

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران – سازه

موضوع :

ارزیابی مقاومت در برابر خرابی پیشرونده در قابهای خمشی فولادی با اتصالات نیمه گیردار

تنظیم و نگارش :

نرگس محمدی اشکه سو

استاد راهنما :

دکتر محمد رضا شیدایی

مهرماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی

ارزیابی مقاومت در برابر خرابی پیشرونده در قاب‌های خمشی فولادی با اتصالات نیمه گیردار

دانشجو:
نرگس محمدی اشک‌سوز

این پایان‌نامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش
سازه در تاریخ ۹۳/۷/۲۹ توسط هیئت داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنمای اول: دکتر محمد رضا شیدایی

داور خارجی: دکتر چنگیز غیرتمند

داور داخلی: دکتر سعید تاروردیلو

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر چهل‌اندلی

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی

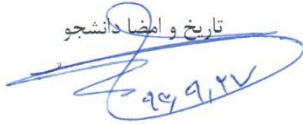
تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجوی می‌باشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، برای آگاهی دانشجوی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.
۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.
۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب نرگس محمدی دانشجوی گرایش مهندسی عمران - سازه مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تاریخ و امضا دانشجو


۹۶۹۱۷

تقدیم به :

یک نام، نامی که بدان می‌بالم پدر مهربان و فداکارم.

مادر مهربان و دلسوزم.... دریای بی‌کران فداکاری و عشق، که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

همسرم.... که سایه مهربانیش سایه سار زندگی‌م می‌باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

سپاسگزاری

منت خدای را که نیکویی‌های آفرینش را برای ما برگزید و شکر و سپاس را به ما الهام نمود. رساله حاضر حاصل الطاف خداوندی و مساعدت بزرگواری است که در به تحقق رساندن آن، یاری‌ام نمود. لذا لازم می‌دانم تا مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به استاد راهنمای فرهیخته‌ام جناب آقای دکتر محمد رضا شیدایی، که در انجام این مهم، اینجانب را همراهی نمودند ابراز دارم. بدون شک بدون راهنمایی‌های حکیمانه و مساعدت بی‌دریغ ایشان، ادامه راه برایم ممکن نبود.

چکیده

خرابی پیشرونده، خرابی تمام و یا قسمت عمده‌ای از یک سازه است که با گسیختگی موضعی در بخشی از سازه شروع شده و می‌تواند پایداری کل سازه را تهدید نماید. امروزه وقوع خرابی پیشرونده در سازه‌ها در اثر انواع مختلف بارهای غیرعادی نظیر یک انفجار نزدیک به سازه و حتی در هنگام زلزله، به چالشی مهم تبدیل شده است و مسئله ارزیابی و بررسی پتانسیل وقوع خرابی پیشرونده در سازه‌ها را به صورت گسترده‌ای در بین محققین سراسر جهان مطرح نموده است.

یکی از سیستم‌های سازه‌ای که مقاومت خوبی در برابر خرابی پیشرونده از خود نشان می‌دهد، سیستم قاب خمشی فولادی است. مطالعات و تحقیقات گذشته نشان داده است که این سیستم‌ها مقاومت و شکل‌پذیری بالایی در برابر پدیده خرابی پیشرونده از خود نشان می‌دهند. بطور متداول در این سازه‌ها اتصالات به صورت کاملاً صلب در نظر گرفته می‌شوند اما در عمل اکثر اتصالات فولادی به کار رفته در قاب‌های ساختمانی، نیمه‌گیردار می‌باشند. اتصالات قاب‌های فولادی تاثیر قابل توجهی روی عملکرد این سازه‌ها به ویژه زمانی که سازه تحت تاثیر بارهای بحرانی مانند انفجار، زلزله‌های شدید، آتش و ... قرار می‌گیرد، دارد. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق مقاومت قاب‌های خمشی فولادی با اتصالات نیمه‌گیردار در برابر خرابی پیشرونده با استفاده از روش آیین‌نامه‌ای مسیر جایگزین استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، یک قاب خمشی با ظرفیت‌های اتصال متفاوت در نظر گرفته شده است تا تاثیر میزان صلب بودن اتصال در قاب‌های خمشی فولادی بر روی پدیده خرابی پیشرونده ارزیابی شود.

بررسی‌های انجام گرفته در این پایان‌نامه نشان داد که قاب‌های خمشی با اتصالات صلب، بیشترین مقاومت را در برابر خرابی پیشرونده از خود نشان می‌دهند و با کاهش صلبیت اتصال، مقاومت قاب‌های خمشی در برابر خرابی پیشرونده به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی نشان داد که مقادیر پیشنهاد شده آیین‌نامه UFC2009 برای ضرایب افزایش دینامیکی، محافظه کارانه نیست.

کلمات کلیدی

خرابی پیشرونده، روش مسیر جایگزین، قاب خمشی فولادی، اتصالات نیمه‌گیردار

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱- تعریف مسأله
۲	۲-۱- ضرورت و سابقه تحقیق
۴	۳-۱- اهداف تحقیق
۵	۴-۱- روش انجام تحقیق
۵	۵-۱- رئوس مطالب
	فصل دوم : بررسی ادبیات فنی موجود
۷	۱-۲- مقدمه
۸	۲-۲- حوادث مهم تاریخی در زمینه پدیده خرابی پیشرونده
۸	۱-۲-۲- ساختمان رونان پوینت
۸	۲-۲-۲- ساختمان اداری موراه
۹	۳-۲-۲- مراکز تجارت جهانی ۱ و ۲
۱۰	۴-۲-۲- مرکز تجارت جهانی ساختمان شماره ۷
۱۱	۳-۲- معرفی آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط
۱۱	۱-۳-۲- ASCE7-10
۱۲	۲-۳-۲- GSA2003
۱۲	۳-۳-۲- NIST2005
۱۳	۴-۳-۲- UFC2009
۱۳	۴-۲- روش‌های کاهش احتمال وقوع خرابی پیشرونده
۱۳	۱-۴-۲- روش کنترل حادثه
۱۴	۲-۴-۲- روش طراحی غیر مستقیم
۱۴	۳-۴-۲- روش طراحی مستقیم
۱۴	۱-۳-۴-۲- روش مقاومت موضعی ویژه
۱۴	۲-۳-۴-۲- روش مسیر بار جایگزین
۱۶	۵-۲- مقایسه روش‌های تحلیل خرابی پیشرونده
۱۶	۱-۵-۲- استاتیکی خطی
۱۷	۲-۵-۲- استاتیکی غیرخطی
۱۷	۳-۵-۲- دینامیکی خطی

۱۸.....	۶-۲- تحلیل خرابی پیشرونده در دستورالعمل UFC2009
۱۹.....	۲-۶-۱- تحلیل استاتیکی خطی در آیین‌نامه UFC2009
۱۹.....	۲-۶-۱-۱- بارگذاری
۲۰.....	۲-۶-۱-۲- معیارهای پذیرش برای خرابی پیشرونده
۲۱.....	۲-۶-۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی در آیین‌نامه UFC2009
۲۱.....	۲-۶-۱-۲- بارگذاری
۲۲.....	۲-۶-۲-۲- معیارهای پذیرش برای خرابی پیشرونده
۲۲.....	۲-۶-۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی در آیین‌نامه UFC2009
۲۳.....	۲-۶-۱-۳- بارگذاری
۲۳.....	۲-۶-۲-۳- معیارهای پذیرش برای خرابی پیشرونده
۲۳.....	۲-۷-۷- کلیاتی در مورد مدلسازی و رفتار اتصالات نیمه‌گیردار
۲۵.....	۲-۷-۱- انواع مدل‌های لنگر- دوران برای اتصالات نیمه‌گیردار
۲۷.....	۲-۷-۲- طبقه‌بندی اتصالات در آیین‌نامه AISC
۲۸.....	۲-۷-۳- طبقه‌بندی اتصالات در آیین‌نامه Euro Code
۲۸.....	۲-۷-۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات براساس سختی
۳۰.....	۲-۷-۲-۳- طبقه‌بندی اتصالات براساس مقاومت
۳۱.....	۲-۸- توصیف‌هایی از قاب‌های خمشی فولادی
۳۱.....	۲-۸-۱- قاب‌های خمشی با گیرداری کامل
۳۲.....	۲-۸-۲- قاب‌های خمشی با گیرداری جزئی
۳۴.....	۲-۹- مطالعات اخیر در مورد اتصالات نیمه‌گیردار
۳۸.....	۲-۱۰- نتیجه‌گیری

فصل سوم : مدلسازی تحلیل خرابی پیشرونده

۴۰.....	۳-۱- مقدمه
۴۰.....	۳-۲- مشخصات سازه و فرضیات انجام یافته
۴۵.....	۳-۳- معرفی مدل‌های تحلیلی
۴۶.....	۳-۴- تحلیل خرابی پیشرونده با استفاده از نرم‌افزار SAP2000
۴۸.....	۳-۴-۱- مفاصل پلاستیک در تیرها و ستونها
۵۰.....	۳-۴-۲- اتصالات نیمه صلب
۵۲.....	۳-۴-۱-۲- روش اول مدلسازی اتصالات نیمه‌صلب
۵۳.....	۳-۴-۲-۲- روش دوم مدلسازی اتصالات نیمه‌صلب
۵۴.....	۳-۴-۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی خرابی پیشرونده
۵۵.....	۳-۴-۴- تحلیل دینامیکی غیرخطی خرابی پیشرونده

۵-۳- کنترل آسیب‌پذیری سازه بعد از انجام تحلیل خرابی پیشرونده ۵۷

فصل چهارم : ارائه و بررسی نتایج

- ۱-۴- مقدمه ۵۹
- ۲-۴- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ۶۰
- ۱-۲-۴- مدل سازه‌ای قاب خمشی صلب (مدل FR) ۶۰
- ۱-۱-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل FR به ازای حذف ستون میانی ۶۰
- ۲-۱-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل FR به ازای حذف ستون گوشه ۶۲
- ۲-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل‌های سازه‌ای قاب‌های خمشی نیمه‌صلب ۶۴
- ۱-۲-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل PR90k_p6 و PR90k_p12 ۶۴
- ۱-۱-۲-۲-۴- حذف ستون میانی ۶۴
- ۲-۱-۲-۲-۴- حذف ستون گوشه ۶۸
- ۲-۲-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل PR70k_p6 و PR70k_p12 ۷۱
- ۱-۲-۲-۲-۴- حذف ستون میانی ۷۱
- ۲-۲-۲-۲-۴- حذف ستون گوشه ۷۴
- ۳-۲-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل PR50k_p6 و PR50k_p12 ۷۶
- ۱-۳-۲-۲-۴- حذف ستون میانی ۷۷
- ۲-۳-۲-۲-۴- حذف ستون گوشه ۷۹
- ۴-۲-۲-۴- نتایج تحلیل برای مدل PR25k_p6 و PR25k_p12 ۸۲
- ۱-۴-۲-۲-۴- حذف ستون میانی ۸۲
- ۲-۴-۲-۲-۴- حذف ستون گوشه ۸۵
- ۳-۴- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی ۸۷
- ۱-۳-۴- مدل سازه‌ای قاب خمشی صلب (مدل FR) ۸۷
- ۲-۳-۴- مدل سازه‌ای قاب‌های خمشی نیمه‌صلب (مدل PR) ۸۸
- ۱-۲-۳-۴- مدل PR90k_p6 ۸۸
- ۲-۲-۳-۴- مدل PR70k_p6 ۸۹
- ۳-۲-۳-۴- مدل PR50k_p6 ۹۰
- ۴-۲-۳-۴- مدل PR25k_p6 ۹۱
- ۴-۴- بررسی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی ۹۱
- ۱-۴-۴- تاثیر تغییر در ظرفیت اتصال بر روی مقاومت در برابر خرابی پیشرونده ۹۱
- ۲-۴-۴- تاثیر تغییر در نسبت سختی پس از تسلیم اتصال قاب‌های خمشی نیمه‌صلب،
بر روی ظرفیت سازه در برابر خرابی پیشرونده ۹۷
- ۳-۴-۴- مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی ۱۰۰

فصل پنجم : نتیجه گیری

- ۱-۵- مقدمه ۱۰۳
- ۲-۵- نتیجه گیری ۱۰۳
- ۳-۵- پیشنهادات برای مطالعات آینده ۱۰۴

فهرست جداول

جدول ۱-۲	ضرایب افزایش بار برای تحلیل استاتیکی خطی.....	۱۹
جدول ۲-۲	ضرایب افزایش دینامیکی برای تحلیل استاتیکی غیرخطی.....	۲۱
جدول ۱-۳	بارهای ثقلی طراحی سازه.....	۴۱
جدول ۲-۳	مقاطع طراحی برای مدل تحلیلی.....	۴۵
جدول ۳-۳	نام اختصاری مدل‌های تحلیلی.....	۴۶
جدول ۳-۵	پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش در روشهای غیر خطی اجزاء سازه فولادی.....	۴۹
جدول ۳-۶	مشخصات اتصالات نیمه صلب به کار رفته در قاب خمشی.....	۵۲
جدول ۳-۷	ضریب افزایش دینامیکی برای المان‌ها.....	۵۴
جدول ۱-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل FR به ازای حذف ستون میانی.....	۶۱
جدول ۲-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل FR به ازای حذف ستون گوشه.....	۶۳
جدول ۳-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR90k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۶۵
جدول ۴-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR90k _p 12 به ازای حذف ستون میانی.....	۶۷
جدول ۵-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR90k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۶۸
جدول ۶-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR90k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۶۹
جدول ۷-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR70k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۷۲
جدول ۸-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR70k _p 12 به ازای حذف ستون میانی.....	۷۳
جدول ۹-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR70k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۷۴
جدول ۱۰-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR70k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۷۵
جدول ۱۱-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR50k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۷۷
جدول ۱۲-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون میانی.....	۷۸
جدول ۱۳-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR50k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۰
جدول ۱۴-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۱
جدول ۱۵-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR25k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۸۳
جدول ۱۶-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون میانی.....	۸۴
جدول ۱۷-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR25k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۵
جدول ۱۸-۴	نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۶
جدول ۱۹-۴	وضعیت مفاصل پلاستیک در تغییرمکان هدف در مدل FR.....	۸۷
جدول ۲۰-۴	وضعیت مفاصل پلاستیک در تغییرمکان هدف در مدل PR90k _p 6.....	۸۹
جدول ۲۱-۴	مقایسه نتایج به ازای ظرفیت‌های اتصال مختلف قاب‌های خمشی در حالت حذف ستون میانی و نسبت سختی پس از تسلیم اتصال ۰.۶٪.....	۹۲
جدول ۲۲-۴	مقایسه نتایج به ازای ظرفیت‌های اتصال مختلف قاب‌های خمشی در حالت حذف ستون میانی و نسبت سختی پس از تسلیم اتصال ۰.۱۲٪.....	۹۳
جدول ۲۳-۴	مقایسه نتایج به ازای ظرفیت‌های اتصال مختلف قاب‌های خمشی در حالت حذف ستون گوشه و نسبت سختی پس از تسلیم اتصال ۰.۶٪.....	۹۳

جدول ۴-۲۴- مقایسه نتایج به ازای ظرفیتهای اتصال مختلف قابهای خمشی در حالت حذف ستون گوشه	
و نسبت سختی پس از تسلیم اتصال ۱۲٪	۹۵
جدول ۴-۲۵- مقایسه نتایج به ازای نسبت سختی پس از تسلیم مختلف اتصال در قاب خمشی نیمه صلب ۹۰٪	
در حالت حذف ستون میانی	۹۸
جدول ۴-۲۶- مقایسه نتایج به ازای نسبت سختی پس از تسلیم مختلف اتصال در قاب خمشی نیمه صلب ۷۰٪	
در حالت حذف ستون میانی	۹۹
جدول ۴-۲۷- مقایسه نتایج به ازای نسبت سختی پس از تسلیم مختلف اتصال در قاب خمشی نیمه صلب ۵۰٪	
در حالت حذف ستون میانی	۹۹
جدول ۴-۲۸- مقایسه نتایج به ازای نسبت سختی پس از تسلیم مختلف اتصال در قاب خمشی نیمه صلب ۲۵٪	
در حالت حذف ستون میانی	۱۰۰

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- خرابی پیشرونده در ساختمان Ronan Point لندن سال ۱۹۶۸ ۳
- شکل ۱-۲- خرابی پیشرونده در برج‌های دوقلوی مرکز تجارت جهانی (WTC) شهر نیویورک سال ۲۰۰۱ ۳
- شکل ۱-۲- مثالی از خرابی پیشرونده ۸
- شکل ۲-۲- خرابی پیشرونده در ساختمان Ronan Point لندن سال ۱۹۶۸ ۹
- شکل ۳-۲- خرابی پیشرونده در ساختمان Murrah واقع در شهر اکلاهما سال ۱۹۹۵ ۹
- شکل ۴-۲- خرابی پیشرونده در برج‌های دوقلوی مرکز تجارت جهانی (WTC) شهر نیویورک سال ۲۰۰۱ ۱۰
- شکل ۵-۲- خرابی پیشرونده در مرکز تجارت جهانی شماره ۷ (WTC7) شهر نیویورک سال ۲۰۰۱ ۱۱
- شکل ۶-۲- رفتار لنگر- دوران اتصال ۲۴
- شکل ۷-۲- مدل‌های خطی ۲۶
- شکل ۸-۲- طبقه بندی اتصالات بوسیله سختی ۲۹
- شکل ۹-۲- اتصالات مقاوم کامل ۳۱
- شکل ۱۰-۲- رابطه بار- تغییرشکل برای المانها یا مولفه‌های فولادی ۳۳
- شکل ۱۱-۲- پلان و نمای ساختمانهای نمونه با طول دهانه 7m- (a) پلان و (b) نما ۳۵
- شکل ۱۲-۲- منحنی‌های ظرفیت - حالت‌های حدی موضعی و نقاط گسیختگی کلی ۳۵
- شکل ۱۳-۲- پلان و نمای مدل تحلیلی - (a) پلان و (b) نما ۳۶
- شکل ۱۴-۲- موقعیت حذف ستون ۳۶
- شکل ۱۵-۲- مدلسازی اتصالات تیر به ستون ۳۷
- شکل ۱۶-۲- منحنی‌های Pushdown مدل‌های سازه‌ای با اتصالات مختلف- (a) حذف ستون داخلی و (b) حذف ستون خارجی ۳۷
- شکل ۱۷-۲- تشکیل مفاصل پلاستیک در حالت‌های حدی (اتصالات WUFB) ۳۸
- شکل ۱۸-۲- تشکیل مفاصل پلاستیک در حالت‌های حدی (اتصالات WCPF) ۳۸
- شکل ۱۹-۲- تشکیل مفاصل پلاستیک در حالت‌های حدی (اتصالات RBS) ۳۸
- شکل ۱-۳- (a) پلان مدل‌های تحلیلی (b) نمای مدل‌های تحلیلی ۴۱
- شکل ۲-۳- نمودارانتخاب روش تحلیل لرزه‌ای بر اساس آیین نامه ASCE 7-05 ۴۴
- شکل ۳-۳- موقعیت حذف ستون در سازه - (a) پلان - (b) نمای ساختمان ۴۶
- شکل ۴-۳- منحنی رفتاری مفاصل پلاستیک در نرم افزار SAP2000 ۴۷
- شکل ۵-۳- پارامترهای موردنیاز برای تعریف رفتار غیر خطی لنگر- دوران اتصالات نیمه صلب ۵۱
- شکل ۶-۳- استفاده از المان Link برای معرفی خصوصیات لنگر- دوران اتصالات نیمه صلب در نرم افزار SAP2000 ۵۳
- شکل ۷-۳- بارگذاری در تحلیل استاتیکی غیرخطی طبق UFC2009 ۵۵
- شکل ۸-۳- بارگذاری در تحلیل دینامیکی غیرخطی طبق UFC2009 ۵۶
- شکل ۹-۳- نمودار تاریخچه زمانی در تحلیل دینامیکی غیرخطی - (a) برای بار ثقلی - (b) برای نیروی عکس‌العمل ۵۶
- شکل ۱-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل FR به ازای حذف ستون میانی ۶۱
- شکل ۲-۴- تغییرشکل سازه و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل FR به ازای

- ۶۱ حذف ستون میانی
شکل ۳-۴- تغییر شکل سازه و نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در لحظه فرو ریزش در مدل FR به ازای
- ۶۲ حذف ستون میانی
شکل ۴-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل FR به ازای حذف ستون گوشه.....
- شکل ۵-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل FR به ازای
- ۶۳ حذف ستون گوشه
شکل ۶-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در لحظه فرو ریزش در مدل FR به ازای حذف
- ۶۳ ستون گوشه
شکل ۷-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR90k_p6 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۸-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR90k_p6 به ازای حذف
- ۶۶ ستون میانی.....
- شکل ۹-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR90k_p12 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۱۰-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR90k_p12 به ازای
- ۶۷ حذف ستون میانی
- شکل ۱۱-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR90k_p12 به ازای
- ۶۷ حذف ستون میانی
- شکل ۱۲-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR90k_p6 به ازای حذف ستون گوشه.....
- شکل ۱۳-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR90k_p12 به ازای حذف ستون گوشه.....
- شکل ۱۴-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR90k_p12 به ازای
- ۷۰ حذف ستون گوشه.....
- شکل ۱۵-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR90k_p12 به ازای
- ۷۰ حذف ستون گوشه.....
- شکل ۱۶-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR70k_p6 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۱۷-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR70k_p12 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۱۸-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR70k_p12 به ازای
- ۷۳ حذف ستون میانی
- شکل ۱۹-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR70k_p12 به ازای
- ۷۳ حذف ستون میانی
- شکل ۲۰-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR70k_p6 به ازای حذف ستون گوشه.....
- شکل ۲۱-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR70k_p12 به ازای حذف ستون گوشه.....
- شکل ۲۲-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR70k_p12 به ازای
- ۷۶ حذف ستون گوشه.....
- شکل ۲۳-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR70k_p12 به ازای
- ۷۶ حذف ستون گوشه.....
- شکل ۲۴-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR50k_p6 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۲۵-۴- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR50k_p12 به ازای حذف ستون میانی.....
- شکل ۲۶-۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR50k_p12 به ازای
- ۷۹ حذف ستون میانی

شکل ۴-۲۷- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون میانی	۷۹
شکل ۴-۲۸- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR50k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۰
شکل ۴-۲۹- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۱
شکل ۴-۳۰- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه	۸۱
شکل ۴-۳۱- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فروریزش در مدل PR50k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه	۸۲
شکل ۴-۳۲- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR25k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۸۳
شکل ۴-۳۳- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون میانی.....	۸۳
شکل ۴-۳۴- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون میانی	۸۴
شکل ۴-۳۵- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون میانی	۸۴
شکل ۴-۳۶- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR25k _p 6 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۵
شکل ۴-۳۷- نمودار ضریب بار- تغییر مکان در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه.....	۸۶
شکل ۴-۳۸- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار UFC در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه	۸۶
شکل ۴-۳۹- تغییر شکل سازه و توزیع مفاصل پلاستیک در تراز بار فرو ریزش در مدل PR25k _p 12 به ازای حذف ستون گوشه	۸۷
شکل ۴-۴۰- نمودار زمان- جابجایی برای مدل FR به ازای حذف ستون میانی.....	۸۸
شکل ۴-۴۱- نمودار زمان- جابجایی برای مدل PR90k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۸۹
شکل ۴-۴۲- نمودار زمان- جابجایی برای مدل PR70k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۹۰
شکل ۴-۴۳- نمودار زمان- جابجایی برای مدل PR50k _p 6 به ازای حذف ستون میانی.....	۹۰
شکل ۴-۴۴- نمودار زمان- جابجایی برای مدل PR25k _p 6 به ازای حذف ستون میانی	۹۱
شکل ۴-۴۵- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل های FR، PR90k _p 6، PR25k _p 6 و PR50k _p 6، PR70k _p 6	۹۲
شکل ۴-۴۶- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل های FR، PR90k _p 12، PR25k _p 12 و PR50k _p 12، PR70k _p 12	۹۳
شکل ۴-۴۷- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون گوشه در مدل های FR، PR90k _p 6، PR25k _p 6 و PR50k _p 6، PR70k _p 6	۹۴
شکل ۴-۴۸- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون گوشه در مدل های FR، PR90k _p 12، PR25k _p 12 و PR50k _p 12، PR70k _p 12	۹۴
شکل ۴-۴۹- نمودار ضریب بار- ظرفیت اتصال در حالت حذف ستون گوشه و نسبت سختی پس از تسلیم ۱۲٪ اتصال	۹۵
شکل ۴-۵۰- نمودار ضریب بار- ظرفیت اتصال در حالت حذف ستون گوشه و نسبت سختی پس از تسلیم ۶٪ اتصال	۹۶
شکل ۴-۵۱- نمودار ضریب بار- ظرفیت اتصال در حالت حذف ستون میانی و نسبت سختی پس از تسلیم	

۹۶ ۱۲٪ اتصال
	شکل ۴-۵۲- نمودار ضریب بار- ظرفیت اتصال در حالت حذف ستون میانی و نسبت سختی پس از تسلیم
۹۶ ۶٪ اتصال
	شکل ۴-۵۳- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل‌های PR90k _p 6
۹۸ PR90k _p 12
	شکل ۴-۵۴- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل‌های PR70k _p 6
۹۸ PR70k _p 12
	شکل ۴-۵۵- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل‌های PR50k _p 6
۹۹ PR50k _p 12
	شکل ۴-۵۶- نمودار ضریب بار-تغییر مکان به ازای حذف ستون میانی در مدل‌های PR25k _p 6
۱۰۰ PR25k _p 12
۱۰۱ شکل ۴-۵۷-مقایسه تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی برای مدل FR به ازای حذف ستون میانی
	شکل ۴-۵۸-مقایسه تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی برای مدل PR90k _p 6
۱۰۱ به ازای حذف ستون میانی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تعریف مسأله

طبق تعریف ارائه شده در آیین‌نامه 7 ASCE [1]، به گسترش خرابی موضعی اولیه از یک المان به المان دیگر که نهایتاً موجب فروپاشی کل سازه و یا قسمت بزرگ و نامتناسبی از آن می‌گردد، خرابی پیشرونده^۱ گفته می‌شود.

خرابی پیشرونده در اثر اعمال بارگذاری غیرعادی به سازه پدیدار می‌گردد. بارهای غیرعادی در واقع بارهایی هستند که مقدار، راستا و مدت‌زمان آن‌ها غیر قابل پیش‌بینی است. برخوردهای تصادفی، عملیات اجرایی غلط، خرابی فونداسیون و تغییرات شدید در فشار هوا (انفجارات) نمونه‌هایی از بارگذاری‌های غیرعادی وارد بر سازه می‌باشند.

۱-۲- ضرورت و سابقه تحقیق

مروری بر گزارشات ثبت شده‌ی مهندسی در آمریکا نشان می‌دهد که در مدت چهار سال (از سال ۱۹۶۸ تا سال ۱۹۷۲)، از ۱۱۰ مورد خرابی ۲۲ مورد، یعنی در حدود ۲۰ درصد کل خرابی‌ها مربوط به خرابی پیشرونده می‌باشند. آمار دیگری از نشریات کانادایی مربوط به ده سال (از سال ۱۹۶۲ تا سال ۱۹۷۲) موجود است که طبق آن از تعداد کل ۴۹۵ خرابی، ۷۵ مورد یعنی در حدود ۱۵ درصد از کل خرابی‌های ثبت شده از نوع خرابی پیشرونده بوده است [2]. خریداران ساختمان‌های بزرگ و طراحان ساختمان‌های جدید نیازمند اطلاع از پتانسیل ساختمان‌های موجود و در دست طراحی برای خرابی پیشرونده و آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل این پدیده هستند. لذا امروزه وقوع خرابی پیشرونده در سازه‌ها در یک انفجار و یا حوادثی از این قبیل به چالشی مهم تبدیل شده است و مسئله ارزیابی و بررسی پتانسیل وقوع خرابی پیشرونده در سازه‌ها را به صورت گسترده‌ای در بین محققین سراسر جهان مطرح نموده است.

بعد از انهدام ساختمان مشهور رونان پوینت^۲ لندن در سال ۱۹۶۸، خرابی پیشرونده مورد توجه مهندسان سازه قرار گرفت (شکل ۱-۱). تلاشها برای بهبود مقاومت سازه در برابر خرابی پیشرونده پس از رویدادهایی نظیر فروریزش ساختمان‌های تجارت جهانی در ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ در آمریکا (شکل ۱-۲) و بمب گذاری ساختمان فدرال آلفرد پی مورا در شهر اوکلاهاما در سال ۱۹۹۵، شدت گرفت بطوریکه کمیته امنیت بین سازمانی^۳ درخواست ارائه یک دستورالعمل برای مقابله با خرابی پیشرونده در ساختمان‌های فدرال را صادر نمود. در پاسخ به این درخواست، دستورالعمل‌های طراحی

1-Progressive collapse

2- Ronan point

3-Interagency committee on security



شکل ۱-۱- خرابی پیشرونده در ساختمان Ronan Point لندن سال ۱۹۶۸

توسط سازمان خدمات عمومی^۴ با نام GSA-2003 [3] برای ساختمان‌های غیرنظامی و وزارت دفاع آمریکا^۵ با نام DOD [4]، برای ساختمان‌های نظامی منتشر شدند.



شکل ۱-۲- خرابی پیشرونده در برج‌های دوقلوی مرکز تجارت جهانی (WTC) شهر نیویورک سال ۲۰۰۱

4- General Services Administration
5- Department Of Defence