



دانشکده فنی و مهندسی

پروژه فولاد

طراحی یک سالن صنعتی - سوله

استاد محترم:

جناب آقای دکتر شوکتی

تنظیم کننده:

یاسین سجانی

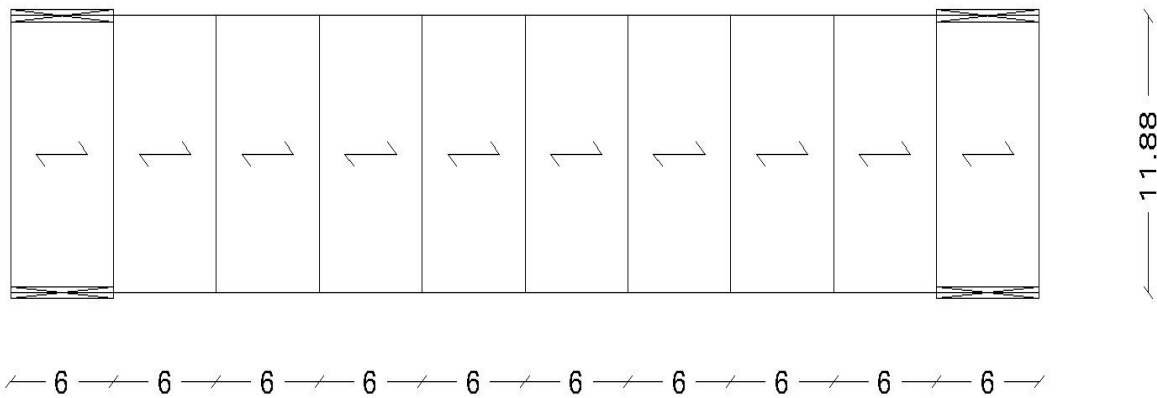
بهار ۸۷

معرفی پروژه	۱
بارگذاری	۲
آنالیز کامپیوتری	۱۲
طراحی اعضای قاب	۱۶
شاهتیرهای جرتقیل سقفی متحرک	۳۷
لاپه‌ها و مهارهای آنها	۴۳
سیستم‌های مهاربندی	۴۶
تیرهای عرضی دو انتها و بین قابی در طول	۵۲
تیرهای نعل درگاهی	۵۵
ورق‌های زیرستونی	۵۹
اتصالات	۶۰
قطعات تکیه‌گاهی	۷۵
طراحی پی	۸۱

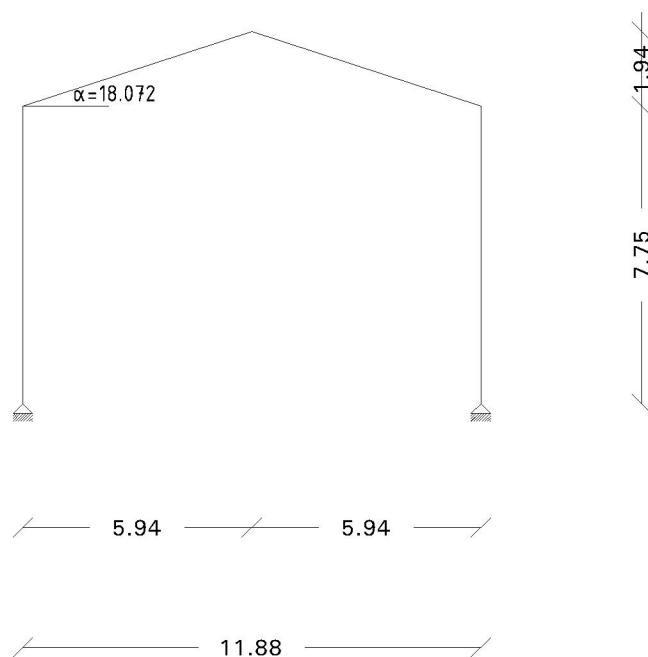
معرفی پروانه

معرفی پروژه:

در این پروژه ساختمان یک سوله تحلیل و طراحی می شود. هندسه پلان و نمای قابهای سوله در شکل زیر نشان داده شده است.



محل واقع شدن سوله شهر ارومیه می باشد. مقطع اعضای سوله از نوع مقاطع غیر منشوری می باشد. سقف پوشش دهنده سوله از نوع سقف سبک با پشم شیشه در نظر گرفته می شود. لایه های سقف از نوع مقاطع I در نظر گرفته می شوند. فاصله بین لایه ها برابر ۱ متر است.



بارگذازی

بارگذاری ثقلی:

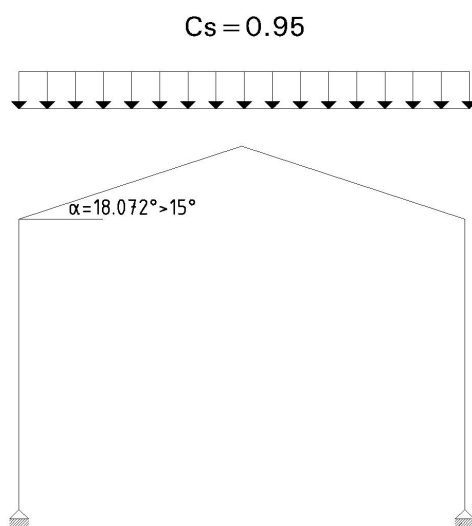
بارگذاری ثقلی را بر اساس آیین نامه ۵۱۹ و همچنین مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان انجام می دهیم:
محاسبه بار مرده سقف:

نوع بار	مقدار بار
ورق موجودار	9 kg/m^2
تور مرغی و پشم شیشه	6 kg/m^2
وزن لایه ها	25 kg/m^2
جمع	40 kg/m^2

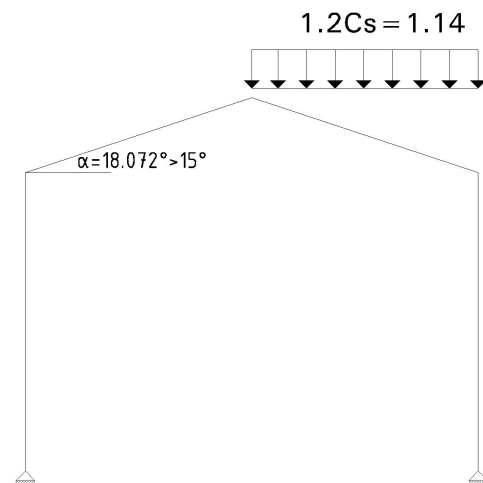
بار زنده برف بر اساس آیین نامه ۵۱۹ و همچنین مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان به صورت زیر به دست می آید:

$$P_r = C_s \cdot P_s$$

شهر ارومیه؛ منطقه با برف خیلی زیاد:



بارگذاری متقارن



بارگذاری نامتقارن

$$P_s = 200 \frac{kg}{m^2}$$

$$C_s = \begin{cases} 1 & \alpha \leq 15^0 \\ 1 - \frac{\alpha - 15}{60} & 15 < \alpha \leq 60 \\ 0.25 & \alpha > 60^0 \end{cases} \xrightarrow{\alpha=18.072} C_s = 0.95$$

$$P_r = 0.95 \times 200 = 190 \frac{kg}{m^2}$$

سختی سقف را به گونه ای تنظیم می کنیم که معادل سختی محوری لایه ها شود. در هر متر یک لایه قرار دارد. با فرض استفاده از لایه ای که دارای مساحتی حدود $20cm^2$ است و فرض یک ضخامت ۵ سانتی متری برای مقطع سقف و معادل کردن سختی EA در دو حالت می توان مدول معادل سقف را برای المان پوسته سقف بدست آورد.

$$\text{سقف معادل EA} = \text{لایه EA} \\ 2 \times 10^6 \times 20 = E \times 5 \times 100 \Rightarrow E \approx 8 \times 10^4 \frac{kg}{cm^2}$$

بارگذاری جانبی:

در بارگذاری جانبی بارگذاری باد و زلزله به صورت مجزا انجام می شود. با مقایسه برشهای پایه باد و زلزله بزرگترین مقدار ملاک خواهد بود و تنها یکی از بارهای باد یا زلزله به سازه اعمال می شود.

• بارگذاری باد:

بارگذاری باد بر مبنای آیین نامه ۵۱۹ و مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان انجام می شود. در صورت وزش باد در جهت عرضی ساختمان توزیع باری به شکل زیر توسط آیین نامه پیشنهاد می شود:

مطابق آیین نامه ۵۱۹ و مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان بار فشار باد بر اساس رابطه زیر بدست می آید:

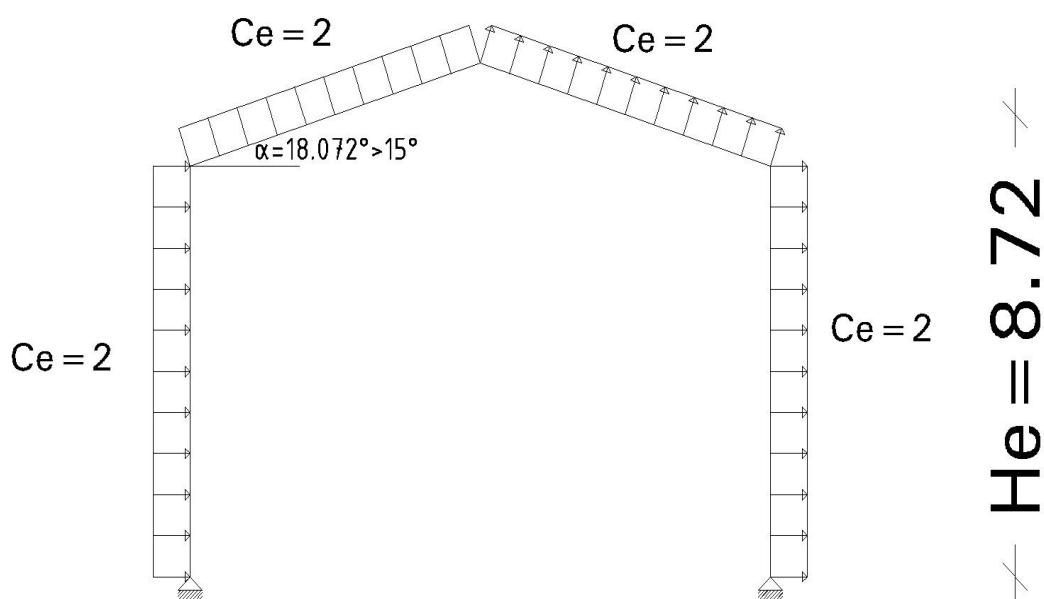
$$P = C_e \cdot C_q \cdot q$$

$$\rightarrow \text{ارومیه} \begin{cases} V = 90 \frac{km}{h} \\ q = 40.5 \frac{kg}{m^2} \end{cases}$$

$$H_e = 8.71875m \quad \& \quad H = 7.75m \rightarrow C_e = 2$$

$$\alpha = 18.072^0 \rightarrow 15^0 < \alpha \leq 30^0 \xrightarrow{-0.7 < C_q \leq +0.4} C_q = -0.475$$

$$\rightarrow \text{سطح باربر} \quad 9 \times (6 \times 8.71875) = 470.8125m^2$$



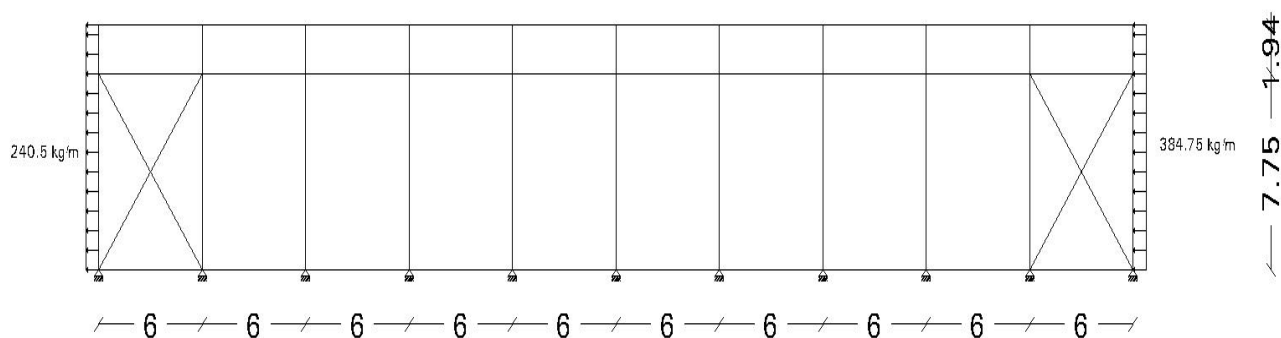
نیروهای باد در واحد طول:

$$\omega_1 = 64.8 \times 6 = 388.8 \text{ kg/m}$$

$$\omega_2 = 40.5 \times 6 = 243 \text{ kg/m}$$

$$\omega_3 = 38.475 \times 6 = 230.85 \text{ kg/m}$$

$$\omega_4 = 56.7 \times 6 = 340.2 \text{ kg/m}$$



برش پایه باد:

$$\rightarrow V = 10 \times (388.8 \times 7.75 + 243 \times 7.75 - 230.85 \times 6.2456 \times \cos(71.928) + 340.2 \times 6.2456 \times \cos(71.928))$$

$$\Rightarrow V = 510848 \text{ kg}$$

• بارگذاری زلزله:

بارگذاری جانبی زلزله بر مبنای آئین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) انجام می شود:

محل: ارومیه

$$A = 0.25$$

نوع خاک زمین:

$$\rightarrow Tip IV \Rightarrow \begin{cases} S = 2.25 \\ T_0 = 0.15 \\ T_s = 1 \end{cases}$$

$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}} = 0.254 \Rightarrow T_0 < T < T_s \rightarrow B = S + 1 = 2.25 + 1 = 3.25 \Rightarrow B = 3.25$$

$$R = 6 \quad \& \quad I = 1$$

$$C = \frac{ABI}{R} = \frac{0.25 \times 3.25 \times 1}{6} = 0.135$$

وزن ساختمان:

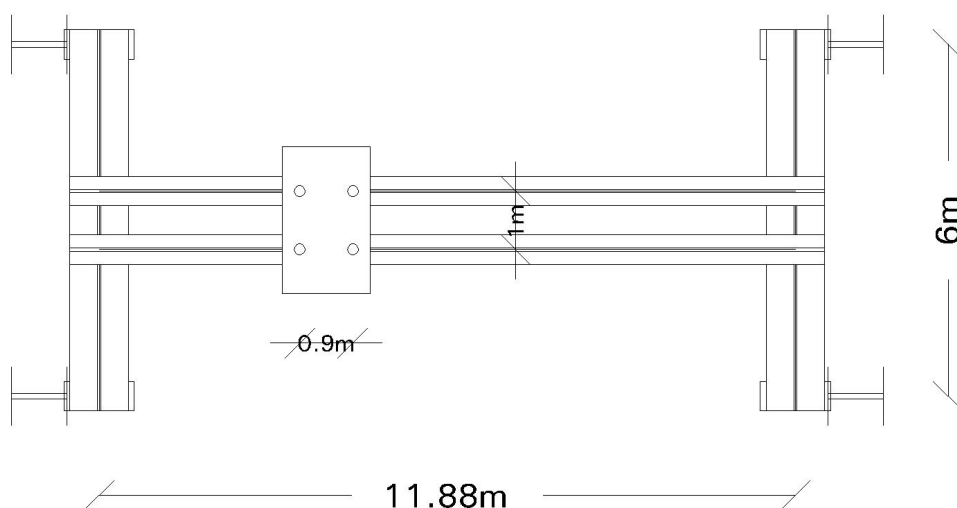
$$W = (120 + 0.2 \times 190) \times (10 \times 11.875 \times 6) = 112575 kg$$

$$\begin{aligned} &\rightarrow V = CW \\ \text{برش پایه زلزله} \quad V &= 0.135 \times 112575 = 15197.6 kg \end{aligned}$$

با مقایسه دو برش پایه مشاهده می شود که اثر باد غالب است و نیازی به لحاظ کردن اثر زلزله وجود ندارد.

بارگذاری جرثقیل:

ظرفیت جرثقیل برابر 6 تن است و وزن ارابه 0.2 تن فرض می شود. شکل کلی و موقعیت ارابه در شکل زیر نشان داده شده است:



وزن بار: $W=6000 \text{ kg}$

وزن ارابه: $Wt=200 \text{ kg}$

وزن پل: $=50 \text{ kg/m}$

وزن ریل طولی و تیر حمل: $=100 \text{ kg/m}$

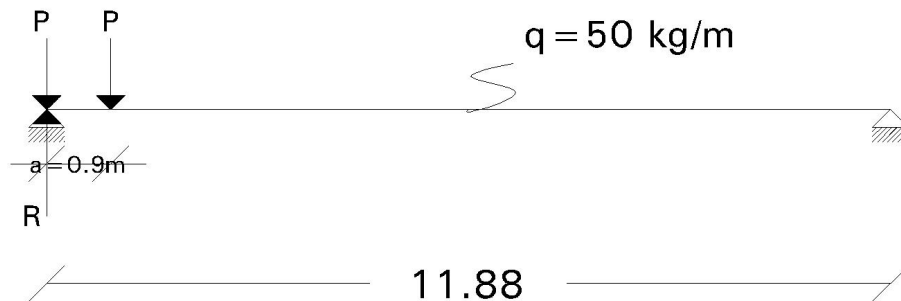
حداکثر بار چرخهای پل جرثقیل:

$$p = \frac{w + w_T}{4} = \frac{6000 + 200}{4} = 1550 \text{ kg}$$

بار هر چرخ ارابه:

حداکثر بار چرخهای پل جرثقیل:

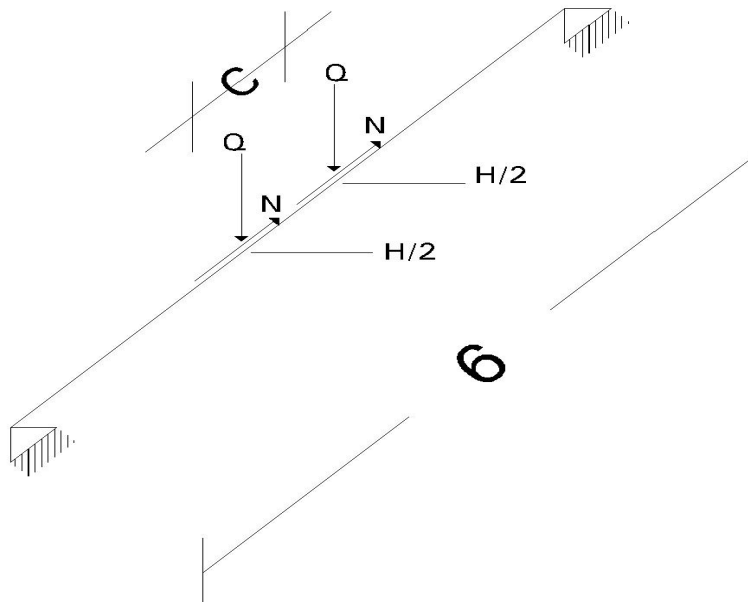
$$R = \frac{2p}{L} \left(l - \frac{a}{2} \right) + \frac{ql}{2} = \frac{2(1550)}{11.875} \left(11.875 - \frac{0.9}{2} \right) + \frac{50 \times 11.875}{2} = 3279.4 \text{ kg}$$



بارگذاری تیر زیرسری:

بار قائم (Q):

$$Q = 1.25R = 1.25 \times 3279.4 = 4099.25 \text{ kg}$$



بار افقی - جانبی (H):

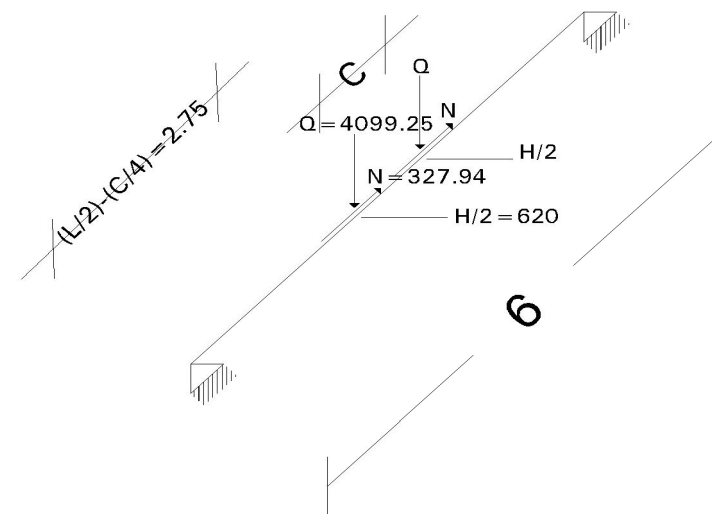
$$H = 0.2(w + w_T) = 0.2(6000 + 200) = 1240 \text{ kg}$$

بار افقی - طولی (N):

$$N = 0.1R = 0.1 \times 3279.4 = 327.94 \text{ kg}$$

لنگر حداکثر در تیر زیرسری:

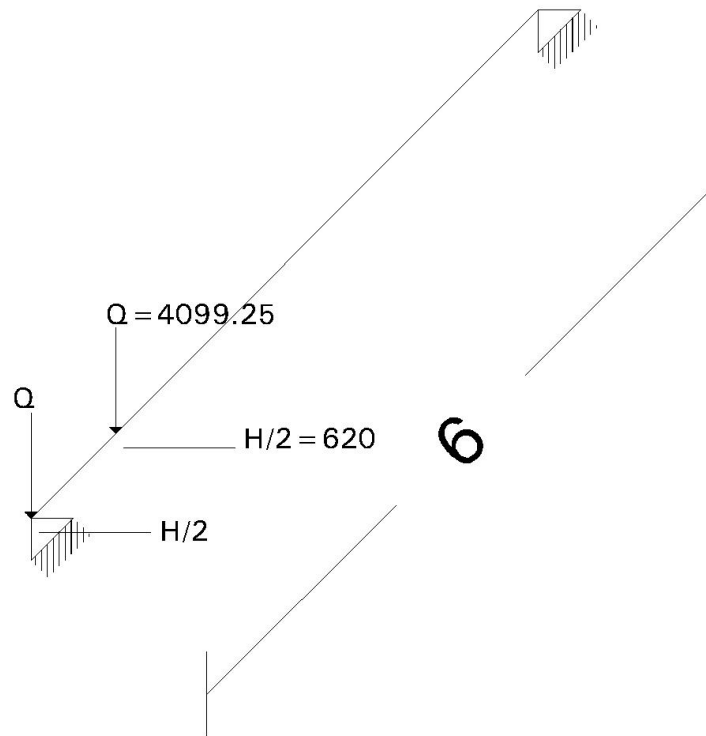
حداکثر لنگر خمشی ناشی از نیروهای H و Q در زیر این بارها و در هنگامی که فاصله آنها از تکیه گاه برابر مقدار زیر باشد تعیین میگردد:



$$l/2 - c/4 = 2.75 \text{ m}$$

$$M_y = \frac{H/2}{2l} (l - c/2)^2 = \frac{1240/2}{2 \times 6} (6 - 1/2)^2 = 1562.92 \text{ kg-m}$$

$$M_z = \frac{Q}{2l} (l - c/2)^2 + \frac{q'l^2}{8} = \frac{4099.25}{2 \times 6} (6 - 1/2)^2 + \frac{100 \times 6^2}{8} = 10783.53 \text{ kg-m}$$



$$V_z = \frac{2 \times H/2}{l} (l - \frac{c}{2}) = \frac{2 \times 620}{6} (6 - \frac{1}{2}) = 1136.7 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{2Q}{l} (l - \frac{c}{2}) + \frac{q'l}{2} = \frac{2 \times 4099.25}{6} (6 - \frac{1}{2}) + \frac{100 \times 6}{2} = 7815.3 \text{ kg}$$

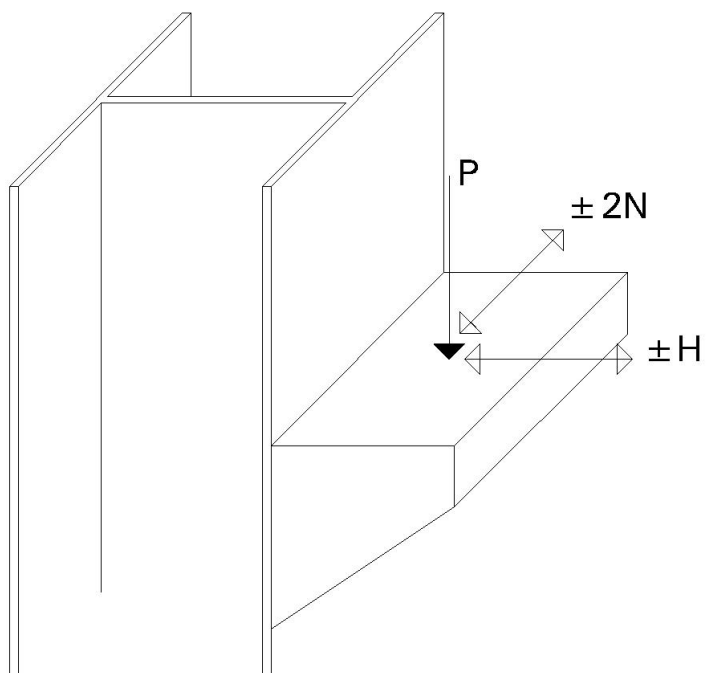
نمایش بارهای وارد بر ستون:

برای تعیین نیروهای حداکثر ناشی از حرکت جرثقیل روی قاب بایستی تیرهای عرضی (پل ها) طوری قرار گیرند که مرکز ثقل بارها در صفحه قاب واقع باشد:

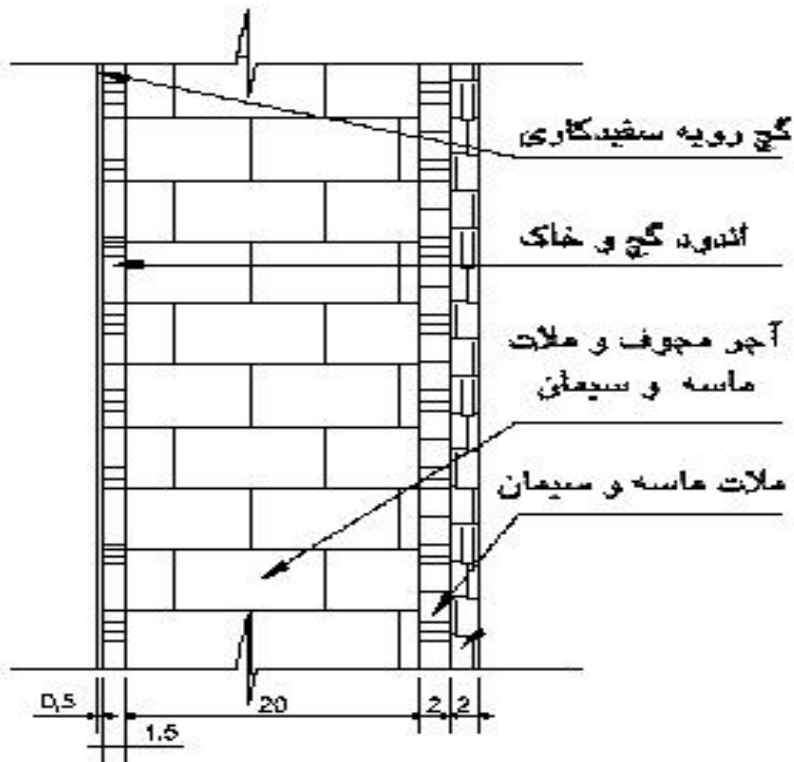
$$p = q'l + 2R = 3279.4 \times 2 + 100 \times 6 = 7158.8 \text{ kg}$$

$$\pm H = \pm 1240 \text{ kg}$$

$$\pm 2N = \pm 2 \times 327.94 = \pm 655.88 \text{ kg}$$



جزئیات دیوار محیطی:



عنوان	وزن واحد حجم	ضخامت	وزن kgf/m^2
ملات ماسه سیمان	2100 kgf/m^3	0.02 m	42
آجر مجوف با ملات	850 kgf/m^3	0.2 m	170
اندود گچ و خاک	1600 kgf/m^3	0.015 m	24
گچ رویه سفیدکاری	1300 kgf/m^3	0.005 m	6.5
مجموع			$\sum W \approx 245$

آنا لبر کا پیوٹری

آنالیز کامپیوتری :

سازه موجود توسط برنامه *SAP2000 v10.0.1* تحلیل گردید و نتایج آن در طراحی دستی مورد استفاده قرار گرفت .

نتایج حاصل با نتایج ناشی از تحلیل دقیق مطابقت دارد.

تحلیل کامپیوتری سازه توسط نرم افزار *SAP2000 v10.0.1* :

پارامترهای بارگذاری و تحلیل سازه :

نوع بارگذاری	شدت بارگذاری
بار مرده سازه	40 kgf/m^2
بار زنده (بار برف)	190 kgf/m^2

آیین نامه های بارگذاری و طراحی سازه :

آیین نامه بارگذاری و طراحی سازه	مورد استفاده در سازه
آیین نامه ۵۱۹ ایران و مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان	بارگذاری ثقیلی سازه
آیین نامه استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم)	بارگذاری جانبی سازه (بار زلزله)
AISC LRFD-99	طراحی المانهای فولادی سازه
ACI 318-95	طراحی المانهای بتنی سازه
آیین نامه ۵۱۹ ایران و مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان	بارگذاری جانبی سازه (بار باد)

تعریف بارهای استاتیکی و دینامیکی سازه :

شرح نوع بارگذاری	نشانه بارگذاری
بارهای مرده سازه	DEAD
بارهای زنده سازه	LIVE
بار باد در جهت X	WX
بار باد در جهت Y	WY

معرفی ترکیبات بار :

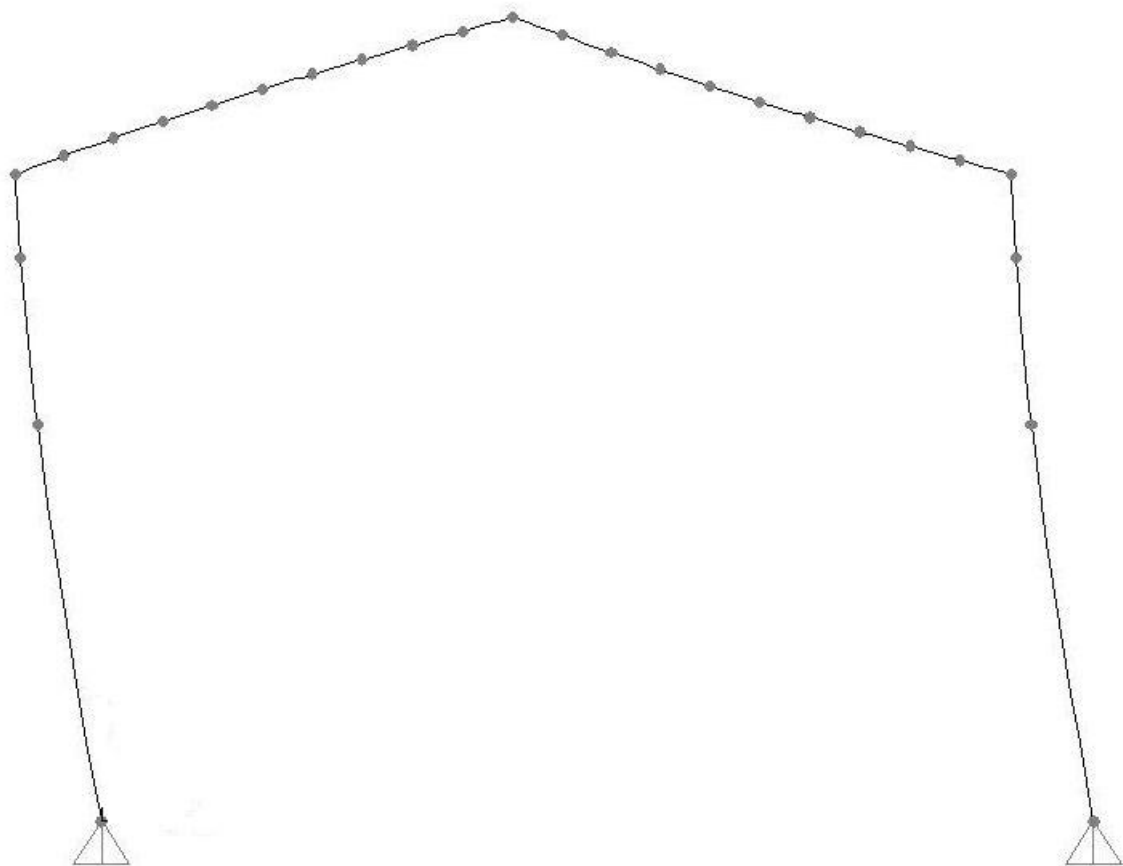
ترکیبات بارگذاری براساس آئین نامه **AISC LRFD 1999**

WY	WX	LIVE	DEAD	ترکیبات بار	
-	-	-	1.4	DSTL 1	1
-	-	1.6	1.2	DSTL 2	2
-	1.6	1	1.2	DSTL 3	3
-	-1.6	1	1.2	DSTL 4	4
1.6	-	1	1.2	DSTL 5	5
-1.6	-	1	1.2	DSTL 6	6
-	0.8	-	1.2	DSTL 7	7
-	-0.8	-	1.2	DSTL 8	8
0.8	-	-	1.2	DSTL 9	9
-0.8	-	-	1.2	DSTL 10	10
-	1.6	-	0.9	DSTL 11	11
-	-1.6	-	0.9	DSTL 12	12
1.6	-	-	0.9	DSTL 13	13
-1.6	-	-	0.9	DSTL 14	14

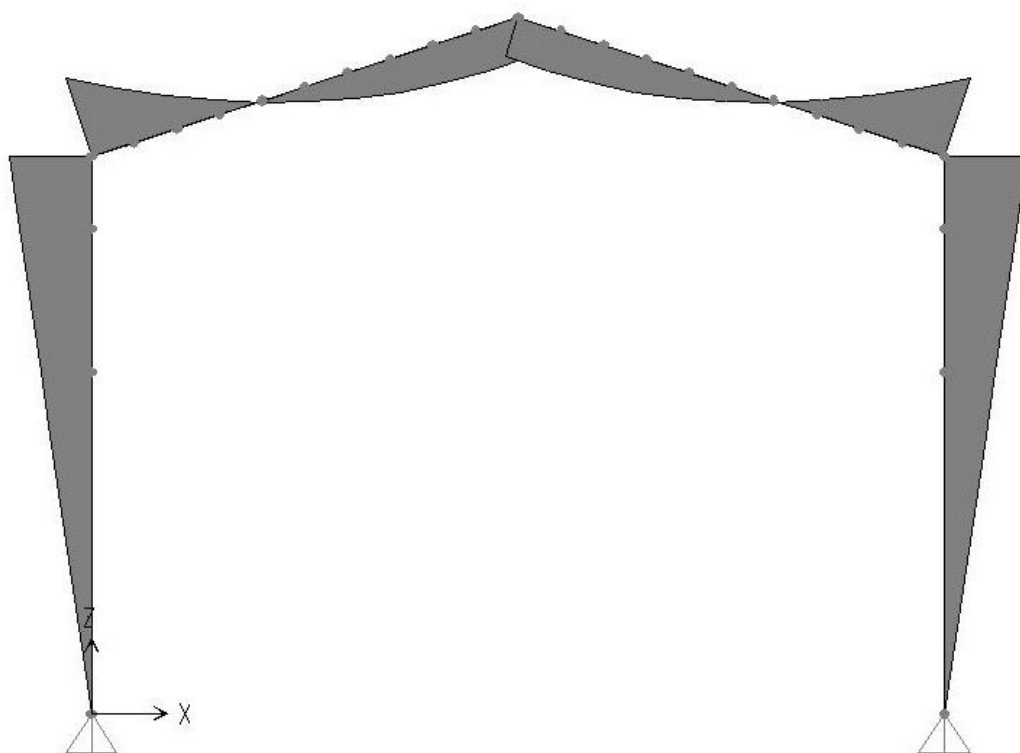
- تکیه گاههای پای ستون های سازه در آنالیز و طراحی به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است .



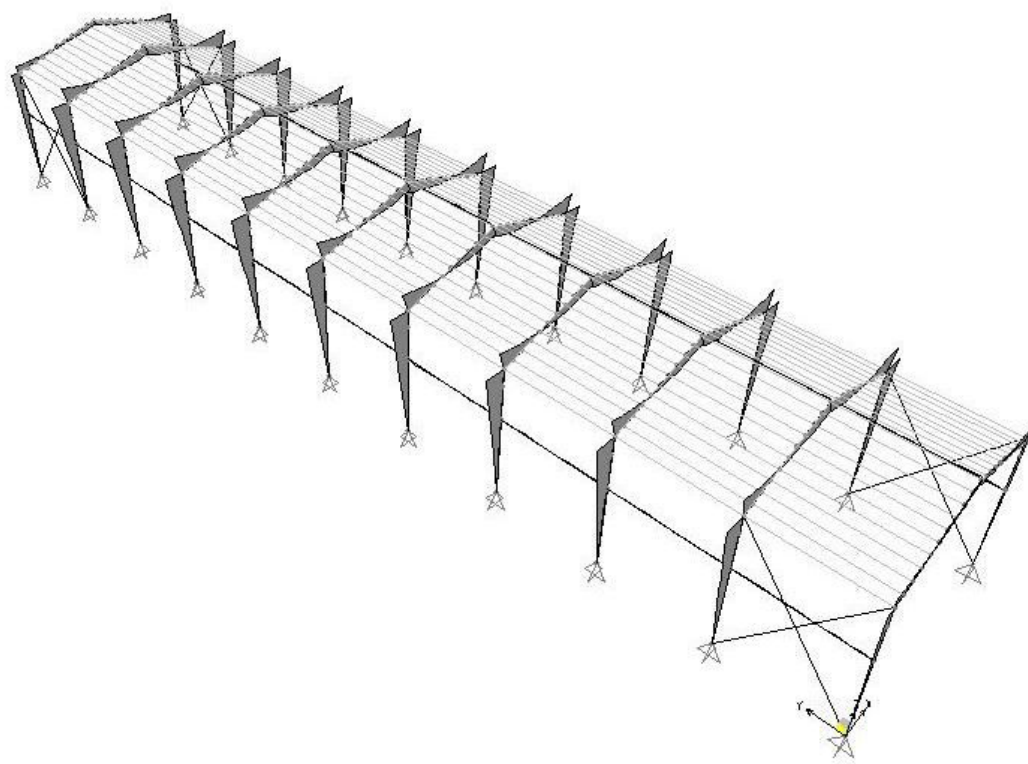
دیاگرام لنگر خمشی تیر عرضی سازه



تغییر شکل سازه بر اثر بارگذاری



دیاگرام لنگر خمشی سازه در بحرانی ترین حالت



دیاگرام لنگر خمشی سه بعدی سازه

طراحی اعضای قاب

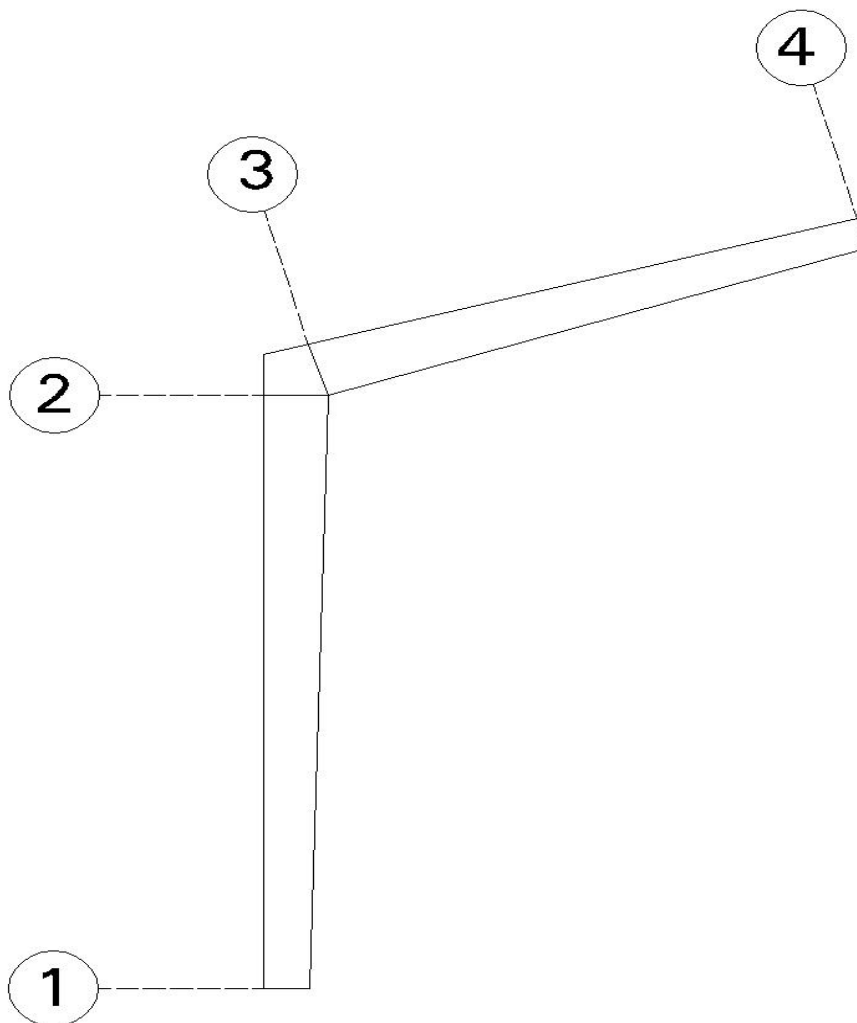
طراحی مقاطع: (تیرها و ستونها)

جدول تیرها :

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	M3(nt3)	M2	M3
Text	in	Text	Text	Kip	Kip	Kip	Kip-in	Kip-in	Kip-in
22	0	DSTL4	Combination	-13.5954	-30.8283	0.417829	-262.104	0	-3840.39
22	0	DSTL2	Combination	-13.8661	-27.4935	0.417829	-295.399	0	-2613
22	0	DSTL12	Combination	-5.62967	-16.4759	0.313371	-209.546	0	-2590.04
22	0	DSTL6	Combination	-9.36686	-20.0144	0.234125	-209.546	0	-2015.9
22	0	DSTL5	Combination	-9.36686	-20.0144	0.601532	-156.989	0	-2015.9
22	0	DSTL8	Combination	-3.98245	-12.9562	0.417829	-102.401	0	-1932.98
22	0	DSTL1	Combination	-2.17955	-8.80746	0.487467	-92.7366	0	-1190.86
22	0	DSTL10	Combination	-1.86819	-7.54925	0.325977	-77.5342	0	-1020.74
22	0	DSTL9	Combination	-1.86819	-7.54925	0.50968	-66.4579	0	-1020.74
22	0	DSTL14	Combination	-1.40114	-5.66194	0.129668	-66.4579	0	-765.553
22	0	DSTL13	Combination	-1.40114	-5.66194	0.497075	-49.8434	0	-765.553
22	0	DSTL3	Combination	-5.13834	-9.20048	0.417829	-49.8434	0	-191.408
22	0	DSTL7	Combination	0.246076	-2.14229	0.417829	-40.1792	0	-108.492
22	0	DSTL11	Combination	2.827386	5.151987	0.313371	2.713922	0	1058.938
22	245.8907	DSTL2	Combination	-5.61027	-2.19348	3.11E-03	24.06312	0	1030.563
22	245.8907	DSTL4	Combination	-7.83938	-8.10314	3.11E-03	20.35906	0	939.7358
22	245.8907	DSTL6	Combination	-3.61085	-2.37502	-8.83E-03	16.60488	0	730.4593
22	245.8907	DSTL5	Combination	-3.61085	-2.37502	1.50E-02	16.60488	0	730.4592
22	245.8907	DSTL3	Combination	0.617676	3.353103	3.11E-03	12.85069	0	521.1827
22	245.8907	DSTL12	Combination	-4.43739	-7.7363	2.33E-03	6.885045	0	381.9912
22	245.8907	DSTL8	Combination	-2.39274	-5.54163	3.11E-03	6.051573	0	334.9244
22	245.8907	DSTL1	Combination	-0.32489	-3.12384	3.63E-03	4.870227	0	268.6672
22	245.8907	DSTL10	Combination	-0.27848	-2.67757	-2.86E-03	4.17448	0	230.2862
22	245.8907	DSTL9	Combination	-0.27848	-2.67757	9.08E-03	4.17448	0	230.2861
22	245.8907	DSTL14	Combination	-0.20886	-2.00818	-9.61E-03	3.13086	0	172.7147
22	245.8907	DSTL13	Combination	-0.20886	-2.00818	0.014268	3.13086	0	172.7146
22	245.8907	DSTL7	Combination	1.835782	0.186486	3.11E-03	2.297387	0	125.6479
22	245.8907	DSTL11	Combination	4.019665	3.719939	2.33E-03	-0.62333	0	-36.5619

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	M3(nt3)	M2	M3
Text	in	Text	Text	Kip	Kip	Kip	Kip-in	Kip-in	Kip-in
21	0	DSTL4	Combination	-67.9254	-16.9969	1.15E-02	5.92E-15	0	0
21	0	DSTL2	Combination	-65.287	-7.65974	1.15E-02	5.92E-15	0	0
21	0	DSTL6	Combination	-56.333	-5.7029	-0.26644	2.96E-15	0	0
21	0	DSTL5	Combination	-56.3329	-5.7029	0.289517	8.76E-31	0	0
21	0	DSTL1	Combination	-48.3111	-2.84842	1.35E-02	8.76E-31	0	0
21	0	DSTL8	Combination	-47.2057	-8.0885	1.15E-02	4.38E-31	0	0
21	0	DSTL3	Combination	-44.7405	5.591095	1.15E-02	0	0	0
21	0	DSTL12	Combination	-42.6496	-13.1251	8.65E-03	0	0	0
21	0	DSTL10	Combination	-41.4095	-2.44151	-0.12745	-4.38E-31	0	0
21	0	DSTL9	Combination	-41.4095	-2.44151	0.150528	-8.76E-31	0	0
21	0	DSTL7	Combination	-35.6133	3.205491	1.15E-02	-8.76E-31	0	0
21	0	DSTL14	Combination	-31.0572	-1.83113	-0.26932	-2.96E-15	0	0
21	0	DSTL13	Combination	-31.0571	-1.83113	0.286632	-5.92E-15	0	0
21	0	DSTL11	Combination	-19.4646	9.462866	0.008654	-5.92E-15	0	0
21	305.1181	DSTL4	Combination	-34.4596	-3.36119	-0.95384	262.1036	0	3840.39
21	305.1181	DSTL2	Combination	-31.8209	-4.65304	-0.95384	295.3993	0	2612.996
21	305.1181	DSTL6	Combination	-22.8674	-2.69594	-0.39592	209.5463	0	2015.899
21	305.1181	DSTL5	Combination	-22.8674	-2.69594	-1.51175	209.5463	0	2015.899
21	305.1181	DSTL12	Combination	-17.5508	-0.24083	-0.71538	156.9889	0	2590.044
21	305.1181	DSTL8	Combination	-13.741	0.233263	-0.95384	102.4008	0	1932.983
21	305.1181	DSTL3	Combination	-11.2752	-2.03069	-0.95384	92.73659	0	191.4084
21	305.1181	DSTL1	Combination	-9.269	0.660201	-1.11281	77.53423	0	1190.861
21	305.1181	DSTL10	Combination	-7.94485	0.565887	-0.67488	66.45792	0	1020.738
21	305.1181	DSTL9	Combination	-7.94485	0.565887	-1.2328	66.45792	0	1020.738
21	305.1181	DSTL14	Combination	-5.95864	0.424416	-0.15746	49.84344	0	765.5534
21	305.1181	DSTL13	Combination	-5.95864	0.424414	-1.27329	49.84344	0	765.5534
21	305.1181	DSTL7	Combination	-2.14876	0.898511	-0.95384	40.17924	0	108.4924
21	305.1181	DSTL11	Combination	5.633549	1.089663	-0.71538	-2.71392	0	-1058.94

برای طراحی تیرها و ستونها مقطع سوله را مانند شکل زیر شماره گذاری کرده، سپس هر شماره را به طور جداگانه طراحی می کنیم؛



بر همین اساس دو حالت طراحی می توانیم داشته باشیم:

۱- تیر ورق

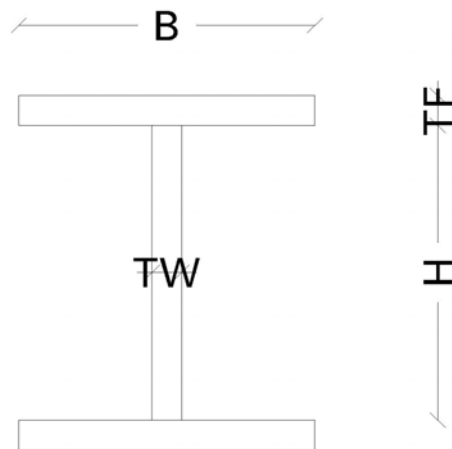
۲- تیر ساخته شده

با رعایت ضوابط **LRFD** هر گاه از تیر ساخته شده به جای تیر ورق استفاده شود می توان به اقتصادی بودن مقطع اطمینان داشت. در تیر ساخته شده ضخامت جان به اندازه ای که تحت برش کمانش نکند بالا گرفته می شود گر چه با انتخاب تیر ساخته شده که فاقد تقویت جان هستند سنگینی نیمرخ بالاتر از تیر ورق با همان دهانه و بار است اغلب اوقات به دلیل پائین آمدن هزینه ساخت نسبت به تیر ورق اقتصادی تر هستند مخصوصاً که حجم محاسبات آنها بسیار کمتر است.

زمانی نیمرخ فشرده است که (ضوابط *LRFD*) در آن شرایط زیر وجود داشته باشد:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} \quad \& \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{F_y}}$$

پس از انتخاب ضخامت جان تیر ساخته شده، باید به انتخاب ضخامت بال پرداخت.
استحکام کل طراحی نیمرخ برابر با مجموع استحکام خمشی بال و استحکام خمشی جان است.



$$Z_{total} = \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{t_w h^2}{4} + A_f (h + t_f) \rightarrow$$

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

$$P_u = -13.59 \text{ k}$$

$$V_u = -30.83 \text{ k}$$

$$M_{ux} = -3840.39 \text{ k-in}$$

$$M_{ntx} = -262.104 \text{ k-in}$$

$$M_{ltx} = 3567.6 \text{ k-in}$$

طراحی برای بال و جان فشرده:

$$Z_{total} = \frac{M_u}{\phi_b F_y} = 118.53 \text{ in}$$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

$$\frac{h}{t_w} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = 162$$

فرض می شود:

$$H=17 \text{ in}$$

$$\text{Min. } t_w = \frac{17}{162} \rightarrow \text{say } t_w = 0.415 \text{ in}$$

$$\frac{h}{t_w} = 38.7 \leq 162 \rightarrow \text{ok} \quad \& \quad \frac{h}{t_w} = 38.7 \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$$

چون مقدار $\frac{h}{t_w}$ کوچکتر از مقدار $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$ است لذا نیازی به تقویت جان نخواهیم داشت. ولی باید $V_u \leq \phi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

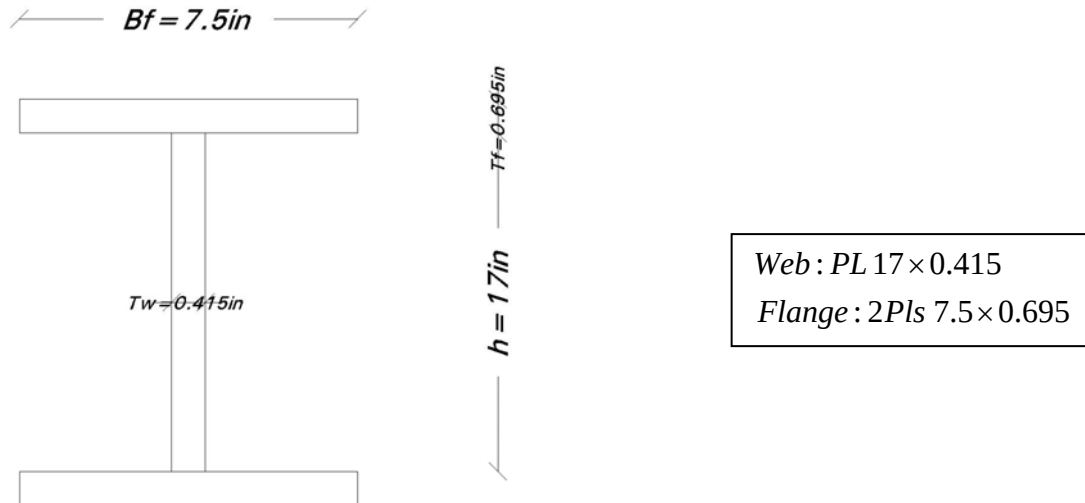
اگر فرض شود ضخامت بال 0.695 in باشد:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)} = \frac{3840.39}{0.9 \times 36 \times (17 + 0.695)} - \frac{0.415 \times 17^2}{4(17 + 0.695)} = 5.41 \text{ in}^2$$

$$\rightarrow b_f = 7.5 \text{ in}$$

کنترل فشردگی بال:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 5.5 \leq \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = 10.9 \rightarrow ok \quad \checkmark$$



مشخصات مقطع:

$$A = 17 \times 0.415 + 2 \times 7.5 \times 0.695 = 17.57 \text{ in}^2$$

$$I_x = 2 \left(\frac{7.5 \times 0.695^3}{12} + 7.5 \times 0.695 \times 8.8475^2 \right) + \left(\frac{0.415 \times 17^3}{12} \right) = 992.4 \text{ in}^4$$

$$I_y = 2 \left(\frac{7.5^3 \times 0.695}{12} \right) + \left(\frac{17 \times 0.415^3}{12} \right) = 50.1 \text{ in}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{992.4}{17.57}} = 7.52 \text{ in} \quad \& \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{50.1}{17.57}} = 1.7 \text{ in}$$

$$Z = 2 \times (0.695 \times 7.5 \times 8.8475 + 8.5 \times 0.415 \times 4.25) = 122.9 \text{ in}^3 \geq 118 \text{ in}^3$$

تعیین زون:

$$L_b = 245.891 \text{ in}$$

$$(I \text{ Shapes}) L_p = \frac{300r_y}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{300 \times 1.7}{\sqrt{36}} = 85 \text{ in}$$

$$S_x = \frac{I_x}{C} = \frac{992.4}{9.195} = 107.93 \text{ in}^3 \quad \& \quad \begin{cases} E = 29000 \text{ ksi} \\ G = 11200 \text{ ksi} \end{cases} \quad \& \quad F_r = 16.5 \text{ ksi}$$

$$J = \frac{\sum bt^3}{3} = \frac{2 \times (7.5 \times 0.695^3) + 17 \times 0.415^3}{3} = 2.084 \text{ in}^4$$

$$(h = 17.695) \rightarrow C_w = \frac{I_y h^2}{4} = \frac{17.695^2 \times 50.1}{4} = 3921.74 \text{ in}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{107.93} \sqrt{\frac{29000 \times 11200 \times 2.084 \times 17.57}{2}} = 2244.6$$

$$x_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = \frac{4 \times 3921.74}{50.1} \left(\frac{107.93}{11200 \times 2.084} \right)^2 = 0.007$$

$$L_r = \frac{r_y x_1}{F_{yw} - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 (F_{yw} - F_r)^2}} = \frac{1.7 \times 2244.6}{36 - 16.5} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (36 - 16.5)^2}}$$

$$\Rightarrow L_r = 334.02 \text{ in}$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow \text{zone 2}$$

تعیین لنگرها:

$$M_r = (F_{yw} - F_r) S_x = (36 - 16.5) \times 107.93 = 2104.64 \text{ k-in}$$

$$M_p = Z.F_y = 36 \times 122.9 = 4424.4 \text{ k-in} \rightarrow \phi_b M_p = 0.9 \times 4424.4 = 3982 \text{ k-in}$$

$$BF = \phi_b \times \frac{M_p - M_r}{L_r - L_p} = (0.9) \left(\frac{4424.4 - 2104.64}{334.02 - 85} \right) = 8.4 \text{ k}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_A = 2087.489 \text{ k-in} \\ M_B = 697.218 \text{ k-in} \\ M_C = 301.436 \text{ k-in} \\ M_{\max} = 3840.39 \text{ k-in} \end{cases}$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 3840.39}{2.5 \times 3840.39 + 3 \times 2087.489 + 4 \times 697.218 + 3 \times 301.436} = 2.45$$

$$\phi_b M_n = C_b [\phi_b M_p - BF (L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p$$

$$\phi_b M_n = 2.45 \times (3982 - 8.4(245.891 - 85)) = 6457.92 \text{ k-in} > \phi_b M_p = 3982 \text{ k-in}$$

$$\rightarrow \phi_b M_{nx} = 3982 \text{ k-in}$$

حال باید به بررسی و کنترل مقطع از لحاظ نسبت تنش بپردازیم:

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_x = \frac{1 \times 245.891}{7.52} = 32.7$$

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_y = \frac{1 \times 245.891}{1.7} = 144.66 \xrightarrow{Table} \phi_c \cdot F_{cr} = 10.206$$

$$\rightarrow \phi_c \cdot P_n = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g = 10.206 \times 17.57 = 179.32 \text{ k}$$

$$B_{1x} = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{P_u}{P_{e1x}}} \geq 1 \rightarrow B_{1x} = 1 \quad \& \quad B_{2x} = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}}$$

$$P_{e2} = \frac{\pi^2 EI_x}{[(kl)_x]^2} = \frac{\pi^2 \times 29000 \times 992.4}{(1 \times 245.891)^2} = 4697.85 \text{ k} \quad \& \quad P_u = 13.59 \text{ k}$$

$$B_{2x} = \frac{1}{1 - \frac{2 \times 13.59}{2 \times 4697.85}} = 1.003$$

$$M_{ux} = B_{1x} \cdot M_{ntx} + B_{2x} \cdot M_{ltx} = 1 \times (-262.104) + 1.003 \times (-3567.6) = -3840.39 \text{ k-in}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{13.59}{179.32} = 0.076 < 0.2 \rightarrow$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} \right) \leq 1 \Rightarrow \frac{13.59}{2 \times 179.32} + \left(\frac{3840.39}{3982} \right) = 1.0002 \cong 1 \leq 1 \rightarrow ok$$

در نتیجه مقطع انتخاب شده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

حال باید به بررسی برش بپردازیم:

۱. کنترل برش:

$$\frac{h}{t_w} = 38.7 \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow$$

$$\phi_v \cdot V_n = \phi_v \times 0.6 \times F_{yw} \cdot A_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 17 \times 0.415 = 137.15 \text{ k} \geq 30.83 \text{ k} \rightarrow ok$$

۲. کنترل خیز:

$$\Delta = \frac{ML^2}{32EI} = \frac{3840.39 \times (245.891)^2}{32 \times 29000 \times 992.4} = 0.252 \leq \Delta_{all} = \frac{l}{360} = \frac{245.891}{360} = 0.683 \rightarrow ok$$

۳. خمش موضعی بال:

$$\phi R_n = 0.9 \times 6.25 \times t_f^2 \times F_{yf} = 0.9 \times 6.25 \times (0.695)^2 \times 36 = 97.81 \text{ k} \geq 30.83 \text{ k} \rightarrow ok$$

۴. تسلیم موضعی جان:

$$\phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = (2.5 \times 1 + 3) \times 36 \times 0.415 = 82.17 \text{ k} \geq 30.83 \text{ k} \rightarrow ok$$

۵. کمانش موضعی جان:

$$\text{For } N/d \leq 0.2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \times \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw} t_f}{t_w}} =$$

$$0.75 \times 0.4 \times 0.415^2 \times \left[1 + 3 \left(\frac{3}{18.39} \right) \left(\frac{0.415}{0.695} \right)^{1.5} \right] \times \sqrt{\frac{29000 \times 36 \times 0.695}{0.415}} \rightarrow$$

$$\phi R_n = 73.46 \text{ k} \geq V_u = 30.83 \text{ k} \rightarrow ok$$

۶. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} = \frac{0.9 \times 24 \times 0.415^3 \times \sqrt{29000 \times 36}}{17} = 92.8 \text{ k} \geq 30.83 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$\begin{aligned}P_u &= -5.61 \text{ k} \\V_u &= -2.2 \text{ k} \\M_{ux} &= 1030.56 \text{ k-in} \\M_{ntx} &= 24.063 \text{ k-in} \\M_{ltx} &= 1000.5 \text{ k-in}\end{aligned}$$

طراحی برای بال و جان فشرده:

$$Z_{total} = \frac{M_u}{\phi_b \cdot F_y} = 31.81 \text{ in}$$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

$$\frac{h}{t_w} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = 162$$

فرض می شود:

$$H=10 \text{ in}$$

$$\text{Min. } t_w = \frac{10}{162} \rightarrow \text{say } t_w = 0.29 \text{ in}$$

$$\frac{h}{t_w} = 34.5 \leq 162 \rightarrow \text{ok} \quad \& \quad \frac{h}{t_w} = 34.5 \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$$

چون مقدار $\frac{h}{t_w}$ کوچکتر از مقدار $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$ است لذا نیازی به تقویت جان نخواهیم داشت. ولی باید $V_u \leq \phi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

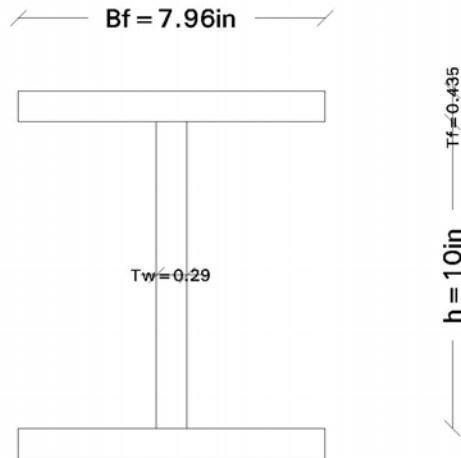
$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

اگر فرض شود ضخامت بال 0.435 in باشد:

$$\begin{aligned}(A_f)_{req} &= \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)} = \frac{1030.56}{0.9 \times 36 \times (10 + 0.435)} - \frac{0.29 \times 10^2}{4(10 + 0.435)} = 2.4 \text{ in}^2 \\&\rightarrow b_f = 7.96 \text{ in}\end{aligned}$$

کنترل فشردگی بال:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 9.15 \leq \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = 10.9 \rightarrow ok \checkmark$$



Web : PL 10×0.29
Flange : 2Pls 7.96×0.435

مشخصات مقطع:

$$A = 10 \times 0.29 + 2 \times 7.96 \times 0.435 = 9.8 \text{ in}^2$$

$$I_x = 2 \left(\frac{7.96 \times 0.435^3}{12} + 7.96 \times 0.435 \times 5.2175^2 \right) + \left(\frac{0.29 \times 10^3}{12} \right) = 212.8 \text{ in}^4$$

$$I_y = 2 \left(\frac{7.96^3 \times 0.435}{12} \right) + \left(\frac{10 \times 0.29^3}{12} \right) = 36.6 \text{ in}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{212.8}{9.8}} = 4.66 \text{ in} \quad \& \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{36.6}{9.8}} = 1.93 \text{ in}$$

$$Z = 2 \times (0.29 \times 5 \times 2.5 + 7.96 \times 0.435 \times 5.2175) = 43.4 \text{ in}^3 \geq 32 \text{ in}^3$$

تعیین زون:

$$L_b = 245.891 \text{ in}$$

$$(I \text{ Shapes}) L_p = \frac{300r_y}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{300 \times 1.93}{\sqrt{36}} = 96.5 \text{ in}$$

$$S_x = \frac{I_x}{C} = \frac{212.8}{5.435} = 39.15 \text{ in}^3 \quad \& \quad \begin{cases} E = 29000 \text{ ksi} \\ G = 11200 \text{ ksi} \end{cases} \quad \& \quad F_r = 16.5 \text{ ksi}$$

$$J = \frac{\sum bt^3}{3} = \frac{2 \times (7.96 \times 0.435^3) + 10 \times 0.29^3}{3} = 0.52 \text{ in}^4$$

$$(h = 10.435) \rightarrow C_w = \frac{I_y h^2}{4} = \frac{10.435^2 \times 36.6}{4} = 996.3 \text{ in}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{39.15} \sqrt{\frac{29000 \times 11200 \times 0.52 \times 9.8}{2}} = 2308.5$$

$$x_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = \frac{4 \times 996.3}{36.6} \left(\frac{39.15}{11200 \times 0.52} \right)^2 = 0.005$$

$$L_r = \frac{r_y x_1}{F_{yw} - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 (F_{yw} - F_r)^2}} = \frac{1.93 \times 2308.5}{36 - 16.5} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0.005 \times (36 - 16.5)^2}}$$

$$\Rightarrow L_r = 375.66 \text{ in}$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow \text{zone 2}$$

تعیین لنگرها:

$$M_r = (F_{yw} - F_r) S_x = (36 - 16.5) \times 39.15 = 763.425 \text{ k-in}$$

$$M_p = Z.F_y = 36 \times 43.4 = 1562.4 \text{ k-in} \rightarrow \phi_b M_p = 0.9 \times 1562.4 = 1406.2 \text{ k-in}$$

$$BF = \phi_b \times \frac{M_p - M_r}{L_r - L_p} = (0.9) \left(\frac{1562.4 - 763.425}{375.66 - 96.5} \right) = 2.58 \text{ k}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_A = 2087.489 \text{ k-in} \\ M_B = 697.218 \text{ k-in} \\ M_C = 301.436 \text{ k-in} \\ M_{\max} = 3840.39 \text{ k-in} \end{cases}$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 3840.39}{2.5 \times 3840.39 + 3 \times 2087.489 + 4 \times 697.218 + 3 \times 301.436} = 2.45$$

$$\phi_b M_n = C_b [\phi_b M_p - BF (L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p$$

$$\phi_b M_n = 2.45 \times (1406.2 - 2.58 (245.891 - 96.5)) = 2505.9 \text{ k-in} > \phi_b M_p = 1406.2 \text{ k-in}$$

$$\rightarrow \phi_b M_{nx} = 1406.2 \text{ k-in}$$

حال باید به بررسی و کنترل مقطع از لحاظ نسبت تنش بپردازیم:

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_x = \frac{1 \times 245.891}{4.66} = 52.77$$

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_y = \frac{1 \times 245.891}{1.93} = 127.4 \xrightarrow{\text{Table}} \varphi_c \cdot F_{cr} = 13.022$$

$$\rightarrow \varphi_c \cdot P_n = \varphi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g = 13.022 \times 9.8 = 127.6 \text{ k}$$

$$B_{1x} = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{P_u}{P_{e1x}}} \geq 1 \rightarrow B_{1x} = 1 \quad \& \quad B_{2x} = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}}$$

$$P_{e2} = \frac{\pi^2 EI_x}{[(kl)_x]^2} = \frac{\pi^2 \times 29000 \times 212.8}{(1 \times 245.891)^2} = 1007.4 \text{ k} \quad \& \quad P_u = 5.61 \text{ k}$$

$$B_{2x} = \frac{1}{1 - \frac{2 \times 5.61}{2 \times 1007.4}} = 1.006$$

$$M_{ux} = B_{1x} \cdot M_{ntx} + B_{2x} \cdot M_{ltx} = 1 \times (24.063) + 1.006 \times (1000.5) = 1030.56 \text{ k-in}$$

$$\frac{P_u}{\varphi_c \cdot P_n} = \frac{5.61}{127.6} = 0.044 < 0.2 \rightarrow$$

$$\frac{P_u}{\varphi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\varphi_b \cdot M_{nx}} \right) \leq 1 \Rightarrow \frac{5.61}{2 \times 127.6} + \left(\frac{1030.56}{1406.2} \right) = 0.8 \leq 1 \rightarrow ok$$

در نتیجه مقطع انتخاب شده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

حال باید به بررسی برش بپردازیم:

۱. کنترل برش:

$$\frac{h}{t_w} = 34.5 \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow$$

$$\varphi_v \cdot V_n = \varphi_v \times 0.6 \times F_{yw} \cdot A_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 10 \times 0.29 = 56.4 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

۲. کنترل خیز:

$$\Delta = \frac{ML^2}{32EI} = \frac{1030.56 \times (245.891)^2}{32 \times 29000 \times 212.8} = 0.32 \leq \Delta_{all} = \frac{l}{360} = \frac{245.891}{360} = 0.683 \rightarrow ok$$

۳. خمشی موضعی بال:

$$\varphi R_n = 0.9 \times 6.25 \times t_f^2 \times F_{yf} = 0.9 \times 6.25 \times (0.435)^2 \times 36 = 38.3 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

۴. تسلیم موضعی جان:

$$\varphi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = (2.5 \times 1 + 2) \times 36 \times 0.29 = 46.98 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

۵. کمانش موضعی جان:

$$\text{For } N/d \leq 0.2$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \times \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} = \\ 0.75 \times 0.4 \times 0.29^2 \times \left[1 + 3 \left(\frac{2}{10.87} \right) \left(\frac{0.29}{0.435} \right)^{1.5} \right] \times \sqrt{\frac{29000 \times 36 \times 0.435}{0.29}} &\rightarrow \\ \phi R_n = 40.85 \text{ k} \geq V_u = 2.2 \text{ k} &\rightarrow ok \end{aligned}$$

۶. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = \frac{0.9 \times 24 \times 0.29^3 \times \sqrt{29000 \times 36}}{10} = 53.83 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$P_u = -34.46 \text{ k}$$

$$V_u = -3.36 \text{ k}$$

$$M_{ux} = 3840.39 \text{ k-in}$$

$$M_{ntx} = 262.1036 \text{ k-in}$$

$$M_{ltx} = 3577.571 \text{ k-in}$$

$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{4EI}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{4EI}{L} \right)_g}$$

$$G_b = 10$$

$$k = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} > 1.0 \rightarrow k \cong 2.204$$

$$kl > 22 \rightarrow m = 1.3$$

$$P_{U_{eq}} = P_u + m M_{ntx} + 2 \times m \times M_{nty}$$

$$Pe1x = \frac{\pi^2 EI_x}{(kL)_x} \dots Pe1y = \frac{\pi^2 EI_y}{(kL)_y}$$

$$C_{mx} = C_{my} = 0.6 \rightarrow B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_U}{Pe1}}$$

$$((Drift)_{\max})_x = \frac{2.98 \times 10^{-2}}{305.1181} = 9.77 \times 10^{-5}$$

$$\sum H_x = 366.96 \text{ k} \quad \& \quad \sum P_u = 620.967 \text{ k}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u \left(\frac{\Delta_{0h}}{\sum H \times L} \right)} \rightarrow B_{2x} = 1.0002$$

$$P_{U_{eq}} = 34.46 + 1.3 \times \frac{3840.39}{12} = 450.5 \text{ k}$$

$$\left(\frac{kl}{r} \right) = 50 \rightarrow \phi_c F_{cr} = 26.83(\text{ksi}) \rightarrow A_{req} = \frac{P_{U_{eq}}}{26.83}$$

$$\phi_c P_n = A \times \phi_c F_{cr}$$

$$M_{ux} = B_{1x} M_{ntx} + B_{2x} M_{ltx}$$

IF:

$$\text{Zone1} \rightarrow \phi_b M_{nx} = \phi_b M_p \rightarrow \phi_b M_{ny} = \phi F_y Z_y$$

$$\text{Zone2} \rightarrow \phi_b M_{ny} = \phi F_y M_{ny} \rightarrow \phi_b M_{nx} = C_b \left[\phi_b M_p - BF(L_b - L_p) \right]$$

IF:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \rightarrow ok$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \rightarrow ok$$

فرض می شود:

$$H=15 \text{ in}$$

$$Min. t_w = \frac{15}{162} \rightarrow say \quad t_w = 0.395 \text{ in}$$

$$\frac{h}{t_w} = 37.97 \leq 162 \rightarrow ok \quad \& \quad \frac{h}{t_w} = 37.97 \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$$

چون مقدار $\frac{h}{t_w}$ کوچکتر از مقدار $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$ است لذا نیازی به تقویت جان نخواهیم داشت. ولی باید $V_u \leq \phi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

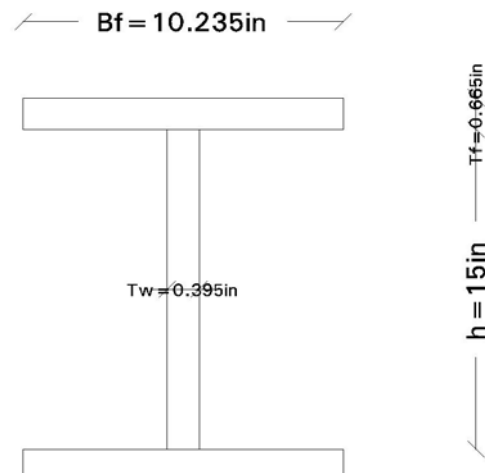
اگر فرض شود ضخامت بال 0.665 in باشد:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)} = \frac{3840.39}{0.9 \times 36 \times (15 + 0.665)} - \frac{0.395 \times 15^2}{4(15 + 0.665)} = 6.15 \text{ in}^2$$

$$\rightarrow b_f = 10.235 \text{ in}$$

کنترل فشردگی بال:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 7.7 \leq \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = 10.9 \rightarrow ok \quad \checkmark$$



Web : PL 15×0.395
Flange : 2Pls 10.235×0.665

مشخصات مقطع:

$$A = 10.235 \times 0.665 + 2 \times 0.395 \times 15 = 19.54 \text{ in}^2 \geq A_{\min} = 16.8 \text{ in}^2$$

$$I_x = 2 \left(\frac{10.235 \times 0.665^3}{12} + 10.235 \times 0.665 \times 7.8325^2 \right) + \left(\frac{0.395 \times 15^3}{12} \right) = 946.7 \text{ in}^4$$

$$I_y = 2 \left(\frac{10.235^3 \times 0.665}{12} \right) + \left(\frac{15 \times 0.395^3}{12} \right) = 118.91 \text{ in}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{946.7}{19.54}} = 6.96 \text{ in} \quad \& \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{118.91}{19.54}} = 2.47 \text{ in}$$

کنترل Z مقطع:

$$\begin{cases} Z_{req} = \frac{3840.39}{0.9 \times 36} = 118.53 \text{ in}^3 \\ Z = 2 \times \left(7.5 \times 0.395 \times \frac{7.5}{2} + 10.235 \times 0.665 \times 7.8325 \right) = 128.84 \text{ in}^3 \end{cases} \rightarrow ok \checkmark$$

تعیین زون:

$$L_b = 305.1181 \text{ in}$$

$$(I - \text{Shapes}) L_p = \frac{300 r_y}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{300 \times 2.47}{\sqrt{36}} = 123.5 \text{ in}$$

$$S_x = \frac{I_x}{C} = \frac{946.7}{15.665} = 60.43 \text{ in}^3 \quad \& \quad \begin{cases} E = 29000 \text{ ksi} \\ G = 11200 \text{ ksi} \end{cases} \quad \& \quad F_r = 16.5 \text{ ksi}$$

$$J = \frac{\sum bt^3}{3} = \frac{2 \times (10.235 \times 0.665^3) + 15 \times 0.395^3}{3} = 2.31 \text{ in}^4$$

$$(h = 15.665) \rightarrow C_w = \frac{I_y h^2}{4} = \frac{15.665^2 \times 118.91}{4} = 7294.9 \text{ in}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{60.43} \sqrt{\frac{29000 \times 11200 \times 2.31 \times 19.54}{2}} = 4451$$

$$x_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = \frac{4 \times 7294.9}{118.91} \left(\frac{60.43}{11200 \times 2.31} \right)^2 = 0.0013$$

$$L_r = \frac{r_y x_1}{F_{yw} - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 (F_{yw} - F_r)^2}} = \frac{2.47 \times 4451}{36 - 16.5} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0.0013 \times (36 - 16.5)^2}}$$

$$\Rightarrow L_r = 840.5 \text{ in}$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow \text{zone 2}$$

تعیین لنگرها:

$$M_r = (F_{yw} - F_r) S_x = (36 - 16.5) \times 60.43 = 1178.4 \text{ k-in}$$

$$M_p = Z.F_y = 36 \times 128.84 = 4638.24 \text{ k-in} \rightarrow \phi_b M_p = 0.9 \times 4638.24 = 4174.42 \text{ k-in}$$

$$BF = \phi_b \times \frac{M_p - M_r}{L_r - L_p} = (0.9) \left(\frac{4638.24 - 1178.4}{840.5 - 123.5} \right) = 4.34 \text{ k}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_A = 1093.826 \text{ k-in} \\ M_B = 2187.652 \text{ k-in} \\ M_C = 2961.87 \text{ k-in} \\ M_{\max} = 3840.39 \text{ k-in} \end{cases}$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 3840.39}{2.5 \times 3840.39 + 3 \times 1093.826 + 4 \times 2187.652 + 3 \times 2961.87} = 1.57$$

$$\phi_b M_n = C_b [\phi_b M_p - BF(L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p$$

$$\phi_b M_n = 1.57 \times (4174.42 - 4.34(305.1181 - 123.5)) = 5316.33 \text{ k-in} > \phi_b M_p = 4174.42 \text{ k-in}$$

$$\rightarrow \phi_b M_{nx} = 4174.42 \text{ k-in}$$

حال باید به بررسی و کنترل مقطع از لحاظ نسبت تنش بپردازیم:

$$k_x = \begin{cases} G_A = 10 \\ G_B = 2.55 \end{cases} \rightarrow k_x = 2.22 \quad \& \quad k_y = \begin{cases} G_A = 10 \\ G_B = 1.046 \end{cases} \rightarrow k_y = 1.02$$

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_x = \frac{2.22 \times 305.1181}{6.96} = 97.32$$

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_y = \frac{1.02 \times 305.1181}{2.47} = 123.5 \xrightarrow{\text{Table}} \phi_c F_{cr} = 13.71$$

$$\rightarrow \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 13.71 \times 19.54 = 267.9 \text{ k}$$

$$B_{1x} = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{P_u}{P_{e_{1x}}}} \geq 1 \rightarrow \begin{cases} C_m = 0.6 \\ P_u = 34.46 \rightarrow B_{1x} = 0.64 \rightarrow B_{1x} = 1 \quad \& \quad B_{2x} = 1.0002 \\ P_e = 599.17 \end{cases}$$

$$M_{ux} = B_{1x} M_{ntx} + B_{2x} M_{ltx} = 1 \times (262.1036) + 1.0002 \times (3577.571) = 3840.39 \text{ k-in}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{34.46}{267.9} = 0.129 < 0.2 \rightarrow$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right) \leq 1 \Rightarrow \frac{34.46}{2 \times 267.9} + \left(\frac{3840.39}{4174.42} \right) = 0.98 \leq 1 \rightarrow ok$$

در نتیجه مقطع انتخاب شده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

کنترل برش:

$$h/t_w = 37.97 \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow$$

$$\phi_v V_n = \phi_v \times 0.6 \times F_{yw} \cdot A_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 15 \times 0.395 = 115.182 \text{ k} \geq 3.4 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$P_u = -67.93 \text{ k}$$

$$V_u = -16.99 \text{ k}$$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

$$\frac{h}{t_w} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = 162$$

فرض می شود:

$$H=6 \text{ in}$$

$$\text{Min. } t_w = \frac{6}{162} \rightarrow \text{say } t_w = 0.285 \text{ in}$$

$$\frac{h}{t_w} = 21.05 \leq 162 \rightarrow \text{ok} \quad \& \quad \frac{h}{t_w} = 21.05 \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$$

چون مقدار $\frac{h}{t_w}$ کوچکتر از مقدار $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} = 69.54$ است لذا نیازی به تقویت جان نخواهیم داشت. ولی باید $V_u \leq \phi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

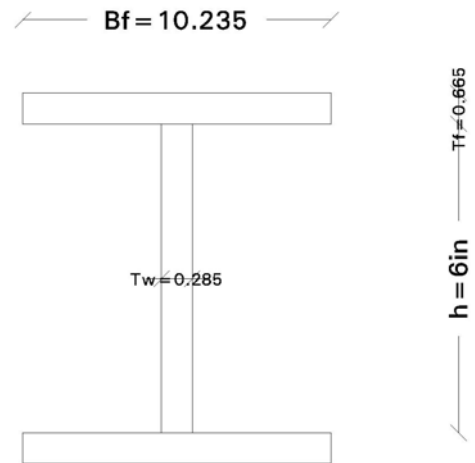
$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\phi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

فرض می شود ضخامت بال 0.665 in می باشد و همچنین طول بالها را 10.235 in می گیریم.

کنترل فشردگی بال:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 7.7 \leq \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = 10.9 \rightarrow \text{ok} \quad \checkmark$$

Web : PL 6×0.285
Flange : 2Pls 10.235×0.665



مشخصات مقطع:

$$A = 6 \times 0.285 + 2 \times 10.235 \times 0.665 = 19.3 \text{ in}^2 \geq A_{req} = \frac{67.93}{26.83} = 2.53 \text{ in}^2 \rightarrow ok$$

$$I_x = 2 \left(\frac{10.235 \times 0.665^3}{12} + 10.235 \times 0.665 \times 3.3325^2 \right) + \left(\frac{0.285 \times 6^3}{12} \right) = 156.81 \text{ in}^4$$

$$I_y = 2 \left(\frac{10.235^3 \times 0.665}{12} \right) + \left(\frac{6 \times 0.285^3}{12} \right) = 118.84 \text{ in}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{156.8}{19.3}} = 2.85 \text{ in} \quad \& \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{118.84}{19.3}} = 2.48 \text{ in}$$

$$Z = 2 \times (0.285 \times 1.5 \times 3 + 10.235 \times 0.665 \times 3.3325) = 47.93 \text{ in}^3$$

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_x = 107.06$$

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_y = 123.3 \xrightarrow{\text{Table}} \phi_c \cdot F_{cr} = 13.75 \rightarrow \phi_c \cdot P_n = 265.3 \text{ k} \geq P_u = 67.93 \text{ k} \rightarrow ok$$

کنترل برش:

$$h/t_w = 21.05 \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow$$

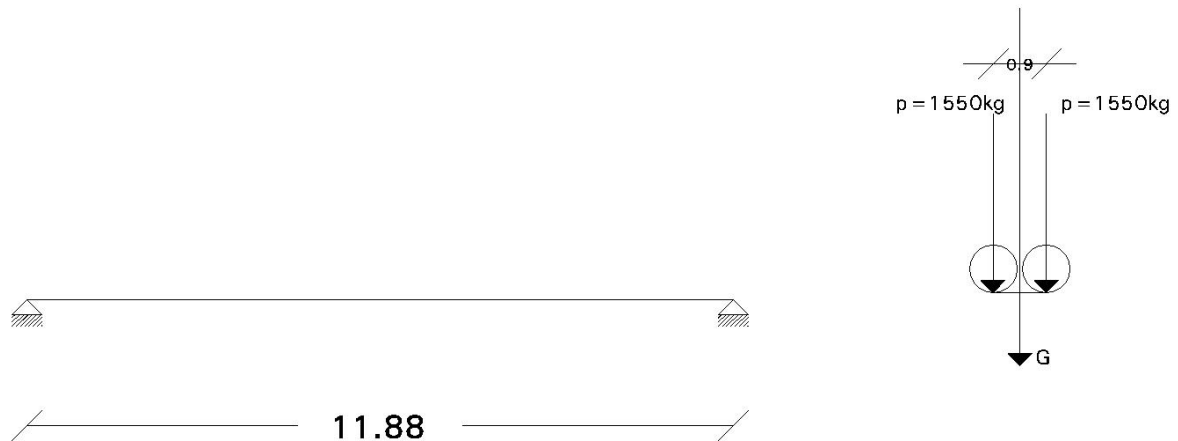
$$\phi_v \cdot V_n = \phi_v \times 0.6 \times F_{yw} \cdot A_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 6 \times 0.285 = 33.24 \text{ k} \geq 16.99 \text{ k} \rightarrow ok$$

سایه‌سیرهای جز نقش سقفی محرک

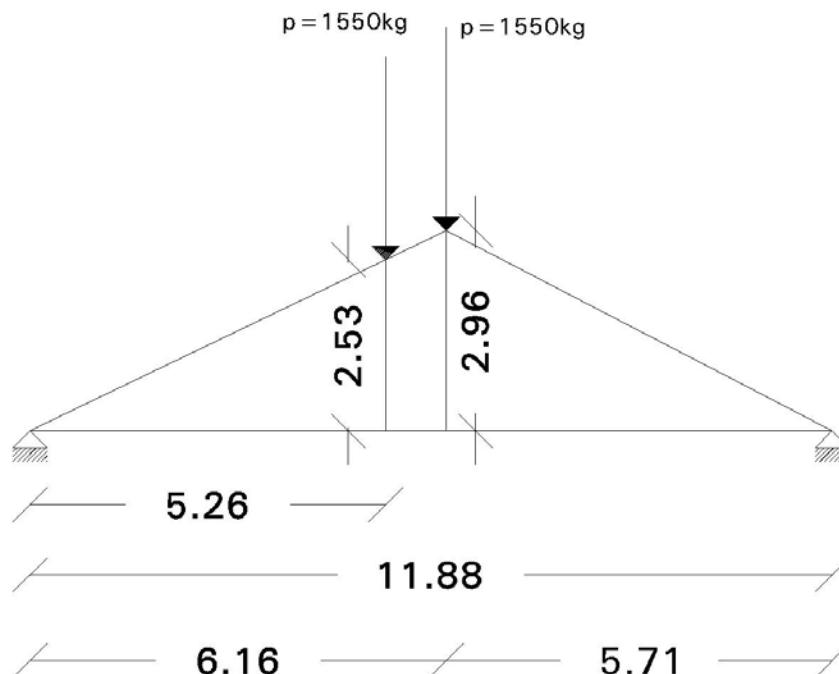
طراحی پل جرثقیل:

طراحی پل جرثقیل را بر این مبنا انجام می دهیم که باید چرخهای جرثقیل در جایی قرار گیرند که بیشترین M و V حاصل شوند؛ سپس لنگر و نیروی برشی حداکثر را محاسبه کرده و بهترین مقطع، هم از لحاظ مقاومت و هم از لحاظ صرفه اقتصادی را انتخاب می کنیم.

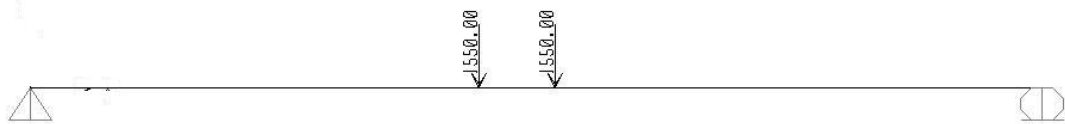
در شکل زیر شکل تیر و بارهای متحرک وارد بر آن مشاهده می شود:



نحوه قرار گیری بارها برای لنگر و نیروی برشی ماکزیمم:



لنگر حداکثر با توجه به رسم خط تاثیر



دیاگرام لنگر خمشی ماکریمم:



دیاگرام نیروی برشی ماکریمم:



حال به محاسبات و طراحی تیر می پردازیم:

$$L = 467.52 \text{ in}$$

$$(M_u)_{Max} = 9398.92 \text{ kg} - m = 815.79 \text{ k} - in$$

$$(V_u)_{Max} = 42 \text{ k}$$

$$C_b = \frac{12.5M_{Max}}{2.5M_{Max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_{Max} = 815.79 \text{ k} - in \\ M_A = 471.825 \text{ k} - in \\ M_B = 814.643 \text{ k} - in \\ M_C = 441.546 \text{ k} - in \end{cases}$$

$$C_b = \frac{(12.5)(815.79)}{(2.5)(815.79) + 3(471.825) + 4(814.643) + 3(441.546)} = 1.27$$

برای استفاده از چارت باید لنگر بدست آمده را بر C_b تیر تقسیم کنیم:

$$\frac{\phi_b M_{nx}}{C_b} = \frac{M_u}{C_b} = 53.5 \text{ k-ft} \rightarrow W8 \times 48 \Rightarrow \begin{cases} \phi_b M_p = 132 \text{ k-ft} = 1584 \text{ k-in} \\ L_p = 8.7 \text{ ft} = 104.4 \text{ in} \\ L_r = 46.7 \text{ ft} = 560.4 \text{ in} \\ BF = 1.26 \text{ k} \\ Z = 49 \text{ in}^3 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \phi_b M_n &= C_b [\phi_b M_p - BF(L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p \\ &= 1.27 [1584 - 1.26(467.52 - 104.4)] = 1430.6 \leq 1584 \rightarrow \phi_b M_{nx} = 1430.6 \text{ k-in} \end{aligned}$$

۱. کنترل خمش:

$$\phi_b M_p = 1430.6 \text{ k-in} \geq 815.79 \text{ k-in} \rightarrow ok \checkmark$$

۲. کنترل برش:

$$\begin{aligned} \frac{h}{t_w} &= 15.8 < \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow \checkmark \\ \phi V_n &= 0.6 \phi F_{yw} A_w = (0.9)(0.6)(36)(6.32)(0.4) = 49.14 \text{ k} > 42 \text{ k} \rightarrow ok \end{aligned}$$

۳. کنترل خیز:

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{Ml^2}{32EI} = \frac{815.79(467.52^2)}{32(29000)(184)} = 1.04 \\ \delta_{all} &= \frac{l}{360} = \frac{467.52}{360} = 1.3 \end{aligned} \right\} \rightarrow ok \checkmark$$

۴. خمش موضعی بال:

$$\phi R_n = \phi (6.25) F_{yf} (t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.685)^2(36) = 95.03 \text{ k} > 42 \text{ k} \rightarrow ok \checkmark$$

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = \left[(2.5) \left(\frac{19}{16} \right) + 2 \right] (36)(0.4) = 71.55 \text{ k} \geq 42 \text{ k} \rightarrow ok \checkmark$$

۶. کمانش موضعی جان:

For $N/d > 0.2$

$$\phi R_n = 0.75 \times 68 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} = 85.8 \text{ k} \geq 42 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \quad \checkmark$$

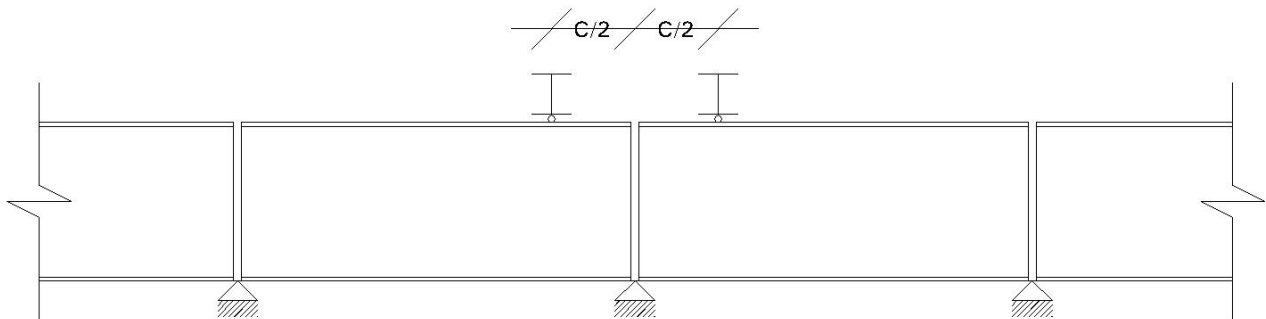
۷. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = 223.5 \text{ k} \geq 42 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \quad \checkmark$$

طراحی تیر زیر سری جرثقیل:

برای طراحی مثل قبل باید لنگر خمشی و نیروی برشی ماکزیمم را در تیر زیر سری یافت؛

لنگر خمشی و نیروی برشی ماکزیمم در فصل بارگذاری جرثقیل به دست آمده است و در اینجا فقط به طراحی تیر زیر سری می پردازیم.



$$(M_u)_{Max} = 10783.53 \text{ kg-m} = 936 \text{ k-in}$$

$$(V_u)_{Max} = 7815.3 \text{ kg} = 16.57 \text{ k}$$

$$L = 236.22 \text{ in} = 19.7 \text{ ft}$$

$$C_b = \frac{12.5M_{Max}}{2.5M_{Max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_{Max} = 10783.53 \text{ kg-m} \\ M_A = 6486.4 \text{ kg-m} \\ M_B = 10783.53 \text{ kg-m} \\ M_C = 6486.4 \text{ kg-m} \end{cases}$$

$$C_b = \frac{(12.5)(10783.53)}{(2.5)(10783.53) + 3(6486.4) + 4(10783.53) + 3(6486.4)} = 1.2$$

برای استفاده از چارت باید لنگر بدست آمده را بر C_b تیر تقسیم کنیم:

$$\frac{\phi_b M_{nx}}{C_b} = \frac{M_u}{C_b} = 65 \text{ k-ft} \rightarrow W12 \times 35 \Rightarrow \begin{cases} \phi_b M_p = 138 \text{ k-ft} = 1656 \text{ k-in} \\ L_p = 6.4 \text{ ft} = 76.8 \text{ in} \\ L_r = 20.6 \text{ ft} = 247.2 \text{ in} \\ BF = 3.47 \text{ k} \\ Z = 51.2 \text{ in}^3 \end{cases}$$

$$\phi_b M_n = C_b [\phi_b M_p - BF(L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p$$

$$= 1.2[1656 - 3.47(236.22 - 76.8)] = 1323.46 \leq 1656 \rightarrow \phi_b M_{nx} = 1323.46 \text{ k-in}$$

۱. کنترل خمش:

$$\checkmark \phi_b M_p = 1323.46 \text{ k-in} \geq 936 \text{ k-in} \rightarrow ok$$

۲. کنترل برش:

$$\checkmark \frac{h}{t_w} = 36.2 < \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow$$

$$\phi V_n = 0.6 \phi F_{yw} A_w = (0.9)(0.6)(36)(10.86)(0.3) = 63.3 \text{ k} > 16.57 \text{ k} \rightarrow ok$$

۳. کنترل خیز:

$$\checkmark \left. \begin{aligned} \delta &= \frac{Ml^2}{32EI} = \frac{936(236.22)^2}{32(29000)(285)} = 0.2 \\ \delta_{all} &= \frac{l}{360} = \frac{236.22}{360} = 0.66 \end{aligned} \right\} \rightarrow ok$$

۴. خمش موضعی بال:

$$\phi R_n = \phi (6.25) F_{yf} (t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.52)^2 (36) = 54.8 \text{ k} > 16.57 \text{ k} \rightarrow ok \checkmark$$

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\checkmark \phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = [(2.5)(1) + 2](36)(0.3) = 48.6 \text{ k} \geq 16.57 \text{ k} \rightarrow ok$$

۶. کمانش موضعی جان:

$$For \frac{N}{d} < 0.2$$

$$\checkmark \phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \times \left[1 + 4 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw} t_f}{t_w}} = 43.96 \text{ k} \geq 16.57 \text{ k} \rightarrow ok$$

۷. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} = 54.87 \text{ k} \geq 42 \text{ k} \rightarrow ok \checkmark$$

لایه ها و مهارت های آنها



طراحی لایه ها:

همان طور که می دانیم فواصل قابها ۶ متر است، فرض می شود که بعد از نصب پوشش بتوان بال فوقانی لایه را با مهار ممتد جانبی گرفت و از امکان پیچش لایه صرف نظر می شود؛
بارهای وارده بر لایه به شرح زیر خواهد بود:

190 kg/m ²	بار برف
30 kg/m ²	وزن پوشش
25 kg/m ²	وزن تقریبی لایه ها
56.7 kg/m ²	بار باد که عمود بر سقف خواهد بود

مقدار w_{ux} که توسط لایه ها که به فاصله ۱ متر از یکدیگر قرار دارند تحمل می شود معین خواهد شد:

$$1) w_{ux} = 1.2D + 1.6S + 0.8W$$

$$= 1.2(15 + 25) \times 1 \times \cos(18.07) + 1.6(190)(1)(\cos(18.07)) + 0.8(56.7)(1) = 380 \text{ kg/m}$$

$$2) w_{ux} = 1.2D + 0.5S + 1.3W$$

$$= 1.2(15 + 25)(1)(\cos(18.07)) + 1.3(56.7)(1) + 0.5(190)(1)(\cos(18.07)) = 209.7 \text{ kg/m}$$

$$3) w_{uy} = (1.2D + 1.6S)(\sin(18.07))$$

$$= [1.2(15 + 25)(1) + 1.6(190)(1)](\sin(18.07)) = 109.2 \text{ kg/m}$$

$$M_{ux} = \frac{w_{ux} l^2}{8} = \frac{380 \times 6^2}{8} = 1710 \text{ kg-m}$$

$$M_{uy} = \frac{w_{uy} l^2}{8} = \frac{109.2 \times 6^2}{8} = 122.85 \text{ kg-m}$$

IPE 140 بررسی می شود:

$$\varphi_b.M_{nx} = \varphi_b.M_{px} = 0.9(2333)(88.4) = 1856 \text{ kg-m} \geq 1710 \text{ kg-m}$$

$$\varphi_b.M_{ny} = \varphi_b.M_{py} = 0.9(2333)\left(\frac{1.38(7.3)^2}{4}\right) = 386 \text{ kg-m} \geq 122.85 \text{ kg-m}$$

$$\frac{M_{ux}}{\varphi_b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varphi_b.M_{ny}} \leq 1$$

$$\frac{1710}{1856} + \frac{122.85}{386} = 1.24 > 1 \rightarrow N.G.$$

$$\varphi_b.M_{nx} = \varphi_b.M_{px} = 0.9(2333)(61.9 \times 2) = 2599.4 \text{ kg} - m \geq 1710 \text{ kg} - m$$

$$\varphi_b.M_{ny} = \varphi_b.M_{py} = 0.9(2333)(25.88) = 543.4 \text{ kg} - m \geq 122.85 \text{ kg} - m$$

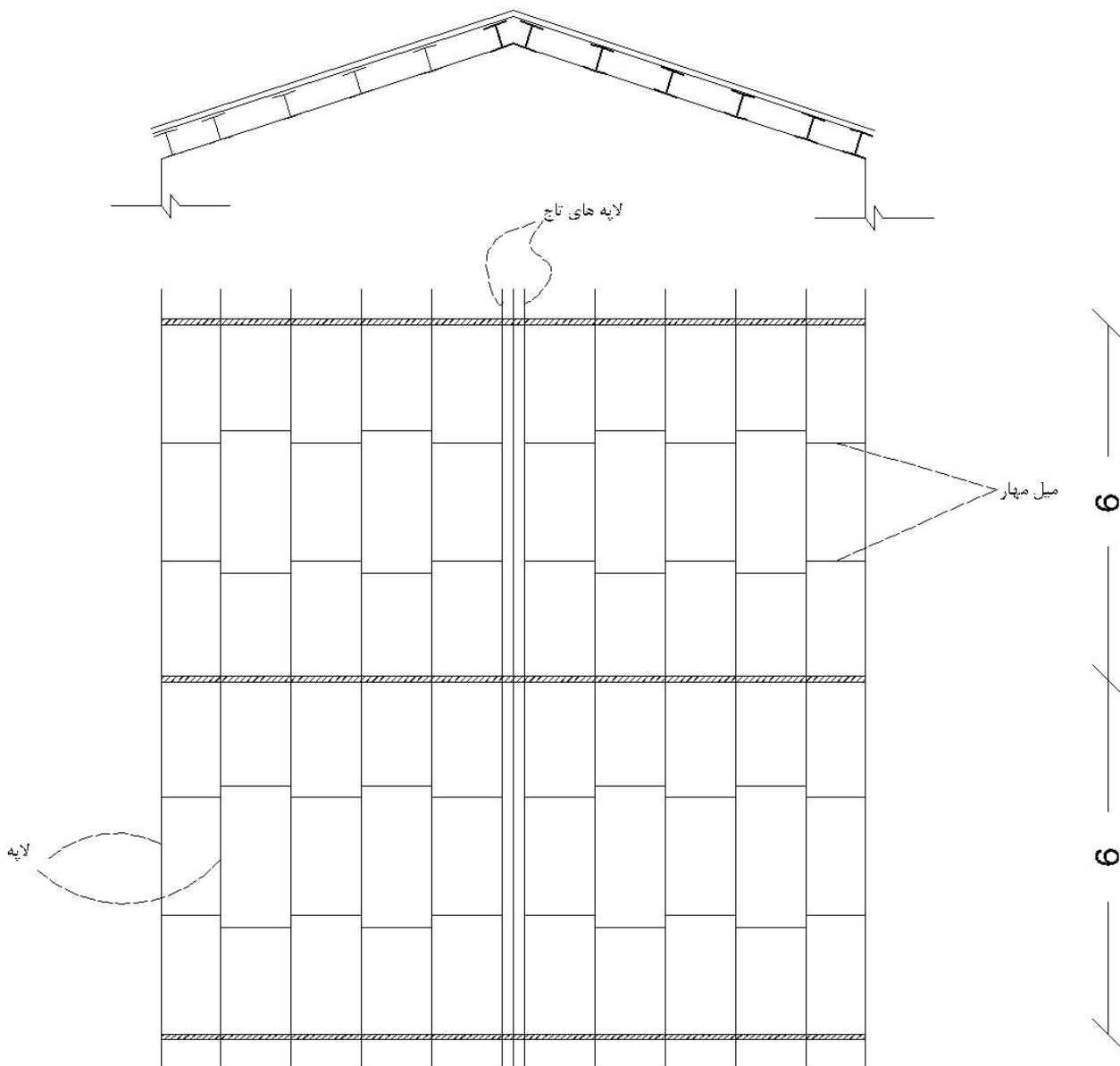
$$\frac{M_{ux}}{\varphi_b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varphi_b.M_{ny}} \leq 1$$

$$\frac{1710}{2599.4} + \frac{122.85}{543.4} = 0.90 \leq 1 \rightarrow ok$$

طراحی میل مهارها:

لایه ها در $\frac{1}{3}$ دهانه دارای میل مهار خواهند بود و قطر حداقل میل مهار ۱۲ میلیمتر است.

جزئیات در شکل زیر نشان داده شده است:



$$L=6.246 \text{ m}$$

$$15.8 \text{ kg/m} = \text{وزن یک متر طول لایه (۶ عدد لایه)}$$

$$\text{لایه ها} = \frac{6 \times 15.8}{6.246} = 15.2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{بار برف} = 190 \times \cos(18.07) = 180.6 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{پوشش سقف} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$w_u = 1.2(15.2 + 15) + 0.5(180.6) = 126.54 \text{ kg/m}^2$$

$$w_u = 1.2(15.2 + 15) + 1.6(180.6) = 325.2 \text{ kg/m}^2$$

$$= 325.2 \times \sin(18.07) = 100.9 \text{ kg/m}^2 \text{ مولفه موازی سقف بار وارده}$$

$$\text{بار وارده بر میل مهار} = (6.246) \left(\frac{6}{3} \right) (100.9) = 1260.44 \text{ kg}$$

$$A_o = \frac{P_u}{\phi(0.75).F_u} = \frac{1260.44}{(0.75)(0.75)(3700)} = 0.61 \text{ cm}^2$$

از میلگرد $\phi 12$ استفاده می کنیم:

$$A_D = 1.13 \text{ cm}^2$$

مقدار نیرو در میل مهار واقع شده در رأس سوله:

$$T = \frac{6.246}{5.9375} (1260.44) = 1325.93 \text{ kg}$$

$$A_D = \frac{1325.93}{(0.75)(0.75)(3700)} = 0.64 \text{ cm}^2$$

در نتیجه میتوان از میلگرد با مشخصات $\begin{cases} A-I \\ \phi 12 \end{cases}$ استفاده کرد.

سیستمهای مهاربندی

طراحی بادبند ها و اتصالات مربوط به آنها:

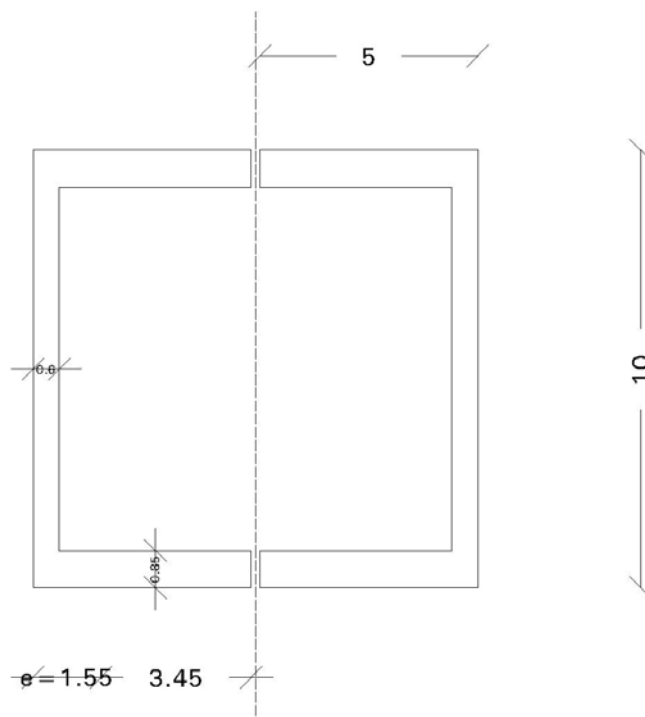
TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	M2	M3
Text	in	Text	Text	Kip	Kip	Kip-in	Kip-in
47	385.8719643	DSTL13	Combination	6.270016435	6.39E-02	0	7.87E-15
47	192.9359821	DSTL13	Combination	6.187449873	-1.85E-17	0	6.166475119
47	0	DSTL13	Combination	6.104883311	-6.39E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL14	Combination	5.922430694	6.39E-02	0	7.87E-15
48	192.9359821	DSTL14	Combination	5.839864132	-1.85E-17	0	6.166475119
47	385.8719643	DSTL5	Combination	5.763251278	8.52E-02	0	1.05E-14
48	0	DSTL14	Combination	5.75729757	-6.39E-02	0	0
47	192.9359821	DSTL5	Combination	5.653162529	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL5	Combination	5.543073779	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL6	Combination	4.930906276	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL6	Combination	4.820817527	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL6	Combination	4.710728778	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL9	Combination	3.036056399	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL9	Combination	2.92596765	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL9	Combination	2.8158789	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL10	Combination	2.254566431	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL10	Combination	2.144477682	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL10	Combination	2.034388933	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL11	Combination	0.45945741	6.39E-02	0	7.87E-15
47	192.9359821	DSTL11	Combination	0.376890848	-1.85E-17	0	6.166475119
47	0	DSTL11	Combination	0.294324286	-6.39E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL7	Combination	0.130776886	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL7	Combination	2.07E-02	-2.46E-17	0	8.221966825
47	385.8719643	DSTL3	Combination	-0.047307747	8.52E-02	0	1.05E-14
47	0	DSTL7	Combination	-8.94E-02	-8.52E-02	0	0
47	192.9359821	DSTL3	Combination	-0.157396496	-2.46E-17	0	8.221966825
47	385.8719643	DSTL1	Combination	-0.184710061	0.099434999	0	1.22E-14
48	385.8719643	DSTL11	Combination	-0.222736023	6.39E-02	0	7.87E-15
47	0	DSTL3	Combination	-0.267485246	-8.52E-02	0	0
48	192.9359821	DSTL11	Combination	-0.305302585	-1.85E-17	0	6.166475119
47	192.9359821	DSTL1	Combination	-0.313146935	-2.87E-17	0	9.592294629
48	0	DSTL11	Combination	-0.387869147	-6.39E-02	0	0
47	0	DSTL1	Combination	-0.44158381	-0.099434999	0	0
47	385.8719643	DSTL8	Combination	-0.447422706	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL8	Combination	-0.557511455	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL8	Combination	-0.667600204	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL12	Combination	-0.696941774	6.39E-02	0	7.87E-15
47	192.9359821	DSTL12	Combination	-0.779508336	-1.85E-17	0	6.166475119
48	385.8719643	DSTL7	Combination	-0.818016927	8.52E-02	0	1.05E-14
47	0	DSTL12	Combination	-0.862074898	-6.39E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL2	Combination	-0.905817997	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL7	Combination	-0.928105677	-2.46E-17	0	8.221966825
47	192.9359821	DSTL2	Combination	-1.015906746	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL7	Combination	-1.038194426	-8.52E-02	0	0
47	0	DSTL2	Combination	-1.125995496	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL4	Combination	-1.203706931	8.52E-02	0	1.05E-14
48	385.8719643	DSTL3	Combination	-1.214260441	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL4	Combination	-1.313795681	-2.46E-17	0	8.221966825
48	385.8719643	DSTL1	Combination	-1.319077976	0.099434999	0	1.22E-14
48	192.9359821	DSTL3	Combination	-1.32434919	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL4	Combination	-1.42388443	-8.52E-02	0	0
48	0	DSTL3	Combination	-1.43443794	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL8	Combination	-1.443259604	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL1	Combination	-1.447514851	-2.87E-17	0	9.592294629
48	385.8719643	DSTL12	Combination	-1.473221375	6.39E-02	0	7.87E-15
48	192.9359821	DSTL8	Combination	-1.553348353	-2.46E-17	0	8.221966825
48	192.9359821	DSTL12	Combination	-1.555787937	-1.85E-17	0	6.166475119
48	0	DSTL1	Combination	-1.575951725	-0.099434999	0	0
48	0	DSTL12	Combination	-1.638354499	-6.39E-02	0	0

48	0	DSTL8	Combination	-1.663437102	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL2	Combination	-2.264822028	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL2	Combination	-2.374910777	-2.46E-17	0	8.221966825
48	385.8719643	DSTL4	Combination	-2.464745793	8.52E-02	0	1.05E-14
48	0	DSTL2	Combination	-2.484999527	-8.52E-02	0	0
48	192.9359821	DSTL4	Combination	-2.574834543	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL4	Combination	-2.684923292	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL10	Combination	-3.352702218	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL10	Combination	-3.462790967	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL10	Combination	-3.572879717	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL9	Combination	-4.515842962	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL9	Combination	-4.625931711	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL9	Combination	-4.736020461	-8.52E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL14	Combination	-6.507500799	6.39E-02	0	7.87E-15
47	192.9359821	DSTL14	Combination	-6.590067361	-1.85E-17	0	6.166475119
47	0	DSTL14	Combination	-6.672633923	-6.39E-02	0	0
47	385.8719643	DSTL6	Combination	-7.014265956	8.52E-02	0	1.05E-14
47	192.9359821	DSTL6	Combination	-7.124354706	-2.46E-17	0	8.221966825
47	0	DSTL6	Combination	-7.234443455	-8.52E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL13	Combination	-7.618388093	6.39E-02	0	7.87E-15
48	192.9359821	DSTL13	Combination	-7.700954654	-1.85E-17	0	6.166475119
48	0	DSTL13	Combination	-7.783521216	-6.39E-02	0	0
48	385.8719643	DSTL5	Combination	-8.609912511	8.52E-02	0	1.05E-14
48	192.9359821	DSTL5	Combination	-8.72000126	-2.46E-17	0	8.221966825
48	0	DSTL5	Combination	-8.830090009	-8.52E-02	0	0

بیشترین نیروی محوری $= 8.83 \text{ k} = 4005.3 \text{ kgf}$ & $l = 9.8 \text{ m}$

از دو ناودانی برای بادبندها استفاده می کنیم.

2 U100 را امتحان می کنیم:



$$I_y = 29.3 \text{ cm}^4$$

$$A_{Total} = 2(10 \times 0.6 + 2 \times 5 \times 0.85) = 29 \text{ cm}^2$$

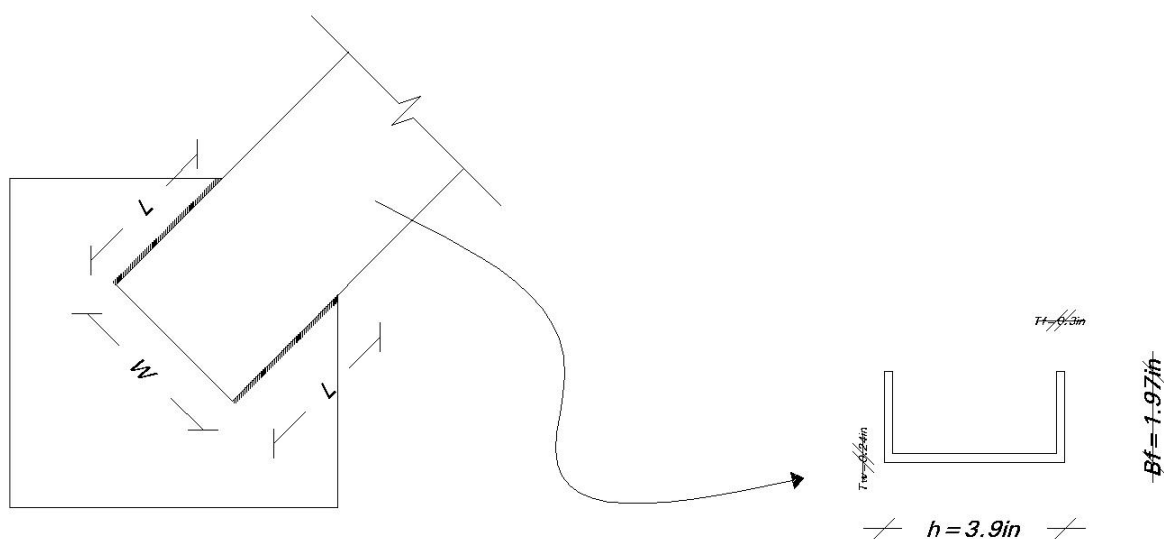
$$(I_y)_{Total} = 2(29.3 + 14.5 \times 3.45^2) = 403.8 \text{ cm}^4$$

$$(r_y)_{Total} = \sqrt{\frac{403.8}{29}} = 3.73 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_y = \frac{0.7 \times 9.8 \times 100}{3.73} = 183.9 \rightarrow \phi_c \cdot F_{cr} = 435.4 \rightarrow \phi_c \cdot P_n = 435.4 \times 29 = 12626.6 \text{ kg}$$

$$P_u = 1.6(4005.3) = 6408.5 \text{ kg} \rightarrow \phi_c \cdot P_n \geq P_u \rightarrow \text{ok}$$

طراحی اتصال جوشی بادبندها به صفحات اتصال:



نوع جوش را **SMAW** و نوع الکترود آن را **E70** در نظر می گیریم.

فرض می کنیم ضخامت ورق اتصال **t=0.35 in** باشد و این فرض را کنترل می کنیم:

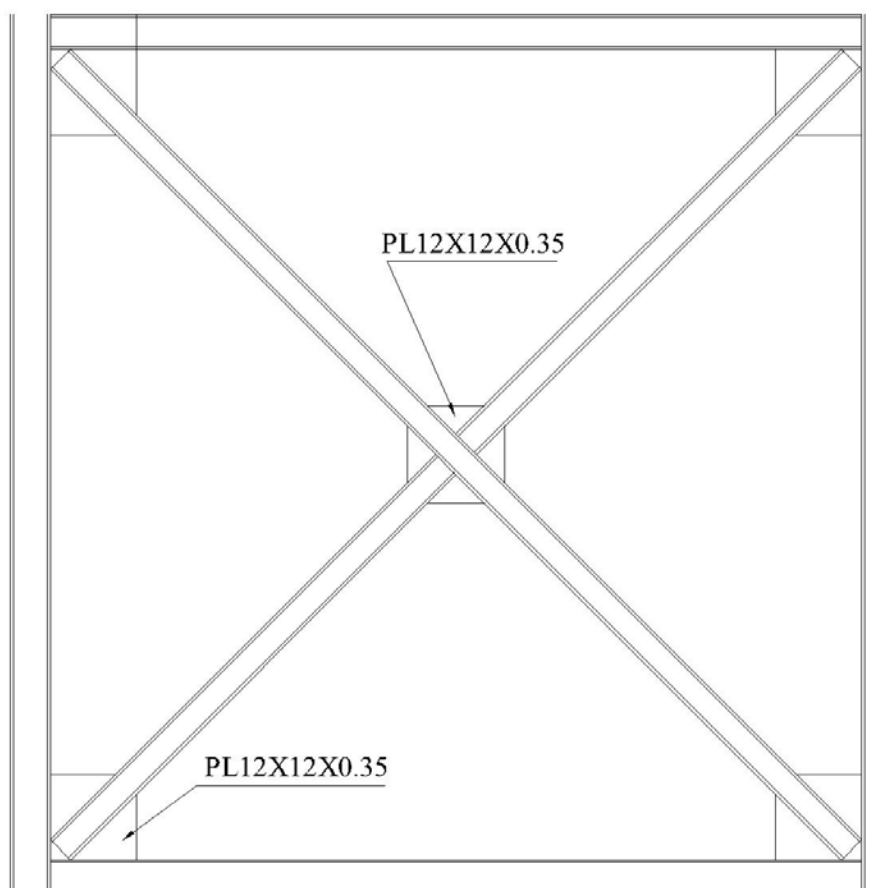
$$\begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ a_{Max} = 0.35 - \frac{1}{16} = 0.24 \text{ in} \end{cases} \rightarrow a = 0.2 \text{ in}$$

$$\rightarrow t_w = 0.707(0.2) = 0.14 \text{ in}$$

$$\text{ظرفیت جوش: } \phi \cdot F_w = 0.75(1 \times 0.14)(0.6 \times 70) = 4.41 \text{ k/in}$$

$$\text{طول جوش مورد نیاز: } \frac{\frac{9}{2}}{4.41} = 1.02 \text{ in} \rightarrow \text{Min. } l = 1.02 \text{ in}$$

$$\left. \begin{array}{l} l \geq w \\ w \leq 8 \text{ in} \end{array} \right\} (w = 3.9 \cong 4 \text{ in}) \rightarrow l = 5 \text{ in}$$



طراحی مهار سقف:

برای طراحی مهار سقف مثل باد بند عمل میکنیم بدین صورت که بزرگترین نیروی محوری را انتخاب کرده (تحت بحرانی ترین حالت) و مهار را برای این نیرو طراحی می کنیم.

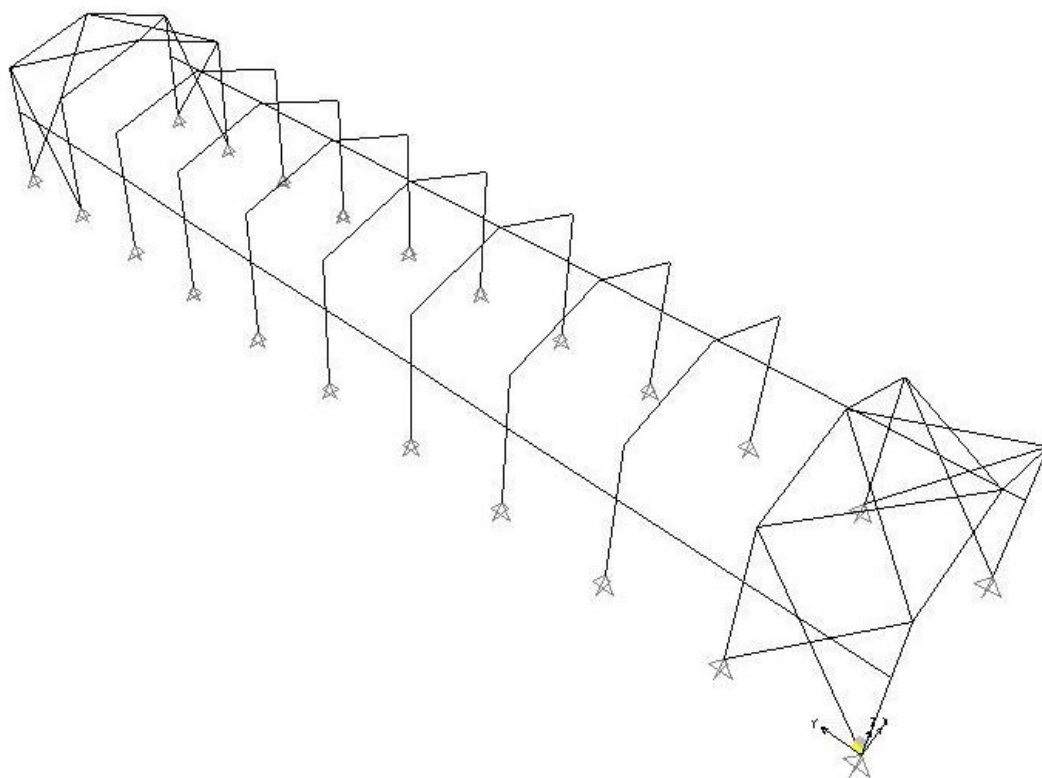
TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3
Text	m	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
77	8.660705081	DSTL14	Combination	397.955333	582.9033622	0
77	4.33035254	DSTL14	Combination	264.1621665	2.75E-14	0
77	0	DSTL14	Combination	130.3689999	-582.9033622	0
77	8.660705081	DSTL10	Combination	29.66414578	777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL11	Combination	121.0936944	582.9033622	0
77	4.33035254	DSTL10	Combination	148.7267429	3.66E-14	0
77	8.660705081	DSTL7	Combination	229.8603679	777.2044829	0
77	4.33035254	DSTL11	Combination	254.8868609	2.75E-14	0
77	8.660705081	DSTL12	Combination	285.2587554	582.9033622	0
77	8.660705081	DSTL8	Combination	311.9428984	777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL1	Combination	316.0519054	906.7385634	0
77	0	DSTL10	Combination	327.1176317	-777.2044829	0
77	0	DSTL11	Combination	388.6800275	-582.9033622	0
77	4.33035254	DSTL7	Combination	408.2512567	3.66E-14	0
77	4.33035254	DSTL12	Combination	419.0519219	2.75E-14	0
77	4.33035254	DSTL8	Combination	490.3337871	3.66E-14	0
77	4.33035254	DSTL1	Combination	524.1746089	4.27E-14	0
77	0	DSTL12	Combination	552.8450884	-582.9033622	0
77	8.660705081	DSTL9	Combination	571.4674121	777.2044829	0
77	0	DSTL7	Combination	586.6421454	-777.2044829	0
77	0	DSTL8	Combination	668.7246759	-777.2044829	0
77	0	DSTL1	Combination	732.2973124	-906.7385634	0
77	4.33035254	DSTL9	Combination	749.8583008	3.66E-14	0
77	8.660705081	DSTL13	Combination	804.3077828	582.9033622	0
77	8.660705081	DSTL6	Combination	857.1685796	777.2044829	0
77	0	DSTL9	Combination	928.2491896	-777.2044829	0
77	4.33035254	DSTL13	Combination	938.1009493	2.75E-14	0
77	4.33035254	DSTL6	Combination	1035.559468	3.66E-14	0
77	0	DSTL13	Combination	1071.894116	-582.9033622	0
77	0	DSTL6	Combination	1213.950357	-777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL3	Combination	1376.217607	777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL4	Combination	1540.382668	777.2044829	0
77	4.33035254	DSTL3	Combination	1554.608496	3.66E-14	0
77	4.33035254	DSTL4	Combination	1718.773557	3.66E-14	0
77	0	DSTL3	Combination	1732.999385	-777.2044829	0
77	0	DSTL4	Combination	1897.164445	-777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL5	Combination	2059.431695	777.2044829	0
77	8.660705081	DSTL2	Combination	2170.73924	777.2044829	0
77	4.33035254	DSTL5	Combination	2237.822584	3.66E-14	0
77	4.33035254	DSTL2	Combination	2349.130129	3.66E-14	0
77	0	DSTL5	Combination	2416.213473	-777.2044829	0
77	0	DSTL2	Combination	2527.521018	-777.2044829	0

مهار بندهای سقف باید برای نیروی کششی 2527.5 کیلوگرم طراحی شوند. اگر از میلگرد A-II استفاده شود، خواهیم داشت.

$$P_u = \phi_t \times 0.75 \times A_g F_y \rightarrow A_g = \frac{P_u}{0.75 \times \phi_t \cdot F_y} \rightarrow A_g = \frac{(2527.5)}{0.75 \times 0.75 \times 3000} = 2.5 \text{ cm}^2$$

→ ϕ20

از آرماتور نمره ۲۰ استفاده می‌کنیم.



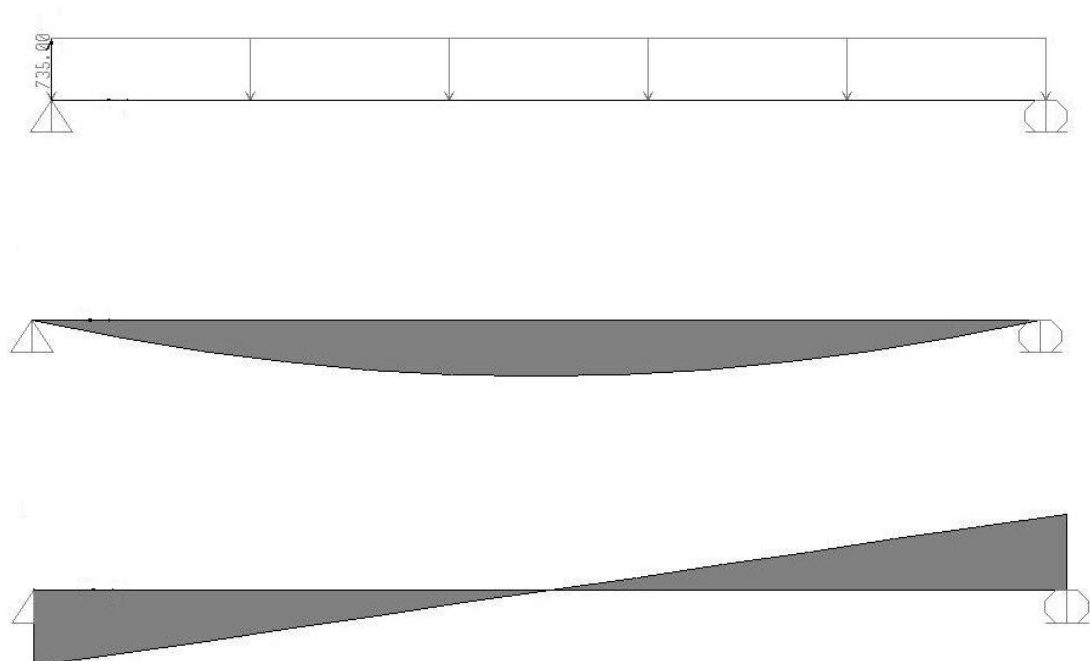
تیرهای عرضی دواتها و

مین قلابی در طول

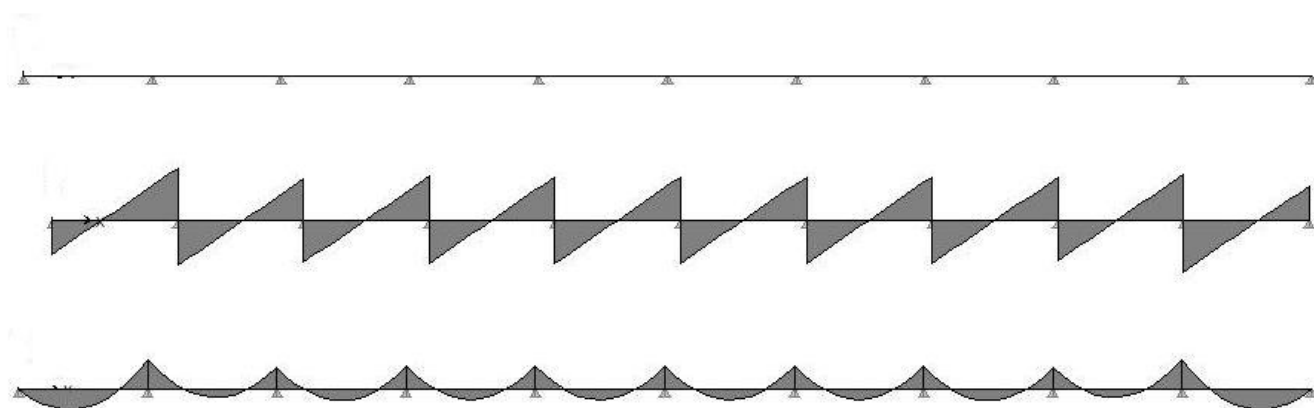
طراحی تیرهای عرضی بین قابی:

برای اینکه این تیرها را بتوان طراحی کرد آنها را در برنامه **SAP** مدل کرده و یا با روش دستی **0.9** تیر را تحلیل می کنیم و از نتایج آن برای طراحی تیر استفاده خواهیم کرد.

یک نمونه تیر عرضی بین قابی همراه با دیاگرام لنگر و نیروی برشی در شکل زیر نشان داده شده است:



و همچنین در شکل زیر حالت کلی این تیر نمایش داده شده است:



$$(M_u)_{Max} = 113.245 \text{ k-in}$$

$$(V_u)_{Max} = 15.78 \text{ k}$$

$$L_b = 236.22 \text{ in}$$

$$C_b = \frac{12.5M_{Max}}{2.5M_{Max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad \& \quad \begin{cases} M_{Max} = 113.245 \text{ k-in} \\ M_A = 72.166 \text{ k-in} \\ M_B = 77.347 \text{ k-in} \\ M_C = 15.544 \text{ k-in} \end{cases}$$

$$C_b = \frac{(12.5)(113.245)}{(2.5)(113.245) + 3(72.166) + 4(77.347) + 3(15.544)} = 1.65$$

$$\frac{\phi_b M_{nx}}{C_b} = \frac{M_u}{C_b} = 6 \text{ k-ft} \rightarrow W5 \times 16 \Rightarrow \begin{cases} \phi_b M_p = 25.9 \text{ k-ft} = 310 \text{ k-in} \\ L_p = 5.3 \text{ ft} = 64 \text{ in} \\ L_r = 26.3 \text{ ft} = 315 \text{ in} \\ BF = 0.444 \text{ k} \\ Z = 9.59 \text{ in}^3 \end{cases}$$

$$\phi_b M_n = C_b [\phi_b M_p - BF(L_b - L_p)] \leq \phi_b M_p$$

$$= 1.65[310 - 0.444(236.22 - 64)] = 385.3 > 310 \rightarrow \phi_b M_{nx} = 310 \text{ k-in}$$

۱. کنترل خمش:

$$\phi_b M_p = 310 \text{ k-in} \geq 113.245 \text{ k-in} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۲. کنترل برش:

$$\frac{h}{t_w} = 15.8 < \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7 \rightarrow \checkmark$$

$$\phi V_n = 0.6 \phi F_{yw} A_w = (0.9)(0.6)(36)(4.266)(0.27) = 22.39 \text{ k} > 15.78 \text{ k} \rightarrow \text{ok}$$

۳. کنترل خیز:

$$\delta = \frac{Ml^2}{32EI} = \frac{113.245(236.22^2)}{32(29000)(21.3)} = 0.32$$

$$\delta_{all} = \frac{l}{360} = \frac{236.22}{360} = 0.66$$

$$\left. \begin{matrix} \delta = 0.32 \\ \delta_{all} = 0.66 \end{matrix} \right\} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۴. خمش موضعی بال:

$$\phi R_n = \phi (6.25) F_{yf} (t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.36)^2(36) = 26.2 \text{ k} > 15.78 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = [(2.5)(0.75) + 2](36)(0.27) = 37.67 \text{ k} \geq 15.78 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۶. کمانش موضعی جان:

$$\text{For } N/d > 0.2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 68 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} = 49.2 \text{ k} \geq 15.78 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۷. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = 101.8 \text{ k} \geq 15.78 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

تیرہویں نسل درگاہی

طراحی نعل درگاهی پنجره ها:



$$L=177.165 \text{ in}$$

$$1.4D=686 \text{ kg/m}$$

$$(M_u)_{Max} = \frac{686(4.5)^2}{8} = 1736.44 \text{ kg-m} \Rightarrow M_u = 150.7 \text{ k-in}$$

$$(V_u)_{Max} = 1543.5 \text{ kg} \Rightarrow V_u = 3.4 \text{ k}$$

$$Z_{req} = \frac{M_u}{\phi_b \cdot F_y} = \frac{150.7}{(0.9)(36)} = 4.65 \text{ in}^3$$

$$\rightarrow W8 \times 10$$

۱. کنترل خمش:

$$\phi_b M_p = 23.9 \text{ k-ft} = 286.8 \text{ k-in} \geq 150.7 \text{ k-in} \rightarrow ok \checkmark$$

۲. برای تیرهای نعل درگاهی یکی از مهمترین پارامترها کنترل و طراحی برای خیز تیر می باشد؛ بدین صورت که باید همزمان با خمش، از روی I تیر نیز طراحی صورت گیرد؛

کنترل خیز:

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \frac{5ql^4}{384EI_x} = \frac{(5)(1.03)(177.165)^4}{384(29000)(30.8)} = 0.4 \\ \delta_{all} &= \frac{l}{360} = \frac{177.165}{360} = 0.5 \end{aligned} \right. \rightarrow ok \checkmark$$

۳. کنترل برش:

$$h/t_w = 40.5 < 418/\sqrt{F_y} = 69.7 \rightarrow$$

$$\phi V_n = 0.6\phi F_{yw} A_w = (0.9)(0.6)(36)(6.885)(0.17) = 22.75 \text{ k} > 3.4 \text{ k} \rightarrow ok$$

۴. خمش موضعی بال:

$$\phi R_n = \phi (6.25) F_{yf} (t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.205)^2 (36) = 8.5 \text{ k} > 3.4 \text{ k} \rightarrow ok \checkmark$$

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = [(2.5)(0.625) + 2](36)(0.17) = 21.8 k \geq 3.4 k \rightarrow ok$$

۶. کمانش موضعی جان:

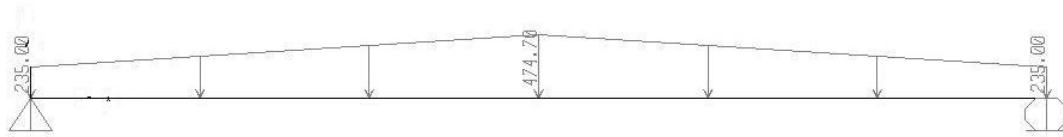
$$For N/d > 0.2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 68 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} = 15.58 k \geq 3.4 k \rightarrow ok$$

۷. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = 15.74 k \geq 3.4 k \rightarrow ok$$

طراحی نعل درگاهی درب ها:



$$l = 6 \text{ m} = 236.22 \text{ in} \quad \& \quad \begin{cases} 1) 474.7 \text{ kg/m} = 0.03 \text{ k/in} \\ 2) 235 \text{ kg/m} = 0.01 \text{ k/in} \end{cases}$$

$$(M_u)_{\text{Max}} = 215.88 \text{ k-in}$$

$$(V_u)_{\text{Max}} = 3.3 \text{ k}$$

$$Z_{\text{req}} = \frac{M_u}{\phi_b \cdot F_y} = \frac{215.88}{(0.9)(36)} = 6.67 \text{ in}^3$$

$$\rightarrow W12 \times 19$$

۱. کنترل خمش:

$$\phi_b \cdot M_p = 66.7 \text{ k-ft} = 800.4 \text{ k-in} \geq 215.88 \text{ k-in} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۲. برای تیرهای نعل درگاهی یکی از مهمترین پارامترها کنترل و طراحی برای خیز تیر می باشد؛ بدین صورت که باید همزمان با خمش، از روی I تیر نیز طراحی صورت گیرد؛

کنترل خیز:

$$\begin{cases} \delta = \frac{5q_1 l^4}{384EI_x} + \frac{q_2 l^4}{60EI_x} = \frac{(5)(0.014)(236.22)^4}{384(29000)(130)} + \frac{(0.028)(236.22)^4}{(60)(29000)(130)} = 0.53 \\ \delta_{\text{all}} = \frac{l}{360} = \frac{236.22}{360} = 0.67 \end{cases} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۳. کنترل برش:

$$h/t_w = 46.2 < 418/\sqrt{F_y} = 69.7 \rightarrow$$

$$\phi V_n = 0.6\phi F_{yw} A_w = (0.9)(0.6)(36)(10.857)(0.235) = 49.68 \text{ k} > 3.3 \text{ k} \rightarrow \text{ok}$$

۴. خمش موضعی بال:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot (6.25) \cdot F_{yf} \cdot (t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.35)^2(36) = 24.81 \text{ k} > 3.3 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\phi R_n = (2.5k + N) \times F_{yw} \times t_w = \left[(2.5) \left(\frac{13}{16} \right) + 2 \right] (36) (0.235) = 34.1 k \geq 3.3 k \rightarrow ok$$

۶. کمانش موضعی جان:

$$For N/d < 0.2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \times \left[1 + 4 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw} t_f}{t_w}} = 26.11 k \geq 3.3 k \rightarrow ok$$

۷. کمانش فشاری جان:

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} = 26.38 k \geq 3.3 k \rightarrow ok$$

ورقهای زیر سستونی

طراحی صفحات زیر ستونی: (Base Plate)

$$P_u = 67.93 \text{ k}$$

$$A36 \quad \& \quad f'_c = 3 \text{ ksi}$$

$$d = 7.33 \text{ in} \quad , \quad b_f = 10.235 \text{ in}$$

$$A_1 = A_2 \Rightarrow A_1 = \frac{P_u}{\phi_c \times 0.85 f'_c} = 44.4 \text{ in}^2$$

$$(A_1)_{\min} = d \times b_f = 10.235 \times 7.33 = 75.02 \text{ in}^2 \geq 44.4 \text{ in}^2 \rightarrow A = 75.02 \text{ in}^2$$

$$PL 11 \times 8 \rightarrow \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1.43$$

$$A_1 = 75.02 \rightarrow \Delta = \frac{0.95d - 0.8b_f}{2} = 1.67 \text{ in}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = 10 \rightarrow N = 10 \text{ in}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = 7.5 \xrightarrow{b_f=10.235} B = 12 \text{ in}$$

محاسبه ضخامت:

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = 2.7$$

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} = 0.9$$

$$\phi_c P_p = 0.6 \times 0.85 f'_c \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 164.2 \text{ k}$$

$$x = \left[\frac{4db_f}{(d + b_f)^2} \right] \frac{P_u}{\phi_c P_p} = 0.402 \rightarrow \lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} = 0.72 \leq 1$$

$$\lambda n' = \frac{\lambda \sqrt{db_f}}{4} = 1.56, \quad l = \text{Max}(m, n, \lambda n') \Rightarrow l = 2.7$$

$$t = l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_y B N}} = 0.502 \text{ in} \Rightarrow t = \frac{1}{2} \text{ in}$$

PL 12×10

Concrete 16×14

$$t = \frac{1}{2} \text{ in}$$

اتصالات

طراحی اتصالات بال به جان تیر:

برای اتصالات بال به جان تیر باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{V.Q}{I} \times e \leq \phi.F_w$$

e عبارتست از طول جوش منقطع که ما آن را به صورت سراسری می گیریم؛ یعنی: $e=L$

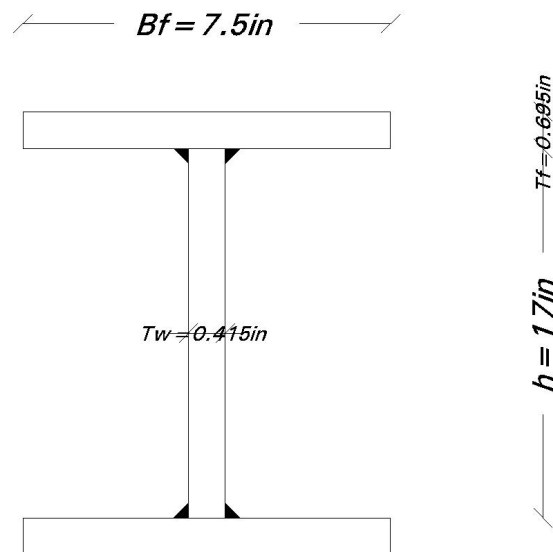
$$\phi.F_w = 0.75(0.6F_E)(A_w)$$

$$A_w = l_w.t_w \quad \& \quad t_w = 0.707(a)$$

a = ساق یا بعد جوش

نوع جوش را هم $SMAW$ در نظر می گیریم. نوع الکتود را هم $E70$ در نظر خواهیم گرفت.

$$V_u = 31 k$$



$$Q = 0.695(7.5)(8.8475) = 46.12 \text{ in}^3$$

$$I = 992.4 \text{ in}^4$$

$$\frac{31(46.12)}{992.4} \leq 0.75(0.6)(70)(t_w)(2) \rightarrow \text{Min. } t_w = 0.023 \text{ in}$$

طبق آیین نامه **LRFD** ضوابط زیر باید در مورد جوش گوشه برقرار باشد:

۱. حداکثر بعد جوش گوشه در ضخامت بیشتر از **0.25 in** به مقدار $(\frac{1}{16} - \text{ضخامت})$ خواهد بود.

۲. حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

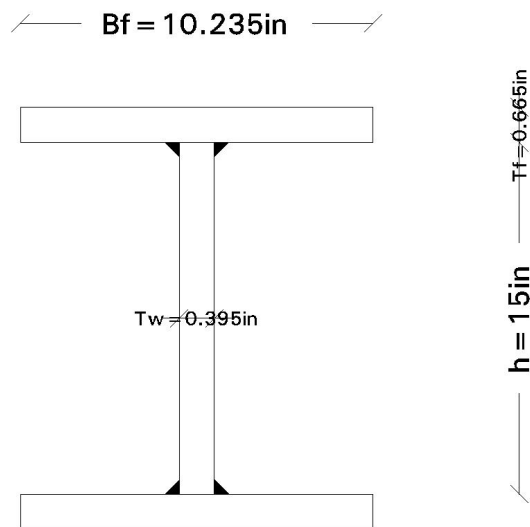
حداقل ساق $\frac{1}{8}$	ضخامت $\frac{1}{4} \geq$
$\frac{3}{16} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{4} \text{ to } \frac{1}{2}$
$\frac{1}{4} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{2} \text{ to } \frac{3}{4}$
$\frac{5}{16} \text{ in}$	ضخامت بالای $\frac{3}{4}$

$$LRFD \left\{ \begin{array}{l} a_{Min} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ a_{Max} = 0.415 - \frac{1}{16} = 0.35 \text{ in} \end{array} \right. \Rightarrow a = 0.35 \text{ in}$$

$$\rightarrow t_w = 0.35(0.707) = 0.25 \text{ in} \geq 0.023 \text{ in} \rightarrow ok$$

$$\rightarrow t_w = 0.25 \text{ in}$$

$$V_u = 3.4 \text{ k}$$



$$Q = 0.665(10.235)(7.8325) = 53.3 \text{ in}^3$$

$$I = 946.7 \text{ in}^4$$

$$\frac{3.4(53.3)}{964.7} \leq 0.75(0.6)(70)(t_w)(2) \rightarrow \text{Min. } t_w = 0.003 \text{ in}$$

طبق آئین نامه **LRFD** ضوابط زیر باید در مورد جوش گوشه برقرار باشد:

۱. حداکثر بعد جوش گوشه در ضخامت بیشتر از **0.25 in** به مقدار $\left(\frac{1}{16} - \text{ضخامت}\right)$ خواهد بود.

۲. حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

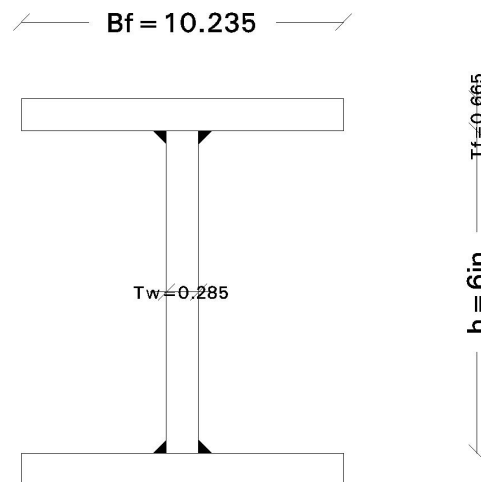
حداقل ساق $\frac{1}{8}$	ضخامت $\frac{1}{4} \geq$
$\frac{3}{16} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{4} \text{ to } \frac{1}{2}$
$\frac{1}{4} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{2} \text{ to } \frac{3}{4}$
$\frac{5}{16} \text{ in}$	ضخامت بالای $\frac{3}{4}$

$$LRFD \begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ a_{Max} = 0.385 - \frac{1}{16} = 0.32 \text{ in} \end{cases} \Rightarrow a = 0.32 \text{ in}$$

$$\rightarrow t_w = 0.32(0.707) = 0.23 \text{ in} \geq 0.003 \text{ in} \rightarrow \text{ok}$$

$$\rightarrow t_w = 0.23 \text{ in}$$

$$V_u = 17 \text{ k}$$



$$Q = 0.665(10.235)(3.3325) = 22.7 \text{ in}^3$$

$$I = 156.81 \text{ in}^4$$

$$\frac{17(22.7)}{156.81} \leq 0.75(0.6)(70)(t_w)(2) \rightarrow \text{Min. } t_w = 0.04 \text{ in}$$

طبق آیین نامه **LRFD** ضوابط زیر باید در مورد جوش گوشه برقرار باشد:

۱. حداکثر بعد جوش گوشه در ضخامت بیشتر از **0.25 in** به مقدار $\left(\frac{1}{16} - \text{ضخامت}\right)$ خواهد بود.

۲. حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

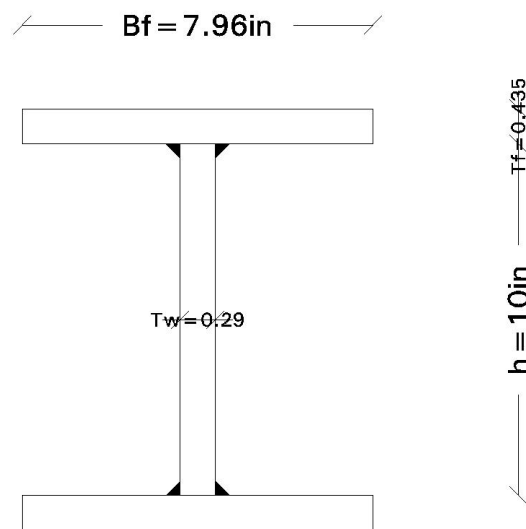
حداقل ساق $\frac{1}{8}$	ضخامت $\frac{1}{4} \geq$
$\frac{3}{16} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{4} \text{ to } \frac{1}{2}$
$\frac{1}{4} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{2} \text{ to } \frac{3}{4}$
$\frac{5}{16} \text{ in}$	ضخامت بالای $\frac{3}{4}$

$$LRFD \begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ a_{Max} = 0.285 - \frac{1}{16} = 0.22 \text{ in} \end{cases} \Rightarrow a = 0.22 \text{ in}$$

$$\rightarrow t_w = 0.22(0.707) = 0.2 \text{ in} \geq 0.04 \text{ in} \rightarrow \text{ok}$$

$$\rightarrow t_w = 0.2 \text{ in}$$

$$V_u = 2.2 \text{ k}$$



$$Q = 0.435(7.96)(5.2175) = 18.1 \text{ in}^3$$

$$I = 212.8 \text{ in}^4$$

$$\frac{2.2(18.1)}{212.8} \leq 0.75(0.6)(70)(t_w)(2) \rightarrow \text{Min. } t_w = 0.003 \text{ in}$$

طبق آیین نامه **LRFD** ضوابط زیر باید در مورد جوش گوشه برقرار باشد:

۱. حداکثر بعد جوش گوشه در ضخامت بیشتر از **0.25 in** به مقدار $(\frac{1}{16} - \text{ضخامت})$ خواهد بود.

۲. حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

حداقل ساق = $\frac{1}{8}$	ضخامت $\geq \frac{1}{4}$
$\frac{3}{16} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{4} \text{ to } \frac{1}{2}$
$\frac{1}{4} \text{ in}$	ضخامت $\frac{1}{2} \text{ to } \frac{3}{4}$
$\frac{5}{16} \text{ in}$	ضخامت بالای $\frac{3}{4}$

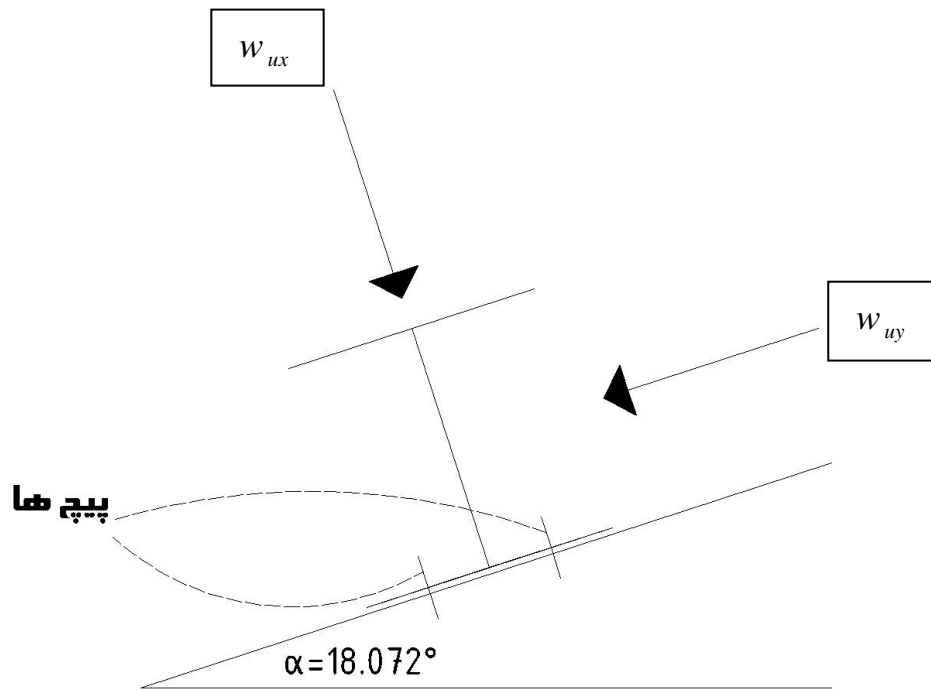
$$LRFD \begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ a_{Max} = 0.29 - \frac{1}{16} = 0.23 \text{ in} \end{cases} \Rightarrow a = 0.23 \text{ in}$$

$$\rightarrow t_w = 0.23(0.707) = 0.2 \text{ in} \geq 0.003 \text{ in} \rightarrow \text{ok}$$

$$\rightarrow t_w = 0.2 \text{ in}$$

طراحی اتصال لایه ها به قابها:

برای این اتصال از پیچ استفاده می کنیم ولی قبل از آن باید نیروها را تجزیه کرد؛



$$\begin{cases} w_{ux} = 380 \text{ kg/m} \rightarrow \frac{380 \times 6.246}{6} = 395.6 \text{ kg} = 0.87 \text{ k} \\ w_{uy} = 109.2 \text{ kg/m} \rightarrow \frac{109.2 \times 6.246}{6} = 113.7 \text{ kg} = 0.25 \text{ k} \end{cases}$$

از پیچ با قطر $3/16 \text{ in}$ و $A325X$ استفاده می کنیم:

نوع سوراخ: استاندارد STD

ضوابط $LRFD$:

۱. حداقل فاصله ها:

دو پیچ از هم $= 3$ برابر قطر

از لبه ورق $= 1.5$ برابر قطر

۲. حداکثر فاصله ها:

دو پیچ از هم $= 24$ برابر ضخامت نازکتر و یا ۱۲ اینچ (هر کدام کمتر بود)

از لبه ها $= 12$ برابر ضخامت نازکتر و یا ۶ اینچ (هر کدام کمتر بود)

$$\text{حداقل فاصله پیچها} = 3 \times \frac{3}{16} = \frac{9}{16} \text{ in}$$

$$\text{حداقل فاصله از لبه} = 1.5 \times \frac{3}{16} = 0.28 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها} = \text{Min.} \begin{cases} 24 \times \frac{3}{16} = 4.5 \text{ in} \\ 12 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 4.5 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله از لبه} = \text{Min.} \begin{cases} 12 \times \frac{3}{16} = 2.25 \text{ in} \\ 6 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 2.25 \text{ in}$$

کنترل به برش:

$$\phi A_p (60) = 60 \left(\frac{\pi \times \left(\frac{3}{16}\right)^2}{4} \right) \times 0.75 = 1.24 \text{ k} \geq 0.25 \text{ k} \rightarrow \text{ok} \checkmark$$

تنش برشی:

$$f_v = \frac{0.25}{1 \left(\frac{\pi \left(\frac{3}{16}\right)^2}{4} \right)} = 9.05 \text{ ksi}$$

تنش کششی:

$$f_t = \frac{0.87}{1 \left(\frac{\pi \left(\frac{3}{16}\right)^2}{4} \right)} = 31.51 \text{ ksi}$$

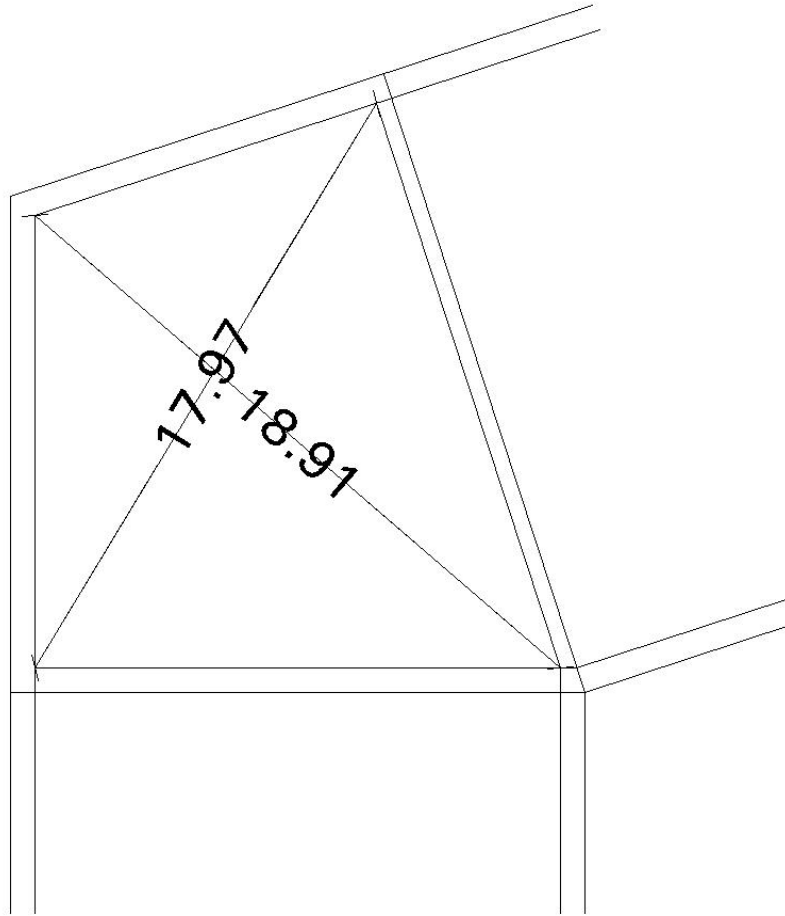
$$A325X \rightarrow F_t = (117 - 1.5 f_v) \leq 90 \Rightarrow F_t = 103.425 > 90 \rightarrow \phi F_t = 0.9(90) = 67.5 \text{ ksi} \geq 31.51 \rightarrow \text{ok}$$

کنترل لهیدگی:

$$\text{مقاومت لهیدگی} = 0.75(R_n) = 0.75(2.4 \times d_t \times F_u) = 0.75(2.4) \left(\frac{3}{16}\right) (t)(58) = 0.87 \rightarrow t = 0.04 \text{ in}$$

طراحی اتصالات زانویی:

اول باید دید که در محل اتصال تیر به ستون آیا به سخت کننده احتیاج داریم یا نه؛



در این شکل حالت بحرانی را انتخاب می کنیم:

0.415 in = ضخامت ورق

18.91 in = بزرگترین بعد

$$\frac{h}{t_w} = \frac{18.91}{0.415} = 45.57 \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} = 69.7$$

در نتیجه به سخت کننده احتیاجی نیست.

طراحی اتصالات پیچی قابها:

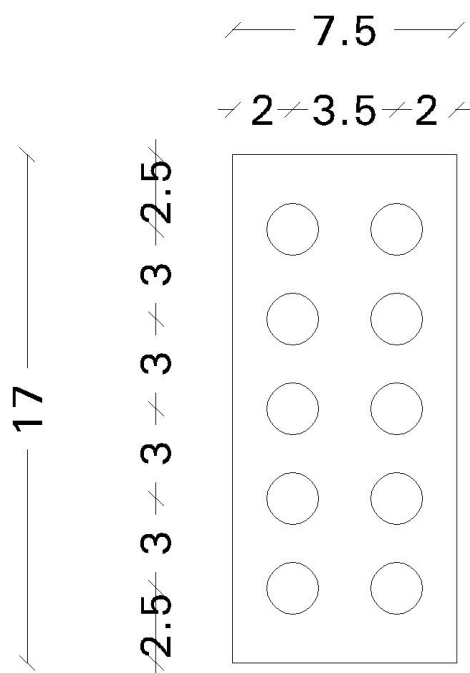
در محل اتصال تیر به ستون:

$$M_u = 3840.4 \text{ k-in}$$

$$V_u = 31 \text{ k}$$

$$\text{Assume} = \begin{cases} h = 17 \text{ in} \\ b = 7.5 \text{ in} \end{cases}$$

پیچهای $\frac{7}{8} \text{ in}$ و $A325X$ را امتحان می کنیم:



نوع سوراخ: استاندارد STD

ضوابط $LRFD$:

۱. حداقل فاصله ها:

دو پیچ از هم $= 3$ برابر قطر

از لبه ورق $= 1.5$ برابر قطر

۲. حداکثر فاصله ها:

دو پیچ از هم $= 24$ برابر ضخامت نازکتر و یا ۱۲ اینچ (هر کدام کمتر بود)

از لبه ها $= 12$ برابر ضخامت نازکتر و یا ۶ اینچ (هر کدام کمتر بود)

$$\text{حداقل فاصله پیچها} = 3 \times \frac{7}{8} = 2.6 \text{ in}$$

$$\text{حداقل فاصله از لبه} = 1.5 \times \frac{7}{8} = 1.3 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها} = \text{Min.} \begin{cases} 24 \times 0.415 = 9.96 \text{ in} \\ 12 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 9.96 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله از لبه} = \text{Min.} \begin{cases} 12 \times 0.415 = 5 \text{ in} \\ 6 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 5 \text{ in}$$

تنش برشی:

$$f_v = \frac{31}{10 \left(\frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^2}{4} \right)} = 5.2 \text{ ksi}$$

$$\frac{7.5 \times \bar{y}^2}{2} = 2 \left(\frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^2}{4} \right) \times [(5.5 - \bar{y}) + (8.5 - \bar{y}) + (11.5 - \bar{y}) + (14.5 - \bar{y})] \Rightarrow \bar{y} = 5.64 \text{ in}$$

$$I = \frac{7.5(5.64)^3}{12} + 7.5(5.64)(2.82)^2 + 2 \times \left[\frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^4}{64} + \frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^2}{4} (2.86)^2 \right] + 2 \times \left[\frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^4}{64} + \frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^2}{4} (5.86)^2 \right] + 2 \times \left[\frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^4}{64} + \frac{\pi \left(\frac{7}{8} \right)^2}{4} (8.86)^2 \right] = 594.2 \text{ in}^4$$

تنش کششی:

$$f_t = \frac{M.C}{I} = \frac{3840.4(8.86)}{594.2} = 57.26 \text{ ksi}$$

$$F_t = 117 - 1.5f_v \leq 90 \rightarrow$$

$$117 - 1.5(5.2) = 109.2 > 90 \rightarrow F_t = 90 \text{ ksi}$$

$$\phi.F_t = 67.5 \text{ ksi} \geq f_t = 57.26 \text{ ksi} \rightarrow ok$$

کنترل ورق اتصال:

$$A = 0.415 \times 7.5 = 3.11 \text{ in}^2$$

$$\text{کنترل تسلیم: } p_u = \phi_t . A_g . F_y = 0.9 \times 36 \times 3.11 = 100.76 \text{ k} \geq 31 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$\text{کنترل گسیختگی: } p_u = \phi_t . A_n . F_y = 0.75 \times 36 \times 2.28 = 99.18 \text{ k} \geq 31 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$A_n = 3.11 - 2 \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) (0.415) = 2.28 \text{ in}^2$$

$$\text{کنترل لهیدگی قطعه: } p_u = 0.75 \left(2.4 \times \frac{7}{8} \times 0.415 \times 58 \right) = 37.9 \text{ k} \geq 31 \text{ k} \rightarrow ok$$

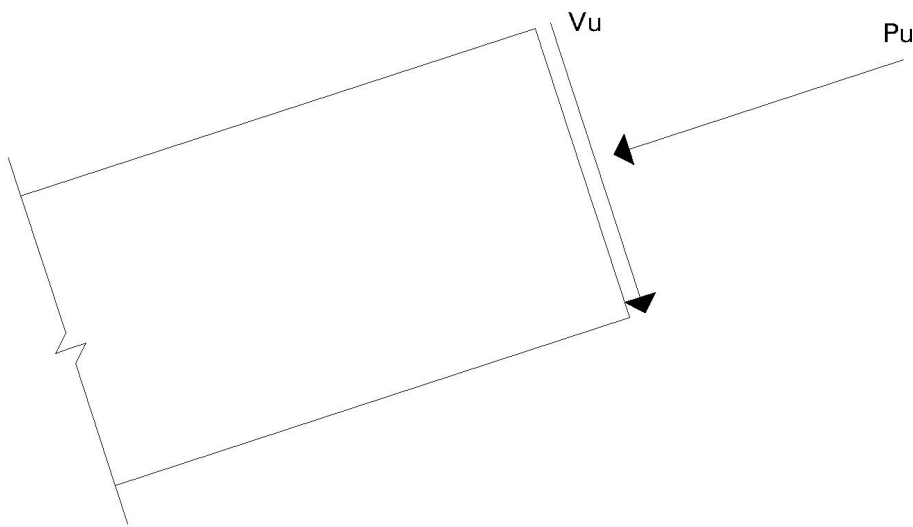
$$M_u = 1030.6 \text{ k-in}$$

$$V_u = 2.2 \text{ k}$$

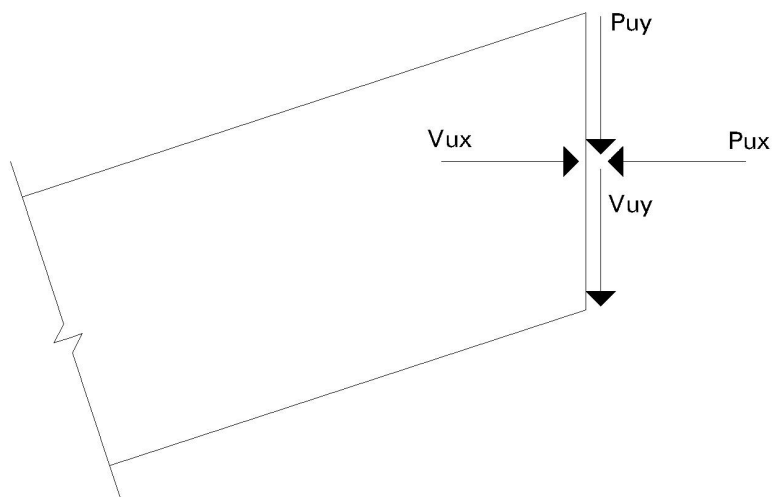
$$P_u = 5.6 \text{ k}$$

$$\text{Assume} = \begin{cases} h = 10 \text{ in} \\ b = 7.96 \text{ in} \end{cases}$$

برای این طراحی باید نیروها را در رأس قاب پیدا کرده و آنها را تجزیه نمائیم.



$$\left. \begin{aligned} V_{uy} &= 2.2 \times \cos(18.07) = 2.1 \text{ k} \\ V_{ux} &= 2.2 \times \sin(18.07) = 0.68 \text{ k} \\ P_{uy} &= 5.6 \times \sin(18.07) = 1.74 \text{ k} \\ P_{ux} &= 5.6 \times \cos(18.07) = 5.3 \text{ k} \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{cases} \sum R_y = 3.84 \text{ k} \\ \sum R_x = 5.98 \text{ k} \end{cases}$$



نوع سوراخ: استاندارد *STD*

ضوابط *LRFD*:

۱. حداقل فاصله ها:

دو پیچ از هم = ۳ برابر قطر

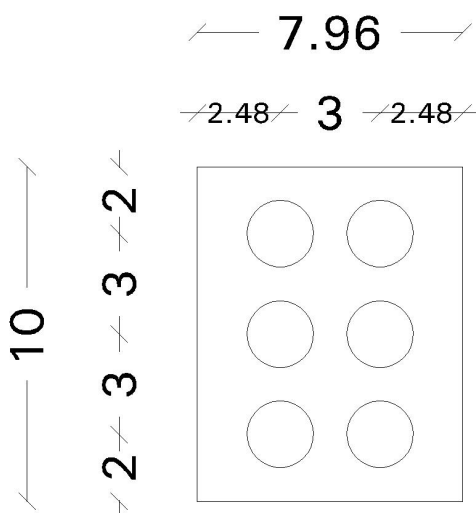
از لبه ورق = 1.5 برابر قطر

۲. حداکثر فاصله ها:

دو پیچ از هم = ۲۴ برابر ضخامت نازکتر و یا ۱۲ اینچ (هر کدام کمتر بود)

از لبه ها = ۱۲ برابر ضخامت نازکتر و یا ۶ اینچ (هر کدام کمتر بود)

از پیچهای *1 in* و *A325X* استفاده می کنیم:



$$\text{فاصله پیچها} = 3 \times 1 = 3 \text{ in}$$

$$\text{فاصله از لبه} = 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها} = \text{Min.} \begin{cases} 24 \times 0.35 = 8.96 \text{ in} \\ 12 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 8.96 \text{ in}$$

$$\text{حداکثر فاصله از لبه} = \text{Min.} \begin{cases} 12 \times 0.35 = 4.2 \text{ in} \\ 6 \text{ in} \end{cases} \rightarrow 4.2 \text{ in}$$

تنش برشی:

$$f_v = \frac{\sum R_y}{6 \times A} = \frac{3.84}{6 \left(\frac{\pi(1)^2}{4} \right)} = 0.81 \text{ ksi}$$

$$\frac{7.96 \times \bar{y}^2}{2} = 2 \left(\frac{\pi(1)^2}{4} \right) \times [(5 - \bar{y}) + (8 - \bar{y})] \Rightarrow \bar{y} = 2.86 \text{ in}$$

$$I = \frac{7.96(2.86)^3}{12} + 7.96(2.86)(1.43)^2 + 2 \times \left[\frac{\pi(1)^4}{64} + \frac{\pi}{4}(1)^2(2.14)^2 \right] + 2 \times \left[\frac{\pi(1)^4}{64} + \frac{\pi}{4}(1)^2(5.14)^2 \right] \rightarrow$$

$$I = 110.94 \text{ in}^4$$

تنش کششی:

$$f_t = \frac{M.C}{I} = \frac{1030.6(5.14)}{110.94} = 47.75 \text{ ksi}$$

$$F_t = 117 - 1.5f_v \leq 90 \rightarrow$$

$$117 - 1.5(0.81) = 115.8 > 90 \rightarrow F_t = 90 \text{ ksi}$$

$$\phi.F_t = 67.5 \text{ ksi} \geq f_t = 47.75 \text{ ksi} \rightarrow ok$$

کنترل ورق اتصال:

$$A = 0.35 \times 7.96 = 2.8 \text{ in}^2$$

$$\text{کنترل تسلیم: } p_u = \phi_t.A_g.F_y = 0.9 \times 36 \times 2.8 = 90.72 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$\text{کنترل گسیختگی: } p_u = \phi_t.A_n.F_y = 0.75 \times 36 \times 2.01 = 54.27 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

$$A_n = 2.8 - 2 \left(1 + \frac{1}{8} \right) (0.35) = 2.01 \text{ in}^2$$

$$\text{کنترل لهیدگی قطعه: } p_u = 0.75(2.4 \times 1 \times 0.35 \times 58) = 36.54 \text{ k} \geq 2.2 \text{ k} \rightarrow ok$$

• لازم به توضیح است که وقتی $\begin{cases} L_e \geq 1.5d \\ S \geq 3d \end{cases}$ و در محور نیرو ۲ یا بیشتر پیچ باشد و همچنین تغییر شکلهای اطراف سوراخ

مهم باشد برای مقاومت لهیدگی از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$R_n = 2.4d.t.F_u$$

در مورد اول:

$$L_e = 2 \text{ in} \quad \& \quad 1.5d = 1.5 \times \frac{7}{8} = 1.3 \text{ in} \Rightarrow L_e \geq 1.5d \quad \checkmark$$

$$S = 3 \text{ in} \quad \& \quad 3d = 3 \times \frac{7}{8} = 2.6 \text{ in} \Rightarrow S \geq 3d$$

در مورد دوم:

$$L_e = 2 \text{ in} \quad \& \quad 1.5d = 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ in} \Rightarrow L_e \geq 1.5d \quad \checkmark$$

$$S = 3 \text{ in} \quad \& \quad 3d = 3 \times 1 = 3 \text{ in} \Rightarrow S \geq 3d$$

طراحی بولتهای زیر پی:

$$(Axial\ Load)_{Max} = 7.25\ k$$

$$(A-II) \rightarrow F_y = 3000\ \frac{kg}{cm^2} = 42.7\ ksi$$

$$P_u = \phi(0.75)F_y.A_g \Rightarrow A_g = \frac{P_u}{\phi(0.75)F_y} = \frac{7.25}{(0.75)(0.75)(42.7)} = 0.302\ in^2$$

اگر از دو میلگرد استفاده کنیم:

$$\frac{A_g}{2} = \frac{0.302}{2} = 0.151\ in^2 \Rightarrow 2\#4\ (in) \approx 2\phi16\ (mm)$$

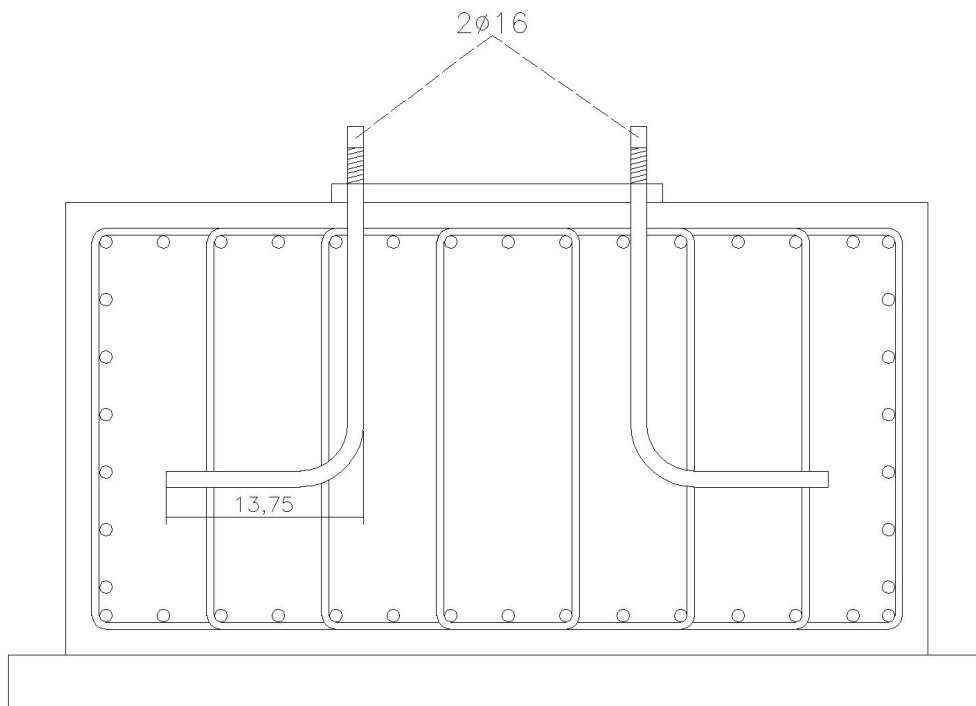
کنترل به برش:

$$نیروی\ برشی\ ماکزیمم\ در\ پای\ ستون: V_{Max} = 17\ k$$

$$مقاومت\ گسیختگی\ برش = \phi.F_n.A_{ns} \quad \& \quad F_n = 0.6F_u$$

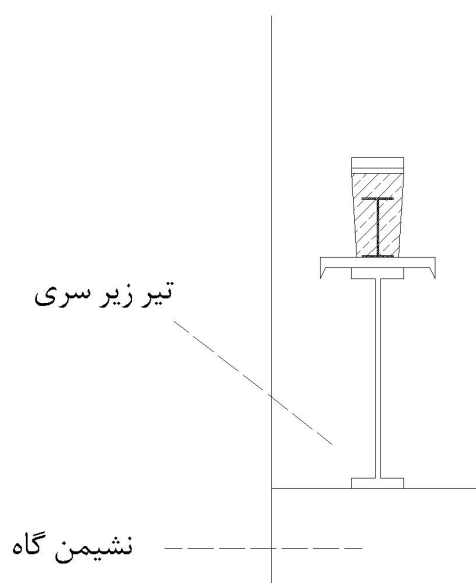
$$(A-II) \rightarrow F_u = 5000\ \frac{kg}{cm^2} = 71.12\ ksi$$

$$A_{ns} = \frac{17}{(0.75)(0.6)(71.12)} = 0.53\ in^2 \Rightarrow 2\#5\ (in) \approx 2\phi16\ (mm)$$



قطعات تکریم گاه

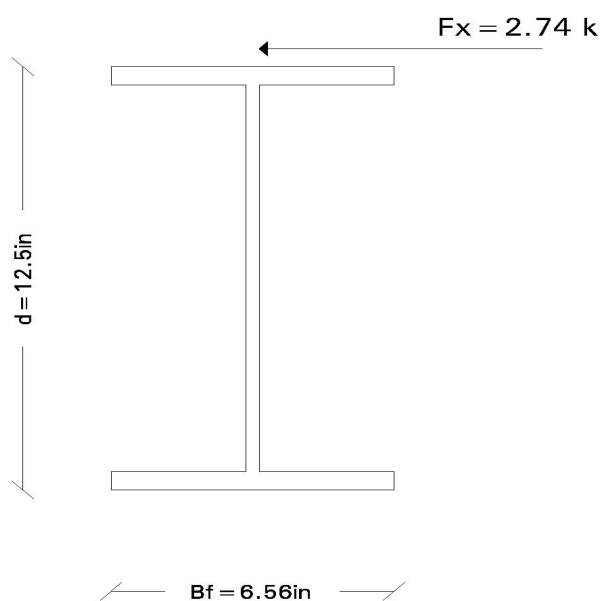
طراحی نشیمن گاه تیر زیر سری:



برای اینکه نشیمن گاه را طراحی کنیم ابتدا باید اتصالات آن را طراحی کرده سپس از روی آن نشیمن گاه را طراحی کرد.

$$F_x = 1240 \text{ kg} = 2.74 \text{ k}$$

$$M = 2.74 \times 12.5 = 34.25 \text{ k-in}$$



پیچهای $\frac{3}{4} in$ و $A325X$ را امتحان می کنیم:

نوع سوراخ: استاندارد STD

ضوابط $LRFD$:

۱. حداقل فاصله ها:

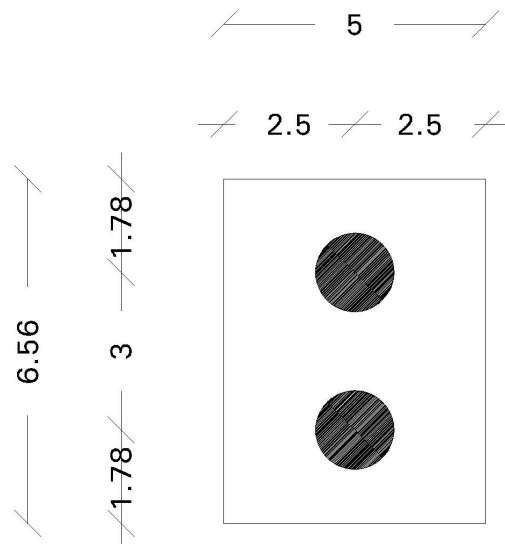
دو پیچ از هم = ۳ برابر قطر

از لبه ورق = 1.5 برابر قطر

۲. حداکثر فاصله ها:

دو پیچ از هم = ۲۴ برابر ضخامت نازکتر و یا ۱۲ اینچ (هر کدام کمتر بود)

از لبه ها = ۱۲ برابر ضخامت نازکتر و یا ۶ اینچ (هر کدام کمتر بود)



$$\text{حداقل فاصله پیچها} = 3 \times \frac{3}{4} = 2.25 in$$

$$\text{حداقل فاصله از لبه} = 1.5 \times \frac{3}{4} = 1.125 in$$

$$\text{حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها} = \text{Min.} \begin{cases} 24 \times 0.35 = 8.4 in \\ 12 in \end{cases} \rightarrow 8.4 in$$

$$\text{حداکثر فاصله از لبه} = \text{Min.} \begin{cases} 12 \times 0.355 = 4.2 in \\ 6 in \end{cases} \rightarrow 4.2 in$$

تنش برشی:

$$F_x = 2.74 k \rightarrow f_v = \frac{F_x}{n.A} = \frac{2.74}{2 \left(\frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^2}{4} \right)} = 3.1 ksi$$

$$\frac{5 \times \bar{y}^2}{2} = 1 \times \left(\frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^2}{4} \right) \times [(4.78 - \bar{y}) + (1.78 - \bar{y})] \Rightarrow \bar{y} = 0.91 \text{ in}$$

$$I = \frac{5(0.91)^3}{12} + 5(0.91)(0.455)^2 + \left[\frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^4}{64} + \frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^2}{4} (3.87)^2 \right] + \left[\frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^4}{64} + \frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^2}{4} (0.87)^2 \right] = 8.23 \text{ in}^4$$

تنش کششی:

$$f_t = \frac{M.C}{I} = \frac{34.25(4.78)}{8.23} = 19.9 \text{ ksi}$$

ظرفیت پیچهای A325X در اتصالات اصطکاکی:

$$F_t = \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) (17) = \left(1 - \frac{T}{28} \right) (17) \quad \& \quad T = 19.9 \times \left(\frac{\pi \left(\frac{3}{4} \right)^2}{4} \right) = 8.8 \text{ k}$$

$$\rightarrow F_t = \left(1 - \frac{8.8}{28} \right) (17) = 11.65 \text{ ksi} \geq 3.1 \text{ ksi} \rightarrow ok$$

کنترل لهیدگی:

$$\phi R_n = 0.75(2.4) \left(\frac{3}{4} \right) (t) (58) = 78.3(t)$$

$$P_u = 4.73 \text{ k}$$

$$\rightarrow 4.73 = 78.3(t) \Rightarrow t = 0.06 \text{ in}$$

طراحی نشیمن گاه:

برای نشیمن گاه از قوطی استفاده می کنیم؛

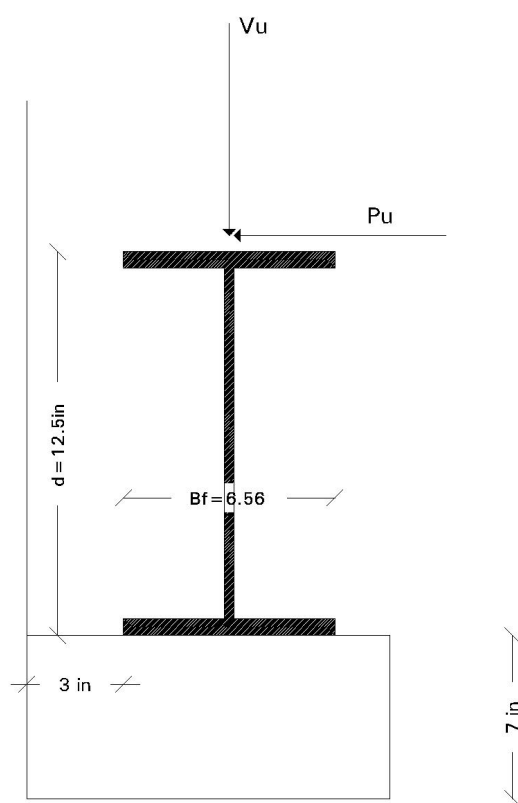
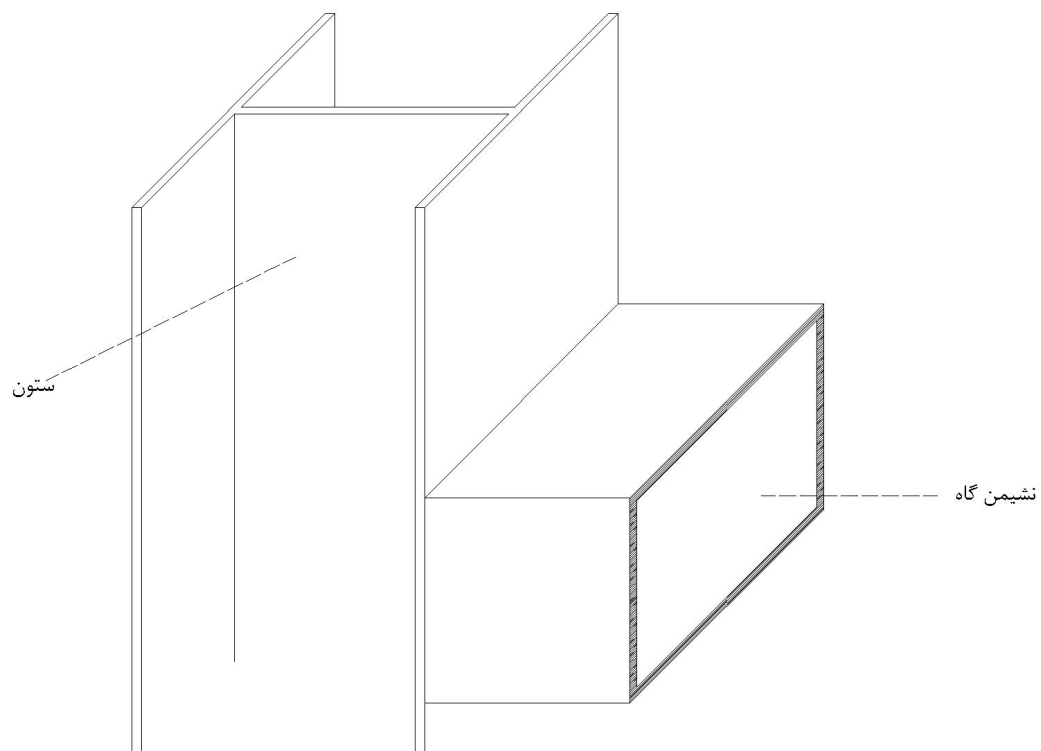
$$P_u = 4.73 \text{ k}$$

$$V_{uh} = 34.76 \text{ k}$$

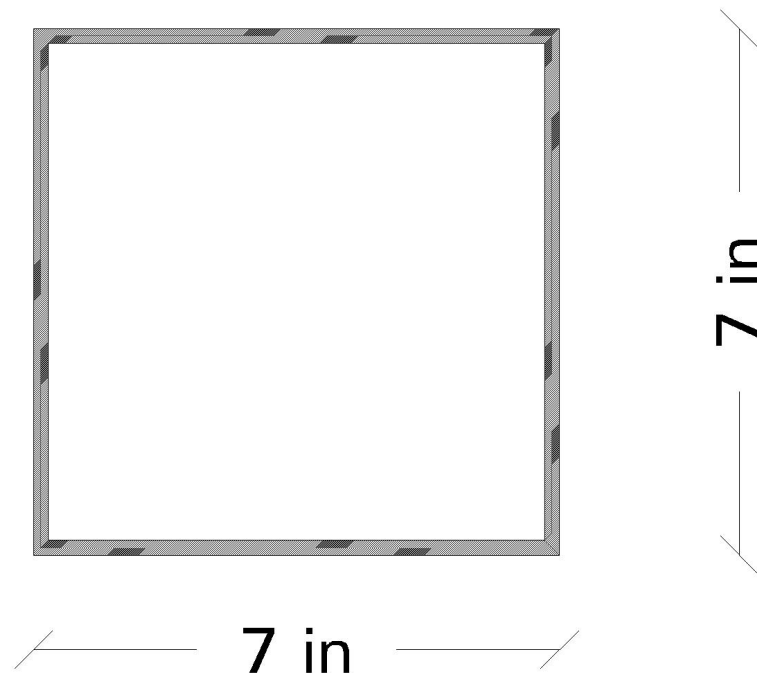
$$V_{uv} = 0.954 \text{ k}$$

$$V \text{ از لنگر ناشی} = 34.76 \times \left(\frac{6.56}{2} + 3 \right) = 218.3 \text{ k-in}$$

$$(Pu) \text{ از لنگر ناشی از نیروی افقی جانبی} = 4.73 \times \left(\frac{7}{2} + 12.5 \right) = 75.7 \text{ k-in}$$



ابتدا یک جوش با بعد واحد در نظر می گیریم و طراحی را بر مبنای آن انجام می دهیم:



$$A = (7 \times 1) \times 4 = 28 \text{ in}^2$$

$$I_x = I_y = \left(\frac{7(1)^3}{12} + 7 \times 1 \times 4^2 \right) \times 2 + \frac{1 \times 7^3}{12} \times 2 = 282.3 \text{ in}^4$$

$$J = I_x + I_y = 2(282.3) = 564.6 \text{ in}^4$$

جوش را *SMAW* و نوع الکتروود را *E70* در نظر می گیریم.

مقاومت جوش طولی (در طول واحد):

$$\phi.F_w = 0.75(0.6 \times 70)(0.707 \times 1) = 22.3 \text{ k/in}$$

مقاومت جوش عرضی (در طول واحد):

$$\phi.F_w = 0.75(0.6 \times 70)(0.707 \times 1) \times 1.5 = 33.45 \text{ k/in}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{282.4}{3.5} = 80.66 \text{ in}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{218.3}{80.66} = 2.71 \text{ ksi}$$

$$\text{مؤلفه برش: } R_v = \frac{V}{A} = \frac{34.76}{28} = 1.24 \text{ ksi}$$

$$R = \sqrt{R_v^2 + \sigma^2} = \sqrt{(1.24)^2 + (2.71)^2} = 2.98 \text{ ksi}$$

$$\text{بعد جوش} = \frac{R}{\phi \cdot F_w} = \frac{2.98}{22.3} = 0.14 \text{ in} \rightarrow a = 0.2 \text{ in}$$

$$a_{Max} = t - \frac{1}{16} \rightarrow t = 0.3 \text{ in}$$

در نتیجه ضخامت ورق = 0.3 in

کنترل به اثر برش و پیچش:

$$\left. \begin{array}{l} V_{uv} = 34.76 \\ V_{uh} = 0.954 \end{array} \right\} \rightarrow T = 0.954(22.5 + 3.5) = 15.26 \text{ k-in}$$

$$f_h = \frac{T \cdot V}{J} = \frac{15.26 \times 3.5}{564.6} = 0.1 \text{ ksi}$$

$$f_v = \frac{T \cdot h}{J} = \frac{15.26 \times 3.5}{564.6} = 0.1 \text{ ksi}$$

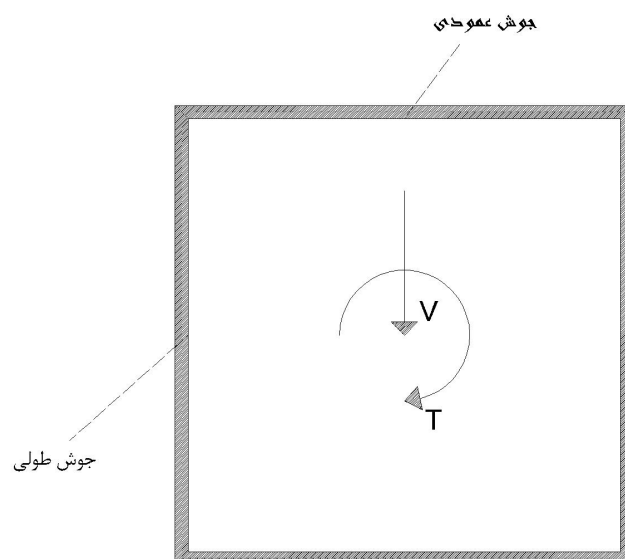
$$f = \frac{V_{uh}}{A} = \frac{34.76}{28} = 1.24 \text{ ksi}$$

$$f_r = \sqrt{(f_h + f)^2 + f_v^2} = \sqrt{(0.1 + 1.24)^2 + (0.1)^2} = 1.34 \text{ ksi}$$

$$\text{بعد جوش عرضی: } \frac{f_r}{\phi F_w} = \frac{1.34}{33.45} = 0.04 \text{ in}$$

$$\text{بعد جوش طولی: } \frac{f_r}{\phi F_w} = \frac{1.34}{22.3} = 0.06 \text{ in}$$

0.2 in = در نتیجه بعد جوش



طراحی می
۴

طراحی پی:

بار محوری مرده و زنده:

$$P_D = 14620.9 \text{ kg} = 146.209 \text{ KN}$$

$$P_L = 6768.83 \text{ kg} = 67.7 \text{ KN}$$

$$\rightarrow \begin{cases} 121.8 \text{ KN} \\ 42.3 \text{ KN} \end{cases} \text{ بدون ضریب}$$

فرض می کنیم که پی از بتن با $f'_c = 25 \text{ MPa}$ استفاده شود و تنش تسلیم میلگردهای مورد استفاده $f_y = 400 \text{ MPa}$ باشد.

همچنین فرض می کنیم عمق یخبندان در ارومیه 1.2 m بوده و تنش مجاز خاک برابر با $(1.2 \text{ kg/cm}^2) (120 \text{ KN/m}^2)$ باشد.

ابتدا تنش مجاز خالص خاک در زیر پی $(q_a)_{net}$ محاسبه می شود. در یک حدس اولیه می توان ضخامت پی را $h_f = 675 \text{ mm}$ در نظر گرفت. بنابراین با رعایت عمق یخبندان برای تراز کف پی، ضخامت خاکریزی روی پی نیز $h_s = 525 \text{ mm}$ خواهد بود.

با فرض $w_c = 24 \text{ KN/m}^3$ برای وزن مخصوص بتن و $w_s = 17 \text{ KN/m}^3$ برای وزن مخصوص خاک، تنش مجاز خاک در زیر پی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} (q_a)_{Net} &= q_a - (w_c \cdot h_f + w_s \cdot h_s) \\ &= 120 - (24 \times 0.675 + 17 \times 0.525) = 94.875 \text{ KN/m}^2 = 0.095 \text{ MPa} \end{aligned}$$

از آنجا که فقط بار محوری خالص از ستون منتقل می شود، یک پی مربعی مناسب ترین گزینه طراحی محسوب می شود. بعد این پی، به صورت زیر تعیین می شود:

$$\begin{aligned} \text{سطح پی} = A_f = B^2 &\geq \frac{P_D + P_L}{(q_a)_{Net}} \\ B^2 &\geq \frac{(121.8 + 42.3) \times 10^3}{0.095} = 1.8 \times 10^6 \text{ mm}^2 \rightarrow B \geq 1342 \text{ mm} \end{aligned}$$

ابعاد پی:

$$USE \ 1500 \times 1500 \text{ (mm)}$$

تنش زیر پی تحت بارهای با ضریب به صورت یکنواخت بوده و برابر است با:

$$\begin{aligned} q_{ult} &= \frac{1.2P_D + 1.6P_L}{B^2} \geq \frac{1.4P_D}{B^2} \\ q_{ult} &= \frac{(146.209 + 67.7) \times 10^3}{1500 \times 1500} = 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

تعیین ضخامت پی:

ضخامت پی را بر اساس کنترل برش یک طرفه به فاصله d از بر ستون، و کنترل برش دو طرفه به فاصله $S/2$ از بر ستون تعیین می کنیم. اگر بعد ستون را با c نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$V_u = q_{ult} \cdot B \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{c}{2} - d \right) \quad \text{برش یک طرفه}$$

$$V_u = 0.1 \times 1500 \times \left[\frac{1500}{2} - \frac{45}{2} - d \right] = 150[727.5 - d]$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f'_c} \cdot B \cdot d = \frac{1}{6} (0.75) (\sqrt{25}) (1500) (d) = 937.5d$$

$$V_u = \phi V_c = 150 \times [727.5 - d] = 937.5d \rightarrow d = 110 \text{ mm}$$

$$V_u = q_{ult} [B^2 - (c + d)^2] \quad \text{برش دو طرفه}$$

$$V_u = 0.1 \times [1500^2 - (450 + d)^2] = 0.1 \times [2047500 - d^2 - 900d]$$

$$\phi V_c = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} b_0 d \\ \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{6} b_0 d \\ \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{6} b_0 d \end{array} \right.$$

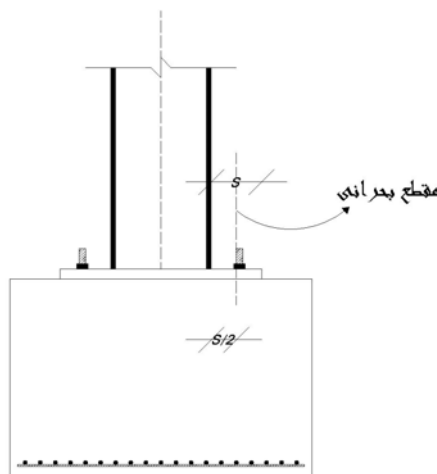
در برش دوطرفه ϕV_c مقدار حداقل از روابط بالاست. چون $\beta = 1.0$ بوده و مقدار α_{sd}/b_0 به ازای $d = 110 \text{ mm}$ که حداقل d ممکن است، بزرگتر از ۲ می باشد، رابطه اول در روابط بالا مقدار ϕV_c را مشخص می کند؛

$$\phi V_c = \frac{1}{3} \phi \sqrt{f'_c} b_0 d = \frac{1}{3} \times 0.75 \times \sqrt{25} \times [2 \times (450 + 450 + 2d)] \times d = 2.5d(900 + 2d)$$

$$V_u = \phi V_c \rightarrow 2047500 - 23400d = 51d^2 \rightarrow d = 75.2 \text{ mm}$$

بنابر این جهت کنترل هر دوی برش های یکطرفه و منگنه ای، حداقل عمق مؤثر پی باید برابر ۱۱۰ میلی متر انتخاب شود. در طرح این پی از $h = 600 \text{ mm}$ استفاده می شود که عمق مؤثر آن با رعایت ۷۵ میلی متر پوشش بتن، تقریباً $d = 525 \text{ mm}$ خواهد بود.

طرح میلگردهای خمشی:



مقطع بحرانی خمشی در پی واقع در زیر یک ستون فولادی، در وسط فاصله لبه صفحه کف ستون فولادی تا وجه ستون است. به طوریکه ستون برای پی مانند یک تکیه گاه گیردار عمل کرده و پی تحت تنشهای وارد از طرف خاک، عملکردی مشابه یک تیر کنسولی دارد که از زیر بارگذاری شده باشد.

طول آزاد پی که مانند طول تیر کنسولی برآورد می شود، برابر است با:

$$x = \frac{B}{2} - \frac{C}{2} + \frac{s}{2} = 565 \text{ mm}$$

$$M_u = (q_{ult} \times B) \frac{x^2}{2} = (0.1 \times 1500) \times \frac{565^2}{2} = 23941875 \text{ N} - \text{mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.82$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{23941875}{0.9(1500)(110)^2} = 1.47 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.47}{400}} \right] = 0.004$$

$$A_s = \rho b d = 0.004 \times 1500 \times 110 = 660 \text{ mm}^2$$

$$(A_s)_{Min} = 0.0018 b h = 0.0018 \times 1500 \times 600 = 1620 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow A_s = 1620 \text{ mm}^2$$

$$USE \ 15\phi 12 @ 120 \text{ mm}$$

$$\text{حداکثر فاصله میلگردهای افت و حرارت} = \text{Min}\{5h, 500 \text{ mm}\} = \{5 \times 600, 500 \text{ mm}\} = 500 \text{ mm}$$

چون پی مربعی است، میلگردهای خمشی هر دو جهت به طور مشابه قرار داده می شود. در ضمن با رعایت 75 mm پوشش بتن بر روی دو سر میلگرد، طول میلگردهای خمشی برابر با $1500 - 2(75) = 1350 \text{ mm}$ انتخاب می شود. بنابراین طول مستقیم میلگردهای خمشی از محل مقطع بحرانی خمشی برابر با $565 - 75 = 490 \text{ mm}$ است. طول مهاری میلگردهای $\phi 12$ با توجه به اینکه فاصله آزاد میلگردهای مهار شده در پی کمتر از $2d_b$ نبوده و پوشش خالص روی میلگردها نیز کمتر از d_b نمی باشد، با استفاده از روابط ساده شده آئین نامه برای میلگرد کوچکتر از $\phi 19$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$l_d = \left(\frac{12}{25} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \psi_t \psi_e \lambda \right) d_b = \left(\frac{12}{25} \times \frac{400}{\sqrt{25}} \times 1 \times 1 \times 1 \right) d_b = 38.4 d_b$$

$$l_d = 461 \text{ mm} \leq 565 \text{ mm}$$

از جداول مربوطه برآورد می شود که برای شرایط متناسب با این پی، $l_d = 38d_b$ استخراج می شود. در این پی چون تأمین طول مهاری میلگردهای کف از محل لنگر خمشی حداکثر به طور مستقیم امکان پذیر است، نیازی به قلاب کردن سر میلگردهای خمشی نمی باشد.

بررسی انتقال نیرو از پای ستون به پی:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 146.209 + 67.7 = 213.91 \text{ KN}$$

$$P_b = 0.85 f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \times 0.85 f'_c A_1$$

$$A_2 = [450 + 2(2 \times 450)]^2 = 5.1 \times 10^6 \text{ mm}^2 ; A_2/A_1 > 2$$

$$P_b = 2(0.85)(25)(450)^2 = 8.61 \times 10^6 \text{ N}$$

$$P_u = 213.91 \text{ KN} < \phi P_b = 0.65 \left(\frac{8.61 \times 10^6}{10^3} \right) = 5596.5 \rightarrow ok \checkmark$$

طراحی کلاف های میانی در پی:

کلاف های میانی به ازاء نیروی کششی معادل ۱۰٪ بزرگترین نیروی محوری با ضریب ستون طراحی می شوند.

$$P_{u,\max} = 213.91 \text{ KN} \rightarrow T = 0.1 \times P_u = 21.391 \text{ KN}$$

$$A_s = \frac{T}{\phi f_y} = \frac{21.391 \times 10^3}{0.9 \times 400} = 60 \text{ mm}^2$$

چون مقدار آرماتور مورد نیاز کم است، حداقل آرماتور مورد تعیین شده در مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان را قرار می دهیم و ابعاد کلاف ها را 30×30 سانتیمتر در نظر می گیریم.

حداقل آرماتور طولی ۴ عدد آرماتور نمره ۱۴ در چهار گوشه و حداقل آرماتور عرضی آرماتور نمره ۸ در فواصل ۲۵ سانتیمتر است.

