایی از این ساختمان گردید و وقایع تروریستی ۲۰۰۱ اهمیت ویژه ای پیدا کرد.

هنگامی که یک قاب فولادی تحت اثر بارگذاری ناشی از انفجار قرار می گیرد ، در مراحل ابتدایی بعد از حذف ستونی از سازه، ظرفیت خمشی تیر دو طرف ستون حذف شده در مقابل بارهای قائم بوجود آمده مقاومت می کنند. با افزایش تغییر شکل ها و بوجود آمدن دوران های غیر الاستیک، تیر ها رفتاری شبیه به کابل از خود نشان می دهند و نیرو های محوری گسترده ای در تیرها و در نتیجه اتصالات آنها گسترش می یابد. با در نظر گرفتن ظرفیت باربری کافی ستونهای مجاور برای تحمل بار تحمیلی ناشی از حذف ستون ، اتصالات تیر به ستون نقش بسیار مهمی در حفظ پایداری سازه ی صدمه دیده و در نتیجه حفظ امنیت جانی سکنه دارند. بنابر این درک عملکرد متقابل نیرو های محوری و خمشی در تیرها و همچنین اتصالات آنها در حین بارگذاری برای طراحی سازه های مقاوم در برابر خرابی پیش رونده دارای اهمیت بالایی است. اما با این حال مطالعات بسیار محدودی با در نظر گرفتن بر همکنش اجزاء اتصال صورت گرفته است.

زلزله نورثریج در سال ۱۹۹۴ باعث بوجود آمدن خرابی های وسیعی در سازه های فولادی گردید. تحقیقات صورت گرفته بر روی سازه های آسیب دیده نشان می داد که عامل اصلی این خرابی ها عملکرد

ضعیف و ترد اتصالات می باشد. بعد از این زلزله مهندسین به منظور کسب شکل پذیری مورد نیاز در اتصالات به صورت گسترده تری از اتصالات پیچی استفاده کردند.

اتصالات فولادی پیچی ، نظیر اتصالات سپری یا ورق انتهایی بصورت مجموعه ای از اجزا، نظیر ورقها پیچها و جوشها می باشند . بدلیل تنوع زیاد ترکیبات پیچی ممکن ، ناپیوستگی های هندسی زیاد، تمرکز تنش در اتصالات پیچی ، وجود نیروهای اصطکاکی که منجر به پدیده های غیر خطی نظیر لغزش می گردد و همچنین بدلیل وجود نیروهای تماسی که باعث ایجاد نیروهای اهرمی می گردند این اتصالات رفتار غیر خطی مضاعفی را نشان می دهند.

در هیچ یک از تحقیقات که تا کنون بر روی اتصالات پیچی صورت گرفته تأثیر نیروهای حاصل از خرابی های پیش رونده در عملکرد این اتصالات بررسی نشده است. اتصالات مورد بررسی در این تحقیق اتصالات پیچی ورق انتهایی می باشد. این اتصالات زمانی که ورق انتهایی ضخیم و با سخت کننده در نظر گرفته شود و از پیچ های بزرگ استفاده گردد رفتاری نزدیک به رفتار صلب از خود نشان می دهند اما زمانی که ورق انتهایی نازک باشد و سخت کننده ها حذف شوند و پیچهای کوچکی استفاده گردد رفتاری نیمه صلب خواهند داشت . از اینرو رفتار این نوع از اتصالات از مقاوم صلب تا نیمه مقاوم نیمه صلب تغییر می یابد .

جهت انجام مطالعه بر روی اتصالات از روش های گوناگون با درجات دقت متفاوت می توان استفاده کرد. یکی از روش های مناسب برای بررسی رفتار اتصالات سازه های فولادی ساخت و آزمایش نمونه های واقعی از اتصال می باشد. این روش نیازمند وسایل و تجهیزات پیچیده آزمایشگاهی می باشد و استفاده از آن در هر شرایطی مقدور نمی باشد.

در این پایان نامه برای بررسی رفتار اتصالات ورق انتهایی تحت شرایط خرابی پیش رونده ، با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی ، از روش آنالیز المان محدودی غیر خطی بوسیله نرم افزار ANSYS استفاده گردیده است. این روش علی رغم داشتن نقاط ضعفی چون عدم امکان مشاهده شکست و یا خستگی مصالح، امکان بررسی مدلهای متفاوت ورای امکانات آزمایشگاهی را دارد.

در فصل دوم به بررسی اتصالات پرداخته شده است. در این فصل تقسیم بندی اتصالات بر اساس آئین نامه های مختلف، مشخصات اصلی یک اتصال ، انواع اتصالات صلب تیر به ستون و رفتار آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم ، به اتصالات پیچی ورق انتهایی پرداخته شده است .و در مورد تحقیقات مختلف صورت گرفته ، روش های مختلف آنالیز و همچنین نحوه رفتار این اتصال بحث شده است.

در فصل چهارم راجع به اصول اولیه خرابی پیش رونده، آئین نامه های موجود، روش های مختلف بارگذاری و آنالیز سازه ها در خرابی پیش رونده و مطالعات صورت گرفته در این مورد مطالبی بیان شده است.

در فصل پنجم، مقدماتی درمورد آنالیزهای غیر خطی در نرم افزار ANSYS و آشنایی مختصری با نحوه مدل سازی و آنالیز در این نرم افزار آمده است. سپس نمونه های مدل شده در نرم افزار به منظور صحت سنجی با نمونه های آزمایشگاهی مقایسه گردیده است و سپس در مورد نحوه بارگذاری این اتصالات تحت خرابی پیش رونده بحث شده است.

و سرانجام در فصل ششم، نتایج تحلیل ها و خروجی ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

# فصل دوم

# بررسی اتصالات