

فهرست

فصل اول : معرفی

- 1 معرفی
- 2 تعریف‌های خرابی پیش‌رونده
- 3 مثال‌هایی از خرابی پیش‌رونده
- 4 انواع مختلف خرابی پیش‌رونده
- 5 تقسیم‌بندی دیدگاه‌های موجود برای کاهش خرابی پیش‌رونده
- 6 راهنماها و استانداردهای کاهش خرابی پیش‌رونده
- 7 چند نمونه از کارهای انجام شده در مورد کاهش احتمال خرابی پیش‌رونده
- 8 وسعت و هدف تحقیق ارائه شده در کتاب حاضر

فصل دوم: مقایسه و مطالعه تکنیک‌های مختلف شبیه‌سازی خرابی

پیش‌رونده در

سازه‌های بتن مسلح

- 1 روش‌ها عددی
- 2 فرمولاسیون مدل مفصل پلاستیک دوبعدی
- 3 المان تیر به‌مراه چرخش با استفاده از تئوری کیرشهوف
- 4 نتایج عددی و مقایسه‌ها
- 5 نتایج

فصل 3 روش تحلیل بار افزون برای خرابی پیش‌رونده سازه‌ای بر اساس

معیار انرژی جنبشی

- 1 معرفی
- 2 تحلیل بار افزون بر مبنای معیار انرژی جنبشی صفر
- 3 مطالعه پارامتریک و حل‌های مبنا
- 4 حذف ستون مرکزی طبقه همکف
- 5 حذف ستون کناری در طبقه همکف

فصل 4 روش تحلیل بار افزون برای خرابی پیش‌رونده سازه‌ای بر اساس

ضرایب افزایش بار بهینه شده

- 55 1 اهداف این فصل
- 56 2 مطالعه پارامتریک و حل مبنا
- 57 3 رویکرد عمومی و روش بهینه شده برای تعیین مقادیر ضریب باردینامیکی
- 62 4 حذف ستون مرکزی طبقه همکف
- 67 5 حذف ستون کناری طبقه همکف
- 71 6 اثر درجه شاخص نیرومندی
- 77 7 توضیح

فصل 5: المان‌های تیر بر اساس مدل‌های فایبر برای بتن مسلح:

ارزیابی و توضیحات مدل مفصل پلاستیک

- 79 1 معرفی
- 82 2 فرمولاسیون مدل‌های فایبر برای تیر اجزاء محدود اولر – برنولی
- 89 3 مفاصل پلاستیک متمرکز و اثرات همزمانی و انقباض بتن
- 96 4 نتایج

فصل 6 نتایج

- 97 1. معرفی
- 97 2 راهنمایی‌های وزارت دفاع و مدیر تعمیرات عمومی
- 99 3 استاندارد انگلیسی 137 و آئین‌نامه‌های اروپایی
- 99 4 دیگر روش‌های بار افزون موجود در مراجع
- 99 5 تجسم کارهایی برای آینده

ضمیمه‌ها

- 102 1 ضمیمه الف: جزئیات عمومی برای سازه‌هایی که در فصل 2 مطالعه شدند
- 105 2 ضمیمه ب: طراحی سازه براساس روش استاتیکی خطی مدیریت تعمیرات عمومی
- 106 3 ضمیمه پ: طراحی سازه بر اساس روش استاتیکی خطی وزارت دفاع

فصل اول : معرفی

1 معرفی

اطمینان از سازه همیشه به عنوان یک اصل برای مهندسانی که مسئول طراحی پروژه‌های عمرانی بوده‌اند مطرح بوده است. یکی از مکانیزم‌هایی که در دهه‌های اخیر توجه به آن افزایش پیدا کرده است خرابی پیش‌رونده نامیده می‌شود که به علت تصادف یا حمله، یک یا تعدادی از اعضای سازه ناگهانی خراب می‌شوند و پس از آن ساختمان بصورت پیش‌رونده خراب می‌شود. توجه به موضوع خرابی پیش‌رونده در جامعه مهندسی اولین بار به خاطر خرابی موضعی ساختمان رونان پوینت¹ در لندن که در سال 1968 اتفاق افتاد بوجود آمد. وقایع 11 سپتامبر سال 2001 به عنوان نیروی محرک توجه بیشتری به این موضوع را ایجاد کرد. کمیته‌های گوناگون بررسی و بازبینی کرده و استانداردهای خود را برای طراحی در برابر خرابی پیش‌رونده ارتقاء دادند. این کمیته‌ها شامل وزارت دفاع آمریکا (DoD) مدیریت تعمیرات کلی آمریکا (GSA)، و کدهای اروپایی می‌باشند. کتاب حاضر به بررسی پاسخ سازه در اثر وقایع غیر عادی می‌پردازد. هدف اولیه توسعه سیستمی برای مدل‌سازی پدیده خرابی پیش‌رونده است، در بخش معرفی، تعریف‌های گوناگونی برای خرابی پیش‌رونده و خرابی نامتناسب ارائه شده است. که همراه با تعدادی مثال از خرابی پیش‌رونده است. سپس جزئیات و اهداف به همراه تاریخچه و طبقه‌بندی استراتژی‌های به وقوع پیوستن خرابی پیش‌رونده ارائه شده است.

¹ Ronan Point

2 تعریف‌های خرابی پیش‌رونده (خرابی نامتناسب)

برای عبارت خرابی پیش‌رونده تعاریف گوناگونی وجود دارد و اصطلاح فنی مربوطه بعضی اوقات هنوز در نوشته‌ها مورد بحث است، همانطور که در زیر گزارش شده بعضی نویسندگان واژه پیش‌رونده را رد می‌کنند، زیرا همه خرابی‌های سازه‌ای درجه معنی از پیش‌روندگی دارند و واژه نامتناسب را ترجیح می‌دهند. در زیر تعاریف گوناگون که در مدارک و استانداردها در باره خرابی پیش‌رونده وجود دارد آمده است.

1,2 طراحی بر اساس حداقل بارها برای ساختمان‌ها و دیگر سازه‌ها

05-SEI 7/ASCE

استاندارد 05-SEI 7/ASCE خرابی پیش‌رونده را به این صورت معرفی می‌کند: توسعه خرابی محلی از یک المان به المان دیگر که بصورت ناگهانی موجب خرابی کل سازه یا عدم تناسب بخش بزرگی از آن می‌گردد.

2,2 بهترین شیوه‌ها برای کاهش پتانسیل خرابی پیش‌روند در ساختمان‌ها (NIST)

کمیته تخصصی مؤسسه استاندارد و فناوری آمریکا نیز مانند استاندارد 05-SEI 7/ASCE تعریف ذیل را پیشنهاد می‌دهد: خرابی پیش‌روند توسعه خرابی محلی، از یک المان به المان دیگر است که موجب خرابی ناگهانی کل یا عدم تناسب قسمت بزرگی از آن سازه می‌شود. این خرابی به عنوان خرابی غیر متناسب نیز شناخته می‌شود.

3,2 استاندارد اروپا - اقدامات روی سازه‌ها - قسمت 1-7: اقدامات عمومی - اقدامات

تصادفی

کدهای اروپایی دارای استاندارد مشخصی برای خرابی پیش‌رونده نمی‌باشند، ولی شامل استانداردهایی درمورد پدیده‌هایی که بصورت تصادفی هستند مانند آتش، انفجار، ضربه می‌باشند.

4,2 مدیریت تعمیرات کلی آمریکا (GSA)

مدیریت تعمیرات کلی در تحلیل خرابی پیش‌رونده و راهنمایی‌های طراحی که در سال 2003 منتشر شد خرابی پیش‌رونده را بدین‌صورت تعریف می‌کند: خرابی پیش‌رونده حالتی از خرابی است که خرابی محلی عضو اصلی سازه‌ای موجب خرابی یکی پس از دیگری اعضای مجاور شده

و در نهایت منجر به خرابی اضافی شود. از اینرو خرابی کلی دارای عدم تناسب نسبت به حالت اصلی است.

5,2 مدیریت تعمیرات کلی، وزارت دفاع و استانداردهای انگلیسی و اروپایی

مدیریت تعمیرات دولتی (GSA)، استانداردهای انگلیسی، اروپایی و وزارت دفاع آمریکا (DoD) محدوده خرابی قابل قبولی را با محدود کردن مساحت کف که خرابی اولیه محلی را تحمل می کند، مشخص می کنند. همچنین این مدارک خرابی های محلی اولیه را معلوم می کنند که می بایست مورد توجه قرار گیرد (معمولاً یک ستون طبقه همکف یا قسمت مشخصی از دیوار حمال). می توان استنباط کرد که این مدارک خرابی نامتناسب را هر نوع خرابی که ماورای مساحت خراب شده مجاز به همراه شکست های محلی مشخص شده باشد، در نظر می گیرند.

6,2 خلاصه

برای خلاصه کردن تعاریف ارائه شده فوق و برای مشخص کردن اینکه چه چیزی به عنوان خرابی پیش روند و یا خرابی غیر متناسب در این کتاب استنباط می شود، پیشنهاد می گردد که تعریف زیر اتخاذ گردد:

خرابی پیش رونده: هرگاه یک یا چند عضو سازه ای ناگهان گسیخته شوند، و پس از آن ساختمان بصورت پیش رونده خراب شود، در این حالت هر توزیع بار موجب شکست دیگر المان های سازه ای یک پس از دیگری می شود، تا اینکه حالت جدیدی از تعامل بوجود آید به طوری که قسمتی و یا تمام سازه خراب شده باشد.

خرابی نامتناسب: خرابی پیش رونده هنگامی نامتناسب است که آسیب کلی براساس استاندارد داده شده از حد مجاز فراتر رود. بنابراین تعریف خرابی نامتناسب بین شهرها و مدارک راهنما یا استانداردها براساس تخمین خطرپذیری قابل قبول تغییر می کند. کدهای طراحی گوناگون، راهنماها، مقالات یا مراجع معمولاً عبارت خرابی پیش رونده را هنگامی که درواقع به خرابی نامتناسب ارجاء می دهند، انتخاب می کنند. در کار ارائه شده حاضر هم این کار انجام شده است درجایی که واژه خرابی پیش رونده آمده است بصورت ضمنی نامتناسب بودن را بیان می کند.

3 مثال‌هایی از خرابی پیش‌رونده

مثال‌ها از سازه‌هایی که خرابی پیش‌رونده بصورت جزئی یا کامل در آنها اتفاق افتاده است کاملاً اندک و کم سابقه است و لذا این پدیده به تدریج در استانداردها طراحی در نظر گرفته می‌شوند. تعدادی از این موارد در زیر ارایه شده است :

1,3 رونان پوینت

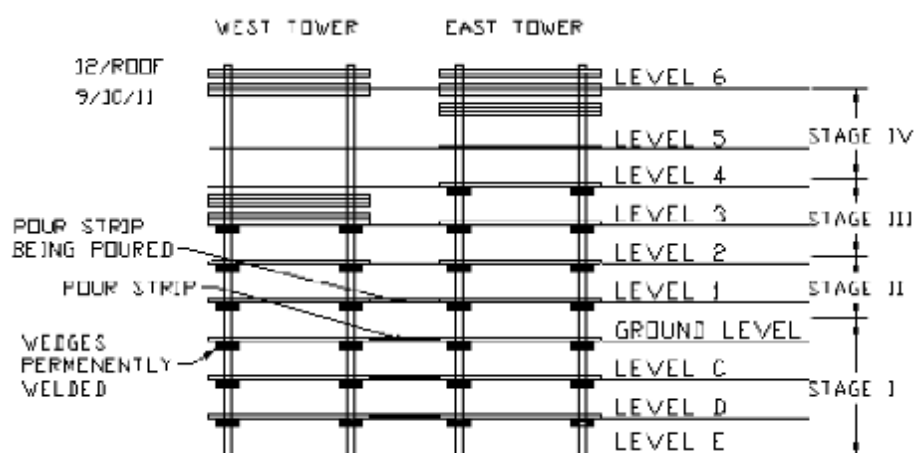
رونان پوینت یک ساختمان آپارتمانی بود که در لندن در سال‌های 1966 تا 1968 ساخته شد. در شانزدهم ماه می سال 1968 انفجار گاز در قست بیرونی پایین پانل دیوار بیرونی در طبقه هیجدهم آپارتمان در گوشه ساختمان 22 طبقه اتفاق افتاد. سیستم سازه‌ای شامل بتن پیش‌ساخته برای دیوارها، کف‌ها و پله‌ها می‌شد. دیوارها و کف‌ها به یکدیگر چفت شده و اتصالات توسط ملات فشرده شده خشک پر شده بود. این بدین معنا است که طبقات پتانسیل بالایی برای تحمل خمش نداشتند، مخصوصاً اگر آویزان می‌شوند، بطوریکه هر طبقه بطور مستقیم توسط دیوارها در طبقه پایین حمایت می‌شد. بنابراین، هنگامی که پانل دیوار خارجی به علت انفجار طبقه هیجدهم به سمت بیرون ورم کرد، طبقات بالا (طبقه 19 تا 22) خراب شد. ریزش آثار مخروبه موجب شد که طبقات 17 تا طبقه همکف خراب شوند که موجب از بین رفتن یکی از گوشه‌های ساختمان شد که در شکل 1,1 می‌توان دید. خرابی ساختمان رونان پوینت نشانگر عدم توانایی کف‌ها برای تحمل خمش در زمانی که آویزان می‌شوند، بود. خرابی این ساختمان به صورت پیش‌رونده بود که با گسیختگی یک دیوار خارجی، سازه توانایی تحمل باز توزیع تنش بوجود آمده را نداشت (یا به عبارت دیگر یک مسیر جایگزین بار را نتوانست فراهم کند).



شکل 1,1 : خرابی ساختمان رونان پوینت

2,3 آمبینس پلازا

آمبینس پلازا ساختمان آپارتمانی 16 طبقه‌ای بود که در حین ساختن خراب شد که در Bridgeport,Connectic واقع شده بود. سازه دو بال داشت که دال‌های آن از بتن پیش‌تنیده ساخته شده بود. دال‌های کف بالا را نمی‌توانستند به محل نهایی خود قبل از اتمام کف‌های پایین و نصب ستون‌ها نصب کنند. بنابراین دال‌ها می‌بایست در ترازهای وسط بصورت موقتی کار گذاشته شوند، که در گروه‌های سه‌تایی روی ورق‌های جوش داده شده به بال‌های ستون‌ها قرار داده شدند. شکل 2,1 حالت ساختمان را در زمان فروریزی نشان می‌دهد.



شکل 2,1: آمبینس پلازا در هنگام خرابی

دلایل خرابی که در 23 آوریل سال 1987 در حین ساخت بوقوع پیوست، مورد بحث بود و به نتیجه خاصی نرسید. هرچند بدلیل کافی نبودن مقاومت یکی از جک‌های بالابر یا بدلیل گسیختگی لبه اتکایی در حال ساخت دال‌ها در محل‌های موقتی گسیختگی محلی در بالای بال غربی اتفاق افتاد. گسیختگی دال‌ها خرابی بال را شروع کرد که کمی بعد هم همراه با خرابی بال شرقی شد که موجب خرابی کلی سازه گردید.

3,3 ساختمان فدرال آلفرد پی مواره

ساختمان آلفرد پی مواره در شهر اکلاهما بین سال‌های 1970 و 1976 طراحی و ساخته شد که یک ساختمان اداری برای دولت آمریکا بود. در 19 آوریل سال 1995 این ساختمان زمانی که یک کامیون بمب‌گذاری شده در جلوی ضلع، شرقی منفجر شد هدف حمله قرار گرفت. سیستم سازه‌ای شامل قاب نه طبقه بتن مسلح به همراه شکل مشخصی از یک شاه تیر انتقالی در تراز سومین طبقه ضلع شمالی بود. ستون‌های نزدیک به محل انفجار سرعت توسط انفجار خراب شدند که منجر به خرابی همه کف‌های بالای آن شد، که در شکل 3,1 نمایش داده شده است. این رویداد به عنوان یک مثال خرابی پیش‌رونده به علت عدم دارا بودن ظرفیت کافی سیستم قاب و شاه تیر انتقالی برای تحمل ممان‌های افزایش یافته و نیروهای برشی به علت گسیختگی سه ستون مجاور یکدیگر در طبقه همکف می‌باشد.



شکل 3,1: ساختمان آلفرد پی موراه پس از خرابی

4,3 ساختمان بانک اعتماد²

ساختمان بانک اعتماد یک نمونه از سازه‌ای است که خرابی پیش‌رونده را تجربه کرده است. سازه فولادی آن در اوایل سال 1970 در شهر نیویورک ساخته شده بود و در خیابان لیبرتی³ دقیقاً در غرب جایی که برج تجارت جهانی قرار گرفته، واقع شده است. سیستم سازه‌ای آن شامل قاب فولادی معمولی به همراه شاهتیرهایی که بصورت خمشی در هر دو جهت به ستون‌ها جوش داده شده‌اند، می‌باشد. سازه آن متحمل ضربه نخاله‌های ناشی از خرابی قسمت شمالی برج جهانی شد. قسمت‌های دیوار بیرونی برج شمالی در طبقه بیست و سوم به ساختمان این بانک برخورد کرد. خسارت شامل خرابی سیستم‌های کف، تیرهای لبه بین کف‌های بیست و سوم و نهم می‌شد و یک ستون بین طبقات هیجدهم و نهم منهدم شد. شکاف بوجود آمده در نمای شمالی ساختمان در شکل 4,1 دیده می‌شود.

² Banker Trust Building

³ Liberty Street



شکل 4,1: بریدگی در وجه شمالی ساختمان بانک اعتماد

با وجود حذف یک تکیه‌گاه عمودی، هیچ آسیبی اضافه بر آنچه که بصورت مستقیم بخاطر ریختن نخاله‌های برج تجارت جهانی بوجود آمده بود در این ساختمان بوجود نیامد. بوضوح مشخص است که قاب خمشی دارای نامعینی و شکل‌پذیری کافی برای باز توزیع تنش‌های ناشی از حذف ستون‌ها بوده و توانسته انرژی جنبشی ناشی از حذف ناگهانی ستون و سقوط نخاله‌ها را جذب کند.

4 انواع مختلف خرابی پیش رونده

1,4 خرابی پن کیک‌کی Pancake-type

مهمترین مثال برای این نوع ، خرابی برج های تجارت جهانی می باشد. برخورد هواپیماها و آتش سوزی متعاقب آن باعث ایجاد خرابی های موضعی در محل اصابت شد و به دنبال آن کاهش باربری عمودی اتفاق افتاد . در پی این کاهش باربری ، بار اضافی بین مقاطع باربر سالم

برج تقسیم شد، در هنگام خرابی طبقات بالاتر شروع به سقوط کرده و انرژی جنبشی آنها به صورت تجمعی زیاد شد، با برخورد طبقات خراب شده که انرژی جنبشی افزایش یافته را دارا بودند به طبقات سالم، و ایجاد نیروهایی بیش از مقاومت آن ها خرابی تشدید شده و انرژی جنبشی افزایش یافت، خرابی به همین صورت پیش رفت و در نهایت باعث خرابی کلی سازه شد.



شکل 5.1: خرابی برج های تجارت جهانی

این نوع خرابی بصورت کلی زیر است:

- خرابی اولیه المان های باربر عمودی یا از بین رفتن خاصیت باربری عمودی المان ها
- جدایی جزئی و کلی المان و سقوط آن، بصورت حرکت جسم صلب در راستای قائم
- تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی
- اصابت اعضای جدا شده و خراب شده بر روی باقی سازه
- از بین رفتن خاصیت باربری المان های دیگر بر اثر اصابت
- پیشروی خرابی در جهت قائم.

2,4 خرابی زیپی Zipper-typ

بر اساس آیین نامه های طراحی پل های معلق، با پاره شدن یک کابل سازه نباید پایداری خود را از دست بدهد. در این مواقع نباید خرابی یک کابل و اضافه بار آن بر روی کابل های همسایه باعث پاره شدن آنها شود. در صورتی که طراحی درست صورت نگرفته باشد این مساله باعث پارگی کابل های دیگر و ایجاد خرابی پیش رونده می شود. البته این نوع خرابی برای دیوارهای حائل مهار شده نیز می تواند اتفاق بیفتد.



شکل 6,1: خرابی به علت پارگی کابل و افزایش بار بر کابل های همسایه

مشخصات این نوع خرابی:

- خرابی اولیه یک یا تعداد کمی از اجزای سازه
- باز پخش نیروها
- بار گذاری ضربه ای بر اثر پارگی ناگهانی اولیه
- پاسخ دینامیکی باقی سازه به بارگذاری ضربه ای
- ترکیب بارهای استاتیکی و دینامیکی در المانهای باربر مجاور المان آسیب دیده و پخش بارها
- پیشروی خرابی

3,4 خرابی دو مینویی Domino-type

مکانیسم این نوع خرابی به صورت زیر می باشد:

-واژگونی اولیه یک المان

-افتادن المان به صورت حرکت زاویه ای جسم صلب حول یک گوشه از جسم

-تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی

-ضربه جانبی گوشه بالای المان به المان مجاور که ترکیبی از نیروهای استاتیکی و دینامیکی را ایجاد می کند

-پیش رفتن خرابی در جهت واژگونی

سازه هایی که مهار جانبی مناسبی ندارند دچار این خرابی می شوند مانند داربست یا پایه های خطوط انتقال آب . شکل 1,1 مثالی از این نوع خرابی است .

4,4 خرابی مقطع Section-type

یک تیر تحت خمش یا آرماتور تحت نیروی محوری کششی را در نظر بگیرید. وقتی قسمتی از سطح مقطع می برد نیرو بین باقی سطح مقطع پخش می شود. بر این اساس افزایش نیروی مقطع می تواند باعث گسیختگی مقطع شود . این نوع خرابی تقریباً شبیه خرابی زیبایی است. بر اساس مکانیک شکست، تنش ها در اطراف ترک با کمتر شدن فاصله به سمت بی نهایت میل می کنند. البته در سیستم سازه ای المان ها از هم فاصله دارند و فواصلشان صفر نیست. ولیکن با این حال تمرکز نیرو در اعضای مجاور عضو آسیب دیده وجود دارد .

5,4 خرابی به علت ناپایداری Instability-type

به طور معمول سازه ها طوری طراحی می شوند که ناپایدار نشوند . شکست المان های مهار بندی می تواند باعث ناپایداری سازه و ایجاد خرابی شود. این حالت می تواند در خرپا یا تیر سازه هایی اتفاق بیافتد که المان های مهار بندی که برای پایداری، المان های فشاری بکار می روند دچار شکست شوند . حالت دیگر ، خرابی پلیت سخت کننده است که باعث ناپایداری موضعی و در نهایت منجر به خرابی کلی می شود . در این حالت یک اتفاق کوچک منجر به خرابی گسترده می شود . البته کمانش ستون نیز میتواند باعث ناپایداری کلی سازه شود و در پی آن خرابی کل سازه اتفاق بیافتد.

این نوع خرابی به صورت زیر پیش می رود:

-خرابی اولیه در اعضای مهاربندی المان های باربر فشاری

-ناپایداری عضو فشاری

-شکست ناگهانی این عضو تحت کوچکترین تحریک و -گسترش خرابی



شکل 7,1: خرابی در اثر ناپایداری

6,4 خرابی ترکیبی Mixed-type

خرابی ها پیش رونده ای که تاکنون افتاده کاملاً بر یکی از گونه های گفته شده منطبق نیست، در بسیاری از موارد خرابی ترکیبی از چند حالت مختلف خرابی است . برای مثال شکل 3,1 نمونه ای از ترکیب خرابی های پن کجی و دومینویی است . شکل زیر نیز نمونه بارز دیگری از ترکیب خرابی های دومینویی و پن کجی است .



شکل 8,1: ترکیب خرابی های دومینویی و پن کیکی

5 تقسیم بندی دیدگاه های موجود برای کاهش خرابی پیش رونده

تقسیم بندی استراتژی های طراحی در برابر خرابی پیش رونده در نوشته های مربوطه ب تدریج پدیدار می شود و شامل معرفی سه دیدگاه برای کاهش خرابی پیش رونده می باشد. این تقسیم بندی بصورت زیر آشکار می شود:

الف - مقاومت محلی مشخص شده، و اندازه گیری های حفاظتی غیر سازه ای (کنترل رویداد)

ب - مسیر جایگزین بار

ج - قوانین طراحی تجویزی

دیدگاه های الف و ب به صورت مستقیم ارجاء داده می شوند در حالیکه به دیدگاه ج بصورت غیر مستقیم ارجاء داده می شود. به صورت مشخص از دیدگاه مقاومت محلی، المان های باربر عمودی کلیدی به طور مشخص طوری طراحی می شوند که توانایی مقاومت در برابر خطرات پیش بینی شده مانند بارهای انفجار یا آتش سوزی را داشته باشند. طراحی المان های کلیدی نیازمند تکنیک تحلیلی پیشرفته برای محاسبه رفتار دینامیکی غیر خطی سازه می باشند. دیدگاه مسیر بار جایگزین در طراحی سازه بکار می رود بطوریکه تنش ها می تواند بر اساس المان های باربر عمودی باز توزیع شود. ساده سازی تا اندازه زیادی برای پروسه طراحی و

اطمینان از وجود مسیر جایگزین قابل قبول است. دامنه این روش از تحلیل‌های استاتیکی خطی، تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی، تا تحلیل‌های دینامیکی خطی یا غیر خطی را شامل می‌شود. دیدگاه مسیر بار جایگزین توسط استانداردهای گوناگونی مانند مدیریت تعمیرات کلی و وزارت دفاع انتخاب شده اند هر دو ارگان راهنمایی که بطور کامل جزئیات روش‌های محاسبات را مشخص می‌کند منتشر کردند. در این کتاب بیشتر روی این دیدگاه تمرکز شده و دیگر روش‌های محاسبه بعداً توضیح داده خواهد شد. بنابراین دیدگاه‌های الف و ب دیدگاه‌های مستقیم هستند، زیرا این دیدگاه‌ها بر اساس محاسبات عددی برای حالت‌های مشخص بار هستند. ولیکن دیدگاه ج به صورت غیر مستقیم مطرح می‌شود. این دیدگاه به قوانین طراحی مربوط به افزایش قدرت کلی یک سازه می‌پردازد ولی در آن محاسبه عددی برای حالت بارگذاری مشخصی انجام نمی‌شود. در این دیدگاه مقررات مربوطه به بارهای گرهی که توسط کد اروپایی، استانداردهای انگلیسی و وزارت دفاع ارائه می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف این آیین‌نامه‌ها اطمینان از اتصال مناسب بین اجزاء افقی و قائم است بطوریکه سازه توانایی انتقال از ستون منهدم شده با اثرات زنجیروار را داشته باشد.

6 راهنماها و استانداردهای کاهش خرابی پیش‌رونده

نکته: برای جلوگیری از بحث‌های اضافه، تنها یک مورد، از روش‌های موجود در زیر ارائه می‌شود، زیرا عناوین اصلی به همراه جزئیات در بخش‌های آینده توضیح داده خواهند شد.

1,6 راهنمایی‌های مدیریت تعمیرات کلی

در ماه ژوئن سال 2003 مدیریت تعمیرات کلی آمریکا آخرین ویرایش‌های خود را برای کاهش خرابی پیش‌رونده به منظور اعمال در همهٔ ساختمان‌های آمریکا منتشر ساخت. این راهنما اجازه استفاده از روش‌های غیر خطی و یا دینامیکی را می‌دهد ولیکن صرفاً به ارائه جزئیات روش استاتیکی خطی برای کاهش خرابی پیش‌رونده بسنده می‌کند. در این راهنما ترکیب بین بارهای مرده و زنده در نظر گرفته شده‌اند همچنین ضریب تقویت بار دینامیکی برای تحلیل‌های استاتیکی و اثرات اینرسی دینامیکی نیز ارائه شده‌اند. رویدادی که باید به عنوان عامل شروع خرابی در نظر گرفته شود خرابی یک ستون طبقه همکف می‌باشد. روش استاتیکی خطی شامل محاسبات استاتیکی خطی بصورت مرحله به مرحله می‌باشد که سرانجام تخمین میدان خرابی در سازه را بدست می‌آورد. سپس وسعت آن با ناحیه‌ای که سایر راهنماها آن را برای تحمل کردن در نظر می‌گیرند مقایسه می‌گردد تا طراحی تأیید شود یا استحکام سازه افزایش داده شود. بدون توجه به اصول فرض شده در روش استاتیکی خطی مدیریت تعمیرات کلی، این آیین‌نامه‌ها در حال تکامل هستند بطوریکه در طول گام‌های پروسه طراحی سه فرد به

مهندسين طراح آموزش می‌دهند و تنها راهنمای وزارت دفاع این جزئیات را بصورت پروسه کامل ارائه می‌دهد .

2,6 راهنمای وزارت دفاع

در ماه ژوئن سال 2005 وزارت دفاع آمریکا آخرین راهنمای خود را برای پدیده خرابی پیش‌رونده منتشر کرد . در این راهنما ساختمان‌ها براساس سطح محافظتی طبقه‌بندی می‌شوند ، هنگامی که به سطح پائینی از محافظت نیاز است از امنیت سازه بر اساس گره‌های افقی و قائم اطمینان حاصل می‌گردد، در حالی که برای سطوح بالای محافظتی علاوه بر اطمینان از گره‌ها رویکرد مسیر جایگزین نیز تعیین می‌گردد. روش گام به گام برای تحلیل استاتیکی از لحاظ فلسفه عمومی شبیه به روش مدیریت تعمیرات دولتی می‌باشد . تفاوت‌های اصلی در حالت‌های رفتار ماده استفاده شده در شبیه‌سازی می‌باشد. در واقع در روش‌های استاتیکی و دینامیک غیر خطی جزئیات راهنمای وزارت دفاع بسیار کارآمدتر است .

3,6 استانداردهای انگلیس

استانداردهای انگلیس روی الزامات نیروهای متصل‌کننده افقی تکیه کرده‌اند، که اتصالات تیر - ستون می‌بایست تحمل کنند. این ملزومات به این هدف هستند که اطمینان حاصل شود که سازه توانایی انتقال را هنگام از بین رفتن ستون بصورت زنجیروار داشته باشد. همانطور که در بالا اشاره شد، این رویکرد مربوط به رده‌بندی طراحی غیر مستقیم می‌باشد. ترکیب بار بین بارهای مرده، زنده بر اساس ناحیه‌ای که توانایی خرابی را دارد مشخص شده است. هیچ‌گونه ضریب افزایش بار دینامیکی هم لحاظ نشده است. اگر وسعت خرابی از معیار مشخصی تجاوز کند المان کلیدی مشخص طوری طراحی می‌شود که فشار 34 کیلو نیوتن بر متر مربع را بتواند تحمل کند. استانداردهای انگلیسی بر اساس ترکیبی از سه رویکرد ذکر شده در بخش 4 هستند که از رویکرد «الف» ، «ب» و «ج» هنگامیکه به یک رویکرد مشخص نتوان رسید، استفاده می‌کند.

4,6 استانداردهای آمریکا ASCE7

استانداردهای ASCE از هر سه رویکردی که اخیراً توضیح داده شد استفاده می‌کند. بر اساس رویکرد طراحی غیر مستقیم، این استاندارد راهنمایی‌های طراحی لازم به منظور یکپارچگی عمومی سازه‌ای را ارائه می‌کند ، مثل آرایش مناسب ستون ها ، ترکیب بار استفاده شده برای رویکرد مسیر بار جایگزین مشخص شده در این استاندارد ضریب افزایش بار دینامیک را شامل نمی‌شود و صرفاً استنباط می‌شود که سازه می‌بایست برای ترکیب بار مشخصی پس از حذف