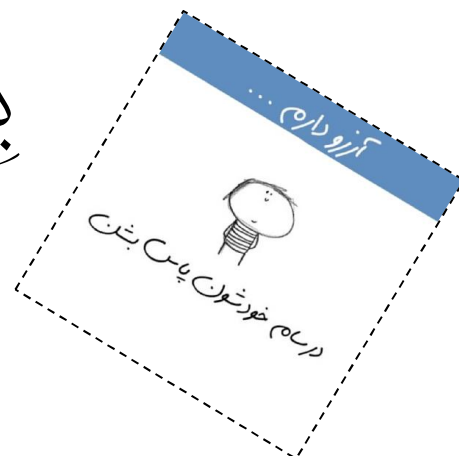




بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

گروه مهندسی عمران



اصول مهندسی زلزله (ویرایش ۱۳۹۳/۰۲/۲۷)

Earthquake Engineering

مهدي افتخاري (Mehdi_eft@yahoo.com)



۱. فایل جزوات در لینک زیر موجود است. از این لینک دانلود کنید. اسم فایل‌های این درس با **EarthQuake** شروع می‌شوند. فایل بقیه درسها را اشتباهاً بر ندارید. توی فلش و CD هم کپی نمی‌کنم. فلش‌ها عموماً ویروسی است. به حروف بزرگ و کوچک دقت کنید.

seismic.vcp.ir

۲. میان‌ترم نداریم.
۳. نمره پایان ترم از ۲۰ نمره است. نمره‌ی پروژه‌ها به این نمره اضافه می‌شود.
۴. حضور و غیاب نمی‌کنم. اگر فکر می‌کنید کلاس برایتان مفید نیست و از وقت خود بهتر می‌توانید استفاده کنید، سر کلاس نیایید. ولی اگر سر کلاس حضور دارید، شلوغ نمی‌کنید. اگر هم شلوغ کردید عواقبش پای خودتان است.
۵. دانشجویانی که به زبان‌های سطح بالا مانند C++، Fortran و ... تسلط دارند، در ازای انجام پروژه نمره تشویقی دریافت می‌کنند.
۶. ارائه مطالب اضافه بر این جزوه از مراجع دیگر مانند مثال حل شده و ... که مورد تایید باشد، نمره تشویقی (بسته به محتوی علمی آن) دارد.
۷. فهرست منابع و مراجع:

الف) آیین‌نامه ۲۸۰۰، ویرایش سوم

ب) مرجع کامل تشریحی و تصویری آیین‌نامه ۲۸۰۰، مهدی پروینی، علیرضا شیرازیان

ج) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه

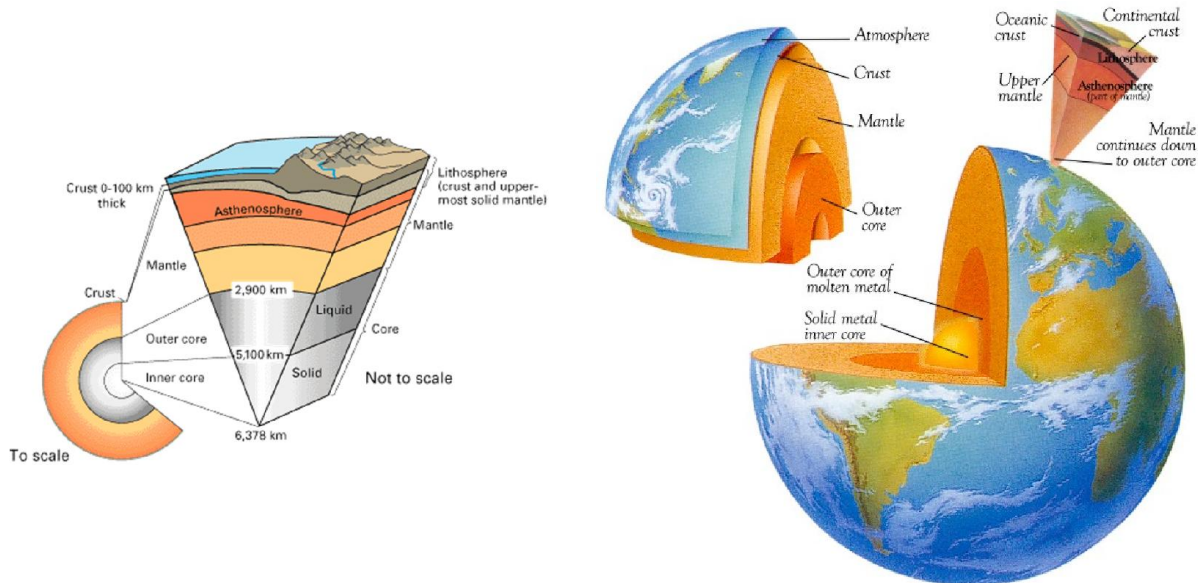
د) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی

ه) مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان (بارگذاری)

و) پروژه‌های کاربردی SAP-ETABS-SAFE (حسن باجی)

۱- فصل اول : لرزه‌شناسی مهندسی

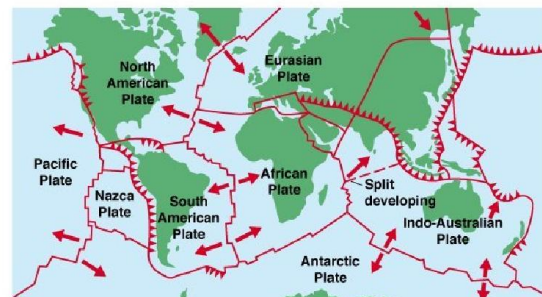
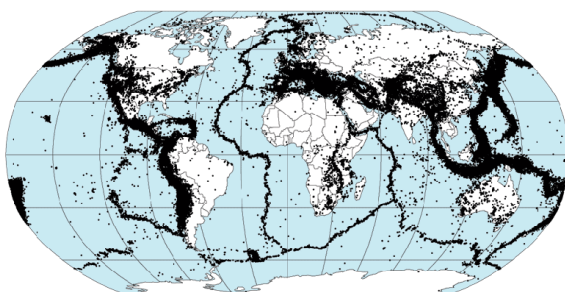
برای شناخت زلزله باید سیستم داخلی کره زمین را شناخت. کره زمین به سه قسمت هسته (Core)، جبه (Mantle) و پوسته (Crust) تقسیم می‌شود. هسته نیز شامل هسته‌ی داخلی و هسته‌ی خارجی است که هسته داخلی جامد و هسته‌ی خارجی مایع است.



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.

Preliminary Determination of Epicenters
358,214 Events, 1963 - 1998



(a) ©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

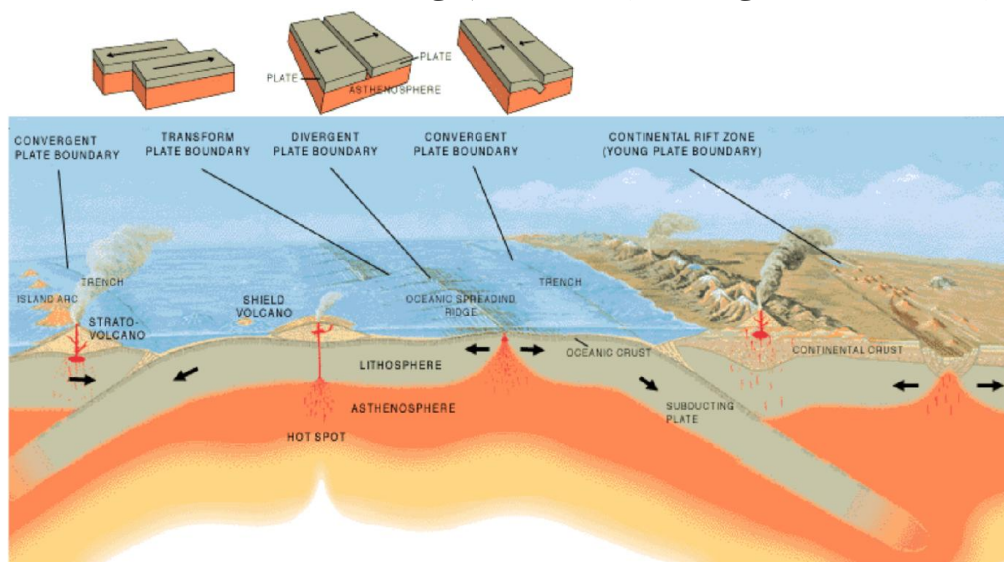
صفحات لیتوسفری نسبت به یکدیگر در حال حرکتند، مثلاً صفحات آمریکای شمالی و اقیانوس آرام هر سال بین ۴ تا ۶ سانتی‌متر نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. در مرز مشترک این صفحات سه نوع رفتار وجود دارد (این مرزها همان

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):

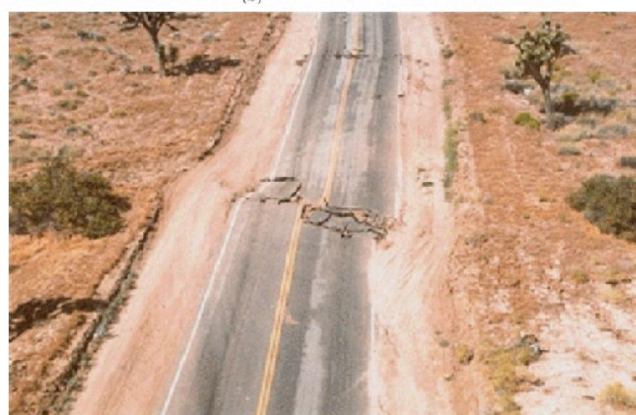
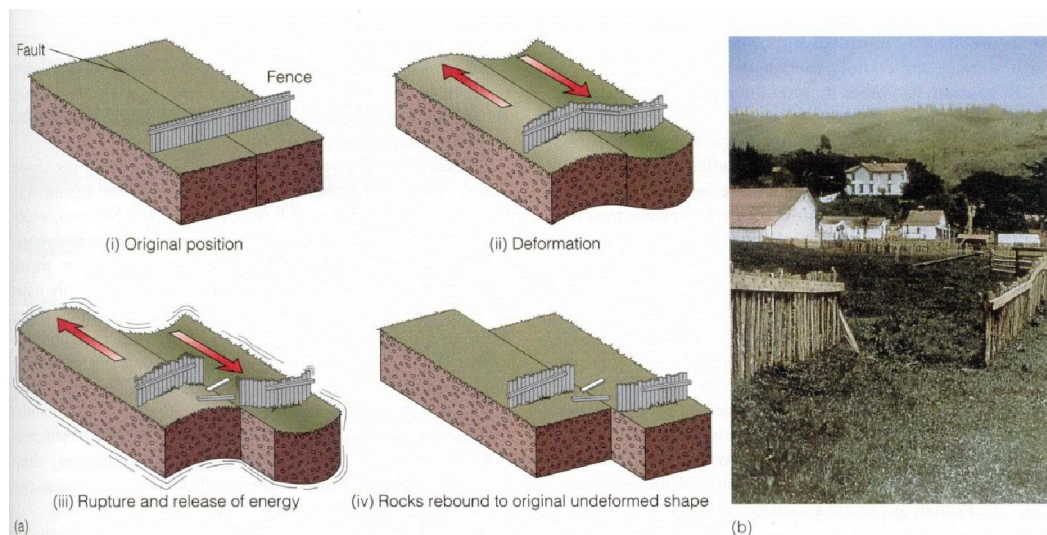
۱. **مرزهای واگرا (Divergent)**: در این مرزها صفحات از یکدیگر دور شده که همراه با ایجاد لیتوسفر جدید می‌باشد. این نواحی گرده ماهی شکل بوده و اکثراً در وسط اقیانوس‌ها ایجاد می‌شود. مثلاً گرده ماهی وسط اقیانوس اطلس.

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 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 تغییر شکل در طول گسل جمع شده و تغییر شکل 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.

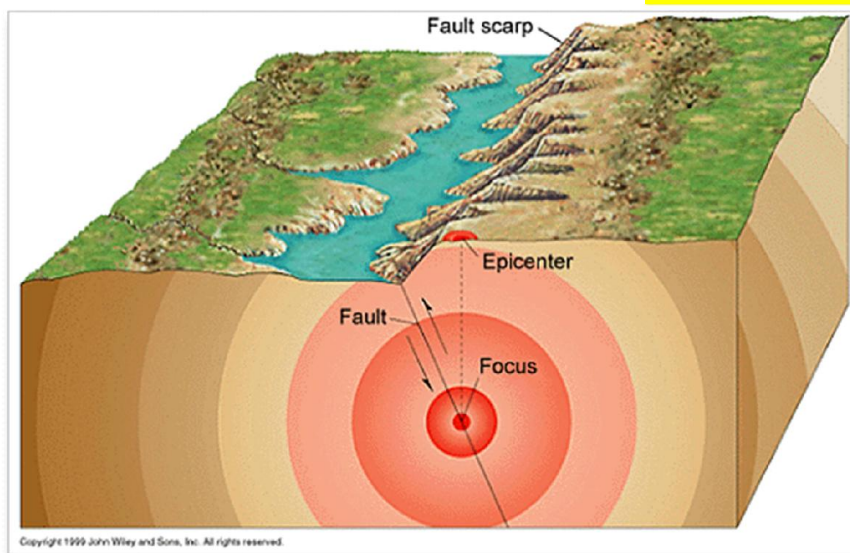
گسل (Fault): گسل عبارت است از سطح ناپیوسته‌ای که دو مجموعه سنگی را از هم جدا می‌کند. گسل معرف صفحه‌ای است که در طول آن حرکات زمین رخ می‌دهد و منشا حرکت زمین در یک زلزله از آن ناشی می‌شود. همه گسل‌ها مربوط به صفحات تکتونیکی نیستند و در خارج از مرز صفحات تکتونیکی هم گسل داریم.

✚ 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.

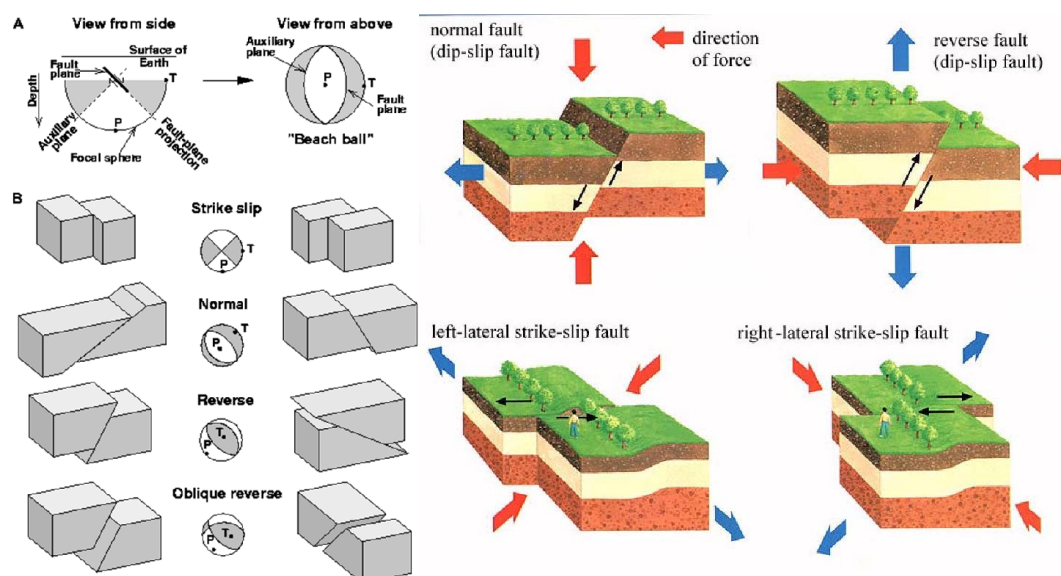
۳. **گسل معکوس یا فشاری (Reverse or Thrust Fault)** : صخره‌های دو طرف گسل تمایل به فشردن

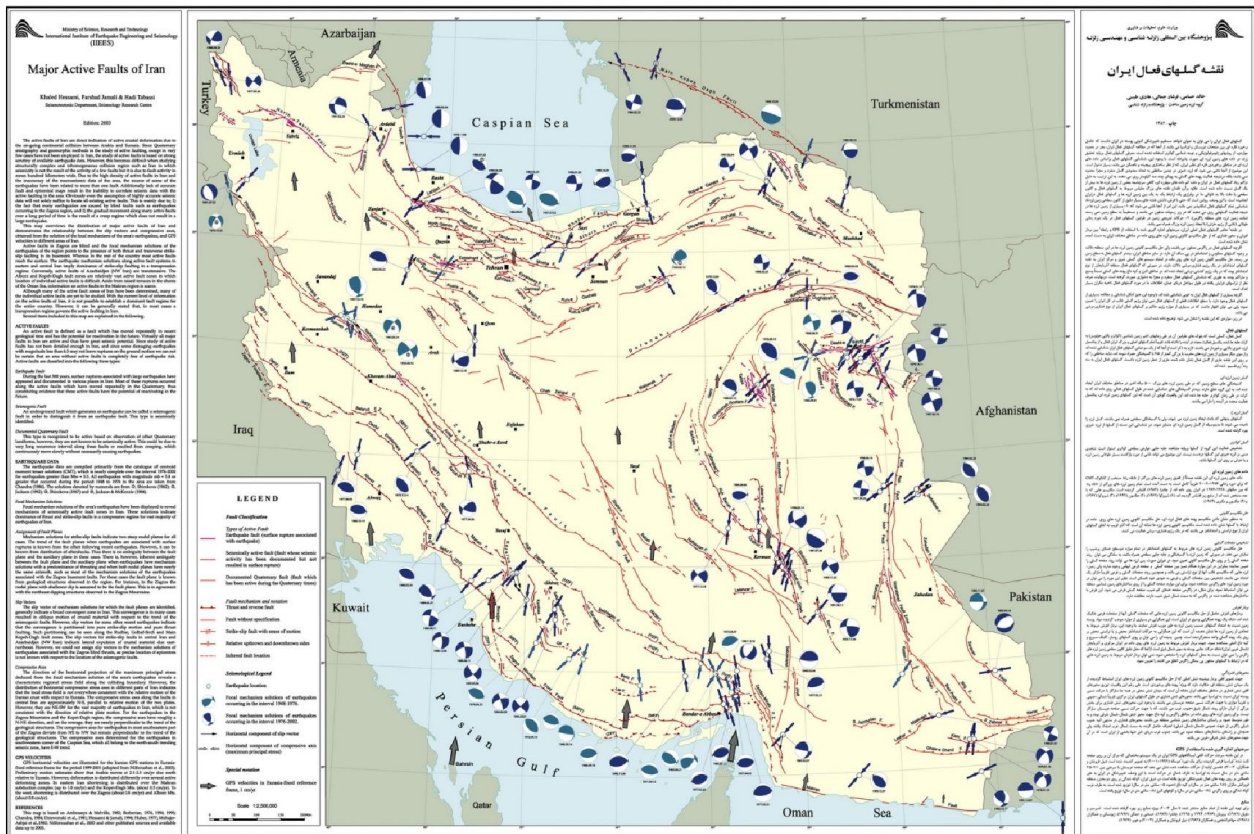
یکدیگر داشته و در گسل فشار ایجاد می‌کنند. موقعی که فشار برای ایجاد گسیختگی کافی باشد، یک قطعه نسبت به قطعه دیگر در امتداد صفحه گسل به سمت بالا حرکت می‌کند.

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.





نقشه گسل‌های ایران

امواج زلزله

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

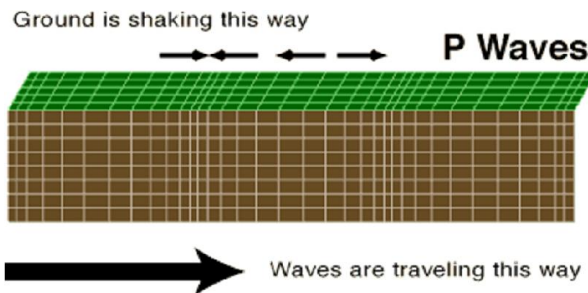
دو نوع موج از کانون زلزله منتشر می‌شود. **موج حجمی (Body wave)** و **موج سطحی (Surface Wave)**

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.

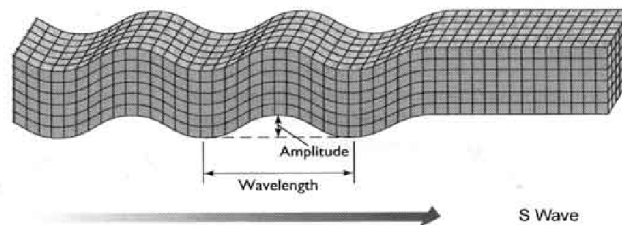
انواع امواج زلزله:

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).

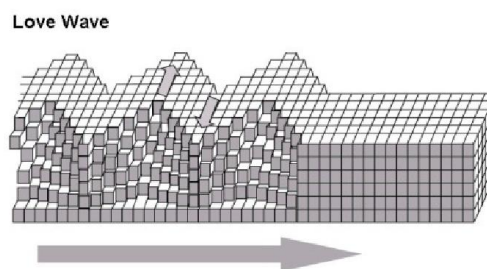


ب- امواج S : ارتعاش این امواج عمود بر امتداد انتشار موج است (مانند حرکت طنابی که در آن یک موج ایجاد می‌شود). سرعت امواج S کمتر از سرعت امواج P است و بنابراین امواج S چند ثانیه پس از امواج P دریافت می‌شود. موج S باعث می‌شود ذرات سنگ‌ها به سمت بالا و پایین مرتعش شوند، بنابراین هنگامی که در سنگ‌ها انتشار 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.



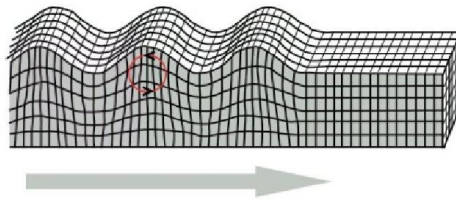
۲. امواج سطحی

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.



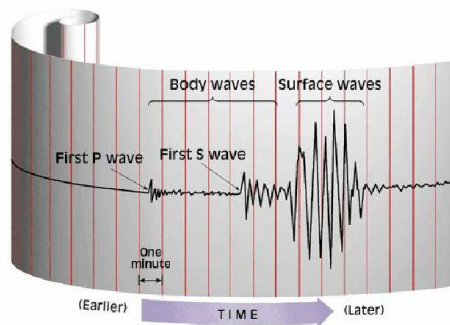
ب- امواج Rayleigh (ریلی) : امواج ریلی باعث حرکت دادن سنگ‌ها هم در جهت قائم و هم در جهت افقی می‌شوند. این حرکت در یک صفحه‌ی قائم بر امتداد انتشار امواج و فقط بر روی سطح مواد صورت می‌گیرد. با عبور امواج، قطعات روی صخره‌ها در یک مسیر بیضی حرکت می‌کنند. امواج ریلی کندتر از امواج لاو حرکت می‌کنند. امواج ریلی 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 :

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

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

ρ جرم مخصوص ، E مدول الاستیسیته ، ν 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)

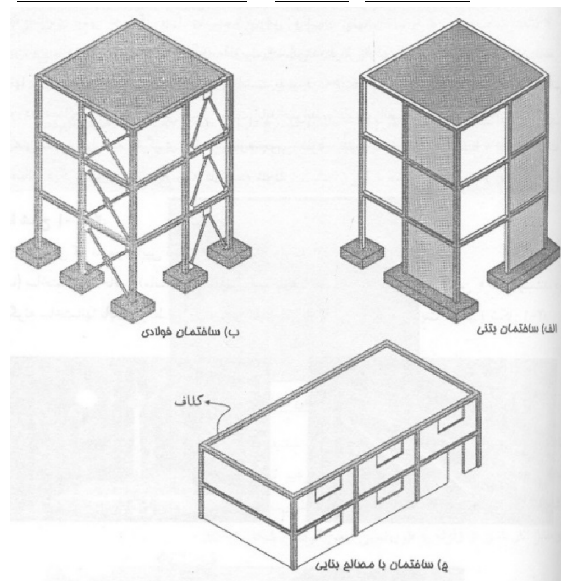


زلزله طرح (زلزله شدید): زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتر از ۱۰٪ باشد (یعنی زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال).

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.

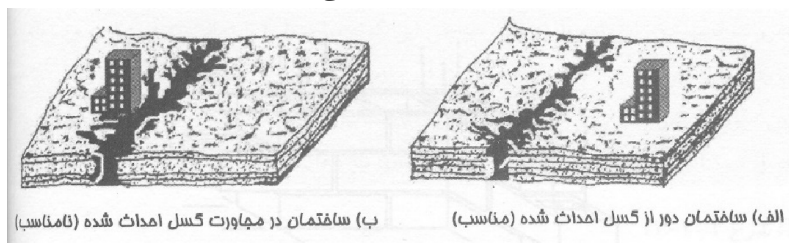


ساختمان‌های سنتی که با گل و خشت ساخته می‌شوند مشمول این آیین‌نامه نمی‌شوند.

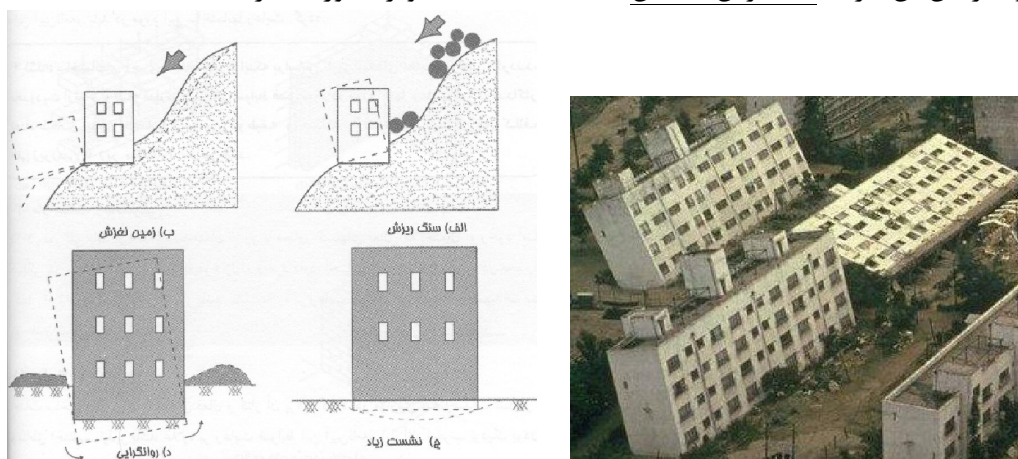


۳-۲- ملاحظات ژئوتکنیکی (مربوط خاک و زمین)

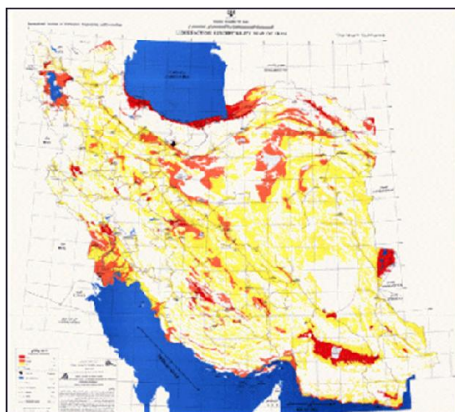
به طور کلی نباید ساختمان بر روی گسل فعال (Near Field) ساخته شود (کمتر از ۵ تا ۱۰ کیلومتر). زلزله‌های دور از گسل اصطلاحاً (Far Field) نامیده می‌شوند.



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.



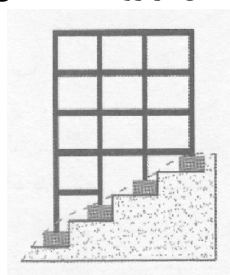
در زمین‌هایی که مستعد روانگرایی هستند، باید ناپایداری‌های ژئوتکنیکی بررسی شود و در صورت نیاز خاک بهسازی گردد. روانگرایی اصولاً در زمین‌هایی رخ می‌دهد که خاک ماسه‌ای با تراکم کم و اشباع از آب باشند و سطح تراز آب زیر زمینی در آنها کمتر از ۱۰ متر باشد. روانگرایی عموماً در عمق کمتر از ۱۰ متر از سطح زمین 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.

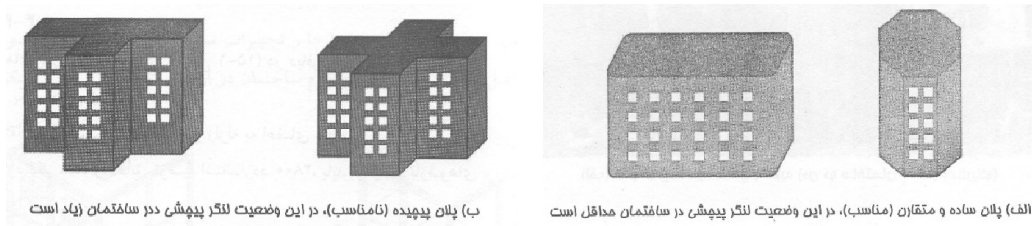


۴-۲- ملاحظات معماری

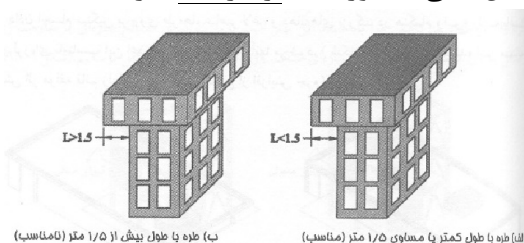
ساختمان‌ها باید با درز انقطاع از یکدیگر جدا شوند تا در اثر زلزله ساختمان‌ها به یکدیگر ضربه وارد نکنند.



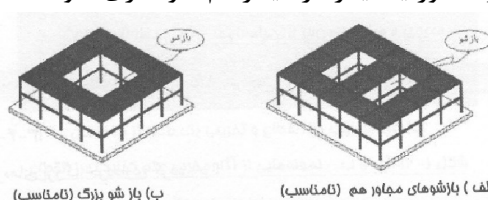
پلان ساختمان باید تا حتی‌المقدور به شکل ساده و متقارن در دو امتداد عمود بر هم و بدون پیش‌آمدگی و پس‌رفتگی زیاد باشد. برای متقارن کردن پلان سازه‌ها می‌توان از درز انقطاع استفاده کرد و سازه‌ی نامتقارن را به چند سازه کوچکتر تبدیل کرد.



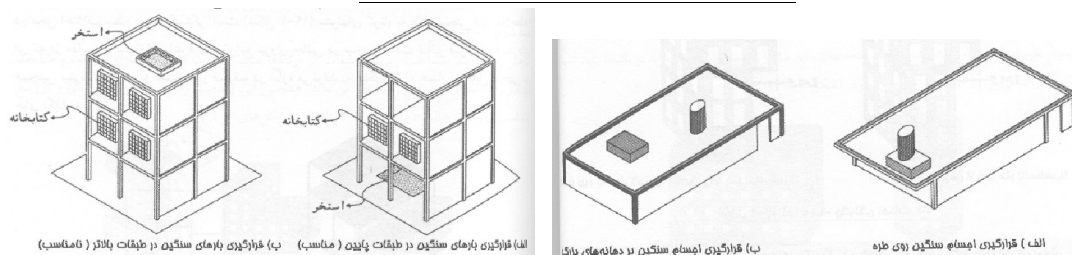
طره‌های (کنسول) ساختمان حتی المقدور نباید بزرگتر از ۱/۵ متر باشد.



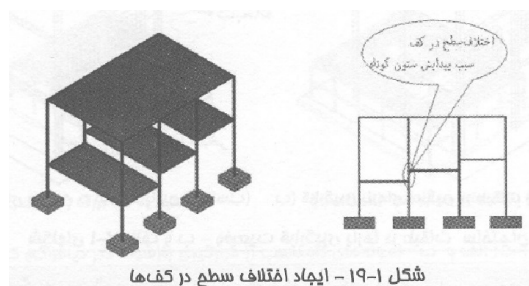
از ایجاد بازشوهای بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم خودداری شود.



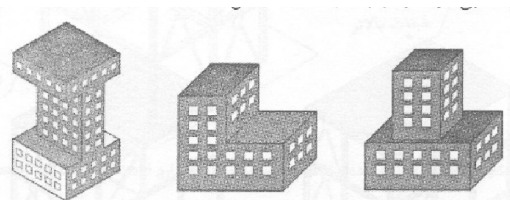
از قرار دادن اجزای ساختمانی و تاسیسات سنگین بر روی طره‌ها و دهانه‌های بزرگ خودداری شود. همچنین توصیه می‌شود که بارها و تجهیزات سنگین در طبقات فوقانی قرار نگیرد.



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)



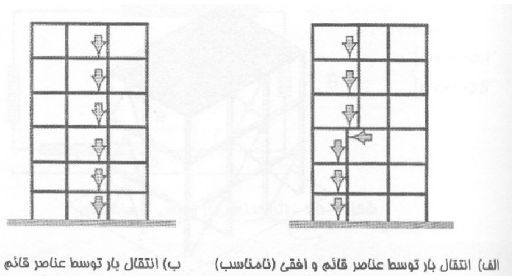
از کاهش و یا افزایش (ناگهانی) مساحت زیربنای طبقات در ارتفاع و بالتبع تغییرات جرم طبقات خودداری شود.



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

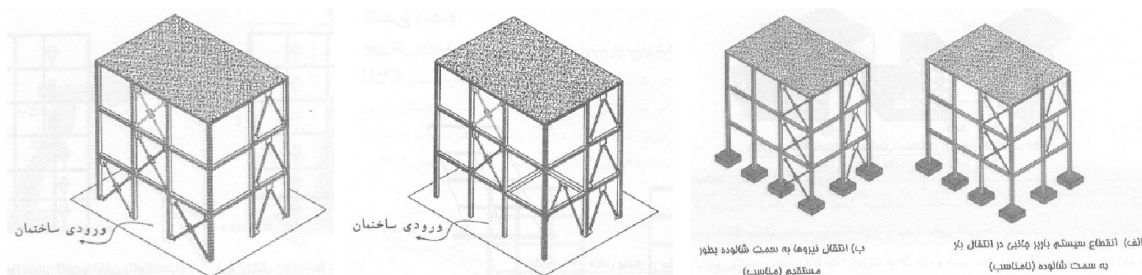
۵-۲- ملاحظات پیکربندی سازه‌ای

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.

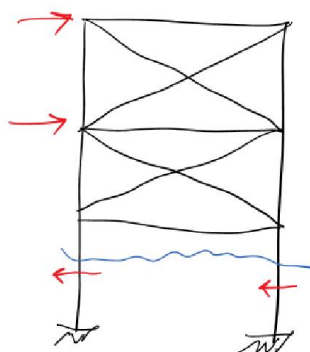


الف) انتقال بار توسط عناصر قائم و افقی (نامناسب) ب) انتقال بار توسط عناصر قائم (مناسب)

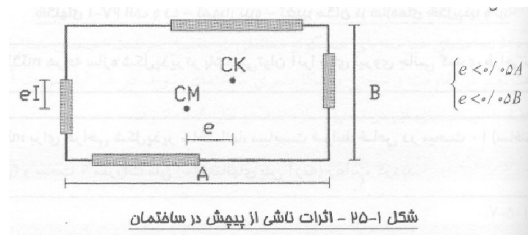
عناصری که نیروهای افقی ناشی از زلزله را تحمل می‌کنند به صورتی در نظر گرفته شوند، که انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم انجام شوند و عناصری که با هم کار می‌کنند در یک صفحه قائم قرار داشته باشند.



الف) انتقال نیروها به سمت شالوده به صورت مستقیم (نامناسب) ب) انتقال نیروها به سمت شالوده به صورت مستقیم (نامناسب)

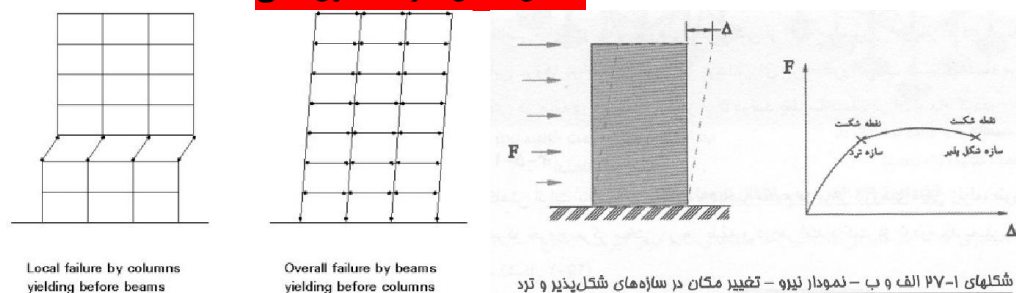


عناصر مقاوم در برابر نیروهای افقی ناشی از زلزله به صورتی در نظر گرفته شوند که پیش از این نیروها در طبقات به حداقل برسد. برای این منظور مناسب است فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در طبقه در هر امتداد، کمتر از ۵ درصد بُعد ساختمان در آن امتداد گردد (توضیح: CM به معنی مرکز جرم ساختمان یا Center of Mass است و CK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



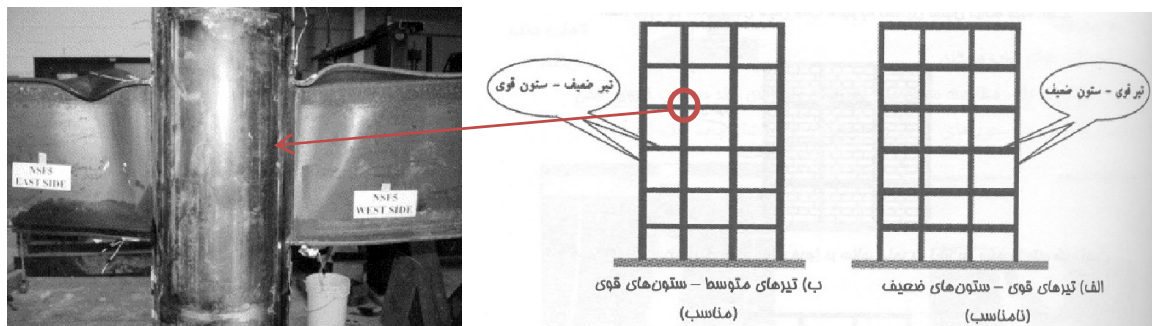
ساختمان و اجزای آن به نحوی طراحی گردند که شکل پذیری و مقاومت مناسب در آن تامین شده باشد. منظور از شکل پذیری قابلیت جذب و استهلاک انرژی زلزله قبل از رسیدن به حد گسیختگی می باشد. هرچقدر سازه شکل پذیرتر باشد، می توان آنرا برای نیروی کمتری طراحی کرد. برای طراحی شکل پذیر ساختمان های باید ضوابط خاص مبحث ۱۰ 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.

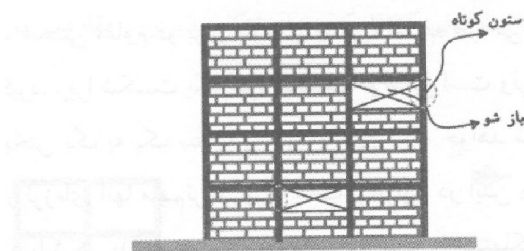
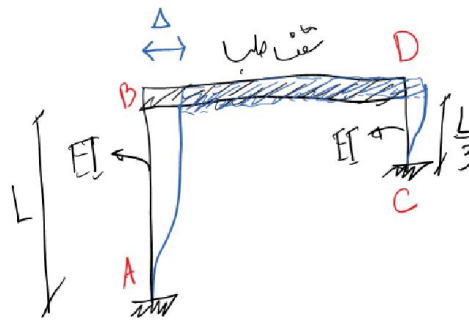
اثبات : فرمولاسیون ستون کوتاه

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

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

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

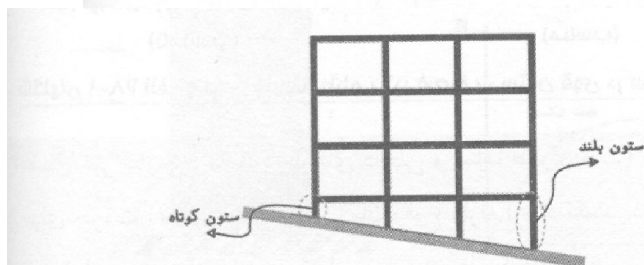
$$F_{DC} = 27F_{BA}$$



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



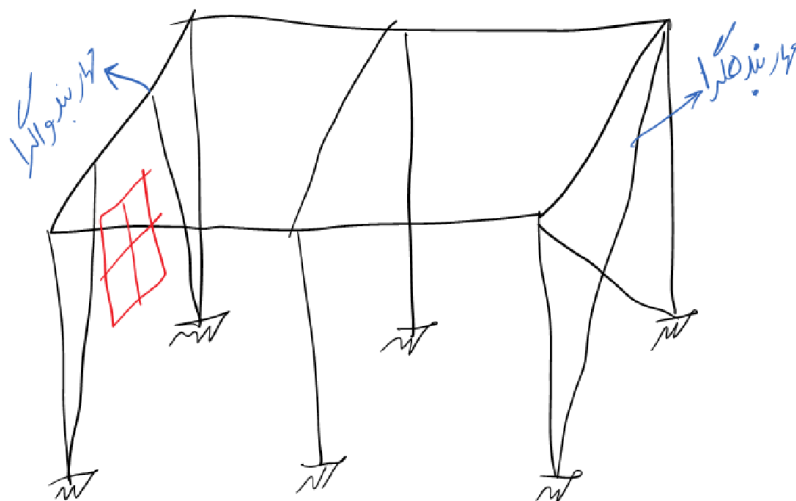
ب) وجود افتلاف سطح (نیم طبقه دارای چرم) در سازه، منجر به تشکیل ستون کوتاه شده است.



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

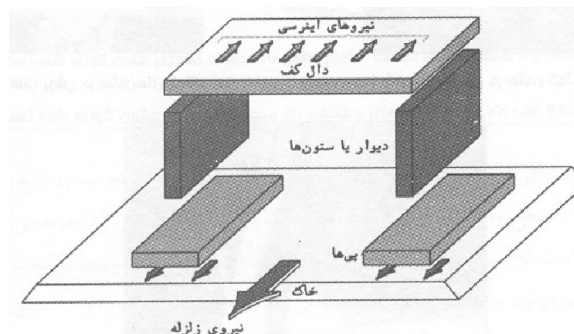


حتی المقدور از به کارگیری سیستم‌های مختلف سازه‌ای در امتدادهای مختلف در پلان و ارتفاع خودداری شود.



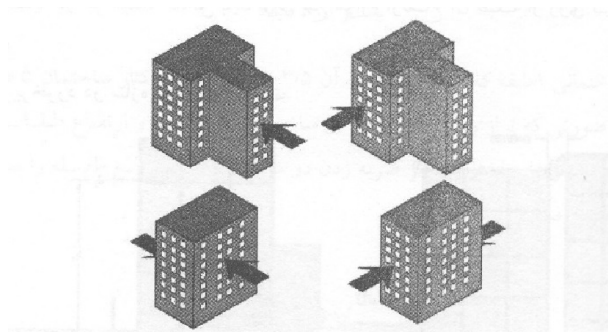
۶-۲- ضوابط کلی

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 ۱-۳۲ جریان نیروهای اینرسی زلزله در میان اجزای 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 می شود 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

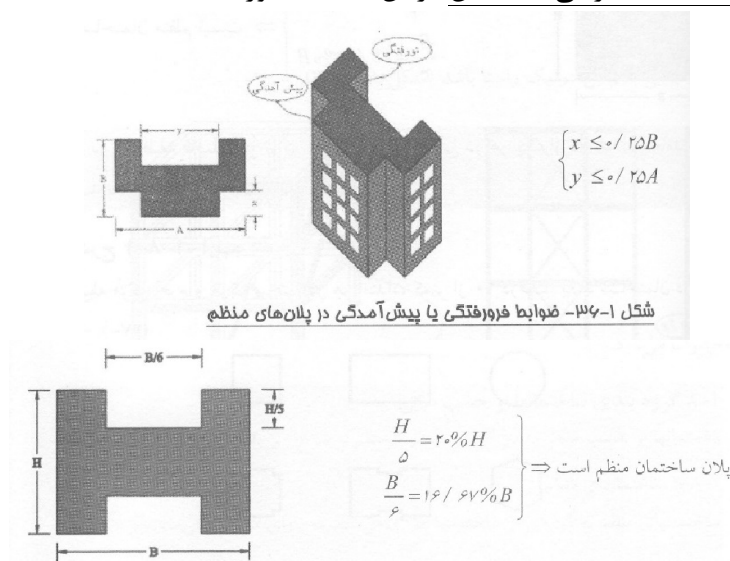
ساختمان‌ها بر حسب شکل به دو گروه منظم و نامنظم به شرح زیر تقسیم می شوند:

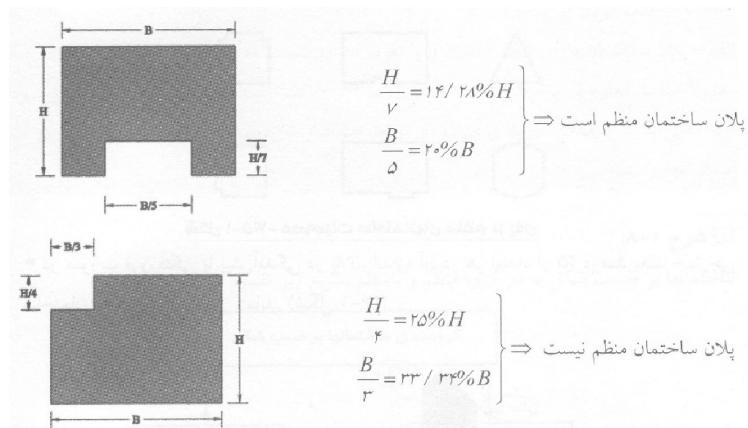
۸-۱-۱- ساختمان‌های منظم:

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

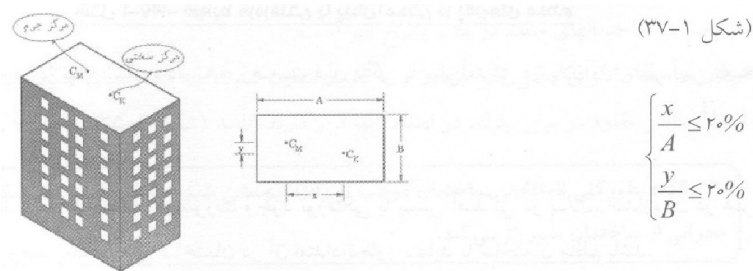
۸-۱-۱-۱- منظم بودن در پلان

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.



شکل ۱-۳۷ - فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در ساختمانهای منظم در پلان

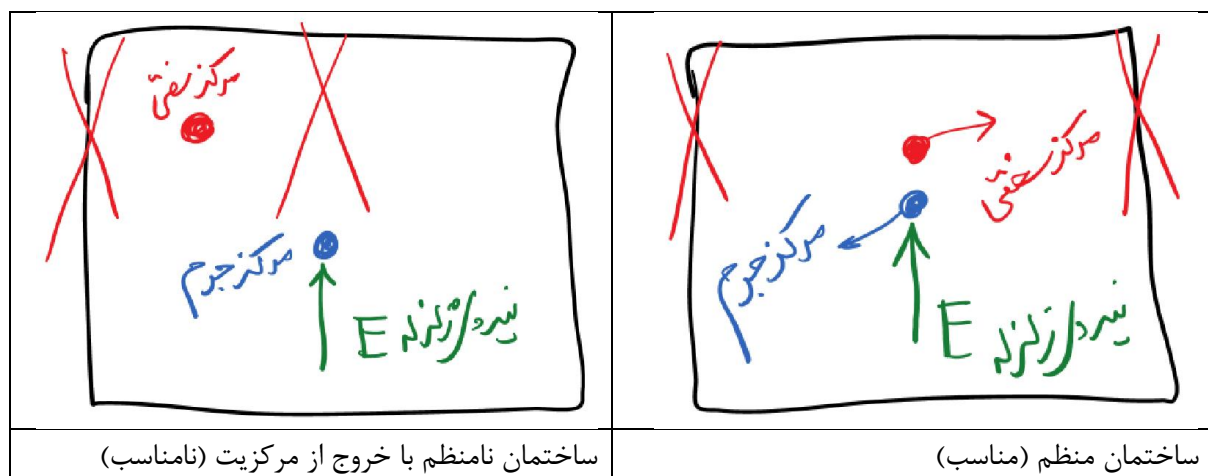


Figure 2-12:
Torsion

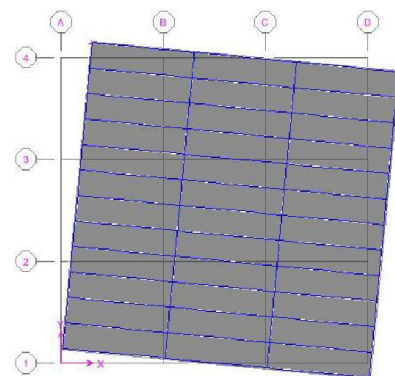
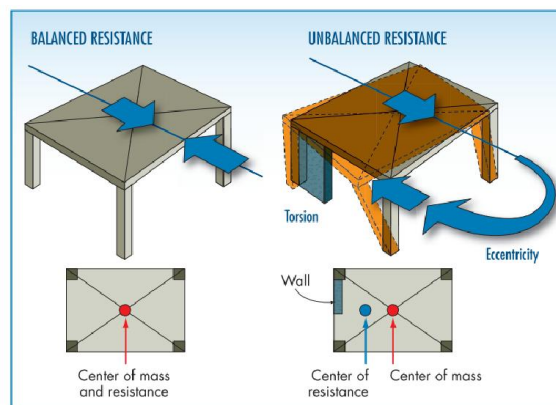
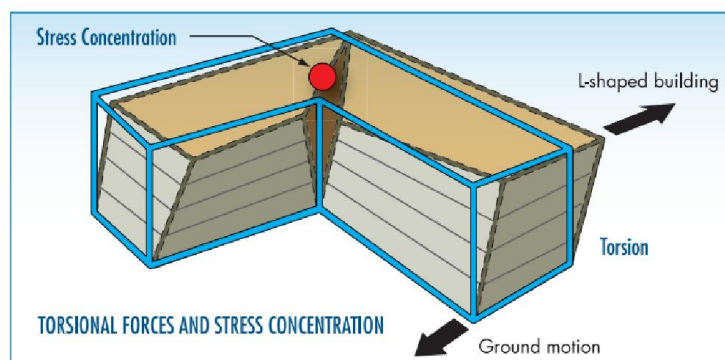
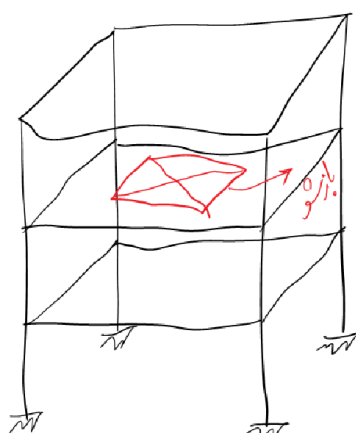


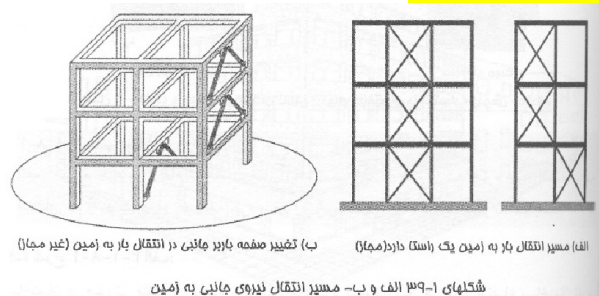
Figure 2-13:
The re-entrant corner
building



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.



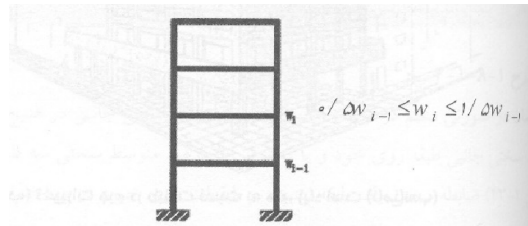
ت) در مسیر انتقال نیروی جانبی به زمین، انقطاعی مانند تغییر صفحه اجزای باربر جانبی در طبقات وجود نداشته باشد. عموماً در پارکینگ‌ها اتفاق می‌افتد.



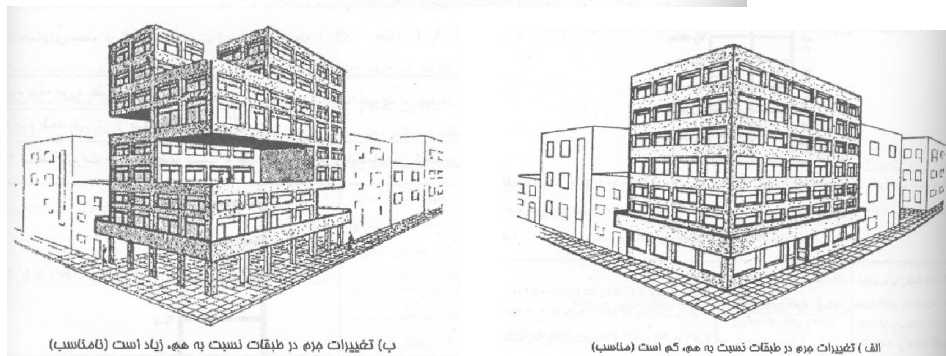
ث) در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی، بیشتر از ۲۰٪ با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف نداشته باشد.

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.



شکل ۱-۴۱- نمونه توزیع جرم در ارتفاع ساختمان‌های منظم



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).

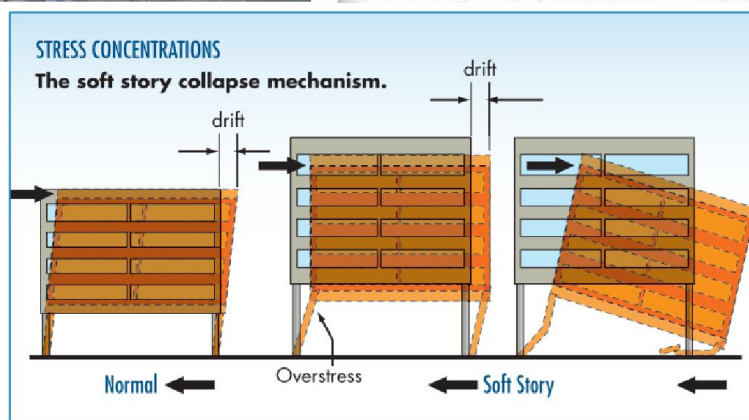
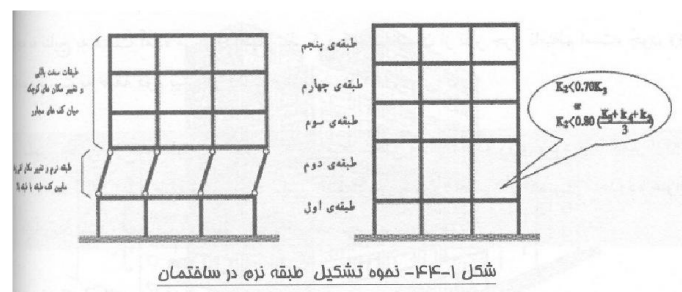


Figure 2-11:
Soft story collapse
mechanism

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

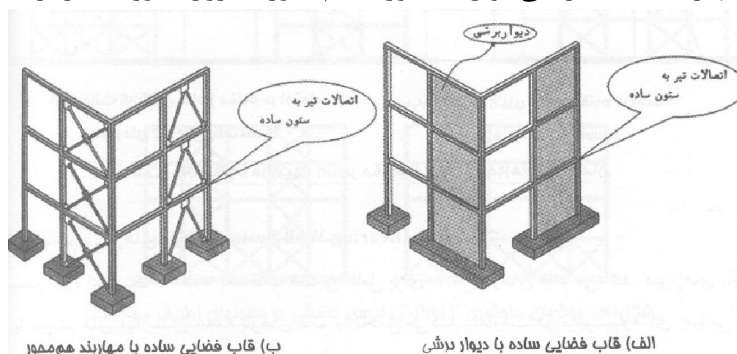
نوعی سیستم سازه‌ای است که فاقد قاب‌های ساختمانی برای باربری قائم می‌باشد. در این سیستم، دیوارهای باربر و یا قاب‌های مهاربندی شده عمدتاً بارهای قائم را تحمل نموده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی نیز به وسیله دیوارهای باربر که به صورت دیوارهای برشی عمل می‌کنند و یا قاب‌های مهاربندی شده تامین می‌شود.

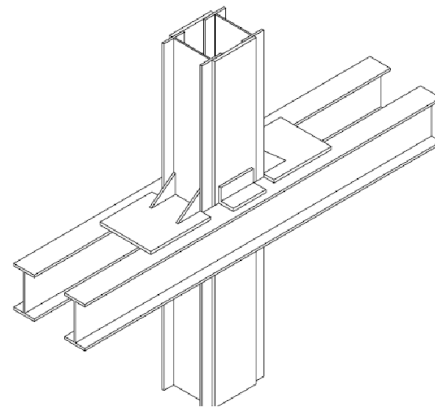


۱-۹-۲- سیستم قاب ساختمانی ساده

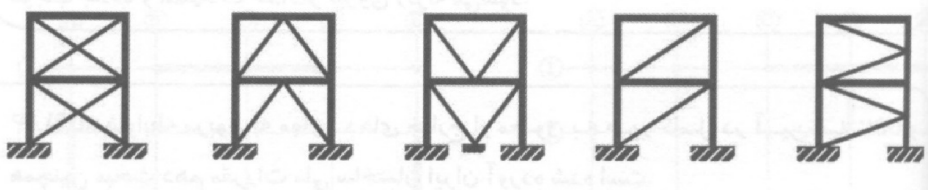
نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم عمدتاً توسط قاب‌های ساختمانی با اتصالات ساده تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط دیوارهای برشی یا بادبند تامین می‌شود. سیستم قاب‌های با اتصالات خورجینی (رکابی) همراه با مهاربندی‌های قائم نیز از این گروه اند.

در این سیستم، قاب‌های مهاربندی شده را می‌توان به صورت هم‌محور یا برون‌محور به کار برد.

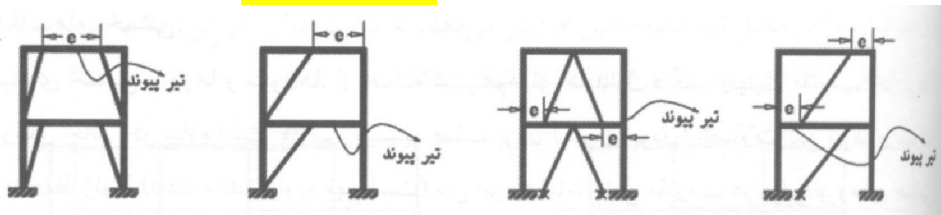




اتصال خورجینی

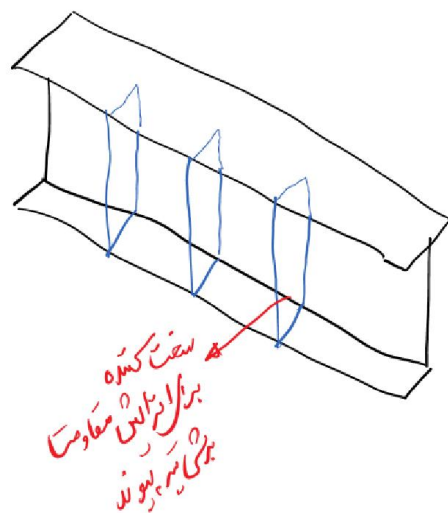
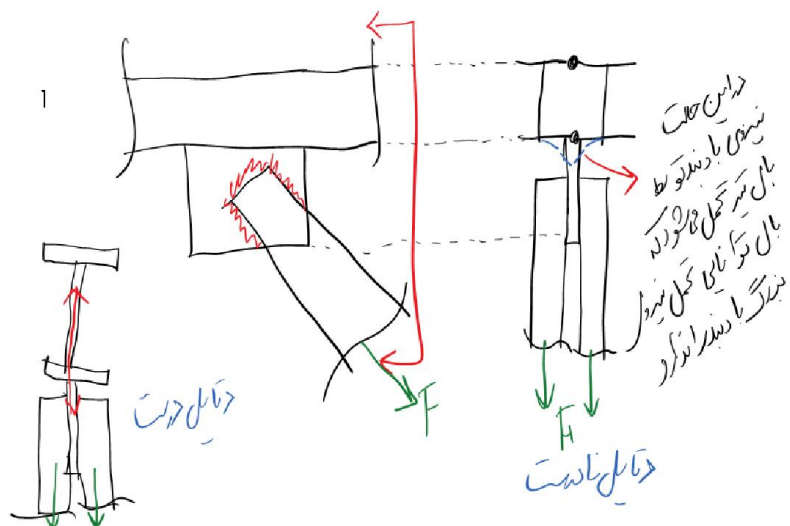
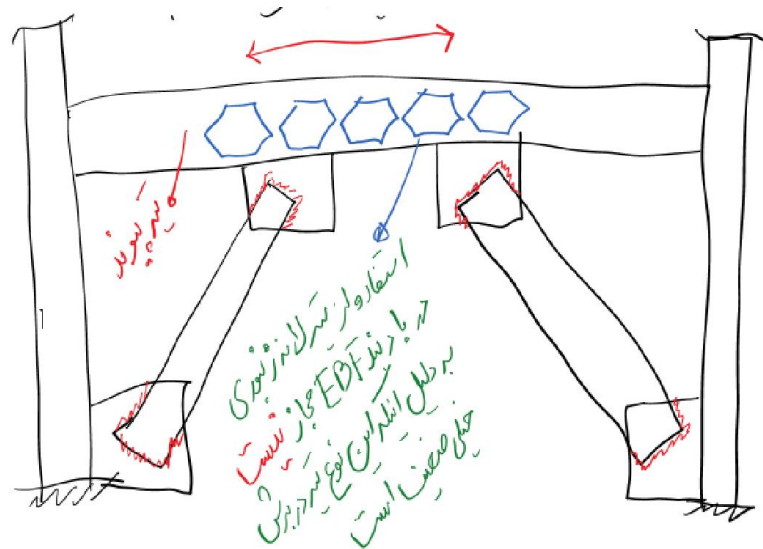


انواع قابهای مهاربندی هم‌محور (همگرا)



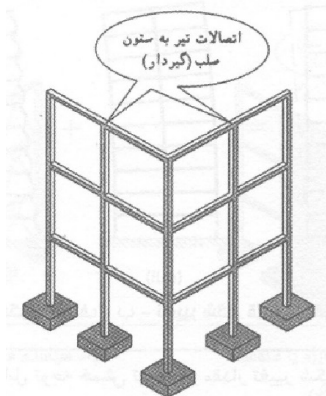
انواع قابهای مهاربندی برون محور (واگرا) EBF

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.

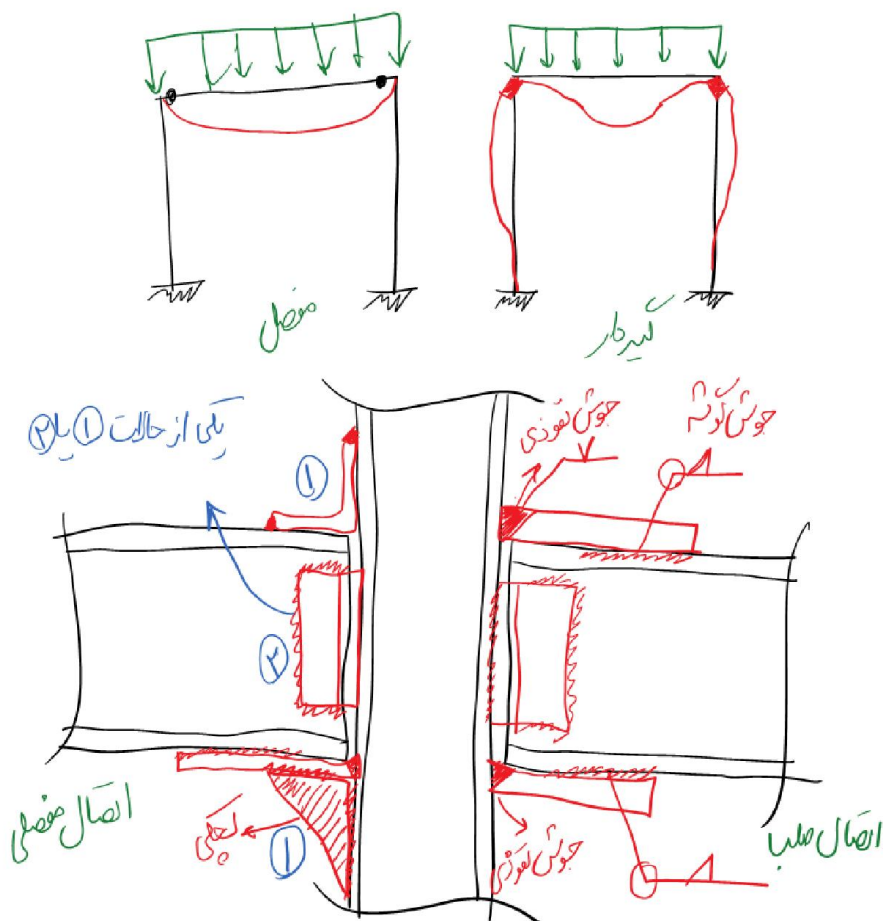


۱-۹-۲- سیستم قاب خمشی

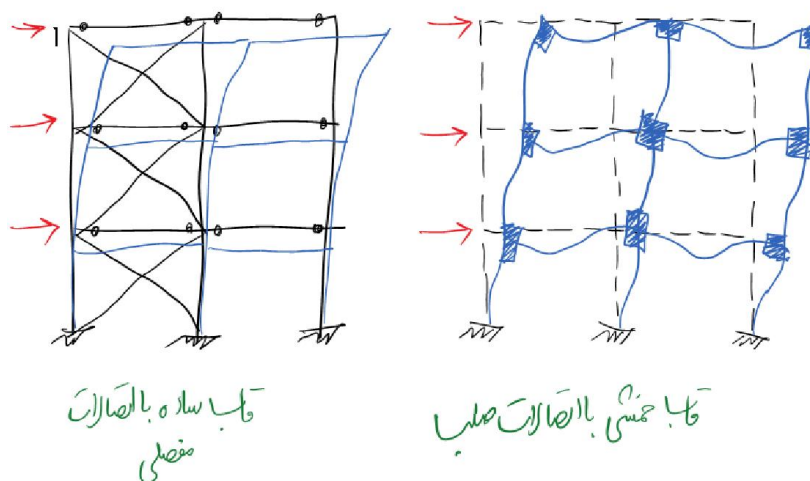
نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم توسط قاب‌های ساختمانی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط قاب‌های خمشی تامین می‌شود. سازه‌های با قاب‌های خمشی کامل، و سازه‌های با قاب‌های خمشی در پیرامون و یا در قسمتی از پلان و قاب‌های با اتصالات ساده در سایر قسمت‌های پلان، از این گروه اند. در این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



شکل ۳۸- قاب خمشی



شکل اتصال گیردار و مفصلي، سه بعدی



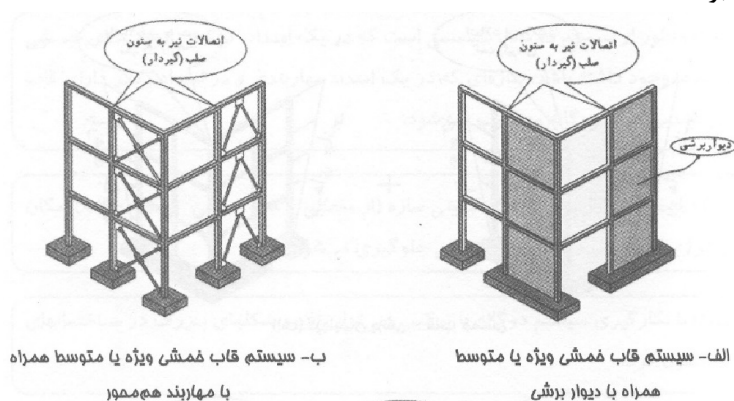
۴-۹-۱- سیستم دوگانه یا ترکیبی

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.

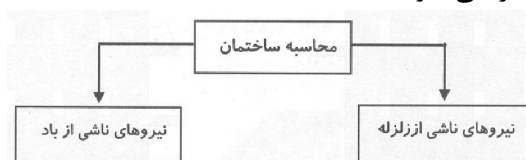
تبصره ۲: به کارگیری قاب‌های خمشی بتنی و فولادی معمولی برای باربری جانبی در این سیستم مجاز نمی‌باشد و در صورت استفاده از این نوع قاب، سیستم از نوع قاب ساختمانی ساده محسوب خواهد شد.

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.

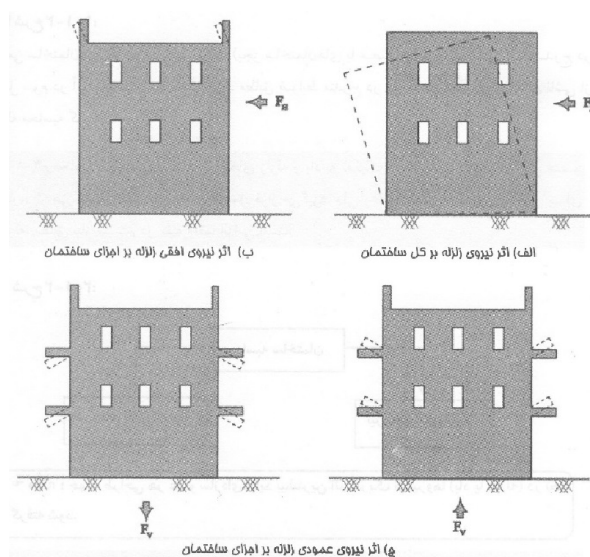


شکل سوله

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

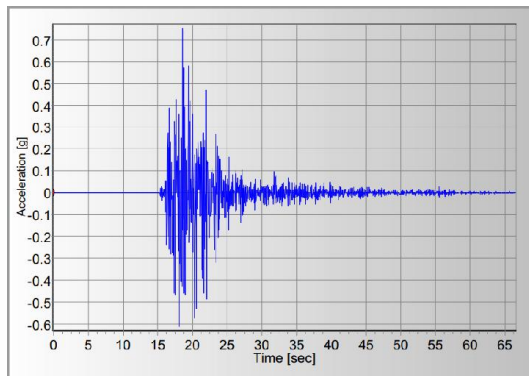
۱- مولفه افقی: برای طراحی تمامی اعضا

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

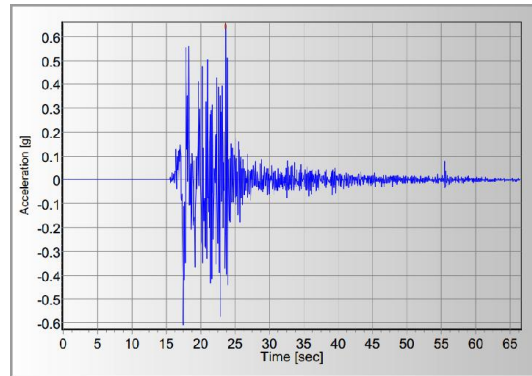


مثلاً زلزله‌ی بم دارای مولفه قائم بسیار بزرگی بود. که عملاً باعث می‌شد ساختمان به زمین کوبیده شود. در این زلزله استثنائاً مقدار مولفه قائم زلزله از مولفه افقی آن بیشتر بود.

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.

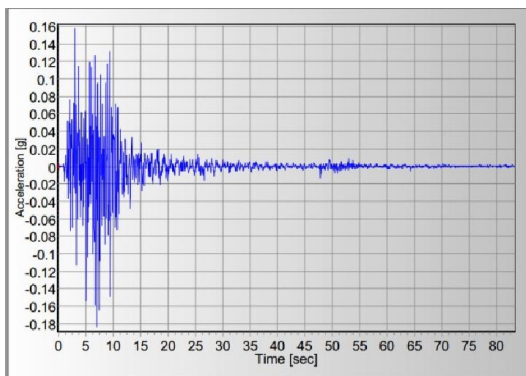


شتاب قائم

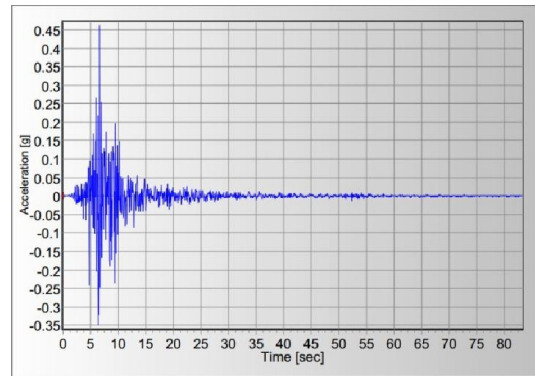


شتاب افقی

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



شتاب قائم

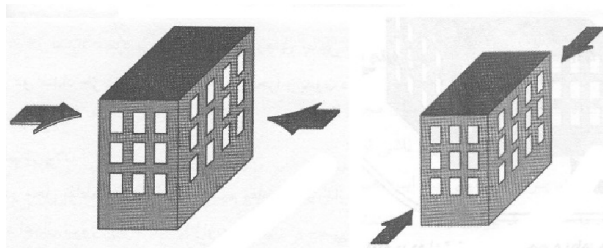


شتاب افقی

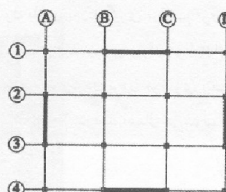
مولفه‌ی افقی و قائم زلزله اهر-ورزقان (۱۳۹۱) - این زلزله میدان دور است و شتاب افقی آن از شتاب قائم بیشتر است

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.

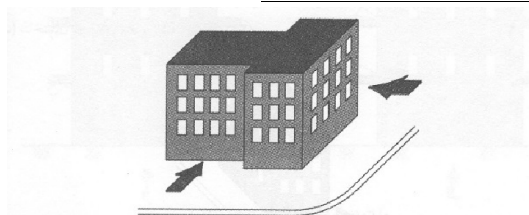


شکل ۲-۲- در پلان منظم، نیرو در دو امتداد عمود بر هم بطور مجزا در نظر گرفته می‌شود.

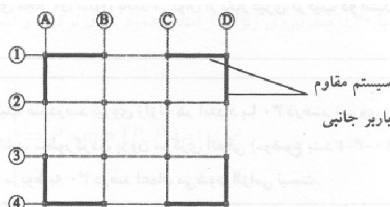


شکل ۲-۳- پلان سافت‌مان خاقد ستون‌های مجاور به دو سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است.

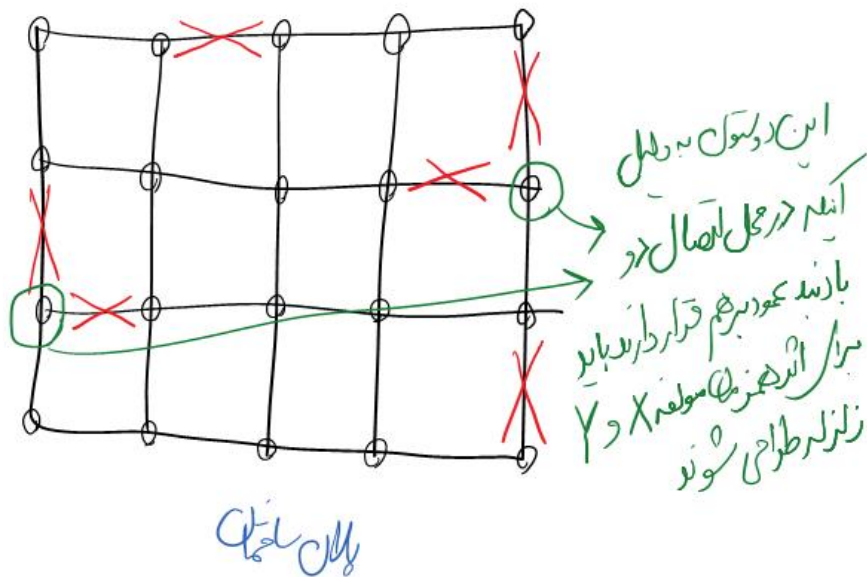
۲- در ساختمان‌هایی که در پلان نامنظم باشند و دارای ستون‌هایی باشند که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند (یعنی هر دو شرط باید برآورده شود)، باید محاسبه نیروهای جانبی را برای هر یک از این دو امتداد را تحت اثر ۱۰۰ درصد نیروی زلزله آن امتداد و ۳۰ درصد از نیروی امتداد عمود بر آن انجام 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)



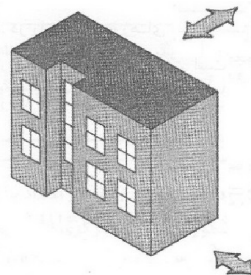
شکل ۲-۴- در پلان نامنظم، نیرو در دو امتداد عمود بر هم و بطور همزمان در نظر گرفته می‌شود.



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



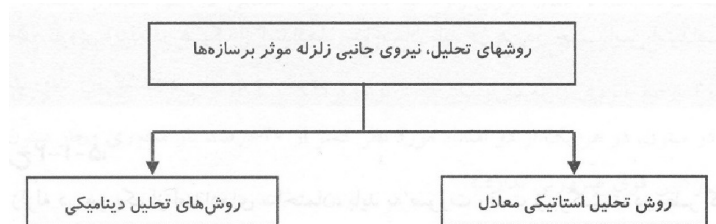
نکته ۱: در صورتیکه این ترکیب ۳۰+۱۰۰ در ساختمان رعایت شود دیگر احتیاجی به منظور کردن برون محوری تصادفی و پیچش تصادفی در ساختمان نیست (به این موضوع جلوتر پرداخته می شود). نیروی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان باید به صورت رفت و برگشتی لحاظ شود.



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.

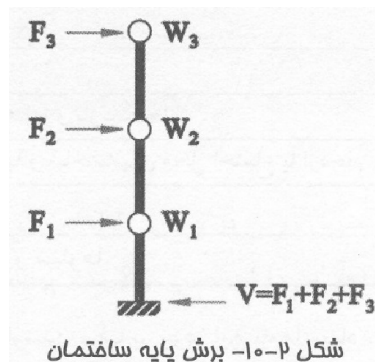
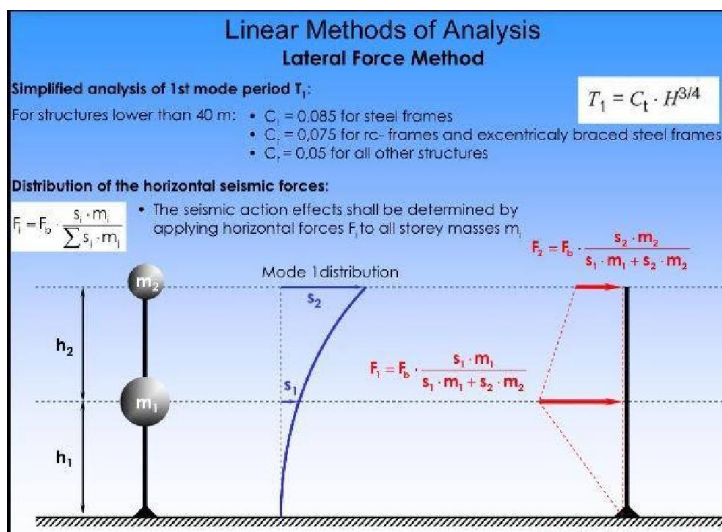


روش تحلیل استاتیکی معادل را فقط می توان در موارد زیر به کار برد:

- 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.

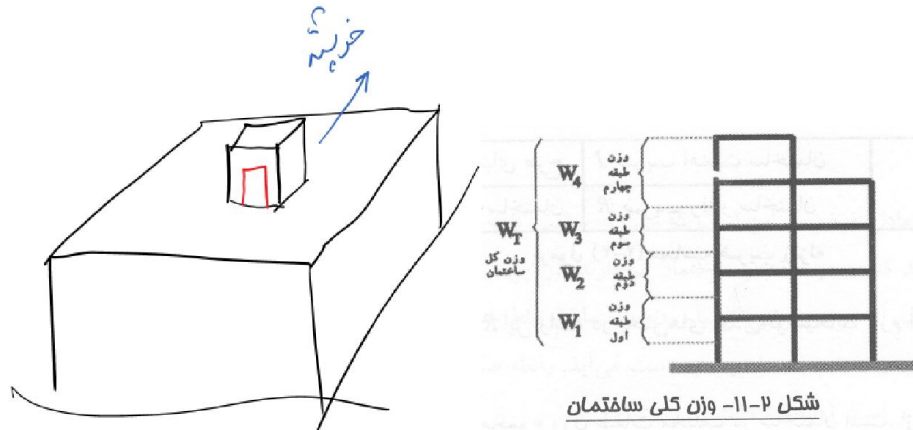
B : ضریب بازتاب ساختمان که با استفاده از طیف طرح به دست می‌آید.

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).

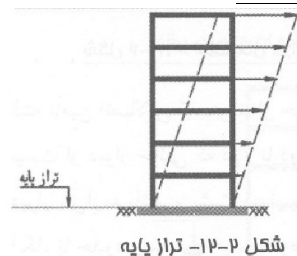


شکل ۲-۱۱- وزن کلی ساختمان

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 کفها و دیوارها و پله ها در نرم افزار تعریف شود.

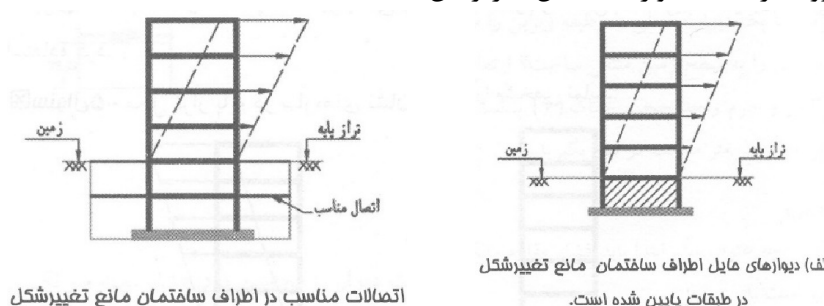
تراز پایه

تراز پایه به ترازی 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).



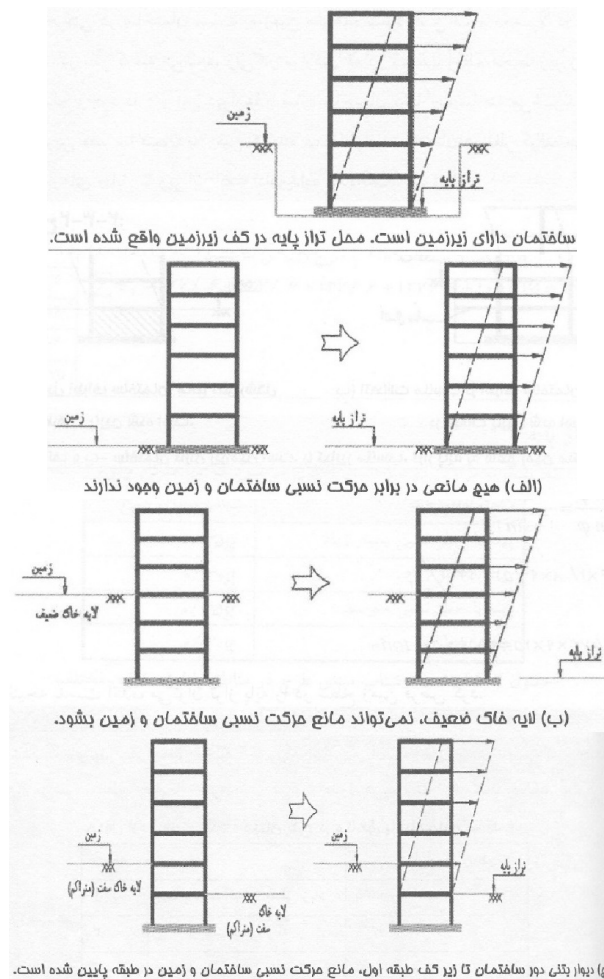
شکل ۲-۱۲- تراز پایه

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.



اتصالات مناسب در اطراف ساختمان مانع تغییر شکل

الف) دیوارهای مایل اطراف ساختمان مانع تغییر شکل در طبقات پایین شده است.



نسبت شتاب مبنای طرح (A)

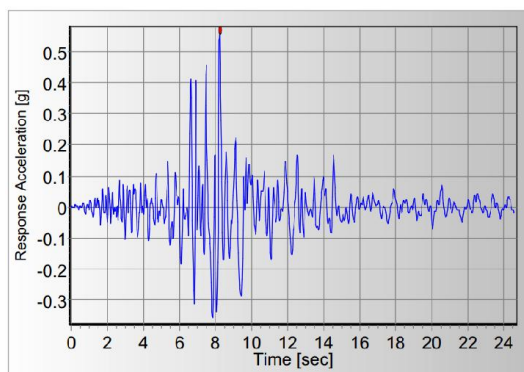
نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور بر اساس میزان لرزه‌خیزی آن و بر اساس جدول ۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ تعیین می‌شود.

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.

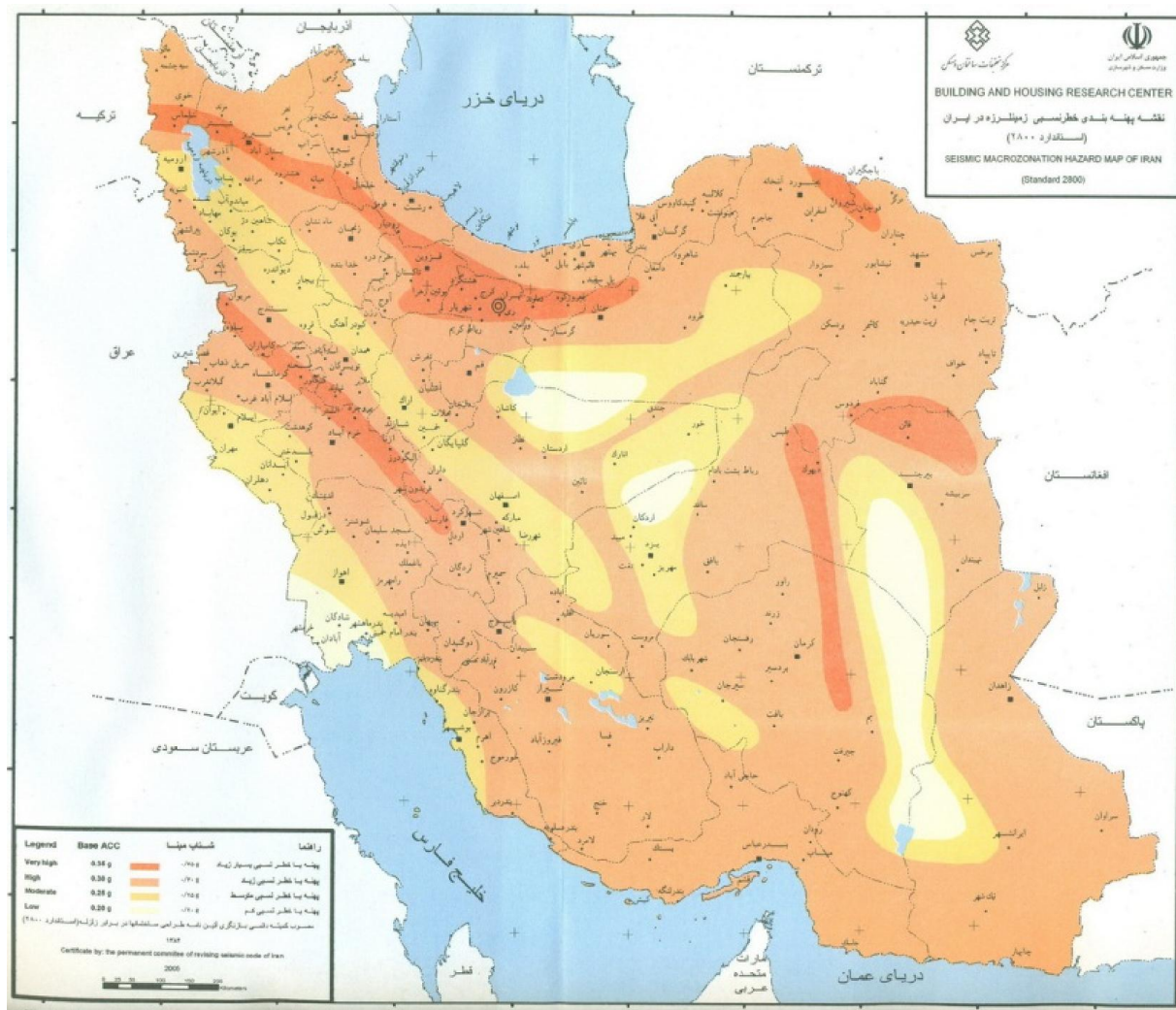
هرچقدر این شتاب افزایش یابد، ضریب زلزله نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد.



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

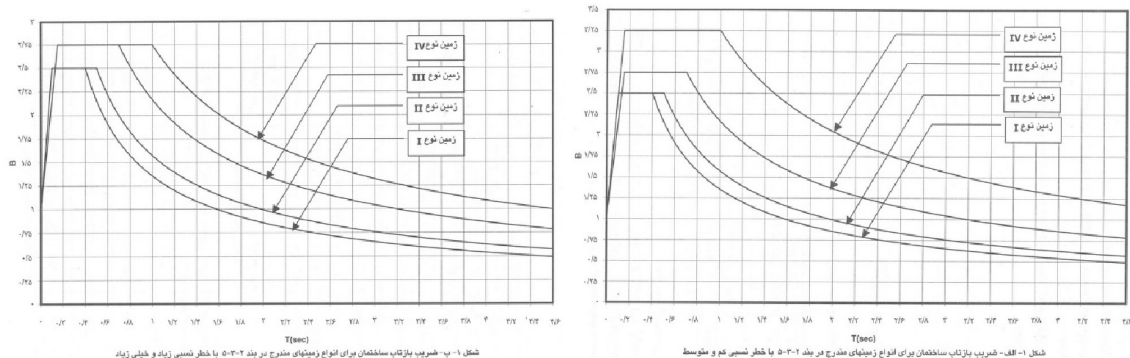
این ضریب با استفاده از روابط یا شکل‌های زیر به دست می‌آید:

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

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

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

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)

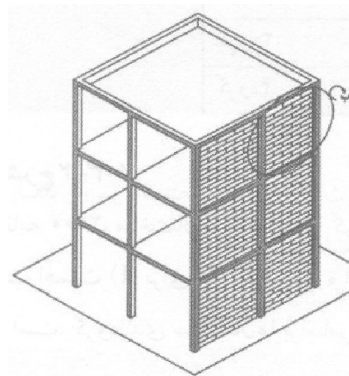
این پارامتر به مشخصات سیستم سازه‌ای ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه بستگی دارد.
 برای قابهای خمشی فولادی:

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

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.

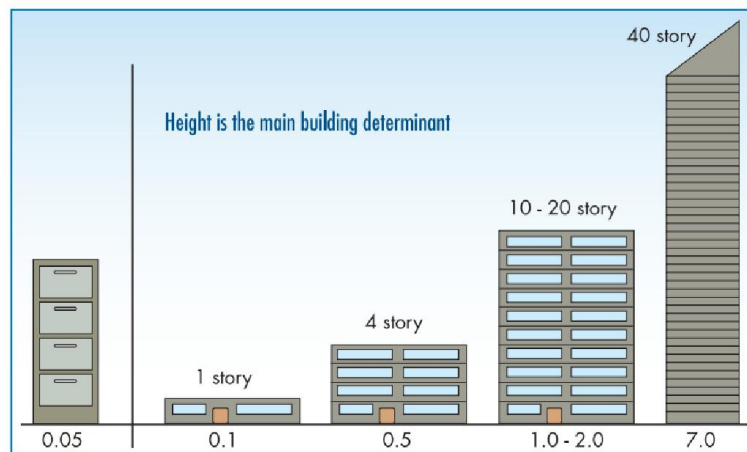


برای دیگر ساختمان‌ها (دیوارهای برشی، بادبندی ...):

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

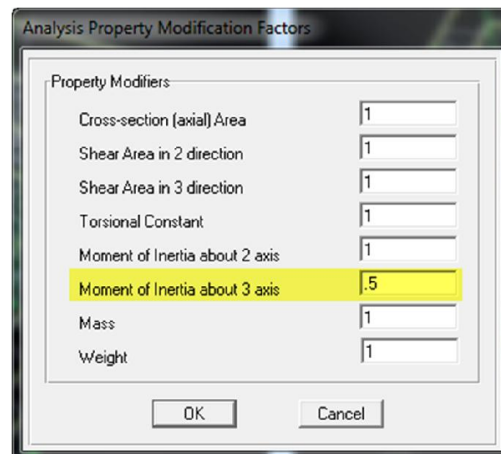
در روابط فوق H ارتفاع ساختمان بر حسب متر است. در محاسبه ارتفاع در صورتیکه وزن خرپشته از ۲۵٪ وزن بام بیشتر باشد، باید ارتفاع خرپشته نیز محسوب شود. هر طبقه تقریباً ۰/۱ ثانیه پریود دارد.

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 ۰/۵ 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:

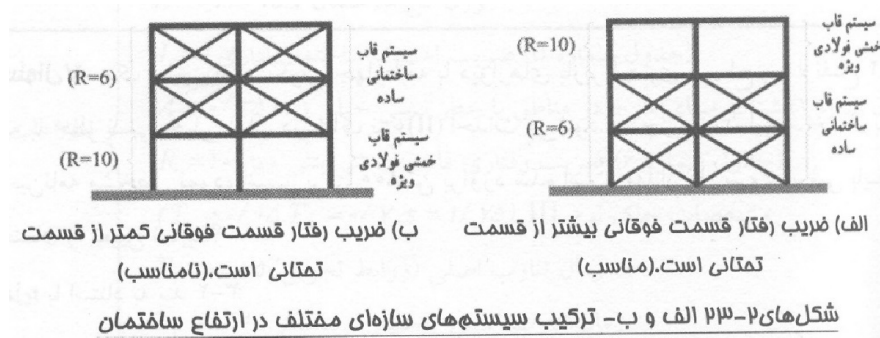
جدول ۵ ضریب اهمیت ساختمان

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

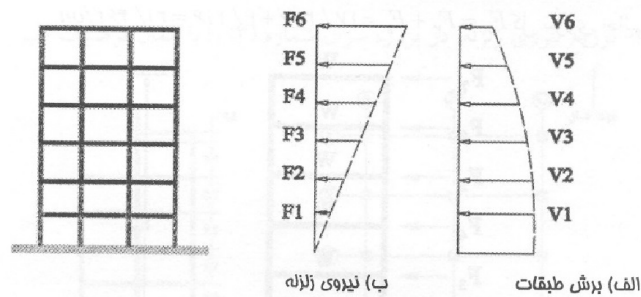
V : مقدار برش پایه

F_t : نیروی شلاقی واقع بر تراز بام یا طبقه آخر

W_i : وزن طبقه i ام

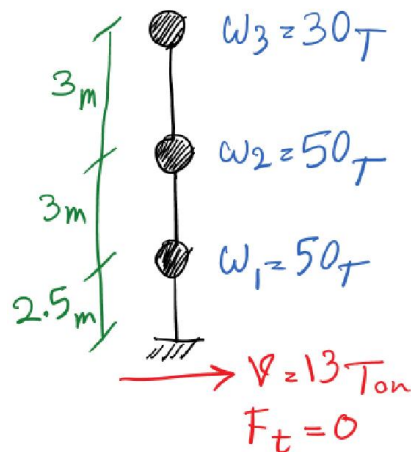
h_i : ارتفاع طبقه i ام از سطح زمین

F_i : نیروی زلزله وارد بر طبقه i ام



شکل ۱۴-۲ الف و ب- توزیع نیروی جانبی و نیروی برشی در طبقات ساختمان

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



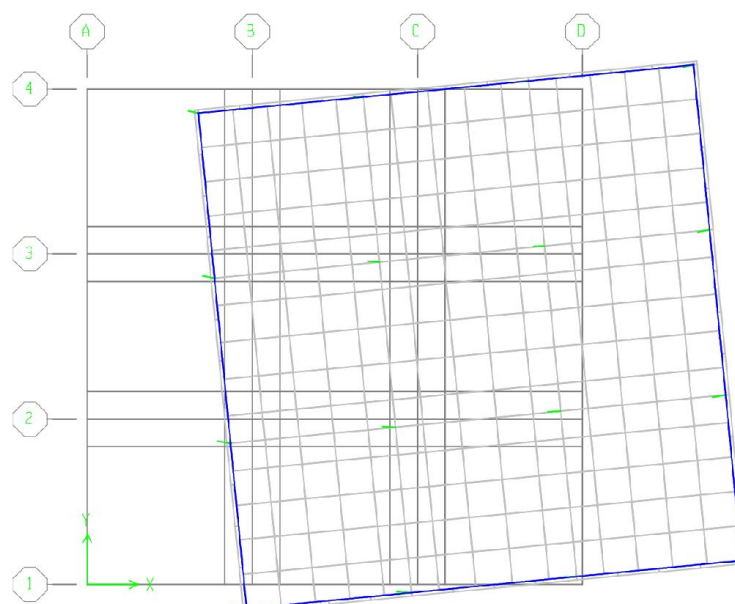
حل:

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

	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

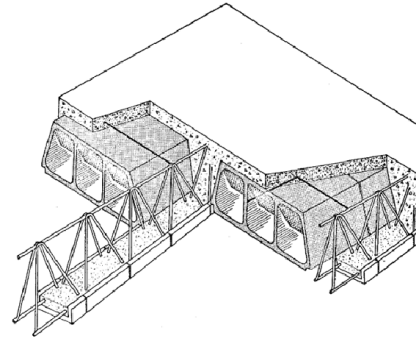
در صورتیکه میان مرکز جرم و مرکز سختی هر طبقه فاصله وجود داشته باشد، به دلیل اینکه نیروی زلزله در مرکز جرم طبقه اثر می‌کند ولی کف هر طبقه حول مرکز سختی آن می‌چرخد در نتیجه علاوه بر نیروی برشی در هر طبقه، یک نیروی پیچشی ناشی از زلزله هم به وجود می‌آید.



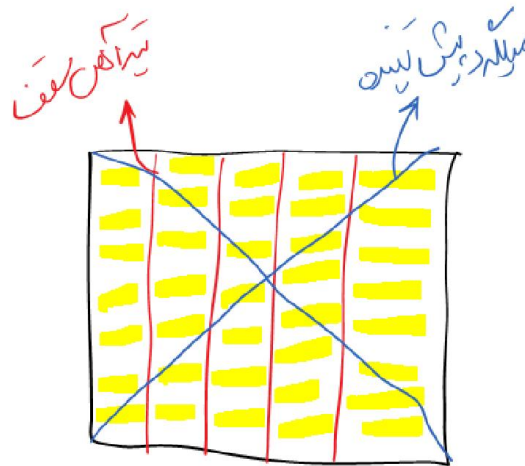
این نیروی پیچشی باید به تناسب سختی بادبندها، دیوارهای برشی و یا قاب‌ها بین آنها توزیع شود. البته شرط به وجود نیروی پیچشی در صورتی است که سقف ساختمان صلب باشد (یعنی سقف تیرچه و بلوک، سقف کامپوزیت یا دال بتن مسلح با ضخامت دال حداقل ۵ سانتی‌متر داشته باشیم). ولی در صورتیکه سقف از نوع طاق ضربی باشد نیروی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



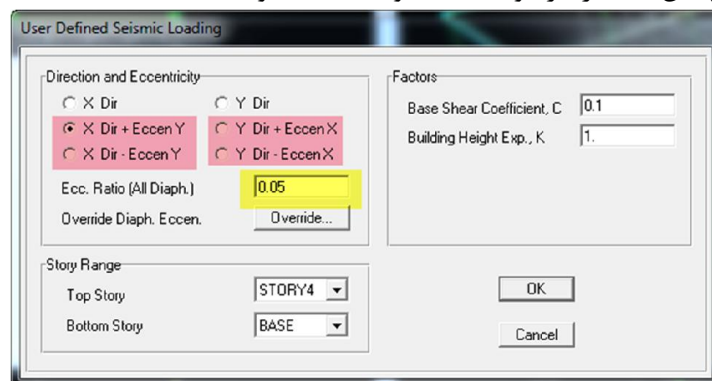
سقفها صلب (تیرچه بلوک، سقف کامپوزیت، دال بتنی)



حیال معاون ساز سقف طاق ضربی

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.

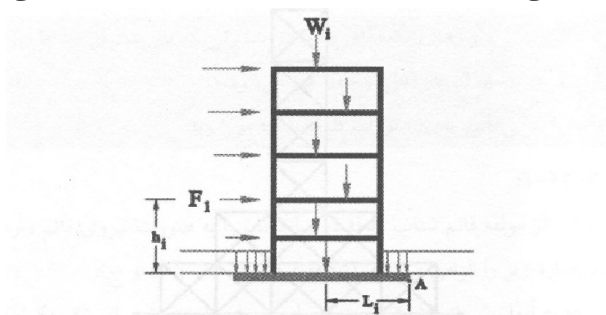


محاسبه ساختمان در برابر واژگونی

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

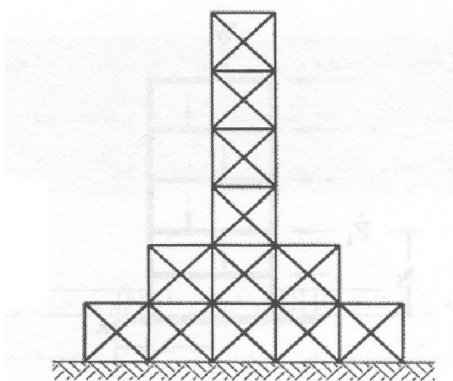
w : وزن فونداسیون و خاک روی آن

L : فاصله وزن شالوده از لبه بیرونی فونداسیون

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

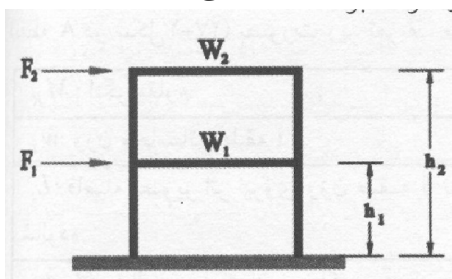
$$\frac{M_R}{M_O} \geq 1.75$$

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 مانعی 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:

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

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

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.

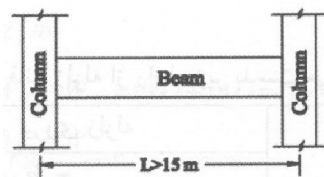
در برنامه ETABS می‌توان مقدار نیروهای زلزله و نیروهای افقی وزن را بر اساس دستور زیر به دست آورد و سپس آنها را در برنامه EXCEL قرار داده و محاسبات مربوطه انجام شود.
Display > Show Table > Analysis Result > Building output > Story Shear

Vx و Vy: نیروی برشی زلزله در تراز طبقات هستند که باید تبدیل به نیروهای زلزله شوند. این نیروها باید برای Ex و Ey 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.

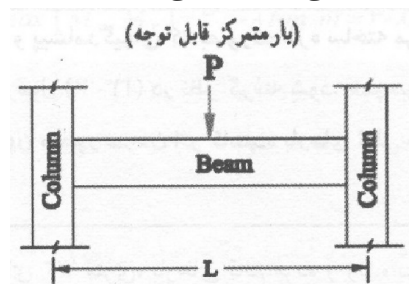
Story Shears									
Edit View									
Story Shears									
Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY	
STORY4	DEAD	Top	864.09	0.00	0.00	0.000	373288.908	-373288.908	
STORY4	DEAD	Bottom	928.89	0.00	0.00	0.000	401280.716	-401280.716	
STORY4	LIVE	Top	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	
STORY4	LIVE	Bottom	0.00	0.00	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	1857.76	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	87793.964	0.000	-20654.806	
STORY3	EX	Bottom	0.00	-254.92	0.00	87793.964	0.000	-57363.084	
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	-329.24	0.00	113390.331	0.000	-57363.084	
STORY2	EX	Bottom	0.00	-329.24	0.00	113390.331	0.000	-104773.675	

نیروی قائم زلزله:

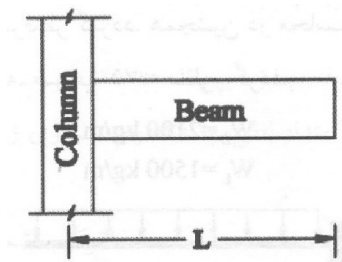
نیروی قائم زلزله تنها در موارد زیر باید در تحلیل و طراحی لحاظ شوند:
۱- تیرها با دهانه‌های بیشتر از ۱۵ متر.



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:

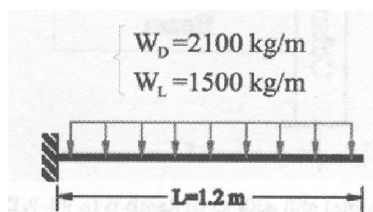
$$F_v = 1.4AIW_p$$

F_v : نیروی قائم زلزله

I و A : 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.

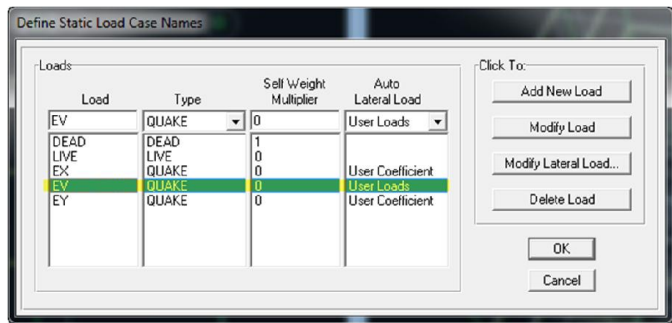
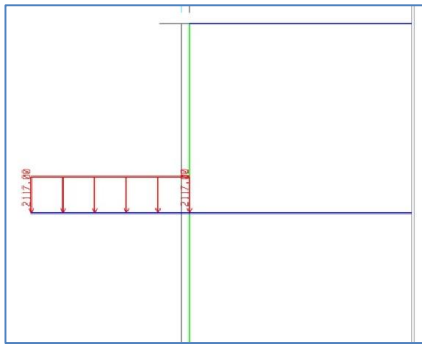


حل:

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):

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

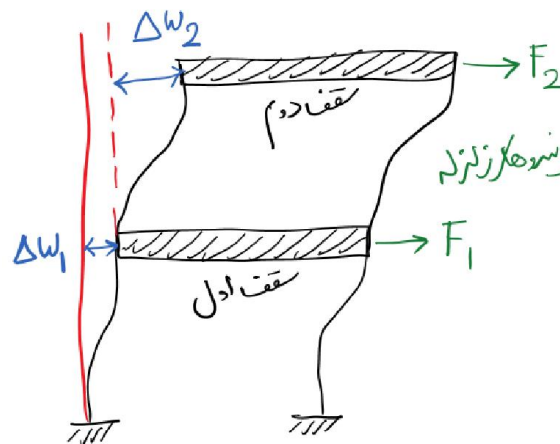
$$0.75(D + L \pm E_y \pm 0.3E_x \pm 0.3E_z)$$

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

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،

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

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

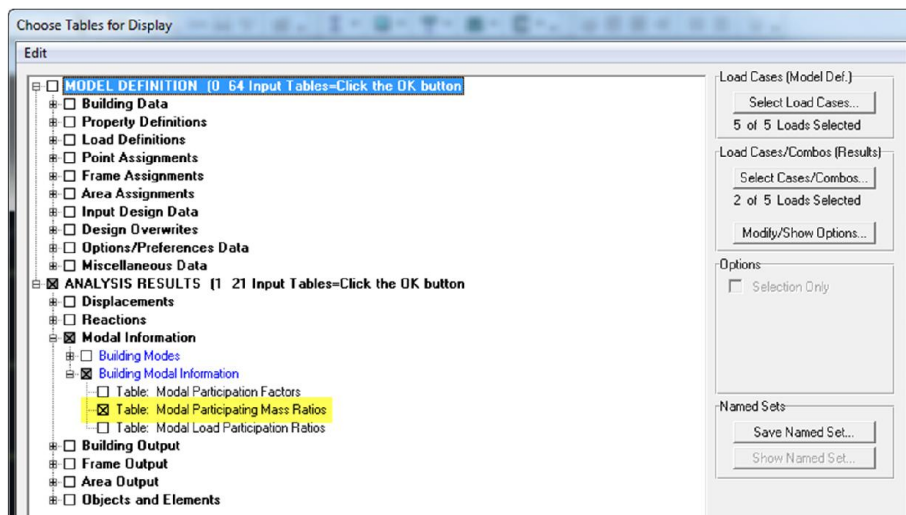
R: ضریب رفتار ساختمان

سپس مقدار Δ_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 (عموماً ساختمان‌های مهاربندی و دیوار برشی)
$\Delta_M < 0.2$ برابر ارتفاع طبقه	برای ساختمان‌های با زمان تناوب مساوی یا بیشتر از ۰/۷ (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

Edit View

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	95.7837
	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	99.8428	99.0791	0.0000	0.0002
	8	0.170863	0.0120	0.7757	0.0000	99.8548	99.8548	0.0000	0.0128
	9	0.142181	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

OK

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.

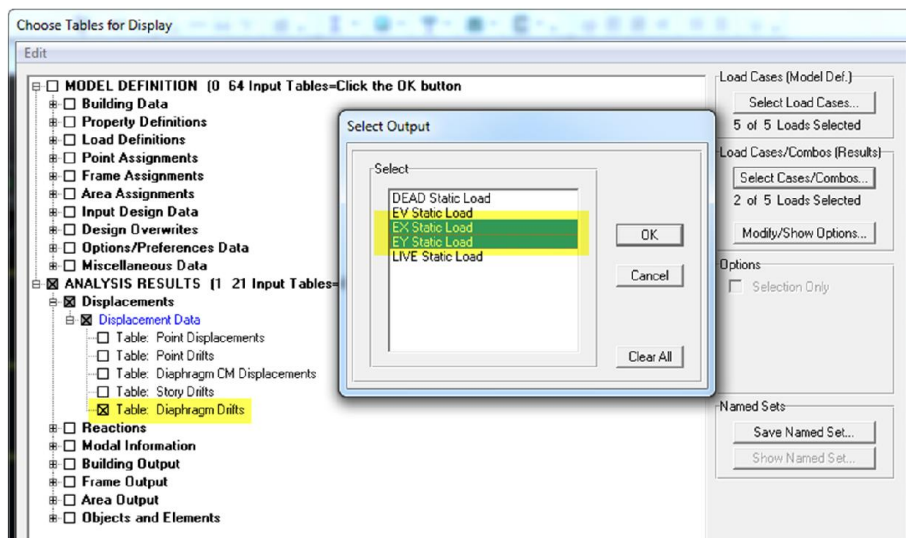
عموما Drift در ساختمان های قاب خمشی جواب نمی دهد. ولی برای ساختمان های دیوار برشی و مهاربندی مشکلی از بابت Drift وجود ندارد.

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	-6.000	576.000	0.001386	
STORY4	Diaph D1 Y	EX	18	870.000	-6.000	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	-6.000	432.000	0.002351	
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	-6.000	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 «تغییرمکان 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 «تغییرمکان نسبی طرح» به دست می آید:

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

سپس مقدار «تغییرمکان 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.

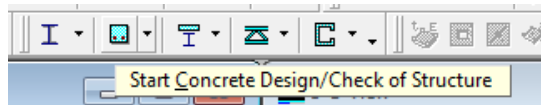
آموزش ETABS در تحلیل و طراحی سازه‌ها

مشخصات پروژه بتنی

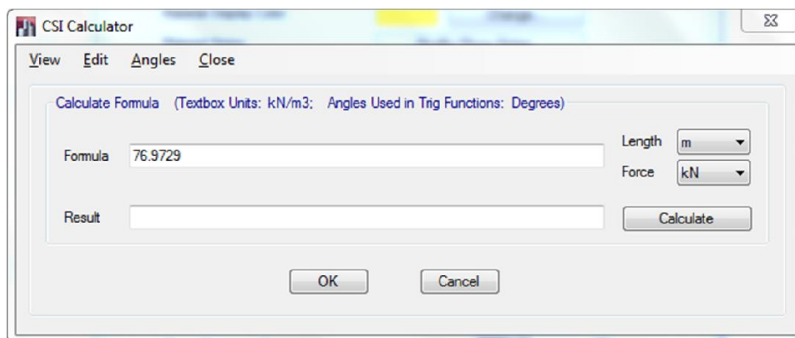
- سقف : ☒ تیرچه بلوک ☐ طاق ضربی ☐ دال بتنی ☐ سقف کامپوزیت
- کاربری : ☒ مسکونی ☐ تجاری ☐ اداری
- شهر محل پروژه : رشت
- نوع خاک : ☐ نوع ۱ ☐ نوع ۲ ☐ نوع ۳ ☒ نوع ۴
- سیستم سازه‌ای :
- جهت X : قاب خمشی بتنی + دیوار برشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط
- جهت Y : قاب خمشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط
- مقاومت بتن تیر-ستون و سقف : ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مربع
- مقاومت بتن پی : ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌مربع
- مقاومت میلگرد طولی : ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مربع
- مقاومت میلگرد عرضی (خاموت) : ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مربع

۱- توضیحات عمومی

روی هر آیکونی از برنامه با ماوس اشاره کنید توضیح مختصری راجع به عملکرد آن آیکون نشان می‌دهد.



در هر قسمتی که ماشین حساب احتیاج داشتید می‌توانید رو آن باکس مربوطه کلید Shift را نگه دارید و double click کنید.

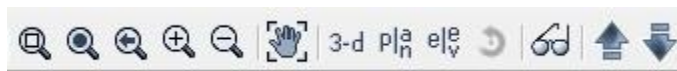


تغییرات اعمال شده روی مدل را می‌توان به سه صورت انجام داد. به این صورت که روی یک طبقه، روی طبقات مشابه و یا تمام طبقات انجام شود.

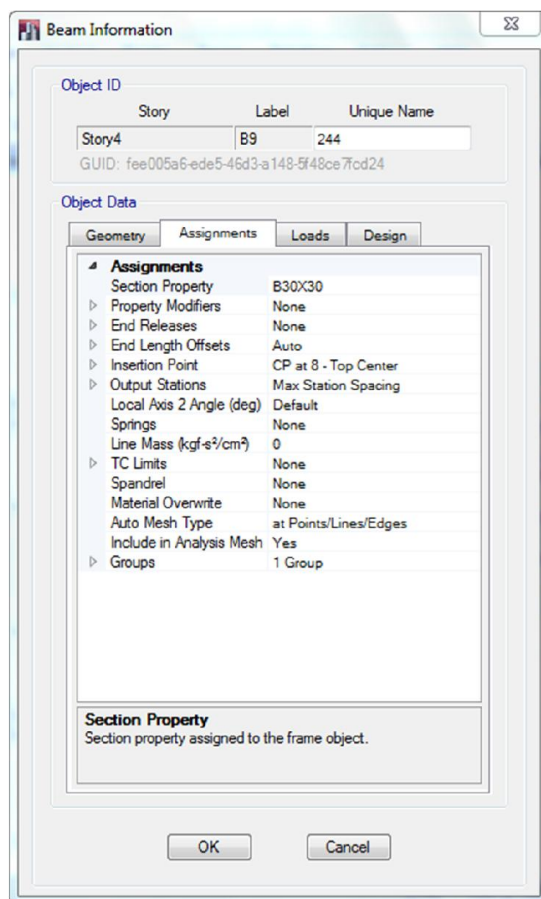


همانند برنامه AutoCAD در صورتی برای انتخاب کردن المان‌ها یک باکس از بالا به پایین بکشیم، تمام اعضای داخل آن کادر انتخاب می‌شوند. ولی در صورتیکه از پایین به بالا باکس رسم شود، تمام اعضای که قسمتی از آنها در داخل کادر قرار دارند انتخاب می‌شوند.

از دستورات Zoom برای بزرگنمایی مدل می‌توان استفاده کرد. مدل می‌تواند در حالت‌های سه‌بعدی، پلان و ارتفاعی قرار بگیرد. همچنین با استفاده از فلش‌های بالا و پایین می‌توان نماهای مختلف پلان و ارتفاع جابه‌جا شد



وقتی روی هر عضو کلیک راست می‌کنیم، می‌توانیم مشخصات هندسی و مصالح آنها را مشاهده کنیم.



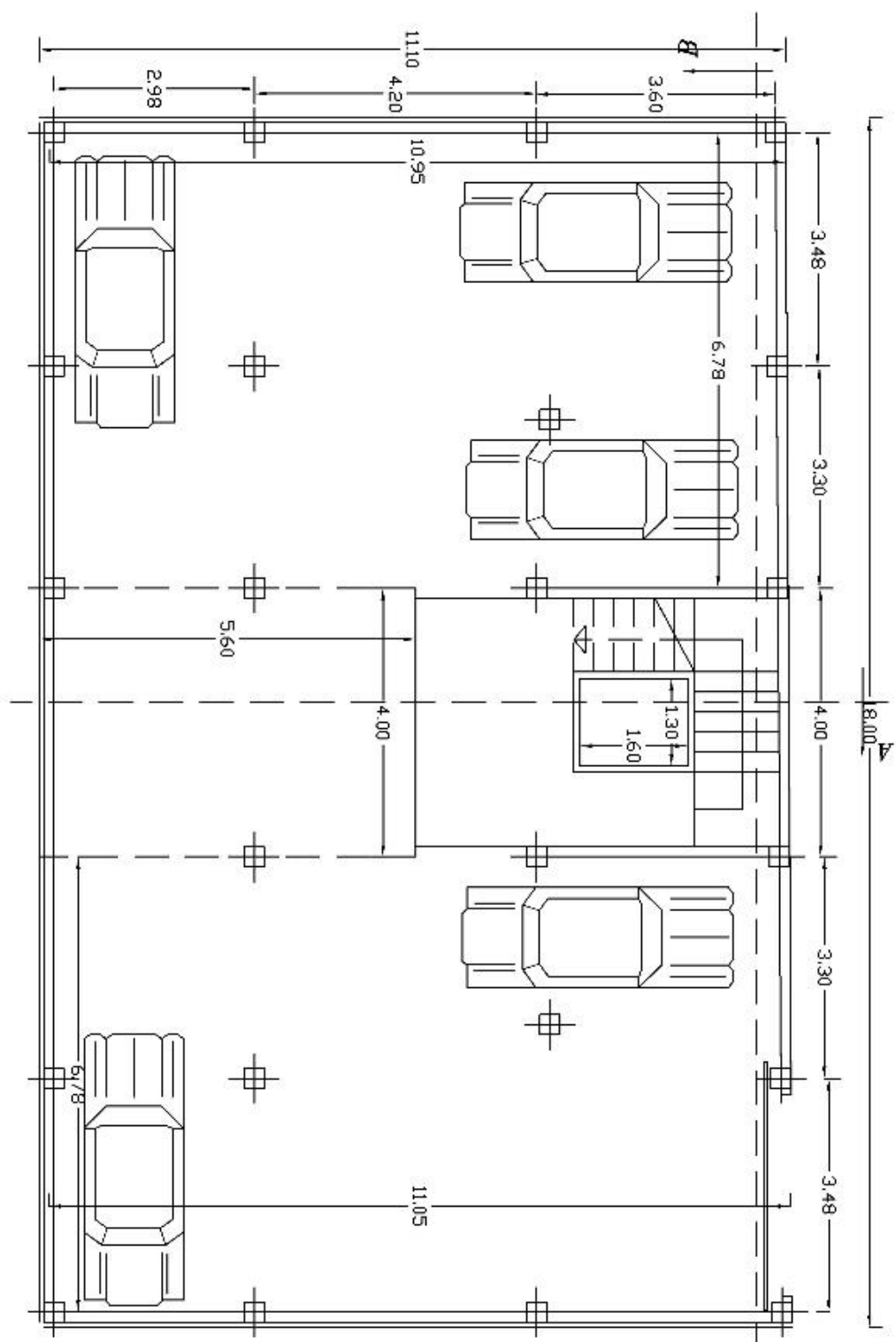
۲- ساخت هندسه مدل

در این مرحله یک ساختمان بتنی مدل می‌شود.

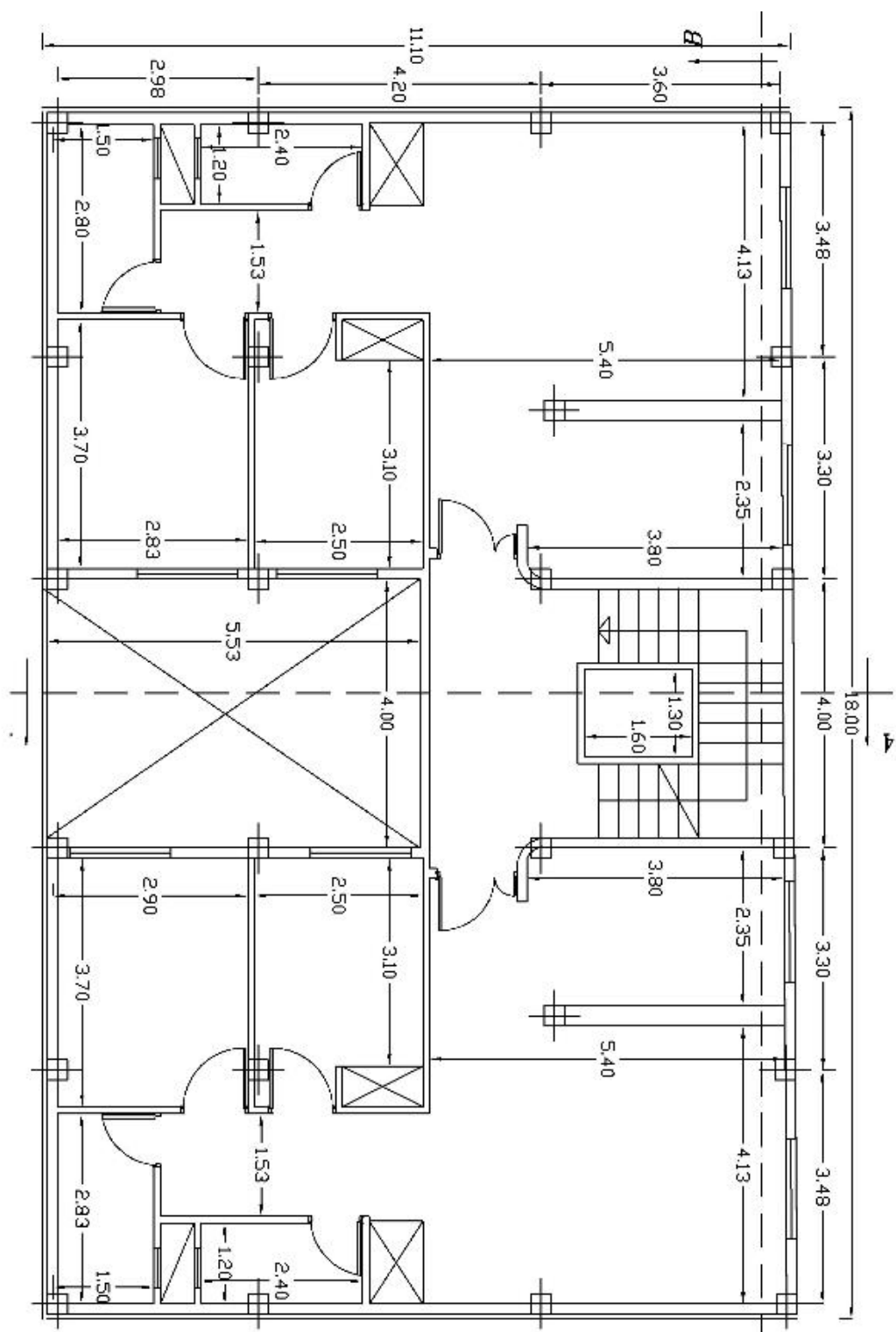
بزرگترین ضعف مهندسين عمرانی که به تازگی از دانشگاه فارغ‌التحصیل می‌شوند این است که به خوبی نمی‌توانند اطلاعات لازم را از روی نقشه‌های معماری استخراج کرده و به ورودی‌های لازم برای مدلسازی در برنامه ETABS تبدیل کنند.

در این پروژه تلاش می‌کنیم تا از ابتدا یک ساختمان را بر اساس نقشه‌های معماری مدلسازی، تحلیل و طراحی کنیم. در این درس از ETABS 2013 برای مدل‌سازی سازه استفاده می‌شود. این برنامه دارای این قابلیت است که پس از تحلیل و طراحی دیتایل‌های سازه‌ای را نیز ارائه کند.

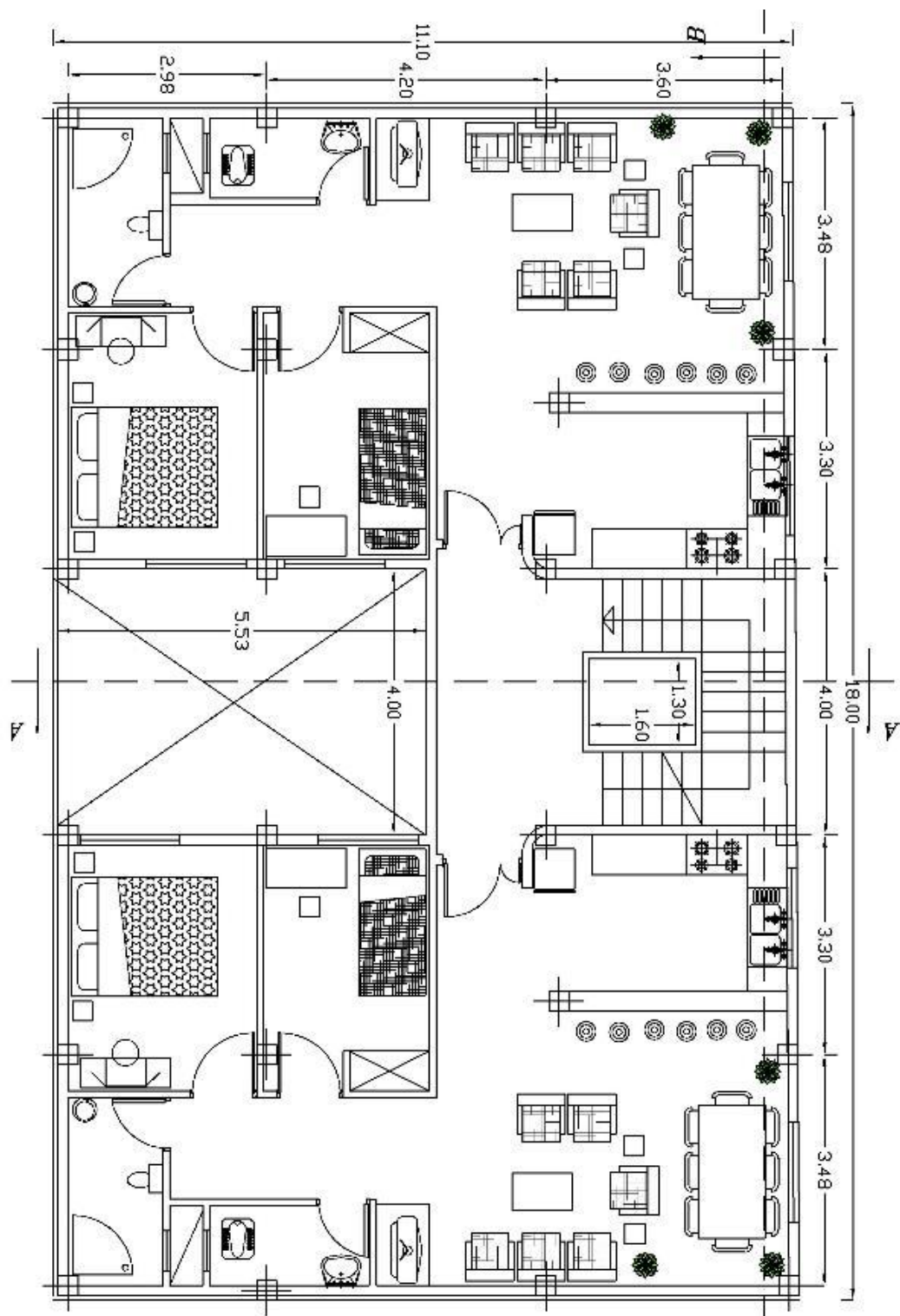
در پلان‌های زیر تنها کفایست که جای ستون‌ها و فاصله آنها از یکدیگر استخراج کرده و در برنامه وارد کنید.



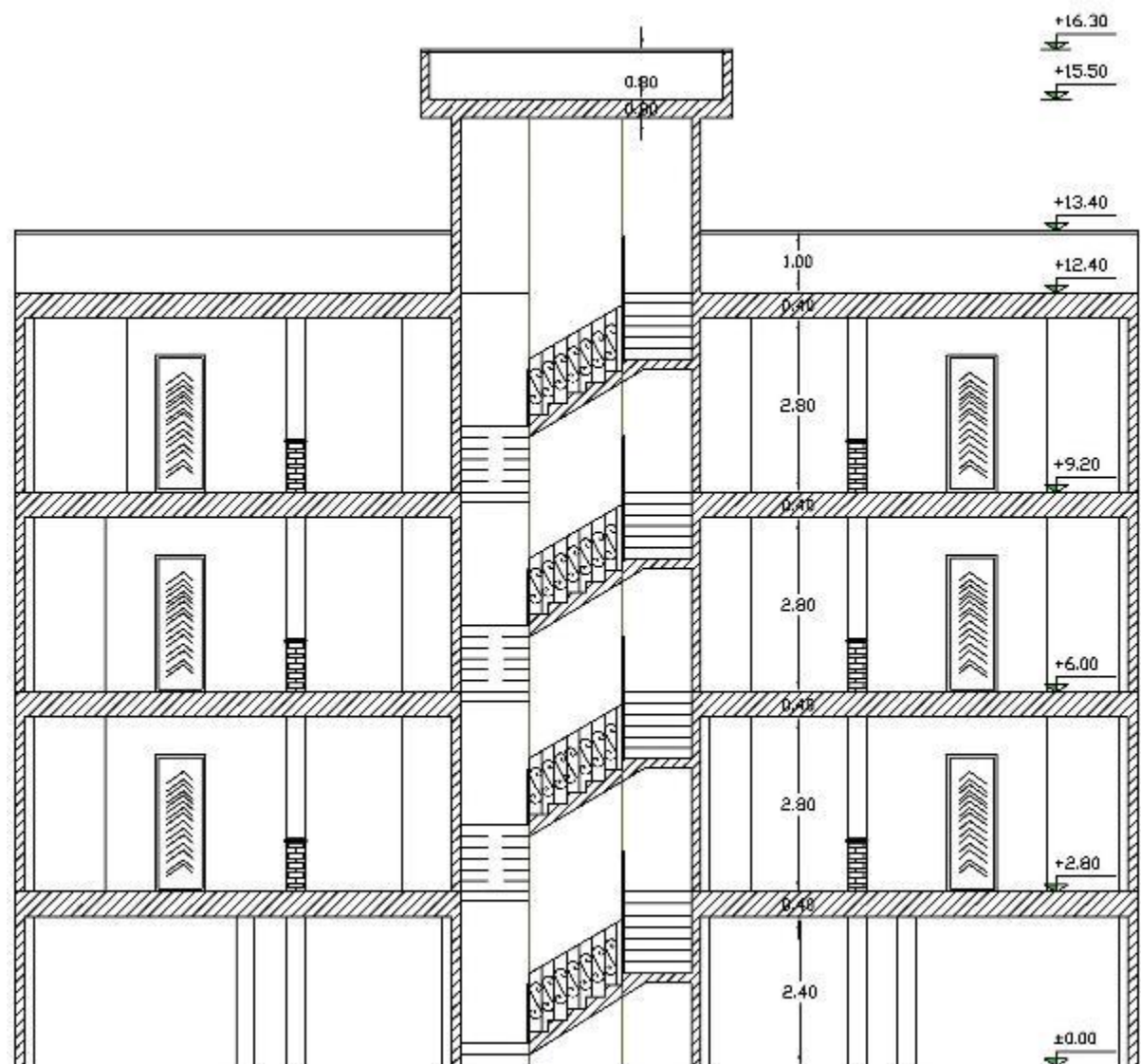
پلان پارکینگ



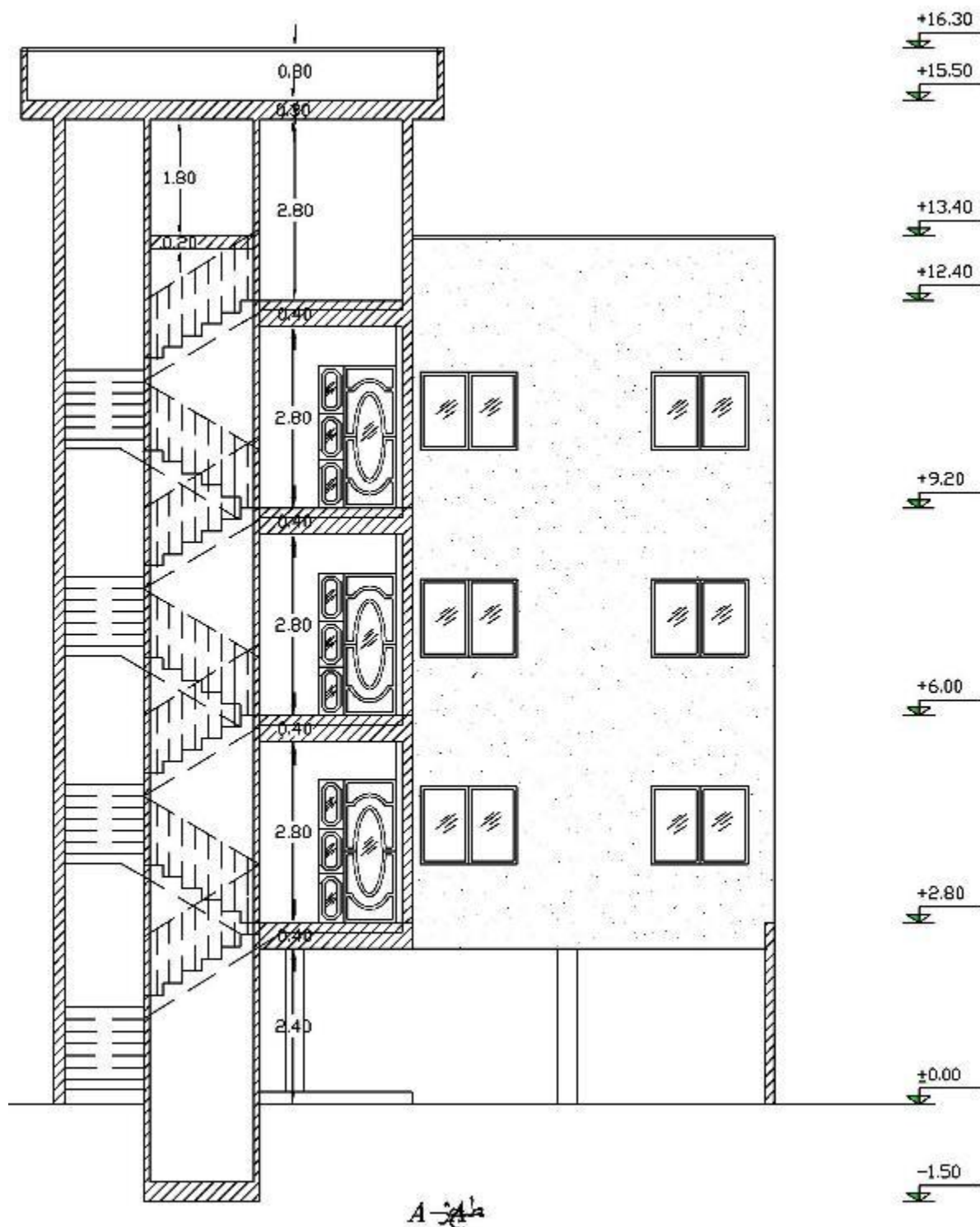
پلان طبقه اول و دوم



پلان طبقه سوم



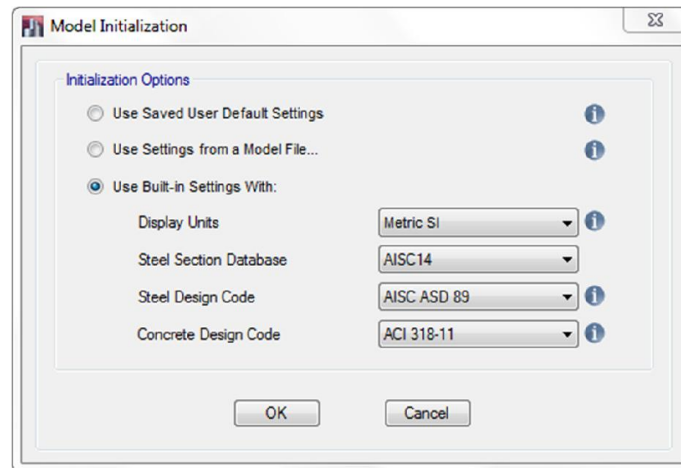
برش جانبی



نمای برش جانبی ساختمان

میان تار تیرها باید ملاک مدل سازی قرار گیرد.

دستور `File>New model` اجرا می شود. در پنجره باز شده واحدها را بر حسب Metric SI قرار داده و آیین نامه طراحی را ACI 318-11 قرار می دهیم.

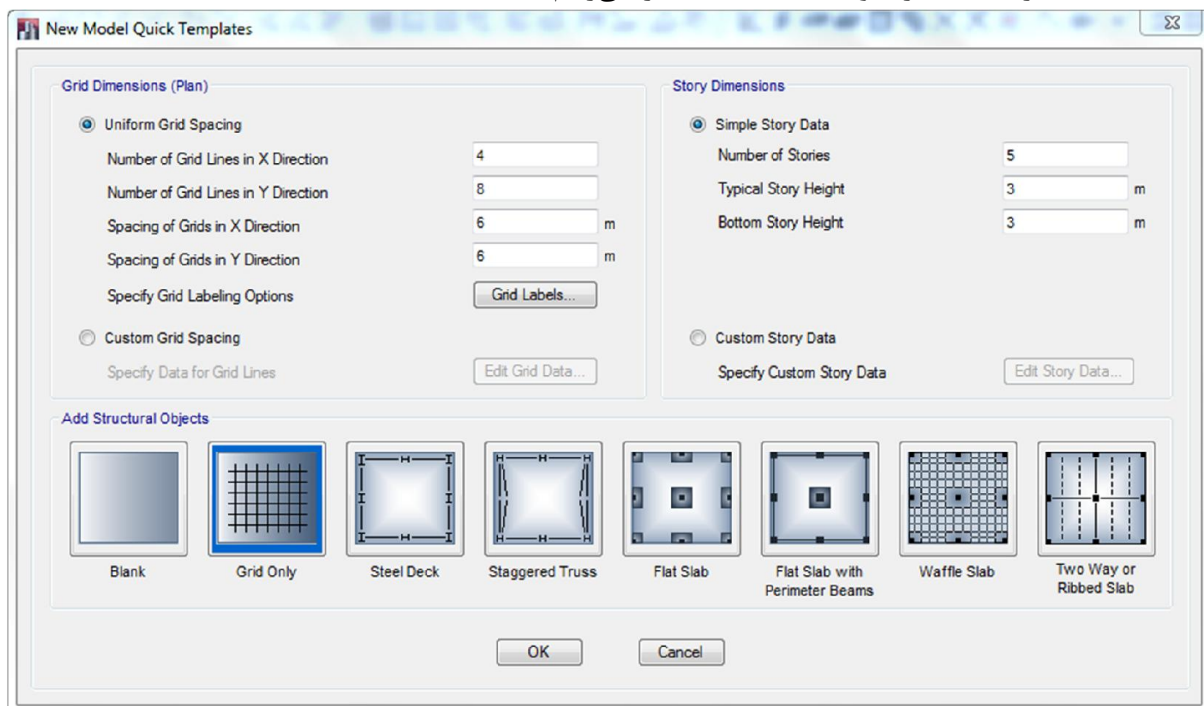


در مرحله بعد باید Grid Line ها یا همان آکس بندی پلان (فاصله‌ی دهانه‌ها) و تراز طبقات پروژه تعریف شود. اینکار به دو صورت می‌تواند انجام شود:

Uniform Grid: یعنی خطوط آکس‌بندی دارای فواصل یکنواخت است که عموماً این حالت در هیچ ساختمانی وجود ندارد.

Custom Spacing: فاصله‌ی آکس‌ها توسط خود کاربر تعیین خواهد شد.

در این پروژه در جهت X ۴ آکس و در جهت Y ۸ آکس داریم. همچنین تعداد سقف‌های ساختمان نیز ۵ سقف است. پس تعداد سقف‌ها و تعداد Grid Line ها را در جهت X و Y را در پنجره زیر وارد کرده سپس گزینه custom grid spacing را انتخاب کرده و Edit Grid data را می‌زنیم.



به دلیل اینکه فاصله بین آکس‌های پلان را داریم گزینه Display Grid Data as Spacing را انتخاب کرده، فاصله میان آکس‌ها را مطابق شکل زیر وارد می‌کنیم. گزینه Bubble size برای تنظیم اندازه شعاع دایره در Lable هر آکس است. بعد از تنظیم OK می‌کنیم تا به صفحه قبلی برگردیم.

Grid System Data

Grid System Name: G1

System Origin: Global X: 0 m, Global Y: 0 m, Rotation: 0 deg

Story Range Option: ☐ Default, ☐ User Specified (Top Story: , Bottom Story:)

Click to Modify/Show: Reference Points..., Reference Planes...

Options: Bubble Size: 800 mm, Grid Color:

Rectangular Grids: ☐ Display Grid Data as Ordinates, ☒ Display Grid Data as Spacing

X Grid Data

Grid ID	X Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
A	2.98	Yes	End
B	4.20	Yes	End
C	3.60	Yes	End
D	0	Yes	End

Add, Delete

Y Grid Data

Grid ID	Y Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
1	3.48	Yes	Start
2	0.65	Yes	Start
3	2.65	Yes	Start
4	4.00	Yes	Start
5	2.65	Yes	Start
6	0.65	Yes	Start

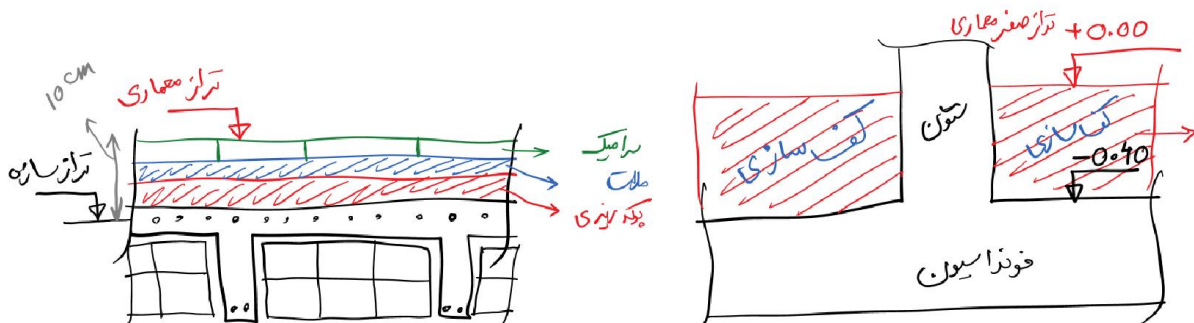
Add, Delete

Quick Start New Rectangular Grids...

OK, Cancel

دقت کنید که تعداد Story همان تعداد کف طبقات است نه تعداد طبقات ساختمان. تعداد سقف‌های طبقات با احتساب خرپشته ۵ سقف است. پس تعداد ۵ را وارد کرده سپس گزینه custom story data و سپس Edit story data را انتخاب می‌کنیم. در اینجا به دلیل اینکه سقف‌های اول تا سوم شبیه یکدیگر هستند و کاربری مسکونی دارند (بار طبقاتشان یکی است)، پس سقف سوم را به عنوان Master story انتخاب کرده و سقف‌های اول و دوم را شبیه به طبقه سوم انتخاب می‌کنیم. سقف چهارم و پنجم سقف بام هستند و با این سقف‌ها متفاوت‌اند.

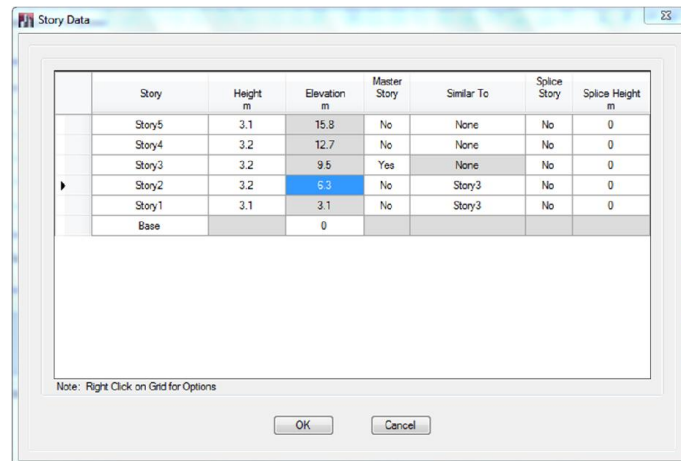
ارتفاع طبقات را زیر مطابق پلان معماری وارد می‌کنیم. دقت شود که تراز پایه صفر که در پلان معماری نشان داده شده تراز پایه عمرانی نیست و تراز صفر عمرانی از روی فونداسیون شروع می‌شود. معمولاً به دلیل کف‌سازی در پارکینگ، تراز فونداسیون ۴۰ سانتیمتر زیر تراز صفر ساختمان قرار دارد. همچنین دقت شود که تراز سقف طبقات باید همان تراز دال بتنی سقف تیرچه بلوک باشد نه تراز کف معماری طبقات، به همین دلیل چون در هر طبقه سرامیک، ملات ماسه سیمان و پوکه ریزی بر روی دالی بتن کف قرار دارد، باید از تراز معماری طبقات ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر کم شود تا به تراز سازه‌ای برسیم. در واقع ارتفاع طبقات در ETABS فاصله دال بالایی تا دال پایینی است.



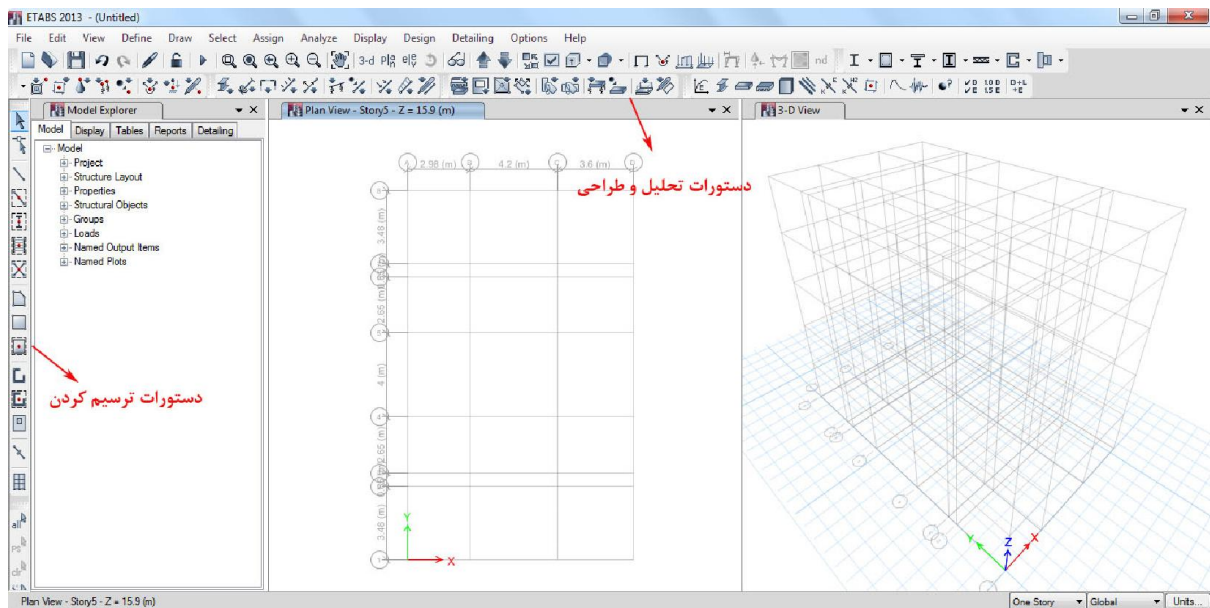
ارتفاع سازه‌ای طبقات (cm)	تراز سازه‌ای (cm)	تراز معماری (cm)	
۳۱۰	-۴۰	۰	همکف
۳۲۰	+۲۷۰	+۲۸۰	سقف اول
۳۲۰	+۵۹۰	+۶۰۰	سقف دوم
۳۲۰	+۹۱۰	+۹۲۰	سقف سوم

۳۱۰	+۱۲۳۰	+۱۲۴۰	سقف چهارم
-	+۱۵۴۰	+۱۵۵۰	سقف پنجم

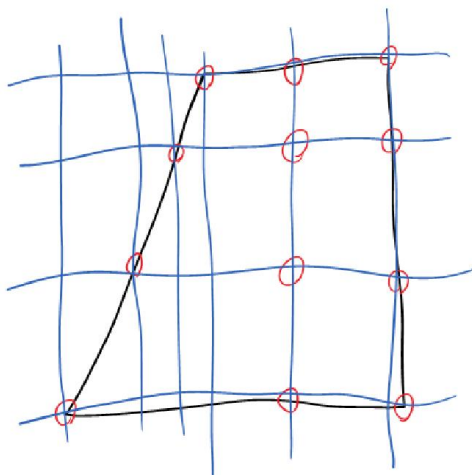
پس مشخصات طبقات را مطابق شکل زیر وارد کرده و OK می‌کنیم. بعد حالت Grid Only را انتخاب کرده و OK می‌کنیم.



باید صفحه‌ای مطابق شکل زیر درست شود.

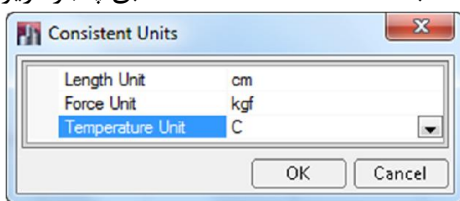


برای تعریف ستون بر روی آکس‌های مایل باید مطابق شکل زیر عمل کنید.



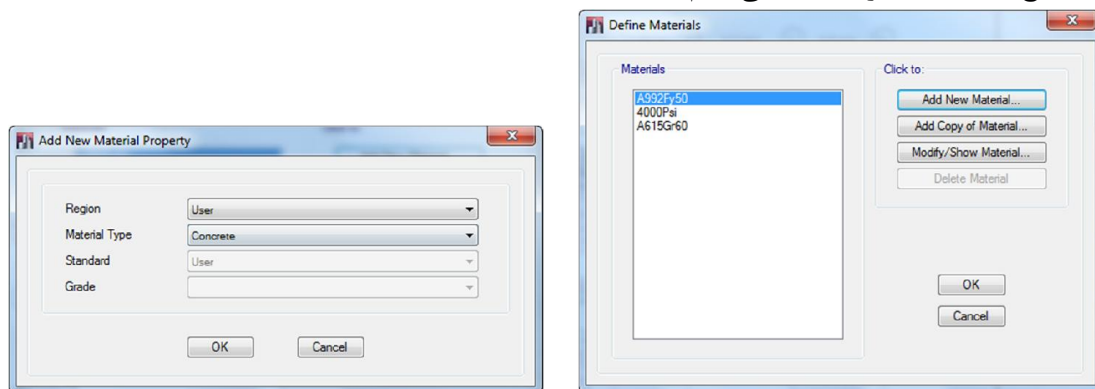
۳- منوی Define

تمامی مشخصات ساختمان اعم از مشخصات مصالح، ابعاد مقاطع، ترکیبات بارگذاری، انواع بار، مرکز جرم و ... در این منو مشخص می‌شود. با توجه به اینکه مشخصات مصالح ما در واحد kg-cm است و تا انتهای پروژه نیز با همین واحد سر و کار داریم، پس بهتر است واحدها را در کل مدل به این صورت تغییر دهیم. در گوشه پایین سمت راست مدل روی دستور unit کلیک کرده و با انتخاب consistent units مطابق پنجره زیر واحدها را تغییر می‌دهیم.



۳-۱- Material Properties

مشخصات مصالح توسط دستور Define/Material Properties تعریف می‌شود. در این دستور مشخصات از پیش تعریف شده وجود دارد. ولی با توجه به اینکه مشخصات مصالح موجود برای کشورهای دیگر است بنابراین ما باید مشخصات مصالح را خودمان تعریف کنیم. بنابراین باید دستور Add New material اجرا شود. سپس در حالت User مصالح Concrete را انتخاب می‌کنیم.



۳-۱-۱- مشخصات مصالح بتنی

برای به دست آوردن مدول الاستیک بتن می‌توان از رابطه ACI استفاده کرد. در این رابطه باید مقدار مقاومت فشاری بتن بر حسب (Kg/cm²) باشد. در این رابطه باید مقاومت ۲۸ روزهی نمونه استوانه استاندارد بتن با ابعاد ۱۵ در ۳۰ سانتی‌متر جاگذاری شود.

$$E = 15100\sqrt{f'_c} = 15100 \times \sqrt{250} = 238752 \text{ kg/cm}^2$$

این رابطه برای آیین‌نامه مبحث نه مقررات ملی ساختمان به صورت $E = 5000\sqrt{f'_c}$ است که در این صورت مقدار مقاومت فشاری بتن باید برحسب Mpa وارد شود. هر یک مگاپاسکال 9.81 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (Kg/cm^2) است. یعنی ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تقریباً ۲۵ مگاپاسکال است. ضریب پواسون بتن 0.2 است. مقاومت فشاری نمونه‌ای استوانه‌ای استاندارد بتن ۲۸ روزه f'_c برابر ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. مقاومت تسلیم فولاد میلگرد طولی (Rebar) f_y برابر ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (میلگرد AIII) است. مقاومت تسلیم فولاد میلگرد خاموت (Stirrup) f_{ys} برابر ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (میلگرد AII) است. مشخصات مصالح را مطابق شکل زیر تکمیل کنید.

The image shows two software dialog boxes. The left box, titled 'Material Property Design Data', contains fields for 'Material Name' (Concrete), 'Material Type' (Concrete, Isotropic), 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c ' (250 kgf/cm^2), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. The right box, titled 'Material Property Data', contains sections for 'General Data' (Material Name: Concrete, Material Type: Concrete, Directional Symmetry Type: Isotropic), 'Material Weight and Mass' (Weight per Unit Volume: 0.00255 kgf/cm^3), 'Mechanical Property Data' (Modulus of Elasticity, E: 238752 kgf/cm^2 , Poisson's Ratio, U: 0.2, Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 $1/^\circ\text{C}$, Shear Modulus, G: 99480 kgf/cm^2), and 'Design Property Data'.

باید مشخصات میلگرد (Rebar) و خاموت‌ها (Stirrup) را هم تعریف کرد. پس به همان صورت قبلی دو مصالح به این اسامی و با نوع bar تعریف می‌کنیم.

The image shows the 'Add New Material Property' dialog box. It contains dropdown menus for 'Region' (User), 'Material Type' (Rebar), 'Standard' (User), and 'Grade'.

Material Property Data

General Data

Material Name: Rebar

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2038901.92 kgf/cm²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: Rebar

Material Type: Rebar, Uniaxial

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 4000 kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, Fu: 4000 kgf/cm²

Expected Yield Strength, Fye: 4000 kgf/cm²

Expected Tensile Strength, Fue: 4000 kgf/cm²

OK Cancel

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: Stimup

Material Type: Rebar, Uniaxial

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 3000 kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, Fu: 3000 kgf/cm²

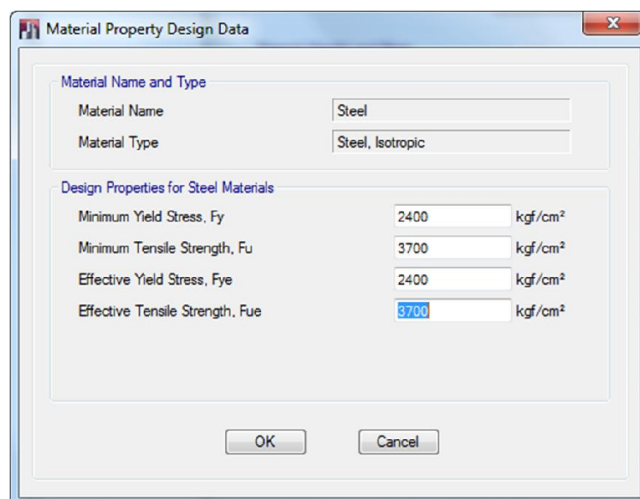
Expected Yield Strength, Fye: 3000 kgf/cm²

Expected Tensile Strength, Fue: 3000 kgf/cm²

OK Cancel

۳-۱-۲- مشخصات مصالح فولادی (برای مقاطع نورد شده فولادی)

مقدار جرم و وزن فولاد باید به ترتیب ۸۰۰ و ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمربع وارد شود. مقدار مدول الاستیک فولاد 2.1×10^6 کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. مقدار تنش تسلیم F_y و تنش نهایی F_u برای فولاد ST37 به ترتیب ۲۴۰۰ و ۳۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. ضریب پواسون آن 0.3 است.



Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: Steel

Material Type: Steel, Isotropic

Design Properties for Steel Materials

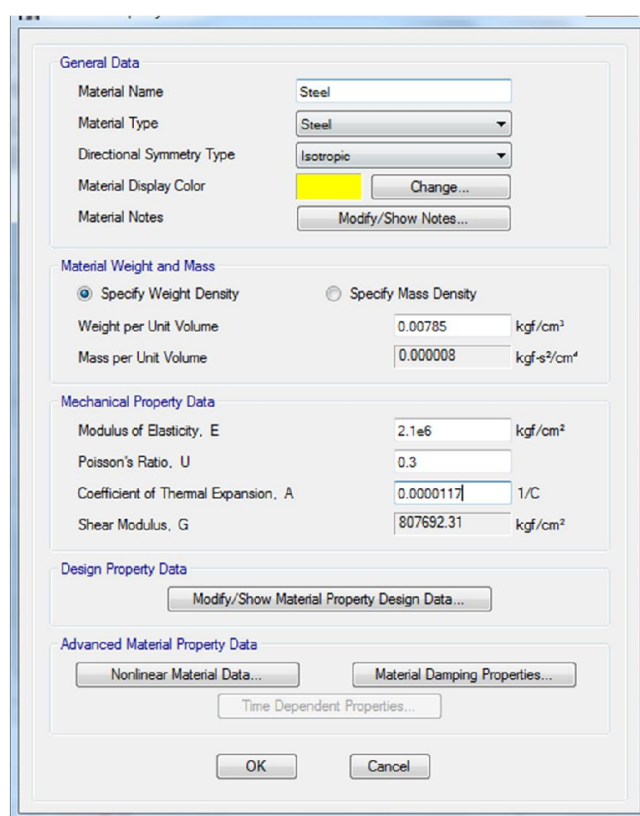
Minimum Yield Stress, F_y : 2400 kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, F_u : 3700 kgf/cm²

Effective Yield Stress, F_{ye} : 2400 kgf/cm²

Effective Tensile Strength, F_{ue} : 3700 kgf/cm²

OK Cancel



Material Property

General Data

Material Name: Steel

Material Type: Steel

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Yellow] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E : 2.1e6 kgf/cm²

Poisson's Ratio, ν : 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, α : 0.0000117 1/C

Shear Modulus, G : 807692.31 kgf/cm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

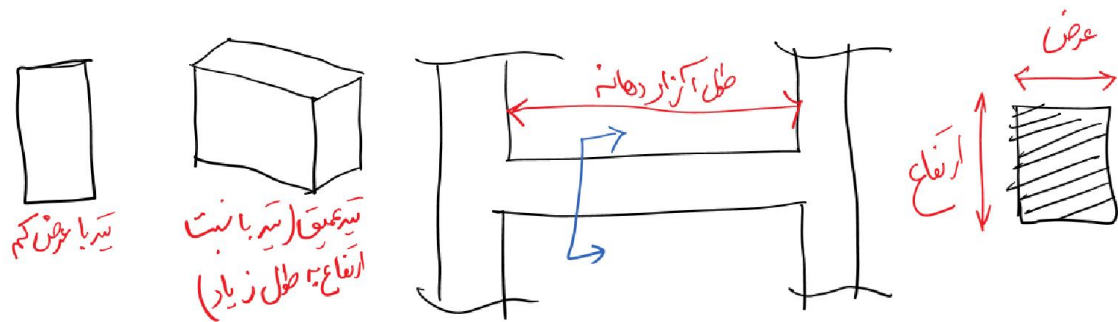
۳-۲- Frame Section

مشخصات مقاطع تیرها و ستونها بر اساس این دستور تعریف می‌شود. بر اساس مقررات ملی مبحث نهم در مورد مقاطع بتنی باید محدودیت‌های زیر رعایت شود:

محدودیت‌های مقطع تیر:

- ارتفاع مقطع نباید بیشتر از $1/4$ طول آزاد دهانه (بر تا بر ستون) باشد (نباید تیر عمیق داشته باشیم).
- عرض مقطع نباید کمتر از $1/4$ ارتفاع مقطع باشد (نباید تیر با مقطع لاغر داشته باشیم تا از کمانش جانبی تیر جلوگیری شود).
- عرض مقطع نباید کمتر از ۲۵ سانتی‌متر باشد.
- مثلاً اگر طول آزاد دهانه ۲۰۰ سانتی‌متر باشد ارتفاع مقطع تیر نمی‌تواند از ۵۰ سانتی‌متر بیشتر شود.

اگر ارتفاع مقطع تیر ۴۰ سانتی متر باشد، عرض مقطع تیر نمی تواند از ۱۰ سانتی متر کمتر شود.



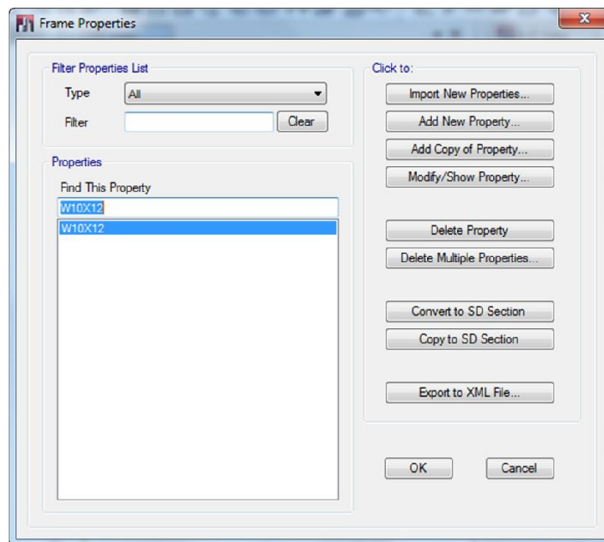
محدودیت های مقطع ستون:

✚ عرض مقطع ستون نباید کمتر از $\frac{1}{3}$ ارتفاع تیر باشد (مقطع ستون لاغر).

✚ عرض مقطع ستون نباید کمتر از ۲۵ سانتی متر باشد.

✚ نسبت طول آزاد دهانه ستون به عرض مقطع نباید از ۲۵ بیشتر باشد (ستون لاغر).

برای تعریف مقطع دستور **Define>Section properties>Frame Section** اجرا می کنیم. می توان مقاطع را درست کرد (Add) یا اینکه آنها از یک منبع دیگر آنها را به برنامه Import می کنیم.



انواع مقاطعی که می توان در ETABS تعریف کرد:

✚ I/wide flange : مقاطع بال پهن

✚ Channel : مقاطع ناودانی

✚ Tee : مقاطع سپری

✚ Angle : نبشی

✚ Double Angle : مقاطع دابل نبشی

✚ Box : مقاطع مربع توخالی

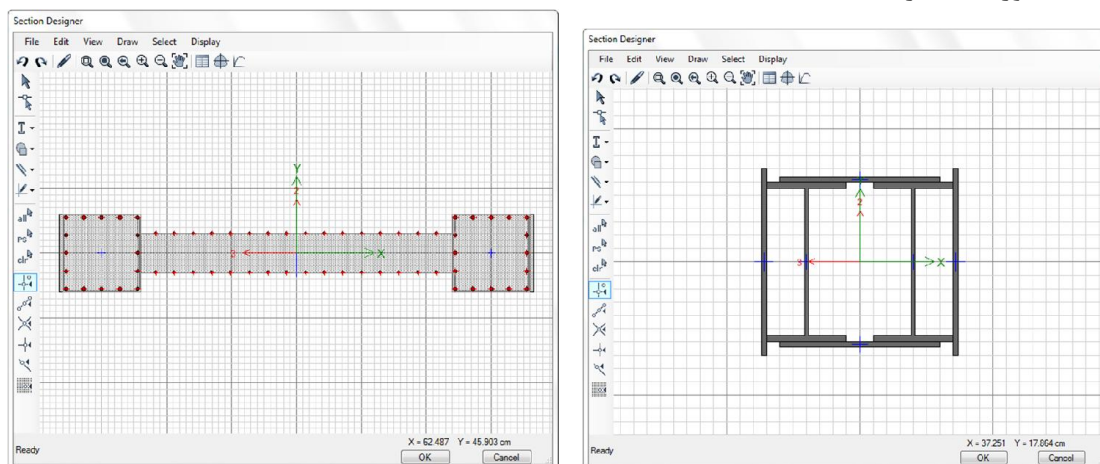
✚ Pipe : مقطع لوله

✚ Rectangular : مقطع مربع مستطیل توپر

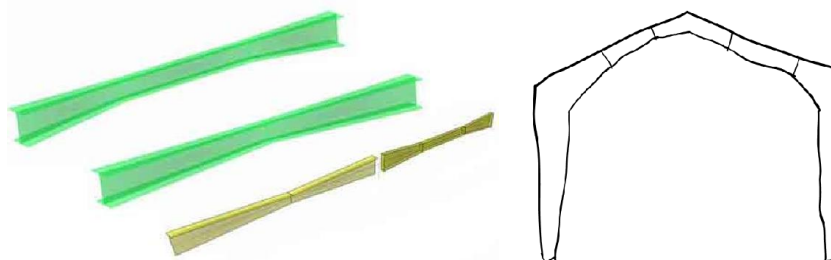
✚ General : مقاطعی که شکل آنها در ETABS تعریف نشده است و باید مشخصات هندسی آنها را به صورت دستی به ETABS داد.

✚ Autoselect : بهینه ترین مقطع را از یک تعداد مقطع تعریف شده به اعضا اختصاص می دهد.

Section Designer : یک مقطعی را خود کاربر درست می‌کند. مثلاً یک ستون که از دو پروفیل I شکل و چهار Plate تقویت تشکیل شده است و یا یک دیوار برشی بتنی با میلگردهای آن را می‌توان توسط این دستور ایجاد کرد.



مقاطع Nonprismatic : همان مقاطع غیر منشوری هستند. که عموماً در تیر و ستون سوله‌ها استفاده می‌شوند.



برای مدل‌سازی سه مقطع برای ستون و سه مقطع برای تیر حدس می‌زنیم. محدودیت‌های اجرایی که بر انتخاب تیرها و ستون‌ها حاکم است:

عرض تیر هر طبقه باید با بعد ستون آن طبقه یکی باشد (به دلیل مسائل قالب‌بندی).

همچنین مقطع ستون‌ها باید در هر طبقه یکی باشد (فقط مقدار آرماتور در هر طبقه تغییر می‌کند).

در ETABS دو حالت می‌توان برای طراحی ستون‌ها در نظر بگیریم، حالت اول این است که فقط ابعاد مقطع را بدهیم و ETABS مقدار میلگرد مورد نیاز را محاسبه می‌کند. در حالت دوم هم ابعاد مقطع و هم تعداد و قطر میلگردها را می‌دهیم و ETABS کفایت مقطع را بررسی می‌کند.

محدودیت آرماتور ستون‌ها: در ستون‌ها نسبت آرماتور طولی نباید کمتر از ۱٪ و بیشتر از ۶٪ سطح مقطع ستون باشد که این محدودیت با در نظر گرفتن وصله ستون‌ها به ۳٪ کاهش می‌یابد. مثلاً در ستون ۵۰×۵۰ سانتی‌متر حداکثر می‌توان از ۲۰ عدد میلگرد ۲۲ می‌توان استفاده کرد:

$$A(20\Phi 22) = 76 \text{ cm}^2$$

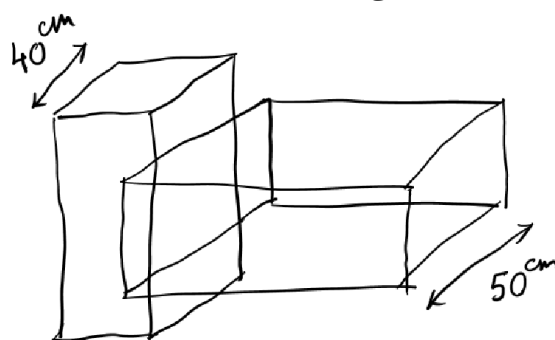
$$\text{درصد میلگرد ستون} = \frac{76}{50 \times 50} = 0.0304 = 3.04\% \cong 3\%$$

در این پروژه ما حداکثر مقدار ممکن میلگردهای ستون‌ها یعنی نزدیک به ۳٪ میلگرد ستون را در ETABS تعریف می‌کنیم تا ETABS کفایت مقاطع ستون‌ها را بررسی کند. در صورتی که این مقدار میلگرد جواب نداد باید ابعاد مقطع ستون را افزایش داد. دقت کنید به دلیل اینکه میلگرد ستون‌ها باید یکنواخت در پیرامون آن چیده شود، به همین دلیل تعداد آنها باید مضربی از ۴ باشد (مثلاً ۴ یا ۸ یا ۱۲ یا ۱۶ یا ۲۰ و). مقطع ستون‌ها نیز در هر طبقه باید یکی باشد و فقط مقدار آرماتور را تغییر می‌دهیم (به خاطر مسائل قالب‌بندی).

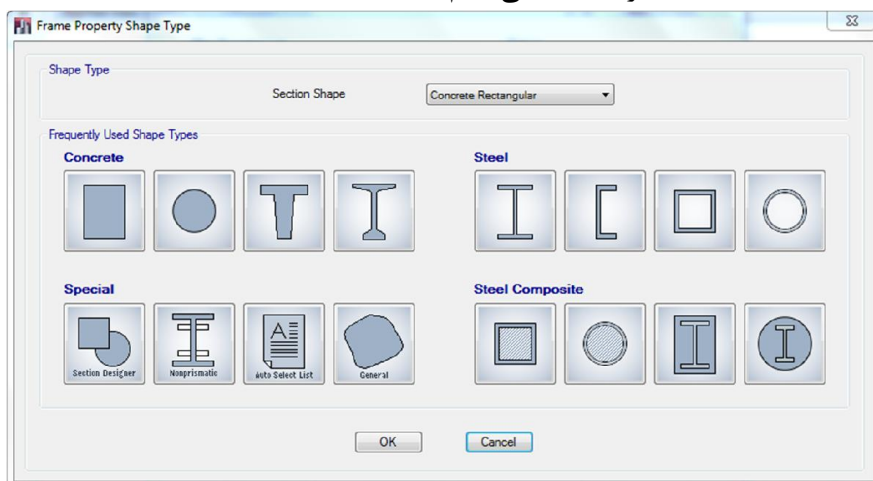
برای تیرها لازم نیست میلگردهای فوقانی و تحتانی تعریف شوند، تنها کافی است که ابعاد مقطع وارد شود و خود ETABS مقدار مساحت میلگردهای فوقانی و تحتانی را محاسبه می‌کند. مقاطعی که برای تیرها و ستون‌ها حدس می‌زنیم:

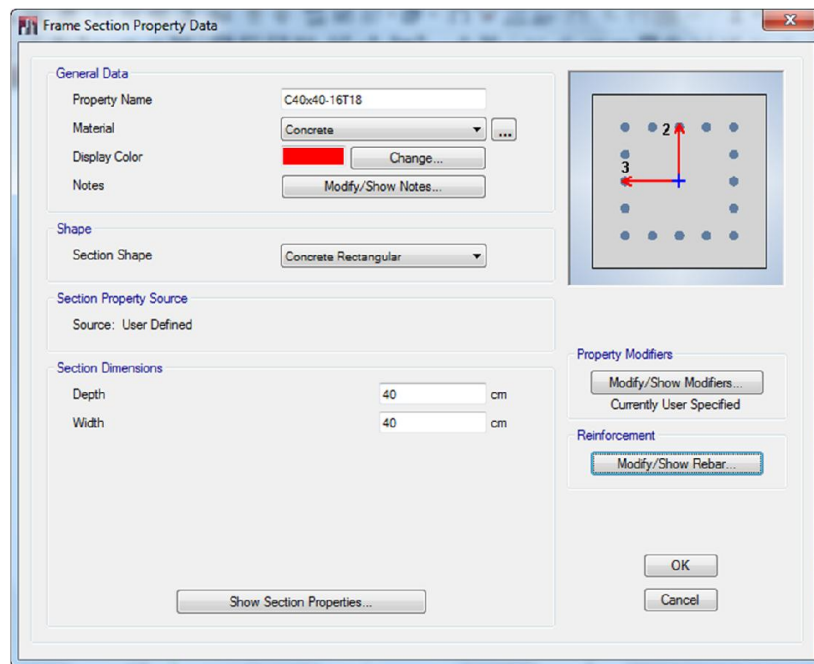
درصد میلگرد ستون	میلگرد ستون	ستون	تیر	
2.54	16 Φ 18	40×40	40×40	سقف اول
2.49	12 Φ 18	35×35	35×35	سقف دوم و سوم
2.68	12 Φ 16	30×30	30×30	سقف چهارم و خرپشته

نکته: عموماً عرض تیر و بعد ستون باید یکی باشند به دلیل مسائل قالب‌بندی. مثلاً اگر بعد ستون 40 باشد باید عرض تیر هم 40 باشد ولی عمق تیر متصل به ستون می‌تواند از 40 بیشتر یا کمتر باشد.

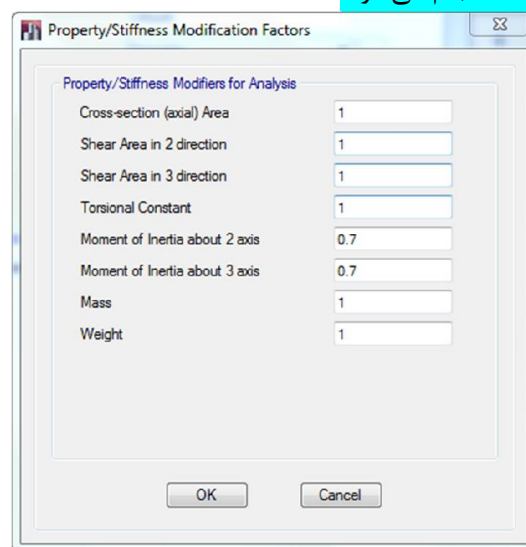


برای اینکه مقاطع بتنی را درست کنیم از منوی Click to گزینه Add new property را انتخاب می‌کنیم. بهتر است برای مقاطع ستون از حرف C (Column) و برای مقاطع تیر از حرف B (Beam) در ابتدای نام مقطع استفاده شود. نوع Concrete Rectangular را انتخاب می‌کنیم.



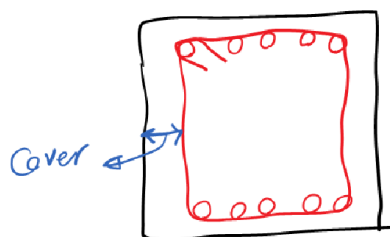


ضابطه آیین نامه ۲۸۰۰ در مورد ترک خوردگی مقاطع بتنی این است که برای تحلیل سازه های بتنی باید ممان اینرسی ستون ها در هر دو جهت در ۰.۷ ضرب شود و ممان اینرسی تیرها حول محور قوی در ۰.۳۵ ضرب شود. اینکار توسط دستور modify/show modifier انجام می شود.



پس از آن باید میلگردهای موجود در مقطع ستون ها تعریف شود. دستور Modify/Show rebar را اجرا کنید. در پنجره زیر باید اولاً نوع طراحی را از نوع P-M2-M3 (طراحی برای ستون) انتخاب کنید. نوع میلگردهای طولی و خاموت را که قبلاً تعریف شده بود باید از نوع Rebar و Stirrup قرار دهید. نوع طراحی را از نوع Reinforcement to be checked قرار می دهیم تا فقط کفایت میلگردها کنترل شود. تعداد و اندازه میلگردها و خاموت ها در هر کدام از جهات ۲ و ۳ تعیین می شود.

مقدار cover برای مقاطع بتنی بر حسب شرایط محیطی باید تعریف شود. این مقدار در آیین نامه مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان آمده است. منظور از cover، مقدار ضخامت بتن تا روی میلگرد خاموت است. معمولاً حداقل کاور را ۴/۵ سانتی متر در نظر می گیرند.



جدول ۹-۵-۶ مقادیر حداقل ضخامت پوشش بتن روی میلگردها (میلیمتر)*

نوع قطعه	نوع شرایط محیطی			
	ملازم	متوسط	شدید	بسیار شدید
تیرها و ستون‌ها	۳۵	۴۵	۵۰	۶۵
دال‌ها، دیوارها و تیرچه‌ها	۲۰	۳۰	۳۵	۵۰
پوسته‌ها و صفحات پلیسه‌ای	۲۰	۲۵	۳۰	۴۵
شالوده‌ها	۴۰	۵۰	۶۰	۷۵

نکاتی که در رابطه با خاموت‌گذاری و میلگردگذاری تیرها و ستون‌ها باید توجه کرد این است که:

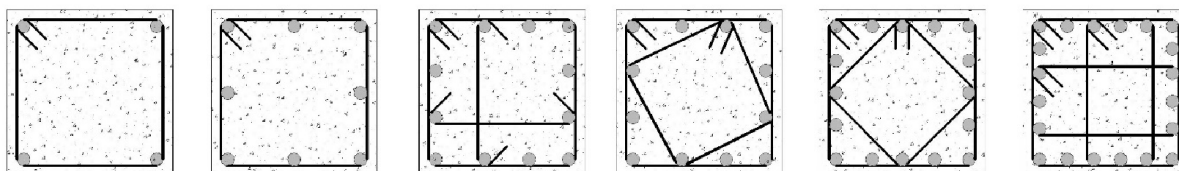
✚ فاصله آزاد میان میلگردها نباید از ۱۵ سانتی‌متر بیشتر باشد.

✚ خاموتها باید به نحوی قرار بگیرند که بیشتر از یک میلگرد آزاد بین دو میلگرد وجود نداشته باشد (به جز میلگرد گوشه).

✚ قطر میلگرد خاموت نباید از ۶ میلیمتر کمتر باشد.

✚ فاصله دو خاموت نباید از ۲۵ سانتی‌متر بیشتر باشد.

✚ معمولاً از میلگردها ۸ و ۱۰ برای خاموت در سازه‌های معمولی استفاده می‌کنند.



Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Rebar Material

Longitudinal Bars: Rebar

Confinement Bars (Ties): Stirrup

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spirals

Check/Design

☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 5 cm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 5

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 18 2.5 cm²

Corner Bar Size and Area: 18 2.5 cm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 10 0.8 cm²

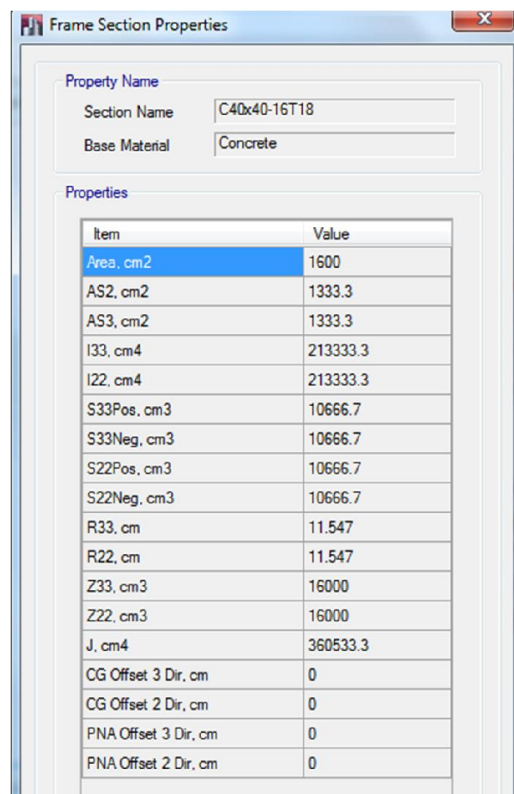
Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 7.5 cm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

مشخصات مقاطع در دستور Show Section properties وجود دارد.



Frame Section Properties

Property Name

Section Name: C40x40-16T18

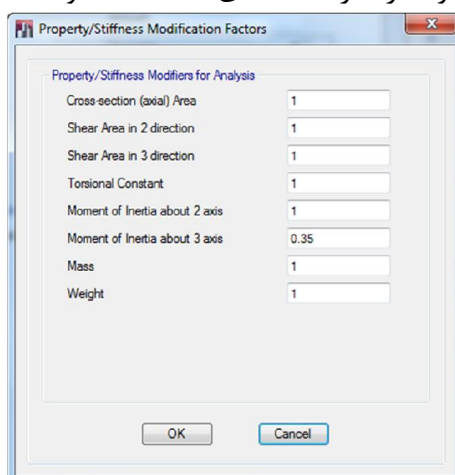
Base Material: Concrete

Properties

Item	Value
Area, cm ²	1600
AS2, cm ²	1333.3
AS3, cm ²	1333.3
I33, cm ⁴	213333.3
I22, cm ⁴	213333.3
S33Pos, cm ³	10666.7
S33Neg, cm ³	10666.7
S22Pos, cm ³	10666.7
S22Neg, cm ³	10666.7
R33, cm	11.547
R22, cm	11.547
Z33, cm ³	16000
Z22, cm ³	16000
J, cm ⁴	360533.3
CG Offset 3 Dir, cm	0
CG Offset 2 Dir, cm	0
PNA Offset 3 Dir, cm	0
PNA Offset 2 Dir, cm	0

برای تعریف مقاطع دیگر می توانید از دستور **Add Copy of Properties** استفاده کرد.

برای تعریف مقطع تیرها دو تفاوت وجود دارد در قسمت های **Rebar** و **Modifier**.



Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area: 1

Shear Area in 2 direction: 1

Shear Area in 3 direction: 1

Torsional Constant: 1

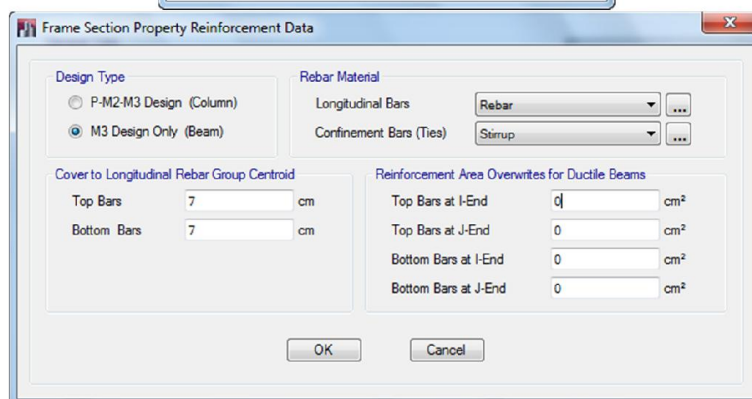
Moment of Inertia about 2 axis: 1

Moment of Inertia about 3 axis: 0.35

Mass: 1

Weight: 1

OK Cancel



Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: Rebar

Confinement Bars (Ties): Stirrup

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 7 cm

Bottom Bars: 7 cm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 cm²

Top Bars at J-End: 0 cm²

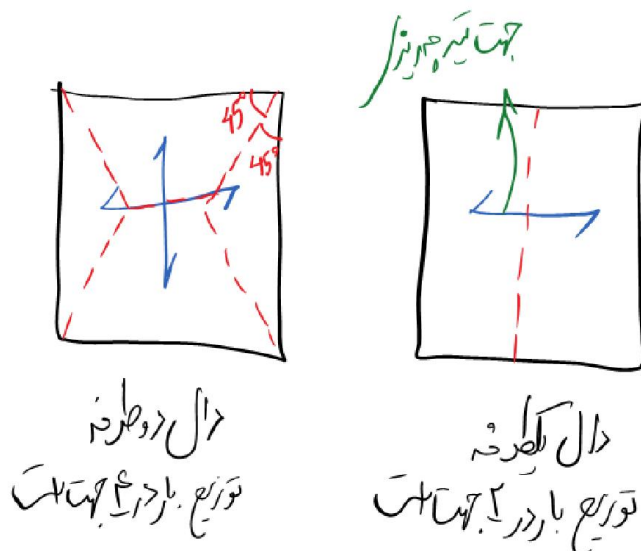
Bottom Bars at I-End: 0 cm²

Bottom Bars at J-End: 0 cm²

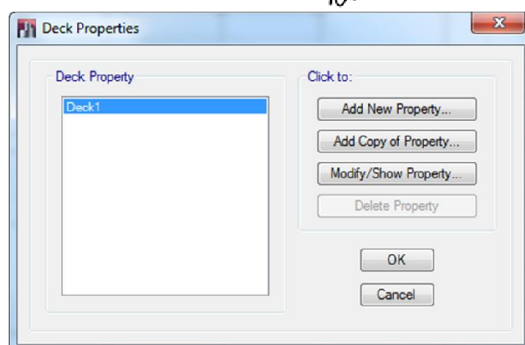
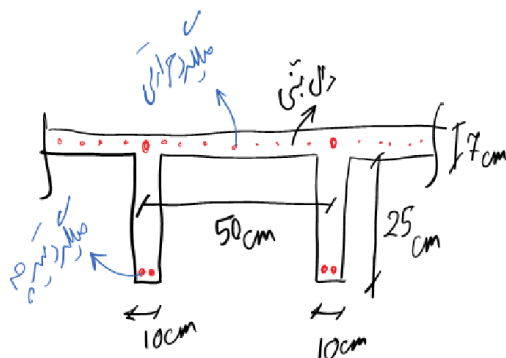
OK Cancel

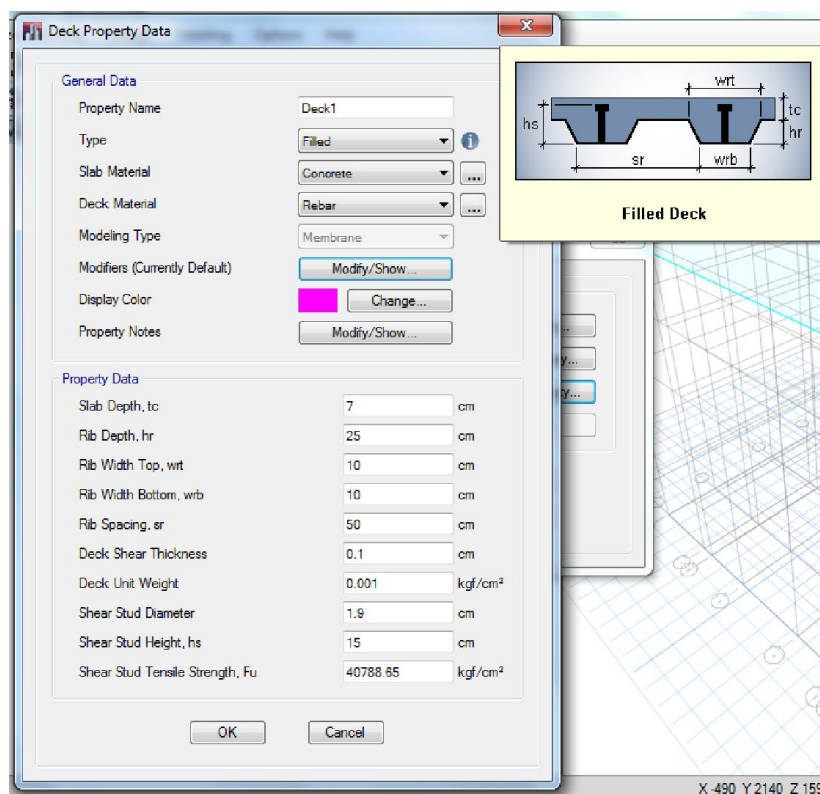
۳-۳- تعریف دال کف

دو نوع سقف به لحاظ توزیع بار وجود دارد، سقف یک‌طرفه و دوطرفه. در سقف یک‌طرفه بار کف روی دو تیر روبروی هم منتقل می‌شود ولی در کف دوطرفه بار به صورت متقارن و در نظر گرفتن نیمسازهای هر کنج میان چهار تیر متصل به دال توزیع می‌شود. دالهای بتن مسلح که دارای مش میلگرد در دو جهت باشند، از نوع سقف‌های دوطرفه هستند و باید توسط المان SLAB مدل شوند. ولی سقف تیرچه بلوک، سقف کامپوزیت و سقف طاق ضربی از نوع دال یک طرفه هستند و باید توسط المان DECK مدلسازی شوند.

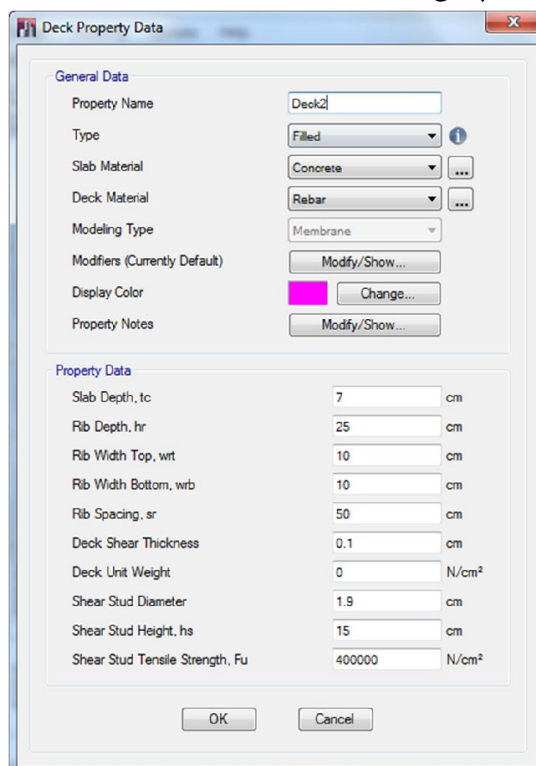


نوع سقف توسط دستور Define>Section properties>Deck Sections تعریف می‌شود. سپس دستور Modify/Show property را اجرا می‌کنیم. نوع Deck را از نوع Filled قرار داده و باقی مشخصات آنرا مطابق شکل تنظیم می‌کنیم. (به بارگذاری ربط دارد باید قبل از این Detailهای بارگذاری مشخص شود).



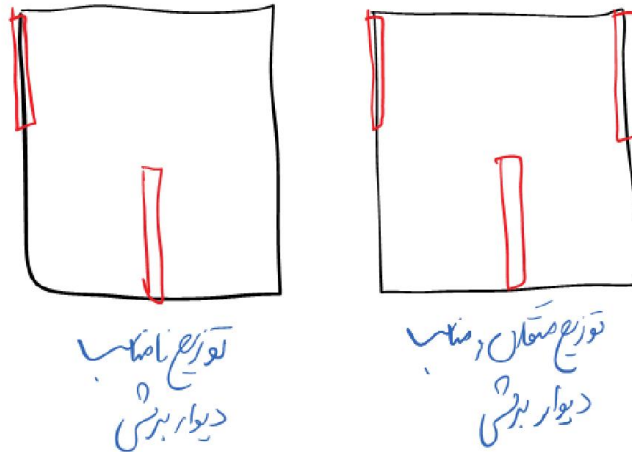


برای بارگذاری بام و خرپشته نیز یک سقف به نام Deck2 با همان مشخصات تعریف می‌کنیم. ولی بارگذاری این سقف نیز متفاوت با سقف‌های طبقات پایین است.



۳-۴- تعریف دیوار برشی

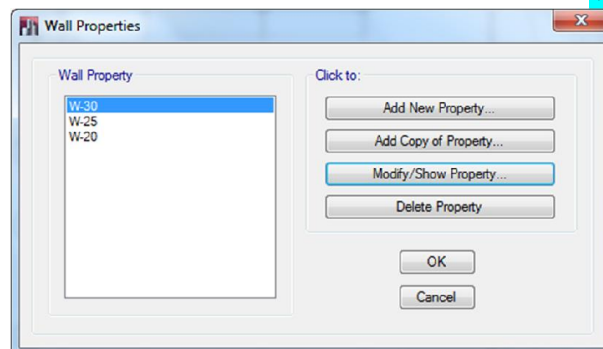
برای تعریف دیوار برشی و دیوار حائل از المان Wall استفاده می‌شود. توزیع دیوارهای برشی در ساختمان باید حتی‌الامکان متقارن باشد تا در اثر بار زلزله در ساختمان پیچش به وجود نیاید. بهتر است دیوارها در کناره‌های ساختمان قرار گیرند و در مرکز ساختمان واقع نشوند.

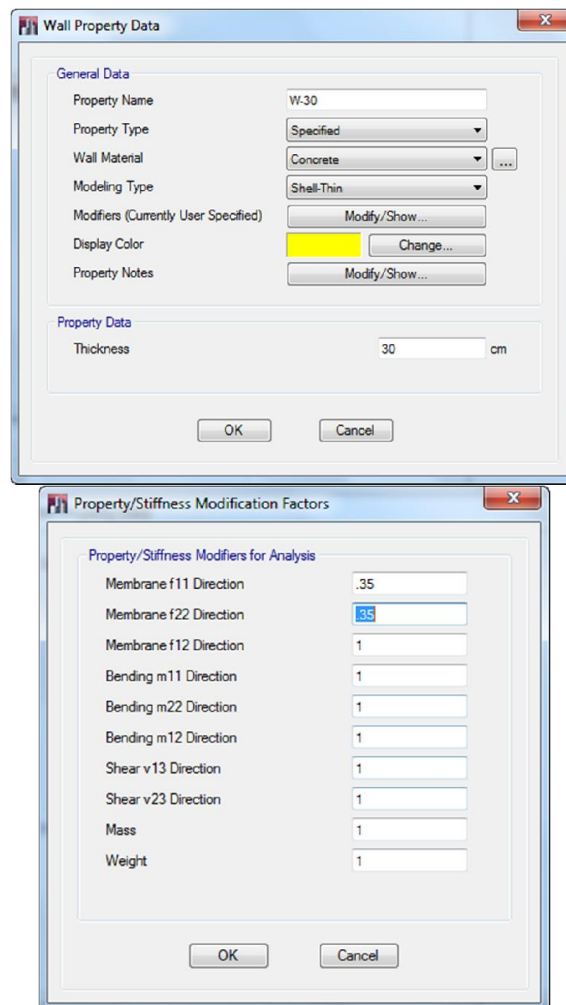


برای یک فرض اولیه دیوارهایی با ضخامت زیر را در نظر می‌گیریم:

ضخامت دیوار برشی	
۳۰ سانتی‌متر (W30)	طبقه اول
۲۵ سانتی‌متر (W25)	طبقه دوم و سوم
۲۰ سانتی‌متر (W20)	طبقه چهارم

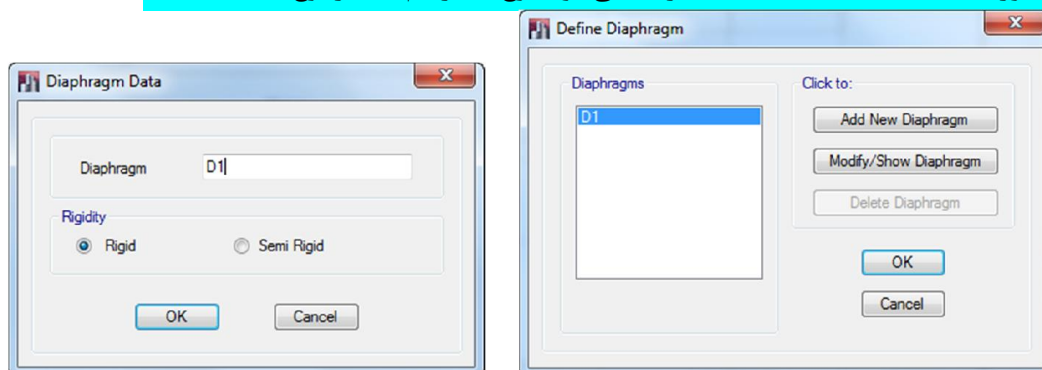
نوع دیوار توسط دستور Define>Wall/Slab/Deck Section تعریف می‌شود. مطابق بند ۲-۵-۶ آیین‌نامه ۲۸۰۰ ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده دیوارها باید به اندازه $0.35 I_0$ تا $0.7 I_0$ باشد. در یک حالت دست بالا ما f_{l1} و f_{l2} را اصلاح کرده و ۰.۳۵ می‌گذاریم.

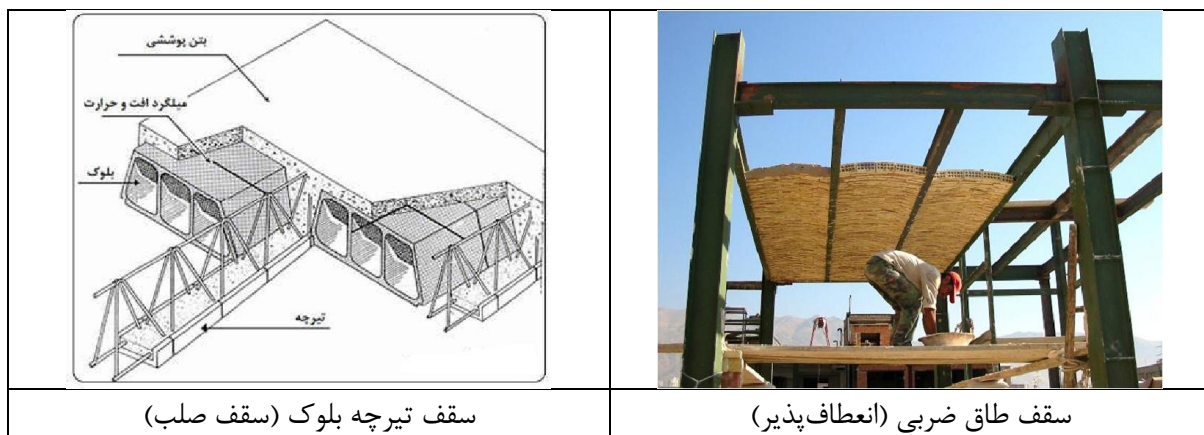




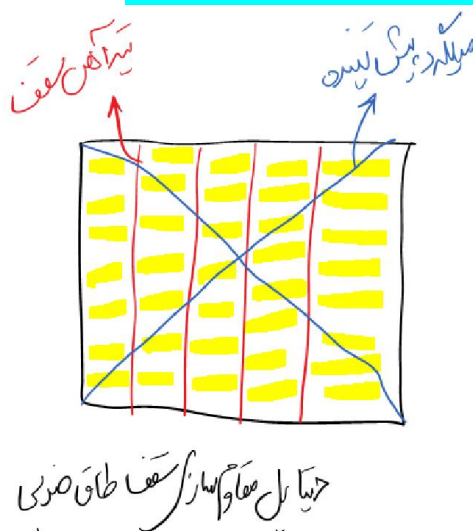
۳-۵- دیافراگم

دیافراگم، کف بسیار صلبی است که در اثر نیروهای افقی زلزله هیچ‌گونه تغییرمکان جانبی نسبی میان گره‌های مختلف آن به وجود نمی‌آید. این خاصیت باعث می‌شود که نیروهای زلزله به صورت یکنواخت میان تیرها، ستون‌ها و دیوارهای برشی توزیع شوند. بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ دال‌هایی که ضخامتشان بیشتر از ۵ سانتی‌متر باشد به عنوان دیافراگم در نظر گرفته می‌شوند، یعنی دال تخت بتنی، سقف تیرچه بلوک با ضخامت دال بیشتر از ۵ سانتی‌متر و سقف‌های کامپوزیت با ضخامت دال بیشتر از ۵ سانتی‌متر. سقف‌های طاق ضربی و سقف‌های خرپای چوبی پشت‌بام دیافراگم نیستند. در صورتیکه سقف به صورت دیافراگم تعریف شود باید اثرات پیچش تصادفی در آن لحاظ شود. دیافراگم توسط دستور Define>Diaphragms تعریف می‌شود. نوع دیافراگم باید از نوع Rigid باشد.





برای اینکه صلبیت سقف طاق ضربی را بالا ببریم، تیرچه‌های فولادی سقف را توسط میلگردهای ضربدری به هم می‌بندیم. در این حالت سقف تا حدودی صلبیت لازم را تامین می‌کند.



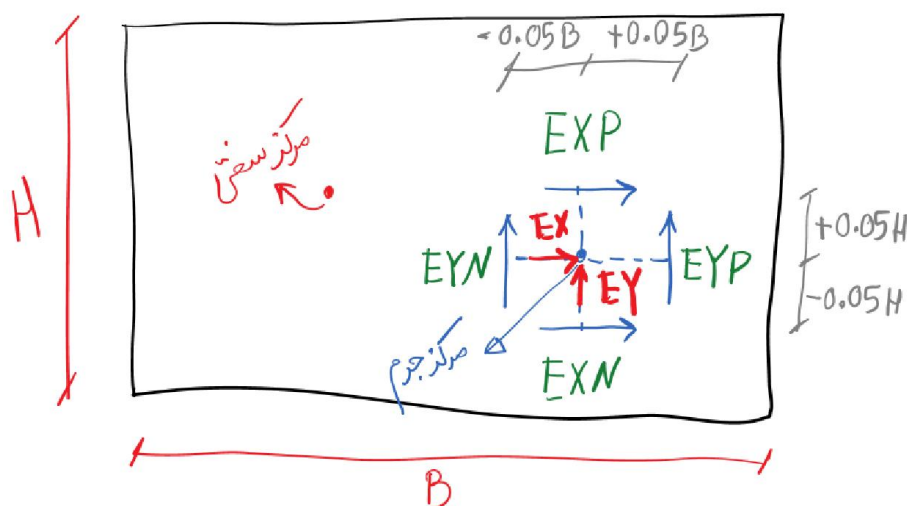
Pier Label - ۶-۳

۷-۳- الگوهای بارگذاری (Load Pattern)

بارهای مختلفی از جمله بار مرده، زنده، باد، برف و زلزله بر ساختمان وارد می‌شود. این بارها باید توسط دستور Define>Load pattern به برنامه معرفی شوند. در بند ۲-۳-۱۰-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰ تصریح می‌کند که برای نیروهای زلزله باید اثر «برون‌مرکزی تصادفی» به اندازه حداقل ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی اختیار شود. در صورتیکه ساختمان ۵ طبقه یا کوتاه‌تر از ۱۸ متر باشد، نیازی به در نظر گرفتن پیچش تصادفی نیست. برون‌محوری تصادفی باید به میزان ۵٪ بعد ساختمان در جهت عمود بر زلزله اختیار شود. مقدار این برون‌محوری می‌تواند مثبت یا منفی باشد. پس چهار حالت بار زلزله با خروج از مرکزیت خواهیم داشت (EXP, EXN, EYP, EYN). همچنین سه بار بدون خروج از مرکزی EX, EY, EZ را هم در نظر می‌گیریم. بار قائم زلزله را نیز به صورت User Load تعریف می‌کنیم و مقدار این بار را روی بالکن‌ها وارد خواهیم کرد. بارهایی که باید برای تحلیل به برنامه معرفی شوند به صورت زیر می‌باشند:

اسم بار	نوع بار (Type)	توضیح
---------	----------------	-------

Dead	Dead	بار مرده شامل وزن دیوارها، کف طبقات، تیرها و ستون‌های ساختمان می‌باشد. برای بار Dead باید عبارت Self Weight Multiplier برابر یک وارد شود تا وزن تیر و ستون و سقف ساختمان بر اساس حجم و وزن مخصوص آنها در برنامه حساب شده و به سازه اعمال می‌شود.
Live	Live	بار زنده شامل وزن اجزای داخل ساختمان مانند وسائل و تجهیزات و انسان‌ها می‌باشد.
EX	Seismic	بار زلزله در جهت X بدون خروج از مرکزی
EY	Seismic	بار زلزله در جهت Y بدون خروج از مرکزی
EZ	Seismic	بار زلزله در جهت Z بدون خروج از مرکزی
EXP	Seismic	بار زلزله در جهت X با خروج از مرکزیت مثبت
EXN	Seismic	بار زلزله در جهت X با خروج از مرکزیت منفی
EYP	Seismic	بار زلزله در جهت Y با خروج از مرکزیت مثبت
EYN	Seismic	بار زلزله در جهت Y با خروج از مرکزیت منفی
WALL	Other	باری است که برای اصلاح مرکز جرم ساختمان فقط در سقف آخر معرفی می‌شود و در هیچ یک از ترکیبات طراحی وارد نمی‌شود. یعنی به اندازه نصف ارتفاع دیوار طبقه آخر روی سقف بام نیروی Wall وارد می‌کنیم.



محاسبه نیروهای زلزله برای ساختمان

ساختمان مسکونی (گروه با اهمیت متوسط) در گروه ۳ ضریب اهمیت قرار دارد (جدول ۵)

$$I = 1$$

شهر رشت در منطقه با خطر نسبی زیاد قرار دارد (نقشه پهنه‌بندی)

$$A = 0.3$$

قاب خمشی بتنی+دیوار برشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط در جهت X و قاب خمشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط در جهت Y (جدول ۶)

$$R_X = 8, R_Y = 7$$

خاک نوع ۴ است و در منطقه با خطر نسبی زیاد قرار دارد (جدول ۳) :

$$T_0 = 0.15, \quad T_s = 1.0, \quad S = 1.75$$

با توجه به اینکه ساختمان در جهت X دیوار برشی و در جهت Y قاب خمشی است بنابراین زمان تناوب آن به صورت زیر به دست می‌آید. با توجه به اینکه مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰، نسبت مساحت خرپشته به مساحت پشت‌بام کمتر از ۲۵٪ است، بنابراین ارتفاع ساختمان بر اساس سقف طبقه آخر محاسبه می‌شود نه سقف خرپشته. همچنین به سقف خرپشته یعنی Story5 هم نیروی زلزله وارد نمی‌شود.

$$H = 12.3_m$$

$$T_X = 0.05H^{\frac{3}{4}} = 0.05 \times 12.3^{0.75} = 0.328_{sec}$$

$$T_Y = 0.07H^{\frac{3}{4}} = 0.07 \times 12.3^{0.75} = 0.46_{sec}$$

مقدار ضریب بازتاب ساختمان به دست می‌آید:

$$T_0 < T_X < T_s \rightarrow B_X = (S + 1) = (1.75 + 1) = 2.75$$

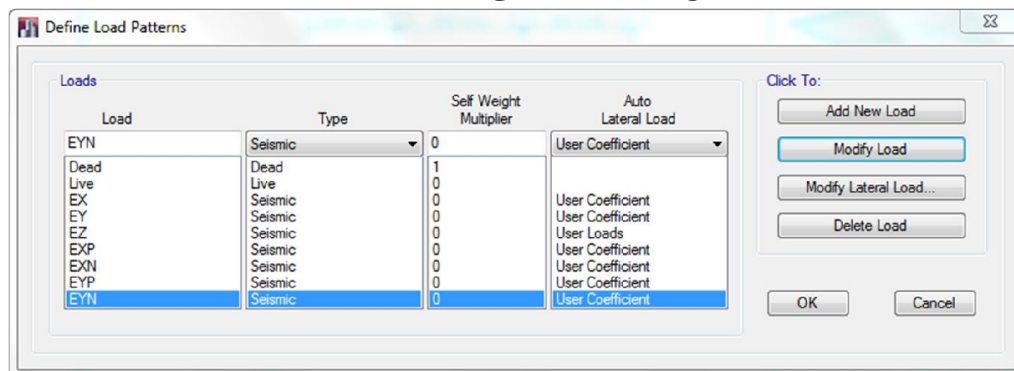
$$T_0 < T_Y < T_s \rightarrow B_Y = (S + 1) = (1.75 + 1) = 2.75$$

مقدار ضریب زلزله محاسبه می‌شود:

$$C_X = \frac{AB_X I}{R_X} = \frac{0.3 \times 2.75 \times 1}{8} = 0.103 > (0.1AI = 0.1 \times 0.3 \times 1 = 0.03)$$

$$C_Y = \frac{AB_Y I}{R_Y} = \frac{0.3 \times 2.75 \times 1}{7} = 0.118 > (0.1AI = 0.1 \times 0.3 \times 1 = 0.03)$$

در این قسمت مهمترین تعریف بارگذاری، مربوط به بارگذاری زلزله است. آیین‌نامه بارگذاری لرزه‌ای کشورهای مختلف در برنامه ETABS تعریف شده‌اند که می‌توانند به صورت کاملاً خودکار نیروهای زلزله را محاسبه کنند. متأسفانه آیین‌نامه بارگذاری ۲۸۰۰ در ETABS تعریف نشده است و ما باید مقدار نیروهای زلزله را به صورت دستی به برنامه اعمال کنیم. برای این کار نیروهای افقی زلزله توسط ضریب زلزله C و نیروهای قائم زلزله (در این مورد جلوتر توضیح داده می‌شود) به صورت نیرو بر واحد سطح به مدل اعمال می‌شوند.

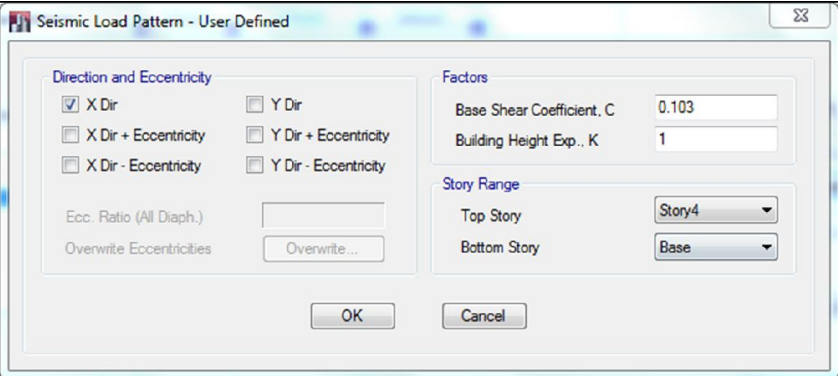
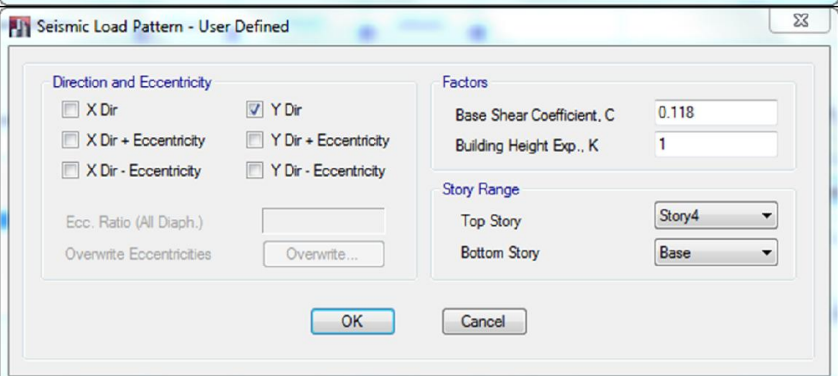
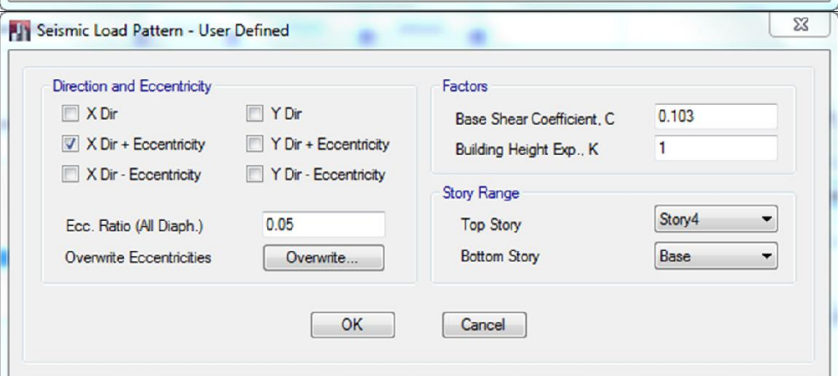
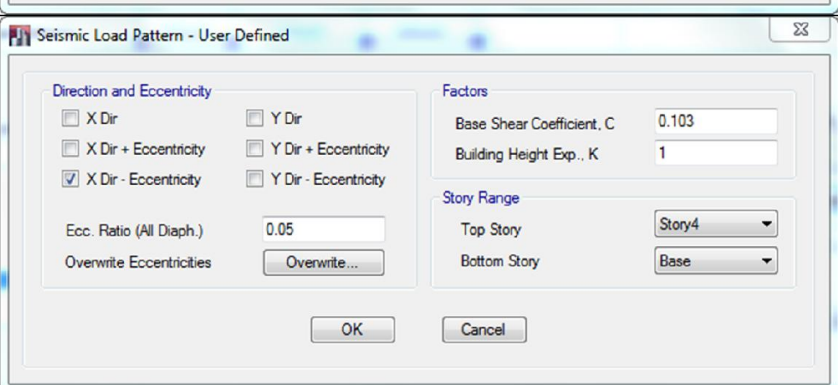


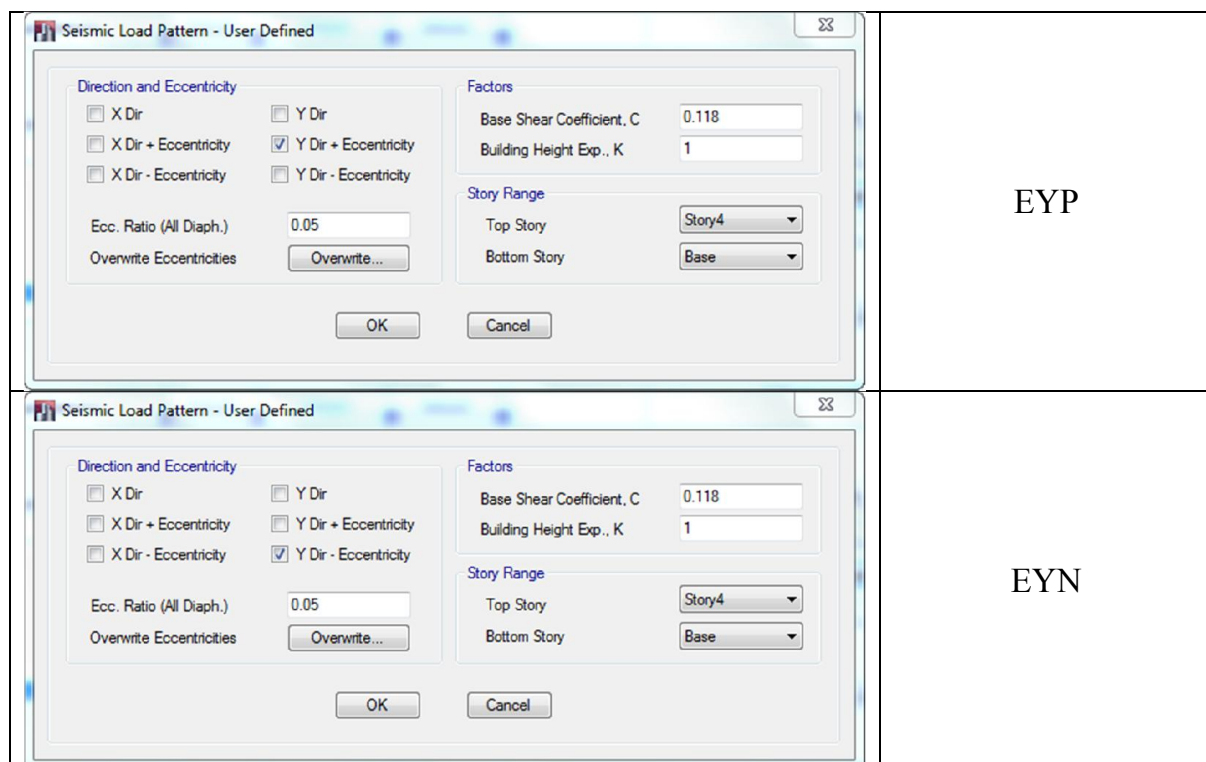
نیروهای زلزله در طبقات باید به این صورت زیر توزیع شوند که ابتدا باید محاسبه کنیم که در ساختمان نیروی شلاقی وجود دارد یا خیر؟ نیروی شلاقی نیرویی است که در طبقه آخر علاوه بر نیروهای زلزله توزیع شده وارد می‌شود به این شرط که زمان تناوب ساختمان بیشتر از ۰/۷ ثانیه باشد. با توجه به اینکه زمان تناوب ساختمان در دو جهت از ۰/۷ کمتر است پس نیروی شلاقی را می‌توان حذف کرد.

$$F_T = 0.07TV < 0.25V = 0$$

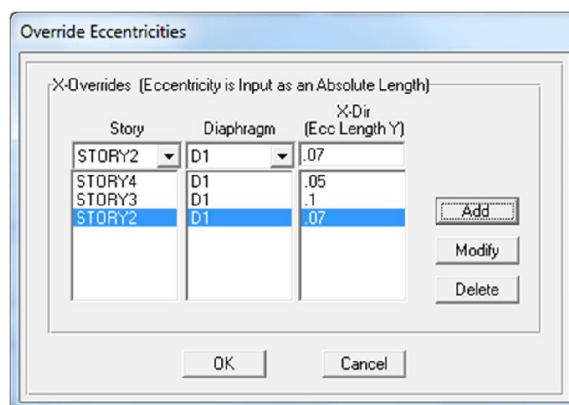
پس از آن باید به ETABS بگوییم که بار زلزله را در چه جهتهایی و به چه صورت اعمال کند. برای اینکار هر Load Pattern را انتخاب کرده و دکمه Modify Lateral load را فشار می‌دهیم. در قسمت Story range

می‌گوییم که نیروی زلزله بر تمام طبقات Story1 تا Story 4 وارد می‌شود ولی بر خرپشته یعنی Story 5 اعمال نخواهد شد.

	EX
	EY
	EXP
	EXN



با استفاده از دستور **Overwrite** می‌توانید برون‌محوری‌های متفاوتی را برای سقف‌های مختلف لحاظ کنید. این مورد معمولاً چندان کاربرد ندارد.



۳-۸- ترکیبات بارگذاری (Load Combination)

برای طراحی سازه‌ها، بارهای مرده، زنده و زلزله باید به صورت مناسب و با ضرایب مشخص با یکدیگر ترکیب شده و برای طراحی سازه به کار روند. این کار توسط **Load Combination** در **ETABS** انجام می‌شود. هر آیین‌نامه ترکیبات بارگذاری مخصوص به خود دارد. مثلاً ترکیبات بارگذاری آیین‌نامه‌های آمریکا با هند و همچنین ژاپن متفاوت است. همچنین ترکیبات بار طراحی فولاد و بتن نیز با هم متفاوت است. این کار توسط دستور **Define>Load Combination** به برنامه **ETABS** معرفی می‌شود.

۳-۹- ترکیبات بارگذاری برای ساختمان بتنی

این ترکیبات از مجموع چند بند در داخل آیین‌نامه ۲۸۰۰ به دست آمده‌اند.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ در بند ۳-۱۲-۳ تصریح می‌کند که نیروهای افقی و قائم زلزله باید به صورت زیر با هم ترکیب شوند:

۱۰۰٪ نیروی زلزله در هر امتداد افقی + ۳۰٪ نیروی زلزله در امتداد افقی عمود بر آن + ۳۰٪ نیروی زلزله قائم

۳۰٪ نیروی زلزله در هر امتداد افقی + ۳۰٪ نیروی زلزله در امتداد افقی عمود بر آن + ۱۰۰٪ نیروی زلزله قائم
 در ترکیبات مذکور ضابطه تبصره ۲ بند ۱-۲-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ را می توان منظور کرد. (در مواردی که
 ترکیب ۱۰۰٪ نیروی زلزله در هر امتداد با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن در نظر گرفته
 می شود، منظور کردن برون مرکزی اتفاقی بند ۲-۳-۱۰ برای نیروی زلزله ای که در امتداد مربوط به ۳۰٪
 اعمال می شود الزامی نیست.)

در هر ترکیب باری که نیروی زلزله وارد شود، آن ترکیب بار در عدد ۰.۷۵ ضرب خواهد شد (به خاطر در
 نظر گرفتن اثرات میرایی سازه تحت بارگذاری لرزه ای و اثرات اضافه مقاومت آن).

در ترکیباتی که بار زلزله وجود دارد، برای در نظر گرفتن اثرات کاهش بار زنده، باید یک بار با احتساب بار
 زنده و یک بار بدون احتساب آن ترکیبات بار زلزله را لحاظ نمود.
 ترکیبات بارگذاری بر اساس آیین نامه ACI-89 به صورت زیر خواهد بود:

1.4D + 1.7L

0.75(1.4D + 1.7L ± 1.87EXP ± 0.3 × 1.87EY ± 0.3 × 1.87EZ)

0.75(1.4D + 1.7L ± 1.87EXN ± 0.3 × 1.87EY ± 0.3 × 1.87EZ)

0.75(1.4D + 1.7L ± 1.87EYP ± 0.3 × 1.87EX ± 0.3 × 1.87EZ)

0.75(1.4D + 1.7L ± 1.87EYN ± 0.3 × 1.87EX ± 0.3 × 1.87EZ)

0.75(1.4D + 1.7L ± 0.3 × 1.87EX ± 0.3 × 1.87EY ± 1.87EZ)

0.9D ± 1.43EXP ± 0.43EY ± 0.43EZ

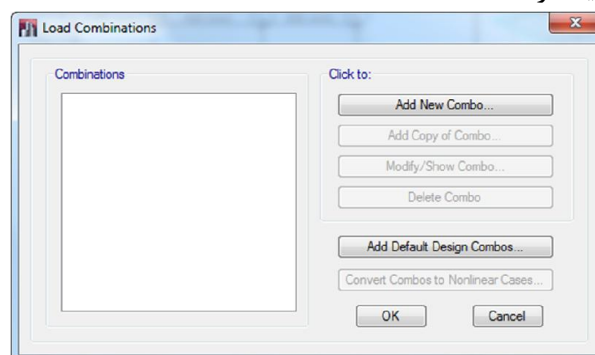
0.9D ± 1.43EXN ± 0.43EY ± 0.43EZ

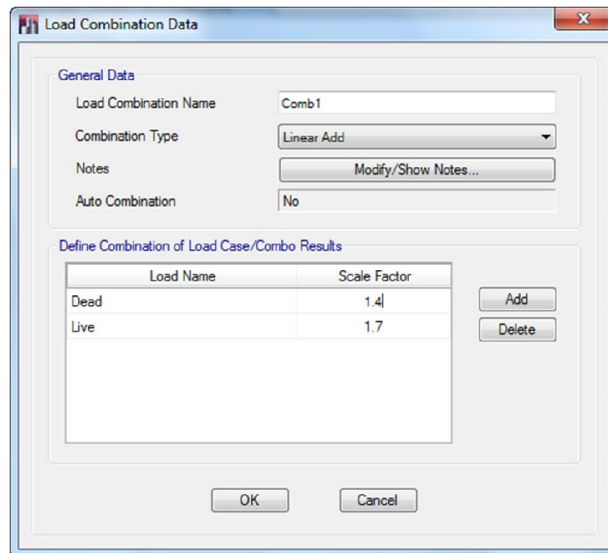
0.9D ± 1.43EYP ± 0.43EX ± 0.43EZ

0.9D ± 1.43EYN ± 0.43EX ± 0.43EZ

0.9D ± 0.43EX ± 0.43EY ± 1.43EZ

در صورتیکه این ترکیبات بار با علامتهای مثبت و منفی بسط پیدا کنند تبدیل به هشتاد و یکی ترکیب بار می شوند.
 این ترکیبات بار را می توان به صورت دستی به برنامه داد که کار بسیار طاقت فرسایی است. یک نمونه از آن به صورت
 زیر است. دستور Define>Load Combination را اجرا کنید. دکمه Add New Combo را فشار دهید. در
 قسمت Combination Type حالت Linear Add را انتخاب کرده و بارهایی را که می خواهید Add کنید و
 ضریبشان را در جلوی شان قرار دهید. این کار را باید برای ۸۱ بار تکرار کنید تا تمام ترکیبات بار وارد شوند. کار خسته
 کننده ای است؟ پس چه کار باید کرد؟





راه چاره این است: یک بار اینها را تعریف کنید و به برنامه Import کنید. این ترکیبات بار را در لینک زیر قرار دادم تا بتوانید دانلود کنید و در برنامه وارد کنید. خوب به اینجا می‌رسیم که یک عدد فوت کوزه‌گری بهتون یاد بدم. اینو هر جایی یاد نمی‌دن:

هر پروژه ETABS که ساخته می‌شود، برنامه ETABS دو عدد فایل می‌سازد. یکی با پسوند \$ET و دیگری با پسوند EDB. فایل EDB رو همیشه خوند و با text editor باز کرد. ولی فایل \$ET رو میشه با texteditor باز کرد. در فایل \$ET تمام مواردی که در ETABS تعریف می‌کنیم به صورت TXT ذخیره می‌شوند مانند ترکیبات بار، یعنی هر آنچه که به صورت گرافیکی انجام می‌شود در این فایل به صورت TXT ذخیره می‌شود. کاری که ما باید انجام دهیم این است که ابتدا فایل ETABS رو ببندیم. بعد ترکیبات بار را به صورت TXT تهیه کنیم و در فایل \$ET کپی کنیم و Save کنیم. بعد دوباره این فایل را از منوی File>Import>Etabs.e2k text file لود کنیم تا ترکیبات بار در برنامه ظاهر شوند.

Documents library			
ETABS-2013			
Name	Date modified	Type	Size
Concrete.\$et	4/5/2014 10:58 PM	\$ET File	14 KB
Concrete.EDB	4/5/2014 10:58 PM	EDB File	52 KB
Concrete.ico	4/5/2014 10:58 PM	Icon	15 KB

در صورتی که فایل \$ET را باز کنید به صورت زیر خواهد بود:

```

1 $ File C:\Users\Mehdi\Documents\1-ETABS\ETABS-2013\Concrete.Set saved 4/6/2014 2:53:53 AM
2
3 $ PROGRAM INFORMATION
4 PROGRAM "ETABS 2013" VERSION "13.1.3"
5
6 $ CONTROLS
7 UNITS "N" "MM" "C"
8 TITLE2 "Concrete"
9 PREFERENCE MERGETOL 1
10 RLLF METHOD "ASCE7-10" USEDEFAULTMIN "YES"
11
12 $ STORIES - IN SEQUENCE FROM TOP
13 STORY "Story5" HEIGHT 3200
14 STORY "Story4" HEIGHT 3200
15 STORY "Story3" HEIGHT 3200 MASTERSTORY "Yes"
16 STORY "Story2" HEIGHT 3200 SIMILARTO "Story3"
17 STORY "Story1" HEIGHT 3100 SIMILARTO "Story3"
18 STORY "Base" ELEV 0
19
20 $ GRIDS
21 GRIDSYSTEM "G1" TYPE "CARTESIAN" BUBBLESIZE 800
22 GRID "G1" LABEL "A" DIR "X" COORD 0 VISIBLE "Yes" BUBBLELOC "End"
23 GRID "G1" LABEL "B" DIR "X" COORD 2980 VISIBLE "Yes" BUBBLELOC "End"
24 GRID "G1" LABEL "C" DIR "X" COORD 7180 VISIBLE "Yes" BUBBLELOC "End"
25 GRID "G1" LABEL "D" DIR "X" COORD 10780 VISIBLE "Yes" BUBBLELOC "End"

```

حال فایل Concrete-Combo را از لینک زیر دانلود کنید و محتوای آنرا در قسمت \$ Load Combination جایگزین کنید.

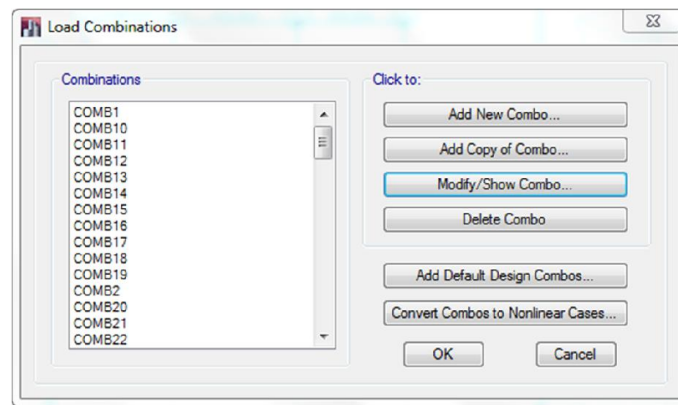
http://seismic.persianguig.com/IAURasht/Combo_Concrete_ETABS2013.txt

```

189 LOADCASE "EXN" TYPE "Linear Static" INITCOND "PRESET"
190 LOADCASE "EXN" LOADPAT "EXN" SF 1
191 LOADCASE "EYP" TYPE "Linear Static" INITCOND "PRESET"
192 LOADCASE "EYP" LOADPAT "EYP" SF 1
193 LOADCASE "EYN" TYPE "Linear Static" INITCOND "PRESET"
194 LOADCASE "EYN" LOADPAT "EYN" SF 1
195
196 $ LOAD COMBINATIONS
197 COMBO "COMB1" TYPE "Linear Add"
198 COMBO "COMB1" LOADCASE "DEAD" SF 1.4
199 COMBO "COMB2" TYPE "Linear Add"
200 COMBO "COMB2" LOADCASE "DEAD" SF 1.4
201 COMBO "COMB2" LOADCASE "LIVE" SF 1.7
202 COMBO "COMB3" TYPE "Linear Add"
203 COMBO "COMB3" LOADCASE "DEAD" SF 1.05
204 COMBO "COMB3" LOADCASE "LIVE" SF 1.27
205 COMBO "COMB3" LOADCASE "EXP" SF 1.43
206 COMBO "COMB3" LOADCASE "EX" SF 0.43
207 COMBO "COMB3" LOADCASE "EZ" SF 0.43
208 COMBO "COMB4" TYPE "Linear Add"
209 COMBO "COMB4" LOADCASE "DEAD" SF 1.05
210 COMBO "COMB4" LOADCASE "LIVE" SF 1.27
211 COMBO "COMB4" LOADCASE "EXP" SF -1.43
212 COMBO "COMB4" LOADCASE "EX" SF 0.43
213 COMBO "COMB4" LOADCASE "EZ" SF 0.43

```

بعد از دوباره برنامه ETABS را باز کنید و دستور File > Import > ETABS .e2k text file را اجرا کنید و مسیر فایل \$SET را که اصلاح کرده بودیم به برنامه بدهید. در صورتی که مدل به درستی ساخته شده باشد، می‌توانیم از طریق دستور Define>Laod Combination ترکیبات بار وارد شده را ببینید:



۳-۱۰- ترکیبات بارگذاری برای ساختمان فولادی

ترکیبات بارگذاری برای ساختمان‌های فولادی نیز به شرح زیر می‌باشد که فایل آنها را نیز می‌توانید از لینک زیر دانلود کنید:

http://seismic.persianguig.com/IAURasht/Combo_Steel_ETABS2013.txt

$D + L$

$$0.75(D + L \pm EXP \pm 0.3 \times EY \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D + L \pm EXN \pm 0.3 \times EY \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D + L \pm EYP \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D + L \pm EYN \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D + L \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EY \pm EZ)$$

$$0.75(D \pm EXP \pm 0.3 \times EY \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D \pm EXN \pm 0.3 \times EY \pm 0.3 \times EZ)$$

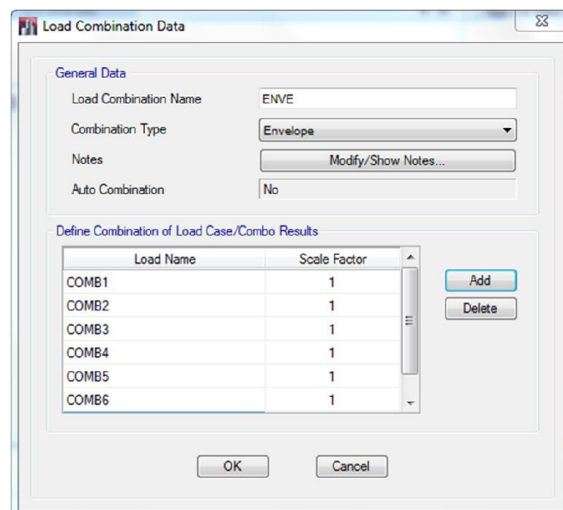
$$0.75(D \pm EYP \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EZ)$$

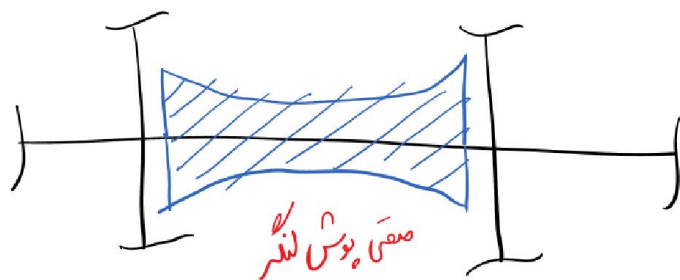
$$0.75(D \pm EYN \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EZ)$$

$$0.75(D \pm 0.3 \times EX \pm 0.3 \times EY \pm EZ)$$

۳-۱۰-۳- منحنی پوش لنگر و برش

گاهی اوقات احتیاج به منحنی پوش لنگر و برش داریم (مخصوصاً برای طراحی دستی). ETABS قابلیت این را دارد که منحنی پوش را به صورت ایجاد کند. برای اینکار کافیه یک COMBO جدید به نام ENVE درست کنیم و تمام ترکیبات بار (هر ۸۲ ترکیب بار) را با ضریب یک در آن اضافه کنیم. فقط باید گزینه Combination type را به صورت Envelope بگذاریم.

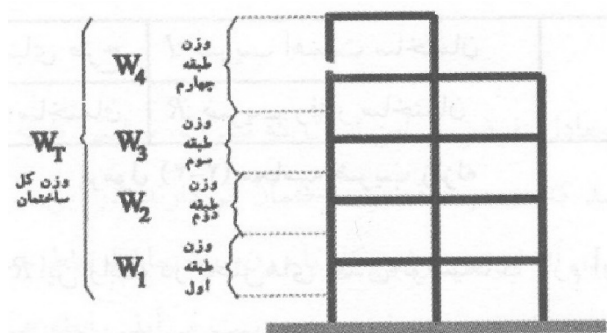




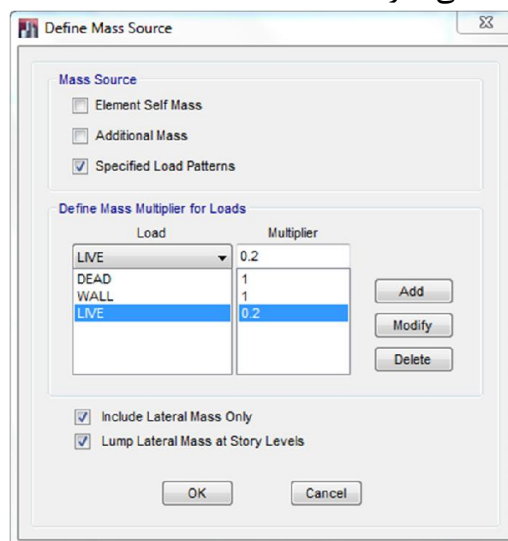
۳-۱۱- مرکز محاسبه مرکز جرم ساختمان

ETABS دارای این قابلیت است که مرکز جرم ساختمان را به صورت خودکار محاسبه کند. برای این کار باید دستور Define > Mass Source را اجرا کرده و تنظیمات زیر انجام شود. بر اساس جدول ۱ شماره آیین نامه ۲۸۰۰ در محاسبه مرکز جرم ساختمان مسکونی باید ۲۰٪ بارهای زنده با ۱۰۰٪ بارهای مرده ترکیب شوند. به همین دلیل ضریب بار زنده ۰.۲ در نظر گرفته می‌شود. (اگر ساختمان مدرسه باشد، باید ضریب بار زنده متناسب با کاربری آن یعنی ۰.۴ در نظر گرفته شود).

آیین نامه ۲۸۰۰ صراحت دارد که در محاسبه جرم هر طبقه باید نصف جرم دیوارهای پایین و نصف جرم دیوارهای بالا حساب شوند. این مورد در تمام طبقات رعایت می‌شود و تنها در طبقه بام و خرپشته رعایت نشده است. بنابراین برای اینکه مرکز جرم بام اصلاح شود، بار WALL را تعریف کرده و به اندازه وزن نصف ارتفاع دیوار طبقه آخر بار WALL را به تیرهای بام و خرپشته اعمال می‌کنیم. این بار فقط در محاسبات مرکز جرم وارد می‌شود و در ترکیبات طراحی سازه نقشی ندارد.

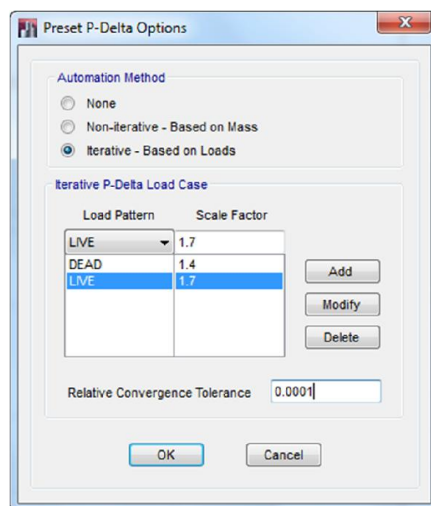


شکل ۲-۱۱- وزن کلی ساختمان



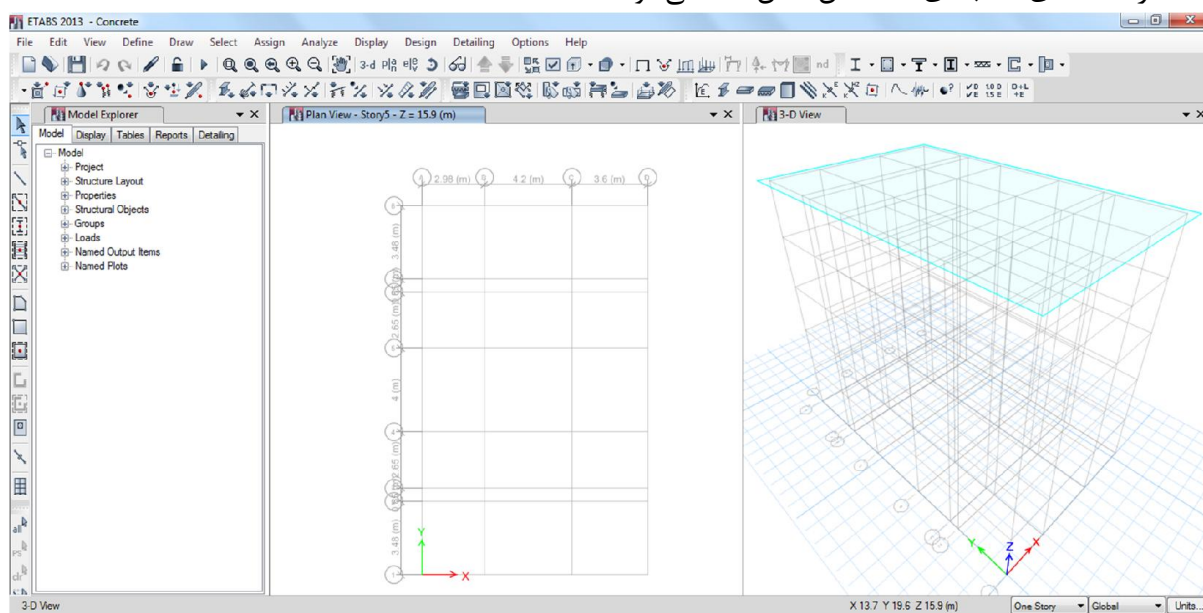
۳-۱۲- اثرات P-Delta

در سازه‌های بتنی برای اینکه ستون‌ها را به صورت ستون کوتاه طراحی کنیم، باید آنالیز P-Delta انجام دهیم تا اثرات اندرکنش خیز و لنگر در محاسبات آورده شود. تنظیمات این تحلیل بر اساس دستور Define > P-Delta Option انجام می‌گیرد.

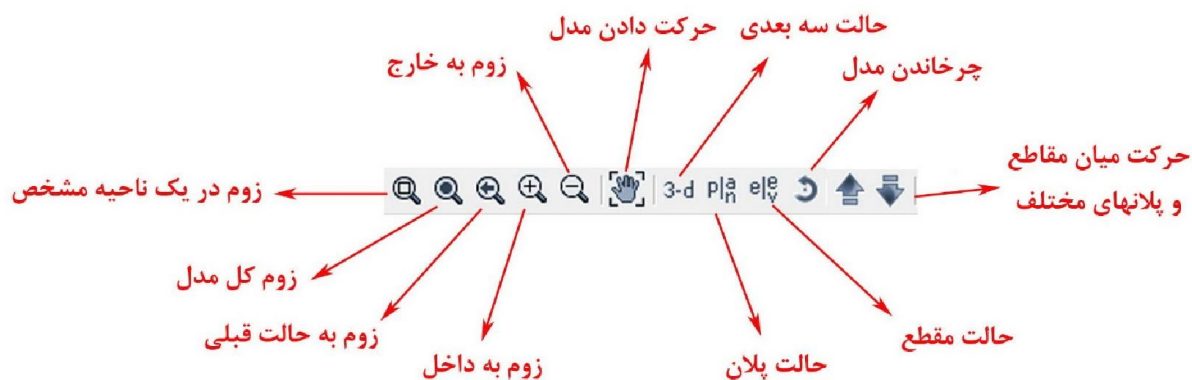


۴- منوی Draw، ترسیم اعضای سازه‌ای

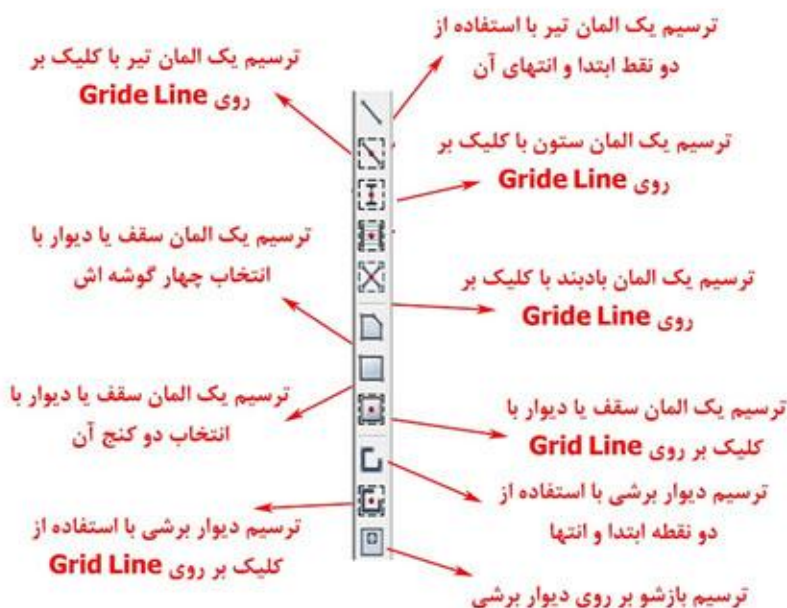
پس از اینکه مشخصات مدل تعریف شد، باید اجزای سازه‌ای ترسیم گردند. این کار توسط منوی Draw و نوار ابزار سمت چپ برنامه ETABS انجام می‌شود. برای ترسیم اعضای سازه‌ای به ترتیب ابتدا ستون‌ها، بعد تیرها و سپس سقف‌ها و دیوارهای برشی ترسیم می‌شوند. برای رسم هندسه مدل می‌توان از پنجره سمت چپ استفاده کرد. در پنجره سمت راست نمای سه بعدی ساختمان نشان داده می‌شود.



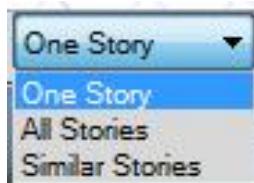
توسط دستورات زیر می‌توانید هندسه مدل را به صورت‌های مختلف ببینید.



با استفاده از دستورات زیر می‌توانید المان‌های مختلف سازه‌ای را در حالات مختلف رسم کنیم




در حالت PLAN می‌توان ترسیمات را در یک طبقه، طبقات مشابه و یا همه طبقات انجام دهید.



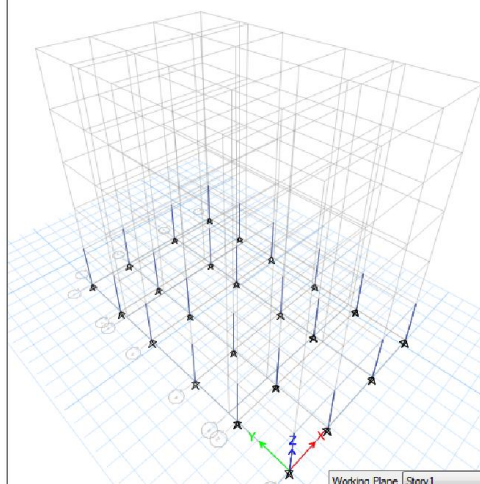
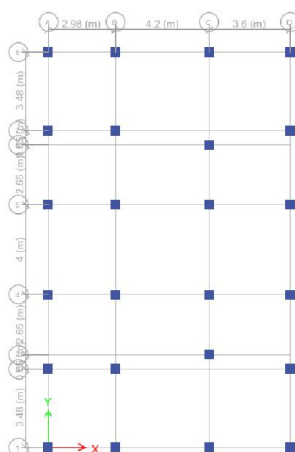
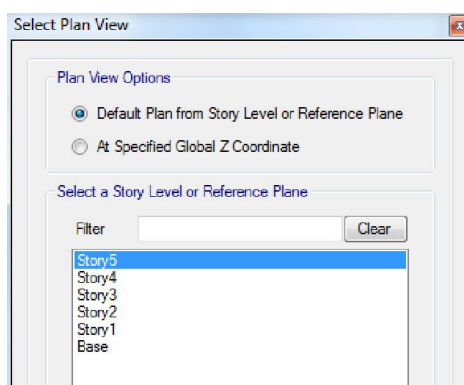
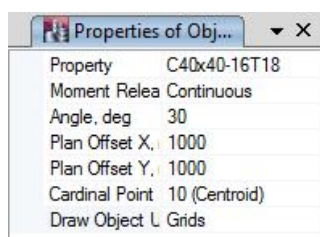
۴-۱- ترسیم ستون‌ها

ابتدا ستون‌های سازه را رسم می‌کنیم. جهت یادآوری دوباره مشخصات ستون‌ها را نشان می‌دهیم. روی دکمه پلان کلیک کرده و Story1 را انتخاب کرده OK کنید. حال دستور را اجرا کرده از پنجره ظاهر شده در گزینه property ستون C40x40 را انتخاب کنید.

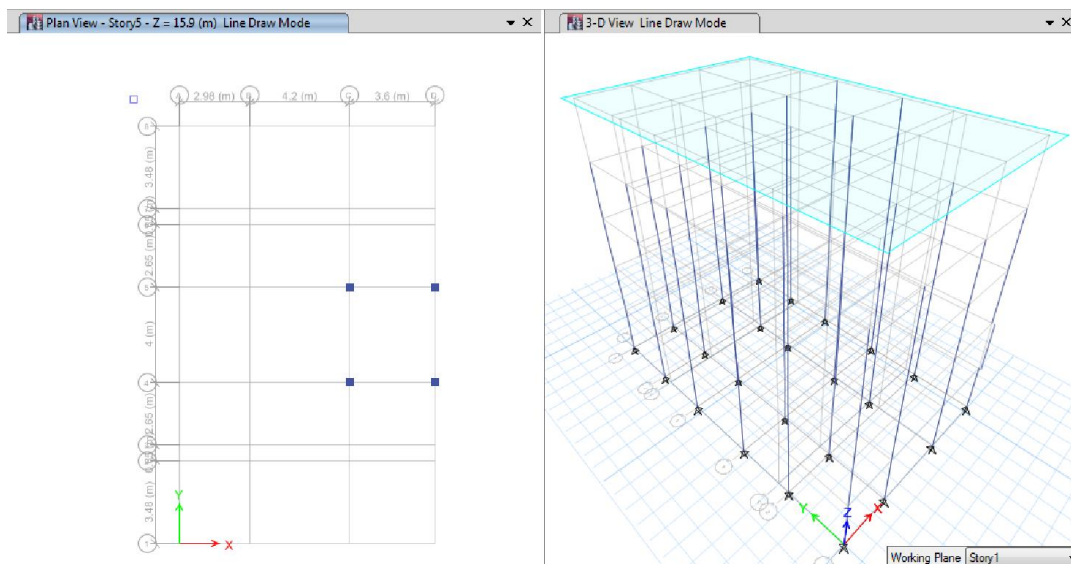
دو حالت برای Moment release (آزادسازی لنگر) وجود دارد. حالت Continuous به معنی دو سرگیردار است و حالت Pinned به معنی دو سر مفصل است (ستون‌ها دوسرگیردار می‌باشند). حالت Angle برای این است که ستون با یک زاویه‌ای نسبت به محور افقی رسم شود. حالت Plan offset برای این است که ستون با یک فاصله‌ای نسبت به نقطه کلیک شده رسم شود.

دقت کنید که در حالت **One Story** باشید تا ترسیمات در همین طبقه انجام شود. بعد مطابق پلان پروژه در نقاط تلاقی Grid Line ها کلیک کنید تا ستون ها رسم شوند. می توانید دور هر Grid Line هم یک باکس بکشید تا ستون رسم شود (هر کدام که راحت تر هست!!). در نهایت ستون های طبقه اول به صورت زیر ترسیم می شوند. سپس از دستورات  استفاده کنید تا به طبقات بالاتر رفته و در هر طبقه ستون با مقطع مناسب را مطابق جدول زیر ترسیم کنید.

تیر	ستون	میلگرد ستون	درصد میلگرد ستون
۴۰×۴۰	۴۰×۴۰	16Φ18	2.54
۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	12Φ18	2.49
۳۰×۳۰	۳۰×۳۰	12Φ16	2.68
سقف چهارم و خرپشته			
سقف دوم و سوم			
سقف اول			

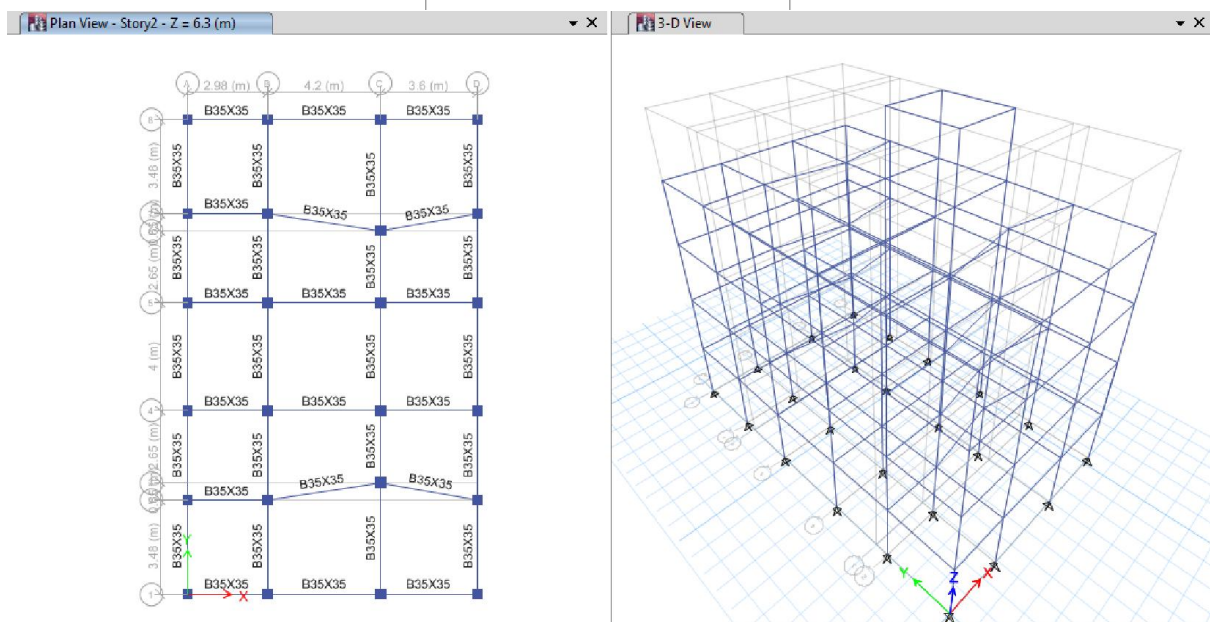
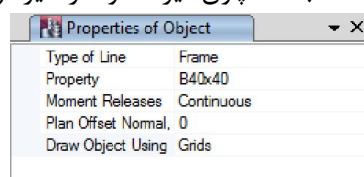


و در نهایت در سقف طبقه آخر ستون های خرپشته را رسم می کنیم. شمای کلی مدل به صورت زیر خواهد بود. گزینه Angle برای چرخاندن ستون به اندازه یک زاویه مشخص است. گزینه Offset نیز برای ترسیم ستون به فاصله مشخص از X و Y می باشد.



۴-۲- ترسیم تیرها

در مرحله بعد باید تیرها ترسیم شوند. پس در پلان طبقه اول قرار گرفته و دستور را اجرا می‌کنیم. با کلیک بر روی Grid Line های مربوطه تیرهای سقف رسم می‌شوند. دقت کنید در مورد تیرهایی که نمی‌توان با کلیک بر روی Grid Line آنها را رسم کرد باید از دستور استفاده کرد. تیرهای هر طبقه را با توجه به جدول رسم کنید. در تیرهای فولادی باید Moment release به صورت pinned باشد یعنی تیرها به صورت دو سر مفصل هستند. ولی در تیرهای بتنی باید به صورت continuous باشد. چون تیرها دو سر گیردار می‌باشند.



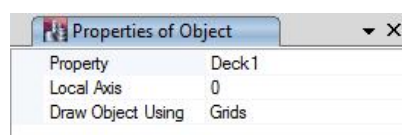
برای اینکه بتوانید Label تیرها را ببینید، دستور را اجرا کرده و در سربرگ Object assignment گزینه Section را تیک بزنید تا نام مقاطع تیرها و ستون‌ها نمایش داده شود. توسط این دستور می‌توانید گزینه‌های دیگر نمایش در مدل را تنظیم کنید.

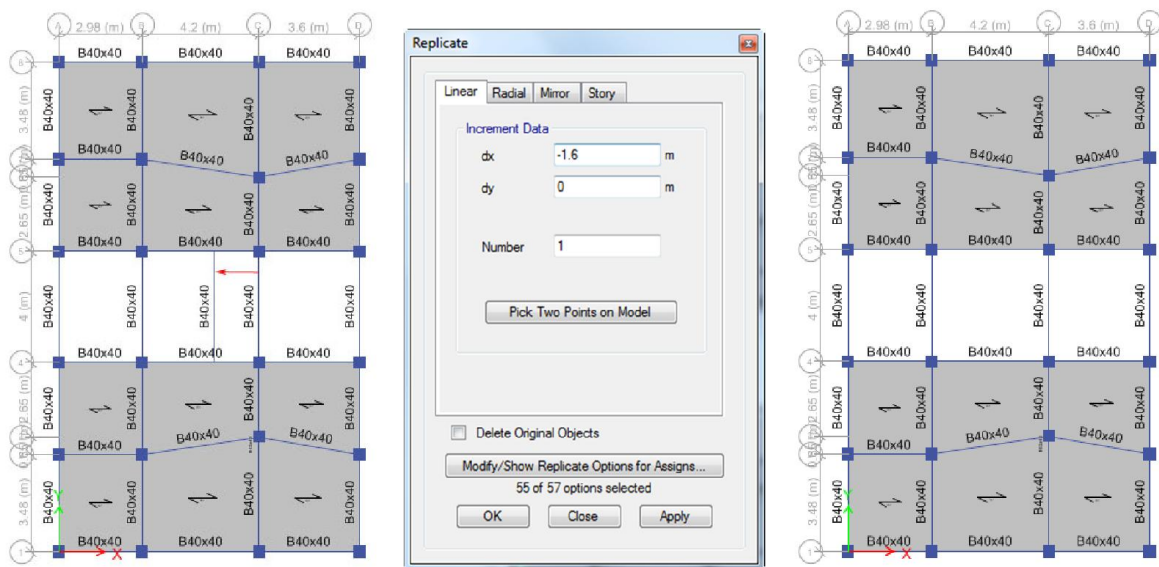


می‌توان تیرهای طبقه اول را که ترسیم شده، به طبقات بالایی کپی کرد و مقطع تیرهای طبقات بالایی را تغییر داد. به این صورت که ابتدا تمام تیرهای طبقه اول را انتخاب کرده (با استفاده از دستور **Select/ Properties/ Frame**) تیرهای **40X40** را انتخاب کرده و سپس با استفاده از دستور **Edit/Replicate/Story** تمام تیرها را به طبقات ۲ تا ۵ کپی می‌کنیم. تیرهای کپی شده دارای مقطع **40X40** می‌باشند ولی تیرهای طبقات بالایی مقاطعشان متفاوت است. پس باید تیرهای طبقات بالاتر را انتخاب کرده و مقاطعشان را با استفاده از دستور **Assign/Frame/Section Property** تغییر دهیم. در **Story5** تیرهای اضافی باید پاک شوند و فقط تیرهای پیرامون ستون‌های خرپشته باقی بماند.

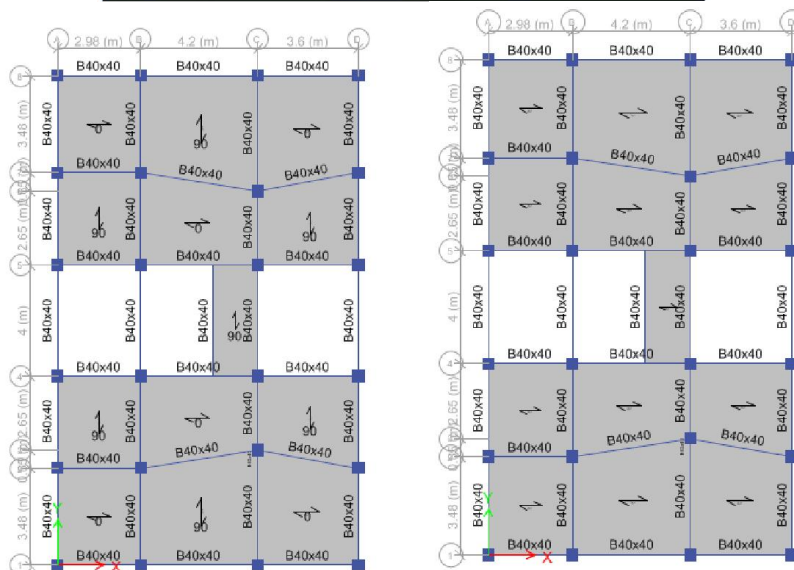
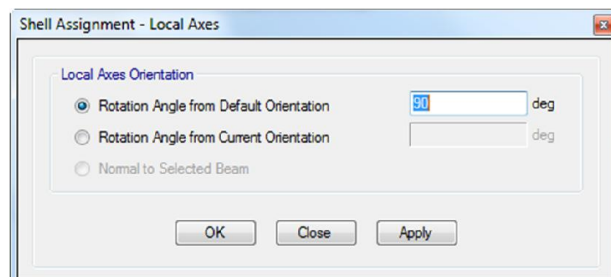
۴-۳- ترسیم سقف‌ها

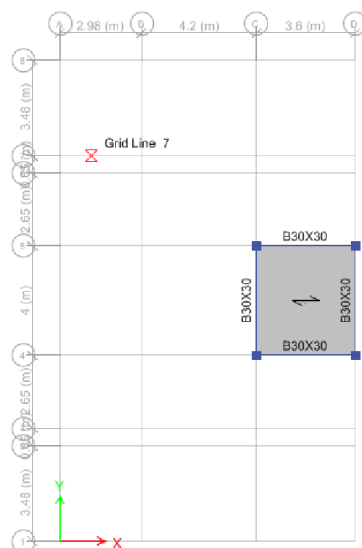
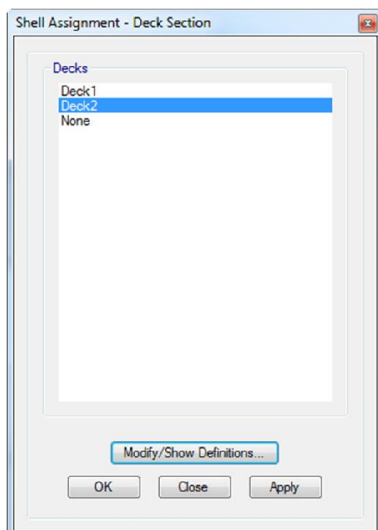
برای ترسیم سقف‌ها سه حالت وجود دارد. حالت اول  برای این است که در پانلهایی که مستطیل شکل نیستند، سقف با استفاده از چهار گوشه‌ی آن رسم شود. در حالت دوم  پانلهای مستطیل شکل با استفاده از دو گوشه‌ی آن ترسیم می‌شوند، و حالت سوم  برای این است که سقف با کلیک در محدوده‌ی خطوط **Grid Line** رسم شود. در این پروژه از هر سه حالت استفاده می‌کنیم چون برخی از پانلهای دارای شکل دوزنقه‌ای می‌باشند. بهتر است برای سقف از تیرچه‌ریزی شطرنجی استفاده کنیم چون اقتصادی تر است و بارهای سقف را به صورت منوازن بین تمام تیرها توزیع می‌کند. برای ترسیم سقف طبقات مشابه در حالت **All Stories** قرار گرفته و سقفها را ترسیم می‌کنیم. سقف طبقات اول تا چهارم از نوع **Deck1** است و سقف بام و خرپشته از نوع **Deck2** است. برای ترسیم ابتدا تمام پانلهای رسم کرده و بعد سقف‌های را که می‌خواهیم ۹۰ درجه می‌چرخانیم. با استفاده از دستور  مربعی را ترسیم می‌کنیم. بعد با استفاده از دستور  پانلهای غیر مربعی را می‌کشیم. برای رسم یک سقف در دهانه مجاور پله یک تیر پله را با اندازه ۱.۸- متر در جهت **X** کپی می‌کنیم تا بتوانیم سقف مورد نظر را رسم کنیم. برای این کار تیر را انتخاب کرده و دستور **Edit > Replicate** را اجرا می‌کنیم. عدد ۱.۸- را در باکس **dx** تایپ کرده و **OK** می‌کنیم.



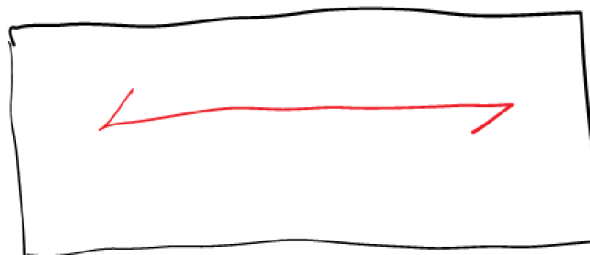


حال می‌توانیم در این دهانه سقف را توسط دستور **Assign > Shell > Local** در میان دوران دهیم. بنابراین سقف‌هایی را که می‌خواهیم انتخاب کرده و دستور **Assign > Shell > Local** را اجرا کرده و زاویه ۹۰ درجه را می‌دهیم. چون در حالت **All Stories** بوده این در تمام طبقات و همچنین روی کف زمین هم سقف رسم شده است و باید اینها را پاک کنید. پس در حالت **One Story** قرار گرفته و تمام سقف‌های زاید در همکف (**Base**) و پلان خرپشته (**Story5**) را پاک کنید. تیر کپی شده در سقف خرپشته را نیز پاک کنید. پاک کردن با دکمه **Delete** امکان‌پذیر است. در نهایت سقف خرپشته را هم رسم کنید. پس از اینکه سقف‌ها رسم شد، باید سقف بام و خرپشته را به **Deck2** تغییر دهیم. پس سقف‌های بام و خرپشته را انتخاب کرده و دستور **Assign > Shell > Deck Section** را اجرا کرده و گزینه **Deck2** را **OK** می‌کنیم.






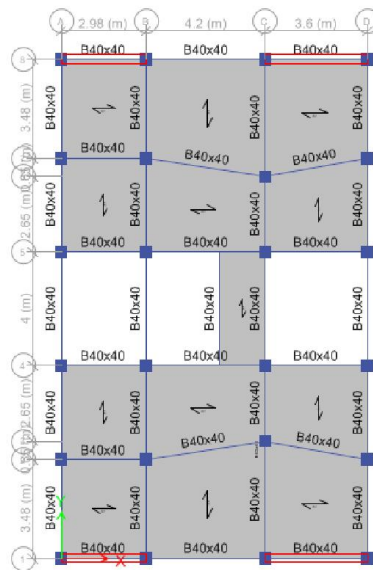
به عنوان یک نکته کلی بهتر است تیرچه‌ها را در جهت طول دهانه بزرگتر قرار بگیرند. در دهانه‌هایی که کنسول قرار دارد، تیرچه‌ها را در جهت دهانه بزرگتر قرار می‌دهیم. در این پروژه تمامی دهانه‌ها عموماً مربع شکل می‌باشند، لذا تیرچه‌ریزی در هر جهت مشکلی را ایجاد نمی‌کند. در کنسول‌ها نیز باید تیرچه‌ها را در جهت دهانه‌ی بلندتر قرار دهیم.



۴-۴- ترسیم دیوارهای برشی

دیوار برشی عنصر بسیار مقاومی است که در برابر نیروهای زلزله مقاومت می‌کند. دیوارهای برشی باید در دهانه‌هایی قرار بگیرند که حتی‌الامکان در آنها بازشو (یعنی درب و پنجره) وجود نداشته باشد. از دستور  برای ترسیم دیوار برشی استفاده می‌شود. برا ترسیم در حالت پلان و All Stories قرار گرفته و بر روی دهانه‌هایی که می‌خواهیم کلیک می‌کنیم. بهتر است دیوارهای برشی به صورت متقارن در پلان توزیع شوند. به عنوان یک حالت مناسب چهار دیوار برشی در چهار گوشه ساختمان که به طور مناسب توزیع شده‌اند در نظر گرفته می‌شود. به حالت PLAN و Story1 می‌رویم و با استفاده از دستور ترسیم دیوار برشی در حالت One Story، با انتخاب دیوار ۳۰ سانتی‌متری دیوارها را رسم می‌کنیم. این کار را برای دیگر طبقات نیز انجام می‌دهیم. Auto Pier/Spandrel را برای دیوارها فعال کنید تا به هر دیوار یک Label به طور خودکار اختصاص داده شود.

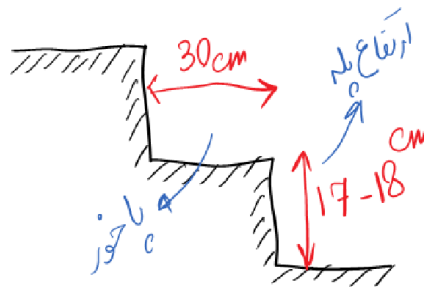
Properties of Object	
Type of Area	Pier
Property	W-30
Plan Offset Normal	0
Auto Pier/Spandrel	Yes
Draw Object Using	Grids



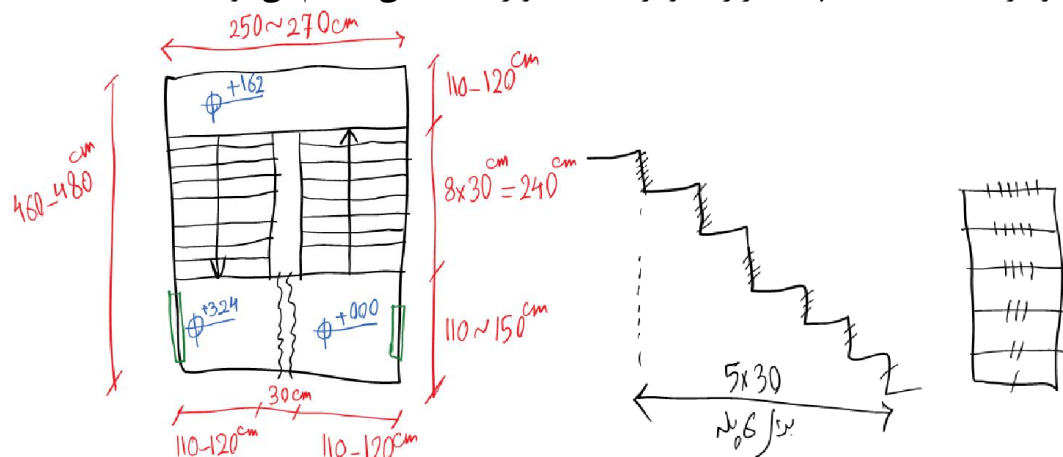
۴-۵- ترسیم تیرهای پاگرد و پله

ارتفاع پله می تواند ۱۷ یا ۱۸ سانتی متر باشد. تعداد پله می تواند ۱۸ یا ۱۹ عدد باشد. عرض پاگرد معمولاً ۱۱۰ تا ۱۲۰ سانتی متر است. طول پاخور معمولاً ۳۰ سانتی متر است.

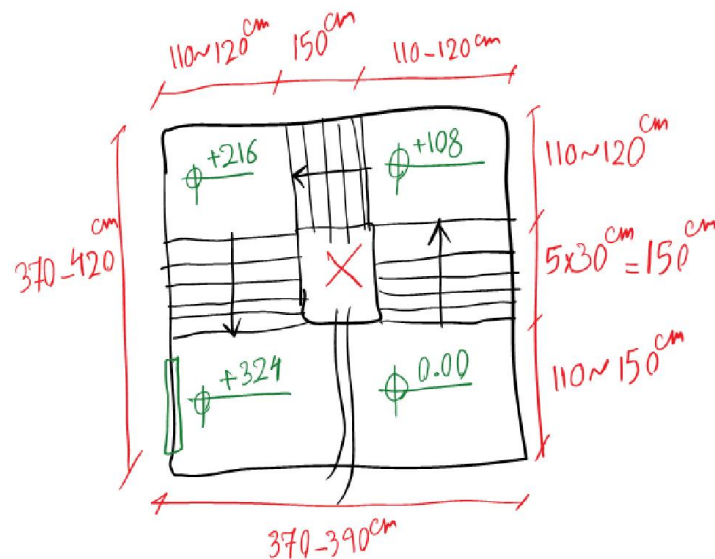
$$\text{ارتفاع کف تا کف طبقات} = \begin{cases} 19 \times 17 \text{ cm} = 323 \text{ cm} \\ 18 \times 18 \text{ cm} = 324 \text{ cm} \end{cases}$$



اگر پله دو گردش باشد، تعداد پله ها در رفت و برگشت به دو ردیف ۹ تایی تقسیم می شود.

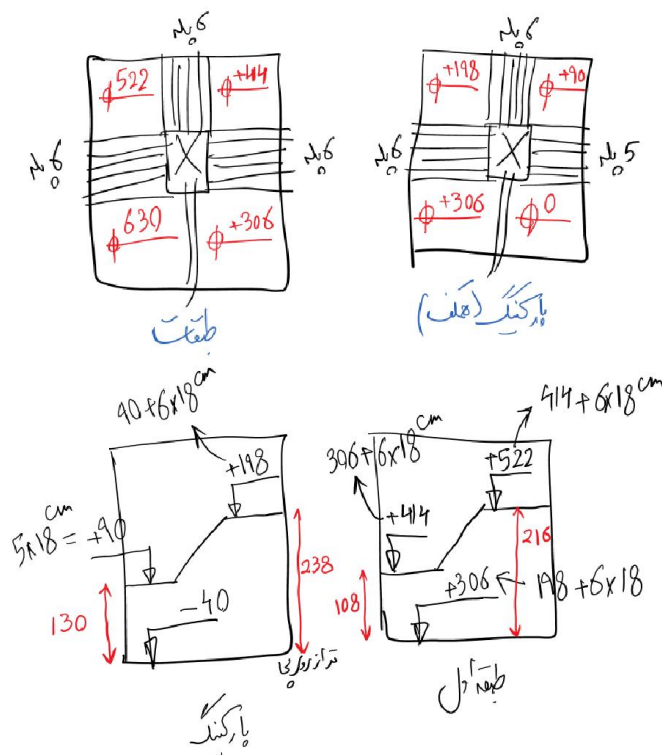


در پله ی سه گردش بسته به طول و عرض دهانه تعداد پله ها در هر گردش متفاوت است. ولی اگر ۳ ردیف پله ی ۶ تایی را در نظر بگیریم:




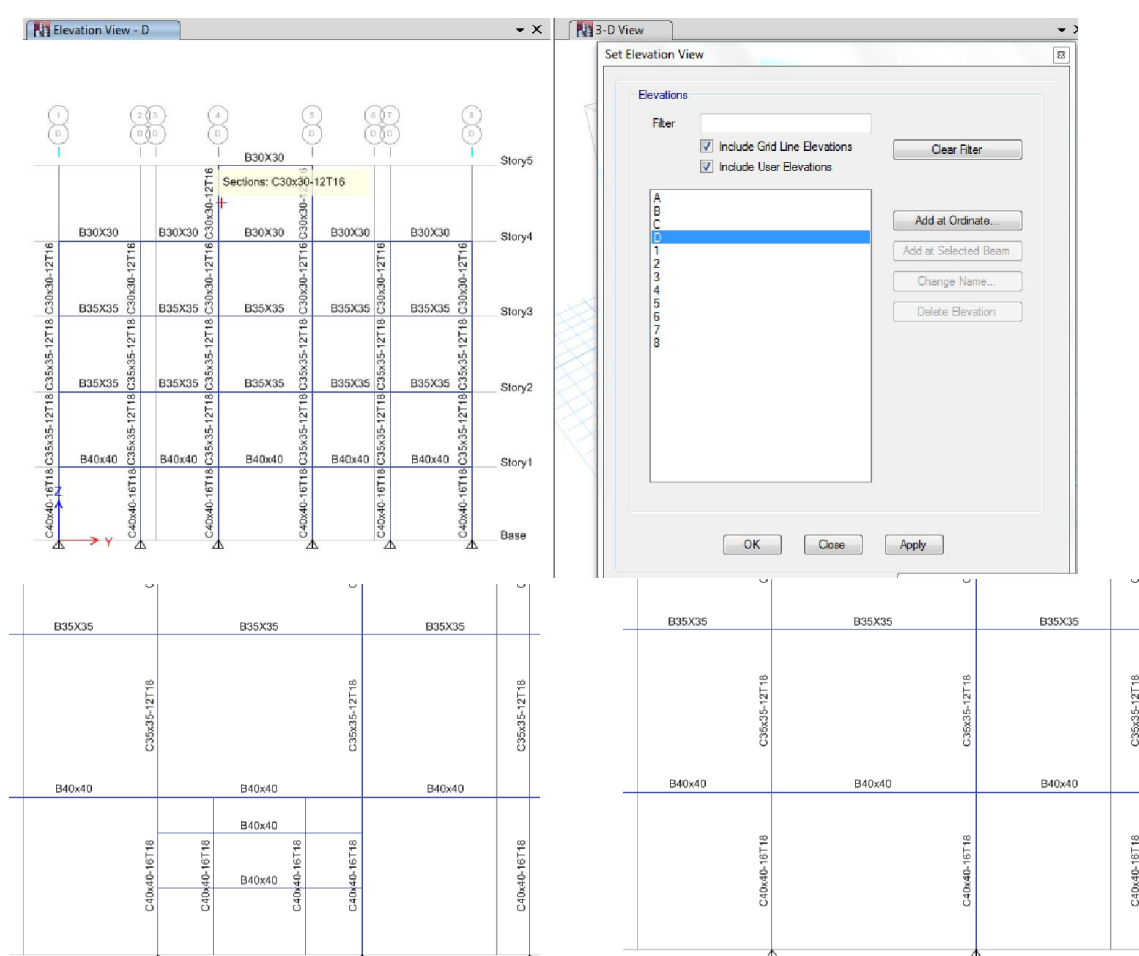
اگر محدوده‌ی پله مستطیلی باشد، می‌توان پله را دو گردش گرفت. اگر محدوده‌ی پله مربعی باشد، می‌توان پله را سه گردش گرفت.

ارتفاع کف تا سقف برای طبقات مسکونی باید حداقل ۲۸۰ سانتی‌متر باشد. ارتفاع کف تا سقف برای پارکینگ باید حداقل ۲۴۰ تا ۲۶۰ سانتی‌متر باشد. به همین دلیل تعداد پله‌های پارکینگ (۱۷ عدد یا ۵-۶-۶ عدد) همیشه یک عدد کمتر از تعداد پله‌های طبقات (۱۸ عدد یا ۶-۶-۶ عدد) است. بنابراین رقوم ارتفاعی پاگرد پله برای پارکینگ و طبقات فرق می‌کند. حال اگر تراز روی پی را ۴۰- سانتی‌متر بگیریم و ارتفاع سقف تیرچه بلوک را ۴۵ سانتی‌متر بگیریم می‌توانیم به صورت زیر محاسبه کنیم که تیرهای شمشیری و پاگرد در چه ترازوی قرار دارند و از این تراز برای ترسیم در برنامه ETABS استفاده می‌کنیم. پس برای ترسیم پله‌های شمشیری طبقات باید از اعدادی که قرمز هستند استفاده کنیم.



پارکینگ		طبقات	
ارتفاع کف تا کف	$17 \times 18_{cm} = 306_{cm}$	ارتفاع کف تا کف	$18 \times 18_{cm} = 324_{cm}$
ارتفاع کف تا سقف	$306 - 45 = 261_{cm}$	ارتفاع کف تا سقف	$324 - 45 = 279_{cm}$

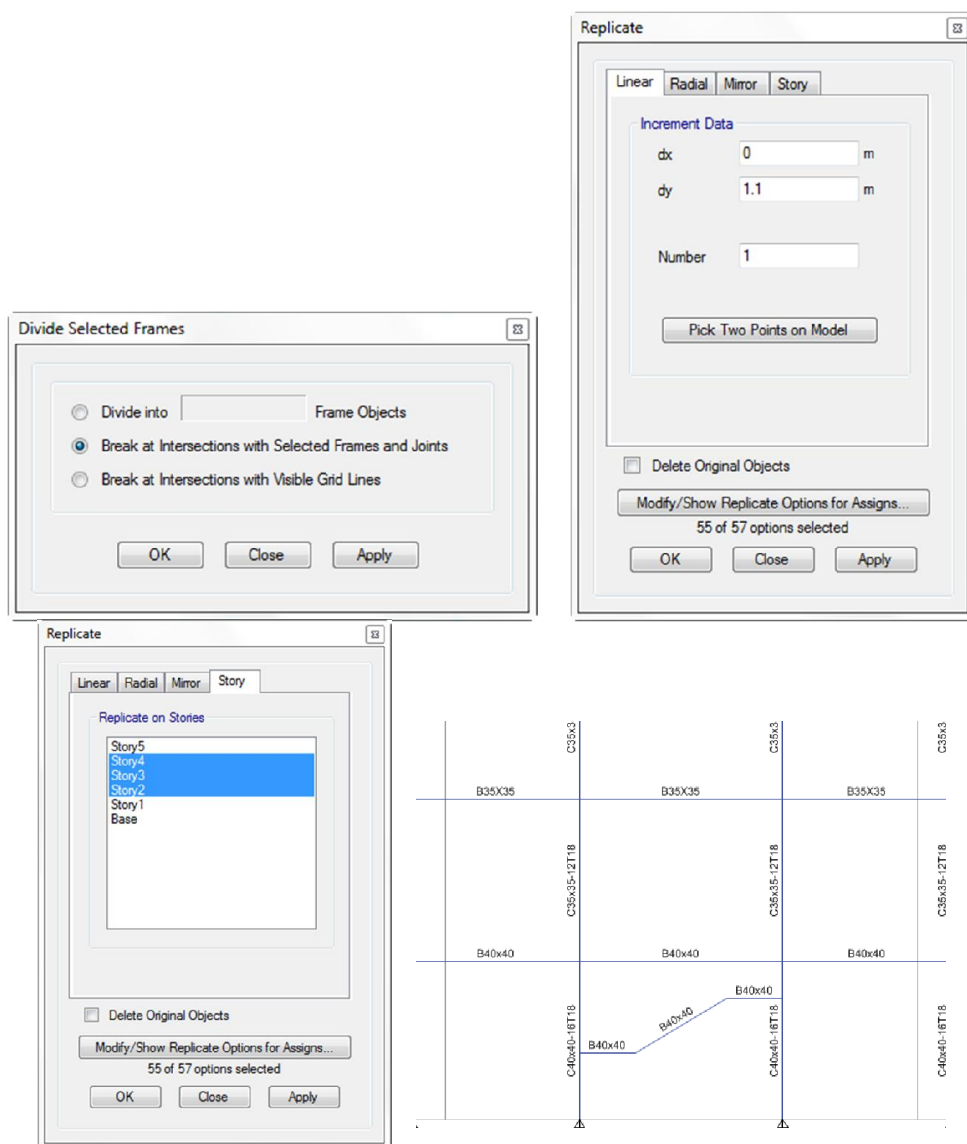
حال به سراغ مدل می‌رویم. به Elevation D می‌رویم که در آن تیرهای راه‌پله وجود دارد. دستور  را اجرا کرده و به محور D می‌رویم. تیر طبقه اول را به اندازه $(3.1-1.3=1.8m)$ با استفاده از دستور Edir > Move پایین انتقال می‌دهیم. دوباره همان تیر طبقه اول را می‌کشیم و به اندازه $(3.1-2.38=0.72m)$ به سمت پایین Move می‌کنیم. سپس دو ستون دو طرف راه‌پله را با استفاده از دستور Edit > Replicate با اندازه 1.1m (به اندازه‌ی عرض پاگرد) به داخل دهانه کپی می‌کنیم.

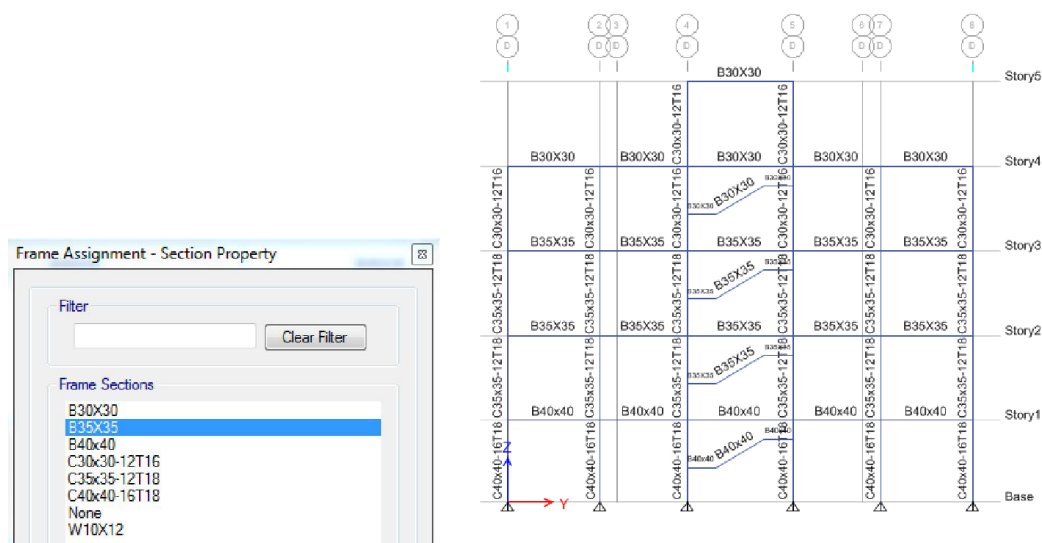


پس از این مرحله چهار تیر و ستون داخل دهانه را انتخاب کرده و دستور Edit > Edit Frame > Divie Frame Break at گزینه را اجرا می‌کنیم تا ستون‌ها و تیرها در محل تلاقی خود به اعضای کوچکتر تقسیم شوند. گزینه Break at intersections with selected frames and joints را انتخاب کرده و OK می‌کنیم. پس از آن خطوط اضافی را پاک کرده و یک تیر مایل نیز رسم می‌کنیم. این تیر را کلاً انتخاب کرده و با استفاده از دستور Edit > Replicate > Story آن را به طبقات ۲ و ۳ و ۴ کپی می‌کنیم. باید تیرهای پاگرد دوم و سوم را باید به B35x35 و چهارم را به B30x30 تغییر دهیم. برای این کار تیرهای هر طبقه را انتخاب کرده، دستور Assign > Frame > Section

Property را اجرا کرده و مقطع مورد نظر را به هر تیر اختصاص می‌دهیم. توجه کنید که در طبقه خرپشته پله وجود ندارد.

(از دستور Draw > Draw Reference Plane هم می‌توان استفاده کرد و در تراز دلخواه یک پلان کمکی ایجاد کرد)



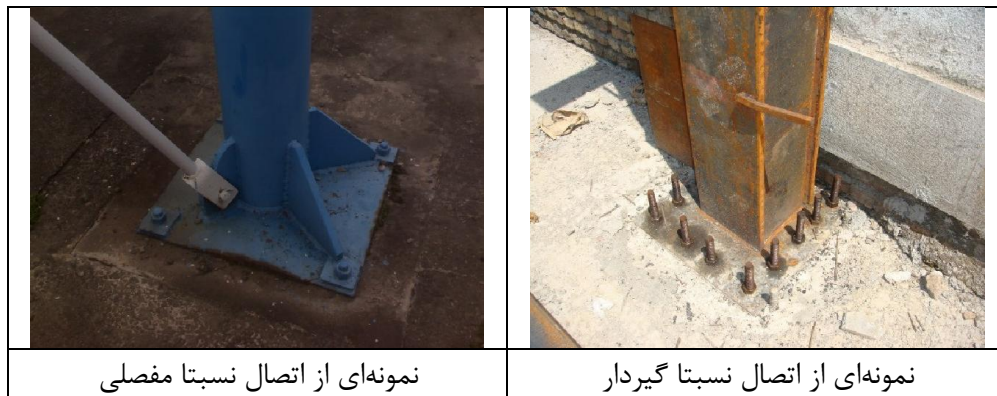


۵- منوی Assign، اختصاص دادن مشخصات تعریف شده در Define با اعضا

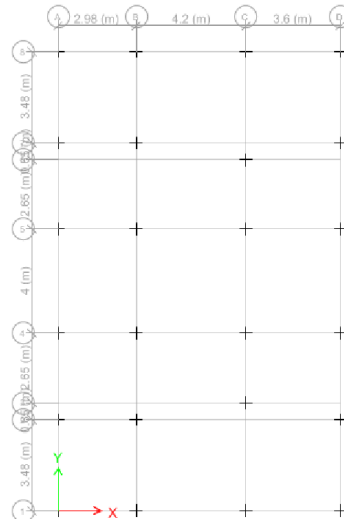
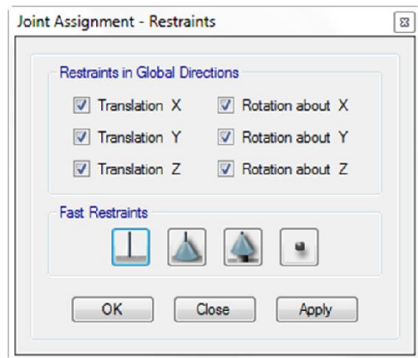
در این منو تمامی مشخصاتی که در منوی Define تعریف کردیم را به اعضا ترسیم شده اختصاص می‌دهیم.

۵-۱- تعیین شرایط تکیه‌گاهی

برای ستون‌های بتنی عموماً پای ستون گیردار است. ولی در سازه‌های فولادی بسته به نوع اتصال Base Plate و تعداد میلگردها و نحوه مهار آنها در بتن می‌توان اتصال پای ستون را مفصل یا گیردار در نظر گرفت. اگر تعداد بولت‌ها کم باشد اتصال مفصلی است ولی اگر تعداد بولت‌های اتصال زیاد باشد، اتصال گیرداری مناسب دارد. البته این یک حرف به نوعی عامیانه است و برای هر Base Plate باید محاسبات انجام شود و مقدار گیرداری بر اساس لنگر وارده به دست آید.



در پنجره PLAN در حالت BASE و One Story قرار گرفته و تمام Joint های تکیه‌گاهی را انتخاب می‌کنیم و بعد Assign > Joint > Restraint را اجرا کرده، حالت گیردار را انتخاب کرده و OK می‌کنیم.

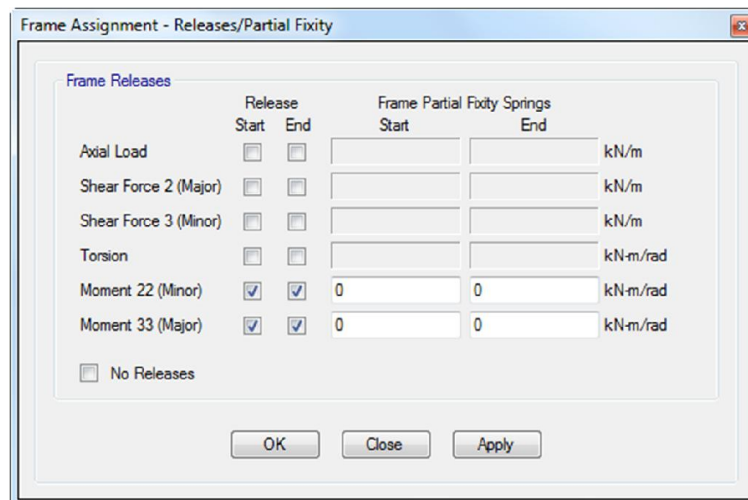


۵-۲- اختصاص مقاطع به اعضای خطی (تیرها و ستون‌ها)

با استفاده از دستور Assign/ Frame/ Section Property انجام می‌گیرد.

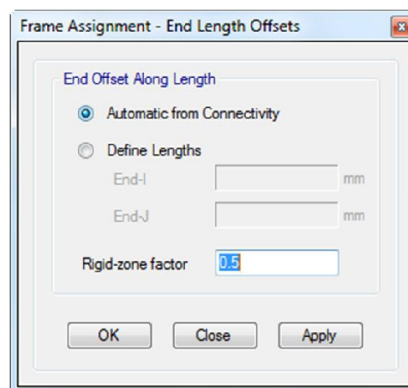
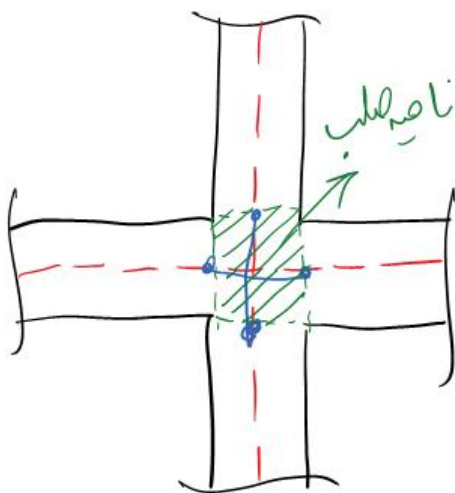
۵-۳- آزادی سازی لنگر دو سر تیرها (در رابطه با تیرهای فلزی)

در ساختمان‌های فولادی که اتصالات تیرها و بادبندها به صورت مفصلی است، می‌توانیم با استفاده از دستور Assign > Frame / Release/partial fixity می‌توان دو سر اعضا را به صورت مفصلی تعریف کرد. این دستور برای بادبندها و تیرهای دو سر مفصل استفاده می‌شود. باید مقدار M22 و M33 را برای ابتدا و انتهای عضو تیک زد.



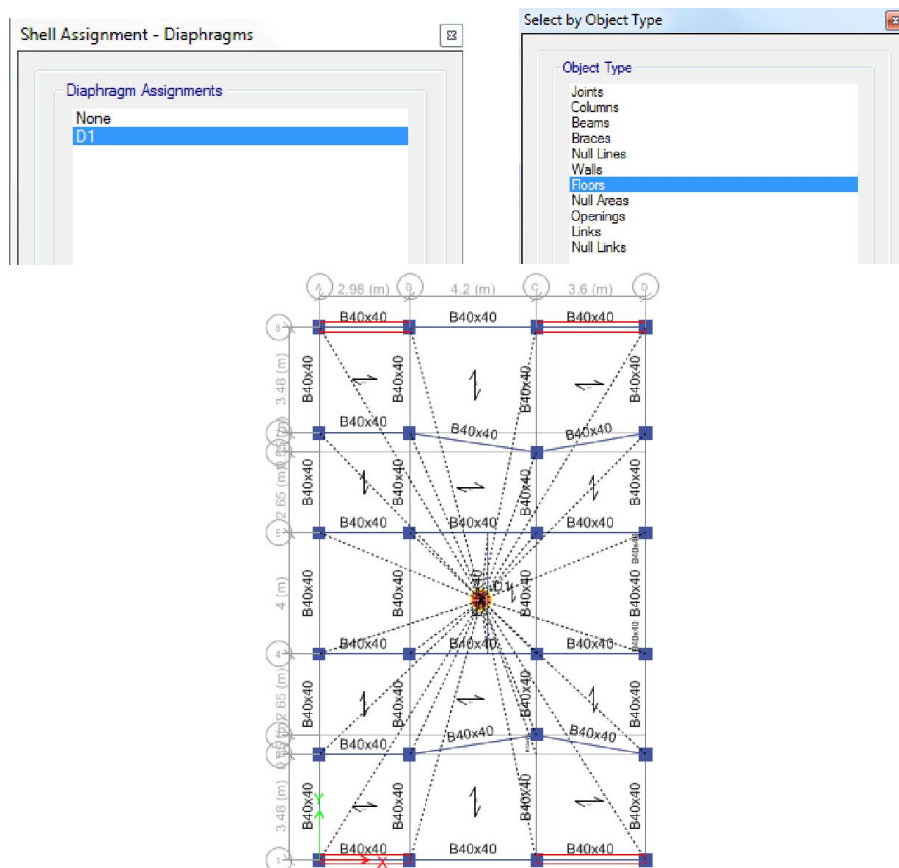
۵-۴- Rigid Zone factor

در هر اتصال تیر و ستون در چشمه مرکزی اتصال ناحیه صلبی وجود دارد که با استفاده از دستور Assign > Frame > End Length Offsets برای نرم‌افزار قابل تعریف است. در این حالت ابتدا تمام اعضا را انتخاب کرده و Rigid Zone Factor را برابر 0.5 قرار می‌دهیم.

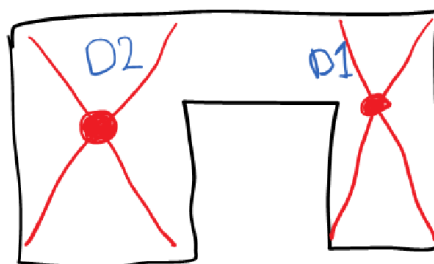


۵-۵- اختصاص دیافراگم صلب

برای اختصاص دیافراگم صلب، تمام کفها (DECK) را از طریق دستور **Select > Select > object Type** Floors انتخاب کرده و سپس دستور **Assign > Shell > Diaphragms** را اجرا کنید. دیافراگم D1 را انتخاب کرده و OK کنید. در این حالت تمام گره‌های طبقات توسط چندین فنر صلب به مرکز جرم ساختمان متصل می‌شود. بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ اگر دیافراگم تعریف کنیم، حتما باید پیچش تصادفی در ترکیبات بارگذاری لحاظ شود. حتی در صورتی که در ساختمان، ضوابط بند ۲-۳-۱۰-۴ رعایت شده باشد (ساختمان تا ۵ طبقه یا کوتاه‌تر از ۱۸ متر).



در سقف‌هایی که صلبیت لازم را ندارند باید دو یا چند دیافراگم به کف اختصاص دهیم و اختصاص یک دیافراگم کار اشتباهی است.



۵-۶- بارگذاری ثقلی (مرده) دیوارها

بارگذاری دیوارها و کف‌ها باید از روی جزئیات معماری به دست بیاید. ولی در صورتی که این جزئیات در دسترس نباشد (که عموماً هم در دسترس نیست) باید از یک دیتایل معقول که در اجرای ساختمان‌ها رایج و متداول است، استفاده کرد.

برای بارگذاری دیوارها تنها دیوارهایی که ضخامتشان از ۲۰ سانتی‌متر بیشتر است، در نظر گرفته می‌شوند. در ساختمان دیوارها به دو دسته دیوار خارجی و دیوار داخلی تقسیم‌بندی می‌شوند. دیوارهای داخلی سنگ‌نما ندارند ولی دیوار خارجی دارای سنگ‌نما می‌باشند. جزئیات این دیوار به صورت زیر است. برای محاسبه وزن مخصوص اجزای تشکیل دهنده این دیوارها باید از «پیوست شماره ۶-۱ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان» استفاده کرد.

دیتایل بار دیوار ۲۲ سانتیمتری خارجی نمادار:

سنگ نما تراورتن	$= 0.02 \times 2400 = 48 \frac{kg}{m^2}$
ملات ماسه سیمان	$= 0.03 \times 2100 = 63 \frac{kg}{m^2}$
آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان	$= 0.20 \times 850 = 170 \frac{kg}{m^2}$
ملات گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \frac{kg}{m^2}$
ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \frac{kg}{m^2}$
مجموع	$= 324 \frac{kg}{m} \Rightarrow 320 \frac{kg}{m^2}$

دیتایل بار دیوار ۲۲ سانتیمتری خارجی بدون نما:

آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان	$= 0.20 \times 850 = 170 \frac{kg}{m^2}$
ملات گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \frac{kg}{m^2}$
ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \frac{kg}{m^2}$
مجموع	$= 214 \frac{kg}{m} \Rightarrow 220 \frac{kg}{m^2}$

دیتایل بار تیغه ۲۲ سانتیمتری:

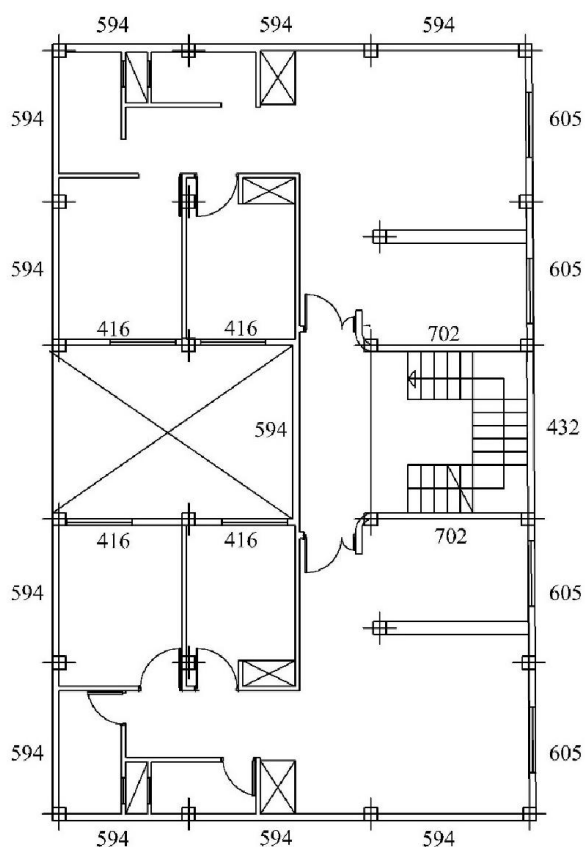
گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \frac{kg}{m^2}$
---------	---

ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \text{ kg/m}^2$
آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان	$= 0.20 \times 850 = 170 \text{ kg/m}^2$
گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \text{ kg/m}^2$
ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \text{ kg/m}^2$
مجموع	$= 257 \text{ kg/m} \Rightarrow 260 \text{ kg/m}^2$

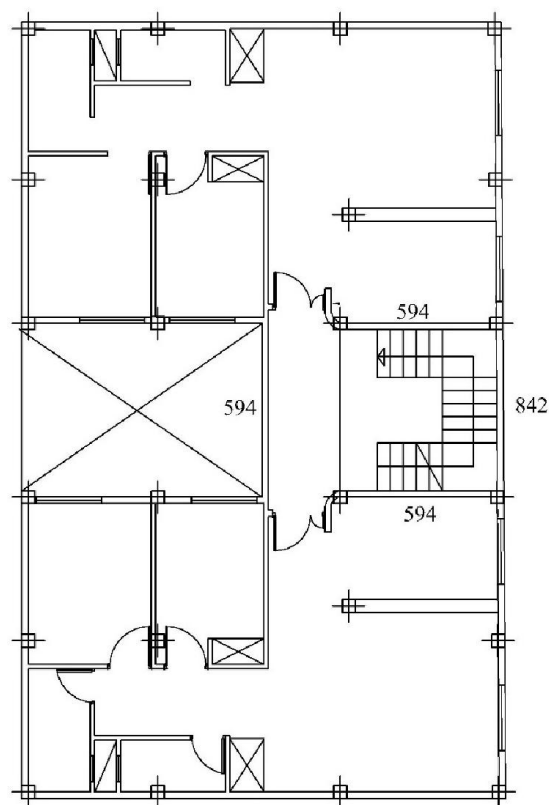
وزنی که در جداول بالا به دست می آید وزن واحد سطح است و باید در ارتفاع دیوار ضرب شود تا وزن واحد طول دیوار به دست بیاید. با توجه به اینکه ارتفاع کف تا کف تقریباً ۳/۲۰ متر است. پس با احتساب ضخامت ۵۰ سانتی متر برای کف، ارتفاع دیوار برابر ۲/۷ به دست خواهد آمد. دیوارهایی که دارای بازشو هستند وزن کمتری نسبت به دیوارهای بدون بازشو دارند. به همین دلیل ضریب ۰/۷ را برای محسوب کردن بازشوها در جدول زیر لحاظ می کنیم. دیوار خارجی روی پاگرد به دلیل اینکه ارتفاعش نصف ارتفاع طبقه است، وزن آن بخش بر دو می شود. سپس این بارگذاری ها را روی پلان مشخص می کنیم تا در وارد کردن آنها در برنامه ETABS اشتباهی رخ ندهد.

دیوار خارجی نمادار	$320 \times 2.7 = 864 \text{ kg/m}$
دیوار خارجی نمادار با بازشو	$0.7 \times 320 \times 2.7 = 605 \text{ kg/m}$
دیوار خارجی	$220 \times 2.7 = 594 \text{ kg/m}$
دیوار خارجی با بازشو	$0.7 \times 220 \times 2.7 = 416 \text{ kg/m}$
دیوار تیغه ۲۲ سانتی	$260 \times 2.7 = 702 \text{ kg/m}$
دیوار تیغه ۲۲ سانتی با بازشو	$0.7 \times 260 \times 2.7 = 492 \text{ kg/m}$
دیوار خارجی نمادار روی پاگرد	$320 \times 2.7/2 = 432 \text{ kg/m}$

پلان بارگذاری بار مرده دیوارها بر روی تیرها:



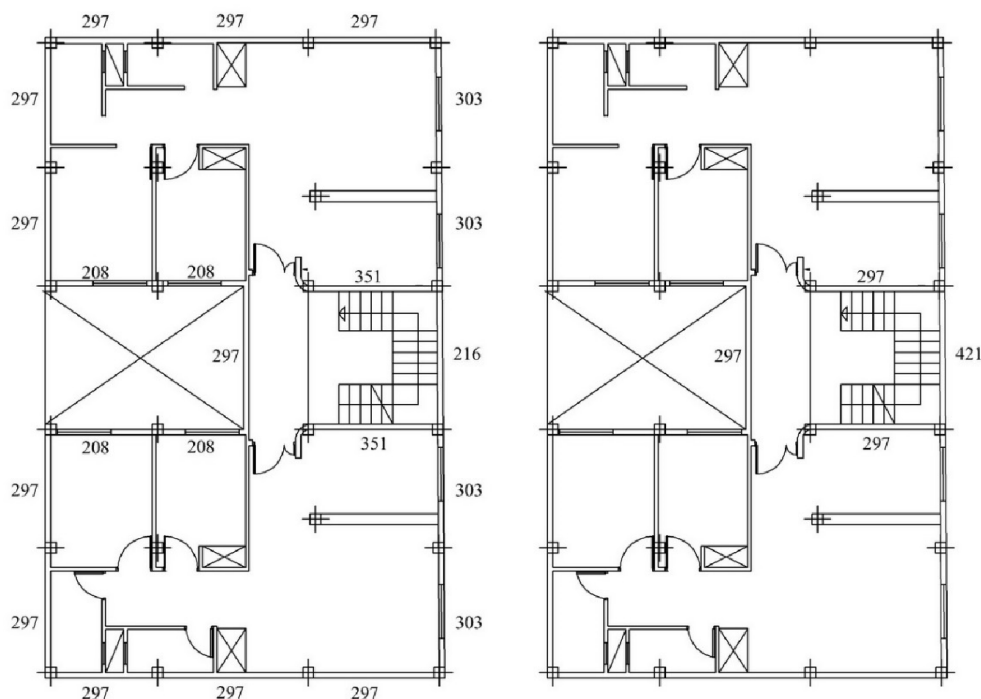
Story1-3



Story 4

۵-۷- Laod Case Wall برای تیرهای طبقه آخر

قبلا گفتیم که برای اصلاح مرکز جرم باید یک بار Wall به تیرهای طبقه بام و خرپشته اختصاصی دهیم. مقدار این بار دقیقا نصف بار دیوارهای طبقه پایین تر است.



Story 4

Story 5

۵-۸- بارگذاری ثقلی کفها (بار مرده و زنده) و بار قائم زلزله در بالکنها

عموما سقف‌های از نوع تیرچه بلوک هستند و کمتر پیش می‌آید که سقف طاق ضربی یا سقف کامپوزیت داشته باشیم. سقف‌های تیرچه بلوک نیز به دو دسته‌ی بلوک سیمانی و بلوک یونولیتی تقسیم می‌شوند. به وزن کفها نیز ۱۰۰ کیلوگرم بر مترع بار تیغه نیز اضافه می‌شود.

دتایل بار مرده سقف تیرچه بلوک سیمانی طبقات:

کاشی سرامیکی کفی	$= 0.02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
ملات ماسه سیمان	$= 0.025 \times 2100 = 52.5 \text{ kg/m}^2$
بتن با پوک‌ه‌ی معدنی	$= 0.07 \times 1300 = 91 \text{ kg/m}^2$
دال بتن مسلح	$= 0.05 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
تیرچه بتنی	$= 2 \times 0.10 \times 0.25 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
بلوک سیمانی	$= 8 \times 10 = 80 \text{ kg/m}^2$
ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \text{ kg/m}^2$
گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \text{ kg/m}^2$
بار تیغه	$= 100 \text{ kg/m}^2$
مجموع	$= 659 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow 660 \text{ kg/m}^2$

دتایل بار مرده سقف تیرچه بلوک سیمانی بام (سقف بام بار تیغه ندارد):

آسفالت	$= 0.02 \times 2200 = 44 \text{ kg/m}^2$
دولایه قیرگونی	$= 15 \text{ kg/m}^2$
بتن با پوکه‌ی معدنی	$= 0.07 \times 1300 = 91 \text{ kg/m}^2$
دال بتن مسلح	$= 0.05 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
تیرچه بتنی	$= 2 \times 0.10 \times 0.25 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
بلوک سیمانی	$= 8 \times 10 = 80 \text{ kg/m}^2$
ملات گچ و خاک	$= 0.015 \times 1600 = 24 \text{ kg/m}^2$
گچ سفید	$= 0.015 \times 1300 = 19.5 \text{ kg/m}^2$
مجموع	$= 523 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow 520 \text{ kg/m}^2$

دتایل بار مرده سقف تیرچه بلوک یونولیتی:

کاشی سرامیکی کفی	$= 0.02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
ملات ماسه سیمان	$= 0.025 \times 2100 = 52.5 \text{ kg/m}^2$
بتن با پوکه‌ی معدنی	$= 0.07 \times 1300 = 91 \text{ kg/m}^2$
دال بتنی	$= 0.05 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
تیرچه بتنی	$= 2 \times 0.10 \times 0.25 \times 2500 = 125 \text{ kg/m}^2$
بلوک یونولیتی	$= 2 \text{ kg/m}^2$
سقف کاذب با اندود گچی	$= 50 \text{ kg/m}^2$
بار تیغه	$= 100 \text{ kg/m}^2$
مجموع	$= 587 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow 585 \text{ kg/m}^2$

برنامه ETABS مقدار بار بتن را از روی مشخصات سقف تیرچه بلوک محاسبه می‌کند. پس باید بار بتن سقف را از بار کل سقف کم کنیم (بار مرده کف طبقات نباید زیر ۶۵۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد). در صورتی که سقف بام از نوع تیرچه‌بلوک نباشد و فقط خرپای چوبی (سربندی چوبی) باشد، می‌توان بار گسترده‌ی سربندی را معادل ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفت.

بار زنده‌ی طبقات مسکونی مطابق با مبحث ششم مقررات ملی برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع است. با توجه به محل پروژه که در شهر رشت است، مقدار بار برف برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع خواهد بود. مطابق بند ۶-۳-۲-۵ مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان بار زنده بالکن‌ها نیز نباید از ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع کمتر باشد. بنابراین خلاصه‌ی بارگذاری‌های به شرح زیر نوشته می‌شود:

بار مرده سقف طبقات	$DL = 660 - (125 + 125) = 410_{kg/m^2}$
بار مرده سقف بام	$DL = 520 - (125 + 125) = 270_{kg/m^2}$
بار مرده بالکن	$DL = 410_{kg/m^2}$

بار زنده طبقات	$LL = 200_{kg/m^2}$
بار زنده بام (برف)	$LL = 200_{kg/m^2}$
بار زنده بالکن	$LL = 300_{kg/m^2}$

آیین‌نامه ۲۸۰۰ تصریح می‌کند که مولفه‌ی قائم نیروی زلزله باید بر روی بالکن‌ها نیز محاسبه شود. بارگذاری بالکن‌ها در اثر نیروی قائم زلزله به صورت زیر است. چون در این پروژه بالکن نداریم، پس بار قائم زلزله بر ساختمان وارد نمی‌شود.

$$E_z = 2 \times 0.7 \times AIW_p$$

A: شتاب مبنای طرح ، I: ضریب اهمیت ساختمان ، Wp: بار مرده + (کل بار زنده)

$$E_z = 2 \times 0.7 \times AIW_p = 2 \times 0.7 \times 0.3 \times 1 \times (660 + 300) = 405_{kg/m^2} \text{ برای طبقات مسکونی}$$

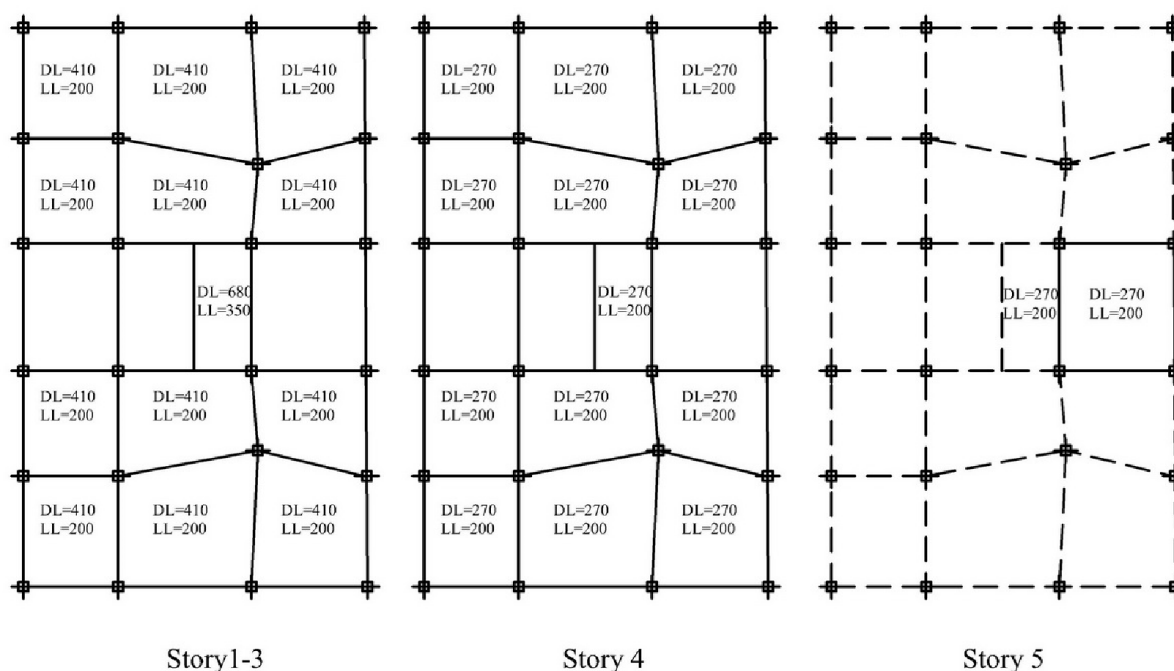
$$E_z = 2 \times 0.7 \times AIW_p = 2 \times 0.7 \times 0.3 \times 1 \times (520 + 300) = 345_{kg/m^2} \text{ برای طبقات مسکونی}$$

در ترکیب بار قائم با بار مرده و زنده باید به صورت زیر عمل کرد تا بار قائم زلزله بیشترین تاثیر را داشته باشد.

$$D + L + E_z \quad \downarrow$$

$$D - E_z \quad \uparrow$$

پلان بارگذاری کف طبقات، بام و خرپشته به صورت زیر خواهد شد:



۵-۹- بارگذاری ثقلی راهپله

عموماً با توجه به جزئیات پله‌های متداول، بار مرده و زنده‌ی راه‌پله به صورت زیر به دست می‌آید. با تقریب خوبی می‌توان بار اتاق پله را به دو قسمت تقسیم کرد و بارها را به تیرهای طبقه و تیرهای شمشیری پله اختصاص داد.

بار مرده پله	$680_{kg/m}$
بار زنده پله	$350_{kg/m}$

ابعاد اتاق پله $4_m \times 3.6_m$ است. مساحت اتاق آسانسور $1.3_m \times 1.6_m$ است. پس کل بار اتاق پله به صورت زیر محاسبه شده و بخش بر دو می‌شود تا به طور مساوی میان تیرهای دو طرف تقسیم شود:

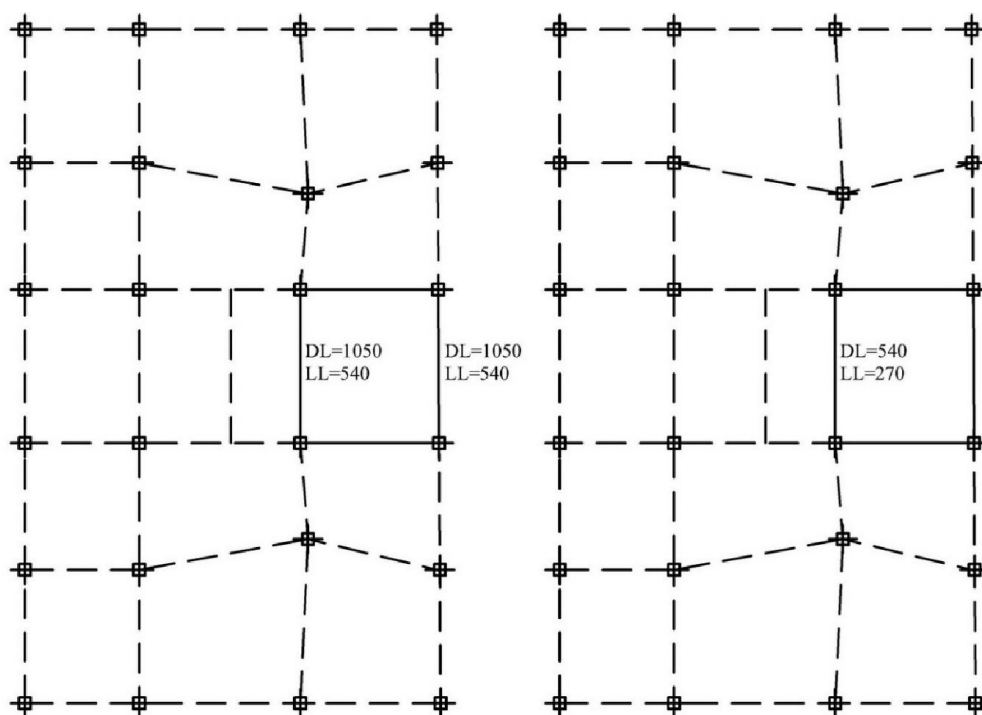
$$DL = \frac{680 \times (4 \times 3.6 - 1.3 \times 1.6)}{2 \times 4} = 1050 \frac{Kg}{m}$$

$$LL = \frac{350 \times (4 \times 3.6 - 1.3 \times 1.6)}{2 \times 4} = 540 \frac{Kg}{m}$$

فقط در طبقه بام (نه خرپشته) پله قطع می‌شود. به همین دلیل بارگذاری فوق برای طبقه بام نصف خواهد شد.

$$DL = \frac{680 \times (4 \times 3.6 - 1.3 \times 1.6)}{2 \times 2 \times 4} = 525 \frac{Kg}{m}$$

$$LL = \frac{350 \times (4 \times 3.6 - 1.3 \times 1.6)}{2 \times 2 \times 4} = 270 \frac{Kg}{m}$$

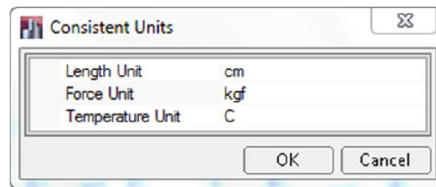


Story 1-4

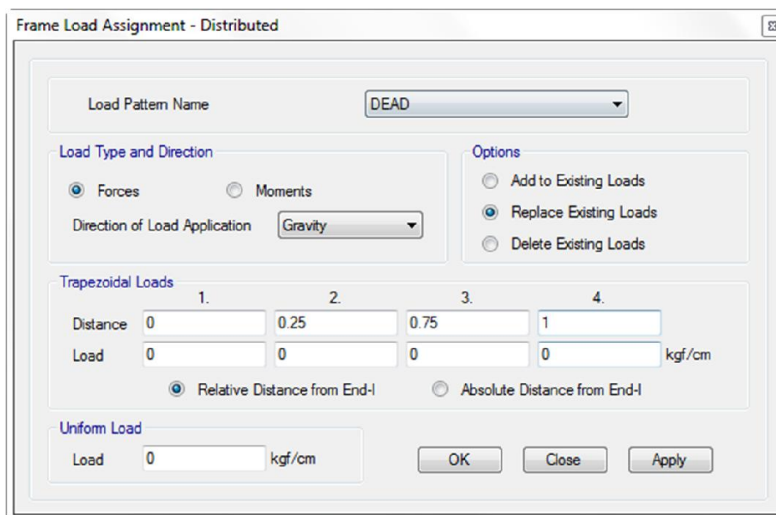
Story 5

۵-۱۰- اختصاص بار به تیرها

برای اختصاص بار بهتر واحدها را بر حسب Kgf/m تغییر دهیم تا احتیاجی به تبدیل واحد نداشته باشیم. پس دستور **Units...** و سپس **Consistent units** را اجرا کرده و واحدها را به kgf و m تغییر می‌دهیم.

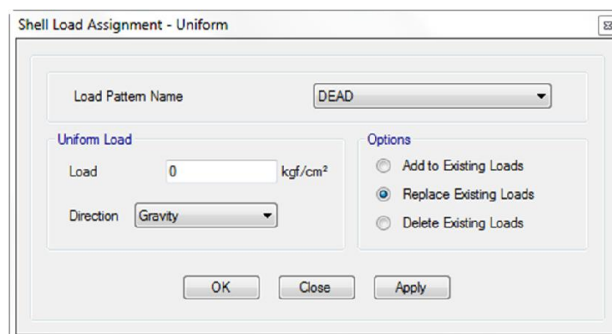


برای اختصاص بارهای گسترده به تیرها، باید ابتدا تیرهای مورد نظر را انتخاب کرده و سپس دستور **Assign > Frame Load > Distributed** را اجرا کنیم. در این پنجره نوع بار (مرده یا زنده) انتخاب می‌کنیم. نیرو را از نوع **Force** تنظیم می‌کنیم و جهت آن را **Gravity** در نظر می‌گیریم. سه **Option** برای این بارگذاری وجود دارد به این صورت که این بار به بارهای قبلی اضافه شوند (**Add to ...**) یا اینکه جایگزین بارهای قبلی شوند (**Replace to ...**) و یا اینکه این بارها حذف شوند (**Delete ...**). مقدار بار گسترده را در قسمت **Uniform Load** وارد می‌کنیم. حالت **Trapezoidal** برای بارگذاری‌هایی است که خطی نیستند و به صورت خطی و ذوزنقه‌ای می‌باشند. تمامی بارگذاری‌های صفحات قبل باید تک به تک توسط این دستور به تیرها اختصاص یابد. این کار را خودتان انجام دهید.



۵-۱۱- اختصاص بار به سقف‌ها

اختصاص بارهای گسترده به سقف‌ها توسط دستور **Assign > Shell load > uniform** انجام می‌گیرد. برای این منظور در حالت **Similar Stories** قرار گرفته و کف‌هایی را که بارشان یکسان است انتخاب کنید. سپس دستور **Assign > Shell Load > uniform** را اجرا کنید. حالت بار (مرده یا زنده) را انتخاب کرده و مقدار بار را وارد کنید. جهت بار باید در جهت ثقلی (**Gravity**) باشد. سه حالت **Add, Replace, Delete** نیز برای این دستور وجود دارد.





گفت فولاد بتن را روزی *** که تو این قدر چرا مرموزی؟
در کشش مثل لبو می مانی *** در خمش هم که خودت می دانی
گفتی از علم تخطی نکنی *** پس چرا کرنش خطی نکنی؟
تا مسلح نشوی از فولاد *** تویی و این همه عیب و ایراد
غالباً کیفیت پایین است *** اصلاً انگار که made in چین است
کنترل کرده کسی جان تو را؟ *** نسبت آب به سیمان تو را؟
آخر این قدر تخلخل از چیست؟ *** غالباً ویرنه ات کافی نیست
چند روزی همه سرگردانند *** تا عمل آوری ات گردانند
ناظر و کارگر و کارآموز *** آب باید بدهندت هر روز
حرف من را بشنو باور کن *** برو ورزش بکن و لاغر کن
شده ابعاد تو بسیار زیاد *** مثلاً تیر نود در هفتاد
سازه های بتنی سنگین است *** سرعت ساختشان پایین است
در جوابش بتن آمد به سخن *** گفت آخر تو چه دانی از من؟
گرچه از آبه و سیمانم و سنگ *** هرگز اما نزنم مثل تو زنگ
بیخودی مثل تو کرنش نکنم *** زیر هر بار کمانش نکنم
نیست فولاد خفن تر از من *** من نمی ترسم از آتش اصلاً
اتصالات درونت ناجور *** هیكلت پر شده از جوش غرور
سخنی بین من و بین تو نیست *** هر چه باشد پی ات آخر بتنی است