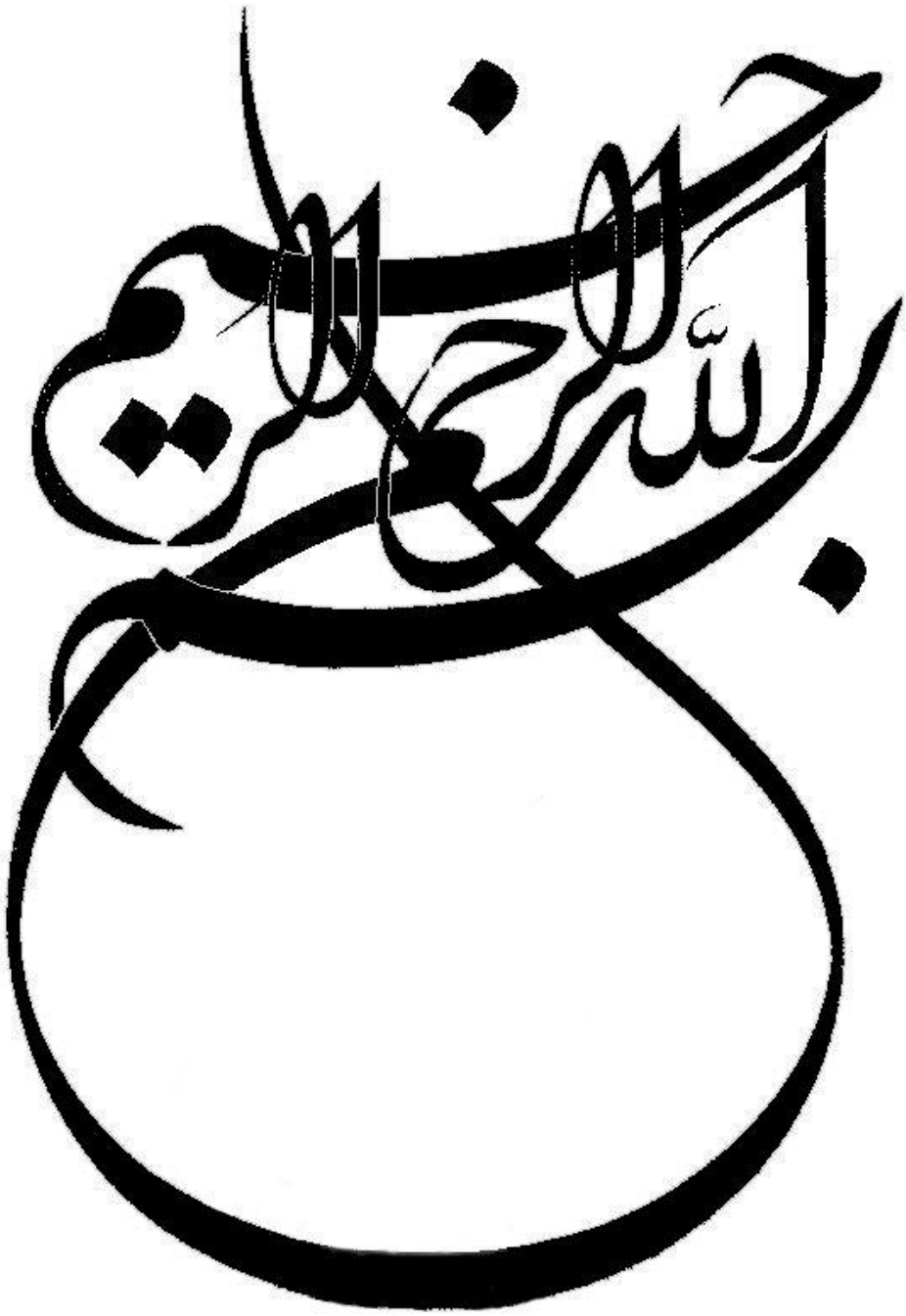

بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه علم و فرهنگ

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه

بررسی غیرخطی آسیب پذیری سازه های قاب خمشی بتن آرمه در برابر خرابی پیشرونده

نگارش

محمد حسین حمیدی شاد

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا سروقدمقدم

استاد مشاور

دکتر علی نیکخو

خرداد ۱۳۹۰

چکیده

در اثرضربات تصادف و حوادث مشابه ممکن است که یک عضو اصلی یا اعضای کلیدی سازه شکسته شوند و در صورتی که دیگر اعضا نتوانند به کمک این المان های ناقص بیایند، شکست به سمت تخریب اعضای مجاور گسترش یافته و در نهایت کل سازه یا قسمتی از آن فرو می ریزد.

پس از حوادث صورت گرفته در سالهای گذشته که در آنها تعداد کشته ها نه بدلیل انفجار وارده به سازه ، بلکه به دلیل اثرات تخریب پیشرونده بر سازه بود، تحقیقات و مطالعات گسترده ای به منظور یافتن راهکارهایی برای مقابله با این رویداد انجام شد و دو راه طراحی غیر مستقیم (روش Tie Forces) و مستقیم (روش AP و ELR) پیشنهاد شد. در روش مسیر جایگزین(AP) که کاربردی ترین و معروفترین روش ارزیابی سازه در برابر این رویداد است از سه روش تحلیل استاتیکی خطی، استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی استفاده می شود. در این تحقیق پتانسیل سازه های بتن آرمه با کاربری مسکونی از نظر تخریب پیشرونده در سه مرحله مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در مرحله اول با استفاده از ۸۰ سازه دوبعدی و در مرحله دوم از ۵۰ سازه سه بعدی با تعداد طبقات، دهانه و طولهای متفاوت، طبق آنچه که در آیین نامه های GSA و UFC آمده است به بررسی قابلیت مقاومت سازه در برابر خرابی پیش رونده و میزان تاثیر عوامل گوناگون بر سازه، بوسیله روش تحلیل استاتیکی غیر خطی پرداخته خواهد شد و در مرحله آخر به بررسی اثرات لرزه ای حذف یک ستون در نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه پرداخته میشود.

کلمات کلیدی :

بتن آرمه، خرابی پیش رونده، تحلیل استاتیکی غیرخطی، ضریب مقاومت، تحلیل تاریخچه زمانی

فهرست

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تعریف خرابی پیشرونده ۴

۱-۳ دلایل ایجاد تخریب پیشرونده ۷

۱-۳-۱ ضربات ناشی از تصادف ۷

۱-۳-۲ ساخت و سازهای معیوب ۷

۱-۳-۳ شکست پی ۸

۱-۳-۴ تغییرات شدید در فشار هوا ۸

۱-۳-۵ آتش سوزی ۸

۱-۴ بررسی خرابی در انواع سازه های بتن آرمه ۹

۱-۴-۱ سازه های بتنی پیش ساخته ۹

۱-۴-۲ سازه های بتنی درجا ۹

۱-۵ هدف از تحقیق ۱۰

۱-۶ روش تحقیق ۱۰

۱-۷ معرفی فصل های پایان نامه ۱۱

فصل دوم : ادبیات فنی

۲-۱ مروری بر برخی از تحقیقات صورت گرفته ۱۳

۲-۲ مروری بر آیین نامه GSA ۱۹

۲-۲-۱ روش های تحلیل و طراحی جهت کاهش دادن خرابی پیشرونده ۱۹

۲-۲-۲ محدودیت های پذیرش و تحلیل ۲۰

۲-۳ مروری بر آیین نامه UFC ۲۲

۲-۳-۱ انواع سطوح ایمنی سازه ۲۲

۲-۳-۲ انواع روش ارزیابی سازه ۲۳

۲-۳-۲-۱ نیروی کششی ۲۳

۲-۳-۲-۲ مسیرجایگزین ۲۴

۲-۳-۲-۲-۱ انواع روش های تحلیل ۲۶

۲-۳-۲-۲-۱-۱ روش استاتیکی خطی ۲۶

۲-۳-۲-۲-۱-۲ روش استاتیکی غیرخطی ۲۸

۲-۳-۲-۲-۱-۳ روش دینامیکی غیرخطی ۳۰
۲-۳-۲-۳ افزایش مقاومت موضعی..... ۳۱
۲-۴ تحلیل خرابی پیشرونده سازه بتن آرمه تحت بار انفجار..... ۳۳
۲-۴-۱ نتایج روش استاتیکی خطی ۳۵
۲-۴-۲ نتایج روش استاتیکی غیرخطی..... ۳۵

فصل سوم : معرفی مدل ها و روش تحلیل و طراحی

۳-۱ مفصل پلاستیک ۳۸
۳-۲ مدل های دو بعدی ۳۸
۳-۲-۱ مقاطع بکار رفته در مدل ها ۳۹
۳-۲-۲ مشخصات مصالح و بارهای ثقلی ۴۰
۳-۲-۳ بارگذاری جانبی ۴۱
۳-۳ مدل های سه بعدی ۴۲
۳-۳-۱ انواع مدل بررسی شده ۴۳
۳-۳-۲ چگونگی اعمال بار زلزله در نرم افزار..... ۴۴
۳-۴ تحلیل خرابی پیشرونده ۴۵

فصل چهارم : نتایج تحلیل ها

۴-۱ نتایج تحلیل سازه های دو بعدی ۵۲
۴-۱-۱ نتایج سازه های ۵ طبقه ۵۲
۴-۱-۲ نتایج سازه های ۱۰ طبقه..... ۵۴
۴-۱-۳ نتایج سازه های ۱۵ طبقه ۵۶
۴-۱-۴ نتایج سازه های ۲۰ طبقه ۵۷
۴-۱-۵ نتایج بدست آمده از نمودارهای سازه های دوبعدی ۵۹
۴-۲ نتایج تحلیل سه بعدی ۶۰
٤-۲-۱ نتایج سازه های طراحی شده با بار مرده ۵۰۰ کیلوگرم ۶۱
۴-۲-۲ نتایج سازه های طراحی شده با بار مرده ۸۰۰ کیلوگرم ۶۲
٤-۲-۳ نتایج سازه های سبک سازی شده ۶۳
۴-۲-۴ نتایج سازه ها با حذف ستون میانی..... ۶۵
۴-۲-۵ بررسی تغییر مکان نسبی عمودی ۶۷
۴-۲-۶ بررسی سازه نامنظم ۷۱

۴-۲-۷ نتایج کلی ۷۳
۴-۳ ضریب مقاومت بر اساس آیین نامه UFC ۷۷

فصل پنجم : تحلیل تاریخچه زمانی

۵-۱ مقدمه ۸۱
۵-۲ مبانی آیین نامه ای..... ۸۲
۵-۳ نرم افزار Seismosignal ۸۳
۵-۴ تعیین ضریب شتاب نگاشت ها ۸۶
۵-۵ نتایج سازه ۱۰ طبقه با دهانه های شش متری ۸۹
۵-۶ نتیجه گیر ی ۹۳

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۹۶
۶-۱ پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۹۸

فصل هفتم : مراجع

مراجع ۹۹

فهرست جداول

۲-۱ مشخصات انواع روشهای تحلیل..... ۱۸
۲-۲ تقسیم بندی تلاشها از نظر کنترل شوندگی..... ۲۵
۲-۳ ضرائب افزایش بار در تحلیل استاتیکی خطی ۲۸
۲-۴ ضرائب افزایش بار در تحلیل استاتیکی غیرخطی.....۲۹
۲-۵ ضوابط پذیرش تیرها در تحلیل استاتیکی خطی..... ۳۲
۳-۱ مقاطع بکار رفته در سازه ۵ طبقه ۳۹
۳-۲ مقاطع بکار رفته در سازه ۱۰ طبقه..... ۳۹
۳-۳ مقاطع بکار رفته در سازه ۱۵ طبقه..... ۴۰
۳-۴ مقاطع بکار رفته در سازه ۲۰ طبقه..... ۴۰
۴-۱ مقاومت سازه های۱۰ و ۱۵ طبقه در دوحالت حذف ستون داخلی و پیرامونی..... ۶۷
۴-۲ مقاومت سازه های طراحی شده با بار مرده ۵۰۰کیلوگرم بر متر مربع..... ۷۳
۴-۳ مقاومت سازه های طراحی شده با بار مرده ۸۰۰کیلوگرم بر متر مربع..... ۷۴
۴-۴ مقاومت سازه های مختلف با حذف ستون داخلی..... ۷۴
۴-۵ مقاومت سازه های سبک سازی شده..... ۷۴
۴-۶ مقایسه ضرائب بار و مقاوم بین دو آیین نامه UFC و GSA ۷۸
۴-۷ میزان چرخش پلاستیک انواع مقطع و ضریب افزایش بار متناسب با آن..... ۷۸
۵-۱ مشخصات انواع شتاب نگاشت..... ۸۵
۵-۲ تعیین ضریب تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی..... ۸۷
۵-۳ مقادیر برش پایه در تحلیل های مختلف ۹۲
۵-۴ تعداد و چگونگی مفاصل پلاستیک..... ۹۳

فهرست شکل ها

۱-۱ ساختمان Ronan Point ۲

۱-۲ ساختمان Alfred P.Murrah ۳

۱-۳ پایدار ماندن سازه با حذف المان باربر..... ۵

۲-۱ نمودار جابجایی زمان انواع تحلیل در تحقیق مرجانیشویلی..... ۱۴

۲-۲ پلان سازه بررسی شده در تحلیل تسای ۱۴

۲-۳ نمای داخلی هتل San diego ۱۵

۲-۴ ممان تیر بعد از حذف ستون..... ۱۶

۲-۵ محدوده خرابی در سازه طبق GSA ۲۰

۲-۶ نیروهای کششی سازه..... ۲۳

۲-۷ طریقه محاسبه فاصله ها در آیین نامه UFC ۲۴

۲-۸ محل ستون های بحرانی..... ۲۵

۲-۹ محل ستونهای بحرانی در طبقات بدون کنترل..... ۲۵

۲-۱۰ روش صحیح حذف ستون ۲۶

۲-۱۱ چگونگی اعمال انواع ترکیب بار ۲۷

۲-۱۲ مقادیر DCR سازه ۱۰ طبقه در اثر حذف ستون کناری..... ۳۴

۲-۱۳ مقادیر DCR در سازه ۵ طبقه با دهانه ۹ متری در اثر حذف ستون داخلی..... ۳۴

۲-۱۴ نمودار جابجایی-نیرو در ساختمان ۵ طبقه با دهانه ۶ متری و حذف ستون کناری سازه..... ۳۴

۲-۱۵ نمودار جابجایی-نیرو در ساختمان ۱۰ طبقه و حذف ستون داخلی سازه..... ۳۵

۳-۱ نمای سازه ۶-۴-۵ ..... ۳۹

۳-۲ نمای سازه ۶-۶-۱۰..... ۴۲

۳-۳ پلان سازه نامتقارن..... ۴۴

۳-۴ ضریب زلزله طبق آیین نامه UBC..... ۴۴

۳-۵ بار زنده جهت تحلیل استاتیکی و طراحی..... ۴۶

۳-۶ بار زنده جهت تحلیل Push Down..... ۴۶

۳-۷ روند تعریف ترکیب بار ۴۷

۳-۸ مفاصل تشکیل شده در یکی از سازه ها..... ۴۸

۳-۹ طریقه ی نشان دادن بار روی تیرها در نرم افزار..... ۴۸

۳-۱۰ نمایش بار اعمالی روی سازه..... ۴۹

۳-۱۱ مشخص نمودن بار اعمالی روی تیر ۴۹
۳-۱۲ نحوه مشخص نمودن بار مرده روی تیر ۵۰
۴-۱ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۵ طبقه ۵۱
۴-۲ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۰ طبقه ۵۴
۴-۳ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۵ طبقه ۵۶
۴-۴ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۲۰ طبقه ۵۷
۴-۵ پلان سازه سه بعدی ۶۰
۴-۶ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۰ طبقه با بار مرده ۵۰۰ کیلوگرم ۶۱
۴-۷ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۵ طبقه با بار مرده ۵۰۰ کیلوگرم ۶۱
۴-۸ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۰ طبقه با بار مرده ۸۰۰ کیلوگرم ۶۲
۴-۹ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۵ طبقه با بار مرده ۸۰۰ کیلوگرم ۶۲
۴-۱۰ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۰ طبقه سبک سازی شده ۶۳
۴-۱۱ نمودار خرابی- نیرو سازه های ۱۵ طبقه سبک سازی شده ۶۴
۴-۱۲ نمودار خرابی- نیرو سازه های سبک سازی شده با طول دهانه ۶ متری ۶۴
۴-۱۳ نمودار خرابی- نیرو سازه های سبک سازی شده با طول دهانه ۳ متری ۶۵
۴-۱۴ نمودار خرابی – نیرو سازه ها با حذف ستون داخلی ۶۵
۴-۱۵ نمودار خرابی – تغییر مکان نسبی انواع سازه ۶۸
۴-۱۶ نمودار خرابی – نیرو سازه های نامنظم ۱۵ طبقه ۷۱
۴-۱۷ نمودار خرابی – نیرو سازه های نامنظم ۱۰ طبقه ۷۲
۴-۱۸ پلان سازه نامنظم ۷۲
۴-۱۹ ضریب مقاومت انواع سازه مورد بررسی قرار گرفته ۷۷
۵-۱ پلان سازه مورد بررسی قرار گرفته در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۸۱
۵-۲ نرم افزار Seismosignal ۸۳
۵-۳ نمودارهای شتاب-زمان زلزله های بکار گرفته شده ۸۵
۵-۴ زلزله با حداکثر شتاب g ۸۵
۵-۵ نمودار طیف نرم افزار Seismosignal ۸۶
۵-۶ نمودار شبه شتاب طیفی زلزله های استفاده شده ۸۶
۵-۷ طیف ۲۸۰۰ و زلزله های استفاده شده ۸۷
۵-۸ مقایسه نمودار شبه شتاب طیفی آیین نامه و زلزله ها بعد از اعمال ضریب بدست آمده ۸۸

۵-۹ طریقه وارد نمودن شتاب زلزله در نرم افزار SAP ۸۸
۵-۱۰ نحوه ایجاد تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در SAP ۸۹
۵-۱۱ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Corralitos در جهت Y ۹۰
۵-۱۲ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Corralitos در جهت X ۹۰
۵-۱۳ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Altadena در جهت Y ۹۰
۵-۱۴ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Altadena در جهت X ۹۱
۵-۱۵ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Lexington در جهت Y ۹۱
۵-۱۶ نمودار تغییر مکان تحت زلزله Lexington در جهت X ۹۱

فصل اول

مقدمه

۱–۱ مقدمه

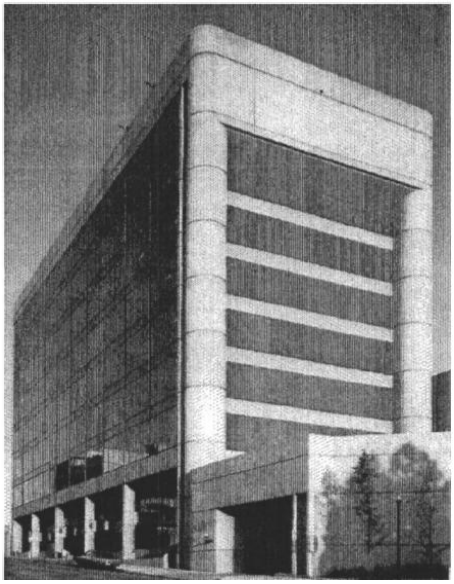
امنیت سازه همیشه در طراحی پروژه های مهندسی عمران برای مهندسان امری کلیدی بوده است. یکی از مکانیزم هایی که می تواند منجر به شکست سازه شود و در دهه گذشته توجه زیادی به آن شده است، تخریب پیشرونده می باشد که در آن یک یا چند عضو سازه ناگهان به علت تصادف یا حمله تروریستی یا غیره دچار شکست شده و ساختمان به شکل پیش رونده ای دچار فرو ریزش می گردد.

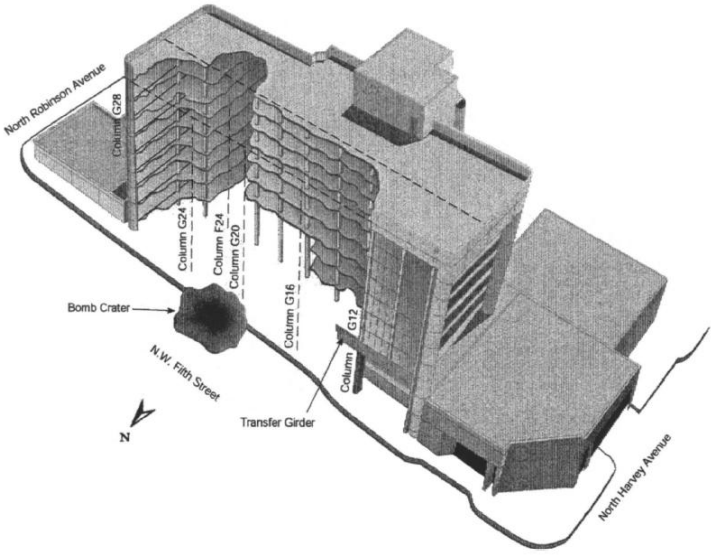
در طول دو دهه اخیر بسیاری از ساختمانهای مهم اقتصادی، دولتی، صنعتی و همچنین ساختمانهای مسکونی هدف حملات تروریستی بوده اند. اما اولین حادثه ای که توجه مهندسان را نسبت به خرابی های ناشی از انفجار جلب نمود حادثه برج Ronan Point انگلستان(شکل ۱–۱) در سال ۱۹٦۸ میباشد. در این حادثه انفجار گاز در طبقه ۱۸ این برج ۲۲ طبقه که از نوع بتنی پیش ساخته بود باعث خرابی بخش گوشه بسیاری از طبقات آن شد. هرچند این اتفاق یک حادثه غیر عمد بود اما بیشتر انفجارها توسط بمب گذاری و انفجار وسایل نقلیه می باشد.

شکل ۱–۱ ساختمان Ronan point [۱]

از مهمترین این حوادث می توان به انفجار ماشین در ساختمان مرکز جهانی اقتصاد(WTC) در سال ۱۹۹۳ در نیویورک و ساختمان Samp Song کره جنوبی در سال ۱۹۹۵ و بمب گذاری مقابل ساختمان Alfred P.Murrah آمریکا (شکل ۱–۲) در سال ۱۹۹۵ اشاره نمود. انفجار ساختمان

WTC در طبقه ۲- صورت گرفت که طی آن ٦ نفر کشته و تعداد بسیاری نیز زخمی شدند [۲]. در حالیکه انفجار ساختمان Murrah بسیار گسترده تر بوده و علاوه بر خرابی بخش زیادی از آن منجر به کشته شدن ١٦٨ نفر و زخمی شدن صدها تن گردید. در این انفجار، بمب در حدفاصل ۳ تا ۵ متری جلوی ساختمان قرار داشت که طی تحقیقات صورت گرفته علت اصلی تخریب ساختمان خرابی پیش رونده معرفی شد و همچنین علت مرگ ۸۰ درصد از مردم در این حادثه نیز همین عامل معرفی شده است .





شکل ۱-۲ ساختمان Alfred P.Murrah [۳]

خرابی ساختمان Murrah و ۷۵ ساختمان اطراف آن هزینه ای بالغ بر ۵۰ میلیون دلار بر جای گذاشته که همین عامل باعث رشد و گسترش تحقیقات در این زمینه شد [۳].

۱-۲ تعریف خرابی پیشرونده:

ممکن است تعاریف مختلفی برای تخریب پیشرونده دیده شود که وابسته به اصطلاحات فنی و علمی است. برخی از نویسندگان به این دلیل که همه شکست های سازه ای یک درجه مشخصی از پیشروندگی هستند، پیشروندگی را نمی پذیرند و ترجیح می دهند که از گزینه نامتناسب استفاده کنند. تخریب پیشرونده نامتناسب است اگر آسیب نهایی وارده به سازه از حد پذیرش که در استاندارد های مختلف آمده تجاوز کند.

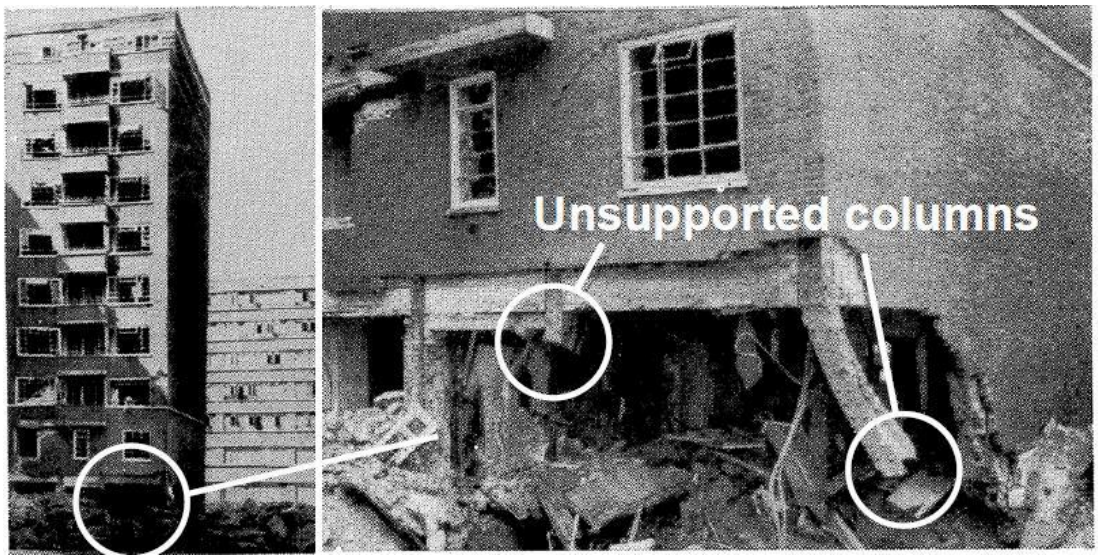
استاندارد بریتانیا اشاره می کند که نباید از کلمه تخریب پیشرونده به جای فروریزش نامتناسب استفاده کرد، اما عموما استاندارد ها، مقالات و راهنما ها از کلمه تخریب پیشرونده استفاده می کنند. هر یک از آیین نامه ها و یا استاندارد ها تعاریف مختلفی برای تخریب پیشرونده مطرح می کنند اما می توان گفت که تخریب پیشرونده هنگامی رخ می دهد که یک عضو اصلی یا اعضای سازه شکسته شده، سپس شکست عضو به سمت تخریب اعضای مجاور گسترش یافته و در نهایت کل سازه یا قسمتی از آن فرو ریزد [۱].

از نظر GSA [٤] تخریب پیشرونده وضعیتی است که در آن شکست موضعی اجزای اصلی ساختمان به سمت تخریب اعضای مجاور هدایت می شود و فرو ریزش به شکل زنجیری افزایش می یابد و در نهایت موجب آسیب نامتناسب در سازه می گردد.

طبق تعریف ASCE7-02 تخریب پیشرونده انتشار شکست های موضعی اولیه از عضوی به عضو دیگر است که سرانجام آن فرو ریزش کامل ساختمان یا فرو ریزش نامتناسب قسمت بزرگی از آن است. این آسیب باید بوسیله سیستم سازه تحمل شود و نباید آسیب از محل شروع به دیگر قسمت ها گسترش یابد. در توضیحات این موضوع در آیین نامه ASCE7-02 آمده است که به

استثنای طراحی ویژه برای سیستم های امنیتی، عموما طرحی وجود ندارد که سازه ها را برای مقاومت در برابر بارهای غیر عادی شدید که مستقیما به قسمت بزرگی از آن سازه اعمال می شود طراحی کنیم لذا سازه می تواند برای محدود کردن اثرات فرو ریزش موضعی و پیشگیری یا کاهش تخریب پیشرونده طراحی شود.

در استاندارد اروپا، استانداردی جداگانه ای برای تخریب پیشرونده وجود ندارد اما قابلیت ایستادگی در برابر رویداد هایی شبیه انفجار، آتش، ضربه و دیگر خطا های انسانی ساخت و ساز را بدون اینکه آسیب به شکل نامتناسب گسترش یابد استقامت سازه معرفی می کند. تخریب پیشرونده رویدادی نسبتا نادر است که در آن بارهای غیرمتعارف آسیب موضعی را ایجاد می کنند و سازه بدلیل کمبود پیوستگی، شکل پذیری و نامعینی آسیب را پخش می کند. هدف کلی استانداردها پیش گیری از تخریب پیشرونده در سازهای جدید و فراهم کردن یک روش برای ارزیابی پتانسیل تخریب پیشرونده در سازهای موجود است. در اشکال ۱-۳ الف و ب میتوان سازه هایی را مشاهده نمود که با وجود حذف المان باربر، خرابی پیشرونده در آنها رخ نداده است.



شکل ۱-۳ پایدار ماندن سازه با حذف المان باربر (الف)

شکل ۱-۳ (ب)

اما در نهایت اگر بخواهیم شرحی سازه ای بر خرابی پیش رونده بدهیم می توان گفت:

خرابی پیشرونده پدیده ای دینامیکی است که حرکت سازه بوسیله رهایی انرژی داخلی آن به علت حذف آنی عضو سازه شروع می شود. این حذف باعث برهم خوردن تعادل سازه بین نیروهای داخلی و خارجی خواهد شد و جابجایی سازه تا آنجا ادامه پیدا خواهد کرد که معادله جدیدی حاکم شود و یا کل سازه تخریب گردد [۵] .

خرابی پیشرونده نتیجه شکست در یک منطقه از سازه و گسترش خرابی به دیگر مناطق آن می باشد. خرابی نیز به معنای عدم توانایی یک یا چند عضو از یک مجموعه در تحمل بار می باشد. دراین صورت بهتر است تا سازه توانایی تشکیل پل برای انتقال بار در دهانه های حساس را داشته باشد که همین باز ممکن است باعث شکست عضو دیگری شده و در نهایت به خرابی کلی سازه منجر شود.

۱–۳ دلایل ایجاد پدیده تخریب پیشرونده

بر اساس تخمین صورت گرفته توسط Leyendecker and Burnett , ۱۹۷۰ بین ۱۵ تا ۲۰ درصد از خرابی سازه ها در اثر خرابی پیش رونده می باشد، که همین باعث سوق دادن بسیاری ازتحقیقات به این سمت شده است [۱] .

از زمانیکه انفجار گاز باعث خرابی ساختمان Ronan Point بعلت خرابی پیشرونده شد، برخی تحقیقات به سمت ارتباط بارهای غیرعادی با این نوع خرابی رفته اند. بار غیرعادی به باری اطلاق میشود که معمولا طراحان آن ها را در طراحی های خود در نظر نمی گیرند. برخی از این بارها عبارتند از: انفجار، امواج شدید صوتی، بادهای بسیار شدید، آتش سوزی، برخود وسایل نقلیه، برخورد موشک و ...

احتمال رخ دادن برخی از حوادث غیرطبیعی با ابعاد سازه ارتباط مستقیمی دارد. مخصوصا برج ها در معرض خطر بیشتری از نظر انفجار بمب و گاز می باشند. می توان گفت خطر انفجار گاز تقریبا ۵ برابر خطر تصادف ماشین می باشد [۱].

با این حال طراحان سازه، کنترل های کمی برای جلوگیری از خرابی پیشرونده انجام می دهند.

تخریب پیشرونده عموما در نتیجه یک رویداد بارگذاری غیر عادی و شدید ایجاد می شود.

پنج علت اصلی رخ دادن خرابی پیشرونده به شرح ذیل می باشد:

۱-۳-۱ ضربات ناشی از تصادف

یک نمونه از این بارگذاری غیر عادی ضربات اتومبیل به اعضای کلیدی در سازه هایی چون ساختمان و پل می باشد.

۱-۳-۲ ساخت و ساز های معیوب

کوچکتر بودن مقاطع نسبت به آنچه که در نقشه های سازه آمده، بکار بردن میلگرد A2 بجای A3، کم کردن میزان آرماتورهای طولی و عرضی و کیفیت پایین بتن از جمله مواردی می باشد که

می توان نام برد. از آنجا که کیفیت ساخت و ساز در ایران بسیار پایین است می توان این مورد را یکی از اصلی ترین عوامل رخ دادن خرابی پیشرونده نام برد.

۱-۳-۳ شکست پی

شکست قسمت کوچکی از پی ساختمان می تواند منجر به از دست دادن نگهدارنده های اصلی سازه شود. این شکست می تواند به دلیل فرسایش، مسایل زمین شناسی، تخریب ناشی از انفجار و غیره باشد. اگر دیگر قسمت های سازه نتوانند این تغییر در بار را که ناشی از دست دادن این نگهدارنده است توزیع کنند، این آسیب می تواند به قسمت های دیگر سازه گسترش یابد.

۱-۳-٤ تغییرات شدید در فشار هوا

تغییرات شدید در فشار هوا که در پی انفجار گاز، انفجار های بزرگ با بمب و غیره ایجاد می شود از دیگر عوامل تخریب پیشرونده می باشد که می توان به بمب گذاری ساختمان Murrah اشاره داشت. انفجار رویدادی غیر قابل پیش بینی بوده و به دلیل آسیب رساندن به اجزای کلیدی سازه، می تواند موجب ناپایداری آن گشته و در نهایت به شکست بخشی از ساختمان منجر شود.

۱-۳-۵ آتش سوزی

آتش سوزی شدید به عنوان یکی از دلایلی است که موجب ایجاد تخریب پیشرونده در سازه ها می گردد. حوادث ایجاد شده در گذشته که بارزترین نمونه آن آتش محرک تخریب پیشرونده در برج های تجارت جهانی است می تواند نمونه کاملی از این موضوع باشد. قاب های سازه ای فولادی بعلت کاهش قابل توجه در خواص مصالح فولاد در نزدیک دمای ٥٤٠ سانتی گراد، تنها قادر اند ۱۰ تا ۲۰ دقیقه سالم بمانند و لذا با از بین رفتن آنها و ناپایداری سازه، آتش موجب تخریب پیشرونده در ساختمان می گردد. در ساختمان های بتن آرمه مانند ساختمان CESP در شهر سائو پائولو برزیل، رخ دادن آتش سوزی بزرگ موجب انبساط حرارتی تیرهای بتنی قاب

گردید که شکست را به المان های قائم قاب و اتصالات آنها هدایت کرد و موجب تخریب پیشرونده در آن سازه گردید [۱].

۱-۴ بررسی خرابی در انواع سازه های بتن آرمه

۱-٤-۱ سازه های بتنی پیش ساخته :

خطر خرابی پیش رونده در مورد سازه های تشکیل شده از پانل های بزرگ بتنی به عنوان سقف و دیوارهای باربر، بیشتر از ساختمان های بتنی در جا ریخته شده می باشد. چون سازه های پیش ساخته بعلت نوع طراحی و عدم پیوستگی سازه استعداد بیشتری در این زمینه دارند. از ساختمان Ronan Point می توان بعنوان بهترین مثال برای این موضوع نام برد.

گزارش های تهیه شده از این گونه اتفاقات تغییرات مهمی را در آیین نامه ها به همراه داشته است. در آیین نامه های اخیر انگلستان ذکر شده که حذف یک ستون در سازه نباید منجر به خرابی عمده در سازه و یا خرابی پیش رونده گردد. همچنین آیین نامه ACI 318-05 یک فصل جداگانه به بتن پیش ساخته اختصاص داده و ذکر کرده که باید با افزایش پیوستگی کششی اعضا و شکل پذیری آنها توانایی سازه در برابر تحمل بارهای کششی افقی و عمودی تامین گردد [۲].

۱-٤-۲ سازه های بتنی درجا :

سازه های بتنی درجا عملکرد بهتری در مقابل خرابی پیش رونده از خود نشان می دهند هرچند که سازه های با دال بتن آرمه ضعیف ترند. مکانیزم خرابی در آن ها مانند خرابی توسط برش دوطرفه تحت بارهای معمولی است .

آیین نامه ACI318-05 مشخص کرده است که حتی اگر آرماتورهای فوقانی بصورت پیوسته از تکیه گاه بگذرند، بدون داشتن خاموت، محصورشدگی بتن و پیوستگی آرماتورهای تحتانی هیچ تضمینی برای پیوستگی سازه وجود ندارد [۹].