

به نام یکتای بی همتا

جزوه آموزشی تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه ها توسط

نرم افزار ETABS 2000

تهیه و گردآوری: علی سعدائی جهرمی

زیر نظر: دکتر ناصر اسدی

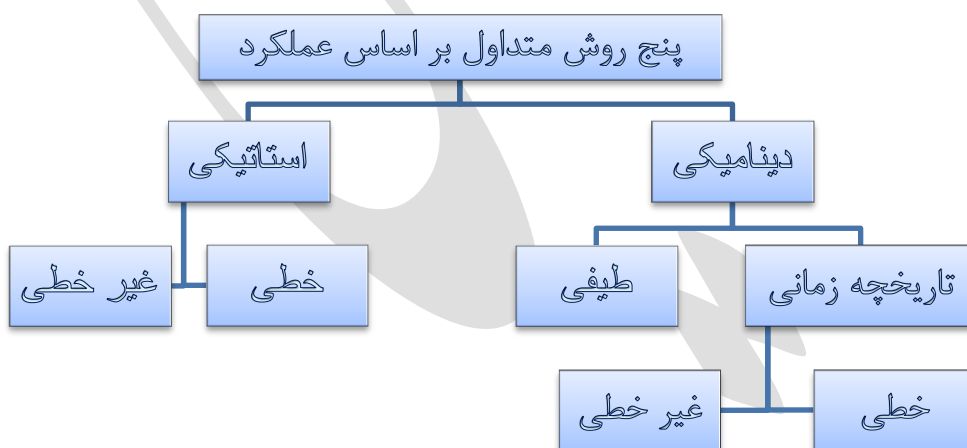


۱. مقدمه

در بحث تحلیل سازه ها اولین قدم برای شروع آنالیز یک سازه، بارهای وارده به آن می باشد که در یک طبقه-بندی کلی این بارها به سه دسته بارهای ثقلی و بارهای جانبی و بارهای ضربه ای تقسیم می شوند. از نمونه بارهای ثقلی می توان به بارهای مرده، زنده، بار برف و ... و از نمونه بارهای جانبی می توان به بارهای زلزله و باد و همچنین از نمونه بارهای ضربه ای می توان به بارهای انفجاری و آسانسور اشاره نمود. با توجه به این دسته بندی، از یک سازه انتظار می رود که علاوه بر تحمل بارهای ثقلی توانایی تحمل بارهای جانبی و پایداری در برابر آنها را نیز داشته باشد که البته در رابطه با کیفیت و میزان پایداری و دوام سازه در برابر این شرایط باید اهمیت سازه و بحث اقتصادی را با علم مهندسی تلفیق نمود تا طرح به مهندسی ترین و در نتیجه بهینه ترین طراحی منجر شود. در این دستورالعمل آموزشی فقط به بررسی نحوه تحلیل خطی پرداخته می شود.

۲. بررسی بارهای جانبی

پنج روش متداول برای طراحی در برابر بار جانبی در آیین نامه های معتبر طراحی موجود است که همه این پنج روش یا به طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر مبنای سطح عملکرد پی ریزی شده اند. این پنج روش به دو دسته کلی استاتیکی و دینامیکی تقسیم می شوند. این تقسیم بندی به نحوه بارگذاری سازه به ویژه تحت بار جانبی برمی گردد. سه روش استاتیکی خطی، استاتیکی غیرخطی، روش طیفی بطور مستقیم و دو روش تاریخچه زمانی خطی و تاریخچه زمانی غیرخطی بصورت غیر مستقیم بر مبنای طیف طرح استوار بوده و این طیف ناشی از ساده سازی چندین رکورد واقعی زلزله است. به عبارتی همه روشهای تحلیلی سازه با اندکی ساده سازی در فرضیات بر گرفته از اعمال واقعی حرکت زمین بوده و که متناسب با اهمیت پروژه مورد تحلیل قرار می گیرد.



شکل ۱- انواع روشهای تحلیل سازه

در علم مهندسی عمران با توجه به اینکه بارهای اعمالی به هیچ وجه بصورت مطلق وارد نمی شوند و میزان بارهای وارده کاملاً احتمالاتی می باشند بنابراین در نحوه اعمال و آنالیز آنها، روشهای متفاوتی وجود دارد که در زیر هر کدام از روشها به اختصار توضیح داده شده است:

۱-۲. تحلیل استاتیکی

تحلیل استاتیکی معادل که به اختصار تحلیل استاتیکی نامیده می شود، تنها با در نظر گرفتن مد اول سازه، روش ساده و قابل قبولی را ارائه کرده است. که شرح آن در این دستورالعمل مطابق بر آیین نامه ۲۸۰۰ است.

۲-۲. تحلیل دینامیکی

تحلیل دینامیکی دو روش متداول تحلیل طیفی و تحلیل تاریخچه زمانی است. در این دستورالعمل بر هر دوی روشهای تحلیل طیفی و تاریخچه زمانی در حیطه خطی پرداخته می شود.

بر اساس بند ۲-۲-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ تحلیل استاتیکی معادل دارای محدودیت زیر است:

الف) ساختمان های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه

ب) ساختمان های نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه

پ) ساختمان هایی که در آنها سختی جانبی قسمت فوقانی بطور قابل ملاحظه ای کمتر از سختی جانبی قسمت تحتانی است

و برای سازه هایی که مشمول این بند نشوند استفاده از تحلیلی غیر از تحلیل دینامیکی استاتیکی معادل الزامی است. پس باید نحوه انجام تحلیل دینامیکی (چه طیفی و چه تاریخچه زمانی) آموخته شود.

روش استاتیکی معادل

در این روش برش پایه وارد بر سازه در اثر بار زلزله محاسبه شده و نیروی برشی وارد بر طبقات بر حسب درصدی از برشی پایه کل محاسبه و در تراز سقف طبقه در مرکز جرم وارد می گردد و سازه تحت این بارگذاری تحلیل می شود.

برش پایه طبقات از رابطه ی ساده شده ی $V = CW$ محاسبه می شود که در آن:

W : وزن موثر سازه که برابر با بار مرده به علاوه درصدی از بار زنده می باشد. میزان مشارکت بار زنده بر اساس جدول شماره ی ۱ از آیین نامه بارگذاری در ساختمان های مسکونی برابر با ۲۰٪ در نظر گرفته شده است.

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

$$\begin{cases} B = (1+S)(T/T_0) & 0 \leq T \leq T_0 \\ B = 1+S & T_0 \leq T \leq T_s \\ B = (1+S)(T_s/T)^{2/3} & T \geq T_s \end{cases}$$

C : ضریب برش پایه که عبارتست از:

A : نسبت شتاب مبنای طرح سازه

B : ضریب بازتاب که بر اساس روابط زیر به دست می آید.

مقدار T_s بر اساس جدول ۳ آیین نامه زلزله بدست می آید.

نوع زمین	T_0	T_s	خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
I	0.1	0.4	1.5
II	0.1	0.5	1.5
III	0.15	0.7	1.75
IV	0.15	1.0	1.75

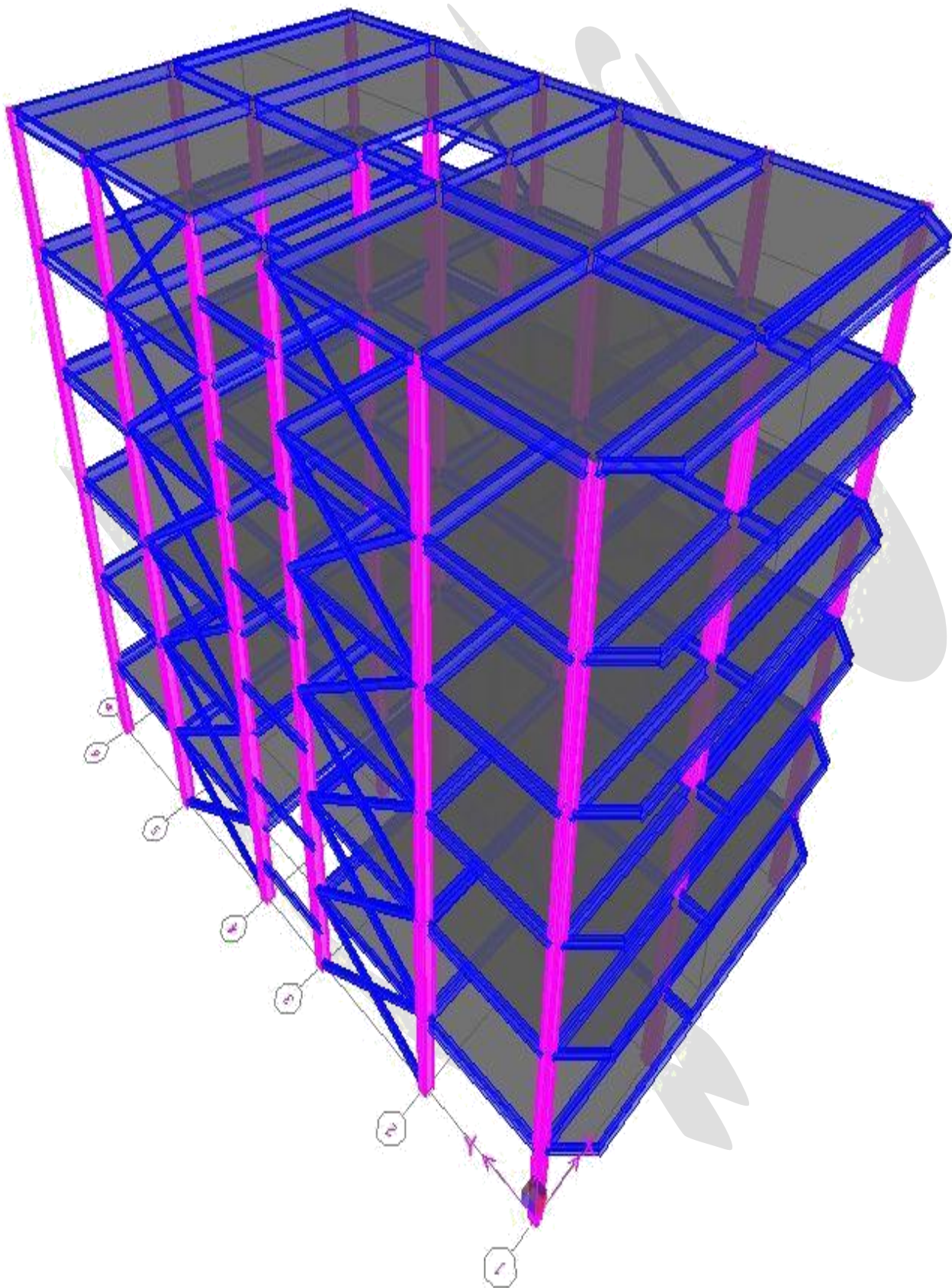
I : ضریب اهمیت ساختمان که برای ساختمانهای مسکونی و اداری برابر با یک می باشد.

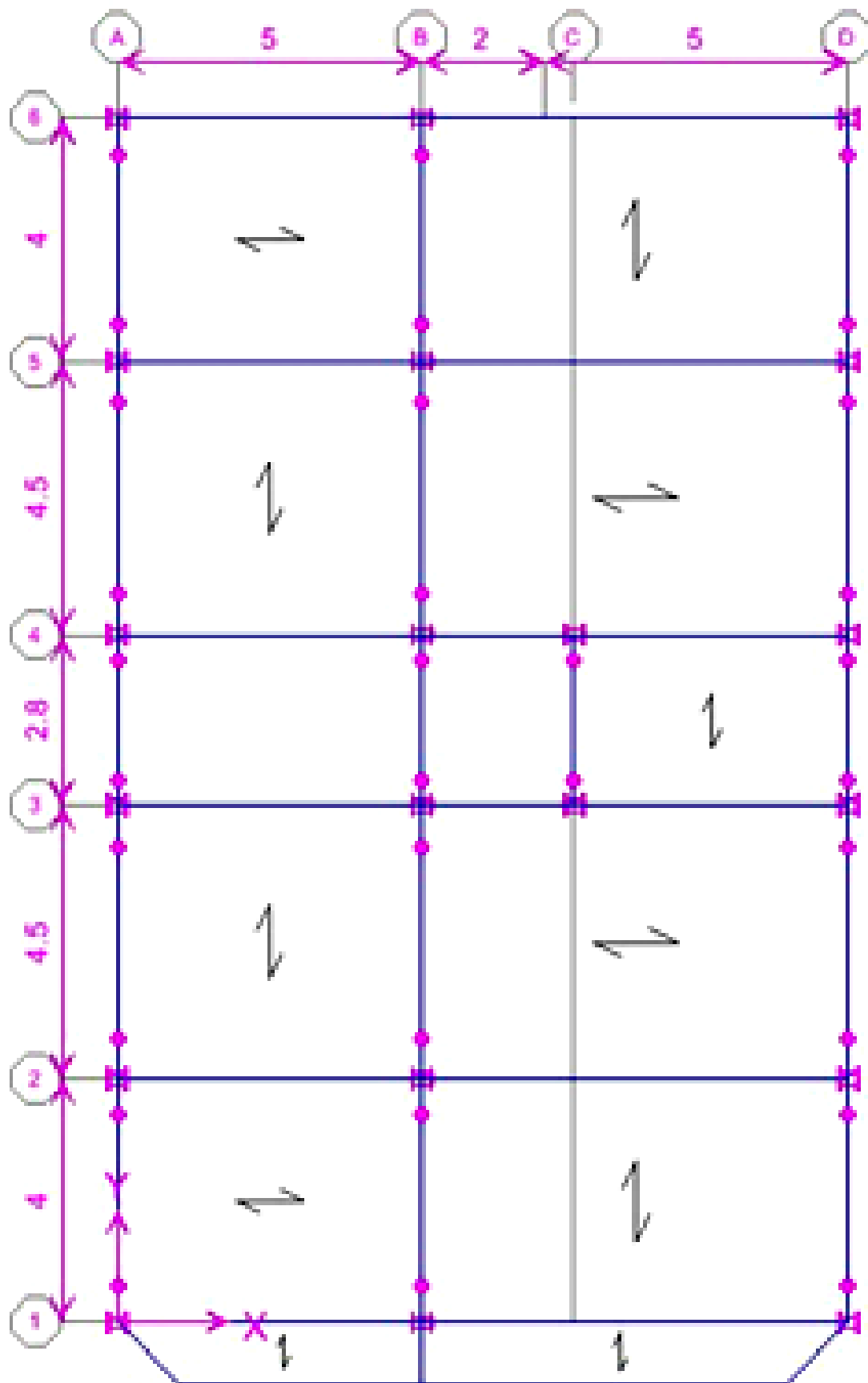
R : ضریب رفتار سازه.

۳. مدل سازی کامپیوتری

برای تحلیل یک سازه چند درجه آزادی، به خاطر حجم محاسبات بالا، معمولاً از سیستم های کامپیوتری استفاده می شود. برای این کار باید سازه موجود را با جزئیات آن برای سیستم تحلیل گر، معرفی گردد که این معرفی طی گام های مشخصی انجام می شود.

در این دستورالعمل طبق فرضیات زیر سازه ای فولادی را به نرم افزار ETABS 2000 معرفی کرده و مراحل زیر برای انجام تحلیل استاتیکی و دینامیکی طی می شود.





فرضیات مورد استفاده در ادامه گزارش جهت مدلسازی، تحلیل و طراحی به شرح ذیل می باشد:

- ✓ ساختمان اسکلت فلزی مسکونی
- ✓ ۶ طبقه شامل ۱ طبقه پیلوت و ۵ طبقه روی آن
- ✓ ارتفاع پیلوت : ۲/۶ متر و ارتفاع طبقات مشابه ۳/۰ متر
- ✓ در جهت x قاب خمشی فولادی متوسط
- ✓ در جهت y قاب ساده دارای مهار بند هم محور فولادی
- ✓ محل احداث : شهر تهران با خطر زلزله خیزی خیلی زیاد
- ✓ خاک از نوع II

- ۱-۳. قدم نخست محاسبه ی نیروهای ثقلی سازه است. اعم از وزن خود سازه و بارهایی که بعد از ساخت به آن وارد خواهد شد. که این امر با توجه به نقشه های دیتیل موجود انجام می شود.
- ۲-۳. شروع مدل سازی با مشخص کردن ابعاد پلان، تعداد طبقات و ارتفاع کلی سازه، که در این گزارش یک ساختمان ۶ طبقه فولادی مد نظر است.
- ۳-۳. بعد از مشخصات کلی سازه باید ویژگی های مصالح مورد استفاده را برای نرم افزار تعریف کرد.

Define >> Materials Properties... >> Add new Material...

مشخصات مصالح بتنی

$$\gamma_c (\text{Weight Per Unit Volume}) = 250 \text{ Kg/cm}^3$$

$$F_c' (\text{Yeilding Stress}) = 210 \text{ Kg/cm}^2 \cong 21 \text{ Mpa}$$

$$E_c (\text{Modulas of Elasticity}) = 15100 \sqrt{f_c'} \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 4700 \sqrt{f_c'} \text{ Mpa} = 21538 \text{ Kg/cm}^2$$

مشخصات مصالح فولادی

$$\gamma_s (\text{Weight Per Unit Volume}) = 7850 \text{ Kg/cm}^3$$

$$E_s (\text{Modulas of Elasticity}) = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

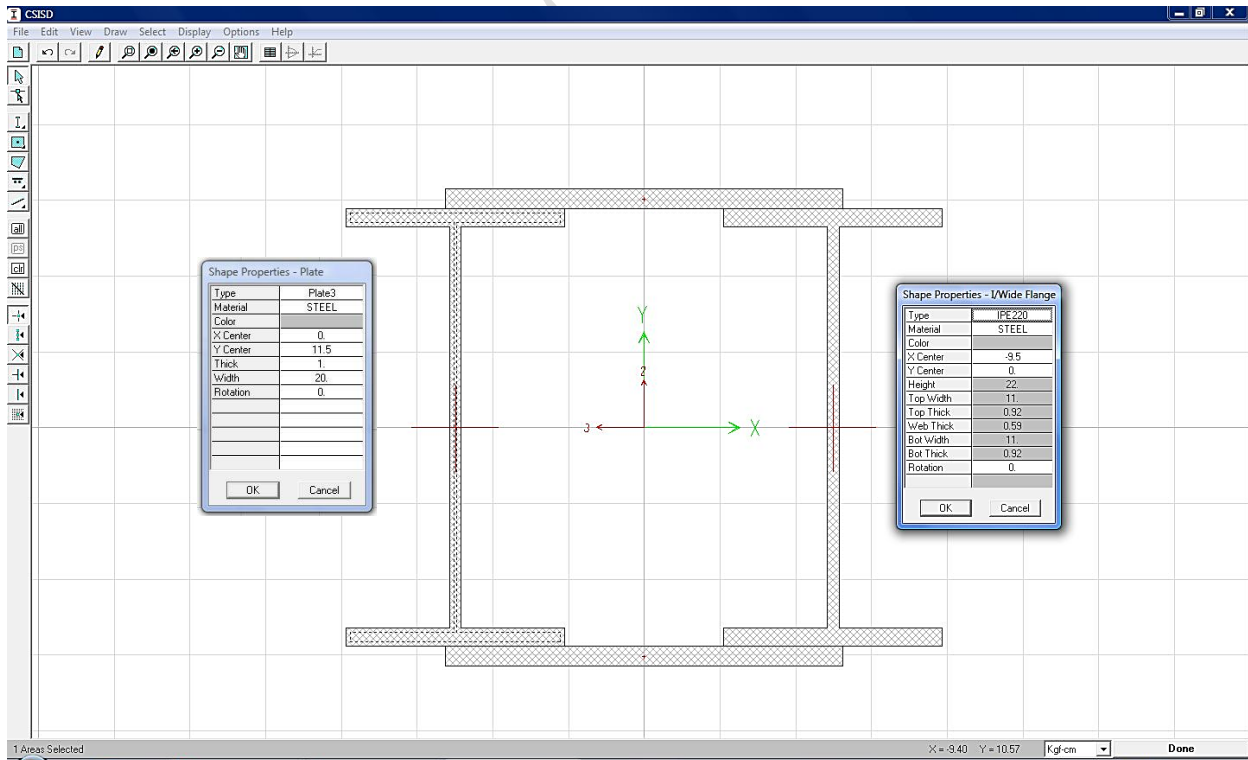
$$F_y (\text{Yeilding Stress}) = 2400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_u (\text{Ultimate Stress}) = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

- ۴-۳. حال مقاطع تیر و ستون و بادبند به همراه سیستم سقف به نرم افزار معرفی می شود. در صورتی که مقاطع پروفیل موجود باشد از استاندارد Eroue.pro استفاده می شود و در غیر این صورت توسط Section Designer مقاطع جدید تعریف می شود.

Define >> Frame Sections... >> Import ... \longrightarrow Select You Standard
OR

Define >> Frame Sections... >> Add SD Section



۳-۵. در این گام نخست باید به تعریف انواع بارهای اعمالی به سازه پرداخت و بعد از آن ترکیبات بارگذاری را بر اساس آیین نامه برای نرم افزار تعریف کرد.

Define >> Static Load Cases...

محاسبه نیروی زلزله:

$A = 0.35$ \Rightarrow ساختمان در تهران (خطرپذیری زیاد) بنا می شود

$I = 1$ \Rightarrow ساختمان مسکونی می باشد

$R_x = 7$ \Rightarrow سیستم قاب خمشی فولادی متوسط

$R_y = 6$ \Rightarrow سیستم قاب با مهار بندی هم محور

خاک از نوع دو (II) و منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد می باشد: $T_0 = 0.1$, $T_S = 0.5$, $S = 1.5$

نکته: به دلیل آنکه وزن خرپشته از ۲۵٪ وزن بام کمتر است ، ارتفاع آن در ارتفاع کل محسوب نمی گردد.

$$H = 2.6 + 5 \times 3 = 17.6^m \cong 18^m$$

نیازی به تحلیل دینامیکی نیست.

$$T_x = 0.08H^{3/4} = 0.08 \times (17.6)^{3/4} = 0.687^s$$

قاب مهاربند

$$T_y = 0.05H^{3/4} = 0.05 \times (17.6)^{3/4} = 0.429^s$$

قاب خمشی

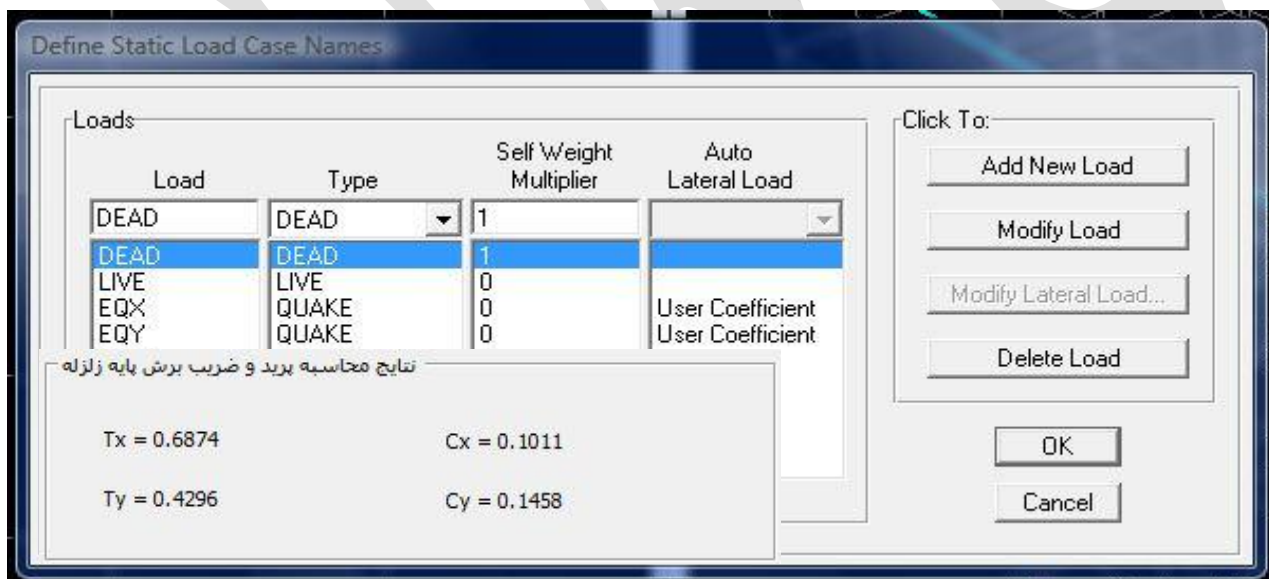
چون مقادیر T در هر دو راستا از مقدار 0.7 کمتر بدست آمد پس نیازی به محاسبه و اعمال نیروی شلاقی نیست.

$$B_x = (1 + 1.5) \times (0.5 / 0.687)^{2/3} = 2.023 \rightarrow C_x = \frac{0.35 \times 2.023 \times 1.0}{7} = 0.10115 \rightarrow \text{قاب خمشی}$$

$$B_y = 1 + 1.5 = 2.5 \rightarrow C_y = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1.0}{6} = 0.1458 \rightarrow \text{قاب مهاربندی}$$

تعریف بارهای وارده

Define >> Static Load Cases...

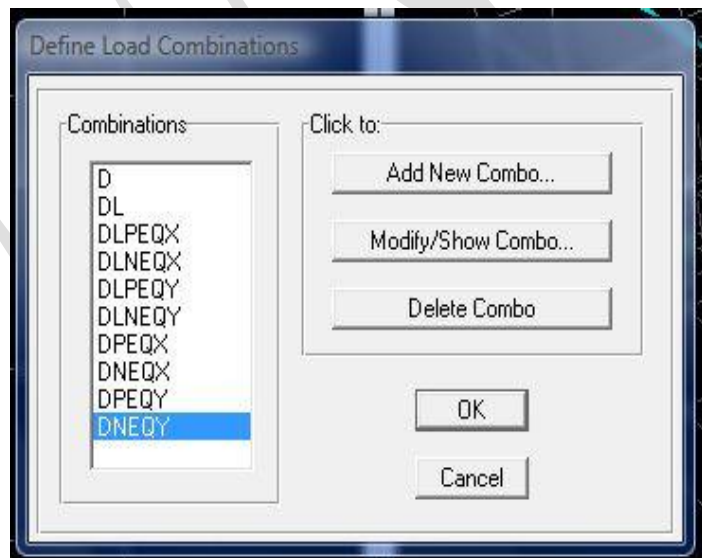
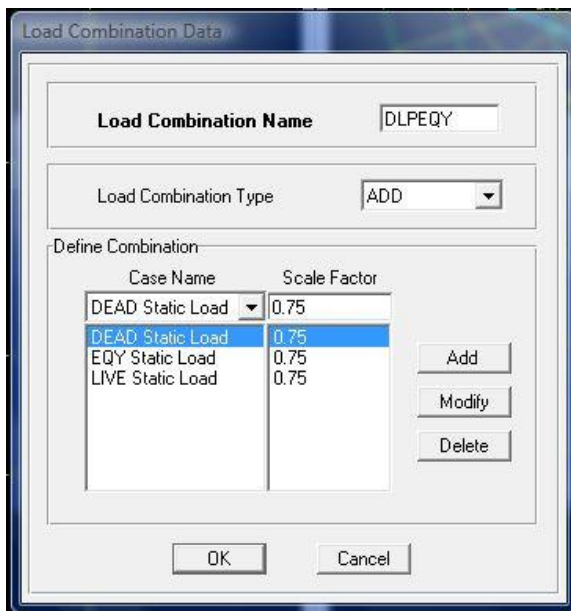


تعریف ترکیبات بارگذاری

ترکیبات بارگذاری طبق آیین نامه AISC که برای سازه های فولادی در نظر گرفته می شود به قرار زیر است:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 6) $0.75(D+L-E_y)$ | 1) D |
| 7) $0.75(D+E_x)$ | 2) D+L |
| 8) $0.75(D-E_x)$ | 3) $0.75(D+L+E_x)$ |
| 9) $0.75(D+E_y)$ | 4) $0.75(D+L-E_x)$ |
| 10) $0.75(D-E_y)$ | 5) $0.75(D+L+E_y)$ |

Define >> Load Combinations...

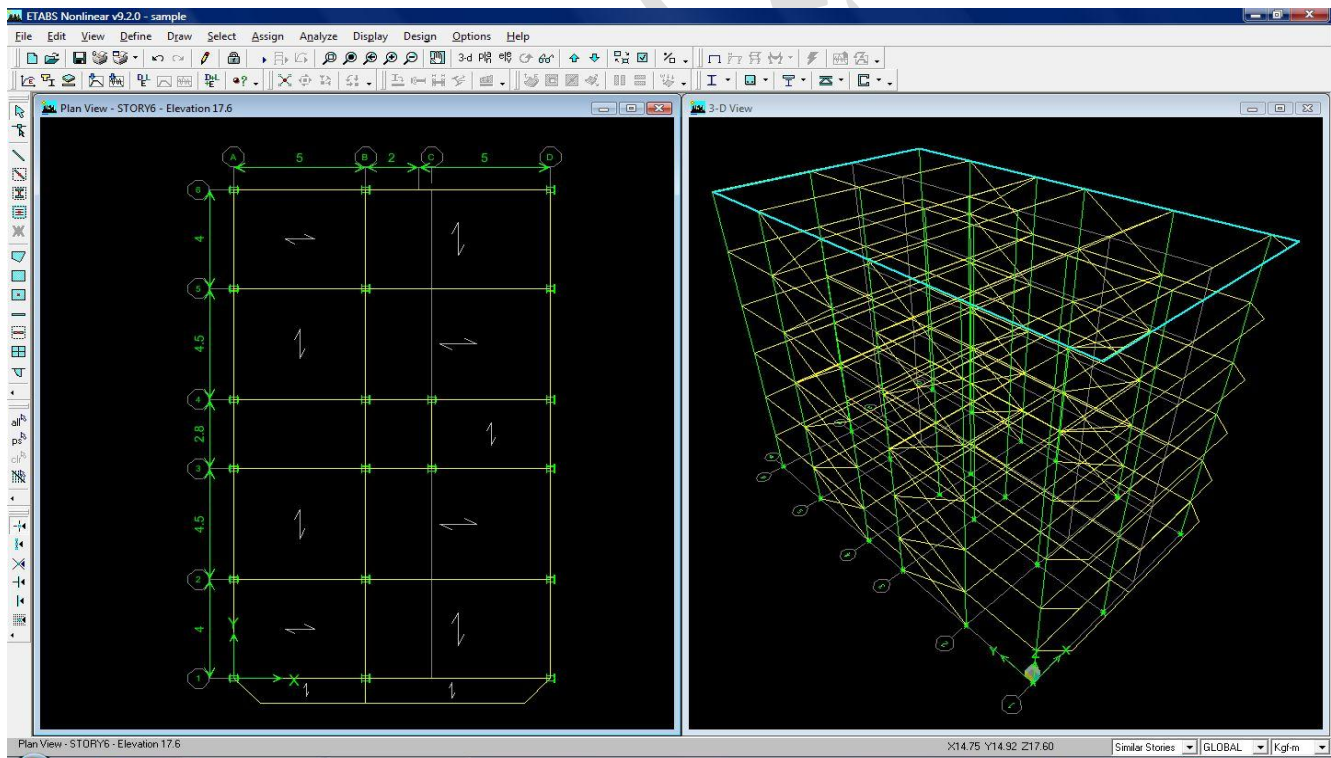


۴- در این گام نحوه محاسبه جرم سازه برای انجام محاسبات دینامیکی به شرح زیر تعریف می شود.

Define >> Mass Source... → Dead + 0.2Live

۵- حال نوبت به ترسیم شماتیک سازه می رسد پس تیرها، ستون ها و سپس بادبندها و سیستم سقف متناسب با جهت تیرریزی یا دال ترسیم می شود.

۶- اکنون می توان اصلاحاتی که لازم است را در هندسه سازه داد. این اصلاحات می تواند شامل جابجایی تیر پاگرد یا هر چیز دیگری باشد.



۷- با توجه به سیستم سازه ای ساختمان مشخصات نقاط تکیه گاهی تنظیم می شود:

Select all joints/points of base level...

Assign >> Joint/point >> Restraints
(Supports)...

در راستای قاب خمشی << گیردار

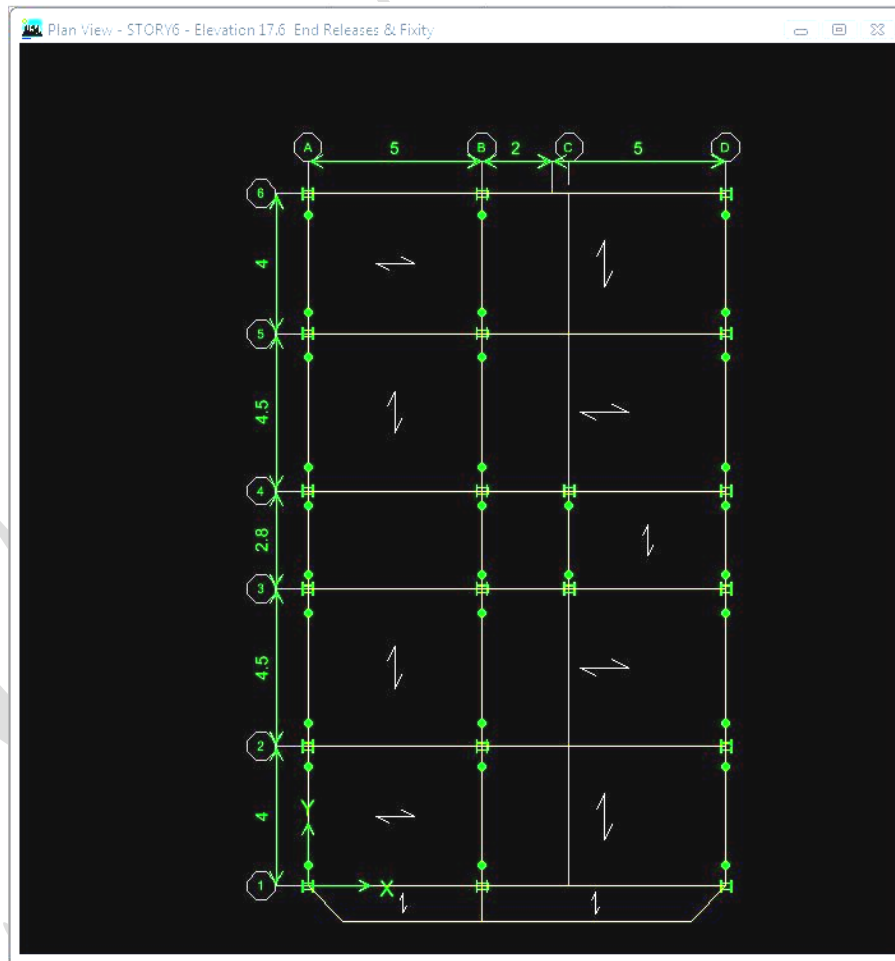
در راستای مهاربندی << مفصلی



۸- با توجه به اینکه سازه مفروض در راستای Y مفصلی تنهاست در نتیجه باید تیرهای آن راستا را بصورت دو سر مفصل به نرم افزار تعریف نمود.

Select all beams in Y direction

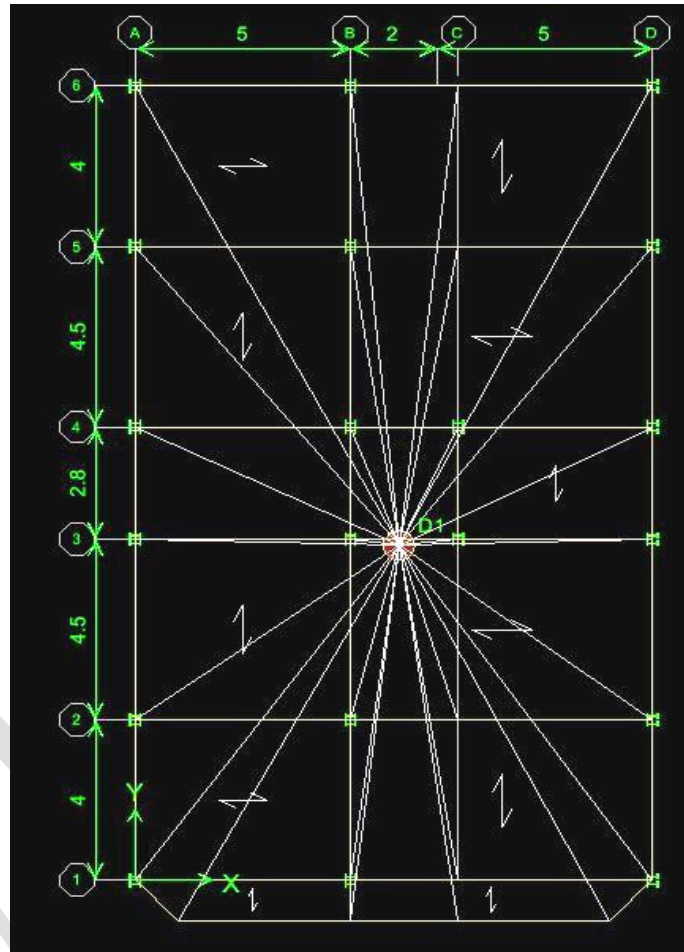
Assign >> Frame/Line >> Frame releases/Partial Fixity...



۹- اختصاص دیافراگم صلب: یکی از امکانات بسیار خوب نرم افزار Etabs امکان اختصاص دیافراگم برای سیستم سقف جهت تعیین مرکز جرم برای اعمال نیروهای جانبی دینامیکی است که این کار به راحتی به صورت زیر انجام خواهد شد.

Select all elements(Beam and slab/shell) of each stories...

Assign >> Shell/Area >> Diaphragms...



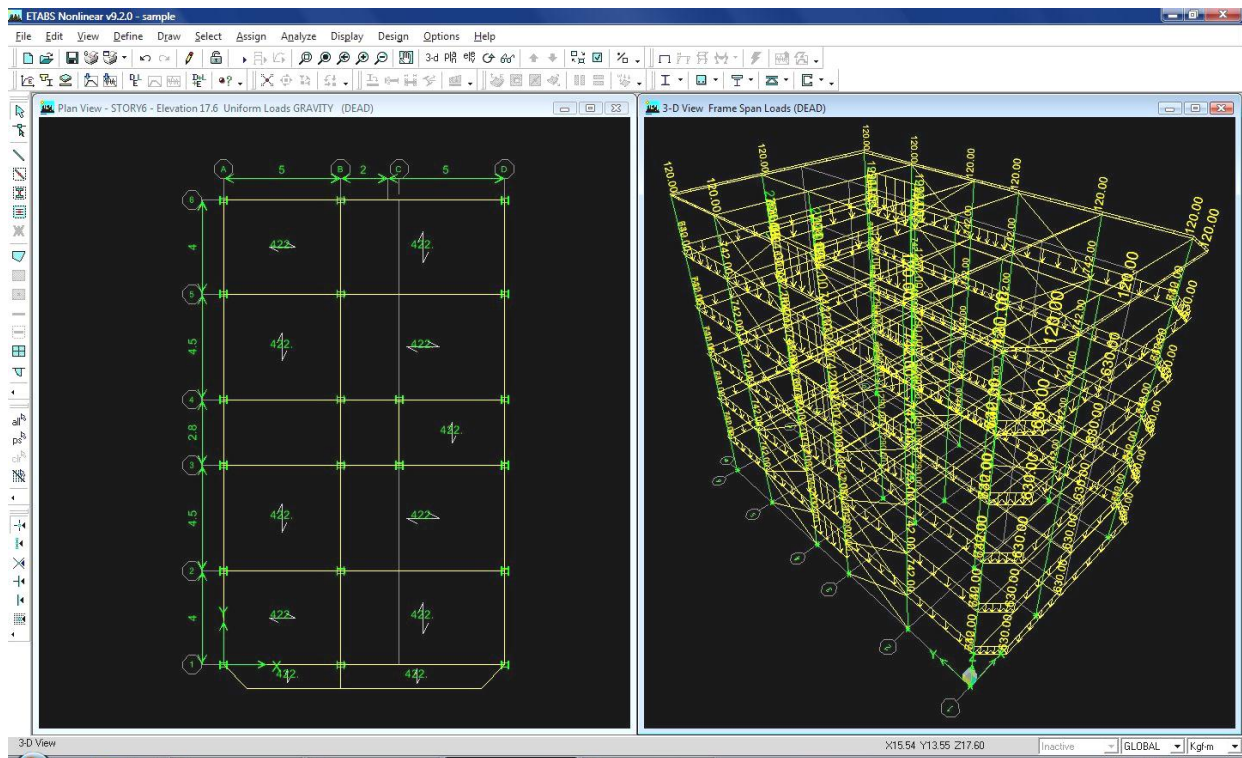
۱۰- در انتها کافی است بارهای وارد بر سازه را به دقت به سازه اعمال نمود. به جرأت می توان گفت مهم ترین بخش مدلسازی یک سازه بخش بار گذاری آن می باشد.

For Point load on joint such as Lift → Select points → Assign >> Joint/Point Load >> Forces...

For Point load on frame such as heavy things → Select points → Assign >> Frame/Line Load >> Point...

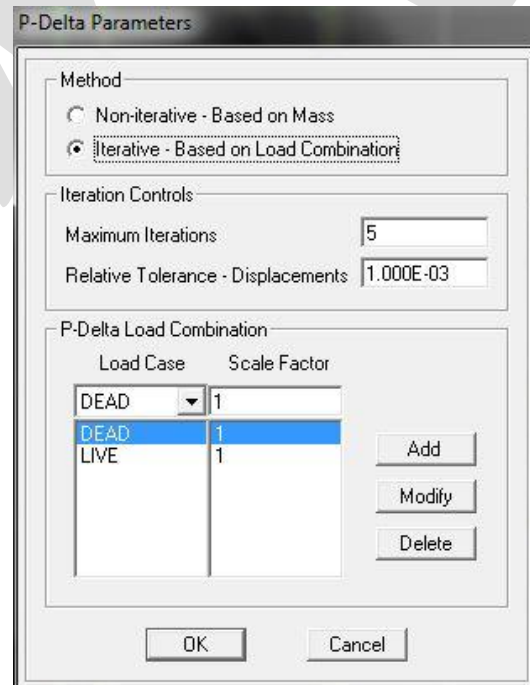
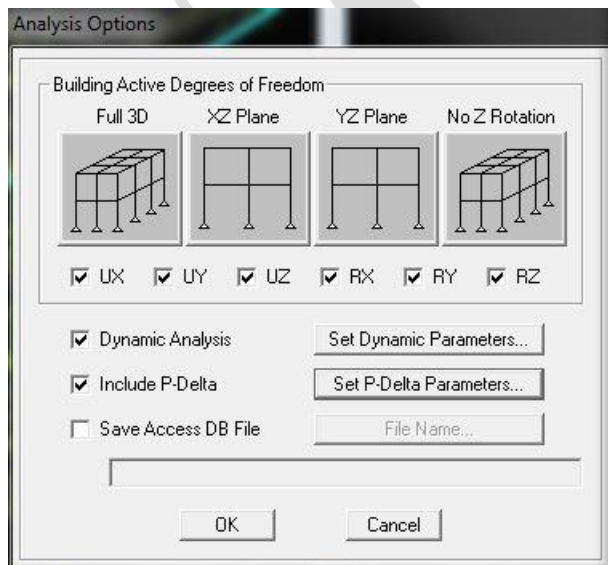
For spread load on frame such as external walls load → Select elements → Assign >> Frame/Line Load >> Distributed...

For spread load on slab/shell such as partition load → Select Slab/Shell → Assign >> Shell/Area Load >> Uniform...



۱۱- بعد از کنترل بارگذاری باید جزئیات مربوط به تحلیل سازه را تنظیم کرد که شامل کنترل کلی مدل و تنظیم پارامترهای مربوط به p-delta می شود.

Analyze >> Set analysis options...



در نهایت بعد از این تنظیمات می توان پروسه تحلیل را انجام داد. طبق بند آیین نامه هرگاه شرایط استفاده از تحلیل استاتیکی معادل کافی نباشد استفاده از یکی از روشهای تحلیلی دینامیکی دیگر الزامی است.

روش تحلیل طیفی

طیف تحلیل دینامیکی بر اساس میانگین گیری از پاسخ حداکثر سازه‌ی یک درجه آزاد و برای میرایی ۵٪ تحت شتاب نگاشت‌های مختلف برای گستره‌ای از پریودها بدست آمده است.

انواع طیف‌های موجود عبارتند از:

الف) طیف طرح استاندارد: این طیف منعکس کننده اثر حرکت زمین برای طیف در آیین‌نامه است که از حاصلضرب مقادیر بازتاب ساختمان B در پارامترهای نسبت شتاب مبنای A، ضریب اهمیت I و عکس ضریب رفتار R^{-1} و با در نظر گرفتن میرایی ۵٪ بدست می آید.

ب) طیف طرح ویژه ساختگاه: این طیف با استفاده از مشخصات زلزله‌های منطقه ساختگاه و با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی، لرزه‌شناسی، میزان خطرپذیری و مشخصات خاک در لایه‌های مختلف ساختگاه و یا با به-کارگیری نسبت میرایی ۵٪ تعیین می‌گردد.

برای تحلیل به این شیوه، دو راه موجود است :

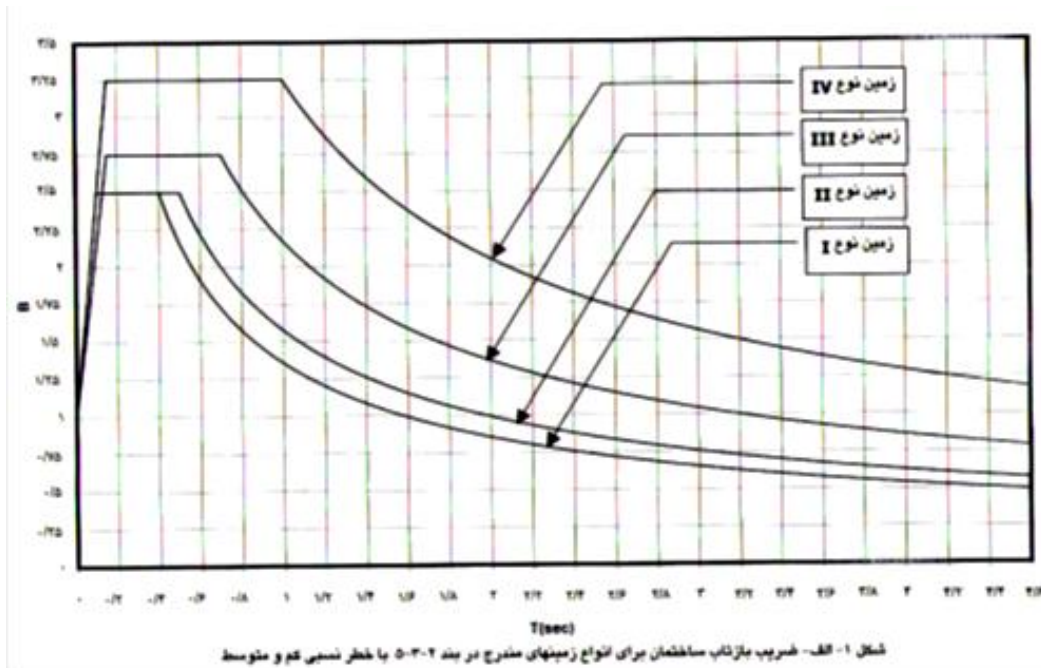
۱) از طیف طرح آیین نامه استفاده کرد.

۲) با استفاده از چند شتابنگاشت طیف پاسخ آنها را رسم کرد به شرطی که در بازه زمانی بین 0.2T تا 1.5T طیف پاسخ میانگین شتاب نگاشت‌ها از ۱,۴ برابر طیف آیین نامه کمتر نباشند.

قدم اول پس از مدلسازی سازه تعریف طیف به نرم افزار می باشد که برای این کار دو روش موجود است. در روش اول شکل طیف بصورت اعدادی که تابع پریود است در جدول از پیش آماده شده توسط نرم‌افزار بطور دستی وارد می‌گردد. روش دوم استفاده از قابلیت نرم‌افزار در فراخوانی فایل‌های نوشته شده بصورت فایل متنی (*.Txt) است. در ادامه از روش دوم بهره جسته شده است.

(روش اول) ➡➡ Define >> Response Spectrum Functions >> User Spectrum ...

(روش دوم) ➡➡ Define >> Response Spectrum Functions>> Spectrum from File ...



Response Spectrum Function Definition

Function Name: 2800

Function Damping Ratio: 0.05

Function File

File Name: c:\users\s110\desktop\111.txt

Header Lines to Skip: 0

Convert to User Defined View File

Values are:

☐ Frequency vs Value

☒ Period vs Value

Function Graph

Display Graph (3.534 , 0.9345)

OK Cancel

نحوه وارد کردن طیف آیین نامه

همانند تحلیل استاتیکی گام ۷ انواع بار (حالت های بارهای وارده) با ترکیب هایشان را معرفی کرده و در ادامه باید حالات بار طیفی نیز تعریف شوند تا در ترکیب بارها از آنها استفاده شود. این طیفها باید برای هر دو جهت به سازه وارد شود و مقادیر آن در ضریب مقیاس ضرب شود.

Define >> Response Spectrum Cases...

$$\text{Scale Factor} = \frac{A \times I}{R} \times g$$

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name SPY

Structural and Function Damping
Damping 0.05

Modal Combination
☒ CQC ☐ SRSS ☐ ABS ☐ GMC
 f1 f2

Directional Combination
☒ SRSS ☐ ABS Orthogonal SF
☐ Modified SRSS (Chinese)

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1		
U2	2800	0.57225
UZ		

Excitation angle 0.

Eccentricity
 Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.
 Override Diaph. Eccen. Override...

OK Cancel

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name SPX

Structural and Function Damping
Damping 0.05

Modal Combination
☒ CQC ☐ SRSS ☐ ABS ☐ GMC
 f1 f2

Directional Combination
☒ SRSS ☐ ABS Orthogonal SF
☐ Modified SRSS (Chinese)

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	2800	0.4905
U2		
UZ		

Excitation angle 0.

Eccentricity
 Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.
 Override Diaph. Eccen. Override...

OK Cancel

نکته‌ای که در تحلیل در حالت طیفی باید مد نظر قرار بگیرد یکسان سازی برش پایه در حالت تحلیل طیفی و استاتیکی معادل است. زیرا این مقدار با توجه به ماهیت سازه تعیین می‌شود و به نحوه تحلیل بستگی ندارد.

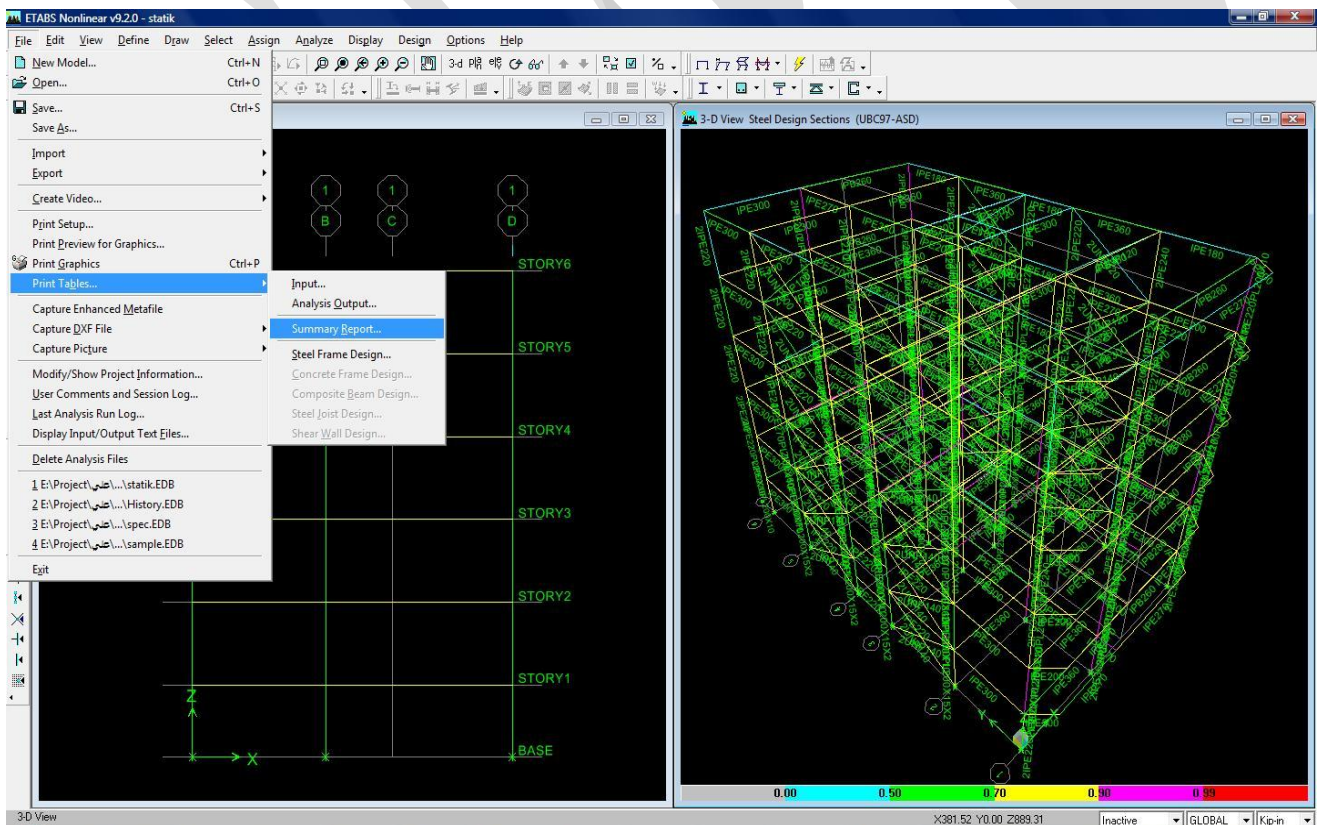
مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ در مواردی که برش پایه بدست آمده از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه تحلیل استاتیکی معادل باشد، مقدار برش پایه تحلیل طیفی باید:

الف) در سازه منظم : مقادیر بازتابها در ۹۰٪ نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش بدست آمده از تحلیل طیفی ضرب شود.

ب) در سازه نامنظم : مقادیر بازتابها باید در نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه بدست آمده از تحلیل طیفی ضرب شوند.

برای اصلاح برش پایه، ابتدا میزان برش پایه از روش زیر برای هر دو نیروی جانبی حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل طیفی بدست خواهد آمد. برای اینکار از مسیر زیر طی خواهد شد:

File >> Print Tables... >> Summary Report... → “TOTAL REACTION FORCES”



در فایل متنی خروجی، نیروی جهت X برای دو نوع بار EQX, SPX و همچنین نیروی جهت Y برای دو نوع بار EQY, SPY با هم مقایسه می گردند.

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	3.478E-14	-1.209E-13	1.273E+03	1.205E+04	-7.621E+03	-2.766E-03
EQX	-1.300E+02	2.740E-12	8.158E-15	2.216E-02	-1.700E+03	1.231E+03
EQY	9.843E-13	-1.874E+02	4.142E-13	2.397E+03	-2.944E-02	-1.119E+03
MASS	2.601E-16	-4.010E-15	2.251E+01	2.167E+02	-1.351E+02	-6.906E-05
LIVE	1.084E-14	-1.329E-14	2.901E+02	2.740E+03	-1.695E+03	-9.734E-04
SPX	9.710E+01	2.009E-01	2.424E-14	2.175E+00	1.265E+03	9.128E+02
SPY	2.337E-01	1.553E+02	3.853E-13	1.990E+03	2.534E+00	1.001E+03

ضریب اصلاح مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ و بر اساس فرمول های زیر در هر دو راستا بدست می آیند:

$$X \text{ جهت ضریب اصلاح} = \frac{V_{Sx}}{V_{Dx}} \times 0.9 = 0.9 \times \frac{130}{97.1} = 1.205$$

$$Y \text{ جهت ضریب اصلاح} = \frac{V_{Sy}}{V_{Dy}} \times 0.9 = 0.9 \times \frac{187.4}{155.3} = 1.086$$

حال ضرایب اصلاح جدید را در ضرایب قبلی ضرب کرده و تحلیل مجدداً صورت گیرد. تا برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی و استاتیکی معادل هم پایه گردند. نتایج پس از هم پایه سازی نتایج قابل قبول و مورد اطمینان است.

تحلیل تاریخچه زمانی

این نوع تحلیل صرفاً برای انجام آنالیز سازه تحت شرایط واقعی تر بوده و صرفاً برای طراحی استفاده نمی شود بلکه برای کنترل نتایج حاصل از طراحی استفاده می شود. برخلاف تمام پیچیدگی و زمان بر بودن تحلیل تاریخچه زمانی، بدلیل دقت و صحت پاسخ نتایج؛ در صورت انجام صحیح تحلیل تاریخچه زمانی؛ در موارد زیر انجام تحلیل دینامیکی الزامی است:

- I. سازه دارای نامنظمی (اعم از نامنظمی در پلان یا نامنظمی در ارتفاع)
- II. سایت با خاک نرم (جهت مدنظر قرار دادن اندرکنش خاک و سازه)
- III. سایت با خاک مسئله دار (مستعد روانگرایی، ...)
- IV. سازه با اهمیت خیلی زیاد و خاص مثل نیروگاه های اتمی
- V. سازه های دارای جداساز پایه و یا میراگر جاذب انرژی
- VI. تحلیل های پژوهشی و تحقیقاتی

بنابراین حداقل در موارد ذکر شده باید دشواری های انجام تحلیل تاریخچه زمانی را برای داشتن دقت بیشتر در محاسبات پذیرفت و روی به تحلیل تاریخچه زمانی آورد. بنیاد تحلیل تاریخچه زمانی بر اعمال رکورد حرکت زمین بر سازه است. پس انتخاب و مقیاس رکورد زلزله یکی از بنیادی ترین و در عین حال مهمترین بخش در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی است.

پس بعد از تعیین و تعریف مقاطع و بارهای وارده، برای تعریف تاریخچه زمانی به شرح زیر عمل می شود:

این تاریخچه زمانی ها بر اساس زلزله های واقعی رخ داده صورت می گیرد، پس کاملاً تصادفی و مختص همان محل وقوع می باشد لذا باید در استفاده از این نوع تحلیل دقت لازم صورت گیرد و موارد آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله ۲۸۰۰ ایران ارضا شود. این موارد به شرح ذیل می باشند:

- (۱) **انتخاب شتابنگاشت:** انتخاب شتابنگاشت ها باید بگونه ای صورت پذیرد تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام وقوع زلزله باشد. پس لازم است حداقل سه زوج شتابنگاشت متعلق به مولفه های افقی سه زلزله مختلف را انتخاب و مقدار حداکثر پاسخ را مدنظر قرار داد و یا هفت زوج شتابنگاشت انتخاب شود و معیار پاسخ میانگین این هفت شتابنگاشت هاست.
- (۲) **مقیاس (اصلاح) شتابنگاشت:** بدلیل اینکه شتاب نگارهای موجود اعم از شتاب نگارهای دیجیتالی و آنالوگ در هنگام ثبت رکوردهای زلزله دارای مقداری خطا هستند، در نتیجه برای استفاده از رکوردهای ثبت شده توسط این دستگاه ها نیاز است اصلاحاتی به شرح زیر بر روی رکوردهای موجود انجام داد:

۱-۱. اصلاح خط شتاب صفر: برای این منظور از تابع درجه دوم و نرم افزار Sismosignal یا Prism می توان استفاده نمود.

۲-۱. تعیین مدت زمان حرکت شدید زمین: طبق قسمت پ بند ۲-۴-۱-۴-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برای تعیین مدت زمان حرکت شدید زمین از روش توزیع تجمعی انرژی استفاده شده است.

۳-۱. مقیاس نمودن: حداکثر شتاب ثبت شده پس از اصلاح را تعیین و کلیه مقادیر شتابنگاشت بر اساس بند ۲-۴-۱-۴-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ به آن تقسیم شد تا شتاب حداکثر همه آنها ۱g شود.

۴-۱. محاسبه طیف پاسخ: طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتابنگاشت های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵٪ تعیین گردد.

۵-۱. ترکیب طیف ها: طیف های پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

۶-۱. طیف های پاسخ ترکیبی سه زوج شتاب نگاشت، متوسط گیری شده و در محدوده زمان های تناوب 0.2T و 1.5T با طیف طرح استاندارد مقایسه می گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود که در این محدوده مقادیر متوسط ها در هیچ حالت کمتر از ۱.۴ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد. T زمان تناوب اصلی ساختمان طبق بند ۲-۳-۶ است.

۷-۱. ضریب مقیاس تعیین شده باید در شتاب نگاشت های مقیاس شده در بند II-۴ ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.

در نتیجه با توجه به مطالب گفته شد، باید نیروی ناشی از تحلیل سازه به روش تاریخچه زمانی را، با ضریب مقیاس زیر تصحیح نمود:

$$\gamma_f = \frac{A}{A_E} \times \frac{I}{R}$$

همچنین از آنجا که تغییر مکانها به اندازه 0.7R تشدید می شود، ضریب مقیاس مربوطه از رابطه زیر بدست می آید.

$$\gamma_f = 0.7 \times \frac{A}{A_E} \times I$$

که در آن؛

A=شتاب مبنای طرح

I=ضریب اهمیت

AE=شتاب حداکثر رکورد زلزله

R=ضریب رفتار سازه

برای تعریف رکورد زلزله مسیر زیر طی می شود:

Define >> Time History Functions... → Function From File > Add New Function

نمونه فایل تاریخچه زمانی گرفته شده از سایت‌های معتبر مثل سایت گروه Peer^(۱) در دانشگاه برکلی به شکل زیر است که این داده‌ها برای تعریف به نرم‌افزار نیاز است.

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.

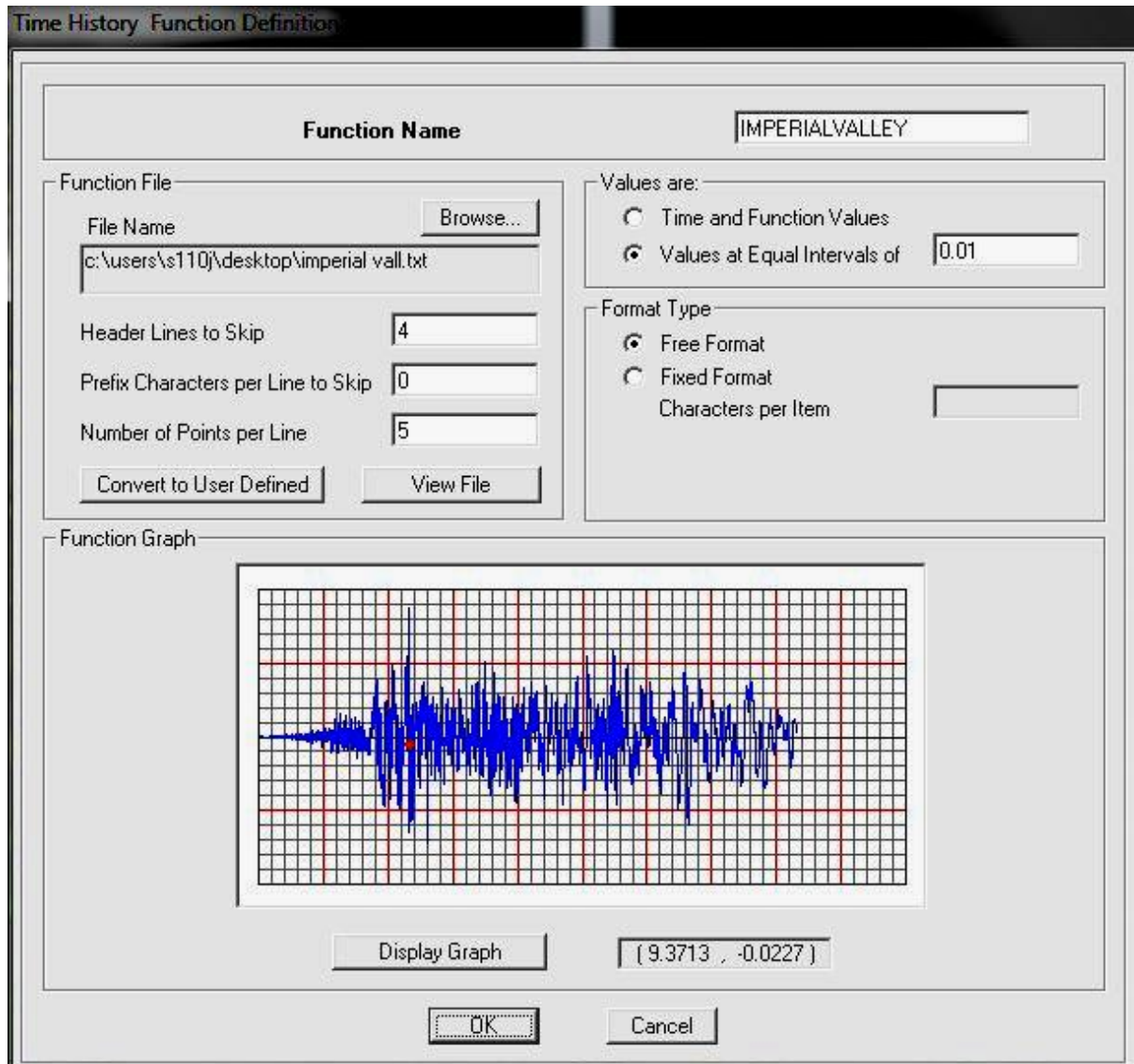
IMPERIAL VALLEY 10/15/79 2316, DELTA, 352 (UNAM/UCSD STATION 6605)

ACCELERATION TIME HISTORY IN UNITS OF G. FILTER POINTS: HP=0.05 Hz LP=unknown

NPTS= 9992, **DT=.01000 SEC**

.3731918E-03	.4363732E-03	.4899387E-03	.4497347E-03	.3993590E-03
.3220510E-03	.2869574E-03	.2843141E-03	.3129075E-03	.3477278E-03
.3502047E-03	.3307281E-03	.2951844E-03	.2484551E-03	.2198108E-03
.2073090E-03	.1759105E-03	.1148124E-03	.6077069E-04	.2375307E-04
.4151786E-06	-.1395660E-04	-.1400370E-04	-.3121956E-04	-.6081487E-04
-.1152307E-03	-.1972037E-03	-.2382297E-03	-.2904871E-03	-.3394430E-03
-.3543488E-03	-.3539950E-03	-.3348881E-03	-.2662799E-03	-.1835508E-03
-.1412219E-03	-.1084065E-03	-.8075691E-04	-.8772089E-04	-.1066737E-03
-.9100369E-04	-.9936057E-04	-.1558846E-03	-.1780293E-03	-.2041390E-03

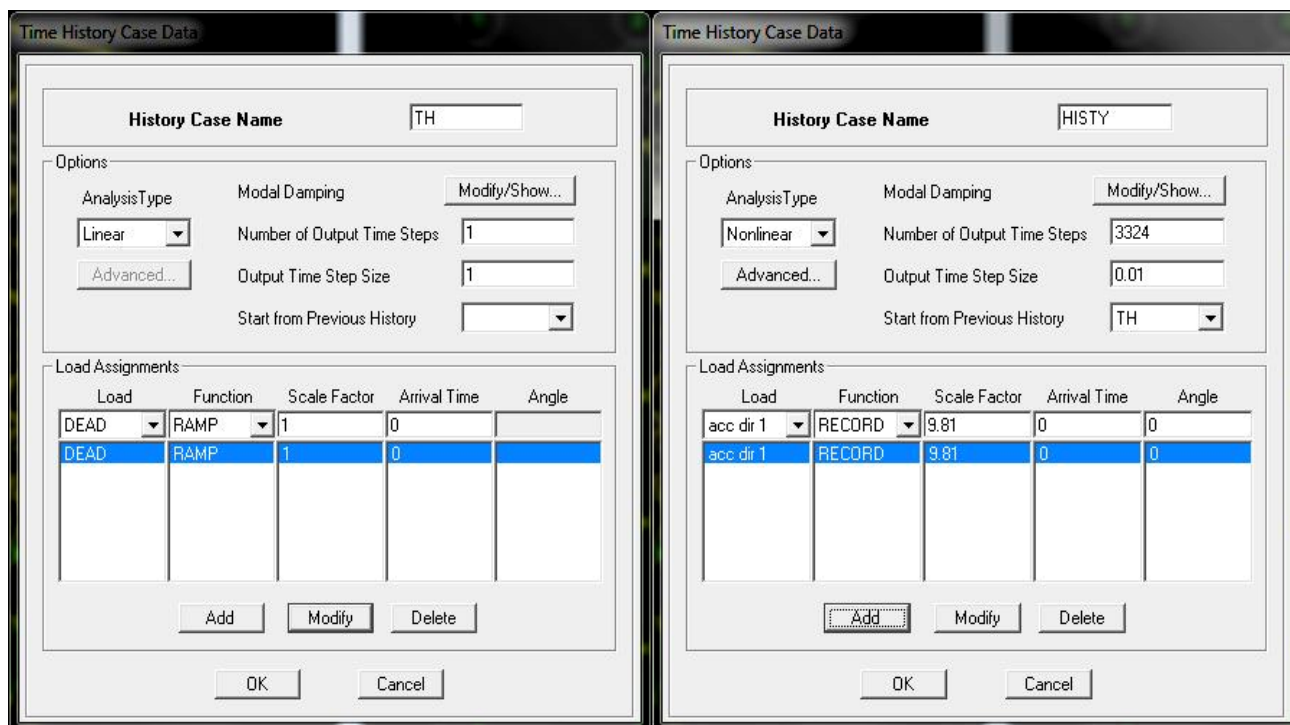
¹ Pacific Earthquake Engineering Research Group: <http://peer.berkeley.edu/smcat/>



با توجه به اینکه در طول تحلیل نرم افزار Etabs اطلاعات مربوط به شتابنگاشت را از فایل متنی شامل اطلاعات شتابنگاشت معرفی شده به آن برداشت می کند، بنابراین نباید آدرس این فایل را تغییر داد. این بدان معنی است که در صورتی که آدرس فایل به هر دلیلی تغییر کند (به عنوان مثال فایل مدلسازی در دستگاه رایانه دیگری اجرا شود) چون اطلاعاتی قابل شناسایی نیست، نرم افزار قادر به انجام تحلیل تاریخچه زمانی نخواهد بود. پس برای آنکه در ادامه تحلیل با مشکل مواجه نشود، دکمه Convert to User Defined را حتماً بزنید.

با توجه به اینکه معمولاً زلزله پس از ساخت سازه و اعمال بارهای مرده اعمال می شود یک کیس با نام TH و از نوع Ramp برای بارهای مرده ساخته و تابع شتابنگاشت زلزله در ادامه آن اعمال خواهد شد. پس برای تعریف Case مورد نظر مسیر زیر طی خواهد شد:

Define >> Time History Cases...



برای دیدن نمایش ویدئویی (جنبه مطالعاتی ندارد) نحوه اعمال زلزله می توان مسیر زیر را طی نمود:

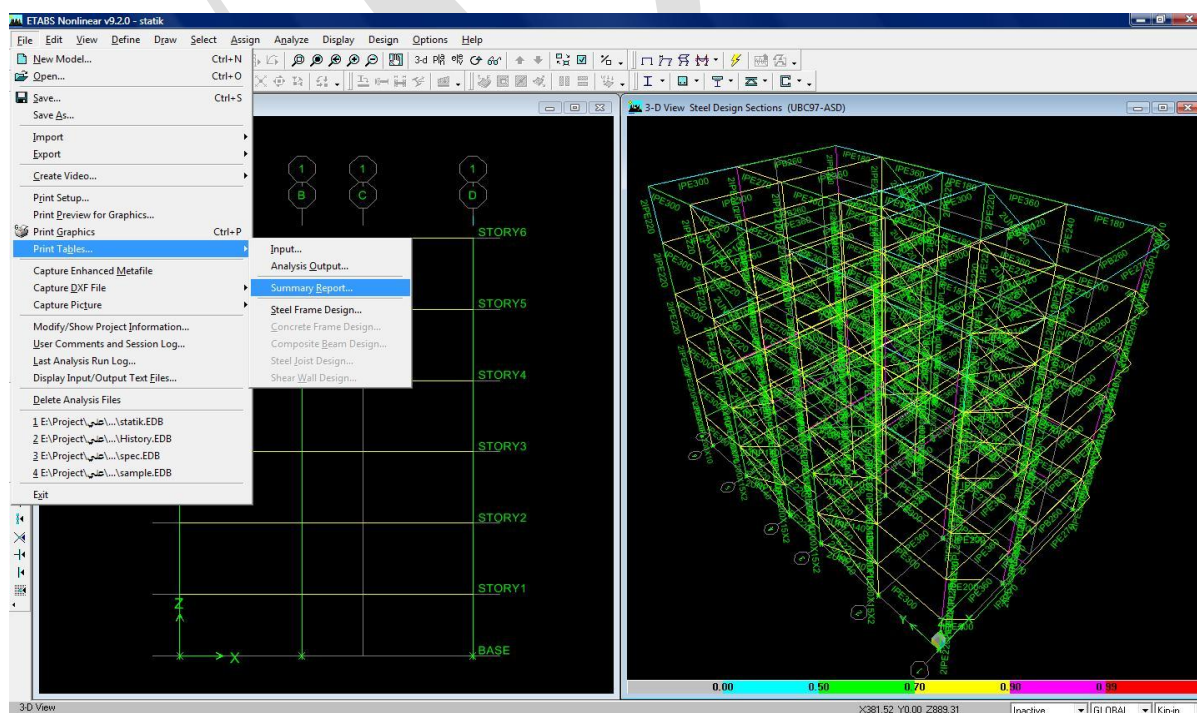
File >> Create video >> Time History Animation...

برای ترسیم نمودارهای مورد نیاز در تحلیل تاریخچه زمانی می توان مسیر زیر را طی نمود:

Display >> Show plot Function

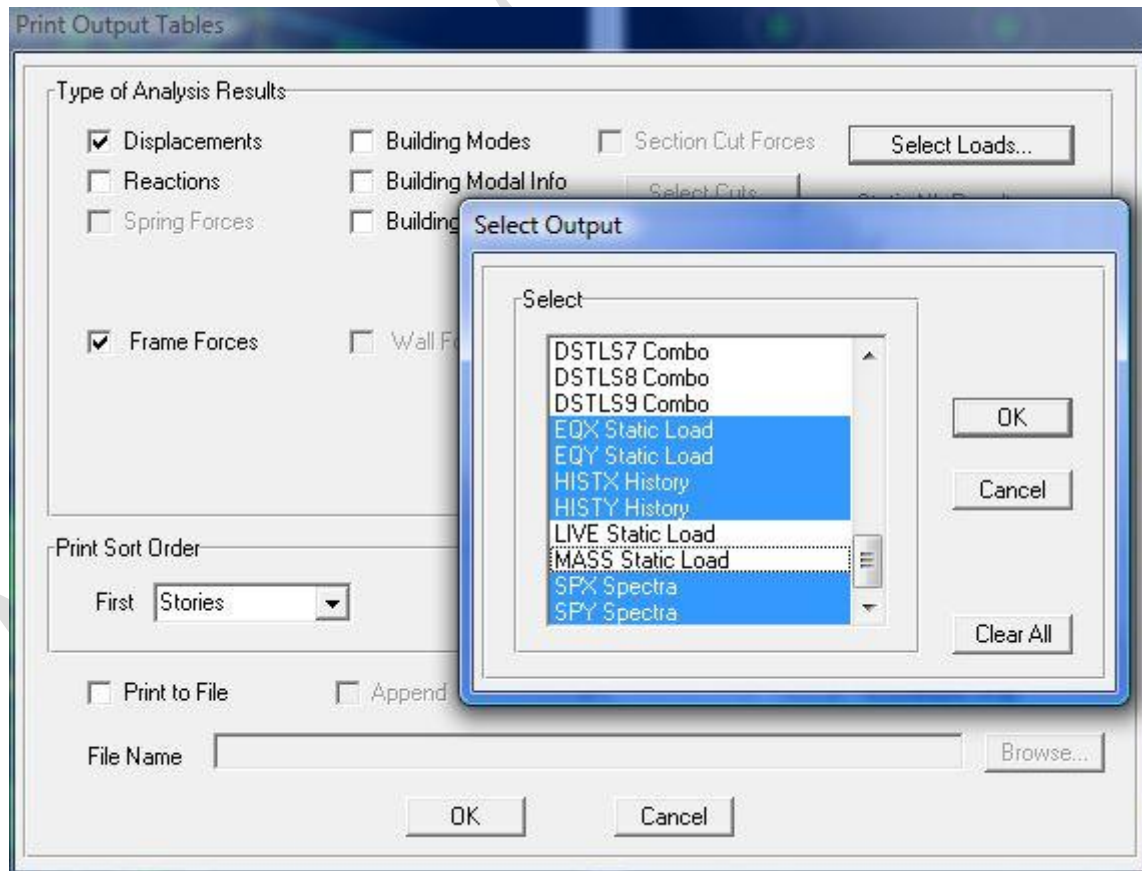
در نهایت به کنترل خروجی ها پرداخته می شود. جهت گرفتن خروجی نرم افزار مراحل ذیل طی می شود.

File → Print Tables... → Summary Report... Or Display → Show Tables ...



File → Print Tables... → Analysis Output...

و یا می توان مسیر زیر را دنبال کرد:



و برای دیدن تغییر مکان، تیک (Displacements) را زده و چون هدف مشاهده تغییر مکان حاصل از زلزله است، از قسمت (Select Loads...) بارهای مربوط به نیروز زلزله در حالات استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی انتخاب شده اند.

۱۷- کنترل جابجایی جانبی (Drift)

برای کنترل خروجی‌ها مطابق بخش ۵-۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ عمل نموده و پس از تبدیل تغییرمکان ارتجاعی به تغییرمکان غیرارتجاعی طرح، مطابق بند ۲-۵-۴ همان آیین‌نامه، متناسب با پیود سازه، تغییرمکان نسبی کنترل می‌گردد.

برای ساختمان‌های با زمان تناوب کمتر از 0.7^{Sec} $0.25 \Delta_M <$ برابر ارتفاع طبقه

برای ساختمان‌های با زمان تناوب کمتر از 0.7^{Sec} $0.20 \Delta_M <$ برابر ارتفاع طبقه

Story	Δ_X	$\Delta_{(i)}=0.7R\Delta_X$	$h^{(cm)}$	$[\Delta_{(i)}-\Delta_{(i-1)}]/h$	Control<0.025
6	7.536	36.9264	300	0.0203497	OK
5	6.2901	30.82149	300	0.024996533	OK
4	4.7597	23.32253	300	0.0249606	OK
3	3.2315	15.83435	300	0.0229075	OK
2	1.829	8.9621	300	0.0209818	OK
1	0.5444	2.66756	260	0.010259846	OK

کنترل جابجایی نسبی جهت X

Story	Δ_Y	$\Delta_{(i)}=0.7R\Delta_Y$	$h^{(cm)}$	$[\Delta_{(i)}-\Delta_{(i-1)}]/h$	Control<0.025
6	2.2025	10.79225	300	0.006846933	OK
5	1.7833	8.73817	300	0.0073647	OK
4	1.3324	6.52876	300	0.007005367	OK
3	0.9035	4.42715	300	0.006023733	OK
2	0.5347	2.62003	300	0.005040467	OK
1	0.2261	1.10789	260	0.004261115	OK

کنترل جابجایی نسبی در جهت Y