



اصول مهندسی زلزله-آیین نامه 2800



سعید جمالیپور
مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

مجموعه
استانداردها و آیین‌نامه‌های
ساختمانی ایران



شماره نشر: ص-۲۵۳

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله

استاندارد ۲۸۰۰

(ویرایش ۴)

کمیته دائمی
بازنگری آیین‌نامه
طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله



شهرداری ها

بخشداری ها

دهیاری ها

و

.

.

.



جمهوری اسلامی ایران

وزارت راه و شهرسازی

وزیر

تاریخ: ۹۳/۰۸/۲۴

شماره: ۴۴۳۱۳/۱۱۰/۰۹

بسمه تعالی

به استناد ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان - مصوب ۱۳۷۴ -
آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (ویرایش چهارم) که به شرح متن
پیوست توسط این وزارتخانه - مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - بازنگری
و تدوین شده و در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۶/۲۳ کمیته دائمی بازنگری آیین نامه
مذکور و نیز کمیته ملی استاندارد مربوط به آن مورد تأیید قرار گرفته است،
تمامی ساخت و سازها در سراسر میهن اسلامی باید بر اساس آن انجام گیرد.

شهرداری ها، بخشداری ها، دهیاری ها و سایر مراجع صدور پروانه و کنترل و
نظارت بر اجرای ساختمان ها و همچنین مالکان، کارفرمایان و مجریان
ساختمان ها و صاحبان حرفه های مهندسی ساختمان می بایست این آیین نامه را
رعایت و اجرا نمایند.

شایان یادآوری است که همزمان مفاد ویرایش سوم این آیین نامه نیز تا پایان
شهریورماه سال ۱۳۹۴ معتبر خواهد بود.

این آگهی جایگزین تصویب نامه شماره ۱۱۳۰۹/۱۰۰/۰۲ مورخ ۸۴/۴/۱۸ می شود.

عباس آخوندی

مالکان

کارفرمایان

مجریان
ساختمان ها

و

.

.

.

هدف آیین نامه ۲۸۰۰

- هدف این آیین نامه تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر اثرهای ناشی از زلزله است، به طوری که با رعایت آن انتظار می‌رود:
- ۱- ساختمان‌های با "اهمیت متوسط" در اثر زلزله طرح، آسیب عمده سازه‌ای و غیر سازه‌ای نبینند و تلفات جانی در آنها حداقل باشد.
 - ۲- ساختمان‌های با "اهمیت زیاد" در اثر زلزله طرح، آسیب عمده نبینند، به طوری که در زمان کوتاهی قابل مرمت باشند.
 - ۳- ساختمان‌های با "اهمیت خیلی زیاد"، در اثر زلزله طرح، تغییر مقاومت و سختی در اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای نداشته باشند، به طوری که بهره‌برداری از آنها امکان‌پذیر باشد.
 - ۴- کلیه ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر و یا بیش‌تر از ۱۵ طبقه و نیز کلیه ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد در اثر زلزله بهره‌برداری آسیبی نبینند و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ نمایند.

معرفی برخی تعاریف

۱-۲ زلزله‌های مبنای طراحی

زلزله‌های مبنای طراحی در این آیین‌نامه به شرح زیر می‌باشند:

الف- "زلزله طرح" زلزله‌ای است که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ده درصد باشد. دوره بازگشت این زلزله ۴۷۵ سال است.

ب- "زلزله بهره‌برداری" زلزله‌ای است که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ۹۹/۵ درصد باشد. دوره بازگشت این زلزله حدود ۱۰ سال است.



در آیین نامه های لرزه ای، معمولاً زلزله های مشخصی برای طراحی ملاک عمل قرار میگیرند که آثار ناشی از هر یک در مرحله ای از طراحی استفاده می شود.

مهمترین موارد این زلزله ها شامل **زلزله بهره برداری، زلزله طرح، و زلزله حداکثر می باشد**، به طوری که زلزله بهره برداری از همه خفیف تر و زلزله حداکثر از همه شدیدتر است.

ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، زلزله های طرح و بهره

برداری را ملاک طراحی و کنترل ساختمان ها قرار

می دهد.

احتمال فراگذشت در طول عمر مفید ساختمان (۵۰ سال)	دوره بازگشت (سال)	زلزله بهره‌برداری
۹۹/۵٪	۱۰	
۱۰٪	۴۷۵	زلزله طرح
۲٪	۲۴۷۵	زلزله حداکثر

رابطه احتمال فراگذشت زلزله در طول عمر مفید:

مدت زمانی که به طور متوسط در آن مدت یک زلزله با بزرگای M یا بیشتر اتفاق می افتد

۱ احتمال وقوع زلزله‌ای با بزرگای M یا بیشتر در یک سال برابر $(\frac{1}{T_R})$ است که به آن احتمال فراگذشت از زلزله با بزرگای M در یک سال گفته می‌شود.

۲ احتمال عدم وقوع زلزله‌ای با بزرگای M یا بیشتر در یک سال برابر $(1 - \frac{1}{T_R})$ است که به آن احتمال عدم فراگذشت از زلزله با بزرگای M در یک سال گفته می‌شود.

۳ احتمال عدم فراگذشت از زلزله با بزرگای M در t سال برابر $(1 - \frac{1}{T_R})^t$ می‌باشد.

۴ احتمال فراگذشت از زلزله با بزرگای M در t سال برابر $(1 - (1 - \frac{1}{T_R})^t)$ می‌باشد.

۳-۱ حدود کاربرد

۱-۳-۱ این آیین‌نامه برای طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه، فولادی، چوبی و ساختمان‌های با مصالح بنایی به کار می‌رود.

۱-۳-۲ سازه‌های زیر مشمول این آیین‌نامه نیستند:

سازه‌های خاص مانند سدها، پل‌ها، اسکله‌ها و سازه‌های دریایی و نیروگاه‌های هسته‌ای. در طرح این ساختمان‌ها باید ضوابط ویژه‌ای که در آیین‌نامه‌های خاص آنها تعیین می‌شود، رعایت گردد. در این ضوابط ویژه، در هر حال شتاب مبنای طرح نباید کمتر از مقدار مندرج در این آیین‌نامه در نظر گرفته شود. در مواردی که برای این ساختمان‌ها مطالعات خاص لرزه خیزی ساختگاه انجام می‌شود، نتیجه آنها می‌تواند ملاک عمل قرار گیرد، مشروط بر آنکه مقادیر طیف طرح ویژه ساختگاه از ۸۰ درصد مقادیر طیف طرح استاندارد مطابق بند (۲-۵-۱)، بدون در نظر گرفتن ضرایب اهمیت I و رفتار R_u ، کمتر نباشد.

۱-۳-۳ ساختمان‌های آجری مسلح و ساختمان‌های بلوک سیمانی مسلح که در آنها از مصالح بنایی برای تحمل فشار و از میلگردهای فولادی برای تحمل کشش استفاده می‌شود، مشمول ضوابط و مقررات فصل سوم این آیین‌نامه می‌شوند. طراحی این‌گونه ساختمان‌ها تا زمانی که آیین‌نامه ویژه‌ای در مورد آنها تدوین نگردیده است، باید بر اساس یکی از آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی باشد، در غیر اینصورت ضوابط کلی و مقررات مربوط به ساختمان‌های با مصالح بنایی کلافدار، مندرج در فصل هفتم این آیین‌نامه، باید در مورد این ساختمان‌ها نیز رعایت گردد.



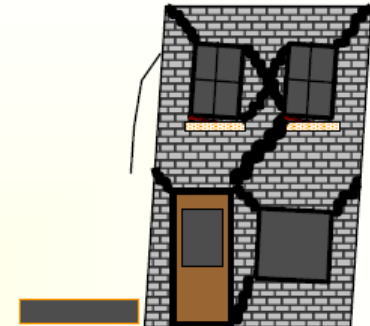
Operational



*Immediate
Occupancy*



*Life
Safety*



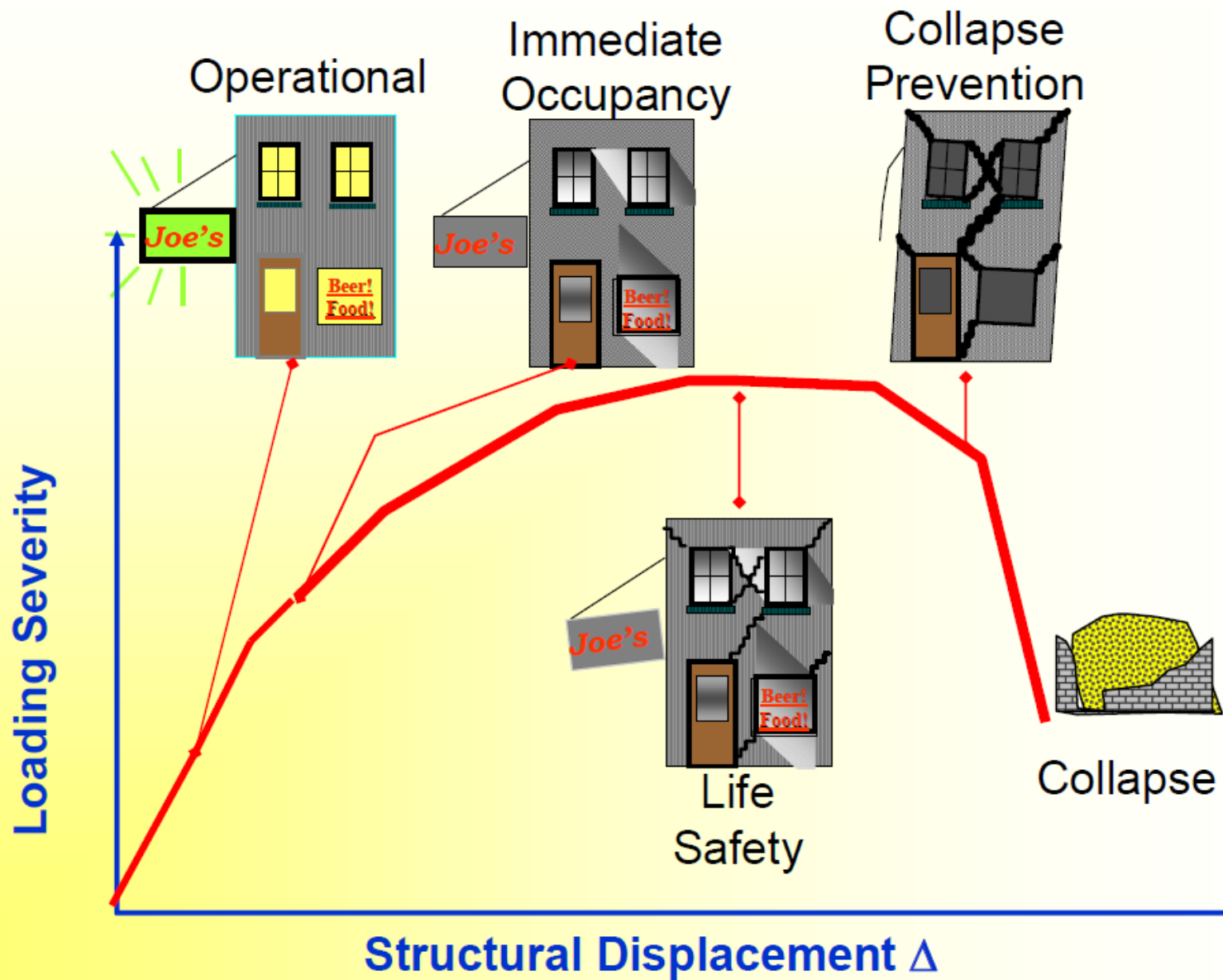
*Collapse
Prevention*

Operational – negligible impact on building

Immediate Occupancy – building is safe to occupy but possibly not useful until cleanup and repair has occurred

Life Safe – building is safe during event but possibly not afterward

Collapse Prevention – building is on verge of collapse, probable total loss



انواع سیستم های باربر جانبی



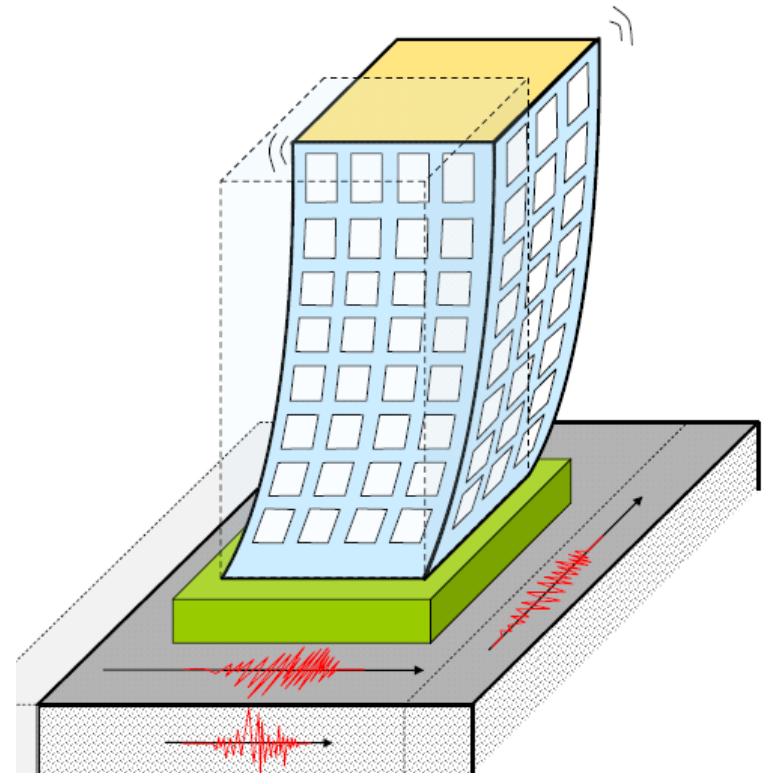
رفتار لرزه ای سازه ها



منظمی و نامنظمی



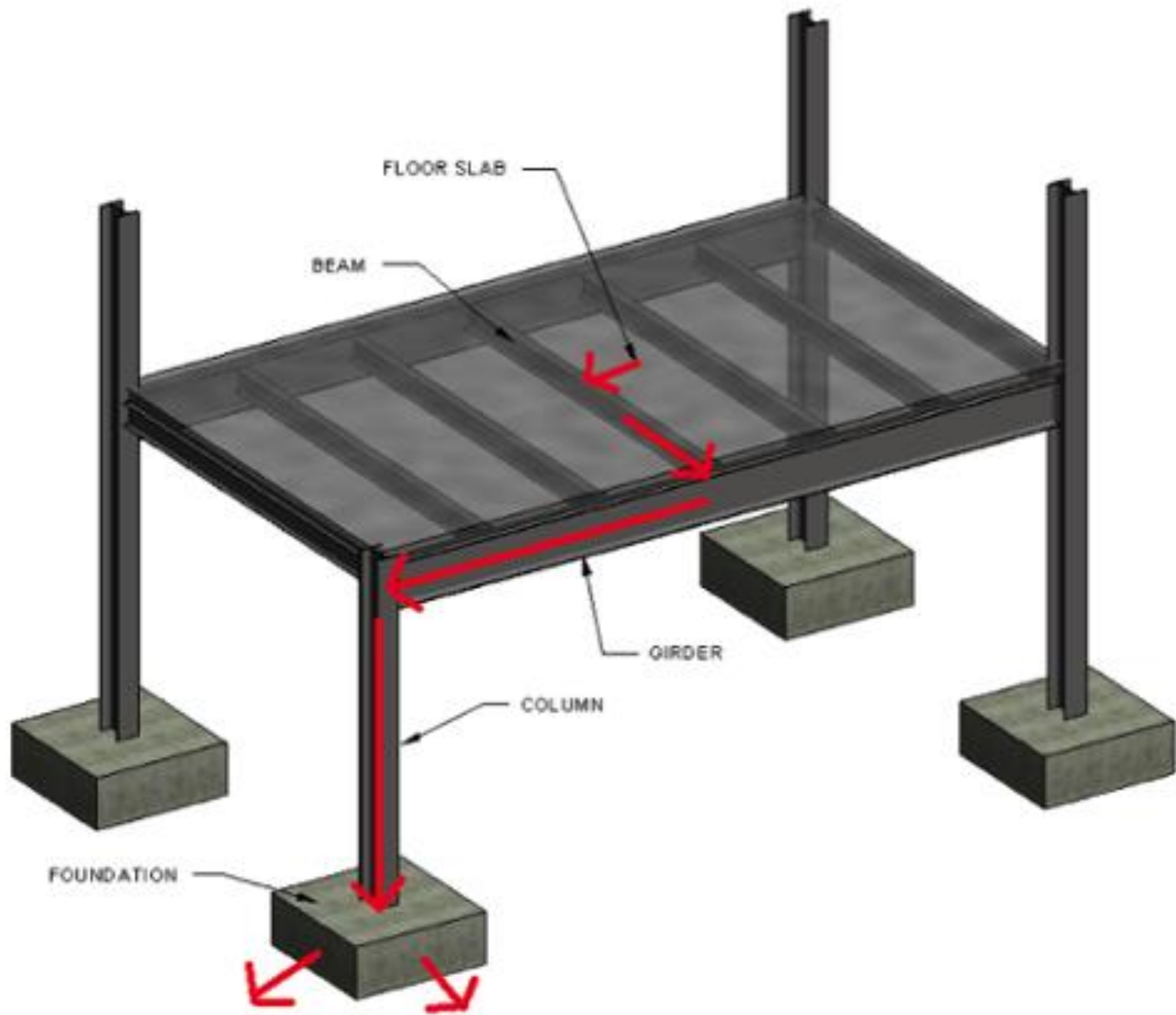
توصیه های کلی برای دست یابی به سازه های مقاوم لرزه ای

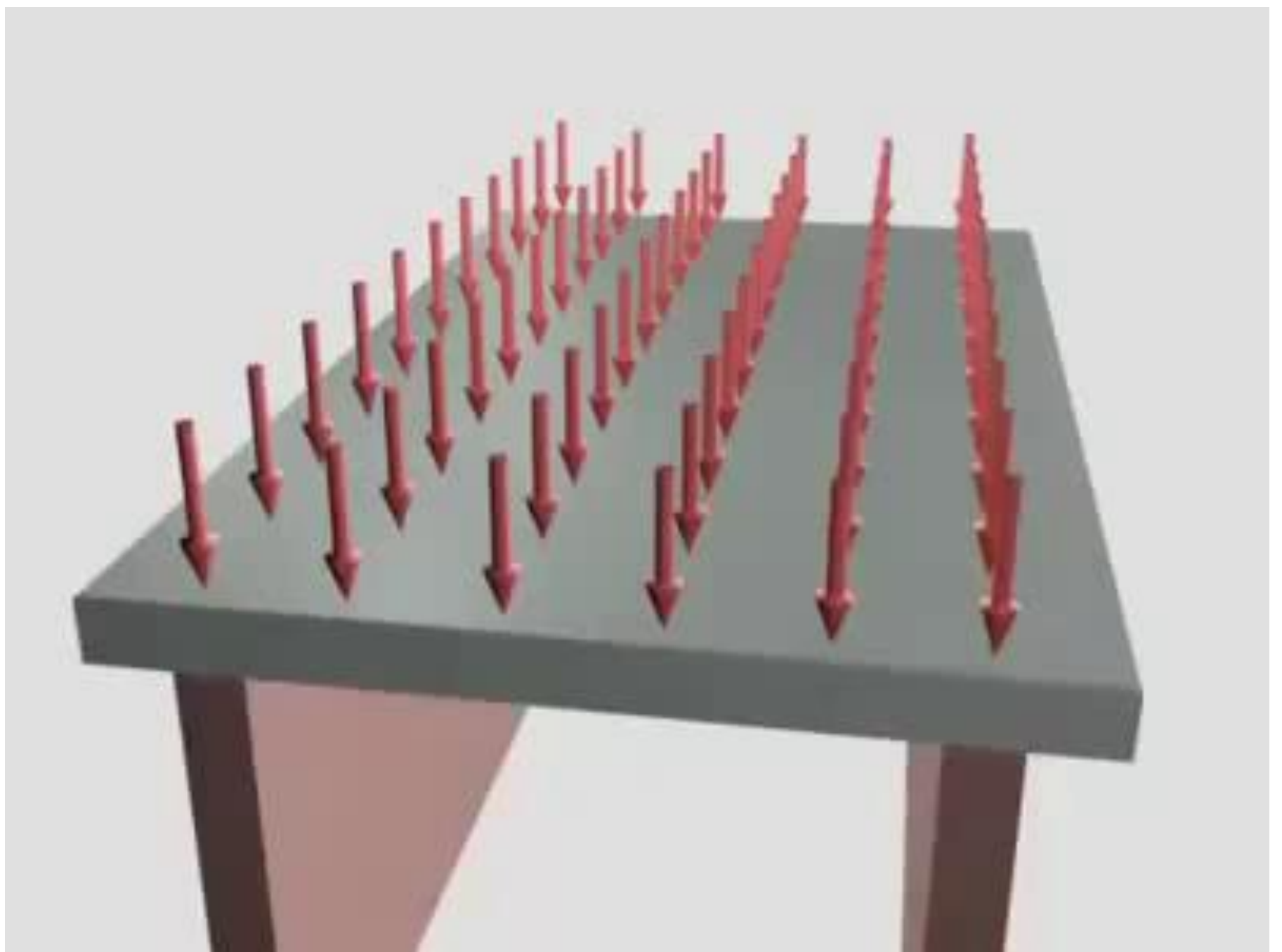


انواع سیستم های باربر جانبی

بارهای ثقیلی عمدتاً به کف‌های یک سازه وارد می‌شوند و سپس از طریق کف و تیرهای متصل به آن، به سمت ستون‌ها و دیوارهای سازه منتقل شده و در نهایت به شالوده می‌رسند. اما موضوع مهم در طراحی مناسب سازه‌ها، نحوه انتقال بارهای جانبی در سازه می‌باشد.

سیستم باربر جانبی، قسمتی از یک سازه است که وظیفه دارد در برابر بارهای جانبی مقاومت کرده و آنها را در یک مسیر پیوسته و ایمن به سمت شالوده و زمین هدایت کند.

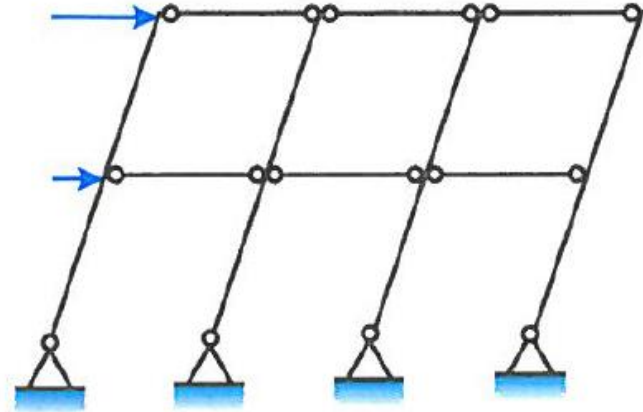
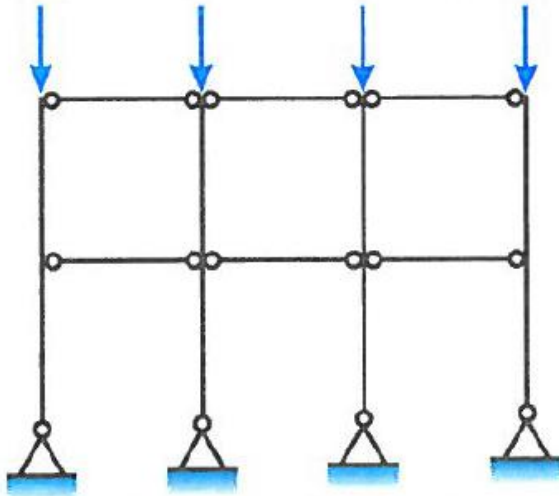




انواع سیستم های باربر جانبی



انواع سیستم های باربر جانبی



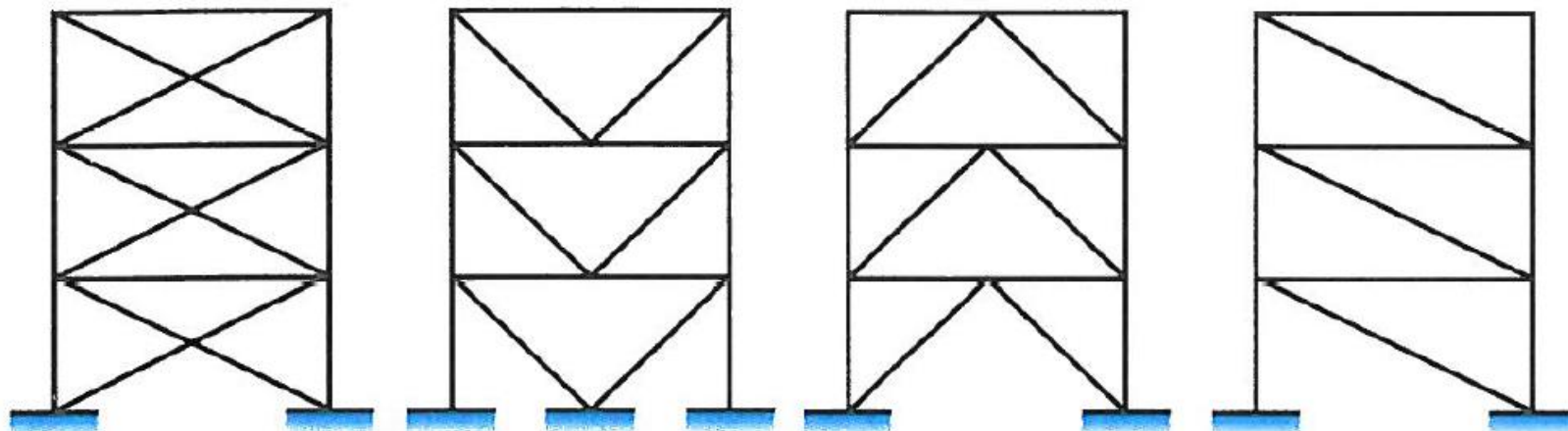
پایداری ثقلی



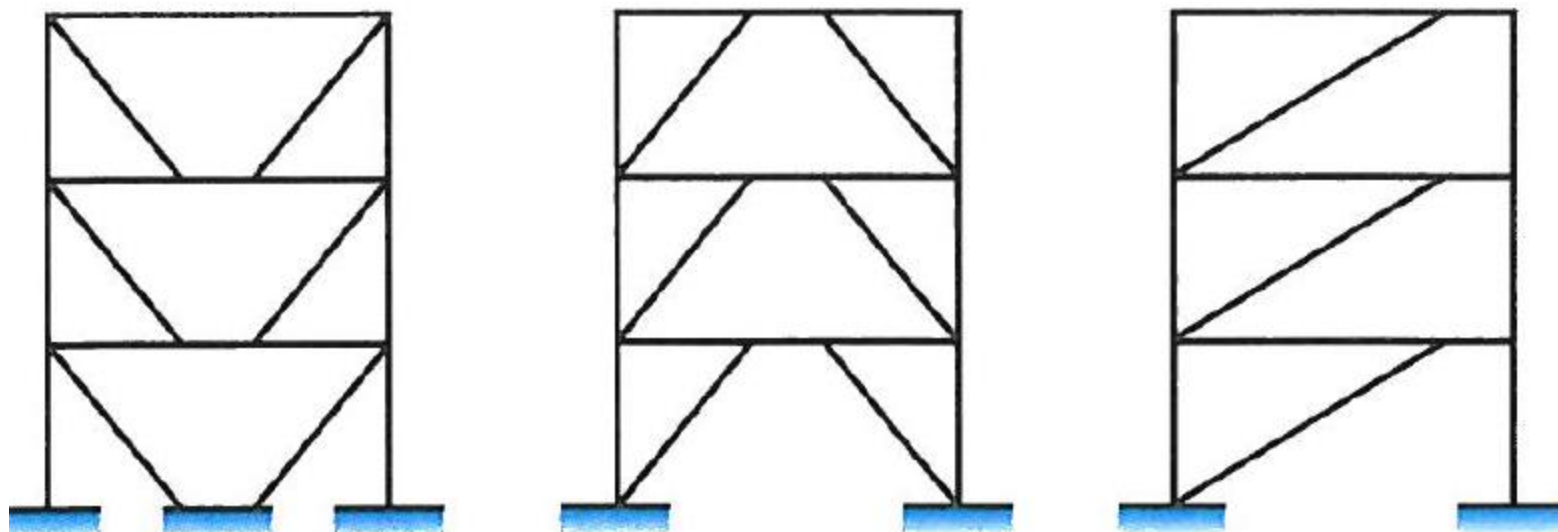
پایداری جانبی



انواع سیستم های باربر جانبی

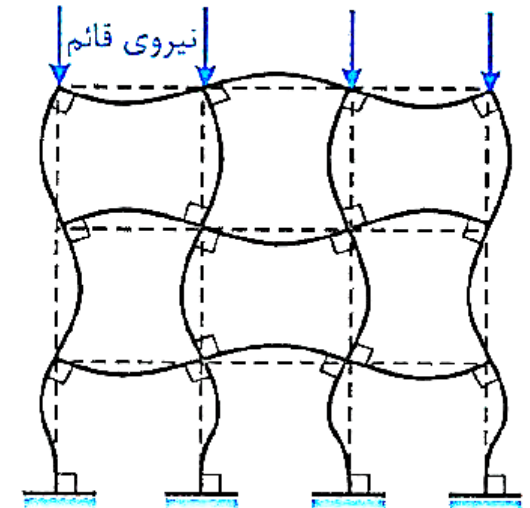
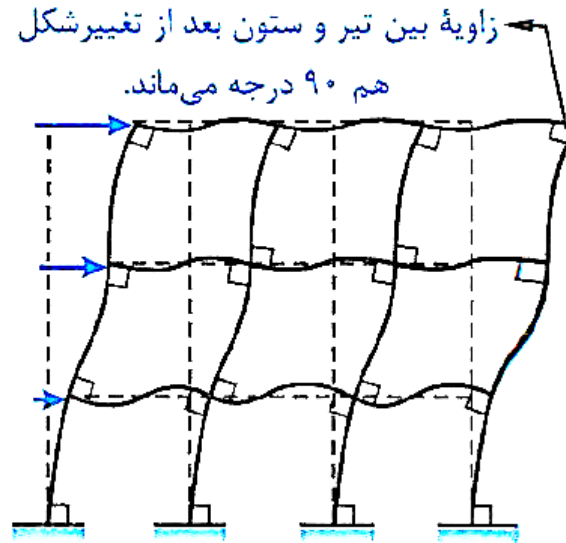
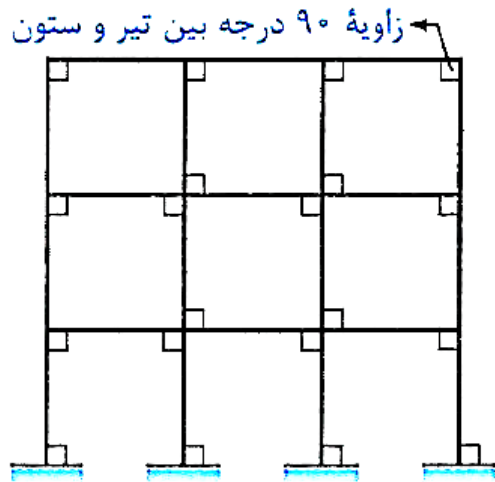


همگرا



واگرا

انواع سیستم های باربر جانبی

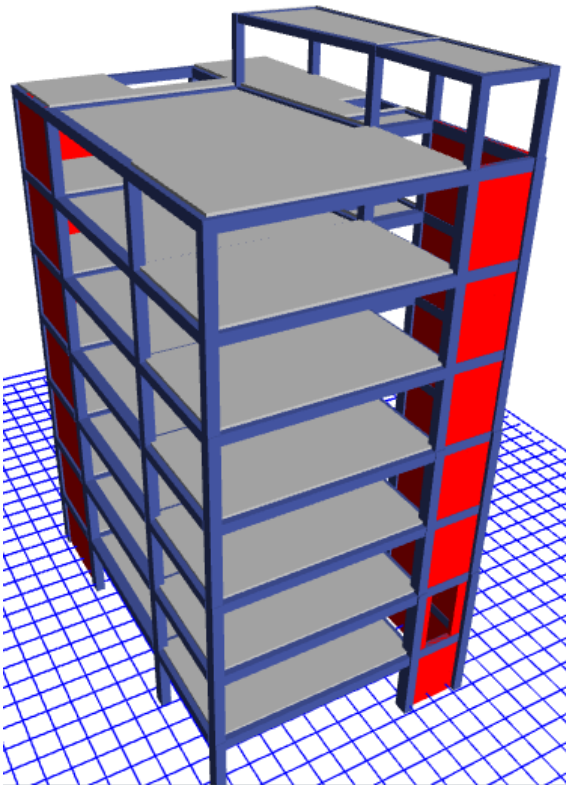


قاب خمشی

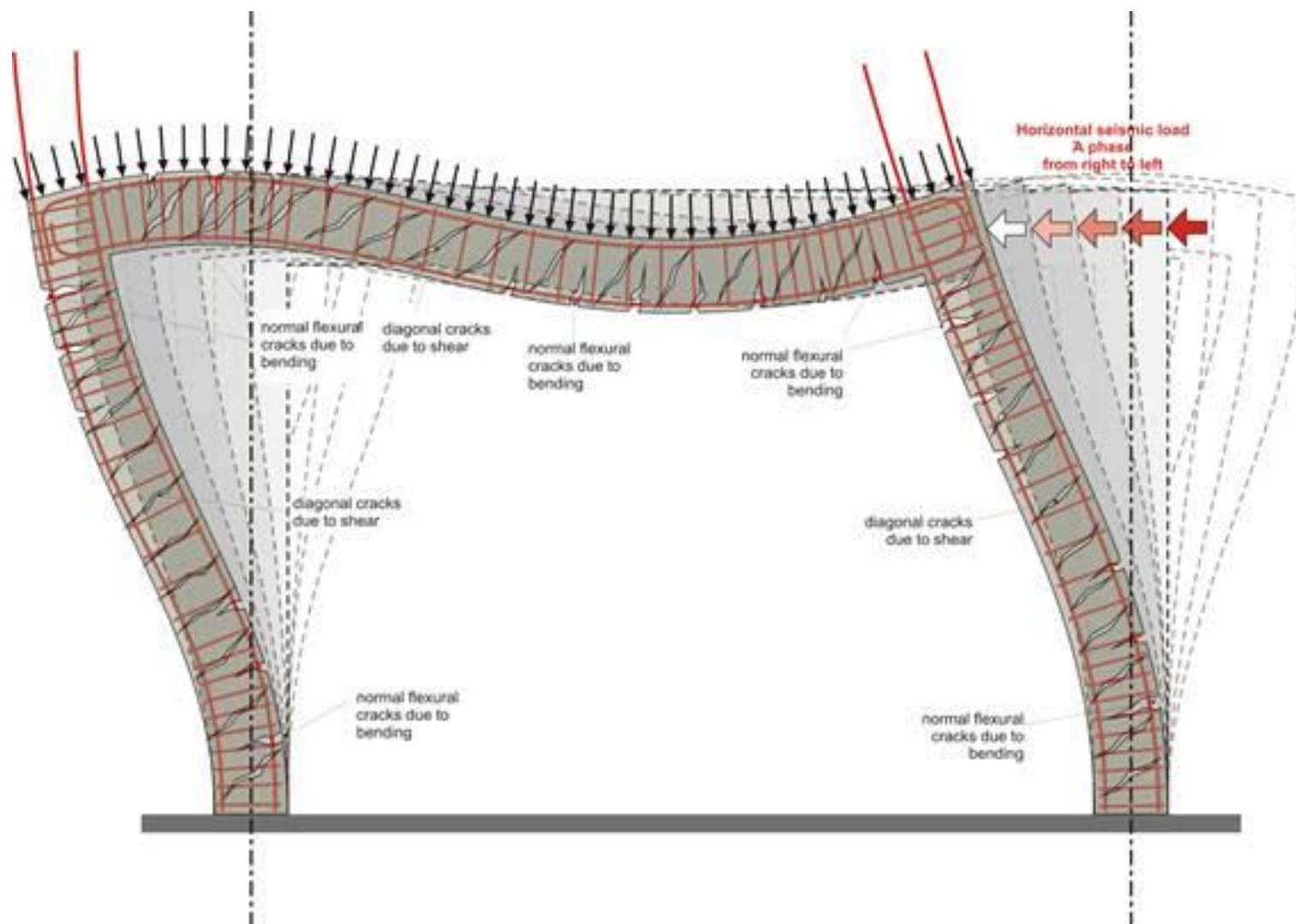
انواع سیستم های باربر جانبی

سیستم های دوگانه (ترکیبی)

در سیستم های دوگانه، بارهای جانبی توسط عملکرد همزمان مجموعه ای از دیوارهای برشی یا قاب های مهاربندی شده به همراه مجموعه ای از قاب های خمشی تحمل می شوند. به بیان بهتر باید گفت که سهم هر یک از این دو مجموعه از کل نیروی برشی وارد بر یک طبقه از سازه، متناسب با سختی جانبی هر کدام از آنها می باشد و از آنجا که سختی مجموعه اول (دیوارهای برشی یا قاب های مهاربندی شده) غالباً بیشتر از سختی مجموعه دوم (قاب های خمشی) است، مجموعه اول عمده سختی و جذب نیروی جانبی را در یک سیستم دوگانه بر عهده می گیرد.

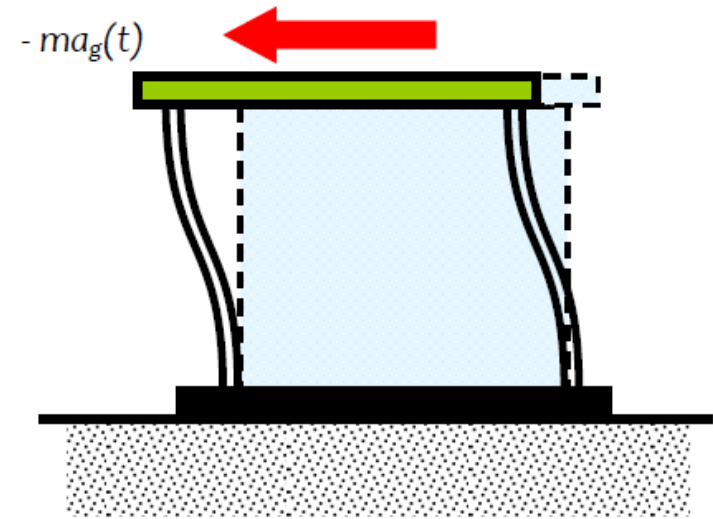
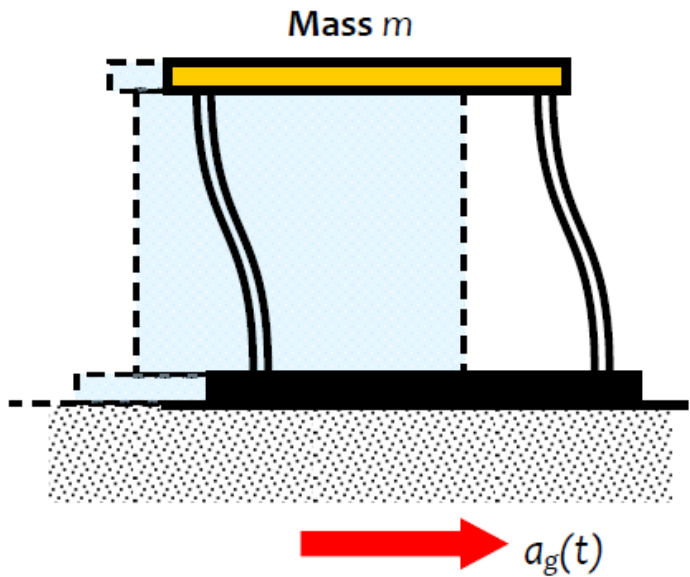


رفتار لرزه ای سازه ها

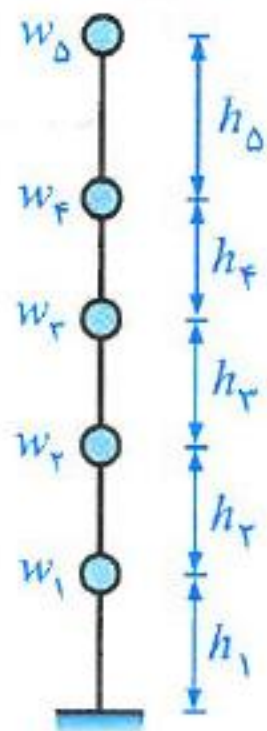




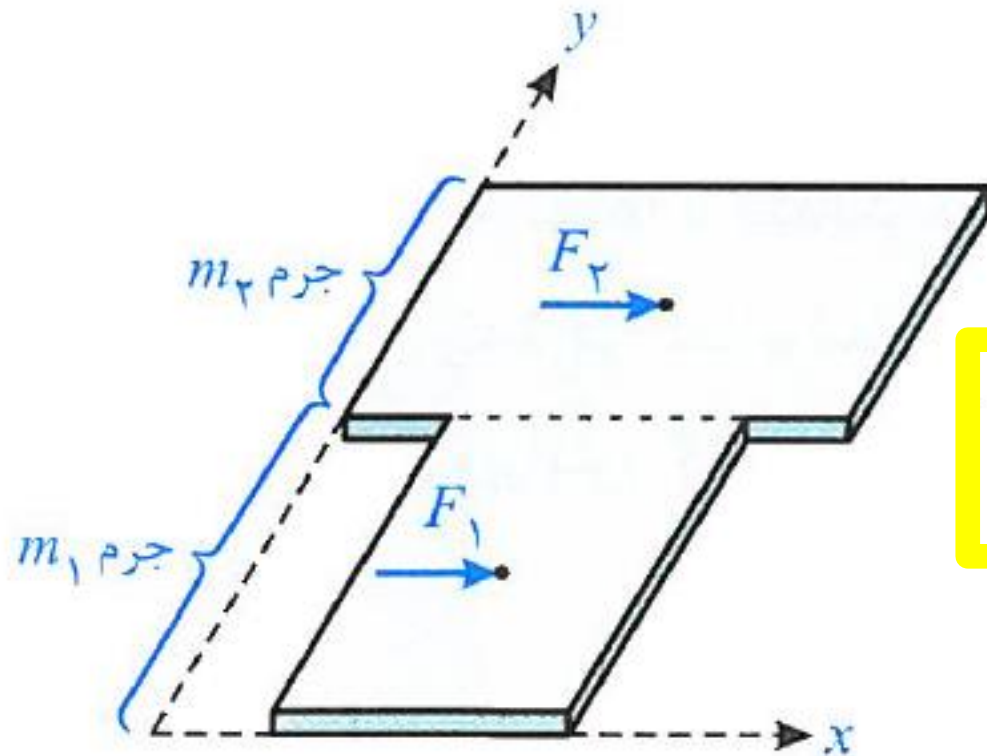




$$F = ma = \left(\frac{W}{g} \right) * a$$



مرکز جرم



$$F_1 = m_1 a \quad \text{نیروی وارد بر قسمت (۱)}$$

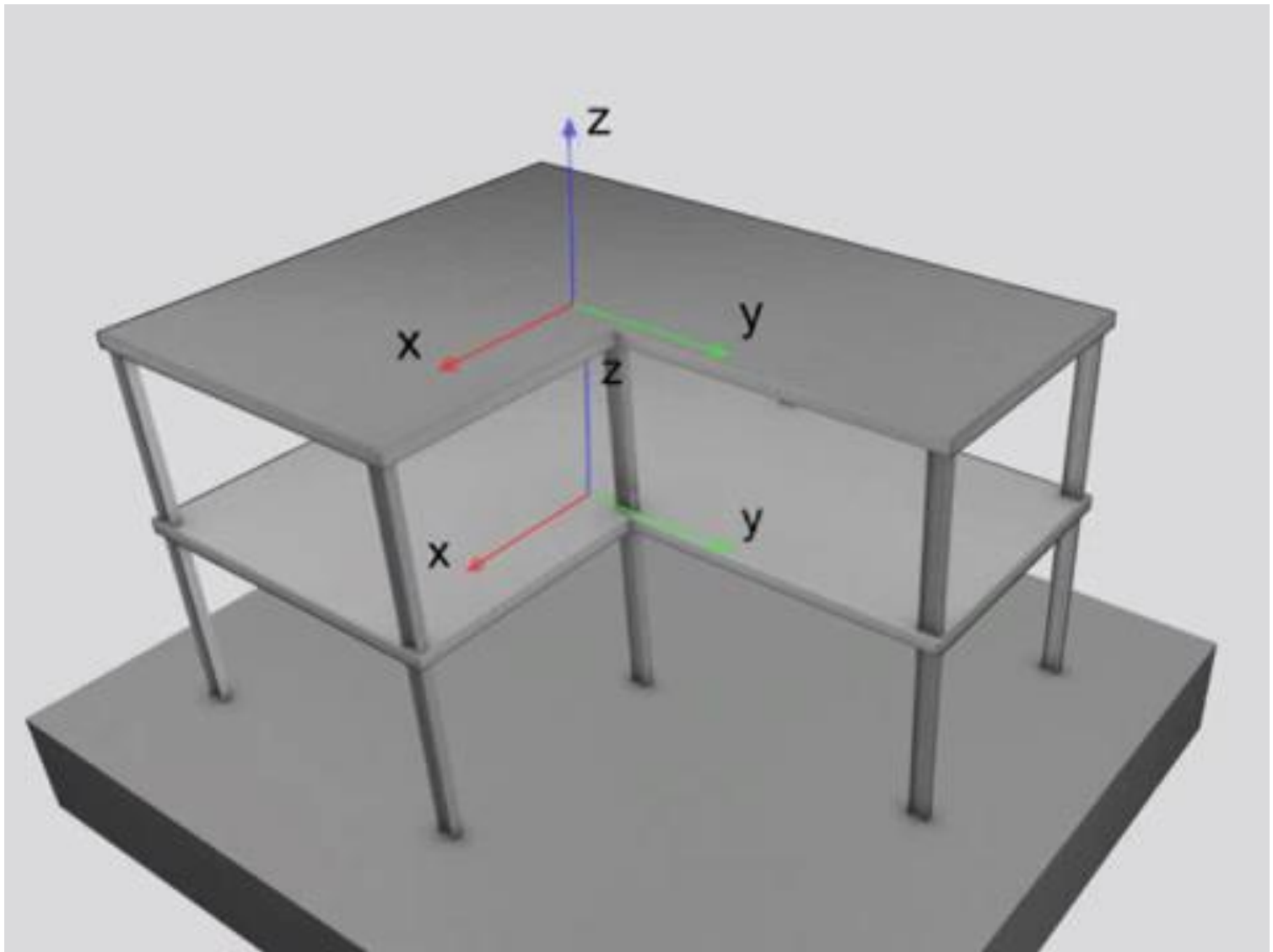
$$F_2 = m_2 a \quad \text{نیروی وارد بر قسمت (۲)}$$

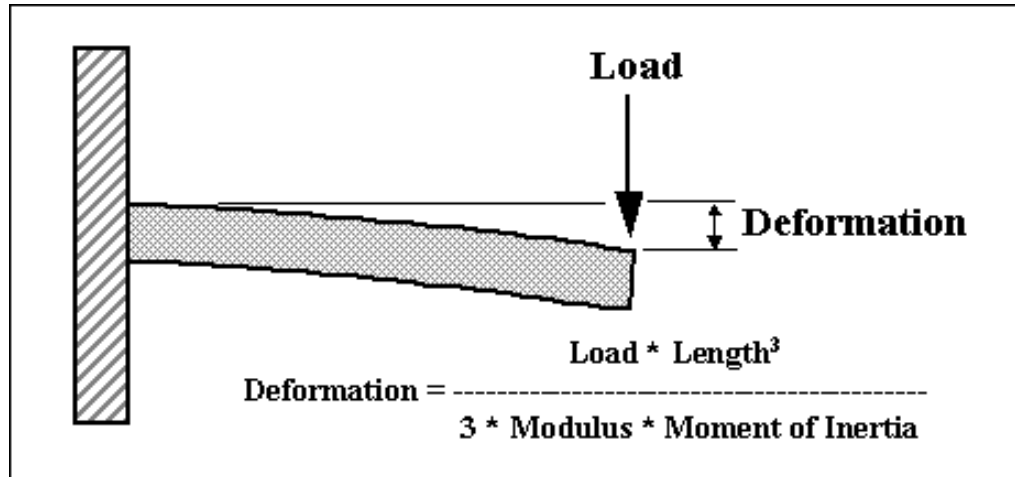
محلی که میتوان برآیند وارد بر جرم های طبقه را در آن در نظر گرفت،

مرکز جرم می باشد

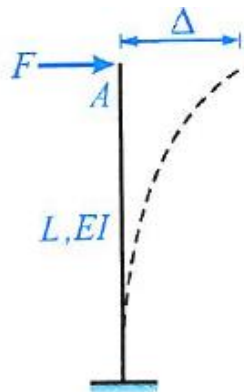
کف طبقه را به چند قسمت با توزیع جرم یکنواخت تقسیم کرده و

$$X_{CM} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \quad , \quad Y_{CM} = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i}$$





مقدار نیرویی که باعث ایجاد تغییر مکان واحد در سیستم می‌گردد،
سختی می باشد



$\Rightarrow$

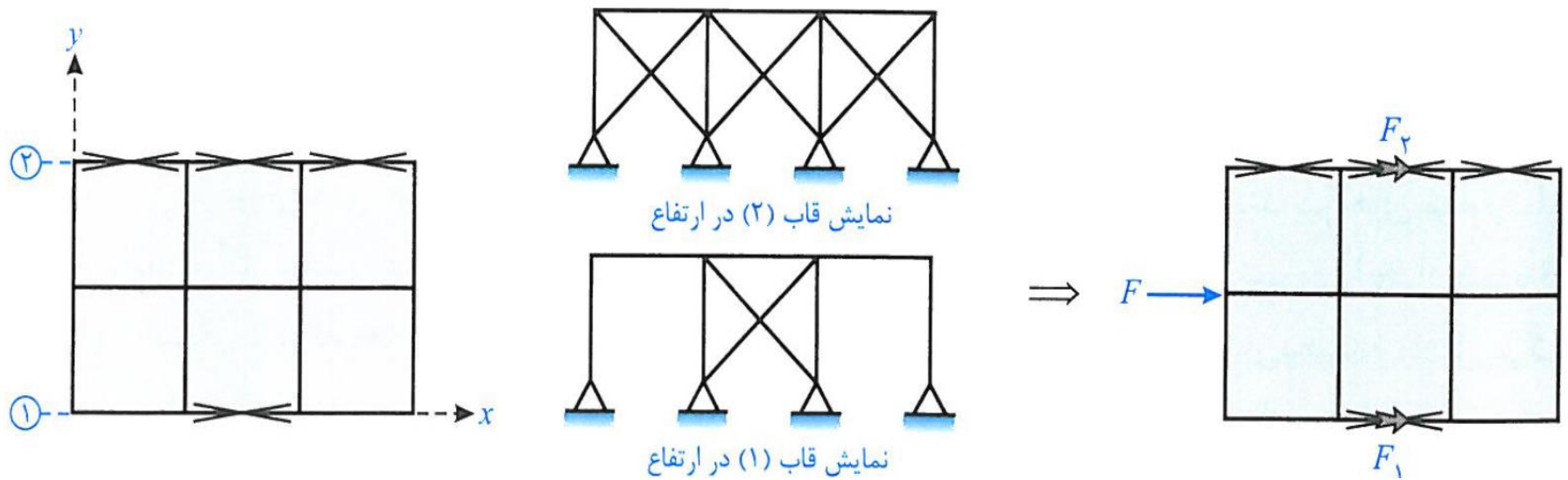
F

A

k

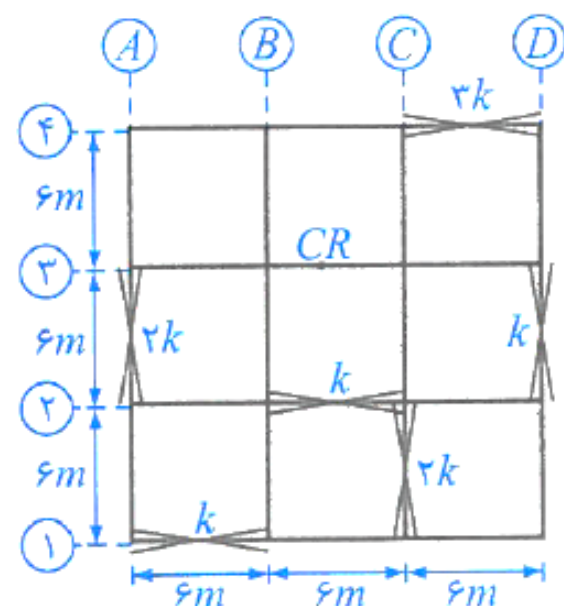
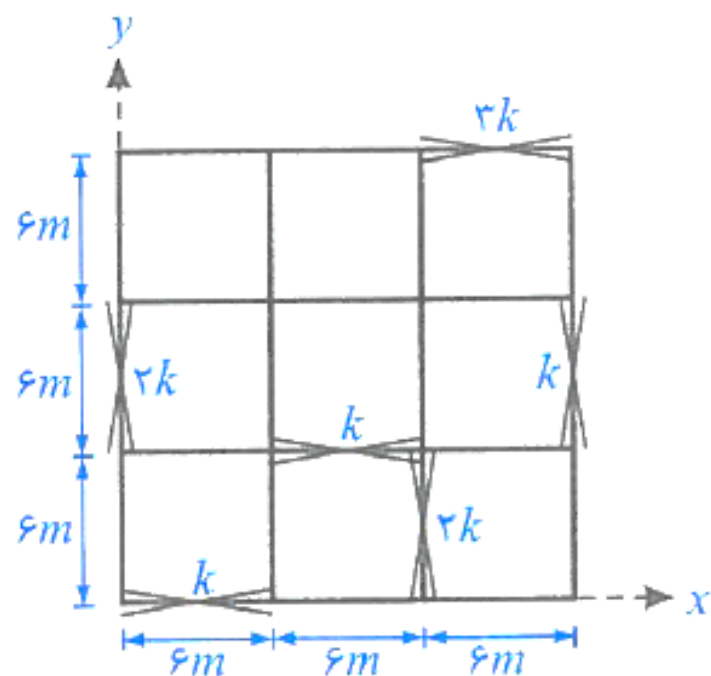
در ستون : $\Delta = \frac{FL^3}{3EI} \Rightarrow F = \frac{3EI}{L^3} \times \Delta$ (۱)

در فنر : $F = k \Delta$ (۲)



محلی که می توان برآیند نیروهای مقاوم جانبی سازه را در نظر گرفت،
مرکز سختی می باشد

$$X_{CR} = \frac{\sum k_{y_i} x_i}{\sum k_{y_i}}, \quad Y_{CR} = \frac{\sum k_{x_i} y_i}{\sum k_{x_i}}$$

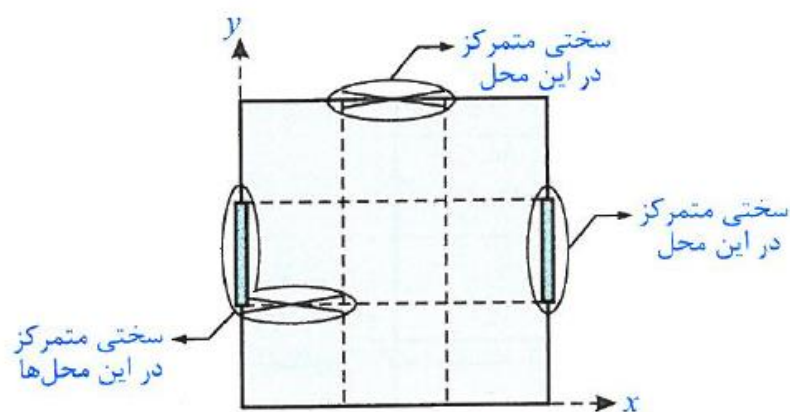


$$X_{CR} = \frac{\sum k_{y_i} x_i}{\sum k_{y_i}} \Rightarrow X_{CR} = \frac{2k \times 0 + 2k \times 1 + k \times 2}{\Delta k} = 1/3 m$$

$$Y_{CR} = \frac{\sum k_{x_i} y_i}{\sum k_{x_i}} \Rightarrow Y_{CR} = \frac{k \times 0 + k \times 1 + 2k \times 2}{\Delta k} = 1/3 m$$

در مورد محاسبه مختصات مرکز سختی در یک سازه برحسب نوع سیستم باربر جانبی سازه، می‌توان به نکات تکمیلی زیر اشاره کرد:

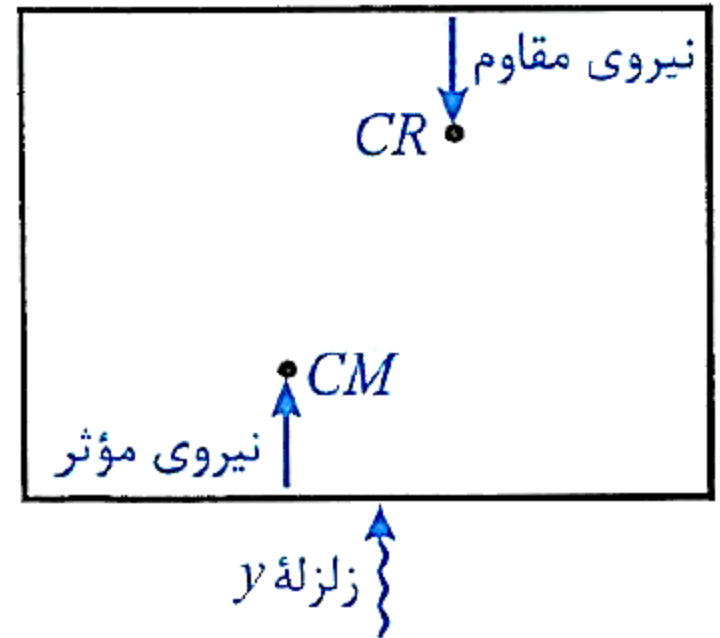
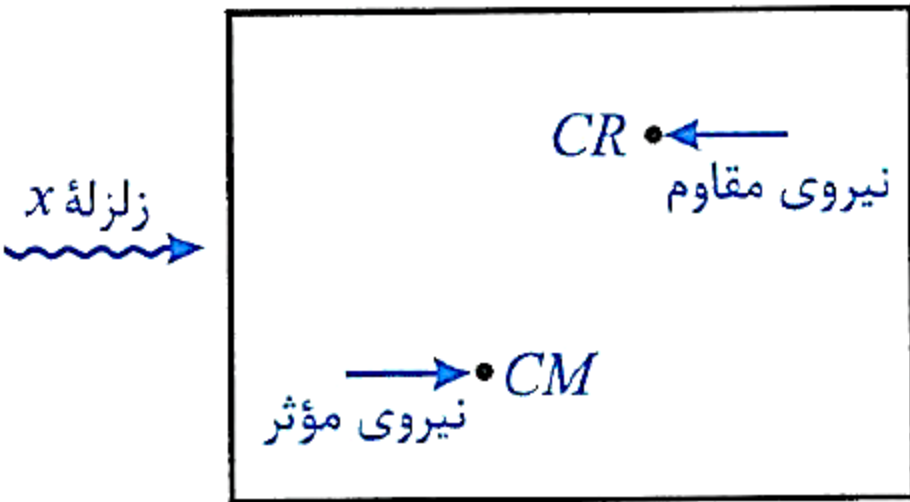
۱ در سازه‌های با قاب ساده مهاربندی شده یا با دیوار برشی، سختی جانبی قاب‌ها عملاً در نقاط خاصی که مهاربند یا دیوار برشی قرار دارد متمرکز است.



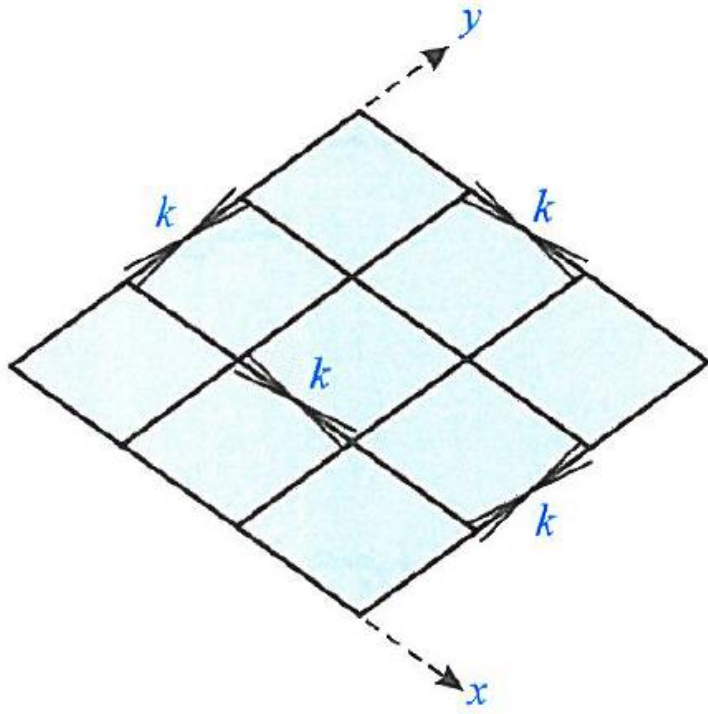
شکل ۲۷: تمرکز سختی در یک قاب

۲ در سازه‌هایی که دارای قاب خمشی هستند، سختی جانبی سازه ناشی از سختی خمشی تیرها و ستون‌ها می‌باشد. این موضوع یعنی سختی جانبی یک قاب خمشی عملاً در کل قاب وجود داشته و در نقطه‌ای خاص متمرکز نمی‌باشد. در این گونه موارد برای پیدا کردن محل مرکز سختی، غالباً مدل‌های دقیق رایانه‌ای از سازه تهیه شده و با کمک آنها مختصات مرکز سختی تعیین گردد.

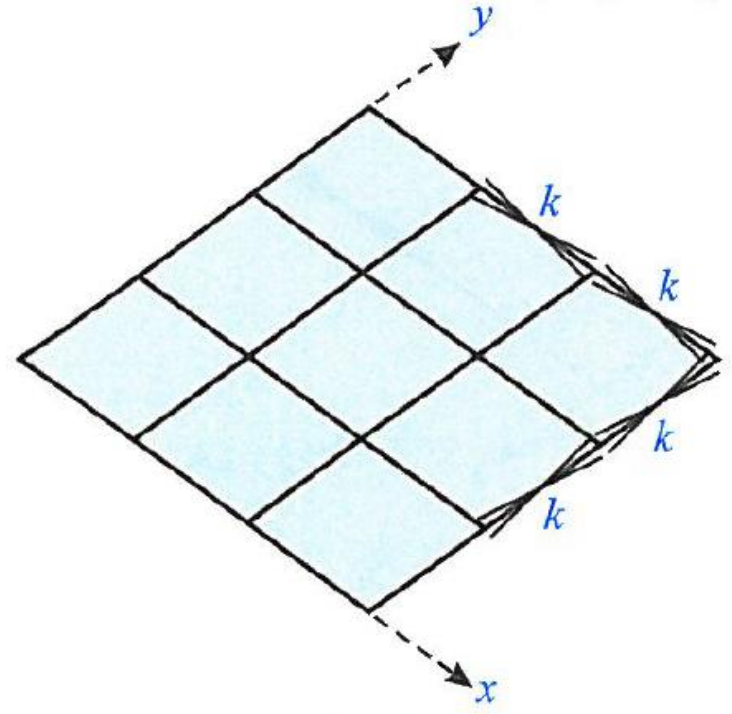
پیچش در سازه



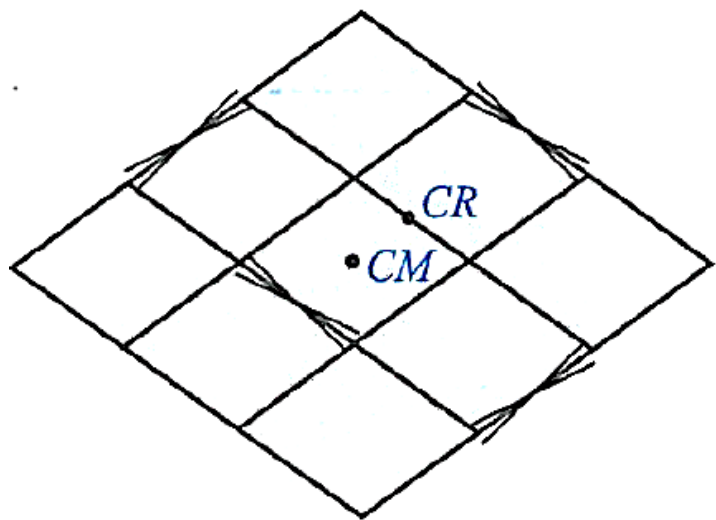
استعداد پیش در پلان های زیر را بررسی کنید.



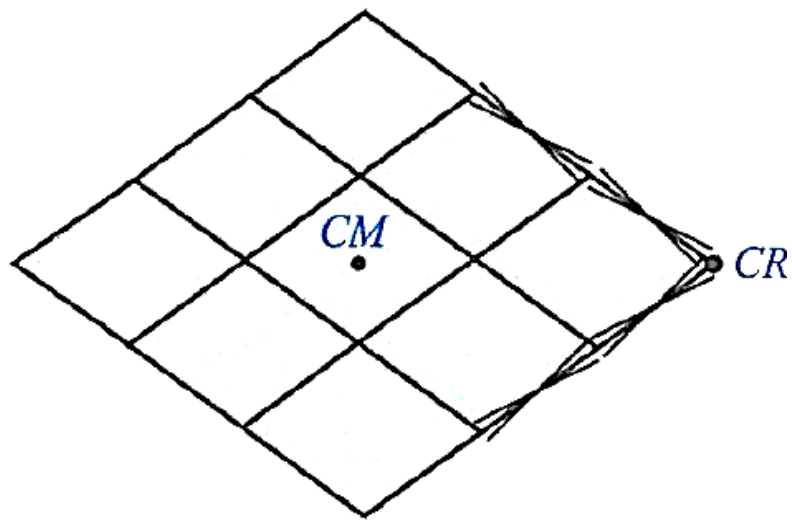
پلان (۱)



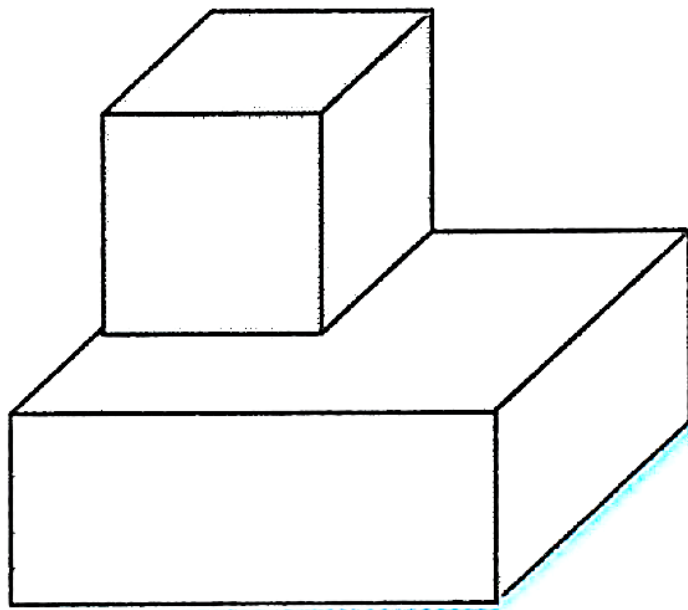
پلان (۲)



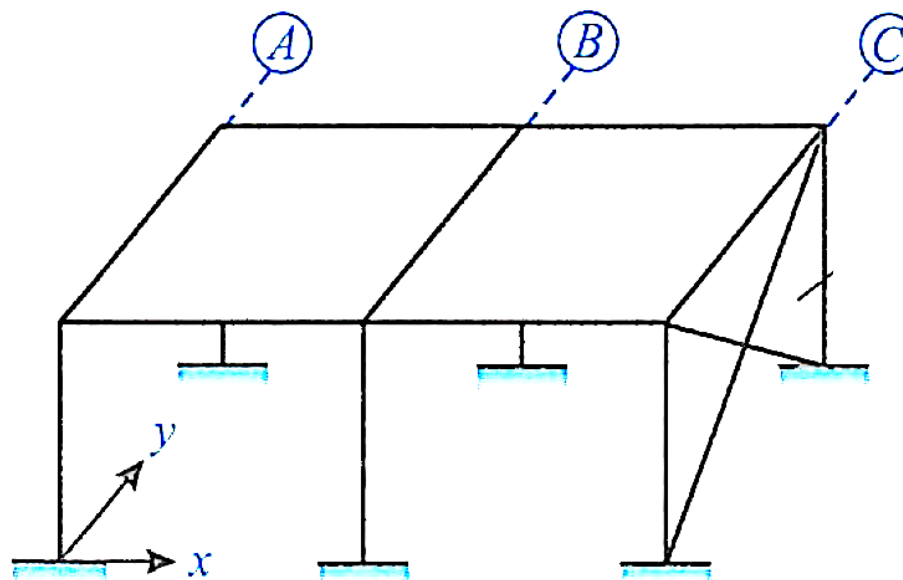
پلان (۱)



پلان (۲)



نامنظمی در توزیع جرم در ارتفاع



نامنظمی در سیستم مقاوم جانبی

به طور کلی برای ایجاد نظم در یک ساختمان باید دو دیدگاه زیر برای آن در نظر گرفته شود:

1 طرح معماری ساختمان

2 طرح سازه‌ای ساختمان

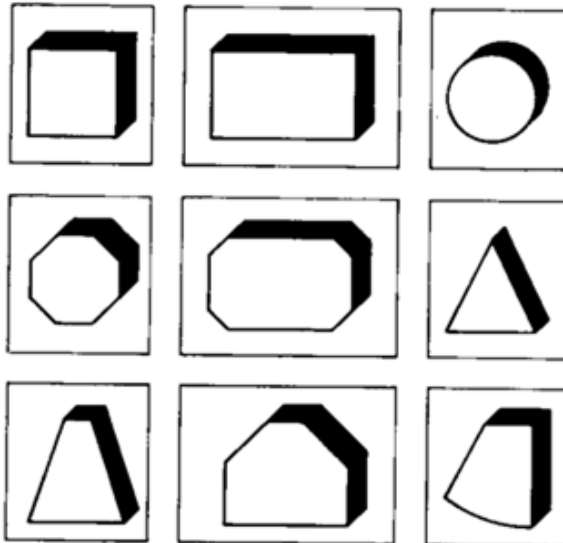
بسیاری از طرح‌های ارائه شده توسط مهندسان معمار، شرایطی را دارد که باعث ایجاد نامنظمی در سازه می‌شود. از طرف دیگر در بسیاری از پروژه‌ها، عدم توانایی و تجربه کافی یک مهندس سازه در انتخاب نوع و جانمایی سیستم باربر جانبی باعث می‌شود که ساختمان نامنظم شود. با توجه به این موضوع همواره دو توصیه مهم به مهندسان مورد توجه است:

1 لازم است تا طراح سازه یک پروژه ساختمانی، تعامل مناسبی با طراح معماری آن داشته باشد. تجربه نشان می‌دهد که ارتباط خوب بین مهندس سازه و مهندس معمار، می‌تواند سبب شود تا طرح‌های معماری که اصول مهندسی سازه را چندان در نظر نمی‌گیرند، کمتر دیده شود.

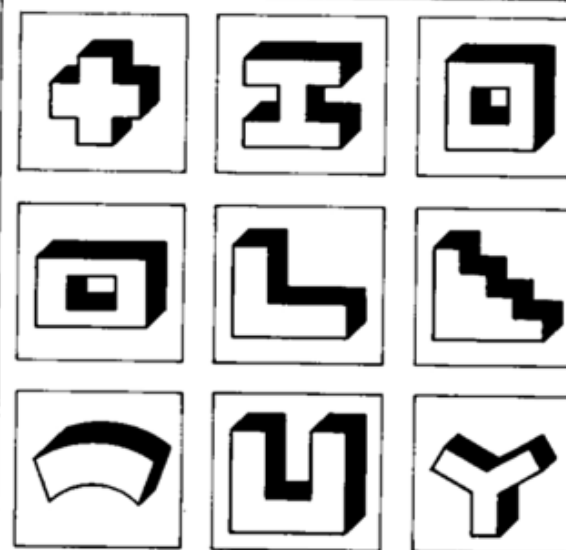
2 لازم است تا طراح سازه درک صحیحی از رفتار و عملکرد سازه در هنگام زلزله داشته باشد. عدم وجود این توانایی در برخی از مهندسين باعث می‌شود که بعضاً در پروژه‌هایی که طرح معماری آنها ساده و منظم است، طرح‌های سازه‌ای نامطلوب، عملکرد سازه را به شدت نامناسب کند.

PLANS

SIMPLE

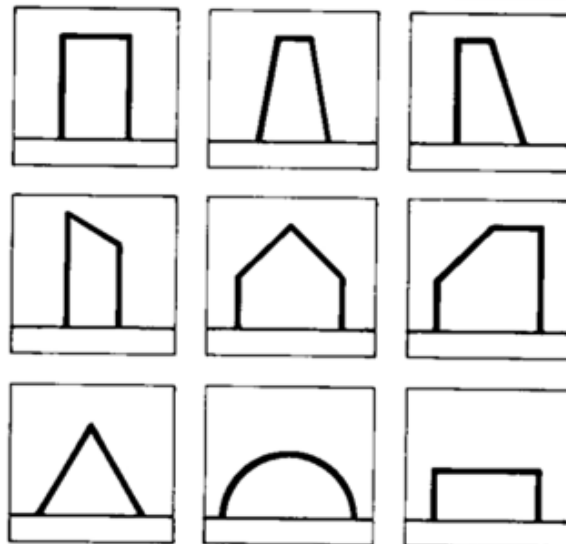


COMPLEX

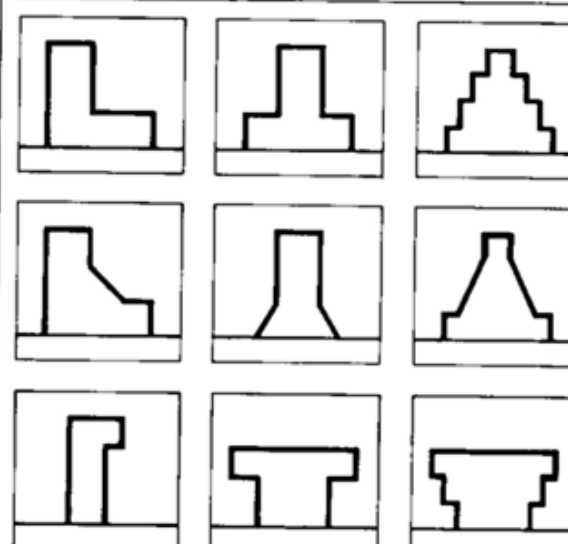


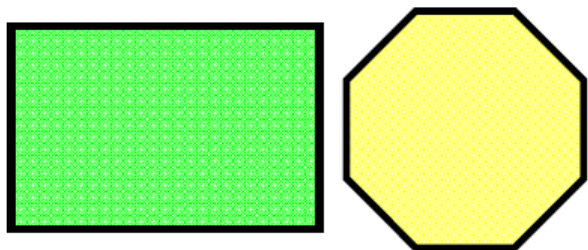
ELEVATIONS

SIMPLE

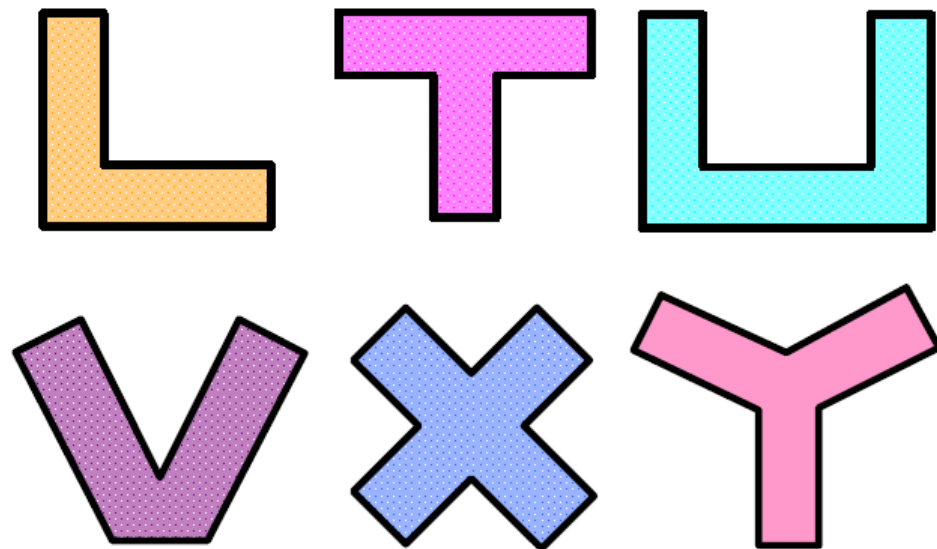


COMPLEX





Simple Shapes



Complex Shapes

منظمی و نامنظمی در ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰

۷-۱ گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب نظم کالبدی

ساختمان‌هایی که به لحاظ خصوصیات کالبدی شامل: شکل هندسی، توزیع جرم و توزیع سختی در پلان و در ارتفاع دارای یکی از مشخصات زیر باشند "نامنظم" و در غیر این صورت "منظم" محسوب می‌شوند.

۱-۷-۱ نامنظمی در پلان

الف- نامنظمی هندسی: در مواردی که پس‌رفتگی هم‌زمان در دو جهت در یکی از گوشه‌های ساختمان بیشتر از ۲۰ درصد طول پلان در آن جهت باشد.

نامنظمی هندسی

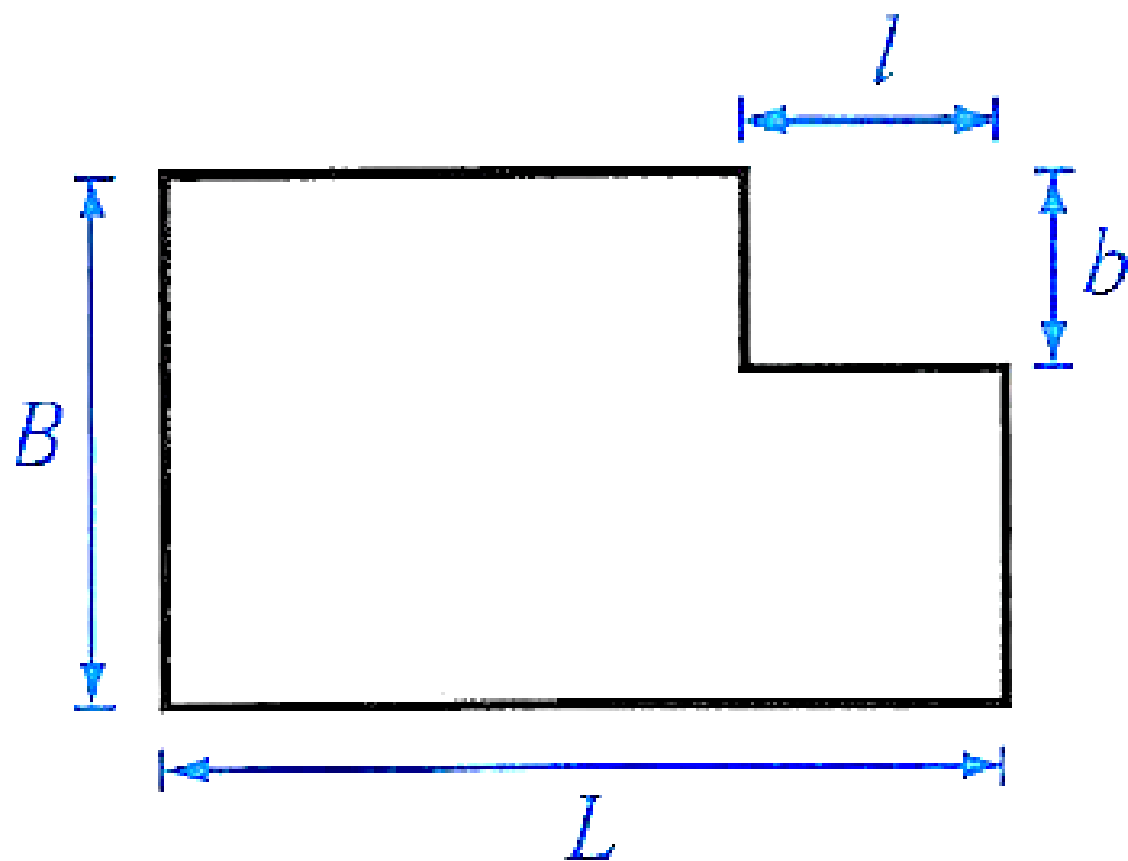
نامنظمی پیچشی

نامنظمی در دیافراگم

نامنظمی خارج از صفحه

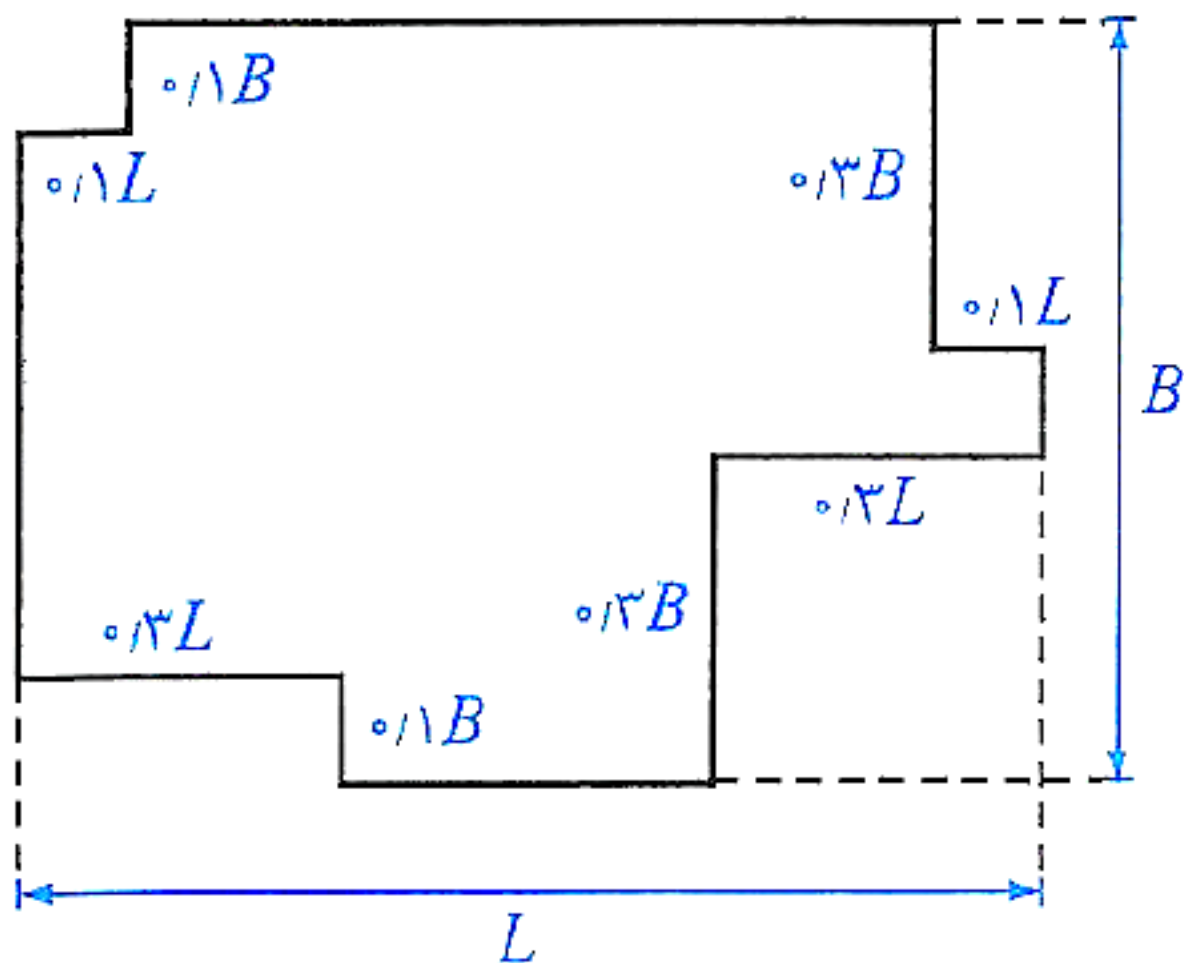
نامنظمی سیستم‌های غیر موازی

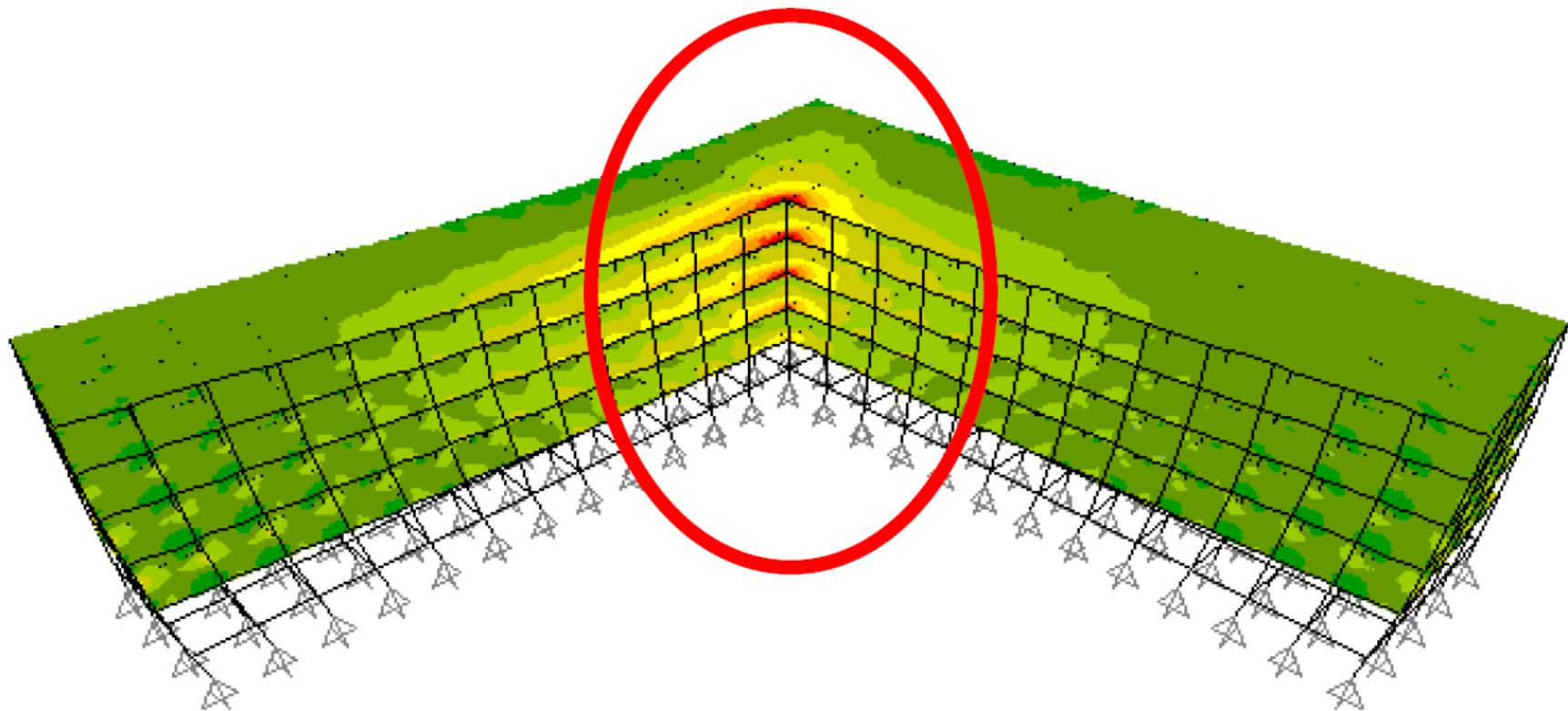
نامنظمی در پلان

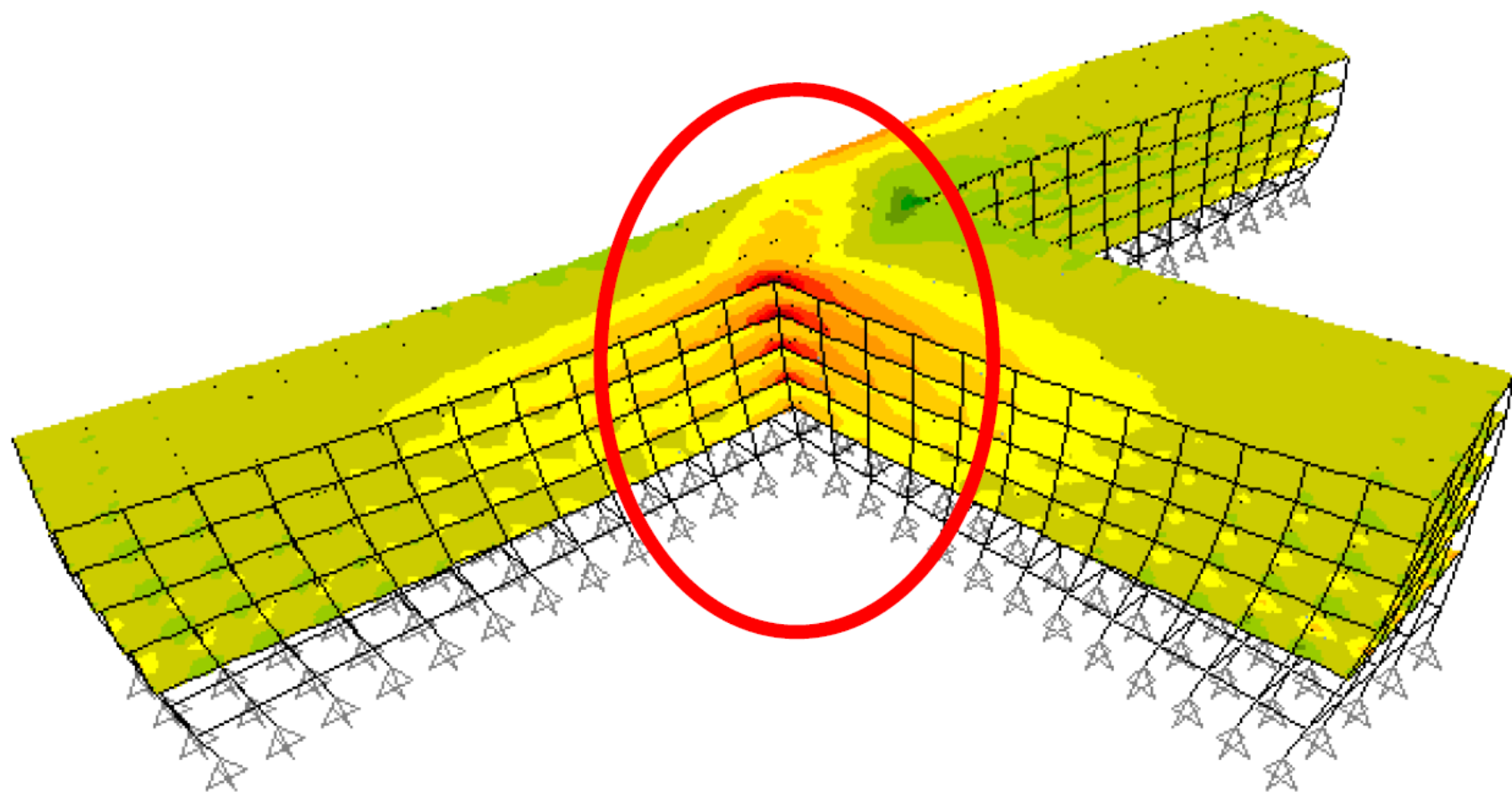


نامنظم هندسی در پلان $\Rightarrow l > 0.12L$, $b > 0.12B$

تمرین.

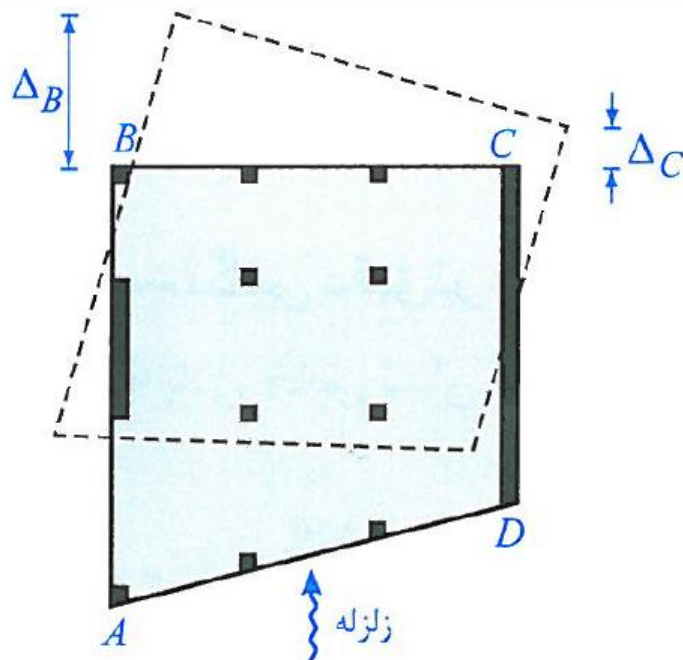






ب-نامنظمی پیچشی: در مواردی که حداکثر تغییرمکان نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه، با احتساب پیچش تصادفی و با منظور کردن $A_j = 1/0$ بیشتر از ۲۰ درصد متوسط تغییرمکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد. در این موارد نامنظمی "زیاد" و در مواردی که این اختلاف بیشتر از ۴۰ درصد باشد، نامنظمی "شدید" پیچشی توصیف می‌شود.

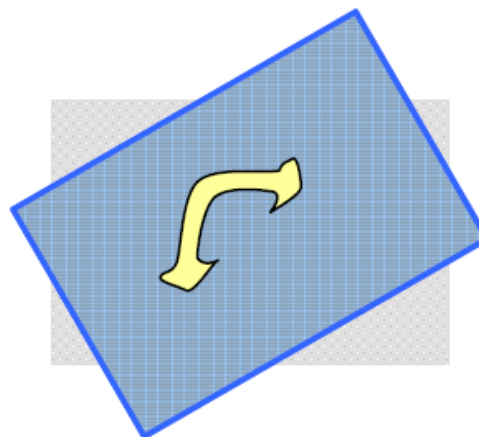
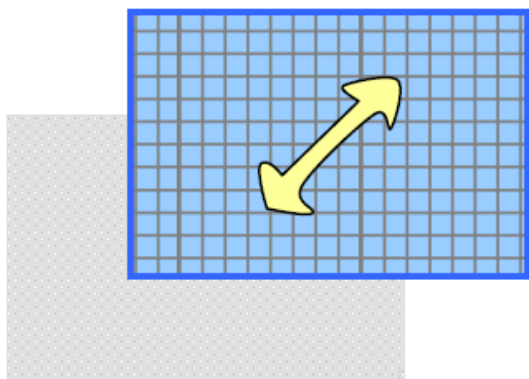
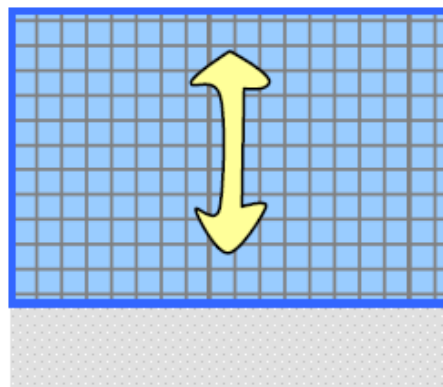
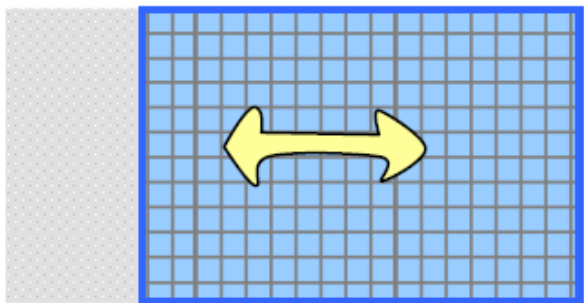
نامنظمی‌های پیچشی تنها در مواردی که دیافراگم‌های کف‌ها صلب و یا نیمه‌صلب هستند کاربرد پیدا می‌کند.

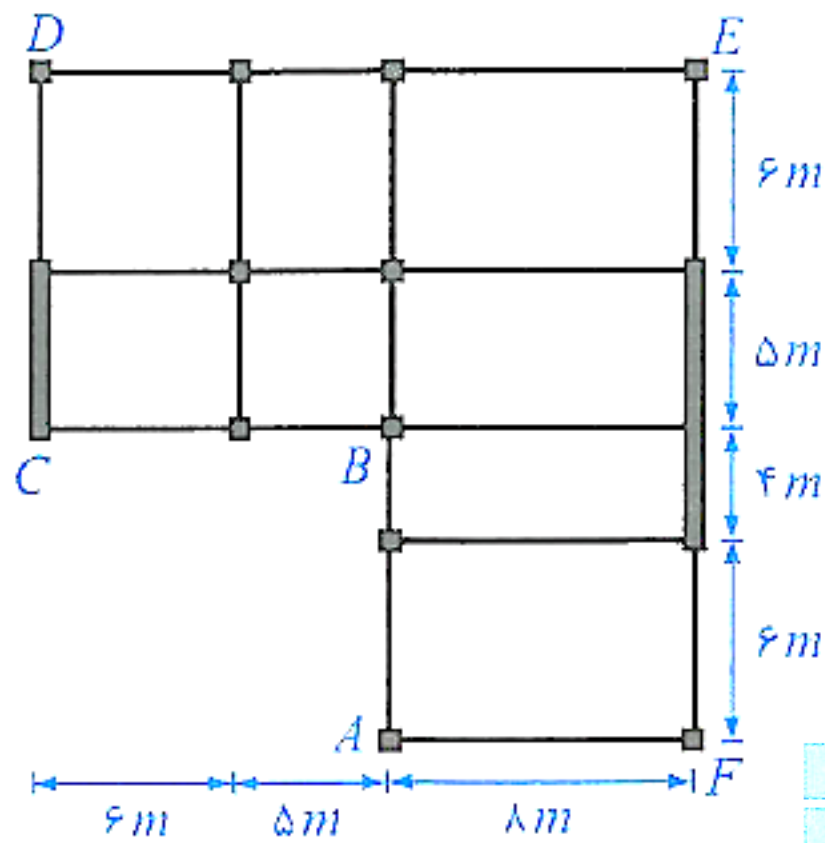


$$\begin{cases} \Delta_{max} = \Delta_B \\ \Delta_{ave} = \frac{\Delta_B + \Delta_C}{2} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} > 1/2 \Rightarrow \text{نامنظم زیاد پیچشی}$$

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} > 1/4 \Rightarrow \text{نامنظم شدید پیچشی}$$





زلزله جهت y		زلزله جهت x	
Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x

• 18 mm - • 16 mm - • 18 mm 15/18 mm

• 18 mm - • 12 mm - • 18 mm 15/16 mm

1/3 mm - • 12 mm - • 12 mm 15/16 mm

1/3 mm • 14 mm - • 12 mm 15/15 mm

• 14 mm • 14 mm • 10 mm 15/15 mm

• 14 mm - • 16 mm • 10 mm 15/18 mm

نقطه A

نقطه B

نقطه C

نقطه D

نقطه E

نقطه F

در راستای X

$$\Delta_{max} = 15/8 \text{ mm} \quad , \quad \Delta_{ave} = \frac{15/8 + 15/5}{2} = 15/65 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} = 1/0.1 < 1/2 \Rightarrow \text{پلان در راستای } x \text{ منظم پیچشی است.}$$

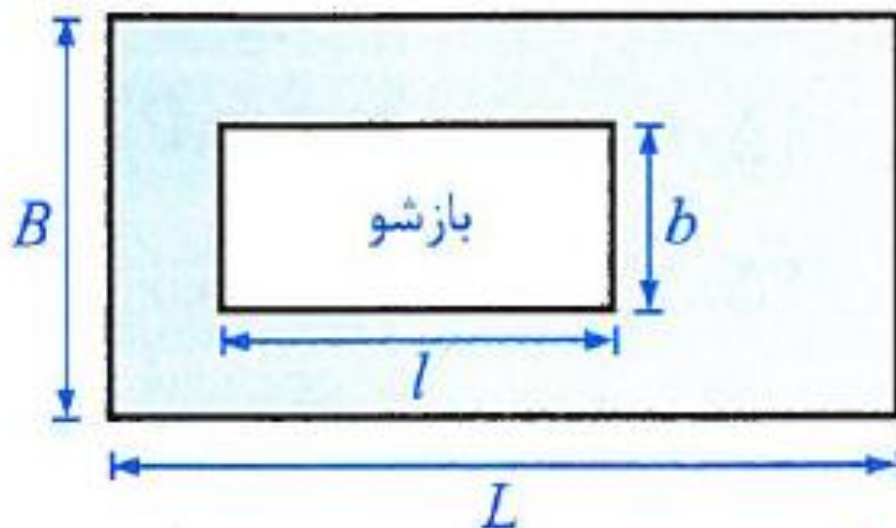
در راستای Y

$$\Delta_{max} = 1/3 \text{ mm} \text{ (لبه انتهایی سمت چپ یعنی } CD) \text{ , } \Delta_{min} = 0/4 \text{ mm (لبه سمت راست یعنی } EF)$$

$$\Delta_{ave} = \frac{1/3 + 0/4}{2} = 0/85 \text{ mm}$$

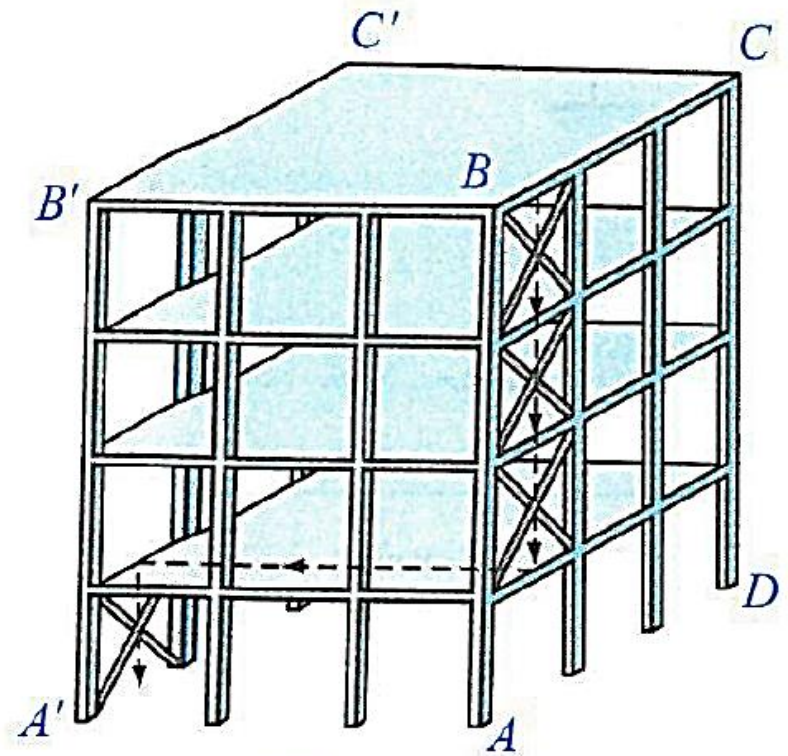
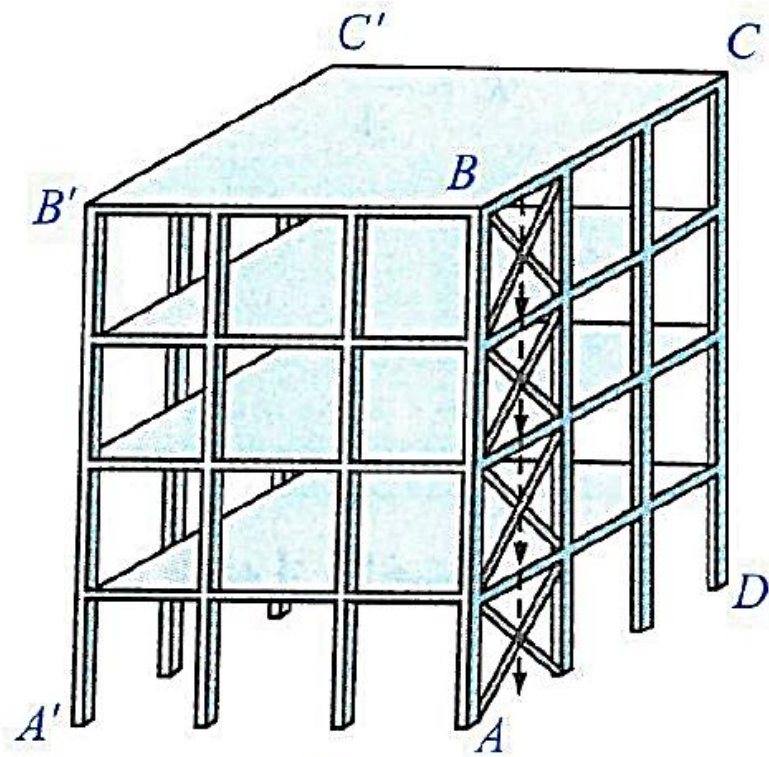
$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}} = 1/53 > 1/4 \Rightarrow \text{پلان در راستای } y \text{ نامنظم شدید پیچشی است.}$$

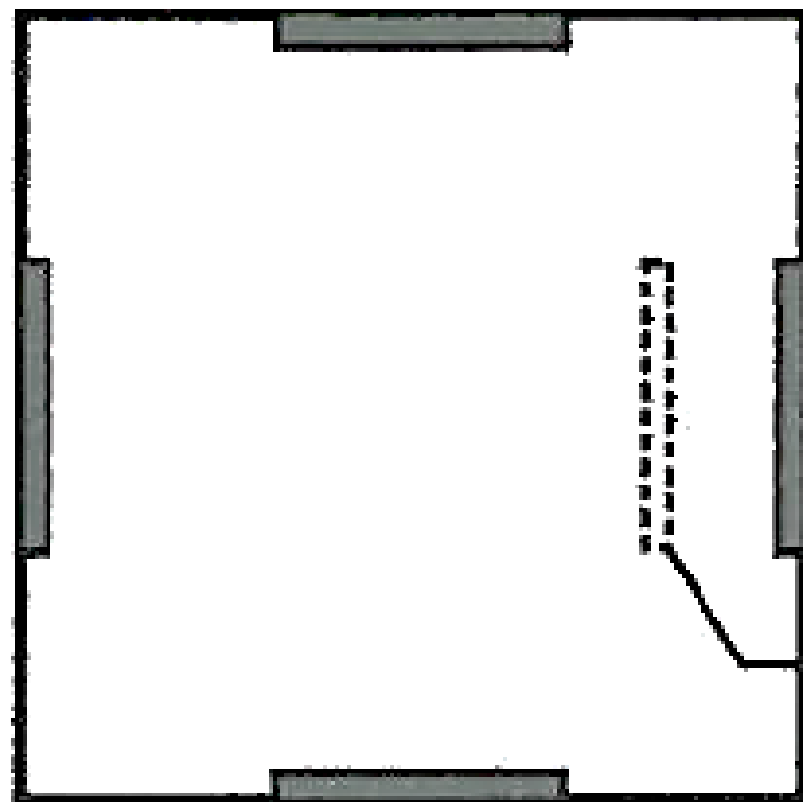
پ-نامنظمی در دیافراگم: در مواردی که تغییر ناگهانی در مساحت دیافراگم، به میزان مجموع سطوح بازشوی بیشتر از ۵۰ درصد سطح طبقه، و یا تغییر ناگهانی در سختی دیافراگم، به میزان بیشتر از ۵۰ درصد سختی طبقات مجاور، وجود داشته باشد.



$$(l \times b) > 0.15 (L \times B) \Rightarrow \text{نامنظم در دیافراگم}$$

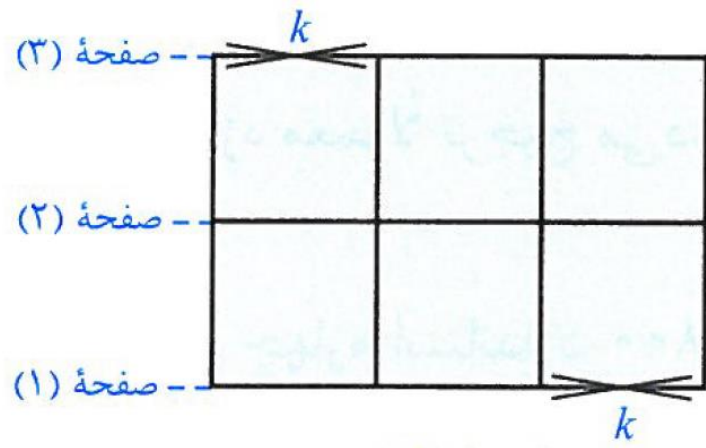
ت-نامنظمی خارج از صفحه: در مواردی که در سیستم باربر جانبی انقطاعی در مسیر انتقال نیروی جانبی، مانند تغییر صفحه، حداقل در یکی از اجزای باربر جانبی در طبقات، وجود داشته باشد.



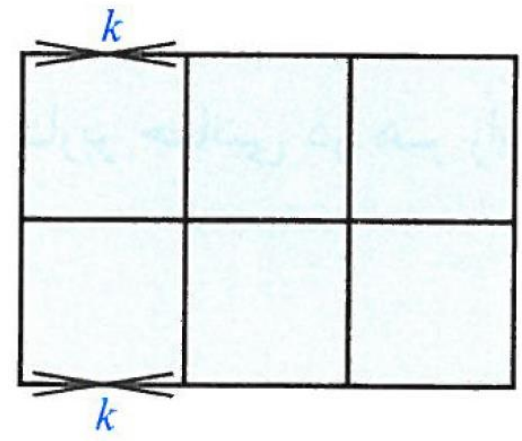


دیوار طبقه بالا

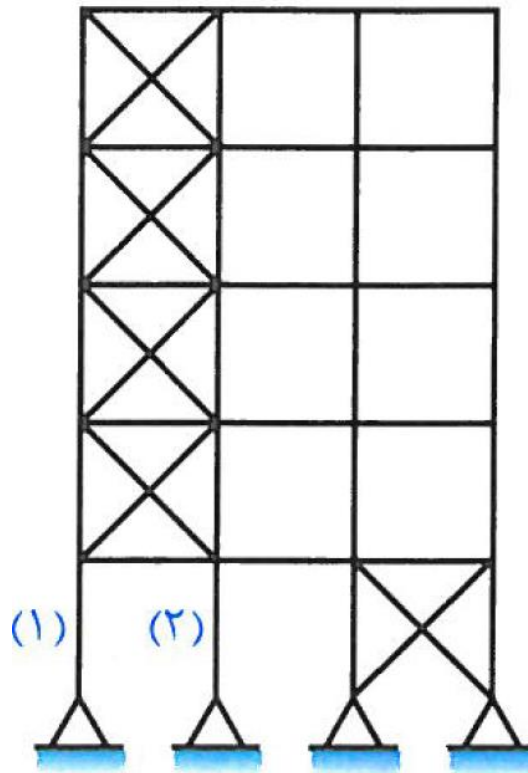
دیوار طبقه پایین



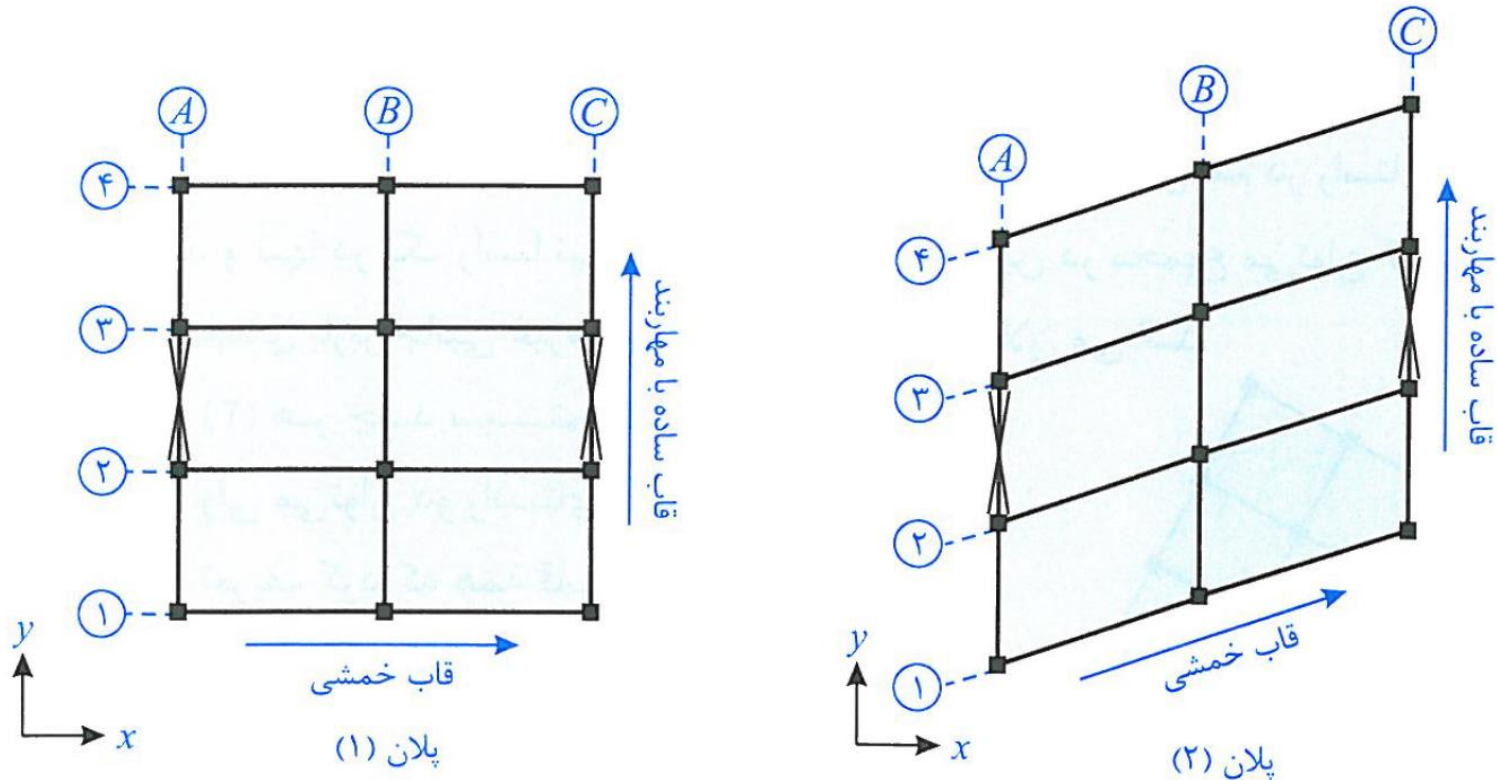
پلان طبقه (1)

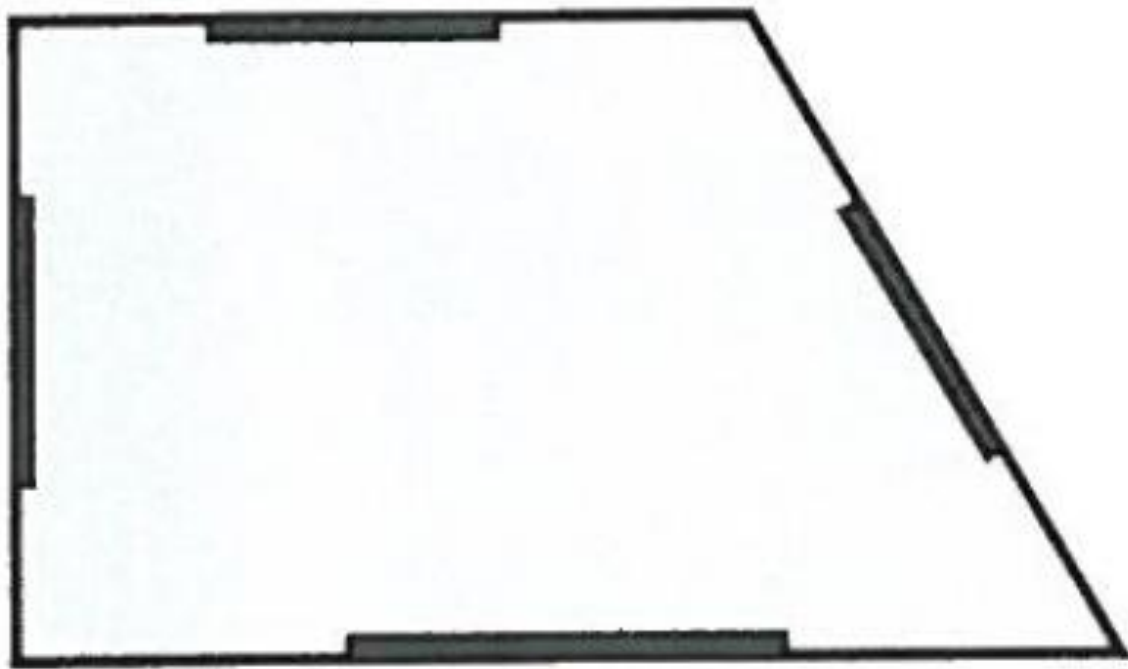


پلان طبقات (2) تا (5)



ث- نامنظمی سیستم‌های غیر موازی: در مواردی که بعضی اجزای قائم باربر جانبی به موازات محورهای متعامد اصلی ساختمان نباشد.





دیوار

نامنظمی در ارتفاع

۲-۷-۱ نامنظمی در ارتفاع

الف- نامنظمی هندسی: در مواردی که ابعاد افقی سیستم باربر جانبی در هر طبقه بیشتر از ۱۳۰ درصد آن در طبقات مجاور باشد.

نامنظمی هندسی

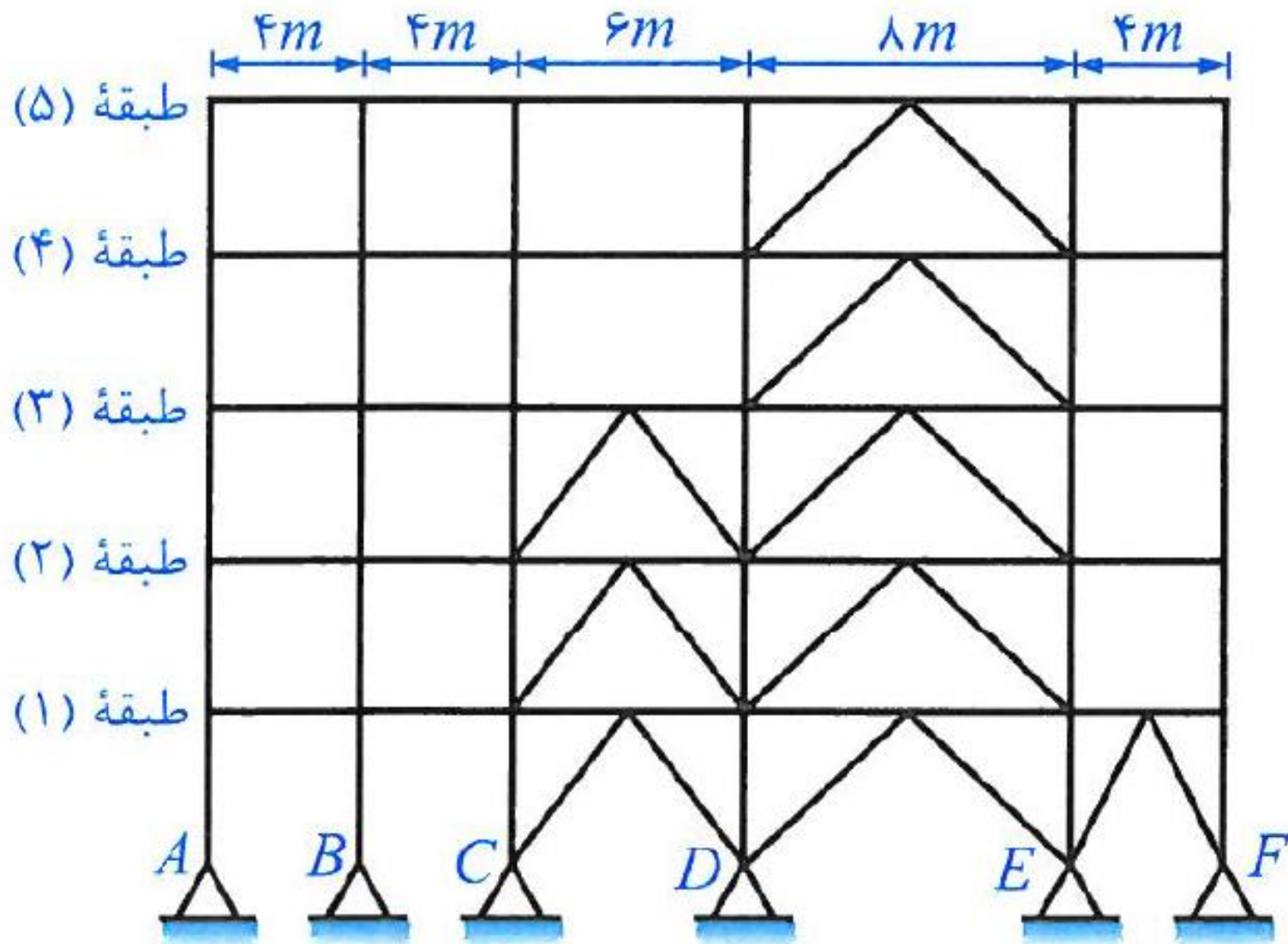
نامنظمی جرمی

نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی

نامنظمی در سختی جانبی

نامنظمی در مقاومت جانبی

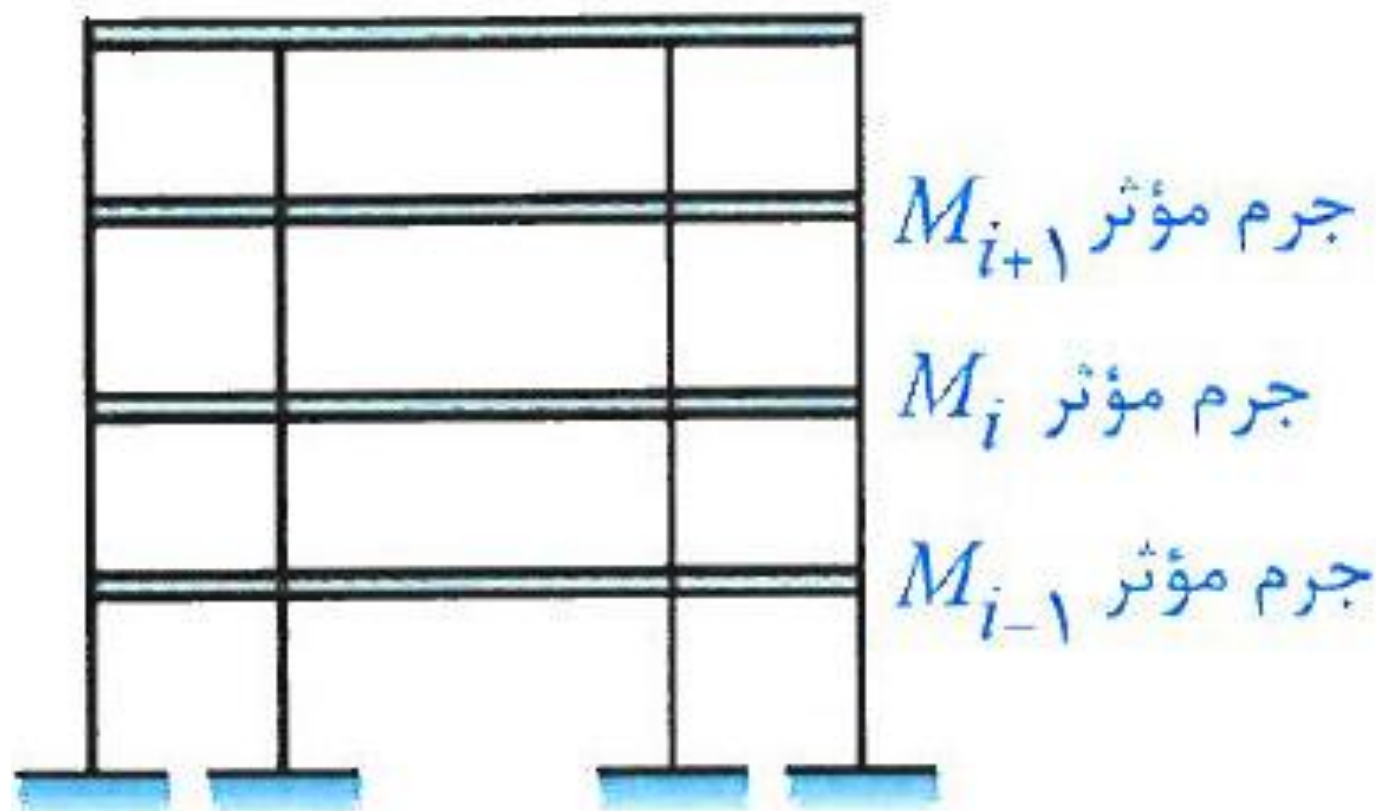
نامنظمی در ارتفاع



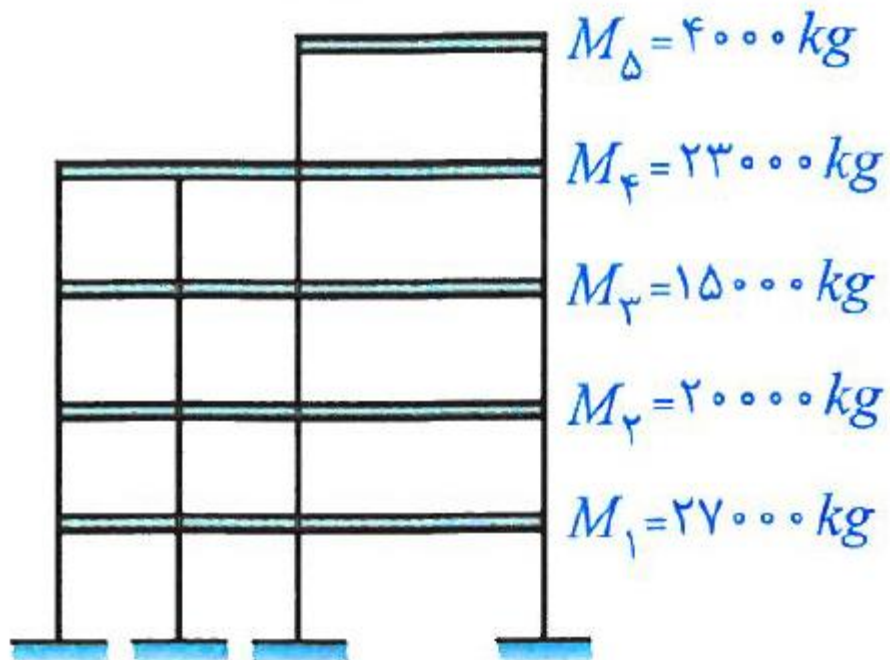
کنترل طبقه سوم با چهارم : $14m > 1/3 \times 8 = 10/3m$

کنترل طبقه اول با دوم : $18m > 1/3 \times 14 = 18/2m$

ب- نامنظمی جرمی: در مواردی که جرم هر طبقه بیشتر از ۵۰ درصد با جرم‌های طبقات مجاور تفاوت داشته باشد.
 طبقات بام و خرپشته از این تعریف مستثنا هستند.



مقایسه جرم طبقه i با $i + 1$: $M_i < 0.5 M_{i+1}$ یا $M_i > 1.5 M_{i+1}$
 مقایسه جرم طبقه i با $i - 1$: $M_i < 0.5 M_{i-1}$ یا $M_i > 1.5 M_{i-1}$

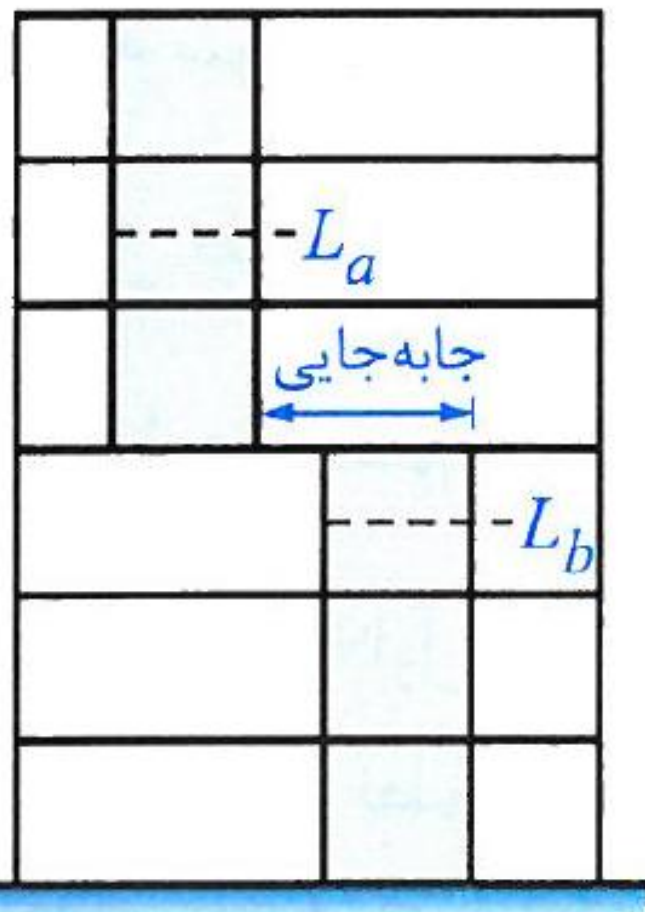


$M_R = 15000 < 0.15 M_F = 11500$, $M_R = 15000 > 0.15 M_F = 34500 \Rightarrow$ طبقه سوم نظم جرمی دارد.
 $M_R = 15000 < 0.15 M_Y = 10000$, $M_R = 15000 > 0.15 M_Y = 30000 \Rightarrow$ کنترل طبقه دوم:

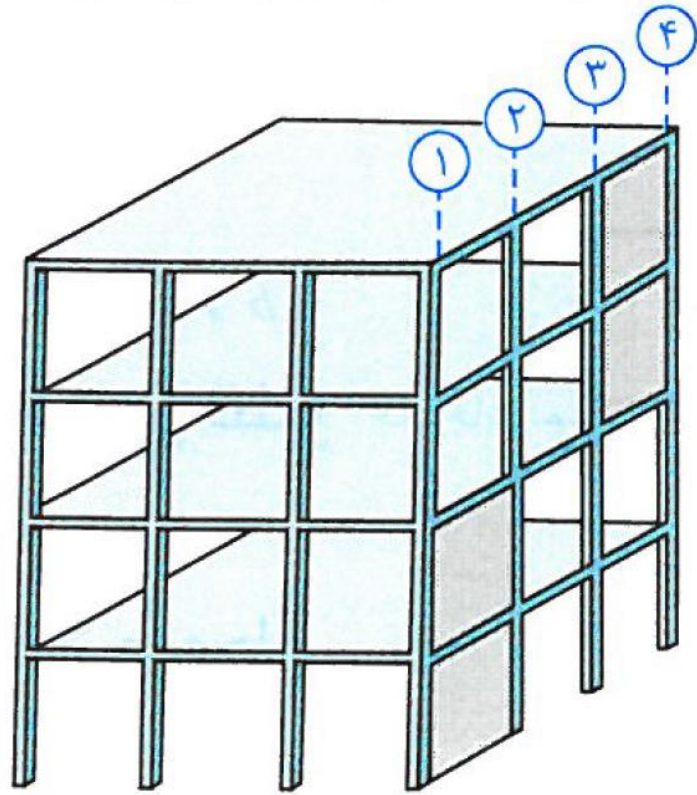
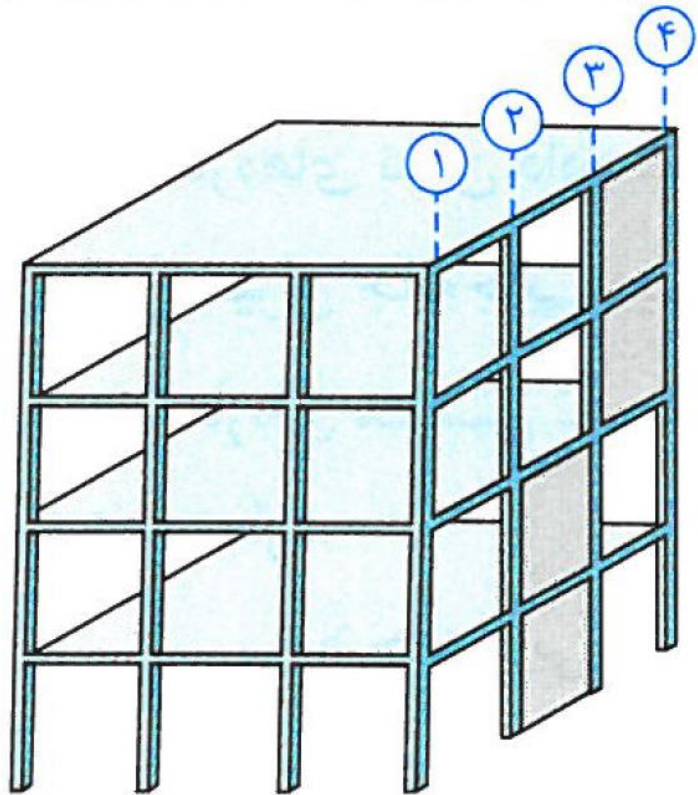
$M_Y = 20000 < 0.15 M_R = 7500$, $M_Y = 20000 > 0.15 M_R = 22500 \Rightarrow$ طبقه دوم نظم جرمی دارد.
 $M_Y = 20000 < 0.15 M_I = 13500$, $M_Y = 20000 > 0.15 M_I = 40500 \Rightarrow$ کنترل طبقه اول:

$M_I = 27000 < 0.15 M_Y = 10000$, $M_I = 27000 > 0.15 M_Y = 30000 \Rightarrow$ طبقه اول نظم جرمی دارد.
 با توجه به اینکه طبقات مختلف این ساختمان نظم جرمی دارند، می توان گفت که سازه از نظر جرمی منظم محسوب می شود.

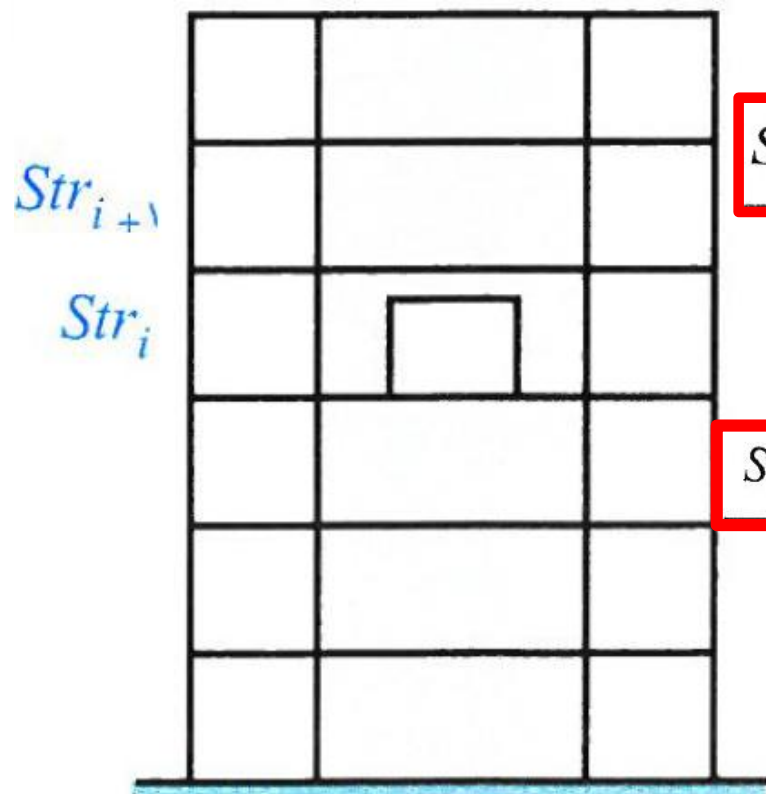
پ - نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی: در مواردی که جزئی از سیستم بار بر جانبی در ارتفاع قطع شده باشد، به طوری که آثار ناشی از واژگونی روی تیرها، دال‌ها، ستون‌ها و دیوارهای تکیه‌گاهی تغییراتی ایجاد کند.



$L_b > \text{جابه جایی}$ یا $L_a > \text{جابه جایی} \Rightarrow$ شرط ایجاد نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی



ت- نامنظمی مقاومت جانبی: در مواردی که مقاومت جانبی طبقه از ۸۰ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود کمتر باشد، چنین طبقه‌ای اصطلاحاً "طبقه ضعیف" نامیده می‌شود. در مواردی که مقدار فوق به ۶۵ درصد کاهش یابد، طبقه اصطلاحاً "طبقه خیلی ضعیف" توصیف می‌شود.



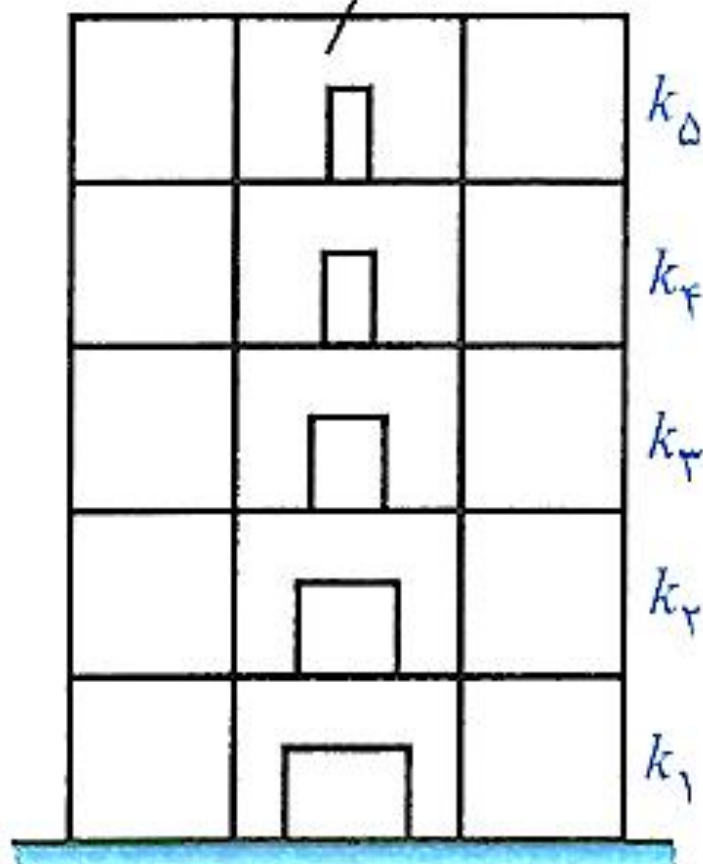
نامنظم در مقاومت (طبقه ضعیف) $\Rightarrow Str_i < 0.8 Str_{i+1}$

نامنظم در مقاومت (طبقه خیلی ضعیف) $\Rightarrow Str_i < 0.65 Str_{i+1}$

مقاومت یک طبقه بیانگر حداکثر نیرویی است که آن طبقه قبل از ناپایدار شدن (مکانیزم شدن) می‌تواند تحمل کند. به‌طور کلی تعیین مقدار دقیق مقاومت یک طبقه نیازمند انجام تحلیل‌های غیرخطی است زیرا نحوه مکانیزم شدن طبقه از ابتدا قابل پیش‌بینی نمی‌باشد، با این حال بعضاً روابطی تقریبی در کتب مرجع فولاد و بتن برای تعیین مقاومت یک طبقه ارائه می‌شود.

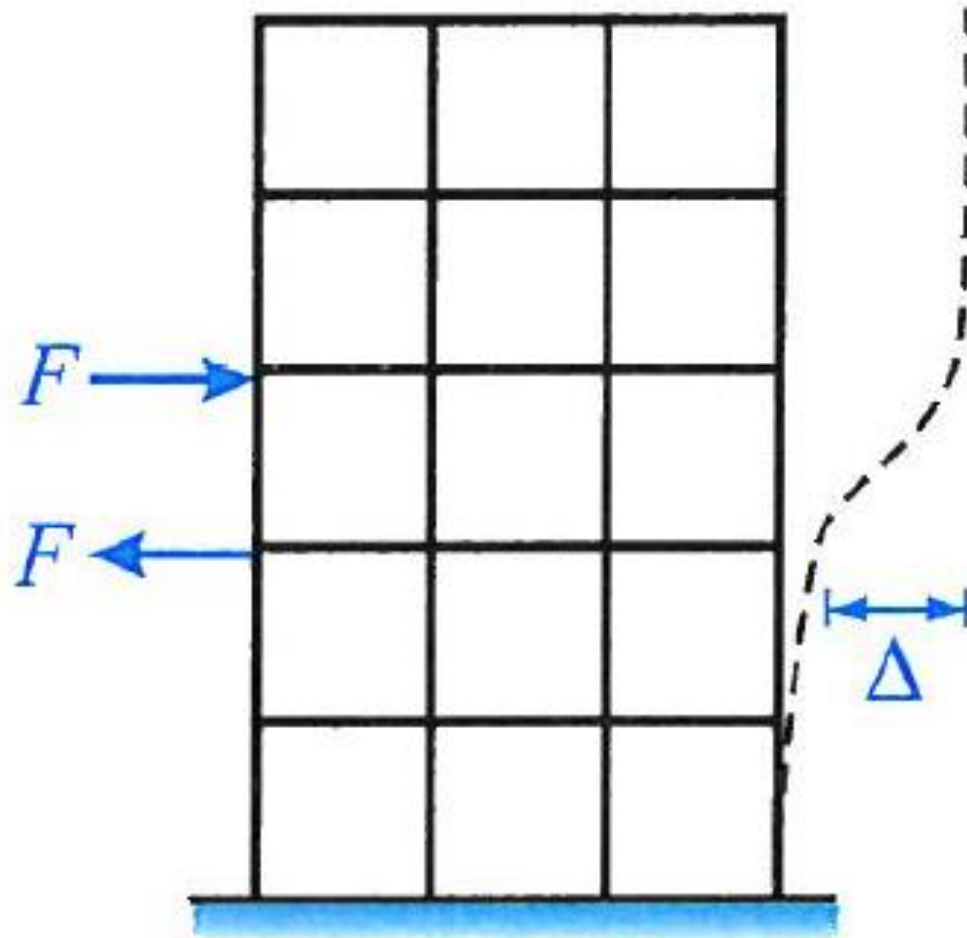
ث- نامنظمی سختی جانبی: در مواردی که سختی جانبی هر طبقه کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی‌های جانبی سه طبقه روی خود باشد. چنین طبقه‌ای اصطلاحاً "طبقه نرم" نامیده می‌شود. در مواردی که مقادیر فوق به ترتیب به ۶۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش پیدا کنند، طبقه اصطلاحاً "طبقه خیلی نرم" توصیف می‌شود.

دهانه دارای دیوار برشی با بازشو



$$k_i < 0.17 k_{i+1} \text{ یا } k_i < 0.18 \left(\frac{k_{i+1} + k_{i+2} + k_{i+3}}{3} \right) \Rightarrow \text{نامنظم در سختی (طبقه نرم)}$$

$$k_i < 0.16 k_{i+1} \text{ یا } k_i < 0.17 \left(\frac{k_{i+1} + k_{i+2} + k_{i+3}}{3} \right) \Rightarrow \text{نامنظم در سختی (طبقه خیلی نرم)}$$





زلزله سرپل ذهاب

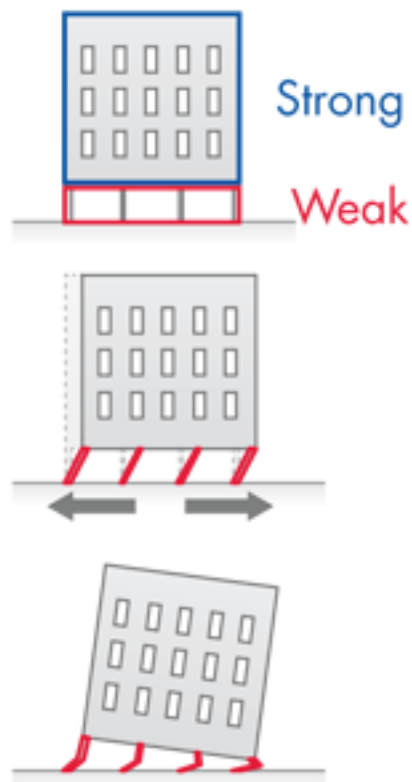


زلزله سرپل ذهاب



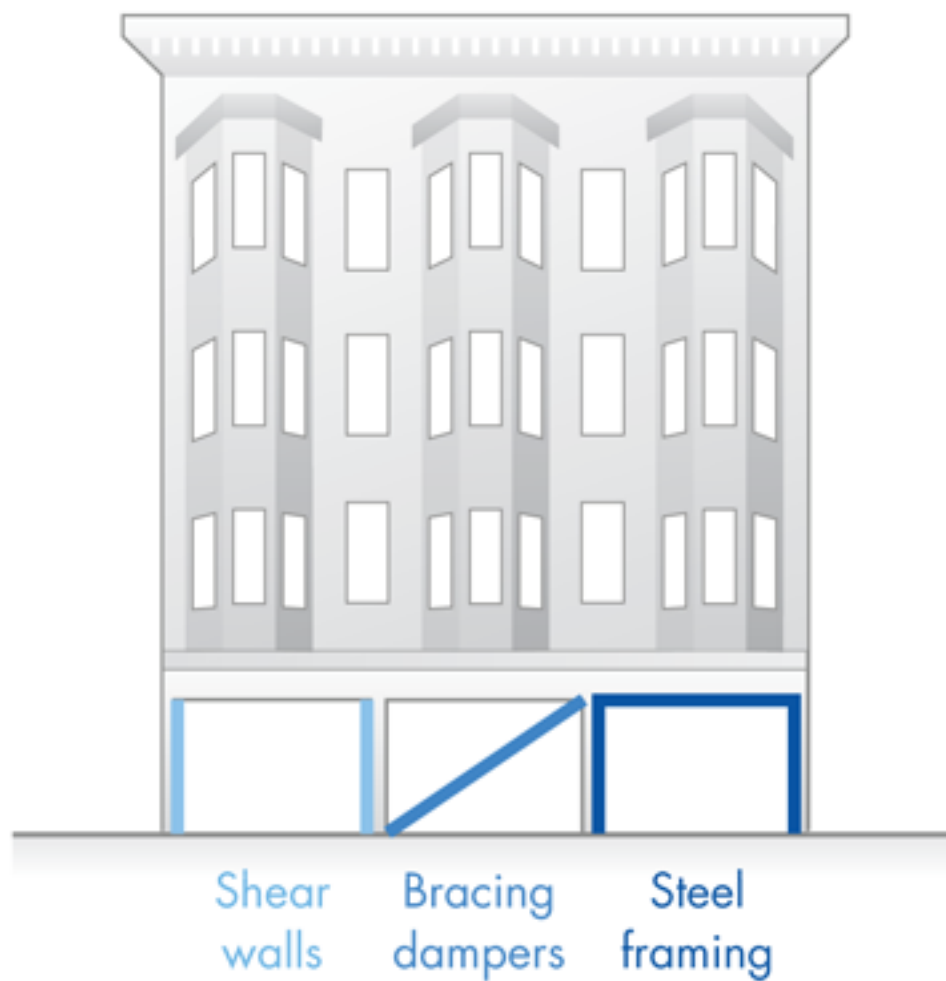


Soft-Story Building



A weak ground floor can collapse during an earthquake.

Soft-Story Retrofits



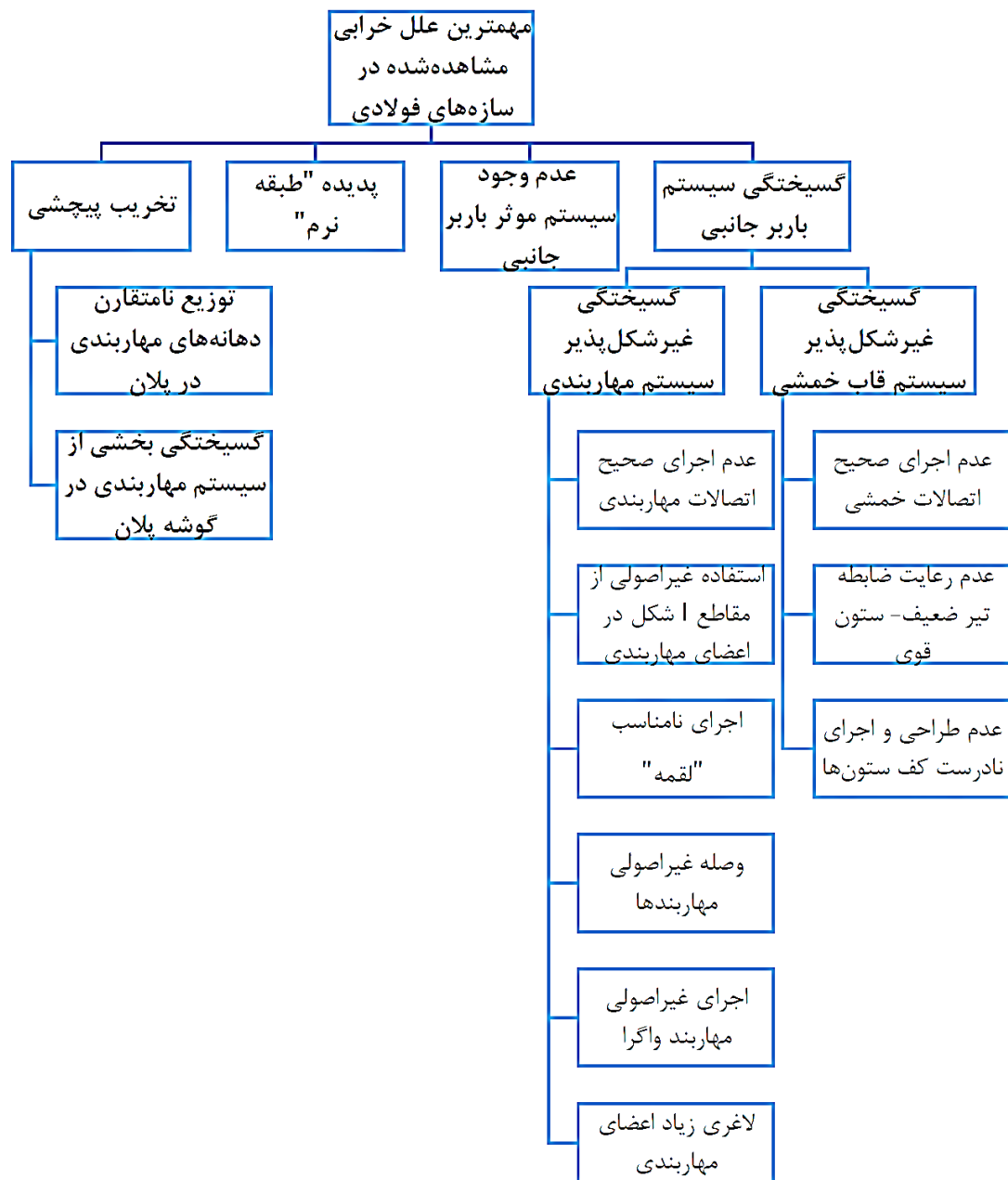


Video Courtesy of Simpson Strong-Tie





NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

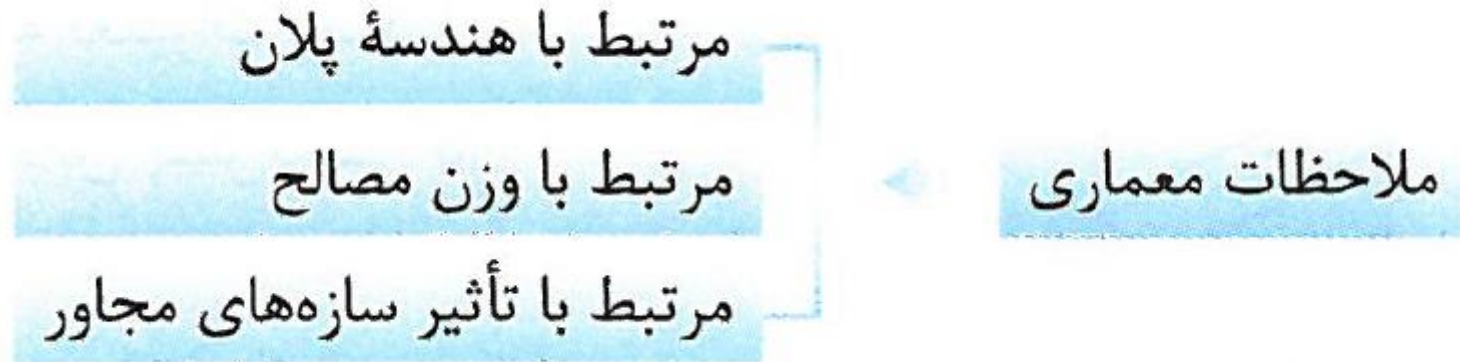


۱-۷-۳ محدودیت در احداث ساختمان‌های نامنظم

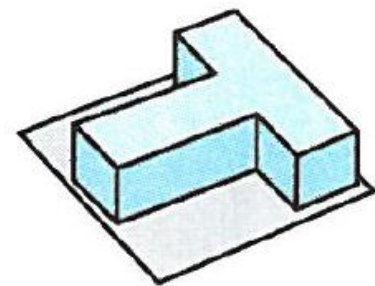
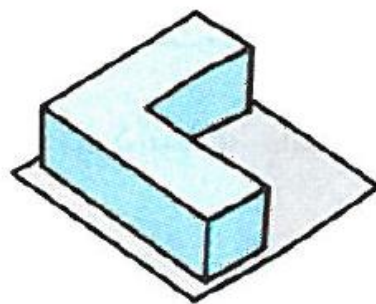
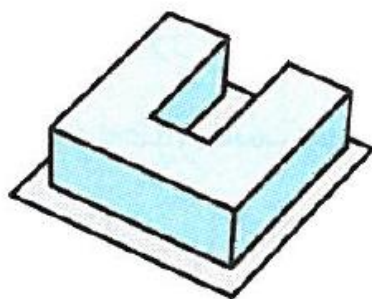
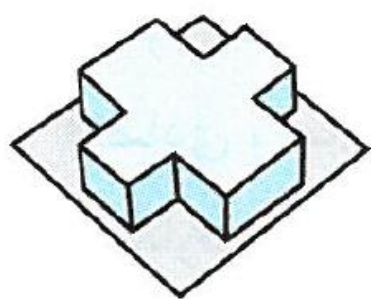
الف- احداث ساختمان‌های با نامنظمی "طبقه خیلی ضعیف" در مناطق با خطر نسبی متوسط و بالاتر مجاز نیست و در مناطق با خطر نسبی کم، ارتفاع آنها نمی‌تواند بیش از سه طبقه و یا ۱۰ متر باشد.

ب- احداث ساختمان‌های با نامنظمی از نوع "طبقه خیلی نرم" و "شدید پیچشی" در مناطق با خطر نسبی متوسط و بالاتر، تنها بر روی زمین‌های نوع I، II و III مجاز است.

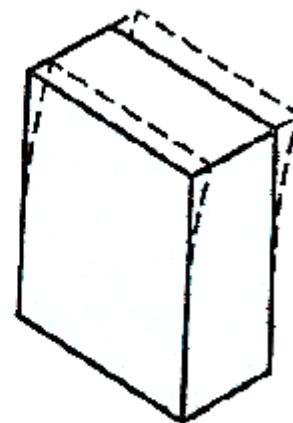
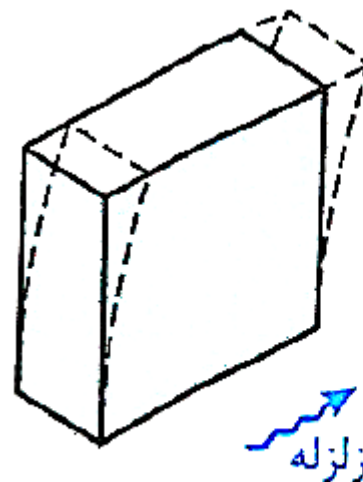
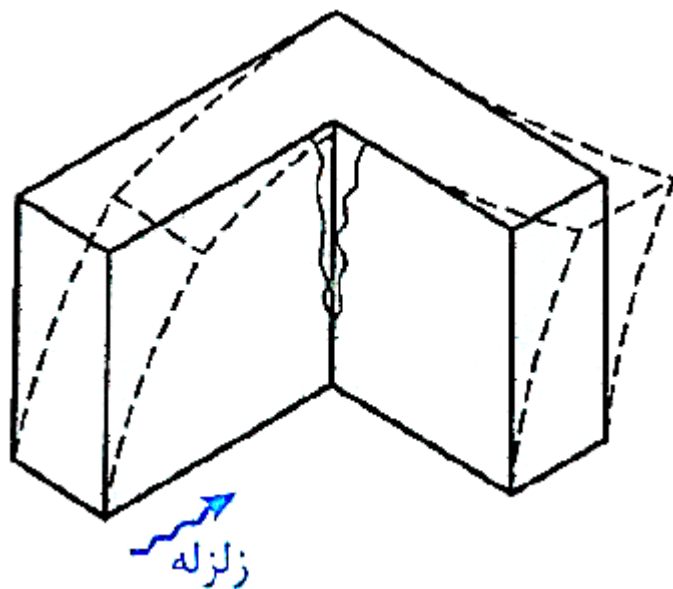
توصیه های کلی برای دست یابی به سازه های مقاوم لرزه ای

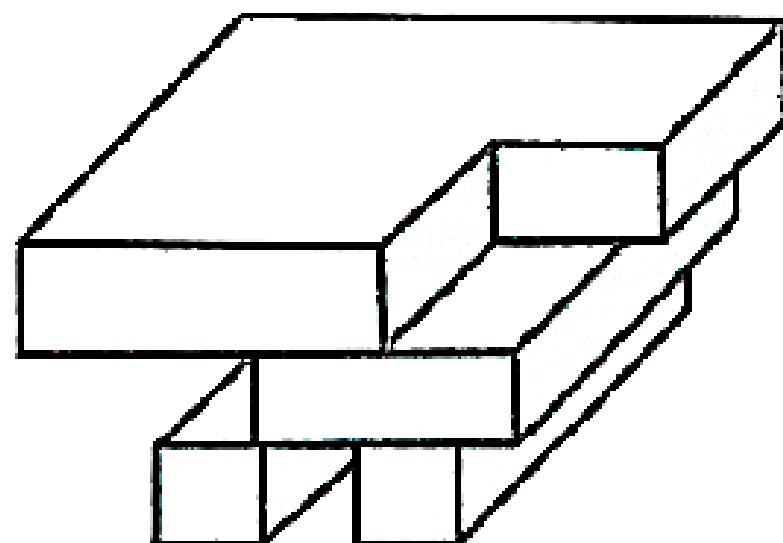
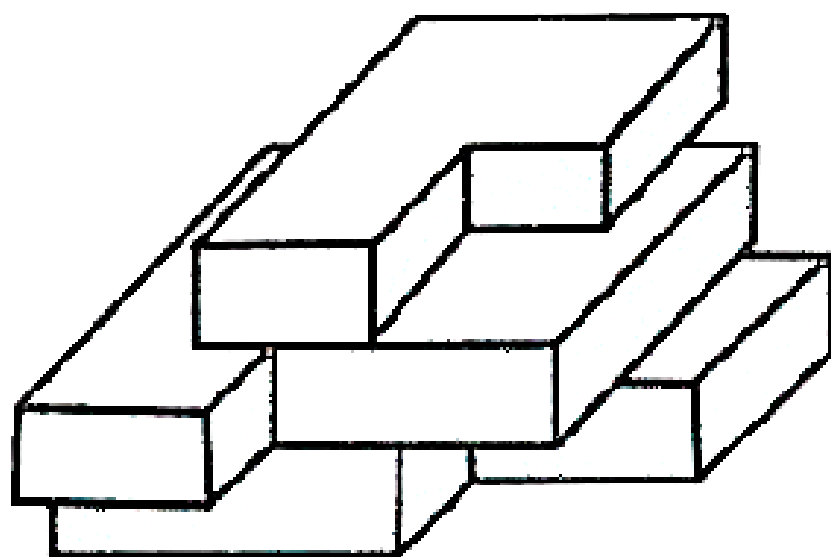


۱-۴-۲ پلان ساختمان باید تا حد امکان به شکل ساده و متقارن در دو امتداد عمود بر هم و بدون پیش آمدگی و پس رفتگی زیاد باشد و از ایجاد تغییرات نامتقارن پلان در ارتفاع ساختمان نیز حتی المقدور احتراز شود.

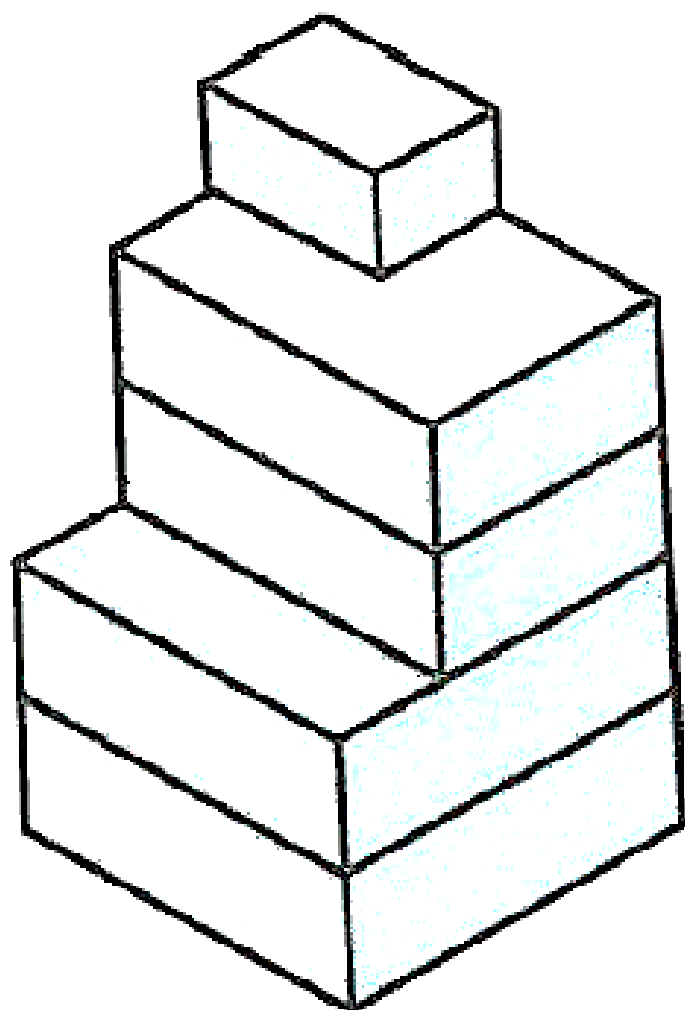


هر چه تقارن در پلان ساختمان بیشتر باشد، پیچش ایجاد شده در سازه می‌تواند بیشتر کاهش یافته و خسارت ناشی از آن کمتر شود. همچنین در این حالت اثرات نیروی زلزله به‌طور یکنواخت‌تری بین اعضای مقاوم سازه توزیع می‌شود.

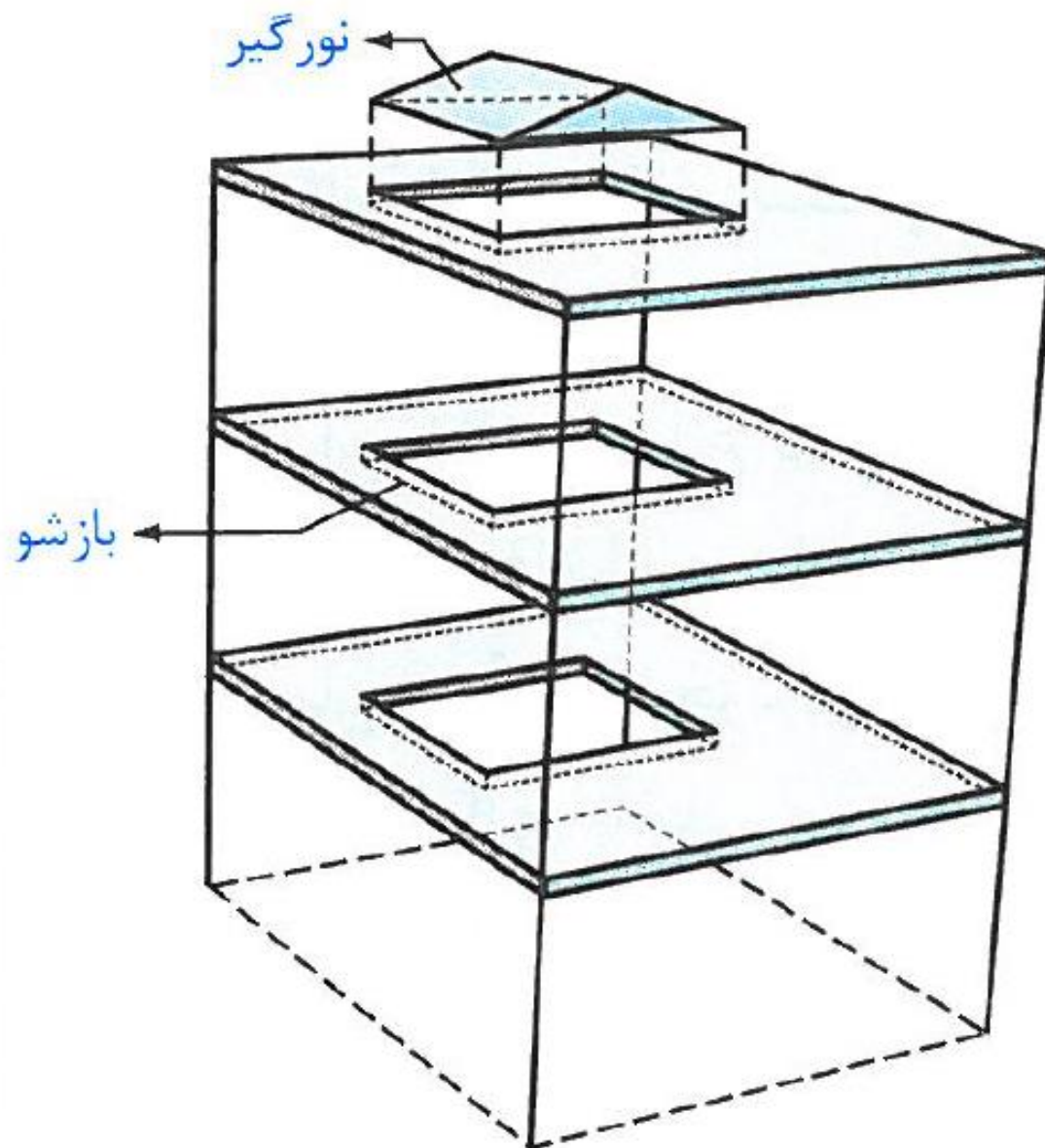




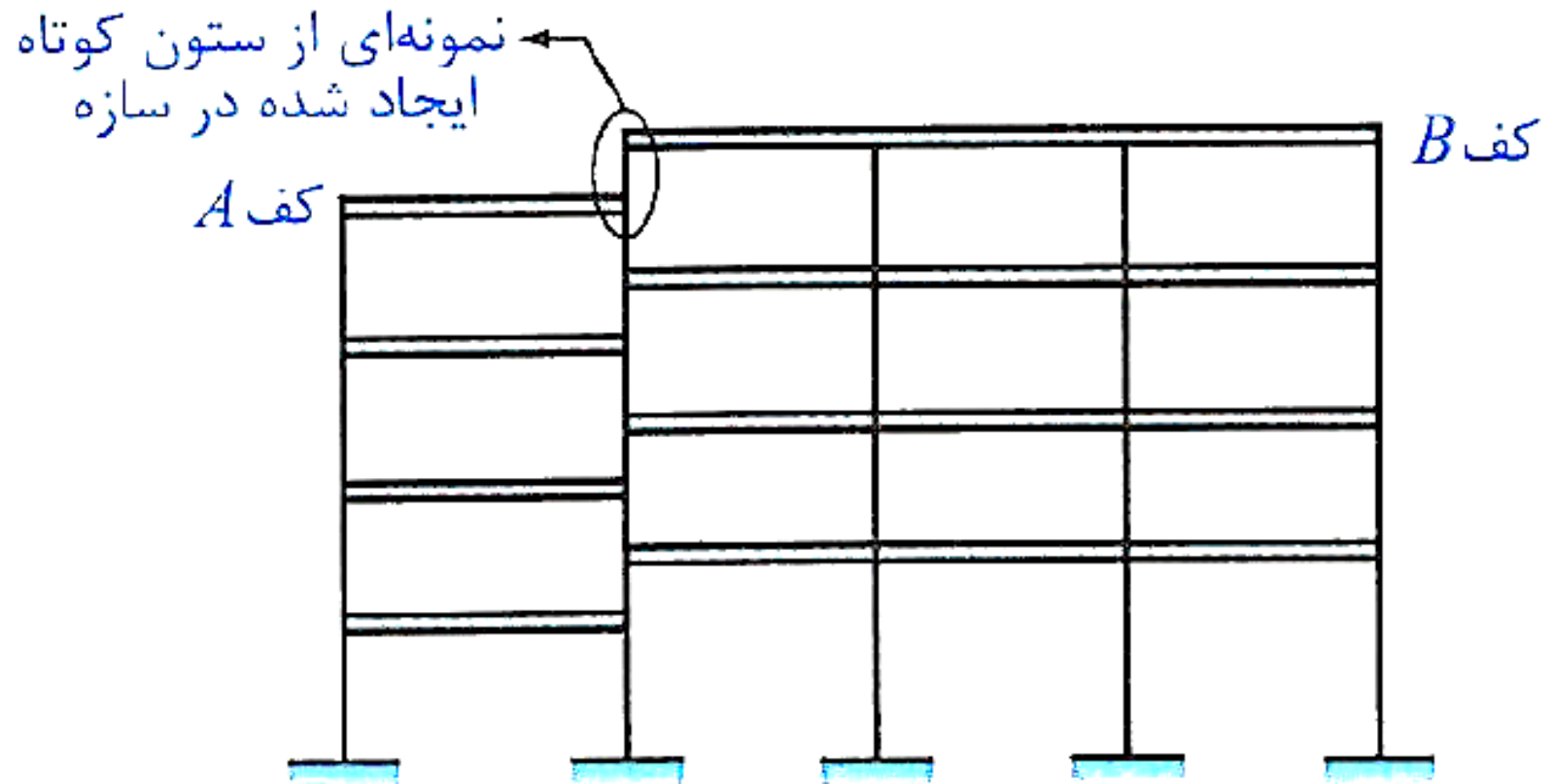
۱-۴-۸ از کاهش و افزایش مساحت زیربنای طبقات در ارتفاع، به‌طوری که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در جرم طبقات ایجاد شود، حتی المقدور پرهیز گردد.



۴-۴-۱ از ایجاد بازشوهای بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم‌های کف‌ها خودداری شود.



۷-۴-۱ از ایجاد اختلاف سطح در کفها تا حد امکان خودداری شود.



۱-۴-۳ از احداث طره‌های بزرگ‌تر از ۱/۵ متر حتی‌المقدور احتراز شود.



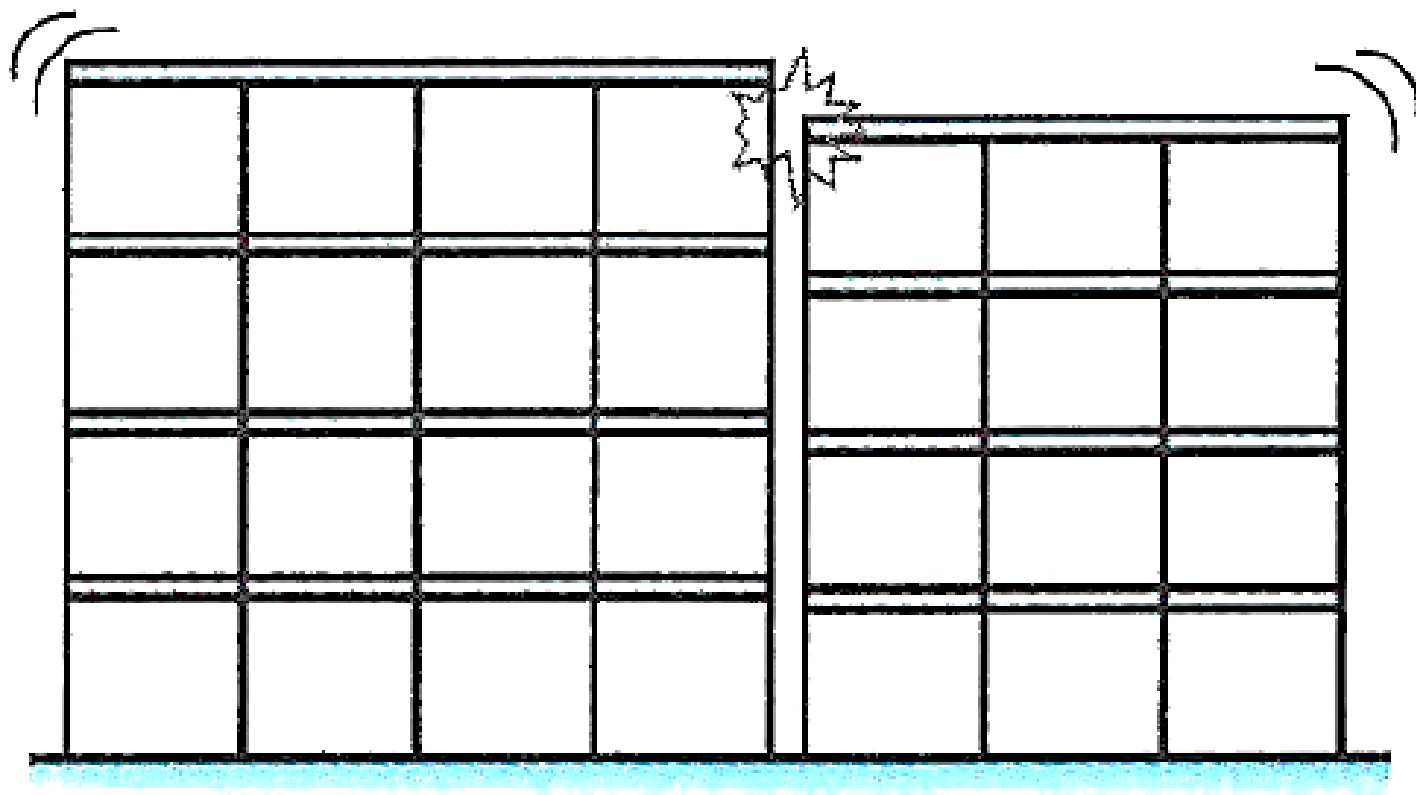
۱-۴-۵ از قرار دادن اجزای ساختمانی، تأسیساتی و یا کالاهای سنگین بر روی طره‌ها و عناصر لاغر و دهانه‌های بزرگ حتی‌المقدور پرهیز گردد.

۱-۴-۶ با به‌کارگیری مصالح غیرسازه‌ای سبک برای مواردی از قبیل کف‌سازی، سقف کاذب، تیغه‌بندی، نما و... وزن ساختمان به حداقل رسانده شود.

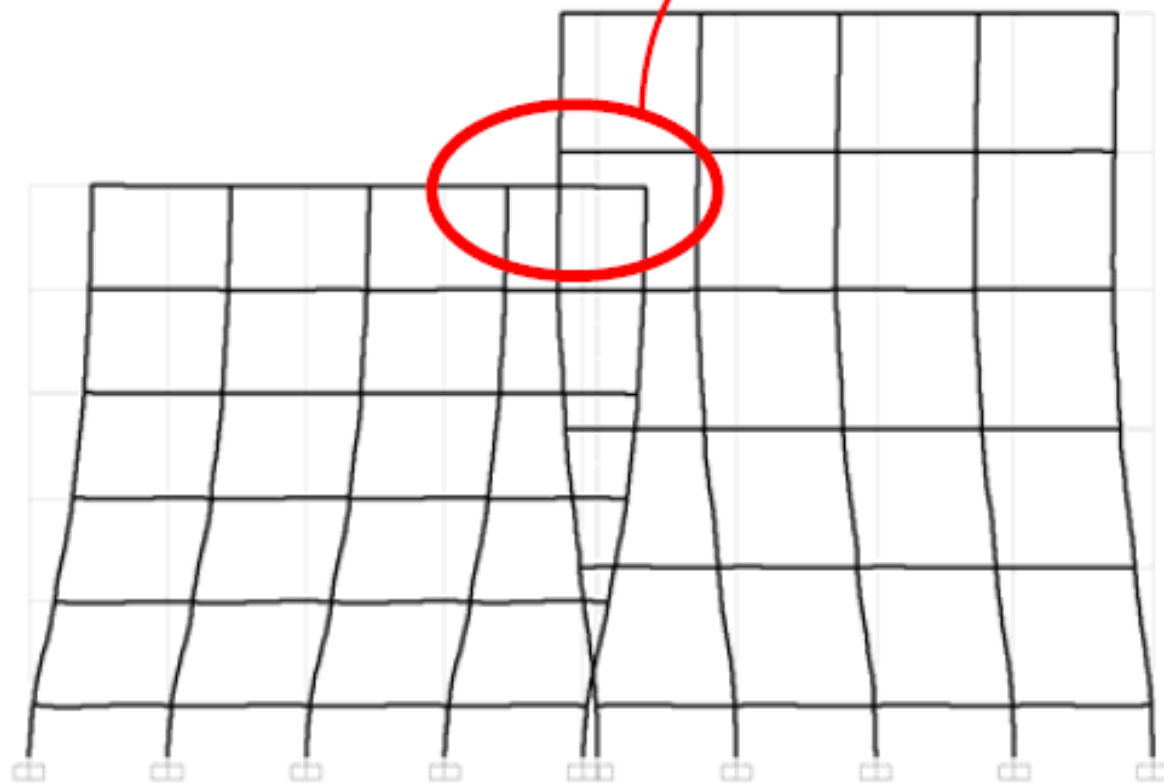
۱-۴-۱ برای حذف و یا کاهش خسارت و خرابی ناشی از ضربه ساختمان‌های مجاور به یکدیگر، ساختمان‌ها باید با پیش‌بینی درز انقطاع از یکدیگر جدا شده و یا با فاصله‌ای حداقل از مرز مشترک با زمین‌های مجاور ساخته شوند. برای تأمین این منظور، در ساختمان‌های با هشت طبقه و کمتر، فاصله هر طبقه از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه باشد. در ساختمان‌های با بیشتر از هشت طبقه و یا ساختمان‌های با اهمیت "خیلی زیاد" و "زیاد" با هر تعداد طبقه، عرض درز انقطاع باید با استفاده از ضابطه بند (۳-۵-۶) تعیین شود.

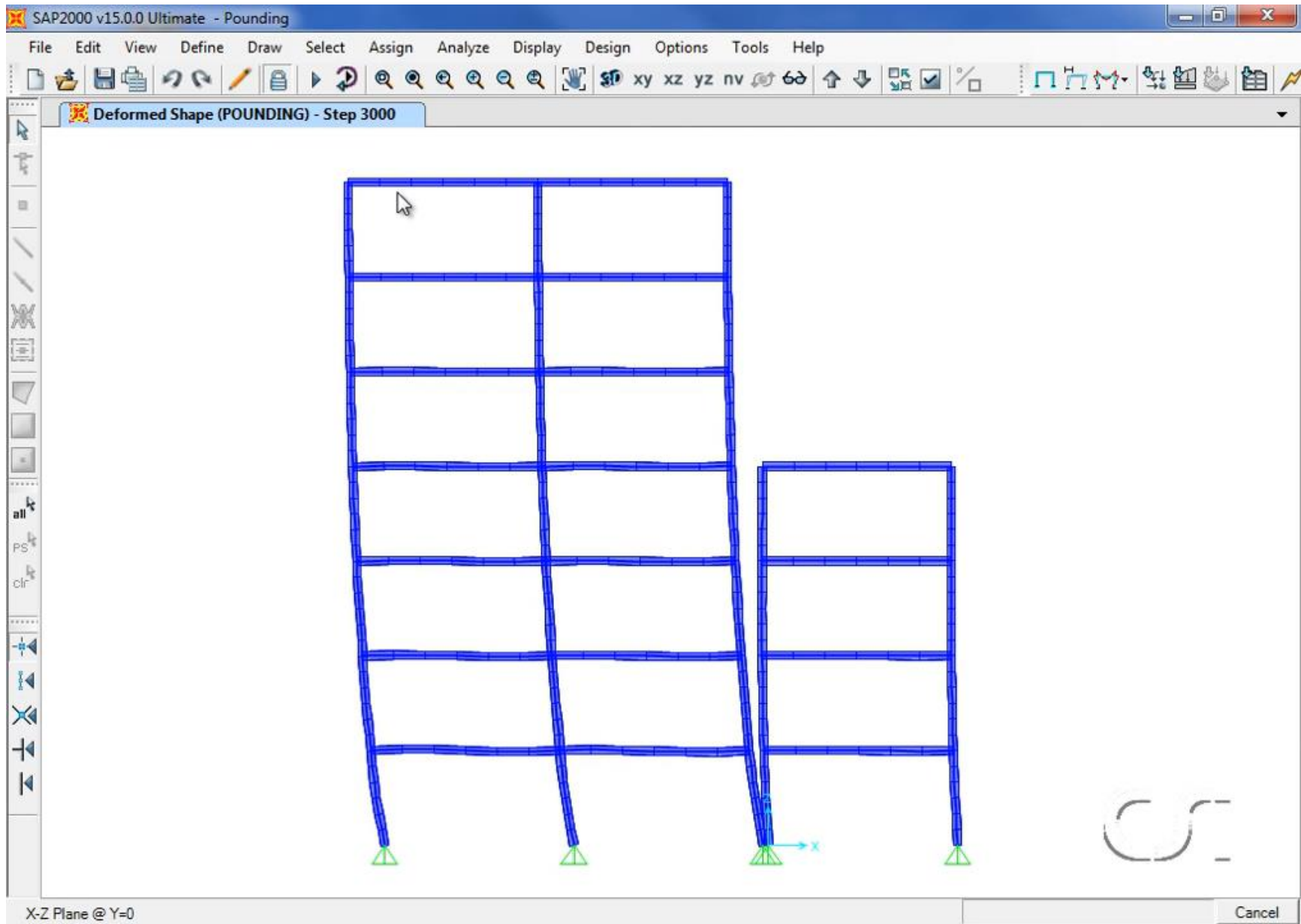
فاصله درز انقطاع را می‌توان با مصالح کم‌مقاومت، که در هنگام وقوع زلزله بر اثر برخورد دو ساختمان به آسانی خرد می‌شوند، به نحو مناسبی پر نمود به‌طوری که پس از زلزله به سادگی قابل جایگزین کردن و بهسازی باشد.

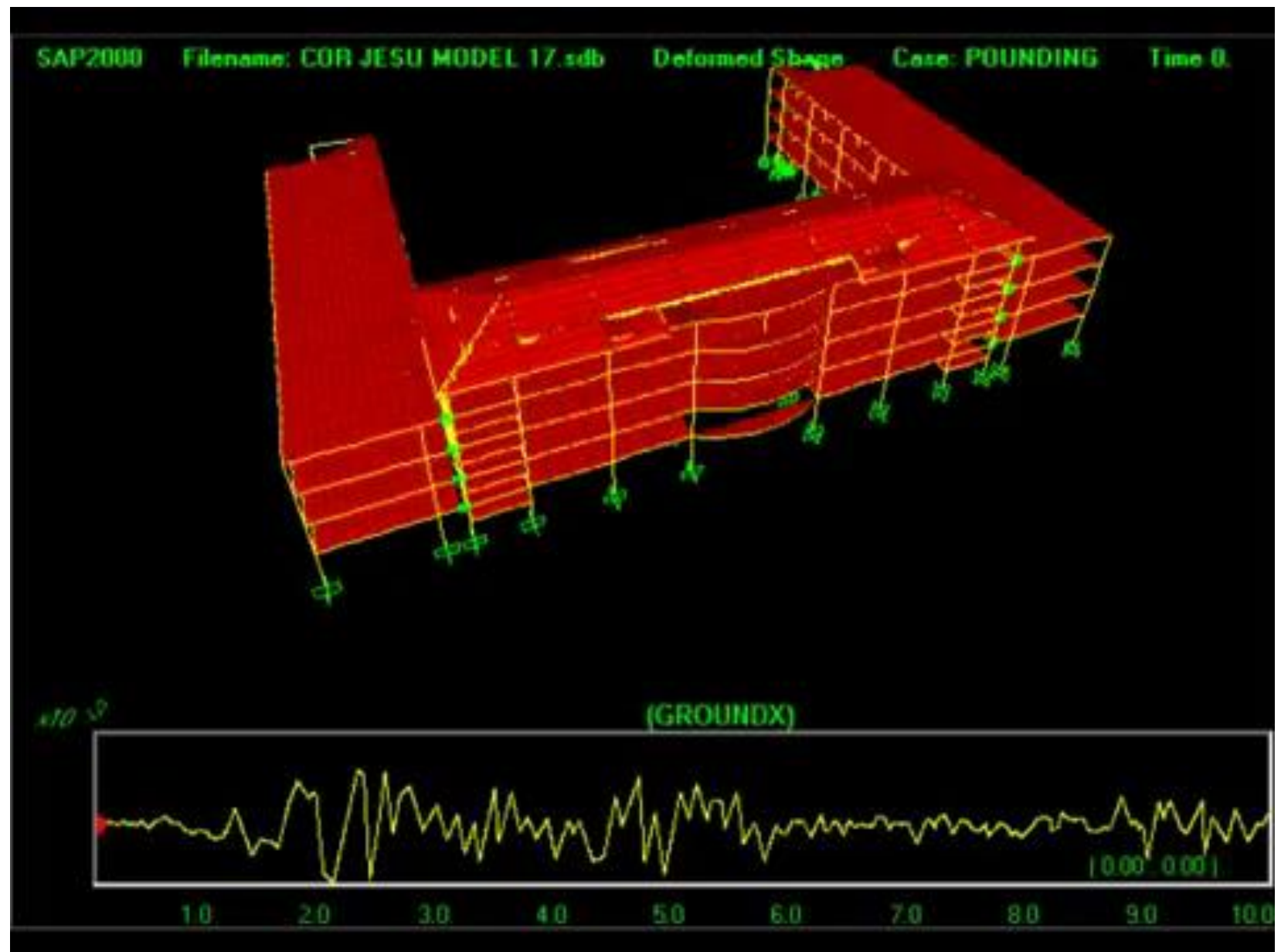
۳-۵-۶ در ساختمان‌های با اهمیت "خیلی زیاد" و "زیاد" با هر تعداد طبقه و یا در ساختمان‌های بیشتر از هشت طبقه، عرض درز انقطاع بین ساختمان و ساختمان مجاور باید با استفاده از تغییر مکان جانبی غیرخطی طرح در طبقه (با در نظر گرفتن اثر $P - \Delta$) تعیین شود. برای این منظور پس از محاسبه این تغییر مکان برای هر دو ساختمان می‌توان از جذر مجموع مربعات دو عدد برای تعیین درز انقطاع استفاده نمود. در صورتی که مشخصات ساختمان مجاور در دسترس نباشد، حداقل فاصله هر طبقه ساختمان از زمین مجاور باید برابر ۷۰٪ مقدار تغییر مکان جانبی غیرخطی طرح در آن طبقه ساختمان در نظر گرفته شود.



*Pounding with floor of one building
hitting column of adjacent building*







ملاحظات سازه‌ای اولیه

ملاحظات سازه‌ای

ملاحظات سازه‌ای مرتبط با نحوه انتقال بارها

ملاحظات سازه‌ای مرتبط با سختی و مقاومت

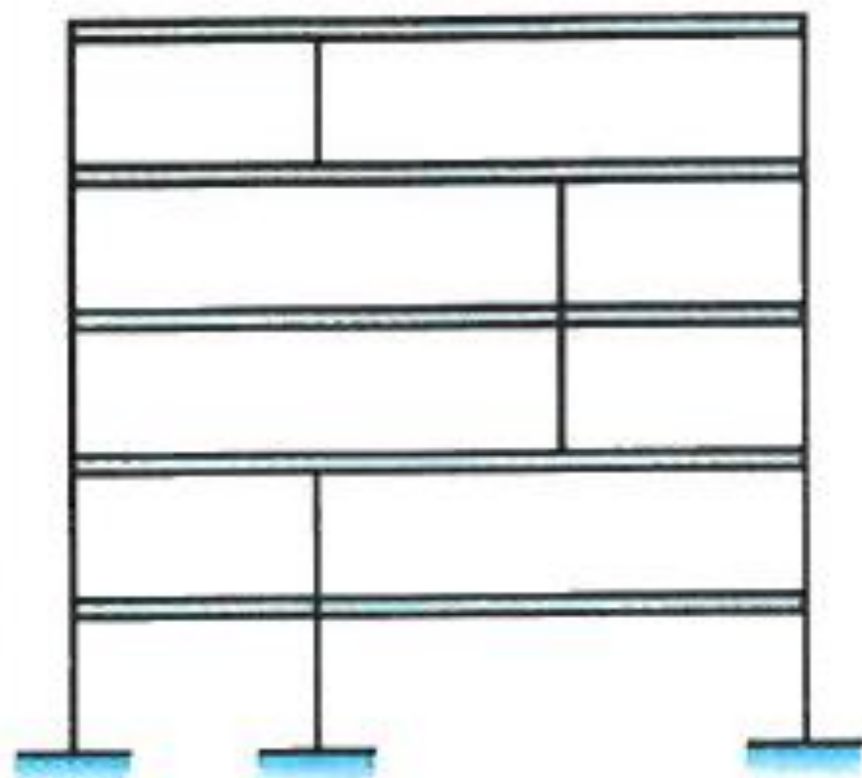
۱-۵-۱ کلیه عناصر باربر ساختمان باید به نحو مناسبی به هم پیوسته باشند تا در زمان زلزله عناصر مختلف از یکدیگر جدا نشده و ساختمان به‌طور یکپارچه عمل کند. در این مورد کف‌ها باید به عناصر قائم باربر، قاب‌ها و یا دیوارها، به نحو مناسبی متصل باشند، به‌طوری‌که بتوانند به‌صورت یک دیافراگم عمل نموده و نیروهای زلزله را به عناصر باربر جانبی منتقل نمایند.

۱-۵-۶ ساختمان‌ها و اجزای آنها به نحوی طراحی گردند که شکل‌پذیری و مقاومت مناسب در آنها تأمین شده باشد.

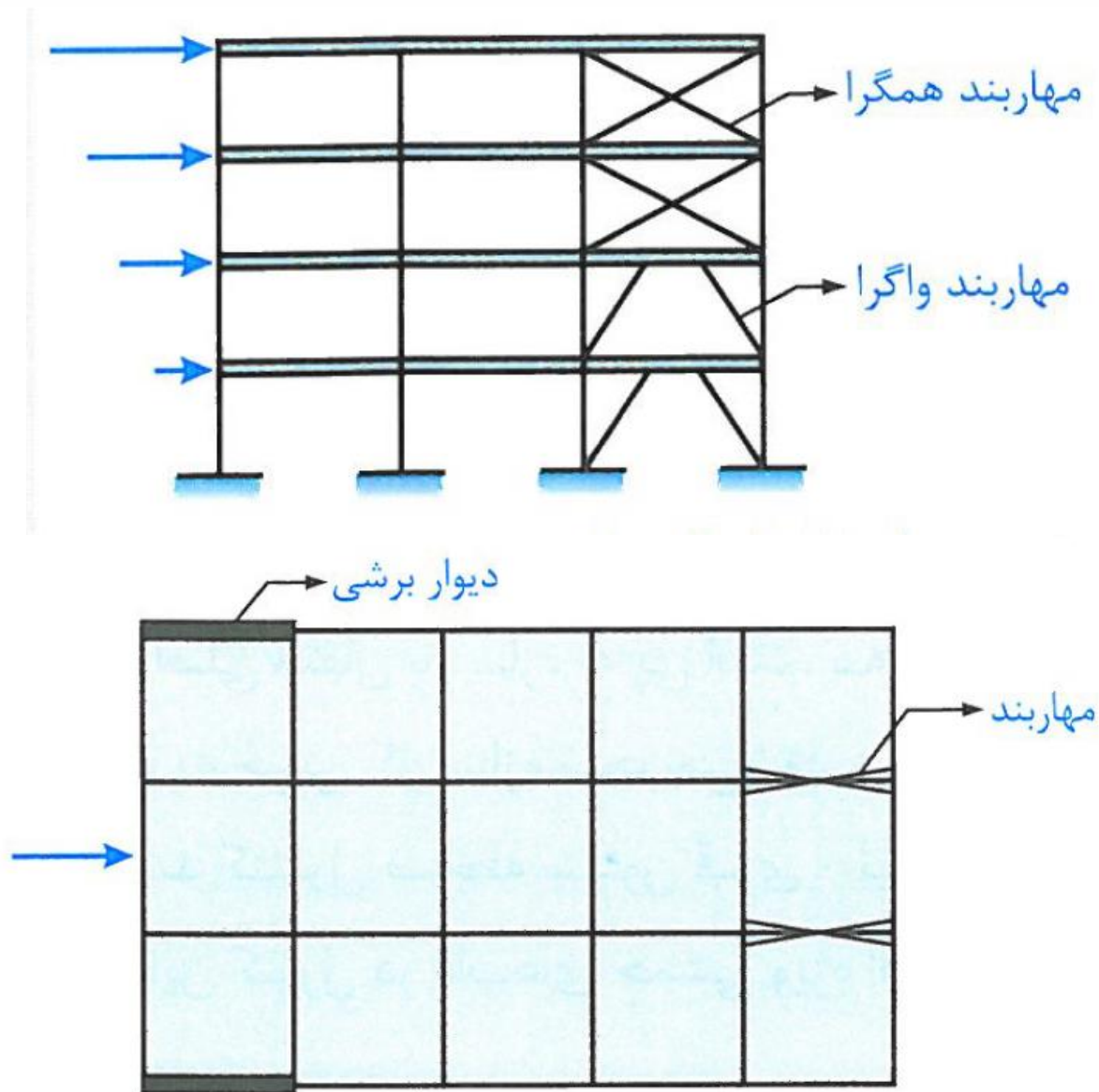
۱-۵-۲ ساختمان باید حداقل در هر دو امتداد افقی عمود بر هم و قائم قادر به تحمل نیروهای زلزله باشد و در هر یک از این امتدادها انتقال نیروها به شالوده به‌طور مناسب صورت گیرد.

۱-۵-۵ عناصر مقاوم در برابر نیروهای افقی زلزله به‌صورتی در نظر گرفته شوند که پیچش ناشی از این نیروها در طبقات به حداقل برسد. برای این منظور مناسب است فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در هر طبقه در هر امتداد، کمتر از ۵ درصد بُعد ساختمان در آن امتداد باشد.

۱-۵-۳ عناصری که در طبقات مختلف بارهای قائم را تحمل می‌نمایند، تا حد امکان بر روی هم قرار داده شوند تا انتقال بار این عناصر به یکدیگر با واسطه عناصر افقی صورت نگیرد.



۱-۵-۱۰ از به کارگیری سیستم‌های مختلف سازه‌ای در امتدادهای مختلف در پلان و در ارتفاع حتی المقدور خودداری شود.



۴-۵-۱ عناصری که نیروهای افقی زلزله را تحمل می کنند تا حد امکان به صورتی در نظر گرفته شوند، که انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم انجام شود و عناصری که باهم کار می کنند در یک صفحه قائم قرار داشته باشند.

۷-۵-۱ در ساختمان هایی که در آنها از سیستم قاب خمشی برای مقابله با بار جانبی زلزله استفاده می شود، طراحی به نحوی صورت گیرد که تا حد امکان ستون ها دیرتر از تیرها دچار خرابی شوند.



تیرهای ضعیف یا متوسط - ستون های قوی (مناسب)



تیرهای قوی - ستون های ضعیف (نامناسب)

خرابی‌هایی که در هنگام وقوع زلزله در یک سازه می‌تواند رخ دهد را در یک نگاه کلی می‌توان به دو دسته زیر تقسیم‌بندی کرد:

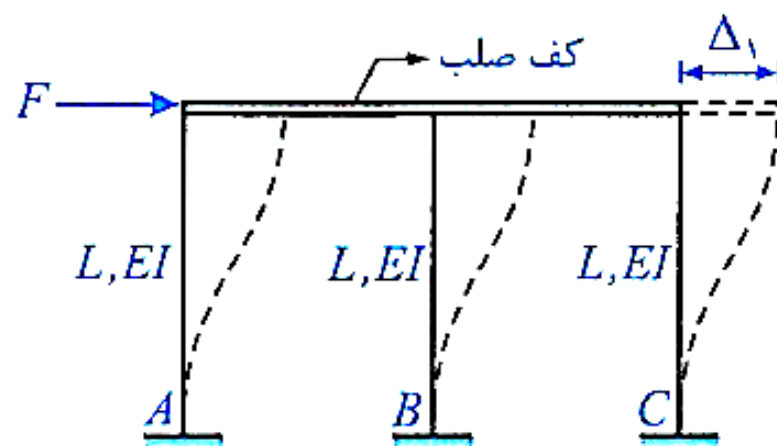
۱- **خرابی‌های موضعی:** این نوع از خرابی‌ها در صورتی که در قسمتی از سازه ایجاد شود، باعث خرابی کلی سازه نشده و تأثیر خود را تنها در قسمت محدودی از سازه نشان می‌دهند.

۲- **خرابی‌های پیش رونده:** این نوع از خرابی‌ها در صورتی که در قسمتی از سازه رخ دهند، معمولاً با سرعت زیادی در سازه توسعه پیدا کرده و در نهایت باعث خرابی کلی سازه می‌شوند.

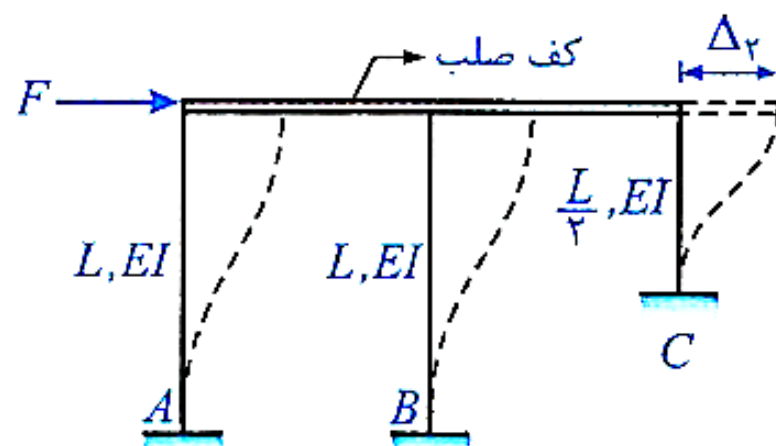
در قاعدهٔ ستون قوی - تیر ضعیف، عملاً به دنبال آن هستیم که خرابی‌های سازه در هنگام زلزله عمدتاً در تیرها ایجاد شود، زیرا ستون رکن اصلی سازه محسوب شده و عامل اصلی انتقال بار سازه به پی است، به همین دلیل خرابی ستون یک خرابی پیش رونده محسوب شده و در نهایت به خرابی کل سازه منجر می‌شود.

تذکره: مطابق مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان، هرچند کنترل ضابطهٔ ستون قوی - تیر ضعیف در قاب‌های خمشی متوسط به صورت یک توصیه است، ولی انجام این کنترل در قاب‌های خمشی ویژه الزامی می‌باشد.

۱-۵-۹ از ایجاد ستون‌های کوتاه، بخصوص در نورگیرهای زیرزمین‌ها، حتی‌الامکان خودداری شود.



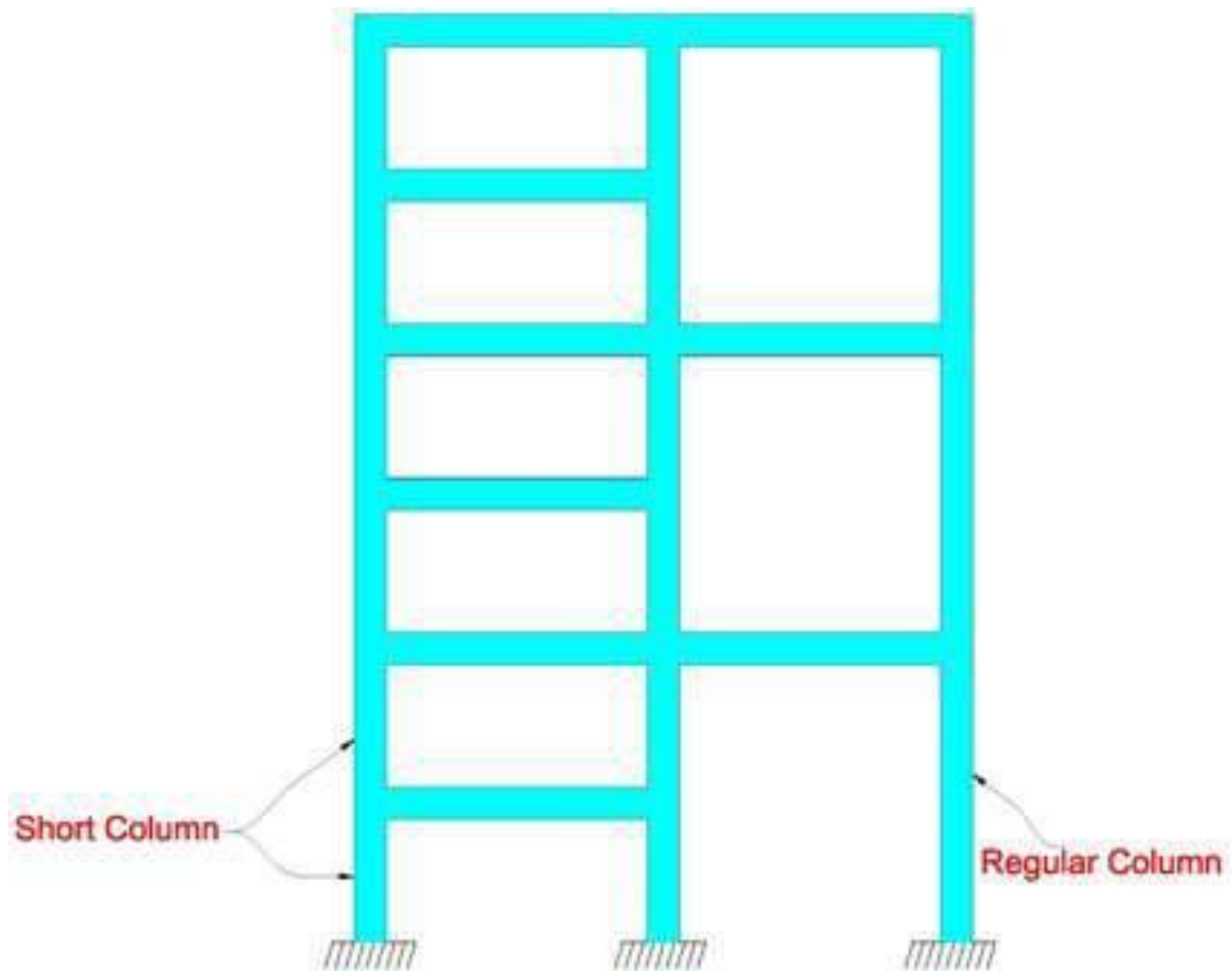
سازه (۱)



سازه (۲)

$$(۱) \text{ سازه } : \begin{cases} k_A = k_B = k_C = \frac{۱۲EI}{L^۳} = k \\ F_C = \frac{k_C}{k_A + k_B + k_C} F = \frac{k}{۳k} F = \frac{F}{۳} \end{cases}$$

$$(۲) \text{ سازه } : \begin{cases} k_A = k_B = \frac{۱۲EI}{L^۳} = k \quad ; \quad k_C = \frac{۱۲EI}{(\frac{L}{۲})^۳} = ۸k \\ F_C = \frac{k_C}{k_A + k_B + k_C} F = \frac{۸k}{۱۰k} F = \frac{۸}{۱۰} F \quad , \quad F_A = F_B = \frac{۱}{۱۰} F \end{cases}$$





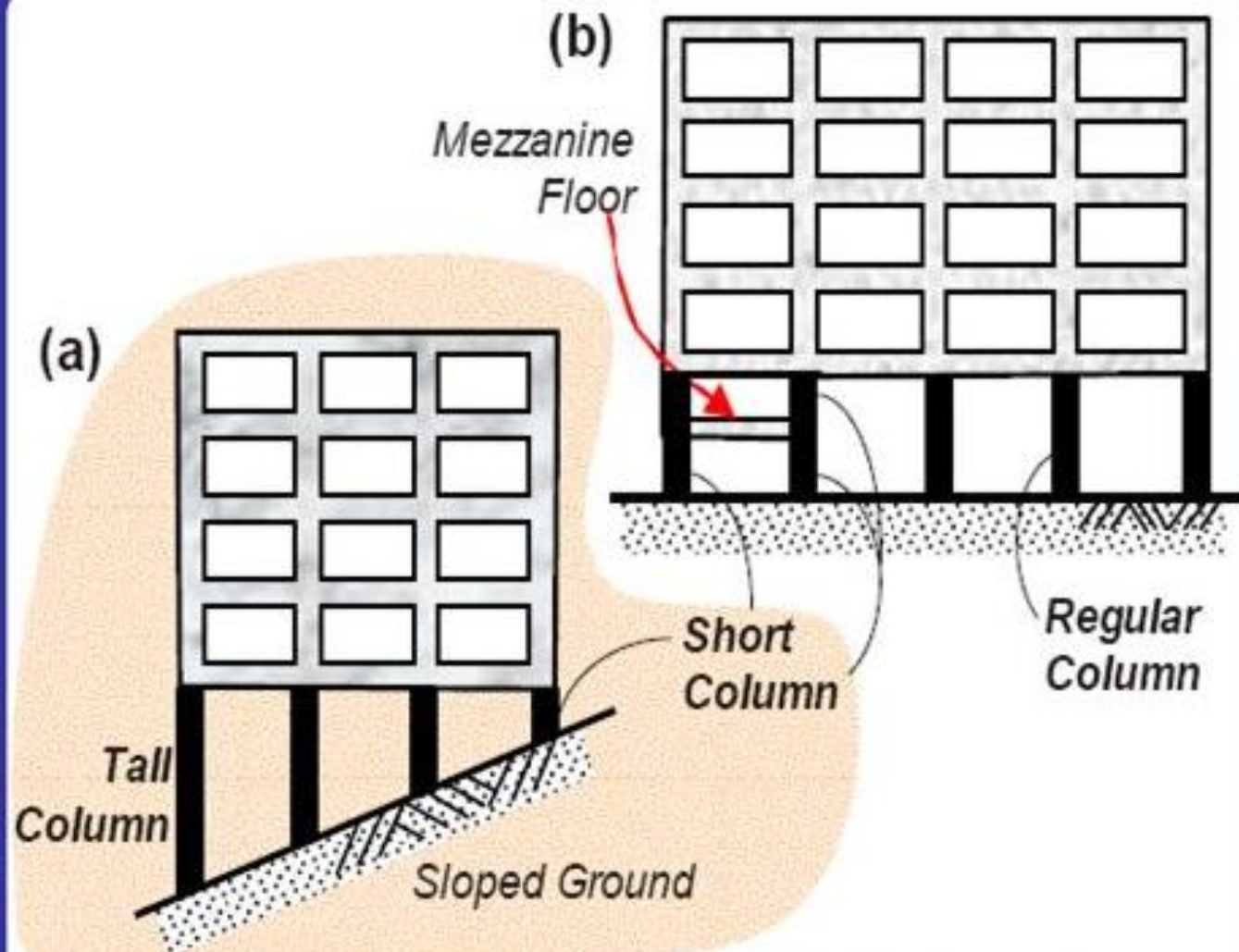


Figure 1: Buildings with short columns – two explicit examples of common occurrences.

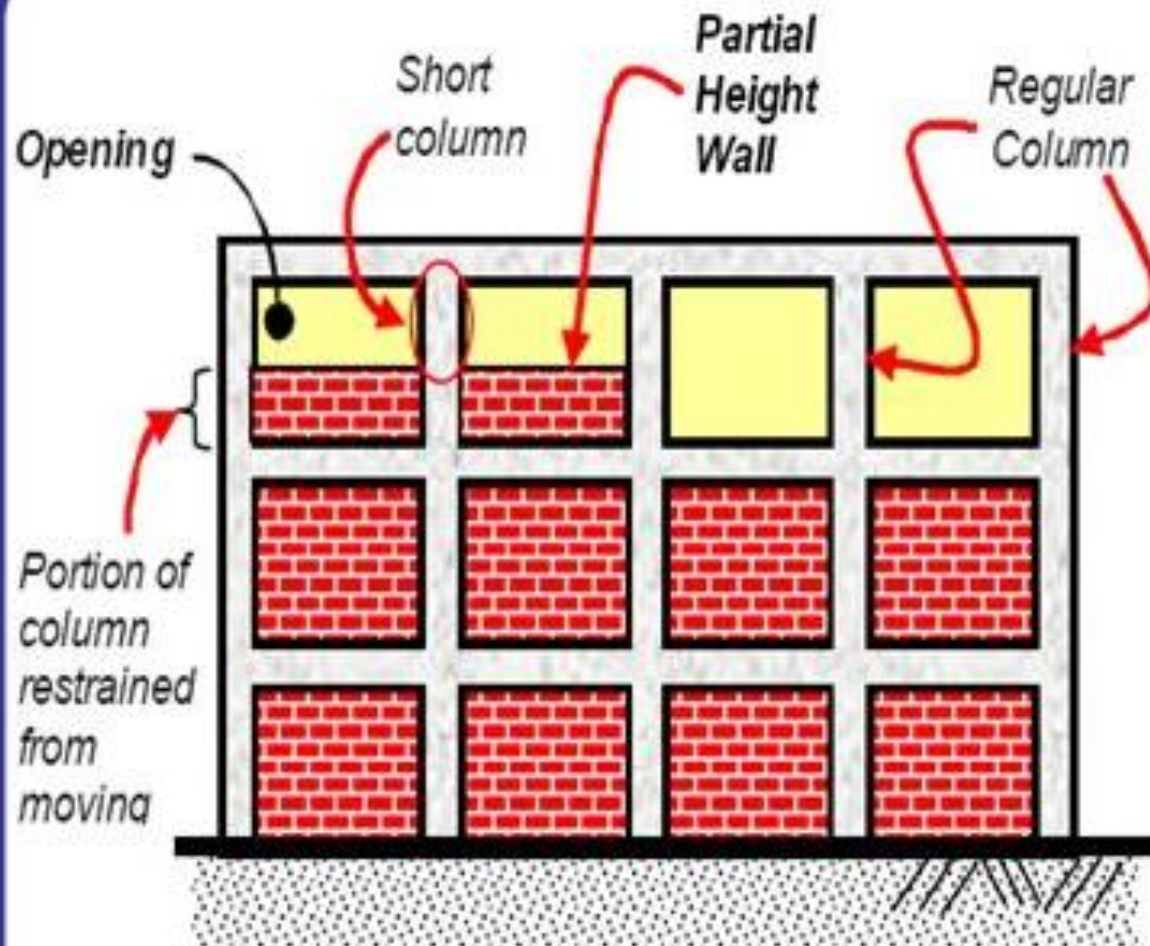


Figure 3: Short columns effect in RC buildings when partial height walls adjoin columns – *the effect is implicit here because infill walls are often treated as non-structural elements.*

۱-۵-۸ اجزای غیر سازه‌ای مانند دیوارهای داخلی و نماها طوری اجرا شوند که تا حد امکان مانعی برای حرکت اعضای سازه‌ای در زمان زلزله ایجاد نکنند. در غیر این صورت، اثر اندرکنش این اجزاء با سیستم سازه باید در تحلیل سازه در نظر گرفته شود.



رابطه برش پایه ✓

زمان تناوب ✓

شتاب مبنای طرح ✓

ضریب بازتاب ✓

ضریب رفتار ✓

شتاب سازه $\times$ جرم سازه $= V$: نیروی زلزله وارد بر سازه

$$F_{\text{net external}} = ma$$

Net force on object = mass of object $\times$ acceleration

Base Shear Summary

$$V = C_s W$$

From Design Spectrum

W = Building Seismic Weight

$$\text{Max}[0.044S_{DS}I, 0.01] \text{ or } 0.5S_1/(R/I) < S_{DS}/(R/I) < S_{D1}/(T(R/I)) \text{ or } T_L S_{D1}/(T^2(R/I))$$

From map

R from Table 12.2-1 based
on the Basic Seismic-Force-
Resisting System

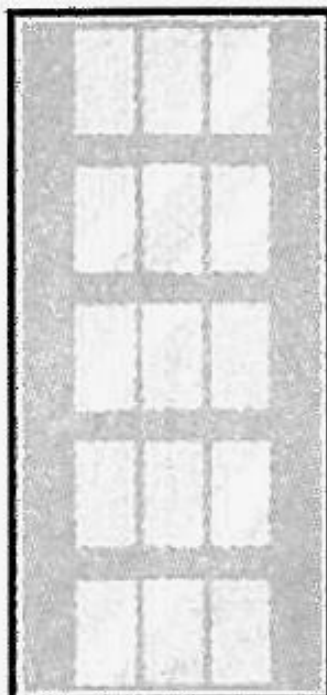
I from Table 11.5-1 based on
Occupancy Category

Numerical Analysis or T_a
 $= C_T h_n^x$ or $T_a = 0.1N$

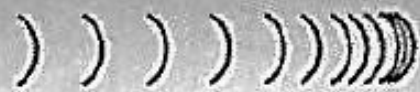
$C_T = 0.028, 0.016, 0.030,$ or
 0.020

h_n = building height
N = number of storys

نوسان سازه



امواج رسیده به سطح خاک



امواج زلزله در سنگ بستر

(لایه‌های خاک) (سنگ بستر)

$$a_g = A \times g$$

$$V = m \boxed{a'_g} \Rightarrow V = AB (mg)$$


 $= Ba_g = B \times (Ag)$



$$\mathbf{V = ABW}$$

۳-۳-۴ ضریب اهمیت ساختمان، ۱

ضریب اهمیت ساختمان با توجه به گروه طبقه‌بندی آنها، در بند (۱-۶)، مطابق جدول (۳-۳) تعیین می‌گردد:

جدول ۳-۳ ضریب اهمیت ساختمان

ضریب اهمیت	طبقه‌بندی ساختمان
۱/۴	گروه ۱
۱/۲	گروه ۲
۱/۰	گروه ۳
۰/۸	گروه ۴

۱-۶ گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب اهمیت

ساختمان‌ها بر حسب نوع کاربری و میزان آسیب‌رسانی ناشی از خرابی آنها به چهار گروه اهمیت تقسیم می‌شوند:

گروه ۱- ساختمان‌های «با اهمیت خیلی زیاد»

این گروه شامل دو دسته زیر است:

الف- ساختمان‌های ضروری:

این گروه شامل ساختمان‌هایی است که قابل استفاده بودن آنها پس از وقوع زلزله اهمیت خاص دارد و وقفه در بهره‌برداری از آنها غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود؛ مانند بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز و تأسیسات آبرسانی، ساختمان‌های نیروگاه‌ها و تأسیسات برق‌رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تأسیسات نظامی و انتظامی، مراکز کمک‌رسانی و به‌طور کلی تمام ساختمان‌هایی که استفاده از آنها در نجات و امداد مؤثر می‌باشد.

ب-ساختمان‌های خطرزا:

این گروه شامل ساختمان‌ها و تأسیساتی است که خرابی آنها موجب انتشار گسترده مواد سمی و مضر در کوتاه‌مدت و درازمدت برای محیط زیست می‌شوند، مانند کارخانه‌های تولیدکننده مواد شیمیایی خاص.

گروه ۲- ساختمان‌های «با اهمیت زیاد»

این گروه شامل سه دسته زیر است:

الف- ساختمان‌هایی که خرابی آنها موجب تلفات زیاد می‌شود، مانند مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن‌های اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری و یا هر فضای سرپوشیده دیگری که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.

ب- ساختمان‌هایی که خرابی آنها سبب از دست رفتن ثروت ملی می‌گردد، مانند موزه‌ها، کتابخانه‌ها، و به‌طور کلی مراکزی که در آنها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پر ارزش دیگری نگهداری می‌شود.

پ- ساختمان‌ها و تأسیسات صنعتی که خرابی آنها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود مانند پالایشگاه‌ها، انبارهای سوخت و مراکز گازرسانی.

گروه ۳- ساختمان‌های «با اهمیت متوسط»

این گروه ساختمان‌ها شامل کلیه ساختمان‌های مشمول این آیین‌نامه، بجز ساختمان‌های عنوان شده در سه گروه دیگر می‌باشند، مانند ساختمان‌های مسکونی و اداری و تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های چندطبقه، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های صنعتی

گروه ۴- ساختمان‌های «با اهمیت کم»

این گروه شامل دو دسته زیر است:

الف- ساختمان‌هایی که خسارت نسبتاً کمی از خرابی آنها حادث می‌شود و احتمال بروز تلفات جانی انسانی در آنها بسیار کم است، مانند انبارهای کشاورزی و سالن‌های نگهداری دام.

ب- ساختمان‌های موقتی که مدت بهره‌برداری از آنها کمتر از ۲ سال است.

$$V = A * B * W * I$$

$$V = \frac{A * B * I}{R} * W$$

در نظر گرفتن
ضریب رفتار

Earthquake Load UBC 97

Design base shear. The total design base shear in a given direction shall be determined from the following formula:

$$V = (C_v I/R T) * W \quad (30-4)$$

The total design base shear need not exceed the following:

$$V = (2.5 C_a I/R) * W \quad (30-5)$$

The total design base shear shall not be less than the following:

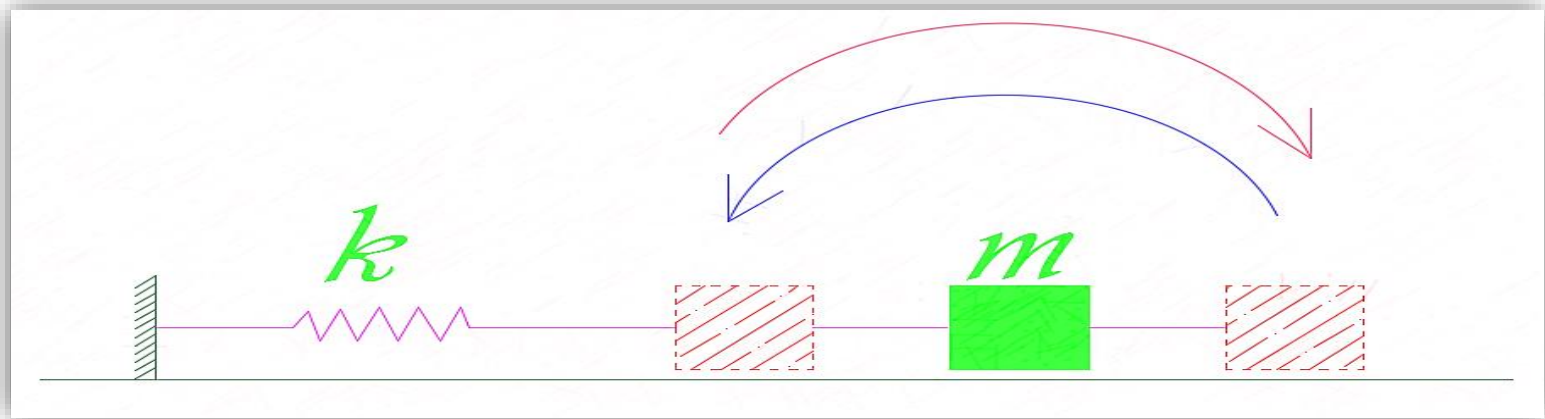
$$V = (0.11 C_a I) W \quad (30-6)$$

In addition, for Seismic Zone 4, the total base shear shall also

not be less than the following:

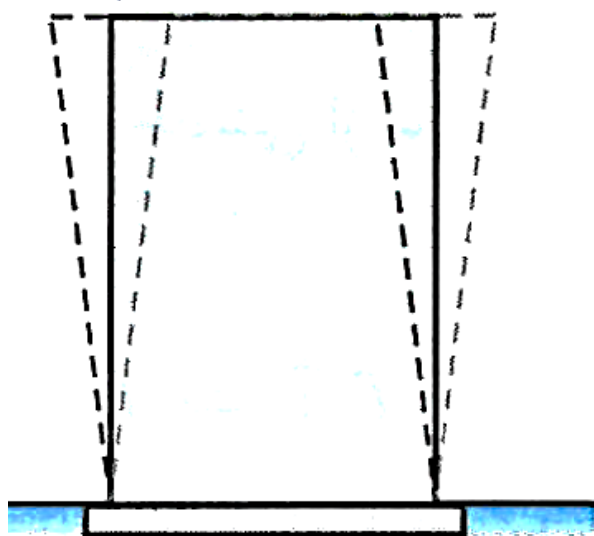
$$V = (0.8 Z N_v I/R) * W \quad (30-7)$$

مفهوم اولیه زمان تناوب



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

حرکت رفت و برگشتی سازه



$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad , \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

فرکانس زاویه‌ای : ω فرکانس : f

۳-۳-۱-۲ تراز پایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به ترازى در ساختمان اطلاق می‌شود که در هنگام زلزله از آن تراز به پایین اختلاف حرکتی بین ساختمان و زمین وجود نداشته باشند. تراز پایه برای طراحی ساختمان‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- برای ساختمان‌های بدون زیرزمین یا ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل نباشند، تراز پایه باید در سطح بالای شالوده در نظر گرفته شود.

۲- برای ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهبان آن به سازه متصل باشند و فضای بین خاکبرداری و دیوار نگهبان زیرزمین با خاک متراکم پر شده باشد، تراز پایه می‌تواند در نزدیک‌ترین سقف زیرزمین به زمین طبیعی اطراف در نظر گرفته شود، منوط بر آنکه اولاً خاک طبیعی موجود در اطراف ساختمان متراکم باشد و ثانیاً دیوارهای نگهبان زیرزمین بتن‌آرمه بوده و آخرین سقف زیرزمین نیز دارای صلبیت کافی باشد. در این راستا می‌توان از صلبیت تیرها و یا مجموعه تیر و دال سقف‌ها برای افزایش صلبیت سقف استفاده نمود.

در تکمیل ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ می‌توان گفت که اگر بخواهیم تراز پایه ساختمانی را در محلی بالاتر از تراز روی شالوده در نظر بگیریم، موارد زیر باید رعایت شوند:

1 فضای بین دیوار حائل و خاک می‌تواند توسط یکی از روش‌های زیر پر شود:

الف) خاک متراکم: با توجه به اینکه خاک فقط فشار را منتقل می‌کند و از انتقال کشش ناتوان است، به ناچار باید خاک هر دو وجه موازی ساختمان را متراکم نمود تا به هنگام حرکت رفت و برگشتی زلزله، نیروی طبقات زیر تراز پایه به زمین منتقل شود.

ب) استفاده از مصالح تراکم‌ناپذیر مانند بتن مگر

2 سقف طبقات زیر تراز پایه باید به دیوار حائل پیرامونی مهار شوند که برای این هدف می‌توان آرماتورهایی برای اتصال سقف و دیوار به یکدیگر پیش‌بینی نمود.

3 توصیه می‌شود سقف طبقات زیر تراز پایه و بالاخص نزدیک‌ترین سقف زیرزمین به سطح خاک دارای صلبیت کافی باشد.

4 در اطراف ساختمان موردنظر، باید خاک طبیعی موجود باشد و تا فاصله معقولی نباید ساختمان دیگری قرار گیرد، زیرا ساختمان مورد نظر باید بتواند در طبقات پایین‌تر از تراز پایه، نیروی جانبی زلزله را به خاک منتقل کند.

۳-۳-۳ زمان تناوب اصلی نوسان، T

۳-۳-۳-۱ ساختمان‌های متعارف

ساختمان‌های متعارف به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که توزیع جرم و سختی در ارتفاع آنها عمدتاً به صورت متناسب تغییر کند. در این ساختمان‌ها زمان تناوب اصلی نوسان را می‌توان از روابط تجربی زیر به دست آورد.

الف- برای ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی

۱- در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد ننمایند:

- در قاب‌های فولادی

$$T = 0.08H^{0.75}$$

(۳-۳)

- در قاب‌های بتن‌آرمه

$$T = 0.05H^{0.9}$$

(۴-۳)

۲- در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد نمایند:

مقدار T باید برابر با ۸۰ درصد مقادیر عنوان شده در بالا در نظر گرفته شود.

ب- برای ساختمان‌های با سیستم مهاربندی واگرا، مشابه قاب‌های فولادی، از رابطه (۳-۳)

پ- برای ساختمان‌های با سایر سیستم‌های مندرج در جدول (۳-۵)، به‌غیر از سیستم

کنسولی، با یا بدون وجود جداگرهای میانقابی:

$$T = 0.05H^{0.75}$$

(۵-۳)

در روابط بالا H ارتفاع ساختمان از تراز پایه است و در محاسبه آن ارتفاع خرپشته، در صورتی که وزن آن بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، باید منظور گردد. در بام‌های شیب‌دار، H متوسط ارتفاع بام از تراز پایه است.

تبصره- در این ساختمان‌ها، در کلیه موارد، می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان را با استفاده از تحلیل دینامیکی تعیین و در محاسبات نیروها منظور نمود، ولی مقدار آن در هر حالت نباید از $1/25$ برابر مقادیر به دست آورده شده از روابط تجربی بالا بیشتر در نظر گرفته شود.

۳-۳-۲ ساختمان‌های غیرمتعارف

ساختمان‌های غیرمتعارف به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شوند که مشمول تعریف بند (۳-۳-۱) نمی‌گردند، مانند ساختمان مساجد، آمفی‌تئاترها، سالن‌های ورزشی، گنبدها و... . در این ساختمان‌ها زمان تناوب اصلی نوسان باید با استفاده از تحلیل دینامیکی ساختمان و با منظور داشتن ضوابط زیر تعیین گردد:

الف- در مواردی که جداگرهای میانقابی در مدل تحلیلی منظور شده باشند:

$$T = T_D$$

ب- در مواردی که جداگرهای میانقابی در مدل تحلیلی منظور نشده باشند:

$$T = 0.8T_D$$

در این روابط T_D زمان تناوب اصلی انتقالی در تحلیل دینامیکی است.

۲-۳-۱ ضریب شکل طیف، B_1 ، با در نظر گرفتن بزرگ‌نمایی خاک در پریودهای مختلف و میزان لرزه‌خیزی منطقه مشخص می‌شود. این ضریب با استفاده از روابط زیر و یا از شکل‌های (۲-۱-الف) و (۲-۱-ب) تعیین می‌گردد.

$$\begin{array}{ll} B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1)(T/T_0) & 0 < T < T_0 \\ B_1 = S + 1 & T_0 < T < T_s \\ B_1 = (S + 1)(T_s/T) & T > T_s \end{array} \quad (2-2)$$

در این روابط:

T : زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه است. این زمان طبق بند (۳-۳-۳) تعیین می‌شود.
 T_0 ، T_s ، S و S_0 : پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند.
 مقادیر این پارامترها در جدول (۲-۲) و انواع زمین‌ها در بند (۲-۴) مشخص شده‌اند.

جدول ۲-۲ پارامترهای مربوط به روابط (۲-۲)

خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد		خطر نسبی کم و متوسط		T_s	T_0	نوع زمین
S_0	S	S_0	S			
۱	۱/۵	۱	۱/۵	۰/۴	۰/۱	I
۱	۱/۵	۱	۱/۵	۰/۵	۰/۱	II
۱/۱	۱/۲۵	۱/۱	۱/۲۵	۰/۷	۰/۱۵	III
۱/۱	۱/۲۵	۱/۳	۲/۲۵	۱/۰	۰/۱۵	IV

۲-۳-۲ ضریب اصلاح طیف، N ، به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف- برای پهنه‌های باخطر نسبی خیلی زیاد و زیاد

$$N = 1$$

$$T < T_s$$

$$N = \frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1$$

$$T_s < T < 4 \text{ sec} \quad (3-2)$$

$$N = 1.7$$

$$T > 4 \text{ sec}$$

ب- برای پهنه‌های باخطر نسبی متوسط و کم

$$N = 1$$

$$T < T_s$$

$$N = \frac{0.4}{4 - T_s} (T - T_s) + 1$$

$$T_s < T < 4 \text{ sec} \quad (4-2)$$

$$N = 1.4$$

$$T > 4 \text{ sec}$$

۳-۳ روش تحلیل استاتیکی معادل

در این روش نیروی جانبی زلزله بر طبق ضوابط این بند تعیین شده و به صورت استاتیکی در امتدادها و جهات مختلف بر طبق بندهای (۳-۱-۴) و (۳-۱-۵) به سازه اعمال می‌گردد و سازه با فرض رفتار خطی تحلیل می‌شود.

۳-۱-۵ نیروی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان باید در هر دو جهت آن امتداد یعنی به صورت رفت و برگشت در نظر گرفته شود.

$$C = \frac{ABI}{R_u}$$

(۲-۳)

در این رابطه:

A: نسبت شتاب مبنای طرح مطابق بند (۲-۲)

B: ضریب بازتاب ساختمان مطابق بند (۳-۲)

I: ضریب اهمیت ساختمان مطابق بند (۴-۳-۳)

R_u : ضریب رفتار ساختمان مطابق بند (۵-۳-۳)

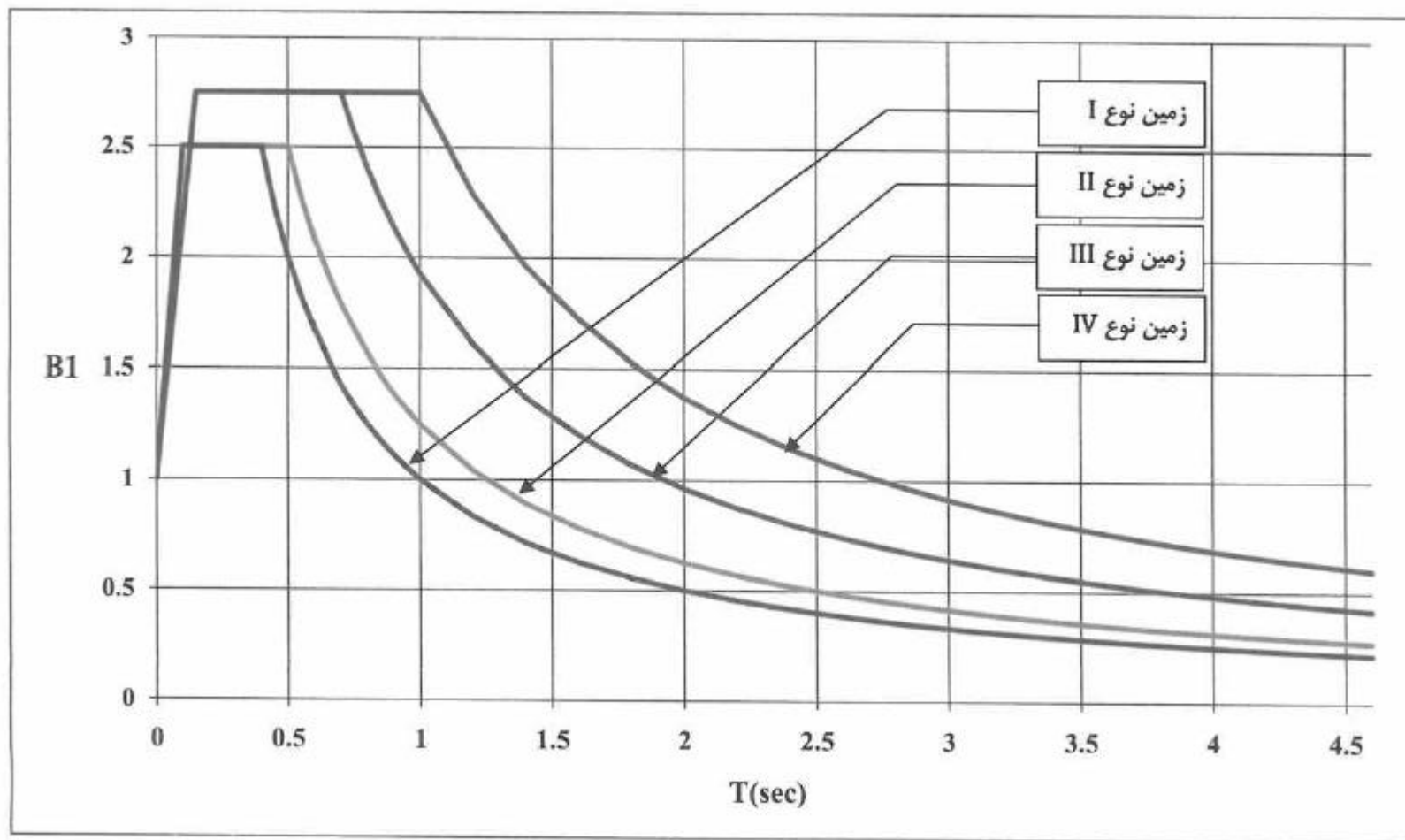
مقدار برش پایه، V_u ، در هیچ حالت نباید کمتر از مقدار زیر در نظر گرفته شود.

$$V_{u \min} = 0.12 A I W$$

(۳-۳)

جدول ۳-۴ مقادیر ضریب رفتار ساختمان، R_u ، همراه با حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان H_m

سیستم سازه	سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	R_u	Ω_0	C_d	H_m (متر)
الف- سیستم دیوارهای باربر	۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	۵	۲/۵	۵	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۴	۲/۵	۴	۵۰
	۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی [۱]	۳/۵	۲/۵	۳/۵	-
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۳	۲/۵	۳	۱۵
	۵- دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد و مهارهای تسمه‌ای فولادی	۴	۲	۳/۵	۱۵
	۶- دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد و صفحات پوشش فولادی	۵/۵	۳	۴	۱۵
	۷- دیوارهای بتن پاششی سه‌بعدی	۳	۲	۳	۱۰
ب- سیستم قاب ساختمانی	۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه [۲]	۶	۲/۵	۵	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	۵	۲/۵	۴	۳۵
	۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی [۱]	۴	۲/۵	۳	-
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۳	۲/۵	۲/۵	۱۵
	۵- مهاربندی واگرای ویژه فولادی [۲] و [۳]	۷	۲	۴	۵۰
	۶- مهاربندی کماتش تاب	۷	۲/۵	۵	۵۰



شکل ۲-۱-ب- ضریب شکل طیف طرح برای انواع زمین‌های مندرج در بند (۲-۴) با خطر زیاد و خیلی زیاد

۳-۳-۶ توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان

نیروی برشی پایه V_u ، که طبق بند (۳-۳-۱-۱) محاسبه شده است، مطابق رابطه زیر در ارتفاع ساختمان توزیع می‌گردد:

$$F_{ui} = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} V_u \quad (۳-۶)$$

در این رابطه:

F_{ui} : نیروی جانبی در تراز طبقه i

W_i : وزن طبقه i شامل وزن سقف و قسمتی از سربار آن مطابق جدول (۳-۱) و نصف وزن دیوارها و ستون‌هایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته‌اند.

h_i : ارتفاع تراز سقف طبقه i از تراز پایه

n : تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا

K: ضریبی است که با توجه به زمان تناوب نوسان اصلی سازه T از رابطه زیر به دست آورده می شود:

$$K=0.5T+0.75 \qquad 0.5 \leq T \leq 2.5 \text{ Sec} \qquad (3-7)$$

مقدار K برای مقادیر T کوچکتر از ۰/۵ ثانیه و بزرگتر از ۲/۵ ثانیه باید به ترتیب برابر با ۱/۰ و ۲/۰ در نظر گرفته شود.

تبصره: در صورتی که وزن خرپشته ساختمان بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، باید به عنوان یک طبقه مستقل محسوب شود. در غیر این صورت خرپشته به عنوان بخشی از بام در نظر گرفته می شود.

۳-۳-۷ توزیع نیروی برشی زلزله در پلان ساختمان

۳-۳-۷-۱ نیروی برشی زلزله، که بر اساس توزیع نیروها در بند (۳-۳-۶) در طبقات ساختمان ایجاد می‌شود، به همراه نیروی برشی ناشی از پیچش ایجاد شده به علت برون از مرکز بودن این نیروها در طبقات باید، طبق بند (۳-۳-۷-۲)، در هر طبقه بین عناصر مختلف سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی به تناسب سختی آنها توزیع گردد. در صورت صلب نبودن کف طبقات، در توزیع این برش‌ها باید اثر تغییر شکل‌های ایجاد شده در کف‌ها نیز منظور شود.

۳-۳-۷-۲ لنگر پیچشی ایجاد شده در طبقه i ، در اثر نیروهای جانبی زلزله، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M_{ui} = \sum_{j=1}^n (e_{ij} + e_{aj}) F_{uj} \quad (۳-۸)$$

در این رابطه:

e_{ij} : برون مرکزی نیروی جانبی طبقه j نسبت به مرکز سختی طبقه i ، فاصله افقی مرکز

جرم طبقه j و مرکز سختی طبقه i

e_{aj} : برون مرکزی اتفاقی طبقه j ، موضوع بند (۳-۳-۷-۳)

F_{uj} : نیروی جانبی در تراز طبقه j