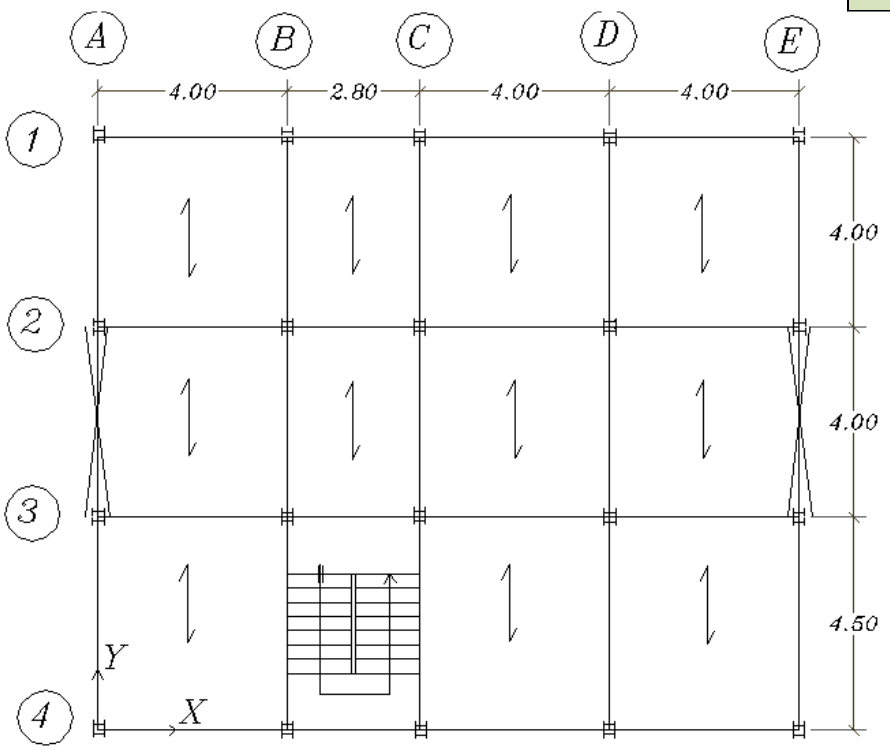
**مدل‌سازی، تحلیل و طراحی ساختمان فولادی چهار طبقه (سه طبقه روی پیلوت + خرپشته) توسط نرم‌افزار Etabs9.5**

## الف) توضیحات




**شکل ۱-۱- پلان آکس بندی**

**نکته:** با توجه به اینکه تعداد ستون‌ها در جهت X بیشتر است پس سختی در جهت X بیشتر است. پس منطقی است در صورتی که بخواهیم بادبند در سازه قرار دهیم، بادبندها را در جهت Y قرار دهیم. همچنین علت عدم قرار دهی بادبند در راستای X ملاحظات معماری بوده است. پس قاب خمشی تنها راه ممکن برای تحمل بارهای جانبی جهت X می‌باشد. از جمله مزیت‌های قرار دادن بادبند در دهانه‌های میانی، اولاً کم شدن میزان نیروی بلندشدگی ستون‌ها به دلیل بیشتر بودن نیروی ثقلی در این ستون‌ها است. ثانیاً نزدیک شدن مرکز جرم به مرکز سختی و به وجود نیامدن نیروی پیچشی در ساختمان است.

**توجه:** ارتفاع خرپشته از روی دال بتنی سقف برابر یک متر فرض می‌شود.

**توجه:** در طبقه همکف ۳۰ سانتیمتر کفسازی برای عبور تاسیسات و فاضلاب روی فونداسیون در نظر گرفته می‌شود. که مقداری از پله هم در آن مدفون است.

**نکته:** چون اتاق راه‌پله ما کناری می‌باشد، نیازی به وجود تیر تراز طبقه (B4-C4) نیست. اما قرار دادن آن در جهت اطمینان است. در این پروژه این تیر مدل نشده است.

**نکته:** طبق جدول ۹-۱۴-۲ مبحث نهم ص ۲۵۴ (۱۳۸۸)، حداقل ضخامت سقف‌های تیرچه بلوک (بلوک + دال بتنی) با تکیه‌گاه‌های ساده از دو طرف باید از یک بیستم طول دهانه بیشتر باشد. در این پروژه بزرگترین طول دهانه ۴/۵ متر است پس:

$$t \geq \frac{L}{20} = \frac{450}{20} = 22.5\ cm$$

که ما در جهت اطمینان ۲۰ سانتی‌متر بلوک و ۵ سانتی‌متر دال بتنی (در مجموع ۲۵ سانتی‌متر) در نظر گرفتیم.

## ۱- معرفی پروژه

در این پروژه یک ساختمان ۴ طبقه‌ی فولادی در شهر قائمشهر طراحی می‌گردد. کاربری ساختمان مسکونی می‌باشد. طبقه‌ی اول این ساختمان، انباری و پارکینگ و بقیه طبقات مسکونی می‌باشد. نوع خاک محل اجرای ساختمان از نوع ۳ و خطر لرزه‌خیزی این شهر از نوع زیاد است. سیستم انتقال بار ثقلی کف‌های طبقات، سقف تیرچه بلوک (بلوک سیمانی) می‌باشد. سیستم مقاوم در برابر بارهای ثقلی سقف تیرچه بلوک و سیستم مقاوم باربر جانبی در جهت X قاب خمشی فولادی متوسط و در جهت Y قاب مهار بندی هم‌محور می‌باشد.

**توجه:** تیرهای جهت Y دو سر مفصل و تیرهای جهت X دو سر گیردار هستند (به جزء تیرهای پاگرد اتاق راه‌پله که اساساً مفصلی بوده و پله‌ها تنها بارهای ثقلی را منتقل می‌کنند. تیر تراز نیم طبقه راه پله (B4-C4) از آنجایی که با سایر تیرهای قاب هم تراز نیست بهتر است به صورت مفصلی اجرا شود. همچنین تمامی تیرهای خرپشته را مفصلی در نظر می‌گیریم. اصولاً برای جلوگیری از ایجاد پیچش در اتصالات تیر به تیر بهتر است اتصالات مفصلی باشد در ضمن باید متذکر شد که ایجاد اتصالات گیردار تیر به تیر در سازه‌های فولادی بسیار مشکل است).

**توجه:** در واقع نیروی زلزله جهت Y را فقط بادبندها و نیروی زلزله جهت X را قاب خمشی تحمل می‌کند. پس ستون‌ها تحت نیروی زلزله، لنگر حول محور Y دارند اما لنگری حول محور X ندارند. در ضمن با توجه به جهت تیرچه‌ریزی سقف نیز لنگری حول محور Y و همچنین لنگر ناچیزی ناشی از وزن تیرهای جهت X حول محور Y ستون‌ها ایجاد می‌شود. تنها لنگری که حول محور X اتفاق می‌افتد (که لنگر ناچیزی هم است) وزن تیرهای در جهت Y است. در واقع ستون‌ها حول X فقط ستون بوده (یعنی تنها بار محوری دارند) و ستون‌ها حول Y تیر-ستون (یعنی بار محوری و لنگر خمشی دارند) می‌باشند.

**توجه:** اتصال تیرهای جهت Y به ستون‌ها (در قاب‌های ساده) بدون صلبیت است و فقط برای انتقال برش ناشی از بارهای قائم به ستون‌ها می‌باشد.

**توجه:** در صورتی که تیرهای جهت Y را دو سر گیردار بگیریم، سیستم سازه در جهت Y، دوگانه یا ترکیبی می‌شود.

**توجه:** اگر در هر دو راستا بادبند قرار دهیم، خیلی اقتصادی می‌شود. در این حالت وزن سازه حدود ۳۰ درصد کمتر از وزن پروژه حاضر می‌شود و تیرهای هر دو راستا دو سر مفصل هستند و ستون‌ها تنها بار ثقلی تحمل می‌کنند.

**توجه:** ستون‌های دوبل IPE طوری باید در پلان قرار داده شوند که محور قوی آنها (محور با مصالحشان)، محور لنگر ناشی از نیروی زلزله وارده در جهت عمود بر نیروی زلزله تحملی توسط بادبندها باشد.

**توجه:** از لحاظ عملی اجرای تیرهای باربر (تیرهای حمال یا تیرهای اصلی) روی بال ستونها مناسبتر است.

**توجه:** در طراحی سازه پروژه از مقاطع تک IPE برای تیرها، از مقاطع 2IPE با فاصله (برای اجرای ورق پیوستگی) برای ستون‌ها و از مقاطع 2UNP برای بادبندها استفاده خواهد شد. معمولاً در اکثر ساختمان‌های رائج در کشور از چنین مقاطعی استفاده می‌شود. انتخاب مقاطع به شرایط بازار و عوامل اجرایی بستگی دارد. در صورت نیاز برای تعبیه تیرهای لانه زنبوری، بهتر است آنها را در راستایی که قاب ساده است قرار داد. چون اولاً به تیرهای این جهت نیروی برشی زیاد ناشی از زلزله وارد نمی‌شود و ثانیاً چون در آن راستا نیروی محوری‌ای در تیرها به وجود نمی‌آید (البته به جزء دهانه‌های دارای بادبند) تا ضعف محوری تیرهای لانه زنبوری به علت سطح مقطع کم آن مسئله ساز شود.

**نکته:** طبق بند۱۰-۳-۸-۱-۱-۱ مبحث دهم، در ستون‌های قاب‌های خمشی ویژه، استفاده از مقطع متشکل ازچند نیم‌رخ بست‌دارمجاز نیست. اجزای مقطع ستون باید در تمامی طول آن به صورت پیوسته به یکدیگر متصل شوند. اما طبق بند ۱۰-۳-۸-۲-۱، در ستون‌های قاب‌های خمشی متوسط، استفاده ازمقطع متشکل ازچند نیم‌رخ بست‌دارمجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد. همچنین طبق بند ۱۰-۳-۸-۳، چون در قاب‌های خمشی معمولی انتظار تغییرشکل‌های فراارتجاعی در برابر نیروی جانبی زلزله نمی‌رود می‌توان از مقطع متشکل ازچند نیم‌رخ بست‌دار استفاده کرد.

## ۲- آیین‌نامه‌های مورد استفاده در این پروژه

**بارگذاری ثقلی:** مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (سال ۸۵)

**بارگذاری جانبی:** آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم)

**کنترل تحلیل سازه:** مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (سال ۸۷) و آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران

**طراحی اسکلت سازه:** آیین نامه UBC97-ASD

**کنترل طراحی سازه:** مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

**توجه:** طبق بند ۱۰-۳-۸-۲-۱ قسمت ب از مبحث دهم، در ستون‌ها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد. همچنین طبق مبحث دهم، استفاده از تیرآهن دوبل برای ستون‌ها زمانی مجاز است که حتماً در جهت محور ضعیف ستون دوبل، بادبند داشته باشیم. در غیر این صورت باید باید از مقاطع BOX برای طراحی قاب خمشی در دو جهت استفاده کرد.

## ۳- بارگذاری

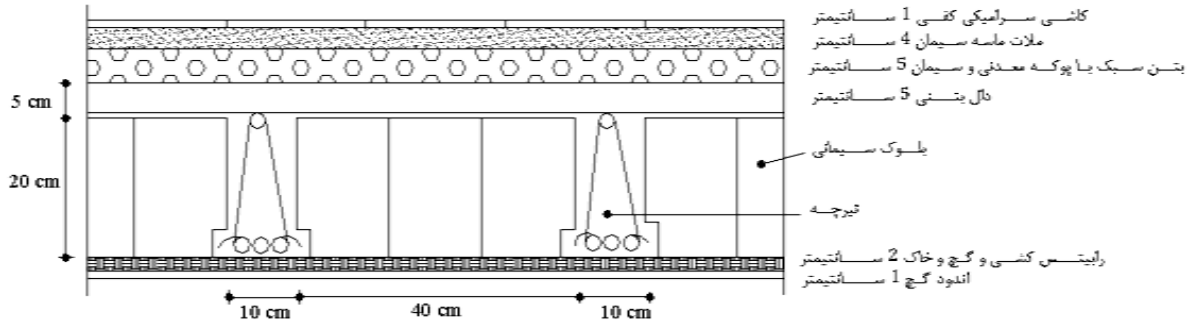
بارهای وارد بر سازه به دو بخش بارهای ثقلی و بارهای جانبی تقسیم می‌شوند.

### ۳-۱- بارهای ثقلی

بارهای ثقلی وارد بر ساختمان شامل بارهای مرده و زنده می‌باشد. مقدار بارهای مرده بر اساس جزئیات اجرایی سقف‌ها و دیوارها و مقدار بارهای زنده بر اساس کاربری قسمت‌های مختلف ساختمان از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌گردد.

**نکته:** توزیع بار کف‌ها به تیرها، به صورت خودکار توسط برنامه Etabs انجام می‌گیرد و فقط کاربر کافی است که مقدار بار مرده، بار زنده و در صورت نیاز بار معادل تیغه‌بندی را به نرم‌افزار معرفی کند.

**الف) سقف‌ها**



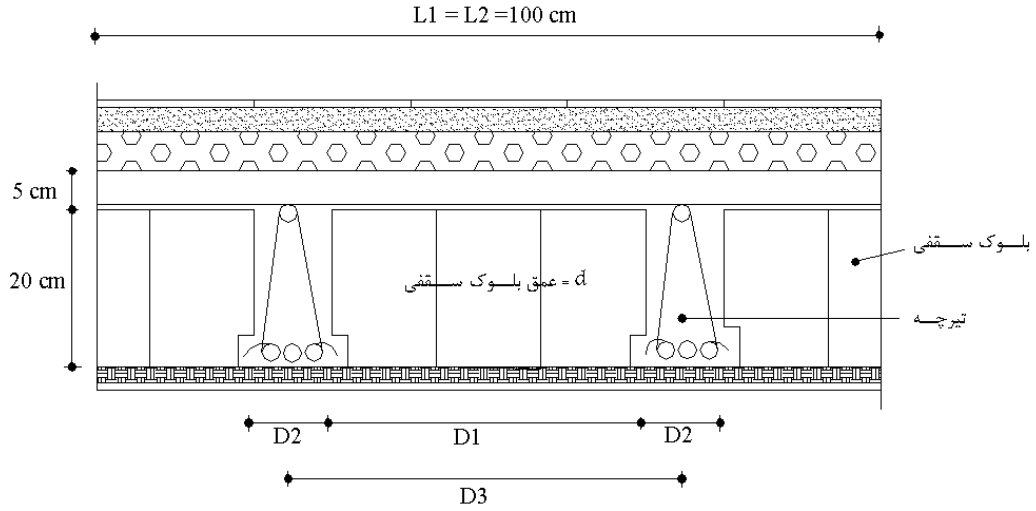

**شکل ۱-۲- جزئیات مقطع سقف طبقات**

$$w = 0.01 \times 2100 + 0.04 \times 2100 + 0.05 \times 600 + 0.05 \times 2500 + \frac{100}{50} \times 0.1 \times 0.2 \times 2500 + 10 \times 12 + 40 + 0.01 \times 1300 = 533 \frac{kg}{m^2}$$

**نکته ۱:** دال بتنی و تیرچه بتن مسلح می‌باشند (ضخامت اولیه سازه‌ای سقف (تیرچه + دال) ۲۵ سانتی‌متر فرض شد).

**نکته ۲:** بعد عمود بر کاغذ بلوک سیمانی ۲۰ سانتیمتر است.

**نکته ۳:** تعداد بلوک سقفی با ابعاد مشخص که در هر متر مربع جای می‌گیرد از فرمول $\boldsymbol{n = \frac{L_2}{dD_1}\left(L_1 - \frac{L_1}{D_3} D_2\right)}$ به دست می‌آیدکه $L_2$ بعد واحد عمود بر کاغذ است.

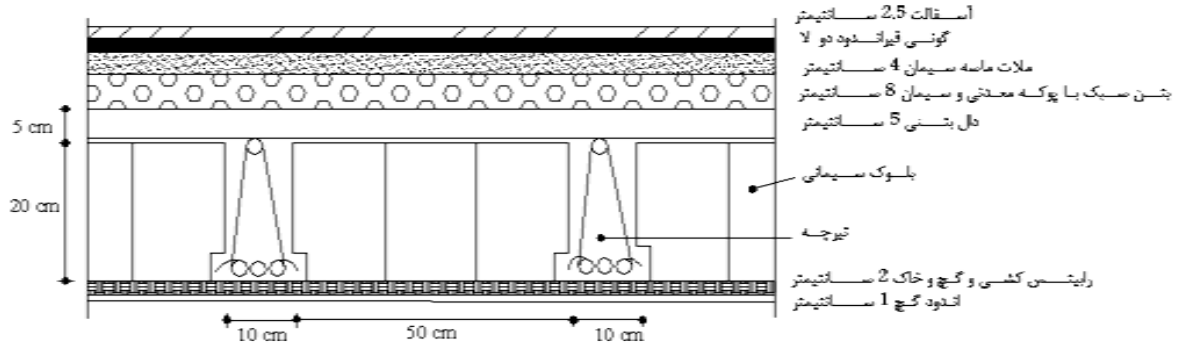



**شکل ۱-۳- محاسبه تعداد بلوک سقفی در هر متر مربع**

$$n = \frac{100}{20 \times 40}\left(100 - \frac{100}{50}10\right) = 10 \text{ عدد}$$

وزن هر بلوک سیمانی هم ۱۲ کیلوگرم فرض می‌شود.

**نکته ۴:** وزن واحد سطح رابیتس کشی با گچ و خاک در حدود ۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. (مرجع: کتاب سید بهزاد طلایی طباء).



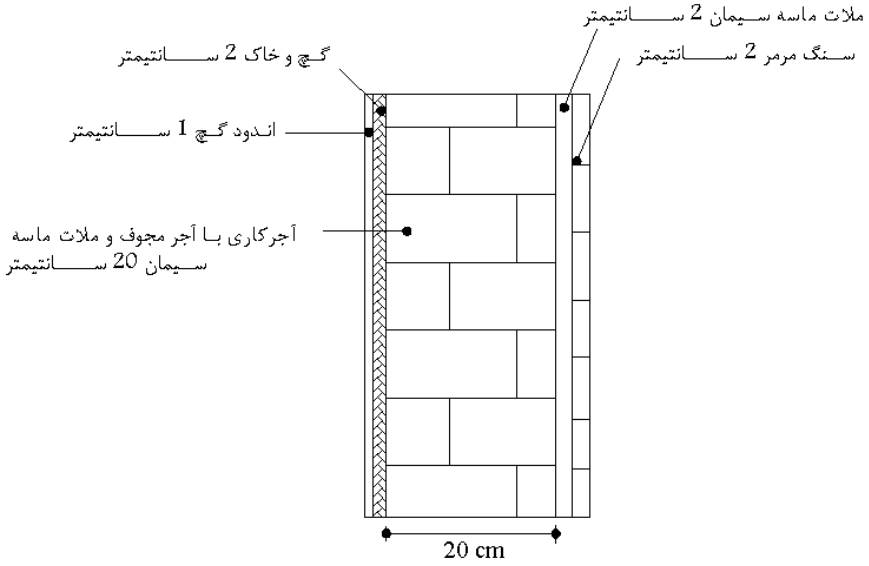

**شکل ۱-۴- جزئیات مقطع سقف بام**

$$w = 0.025 \times 2200 + 15 + 0.04 \times 2100 + 0.08 \times 600 + 0.05 \times 2500 + \frac{100}{50} \times 0.1 \times 0.2 \times 2500 + 10 \times 12 + 40 + 0.01 \times 1300 = 600 \ \frac{kg}{m^2}$$

برای سقف بام با توجه به وجود شیب‌بندی، به ضخامت پوکه‌ریزی بیشتری نسبت به طبقات عادی نیاز است.

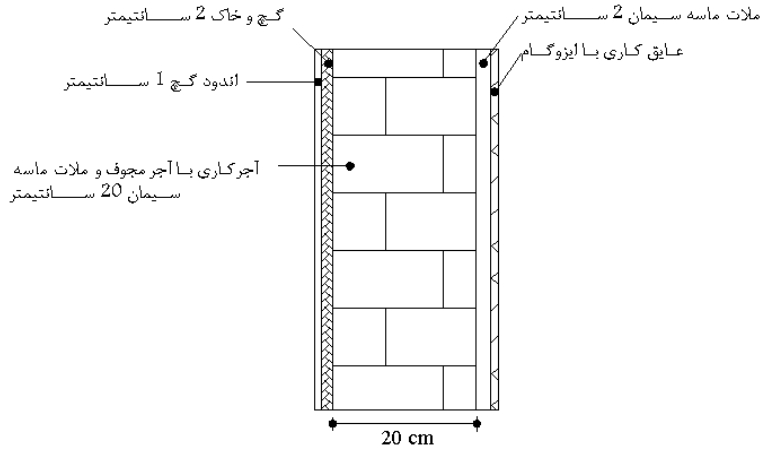
## ب) دیوارها

××× **منظور از آجر مجوف، آجر سفال سوراخ‌دار است.**



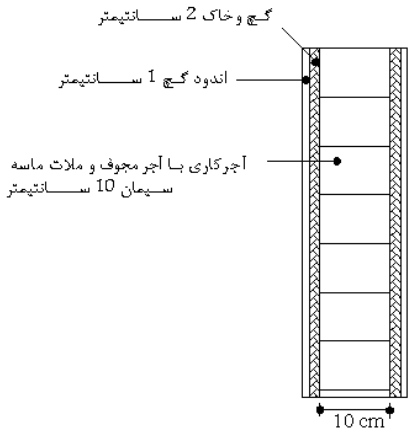

**شکل ۱-۵- مقطع دیوار ۲۰ سانتی نمادار**

$$w = 0.02 \times 2700 + 0.02 \times 2100 + 0.2 * 850 + 0.02 \times 1600 + 0.01 \times 1300 = 311 \ \frac{kg}{m^2}$$



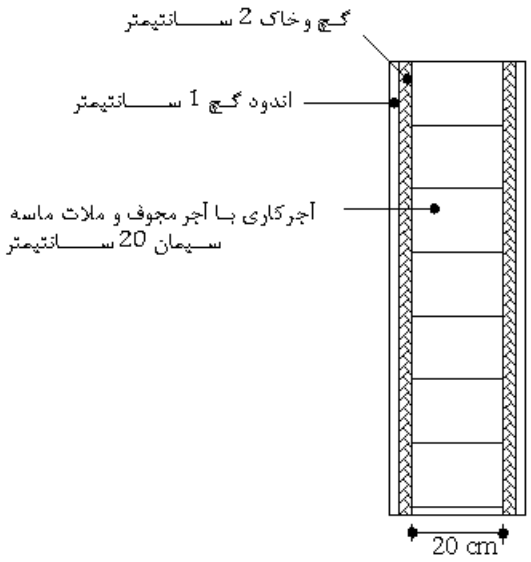

**شکل ۱-۶- مقطع دیوار ۲۰ سانتی بدون نما**

$$w = 0.2 * 850 + 0.02 \times 1600 + 0.01 \times 1300 + 0.02 \times 2100 + 5 = 262 \ \frac{kg}{m^2}$$




**شکل ۱-۷- مقطع دیوار ۱۰ سانتی داخلی (پارتیشن ۱۰ سانتی)**

$$w = 0.1 * 850 + 2 \times 0.02 \times 1600 + 2 \times 0.01 \times 1300 = 175 \ \frac{kg}{m^2}$$

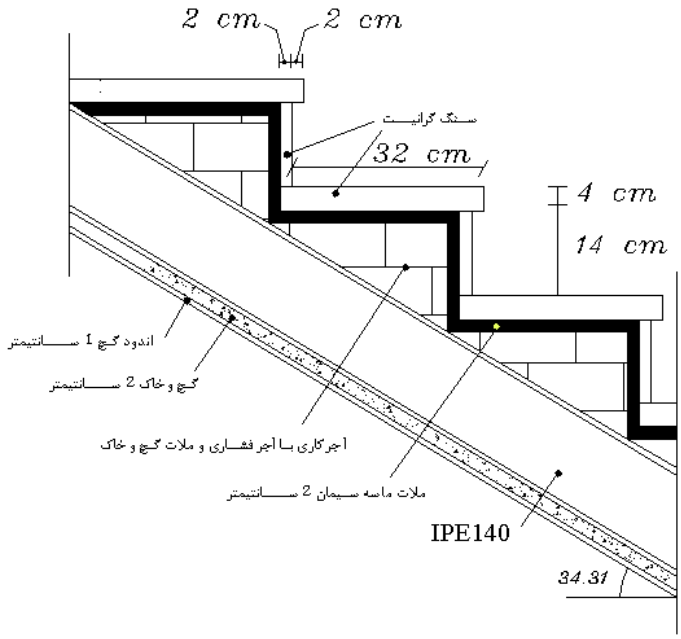



**شکل ۱-۸- مقطع دیوار ۲۰ سانتی اتاق راه‌پله**

$$w = 0.2 * 850 + 2 \times 0.02 \times 1600 + 2 \times 0.01 \times 1300 = 260 \ \frac{kg}{m^2}$$

**توجه:** برای جلوگیری از انتقال سر و صدای عبور و مرور در اتاق راه‌پله به واحدها، ضخامت این دیوارها را ۲۰ سانتیمتر در نظر می‌گیرند.

## ج) راه‌پله




**شکل ۱-۹- نمای پله**

وزن یک متر عرض (عمود بر کاغذ) از یک پله را در ابتدا به دست می‌آوریم:

| | |
|---|---|
| سنگ کف پله (سنگ تراورتن) | $0.34 \times 0.04 \times 2500 \times 1 = 34 \ kg$ |
| سنگ پیشانی پله (سنگ تراورتن) | $0.14 \times 0.02 \times 2500 \times 1 = 7 \ kg$ |

| | |
|---|---|
| آجرکاری با آجر فشاری و ملات گچ و خاک | $\frac{1}{2} \times 0.3 \times 0.18 \times 1750 \times 1 = 47\ kg$ |
| ملات ماسه سیمان سنگ‌کاری | $\frac{1}{2} \times 0.32 \times 0.16 \times 2100 \times 1 = 54\ kg$ |
| تیرآهن (IPE16) | $2 \times 15.8 \times \frac{0.32}{\cos 34.31} \times 1 = 12\ kg$ |
| طاق ضربی (آجرکاری با آجر فشاری و ملات گچ و خاک) | $0.14 \times \frac{0.32}{\cos 34.31} \times 1750 \times 1 = 92\ kg$ |
| گچ و خاک | $0.02 \times \frac{0.32}{\cos 34.31} \times 1600 \times 1 = 12\ kg$ |
| اندود گچ | $0.01 \times \frac{0.32}{\cos 34.31} \times 1300 \times 1 = 5\ kg$ |
| **وزن کل** | **263 $kg$** |

با توجه به این‌که در هر متر از طول (طول مایل) پله ($\frac{1}{0.3}$) ۳/۳۳ جای می‌گیرد پس وزن واحد سطح پله برابر است با :

$$3.33 \times 263 \cong 880\ \frac{kg}{m^2}$$

جدول زیر خلاصه بارگذاری عناصر سازه را نشان می‌دهد:

| | بار مرده | بار زنده |
|---|---|---|
| **کف طبقات** | $533 + 130\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ | $200\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ |
| **کف بام** | $600\ \frac{kg}{m^2}$ | $150\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ |
| **دیوار ۲۰ سانتی نمادار** | $311\ \frac{kg}{m^2}$ | - |
| **دیوار ۲۰ سانتی بدون نما** | $262\ \frac{kg}{m^2}$ | - |
| **دیوار ۱۰ سانتی داخلی** | $175\ \frac{kg}{m^2}$ | - |
| **دیوار ۲۰ سانتیمتری اتاق راه پله** | $260\ \frac{kg}{m^2}$ | - |
| **میانگین پله و پاگرد** | $700\ \frac{kg}{m^2}$ | $350\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ |
| **بلوکاژ روی فونداسیون** | $260\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ | $500\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$ |

**توجه:** بار زنده بام را برابر بیشترین مقدار بین بار زنده بام ($150\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$) و بار برف ($P_r = C_s P_s = 1 \times 150 = 150\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$) در نظر می‌گیریم.

**نکته ۱:** به دلیل اینکه وزن تیغه‌های داخلی بین ۲۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع است بار این تیغه‌ها را می‌توان به صورت بار معادل که به صورت یکنواخت بر کف‌ها گسترده شده است در نظر گرفت. منتهی حتماً باید اثر موضعی بار تیغه‌ها را به طور جداگانه در طراحی کف‌ها منظور داشت. یعنی باید به صورت دستی تیرچه‌های زیر این تیغه‌ها را طراحی کرد.

بار معادل تیغه‌بندی را باید در این پروژه به وزن کف‌های طبقات (به جزء بام) اضافه و بعد به کف‌های سازه اعمال کنیم. بار معادل تیغه بندی برای ساختمان‌های مسکونی معمولاً در حدود ۱۳۰ کیلوگرم بر متر مربع است.

**نکته ۲:** برای در نظر گرفتن اثر بازشوها در دیوارهای ۲۰ سانتی نمادار، اعمال ضریب ۰/۷ به بار این دیوارها معمولاً کافی می‌باشد. در جهت اطمینان در پروژهای معمولی بهتر است از اعمال ضریب ۰/۷ صرف‌نظر شود که در این پروژه نیز آن را پذیرفتیم.

**نکته۳:** ارتفاع جان‌پناه معمولاً ۸۰ سانتیمتر است اما در جهت اطمینان به دلیل ضعف در اجرای دقیق ۸۰ سانتیمتر ارتفاع دیوار جان‌پناه را ۱۰۰ سانتیمتری فرض می‌کنیم.

## ۳-۲- بارهای جانبی

با توجه به منظم بودن (در ارتفاع و پلان) ساختمان و کمتر بودن ارتفاع آن از ۵۰ متر (طبق بند ۲-۲-۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم)، می‌توان برای محاسبه و اعمال نیروی جانبی زلزله از روش استاتیکی معادل استفاده نمود.

**نکته:** کاربر تنها ضریب زلزله (C) در هر دو جهت متعامد بر ساختمان را به نرم‌افزار معرفی می‌کند، سپس نرم‌افزار به طور خودکار پس از به دست آوردن وزن موثر ساختمان (W)، برش پایه را محاسبه و به طور خودکار آن را بین طبقات توزیع می‌نماید.

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

| محل بار زنده | درصد میزان بار زنده |
|---|---|
| بام‌های شیبدار با شیب ۲۰٪ و بیشتر [۱] | ----- |
| بام‌های مسطح یا با شیب کمتر از ۲۰٪ | ۲۰ |
| ساختمانه‌ای مسکونی، اداری، هتل‌ها و پارکینگ‌ها | ۲۰ |
| بیمارستان‌ها، مدارس، فروشگاه‌ها و ساختمان‌های محل اجتماع یا ازدحام | ٤۰ |
| انبارها و کتابخانه‌ها | ٦۰ |
| مخازن آب و سایر مایعات | ۱۰۰ |

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

**جدول ۲- نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه خیزی مختلف**

| منطقه | توصیف | نسبت شتاب مبنای طرح (A) |
|---|---|---|
| ۱ | پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد | ٪۳۵ |
| ۲ | پهنه با خطر نسبی زیاد | ٪۳۰ |
| ۳ | پهنه با خطر نسبی متوسط | ٪۲۵ |
| ٤ | پهنه با خطر نسبی کم | ٪۲۰ |

**جدول ۳- پارامترهای مربوط به روابط تعیین ضریب بازتاب**

| نوع زمین | $T_0$ | Ts | خطر نسبی کم و متوسط | خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد |
|---|---|---|---|---|
| | | | S | S |
| I | ۰/۱ | ۰/٤ | 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 | ۲/۲۵ | ۱/۷۵ |

$$\begin{cases} B = 1 + S\left(\frac{T}{T_0}\right) & 0 \le T \le T_0 \\ \mathrm{B} = 1 + \mathrm{S} & T_0 \le T \le T_S \\ \mathrm{B} = (1 + \mathrm{S})\left(\frac{\mathrm{T_S}}{\mathrm{T}}\right)^{\frac{2}{3}} & T \ge T_S \end{cases}$$

**نکته:** بر طبق مشاهدات تجربی نوع زمین می‌توان گفت:

| نوع زمین | شکل | محل |
|---|---|---|
| I | سنگی | فیروزکوه |

| | | |
|---|---|---|
| **II** | کلنگی | تهران، اصفهان، پل‌سفید، قم |
| **III** | گلی | مازندران |
| **IV** | باتلاقی | – |

**جدول ۴- مقادیر ضریب رفتار ساختمان (R)، همراه با حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان ($H_m$)**

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

**یادداشت‌ها**

[۱] برای تعریف این سازه ها و ضوابط مربوط به طراحی آن‌ها در برابر زلزله به مبحث دهم این مقررات مراجعه شود.

[۲] قاب‌های خمشی بتن آرمه معمولی، متوسط و ویژه به ترتیب همان قاب‌های خمشی با شکل پذیری کم، متوسط و زیاد در آئین‌نامه بتن ایران «آبا» اند، با این تفاوت که در قاب‌های خمشی متوسط فاصله تنگ‌ها (خاموت‌ها) از یکدیگر در ناحیه $L_0$ (ناحیه بحرانی) ستون‌ها، نباید بیشتر از ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شود.

[۳] استفاده از این سیستم برای ساختمان‌های «با اهمیت خیلی زیاد و زیاد» در تمام مناطق لرزه خیزی و برای ساختمان‌های «با اهمیت متوسط» در مناطق لرزه‌خیزی ۱ و ۲ مجاز نمی‌باشد. ارتفاع حداکثر این سیستم برای ساختمان‌های «با اهمیت متوسط» در مناطق لرزه خیزی ۳ و ۴ به ۱۵ متر محدود می گردد.

| |
|---|
| [۴] برای ساختمان‌های یک طبقه و یا ساختمان‌های صنعتی، «با اهمیت متوسط و کم» در تمام مناطق لرزه‌خیز تا ارتفاع ۱۸ متر مجاز است. |

××× طبق یادداشت [۳]، استفاده از قاب خمشی بتن آرمه معمولی و قاب خمشی فولادی معمولی در قائمشهر مجاز نمی‌باشد.

با توجه به جداول و روابط فوق، ضریب زلزله ساختمان حاضر به صورت زیر قابل تعیین است:

### ضریب زلزله در جهت X:

$$T = 0.08H^{\frac{3}{4}} = 0.08 \times 12.8^{\frac{3}{4}} = 0.54 \text{ sec}$$

ارتفاع ساختمان از روی تراز پایه (در این پروژه از روی پی) تا بام برابر ۱۲/۸ متر است.

**نکته۱:** طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، در این پروژه به دلیل کمتر بودن وزن خرپشته از ۲۵ درصد وزن بام، از ارتفاع خرپشته در محاسبه‌ی زمان تناوب اصلی ساختمان صرف‌نظر می‌شود و وزن خرپشته به وزن بام افزوده شده و در محاسبه‌ی نیروی زلزله لحاظ می‌گردد. در این پروژه شرایط به همین صورت است.

**نکته۲:** طبق تبصره ۱ بند ۳-۲-۶ آیین‌نامه ۲۸۰۰، می‌توان زمان تناوب اصلی ساختمان را با استفاده از روشهای تحلیلی (یا کامپیوتری که پس از تحلیل سازه توسط نرم‌افزار قابل مشاهده است (روش تئوری)) یا رابطه ۲-۸ به دست آورد مشروط بر آنکه مقدار آن از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب به دست آمده از روابط تجربی بیشتر نشود. از آن جایی که در بیشتر پروژه‌ها پریود تحلیلی یا تئوری از پریود تجربی (تقریبی) بیشتر است، از حداکثر مقدار پریود (۱/۲۵ پریود تجربی) استفاده می‌کنیم.

$$T = 1.25 \times 0.54 = 0.675 \text{ sec}$$

پس از تحلیل این انتخاب کنترل می‌گردد (در ص ۲۵).

**نکته۳:** طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، در صورتیکه $T > 0.7\ sec$، نیروی جانبی اضافی (نیروی شلاقی $F_t$) در صورتیکه که وزن خرپشته کمتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، در تراز بام و در غیر این صورت در تراز سقف خرپشته اثر داده می‌شود.

$$T = 0.675 \ \leq 0.7 \implies F_t = 0$$

از اینجا چون $T_0 \leq T \leq T_S$ $(0.15 \leq 0.675 \leq 0.7)$، فلذا:

$$B = 1 + S = 1 + 1.75 = 2.75$$

**نکته۴:** طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، برای کنترل برش پایه حداقل، باید نسبت ضریب بازتاب به ضریب رفتار ساختمان بزرگتر مساوی ۰/۱ $(\frac{B}{R} \geq 0.1)$ باشد، پس این کنترل را به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$\frac{B}{R} = \frac{2.75}{7} = 0.393 \geq 0.1 \quad \text{OK}$$

در نتیجه:

$$C_X = \frac{ABI}{R} = \frac{0.3 \times 2.75 \times 1}{7} \cong 0.118$$

### ضریب زلزله در جهت Y:

$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}} = 0.05 \times 12.8^{\frac{3}{4}} = 0.34 \text{ sec}$$
$$T = 1.25 \times 0.34 = 0.425 \text{ sec}$$
$$T = 0.425 \ \leq 0.7 \implies F_t = 0$$
$$B = 1 + S = 1 + 1.75 = 2.75$$
$$\frac{B}{R} = \frac{2.75}{7} = 0.393 \geq 0.1 \quad \text{OK}$$
$$C_Y = \frac{ABI}{R} = \frac{0.3 \times 2.75 \times 1}{6} \cong 0.138$$

| ۶- مشخصات مصالح مصرفی در سازه | |
|---|---|
| مقاومت فشاری ۲۸ روزه قالب استوانه‌ای شکل بتن | $f'_c = 210 \times 10^4\ kg/m^2 = 210\,kg/cm^2 = 21\,N/mm^2$ |
| جرم واحد حجم بتن | $M = 245\ kg/m^3$ |
| وزن واحد حجم بتن | $W = 2400\ kgf/m^3$ |

| | |
|---|---|
| **مدول ارتجاعی بتن (ACI)** $f_c'(kg/cm^2)$ | $E = 15100\sqrt{f_c'} = 15100\sqrt{210} = 2.18 \times 10^5\ kg/cm^2 = 2.18 \times 10^9\ kg/m^2$ |
| **نسبت پواسون** | $\upsilon = 0.2$ |

| | |
|---|---|
| **جرم واحد حجم فولاد** | $M = 780\ kg/m^3$ |
| **وزن واحد حجم فولاد** | $W = 7850\ kgf/m^3$ |
| **مدول ارتجاعی بتن (ACI)** $f_c'(kg/cm^2)$ | $E = 2.1 \times 10^{10}\ kg/m^2$ |
| **نسبت پواسون** | $\upsilon = 0.3$ |
| **حداقل تنش تسلیم** | $F_y = 2400\ \mathrm{kg/cm^2} = 2400 \times 10^4\ kg/m^2$ |
| **مقاومت کششی حداقل (مقاومت نهایی فولاد)** | $F_u = 3700\ \mathrm{kg/cm^2} = 3700 \times 10^4\ kg/m^2$ |

**توجه:** مدول برشی هم طبق فرمول $G = \frac{E}{2(1+\upsilon)}$ تابعی از مدول ارتجاعی و ضریب پواسون است و خود برنامه به طورخودکار آنها را حساب می‌کند.

## ۷- بار تیغه‌بندی

طبق بند ۶-۲-۲-۲ مبحث ششم، در صورتی که وزن یک متر مربع سطح تیغه‌های داخلی از ۲۷۵ کیلوگرم کمتر یا مساوی باشد، می‌توان بار تیغه‌ها را به صورت معادل یکنواخت به بار مرده سقف افزود.

در این پروژه وزن هر متر مربع تیغه‌های داخلی ۱۷۵ کیلوگرم است پس چون از ۲۷۵ کمتر و از ۱۵۰ بیشتر است باید می‌توان آن‌را به صورت گسترده بر سطح اعمال کرد و علاوه بر آن باید اثر موضعی بار تیغه‌ها را به طور جداگانه در طراحی کف‌ها (طراحی تیرچه‌ها تحت بار دیوار) منظور داشت. در ضمن اگر وزن هر متر مربع تیغه‌های داخلی از ۲۷۵ کیلوگرم بیشتر باشد، استفاده از بار معادل تیغه‌بندی مجاز نیست و باید بار تیغه‌ها را در محل واقعی خود اعمال نمود. جهت محاسبه‌ی بار معادل تیغه‌بندی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$\text{بار معادل گسترده تیغه‌ها} = \frac{W \times L \times H}{A} \geq 100\ \frac{kg}{m^2}$$

که $W$ وزن هر متر مربع تیغه، $L$ طول کل تیغه‌ها در طبقه، $H$ ارتفاع تیغه‌ها در طبقه و $A$ سطح کل طبقه (به جزء بازشوها از جمله راه‌پله و ...) می‌باشد. معمولاً بار معادل تیغه‌بندی ۱۳۰ کیلوگرم در هر متر مربع در نظر گرفته می‌شود ما هم در این پروژه از این مقدار استفاده می‌کنیم.

## ۸- کاهش سربار زنده

طبق بند ۶-۳-۸-۱ در کلیه کف‌ها به جز کف بامها، کارخانه ها، کارگاه‌ها، انبارها، محل پارک خودروها و محل‌های اجتماع و ازدحام، مقدار بار زنده را می‌توان بر اساس ضوابط بندهای ۶-۳-۸-۲ و ۶-۳-۸-۳ کاهش داد. مقدار کاهش در هر حالت نباید بیشتر از ۵۰ درصد باشد.

با توجه به ضعف اجرا، بهتر است از این قسمت در جهت اطمینان صرف‌نظر کنیم. که در این پروژه نیز همینطور بوده است.

# ب) مدل‌سازی کامپیوتری

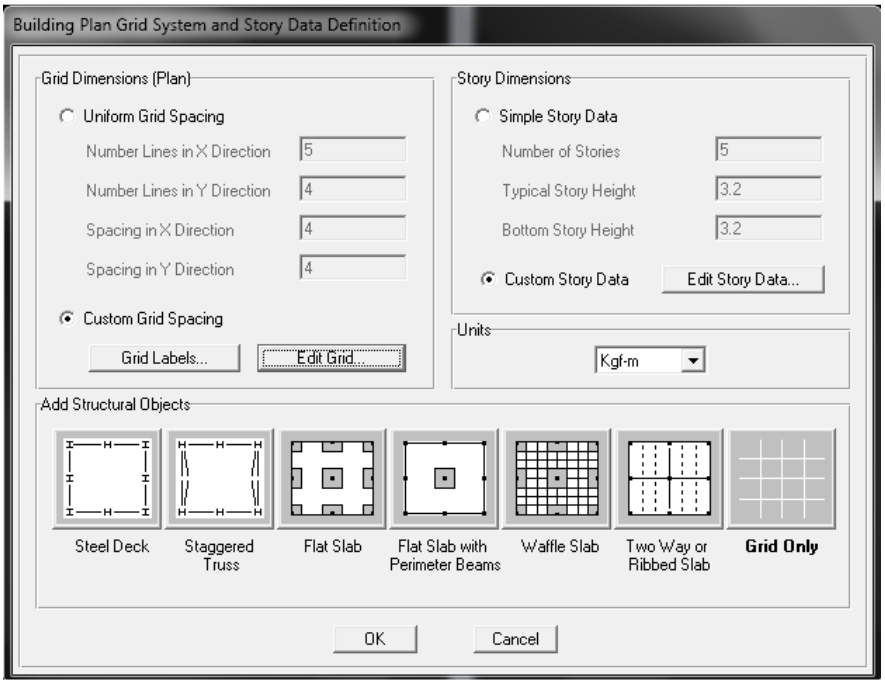
## ۱- مدل‌سازی یا ترسیم سه بعدی سازه

این پروژه با نرم‌افزار Etabs (Ver9.5) مدلسازی و طراحی می‌شود.

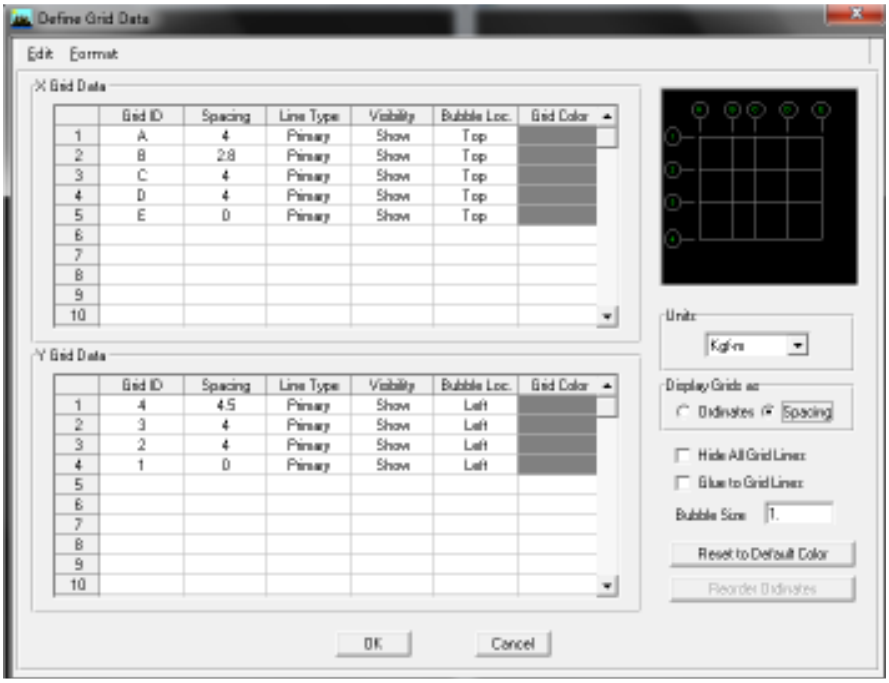
### گام ۱- معرفی خطوط شبکه در راستای X,Y و ارتفاع سازه

در جعبه واحدها، واحد Kgf-m را انتخاب و سپس در صورت وجود فایلی از یک پروژه آماده، می‌توانید با انتخاب گزینه Choose.edb تمامی مشخصات مدل قبلی به غیر از هندسه‌ی آن مدل را وارد مدل جدید کنید. در غیر این صورت بر روی NO کلیک کنید.

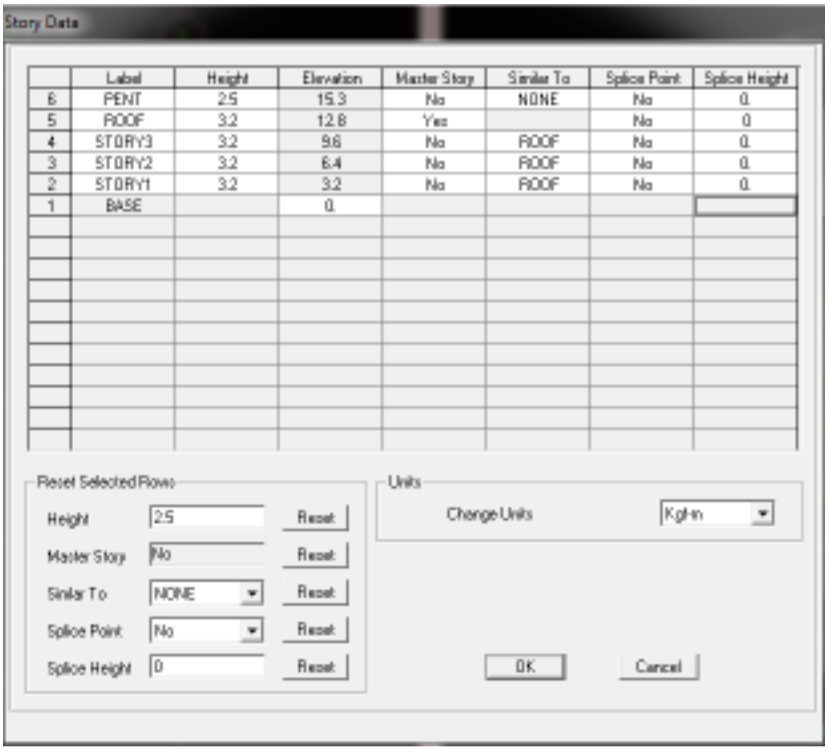
پنجره‌های زیر را عیناً کامل نمائید.




**شکل ۱-۱۰- معرفی خطوط شبکه در راستای X,Y و ارتفاع سازه**




**شکل ۱-۱۱- معرفی خطوط شبکه در راستای X,Y**

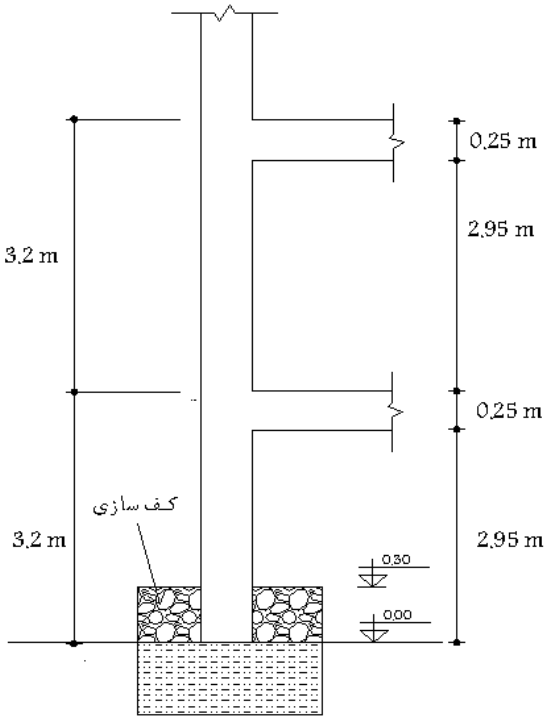



**شکل ۱-۱۲- معرفی ارتفاع سازه**

**نکته:** در ردیف‌های Splice Point , Splice Height برنامه محل واقع شدن اتصال ستون به ستون را از کاربر می‌پرسد. طبق بند ۹-۳ نشریه ۲۶۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (آیین‌نامه اتصالات در سازه‌های فولادی) محل درز وصله ستون ۱/۲ از بالای تراز طبقه ساختمان توصیه می‌شود. از طرفی طبق پیوست دوم آیین‌نامه ۲۸۰۰، محل وصله‌های ستون که در آن‌ها از جوش لب با نفوذ نسبی استفاده شده، حداقل باید ۹۰ سانتیمتر با بال تیر فاصله داشته باشد.

کاربرد بیشتر این گزینه در تحلیل غیرخطی جهت مقاوم سازی سازه‌های فولادی می‌باشد و بهتر است که در جهت اطمینان از این گزینه در محاسبات سازه‌های فولادی استفاده نشود.

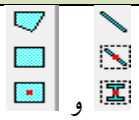
**نکته:** در سازه‌های فولادی ارتفاع طبقات، فاصله‌ی سطح دال بتنی هر سقف تا سطح دال بتنی سقف بعدی می‌باشد. در طبقه‌ی اول ساختمان ارتفاع طبقه برابر با فاصله‌ی سطح بتن پی تا سطح دال بتنی سقف اول است.




**شکل ۱-۱۳- معرفی ارتفاع طبقات**

ارتفاع‌های نوشته شده در سمت چپ طبقه، ارتفاعی است که باید در نرم‌افزار وارد کرد.

## گام ۲- ترسیم المان‌های سازه (ستون، تیر، سقف و مهاربندها)

با استفاده از گزینه‌های  می‌توانید عناصر سازه را ترسیم نمائید. اما بهتر است با استفاده از گزینه‌های ترسیم سریع عناصر خطی و ترسیم سریع ستون و ترسیم سریع سقف آنها را ترسیم و بعد در صورت نیاز آنها را ویرایش کنید.

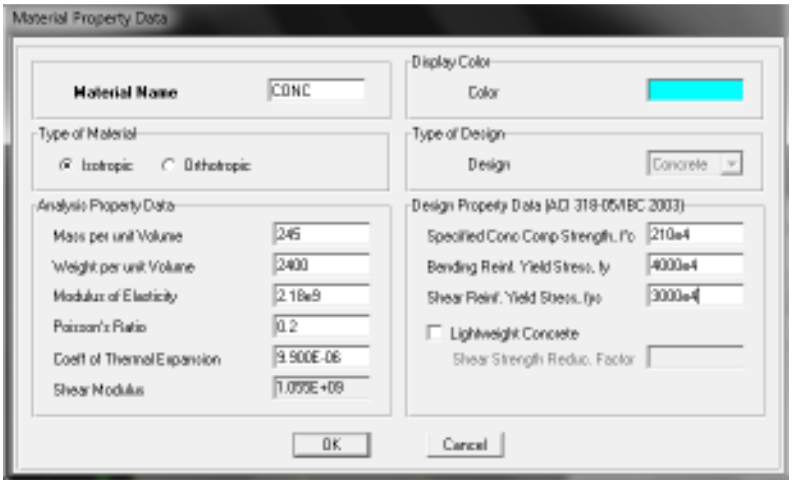
برای رسم تیر پاگرد نیم طبقه دکمه‌ی مغناطیسی (Snap to Line Ends and Midpoints) فعال باشد. سپس با توجه به اینکه نیازی به تیرهای B4-C4 در تراز طبقات نداریم، با استفاده از دکمه‌ی در قاب ۴، تیرهای B4-C4 را دراگ گرده و در وسط ارتفاع ستون هر طبقه دروپ کنید.

برای ترسیم مهاربندها از گزینه‌ی استفاده کنید. برای این کار به قاب A و E رفته و بادبندها را با کلیک در هر دهانه و یا با ترسیم یک کادر به دور دهانه مهار بندی ترسیم می‌نماییم.

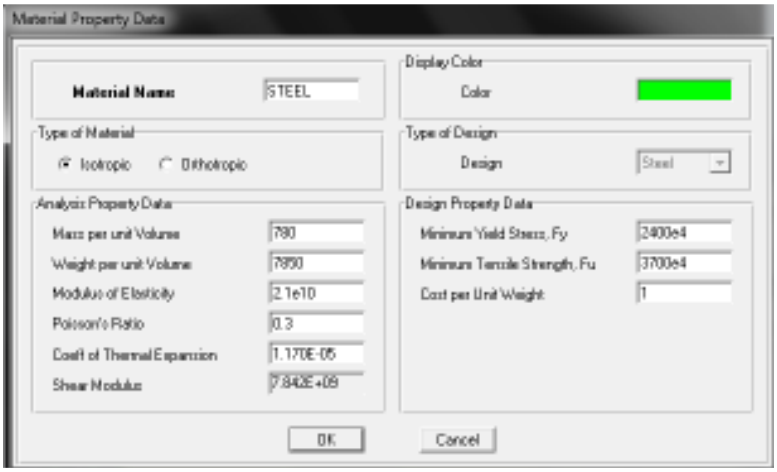
# ۲- معرفی مشخصات

## گام ۱- معرفی مشخصات مصالح

پنجره‌های زیر را عیناً کامل نمائید.




**شکل ۱-۱۴- معرفی مشخصات مصالح بتنی**




**شکل ۱-۱۵- معرفی مشخصات مصالح فولادی**

**توجه:** در این سازه فولادی، بتن تنها در سقف استفاده می‌شود که چون برنامه Etabs سقف را طراحی نمی‌کند مدول ارتجاعی بتن را مطابق ACI وارد می‌کنیم.

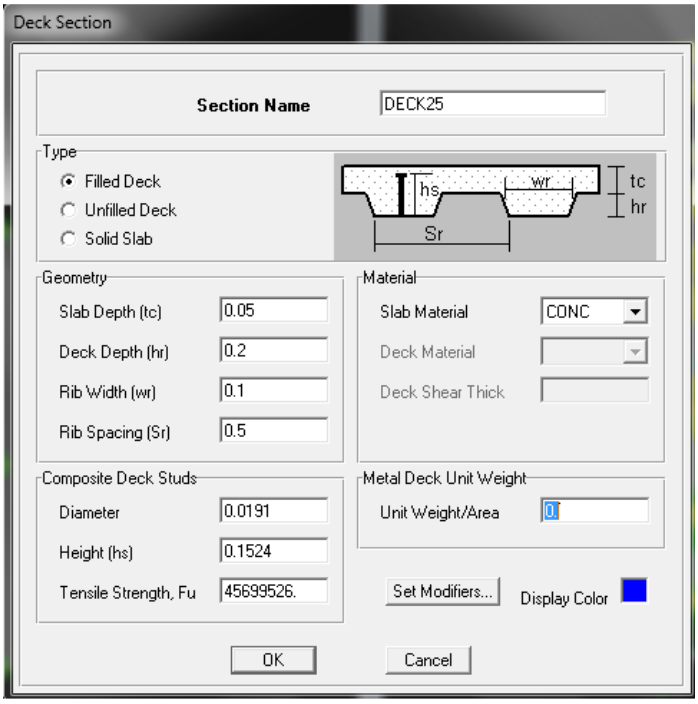
**توجه:** فولاد مورد استفاده در این پروژه، St37 (فولاد نرم ساختمانی) می‌باشد.

**نکته:** Cost per Unit Weight ارزش واحد حجم فولاد است که با توجه به یکسان نبودن قیمت فولاد برای کل پروفیل‌ها در ایران، برای ایرانیان کاربردی ندارد. فلذا با وارد کردن مقدار ۱، قیمت بی‌تاثیر خواهد بود و فاکتور اقتصادی را باید خودمان در نظر بگیریم.

## گام۲ – معرفی مقاطع سقف‌ها، تیرها، ستون‌ها و بادبندها

### ۲-۱ – معرفی مقاطع سقف‌ها

برای کل سقف‌ها از تیرچه بلوک مطابق شکل زیر استفاده شده است.




**شکل ۱-۱۶- معرفی مقاطع سقف‌ها**

**نکته:** سقف طبقات را صلب فرض می‌کنیم. (در عمل با اجرای حداقل ۵ سانتیمتر بتن به روی سقف‌های تیرچه بلوک، سقف عملکرد صلب خواهد داشت).

## ۲-۲ - معرفی مقاطع ستون‌ها

دستور Define-Frame Sections را اجرا و از جعبه کشویی اول گزینه‌ی Import General را انتخاب و مقاطع آماده IRAN.PRO را باز کرده و سپس از پنجره‌ی باز شده مقاطع 2IP14-0-E5 , 2IP14-8-E5 , 2IP16-0-E5 , 2IP16-8-E5 , 2IP20-0-E5, 2IP20-8-E5 , 2IP20-10-E5 2IP16-0-E5 , 2IP16-8-E5 , 2IP22-0-E5 , 2IP22-8-E5 , 2IP22-10-E5 را پس از ایجاد، به عنوان حدس اولیه برای ستون‌ها در نظر می‌گیریم. حال با دو OK به پنجره‌ی اصلی برمی‌گردیم. حال در پنجره‌ی اصلی از جعبه کشویی دوم، گزینه Add Auto Select List را انتخاب کرده و نام دلخواهی (مثلاً COLUMN) را برای Auto Section Name انتخاب کرده و سپس با انتخاب ۱۰ مقطع فوق دکمه‌ی Add را زده و با دو OK از این پنجره خارج می‌شویم.

**نکته:** بهتر است تعداد مقاطع حدس اولیه کمتر باشد.

شرحی راجع به نحوه‌ی نام‌گذاری مقاطع دوبل IPE:

2IPE14-0-E5: یعنی دوبل IPE نمره ۱۴ بدون ورق تقویتی سراسری و با بست نردبانی (تسمه) است. فاصله بین دو بال پروفیل از هم نیز ۵ سانتی‌متر است. این فاصله جهت اجرای ورق پیوستگی در ستون است.

2IPE14-8-E5: یعنی دوبل IPE نمره ۱۴ با ورق تقویتی سراسری ۸ میلیمتری و بدون بست نردبانی (تسمه) است. فاصله بین دو بال پروفیل از هم نیز ۵ سانتی‌متر است. این فاصله جهت اجرای ورق پیوستگی در ستون است.

**توجه:** مقاطعی که بدون ورق تقویتی سراسری هستند، در صورت نیاز به داشتن فاصله بینابینی باید بست نردبانی داشته باشند که باید توسط خودمان طراحی شود (نه برنامه). پس مقادیر جدول مقاطع مرکب (نوشته شده توسط حسن عمادی)، برای مقاطع بدون بست نردبانی است.

## ۲-۳ - معرفی مقاطع تیرها

تیرهای جهت X هم باربر ثقلی و هم باربر جانبی هستند اما تیرهای جهت Y نه باربر ثقلی و نه باربر جانبی هستند. در این پروژه به عنوان حدس اولیه از تیرهای دوبل IPE برای تیرهای جهت X و از تیرهای تک IPE برای تیرهای جهت Y استفاده می‌کنیم.

الف) معرفی تیرهای جهت X

دستور Define-Frame Sections را اجرا و از جعبه کشویی اول گزینه‌ی را Import General را انتخاب و مقاطع آماده IRAN.PRO را باز کرده و سپس از پنجره‌ی باز شده مقاطع 2IP14-0-E0 , 2IP16-0-E0 , 2IP18-0-E0 , 2IP20-0-E0 , 2IP22-0-E0 را پس از ایجاد، به عنوان حدس اولیه برای ستون‌ها در نظر می‌گیریم. حال با دو OK به پنجره‌ی اصلی برمی‌گردیم. حال در پنجره‌ی اصلی از جعبه کشویی دوم، گزینه Add Auto Select List را انتخاب کرده و نام دلخواهی (مثلاً BEAMX) را برای Auto Section Name انتخاب کرده و سپس با انتخاب ۵ مقطع فوق دکمه‌ی Add را زده و با دو OK از این پنجره خارج می‌شویم.

ب) معرفی تیرهای جهت Y

دستور Define-Frame Sections را اجرا و از جعبه کشویی اول گزینه‌ی را Import General را انتخاب و مقاطع آماده IPE.PRO را باز کرده و سپس از پنجره‌ی باز شده مقاطع IP14 , IP16 , IP18 , IP20 , IP22 را پس از تعریف، به عنوان حدس اولیه در نظر می‌گیریم. حال با دو OK به پنجره‌ی اصلی برمی‌گردیم. حال در پنجره‌ی اصلی از جعبه کشویی دوم، گزینه Add Auto Select List را انتخاب کرده و نام دلخواهی (مثلاً BEAMY) را برای Auto Section Name انتخاب کرده و سپس با انتخاب هشت مقطع فوق دکمه‌ی Add را زده و با دو OK از این پنجره خارج می‌شویم.

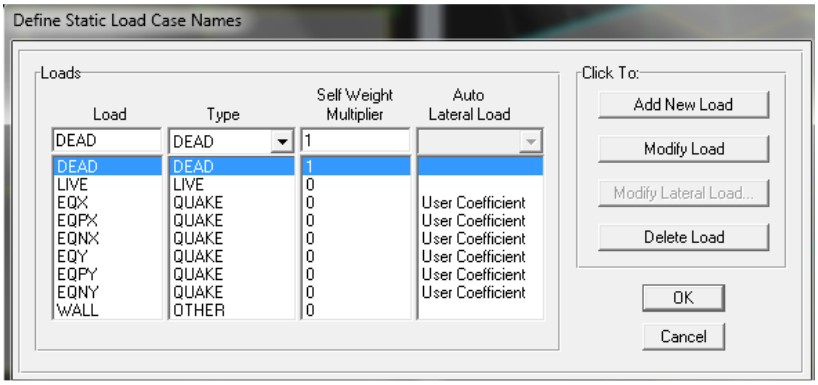
**توجه:** برای تیرهای این جهت و تیرهای مفصلی جهت x می‌توان از تیرهای تک لانه زنبوری (CPE) نیز استفاده کرد. چون این تیرها بهعلت مفصلی بودن نیروی زلزله را جذب نمی‌کنند فلذا در برش کنترل شده می‌باشند.

## ۲-٤ - معرفی مقاطع بادبندها

دستور Define-Frame Sections را اجرا و از جعبه کشویی دوم گزینه‌ی را Add Double Angle را انتخاب و از پنجره‌ی باز شده مقاطع 2UNP8 , 2UNP10 , 2UNP12 , 2UNP14 , 2UNP16 را پس از تعریف، به عنوان حدس اولیه در نظر می‌گیریم. حال با دو OK به پنجره‌ی اصلی برمی‌گردیم. حال در پنجره‌ی اصلی از جعبه کشویی دوم، گزینه Add Auto Select List را انتخاب کرده و نام دلخواهی (مثلاً BRACEU) را برای Auto Section Name انتخاب کرده و سپس با انتخاب پنج مقطع فوق دکمه‌ی Add را زده و با دو OK از این پنجره خارج می‌شویم.

## ۲-۵- معرفی حالات بار استاتیکی

حالات باری که ساختمان تحت آن تحلیل و طراحی می‌شود شامل بارهای ثقلی و جانبی می‌باشد این بارها به صورت زیر در نرم‌افزار معرفی می‌گردند.



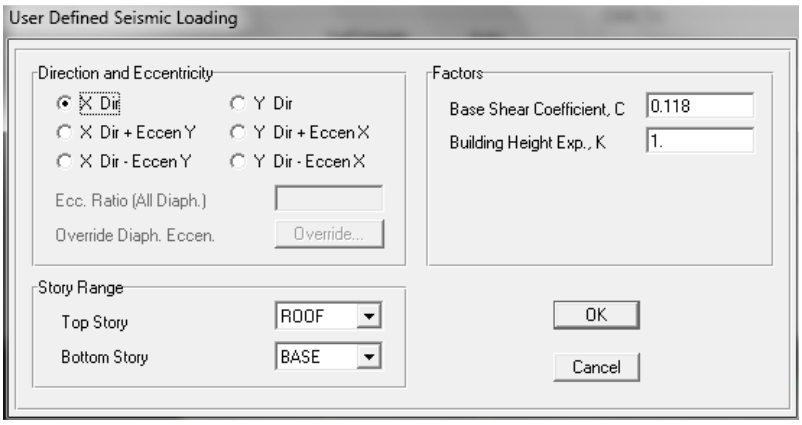

**شکل ۱-۱۷- معرفی حالات بار استاتیکی**

**نکته ۱:** حالت بار WALL در هیچ کدام از ترکیب بارهای طراحی سازه شرکت نمی‌کند (برای این کار کافی است نوع این بار را OTHER انتخاب کنیم) و تنها برای معرفی نحوه‌ی محاسبه‌ی جرم طبقات مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ به نرم‌افزار معرفی می‌گردد.

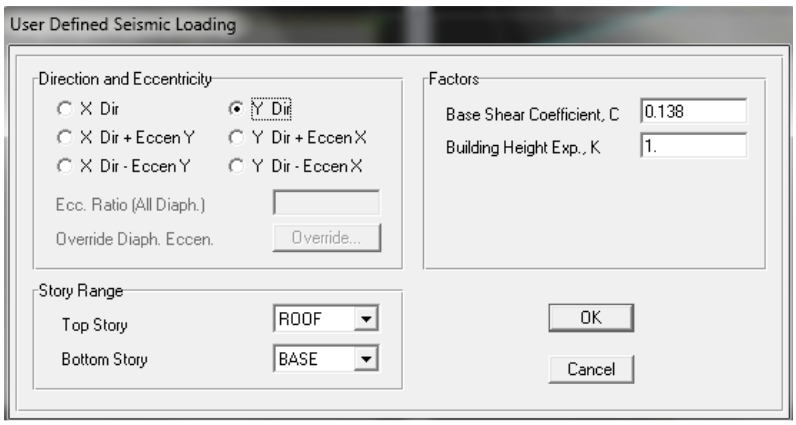
**نکته ۲:** ضریب Self Weight (Multiplier) فقط برای بار مرده ۱ و برای سایر بارها برابر صفر می‌باشد تا وزن اجزای سازه شامل اسکلت ساختمان (تیرها، ستون‌ها و سقف‌ها) به بار مرده افزوده گردد.

**نکته ۳:** هنگام بارگذاری سطحی سقف‌ها باید بار تیرچه و دال بتنی روی آن از کل بار مرده کاسته شود و بار باقی‌مانده (از نوع DEAD) به سقف اعمال گردد.

**نکته ۴:** به حالت بار نوع LIVE ضریب کاهش سربار اعمال نمی‌شود، و این ضریب به حالت بار نوع REDUCE LIVE اعمال می‌گردد. البته در این پروژه از کاهش سربار صرف‌نظر شده است.




**شکل ۱-۱۸- معرفی EQX**




**شکل ۱-۱۹- معرفی EQY**

در Top Story تراز بالای اعمال نیروی جانبی زلزله (اگر وزن خرپشته از ۲۵ درصد وزن بام کمتر باشد، باید طبقه‌ی بام را انتخاب کنیم در غیر این صورت باید طبقه‌ی خرپشته را انتخاب نمود) و در Bottom Story تراز پایین (تراز پایه) اعمال نیروی جانبی زلزله به نرم‌افزار معرفی می گردد.

**نکته ۵:** طبق بند ۲-۳-۱۰-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰، در ساختمان‌های تا ۵ طبقه و یا کوتاه‌تر از ۱۸ متر، در مواردی که برون مرکزی نیروی جانبی طبقه در طبقات بالاتر از هر طبقه کمتر از ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی باشد، محاسبه ساختمان در برابر لنگر پیچشی (هم لنگر پیچشی واقعی و هم لنگر پیچشی تصادفی) الزامی نیست (یعنی البته می‌توان در جهت اطمینان اثر پیچش واقعی و تصادفی را در تحلیل و طراحی ساختمان در نظر گرفت). لذا بهتر است که همواره در جهت اطمینان در تمام ساختمان‌ها پیچش و پیچش تصادفی در نظر گرفته شود. طبق بند ۲-۳-۱۰-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰، برون مرکزی اتفاقی در تراز هر طبقه به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مولفه پیچشی زلزله از سوی دیگر، حداقل برابر ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که ساختمان مشمول نامنظمی بند ۱-۸-۱-۱- ث می‌شود (بعد تحلیل بررسی می‌شود و فعلاً نیازی به آن نداریم) برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگنمایی ($A_j$) طبق رابطه‌ی زیر ضرب شود.

$A$ ۳-۱

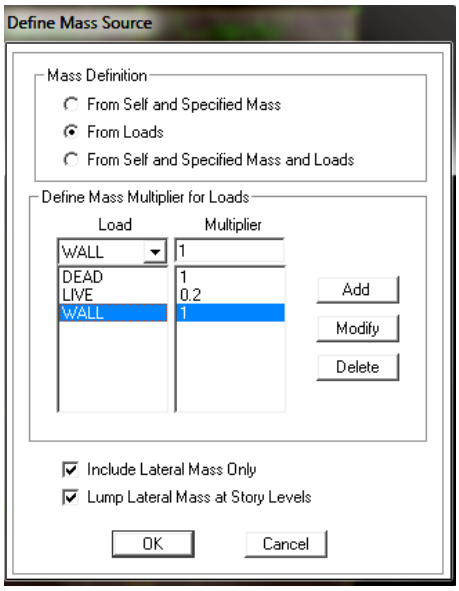
که $\Delta_{\max}$ حداکثر تغییرمکان طبقه‌ی j و $\Delta_{ave}$ میانگین تغییرمکان دو انتهای ساختمان در طبقه‌ی j می‌باشد.

در این پروژه اثر لنگر پیچشی (واقعی و تصادفی) لحاظ شده است. نحوه اعمال پیچش واقعی در قسمت تنظیمات پارامترهای تحلیل توضیح داده می‌شود.

## ۲-۶- معرفی نحوه‌ی محاسبه‌ی جرم طبقه

برنامه‌ی Etabs قادر است جرم طبقات سازه را با استفاده از بارهای ثقلی (انتخاب گزینه‌ی From Loads از پنجره Define Mass Source) وارد بر آن‌ها محاسبه کند و در محاسبه نیروی زلزله وارد بر طبقات از آن‌ها استفاده نماید. طبق جدول ۱ بند ۲-۳-۱ آیین‌نامه ۲۸۰۰ جرم سازه با کاربری مسکونی شامل ۱۰۰ درصد بار مرده و ۲۰ درصد بار زنده است.

برای معرفی نحوه‌ی محاسبه‌ی جرم طبقه، دستور Define-Mass Source را اجرا و یا روی کلیک نمایید، سپس مطابق تصویر زیر عیناً پنجره را کامل کنید.




**شکل ۱-۲۰- معرفی نحوه محاسبه جرم**

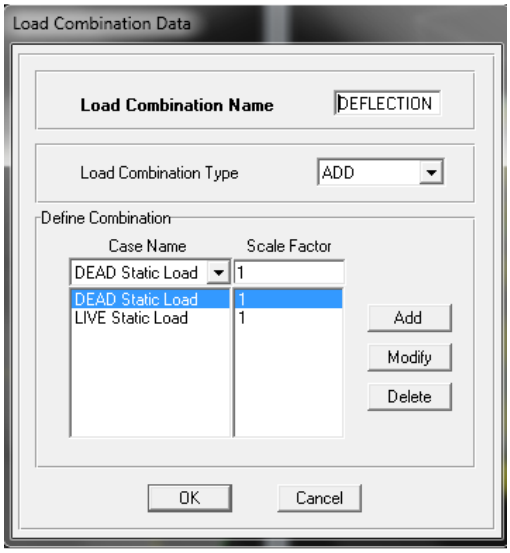
**نکته ۱:** نرم‌افزار Etabs چون وزن طبقات را از روی بارهای وارده محاسبه می‌کند اختلافی در محاسبه وزن واقعی طبقات رخ می دهد. وزن طبقه عبارت است مجموع مقادیر زیر :

۱- بارهای مرده منظور در محاسبه‌ی وزن طبقات: بار مرده کف، نصف بار معادل تیغه‌بندی بالا و پایین کف ( از نوع DEAD)، نصف بار دیوارهای پیرامونی بالا و پایین. در طبقه‌ی بام نیز بار مرده کف، نصف بار معادل تیغه‌بندی پایین کف ( از نوع WALL. چون یک بار مجازی است و در واقعیت وجود ندارد)، نصف بار دیوارهای پیرامونی پایین کف ( از نوعWALL) و بار جان‌پناه به این طبقه اعمال می گردد.

**نکته ۲:** با فعال کردن گزینه‌ی (Include Lateral Mass Only) تنها درجه‌های آزادی جرمی انتقالی در جهت‌های X,Y و دوران حول محور Z فعال خواهند شد و از نقش سایر درجات آزادی صرف‌نظر خواهد شد (از جمله حرکت دینامیکی قائم). مطابق بند ۲-۱-۴ آئین‌نامه ۲۸۰۰، ساختمان باید در دو امتداد عمود بر هم در برابر نیروهای جانبی محاسبه شود. در صورت وجود دیافراگم صلب و با فرض حرکت جانبی، تنها درجات آزادی انتقالی در جهت‌های X,Y و دوران حول محور Z فعال خواهند شد. درجات آزادی انتقالی جهت‌های X,Y برش و درجه‌ی آزادی دورانی حول محور Z پیچش ایجاد می‌کند. همچنین با فعال کردن گزینه‌ی (Lump Lateral Mass at Story Levels)، جرم طبقه در محل مرکز جرم متمرکز خواهد شد و نیروی زلزله به آن نقطه اعمال می‌گردد. این گزینه برای سقف‌های صلب مناسب می‌باشد (در سقف‌های تیرچه بلوک اجرای ۵ سانتیمتر دال بتنی روی تیرچه بلوک‌ها باعث صلب شدن سقف می گردد).

## ۲-۷- معرفی ترکیب بار جهت کنترل خیز تیرها (بار سرویس)

دستور Define-Load Combinations ( ) را اجرا نمائید و سپس پنجره زیر را عیناً کامل نمائید.




**شکل ۱-۲۱- معرفی ترکیب بار جهت کنترل خیز تیرها**

## ۲-۸- معرفی ترکیب بارها جهت طراحی سازه

دستور Define-Load Combinations ( ) را اجرا نمائید و سپس بارهای زیر را مطابق آیین‌نامه UBC97-ASD تعریف نمائید.

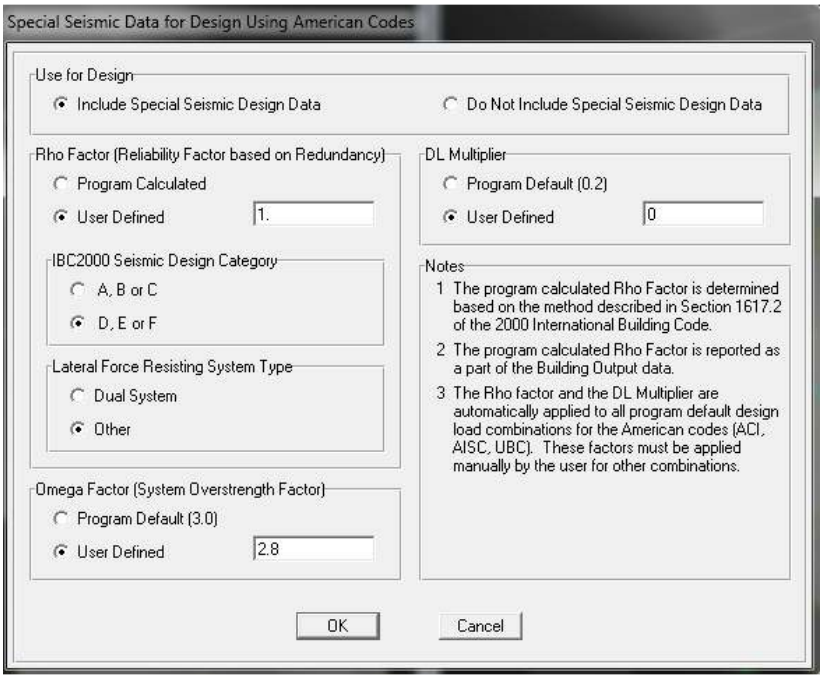
COMB1: DL + LL
COMB2,3: 0.75DL + 0.75LL ± 0.75EQX
COMB4,5: 0.75DL + 0.75LL ± 0.75EQPX
COMB6,7: 0.75DL + 0.75LL ± 0.75EQNX
COMB8,9: 0.75DL + 0.75LL ± 0.75EQY
COMB10,11: 0.75DL + 0.75LL ± 0.75EQPY

$$COMB12,13: 0.75DL + 0.75LL \pm 0.75EQNY$$
$$COMB14,15: 0.75DL \pm 0.75EQX$$
$$COMB16,17: 0.75DL \pm 0.75EQPX$$
$$COMB18,19: 0.75DL \pm 0.75EQNX$$
$$COMB20,21: 0.75DL \pm 0.75EQY$$
$$COMB22,23: 0.75DL \pm 0.75EQPY$$
$$COMB24,25: 0.75DL \pm 0.75EQNY$$

**توجه:** آیین‌نامه UBC97 به مبحث دهم نزدیکتر است تا آیین نامه AISC.

## ۲-۹- تنظیم پارامترهای لرزه‌ای

دستور Define-Special Seicmic Load Effects را اجرا و سپس پنجره‌ی زیر را عیناً کامل کنید.




**شکل ۱-۲۲- تنظیم پارامترهای لرزه‌ای**

**نکته:** سیستم مقاوم جانبی این ساختمان در جهت X قاب خمشی است که طبق جدول ۱۰-۳-۲ مبحث دهم (ص ۳۵۹)، مقدار ضریب Omega Factor (ضریب افزایشی نیروی زلزله) برابر با ۲/۸ می‌باشد. برای جهت Y که سیستم قاب ساده + مهاربند همگراست برابر با ۲ است. در جهت اطمینان ضریب فوق را برای کل سازه مقدار ۲/۸ برای هر دو جهت ساختمان وارد می‌کنیم.

# ۳- اختصاص (Assign) مشخصات

## ۳-۱- اختصاص تکیه‌گاه‌های سازه

در نمای پلان به طبقه‌ی Base رفته و با ترسیم کادری به دور پلان این طبقه، کل عناصر نقطه‌ای موجود را انتخاب نمائید. سپس دستور Assign-Joint/Point-Restraints(Supports) را اجرا نمائید. طبق شکل زیر پنجره‌ی موجود را کامل نمائید:

**شکل ۱-۲۳- انتخاب اتصال گیردار برای پای ستون‌های طبقه‌ی Base**

## ۳-۲- اختصاص مقاطع تیرها، ستون‌ها، سقف‌ها و بادبندها

الف) اختصاص مقاطع ستون‌ها

کل ستون‌های سازه را انتخاب کرده و سپس بر روی کلیک و COLUMN را به آنها اختصاص می‌دهیم.

ب) اختصاص مقاطع تیرها

۱- ابتدا تیرهای جهت X

تیرهای جهت X را انتخاب کرده (با ترسیم کادرهای راست به چپ) و سپس بر روی کلیک و BEAMX را به آنها اختصاص می‌دهیم. توجه گردد که انتخاب شدن سقف‌ها تاثیری ندارد.

**توجه:** دقت کنید که تیرهای تراز نیم طبقه و تیر داخلی پاگرد اتاق راه پله و کلیه تیرهای خرپشته را انتخاب نکنید.

۲- ابتدا تیرهای جهت Y

تیرهای جهت Y را انتخاب کرده (با ترسیم کادرهای راست به چپ) و سپس بر روی کلیک و BEAMY را به آنها اختصاص می‌دهیم. توجه گردد که انتخاب شدن سقف‌ها تاثیری ندارد.

**توجه:** دقت کنید که تیرهای تراز نیم طبقه و تیر داخلی پاگرد اتاق راه پله و کلیه تیرهای خرپشته را انتخاب نکنید. به دلیل مفصلی بودن این تیرها معمولاً تیرآهن‌های تک جوابگو می باشند.

ج) اختصاص مقاطع سقف‌ها

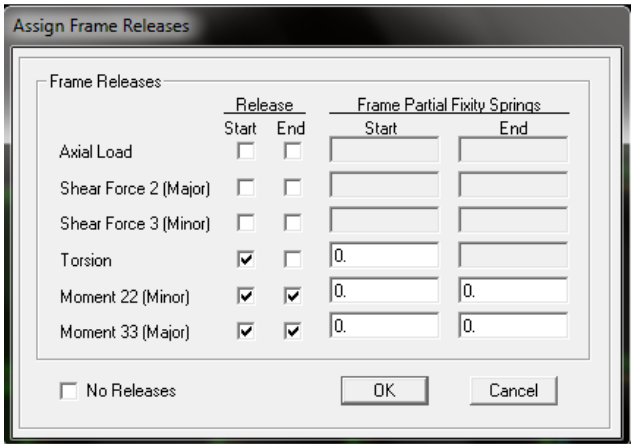
چون به طور خودکار هنگام ترسیم سقف‌ها، پیش فرض ترسیم همان Deck بوده نیازی به این اختصاص نیست.

چ) اختصاص مقاطع بادبندها

با دستور Select-by Line Object Type بادبندها را انتخاب و سپس بر روی کلیک و BRACE را به آنها اختصاص می‌دهیم.

## ۳-۴- اختصاص اتصال مفصلی به تیرهای واقع در جهت Y، تیرهای اتاق راه پله و تیرهای خرپشته

تیرهای اتاق راه‌پله (تیر پاگرد بالایی و تیر تراز نیم‌طبقه)، چهار تیر طبقه خرپشته و با دستور Select-by Frame Sections-BeamY-OK تیرهای جهت Y را انتخاب و سپس دستور Assign-Frame/Line-Frame Releases/Partial Fixity را اجرا می‌کنیم.




**شکل ۱-۲۴- اختصاص اتصال مفصلی به تیرهای واقع در جهت Y و تیر نیم‌طبقه اتاق راه‌پله**

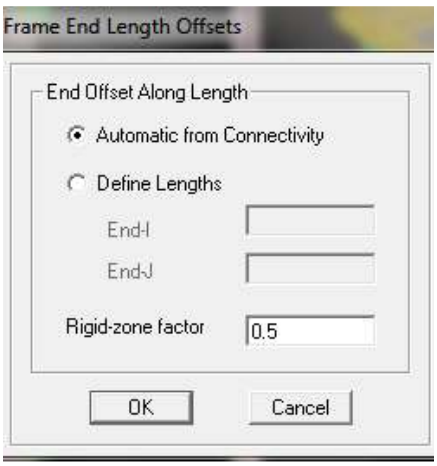
**نکته:** البته نیازی به آزادسازی لنگر تیرهای فوق حول محور محلی ۲ نیست، چون لنگر حول این محور در تیرها همواره صفر است. در ضمن چون در هنگام ترسیم بادبندها پیش فرض برنامه حالت دو سر مفصل است پس نیازی به آزادسازی لنگر بادبندها نیست.

## ۳-۵- اختصاص ضریب ناحیه صلب انتهایی به تیرهای واقع در قاب خمشی (تیرهای جهت x)

اعضای قاب (Frame) به صورت المان‌های خطی که در نقاطی به یکدیگر متصل شده‌اند (گره قاب) مدل می‌شوند. هنگامی که دو المان مثل تیر و ستون در یک گره به هم متصل می‌شوند مقداری هم‌پوشانی در اتصال آن‌ها به وجود می‌آید. که در واقعیت معمولاً نصف این ناحیه مشترک در تغییرشکل‌ها شرکت کرده و نصف مابقی صلب می‌باشد.

**نکته:** در سازه‌های فولادی طبق آیین‌نامه فقط به تیرهای دو سر گیردار این ضریب اختصاص داده می‌شود. یعنی نباید به ستون‌ها، تیرهای دوسر مفصل و همچنین بادبندها این ضریب را اختصاص داد (برعکس سازه‌های بتنی).

تیرهای جهت X (به جزء تیرهای دوسر مفصل) را انتخاب کرده و سپس دستور Assign-Frame/Line-End(Length)Offsets را اجرا و در جعبه‌ی Rigid Zone Factor عدد ۰/۵ را وارد کنید.




**شکل ۱-۲۵- اختصاص نواحی صلب**

## ۳-۶- اختصاص دیافراگم صلب به طبقات سازه

با اختصاص دیافراگم صلب به طبقات، نقاط واقع در هر طبقه به صورت یکپارچه عمل می‌کنند و بین نقاط سقف حرکتی نسبی‌ای رخ نخواهد داد. صلبیت کف طبقات به خاطر دال بتنی (معمولاً ۵ سانتی) یکپارچه‌ی سقف ایجاد می‌شود. معرفی دیافراگم صلب درجات آزادی طبقه را کاهش می‌دهد و آن را به ۳ درجه آزادی می‌رساند (۲ درجه انتقالی در جهت X,Y و یک درجه آزادی دورانی حول محور Z).

کلیه سقف‌های سازه را انتخاب کرده (Select-by Area Object Type-Floor) و سپس دستور Assign-Shell/Area-Diaphragm را اجرا و از پنجره‌ی باز شده دیافراگم D1 را انتخاب نمایید.

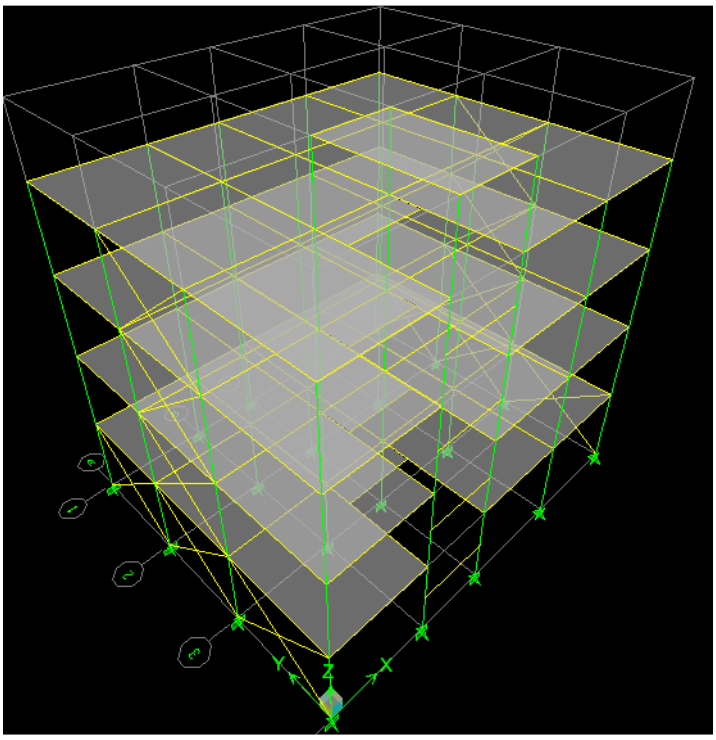
**نکته:** چون در این مرحله ازمنوی Assign-Shell/Area استفاده می‌کنیم پس انتخاب دکمه بلامانع است. البته اگر تیر تراز نیم طبقه نداشته باشیم. پس در این پروژه این راه مجاز نیست.

**توجه:** در برنامه Etabs امکان در نظر گرفتن سقف شبه صلب وجود دارد. در صورت عدم معرفی دیافراگم صلب، برنامه Etabs قادر است با استفاده از سختی غشایی سقف‌ها، صلبیت سقف را محاسبه کند. در این صورت سقف واقعی مدل شده است.

## ۳-۷- تنظیم تیرریزی سقف‌ها

برنامه به طور پیش فرض جهت تیرچه‌ها را در جهت x قرار می‌دهد اما کاربر می‌تواند با قضاوت مهندسی خویش جهت تیرچه‌ها را تغییر دهد. برای این کار پس از انتخاب (با کلیک روی آن‌ها) پانل‌هایی که می‌خواهیم (طبق نقشه معماری) جهت تیرچه ریزی آن‌ها را تغییر دهیم، دستور Assign- Shell/Area-Local Axes را اجرا و سپس در جعبه‌ی نوشتاری Angle زاویه قرارگیری تیرچه‌ها (نسبت به محور x) را ۹۰ درجه وارد کنید. در این پروژه طبق شکل ۱-۱ جهت تیرچه‌ریزی کل سقف‌ها در جهت Y است.

پلان سه بعدی سازه هم در زیر قابل مشاهده است:



**شکل ۱-۲۶- پلان سه بعدی سازه در نرم‌افزار**

## ۴- بارگذاری سازه

### ۴-۱- بارگذاری عناصر نقطه‌ای

به دلیل نداشتن کنسول، کاربر هیچ بارگذاری نقطه‌ای را به سازه اعمال نخواهد کرد.

### ۴-۲- بارگذاری عناصر خطی

**اعمال بار دیوارهای پیرامونی نمای شمال و جنوب (با نما)**

۱- اعمال بار دیوارهای پیرامونی با نما به تیرهای پیرامونی

با کلیک بر روی تیرهای پیرامونی شمال و جنوب (تیرهایی که بر روی آن‌ها دیوارهای با سنگ نما وجود دارد) آن‌ها را انتخاب کنید (از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی Similar Stories را انتخاب کنید و در پلان یکی از طبقات که مشابه یکدیگرند این انتخاب تیرها انجام شود). توجه شود که تیر B4-C4 (تیر تراز نیم طبقه) را نیز انتخاب کنید.

**توجه:** برای انتخاب تیرهای پیرامونی بهتر است گزینه مغناطیسی مغناطیسی (Snap to Line Ends and Midpoints) فعال باشد تا تیرها به راحتی انتخاب گردند.

ارتفاع خالص دیوار روی تیر تقریباً برابر ۳ متر است فلذا وزن واحد طول دیوارهای سمت نما به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$311 \times 3 = 933 \cong 950 \ kg/\mathrm{m}$$

**توجه:** برای جلوگیری از پیچیده شدن در محاسبات ارتفاع دیوارهای موجود بر روی تیرها، عمق تیر را در این محاسبات مقدار یکسان ۲۰ سانتیمتر برای تمامی طبقات فرض می‌کنیم.

۲- اصلاح بار جان‌پناه طبقه بام

به پلان طبقه بام رفته و از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید. تیرهای پیرامونی سمت شمال و جنوب را که بار جان‌پناه به آن وارد می‌گردد را انتخاب کنید.

بار جان‌پناه نمادار و بدون نما معمولاً ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم بر مترمربع بیشتر از بار دیوارهای پیرامونی با نما و بدون نما است.

$$351 \times 1 \cong 360 \ kg/\mathrm{m}$$

۳- اصلاح جرم محاسباتی طبقه بام در مورد وزن نصف ارتفاع دیوارهای شرق و غرب این طبقه

به پلان طبقه بام رفته و از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید. در ادامه برای اصلاح بار تیرهای پیرامونی سمت شمال و جنوب طبقه‌ی بام (به جزء تیر تراز نیم طبقه)، آنها را انتخاب و بار زیر را از نوع بار WALL به این تیرها اختصاص دهید:

$$\frac{311 \times 3}{2} \cong 470 \ kg/\mathrm{m}$$

**توجه:** جرم‌هایی که در وسط ارتفاع دو طبقه قرار دارند، برنامه نصف وزن این تیر و بار رویش را جزء جرم طبقه بالا و نصف آنرا جزء جرم طبقه پایین محسوب می‌کند. فلذا تقریباً در مورد تیر B4-C4 و دیوار روی آن، مشکلی در اصلاح جرم نیست.

**اعمال بار دیوارهای پیرامونی نمای شرق و غرب (بدون نما)**

۱- اعمال بار دیوارهای پیرامونی بدون نما به تیرهای پیرامونی شرق و غرب

با کلیک بر روی تیرهای پیرامونی شرق و غرب(تیرهایی که بر روی آن‌ها دیوارهای با سنگ نما وجود ندارد) آن‌ها را انتخاب کنید (از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی Similar Stories را انتخاب کنید و در پلان یکی از طبقات که مشابه یکدیگرند این انتخاب تیرها انجام شود).

ارتفاع خالص دیوار روی تیر تقریباً برابر ۳ متر است فلذا وزن واحد طول دیوارهای بدون نما به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$262 \times 3 = 786 \cong 790 \ kg/\mathrm{m}$$

۲- اصلاح بار جان‌پناه طبقه بام

به پلان طبقه بام رفته و از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید. تیرهای پیرامونی سمت شمال شرق و غرب این طبقه را انتخاب کنید. بار جان‌پناه نمادار و بدون نما معمولاً ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم بر مترمربع بیشتر از بار دیوارهای پیرامونی با نما و بدون نما است.

$$302 \times 1 \cong 305 \ kg/\mathrm{m}$$

۳- اصلاح جرم محاسباتی طبقه بام در مورد وزن نصف ارتفاع دیوارهای شمال و جنوب این طبقه

در ادامه برای اصلاح بار تیرهای شرق و غرب طبقه‌ی بام، آنها را انتخاب و بار زیر را از نوع بار WALL به این تیرها اختصاص دهید (از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید).

$$\frac{262 \times 3}{2} \cong 400 \ kg/\mathrm{m}$$

**نکته:** بار WALL یک بار مجازی است که چون نوع آن Other است در طراحی شرکت نمی‌کند اما در تحلیل شرکت می‌کند.

**نکته:** اگر ارتفاع دیوارهای زیر طبقه اول، کمتر از ارتفاع دیوار روی طبقه اول باشد در این صورت یک بار منفی WALL باید به تیرهای طبقه اول اعمال کرد تا اختلاف بین بار و جرم را اصلاح کرد که در جهت اطمینان می‌توان این بار WALL را اعمال نکرد تا جرم این طبقه سنگین‌تر لحاظ گردد.

۴- اعمال بار دیوار خرپشته به تیر تراز نیم طبقه در طبقه بام

با کلیک در نمای قاب ۴ این تیر را انتخاب کنید و بار زیر را از نوع مرده به آن وارد کنید:

$$311 \times 3.9 \cong 1220 \ kg/\mathrm{m}$$

گزینه Replace در این حالت فعال باشد.

## اعمال بار اتاق راه‌پله

۱- اعمال بار مرده و زنده ناشی از اتاق راه‌پله به تیرهای اصلی

تیرهای B4-C4 تراز نیم طبقه و تیر پایینی پاگرد اتاق راه‌پله را انتخاب کنید. دستور Assign-Frame/Line loads-Point را اجرا و:

! از این به بعد تا پایان مرحله بارگذاری خطی، گزینه‌ی Add در بارگذاری فعال باشد.

بار مرده خطی وارد بر تیرهای نیم طبقه $\frac{700 \times 3.3}{2} \times 1.25 \times 0.5 \cong 722 \ kg$

بار زنده خطی وارد بر تیرهای نیم طبقه $\frac{350 \times 3.3}{2} \times 1.25 \times 0.5 \cong 361 \ kg$

**شکل ۱-۲۷- بارگذاری پله**

۲- اعمال بار دیوارهای پیرامونی اتاق راه‌پله

از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی Similar Stories را انتخاب کنید و در پلان یکی از طبقات که مشابه یکدیگرند تیرهای اطراف اتاق پله (به جزء تیر جنوبی) را انتخاب کنید.

$260 \times 3 = 780\ kg/\mathrm{m}$

۳- اعمال بار دیوارهای خرپشته به تیرهای مربوط در طبقه بام

چون در هنگام اعمال بار دیوارهای اتاق راه‌پله، گزینه Similar Stories فعال بود، بار این دیوارها که بیشتر از بار دیوارهای خرپشته است به تیرهای طبقه بام وارد شد فلذا در جهت اطمینان نیازی به انجام این مرحله نیست.

## ۴-۳- بارگذاری عناصر سطحی

**نکته:** از آنجایی که قسمت‌های بتنی سقف (۵ سانتیمتر دال بتنی + تیرچه) در تعریف مقطع سقف تیرچه بلوک (Deck25) تعریف گردید فلذا وزن آنها جزء بار اسکلت سازه بوده و خود برنامه بار آنها را حساب می‌کند و نباید آنها را دوباره به کف‌ها اعمال کنیم بلکه تنها باید وزن کفسازی و سقف کاذب (در صورت وجود) را به آن وارد کنیم.

۱- بار کف طبقات تیپ

بار مرده سطحی $533 + 130 \cong 665 - 225 = 440\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$

بار زنده سطحی $200\ kg/\mathrm{m}^2$

۲- بار کف بام و خرپشته

بار مرده سطحی $600 - 225 = 375\ kg/\mathrm{m}^2$

بار زنده سطحی $150\ kg/\mathrm{m}^2$

در این حالت گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید و به طبقه بام بروید. گزینه Replace فعال باشد.

۳- بار زنده پاگرد راه‌پله

بار مرده سطحی $533 - 225 \cong 310\ \frac{kg}{\mathrm{m}^2}$

بار زنده سطحی $350\ kg/\mathrm{m}^2$

در این حالت گزینه طبقات مشابه را فعال کرده و به طبقه بام بروید. گزینه Replace نیز فعال باشد.

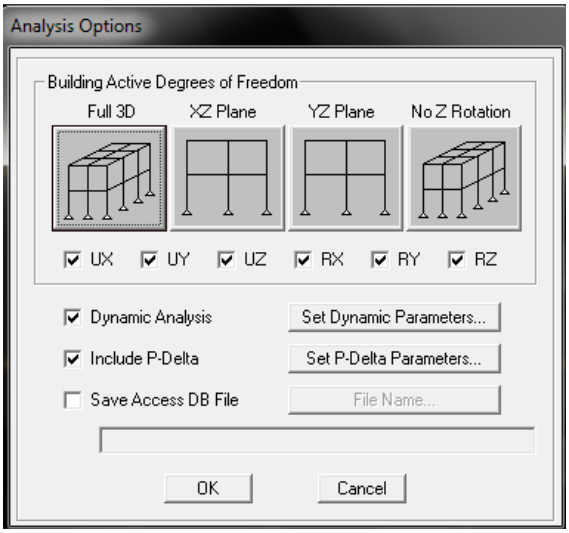
۴- بار نصف دیوارهای داخلی به کف طبقه‌ی بام

کلیه کف‌های طبقه‌ی بام را انتخاب نموده و بار ۶۵ کیلوگرم بر متر مربع را از نوع بار WALL به آن‌ها اختصاص دهید. (از جعبه‌ی طبقات مشابه گزینه‌ی One Story را انتخاب کنید و در پلان طبقه‌ی بام سطوح را انتخاب کنید). انتخاب کف پاگرد راه‌پله نیازی نیست.

# ۵- تحلیل سازه

## ۵-۱- تنظیمات پارامترهای تحلیل سازه

دستور Analyze-Set Analysis Options را اجرا کنید. سپس مطابق تصاویر زیر عیناً پنجره‌ها را کامل نمائید.

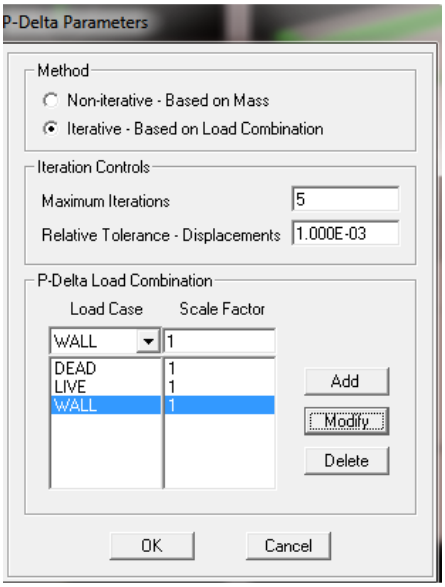



**شکل ۱-۲۸- معرفی پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل مدل**

**توجه:** با انتخاب Full 3D برنامه اثر پیچش واقعی را در تحلیل سازه در نظر می‌گیرد. در غیر این صورت اگر بخواهیم اثر پیچش واقعی را در سازه در نظر نگیریم باید تیک گزینه No Z Rotation را برداریم.

**نکته:** در مراحل تحلیل و طراحی سازه‌های فولادی، ترکیب بار P-Delta همواره بدون ضریب است چون برای طراحی سازه‌های فولادی طبق آیین‌نامه ایران روش تنش مجاز حاکم است.

ترکیب بار P-Delta را مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ص ۱۲۰)، DEAD + LIVE + WALL وارد می‌کنیم.




**شکل ۱-۲۹- معرفی پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل مدل و کنترل نتایج تحلیل (۲۸۰۰)**

نکته: معمولاً برنامه با ۳ بار تکرار در تحلیل مدل همگرا می‌شود منتهی در جهت اطمینان مقدار تکرار را ۵ در نظر می‌گیریم.

**توجه:** در تحلیل استاتیکی معادل برای مشاهده کردن زمان تناوب اصلی محاسبه شده ساختمان توسط برنامه (یعنی از روش تئوری)، می‌توان گزینه‌ی Dynamic Analysis را فعال کرد و پس از کلیک بر روی Set Dynamic Parameters فقط تعداد مود را یک قرار داد و بعد از سازه تحلیل گرفت و در قسمت Show Mode Shape مقدار زمان تناوب اصلی ساختمان را خواند. در این پروژه برنامه آن را ۱/۸۴۵۲ ثانیه محاسبه کرده است.

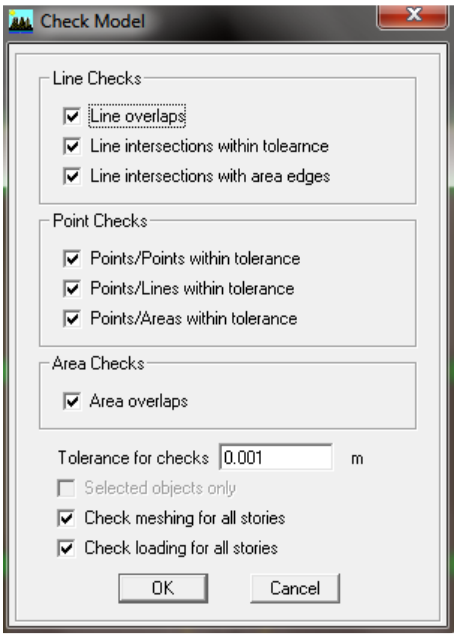
**نکته:** طبق تبصره ۱ بند ۳-۲-۶ آیین‌نامه ۲۸۰۰، می‌توان زمان تناوب اصلی ساختمان را با استفاده از روشهای تحلیلی (یا کامپیوتری که پس از تحلیل سازه توسط نرم‌افزار قابل مشاهده است (روش تئوری)) یا رابطه ۲-۸ به دست آورد مشروط بر آنکه مقدار آن از

۱/۲۵ برابر زمان تناوب به دست آمده از روابط تجربی بیشتر نشود. از آن جایی که در بیشتر پروژه‌ها پریود تحلیلی یا تئوری از پریود تجربی (تقریبی) بیشتر است، از حداکثر مقدار پریود (۱/۲۵ پریود تجربی) استفاده می‌کنیم.

$$T = 1.25 \times 0.54 = 0.675 \text{ sec} < 1.8452 \Longrightarrow T = 0.675 \text{ sec}$$
$$T = 1.25 \times 0.34 = 0.425 \text{ sec} < 1.8452 \Longrightarrow T = 0.425 \text{ sec}$$

## ۵-۲- کنترل مدل‌سازی

قبل شروع تحلیل مدل برای مرتب شدن شماره‌های اعضا روی گزینه‌ی کلیک و سپس دستور Edit-Auto Relabel All … اجرا کنید. سپس دستور Analyze-Check Model را اجرا نمائید. در پنجره‌ی ظاهر شده به جزء گزینه‌ی Selected Objects Only، سایر گزینه‌ها را مطابق تصویر ۱-۳۰ فعال کنید.




**شکل ۱-۳۰- کنترل ترسیمی مدل**

در صورتی که در مدل اشکالی از لحاظ ترسیمی، عدم همپوشانی، ترسیم اعضا روی هم و ... مشاهده شود، پیغام خطا صادر می‌شود که در این صورت باید مشکلات مدل‌سازی را رفع کنید. در صورت عدم مشاهده‌ی اشکال، نرم‌افزار پیغام:

Model Has Been Checked, No Warning Messages را می‌دهد.

که در این پروژه به همین ترتیب بوده است.

## ۵-۳- شروع تحلیل

سپس دستور Analyze-Run Analysis را اجرا و یا بر روی گزینه‌ی  کلیک کنید.

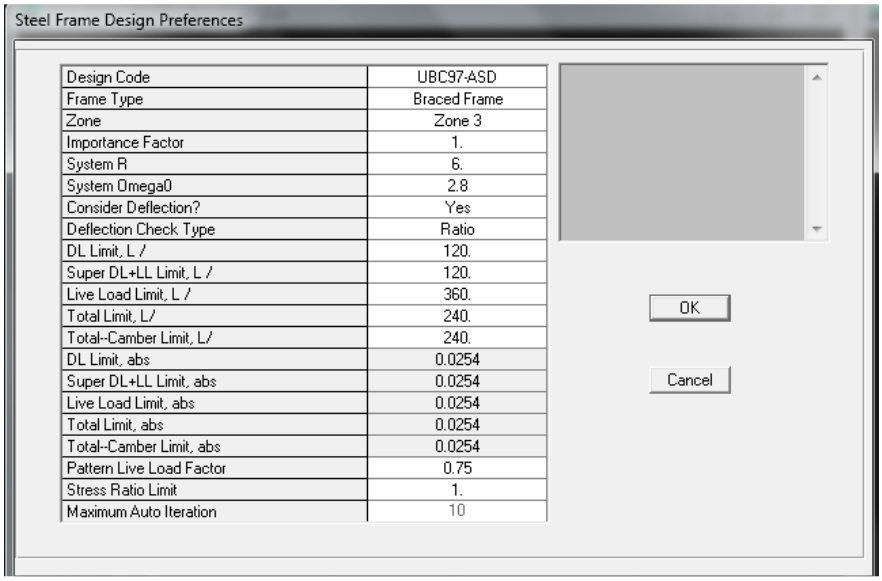
**توجه:** در سازه‌های فولادی بر خلاف سازه‌های بتنی، نتایج آنالیز را بعد از مشخص شدن مقاطع نهایی اعضاء انجام می‌دهیم.

# ۶- طراحی ساختمان فولادی

## ۶-۱- تنظیم پارامترهای طراحی

دستور Option-Preferences-Steel Frame Design را اجرا کنید. سپس آیین‌نامه UBC97-ASD را از جعبه اول انتخاب کنید. بقیه گزینه‌ها را نیز عیناً کامل کنید.

**توجه:** آیین‌نامه ۲۸۰۰، ضریب رفتارهای سازه‌های فولادی را بر اساس طراحی سازه‌های فولادی به روش تنش مجاز ارائه داده است.




**شکل ۱-۳۱- تنظیم پارامترهای طراحی**

**توجه:** برای تمامی قاب‌های فلزی (چه قاب ساده با مهاربند در هر دو راستا، چه قاب خمشی متوسط و چه دوگانه یا ترکیبی)، بهتر است نوع قاب را قاب مهاربندی (Braced Frame) انتخاب کرد. در این صورت تمامی تنظیمات قاب خمشی متوسط به طور دست بالاتر هم به روی سازه اعمال شده است. حالت Braced Frame نسبت به قاب خمشی متوسط بحرانی‌تر و در جهت اطمینان می باشد.

**توجه:** مبحث دهم خیز را بر اساس نسبتی از طول دهانه محدود می‌کند (برای بار زنده ۱/۳۶۰ طول دهانه و برای بار مرده بعلاوه زنده ۱/۲۴۰ طول دهانه). بنابراین در قسمت Deflection Check type روش کنترل خیز را به صورت نسبی (Ratio) انتخاب نمائید که محدودیت‌های پیش‌فرض برنامه با مقادیر مجاز مبحث دهم باشد.

**توجه:** مناطق لرزه خیزی بر اساس آیین‌نامه UBC-97:

$$zone = \begin{cases} zone0 \Longrightarrow \text{خطر صفر} \\ zone1\ (UBC97) \longrightarrow zone4(2800) \Longrightarrow \text{خطر کم} \\ zone2\ (UBC97) \longrightarrow zone3(2800) \Longrightarrow \text{خطر متوسط} \\ zone3\ (UBC97) \longrightarrow zone2(2800) \Longrightarrow \text{خطر زیاد} \\ zone4\ (UBC97) \longrightarrow zone1(2800) \Longrightarrow \text{خطر خیلی زیاد} \end{cases}$$

پس قائمشهر طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، $zone2$ و طبق UBC97، $zone3$ می‌باشد.

**توجه:** مقدار System R برابر مینیمم مقدار ضریب رفتار دو جهت سازه است.

**توجه:** مقدار ضریب Utilization Factor Limit مستقل از نوع آیین‌نامه است بلکه به قضاوت مهندسی وابسته است. اما آیین نامه مقدار حداکثر آن را یک معرفی می‌کند.

**نکته:** چون اختصاص مقاطع به صورت خودکار است، سه حالت در انتخاب مقاطع نهایی تیرها، ستون‌ها و بادبندها پیش می‌آید:

الف) اقتصادی و ایمن.

ب) ضعیف. که در این صورت برنامه به طور خودکار مقاطع قوی‌تری را اختصاص داده و سازه را مجدداً تحلیل می‌گیرد.

ج) غیر اقتصادی و ایمن. که در این صورت برنامه به طور خودکار مقاطع ضعیف‌تری را اختصاص داده و سازه را مجدداً تحلیل می‌گیرد.

## ۶-۲- معرفی پروسه‌ی طراحی قاب فولادی

روی گزینه‌ی کلیک کنید و پس از آن دستور Design-Overwrite Frame Design Procedure را اجرا و در پنجره‌ی ظاهر شده گزینه‌ی Steel Frame Design را انتخاب کنید و بر روی OK کلیک نمائید تا برنامه کلیه اعضاء فولادی را طراحی کند.

**نکته:** اگر این کار را انجام ندهیم باز هم برنامه سازه را طراحی می‌کند ولی خوبی این کار این است که اگر به عضوی را از روی فراموشی مقطع فولادی اختصاص نداده باشیم برنامه هنگام اجرای طراحی یک Erorrی مبنی بر این که بعضی از اعضاء فولادی نیستند اراده می‌دهد.

## ۶-۳- کنترل ترکیب بارهای طراحی

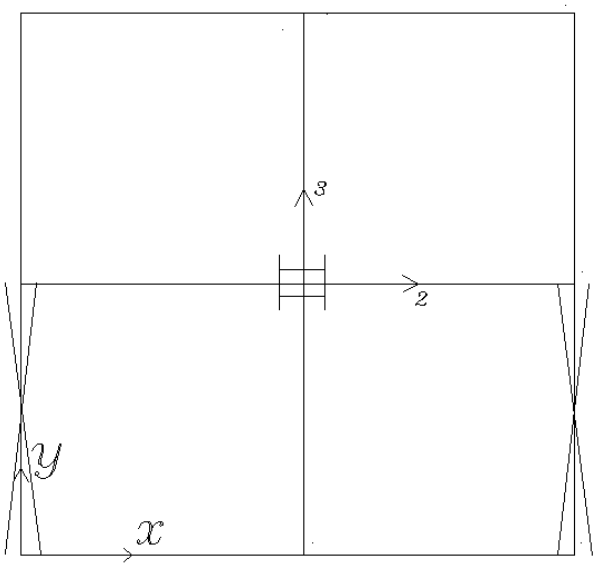
دستور Design-Steel Frame Design-Select Design Combo را اجرا و سپس پنجره‌ی Strength را انتخاب و از جعبه‌ی Design Combo کل ترکیب بارهای پیش‌فرض برنامه را انتخاب و سپس Remove کرده و ترکیب بارهای Comb1 الی Comb25 را انتخاب و Add می‌کنیم.

در ادامه پنجره‌ی Deflection را انتخاب و از جعبه‌ی Design Combo کل ترکیب بارهای پیش‌فرض برنامه را انتخاب و سپس Remove کرده و ترکیب بار DEFLECTION را برای کنترل خیز انتخاب و Add می‌کنیم.

## ۶-۴- تنظیم پارامترهای طراحی ستون‌ها

**نکته:** توجه داشته باشید که سازه در جهت X قاب خمشی و در جهت Y به صورت مهاربندی است. قاعدتاً سازه باید یکبار بر اساس ضوابط قاب خمشی و بار دیگر باید بر اساس ضوابط مهاربندی همگرا در جهت Y طراحی شود. توجه شود که ستون‌ها اعضایی هستند که باید در دو جهت طراحی شوند، اما تیرها و بادبندها تنها در یک جهت (جهتی که وجود دارند) طراحی می‌شوند. اما در جهت اطمینان ستون‌ها را در هر دو جهت بر اساس Braced Frame طراحی می‌کنیم.

ستون‌های سازه را با دستور Select-by Line Object Type-Column-OK انتخاب کنید. سپس دستور Design-Steel Frame Design-View/Revise Overwrites را اجرا و در پنجره‌ی ظاهر شده تیک Frame Type را زده و گزینه‌ی Braced Frame را انتخاب کنید.




**شکل ۱-۳۲- تنظیم پارامترهای طراحی ستون**

**توجه:** برنامه همواره محور قوی مقطع را محور ۳ و محور ضعیف مقطع را محور ۲ می‌شناسد.

تیک Effective Length Factor (K Minor=K22) (ضریب طول موثر ستون در جهت مهاربندی) را نیز زده و مقدار ۱ را تایپ کنید.

مقدار Effective Length Factor (K Major=K33) (ضریب طول موثر ستون در جهت قاب خمشی) را وارد نمی‌کنیم تا در مرحله طراحی توسط برنامه محاسبه شود. (در حدود ۱ تا ۲/۲ است).

مقدار Moment Cofficient (Cm Minor=Cm22) (ضریب لنگر ستون در جهت مهاربندی) را وارد نمی‌کنیم تا در مرحله طراحی توسط برنامه محاسبه شود.

تیک Moment Cofficient (Cm Major=Cm33) (ضریب لنگر ستون در جهت قاب خمشی) را نیز زده و مقدار ۰/۸۵ را تایپ کنید.

**نکته:** اگر در مقابل پارامترهای آیین‌نامه‌ای عدد صفر را وارد نمائید، برنامه در زمان طراحی از مقادیر پیش‌فرض استفاده می‌کند (مانند محاسبه K، $\mathbf{C_m}$ و ... ) یا در صورت نیاز، خودش محاسبه می‌کند (مانند محاسبه تنش‌های مجاز).

## ۶-۵- تنظیم پارامترهای طراحی تیرها در سیستم قاب خمشی (تیرهای جهت X)

کلیه‌ی تیرهای جهت X را انتخاب کنید (BeamX). سپس دستورDesign-Steel Frame Design-View/Revise Overwrites را اجرا و در پنجره‌ی ظاهر شده:

۱- تیک Frame Type را زده و گزینه‌ی Braced Frame را انتخاب کنید. تیک Unbraced Length Ratio (Minor,LTB) (نسبت طول مهار نشده تیرها) را نیز زده و یک مقدار کوچک (۰/۰۱) را تایپ کنید. وارد کردن مقدار صفر به معنی استفاده برنامه از مقدار پیش‌فرض بوده که پیش‌فرض برنامه مقدار یک است که تیر را فاقد مهار جانبی در نظر می‌گیرد.

**نکته:** از آنجایی که تیرهای سازه در داخل بتن سقف مدفون هستند، می‌توان در طراحی آنها از کمانش جانبی صرف‌نظر نمود. یعنی می‌توان فرض نمود که این تیرها با اتکا جانبی هستند.

**توجه:** تیرهایی که به کف متصل نیستند و در واقع در بتن سقف مدفون نیستند به صورت مهار نشده بوده و نسبت طول مهار نشده آنها یک می‌باشد. یعنی در این پروژه تیر B4-C4 در تمامی طبقات به جزء تیر سقف خرپشته چنین شرایطی را داراست:

Unbraced Length Ratio (Minor,LTB)=1

۲- با توجه به این که مقاطع تیر فشرده هستند (به دلیل نورد شده (کارخانه‌ای) بودن آن‌ها) می‌توان به صورت دستی تنش مجاز خمشی حول محور اصلی ($F_{b33}$) را برابر $0.66F_y$ وارد نمود. اما در صورت استفاده از مقاطع لانه زنبوری در طراحی و همچنین در جهت اطمینان از $0.6F_y$ استفاده می‌کنیم. بدین منظور گزینه‌های Minor Bending Stress,Fb2 و Major Bending Stress,Fb3 را فعال و عدد $0.6F_y = 0.6 \times 2400e4 = 1440e4\ kg/m^2$ را وارد کنید. توجه شود از آنجایی که مقاطع سازه به صورت مقاطع عمومی معرفی کردیم برنامه آنها راغیر فشرده می‌شناسد و تنش مجاز خمشی را در صورتی که آنها را دستی تغییر ندهیم به طور خودکار $0.6F_y$ می‌شناسد.

۳- برای تعیین عدم وجود پیش خیز در تیرها گزینه Specified Camber را فعال نموده و مقدار صفر را وارد کنید (پیش فرض برنامه مقدار صفر می‌باشد).

## ۶-۶- تنظیم پارامترهای طراحی تیرها در سیستم قاب ساده (تیرهای جهت Y)

۱-کلیه‌ی تیرهای جهت Y را انتخاب کنید (BeamY). همچنین کلیه تیرهای دو سر مفصل سازه (حتی در جهت X) را انتخاب کنید. سپس دستورDesign-Steel Frame Design-View/Revise Overwrites را اجرا و در پنجره‌ی ظاهر شده تیک Frame Type را زده و گزینه‌ی Ordinary MRF را انتخاب کنید.

**نکته:** از آنجایی که تیرهای دو سر مفصل نیروی زلزله‌ای را نمی‌گیرند پس نوع (Ordinary MRF) را برای آنها انتخاب می‌کنیم. چون برای قاب‌های معمولی، طرح لرزه‌ای توسط برنامه انجام نمی‌گیرد و مقاطع تیرهای جهت Y اقتصادی می‌شوند.

۲- در ضمن مثل تیرهای جهت X، تیرهای جهت Y سازه نیز در داخل بتن سقف مدفون هستند، که می‌توان در طراحی آنها از کمانش جانبی صرف‌نظر نمود. یعنی می‌توان فرض نمود که این تیرها با اتکا جانبی هستند. اما در مورد این تیرها نیازی به تغییر مقدار Unbraced Length Ratio (Minor,LTB) نیست، چون این تیرها اصلاً نیروی زلزله‌ای نمی‌گیرند. هر چند که می‌توان ضریب ۰/۰۱ را به آنها هم اختصاص داد.

۳- گزینه‌های Minor Bending Stress,Fb2 و Major Bending Stress,Fb3 را فعال و عدد $0.6F_y = 0.6 \times 2400e4 =$ $1440e4\ kg/m^2$ را وارد کنید.

## ۶-۷- تنظیم پارامترهای طراحی مهاربندها

کلیه‌ی بادبندهای سازه را انتخاب کنید (Brace). سپس دستورDesign-Steel Frame Design-View/Revise Overwrites را اجرا و در پنجره‌ی ظاهر شده تیک Frame Type را زده و گزینه‌ی Braced Frame را انتخاب کنید. تیک Unbraced Length Ratio (Major) (نسبت طول مهار نشده تیرها) را نیز زده و مقدار ۰/۵ و تیک Unbraced Length Ratio (Minor,LTB) (نسبت طول مهار نشده تیرها) را نیز زده و مقدار ۰/۷ را تایپ کنید.

**توجه:** طبق بند ۱۰-۳-۹-۲-۳-۲ مبحث دهم(ص ۳۹۲)، در صورتی که در محل تقاطع بادبندهای ضربدری اتصال کافی وجود داشته باشد، ضریب طول موثراعضاء بادبند در صفحه مهاربندی برابر ۰/۵ و در جهت عمود بر صفحه مهاربندی برابر ۰/۷ است.

## ۶-۸- شروع طراحی ساختمان

با اجرای دستور Design-Steel Frame Design-Start Design/Check Of Structure طراحی ساختمان را شروع کنید.

پس از پایان طراحی در صورتی که مقاطع تعریف شده در لیست انتخاب خودکار ضعیف باشد و برنامه به مقاطع بزرگتری نیاز داشته باشد، پیغامی مبنی بر اینکه نسبت نیرو به ظرفیت برای n مقطع از یک بیشتر شده را نمایش می‌دهد و از کاربر می‌پرسد که آیا می‌خواهید آنها را برای شما انتخاب کنم یا خیر، که انتخاب کردن یا نکردن آنها فرقی برای ما ندارد فلذا بر روی دکمه‌ی NO کلیک می‌کنیم. پس از آن برنامه نام مقاطع انتخابی کل سازه را به همراه کانتور رنگیشان نمایش می‌دهد. این n مقطع با رنگ قرمز نمایش داده می‌شوند.

پس از طراحی سازه برای دیدن نتایج طراحی باید ابتدا گزینه‌های Design Output را بشناسیم:

۱- P-M Ratio Colors & Values

نسبت نیروی محوری و خمشی بحرانی به ظرفیت را برای تیرها، ستون‌ها و بادبندها نمایش می‌دهد.

با عملیات سعی و خطا باید مقاطع نهایی تیرها، ستون‌ها و بادبندها را طبق گام‌های زیر تعیین کرد.

**توجه:** ابتدا برای اینکه متوجه شویم تعداد ۱۰ تکرار برای یکسان شدن نتایج تحلیل و طراحی کافی بوده است دستور Design-Steel Frame Design-Verify Analysis vs Design section را اجرا باید کرد.

### گام۱- کنترل و بررسی انتخاب مقطع مهاربندها توسط برنامه

توجه: برنامه Etabs در طراحی مقطع مهاربندها ضعف دارد. اگر مقاطع بادبندی را (که در این پروژه دوبل ناودانی و فشرده است) General معرفی کنیم شکل هندسی آن را برنامه نمی‌شناسد فلذا پیغام غیرفشردگی می‌دهد (با راست کلیک کردن و کلیک بر روی Details این پیغام قابل مشاهده است). آیین‌نامه UBC می‌گوید که این مقاطع باید فشرده باشند به همین ترتیب برنامه مقطع اول (ضعیف‌تر) را اختصاص داده و سپس آن را حذف و به همین ترتیب سایر مقاطع بادبندی را تا بالاترین مقطع اختصاص می‌دهد. از این جهت مقاطع بادبندی غیر اقتصادی هستند.

اولین گام بعد طراحی، اصلاح بادبندها می‌باشد. برای این کار ابتدا کلیه بادبندهای سازه را انتخاب و سپس دستور Design-Steel Frame Design-Make Auto Select Section Null را اجرا کنید تا عمل انتخاب خودکار مقاطع بادبندی توسط برنامه خاموش گردد و کاربر بتواند به طور دستی آنها را تغییر دهد. پس از اجرای این دستور برنامه پیغامی می‌دهد مبنی بر اینکه آیا می‌خواهید عمل انتخاب خودکار برای این اعضاء خاموش گردد یا خیر که ما بر روی دکمه OK باید کلیک کنیم.

با راست کلیک کردن روی هر عضو یا با انتخاب کلیه مقاطع و اجرای دستور Design-Steel Frame Design-Change Design Section مقاطع جدید را اختصاص می‌دهیم. پس از چند بار سعی و خطا مقاطع نهایی انتخاب خواهند شد.

**توجه:** از آنجایی که مقاطع تحلیل و طراحی باید یکسان باشد، پس از اختصاص مقاطع جدید باید مجدداً سازه را تحلیل و سپس طراحی کنید.

### گام ۲- کنترل و بررسی مشکل ستون‌های متصل به مهاربندها در طبقه همکف و رفع مشکل آن‌ها

ستون‌های متصل به بادبند معمولاً تحت کشش و فشار زیادی در اثر وجود بادبندها قرار می‌گیرند به طوری که نسبت نیرو به ظرفیت این ستون‌ها نسبت به سایر ستون‌ها به طور غیرعادی بالا می‌باشد. با راست کلیک کردن بر روی این ستون‌ها پس از طراحی سازه، عبارت Special Combo مشاهده می‌شود که بیانگر همین موضوع است. برای رفع این مشکل یا می‌توان مقطع این ستون‌ها را یا خیلی بالا گرفت که این گزینه غیر اقتصادی (هم برای خود ستون و هم برای فونداسیون) است. یا می‌توان فقط دو عدد بادبند در دو سمت بادبند موجود در طبقه همکف قرار داد. پس از رفع این مشکل عبارت Special Combo ناپدید خواهد شد.

برای اختصاص بادبندها، ابتدا باید قفل برنامه را شکسته و مقطع بادبندها را ترسیم و سپس پارامترهای طراحی بادبند (طبق بند ۶-۷) را در مورد این بادبندهای جدید تکرار کرد.

**توجه:** اگر این مشکل پس از اضافه کردن بادبندهای جدید در طبقه همکف حل نشد، آنگاه می‌توان بادبندهای جدید را تا طبقات بالاتر ادامه داد.

**نکته کلی ۱:** اگر مقاطع تیرهای یا ستون‌های موجود در سازه، جوابگو نبود، می‌توان پس از شکستن قفل برنامه، با اضافه کردن مقاطع جدید به لیست انتخاب خودکار تیرها و ستون‌ها سازه را مجدداً تحلیل و طراحی کرد. یا اینکه کلیه اعضاء را از حالت انتخاب خودکار خارج و سپس مقاطع ضعیف را به طور دستی تغییر داد.

**نکته کلی ۲:** برنامه اجرایی بودن مقطع ستون‌ها را تشخیص نمی‌دهد، مثلاً این تشخیص را ندارد که نمی‌توان مقطع بزرگتر را روی مقطع کوچکتر اجرا کرد. پس این کنترل با کاربر است.

**نکته کلی ۳:** اجرای دوبل ستون‌هایی که دارای تسمه هستند بر روی دوبل ستون‌هایی که ورق تقویتی سراسری دارند، اشکالی ندارد.

**نکته کلی ۴:** تا حد امکان بهتر است مقاطع را متقارن طراحی کرد تا جوشکار در اجرا دچار مشکل نشود.

### گام ۳- کنترل خیز تیرها

طبق بند ۱۰-۱-۱۲-۳ مبحث دهم، خیز حداکثر تیرها تحت بار زنده (LIVE)، برابر $L/360$ و تحت بار مرده و زنده (DEAD+LIVE) برابر $L/240$ است.

برای این کنترل دستور Display-Show Member Forces/Stress Diagram-Frame/Pier/Spandrel Forces را اجرا و در قسمت Component نیروی برشی در امتداد محور محلی ۲ (Shear 2-2) را انتخاب و بر روی دکمه‌ی OK کلیک کنید. حال با کلیک راست روی هر تیر، پنجره‌ای شامل نمودارهای بارگذاری، برش، لنگر و تغییرات خیز در طول تیر نمایش داده می‌شود. توجه شود که چون مقطع تیرها در هر طبقه ثابت است، در هر طبقه فقط تیرهای بحرانی را بررسی می‌کنیم. چون اگر آنها جوابگو بودند سایر تیرها حتماً جوابگو خواهند بود.

۲- P-M Colors/Beam Shear Force

با این گزینه برش موجود برای طراحی اتصالات تیرها را می‌توان به دست آورد.مقدار نیروی برشی تیرها را را در تکیه‌گاه (در اینجا در آکس ستون منظور است، چون ضریب ۰/۵ را برای ناحیه صلب انتهایی در ستون‌ها تخصیص ندادیم) نمایش می‌دهد.

۳- P-M Colors/Brace Axial Force

با این گزینه نیروی محوری موجود برای طراحی اتصالات بادبندها را می‌توان به دست آورد. مقدار نیروی محوری بادبندها را نمایش می‌دهد.