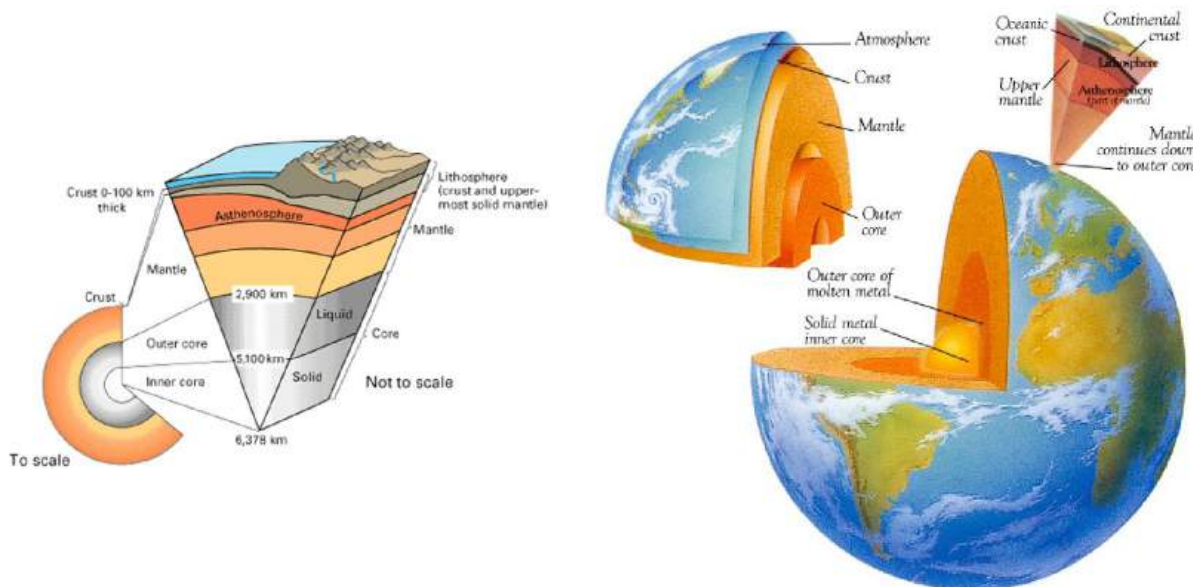


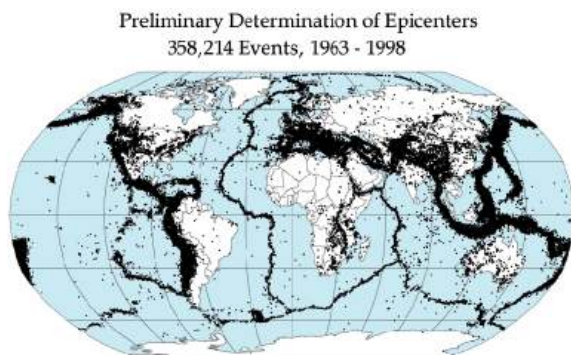
## ۱- فصل اول: لرزه‌شناسی مهندسی

برای شناخت زلزله باید سیستم داخلی کره زمین را شناخت. کره زمین به سه قسمت هسته (Core)، جبه (Mantle) و پوسته (Crust) تقسیم می‌شود. هسته نیز شامل هسته‌ی داخلی و هسته‌ی خارجی است که هسته داخلی جامد و هسته‌ی خارجی مایع است.



پوسته دارای دو قسمت است: یک لایه‌ی صلب خارجی به نام لیتوسفر (Lithosphere) که روی لایه‌ی داغ‌تر و ضعیف‌تری به نام استنوسفر (Asthenosphere) قرار دارد. لیتوسفر مرز صفحات تکتونیکی ناپیوسته است. قاره‌های و اقیانوس‌ها روی لیتوسفر قرار دارند.

نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ای (Plate Tectonic): بر اساس این نظریه لیتوسفر متشکل از تعداد صفحات صلب است. سطح زمین از ۶ صفحه‌ی لیتوسفری بزرگ و تعدادی صفحات کوچکتر پوشیده شده است. این صفحات نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند و فعالیت‌های زمین‌شناسی مانند زلزله‌ها و آتشفشان‌ها در طول مرز مشترک این صفحات متمرکز هستند. با مقایسه نقشه‌ی صفحات لیتوسفری زمین و نقشه‌ی زمین‌لرزه‌های بوقوع پیوسته مشاهده می‌شود که تقریباً همه زلزله‌ها در مرز بین صفحات تکتونیکی روی داده‌اند. از این طریق دانشمندان پی به ارتباط بین زلزله‌ها با فصل مشترک صفحات تکتونیکی برده‌اند.



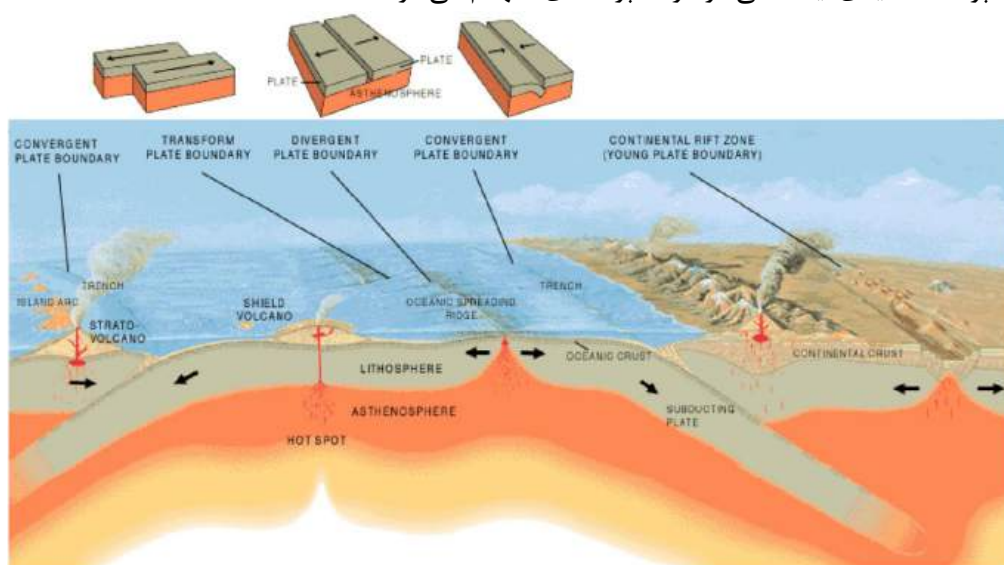
صفحات لیتوسفری نسبت به یکدیگر در حال حرکتند، مثلاً صفحات آمریکای شمالی و اقیانوس آرام هر سال بین ۴ تا ۶ سانتی‌متر نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. در مرز مشترک این صفحات سه نوع رفتار وجود دارد (این مرزها همان

گسل‌ها هستند که بعداً درباره‌ی آنها توضیح داده خواهد شد، یک سری از گسل‌ها هم وجود دارند که در مرز صفحات لیتوسفری قرار ندارند و تعداد آنها بسیار کم است):

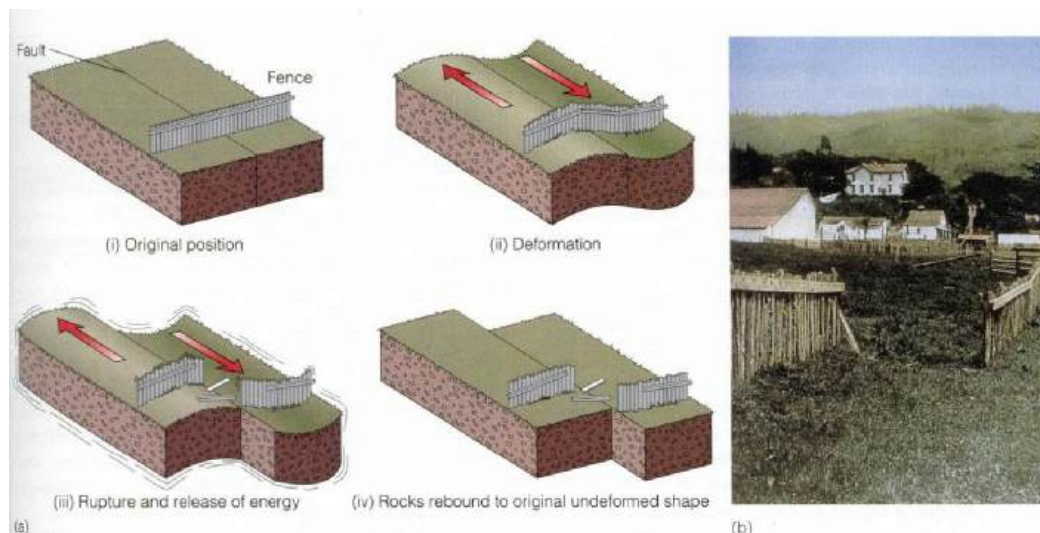
۱. **مرزهای واگرا (Divergent)**: در این مرزها صفحات از یکدیگر دور شده که همراه با ایجاد لیتوسفر جدید می‌باشد. این نواحی گرده ماهی شکل بوده و اکثراً در وسط اقیانوس‌ها ایجاد می‌شود. مثلاً گرده ماهی وسط اقیانوس اطلس.

۲. **مرزهای همگرا (Convergent)**: در این مرزها صفحات با یکدیگر برخورد کرده و به پوسته زمین فشار می‌آورند و کوه‌های جدید را ایجاد می‌کنند و یا اینکه در اثر فشار، یک صفحه ممکن است زیر صفحه‌ی دیگر رفته و مواد لیتوسفری را با خود به داخل گوشته زمین ببرد. در این نقاط خندق‌های عمیق ایجاد می‌گردد. مثلاً سلسله جبال زاگرس ناشی از تقارب حد مشترک صفحه ایران و صفحه عربستان صعودی است.

۳. **مرزهای لغزشی (Sliding)**: این صفحات نسبت به یکدیگر در یک صفحه افقی می‌لغزند. در این نوع مرزها نه پوسته جدیدی ایجاد می‌شود و نه پوسته‌ای منهدم می‌شود.



**نظریه برگشت الاستیک برای وقوع زلزله‌ها (Elastic Rebound Theory):** صفحات لیتوسفری در مرز خود (یعنی همان گسل‌ها) به آرامی حرکت می‌کنند. این حرکت موجب ایجاد کرنش و تنش در سنگ‌ها در دو طرف گسل می‌کند. سنگ‌ها و صخره‌ها در این مرزها تغییر شکل الاستیک داده یا بوسیله‌ی نیروی اصطکاک (نیروی برشی) شکل اولیه خود را حفظ می‌کنند، تا اینکه تغییر شکل و تنش ایجاد شده به حدی برسد که بر مقاومت سنگ‌ها و صخره‌ها در دو طرف گسل غلبه کند. در این هنگام صخره‌ها با خراش نسبت به یکدیگر می‌لغزند و به صورت ناگهانی جابه‌جا می‌شوند. لغزش مزبور موجب رها شدن انرژی الاستیک ذخیره شده در سنگ‌ها می‌شود و به شکل امواج منتشر می‌شود. در اثر این امواج، زمین دچار حرکت‌های شدیدی در همه جهات شده که زلزله (Earthquake, Seismic) نام دارد. امواج لرزه‌ای در همه جهات ساطع شده و انرژی آزاد شده را با خود جابه‌جا می‌کنند. این امواج در مسیر خود اجسام و ساختمان‌های سر راه خود را حرکت داده و به آنها آسیب می‌رسانند. حرکت این امواج مانند حرکت امواجی است که به خاطر پرتاب یک سنگ در آب ایجاد می‌شود (بنابراین حرکت گسل‌ها نتیجه جمع شدن تدریجی انرژی کرنش الاستیک ناشی از برش و رها شدن ناگهانی تنش مربوطه در توده سنگ‌ها است که به آن برگشت الاستیک می‌گویند)



✚ حرکت گسل‌ها مسلماً از یک نقطه شروع می‌شود ولی آزاد شدن انرژی در طول کیلومترها از گسل (طول پاره‌گی) رخ می‌دهد.

✚ در صورتی که مقاومت صخره‌ها و اتصال آنها در محل گسل نسبتاً کم باشد، انرژی الاستیک کمی در اثر تغییرشکل در طول گسل جمع شده و تغییرشکل و انرژی آزاد شده نیز کم بوده و زلزله‌های ایجاد شده کوچک می‌باشد. اما اگر مقاومت سنگ‌ها و اتصال آنها در محل گسل خیلی زیاد باشد، در این صورت فشار وارده ممکن است برای ده‌ها و یا صدها سال جمع شده و سرانجام لغزش مهیبی در محل سنگ‌ها اتفاق افتاده و زلزله‌ی بزرگ ایجاد شود.

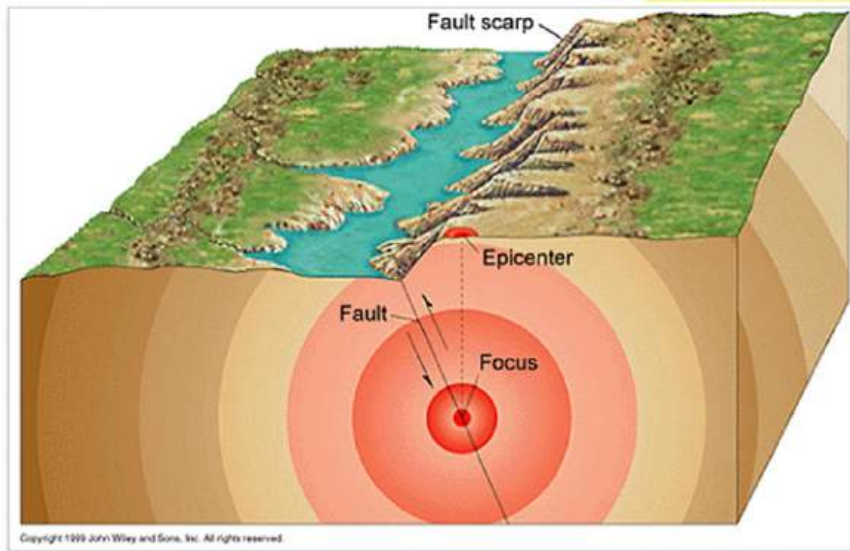
**گسل (Fault):** گسل عبارت است از سطح ناپیوسته‌ای که دو مجموعه سنگی را از هم جدا می‌کند. گسل معرف صفحه‌ای است که در طول آن حرکات زمین رخ می‌دهد و منشا حرکت زمین در یک زلزله از آن ناشی می‌شود. همه گسل‌ها مربوط به صفحات تکتونیکی نیستند و در خارج از مرز صفحات تکتونیکی هم گسل داریم.

✚ برخی از گسل‌ها در سطح زمین نمایان هستند ولی برخی دیگر را نمی‌توان حتی با استفاده از عکس‌های هوایی تشخیص داد.



**کانون زلزله (Hypocenter or Focus):** در هر نقطه‌ای از گسل ممکن است زلزله رخ دهد. به این نقطه در عمق گسل کانون می‌گویند. امواج از این نقطه به اطراف ساطع می‌شود.

**مرکز زلزله-رومركز (Epicenter):** نقطه‌ای است که در سطح زمین و درست در بالای کانون زلزله قرار دارد.



**عمق زلزله (Focal Depth):** عمق گسل‌ها مختلف بوده و کانون زلزله (نقطه‌ی گسیختگی سنگ‌ها از همدیگر) در هر عمقی از این صفحات گسل می‌تواند باشد. فاصله نقطه گسیختگی صخره‌ها از سطح زمین را عمق زلزله می‌گویند.

❖ زلزله‌ها بر حسب عمق به دو نوع **سطحی (زلزله بزم)** و **عمیق (زلزله سیستان و بلوچستان)** تقسیم بندی می‌شوند. عمق زلزله‌های سطحی کمتر از ۱۰ کیلومتر است ولی زلزله‌های عمیق از عمق ۳۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتری منتشر می‌شوند. (مثال چراغ قوه)

❖ حوزه اثر زلزله‌های سطحی نسبتاً کوچک است در حالیکه زلزله‌های عمیق در فواصل دور هم محسوس می‌باشند.

❖ تفاوت عمده دو نوع زلزله از نظر مهندسی در این است که زلزله‌های مخرب همواره از نوع **سطحی** هستند ولی زلزله‌های عمیق اثر **تخریبی** چندانی ندارند. زلزله‌های مخرب حداکثر در عمق ۵۰ کیلومتری قرار دارند.

**سرعت گسل‌ها:**

برخی گسل‌ها همواره در حال حرکتند، در حالیکه برخی دیگر فقط به هنگام وقوع زلزله حرکت می‌کنند. سرعت گسل‌ها فعال در حال حرکت متفاوت است. بیشترین سرعت آنها حدود ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر در سال است.

**طول گسل‌ها:**

طول گسل‌ها بسیار متفاوت است و ممکن است از چند متر تا صدها کیلومتر باشد. گسل‌های طولانی تا ۱۰۰۰ کیلومتر طول دارند. بزرگی زلزله با طول گسلش (یعنی طولی از گسل که جابه‌جا می‌شود) ارتباط مستقیم دارد.

### گسل فعال:

گسل‌هایی که طی چندین هزار سال گذشته حرکت نموده و در آینده نیز حرکت خواهند کرد را گسل فعال می‌نامند. از آنجایی که زلزله معمولاً در مناطقی رخ می‌دهد که گسل فعال وجود دارد، به هنگام طرح پروژه‌های بزرگ نظیر سدها و نیروگاه‌ها، فاصله مشخصات گسل‌های فعال منطقه بایستی مشخص شود و در برآورد زلزله طرح مورد استفاده قرار گیرد.

### انواع گسل‌ها

۱. **گسل ساکن**: صخره‌های دو طرف گسل نسبت به هم ساکن بوده و هیچ حرکتی ندارند.

۲. **گسل نرمال یا کششی (Normal or Subduction Fault)**: در این نوع گسل صخره‌های دو طرف

گسل تمایل به جدا شدن از یکدیگر داشته و در گسل ایجاد کشش می‌کنند و در صورتی که کشش برای ایجاد گسیختگی کافی باشد، یک قطعه نسبت به قطعه دیگر به پایین حرکت می‌کند.

اکثر گسل‌های نرمال، در طول مرز صفحات تکتونیک و اگر ایجاد می‌شوند.

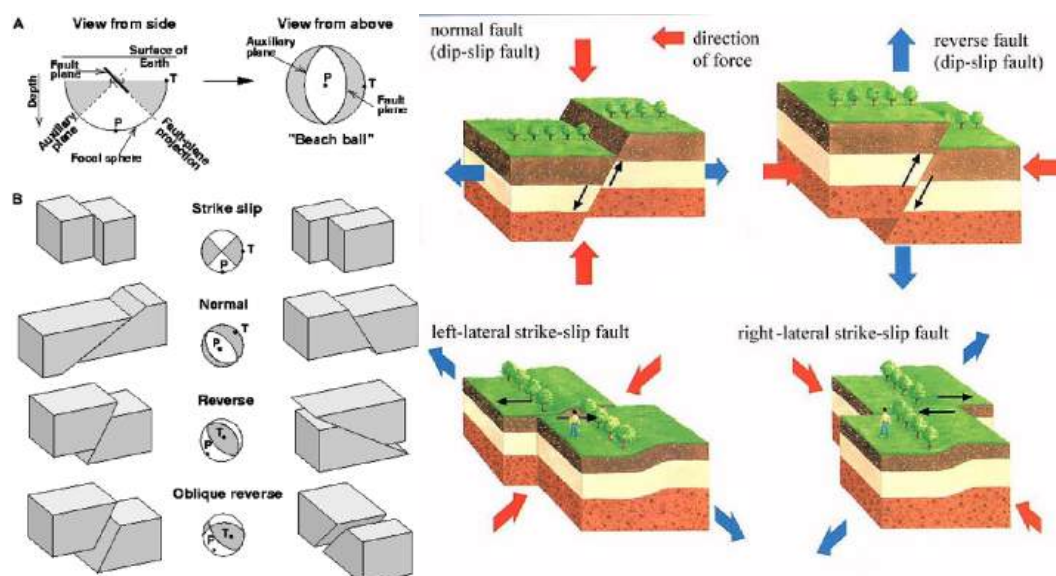
۳. **گسل معکوس یا فشاری (Reverse or Thrust Fault)**: صخره‌های دو طرف گسل تمایل به فشردن

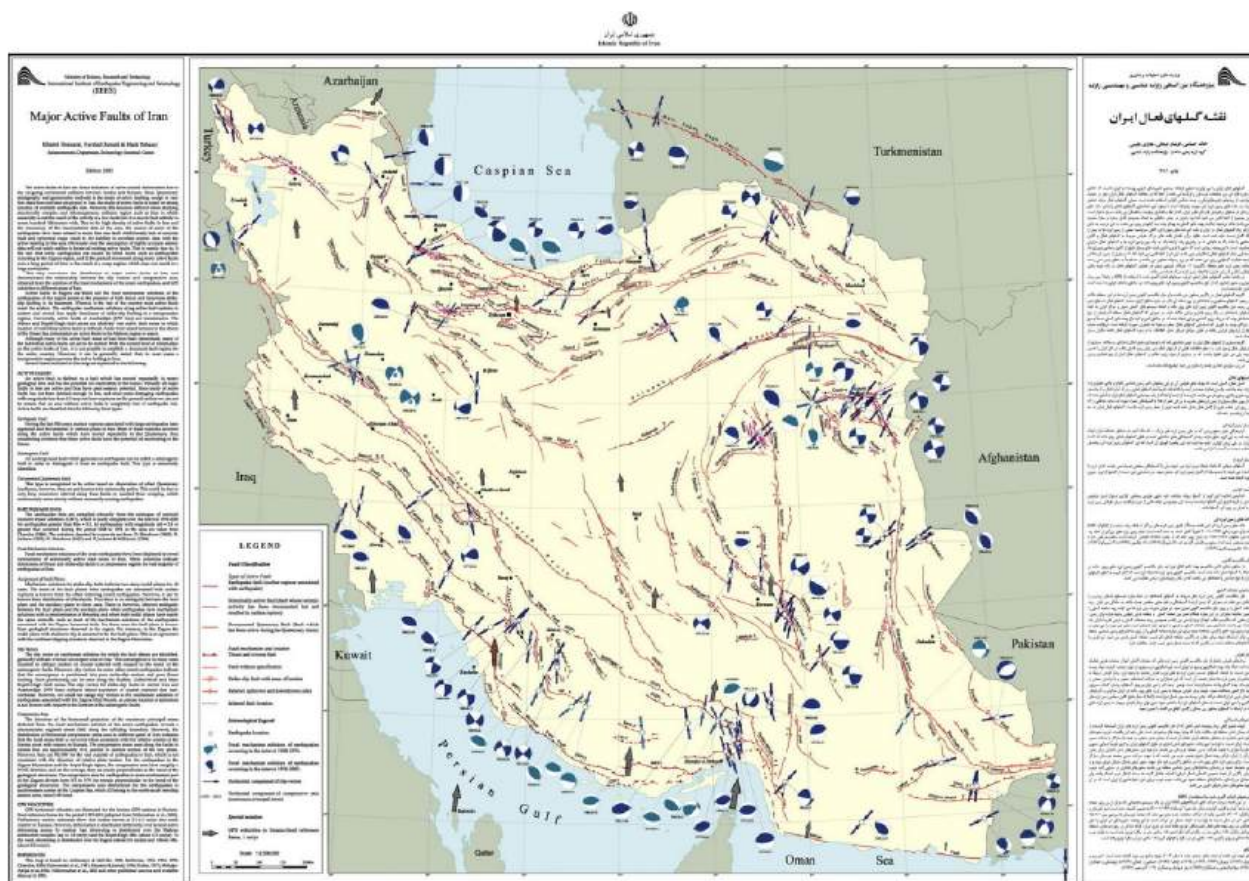
یکدیگر داشته و در گسل فشار ایجاد می‌کنند. موقعی که فشار برای ایجاد گسیختگی کافی باشد، یک قطعه نسبت به قطعه دیگر در امتداد صفحه گسل به سمت بالا حرکت می‌کند.

اکثر گسل‌های فشاری در محل برخورد صفحات همگرا ایجاد می‌شوند.

۴. **گسل‌های لغزش جانبی یا امتدادلغز (Strike-Slip Fault)**: حرکت در طول یک صفحه گسل تقریباً

قائم به صورت لغزش جانبی صورت می‌گیرد. حرکت این گسل‌ها می‌تواند به راستگرد یا چپگرد باشد. حرکت به سمت راست یعنی اینکه اگر شخصی روی هر طرف این گسل قرار بگیرد و رو به گسل نگاه کند، حرکت طرف مقابل همیشه به طرف راست او باشد و برعکس.





نقشه‌ی گسل‌های ایران

## امواج زلزله

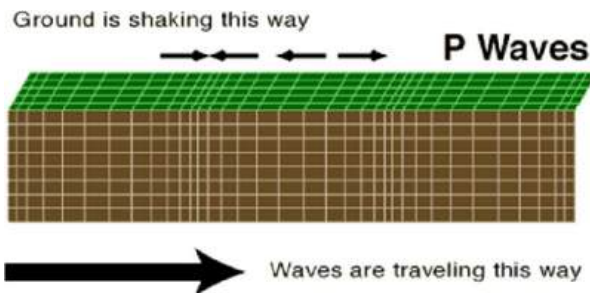
انرژی آزاد شده از کانون زلزله به صورت موج‌های مختلف منتشر می‌شود.

دو نوع موج از کانون زلزله منتشر می‌شود. **موج حجمی (Body wave)** و **موج سطحی (Surface Wave)** امواج حجمی در داخل **جسم صخره‌ها** منتشر می‌شود، اما حرکت امواج سطحی محدود به **مجاورت سطح زمین** است و تغییر مکان‌های ناشی از آنها با زیاد شدن فاصله از سطح زمین به تدریج کاهش می‌یابد. سرعت امواج **سطحی** **کندتر از سرعت امواج حجمی** است.

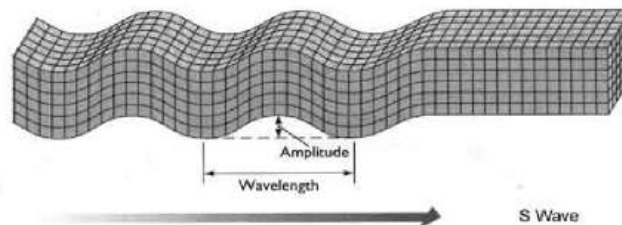
## انواع امواج زلزله:

### ۱. امواج حجمی

**الف- امواج P:** طبیعت این موج مانند **امواج صوتی** است. بدین معنی که همچنان که پخش می‌شوند، به طور متناوب باعث فشردن و کشیده شدن صخره‌ها می‌گردد. این امواج فقط در راستای نوسان خود منتشر می‌شوند. به علت طبیعت صوت مانند امواج P وقتی که این امواج از عمق زمین به سطح زمین می‌رسند، قسمتی از آنها ممکن است به صورت امواج صوتی به داخل اتمسفر منتشر شوند و اگر فرکانس این امواج در حد شنوایی گوش باشد، ممکن است به وسیله **حیوانات و انسان قابل شنیدن** باشد. این موج از همه امواج زلزله **سرعت بالاتری** دارد و اولین موجی که به ایستگاه لرزه‌نگاری می‌رسد موج P است. اثر این امواج مانند **یک غرش صوتی** است که باعث تکان دادن و به صدا در آوردن پنجره‌ها می‌شود و سرعت آن حدود ۱۰۷ برابر امواج برشی است. امواج P مانند امواج صوتی هم از **مواد جامد** (مثل پوسته زمین) و هم از **مواد مایع** (مانند آب دریاها و مواد مذاب آتشفشانی) عبور می‌کنند. موج P موجب ایجاد ارتعاش افقی و قائم می‌شود (همانند موج S).

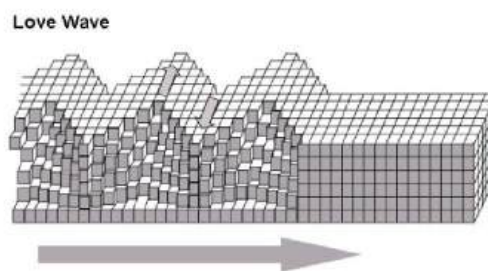


ب- امواج S : ارتعاش این امواج عمود بر امتداد انتشار موج است (مانند حرکت طنابی که در آن یک موج ایجاد می‌شود). سرعت امواج S کمتر از سرعت امواج P است و بنابراین امواج S چند ثانیه پس از امواج P دریافت می‌شود. موج S باعث می‌شود ذرات سنگ‌ها به سمت بالا و پایین مرتعش شوند، بنابراین هنگامی که در سنگ‌ها انتشار می‌یابند، در آنها در امتداد عمود بر جهت انتشار، برش ایجاد می‌کنند. از آنجایی که امواج S با ایجاد تغییرشکل‌های برشی در مواد حرکت می‌کند، و مایعات قابلیت تغییرشکل‌های برشی را ندارد، بنابراین موج S نمی‌تواند از قسمت‌های مایع زمین مانند اقیانوس‌ها عبور کند. موج S موجب ارتعاشات افقی و قائم در سطح زمین می‌شود. حرکات این امواج است که در آسیب رساندن به ساختمان‌ها خیلی موثر است. دامنه نوسان موج S بسیار بیشتر از موج P است.



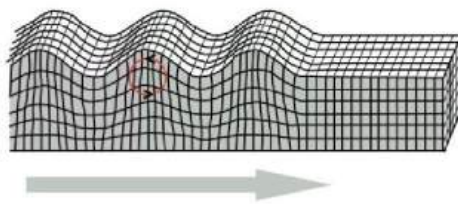
## ۲. امواج سطحی

الف- امواج Love : خصوصیات این موج خیلی شبیه موج S است با این تفاوت که اثر قائم ندارد. این موج زمین را از پهلوی به پهلوی در یک صفحه‌ی افقی و موازی سطح زمین به ارتعاش در می‌آورد. اثر ناشی از امواج لاو تکان افقی به پی ساختمان می‌باشد و از اینرو خسارت ایجاد می‌کند. امواج لاو از میان آب نمی‌توانند عبور کنند و فقط روی آب‌های سطحی کناره‌های دریاچه‌ها اثر می‌گذارند و آنها را به عقب و جلو می‌برند.



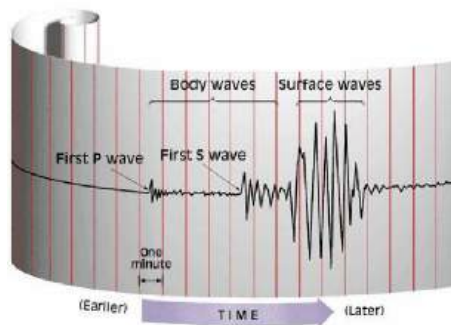
ب- امواج Rayleigh (ریلی) : امواج ریلی باعث حرکت دادن سنگ‌ها هم در جهت قائم و هم در جهت افقی می‌شوند. این حرکت در یک صفحه‌ی قائم بر امتداد انتشار امواج و فقط بر روی سطح مواد صورت می‌گیرد. با عبور امواج، قطعات روی صخره‌ها در یک مسیر بیضی حرکت می‌کنند. امواج ریلی کندتر از امواج لاو حرکت می‌کنند. امواج ریلی به علت مولفه قائم حرکتشان می‌توانند در روی حجم‌های زیادی از آب دریاها تاثیر بگذارند.

Rayleigh Wave



### تعیین مرکز زلزله به کمک سه ایستگاه لرزه‌نگاری

در قسمت قبل دیدیم که سرعت امواج طولی (P) بیشتر از امواج عرضی است و بنابراین موج طولی قبل از موج عرضی توسط لرزه‌نگار ثبت می‌شود. از طرف دیگر دامنه ارتعاش امواج S بیشتر از امواج P است. پس با داشتن شکل شتاب‌نگاشت یک زلزله و سرعت امواج S و P می‌توان فاصله زمانی امواج طولی و عرضی را از ایستگاه لرزه‌نگاری تعیین نمود.



زمان رسیدن موج S به ایستگاه :

$$t_s = \frac{d}{V_s}$$

زمان رسیدن موج P به ایستگاه :

$$t_p = \frac{d}{V_p}$$

فاصله مرکز زلزله تا ایستگاه لرزه‌نگاری:

$$t_s - t_p = \frac{d}{V_s} - \frac{d}{V_p} \Rightarrow d = \frac{t_s - t_p}{\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p}}$$

سرعت امواج برشی:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

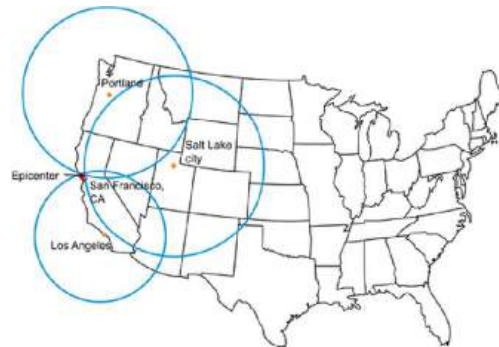
سرعت امواج P :

$$V_p = \sqrt{\frac{\eta + 2}{\rho}}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \eta = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$\rho$  جرم مخصوص ،  $E$  مدول الاستیسیته ،  $\nu$  ضریب پواسون زمینی که امواج از آن عبور می‌کنند (حدوداً ۰/۲۵)

بنابراین اگر در سه ایستگاه لرزه‌نگاری  $S_1, S_2, S_3$ ، فواصل  $d_1, d_2, d_3$  از مرکز زلزله به دست آمده باشد، و سپس دوایری به مراکز  $S_1, S_2, S_3$  و شعاع‌های  $d_1, d_2, d_3$  رسم کنیم، محل برخورد این دایره‌ها مرکز زلزله را مشخص می‌کند.



## ۲- فصل دوم : کلیات آیین‌نامه ۲۸۰۰

### ۲-۱- هدف

هدف آیین‌نامه ۲۸۰۰ تعیین حداقل ضوابط برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر زلزله است به طوری که:

الف) ایستایی ساختمان در زلزله‌های شدید حفظ شود و تلفات جانی به حداقل برسد. همچنین در زلزله‌های خفیف و متوسط آسیب عمده‌ی سازه‌ای به ساختمان وارد نشود.

ب) ساختمان‌های با «اهمیت زیاد» در زلزله‌های خفیف و متوسط قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ کنند و در ساختمان‌ها با «اهمیت متوسط» خسارت سازه‌ای و غیرسازه‌ای به حداقل برسد.

پ) ساختمان‌های با «اهمیت خیلی زیاد» در زمان وقوع زلزله‌های خیلی شدید، بدون آسیب عمده‌ی سازه‌ای، قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه خود را حفظ کنند (مثل نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما در ژاپن در سال ۲۰۱۱)

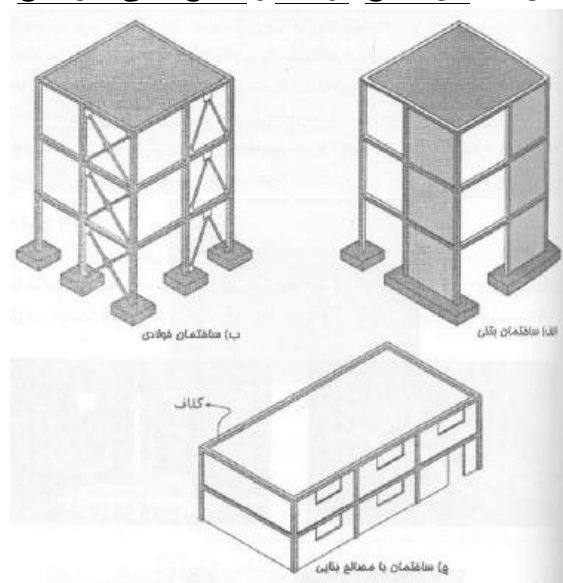


زلزله طرح (زلزله شدید): زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتر از ۱۰٪ باشد (یعنی زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال).

زلزله سطح بهره‌برداری (زلزله خفیف یا متوسط): زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، بیشتر از ۹۹/۵ باشد (یعنی زلزله با دوره بازگشت ۱۰ سال).

### ۲-۲- حدود کاربرد

این آیین‌نامه برای طراحی ساختمان‌های بتن مسلح، فولادی و مصالح بنایی غیرمسلح به کار می‌رود.



ساختمان‌های خاص مانند سدها، پل‌ها، اسکله‌ها، سازه‌های دریایی و نیروگاه‌های هسته‌ای مشمول این آیین‌نامه نمی‌شوند.

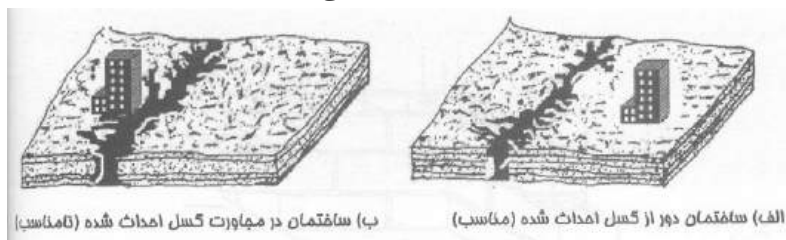


ساختمان‌های سنتی که با گل و خشت ساخته می‌شوند مشمول این آیین‌نامه نمی‌شوند.

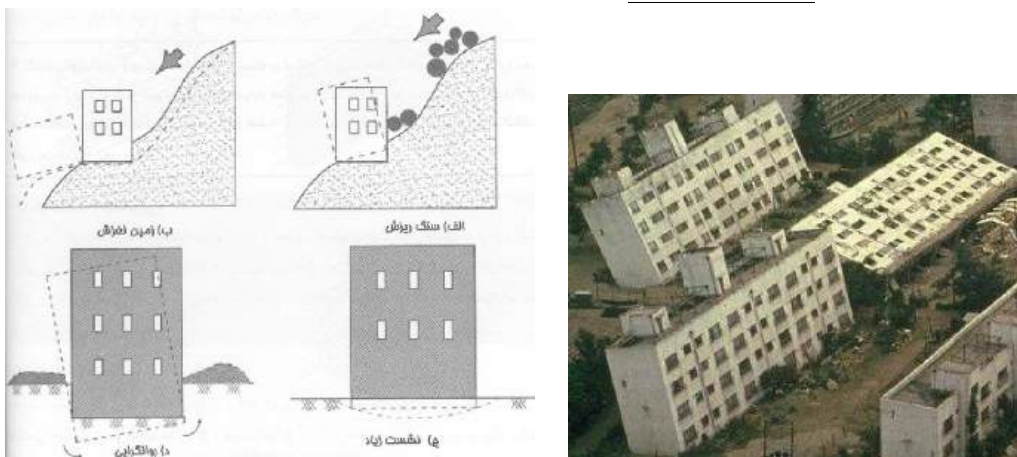


## ۳-۲- ملاحظات ژئوتکنیکی (مربوط خاک و زمین)

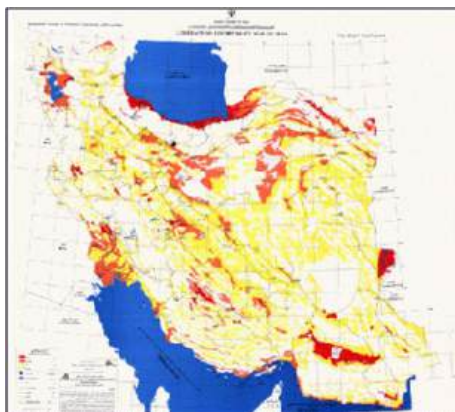
به طور کلی نباید ساختمان بر روی گسل فعال (Near Field) ساخته شود (کمتر از ۵ تا ۱۰ کیلومتر). زلزله‌های دور از گسل اصطلاحاً (Far Field) نامیده می‌شوند.



در زمین‌هایی که در اثر زلزله ممکن است دچار روانگرایی (Liquifaction)، نشست زیاد، زمین لغزش شوند و یا زمین آن دارای خاک رس حساس باشد، باید مطالعات ویژه صورت گیرد.



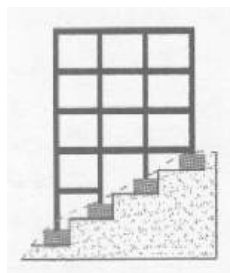
در زمین‌هایی که مستعد روانگرایی هستند، باید ناپایداری‌های ژئوتکنیکی بررسی شود و در صورت نیاز خاک بهسازی گردد. روانگرایی اصولاً در زمین‌هایی رخ می‌دهد که خاک ماسه‌ای با تراکم کم و اشباع از آب باشند و سطح تراز آب زیر زمینی در آنها کمتر از ۱۰ متر باشد. روانگرایی عموماً در عمق کمتر از ۱۰ متر از سطح زمین اتفاق می‌افتد. از جمله مناطقی که در ایران احتمال وقوع روانگرایی وجود دارد، مناطق شمالی کشور بخصوص در مجاورت دریاهاست.



نقشه روانگرایی کشور

برای احداث ساختمان بر روی شیب باید مطالعات پایداری شیب و در صورت نیاز پایدارسازی شیب انجام گیرد.

پی ساختمان باید حتی‌المقدور بر روی یک سطح افقی ساخته شود. و در صورتیکه ساختمان بر روی شیب ساخته شود باید هر قسمت از پی ساختمان بر روی یک سطح افقی قرار داشته باشد.

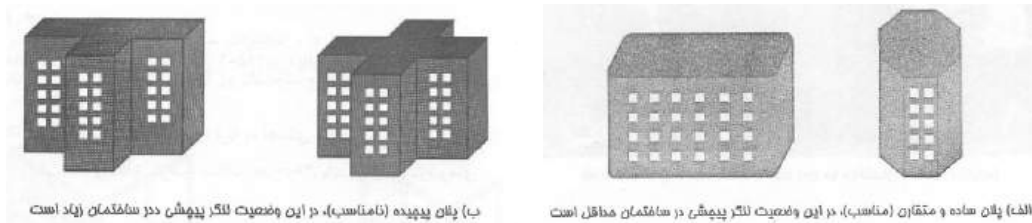


## ۴-۲- ملاحظات معماری

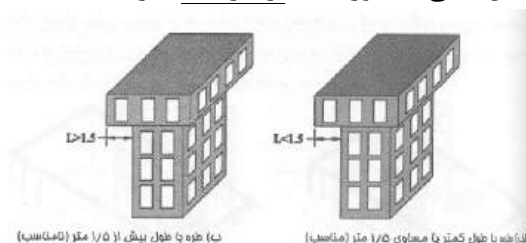
ساختمان‌ها باید با درز انقطاع از یکدیگر جدا شوند تا در اثر زلزله ساختمان‌ها به یکدیگر ضربه وارد نکنند.



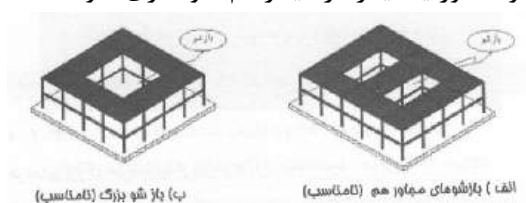
پلان ساختمان باید تا حتی‌المقدور به شکل ساده و متقارن در دو امتداد عمود بر هم و بدون پیش‌آمدگی و پس‌رفتگی زیاد باشد. برای متقارن کردن پلان سازه‌ها می‌توان از درز انقطاع استفاده کرد و سازه‌ی نامتقارن را به چند سازه کوچکتر تبدیل کرد.



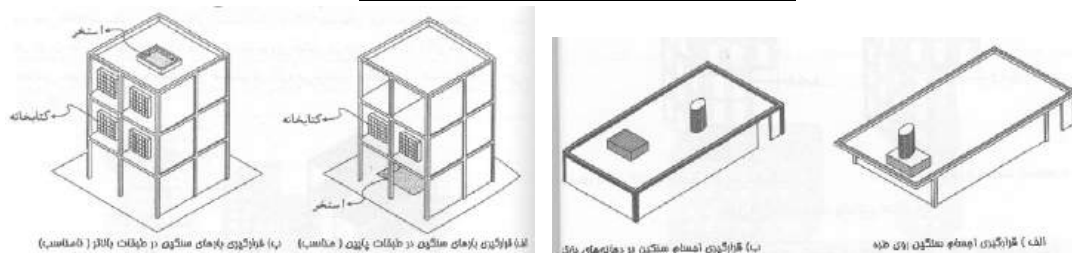
طره‌های (کنسول) ساختمان حتی المقدور نباید بزرگتر ۱/۵ متر باشد.



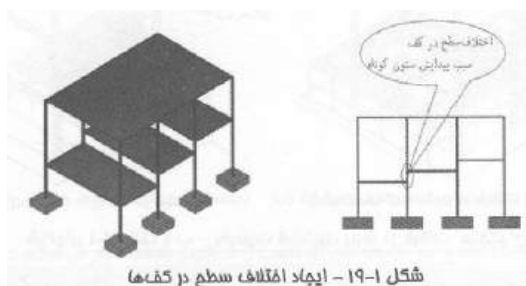
از ایجاد بازشوهای بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم خودداری شود.



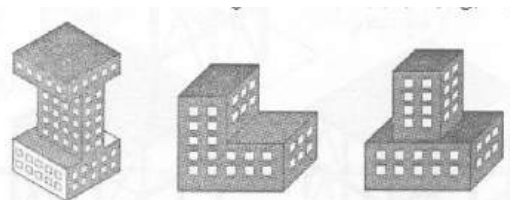
از قرار دادن اجزای ساختمانی و تاسیسات سنگین بر روی طره‌ها و دهانه‌های بزرگ خودداری شود. همچنین توصیه می‌شود که بارها و تجهیزات سنگین در طبقات فوقانی قرار نگیرد.



از ایجاد اختلاف سطح در کف‌ها تا حد امکان خودداری شود. زیرا باعث ایجاد ستون کوتاه می‌شود. (اختلاف سطح در تراز طبقات را می‌توان با پوکه‌ریزی اجرا کرد تا از به وجود آمدن اختلاف تراز در دال هر طبقه جلوگیری شود)



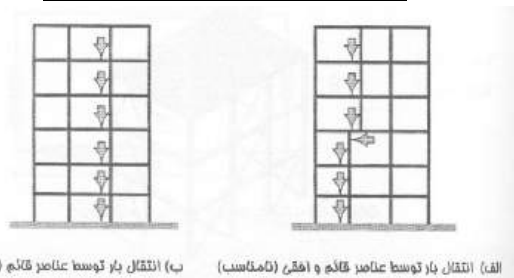
از کاهش و یا افزایش (ناگهانی) مساحت زیربنای طبقات در ارتفاع و بالتبع تغییرات جرم طبقات خودداری شود.



شکل ۱-۱۱ - تغییرات نامناسب مساحت زیر بنای طبقات در ارتفاع

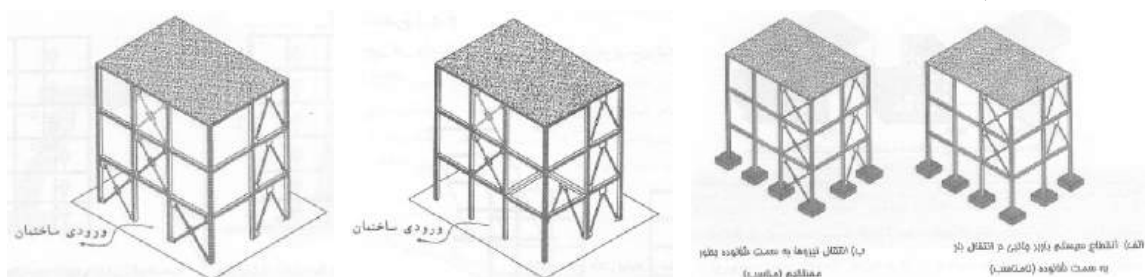
## ۵-۲- ملاحظات پیکربندی سازه‌ای

عناصری که بارهای قائم را تحمل می‌کنند در طبقات مختلف تا حد امکان بر روی هم قرار داده شوند تا انتقال بار این عناصر به یکدیگر به واسطه عناصر افقی صورت نگیرد.



الف) انتقال بار توسط عناصر قائم و افقی (نامناسب) ب) انتقال بار توسط عناصر قائم (مناسب)

عناصری که نیروهای افقی ناشی از زلزله را تحمل می‌کنند به صورتی در نظر گرفته شوند، که انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم انجام شوند و عناصری که با هم کار می‌کنند در یک صفحه قائم قرار داشته باشند.

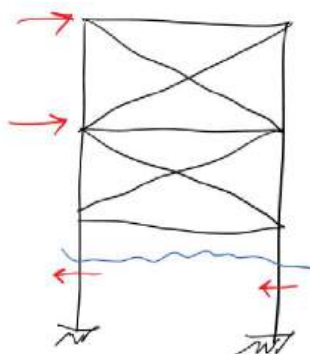


ورودی ساختمان

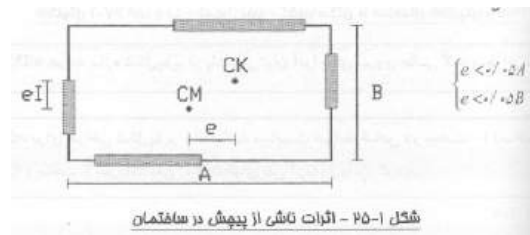
ورودی ساختمان

ب) انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم (نامناسب)

الف) انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم (نامناسب)

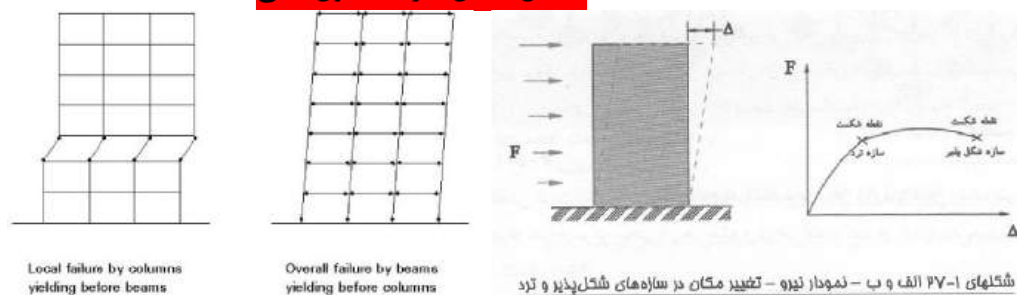


عناصر مقاوم در برابر نیروهای افقی ناشی از زلزله به صورتی در نظر گرفته شوند که پیش از این نیروها در طبقات به حداقل برسد. برای این منظور مناسب است فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در طبقه در هر امتداد، کمتر از ۵ درصد بُعد ساختمان در آن امتداد گردد (توضیح: CM به معنی مرکز جرم ساختمان یا Center of Mass است و CK به معنی مرکز سختی ساختمان یا Center of Stiffness می‌باشد).



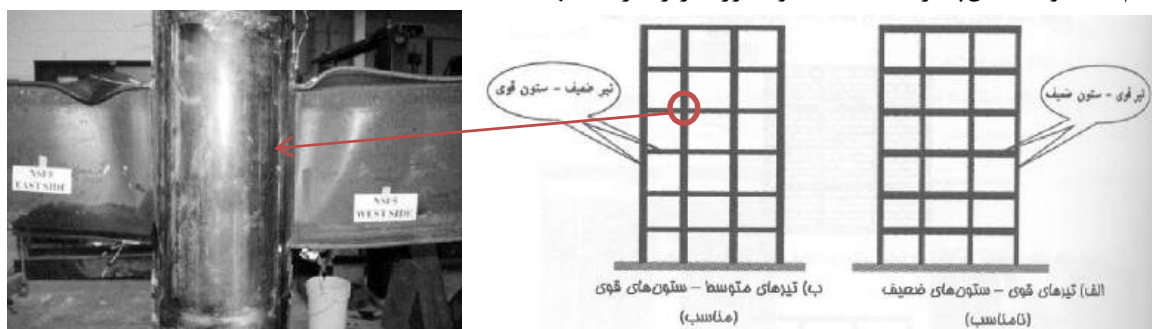
ساختمان و اجزای آن به نحوی طراحی گردند که شکل پذیری و مقاومت مناسب در آن تامین شده باشد. منظور از شکل پذیری قابلیت جذب و استهلاک انرژی زلزله قبل از رسیدن به حد گسیختگی می باشد. هرچقدر سازه شکل پذیرتر باشد، می توان آنرا برای نیروی کمتری طراحی کرد. برای طراحی شکل پذیر ساختمان های باید ضوابط خاص مبحث ۱۰ ساختمان های فولادی و مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان های بتن آرمه را رعایت کرد (مثال باد برای درخت های انعطاف پذیر و تنومند).

#### دیتایل اتصال تیر به ستون بتنی



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

تفسیر: در سیستم های قاب خمشی فلسفه ی طراحی به صورت تیر ضعیف - ستون قوی باید مدنظر قرار بگیرد. زیرا شکست یک تیر، نوعی شکست موضعی است. ولی از بین رفتن قسمتی از ستون باعث فرو ریختن یک به یک سقف ها و انهدام کلی سازه می شود. علاوه بر این شکل پذیری ستون ها کمتر از تیرها است. بنابراین باید تیرها زودتر از ستون ها تسلیم شده و با شکل پذیری مناسب خود انرژی زلزله را مستهلک نمایند.



اعضای غیرسازه ای، مانند دیوارهای داخلی و نماها طوری اجرا شوند که تا حد امکان مزاحمتی برای حرکت اعضای سازه ای در زمان وقوع زلزله ایجاد نکنند. در غیر این صورت، اثر اندرکنش این اعضا با سیستم سازه باید در تحلیل سازه در نظر گرفته شود.

از ایجاد ستون های کوتاه، به خصوص در نورگیرهای زیرزمین ها، حتی الامکان خودداری شود. زیرا ستون های کوتاه به دلیل سختی بسیار بالایی که دارند، نیروی بسیار بیشتری را جذب می کنند و زودتر خراب می شوند.

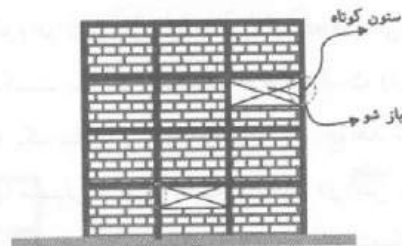
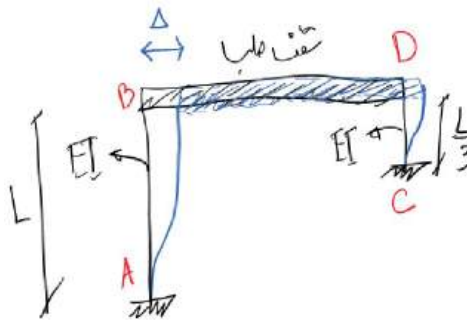
اثبات : فرمولاسیون ستون کوتاه

سختی یک ستون دوسر گیردار برابر  $K = \frac{12EI}{L^3}$  است.

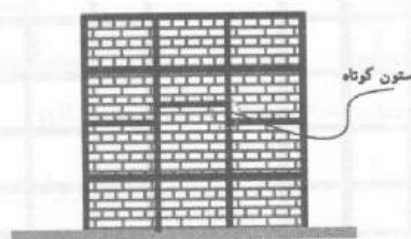
$$K_{AB} = \frac{12EI}{L_{AB}^3} = \frac{12EI}{L^3}$$

$$K_{DC} = \frac{12EI}{L_{DC}^3} = \frac{12EI}{\left(\frac{L}{3}\right)^3} = 27 \times \left(\frac{12EI}{L^3}\right)$$

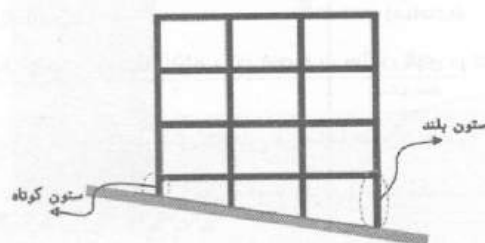
$$F_{DC} = 27F_{BA}$$



الف) وجود باز شو در طول میان قاب منجر به تشکیل ستون کوتاه شده است.



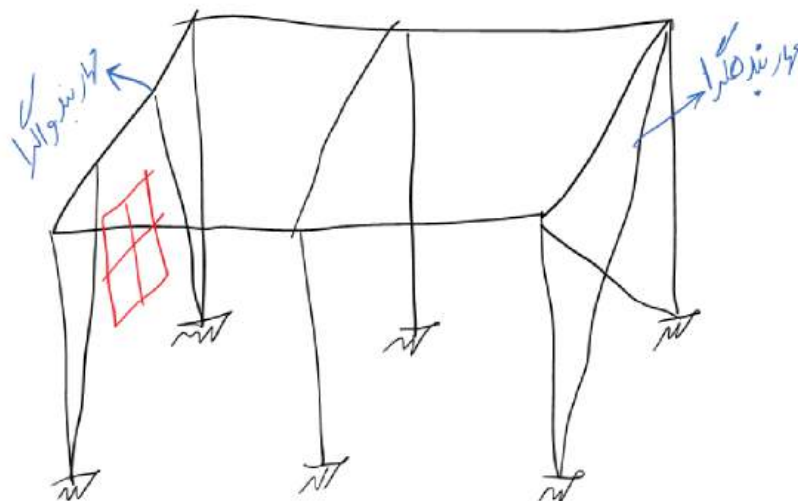
ب) وجود اختلاف سطح (لایم طبقه دارای چرم) در سازه منجر به تشکیل ستون کوتاه شده است.



ج) در زمین‌های شیب دار و در طبقه همگف، اختلاف ارتفاع ستون‌ها، منجر به تشکیل ستون کوتاه شده است.

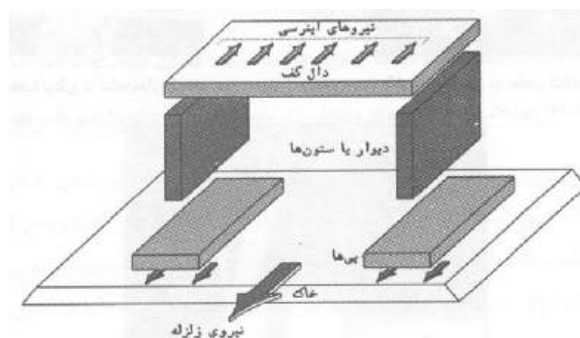


حتی المقدور از به کارگیری سیستم‌های مختلف سازه‌ای در امتدادهای مختلف در پلان و ارتفاع خودداری شود.



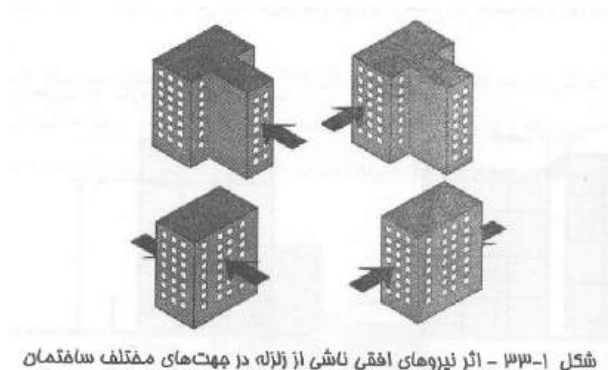
## ۶-۲- ضوابط کلی

کلیه عناصر باربر ساختمان باید به نحو مناسبی به هم پیوسته باشند تا در زمان وقوع زلزله عناصر مختلف از یکدیگر جدا نشده و ساختمان به طور یکپارچه عمل کند. در این مورد، کف‌ها باید به عناصر قائم باربر، قاب‌ها و یا دیوارها، به نحو مناسبی متصل باشند، به طوری که بتوانند به صورت یک دیافراگم نیروهای ناشی از زلزله را به عناصر باربر جانبی منتقل کنند.



شکل ۱-۳۴ جریان نیروهای ایستایی زلزله در میان امزای سازه

ساختمان باید در هر دو امتداد افقی عمود بر هم قادر به تحمل نیروهای افقی ناشی از زلزله باشد و در هر یک از این امتدادها نیز باید انتقال نیروهای افقی به شالوده به گونه‌ای مناسب صورت گیرد.



شکل ۱-۳۳ - اثر نیروهای افقی ناشی از زلزله در جهت‌های مختلف ساختمان

حداقل عرض درز انقطاع در هر طبقه برابر یک صدم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه می باشد، برای تأمین این منظور، فاصله هر طبقه ساختمان از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه باشد. در ساختمان‌های «با اهمیت خیلی زیاد» و «زیاد» و یا در سایر ساختمان‌های با هشت طبقه و بیشتر، این عرض در هر طبقه نباید کمتر از حاصل ضرب تغییر مکان جانبی نسبی طرح آن طبقه ضربدر ضریب رفتار  $R$ ، در نظر گرفته شود. هریک از ساختمان‌های مجاور یکدیگر، ملزم به رعایت فاصله‌ای معادل حاصلضرب  $0.5R$  در تغییر مکان جانبی نسبی طرح آن ساختمان در هر طبقه می‌باشد. فاصله درز انقطاع را می توان با مصالح کم مقاومت که در هنگام وقوع زلزله، بر اثر برخورد دو ساختمان به آسانی خرد می شود، به نحو مناسبی پر نمود به طوری که پس از زلزله به سادگی قابل جایگزین کردن و به سازی باشد.

## ۲-۲- گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب اهمیت

در این آیین نامه ساختمان‌ها از نظر اهمیت به چهار گروه تقسیم می شوند:

### گروه ۱- ساختمان‌ها «با اهمیت خیلی زیاد»

در این گروه، ساختمان‌هایی قرار دارند که قابل استفاده بودن آنها پس از وقوع زلزله اهمیت خاص دارد و وقفه در بهره‌برداری از آنها به طور غیر مستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود، مانند: بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز و تاسیسات آبرسانی، نیروگاه‌ها و تاسیسات برق‌رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تاسیسات انتظامی، مراکز کمک‌رسانی و بطور کلی تمام ساختمان‌هایی که استفاده از آنها در نجات و امداد مؤثر می باشد. ساختمان‌ها و تاسیساتی که خرابی آنها موجب انتشار گسترده مواد سمی و مضر در کوتاه مدت و درازمدت برای محیط زیست می شوند جزء این گروه ساختمان‌ها منظور می گردند.

### گروه ۲- ساختمان‌های «با اهمیت زیاد»

این گروه شامل سه دسته زیر است:

(الف) ساختمان‌هایی که خرابی آنها موجب تلفات زیاد می‌شود، مانند: مدارس (انقطاع در نسل‌های بعدی)، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری، یا هر فضای سرپوشیده که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.

(ب) ساختمان‌هایی که خرابی آنها سبب از دست رفتن ثروت ملی می‌شود، مانند: موزه‌ها، کتابخانه‌ها، و به طور کلی مراکزی که در آنها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پر ارزش نگهداری می‌شود.

(پ) ساختمان‌ها و تاسیسات صنعتی که خرابی آنها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود، مانند: پالایشگاه‌ها، انبارهای سوخت و مراکز گاز رسانی.

### گروه ۳- ساختمان‌های «با اهمیت متوسط»

این گروه ساختمان‌ها شامل کلیه ساختمان‌های مشمول این آیین نامه، بجز ساختمان‌های عنوان شده در سه گروه دیگر است، مانند: ساختمان‌های مسکونی و اداری و تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های چندطبقه، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های صنعتی و غیره.

### 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 در آن‌ها بسیار کم است، مانند انبارهای کشاورزی و سالن‌های مرغ‌داری.  
ب) ساختمان‌های موقت که مدت بهره برداری از آن‌ها کمتر از ۲ سال است.

## ۸-۱- گروه بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل

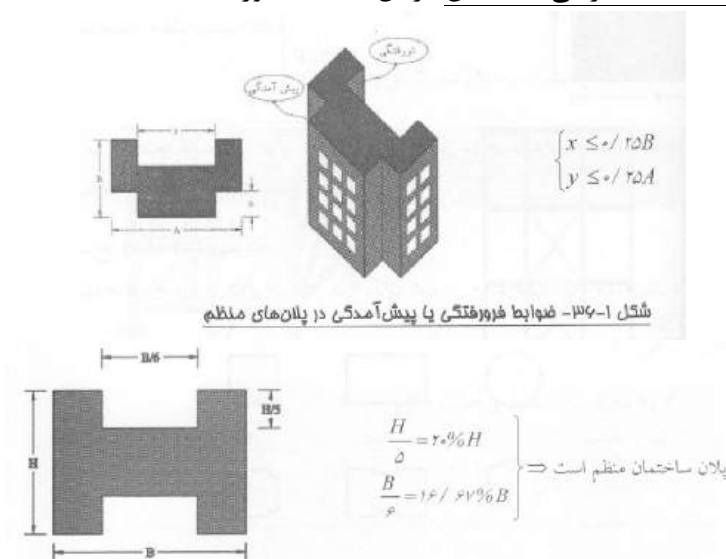
ساختمان‌ها بر حسب شکل به دو گروه منظم و نامنظم به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

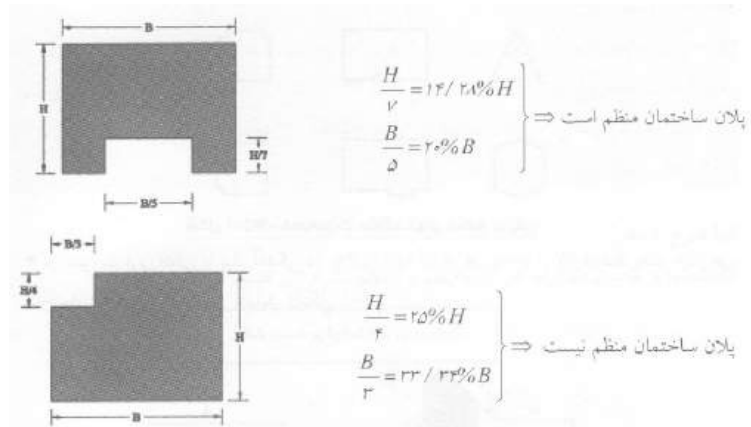
### ۸-۱-۱- ساختمان‌های منظم:

به گروهی از ساختمانها اطلاق می‌شود که دارای کلیه ویژگی‌های زیر باشند.

#### ۸-۱-۱-۱- منظم بودن در پلان

الف) پلان ساختمان دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن نسبت به محورهای اصلی ساختمان، که معمولاً عناصر مقاوم در برابر زلزله، در امتداد آن‌ها قرار دارند، باشد. هم چنین، در صورت وجود فرورفتگی یا پیش‌آمدگی در پلان، اندازه آن در هر امتداد از ۲۵٪ بعد خارجی ساختمان در آن امتداد تجاوز ننماید.





ب) در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰٪ بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد.

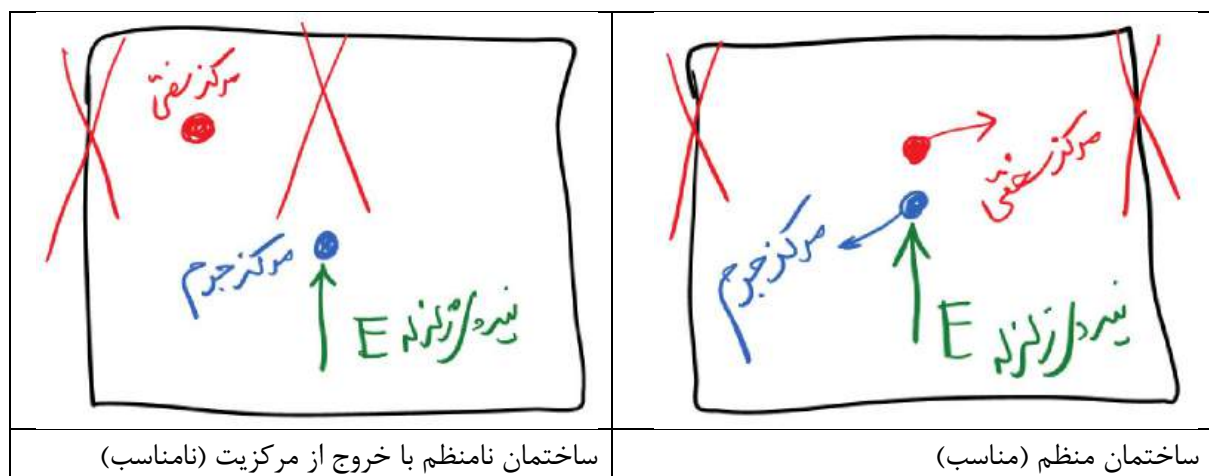
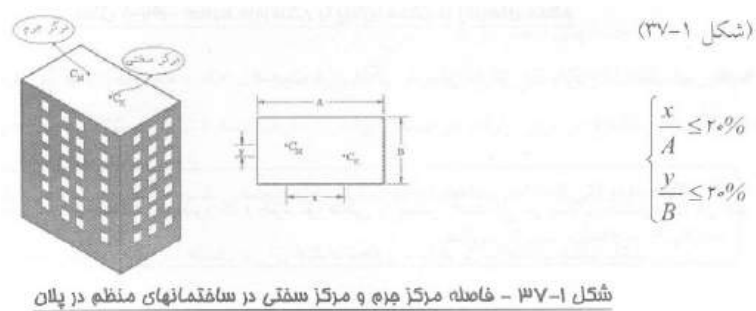


Figure 2-12:  
Torsion

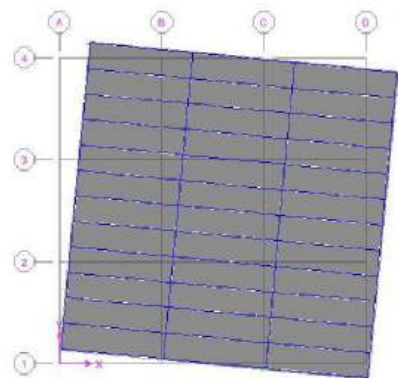
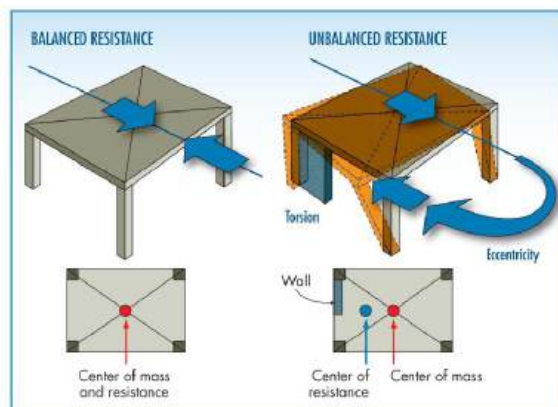
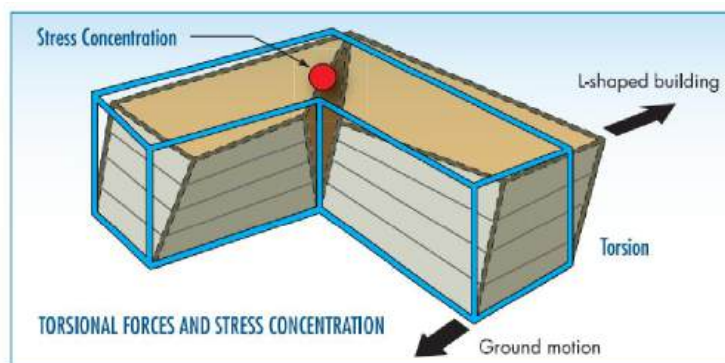
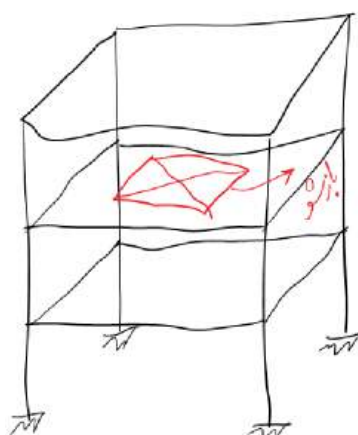


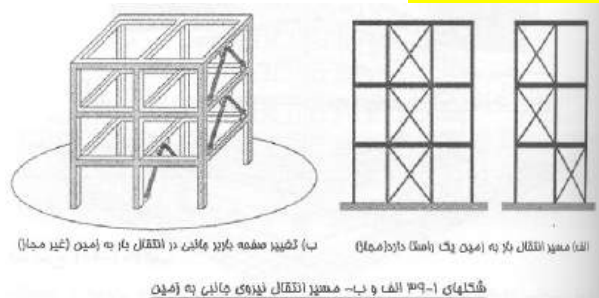
Figure 2-13:  
The re-entrant corner  
building



پ) تغییرات ناگهانی در سختی دیافراگم هر طبقه نسبت به طبقات مجاور از ۵۰٪ درصد بیشتر نبوده و مجموع سطوح بازشو در آن از ۵۰٪ درصد سطح کل دیافراگم تجاوز ننماید.



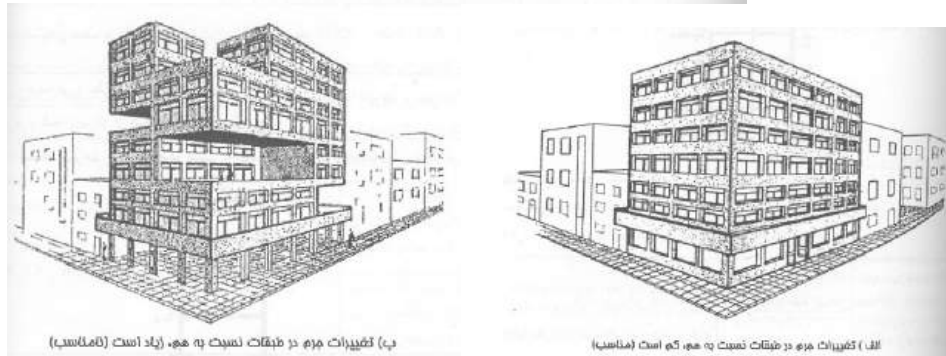
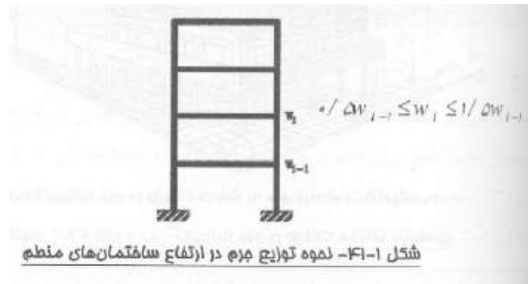
ت) در مسیر انتقال نیروی جانبی به زمین، انقطاعی مانند تغییر صفحه اجزای باربر جانبی در طبقات وجود نداشته باشد. عموماً در پارکینگ‌ها اتفاق می‌افتد.



ث) در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی، بیشتر از ۲۰٪ با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف نداشته باشد.

#### ۱-۸-۲- منظم بودن در ارتفاع

الف) توزیع جرم در ارتفاع ساختمان، تقریباً یکنواخت باشد به طوری که جرم هیچ طبقه‌ای، به استثنای بام و خرپشته بام نسبت به جرم طبقه زیر خود بیشتر از ۵۰٪ تغییر نداشته باشد.



ب) سختی جانبی در هیچ طبقه‌ای کمتر از ۷۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰٪ متوسط سختی سه طبقه روی خود نباشد. طبقه‌ای که سختی جانبی آن کمتر از محدوده عنوان شده در این بند باشد، انعطاف‌پذیر تلقی شده و «طبقه نرم» نامیده می‌شود. (در مغازه‌هایی در طبقه همکف ساختمان‌های چند طبقه واقع شده است).

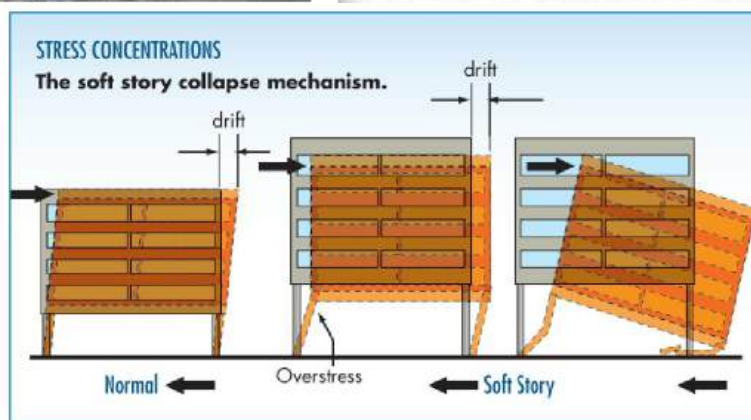
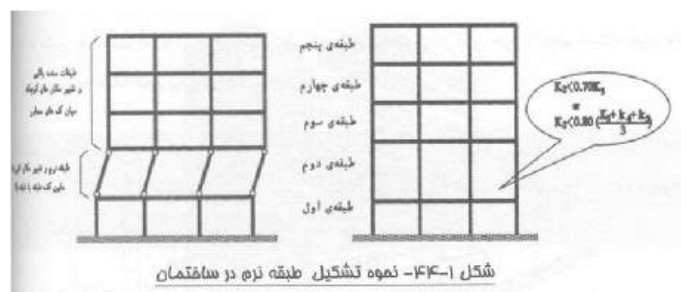


Figure 2-11:  
Soft story collapse  
mechanism

پ) مقاومت جانبی هیچ طبقه‌ای کمتر از ۸۰٪ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود نباشد. مقاومت هر طبقه برابر با مجموع مقاومت جانبی کلیه اجزای مقاومی است که برش طبقه را در جهت مورد نظر تحمل می‌نمایند. طبقه‌ای که مقاومت جانبی آن کمتر از حدود عنوان شده در این بند باشد، ضعیف تلقی شده و «طبقه ضعیف» نامیده می‌شود.

#### ۱-۸-۲- ساختمان‌های نامنظم

ساختمان‌های نامنظم به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که فاقد یک یا چند ویژگی ضوابط بند ۱-۸-۱ باشند.

#### ۱-۹-۱- گروه‌بندی ساختمان‌ها برحسب سیستم سازه‌ای

ساختمان‌ها برحسب سیستم سازه‌ای در یکی از گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

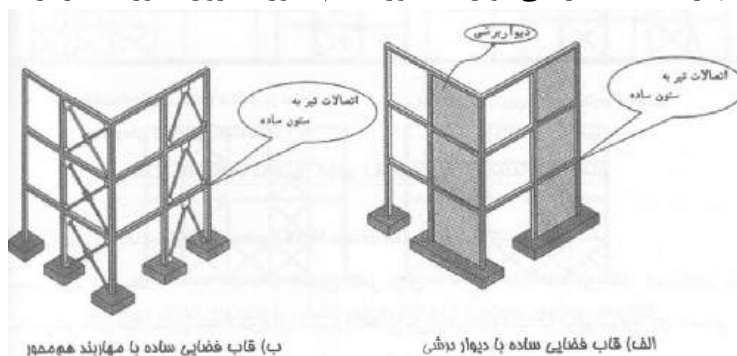
##### ۱-۹-۱-۱- سیستم دیوارهای باربر

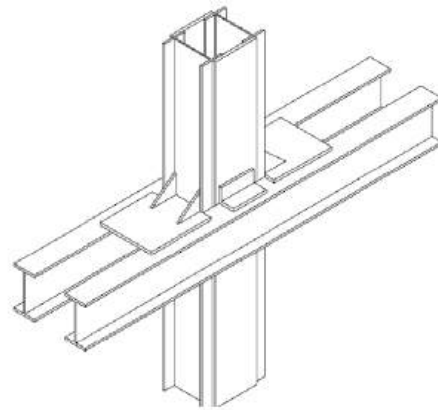
نوعی سیستم سازه‌ای است که فاقد قاب‌های ساختمانی برای باربری قائم می‌باشد. در این سیستم، دیوارهای باربر و یا قاب‌های مهاربندی شده عمدتاً بارهای قائم را تحمل نموده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی نیز به وسیله دیوارهای باربر که به صورت دیوارهای برشی عمل می‌کنند و یا قاب‌های مهاربندی شده تامین می‌شود.



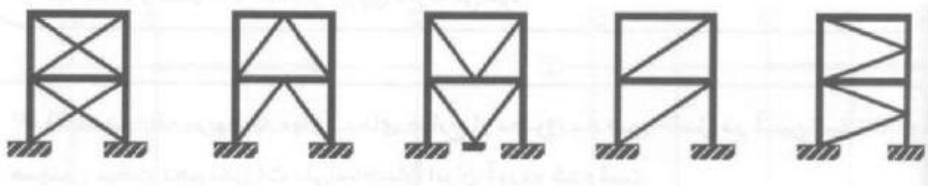
##### ۱-۹-۲- سیستم قاب ساختمانی ساده

نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم عمدتاً توسط قاب‌های ساختمانی با اتصالات ساده تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط دیوارهای برشی یا بادبند تامین می‌شود. سیستم قاب‌های با اتصالات خورجینی (رکابی) همراه با مهاربندی‌های قائم نیز از این گروه اند. در این سیستم، قاب‌های مهاربندی شده را می‌توان به صورت هم‌محور یا برون‌محور به کار برد.

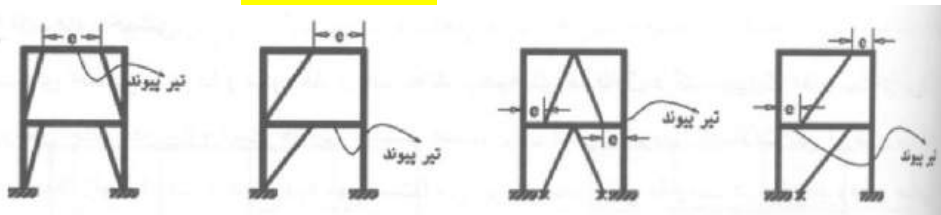




اتصال خورجینی

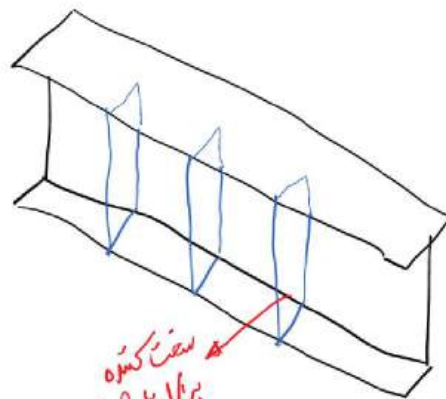
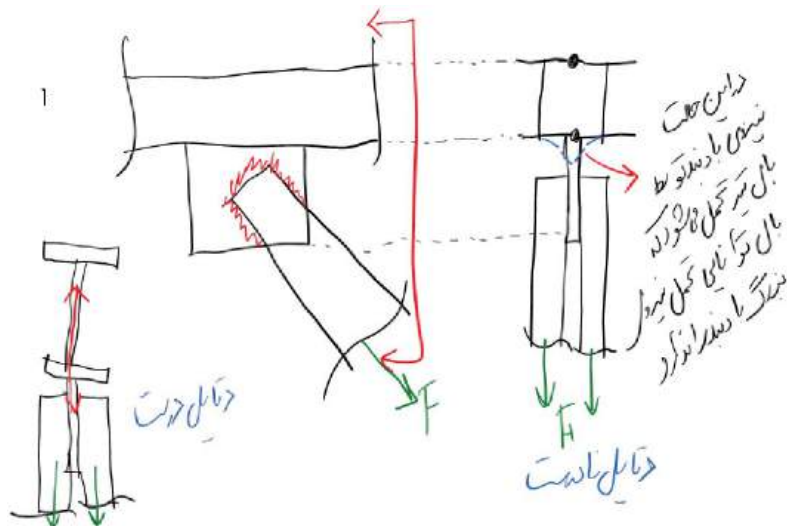
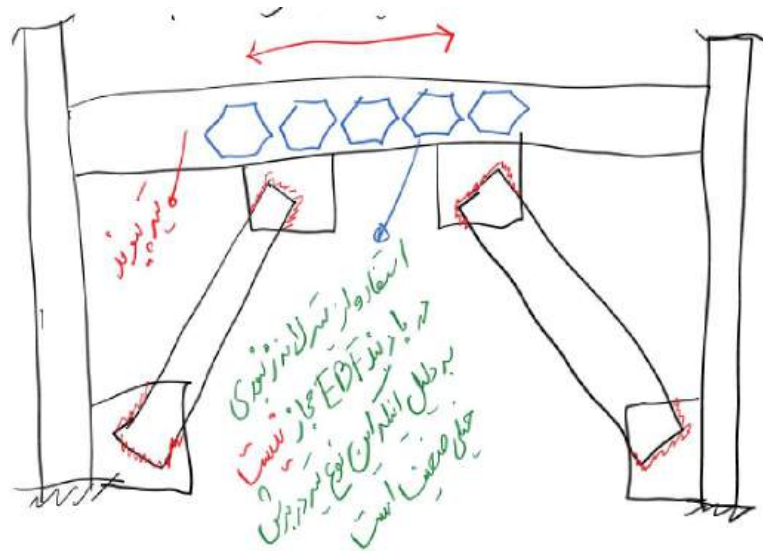


انواع قابهای مهاربندی هم‌محور (همگرا)



انواع قابهای مهاربندی برون محور (واگرا) EBF

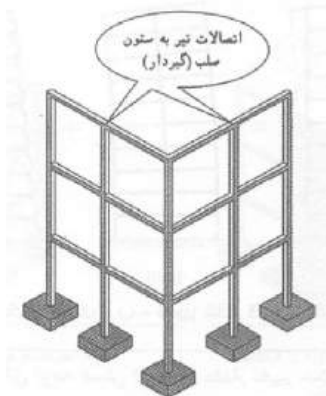
تغییر شکل‌های پلاستیک برشی در این تیر پیوند موجب می‌شود تا نیروی زلزله مستهلک شود. اگر تیر پیوند به صورت لانه زنبوری باشد، به دلیل اینکه مقاومت برشی آن کم است نمی‌تواند نیروی برشی زلزله را مستهلک کند. تیر پیوند باید عموماً از تیر ورق درست شود و در محدوده میان دو بادبند در جان آن سخت کننده قرار گیرد. نیروی محوری بادبند باید تبدیل به نیروی برشی در جان تیر شود. این انتقال نیرو باید مستقیماً و بدون واسطه بال تیر (به صورت خمشی) انجام شود.



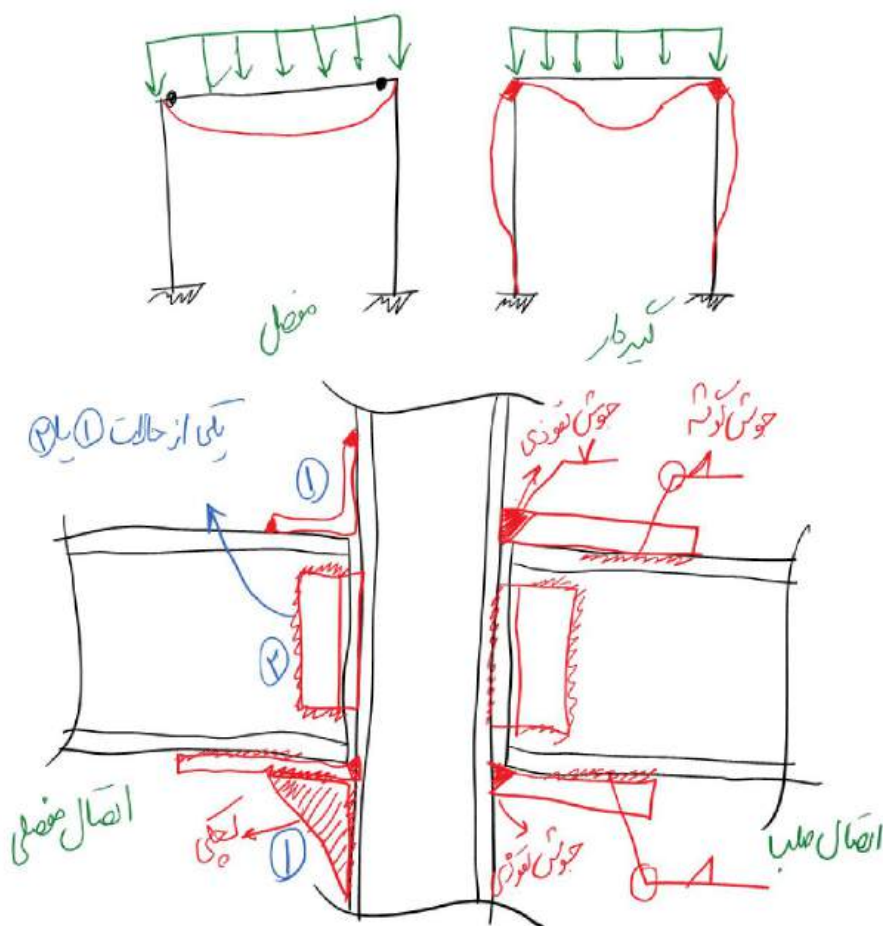
سفت کننده  
برای درستی مقاومت  
بسیار مهم است

# ۱-۹-۲- سیستم قاب خمشی

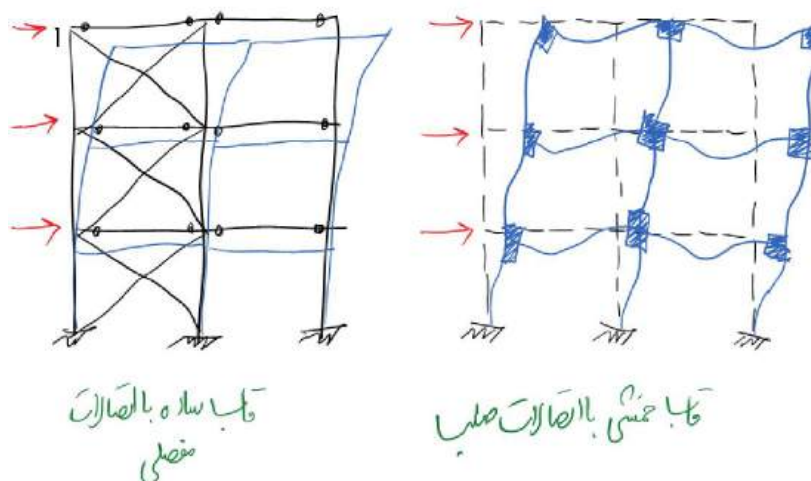
نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم توسط قاب‌های ساختمانی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط قاب‌های خمشی تامین می‌شود. سازه‌های با قاب‌های خمشی کامل، و سازه‌های با قاب‌های خمشی در پیرامون و یا در قسمتی از پلان و قاب‌های با اتصالات ساده در سایر قسمت‌های پلان، از این گروه اند. در این سیستم، قاب‌های خمشی بتنی و فولادی را می‌توان به صورت **شکل‌پذیری معمولی**، **متوسط** یا **ویژه** به کار برد.



شکل ۸-۳۸- قاب خمشی



شکل اتصال گیردار و مفصلی، سه بعدی



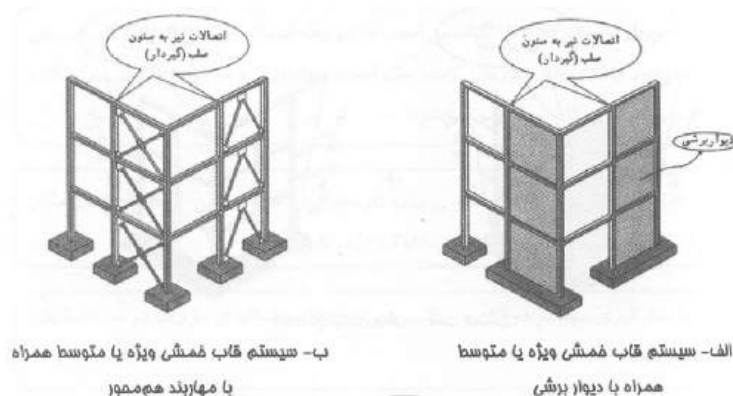
### ۱-۹-۴- سیستم دوگانه یا ترکیبی

نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن:

(الف) بارهای قائم عمدتاً توسط قابهای ساختمانی تحمل می‌شوند.

(ب) مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط مجموعه‌ای از دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده همراه با مجموعه‌ای از قاب‌های خمشی صورت می‌گیرد. سهم برش‌گیری هر یک از دو مجموعه با توجه به سختی جانبی و اندرکنش آن دو، در تمام طبقات، تعیین می‌شود.

(پ) قاب‌های خمشی مستقلاً قادرند حداقل ۲۵٪ درصد نیروی جانبی وارد به ساختمان را تحمل کنند. در ETABS باید این نوع ساختمان‌ها یک بار برای ۱۰۰٪ نیروی زلزله طراحی شوند، و بار دیگر دیوارهای برشی یا قاب خمشی حذف شده و برای ۲۵٪ نیروی زلزله طراحی شوند. هر کدام از این دو حالت بحرانی‌تر شد ملاک تهیه نقشه‌های اجرایی خواهد بود.



تبصره ۱: در ساختمان‌های کوتاه‌تر از هشت طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر، به جای توزیع بار به نسبت سختی عناصر باربر جانبی، می‌توان دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده را برای ۱۰۰٪ بار جانبی و مجموعه قاب‌های خمشی را برای ۳۰٪ بار جانبی طراحی کرد.

تبصره ۲: به کارگیری قاب‌های خمشی بتنی و فولادی معمولی برای باربری جانبی در این سیستم مجاز نمی‌باشد و در صورت استفاده از این نوع قاب، سیستم از نوع قاب ساختمانی ساده محسوب خواهد شد.

تبصره ۳: در صورتی که سیستمی الزام ردیف پ را برآورده نکند، سیستم دوگانه محسوب نشده و جز و سیستم قاب ساختمانی ساده منظور می‌گردد.

### ۳- فصل سوم : محاسبه ساختمان‌ها در برابر زلزله

#### ملاحظات کلی

تمامی ساختمان‌ها فولادی و بتنی باید مطابق با نیروهای زلزله این فصل تحلیل و طراحی شوند. ولی ساختمان‌های مصالح بنایی باید مطابق با ضوابط فصل سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی شوند. محاسبه ساختمان باید هم در برابر نیروهای باد و هم در برابر نیروهای زلزله انجام شود و هر عضو باید در برابر بیشترین مقدار تنش حاصل از این دو نیرو طراحی شود.



نکته: عموماً نیروی باد برای ساختمان‌های معمولی بحرانی نیست. تنها سوله‌ها و سازه‌های با وزن سبک و سطح بادگیر زیاد (مانند آسمان‌خراش‌ها، برج‌های خنک‌کننده، دودکش‌ها) را باید برای نیروهای باد طراحی کرد و در این سازه‌ها نیروی زلزله بحرانی خواهد بود. زیرا نیروی زلزله متناسب با جرم ساختمان زیاد می‌شود.

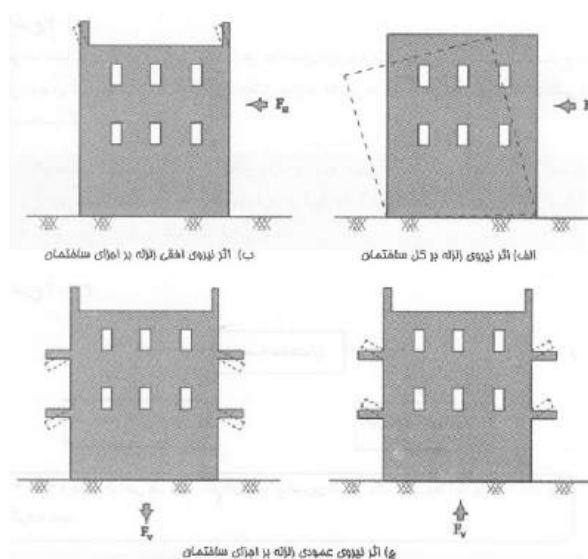


شکل سوله

در طراحی باید هم اثر مولفه افقی زلزله و هم اثر مولفه قائم زلزله در نظر گرفته شود.

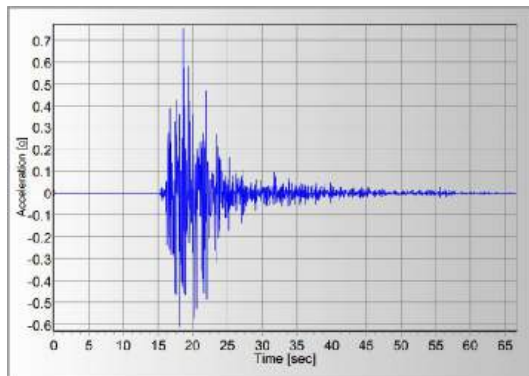
۱- مولفه افقی: برای طراحی تمامی اعضا

۲- مولفه قائم: برای طراحی بالکن‌ها و طره‌ها، تیرها با دهانه بیش از ۱۵ متر و تیرها با بار قائم متمرکز قابل توجه

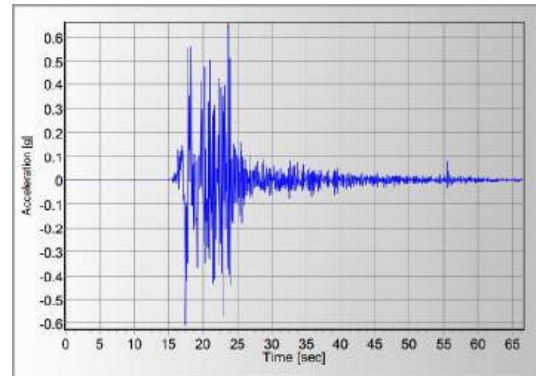


مثلاً زلزله‌ی بم دارای مولفه قائم بسیار بزرگی بود. که عملاً باعث می‌شد ساختمان به زمین کوبیده شود. در این زلزله استثنائاً مقدار مولفه قائم زلزله از مولفه افقی آن بیشتر بود.

عموما در مناطقی که نزدیک گسل (Near Field) هستند (فاصله‌ی کمتر از ۵ کیلومتری) مقدار شتاب قائم زلزله زیاد است و ممکن است حتی از مقدار شتاب افقی نیز بیشتر شود. در زلزله بم این مورد در خود شهر بم مشاهده شد.

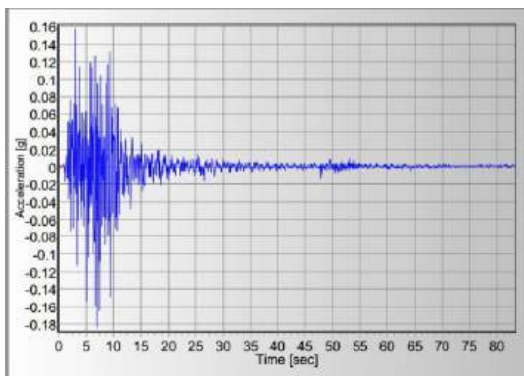


شتاب قائم

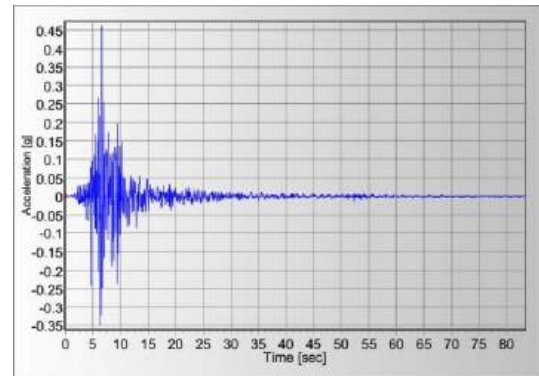


شتاب افقی

مولفه‌ی افقی و قائم زلزله بم (۱۳۸۳) - این یک زلزله میدان نزدیک بوده است و شتاب قائم از افقی بیشتر است



شتاب قائم

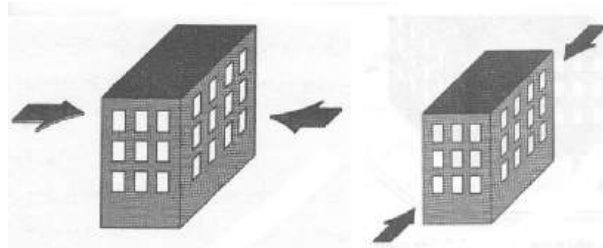


شتاب افقی

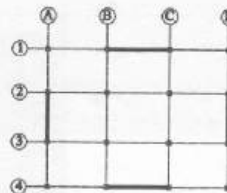
مولفه‌ی افقی و قائم زلزله اهر-ورزقان (۱۳۹۱) - این زلزله میدان دور است و شتاب افقی آن از شتاب قائم بیشتر است

ساختمان باید در دو امتداد عمود بر هم طراحی شود. ولی دو حالت مختلف برای این طراحی وجود دارد:

۱- در ساختمان‌هایی که در پلان منظم باشند و فاقد ستون‌هایی باشند که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی (دیوار برشی یا بادبند) قرار دارند (یعنی هر دو شرط باید برآورده شود)، می‌توان محاسبه نیروهای جانبی را برای هر یک از این دو امتداد به صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله امتداد دیگر انجام داد.

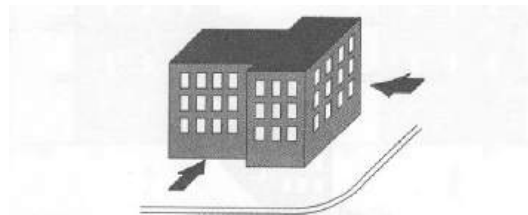


شکل ۲-۲- در پلان منظم، نیرو در دو امتداد عمود بر هم بطور مجزا در نظر گرفته می‌شود.

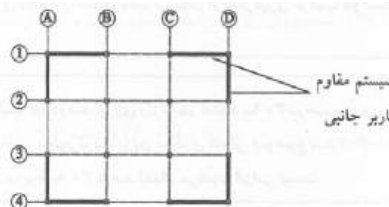


شکل ۲-۳- پلان ساختمان فاقد ستون‌های مجاور به دو سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است.

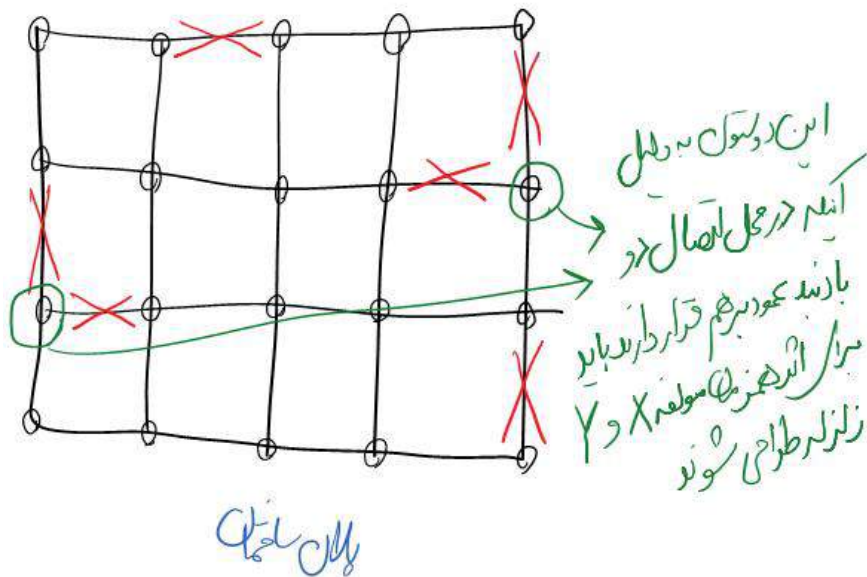
۲- در ساختمان‌هایی که در پلان نامنظم باشند و دارای ستون‌هایی باشند که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند (یعنی هر دو شرط باید برآورده شود)، باید محاسبه نیروهای جانبی را برای هر یک از این دو امتداد را تحت اثر ۱۰۰ درصد نیروی زلزله آن امتداد و ۳۰ درصد از نیروی امتداد عمود بر آن انجام داد (یعنی تمام ستونهای قاب خمشی و همچنین ستونهای موجود در محل برخورد دیوار برشی و بادبندهای عمود بر هم باید برای نیروی ۱۰۰+۳۰ طراحی شوند)



شکل ۲-۴- در پلان نامنظم، نیرو در دو امتداد عمود بر هم و بطور همزمان در نظر گرفته می‌شود.



الف- پلان ساختمان دارای ستون‌های مجاور به دو سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است.



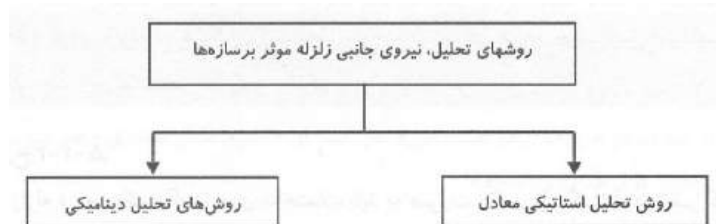
**نکته ۱:** در صورتیکه این ترکیب ۳۰+۱۰۰ در ساختمان رعایت شود دیگر احتیاجی به منظور کردن برون محوری تصادفی و پیچش تصادفی در ساختمان نیست (به این موضوع جلوتر پرداخته می شود). نیروی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان باید به صورت رفت و برگشتی لحاظ شود.



شکل ۶-۴- نیروی زلزله در ساختمان (رفت و برگشتی)

## نیروی جانبی ناشی از زلزله

نیروی ناشی از زلزله را می توان با استفاده از روش های «استاتیکی معادل» و «دینامیکی» محاسبه کرد.

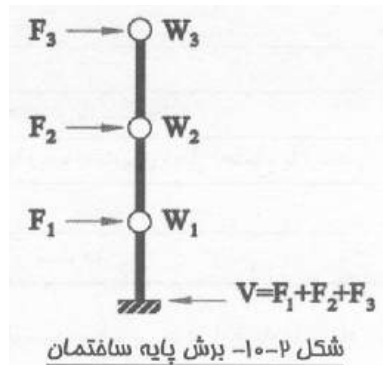
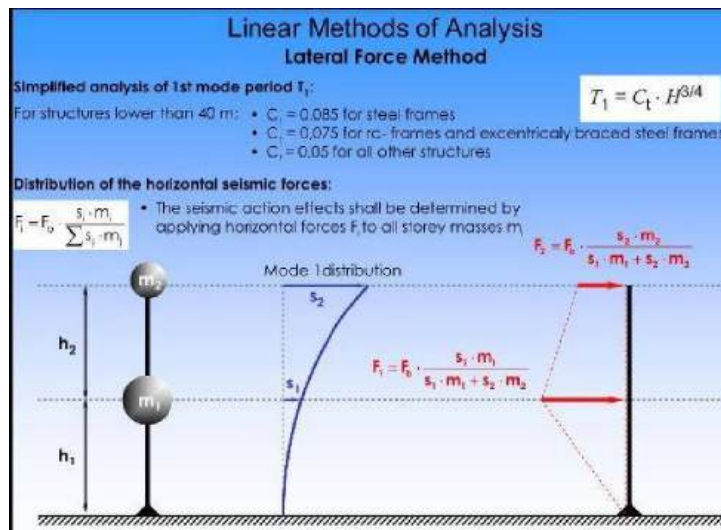


روش تحلیل استاتیکی معادل را فقط می توان در موارد زیر به کار برد:

- ۱- ساختمان های منظم با ارتفاع کمتر ۵۰ متر از تراز پایه
  - ۲- ساختمان های نامنظم تا ۵ طبقه و ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه
- روش تحلیل دینامیکی را در مورد کلیه ساختمان ها می توان به کار برد. ولی در رابطه با ساختمان های دو مورد بالا الزامی نیست.

## روش تحلیل استاتیکی معادل

ساده‌ترین روش برآورد نیروهای زلزله است. در این روش نیروهای زلزله را به صورت نیروهای افقی در نظر می‌گیریم که به صورت افقی بر تراز طبقات اثر می‌کنند.



در این روش ابتدا نیروی برشی پایه‌ی ساختمان را تعیین می‌کنند (از این رابطه مشخص است که هرچقدر وزن ساختمان بیشتر باشد، نیروی زلزله وارد بر آن بیشتر است).

$$V = C \times W > 0.1 \times A \times I \times W$$

$V$ : نیروی برشی تراز پایه که حداقل باید برابر  $0.1AIW$  باشد.

$W$ : وزن کل ساختمان شامل بار مرده (بر اساس دیتایل‌های سقف، کف‌سازی و وزن دیوارهای ساختمان) + درصدی از بار زنده (بر اساس کاربری آن تعیین می‌شود) و بار برف (که از جدول ۱ آیین‌نامه ۲۸۰۰ به دست می‌آید)

جدول ۱ درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبه نیروی جانبی زلزله

| درصد میزان بار زنده | محل بار زنده                                                     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| -----               | بامهای شیب‌دار با شیب ۲۰٪ و بیشتر*                               |
| ۲۰                  | بامهای مسطح یا با شیب کمتر از ۲۰٪                                |
| ۲۰                  | ساختمانهای مسکونی، اداری، هتل‌ها و پارکینگ‌ها                    |
| ۴۰                  | بیمارستانها، مدارس، فروشگاه‌ها و ساختمانهای محل اجتماع یا ازدحام |
| ۶۰                  | انبارها و کتابخانه‌ها                                            |
| ۱۰۰                 | مخازن آب و یا سایر مایعات و سیلوها                               |

\*در صورتی که احتمال ماندگار شدن برف بر روی این بام‌ها زیاد باشد، درصد مشارکت، مانند بامهای مسطح در نظر گرفته شود.

$C$  ضریب زلزله است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = \frac{ABI}{R} > 0.1AI$$

$A$ : نسبت شتاب مبنای طرح.

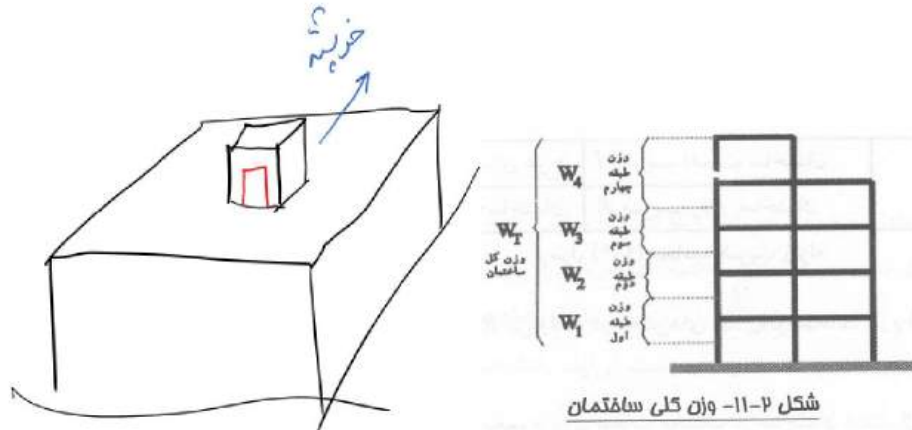
$B$ : ضریب بازتاب ساختمان که با استفاده از طیف طرح به دست می‌آید.

$I$ : ضریب اهمیت ساختمان.

$R$ : ضریب رفتار ساختمان (شکل‌پذیری سازه).

**وزن کل ساختمان (W):** مجموع وزن طبقات مختلف در ساختمان است.

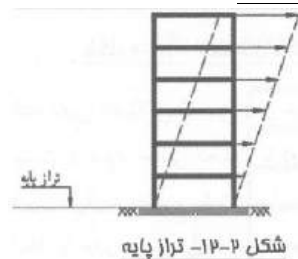
**وزن هر طبقه:** تمام بار مرده طبقه + درصدی از بار زنده طبقه (جدول ۱ آیین نامه ۲۸۰۰) + نصف وزن دیوارهای پایین طبقه مورد نظر + نصف وزن دیوارهای بالای طبقه مورد نظر (وزن خرپشته همراه با بام در نظر گرفته می شود. البته می توان خرپشته را در مدلسازی به صورت یک طبقه مستقل هم دید).



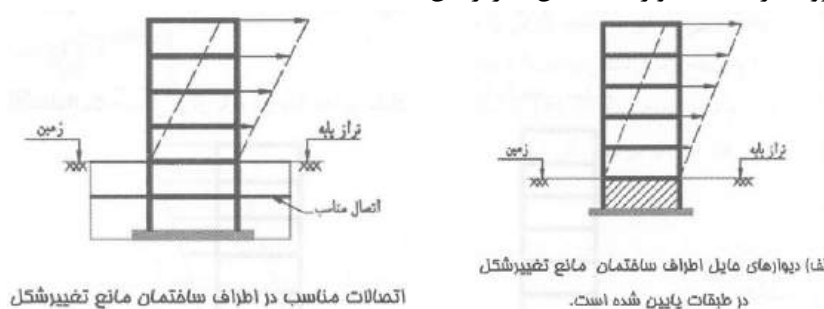
وزن طبقات عموماً توسط نرم افزارهای مهندسی مانند ETABS به صورت خودکار حساب می شوند و به محاسبه دستی آنها احتیاجی نیست. فقط باید به نحو مناسبی بار واحد سطح کف ها و دیوارها و پله ها در نرم افزار تعریف شود.

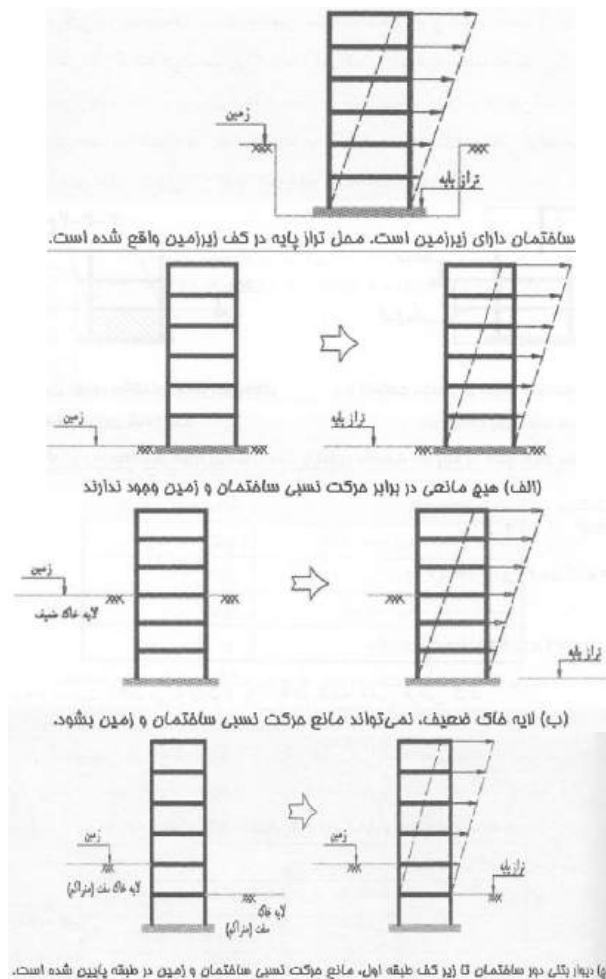
## تراز پایه

تراز پایه به ترازى در ساختمان اطلاق می شود که در هنگام وقوع زلزله از آن تراز به پایین حرکتی در ساختمان نسبت به زمین مشاهده نشود (عموماً سطح فوقانی شالوده).



ولی در مواردی که در قسمت اعظم محیط زیرزمین، دیوارهای حائل مسلح وجود دارد، و این دیوارها با سازه ساختمان یکپارچه ساخته شده اند، تراز پایه در تراز نزدیکترین کف ساختمان به زمین کوبیده شده اطراف ساختمان در نظر گرفته می شود. مشروط بر اینکه دیوارهای حائل تا زیر این کف ادامه داشته باشند.





## نسبت شتاب مبنای طرح (A)

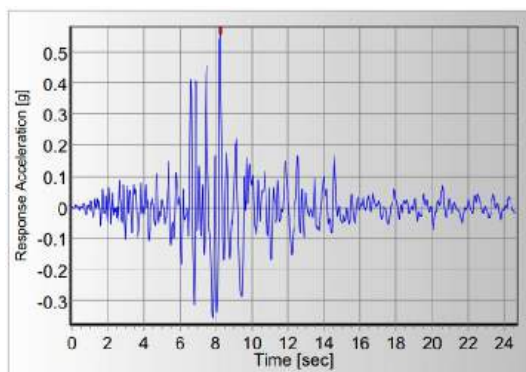
نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور بر اساس میزان لرزه‌خیزی آن و بر اساس جدول ۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ تعیین می‌شود.

ایران دارای چهار منطقه لرزه‌خیزی است.

شتاب مبنای طرح بزرگترین شتابی است که در اثر زلزله به ساختمان وارد می‌شود.

شتاب مبنای طرح به صورت نسبتی از شتاب ثقل ( $g$ ) در نظر گرفته می‌شود.

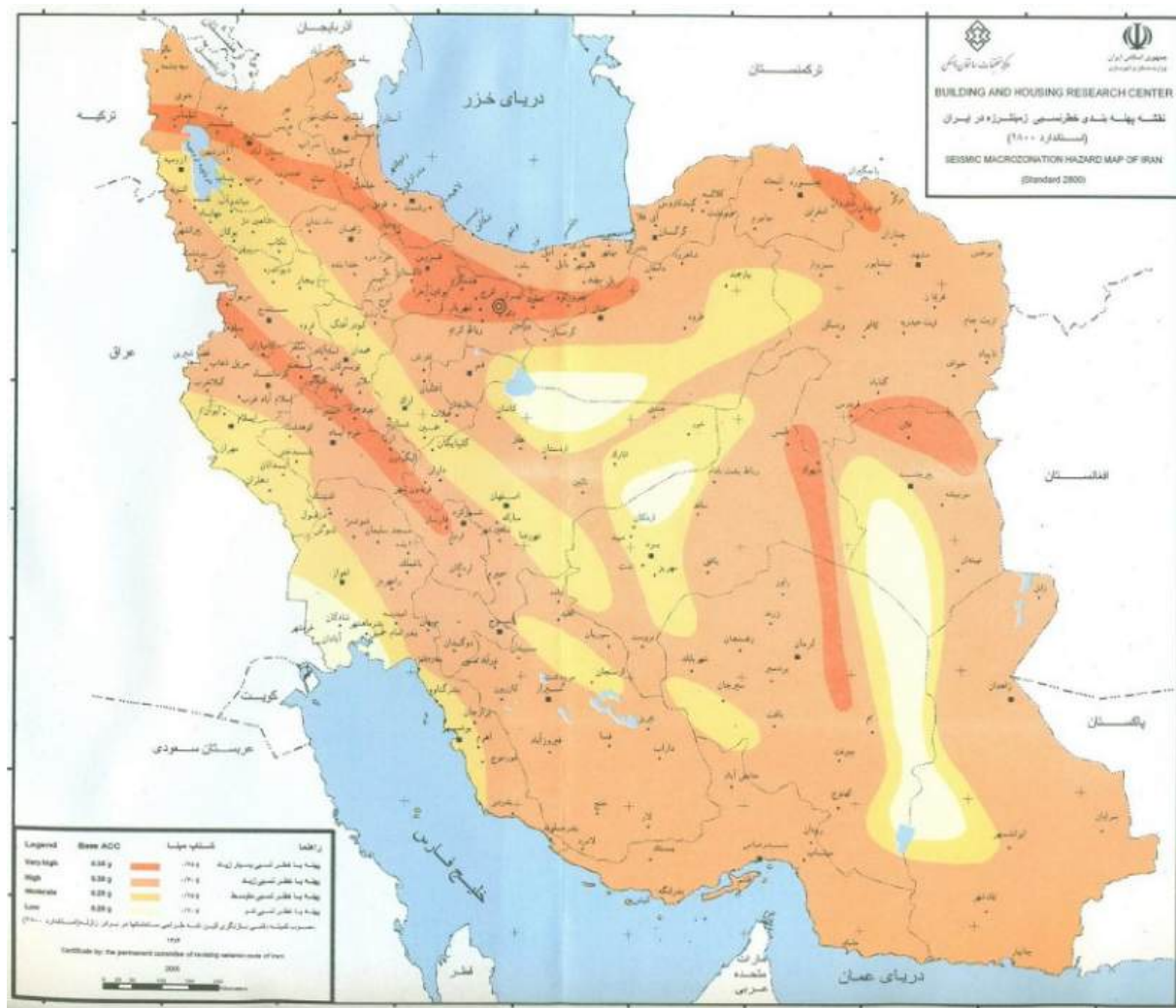
هرچقدر این شتاب افزایش یابد، ضریب زلزله نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد.



جدول ۲ نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف

| منطقه | توصیف                      | نسبت شتاب مبنای طرح |
|-------|----------------------------|---------------------|
| ۱     | پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد | ۰/۳۵                |
| ۲     | پهنه با خطر نسبی زیاد      | ۰/۳۰                |
| ۳     | پهنه با خطر نسبی متوسط     | ۰/۲۵                |
| ۴     | پهنه با خطر نسبی کم        | ۰/۲۰                |

نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در ایران به صورت زیر است که در آن ایران به چهار قسمت تقسیم شده است. این پهنه‌بندی را بر اساس پیوست ۱ آیین‌نامه ۲۸۰۰ نیز می‌توان به دست آورد.



### ضریب بازتاب ساختمان (B)

ضریب بازتاب بیانگر نحوه‌ی پاسخ ساختمان به حرکت زمین است. این ضریب تابعی از زمان تناوب اصلی ساختمان و جنس خاک محل احداث ساختمان است. به طور کلی خاک‌های به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

|             |                                          |
|-------------|------------------------------------------|
| خاک نوع I   | خاک سخت با ضخامت کمتر از ۳۰ متر          |
| خاک نوع II  | خاک سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر         |
| خاک نوع III | خاک با تراکم متوسط                       |
| خاک نوع IV  | خاک با تراکم کم یا خاک رسی با رطوبت زیاد |

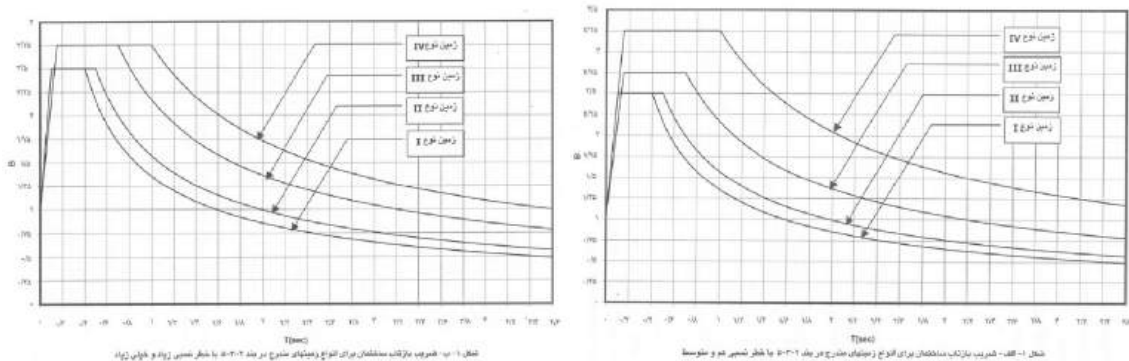
این ضریب با استفاده از روابط یا شکل‌های زیر به دست می‌آید:

$$B = 1 + S \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad 0 \leq T \leq T_0$$

$$B = 1 + S \quad T_0 \leq T \leq T_s$$

$$B = (S + 1) \times \left( \frac{T_s}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad T \geq T_s$$

$T$  : زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان است  
 $T_0, S$  : پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی وابسته‌اند و بر اساس جداول و نمودارهای زیر مشخص می‌شوند.



جدول ۳- پارامترهای مربوط به روابط (۳-۲)

| نوع زمین | $T_0$ | $T_s$ | خطر نسبی کم و متوسط | خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد |
|----------|-------|-------|---------------------|---------------------------|
| I        | ۰/۱   | ۰/۴   | ۱/۵                 | ۱/۵                       |
| II       | ۰/۱   | ۰/۵   | ۱/۵                 | ۱/۵                       |
| III      | ۰/۱۵  | ۰/۷   | ۱/۷۵                | ۱/۷۵                      |
| IV       | ۰/۱۵  | ۱/۰   | ۲/۲۵                | ۱/۷۵                      |

### زمان تناوب ساختمان (T)

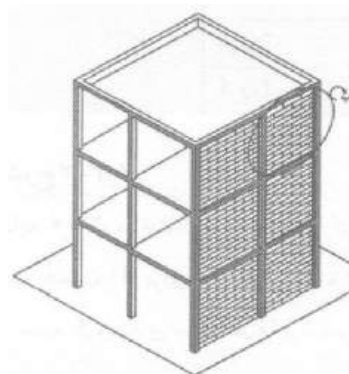
این پارامتر به مشخصات سیستم سازه‌ای ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه بستگی دارد.  
 برای قابهای خمشی فولادی:

$$T = 0.08H^{3/4}$$

برای قابهای خمشی بتنی:

$$T = 0.07H^{3/4}$$

در صورتیکه در دهانه‌های ساختمان، دیوارهایی باشند که در حرکت جانبی قاب خمشی اختلال ایجاد کنند، در این صورت مقدار  $T$  به دست آمده از رابطه بالا را باید در ۰/۸ ضرب کرد.

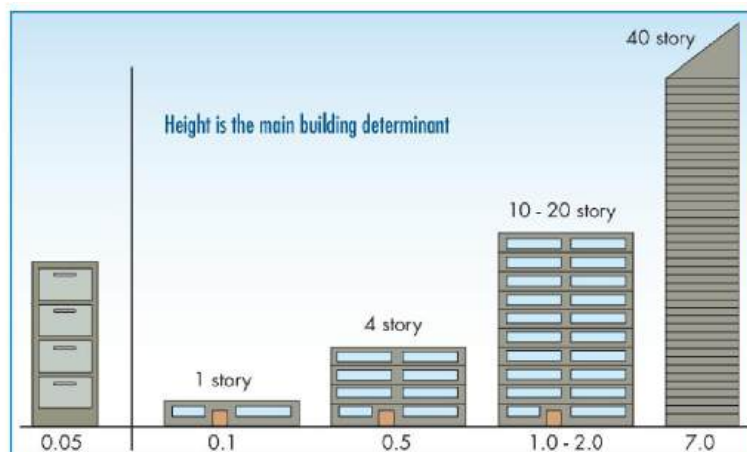


برای دیگر ساختمان‌ها (دیوارهای برشی، بادبندی ...):

$$T = 0.05H^{3/4}$$

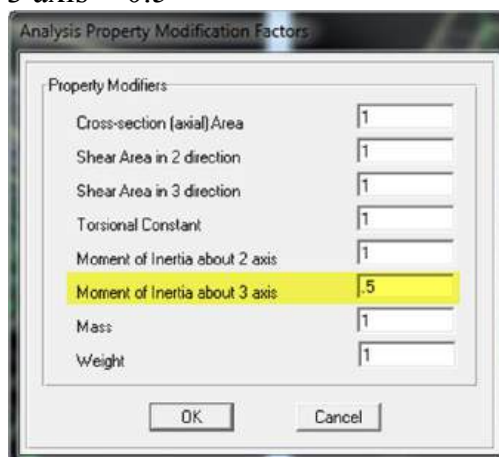
در روابط فوق  $H$  ارتفاع ساختمان بر حسب متر است. در محاسبه ارتفاع در صورتیکه وزن خرپشته از ۲۵٪ وزن بام بیشتر باشد، باید ارتفاع خرپشته نیز محسوب شود. هر طبقه تقریباً ۰/۱ ثانیه پریود دارد.

Figure 2-6:  
Period (in seconds)  
and building height



نکته: در محاسبه زمان تناوب ساختمان‌های بتنی در برنامه ETABS باید ممان اینرسی مقاطع تیرها حول محور قوی در عدد  $0.5$  ضرب شود.

Assign > Frame/Line > Frame Property Modifier  
Moment of Inertia about 3 axis = 0.5



### ضریب اهمیت ساختمان (I)

ساختمان‌ها بر اساس اهمیت‌شان به چهار دسته تقسیم می‌شود:

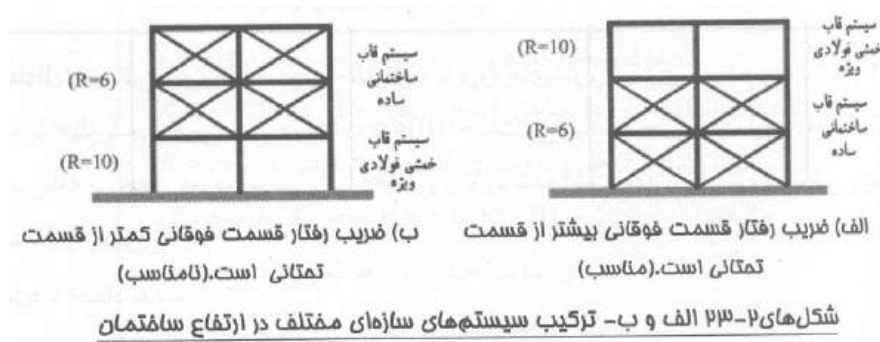
جدول ۵ ضریب اهمیت ساختمان

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

### ضریب رفتار ساختمان (R)

این ضریب نشان‌دهنده عواملی همچون شکل‌پذیری، درجه نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه است. هرچه قدر سازه شکل‌پذیرتر باشد، مقدار ضریب رفتار بزرگتری دارد.

در صورتیکه در ساختمان در یک جهت از دو سیستم باربر جانبی در یک امتداد ساختمان استفاده شود، ضریب رفتار قسمت تحتانی نباید بیشتر از ضریب رفتار قسمت فوقانی باشد (یعنی نباید سیستم تحتانی ساختمان نرمتر و شکل پذیرتر از سیستم فوقانی باشد).



جدول ۶ مقادیر ضریب رفتار ساختمان،  $R$ ، همراه با حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان  $H_m$

| $H_m$<br>(متر)                            | $R$                               | سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | سیستم سازه                    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| ۵۰<br>۵۰<br>۳۰<br>۱۵                      | ۷<br>۶<br>۵<br>۴                  | ۱- دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه<br>۲- دیوارهای برشی بتن مسلح متوسط<br>۳- دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی<br>۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح                                                                                                                                                                                                                                                                                      | الف- سیستم<br>دیوارهای باربر  |
| ۵۰<br>۵۰<br>۳۰<br>۱۵<br>۵۰<br>۵۰          | ۸<br>۷<br>۵<br>۴<br>۷<br>۶        | ۱- دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه<br>۲- دیوارهای برشی بتن مسلح متوسط<br>۳- دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی<br>۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح<br>۵- مهاربندی برون محور فولادی [۵]<br>۶- مهاربندی هم محور فولادی [۱]                                                                                                                                                                                                                | ب- سیستم قاب<br>ساختمانی ساده |
| ۱۵۰<br>۵۰<br>-<br>۱۵۰<br>۵۰<br>-          | ۱۰<br>۷<br>۴<br>۱۰<br>۷<br>۵      | ۱- قاب خمشی بتن مسلح ویژه [۲]<br>۲- قاب خمشی بتن مسلح متوسط [۲]<br>۳- قاب خمشی بتن مسلح معمولی [۲] و [۳]<br>۴- قاب خمشی فولادی ویژه [۱]<br>۵- قاب خمشی فولادی متوسط [۵]<br>۶- قاب خمشی فولادی معمولی [۳] و [۴]                                                                                                                                                                                                                     | پ- سیستم قاب<br>خمشی          |
| ۲۰۰<br>۷۰<br>۷۰<br>۱۵۰<br>۱۵۰<br>۷۰<br>۷۰ | ۱۱<br>۸<br>۸<br>۱۰<br>۹<br>۷<br>۷ | ۱- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای<br>برشی بتن مسلح ویژه<br>۲- قاب خمشی بتنی متوسط + دیوارهای برشی بتن<br>مسلح متوسط<br>۳- قاب خمشی فولادی متوسط + دیوارهای برشی بتن<br>مسلح متوسط<br>۴- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی برون محور<br>فولادی<br>۵- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی هم محور<br>فولادی<br>۶- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی برون محور<br>فولادی<br>۷- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی هم محور<br>فولادی | ت- سیستم دوگانه<br>یا ترکیبی  |

مثال: یک ساختمان اداری ۸ طبقه با سیستم قاب خمشی بتنی ویژه در شهر منجیل و بر روی خاک نوع ۲ احداث شده است. وزن کل ساختمان ۱۲۰۰ تن است. اگر ارتفاع ساختمان از تراز پایه ۳۲ متر باشد، مقدار برش پایه را در ساختمان به دست آورید.

حل:

ساختمان اداری (گروه با اهمیت متوسط-صفحه ۲۰) در گروه ۳ ضریب اهمیت قرار دارد (جدول ۵)

$$I = 1$$

شهر منجیل در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد قرار دارد (نقشه پهنه‌بندی یا پیوست ۱ آیین‌نامه ۲۸۰۰ بر اساس حروف الفبا شهرها را طبقه بندی کرده است. جدول ۲ جزوه)

$$A = 0.35$$

قاب خمشی بتنی با شکل پذیری ویژه (جدول ۶)

$$R = 10$$

خاک نوع ۲ است و در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد قرار دارد (جدول ۳):

$$T_0 = 0.1$$

$$T_s = 0.5$$

$$S = 1.5$$

با توجه به اینکه ساختمان قاب خمشی بتنی است بنابراین زمان تناوب آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$T = 0.07H^{3/4} = 0.07 \times 32^{0.75} = 0.94_{sec}$$

مقدار ضریب بازتاب ساختمان به دست می‌آید:

$$T > T_s \rightarrow B = (S + 1) \times \left(\frac{T_s}{T}\right)^{2/3} = (1.5 + 1) \times \left(\frac{0.5}{0.94}\right)^{2/3} = 1.64$$

مقدار ضریب زلزله محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 \times 1.64 \times 1}{10} = 0.0574 > (0.1AI = 0.1 \times 0.35 \times 1 = 0.035)$$

مقدار برش پایه ناشی از نیروی زلزله به صورت زیر به دست می‌آید:

$$V = C \times W = 0.0574 \times 1200 = 69_{Ton}$$

تمرین ۱: ساختمان یک بیمارستان ۴ طبقه با سیستم دوگانه‌ی ترکیبی قاب خمشی ویژه+دیوار برشی بتن مسلح ویژه در شهر رشت و بر روی خاک نوع ۴ احداث شده است. وزن کل ساختمان ۳۴۰۰ تن است. اگر ارتفاع ساختمان از تراز پایه ۱۶ متر باشد، مقدار برش پایه را به دست آورید.

تمرین ۲: یک ساختمان مدرسه ۶ طبقه با سیستم قاب خمشی بتن مسلح متوسط در جهت X و دیوار برشی بتن مسلح متوسط در جهت Y در شهر تهران و بر روی خاک نوع ۱ احداث شده است. وزن کل ساختمان ۲۵۸۰ تن است. اگر ارتفاع ساختمان از تراز پایه ۲۴ متر باشد، مقدار برش پایه را در دو جهت به دست آورید.

## توزیع نیروی برشی در ارتفاع ساختمان

نیروی برش زلزله به دست آمده را باید توسط رابطه زیر در ارتفاع ساختمان توزیع کرد. عموماً برنامه ETABS این کار را به صورت خودکار انجام می‌دهد و نیازی به انجام اینکار به صورت دستی نمی‌باشد.

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

مطابق شکل زیر هرچقدر به سمت طبقات بالاتر می‌رویم، مقدار نیروی زلزله وارد به هر طبقه افزایش می‌یابد. ولی مقدار برش در طبقات پایین‌تر بیشتر از طبقات بالایی است.

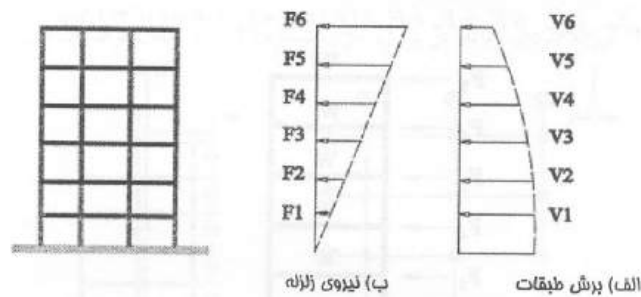
$V$ : مقدار برش پایه

$F_t$ : نیروی شلاقی واقع بر تراز بام یا طبقه آخر

$W_i$ : وزن طبقه  $i$  ام

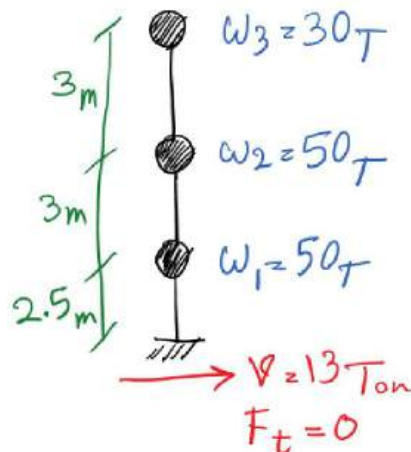
$h_i$ : ارتفاع طبقه  $i$  ام از سطح زمین

$F_i$ : نیروی زلزله وارد بر طبقه  $i$  ام



شکل ۳-۴ الف و ب- توزیع نیروی جانبی و نیروی برشی در طبقات ساختمان

مثال: توزیع نیروی برشی در طبقات ساختمان زیر را به دست آورید.



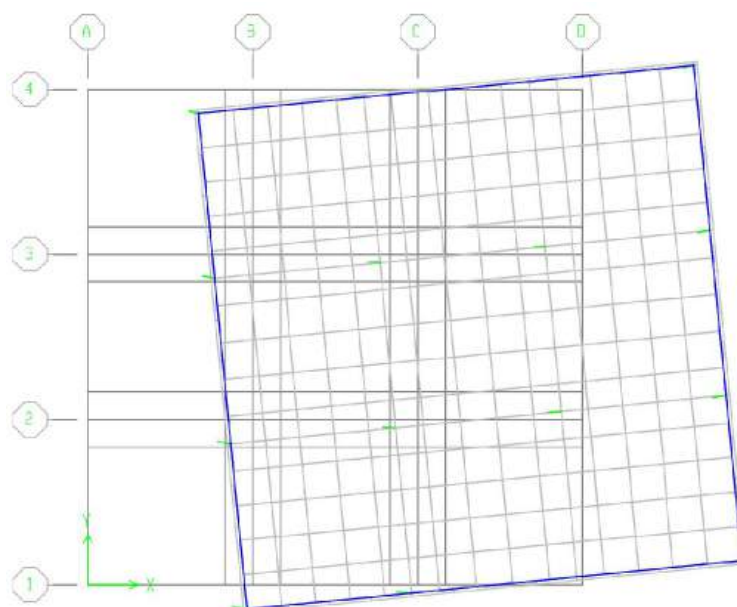
حل:

$$\sum W_j h_j = W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3 = 50 \times 2.5 + 50 \times 5.5 + 30 \times 8.5 = 655_{Ton.m}$$

|          | $W_i$ | $h_i$ | $W_i h_i$ | $\sum W_j h_j$ | V  | $F_t$ | $F_i$                                    |
|----------|-------|-------|-----------|----------------|----|-------|------------------------------------------|
| طبقه اول | 50    | 2.5   | 125       | 655            | 13 | 0     | $\frac{125}{655} \times 13 = 2.48_{Ton}$ |
| طبقه دوم | 50    | 5.5   | 275       | 655            | 13 | 0     | $\frac{275}{655} \times 13 = 5.45_{Ton}$ |
| طبقه سوم | 30    | 8.5   | 255       | 655            | 13 | 0     | $\frac{255}{655} \times 13 = 5.06_{Ton}$ |
| مجموع    |       |       |           |                |    |       | 12.99 ~ 13 Ton                           |

### توزیع نیروی برشی در پلان ساختمان

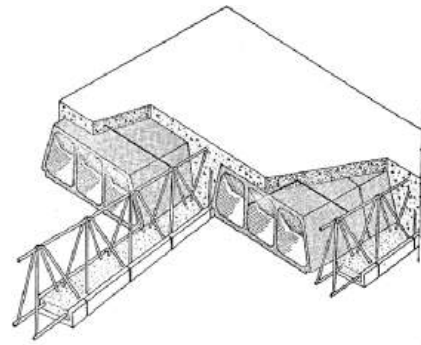
در صورتیکه میان مرکز جرم و مرکز سختی هر طبقه فاصله وجود داشته باشد، به دلیل اینکه نیروی زلزله در مرکز جرم طبقه اثر می‌کند ولی کف هر طبقه حول مرکز سختی آن می‌چرخد در نتیجه علاوه بر نیروی برشی در هر طبقه، یک نیروی پیچشی ناشی از زلزله هم به وجود می‌آید.



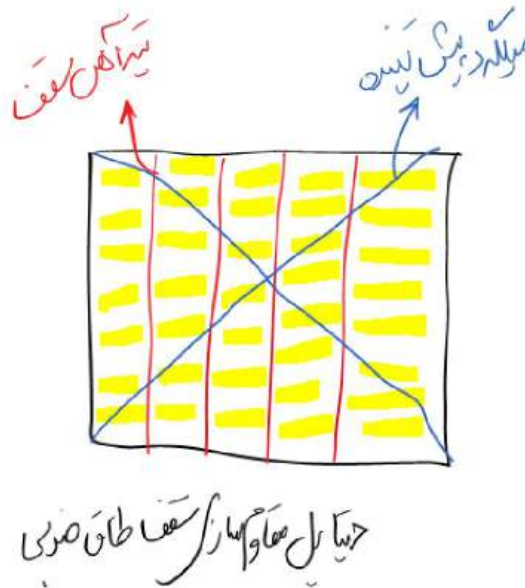
این نیروی پیچشی باید به تناسب سختی بادبندها، دیوارهای برشی و یا قاب‌ها بین آنها توزیع شود. البته شرط به وجود نیروی پیچشی در صورتی است که سقف ساختمان صلب باشد (یعنی سقف تیرچه و بلوک، سقف کامپوزیت یا دال بتن مسلح با ضخامت دال حداقل ۵ سانتی‌متر داشته باشیم). ولی در صورتیکه سقف از نوع طاق ضربی باشد نیروی پیچشی در سقف تولید نخواهد شد. توزیع نیروی برشی و پیچشی ناشی از زلزله در سقف‌ها به صورت خودکار توسط ETABS انجام می‌شود.



### سقف انعطاف پذیر (سقف طاق ضربی)

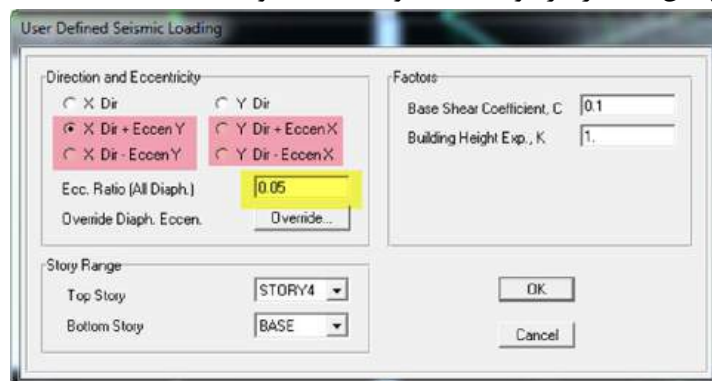


سقف‌ها صلب (تیرچه بلوک، سقف کامپوزیت، دال بتنی)



### اثر برون محوری تصادفی ناشی از زلزله

آیین نامه صراحت دارد در صورتی که حتی مرکز جرم و مرکز سختی ساختمان بر روی یکدیگر قرار داشته باشند، باید یک برون محوری تصادفی به اندازه ۵٪ بعد ساختمان در جهت عمود بر راستای زلزله در نظر گرفته شده و پیش متناظر با آن محاسبه و به ساختمان اعمال شود. به این منظور باید ضریب ۰/۰۵ را در برنامه ETABS برای تمامی بارهای زلزله اعمال کرد. این ضریب و برون محوری تصادفی باید هم در سمت راست مرکز جرم و هم در سمت چپ مرکز جرم وارد شود. همچنین باید در هر دو سمت X و Y لحاظ شود.

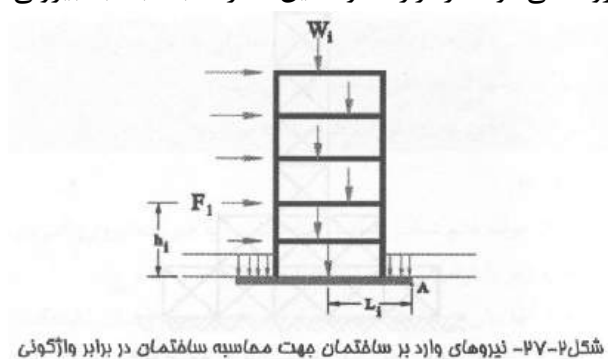


## محاسبه ساختمان در برابر واژگونی

کل ساختمان باید از نظر واژگونی پایدار باشد. لنگر واژگونی ناشی از نیروی زلزله در تراز شالوده برابر با مجموع حاصلضرب نیروی جانبی هر تراز در ارتفاع آن نسبت به تراز زیر شالوده ساختمان است.



ضریب اطمینان در برابر واژگونی باید حداقل برابر ۱/۷۵ باشد. در محاسبه لنگر مقاوم، بار تعادل برابر بار قائمی است که برای تعیین نیروی جانبی به کار رفته است. بر این بارها وزن شالوده و خاک روی آن نیز افزوده می‌شود. در تراز شالوده این لنگر نسبت به لبه بیرونی شالوده محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۲۷- نیروهای وارد بر ساختمان جهت محاسبه ساختمان در برابر واژگونی

لنگر واژگونی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{O(Overturning)} = \sum_{i=0}^n F_i h_i$$

$F_i$  : نیروی جانبی هر طبقه

$h_i$  : ارتفاع هر طبقه از تراز پایه

لنگر مقاوم نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{R(Resistant)} = \sum_{i=0}^n w_i l_i + wL$$

$w_i$  : وزن هر طبقه

$L_i$  : فاصله وزن طبقه از لبه بیرونی فونداسیون

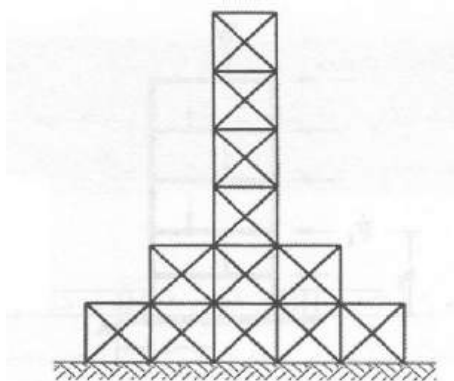
$w$  : وزن فونداسیون و خاک روی آن

$L$  : فاصله وزن شالوده از لبه بیرونی فونداسیون

نسبت لنگر مقاوم به لنگر واژگونی باید بزرگتر از ۱/۷۵ باشد.

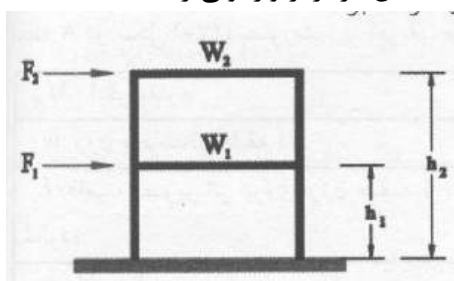
$$\frac{M_R}{M_O} \geq 1.75$$

در صورتیکه در ساختمان دیوار برشی و یا بادبند وجود داشته باشد، مقدار لنگر واژگونی به نسبت قابهای خمشی بیشتر شده و پایداری ساختمان به خطر می افتد. در این صورت می توان طول یا عرض ساختمان را افزایش داد تا لنگر مقاوم بیشتر شود.



شکل ۲-۲۸- توزیع سیستم باربر مانی طول بیشتر

مثال: در یک ساختمان یک طبقه روی پیلوت (دو سقف) منظم، با وزن موثر هر طبقه برابر با ۸۰ تن و ارتفاع هر طبقه مساوی ۳ متر، اگر برش پایه برابر ۲۵ تن باشد، لنگر واژگونی چقدر است؟ در صورتیکه طول فونداسیون ۵ متر و وزن آن ۲۰ تن باشد. ضریب اطمینان در برابر واژگونی را حساب کنید.



حل: در ابتدا باید نیروی وارد بر هر طبقه را حساب کنیم:

$$F_1 = V \times \frac{w_1 \times h_1}{\sum_{j=1}^2 w_j h_j} = 25 \frac{80 \times 3}{80 \times 3 + 80 \times 6} = 8.34_{Ton}$$

$$F_2 = V \times \frac{w_2 \times h_2}{\sum_{j=1}^2 w_j h_j} = 25 \frac{80 \times 6}{80 \times 3 + 80 \times 6} = 16.67_{Ton}$$

مقدار لنگر واژگونی (محرک) برابر خواهد بود با:

$$M_O = F_1 \times h_1 + F_2 \times h_2 = 8.34 \times 3 + 16.67 \times 6 = 125_{Ton.m}$$

مقدار لنگر مقاوم برابر خواهد بود با:

$$M_R = 80 \times 2.5 + 80 \times 2.5 + 20 \times 2.5 = 450_{Ton.m}$$

$$F.S. = \frac{M_R}{M_O} = \frac{450}{125} = 3.6 \geq 1.75$$

پس ساختمان در برابر واژگونی با ضریب اطمینان ۳/۶ مقاوم است.

در برنامه ETABS می‌توان مقدار نیروهای زلزله و نیروهای افقی وزن را بر اساس دستور زیر به دست آورد و سپس آنها را در برنامه EXCEL قرار داده و محاسبات مربوطه انجام شود.

Display > Show Table > Analysis Result > Building output > Story Shear

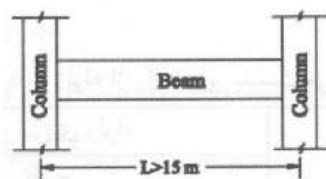
$V_x$  و  $V_y$ : نیروی برشی زلزله در تراز طبقات هستند که باید تبدیل به نیروهای زلزله شوند. این نیروها باید برای  $E_x$  و  $E_y$  استخراج شوند. سپس این نیروهای برشی باید به نیروهای زلزله در تراز هر طبقه تبدیل شوند.  $P$ : نیروی وزن تمام طبقات بالایی بر روی تراز همان طبقه است که این نیرو نیز باید به وزن هر طبقه تبدیل شود.

| Story Shears |      |        |         |         |      |            |             |              |  |
|--------------|------|--------|---------|---------|------|------------|-------------|--------------|--|
| Edit View    |      |        |         |         |      |            |             |              |  |
| Story Shears |      |        |         |         |      |            |             |              |  |
| Story        | Load | Loc    | P       | VX      | VY   | T          | MX          | MY           |  |
| STORY4       | DEAD | Top    | 564.09  | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 373288.908  | -373288.908  |  |
| STORY4       | DEAD | Bottom | 928.89  | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 401280.718  | -401280.718  |  |
| STORY4       | LIVE | Top    | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY4       | LIVE | Bottom | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY4       | EX   | Top    | 0.00    | -143.44 | 0.00 | 49399.412  | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY4       | EX   | Bottom | 0.00    | -143.44 | 0.00 | 49399.412  | 0.000       | -20654.806   |  |
| STORY3       | DEAD | Top    | 1792.99 | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 774569.624  | -774569.624  |  |
| STORY3       | DEAD | Bottom | 1857.78 | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 802561.433  | -802561.433  |  |
| STORY3       | LIVE | Top    | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY3       | LIVE | Bottom | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY3       | EX   | Top    | 0.00    | -254.92 | 0.00 | 87753.964  | 0.000       | -20654.806   |  |
| STORY3       | EX   | Bottom | 0.00    | -254.92 | 0.00 | 87753.964  | 0.000       | -57363.094   |  |
| STORY2       | DEAD | Top    | 2721.88 | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 1175850.341 | -1175850.341 |  |
| STORY2       | DEAD | Bottom | 2786.67 | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 1203842.149 | -1203842.149 |  |
| STORY2       | LIVE | Top    | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY2       | LIVE | Bottom | 0.00    | 0.00    | 0.00 | 0.000      | 0.000       | 0.000        |  |
| STORY2       | EX   | Top    | 0.00    | -326.24 | 0.00 | 113390.331 | 0.000       | -57363.094   |  |
| STORY2       | EX   | Bottom | 0.00    | -326.24 | 0.00 | 113390.331 | 0.000       | -104773.676  |  |

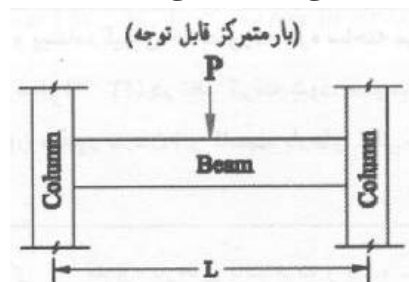
## نیروی قائم زلزله:

نیروی قائم زلزله تنها در موارد زیر باید در تحلیل و طراحی لحاظ شوند:

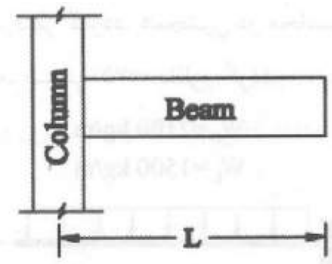
۱- تیرها با دهانه‌های بیشتر از ۱۵ متر.



۲- تیرهایی که بار قائم متمرکز قابل توجهی را تحمل می‌کنند.



۳- باکن‌ها و پیش‌آمدگی‌هایی که به صورت کنسول (طره) ساخته می‌شوند.



مقدار نیروی قائم زلزله برای تیرهای بلند و تیرها با بار متمرکز (موارد ۱ و ۲) به صورت زیر است:

$$F_v = 0.7AIW_p$$

مقدار نیروی قائم زلزله برای کنسول‌ها (مورد ۳) به صورت زیر است. در این حالت باید بار قائم زلزله هم در جهت بالا و هم در جهت پایین در نظر گرفته شود:

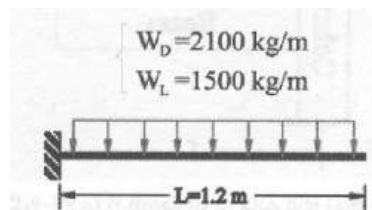
$$F_v = 1.4AIW_p$$

**$F_v$ : نیروی قائم زلزله**

$A$  و  $I$ : شتاب مبنای طرح و ضریب اهمیت ساختمان

$W_p$ : بار مرده + کل بار زنده (به بار زنده «سربار» هم می‌گویند)

مثال: در یک تیر طره ۱/۲ متری زیر، که در شهر تهران و در ساختمان یک مدرسه ساخته شده است، مقدار بار زلزله قائم وارد بر کنسول را حساب کنید.

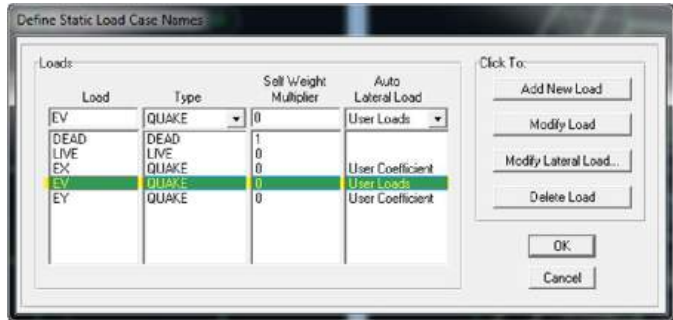
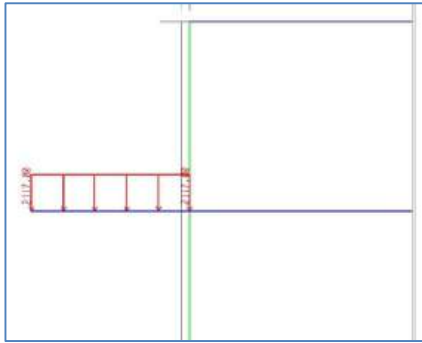


حل:

شهر تهران دارای شتاب مبنای طرح ۰/۳۵ و ساختمان مدرسه دارای ضریب اهمیت ۱/۲ است. پس مقدار بار زلزله قائم وارد بر کنسول به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_v = 1.4AIW_p = 1.4 \times 0.35 \times 1.2 \times (2100 + 1500) = 2117 \text{ kg/m}$$

برای این کار در برنامه ETABS باید ابتدا یک ترکیب بار Ez را به صورت User Load تعریف کرده و سپس مقدار این بار را به اعضای کنسول اختصاص دهیم. توجه کنید که بار قائم زلزله توسط برنامه ETABS محاسبه نمی‌شود. دقت کنید که بار Ez (همان  $F_v$ ) را باید هم به صورت مثبت و هم به صورت منفی در ترکیبات بارگذاری معرفی کنید.



## ترکیب نیروهای قائم زلزله با نیروهای افقی زلزله

بارهای قائم و افقی زلزله باید به صورت زیر در ترکیبات بارگذاری وارد شوند (در صورتیکه از این ضابطه استفاده کنیم، دیگر لازم نیست که اثر برون محوری تصادفی را در بارهای زلزله لحاظ کنیم):

۱-  $1.0 \times$  نیروی زلزله در هر امتداد افقی +  $0.3 \times$  نیروی زلزله در امتداد افقی دیگر +  $0.3 \times$  نیروی قائم زلزله

۲-  $1.0 \times$  نیروی زلزله در امتداد قائم +  $0.3 \times$  نیروی زلزله در هر یک از دو امتداد افقی عمود برهم

در واقع به صورت خلاصه این دو بند به صورت زیر خواهند بود:

$$E_x + 0.3E_y + 0.3E_z$$

$$E_y + 0.3E_x + 0.3E_z$$

$$E_z + 0.3E_x + 0.3E_y$$

بنابراین مثلاً در یک ساختمان فولادی باید ترکیبات بارگذاری زیر جهت طراحی اعضای فولادی با توجه به بند بالا معرفی شوند (البته این ترکیبات بارگذاری کامل نیستند و ترکیبات دیگری هم لازم است):

$$0.75(D + L \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z)$$

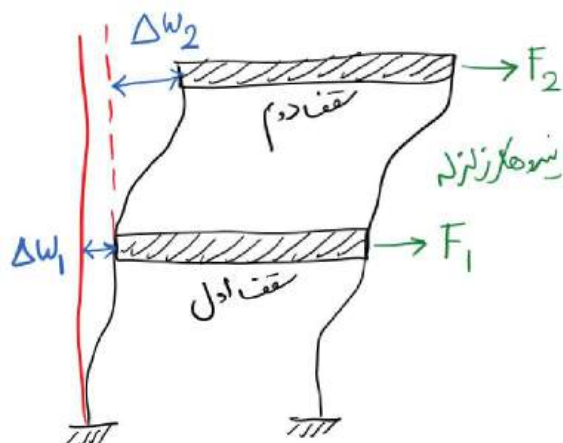
$$0.75(D + L \pm E_y \pm 0.3E_x \pm 0.3E_z)$$

$$0.75(D + L \pm E_z \pm 0.3E_x \pm 0.3E_y)$$

## روشهای تحلیل دینامیکی = همانند برای ترم بعد

### کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ساختمان (Drift)

یکی از مهمترین مواردی که باید پس از تحلیل سازه و قبل از طراحی سازه انجام شود، کنترل تغییر مکان جانبی نسبی ساختمان است. تغییر مکان نسبی جانبی در واقع، اختلاف تغییر مکانهای مراکز جرم کف طبقات بالا و پایین از یکدیگر می باشد.



برای کنترل تغییرمکان جانبی نسبی ساختمان باید از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_w$$

در این رابطه،

$\Delta_M$ : تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در هر طبقه (باید به صورت دستی حساب شود)

$\Delta_w$ : تغییرمکان جانبی نسبی طرح در هر طبقه (برنامه ETABS این پارامتر را حساب می‌کند). برنامه ETABS مقدار  $\Delta_w$  را نمی‌دهد بلکه مقدار Drift محاسبه شده و باید مقدار Drift توسط کاربر در ارتفاع طبقه ضرب شود.

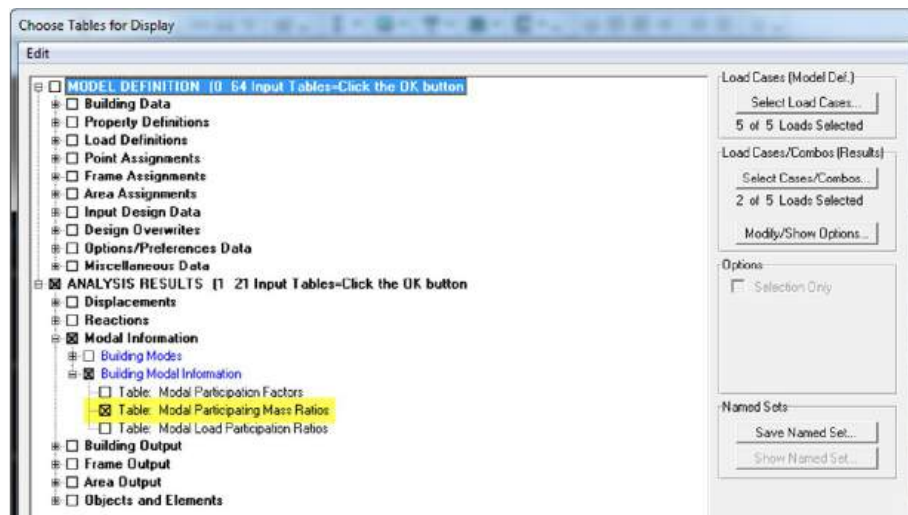
R: ضریب رفتار ساختمان

سپس مقدار  $\Delta_M$  باید با مقادیر زیر مقایسه شوند و در صورتیکه از این مقادیر بیشتر باشند، باید تیرها و ستون‌های ساختمان تقویت شوند.

|                                     |                                                                                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_M < 0.25$ برابر ارتفاع طبقه | برای ساختمان‌های با زمان تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه<br>(عموماً ساختمان‌های مهاربندی و دیوار برشی) |
| $\Delta_M < 0.2$ برابر ارتفاع طبقه  | برای ساختمان‌های با زمان تناوب مساوی یا بیشتر از ۰/۷<br>(سیستم‌های قاب خمشی)                   |

برای به دست آوردن زمان تناوب ساختمان هم می‌توان از روابط تجربی استفاده کرد (که پیش‌تر ذکر شد) و هم می‌توان از خروجی برنامه ETABS و با استفاده از دستور زیر مقدار پریود مود اول ساختمان را به دست آورد:

Display > Show Table > Analysis Result > Modal information > Modal participation mass ratio



Modal Participating Mass Ratios

| Mode | Period   | UX      | UY      | UZ     | SumUX    | SumUY    | SumUZ  | RX      |
|------|----------|---------|---------|--------|----------|----------|--------|---------|
| 1    | 1.253441 | 94.6116 | 0.1771  | 0.0000 | 94.6116  | 0.1771   | 0.0000 | 0.1792  |
| 2    | 1.253441 | 0.1771  | 94.6116 | 0.0000 | 94.7887  | 94.7887  | 0.0000 | 95.7631 |
| 3    | 1.041239 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000 | 94.7887  | 94.7887  | 0.0000 | 0.0000  |
| 4    | 0.342192 | 4.2710  | 0.0074  | 0.0000 | 99.0597  | 94.7961  | 0.0000 | 0.0070  |
| 5    | 0.342192 | 0.0074  | 4.2710  | 0.0000 | 99.0671  | 99.0671  | 0.0000 | 4.0100  |
| 6    | 0.283503 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000 | 99.0671  | 99.0671  | 0.0000 | 0.0000  |
| 7    | 0.170863 | 0.7757  | 0.0120  | 0.0000 | 99.8426  | 99.0791  | 0.0000 | 0.0002  |
| 8    | 0.170863 | 0.0120  | 0.7757  | 0.0000 | 99.8548  | 99.8548  | 0.0000 | 0.0128  |
| 9    | 0.142161 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000 | 99.8548  | 99.8548  | 0.0000 | 0.0000  |
| 10   | 0.110336 | 0.0255  | 0.1197  | 0.0000 | 99.8803  | 99.9745  | 0.0000 | 0.0223  |
| 11   | 0.110336 | 0.1197  | 0.0255  | 0.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0047  |
| 12   | 0.092021 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000  |

عموما ارتفاع طبقات ساختمان های مسکونی ۳۰۰ سانتی متر است، پس مقدار تغییر مکان نسبی جانبی هر طبقه نباید از  $0.025 \times 300 = 7.5 \text{ cm}$  بیشتر باشد.

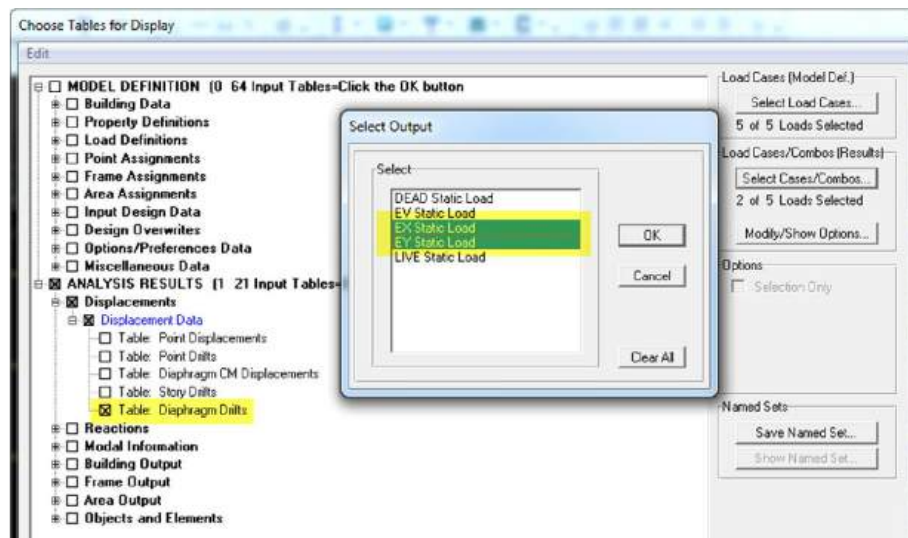
عموما Drift در ساختمان های قاب خمشی جواب نمی دهد. ولی برای ساختمان های دیوار برشی و مهاربندی مشکلی از بابت وجود ندارد.

برنامه ETABS مقدار Drift (یعنی تغییر مکان جانبی نسبی / ارتفاع طبقه) را می دهد. به همین جهت باید مقدار Drift را در ارتفاع طبقه ضرب کنیم تا بتوانیم مقدار «تغییر مکان جانبی نسبی» را به دست آوریم.

$$Drift = \frac{\Delta_w}{h}$$

با استفاده از دستور زیر می توان Drift ساختمان را به دست آورد. همچنین باید مقدار Drift را فقط برای بارهای EX و EY (بدون خروج از مرکزیت تصادفی) محاسبه کرد.

Display > Show Table > Analysis Result > Displacement > Diaphragm Drift



Diaphragm Drifts

| Story  | Item       | Load | Point | X       | Y       | Z       | DriftX   | DriftY   |
|--------|------------|------|-------|---------|---------|---------|----------|----------|
| STORY4 | Diaph D1 X | EX   | 18    | 870.000 | -8.000  | 576.000 | 0.001386 |          |
| STORY4 | Diaph D1 Y | EX   | 18    | 870.000 | -8.000  | 576.000 |          | 0.000000 |
| STORY4 | Diaph D1 X | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 576.000 | 0.000000 |          |
| STORY4 | Diaph D1 Y | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 576.000 |          | 0.001386 |
| STORY3 | Diaph D1 X | EX   | 18    | 870.000 | -8.000  | 432.000 | 0.002381 |          |
| STORY3 | Diaph D1 Y | EX   | 19    | 870.000 | 870.000 | 432.000 |          | 0.000000 |
| STORY3 | Diaph D1 X | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 432.000 | 0.000000 |          |
| STORY3 | Diaph D1 Y | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 432.000 |          | 0.002381 |
| STORY2 | Diaph D1 X | EX   | 18    | 870.000 | -8.000  | 288.000 | 0.003548 |          |
| STORY2 | Diaph D1 Y | EX   | 19    | 870.000 | 870.000 | 288.000 |          | 0.000000 |
| STORY2 | Diaph D1 X | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 288.000 | 0.000000 |          |
| STORY2 | Diaph D1 Y | EY   | 20    | -6.000  | 870.000 | 288.000 |          | 0.003548 |
| STORY1 | Diaph D1 X | EX   | 13    | 864.000 | 0.000   | 144.000 | 0.006949 |          |
| STORY1 | Diaph D1 Y | EX   | 16    | 864.000 | 864.000 | 144.000 |          | 0.000000 |
| STORY1 | Diaph D1 X | EY   | 16    | 864.000 | 864.000 | 144.000 | 0.000000 |          |
| STORY1 | Diaph D1 Y | EY   | 4     | 0.000   | 864.000 | 144.000 |          | 0.006949 |

مثال: اگر در یک ساختمان ۶ طبقه بتن آرمه خمشی با شکل پذیری متوسط مقدار Drift حاصل از برنامه ETABS در طبقه سوم برابر ۰/۰۰۶۹ باشد و ارتفاع طبقات نیز ۳ متر باشند، مقدار «تغییر مکان نسبی واقعی طرح» را کنترل کنید.

حل: ابتدا باید زمان تناوب ساختمان را به دست آوریم:

$$T = 0.07H^{0.75} = 0.07 \times (6 \times 3)^{0.75} = 0.61_{sec}$$

سپس مقدار «تغییر مکان نسبی طرح» به دست می آید:

$$\Delta_w = Drift \times h = 0.0069 \times 300_{cm} = 2.07_{cm}$$

سپس مقدار «تغییر مکان نسبی واقعی طرح» به دست می آید (برای ساختمان خمشی بتن آرمه با شکل پذیری متوسط مقدار R=7 است):

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_w = 0.7 \times 7 \times 2.07 = 10.143_{cm}$$

با توجه به اینکه تناوب ساختمان برابر ۰/۶۱ ثانیه است، در نتیجه:

$$\Delta_M < 0.025 \times h \rightarrow 10.143 < (0.025 \times 300 = 7.5_{cm}) \quad \boxtimes$$

با توجه به اینکه این موضوع صادق نیست، پس شرط Drift در ساختمان رعایت نشده و باید ابعاد و اندازه‌ی تیرها و ستون‌ها تقویت شود.