بسم الله الرحمن الرحيم

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

خسارات و خرابی های ناشی از زلزله

EARTHQUAKE DAMAGES

مقدمه

حرکت سطح زمین به علت انتشار امواج لرزه ای به پی سازه منتقل می شود و پی سازه نبست به نقاط فوقانی آن جا به جا می شود .

با ایجاد این تغییرشکل نسبی ، در قسمت های مختلف سازه ، نیروهای داخلی ایجاد می شوند .

در نقاطی که جرم وجود دارد ، نیرویی متناسب با جرم وشتاب آن نقطه ایجاد می شود. این نیروها باید در یک مسیر منسجم از سازه به پی واز پی به خاک زیر سازه انتقال یابد .

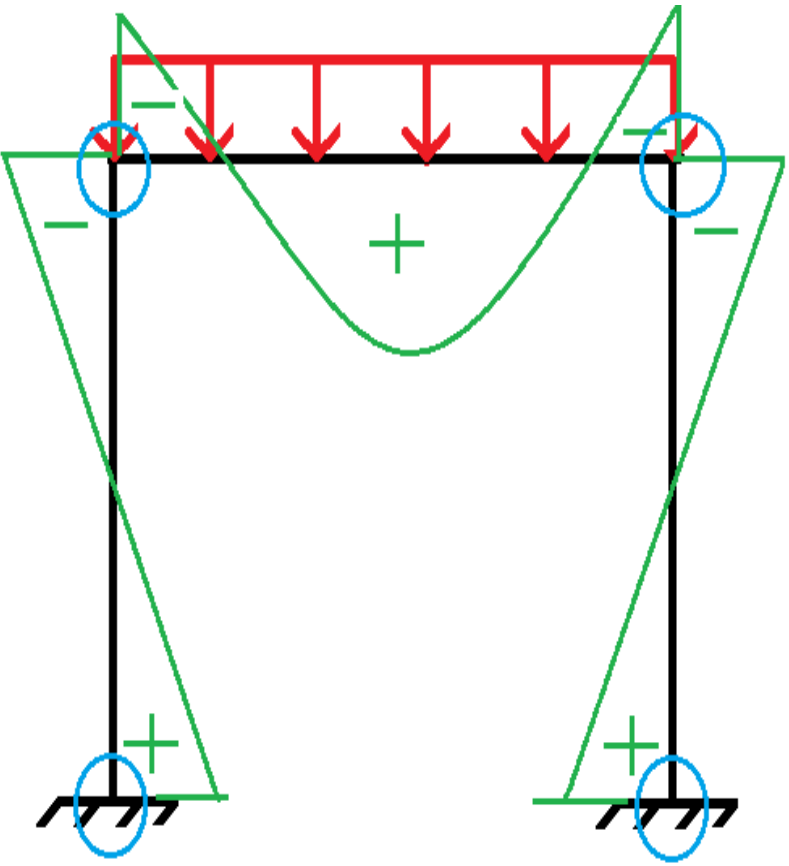
لذا باید تمام نقاط سازه در محل اتصالات و در طول اعضا دارای شرایط مناسب برای تحمل بارهای زلزله باشند .

نقاط بحرانی معمولا **محل اتصالات** است .

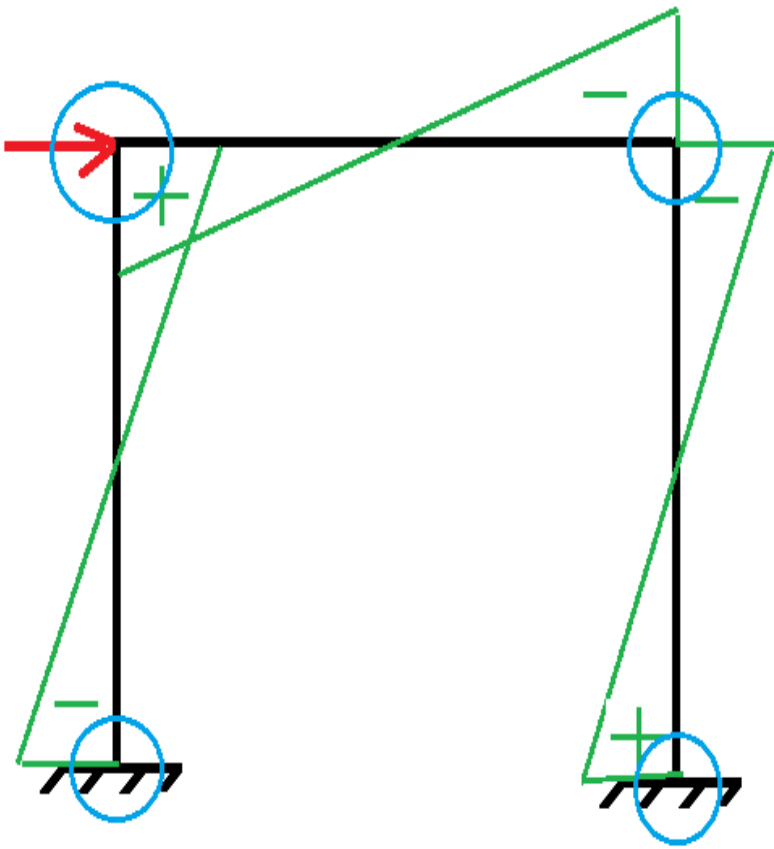
با توجه به دیاگرام های ممان یک قاب می توان به این نکته پی برد .

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

دیاگرام لنگر خمشی بار زلزله وبار ثقلی



Moment Diagram of Gravitional load



Moment Diagram of EQ load

Connections are subjected to maximum internal loads

خسارت های زلزله

انواع خسارات وصدمات ناشی از زلزله را می توان به صورت زیر تقسیم نمود :

۱- خرابی های فیزیکی ۲-صدمات اجتماعی ۳-زیان های اقتصادی

خرابی های فیزیکی شامل خسارات ناشی از خرابی ساختمان ، سازه و یا هر نوع اجزای غیر سازه ای است.

تلفات جانی و مجروحین به عنوان مهمترین ضربه اجتماعی ناشی از زلزله هستند . همچنین به ازبین رفتن برخی مشاغل و بی خانمان بورن در طول بازسازی می توان اشاره نمود .

کاهش فعالیت های تجاری و تولیدات صنعتی و سایر زیان های وارد به کارایی تاسیسات و شریان های حیاتی در اثر خرابی های فیزیکی از جمله زیان های اقتصادی می باشند .

هم چنین طول دوره عدم کارایی امکانات و تاسیسات برای ارزیابی کامل زیان اقتصادی حائز اهمیت است .

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

عوامل موثر بر خسارات زلزله

عوامل موثر بر خسارات زلزله عبارتند از :

. نوع وخصوصیات مهندسی سازه
. شدت تکان های نیرومند زمین
. خطرات جانبی
. اثرات ساختگاه
. اشغال بودن سازه
و کاربری سازه

نوع سازه

انتظار می رود سازه های طراحی شده در برابر زلزله(یعنی دارای مقاومت و شکل پذیری به اندازه نیاز نیروهای زلزله)، بتوانند بدون خرابی یا با خرابی اندک ، زلزله را پشت سر بگذارند .

مشخصات سازه ای مهم برای ارزیابی خرابی ناشی از زلزله شامل موارد زیر است :

نوع مصالح ساختمانی – نوع خاک زیر شالوده – پی سازه – نوع سیستم سازه ای – پیوستگی

ویکپارچگی سازه– کیفیت طراحی –کیفیت اجرا وساخت – عمر سازه – نزدیک بودن سازه ها

وبرخورد آن ها با یکدیگر

بر اساس شواهد کیفیت طراحی و اجرا نقش بسیار مهمی در عملکرد لرزه ای سازه ها دارد .

علل اساسی تخریب سازه های قابی در زلزله

۱- ستون های گوشه که معمولا تحت فشار شدیدی قرار می گیرند وباید اثرات ترکیبی زلزله در دو جهت به دقت لحاظ شود .

۲- شکست کامل عضو به علت عدم شکل پذیری کافی به ویژه سازه های بتن مسلح

۳- درجه نامعینی کم :

هرچه درجه نامعینی سازه بیشتر باشد ،رفتار آن در زلزله مطلوب تر است .مکانیزم شکست برای سازه های با درجه نامعینی بالا به طوری است که امکان تغییر مسیر بار وانتقال آن بعد از شکست وتسلیم برخی از اعضا وجود دارد .

٤- شکست ستون قبل از تیر

در صورتی که در یک طبقه مقاومت ستون ها در مقایسه با تیرها کمتر باشد ، مفاصل پلاستیک در ابتدا و انتهای ستون ها ، زودتر از تیرها تشکیل وباعث شکست آن طبقه می شود .

سازه بتنی

متداول ترین مکانیزم های شکست در سازه های بتنی عبارتند از :

۱- عدم رعایت فاصله مناسب خاموت ها و ایجاد مفصل پلاستیک در ستون ها

۲-پدیده ستون کوتاه

۳- شکست طبقه نرم

٤- شکست ستون ضعیف

٥- سایر (برخورد دو سازه مجاور ،واژگونی ،کمبود مقاومت باربری خاک وپی و ....)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

عدم رعایت فاصله مناسب خاموت ها و ایجاد مفصل پلاستیک در ستون ها

فلسفه تیرضعیف–ستون قوی در مورد قاب های خمشی

Strong Column-Weak Beam design concept

در ساختمان های چند طبقه با سیستم قاب خمشی برای جذب بیشتر انرژی زلزله و عدم تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون ها و عدم شکست ترد ، لازم است تیرها زودتر از ستون ها به حد تسلیم برسند .

بنابراین در طراحی برمبنای فلسفه تیرضعیف – ستون قوی باید ستونها در حالت ارتجاعی باقی بماند وتیرها زودتراز ستونها تسلیم شوند وباشکل پذیری مناسب غیر ارتجاعی خود ، ظرفیت تحمل قاب را بالاببرند.

دلایل مربوط به ضرورت ارضای این روابط :

۱- گسیختگی ستونها عموما منجر به گسیختگی کل سازه میشود.

۲- دریک سازه با ستون ضعیف تغییرشکل های پلاستیک ممکن است در یک طبقه متمرکز گردد ومنجر به ایجاد مکانیزم طبقه نرم و گسیختگی سازه گردد.(شکل زیر)

توجه : کنترل این ظابطه فقط برای قاب خمشی ویژه الزامی است.

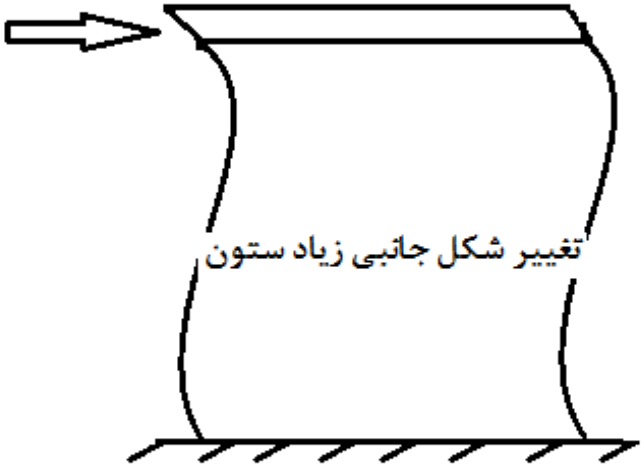
کنترل ظابطه فوق :

$$\Sigma M_c \geq 1.2 \ \Sigma Mg$$

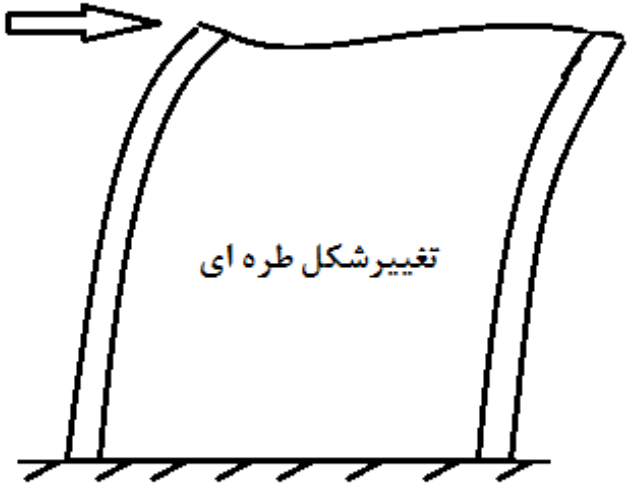
ΣM_c: مجموع لنگرهای خمشی نظیر لنگرهای خمشی مقاوم ستونها در بالا وپایین مرکز اتصال

ΣM_g : مجموع لنگرهای خمشی نظیر لنگرهای خمشی مقاوم تیرها دردوسمت مرکزاتصا ل

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

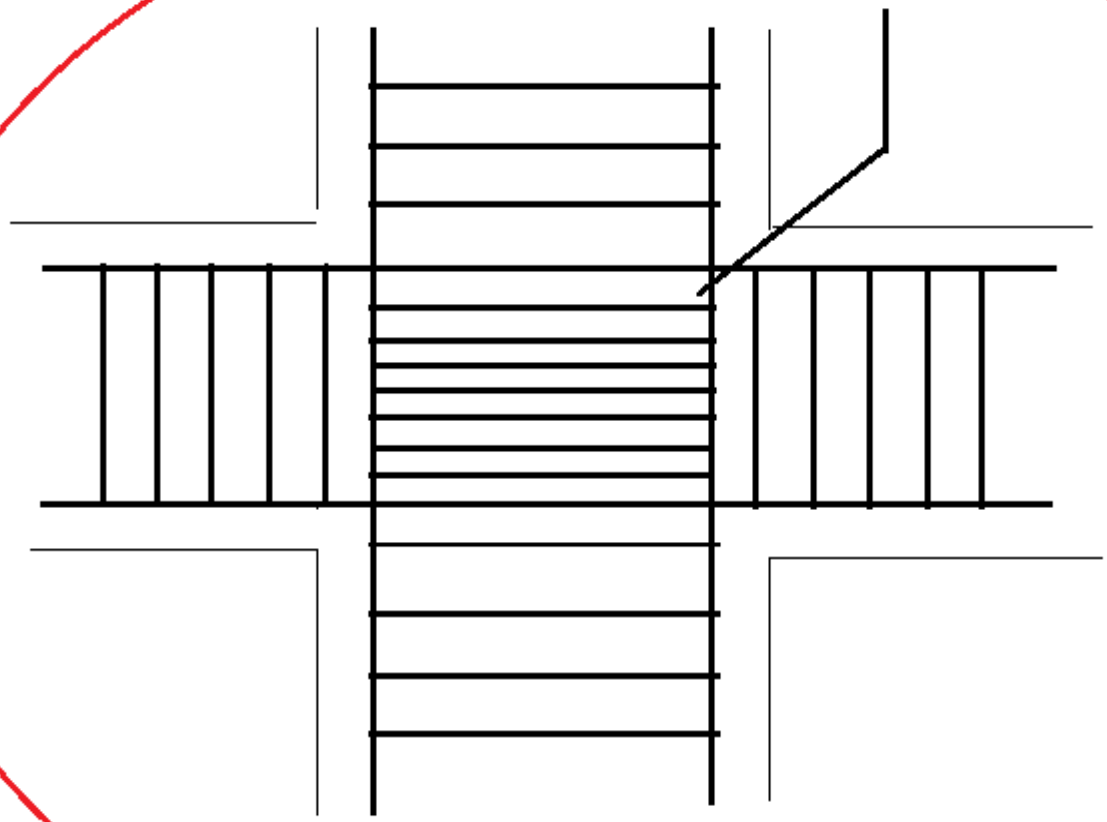


شاه تیر بسیار سخت



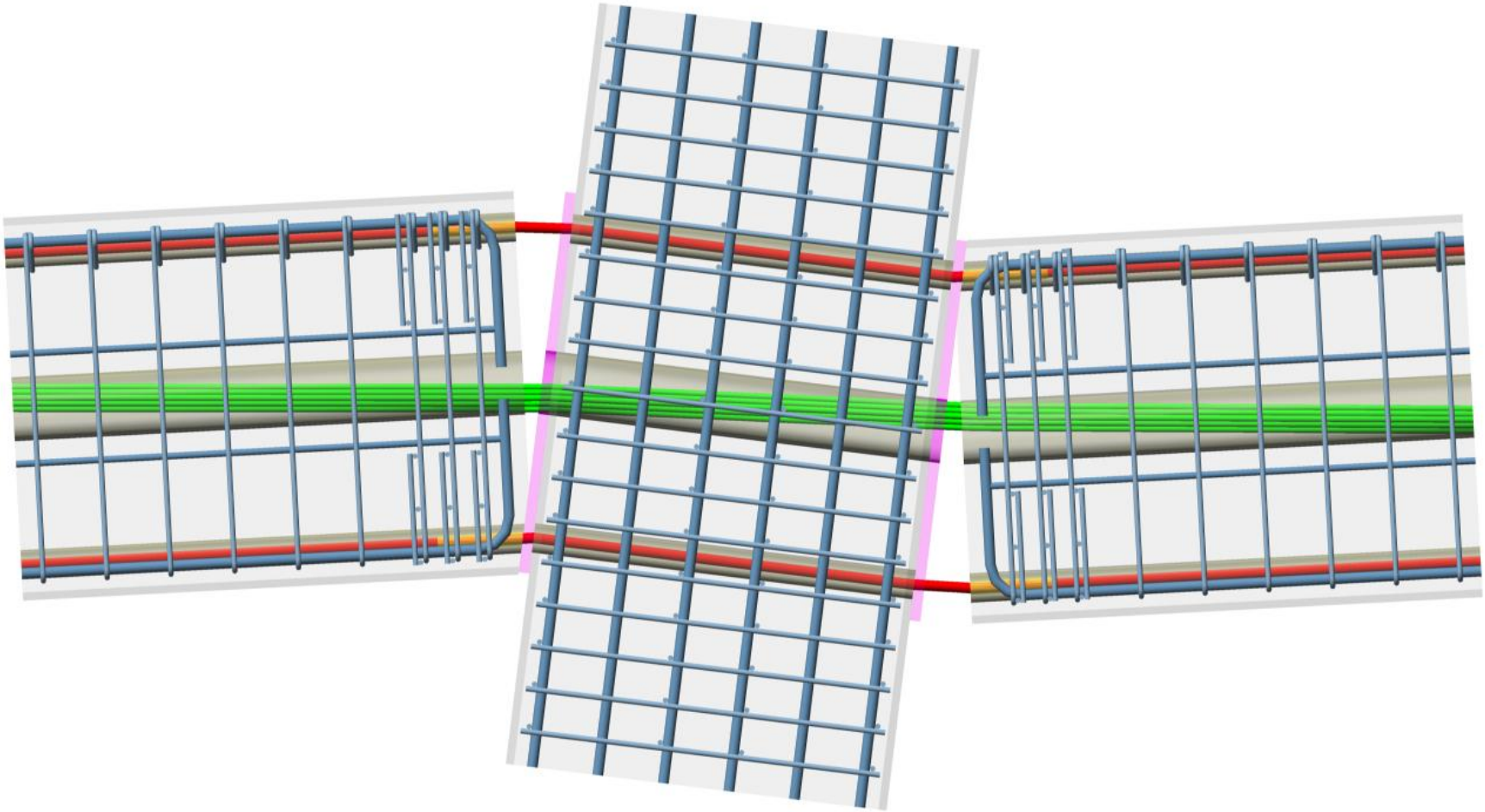
تیر نرم و ستون سخت

میلگردهای برشی ستون امتدادیافته است.



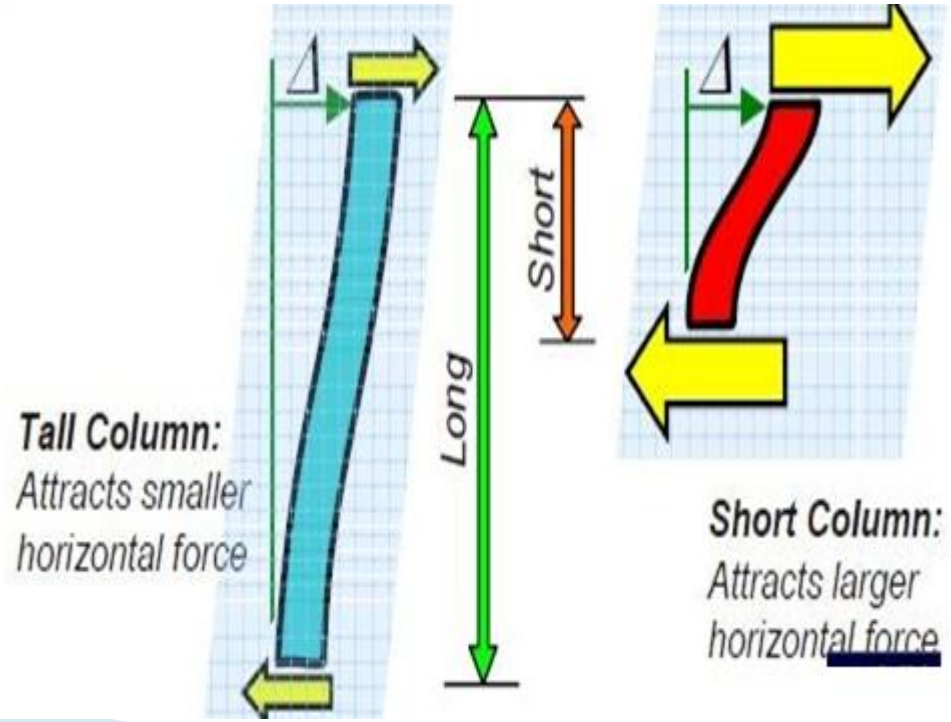
اتصال مناسب در قاب خمشی بتن مسلح

شکست مناسب با رعایت فاصله مناسب خاموت ها

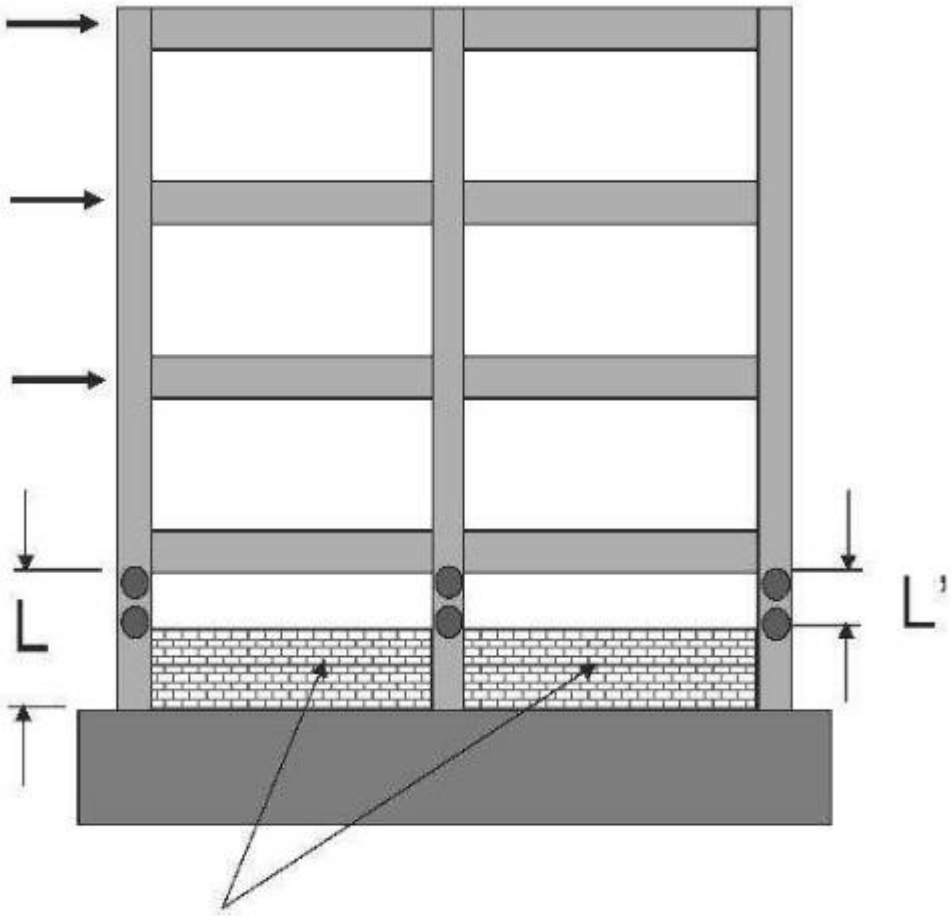


پدیده ستون کوتاه

در صورتی که دیوار تا انتهای ستون های مجاورش امتداد نیابد، آنگاه به علت کوتاه شدن ارتفاع موثر ستون ، سختی آن افزایش می یابد وبرش قابل ملاحظه ای در آن متمرکز می شود . این امر باعث شکست برشی(ترد) در ستون بتن مسلح می شود .



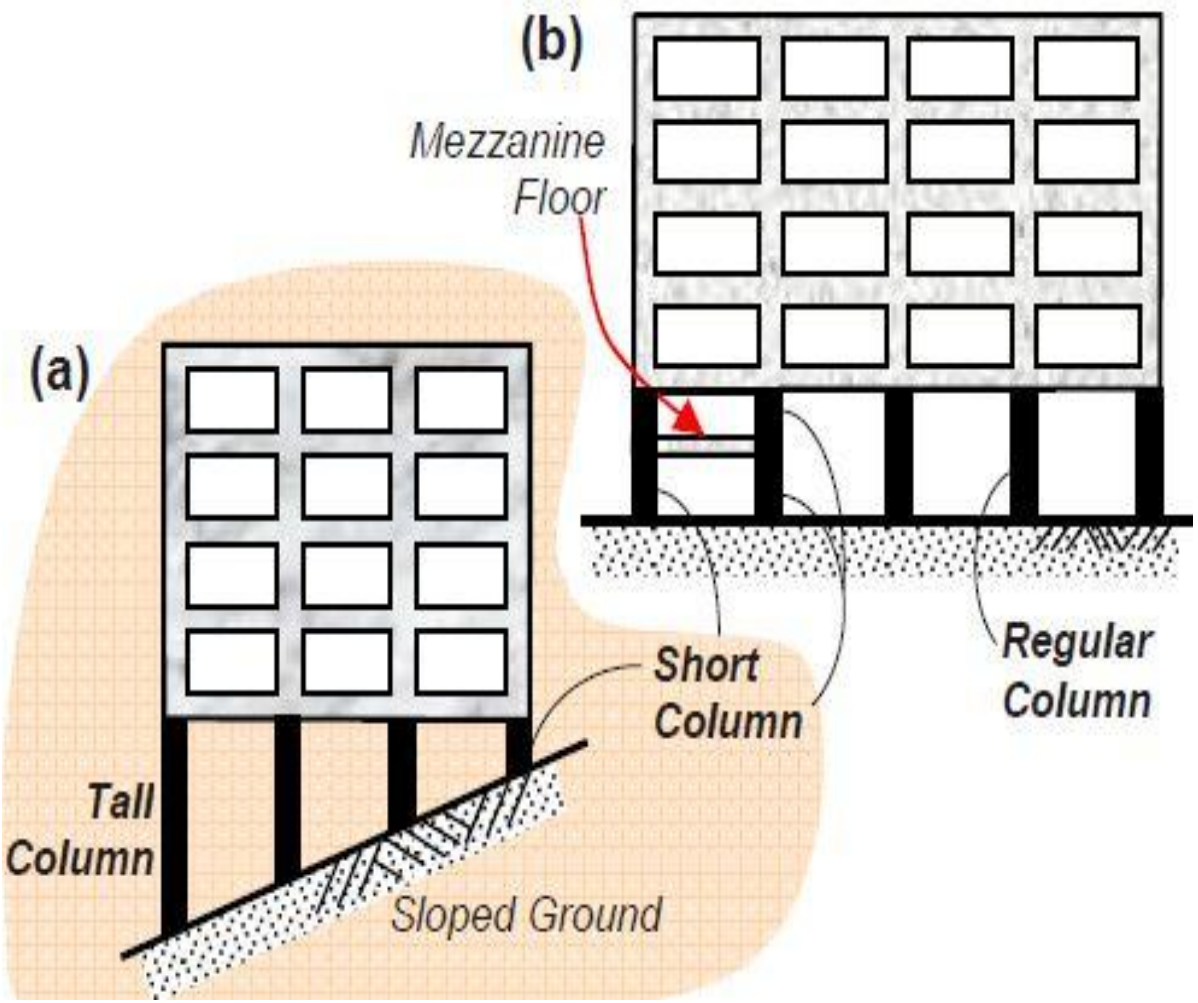
پدیده ستون کوتاه



Masonry wall

مفاصل پلاستیک و ارتفاع ستون معمولی و کوتاه

پدیده ستون کوتاه

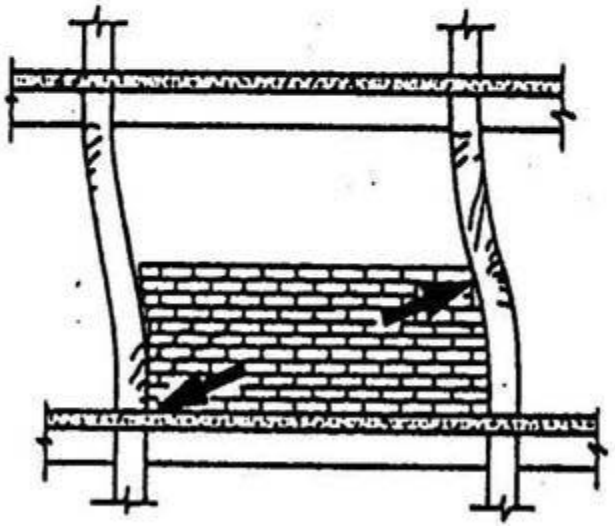


www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

www.khalvati.ir

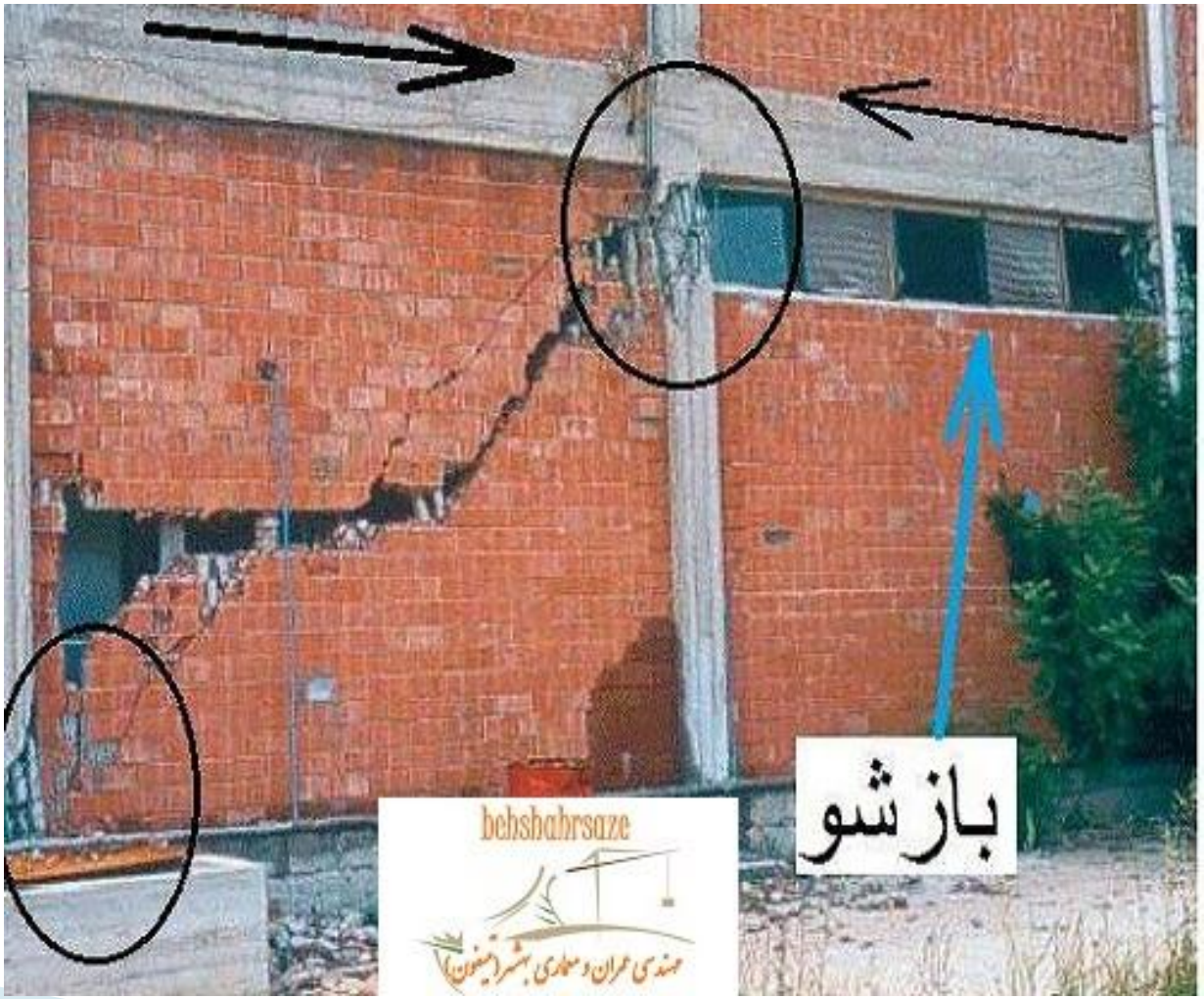
احتراز از ستون کوتاه :

شکست ترد برشي ستون بدليل كاهش طول , افزايش سختي جانبي و جذب برش بيشتر.



$$K=12\frac{EI}{L^3}$$

پدیده ستون کوتاه

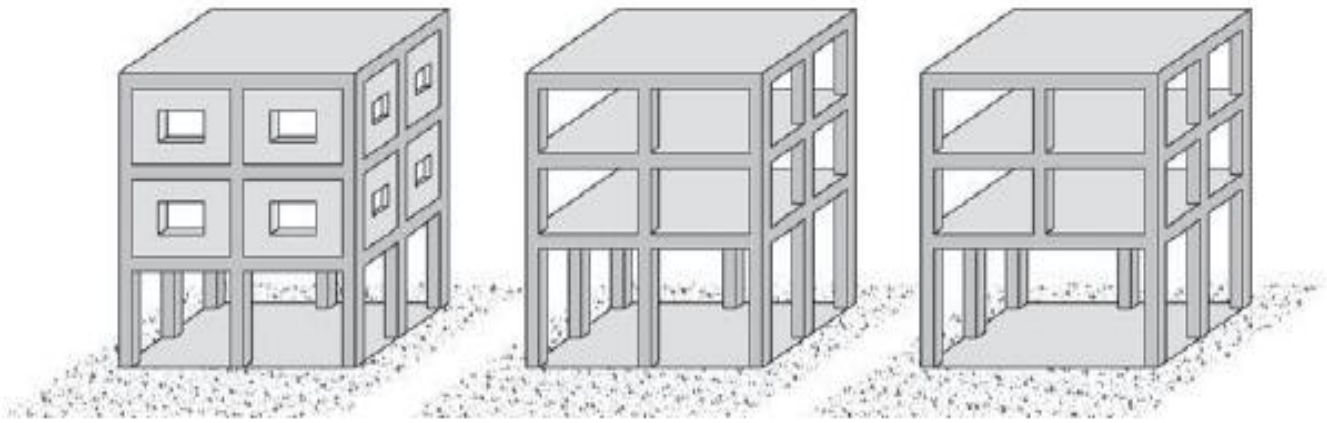


www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

شکست طبقه نرم
Soft Story Collapse

در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹٤ میلادی, یک زلزله با بزرگی ٦،۷ ریشتر منطقه Resedaدر کالیفرنیا را لرزاند. این زلزله که به زلزله نورث ریج Northridge Earthquake معروف شد باعث شد توجه مهندسین به اشکالی که در ساخت و ساز خانه های این منطقه وجود داشت جلب شود. چیزی که مشاهده شده بود ریزش طبقات بالایی ساختمانها بر روی طبقات پایینی آنها بود. طوری که طبقه پایینی کاملا از بین رفته بودند اما طبقات بالایی تقریبا سالم بودند. به ساختمانهایی که اینگونه تخریب شده اند ساختمانهای طبقه نرم میگویند .

شکست طبقه نرم
Soft Story Collapse



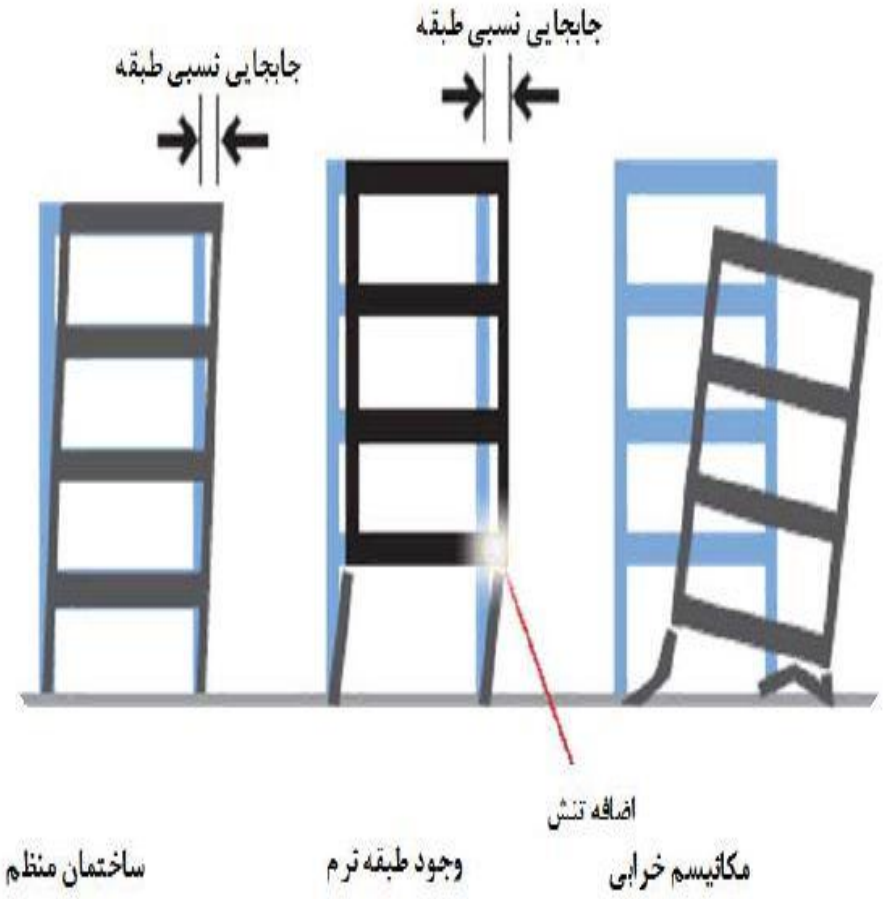
(a) Stiff and strong upper floors due to masonry infills

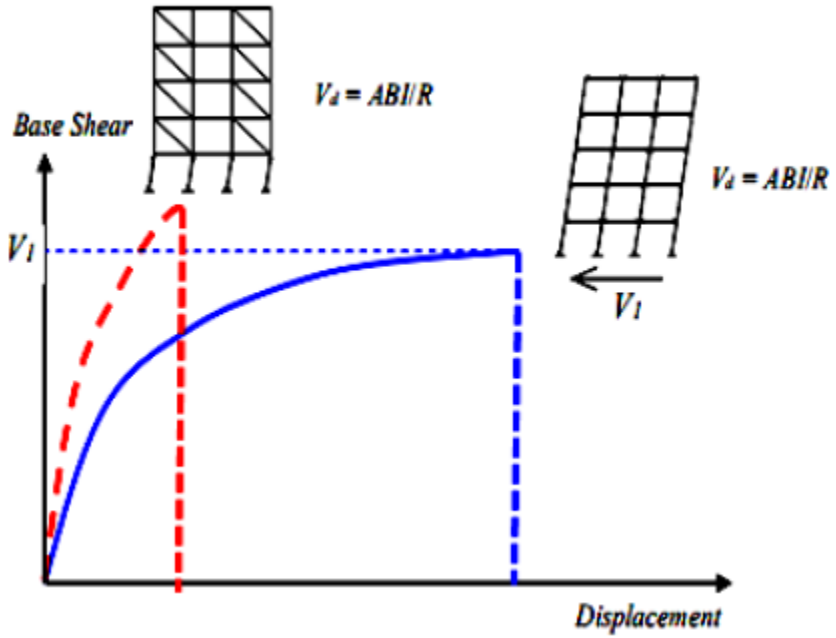
(b) The columns in one storey longer than those above

(c) Soft storey caused by discontinuous column

Examples of soft storey configurations.

شکست طبقه نرم
Soft Story Collapse





شکست طبقه نرم

زلزله نورث ریج

شکست طبقه نرم
Soft Story Collapse

تعریف طبقه نرم

استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ٤ = ASCE7-10

طبقه نرم : طبقه ای است که سختی جانبی آن کمتراز ۷۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰٪ متوسط سختی های ۳ طبقه روی خود باشد .

طبقه خیلی نرم (Extreme Soft Story): طبقه ای است که سختی جانبی آن کمتراز ٦۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۷۰٪ متوسط سختی های ۳ طبقه روی خود باشد .

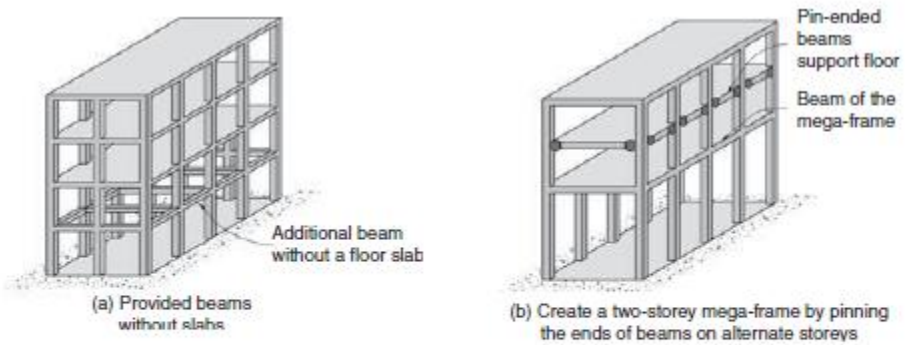
مقاوم سازی طبقه نرم :

۱- ایجاد دیوار برشی

۲- افزودن قاب های فولادی

۳- افزایش سختی ستون ها

و ....



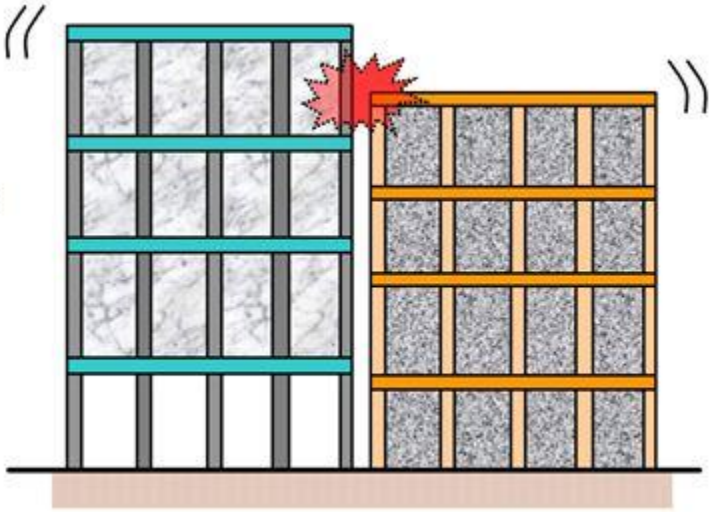
Two methods of avoiding a soft storey where one storey is higher than others.

کوبش در اثر برخورد دو ساختمان
Pounding

در هنگام زلزله ساختمان هایی که نزدیک یکدیگر قرار دارند به علت تفاوت در خصوصیات دینامیکی پاسخ های متفاوتی از خود نشان می دهند و ارتعاش مشابه و هماهنگ نخواهند داشت. در نتیجه امکان برخورد و انهدام در اثر ضربه برای این ساختمان ها وجود دارد. دراستاندارد ۲۸۰۰ آمده است که فاصله ای برابر یک درصد ارتفاع بین دو ساختمان مجاور در نظر گرفته شود .

نتایج تحقیقات نشان می دهند فاصله بین ساختمان های مجاور به زمان تناوب آنها بستگی دارد و با نزدیک شدن زمان تناوب دو ساختمان مجاور و همچنین با افزایش میرایی ، فاصله لازم بین ساختمان ها کاهش می یابد.

If buildings are located too close together they may collide during an earthquake. The roof of a lower height building can potentially collide with columns in a taller building causing severe structural damage.



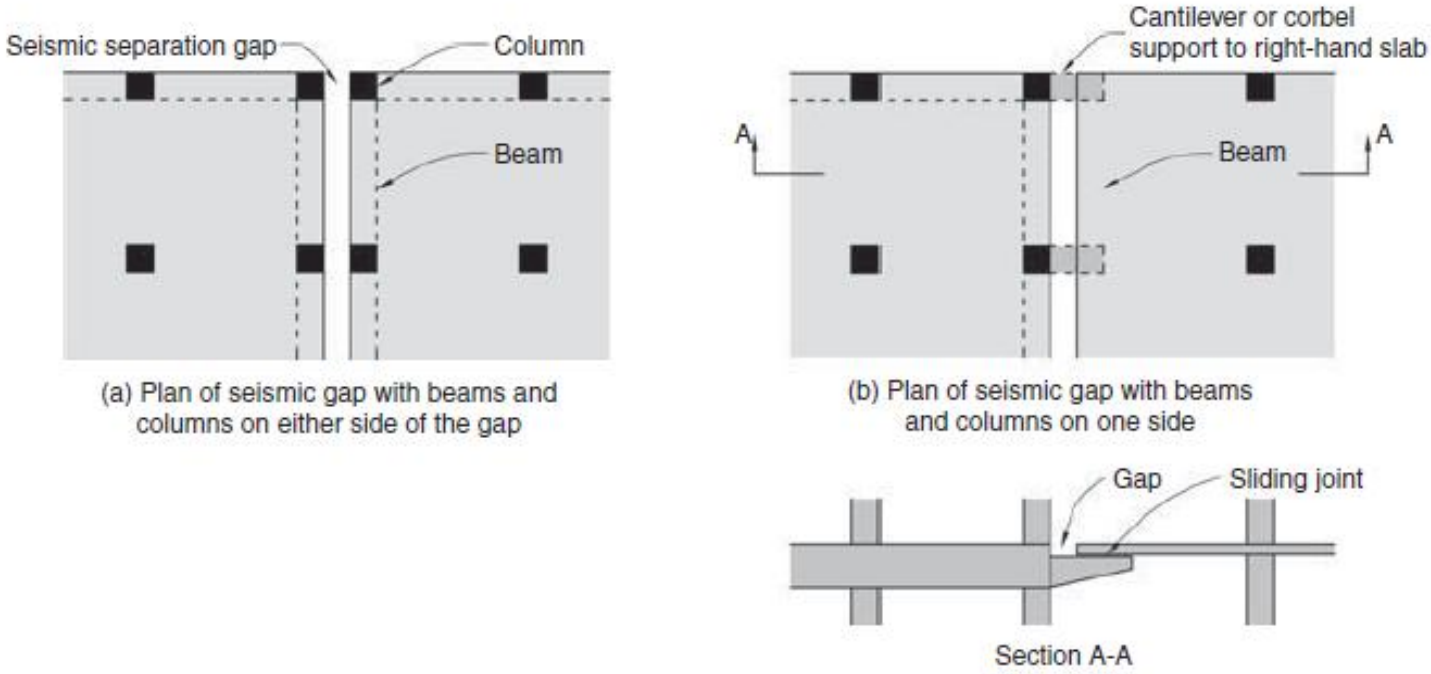
کوبش در اثر برخورد دو ساختمان
Pounding

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

کوبش در اثر برخورد دو ساختمان

Pounding damage during the 1985 Mexico City earthquake. (Reproduced with permission from David C. Hopkins).

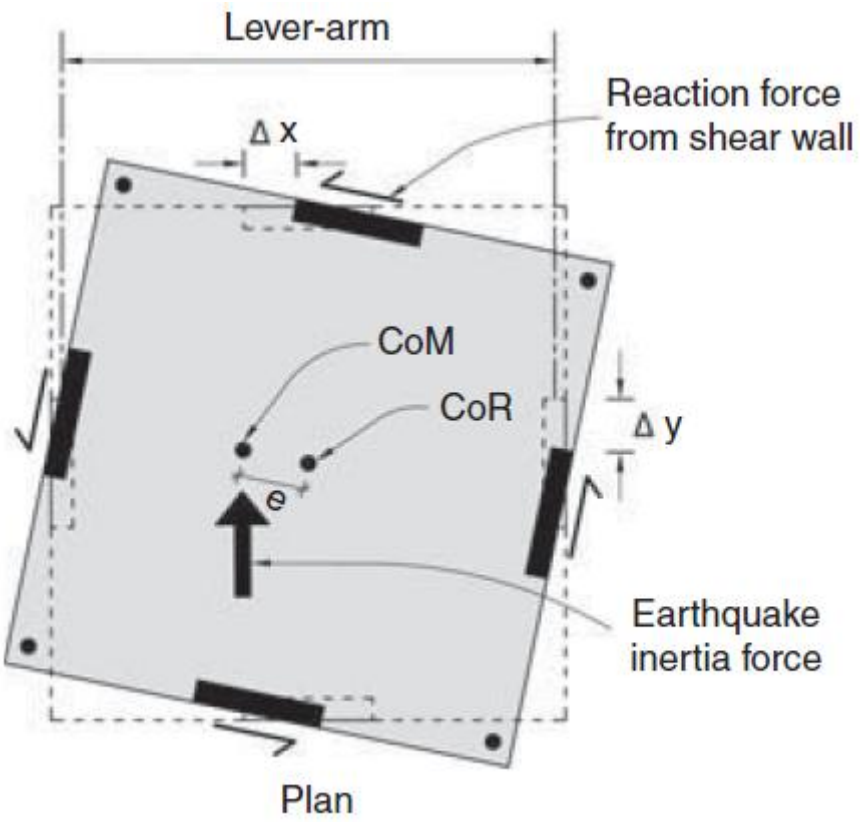
کوبش در اثر برخورد دو ساختمان
Pounding



Two methods of supporting flooring at a seismic separation gap.

پیچش Torsion

درصورتی که مرکز سختی سازه و مرکز جرم در یک نقطه نباشند ، خروج از مرکزی به وجود آمده و بر اثر اعمال نیروی اینرسی به محل مرکز جرم سازه ، سازه حول مرکز سختی دچار پیچش می شود .



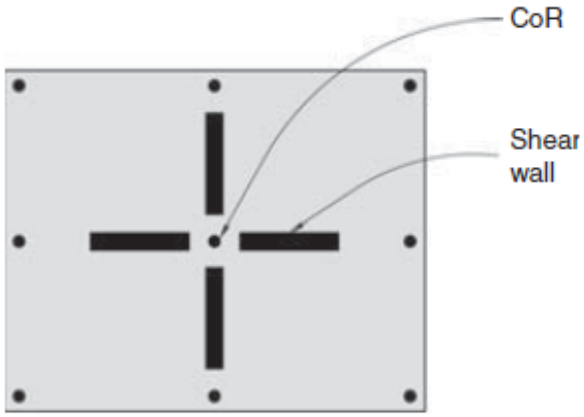
این دوران بر روی ستون هایی که بیشترین فاصله را از مرکز سختی دارند ،بیشترین اثر را می گذارد

این ستون ها تغییرشکل افقی زیادی را متحمل می شوند .

در زلزله های Northridge1994 و Kobe 1995 ساختمان های زیادی بر اثر پیچش منهدم شدند .

پس

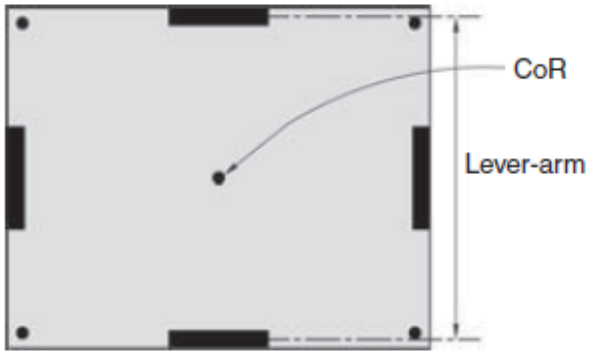
سیستم های سازه ای باید به نحوی قرار گیرند که مرکز سختی ومرکز جرم در کمترین فاصله از هم قرار گیرند.



Plan

(a) No torsional resistance

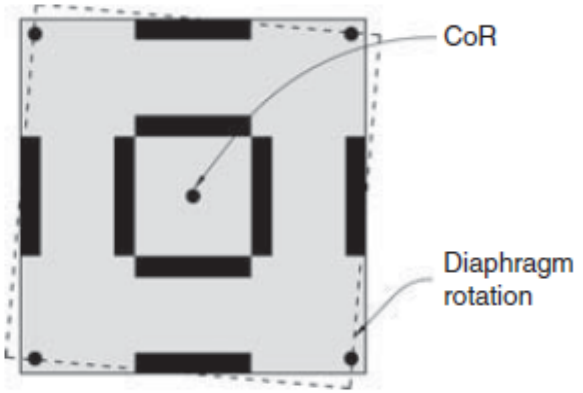
warp, flexing about their weak axes.



Plan

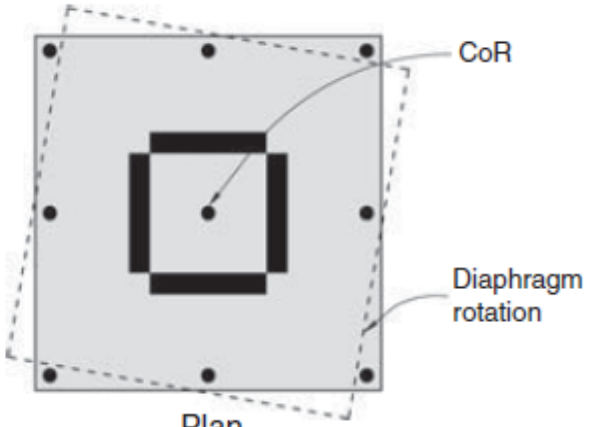
(b) Excellent torsional resistance

Two structural configurations, each with four shear walls, with contrasting abilities to resist torsion.



Plan

(a) Four inner walls slightly increase torsional resistance



Plan

(b) Diaphragm rotation increases where inner walls alone resist torsion

Structure located close to the CoR is less effective at resisting torsion.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

سازه فولادی

متداول ترین مکانیزم های شکست در سازه های بتنی عبارتند از :

۱- شکست ترد جوش و پیچ ها در برش وکشش

۲-کمانش پیچش جانبی

۳- کمانش موضعی بال وجان

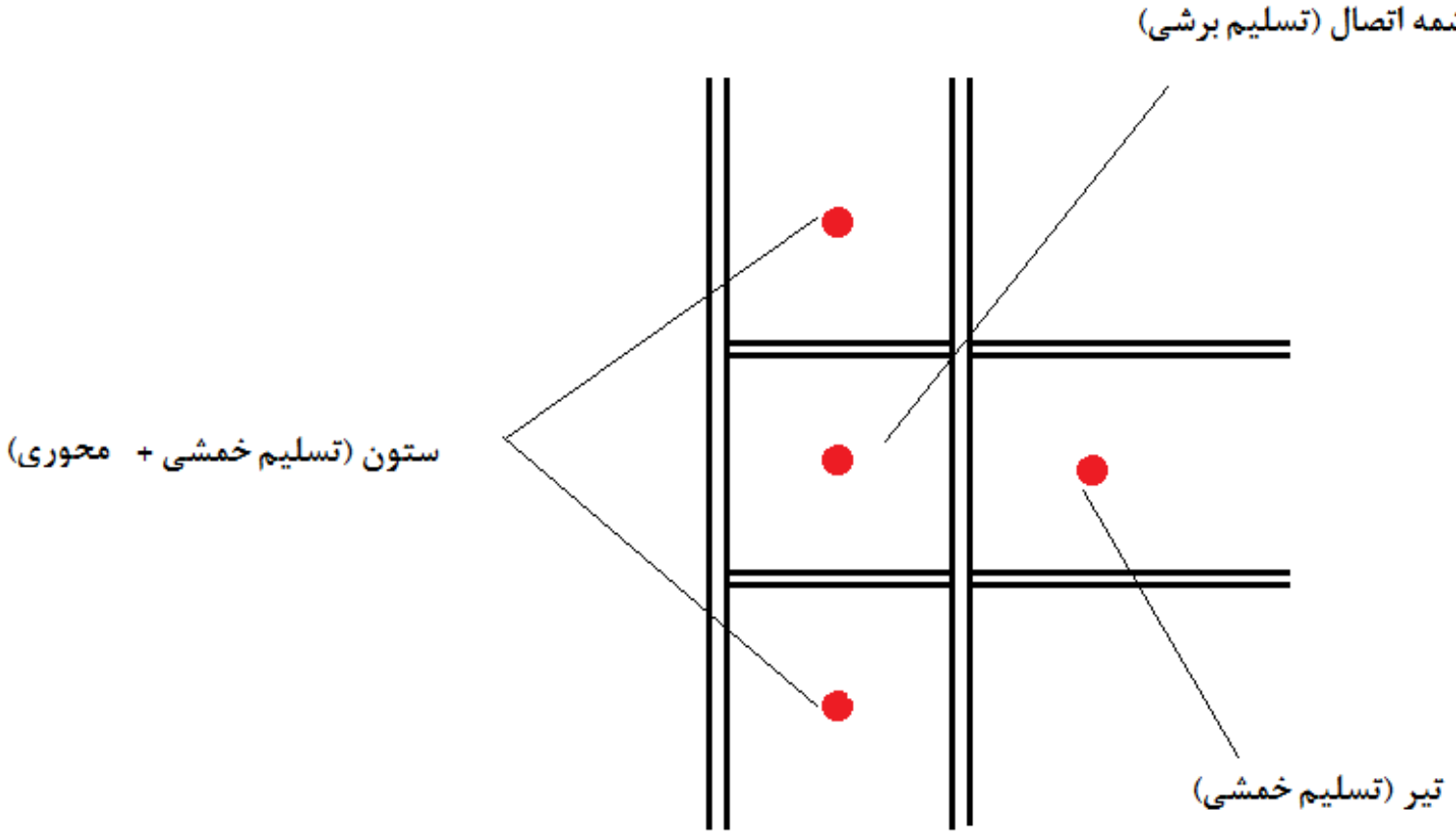
٤- بلند شدگی پی در قاب بادبندی شده

٥- شکست اتصالات

٦-پیچش شدید در سازه های نامتقارن و...

نواحی محتمل برای تشکیل مفصل پلاستیک

تمرکز تنش بزرگ ناشی ازلنگر لرزه ای مانع از پخش شدن ناحیه پلاستیک حول اتصال می شود و این نکته احتمالا عامل اصلی شکست ترد اتصالات می باشد.



معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۱- اتصال استخوانی (Dog bone)

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۱- اتصال استخوانی (Dog bone)

یکی از راهکارها یی که برای تشکیل مفصل پلاستیک در تیر وناحیه دور از اتصال می توان به کار برد ،کاهش عمدی ظرفیت خمشی تیر به صورت موضعی در فاصله اندکی از اتصال آن به ستون

Reduced Beam Section (RBM) است .

در اتصال استخوانی که نوعی RBS میباشد ؛ بال های تیر به صورت قوسی شکل برش یافته لذا، عملکرد بسیار خوبی درمقابله با بارهای لرزه ای نشان میدهد.

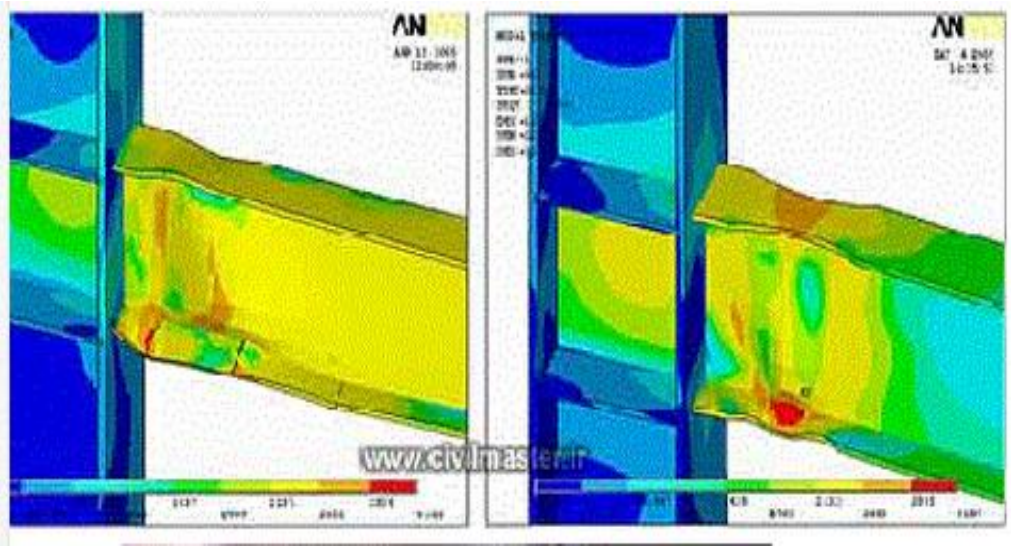
فواید :

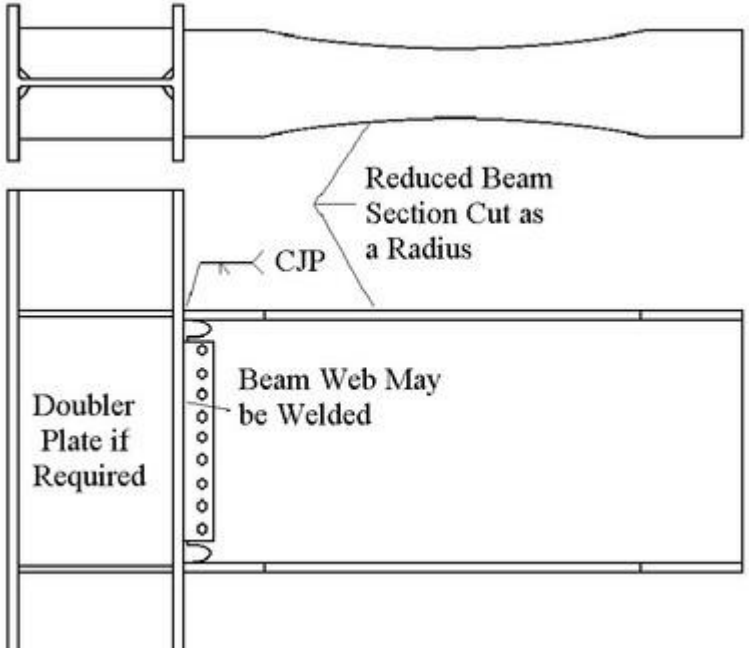
افزایش شکل پذیری و دوران پلاستیک اتصال تیر به بدون اینکه سختی و مقاومت آن دچار تنزل قابل توجهی ...شود

اتصال RBSباعث میشود مفصل پلاستیک دور از اتصال تیر به ستون و در خود تیر ایجاد می شود و از شکست در اتصال وجوش بال تیر به ستون جلوگیری می گردد.

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۱- اتصال استخوانی (Dog bone)





معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۱- اتصال استخوانی (Dog bone)

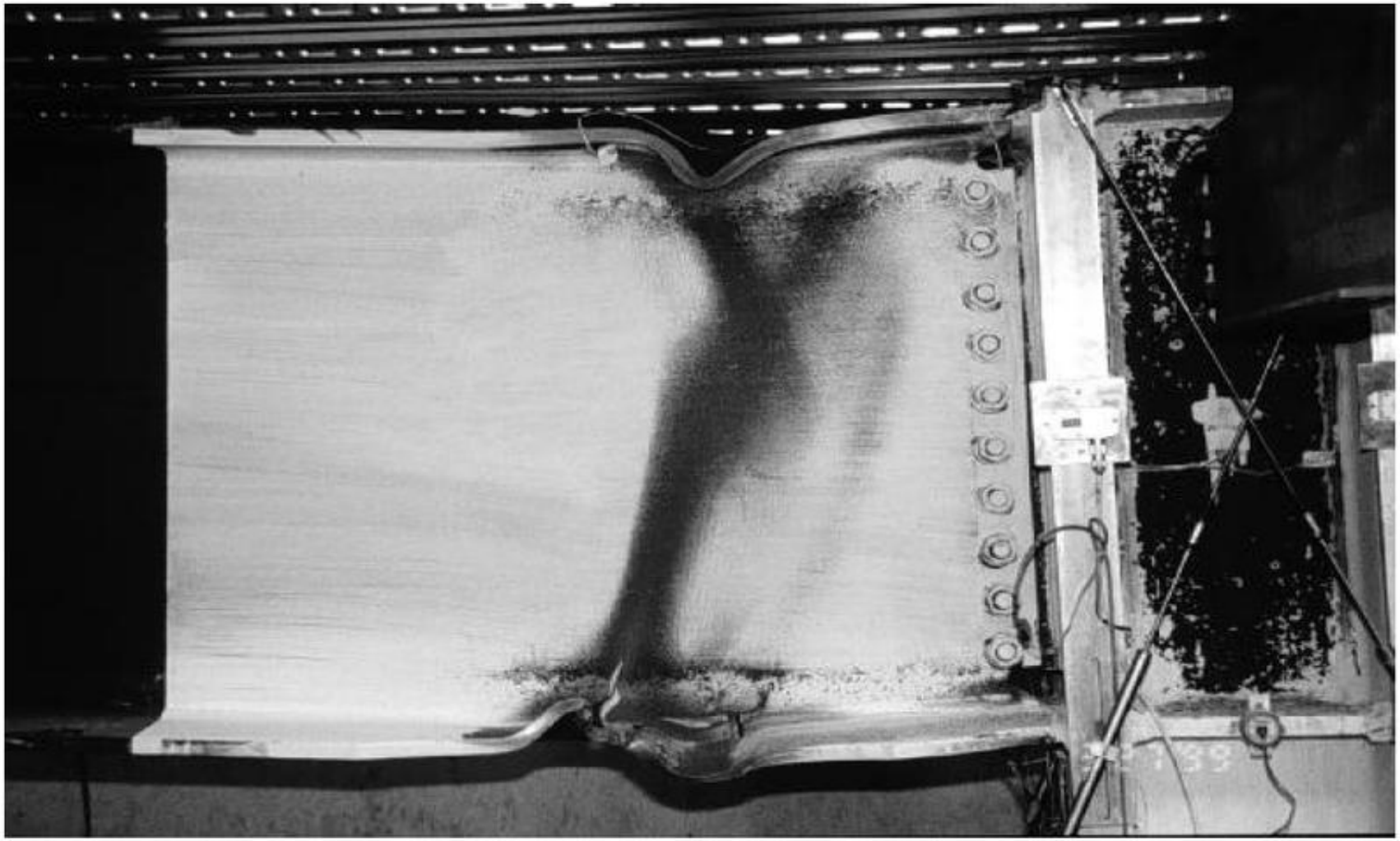


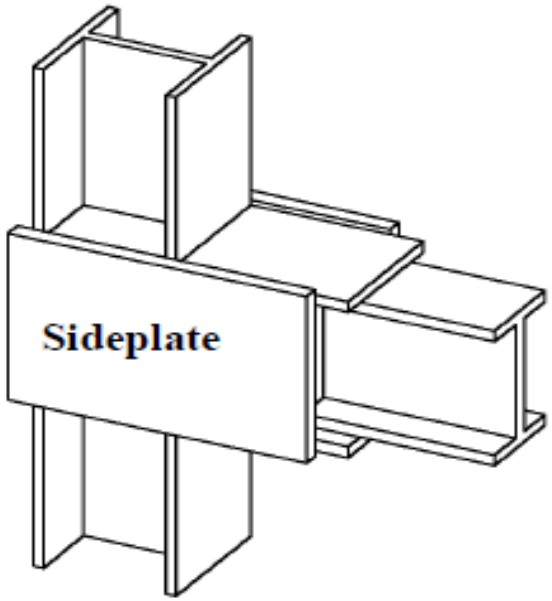
Fig. 15 – North Beam Connection After Testing

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۲- اتصال با صفحه کناری (Side Plate)

اتصال صفحه کناری یکی از انواع اتصالات صلب فولادی می باشد. صفحه کناری یک روش ایده آل برای حفاظت از سازه ها در مقابل حوادث ناشی از انفجار، زمین لرزه ،خرابی پیش رونده وسایر بلایای طبیعی می باشد.

هدف استفاده از این نوع اتصال در طراحی قابهای تنشی فولادی، از بین بردن تمرکز تنش های پیچیده ذاتی هندسه ای اتصالات متعارف می باشد.

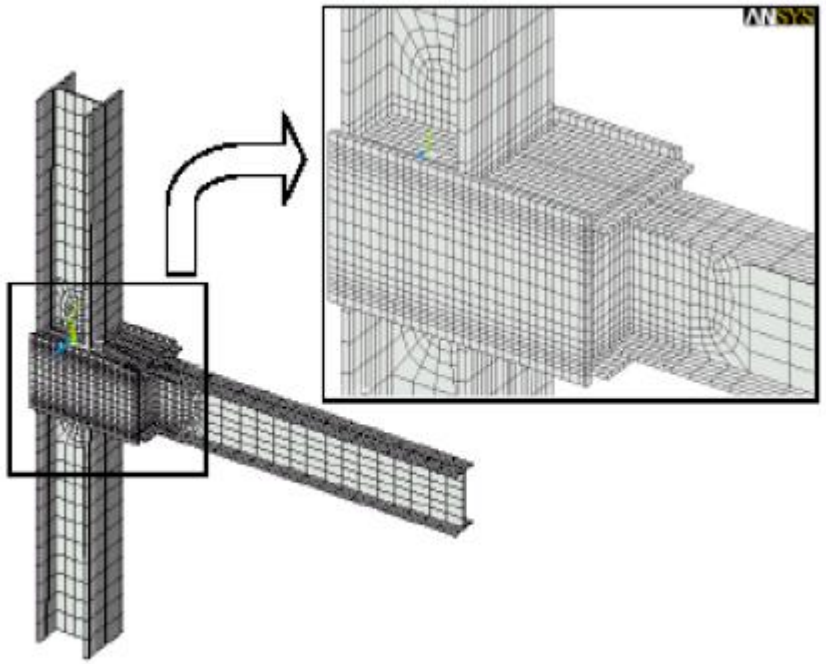


در این اتصال تنش های ناشی از خمش و برش از طریق ورقه های اتصال ، که دوطرف تیر و ستون را در بر می گیرند انتقال می یابد .

Sideplate System

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۲- اتصال با صفحه کناری (Side Plate)



Finite Element Mesh

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب

۲- اتصال با صفحه کناری (Side Plate)

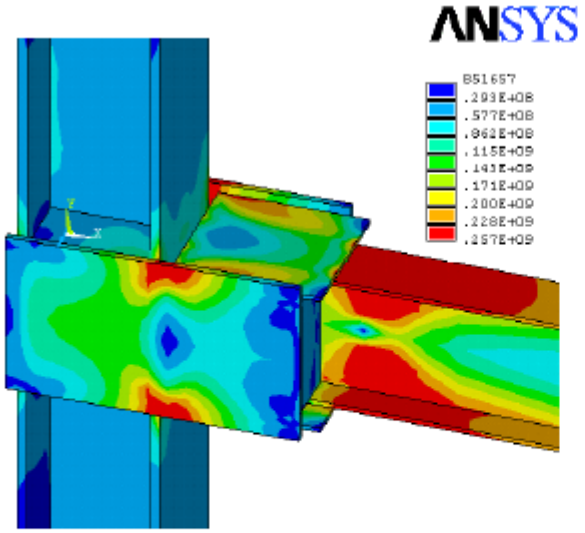


Figure 5a. Stress distribution

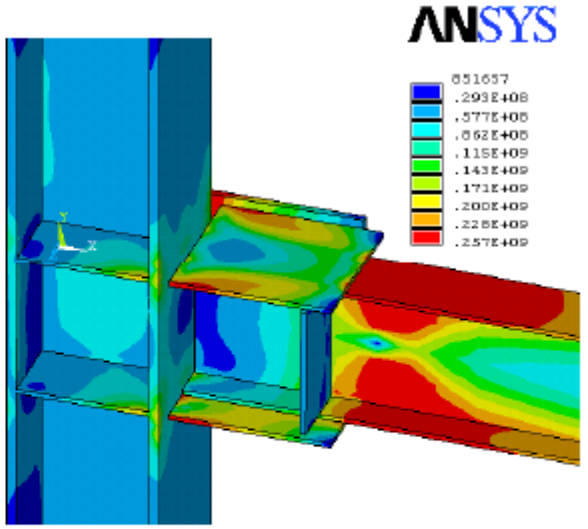
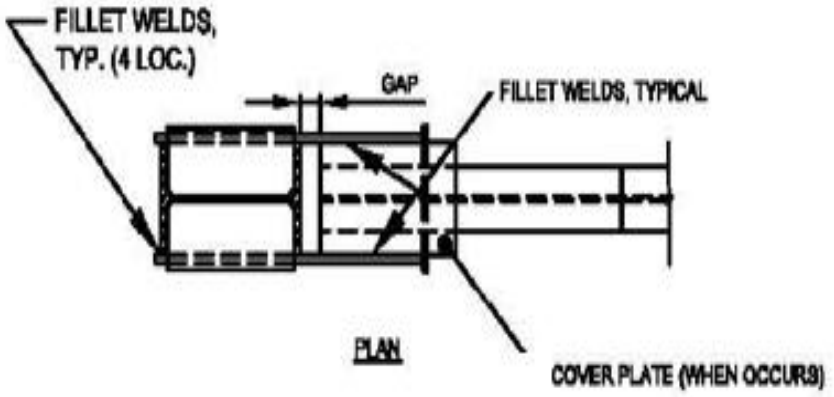


Figure 5b. Stress distribution (interior)

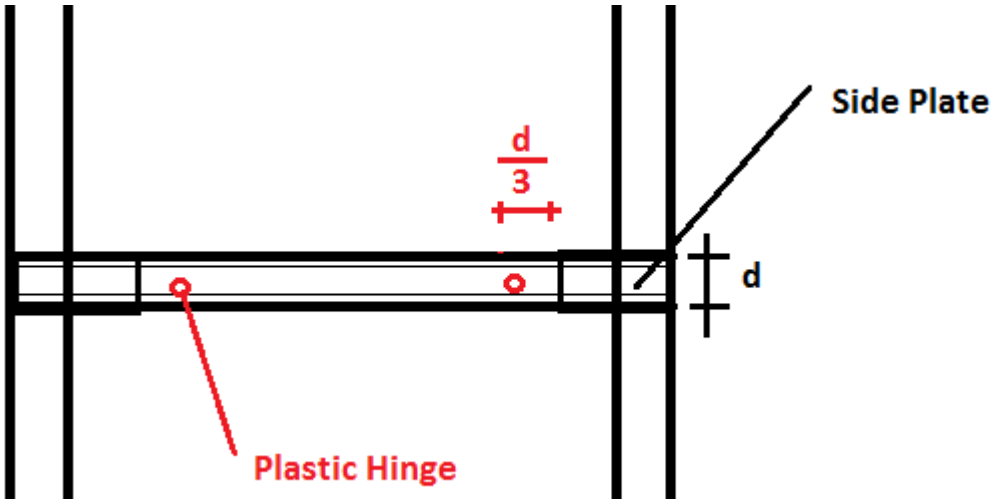
Stress distribution in model SPT1-1

معرفی ۲ اتصال با عملکرد لرزه ای مناسب
۲- اتصال با صفحه کناری (Side Plate)



در این اتصال تیر به ستون متصل نمی شود و قابلیت چرخش و شکل پذیری اتصال فراهم می شود .

در قابهای دارای این سیستم اتصال ، مفصل پلاستیک در فاصله (۱/۳)یک سوم عمق تیر از پایان صفحه کناری در تیر تشکیل می شود .



معرفی سیستم مهار بندی غیرکمانشی(کمانش تاب)

BRB : (Buckling Restrained Braces)

این سیستم از یک غلاف پر شده با بتن و یک هسته فلزی تشکیل شده است. هسته فلزی در برابر نیروی محوری وارد شده... مقاومت می کند و سختی خمشی غلاف نیز مانع از کمانش هسته میشود.

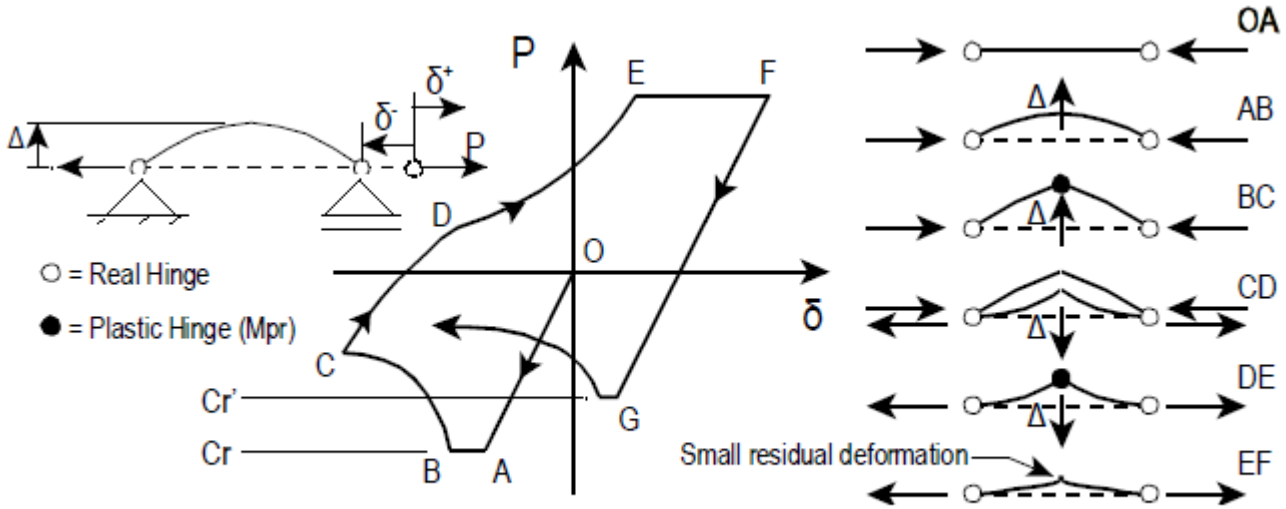
معرفی سیستم مهار بندی غیرکمانشی(کمانش تاب)
BRB : (Buckling Restrained Braces)

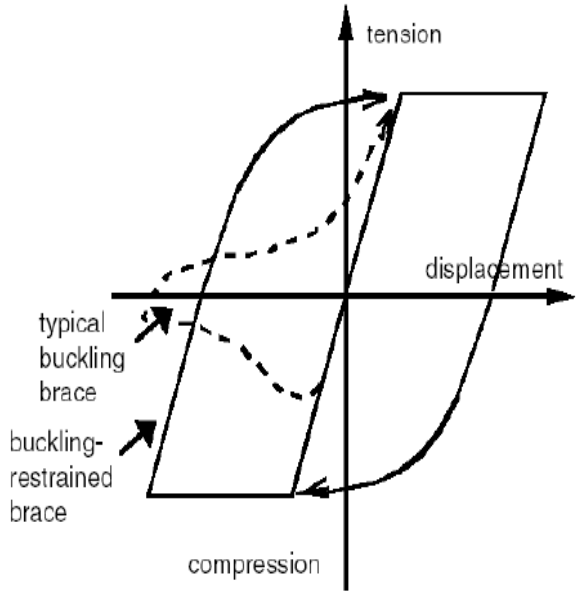
این سیستم به دلیل جلوگیری از کمانش بادبند، قابلیت جذب انرزی بسیار بیشتری را نسبت به سیستم های رایج بادبندهای همگرا دارد .
به منظور جلوگیری از کمانش در فشار، هسته فلزی درون یک غلاف فلزی که با بتن یا ملات پر شده است قرار می گیرد. قبل از پر کردن غلاف با بتن، مقداری ماده جداکننده یا خلا بین هسته فلزی و ملات قرار میگیرد تا انتقال نیروی محوری را از هسته فلزی به پوشش بتنی جلوگیری کند و یا آنرا به حداقل برساند. اثر ضریب پواسون نیز باعث می شود تا هسته فلزی در فشار منبسط شده و این موضوع ایجاب میکند تا این فاصله لازم فراهم گردد.

بتن یا ملات پر کننده در باربری محوری نقشی ندارد و فقط اثر محصورکنندگی دارد .

معرفی سیستم مهار بندی غیرکمانشی(کمانش تاب)

BRB : (Buckling Restrained Braces)

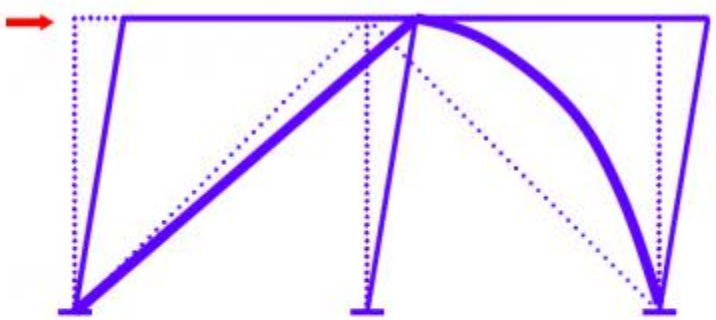




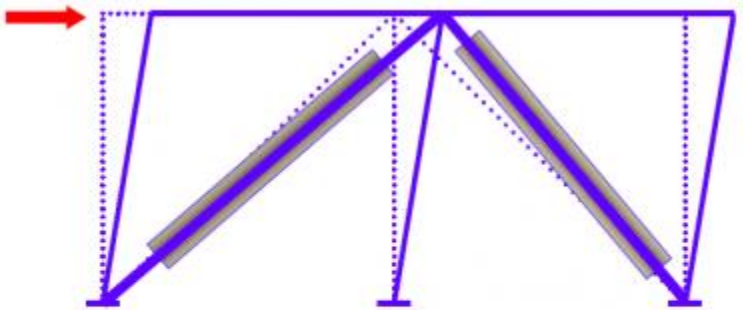
Axial force-displacement behavior

مقایسه رفتار هیسترزیسی بادبند معمولی وکمانش تاب در فشار را ملاحظه می فرمائید :

معرفی سیستم مهار بندی غیرکمانشی(کمانش تاب)
BRB : (Buckling Restrained Braces)



Ordinary Braces



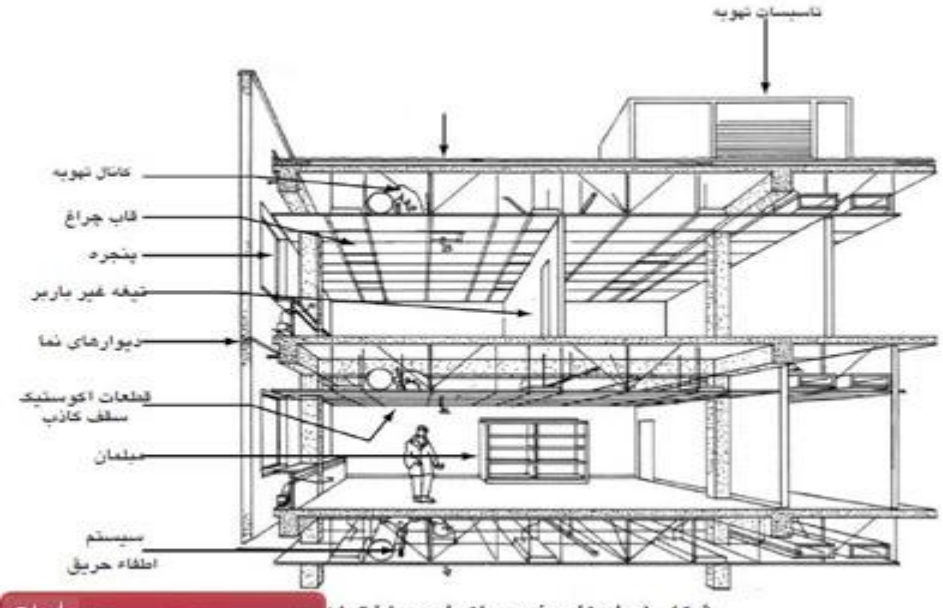
BRB Deflection

اجزای غیر سازه ای

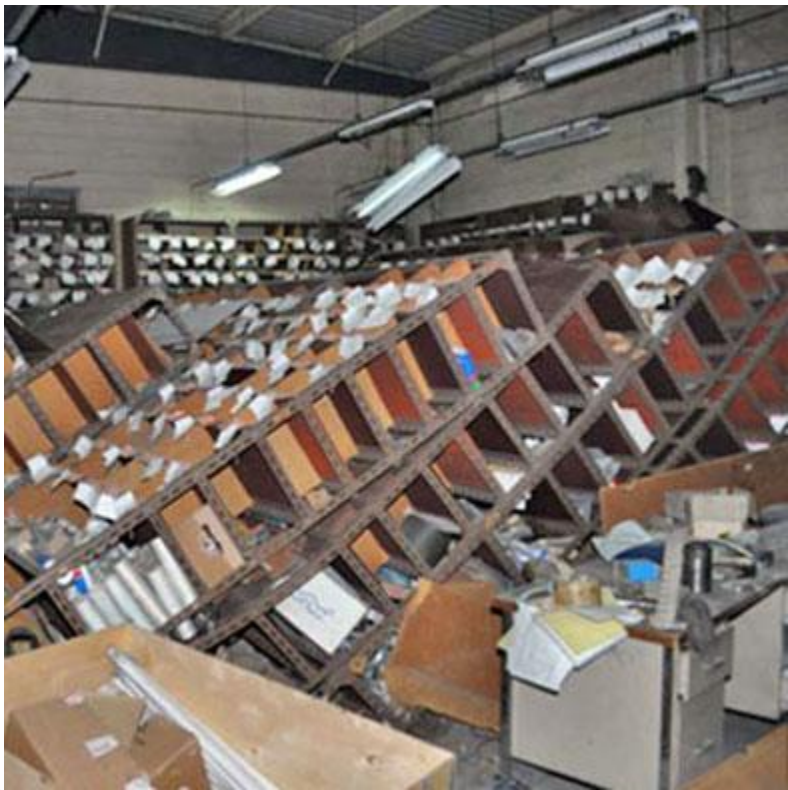
اجزای غیر سازه ای از ۲ جنبه اهمیت دارند :

۱- ممکن است باعث تلفات و خسارات شوند ،حتی اگر سالم بمانند .

۲- ممکن است از ریزش سقف وتلفات جلوگیری نمایند .



شکل ۱- اجزای غیرسازه‌ای ساختمان



TarahSaze.ir

دیگر خسارات زلزله

-تخریب شریان های حیاتی :

ریل راه آهن کوبه ۱۹۹۵
شکست عرشه پل ها

عرشه پل خلیج اکلند لوماپریتا ۱۹۸۹
تخریب برشی ستون پل نورثریج۱۹۹٤

-گسیختگی خاک زیر پی ها

-واژگونی ساختمان به علت بلندشدگی(uplift) و کشش ایجاد شده در ستون ها-کاراکاس ۱۹٦۷

-آسیب شدید به شمع های درون زمین (جابه جایی نسبی)

خطرات جانبی زلزله

۱- گسیختگی زمین :

روانگرایی ماسه اشباع – رس های سست ونرم – زمین لغزش

۲-گسیختگی گسل :

شکست سطح زمین به علت گسلش

۳- سیل های مهیب به علت :

دریالرزه یا سونامی(Tsunamis) – امواج شدید ساحلی یا سیشی(Seiches) – شکست مخازن وسد ها – فرونشست یا اعوجاج سطح زمین

٤-آتش سوزی :

در زلزله سانفرانسیسکو۱۹۰٦ ،۸۰ درصد کل خسارات مربوط به آتش سوزی و زلزله کانتو ژاپن ۱۹۳۳ بیشترین تلفات را به علت آتش سوزی داشته است .

تدابیر ضروری برای مقابله با زلزله

برای مقابله با نیروهای زلزله باید علاوه بر طرح لرزه ای مناسب سازه های جدید ، بهسازی لرزه ای سازه های موجود نیز مورد توجه قرار بگیرد . از آنجاکه نمی توان در مدتی اندک تمام سازه های موجود را تقویت کرد ،احتمال تلفات بالایی در بسیاری از شهرهای کشور وجود دارد ،بنابراین باید یک برنامه منطقی برای مدیریت بحران پس از زلزله داشت .

۵ راهکار برای کاهش خسارت های لرزه ای :

۱- حصول اطمینان از آسیب پذیر نبودن خاک به عنوان تکیه گاه

۲- عدم جانمایی سازه در مجاورت گسل های فعال یا سایر خطرات

۳- استفاده موثر از ابزار میراگر ، جداساز لرزه ای و.... علاوه بر اتصالات مناسب

٤- تامین شکل پذیری کافی

۵- جلوگیری از وارد آمدن بارهای با خروج از مرکزیت به سازه وعدم تغییرات ناگهانی در توزیع جرم وسختی

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

مراجع

1- Seismic Design for Architects by Andrew Charleson

2-FEMA 350

3- www.sideplate.com

٤- مهندسی زلزله محمدرضا تابش پور

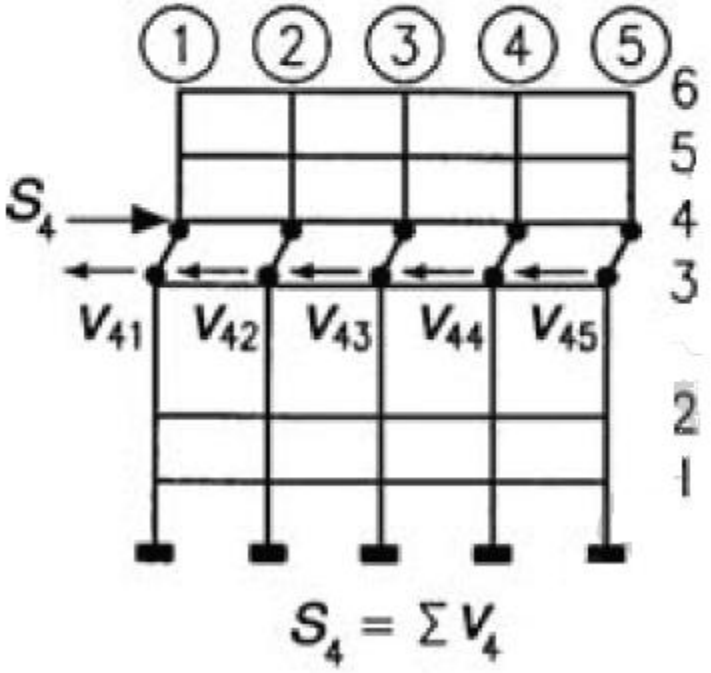
٥- محسن گرامی – سجاد آزاد بررسی اثرRBS در بهبود رفتار لرزه ای

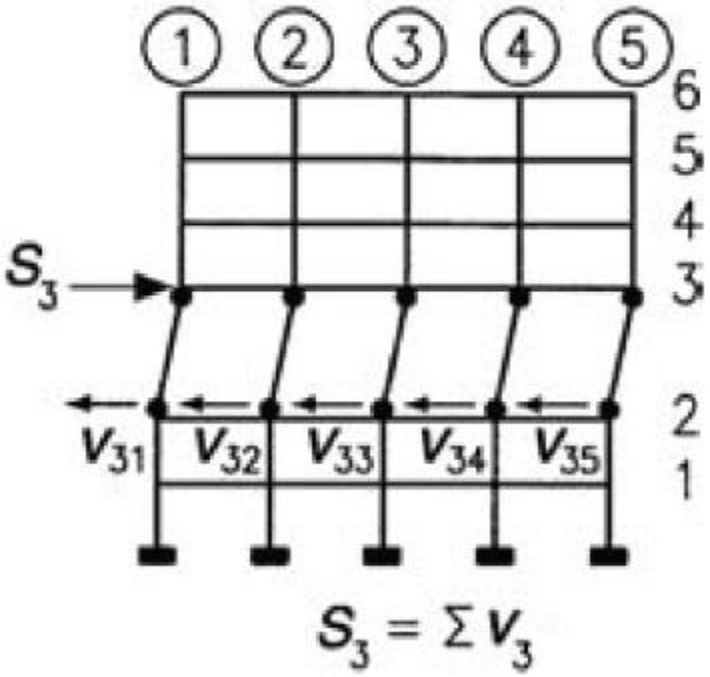
٦- استاندارد ۲۸۰۰ ایران

سپاس از توجه شما

تفاوت طبقه ضعیف وطبقه نرم

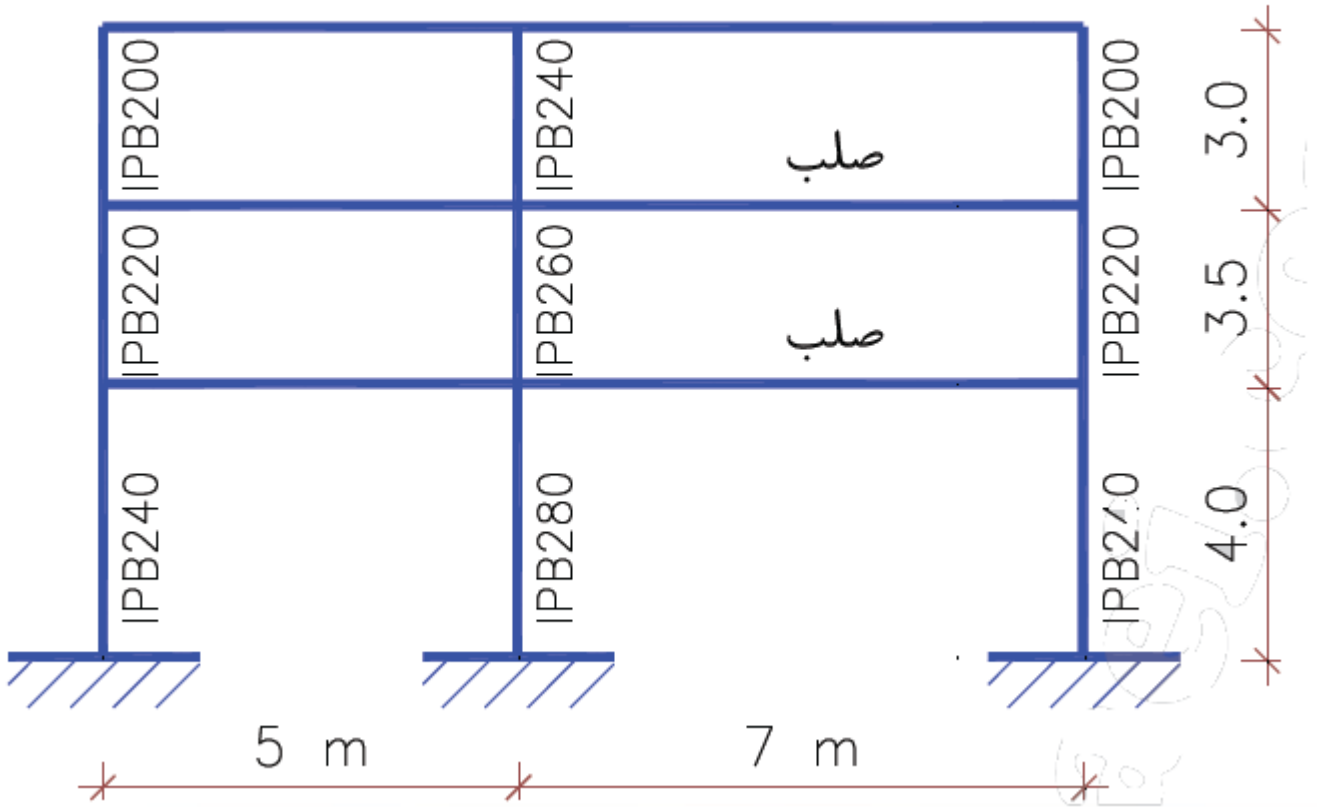
2800 ، ASCE7-10 : در مواردی که مقاومت جانبی طبقه از ۸۰٪ مقاومت جانبی طبقه روی خود کمتر باشد، چنین طبقه‌ای اصطلاحاً طبقه ضعیف نامیده میشود. در مواردی که مقدار فوق به ۶۵٪ کاهش یابد اصطلاحاً به طبقه «خیلی ضعیف» توصیف میشود.





طبقه ضعیف وطبقه نرم

مثال) منظمی و نامنظمی سازه زیر را از نظر وجود طبقه ضعیف تعیین نمایید.



$IPB200 \rightarrow A = 78.1\,\text{cm}^2$	$I = 5700\,\text{cm}^4$	$Z_p = 642\,\text{cm}^3$	$t_f = 1.5\,\text{cm}$	$t_w = 0.9\,\text{cm}$
$IPB220 \rightarrow A = 91\,\text{cm}^2$	$I = 8090\,\text{cm}^4$	$Z_p = 828\,\text{cm}^3$	$t_f = 1.6\,\text{cm}$	$t_w = 0.95\,\text{cm}$
$IPB240 \rightarrow A = 106\,\text{cm}^2$	$I = 11260\,\text{cm}^4$	$Z_p = 1054\,\text{cm}^3$	$t_f = 1.7\,\text{cm}$	$t_w = 1\,\text{cm}$
$IPB260 \rightarrow A = 118\,\text{cm}^2$	$I = 14920\,\text{cm}^4$	$Z_p = 1282\,\text{cm}^3$	$t_f = 1.75\,\text{cm}$	$t_w = 1\,\text{cm}$
$IPB280 \rightarrow A = 131\,\text{cm}^2$	$I = 19270\,\text{cm}^4$	$Z_p = 1534\,\text{cm}^3$	$t_f = 1.8\,\text{cm}$	$t_w = 1.05\,\text{cm}$

مقاومت برشی طبقه می‌تواند ناشی از ظرفیت برشی ستون‌ها و یا ظرفیت خمشی ستون‌ها باشد.

ظرفیت برشی هر ستون:

$$IPB200 \rightarrow V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y (d - 2t_f) = 21.187\,\text{ton}$$

$$PB220 \rightarrow V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y (d - 2t_f) = 24.733\,\text{ton}$$

$$IPB240 \rightarrow V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y (d - 2t_f) = 28.527\,\text{ton}$$

$$IPB260 \rightarrow V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y (d - 2t_f) = 31.158\,\text{ton}$$

$$IPB280 \rightarrow V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y (d - 2t_f) = 35.479\,\text{ton}$$

بنابراین مقاومت برشی هر طبقه:

مقاومت برشی طبقه اول $= 2V_{s(IPB240)} + V_{s(IPB280)} = 2(28.527\ \text{ton}) + (35.479\ \text{ton}) = 92.533\ \text{ton}$

مقاومت برشی طبقه دوم $= 2V_{s(IPB220)} + V_{s(IPB260)} = 2(24.733\ \text{ton}) + (31.158\ \text{ton}) = 80.624\ \text{ton}$

مقاومت برشی طبقه سوم $= 2V_{s(IPB200)} + V_{s(IPB240)} = 2(21.187\ \text{ton}) + (28.527\ \text{ton}) = 70.901\ \text{ton}$

حال در صورتی که مفصل خمیری در بالا و پایین ستون رخ دهد داریم:

مقاومت برشی طبقه اول $= \dfrac{2F_y}{h_1}\left(2Z_{p(IPB240)} + Z_{p(IPB280)}\right) = 43.704\ \text{ton}$

مقاومت برشی طبقه دوم $= \dfrac{2F_y}{h_2}\left(2Z_{p(IPB220)} + Z_{p(IPB260)}\right) = 40.293\ \text{ton}$

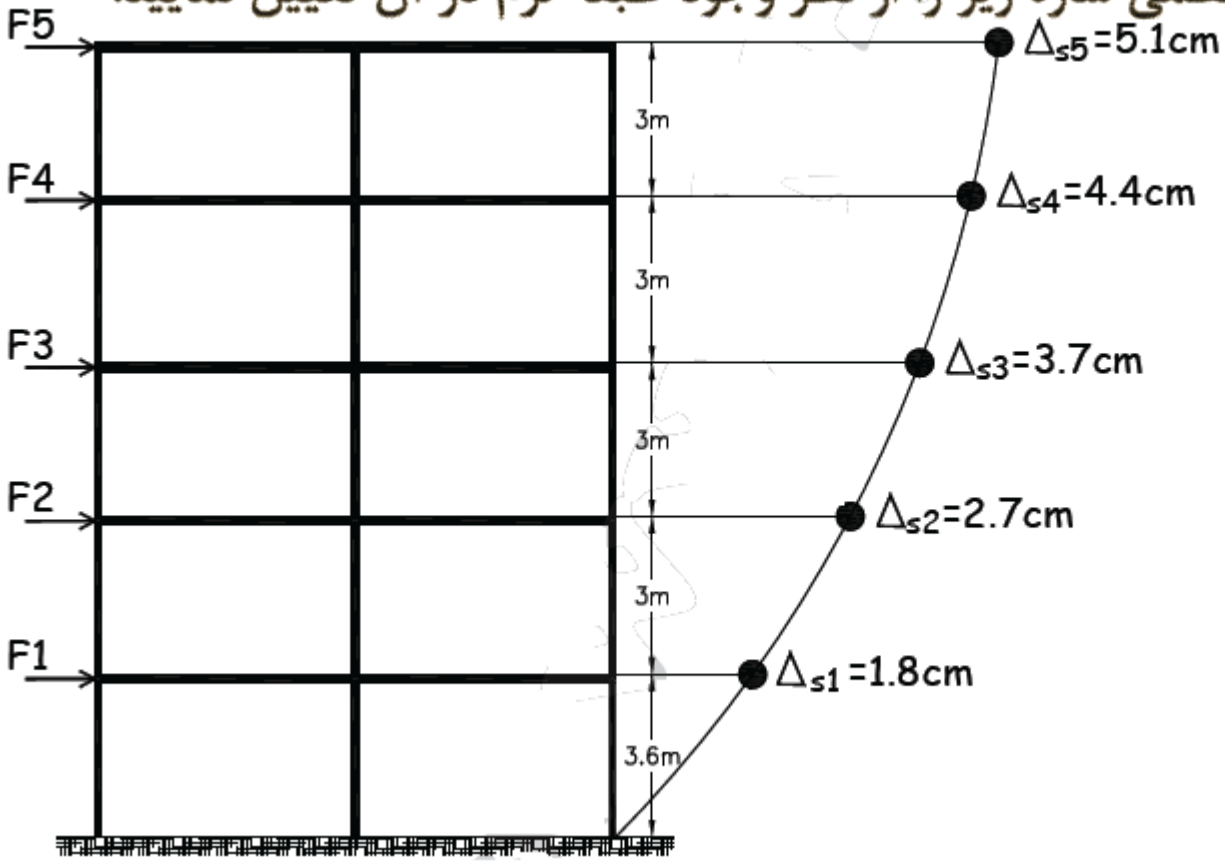
مقاومت برشی طبقه سوم $= \dfrac{2F_y}{h_3}\left(2Z_{p(IPB200)} + Z_{p(IPB240)}\right) = 37.408\ \text{ton}$

بنابراین مقاومت جانبی ناشی از مقاومت خمشی ستون‌ها حاکم است.

$$S_1 > 0.8S_2 \Rightarrow 43.704\ \text{ton} > 0.8 \times 40.293\ \text{ton} = 32.23$$

طبقه نرم

مثال) منظمی و نامنظمی سازه زیر را از نظر وجود طبقه نرم در آن تعیین نمایید.



طبقه نرم

باید سختی هر طبقه پیدا شده وضابطه طبقه نرم کنترل شود :

$$K_{story} = \frac{F}{\Delta} = \frac{10000}{0.5234} = 191000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$