

www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسين عمران

ارائه كتابها و جزوات رايجان مهندسي عمران

بهترين و برترين مقالات روز عمران

انجمن هاي تفصلي مهندسي عمران

خوشگاه تفصلي مهندسي عمران

دانشگاه کردستان

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران - سازه

پروژه درس

آسیب پذیری و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها

تهیه کننده

سوران زوراسنا

soranzorasna@gmail.com

فهرست مطالب

۱.....	مشخصات پروژه
۲.....	هدف بهسازی
۲.....	سطوح عملکرد ساختمان
۳.....	تعیین سطح اطلاعات و ضریب آگاهی
۳.....	تحلیل خطر زلزله
۴.....	تحلیل استاتیکی خطی و مدلسازی اولیه
۹.....	تحلیل خطی سازه
۱۰.....	محدوده کاربرد روش استاتیکی خطی
۱۲.....	تحلیل استاتیکی غیرخطی
۱۵.....	تعریف حالات بار ثقیلی و جانبی
۲۱.....	اختصاص مفاصل پلاستیک به اعضاء
۲۴.....	تحلیل غیرخطی سازه
۲۵.....	کنترل معیارهای پذیرش

- پروژه مورد بررسی یک ساختمان 6 طبقه با سازه فولادی می باشد.
- کاربری تمامی طبقات به استثناء طبقه اول که پارکینگ می باشد، مسکونی است.
- محل ساختمان در شهر سنندج و با خطر لرزه خیزی نسبی زیاد می باشد.
- ساختمان بر روی خاک با تیپ 3 قرار دارد.
- سیستم باربر جانبی ساختمان در جهت X قاب خمشی متوسط و در جهت Y مهاربند همگرای معمولی فولادی می باشد.
- سیستم سازه ای سقف ساختمان از نوع کامپوزیت ساده می باشد.
- دیوارهای خارجی از نوع سفال با عرض 20 سانتیمتر لحاظ شده و دیوارهای داخلی بـت صورت سربار معادلی به شدت 100 کیلوگرم بر مترمربع به بار مرده سقف اضافه شده است.
- ارتفاع سازه ای تمامی طبقات 3 متر و ارتفاع سازه ای خرپشته 2.50 متر می باشد.
- وزن واحد سطح مرده سقف در بام 500 kgf/m^2 و در طبقات 460 kgf/m^2 می باشد.
- وزن واحد سطح زنده سقف در بام 150 kgf/m^2 و در طبقات 200 kgf/m^2 می باشد. همچنین این وزن در اتاق پله و سقفهای طره به ترتیب برابر 500 kgf/m^2 و 300 kgf/m^2 می باشد.
- وزن دیوارهای نمادار، بدون نما و جانپناه به ترتیب برابر 278.50 kgf/m^2 ، 222.50 kgf/m^2 و 250 kgf/m^2 است.

هدف بهسازی

هدف بهسازی براساس میزان اهمیت و سطح عملکرد ساختمان موردنظر و مطابق یکی از بندهای (۱-۴-۱) تا (۵-۴-۱) انتخاب می‌شود و شامل یک یا چند هدف عملکردی است که هر یک شامل انتخاب سطح عملکردی برای ساختمان، مطابق بند (۵-۱) و سطح خطر لرزه‌ای مطابق بند (۷-۱) می‌باشد. در این پروژه بهسازی مبنا انتخاب شده است؛ در بهسازی مبنا انتظار می‌رود که تحت زلزله‌ی "سطح خطر ۱" ایمنی جانی ساکنین ساختمان تأمین شود (سطح عملکرد C-3).

سطوح عملکرد ساختمان

سطح عملکرد ساختمان بر مبنای عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مطابق بندهای (۱-۵-۱) تا (۳-۵-۱) تعریف شده و به اختصار با یک رقم برای عملکرد اجزای سازه‌ای و یک حرف برای عملکرد اجزای غیرسازه‌ای نشان داده می‌شود. سطوح عملکرد ساختمان در تعیین هدف بهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح عملکرد ساختمان میزان آسیب‌پذیری اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۱): سطوح عملکرد ساختمان

سطوح عملکرد سازه						سطوح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای
لحاظ نشده S-6	آستانه فروریزش S-5	ایمنی جانی محدود S-4	ایمنی جانی S-3	خرابی محدود S-2	قابلیت استفاده بی‌وقفه S-1	
*	*	*	*	A-2	خدمت‌رسانی بی‌وقفه A-1	خدمت‌رسانی بی‌وقفه N-A
*	*	*	B-3	B-2	قابلیت استفاده بی‌وقفه B-1	قابلیت استفاده بی‌وقفه N-B
C-6	C-5	C-4	ایمنی جانی C-3	C-2	C-1	ایمنی جانی N-C
D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	*	ایمنی جانی محدود N-D
ارزش بهسازی ندارد	آستانه فروریزش E-5	E-4	*	*	*	لحاظ نشده N-E

برای ساختمان موردبررسی در اینجا سطح عملکرد **C-3** انتخاب شده است. ساختمانی دارای سطح عملکرد ایمنی جانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد 3 (ایمنی جانی) و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد C (ایمنی جانی) است.

جدول ۲- ۱- ضریب آگاهی

هدف بهسازی		مطلوب یا پایین تر		ویژه	
سطح اطلاعات		حداقل		متعارف	
نوع تحلیل		تحلیل خطی		هر نوع تحلیل	
ضریب آگاهی	فولادی	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱
	بتنی	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱
	بنایی	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱

با توجه به هدف بهسازی از نوع مبنا و سطح اطلاعات متعارف از جدول فوق می توان نتیجه گرفت که ضریب آگاهی برای تحلیل خطی 0.75 و برای هر نوع تحلیل دیگر برابر 1.00 در نظر گرفته می شود.

جمع آوری اطلاعات و بازرسی وضع موجود اعضاء و اجزای ساختمان و مشخصات مصالح

در صورت موجود بودن مدارک فنی معتبر حاوی گزارش آزمایش مصالح، نقشه های اجرایی و با رؤیت مارک ثبت شده، با انجام حداقل یک آزمایش، در صورت تأیید اطلاعات موجود، می توان از مقادیر مقاومت ذکر شده در مدارک به طور مستقیم به عنوان مشخصات کرانه پایین مصالح استفاده نمود.

کرانه پایین فولاد: 2400 kgf/cm^2

مقاومت مورد انتظار فولاد: $1.10 \times 2400 = 2640 \text{ kgf/cm}^2$

تحلیل خطر زلزله

طیف طرح شتاب

دستورالعمل عمومی این بخش می تواند برای تعیین طیف طرح شتاب در مورد هر یک از سطوح خطر زلزله زیر استفاده می شود:

۱- سطح خطر ۱: معادل سطحی از حرکت های قوی زمین است که احتمال فراگذشت از آن ۱۰٪ در ۵۰ سال باشد. این سطح خطر معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است. سطح خطر ۱ در استاندارد ۲۸۰۰ "زلزله طرح" نامیده شده است.

۲- سطح خطر ۲: معادل سطحی از حرکت های قوی زمین است که احتمال فراگذشت از آن ۲٪ در ۵۰ سال باشد. این سطح خطر معادل دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است.

۳- سطح خطر انتخابی (زلزله با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال): معادل سطحی از حرکت های قوی زمین است که احتمال فراگذشت از آن انتخابی است. این سطح خطر برای موارد خاص و با ملاحظات ویژه استفاده می شود.

تحليل استاتيكي خطي و مدلسازی اولیه

تعيين زمان تناوب اصلی نوسان سازه با استفاده از فرمولهای تجربی ارائه شده در رابطه (۳-۴)

$$T = \alpha H^{0.75}$$

جدول (۳-۲): ضريب α برای محاسبه زمان تناوب سازه

$\alpha = 0.08$	قاب خمشی فولادی
$\alpha = 0.07$	قاب فولادی با مهاربند واگرا
$\alpha = 0.07$	قاب خمشی بتنی
$\alpha = 0.05$	سایر سیستمهای سازه‌ای

$$T_x = 0.08(18.00)^{0.75} = 0.699 \text{ sec}$$

$$T_y = 0.05(18.00)^{0.75} = 0.437 \text{ sec}$$

برآورد نیروها و تغییرشکلها مطابق رابطه (۳-۵)

$$V = C_s W$$

$$C_s = C_1 C_2 C_m S_a$$

S_a : شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی T است که مطابق زیر بدست می‌آید:

جدول (۳-۱): مقادیر F_v بر حسب نوع خاک و مقدار S_1

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب بلند، S_1				
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.50$
1	1	1	1	1	1
2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
3	2.4	2	1.8	1.6	1.5
4	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

جدول (۳-۱): مقادیر F_a بر حسب نوع خاک و مقدار S_s

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه، S_s				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
4	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

$$\text{خطر نسبی زیاد Soil III and} \rightarrow T_0 = 0.15, T_s = 0.70, S = 1.75, S_0 = 1.10$$

$$0 \leq T = 0.20 \leq T_0 \rightarrow B = S_0 + (S - S_0 + 1) \left(\frac{T}{T_0} \right) = 1.10 + (1.75 - 1.10 + 1) \left(\frac{0.20}{0.20} \right) = 2.75 \rightarrow S_s = 0.30 \times 2.75 = 0.825$$

$$T_s \leq T = 1.00 \leq 4 \rightarrow B = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right) \left(\frac{0.70}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 \right) = (1.75 + 1) \left(\frac{0.70}{1.00} \right) \left(\frac{0.70}{4 - 0.70} (1.00 - 0.70) + 1 \right) = 2.0475 \rightarrow S_s = 0.30 \times 2.0475 = 0.61425$$

$$S_s = 0.82500 \rightarrow F_a = 1.17 \rightarrow S_{xs} = S_s F_a = 0.82500 \times 1.17 = 0.965250$$

$$S_l = 0.61425 \rightarrow F_v = 1.50 \rightarrow S_{xl} = S_l F_v = 0.61425 \times 1.50 = 0.921375$$

$$T_s = S_{xl} / S_{xs} = 0.921375 / 0.965250 = 0.955 \text{ sec}$$

$$T_0 = 0.2 T_s = 0.20 \times 0.955 = 0.191 \text{ sec}$$

$$B = 4 / [5.6 - \ln(100\beta)] \quad , \quad \text{if} \quad \xi = 0.05 \rightarrow B = 1.00$$

$$T_0 < T_x, T_y < T_s \rightarrow S_a = S_{xs} / B \rightarrow S_{ax} = S_{ay} = 0.96525$$

C_1 : ضریب تصحیح برای در نظر گرفتن تغییر مکانهای غیرارتجاعی سیستم است که مطابق زیر بدست می‌آید:

$$C_1 = 1 + \frac{T_s - T}{2T_s - 0.20} \leq 1.00$$

$$C_{1x} = 1 + \frac{0.955 - 0.699}{2(0.955) - 0.20} = 1.1497$$

$$C_{1y} = 1 + \frac{0.955 - 0.437}{2(0.955) - 0.20} = 1.3029$$

C_2 : ضریب تصحیح برای اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکانها ناشی از زوال چرخه‌ای، که به یکی از دو روش زیر محاسبه می‌شود:

۱- با استفاده از رابطه (۳-۱۰)

$$T > 0.70 \rightarrow C_2 = 1$$

$$T < 0.70 \rightarrow C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R_u - 1}{T} \right)^2$$

۲- در غیاب محاسبات دقیق‌تر، برای تحلیل خطی می‌توان C_2 را مساوی واحد در نظر گرفت.

$$C_2 = 1.00$$

C_m : ضریب جرم مؤثر که برای اعمال اثرات موده‌های بالاتر بوده و مطابق جدول (۳-۴) تعیین می‌شود و برای سازه‌های با زمان تناوب اصلی بزرگتر از ۱ باید برابر ۱ در نظر گرفته شود.

جدول (۳-۴): مقادیر ضریب C_m

تعداد طبقات	قاب خمشی بتنی یا فولادی	قاب فولادی مهاربندی شده	سازه با دیوار برشی بتنی	سایر سیستم‌های سازه‌ای
یک یا دو	۱	۱	۱	۱
سه و بیشتر	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۱

$$C_{mx} = C_{my} = 0.90$$

در نتیجه داریم:

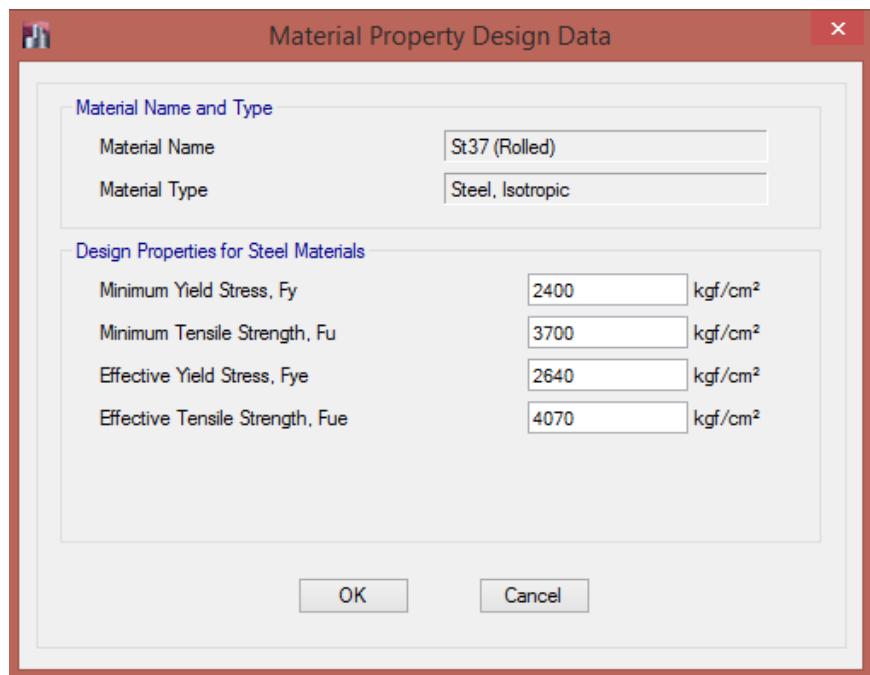
$$C_s = C_1 C_2 C_m S_a$$

$$C_{sx} = 1.1497 \times 1.00 \times 0.90 \times 0.96525 = 0.9988$$

$$C_{sy} = 1.3029 \times 1.00 \times 0.90 \times 0.96525 = 1.1319$$

$$T_x = 0.699 \text{ sec} \rightarrow k_x = 0.50(0.699) + 0.75 = 1.0995$$

$$T_y = 0.437 \text{ sec} \rightarrow k_y = 1.00$$



Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: St37 (Rolled)

Material Type: Steel, Isotropic

Design Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 2400 kgf/cm²

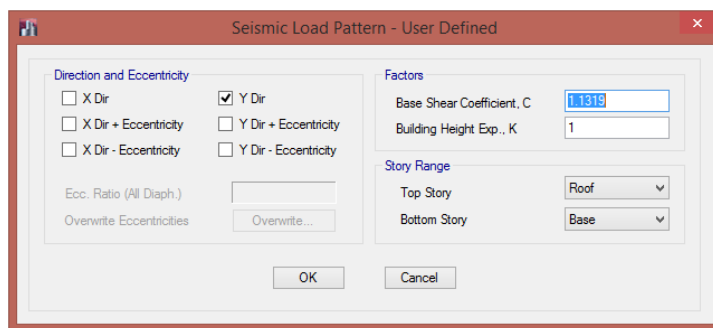
Minimum Tensile Strength, Fu: 3700 kgf/cm²

Effective Yield Stress, Fye: 2640 kgf/cm²

Effective Tensile Strength, Fue: 4070 kgf/cm²

OK Cancel

تعريف فولاد با در نظر گرفتن کرانه پايين مقاومت



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

☐ X Dir ☒ Y Dir

☐ X Dir + Eccentricity ☐ Y Dir + Eccentricity

☐ X Dir - Eccentricity ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.):

Overwrite Eccentricities: Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C: 0.9988

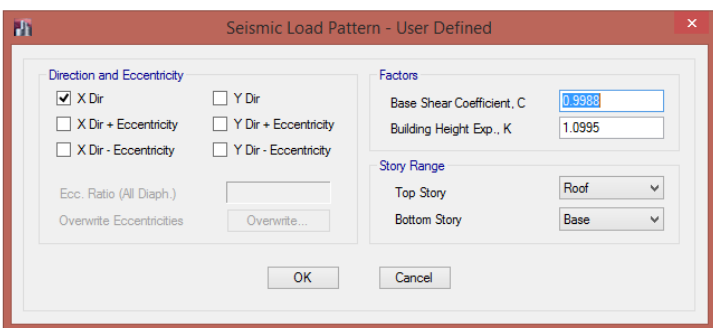
Building Height Exp., K: 1

Story Range

Top Story: Roof

Bottom Story: Base

OK Cancel



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

☒ X Dir ☐ Y Dir

☐ X Dir + Eccentricity ☐ Y Dir + Eccentricity

☐ X Dir - Eccentricity ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.):

Overwrite Eccentricities: Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C: 0.9988

Building Height Exp., K: 1.0995

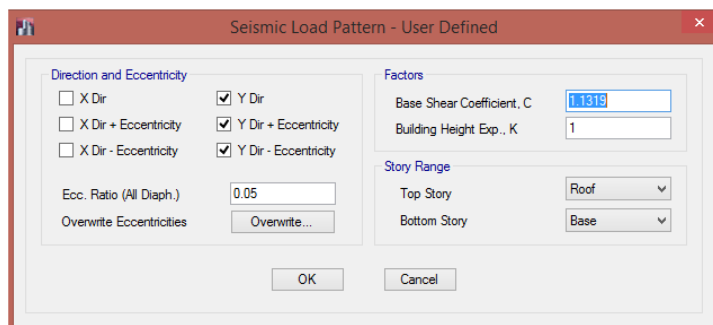
Story Range

Top Story: Roof

Bottom Story: Base

OK Cancel

تعريف الگوهای بار لرزه‌ای در جهت X و Y



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

☐ X Dir ☒ Y Dir

☐ X Dir + Eccentricity ☒ Y Dir + Eccentricity

☐ X Dir - Eccentricity ☒ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05

Overwrite Eccentricities: Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C: 0.9988

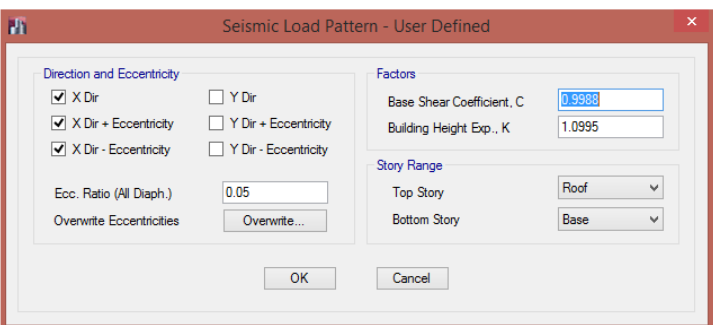
Building Height Exp., K: 1

Story Range

Top Story: Roof

Bottom Story: Base

OK Cancel



Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

☒ X Dir ☐ Y Dir

☒ X Dir + Eccentricity ☐ Y Dir + Eccentricity

☒ X Dir - Eccentricity ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05

Overwrite Eccentricities: Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C: 0.9988

Building Height Exp., K: 1.0995

Story Range

Top Story: Roof

Bottom Story: Base

OK Cancel

تعريف الگوهای بار لرزه‌ای در جهت X و Y برای کنترل دريغت

Define Mass Source

Mass Source

☐ Element Self Mass

☐ Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

Define Mass Multiplier for Loads

Load	Multiplier
Dead	1
Dead	1
Live	0.2

Add
Modify
Delete

☒ Include Lateral Mass Only

☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

OK Cancel

تعریف جرم فعال سازه

Preset P-Delta Options

Automation Method

☐ None

☐ Non-iterative - Based on Mass

☒ Iterative - Based on Loads

Iterative P-Delta Load Case

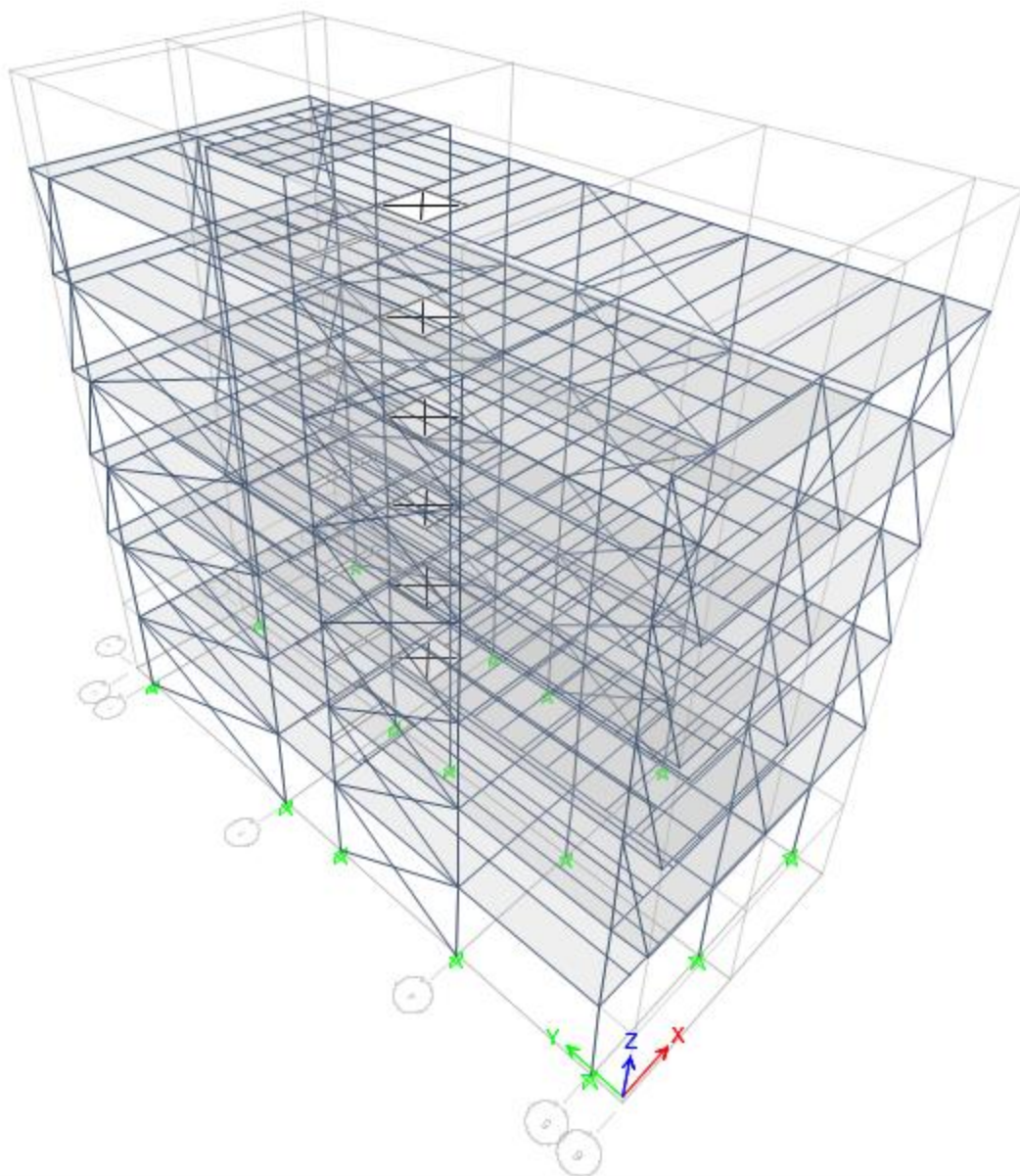
Load Pattern	Scale Factor
Dead	1.2
Dead	1.2
Live	1

Add
Modify
Delete

Relative Convergence Tolerance 0.0001

OK Cancel

تنظیمات اثر $P - \Delta$



مدلسازی سازه

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	Circular Frequency	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	1.21	0.826	5.1927	26.9646
Modal	2	0.65	1.538	9.6636	93.3843
Modal	3	0.484	2.065	12.972	168.2733
Modal	4	0.435	2.297	14.4312	208.2582
Modal	5	0.247	4.047	25.4255	646.4548
Modal	6	0.237	4.221	26.5237	703.5057
Modal	7	0.199	5.023	31.5626	996.2006
Modal	8	0.17	5.875	36.9156	1362.762
Modal	9	0.156	6.403	40.2326	1618.6595
Modal	10	0.154	6.483	40.7363	1659.4496
Modal	11	0.135	7.411	46.5673	2168.5159
Modal	12	0.122	8.184	51.4209	2644.1075
Modal	13	0.115	8.675	54.509	2971.2307
Modal	14	0.095	10.55	66.2852	4393.7266
Modal	15	0.092	10.913	68.5684	4701.6261
Modal	16	0.088	11.383	71.5238	5115.659
Modal	17	0.071	14.152	88.9191	7906.6048
Modal	18	0.066	15.177	95.3612	9093.7512

همانطور که مشاهده می شود مقدار زمان تناوب اصلی تحلیلی برابر 1.21 ثانیه است.

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	1.21	0.7888	6.05E-06	0	0.7888	6.05E-06	0	2.96E-06	0.2152	0.0018	2.96E-06	0.2152	0.0018
Modal	2	0.65	0.0019	6.54E-06	0	0.7906	1.26E-05	0	3.19E-05	0.0005	0.7919	3.49E-05	0.2157	0.7937
Modal	3	0.484	0.0004	0.7674	0	0.791	0.7674	0	0.2355	0.0013	3.43E-06	0.2355	0.217	0.7937
Modal	4	0.435	0.1043	0.0026	0	0.8953	0.77	0	0.0006	0.4647	1.28E-05	0.2362	0.6817	0.7937
Modal	5	0.247	0.0383	1.34E-06	0	0.9336	0.77	0	0	0.1054	0.0009	0.2362	0.7871	0.7946
Modal	6	0.237	0.0004	0.0001	0	0.9339	0.7701	0	0.0007	0.0013	0.1274	0.2368	0.7884	0.922
Modal	7	0.199	2.28E-05	0.0751	0	0.934	0.8452	0	0.1767	0.0001	0.0027	0.4136	0.7885	0.9247
Modal	8	0.17	0.0149	4.05E-06	0	0.9489	0.8452	0	2.28E-05	0.0515	1.73E-05	0.4136	0.84	0.9247
Modal	9	0.156	1.55E-05	0.0881	0	0.9489	0.9333	0	0.3211	0.0001	0.0034	0.7347	0.8401	0.9281
Modal	10	0.154	0.01	0.0007	0	0.9589	0.934	0	0.0026	0.0324	0.0015	0.7373	0.8725	0.9296
Modal	11	0.135	0.0011	0.0028	0	0.96	0.9368	0	0.0115	0.0035	0.0307	0.7488	0.8759	0.9603
Modal	12	0.122	0.0044	0.0001	0	0.9644	0.9369	0	0.0008	0.0118	0.0042	0.7497	0.8877	0.9645
Modal	13	0.115	0.0101	7.92E-06	0	0.9745	0.9369	0	4.00E-05	0.0325	0.0001	0.7497	0.9202	0.9646
Modal	14	0.095	6.17E-06	0.0353	0	0.9745	0.9723	0	0.1439	2.51E-05	0.0013	0.8936	0.9203	0.9659
Modal	15	0.092	0.0001	0.0025	0	0.9747	0.9747	0	0.0099	0.0005	0.0154	0.9034	0.9208	0.9813
Modal	16	0.088	0.0253	8.52E-07	0	0.9999	0.9747	0	5.64E-06	0.079	0.0002	0.9034	0.9998	0.9815
Modal	17	0.071	2.35E-05	4.50E-05	0	1	0.9748	0	0.0002	0.0001	0.0097	0.9036	0.9999	0.9912
Modal	18	0.066	0	0.0156	0	1	0.9904	0	0.0559	0	2.35E-05	0.9595	0.9999	0.9912

جدول مربوط به درصد مشارکت مودی

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
Kharposhteh	X Drift 3	X	653.597763	643.778309	1.015253
Roof	X Drift 3	X	681.213223	617.184585	1.103743
Story 4	X Drift 3	X	591.52342	537.882973	1.099725
Story 3	X Drift 3	X	479.825657	436.296923	1.099769
Story 2	X Drift 3	X	354.730469	322.95741	1.098382
Story 1	X Drift 3	X	217.698021	199.752916	1.089837
Parking	X Drift 3	X	74.960612	69.331638	1.081189
Base	X Drift 3	Y	0	0	
Kharposhteh	Y Drift 3	Y	143.900325	139.756304	1.029652
Roof	Y Drift 3	Y	122.288505	115.768809	1.056317
Story 4	Y Drift 3	Y	98.413263	92.257804	1.06672
Story 3	Y Drift 3	Y	78.199263	72.833461	1.073672
Story 2	Y Drift 3	Y	57.415125	53.223577	1.078754
Story 1	Y Drift 3	Y	36.453698	33.717618	1.081147
Parking	Y Drift 3	Y	16.922871	15.725796	1.076122
Base	Y Drift 3	Y	0	0	

جدول مربوط به ضریب تغییرمکان

همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌شود، ضریب تغییرمکان η برای هر دو جهت و در تمامی طبقات از 1.10 کمتر است، لذا طبق بند ۳-۲-۳ می‌توان از اثر پیش‌اتفاقی صرف‌نظر کرد.

محدوده کاربرد روش استاتیکی خطی

استفاده از روش تحلیل استاتیکی خطی هنگامی مجاز است که ساختمان دارای شرایط زیر از نظر ارتفاع و نظم سازه‌ای باشد:

۱- زمان تناوب اصلی ساختمان کوچکتر از $3.5T_s$ باشد و تعداد طبقات از ۲۰ تجاوز نکند.

$$T_x, T_y \leq 3.5(0.955) \rightarrow OK$$

$$\text{تعداد طبقات} < 20 \rightarrow OK$$

۲- تغییر ابعاد پلان در طبقات متوالی به استثنای خرپشته کمتر از ۴۰٪ باشد.

مشاهده می‌شود که این شرط نیز برقرار است.

۳- حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی در هر طبقه و در هر راستا کمتر از 1.5 برابر تغییرمکان متوسط نسبی آن طبقه باشد.

همانطور که در جدول زیر مشاهده می‌شود، این شرط نیز برقرار است.

Story ▾	Load Case ▾	Direction ▾	Maximum Drift (mm) ▾	1.5*Average Drift (mm) ▾	- ▾
Roof	X Drift 3	X	89.689803	118.952418	OK
Story 4	X Drift 3	X	111.697763	152.379075	OK
Story 3	X Drift 3	X	125.095188	170.0092695	OK
Story 2	X Drift 3	X	137.032448	184.806741	OK
Story 1	X Drift 3	X	142.737409	195.631917	OK
Parking	X Drift 3	X	74.960612	103.997457	OK
Base	X Drift 3	X	0	0	
Roof	Y Drift 3	Y	23.875242	35.2665075	OK
Story 4	Y Drift 3	Y	20.214	29.1365145	OK
Story 3	Y Drift 3	Y	20.784138	29.414826	OK
Story 2	Y Drift 3	Y	20.961427	29.2589385	OK
Story 1	Y Drift 3	Y	19.530827	26.987733	OK
Parking	Y Drift 3	Y	16.922871	23.588694	OK
Base	Y Drift 3	Y	0	0	

۴ - متوسط تغییر مکان جانبی نسبی در هر طبقه، به استثنای خرپشته، کمتر از 1.5 برابر همین مقدار در طبقه بالا یا پایین آن باشد.

Story ▾	Load Case ▾	Direction ▾	Maximum Drift (mm) ▾	1.5*Average Drift (mm) ▾	- ▾
Roof	X Drift 3	X	89.689803	118.952418	OK
Story 4	X Drift 3	X	111.697763	152.379075	OK
Story 3	X Drift 3	X	125.095188	170.0092695	OK
Story 2	X Drift 3	X	137.032448	184.806741	OK
Story 1	X Drift 3	X	142.737409	195.631917	NO
Parking	X Drift 3	X	74.960612	103.997457	OK
Base	X Drift 3	X	0	0	
Roof	Y Drift 3	Y	23.875242	35.2665075	OK
Story 4	Y Drift 3	Y	20.214	29.1365145	OK
Story 3	Y Drift 3	Y	20.784138	29.414826	OK
Story 2	Y Drift 3	Y	20.961427	29.2589385	OK
Story 1	Y Drift 3	Y	19.530827	26.987733	OK
Parking	Y Drift 3	Y	16.922871	23.588694	OK
Base	Y Drift 3	Y	0	0	

همانطور که مشاهده می شود این شرط برای طبقه اول و در جهت X برقرار نیست.

دیگر شروط دیگر بررسی نمی شود چون شرط ۴ از شروط اصلی بود، لذا نمی توان از تحلیل استاتیکی خطی استفاده کرد.

پس از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده می شود.

تحليل استاتيكي غير خطي

همانطور که در قسمت فوق مشاهده شد، می توان از اثر پيچش اتفاقي صرف نظر کرد. که در این قسمت تمامی الگو بارهای جاني شامل خروج از مرکزیت اتفاقي حذف شده اند. همچنین برای دو الگوی بار جاني باقیمانده در تحليل غير خطي مقدار ضريب ارتفاعی ساختمان برابر صفر در نظر گرفته می شود.

تصحیح در ضريب ارتفاعی ساختمان در الگوهای بار جاني

ترکیبات بار ثقلی مطابق زیر در نظر گرفته شده است:

$$G_1 = 1.1DL + 1.1LL$$

$$G_2 = 0.9DL$$

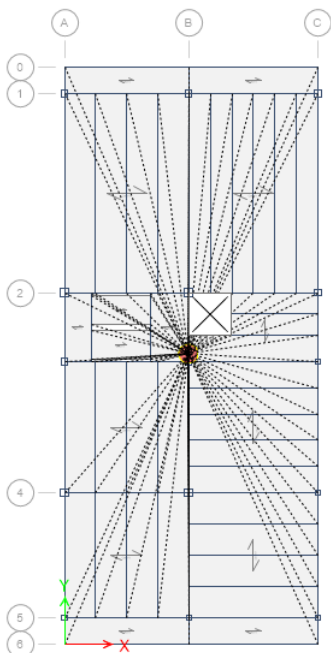
نقطه کنترل

در تحليل استاتيكي غير خطي، مرکز جرم بام به عنوان نقطه کنترل تغییرمکان سازه انتخاب می شود. در اینجا نزدیکترین گره به مرکز جرم بام به عنوان نقطه کنترل انتخاب می شود که همانطور که مشاهده می شود این گره مربوط به محل تقاطع قابهای B و 3 است. در نرم افزار شماره این گره 8 می باشد.

تغییرمکان هدف در ساختمان با دیافراگم صلب

تغییرمکان هدف برای سازه با دیافراگم های صلب باید با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی سازه برآورد شود، به عنوان روش تقریبی می توان مقدار تغییرمکان هدف در هر امتداد را از رابطه (۳-۱۷) محاسبه نمود.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

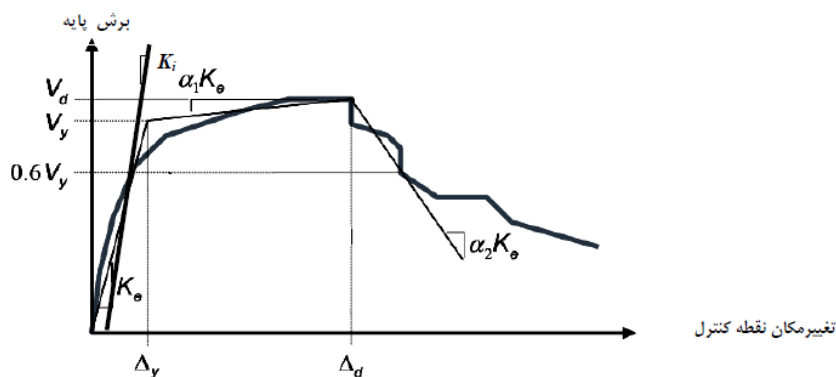


که در آن:

T_e : زمان تناوب مؤثر ساختمان مطابق رابطه (۳-۱۶) برای امتداد موردنظر است.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

که در آن T_i زمان تناوب اصلی تحلیلی ساختمان با فرض رفتار خطی و K_i سختی جانبی ارتجاعی مطابق شکل (۳-۵) است.



شکل (۳-۵): منحنی ساده شده‌ی نیرو-تغییر مکان سازه

در ابتدا تحلیل می‌توان T_i را با T_e برابر گرفت و پس از انجام تحلیل مقدار T_e های بدست آمده از تحلیل را در مدل وارد کرد. از اینرو داریم:

$$T_{ex} = 1.210 \text{ sec}$$

$$T_{ey} = 0.484 \text{ sec}$$

C_0 : ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی است که می‌توان به صورت تقریبی آن را از جدول (۳-۵) بدست آورد:

جدول (۳-۵): مقدار تقریبی ضریب C_0

تعداد طبقات ساختمان	ساختمان‌های برشی ^۲		سایر ساختمان‌ها
	توزیع نوع اول	توزیع نوع دوم	هر نوع توزیع بار
۱	۱/۰	۱/۰	۱/۰
۲	۱/۲	۱/۱۵	۱/۲
۳	۱/۲	۱/۲	۱/۳
۵	۱/۳	۱/۲	۱/۴
۱۰ و بیشتر	۱/۳	۱/۲	۱/۵

۱- برای مقادیر مابین حدود داده شده در جدول باید از درون‌یابی خطی استفاده کرد.

۲- منظور از ساختمان برشی، ساختمانی است که تغییر مکان جانبی نسبتی هر طبقه، از طبقه زیر آن کوچکتر باشد.

همانطور که از جداول مربوط به تحلیل خطی مشاهده می‌شود، ساختمان را نمی‌توان در دسته ساختمان برشی قرار داد. تعداد طبقات ساختمان ۶ طبقه است لذا لازم است یک درون‌یابی انجام شود. با استفاده از درون‌یابی مقداری که برای C_0 حاصل می‌شود، عدد ۱.۴۲ است.

C_1 : ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکان غیرارتجاعی سیستم که از رابطه (۳-۱۹) محاسبه می‌شود.

با توجه به اینکه تعدادی از پارامترها رابطه (۳-۱۹) در حال حاضر قابل محاسبه نیست، ضریب C_1 را 1.00 در نظر گرفته و پس از تحلیل اصلاح می‌شود.

C_2 : ضریب تصحیح برای اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکان‌ها ناشی از زوال چرخه‌ای و مقدار آن با استفاده از رابطه (۳-۲۰) تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه تعدادی از پارامترها رابطه (۳-۲۰) در حال حاضر قابل محاسبه نیست، ضریب C_2 را 1.00 در نظر گرفته و پس از تحلیل اصلاح می‌شود.

و همچنین داریم:

$$S_{ax} = 0.96525 \quad , \quad S_{ay} = 0.96525$$

$$\delta_{tX} = 1.42 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.96525 \times \frac{1.210^2}{4\pi^2} \times 9.806 \times 10^3 = 498 \text{ mm}$$

$$\delta_{tY} = 1.42 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.96525 \times \frac{0.484^2}{4\pi^2} \times 9.806 \times 10^3 = 80 \text{ mm}$$

Load Case Data

General

Load Case Name: G1X Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.1
Load Pattern	Live	1.1

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☒ Full Load

☐ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of:

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U1 ▼ Roof ▼ 8

☐ Generalized Displacement:

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: G1Y Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.1
Load Pattern	Live	1.1

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☒ Full Load

☐ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of:

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U2 Roof 8

☐ Generalized Displacement:

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: G2X Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	0.9

+ Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☒ Full Load

☐ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of:

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U1 ▼ Roof ▼ 8

☐ Generalized Displacement:

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: G2Y

Load Case Type: Nonlinear Static

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Design... Notes...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	0.9

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default

Modify/Show... Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☒ Full Load

☐ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of:

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U2 Roof 8

☐ Generalized Displacement:

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: G1X - Push 01 Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: G1X

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX	1
Load Pattern	EY	0.3

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Displacement Control Modify/Show...

Results Saved: Multiple States Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 498 mm

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U1 Roof 8

☐ Generalized Displacement

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: G1Y - Push 01 [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: G1Y

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EY	1
Load Pattern	EX	0.3

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 80 mm

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint: U2, Roof, 8

☐ Generalized Displacement

[OK] [Cancel]

Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto	0.25
Auto P	0.25

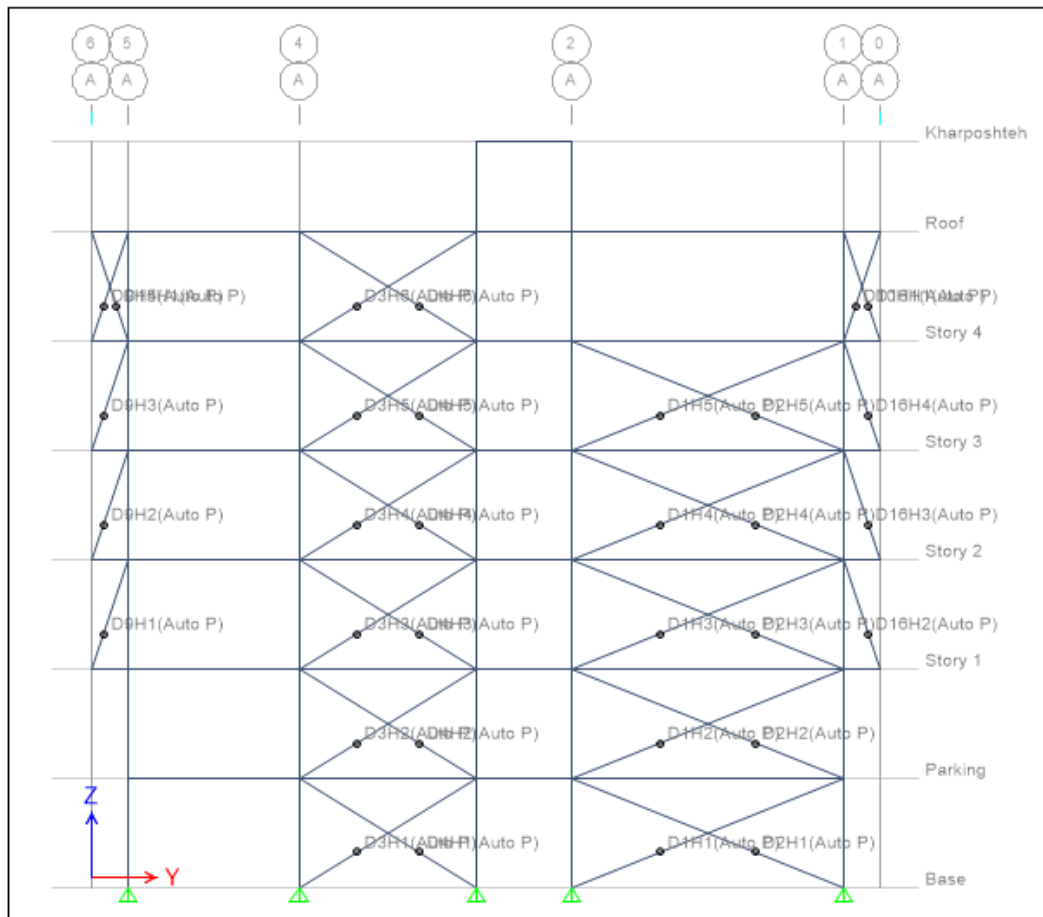
Add
Modify
Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In FEMA 356
Table: Table 5-6 (Steel Braces - Axial)
DOF: P

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel



اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرهای جهت X

Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto	0.95
Auto M3	0.05
Auto M3	0.95

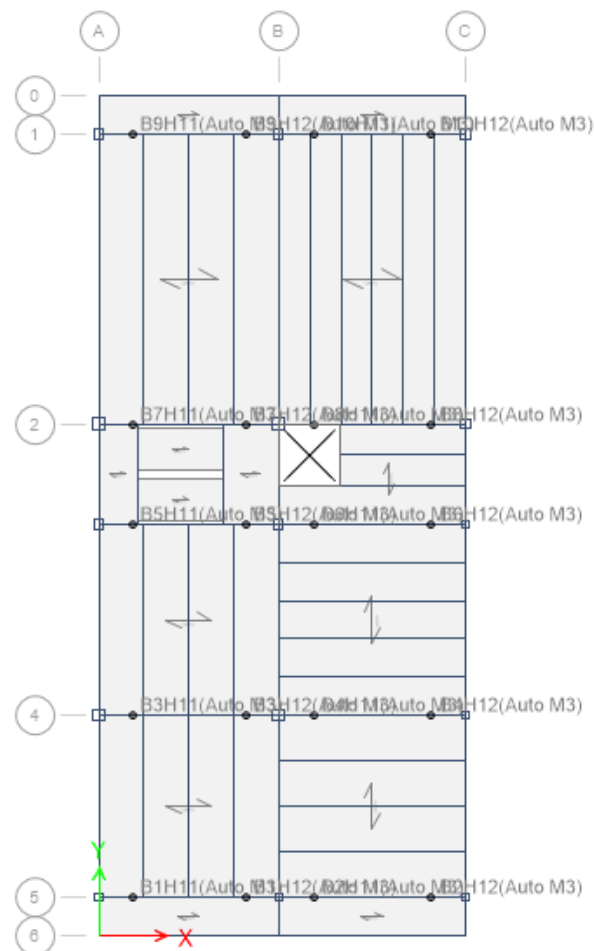
Add
Modify
Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In FEMA 356
Table: Table 5-6 (Steel Beams - Flexure)
DOF: M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel



Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto	0
Auto P-M2-M3	0
Auto P-M2-M3	1

Add

Modify

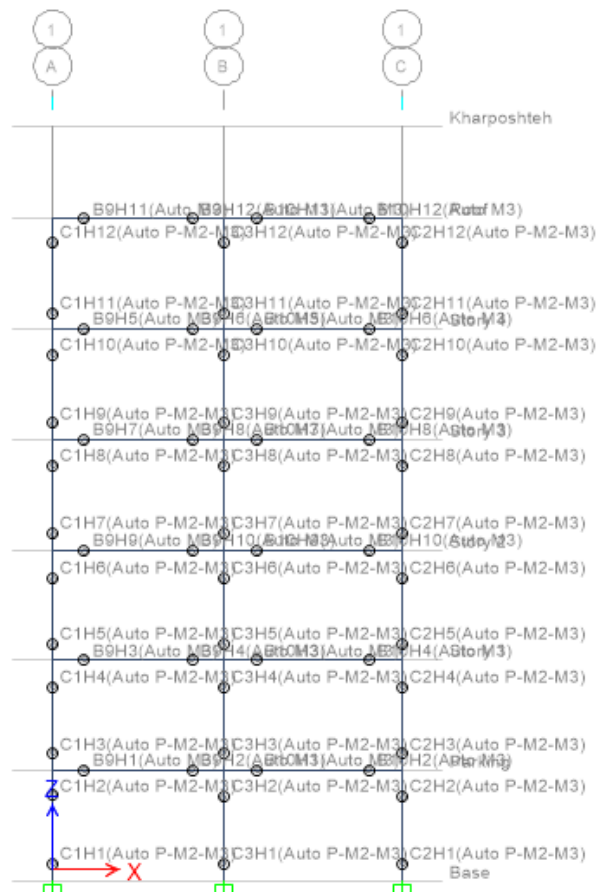
Delete

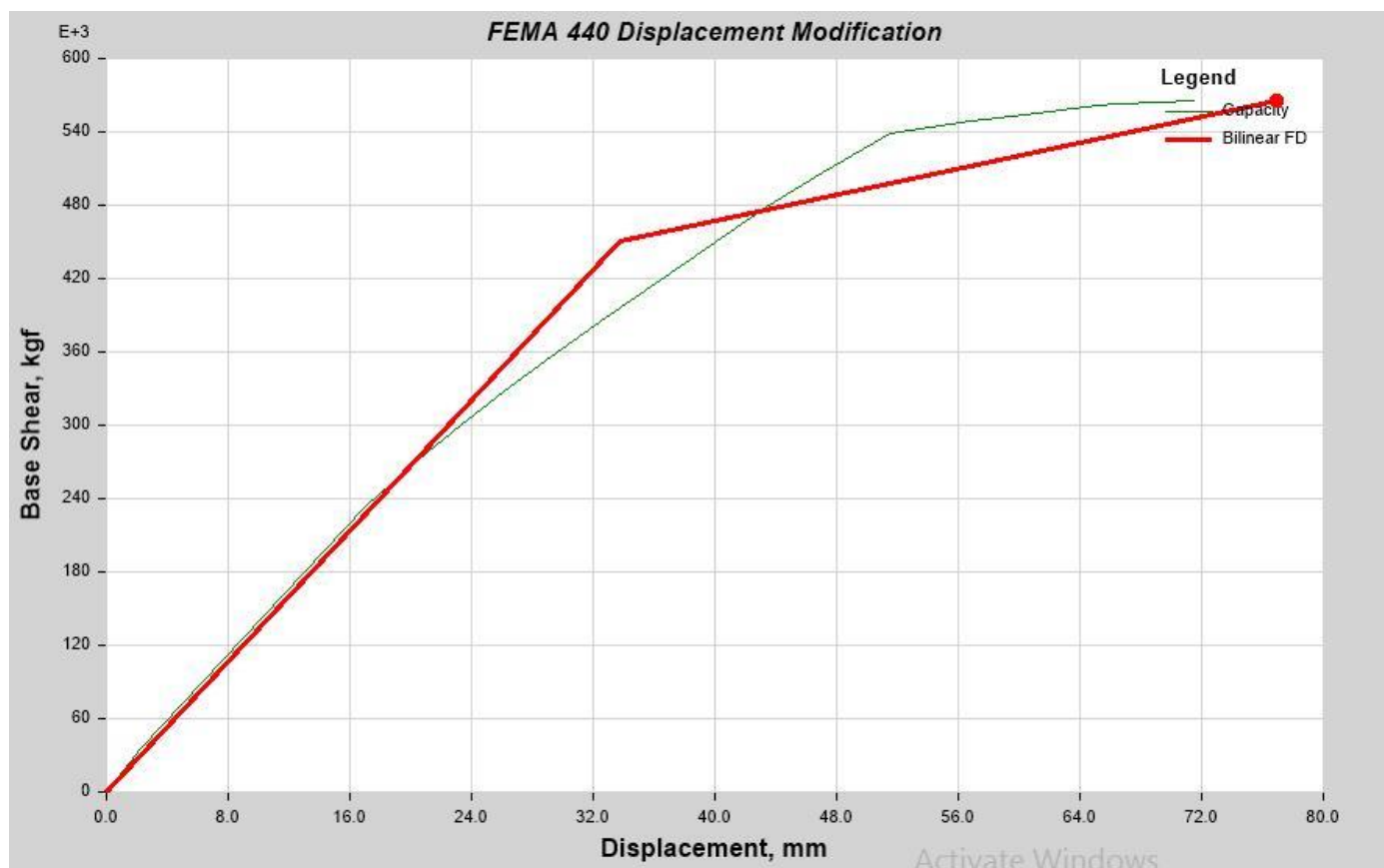
Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In FEMA 356
 Table: Table 5-6 (Steel Columns - Flexure)
 DOF: P-M2-M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel



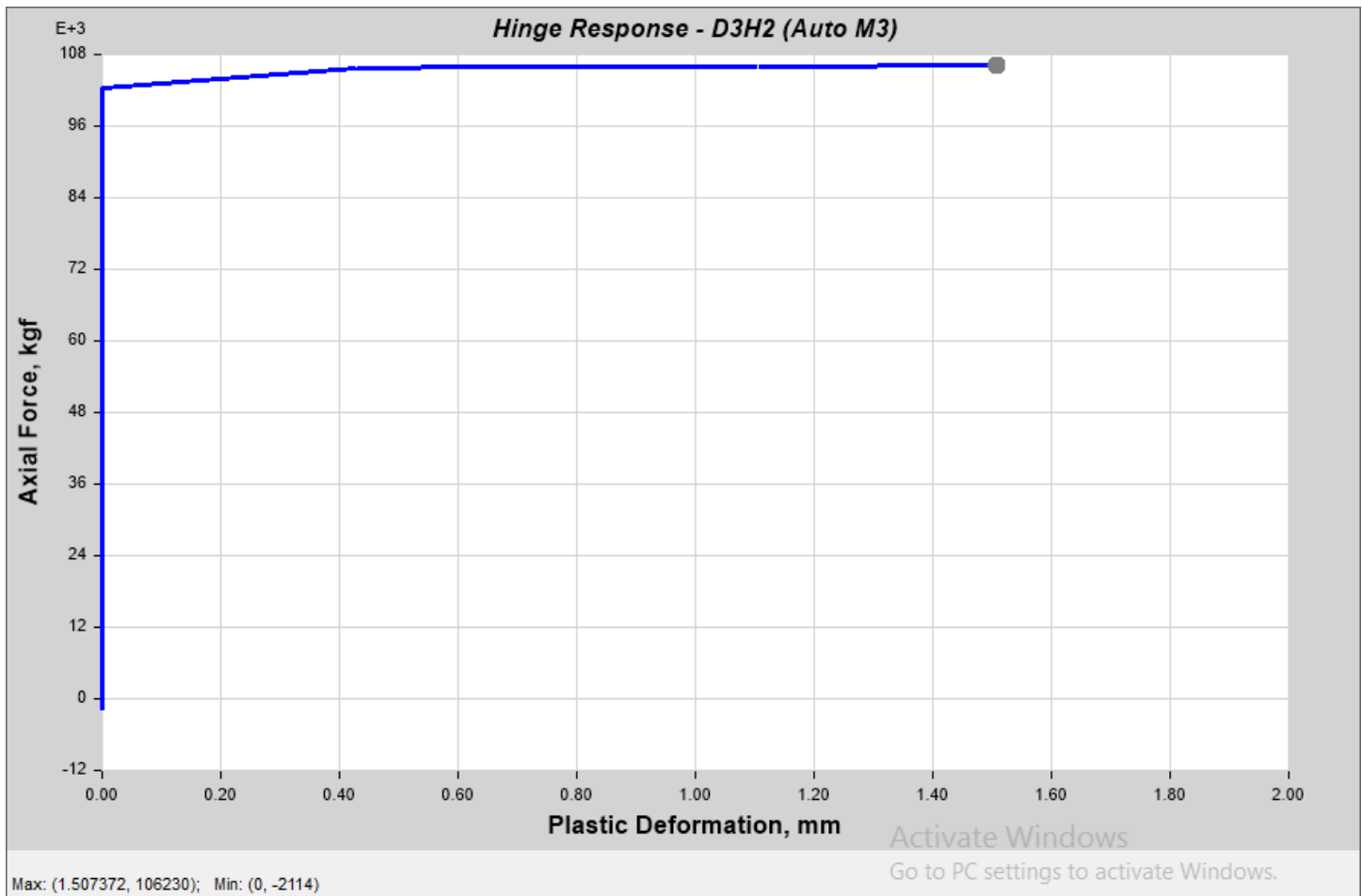


Target Displacement Results

Displ. (mm)	76.972448
Shear (kgf)	565717.21

Calculated Parameters

C0	1.379675
C1	1.015915
C2	1.001653
Sa, g	0.719575
Te (sec)	0.556
Ki (tonf/cm)	157.05
Ke (tonf/cm)	133.7
Ti (sec)	0.513
Alpha	0.199151
R	1.63932
Dy (mm)	33.693109
Vy (kgf)	450479.04
Weight (kgf)	1026271.23
Cm	1



همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، مقدار تغییرشکل پلاستیک ماکزیمم در این مهاربند 1.51 mm است. حال مطابق زیر به محاسبه مقدار مجاز تغییرشکل پلاستیک می‌پردازیم:

$$A = 40.72 \text{ cm}^2, \quad F_{ye} = 2640 \text{ kgf/cm}^2$$

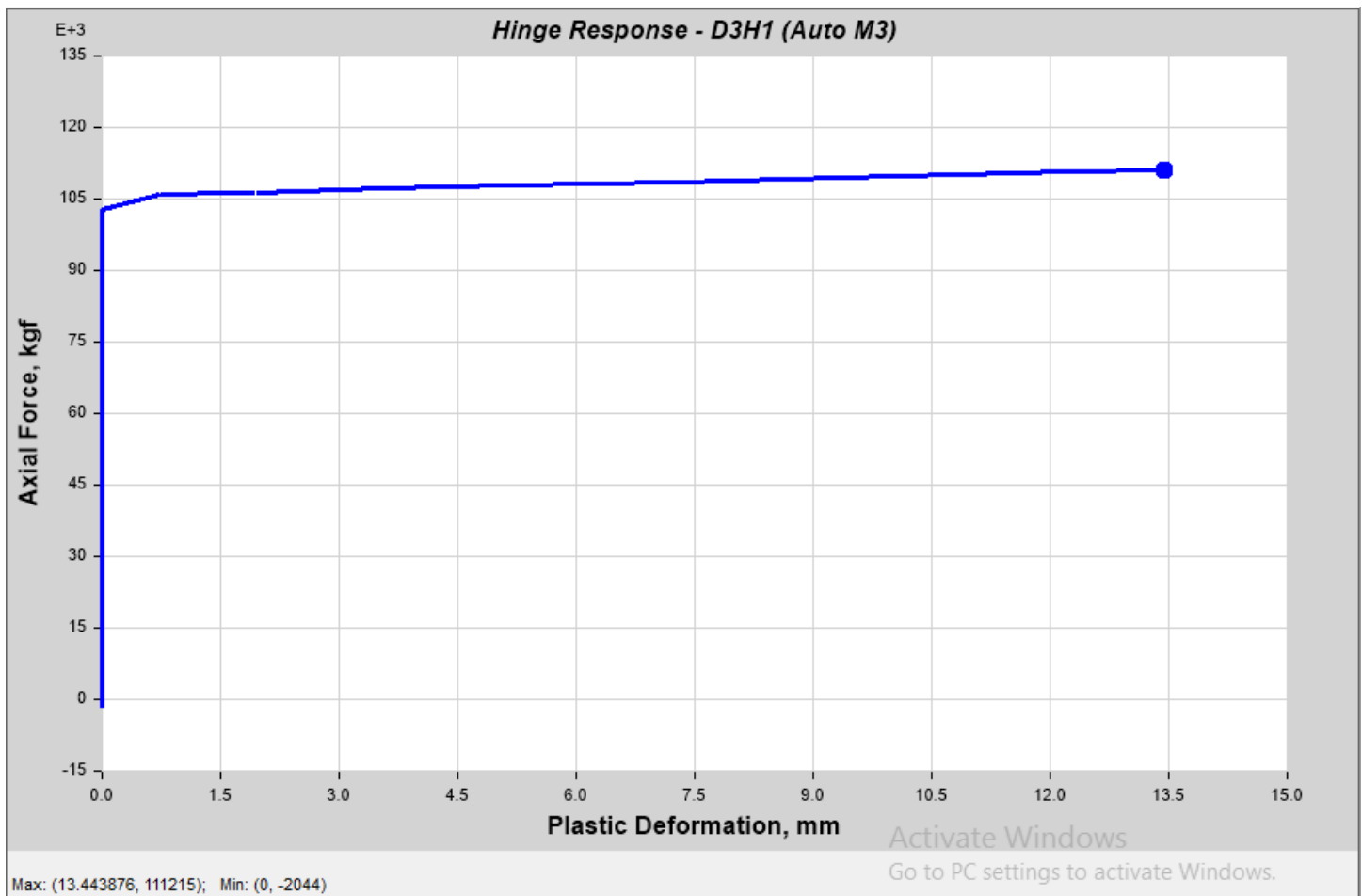
$$P_T = AF_{ye} = 40.72 \times 2640 = 107500.80 \text{ kgf}$$

$$\Delta_T = \frac{P_T L}{AE} = \frac{107500.80 \times 574.54}{40.72 \times 2 \times 10^6} \times 10 = 7.58 \text{ mm}$$

حال معیارهای پذیرش را بررسی می‌کنیم:

IO	LS	CP
$0.25\Delta_T = 1.90 \text{ mm}$	$7\Delta_T = 53.10 \text{ mm}$	$9\Delta_T = 68.3 \text{ mm}$
OK	OK	OK

مشاهده می‌شود که برای این مهاربند معیار پذیرش رعایت شده است.



همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، مقدار تغییرشکل پلاستیک ماکزیمم در این مهاربند 13.44 mm است. حال مطابق زیر به محاسبه مقدار مجاز تغییرشکل پلاستیک می‌پردازیم:

$$A = 40.72 \text{ cm}^2, \quad F_{ye} = 2640 \text{ kgf/cm}^2$$

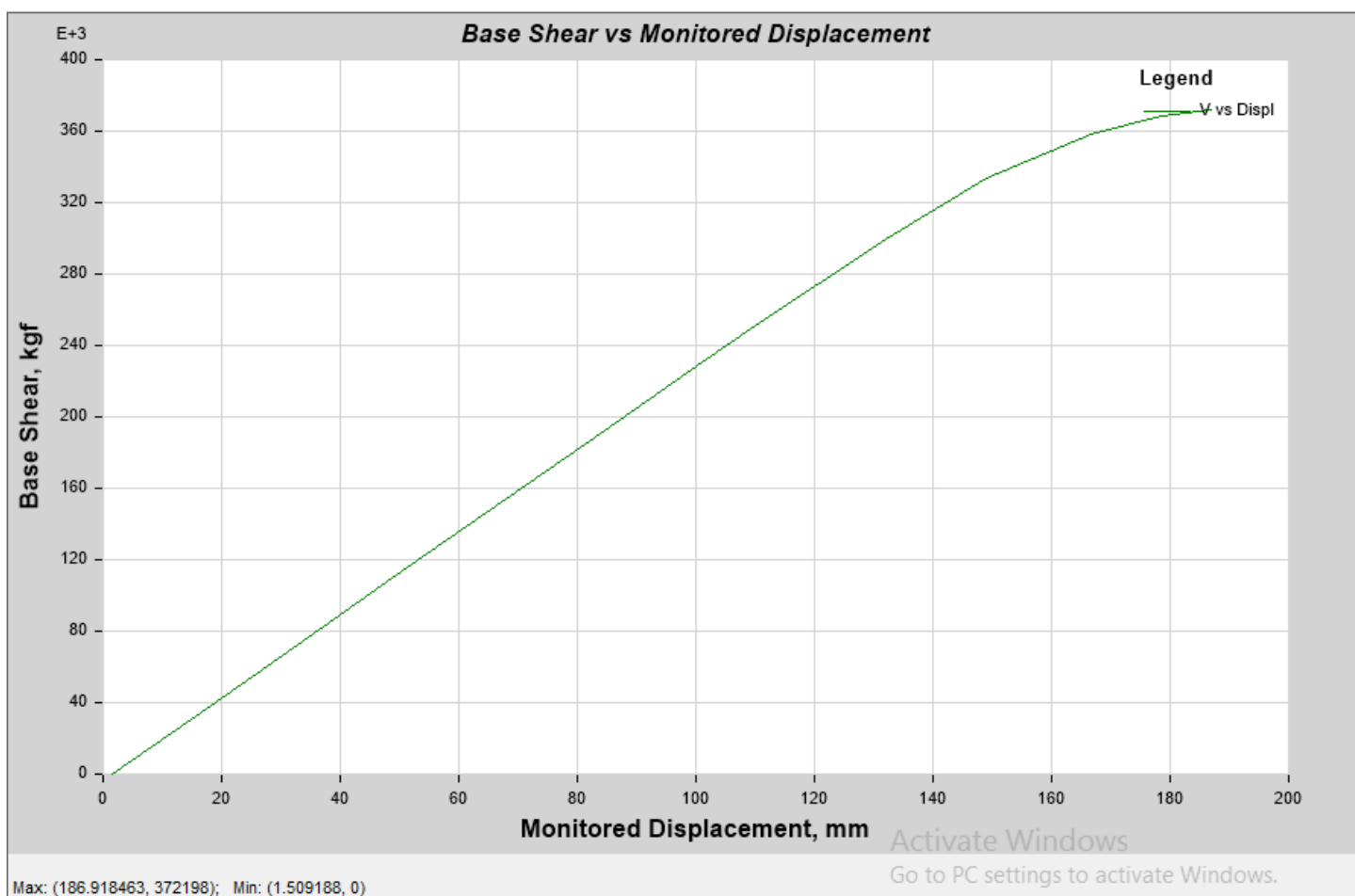
$$P_T = A F_{ye} = 40.72 \times 2640 = 107500.80 \text{ kgf}$$

$$\Delta_T = \frac{P_T L}{AE} = \frac{107500.80 \times 574.54}{40.72 \times 2 \times 10^6} \times 10 = 7.58 \text{ mm}$$

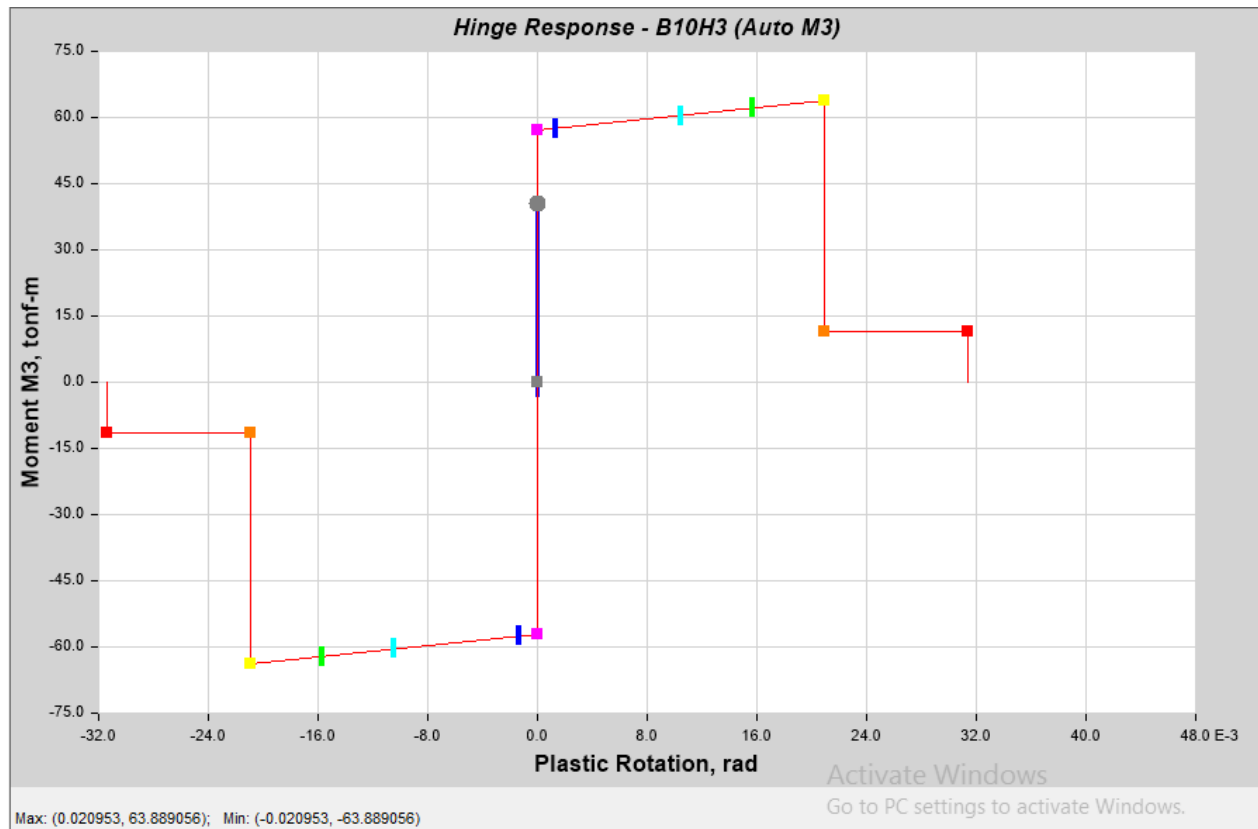
حال معیارهای پذیرش را بررسی می‌کنیم:

IO	LS	CP
$0.25\Delta_T = 1.90 \text{ mm}$	$7\Delta_T = 53.10 \text{ mm}$	$9\Delta_T = 68.3 \text{ mm}$
NO	OK	OK

مشاهده می‌شود که برای این مهاربند معیار پذیرش برای سطوح عملکرد LS و CP رعایت شده است.



Target Displacement Results	
Displ. (mm)	186.918463
Shear (kgf)	372197.8
Calculated Parameters	
C0	1.263734
C1	1
C2	1
Sa, g	0.459115
Te (sec)	1.394
Ki (tonf/cm)	21.26
Ke (tonf/cm)	21.26
Ti (sec)	1.394
Alpha	1.099241
R	0.72329
Dy (mm)	306.398923
Vy (kgf)	651435.44
Weight (kgf)	1026271.23
Cm	1



همانطور که مشاهده می‌شود، نرم‌افزار مقدار 0.021 rad را برای ماکزیمم دوران پلاستیک این تیر تعیین کرده است.

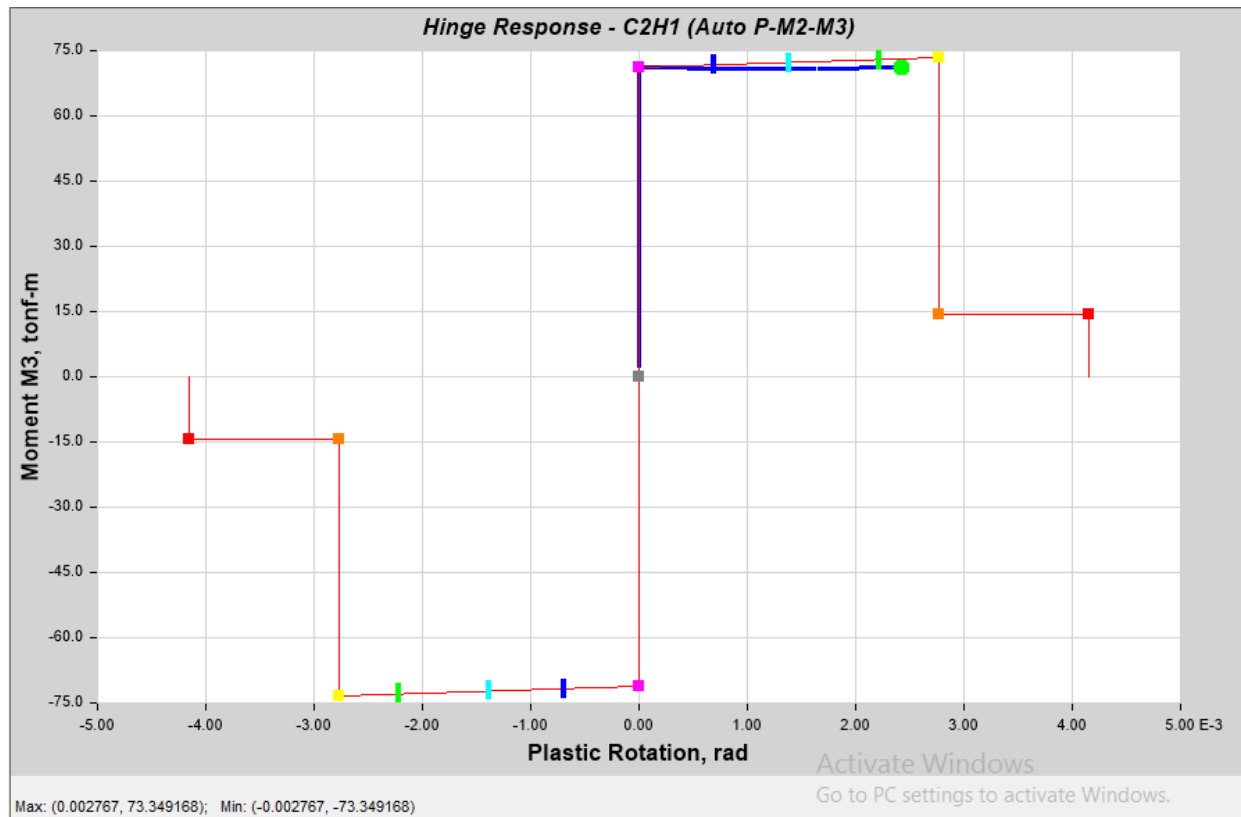
با استفاده از جدول (۳-۵) نشریه ۳۶۰ ابتدا محدوده بررسی تیر موردنظر را بررسی می‌کنیم، مشخصات این تیر که تیرورق بوده مطابق زیر است:

Section Dimensions	
Total Depth	43 cm
Top Flange Width	27 cm
Top Flange Thickness	1.5 cm
Web Thickness	1.2 cm
Bottom Flange Width	27 cm
Bottom Flange Thickness	1.5 cm
Fillet Radius	0 cm

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \quad \frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow OK$$

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b} = \frac{2160.75 \times 2640 \times 485}{6 \times 2 \times 10^6 \times 41291} = 0.0056 \text{ rad}$$

IO	LS	CP
$\theta_y = 0.0056 \text{ rad}$	$6\theta_y = 0.0335 \text{ rad}$	$8\theta_y = 0.0447 \text{ rad}$
OK	OK	OK



همانطور که مشاهده می‌شود، نرم‌افزار مقدار 0.0028 rad را برای ماکزیمم دوران پلاستیک ستون محاسبه کرده است. با استفاده از جدول (۳-۵) داریم:

$$\frac{P}{P_{cl}} = \frac{63.22}{633.60} = 0.10 \leq 0.20$$

Section Dimensions

Total Depth	35	cm
Total Width	35	cm
Flange Thickness	2	cm
Web Thickness	2	cm

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \quad \frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \rightarrow OK$$

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) = \frac{3271 \times 2640 \times 300}{6 \times 2 \times 10^6 \times 48092} \left(1 - \frac{63220}{264 \times 2640}\right) = 0.0041 \text{ rad}$$

IO	LS	CP
$\theta_y = 0.0041 \text{ rad}$	$6\theta_y = 0.0246 \text{ rad}$	$8\theta_y = 0.0328 \text{ rad}$
OK	OK	OK