وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه تفرش

**پایان نامه دوره کارشناسی ارشد**

**رشته عمران سازه**

# مقابله با خرابی پیشرونده در پلهای فلزی خرپایی بوسیله شبیه سازی کامپیوتری


استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد قاسم سحاب

تهیه کننده:

محمد جواد رشیدی(۸۹۳۱۲۲۰۰۲)


مرداد ماه ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

**تقدیم به**

**پدر عزیز و مادر مهربانم...**

**وبا تشکر از استاد گرانقدر جناب اقای دکتر محمد قاسم سحاب**

**بخاطر تمام زحمات و دلسوزیهای پدرانه ایشان**

# فهرست مطالب

موضوع صفحه


فهرست ..... ۱

مقدمه ..... ۲

چکیده ..... ۵

**۱-فصل اول : شرح موضوع مورد مطالعه و ارزش تحقیقاتی آن ..... ۷**

۱-۱- مقدمه و سابقه تاریخی آن ..... ۸

۱-۲- موضوع پایان نامه ..... ۹

۱-۳-روش تحقیق ..... ۱۰

۱-۴-شرح مختصری از محتوای فصول پژوهش ..... ۱۱

**۲-فصل دوم:پیشینه تحقیقات انجام شده در ارتباط با موضوع پژوهش ..... ۱۴**

۲-۱-عناوین مقالات ..... ۱۵

۲-۲-عناوین و اهداف مشترک مطالعه در مقالات ارائه شده ..... ۱۷

**۳-فصل سوم:طراحی پل خرپایی برگزیده برای مطالعه و بررسی نحوه پیشرفت و گسترش خرابی ..... ۶۱**

۳-۱-نامعینی پل **S1** و S۲ ..... ۶۲

۳-۲-بارگذاری و هندسه پل ..... ۶۳

۳-۳- وزن سازه پل ..... ۶۵

۳-۴-اعمال خرابی های فرضی در پل ..... ۶۹

**۴-فصل چهارم:ملاحظات خاص طراحی برای جلوگیری از گسترش خرابی و بدست آوردن شاخص امنیت** ..... ۹۸

۴-۱-راهکارجلوگیری از خرابی(افزایش افزونگی) ..... ۹۹

۴-۲-میزان افزایش وزن در اثر افزونگی ..... ۱۰۱

۴-۳-محاسبه شاخص امنیت برای هردو سازه S1 و S2 ..... ۱۱۸

۴-۴-تحلیل پوش اور و نتایج ان..... ۱۳۰

**۵-فصل پنجم:نتایج و پیشنهادات جهت تحقیقات بیشتر در زمینه موضوع پایان نامه**..... ۱۳۳

**منابع** ..... ۱۳۷

# بنام یگانه مهندس هستی

**مقدمه:**

پلها سازه هایی هستندکه از اغاز تمدن بشری به صورتهای مختلف با حیات انسانها رابطه مستقیم داشته اند.(بدلیل ایجاد تمدنهای اولیه در کنار یک منبع اب مثل رودخانه و نیاز به راه عبور از این منبع ابی)

در عصر جدید وبه دنبال ساخت و سازه های عظیم و پر هزینه توسط جوامع مهندسی(نظیر پل) تمایل برای اطلاع از شرایط سازه در هر لحظه نیز افزایش یافته است. دلیل این امر نیز جلوگیری از صدمات مالی و جانی جبران ناپذیری است که در اثر خرابی این نوع سازه ها ممکن است رخ دهد. همچنین باید توجه داشت که پلها یکی از انواع سازه هایی هستند که همیشه با مخاطرات جدی روبرو هستند و بدلایل مختلف(نظیر دلایل امنیتی-اقتصادی-اجتماعی و ....)خرابی انها بسیار مورد اهمیت قرار میگیرد. از اینرو ما در این مجموعه به بررسی خرابی پیشرونده در پلهای فلزی خرپایی و نحوه برخورد با ان میپردازیم.

محمد جواد رشیدی

تابستان ۹۱

# In the name of God

## Introduction:

Bridges are structures that are linked with human's life with different faces from beginning of civilization.( because of the early civilizations developed along a water source like a river , and the need for passage of the water source). Nowadays building huge and expensive structures by civilizations (like a bridge) inclination for raking up about the structure of buildings increase every day. The reason for this is to prevent irreparable physical and monetary damages that may happen when a structure breakdown. Also we have to mention that bridges are structures that are always face serious risks and for various reasons (such as security, economic and social reasons) their failure is important. Hence, in this debate we are checking progressive collapse of steel truss bridges and how to deal with it.

Mohammad Javad Rashidi

Summer ۱۳۹۱

## چکیده:

همیشه میتوان با رعایت اصول طراحی و قواعد ایین نامه ای امنیت و مقاومت هر عضو از اعضای یک سازه را تامین کرد. اما مطلبی که در اکثر قریب به اتفاق ایین نامه های طراحی بدان اشاره خاصی نمیشود نحوه شیوع و سرایت خرابی از یک عضو به اعضای دیگر میباشد. ما در این مجموعه به دنبال پیدا کردن راه حلی برای جبران این عدم توجه هستیم. در واقع صرفنظر از نوع خرابی باید دید که در یک سازه عظیم مانند یک پل خرپایی چگونه میتوان با رعایت اصول و ایجاد تمهیدات مورد نظر از یک خرابی عظیم جلو گیری نمود. شبیه سازی کامپیوتری بوسیله برنامه سپ و پیشنهاد یک شاخص امنیت که در بر گیرنده مسائل اقتصادی و همچنین مسائل امنیتی باشد اصول کلی این پایان نامه میباشد. شاخص امنیت در هیچکدام از پژوهشهای قبلی وارد نشده و کاملا ابتکاری میباشد. درواقع بوسیله این شاخص مدتها قبل از ساخت سازه میتوان دریافت که این سازه در قبال پدیده شکست پیشرونده چه عکس العملی از خود نشان خواهد داد. باید توجه داشت که یک سازه میتواند بدلیل وجود احتمالات و مسیرهای مختلف خرابی شاخص های امنیت متعددی داشته باشد که کمینه انها بر رفتار سازه حاکم است. همچنین در مقایسه دو سازه سازه ای که شاخص امنیت بالاتری داشته باشد عملکرد بهتری در برابر خرابی پیشرونده خواهد داشت.



**کلید واژه:پل خرپایی-خرابی پیشرونده-شاخص امنیت-افزونگی-شبیه سازی کامپیوتری**

**Summery:**

You can always supply safety and resistance for every member of a structure by observing the design principles procedural rules. But the most important subject that is not mentioned in design regulations is how a collapse starts and spreads from one member to another. We are trying to find a solution for this problem. In fact, regardless of the type of damage we should see that in a huge structure like a truss bridge how we can stop collapsing by observing the rules. General Principals of this thesis are computer simulation by SAP program, proposed a safety index that encompasses economic and security issues. The safety index is not at previous researches and it is completely original. In fact, you can understand how a structure will treat against the progressive collapse before building the structure. You must know that a structure would have different safety indexes because of the different ways for collapsing. The minimum safety index is used for the structure. Also in comparing the ۲ structures the one that has the lower safety index would treat better against the progressive collapse.

**Key words:truss bridg-progressive collaps-safty factor-redundancy-simulation**

# فصل اول :

## مقدمه پژوهش ( شرح موضوع مورد مطالعه و ارزش تحقیقاتی آن )

### ۱-۱- مقدمه و سابقه تاریخی :

اصولا در ارزیابی و طراحی هر نوع سازه ای صرف نظر از نوع سازه و کاربرد آن ضوابط طراحی زیر باید رعایت گردد :

۱- نیازهای طراحی ۲- اهداف طراحی ۳-تائید استانداردها ۴- استراتژی ها

برای داشتن یک سازه ایمن و مطمئن باید مقاومت سازه با در نظر گرفتن موارد ۲ و ۳ تامین شود. این نوع مقاومت به نام " مقاومت ناحیه ای اعضا [۱]" معروف می باشد. مقاومت ناحیه ای اعضا از شکست المان ها و اجزای سازه در برابر انواع پیشامدها جلوگیری میکند. ولی نکته ای که در اکثر قریب به اتفاق استانداردهای طراحی لحاظ نمی شود , جلوگیری از سرایت خرابی از عضو مورد نظر به دیگر اعضا و در نتیجه خرابی کلی سازه است. (Starossek,u۲۰۰۵)

در سازه های پل به دلیل وجود بار دینامیک و پیوستگی شدید اعضا و البته حجم عظیم سازه امکان سرایت خرابی به مراتب بالاتر از دیگر انواع سازه هاست. همچنین وجود عواملی همچون شرایط جوی , حوادث بشری مثل تصادفات و انفجارات , حملات تروریستی ,خوردگی های اعضا و... بر شدت این موضوع می افزاید. نوع

[۱] -Local resistance

مسئله مورد بحث در این پایان نامه خرابی پیشرونده[۲] در پل ها می باشد و شیوه جلوگیری از این خرابی مـورد بحث قرار خواهد گرفت. این خرابی ها با از بین بردن یک عضو شروع شده و به بقیه اعضا سرایت کرده و حوادث جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. در صفحه بعد در جدول شماره۱ ما موارد مهم شکسـت پیشـرونده در پل های ساخته شده را به نمایش میگذاریم که خود مهمترین دلیل برای اثبات اهمیت موضوع مورد بحـث مـی باشد

**جدول شماره ۱**

**" تاریخچه شکست پیشرونده در پل ها "**

| ردیف | نام پل و کشور | مشخصات پل | نوع خرابی وسال وقوع | خسارت وارده ناشی از خرابی پل |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | Haeng_ju Granel کره جنوبی | پل کابلی با عرشه بتنی با ۵ دهانه مجموع۸۰۰متری | پارگی تاندوم های نگهدارنده در یک دهنه _ ۱۹۹۲ | ۴۵۰ میلیون دلار ۱۹ کشته |
| ۲ | I – ۳۵ W آمریکا | پل فلزی خرپایی ۴ دهانه به طول ۶۲۰ متر | خوردگی ورق اتصال اعضای قطری به یال فوقانی در دهانه میانی _ ۲۰۰۷ | کشته ومجروحیت ۱۱۳نفر حدود۷۰۰میلیون دلار |

[۲] -progressive collapse

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۳ | Northband<br>کانادا | پل فلزی خرپایی ۴ دهانه به طول ۲۵۰ | خوردگی اتصالات خرپایی بدلیل قدمت پل _ ۲۰۰۴ | حدود ۱۰۰ میلیون دلار |
| ۴ | Silver bridge<br>آمریکا | پل معلق خرپایی ۴ دهانه به طول ۵۷۰ متر | ترک های خستگی در دال عرشه ۵ دسامبر ۱۹۶۷ | ۴۶ کشته و زخمی حدود ۳۰۰میلیون دلار |
| ۵ | Mianus River bridge<br>آمریکا | پل فلزی خرپایی ۵ دهانه به طول حدود ۶۰۰ متر | خستگی ورق های اتصالات ۲۸ ژوئن سال ۱۹۸۳ | ۳کشته(حادثه درنیمه شب بوده) حدود۴۰۰میلیون دلار |
| ۶ | Fuzhou<br>چین | پل کابلی ۶ دهانه به طول حدود ۱ کیلومتر | تصادف سنگیل جرثقیل ۱۰۰تنی ژوئن سال ۲۰۰۱ | ۲۷۰ میلیون دلار |
| ۷ | Rion Atirion<br>یونان | پل کابلی با ۴ دهانه به طول حدود ۵۰۰متر | برخورد صاعقه و آتش سوزی سال ۲۰۰۰ | ۴ کشته و مجروح حدود ۱۵۰میلیون دلار |
| ۸ | Mezcala<br>مکزیک | پل کابلی با ۵ دهانه به طول حدود ۶۵۰ متر | تصادف۲اتوبوس مدرسه و کامیون حمل نارگیل وآتشسوزی ۱۷ مارس سال ۲۰۰۷ | ۱۷ کشته و مجروح حدود ۵۱۰میلیون دلار |
| ۹ | Cape Giradaeu<br>آمریکا | پل خرپایی فلزی با ۴دهانه به طول حدود ۴۵۰ متر | تخریب بر اثر انفجار در یک دهانه ابتدای پاییز ۲۰۰۴ | ۲۰۰ میلیون دلار |

همانطور که در جدول شماره ۱ بالا آمده است متوجه می شویم که پدیده شکست تدریجی یکی از عوامل شـایع در تخریب پل هاست. در تمامی این موارد وقوع یک خرابی کوچک که با صرف اندک هزینه ای قابل جبران بوده است منجر به خرابی قسمت عظیمی از پل و ایجاد خسارت اساسی به ان بوده است.(k.lima,۲۰۰۸)

از این رو طراحان بزرگ برای طراحی و تحلیل و اجرای یک پل مهم (صرف نظر از نوع پل ) یک مرحله بـازبینی مجدد برای بررسی شکست پیشرونده خواهد داشت. این مرحله یکی از مراحل پایانی کلر می باشد به نحوی کـه تمامی معادلات طراحی و ساخت تحت الشعاع آن قرار دارند. به عنوان مثال از جمله کارهایی که اکنون طراحان در این رابطه انجام میدهند عبارتند از (Starossek,۲۰۰۶)

**۱-۱-۱- تقویت اعضای بحرانی :**

پس از مشخص شدن اعضای بحرانی[۳] ( از نرم افزارهای طراحی ) میزان مقاومت و طاقت این اعضا با بـالا بـردن افزونگی ( یا به عبارتی افزایش مقطع ) افزایش می یابد تا از خطرات احتمالی جلوگیری شود. این روش یکـی از متداول ترین روش هاست.

**۱-۱-۲- ایجاد اتصالات قابل تعویض :**

در این روش از اتصالات قابل تعویض نظیر اتصالات پیچی برای برقراری ارتباط بین اعضای پل استفاده میشود تا در مواقع خطر و لزوم , بتوان اعضای معیوب و خراب را با اعضای سالم جایگزین نمود. این روش معمـولا در پـل های فلزی کاربرد دارد.

**۱-۱-۳- تقسیم بندی کردن پل به دهانه های مجزا [۴]:**

[۳] -critical member
[۴] -isolation by compartmentalization

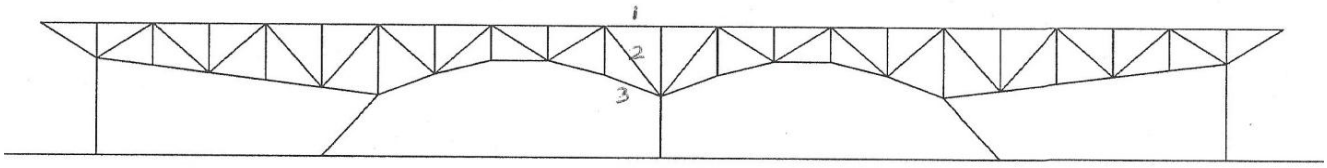
در این روش دهانه های پل طوری طراحی می شوند تا میزان درگیری و تقابل نیروهای داخلی در آنها به حد کمترین مقدار خود برسد دهانه های پل به خودی خود پایدار طراحی شده و اتصالات بین دهانه ها تا حد امکان از پیشرفت خرابی از یک دهانه به دهانه دیگر جلوگیری نمایند. این روش در پل های بسیار طویل کاربرد دارد.

### ۱_۲_ موضوع این پایان نامه :

در این پایان نامه به بررسی پدیده شکست پیشرونده از یک دیدگاه جدید پرداخته شده است. در این روش ابتدا پل خرپایی مطابق شکل ۱ در نظر گرفته و سپس سناریوهای مختلفی از خرابی ( نظیر خرابی اعضای وسط دهانه , اعضای ابتدا و انتهای دهانه ها , پایه های پل و... ) را بر روی آن پیاده می کنیم و در هر مرحله بررسی میکنیم که چگونه خرابی یک عضو کوچک , مرحله به مرحله منجر به خرابی کلی و خسارت اساسی می گردد. سپس برای مقایسه این خرابی ها با یکدیگر شاخصی به نام شاخص امنیت[۵] تعریف می گردد که در واقع این شاخص فاصله بین شروع خرابی یک عضو تا خرابی کامل پل ( شروع خرابی تا توقف خرابی ) را به صورت عددی بیان می دارد و انواع خرابی را با یکدیگر قابل مقایسه می کند.این شاخص کاملا ابتکاری بوده که در هیچکدام از مقالات و پژوهش های قبلی چنین موردی وجود نداشته است.

### ۱_۳_ روش تحقیق :

اصول کلی این پژوهش بر اساس تحلیل های کامپیوتری حاصل از شبیه سازی پل فلزی خرپایی دربرنامه SAP ورژن ۱۲ می باشد. طرح پل فلزی خرپایی منتخب ارائه شده در این پایان برنامه اساس نمونه عملی ساخته شده پل I-۳۵W در ایالات متحده می باشد که اندکی تغییرات در هندسه و ابعاد آن داده شده است(شکل۲)




شکل ۱-شکل پل S۱ طراحی شده

[۵] -safty factor

. پس از مدل کردن پل مورد نظر ( مطابق شکل ۱ ) در برنامه , بارگذاری و تعریف مقاطع و نهایتا طراحی پل انجام شده است. سپس با تخریب اعضای منتخب که احتمال خرابی آن ها به هر دلیل وجود دارد, چگونگی پیشرفت و گسترش خرابی در بقیه اعضا را دنبال می کنیم. لازم به ذکر است در این پژوهش علت یابی خرابی و عوامل تخریب اعضای پل مد نظر قرار نگرفته است.. این کار با به روزرسانی مدل انجام میگیرد. یعنی در هر مرحله بعد از حذف یک عضو خراب با نرم افزار , می بینیم چه عضو یا اعضایی نمی توانند جوابگوی تحمل بارهای وارده باشند , در مرحله بعد آن ها را نیز حذف می کنیم. هندسه پل (مدل) را اصلاح کرده و دوباره در وضعیت جدید با بارگذاری مجدد , نیروهای اعضا و توان تحمل آن ها را بررسی میکنیم. این کار تا آنجائیکه تخریب متوقف گردد ادامه خواهد داشت. بعد از این مرحله ( توقف خرابی ) شروع به محاسبه میزان وزن از دست رفته در هر مرحله می نماییم. همچنین میزان وزن افزایش یافته با در نظر گرفتن مقاطعی که از پیشرفت خرابی جلوگیری کنند بدست می آید و با داشتن این مقادیر, شاخصی برای سنجش سطح سلامت یا امنیت پل تعریف و تعیین می شود .

Photo:National Transportation Safety Board Release

**Fig. 2:** Views of the collapsed I-35W bridge

**شکل ۲-پل I-۳۵W**

## ۱_۴_ شرح مختصری از محتوای فصول این پژوهش :

در این قسمت محتوای فصول این پایان نامه از ابتدا تا انتها به طور مختصر شرح داده می شود:

**فصل ۱ :** همانطور که از نظر گذشت در این فصل به تعریف موضوع و کلیات موضوع مورد مطالعه پرداخته شده و شیوه انجام تحقیق توضیح داده شده است.

**فصل ۲ :** در این فصل به بررسی پیشینه موضوع تحقیق پرداخته میشود. درواقع به بررسی سوابق تاریخی شکست پل ها و همچنین سوابق کارهای تحقیقاتی انجام شده در این زمینه توسط دانشمندان و محققان مختلف پرداخته می شود.

**فصل ۳ :** در این فصل طراحی کامل پل فلزی خرپایی ( هندسه پل , بارگذاری , طراحی اعضا , استانداردهای مربوط به طراحی ) انجام می گیرد و نحوه پیشرفت خرابی و گسترش آن در هر مرحله به دقت محاسبه می شود.

**فصل ۴ :** در این فصل ملاحظات خاص طراحی برای ممانعت از گسترش خرابی با افزایش مقاطع در حال تخریب انجام می گیرد. سپس محاسبه شاخص امنیت ( سلامت )پیشنهادی جهت ارزیابی سطح ایمنی سازه یک پلارائه میشود. لازم به ذکر است که همانطور که سایر محققین افزایش افزونگی را بعنوان یک توصیه برای جلوگیری از فروریزی پیشرونده ارائه می دهند ما نیز با ارجاع این مطلب به نتلیج تحلیل و طراحی , افزونگی پل را افزایش داده و ۲ سازه پل مطابق شکل های قبلی مورد بررسی قرار گرفت. در انتهای این فصل نتایج عمده این تحقیق ارائه می گردد.

**فصل ۵ :** نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات جهت تحقیقات بیشتر در این زمینه ارائه شده است.

# فصل دوم :

# پیشینه تحقیقات انجام شده در رابطه با موضوع پژوهش

در این فصل ما به بررسی فعالیت های انجام شده در زمینه پژوهش مورد نظر و همچنین مقالات ارائه شده معتبر در ارتباط با موضوع شکست پیشرونده می پردازیم. تمامی مقالات مورد مطالعه قرار گرفته و مطالب مفید همگام با موضوع مورد بحث ارائه می شود. سپس بر حسب اشتراکات مقالات , تیترهای بعدی معرفی می شوند. این تیترها شامل مسائل مهم اشاره شده در فعالیت های پژوهشی قبلی است که توضیحات هر کدام در مقالات آمده است.

## ۲-۱-عناوین و اهداف مشترک مطالعه در مقالات ارائه شده :

### ۲-۱-۱-ضوابط طراحی مورد تاکید در شکست پیشرونده :

در ارزیابی و طراحی سازه با ملاحضه مقاومت در برابر واژگونی آن در برابر شکست پیشرونده , ضوابط اضافی طراحی زیر بسیار مهم هستند : (Starossek,۲۰۰۱)

۱_ نیازمندی ها ۲_ اهداف طراحی ۳_ استراتژی های طراحی ۴_ تائید رویه ها

اولین مطلب ( نیازمندی ها ) خصوصا" این مسآله اگر مقاومت واژگونی مهم باشد به وضوح بیان شود نیازها به اهمیت سازه با مراجعه به نتایج واژگونی , شامل مواد سریع و فقدان های غیر مادی و همچنین تاثیرات غیر مستقیم آنها , بستگی دارد. باید عبارت دیگر امکان جداسازی سازه های پایین و عمرانی و استحکامات اجتماعی ضابطه دیگر برای محاسبه نیازمندی درجه سازه از نظر ۱-در معرض مخاطرات جنگی بودن ۲-عملکرد مولکولی

۳-بلایای طبیعی است. در معرض بودن , مخصوصا" در مورد ساختمان های عمومی پل های بزرگ و سازه های دیگر زندگی روزمره مورد ملاحضه قرار میگیرد. اگر مقاومت واژگونی به نظر مهم باشد اهداف طراحی زیر باید مخصوص در نظر گرفته شوند:

۱_ حوادث اتفاقی موجود قابل فرضی ( حوادث طبیعی و غیر طبیعی )

۲_ شکست ناحیه ای نخست موجود قابل فرض

۳_ پیشرفت واژگونی موجود قابل قبول

۴_ خسارت به سازه های اقامتی موجود قابل قبول

۵_ ترکیبات بارگزاری و ضریب ایمنی قابل کاربرد [۶]

اهداف طراحی ۲ و ۳ و ۴ زمانیکه تنومندی سازه مورد آزمایش قرار می گیرد استفاده می شود و اهداف طراحی ۱ و ۳ و ۴ زمانیکه مقاومت سازه در مقابل واژگونی بر اساس توضیحات مربوطه داده شده در بالا مورد آزمایش قرار می گیرد استفاده می شود.

استراتژی های طراحی برای پیشگیری از شکست تدریجی اشاره شده در مطبوعات که در زیر آمده است حداقل به صورت جزئی به سوی طراحی آیین نامه ها دارند :

۱_ ایمنی بالا در برابر شکسا ناحیه ای ( برای جلوگیری از سرایت خرابی به دیگر اعضا )

۱_۱_ مقاومت ناحیه ای مخصوص اجزای کلیدی ( طراحی مستقیم )

۱_۲_ مقیاس های پشتیبانی غیر سازه ای ( عوامل دخیل غیر سازه ای در شکست پیشرونده )

[۶] -load combination

۲_ طراحی برای بارگزاری نوع شکست ناحیه ای ( طراحی مستقیم )

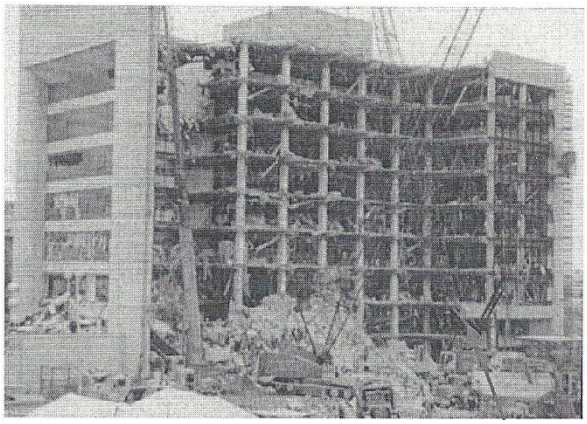
۲_ ۱_ مسیرهای بارگزاری جایگزین [۷]

۲ _۲_ ایزولاسیون به وسیله تقسیم بندی کردن

۳_ قوانین وابسته به طراحی ( طراحی غیر مستقیم )

**۲-۱-۲- امنیت بالا در برابر شکست ناحیه ای برای جلوگیری از شکست پیشرونده :**

اگر شکست از مقدار قابل قبول شکست تدریجی تجاوز کرد اجزای حذف شده سازه یـه عنـوان اجـزای کلیـدی شناسایی می شوند. یک راه بدست آوردن مقاومت در برابر فروریزش فراهم کردن بالاترین ایمنـی بـرای اجـزای کلیدی در برابر شکست است. این سطح بالای امنیت به طور برتری مطمئن است برای , نیـاز بـه فـراهم آوردن مقاومت ناحیه ای مخصوص در اجزای کلیدی.



**شکل ۳-ساختمان Alfred p murrah**

در مورد ساختمان دولتی مثل ساختمانMurrah (شکل۳) تقویت ستون های اصلی راهکار اصلی میباشد , به طور مثال بوسیله طراحی برای انفجار یا برای بارهای معادل (طراحی مورد بررسی قرار گرفته است. اگر مقاومت

[۷] -alternative load path

ناحیه ای در برابر بارهای محرک تصادفی که در ابتداقابل دستیابی نبود یا نیازمند سعی و کوشش بی تناسب بود , سطح بالای امنیت برای اجزای کلیدی سازه در برابر شکست می تواند از طریق اقدامات غیر سازه ای برای حفاظت مسیر شود ( کنترل اتفاق ) محدود کردن یا کنترل دسترسی های عمومی , و دیگر اقدامات محافظتی نظیر آیین ماهواره ای نظارت یا سیستم های ضد هوایی می باشد. در هر یک از موارد اقدامی که به کار گرفته می شود باید بوسیله مقادیر قابل فرضی حوادث تصادفی تعریف شده بر اساس اهداف طراحی , رهنمون شود.

این مورد در هر صورت باید به خاطر سپرده شود که تضمین مقاومت بالا در برابر شکست ناحیه ای نیازهای بیشتری نسبت به بارهای طراحی دارد و یا مشخصا" به صورت جانشین نیاز به مقادیر بیشتری

از محافظت در برابر حرکات مکانیکی دارد. به عبارت دیگر شکست ناحیه ای می تواند به علت وقایعی نظیر خوردگی یا آتش باشد که بیشتر از خوردگی قابل مقابله است. از این قبیل اعمال می توان به بازرسی منظم , محافظت در برابر آتش و سیستم مقابله با آتش که در حوادث وسیع تر اقدامات غیر سازمانی را نیز شامل می شود ) اشاره داشت. در یک تعریف مشابه دریافت ها و استدلالات بیشتر نیازمند نگرانی بیشتری در قبال مقاومت سازه ای است. فاکتورهای اطمینان برای مواد و مقاومت خاک باید از مقادیر معمول فراتر انتخاب شوند جستجوی خاک باید به وسیله دقت خاص انجام شود و همچنین طراحی برای مواد و مقاومت سازه ای و ساخت کلیه اجزای کلیدی باید همراه با دقت مطلوب و دقیق باشد. بینش مهندسی در تمامی مراحل طراحی باید با فراز تمامی خواص و هویت اجزای کلیدی باشد.

توسعه و آیین نامه نویسی برابر معادلات بارگزاری ( طراحی بارهای تصادفی ) بر سازه های کلی و غیر خاص هنوز هم در حال ساخته شدن است. برای پل ها بارهای طراحی برای تصادف کشتی , برخورد امواج و جریان های آبی و فشار یخ باید افزایش داده شود. مراحل ساخت همراه با دقت مخصوص و اهمیت بالا میتوانند به شدت تحت پوشش روش های استاندارد دربیایند. باد بندی های موقت و نیز ستون های جفت جفت می توانند اجزای کلیدی باشند. به جای ویژه شمردن معادلات بارگزاری بیشتر مصلحت آن به نظر می رسد که به صورت