بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی عمران

گروه سازه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- سازه

عنوان:

بررسی رفتار قابهای خمشی فولادی تحت تاثیر خرابی پیش رونده

استاد راهنما:

دکتر علی حدیدی

استاد مشاور:

دکترکامبیز کوهستانی

پژوهشگر:

سجاد محمودی

شهریور ۱۳۹۰

با تشکر فراوان از

استاد ارجمند

جناب آقای دکتر علی حدیدی

تقدیم به

پدر و مادرم

University of Tabriz
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering

Dissertation

In partial Fulfillment of the Requirments for the Degree of

Master of Science in Structural Engineering

Assessment of progressive collapse behavior of steel moment frames

Supervisor

Dr. Ali Hadidi

Advisor

Dr. Kambiz Kohestani

By

Sajad Mahmoudi

September 2011

نام خانوادگی: **محمودی** نام: **سجاد**

عنوان پایان نامه: **بررسی رفتار قابهای خمشی فولادی تحت تاثیر خرابی پیش رونده**

استاد راهنما: **دکتر علی حدیدی**

استاد مشاور: **دکتر کامبیز کوهستانی**

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

دانشکده: **مهندسی عمران** تاریخ فارغ التحصیلی: **۱۳۹۰/۰۶/۱۵** تعداد صفحه: **۱۴۰**

کلید واژه: خرابی پیش رونده، روش مسیر بار جایگزین، قابهای خمشی فولادی، تحلیل استاتیکی ،تحلیل دینامیکی

چکیده:

در چند دهه گذشته شاهد حوادثی بودیم که در آنها تحت شرایط بارگذاری غیرعادی شدید بوجود آمده در اثر آتش ، ضربه و یا انفجار ، تعدادی از ساختمان ها در سراسر جهان متحمل خرابی جزئی یا کلی پیش رونده گردیدند.

خرابی پیش رونده در سازه زمانی رخ می دهد که خرابی جزئی(موضعی) یک یا چند عضو اصلی سازه ای منجر به خرابی اعضای مجاور گردیده و در نهایت سبب گسیختگی بخشی از سازه و یا خرابی کل سیستم سازه ای می شود. خرابی پیش رونده یک پدیده دینامیکی بوده که معمولاً سبب ایجاد تغییرشکل های بزرگ در سازه می باشد. در این پدیده سیستم خراب شده برای دوام آوردن، بدنبال مسیرهای بار جایگزین می گردد. یکی از مهمترین مشخصه های خرابی پیش رونده آن است که خرابی نهایی متناسب با خرابی اولیه نمی باشد.

در ایالات متحده، وزارت دفاع(DOD) و اداره خدمات عمومی(GSA)، اطلاعات مفصل و آئین نامه هایی در خصوص روش های تامین مقاومت سازه ها در برابر خرابی پیش رونده منتشر کرده اند که در هر دوی آنها روش مسیر بار جایگزین برای اطمینان از مقاومت کافی سازه در برابر خرابی پیش رونده بکار گرفته شده است. روش مورد استفاده بر مبنای سناریوی حذف ستون جهت بررسی پتانسیل خرابی پیش رونده و ارزیابی توان سازه برای جذب خرابی بوجود آمده می باشد.

در این تحقیق از روش های تحلیل استاتیکی خطی، استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی برای مقایسه و ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده قابهای خمشی فولادی استفاده شده است.

با استفاده از نرم افزار SAP2000 که بر مبنای روش المان محدود عمل می کند و با در نظر گرفتن مقررات آئین نامه وزارت دفاع آمریکا(UFC 4-023-03)، سازه فولادی ۱۰ طبقه در نظر گرفته شده برای این تحقیق، مدلسازی شده و با حذف ناگهانی ستون مورد تحلیل قرار می گیرد(۸ حالت حذف ستون).

تاثیر پارامترهایی مانند موقعیت محل حذف ستون و تعداد ستون های حذف شده(یعنی موقعیت و بزرگی خرابی موضعی) در این ساختمان دارای سیستم قاب خمشی مورد مطالعه قرار گرفته و مهمترین نتایج بشرح ذیل می باشد:

- تحت شرایط عمومی یکسان، با حذف ستون در طبقه فوقانی، تغییرمکان قائم محل حذف ستون و همچنین پتانسیل خرابی پیش رونده نسبت به حذف ستون در طبقه همکف بیشتر می باشد.
- با انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی، مشخص گردید که تشکیل مفاصل پلاستیک از اعضای دارای نسبت تقاضا به ظرفیت(DCR) ماکزیمم آغاز می گردد.
- روشهای تحلیل استاتیکی خطی و استاتیکی غیرخطی نتایج محافظه کارانه ای نسبت به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی بدست می دهند.

فهرست مطالب

چکیده I

فهرست مطالب III

فهرست جداول VIII

فهرست اشکال IX

فصل اول: کلیات ۱

مقدمه ۱

۱-۱ هدف تحقیق ۳

۱-۲ پیشینه تحقیق ٤

فصل دوم: خرابی پیش رونده ۸

مقدمه ۸

۲-۱ تعریف خرابی پیش رونده ۸

۲-۲ نمونه های مهم خرابی پیش رونده ۱۰

۲-۲-۱ ساختمان های با خرابی عمده ۱۰

۲-۲-۱-۱ برج های مرکز تجارت جهانی(WTC) ۱۰

۲-۲-۱-۲ ساختمان Ronan Point ۱۳

۲-۲-۱-۳ ساختمان هتل Kansas City ۱٤

۲-۲-۱-٤ ساختمان L'AmbiancePlaza ۱٤

۲-۲-۱-٥ ساختمان Alfred P. Murrah ۱٦

۲-۲-۲ سازه هایی با توانایی ممانعت از خرابی کلی ۱۷

۲-۲-۲-۱ ساختمان Pentagon ۱۷

۲-۲-۲-۲ ساختمان LibertyStreet ۱۳۰ ..... ۱۸

۲-۲-۳ سازه های با طراحی لازم برای مقابله با خرابی پیش رونده ۱۹

۲-۲-۳-۱ برج های Khobar ۱۹

۲-۳ پارامترها و تعاریف خرابی پیش رونده ۲۱

۲-۳-۱ ضریب افزایش دینامیکی(DIF) ۲۱
۲-۳-۲ نسبت تقاضا به ظرفیت(DCR) ۲۲
۲-۳-۳ نرخ کرنش مصالح ۲۲
فصل سوم: پتانسیل خرابی پیش رونده ۲٤
مقدمه ۲٤
۳-۱ خطرات و تهدیدات ۲٤
۳-۱-۱ تعریف خطر ۲۵
۳-۱-۲ تحلیل و ادراک خطر ۲۵
۳-۲ خطرات و بارهای غیر عادی ۲٦
۳-۲-۱ بارهای فشاری ۲۷
۳-۲-۱-۱ انفجار گاز ۲۷
۳-۲-۱-۲ انفجار بمب ۲۸
۳-۲-۲ بارهای ضربه ای ۲۹
۳-۲-۲-۱ ضربه هواپیما ۲۹
۳-۲-۲-۲ ضربه وسائل نقلیه ۳۰
۳-۲-۳ آتش ۳۰
۳-۲-٤ خطای طراحی و اجرا ۳۰
۳-۳ پاسخ سازه ای به بارهای غیرعادی ۳۰
۳-۳-۱ پاسخ ستون ۳۳
۳-۳-۲ پاسخ تیر ۳۱
۳-۳-۳ پاسخ دال ۳۱
۳-۳-٤ پاسخ اتصال ۳۱
۳-۳-۵ توسعه نیروهای زنجیری ۳۲
۳-۳-٦ رفتار سیستم های سازه ای تحت خرابی پیش رونده ۳۳
۳-٤ ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده ۳۳
۳-٤-۱ مقایسه استقلال و وابستگی به نوع تهدید ۳٤
۳-٤-۲ روش طراحی مستقیم ۳۵
۳-٤-۲-۱ روش مسیر بار جایگزین(ALP) ۳۵
۳-٤-۲-۲ روش مقاومت موضعی مشخص ۳٦

۳-٤-۳ روش طراحی غیر مستقیم ۳۷
۳-٤-۳-۱ روش نیروهای همبند(مهاری) ۳۷
۳-٤-٤ ارزیابی سایت ۳۹
۳-٤-٤-۱ کنترل حادثه ۳۹
۳-۵ طراحی نیرومند سازه ها در برابر بارهای شدید ٤۰
۳-۵-۱ فراهم آوردن شکل پذیری ٤۰
۳-۵-۲ فراهم آوردن درجات نامعینی ٤۱
۳-۵-۳ فراهم آوردن مقاومت موضعی..... ٤۱
۳-۵-٤ فراهم آوردن پیوستگی ٤۲
فصل چهارم: تحلیل خرابی پیش رونده..... ٤۳
مقدمه..... ٤۳
٤-۱ روش های تحلیل خرابی پیش رونده ٤۳
٤-۱-۱ تحلیل استاتیکی خطی ٤۳
٤-۱-۲ تحلیل استاتیکی غیرخطی..... ٤٤
٤-۱-۳ تحلیل دینامیکی خطی ٤۵
٤-۱-٤ تحلیل دینامیکی غیرخطی(تاریخچه زمانی) ٤۵
٤-۲ نرم افزارهای متداول برای تحلیل خرابی پیش رونده..... ٤٦
٤-۲-۱ نرم افزارهای SAP2000,ETABS, PERFORM 3D..... ٤۷
٤-۲-۲ نرم افزارFLEX ٤۷
٤-۲-۳ نرم افزارLS-DYNA ٤۷
٤-۲-٤ نرم افزارELS ٤۸
٤-۳ آئین نامه ها و استانداردها ٤۸
٤-۳-۱ استاندارد های انگلستان(BS) ٤۸
٤-۳-۲ آئین نامه اداره خدمات عمومی آمریکا(GSA 2003) ٤۸
٤-۳-۳ آئین نامه وزارت دفاع آمریکا (DOD یا UFC) ٤۹
٤-۳-٤ انستیتوی ملی استاندارد و تکنولوژی آمریکا(NIST) ٤۹
٤-۳-۵ آئین نامه انجمن مهندسان عمران آمریکا(ASCE) ٤۹
٤-۳-٦ آئین نامه انجمن بتن آمریکا(ACI 318) ۵۰
٤-۳-۷ آئین نامه ساختمانی شهر نیویورک(NYC) ۵۰

٤-٣-٨ آئین نامه Eurocode ٥٠
٤-٣-٩ آئین نامه ملی ساختمان کانادا(NBCC) ٥٠
٤-٣-١٠ مقایسه ما بین استراتژی آئین نامه ها..... ٥٠
٤-٣-١١ مقایسه ترکیبات بارگذاری آئین نامه ها..... ٥٢
فصل پنجم: مدلسازی و تحلیل..... ٥٣
مقدمه..... ٥٣
٥-١ مدلسازی..... ٥٤
٥-١-١ مشخصات هندسی مدل..... ٥٤
٥-١-٢ جزئیات بارگذاری و سازه ای..... ٥٥
٥-١-٣ مشخصات مصالح..... ٥٥
٥-٢ تحلیل و طراحی سازه ٥٦
٥-٣ ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده در قابهای خمشی فولادی..... ٥٧
٥-٣-١ تحلیل استاتیکی خطی (LS) ٥٧
٥-٣-١-١ معیار پذیرش اعضای سازه ای..... ٥٩
٥-٣-١-٢ بارها و ترکیبات بار..... ٥٩
٥-٣-١-٣ پروسه تحلیل استاتیکی خطی..... ٦٠
٥-٣-١-٤ بحث و بررسی نتایج..... ٦١
٥-٣-١-٤-١ ارزیابی رفتار کلی سازه برای حالات مختلف حذف ستون..... ٦٢
٥-٣-١-٤-٢ ارزیابی رفتار تیرها برای حالات مختلف حذف ستون..... ٦٤
٥-٣-٢ تحلیل استاتیکی غیرخطی (NS) ٦٩
٥-٣-٢-١ بار و ترکیبات بار..... ٦٩
٥-٣-٢-٢ پروسه تحلیل استاتیکی غیرخطی(Pushdown Analyses) ٧٠
٥-٣-٢-٣ بحث و بررسی نتایج..... ٧١
٥-٣-٢-٣-١ حذف تک ستون گوشه طبقه همکف(COL1-G) ٧١
٥-٣-٢-٣-٢ حذف تک ستون میانی طبقه همکف(COL1-V) ٧٥
٥-٣-٢-٣-٣ حذف تک ستون گوشه طبقه پنجم(COL1-T5) ٧٩
٥-٣-٢-٣-٤ حذف تک ستون میانی طبقه پنجم(COL1-V-T5) ٨٢
٥-٣-٢-٣-٥ حذف دو ستون همجوار گوشه طبقه همکف(COL1,2-G) ٨٥
٥-٣-٢-٣-٦ حذف دو ستون همجوار میانی طبقه همکف(COL1,2-V) ٨٨

۵-۳-۲-۳-۷ حذف دو ستون همجوار گوشه طبقه پنجم(COL1,2-T5) ۹۲
۵-۳-۲-۳-۸ حذف دو ستون همجوار میانی طبقه پنجم(COL1,2-V-T5) ۹۵
۵-۳-۲-٤ بررسی باز توزیع نیرو در ستونهای مجاور اعضای حذف شده..... ۹۸
۵-۳-۳ تحلیل دینامیک غیرخطی (ND) ۱۰۲
۵-۳-۳-۱ پروسه تحلیل دینامیکی غیرخطی(Time History Analyses) ۱۰۲
۵-۳-۳-۲ بحث و بررسی نتایج..... ۱۰۳
۵-۳-۳-۲-۱ پاسخ دینامیکی سازه برای حالت حذف تک ستون گوشه طبقه همکف(COL۱-G)..... ۱۰۳
۵-٤ بررسی و جمع بندی نتایج برای سازه مورد مطالعه..... ۱۰۷
۵-٤-۱ تاثیر محل وقوع خرابی جزئی و بزرگی خرابی جزئی بر پتانسیل خرابی پیش رونده..... ۱۰۷
۵-٤-۱-۱ تغییر مکان قائم محل حذف ستون ۱۰۷
۵-٤-۱-۲ دوران مفصل پلاستیک و DCR تیرها..... ۱۰۸
۵-٤-۱-۳ مقاومت حد تسلیم و مقاومت نهایی سازه..... ۱۱۲
۵-٤-۱-٤ مقایسه پتانسیل خرابی پیش رونده..... ۱۱۳
۵-٤-۲ باز توزیع نیرو در ستونهای مجاور اعضای حذف شده..... ۱۱٤
فصل ششم: نتیجه گیری نهایی..... ۱۱۵
٦-۱ نتیجه گیری..... ۱۱۵
٦-۲ پیشنهادات..... ۱۱۷
مراجع..... ۱۱۸
ABSTRACT (چکیده لاتین) ..... A

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۳-۱- خطر مرگ و میر سالیانه(آمار سال ۲۰۰۱)[۱۹۷] ۲۷
جدول ٤-۱- مقایسه استراتژی آئین نامه های مختلف خرابی پیش رونده..... ۵۳
جدول ٤-۲- مقایسه ترکیبات بار آئین نامه های مختلف خرابی پیش رونده..... ٥٤
جدول ٥-۱- مشخصات مربوط به بارگذاری جانبی سازه[۲۱۳] ۵۷
جدول ٥-۲- مشخصات مصالح مورد استفاده در سازه..... ۵۸
جدول ٥-۳- مشخصات مقاطع تیرها و ستون ها ۵۸
جدول ٥-٤- نمونه هایی از تلاش های کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکل..... ٦۰
جدول ٥-٥- ضرایب تشدید بار تحلیل استاتیکی خطی..... ٦۱
جدول ٥-٦- ضرایب تشدید بار بدست آمده(تحلیل LS) ٦۳
جدول ٥-۷- حالات مختلف حذف ستون در سازه..... ٦۳
جدول ٥-۸-اطلاعات خروجی تحلیل استاتیکی خطی..... ٦٥
جدول ٥-۹- ضرایب تشدید بار بدست آمده(تحلیل NS) ۷۲
جدول ٥-۱۰- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۷٦
جدول ٥-۱۱- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۸۰
جدول ٥-۱۲- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۸۳
جدول ٥-۱۳- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۸٦
جدول ٥-۱٤- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۸۹
جدول ٥-۱٥- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۹۳
جدول ٥-۱٦- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۹٦
جدول ٥-۱۷- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطوح عملکردی مختلف با تحلیل غیرخطی استاتیکی..... ۹۹
جدول ٥-۱۸- تغییر مکان قائم محل حذف ستون..... ۱۱۰
جدول ٥-۱۹- اطلاعات خروجی از تحلیل استاتیکی خطی و تحلیل پوش داون..... ۱۱۱
جدول ٥-۲۰- ضرایب بار و تغییر مکان قائم برای حالات مختلف حذف ستون..... ۱۱٤
جدول ٥-۲۱- مقایسه پتانسیل خرابی پیش رونده برای سازه مورد مطالعه..... ۱۱٥
جدول ٥-۲۲- نیروی محوری ستون مجاور برای حالات مختلف حذف ستون..... ۱۱٦

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل۲-۱- خرابی پیش رونده در سازه..... ۹
شکل ۲-۲- سیستم لوله ای برجهای مرکز تجارت جهانی ۱۱
شکل ۲-۳- عایق کاری ستون های برجهای دوقلو در برابر آتش..... ۱۱
شکل ۲-٤- سیستم تیرچه ای سقف ها..... ۱۲
شکل ۲-٥- فروریختن گوشه ساختمان Ronan Point پس از انفجار گاز در طبقه ۱۸..... ۱٤
شکل ۲-٦- آوار بجا مانده از خرابی **ساختمان** L'AmbiancePlaza..... ۱٦
شکل ۲-۷- ساختمان Alfred P. Murrah قبل از وقوع خرابی..... ۱۷
شکل ۲-۸- محدوده و گستره خرابی..... ۱۷
شکل ۲-۹- ساختمان پنتاگون قبل و بعد از اصابت هواپیمای بوئینگ به طبقه اول..... ۱۹
شکل ۲-۱۰- خرابی جزئی ساختمان خیابان ۱۳۰ لیبرتی به علت اصابت آوار به طبقه ۲۳..... ۲۰
شکل ۲-۱۱- اتصال قطعات پیش ساخته به یکدیگر..... ۲۱
شکل ۲-۱۲- خرابی جزئی در یکی از برجهای Khobar و خطوط تسلیم دیوار داخلی..... ۲۲
شکل ۲-۱۳- محدوده نرخ کرنش تعدادی از بارهای دینامیکی..... ۲٤
شکل ۳-۱-نمودار تاریخچه زمانی نمونه انفجار گاز[۲۰۲] ۲۹
شکل ۳-۲- نمودار تاریخچه زمانی انفجار بمب ۳۰
شکل ۳-۳- توسعه نیروهای زنجیری در یک قاب دو دهانه..... ۳٤
شکل ۳-٤- فلوچارت روش های ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده در سازه ها..... ۳٦
شکل ۳-٥- توزیع بارها ازطریق ایجاد پل بر ناحیه ستون حذف شده ۳۷
شکل ۳-٦- نیروهای همبند برای ارزیابی توان سازه بر توسعه واکنش زنجیری..... ۳۹
شکل ۳-۷- نیروهای همبند افقی و قائم در سازه..... ٤۰
شکل ۳-۸- فواصل ایمنی حداقل و موانع مورد استفاده برای کاهش احتمال خطر ٤۱
شکل ٥-۱- قاب خمشی فولادی ٤ دهانه ۱۰ طبقه ٥٦
شکل ٥-۲- پلان تیرریزی طبقه اول سازه..... ٥٦
شکل ٥-۳- رفتار غیرخطی کنترل شونده توسط نیرو..... ٦۰
شکل ٥-٤- رفتار غیرخطی کنترل شونده توسط تغییرشکل..... ٦۰

شکل ۵-۵- بارهای ثقلی وارد بر دهانه های متاثر از خرابی و سایر دهانه ها(تحلیل LS) ٦٢
شکل ۵-٦- حذف تک ستون الف) گوشه طبقه اول ب) میانی طبقه اول ج) گوشه طبقه پنجم د) میانی طبقه پنجم..... ٦٣
شکل ۵-۷- حذف دو ستون همجوار الف) گوشه طبقه اول ب) میانی طبقه اول ج) گوشه طبقه پنجم د) میانی طبقه پنجم..... ٦٤
شکل ۵-۸- الف)مقادیر DCR برای حالت حذف تک ستون گوشه طبقه اول ب) مقادیر DCR برای حالت حذف تک ستون میانی طبقه اول..... ٦٦
شکل ۵-۹- الف)مقادیر DCR برای حالت حذف تک ستون گوشه طبقه پنجم ب) مقادیر DCR برای حالت حذف تک ستون میانی طبقه پنجم..... ٦٧
شکل ۵-۱۰- الف)مقادیر DCR برای حالت حذف دو ستون گوشه طبقه اول ب) مقادیر DCR برای حالت حذف دو ستون میانی طبقه اول..... ٦٨
شکل ۵-۱۱- الف)مقادیر DCR برای حالت حذف دو ستون گوشه طبقه پنجم ب) مقادیر DCR برای حالت حذف دو ستون میانی طبقه پنجم..... ٦٩
شکل ۵-۱۲- نمودار مقایسه تعداد DCR≥۲.۱ برای حالات مختلف حذف ستون..... ۷۰
شکل ۵-۱۳- DCR متوسط تیرها برای حالات مختلف حذف ستون..... ۷۰
شکل ۵-۱٤- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۷٤
شکل ۵-۱۵- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۷۵
شکل ۵-۱٦- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۷۷
شکل ۵-۱۷- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۷۹
شکل ۵-۱۸- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۸۱
شکل ۵-۱۹- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۸۳
شکل ۵-۲۰- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۸٤
شکل ۵-۲۱- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۸۵
شکل ۵-۲۲- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۸۷
شکل ۵-۲۳- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۸۸
شکل ۵-۲٤- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۹۱
شکل ۵-۲۵- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۹۰
شکل ۵-۲٦- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۹٤
شکل ۵-۲۷- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۹۵
شکل ۵-۲۸- الف)دوران مفاصل پلاستیک در گام نهایی تحلیل ب) مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک در طی تحلیل..... ۹۷
شکل ۵-۲۹- نمودار ضریب بار-تغییرمکان قائم..... ۹۹
شکل ۵-۳۰- نیروی محوری ستون ٤ طبقه اول..... ۱۰۰
شکل ۵-۳۱- نیروی محوری ستون ۲ طبقه اول..... ۱۰۰
شکل ۵-۳۲- نیروی محوری ستون ٤ طبقه پنجم..... ۱۰۱
شکل ۵-۳۳- نیروی محوری ستون ۲ طبقه پنجم..... ۱۰۱
شکل ۵-۳٤- نیروی محوری ستون ۳ طبقه اول..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۵- نیروی محوری ستون ۲ طبقه اول ۱۰۲
شکل ۵-۳٦- نیروی محوری ستون ۳ طبقه پنجم..... ۱۰۳

شکل ۵-۳۷- نیروی محوری ستون ۲ طبقه پنجم.....۱۰۳
شکل ۵-۳۸- تابع بار دینامیکی.....۱۰٤
شکل ۵-۳۹- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در گام نهایی تحلیل(ND) ۱۰٦
شکل ۵-۴۰- تاریخچه زمانی تغییرمکان قائم محل حذف ستون.....۱۰٦
شکل ۵-۴۱- تاریخچه زمانی نیروی محوری ستون همجوار.....۱۰۷
شکل ۵-۴۲- تغییرات نیروی محوری در ۳ گام از تحلیل دینامیکی.....۱۰۸
شکل ۵-۴۳- تغییرات لنگر خمشی در ۳ گام از تحلیل دینامیکی..... ۱۰۹
شکل ۵-٤۵- مقایسه میانگین DCR≥۲.۱ برای حالات مختلف حذف ستون.....۱۱۲
شکل ۵-٤٦- DCR ماکزیمم تیرها برای حالات مختلف حذف ستون..... ۱۱۲
شکل ۵-٤۷- DCR متوسط تیرها در ارتفاع سازه(برای حالات حذف در طبقه پنجم) ۱۱۳
شکل ۵-٤۸- DCR متوسط تیرها در ارتفاع سازه(برای حالات حذف در طبقه اول) ۱۱۳

فصل اول

کلیات

مقدمه

در طی چند دهه اخیر موارد مهمی از وقوع خرابی در سازه ها را می توان یافت که منجر به خسارات اقتصادی سنگین و از دست رفتن جان انسان ها گردیده است. یکی از مکانیسم های خرابی در سازه ها، خرابی پیش رونده می باشد که در آن یک یا چند عضو سازه ای در اثر ضربه یا عوامل دیگر بطور آنی فروریخته و سازه بطور پیش رونده ای خراب می شود بازتوزیع بارهای ناحیه خراب شده سبب خرابی دیگر اجزای سازه ای شده و در نتیجه خرابی کل سازه و یا بخش مهمی از آن حاصل می گردد.

طی چهل سال گذشته بارهای غیر عادی ناشی از حوادث طبیعی، طراحی ناقص، خطاهای اجرا و حملات تروریستی باعث بوجود آمدن خرابی پیش رونده در تعدادی از سازه ها گردیده است. خرابی ساختمان Ronan Point شهر لندن درسال ۱۹۶۸ در اثر انفجار گاز و حادثه ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ در شهر نیویورک که در آن برجهای مرکز تجارت جهانی ویران شدند از مهمترین نمونه های این نوع خرابی به شمار می روند.

در طی این سالها مهندسان سازه بدنبال یافتن علل و چگونگی وقوع خرابی پیش رونده در ساختمان و راههای پیش بینی و پیش گیری از این پدیده و تدوین آیین نامه های لازم برای داشتن مقاومت کافی سازه ای در برابر این نوع خرابی بوده اند.

آئین نامه های ساختمانی سنتی، برای طراحی سازه ها در برابر خرابی پیش رونده، اغلب بطور غیر مستقیم سطح معینی از یکپارچگی و شکل پذیری را پیشنهاد می نمایند. امروزه آئین نامه های مخصوص طراحی سازه در مقابل خرابی پیش رونده توسعه پیدا نموده اند که در آنها روش های طراحی مستقیم و غیر مسقیم در برابر خرابی پیش رونده پیشنهاد شده است(GSA[1],DOD[2]).

با توجه به اهمیت بسیار زیاد این نوع خرابی برای برخی سازه ها، محققین بسیاری به مطالعه در مورد عوامل بوجودآورنده خرابی پیش رونده، رفتار سازه یا اجزای سازه ای پس از وقوع خرابی جزئی ، روش های نیرومندسازی سازه، مطالعه موردی ساختمان ها و غیره پرداخته اند.

همانطوریکه اشاره نمودیم خرابی جزئی بخشی از سازه ممکن است منجر به خرابی پیش رونده در سازه گردد، با توجه به افزایش ساختمان سازی در کشور و هچنین افزایش خطر وقوع بارهای غیر عادی در سازه ها از جمله احتمال انفجار گاز در ساختمان، احتمال اصابت اتومبیل یا هواپیما به ساختمان، احتمال آتش سوزی و یا زلزله و ... که هرکدام می توانند خرابی بخشی از سازه را بدنبال داشته باشند ضرورت تحقیق در زمینه این نوع خرابی و گردآوری مبانی تحلیل و طراحی سازه ها در برابر خرابی پیش رونده احساس می شود.

در ادامه این فصل ، هدف تحقیق و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل دوم به تعریف خرابی پیش رونده پرداخته و نمونه هایی از مهمترین خرابی ها عنوان شده و سپس پارامترها و تعاریف مربوط به این موضوع آورده شده است.

در فصل سوم به بحث در مورد مفهوم خطر پرداخته شده و سپس تهدیدات و بارهای غیر عادی مورد اشاره قرار گرفته و روش های مختلف ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده در سازه ها آورده شده است و همچنین عوامل موثر بر طراحی نیرومند سازه ها در برابر بارهای غیرعادی بیان گردیده است.

در فصل چهارم مزایا و معایب روش های تحلیل استاتیکی و دینامیکی خطی و غیر خطی و همچنین نرم افزارها و آئین نامه مربوطه آورده شده است.

---

[1] General Service Administration
[2] Department of Defence

در فصل پنجم با انجام مدلسازی و تحلیل سازه ای با استفاده از تحلیل های استایکی و دینامیکی، تحقیقات در مورد تاثیر محل و بزرگی خرابی جزئی بر خرابی کل سازه انجام شده و نتایج بدست آمده مورد بحث و ارزیابی قرار گرفته است.

و در نهایت فصل ششم، نتیجه گیری کلی و پیشنهادات را شامل می شود.

۱-۱ هدف تحقیق

رفتار سازه های خمشی فولادی در برابر نیروهای جانبی ناشی از زلزله و باد در طول سالیان گذشته بسیار مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است و با توجه به اهمیت زیاد خرابی پیش رونده و تلفات ناشی از آن در سازه های بلند و مهم ، لزوم ارزیابی دقیق رفتار این سازه ها احساس می شود.

یکی از مهمترین روش های توصیه شده توسط آئین نامه ها برای ارزیابی پتانسیل خرابی پیش رونده در سازه ها، روش مسیر بار جایگزین(ALP[1]) می باشد که در آن عضو یا اعضایی از سازه(معمولاً ستونها) حذف گردیده و توانایی دیگر اجزای سازه ای و نیرومندی کلی سازه برای مقاومت در برابر این خرابی جزئی بررسی می گردد.

در این تحقیق برای ارزیابی رفتار سازه های خمشی فولادی از روش مسیر بار جایگزین(ALP) استفاده شده است. هدف این تحقیق جواب به این سوال است که محل وقوع خرابی جزئی و بزرگی خرابی جزئی چه تاثیری بر پتانسیل خرابی پیش رونده در سازه دارد و در چه صورتی خرابی جزئی (موضعی) در یک سازه می تواند منجر به خرابی کلی در آن سازه بگردد؟

---

[1] Alternate Load Path(ALP)

۲-۱ پیشینه تحقیق

پس از خرابی ساختمان ۲۲ طبقه Ronan Point شهر لندن درسال ۱۹۶۸، اولین بار توجه مهندسان به مسئله خرابی پیش رونده در سازه ها جلب شد[۱]. پس برای اولین بار مقررات ساختمانی بریتانیا[۲] برای ممانعت از خرابی نامتناسب در سازه ها وضع گردید. اصلاح شده این مقررات در آیین نامه مخصوص طراحی BS5950 [۴,۳] نمود پیدا کرد که مشتمل بر (i) روش نیروهای گرهی با فرض ممانعت از خرابی نامتناسب، (ii) روش حذف ستون برای مواردی که روش قبلی رضایت بخش نباشد و (iii) روش المان کلیدی قابل کاربرد برای المانهایی که از حدود خرابی روش حذف ستون فراتر برود، می باشد.

پس از این حادثه کارهای تحقیقی فراوانی از زوایای مختلف به بررسی خرابی پیش رونده در سازه ها پرداختند. که تحقیقات Breen JE و Taylor DA وPopoff AJ در سال ۱۹۷۵ از آن جمله است [۵-۸].در فواصل سالهای ۱۹۷۳ تا ۱۹۷۶ مقالات بسیاری در مورد بارهای غیر عادی و طراحی در برابر این بارها به چاپ رسید[۹-۱۲]. یک سال بعد Ellingwood BR و همکارش به یافته هایی در مورد تاثیر یکپارچگی سازه بر مقاومت آن در برابر خرابی پیش رونده رسیدند[۱۳-۱۴] . در سال ۱۹۸۳ اولین نرم افزار با قابلیت ارزیابی خرابی پیش رونده توسط GroosوMcGuire ارائه گردید[۱۵].

Pekau OA و همکارانش در فواصل سالهای ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸ در مورد خرابی و اثرات ناشی از آن بر دیوارهای برشی پیش ساخته مطالعه نمودند[۱۶-۱۸]. Krawinkler H به بررسی مدل خرابی تجمعی در سازه های فولادی تحت تاثیر زلزله پرداخت[۱۹]. Pretlove و همکارانش در سال ۱۹۹۱ به تحقیق در مورد تاثیرات دینامیکی این نوع خرابی پرداخت[۲۰]. Sucuoglu H و همکارانش ۳ سال بعد به بررسی مکانیسم های مقاومت سازه های بتن آرمه با خرابی ستون در موقعیت های مختلف پرداختند[۲۱]. در دهه ۹۰ نیروی زمینی آمریکا و وزارت دفاع آمریکا (DOD)تحقیقاتی در مورد مقاومت سازه ها در مقابله با انفجار را آغاز نمودند[۲۲-۲۴].

در سال ۱۹۹۵ با وقوع حادثه در ساختمان Alfred P. Murrah در شهر اوکلاهمای آمریکا بار دیگر مسئله خرابی پیش رونده مورد توجه بیشتر محققین قرار گرفت. یک سال بعد از این حادثه آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا(FEMA) نشریه ایی منتشر کرد که در آن توصیه هایی برای کاهش خرابی