7civil.com

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

پروژه فولاد

طراحی یک سالن صنعتی- سوله

استاد محترم:

جناب آقای دکتر شوکتی

تنظیم کننده:

یاسین سبحانی

بهار ۸۷

7civil.com

فهرست مطالب

معرفی پروژه ۱

بارگذاری ۲

آنالیز کامپیوتری ۱۲

طراحی اعضای قاب ۱۶

شاهتیرهای جرثقیل 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

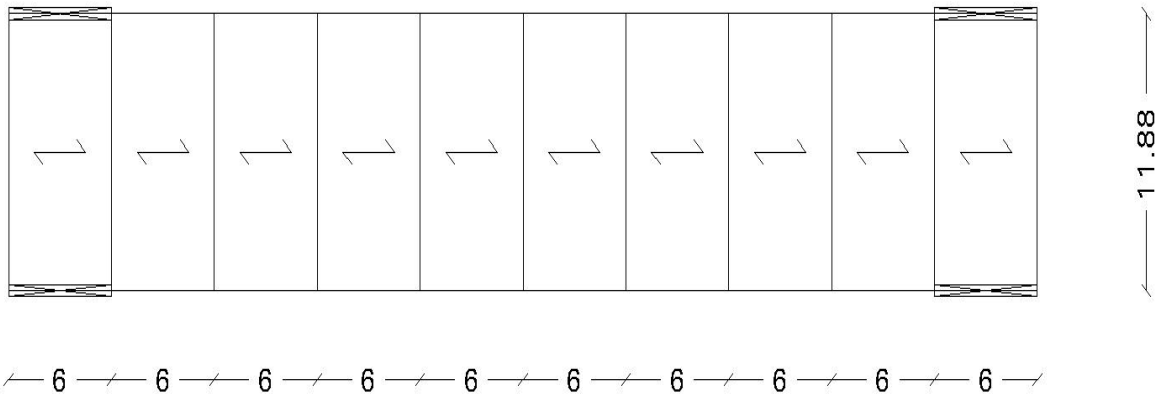
طراحی پی ۸۱

7civil.com

معرفی پروژه

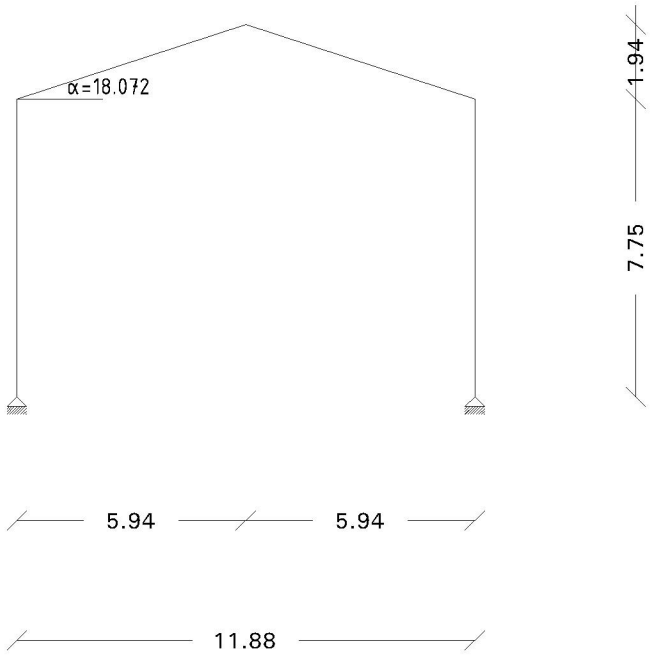
معرفی پروژه:

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



محل واقع شدن سوله شهر ارومیه می باشد. مقطع اعضای سوله از نوع مقاطع غیر منشوری می‌باشد. سقف پوشش دهنده سوله از نوع سقف سبک با پشم شیشه در نظر گرفته می شود. لاپه های سقف از نوع مقاطع **I** در نظر گرفته می شوند.

فاصله بین لاپه ها برابر ۱ متر است.



7civil.com

بارگذاری

بارگذاری ثقلی:

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

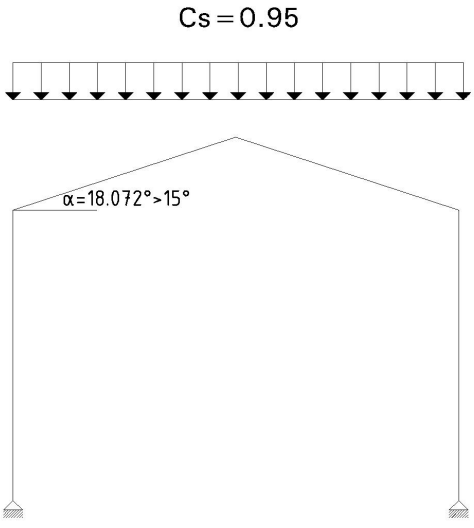
محاسبه بار مرده سقف:

نوع بار	مقدار بار
ورق موجدار	$9\ {kg}/{m^2}$
تور مرغی و پشم شیشه	$6\ {kg}/{m^2}$
وزن لاپه ها	$25\ {kg}/{m^2}$
جمع	$40\ {kg}/{m^2}$

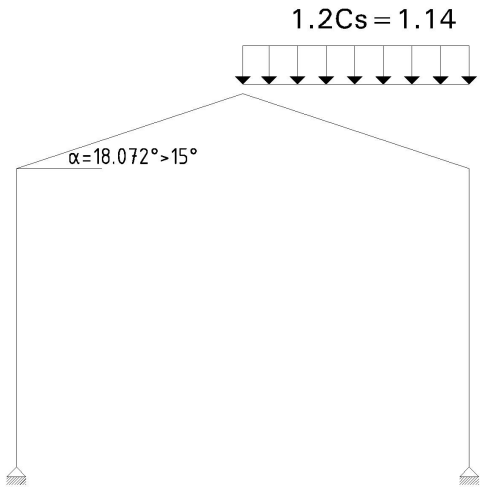
بار زنده برف بر اساس آیین نامه ۵۱۹ و همچنین مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان به صورت زیر به دست می آید:

$$P_r = C_s . P_s$$

شهر ارومیه؛منطقه با برف خیلی زیاد:



بارگذاری متقارن



بار گذاری نامتقارن

$$P_s = 200\,{kg}/{m^2}$$

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

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

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

سقف معادل EA = لاپه EA

$$2 \times 10^6 \times 20 = E \times 5 \times 100 \Rightarrow E \approx 8 \times 10^4\,{kg}/{cm^2}$$

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:

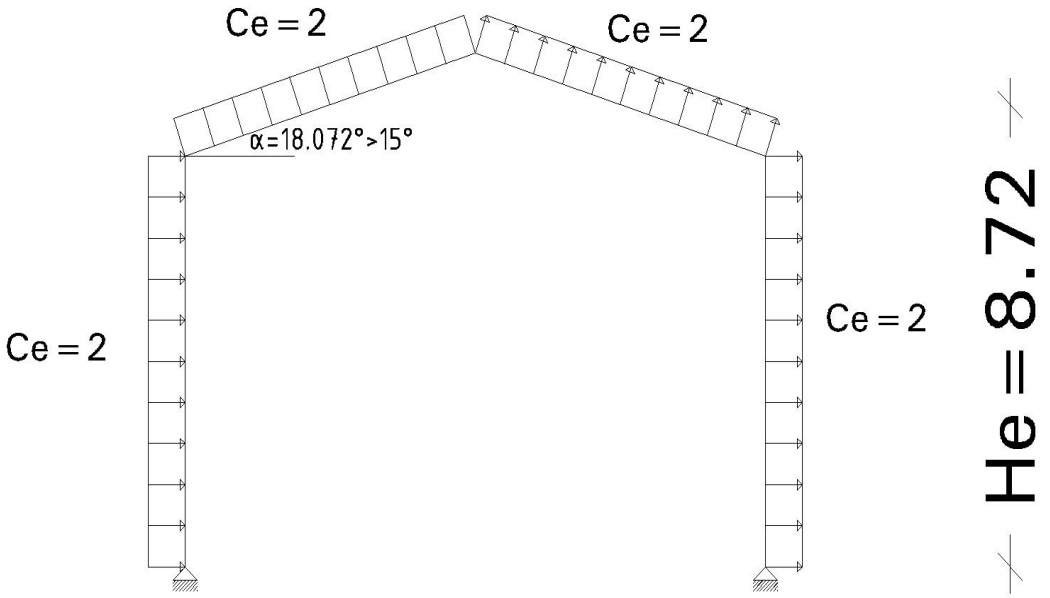
$$P = C_e . C_q . q$$

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

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

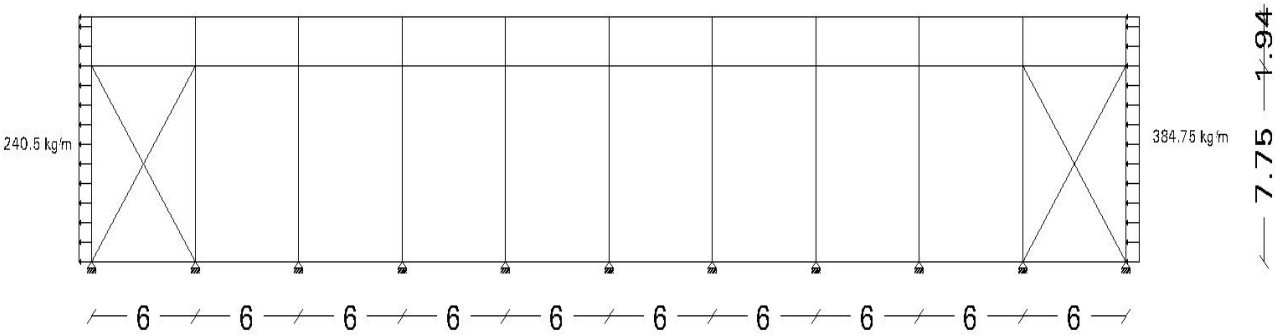
$$\alpha = 18.072^0 \rightarrow 15^0 < \alpha \le 30^0 \xrightarrow{-0.7 < C_q < +0.4} C_q = -0.475$$

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



نیروهای باد در واحد طول:

$$\omega_1 = 64.8 \times 6 = 388.8 \, {kg}/{m}$$
$$\omega_2 = 40.5 \times 6 = 243 \, {kg}/{m}$$
$$\omega_3 = 38.475 \times 6 = 230.85 \, {kg}/{m}$$
$$\omega_4 = 56.7 \times 6 = 340.2 \, {kg}/{m}$$



برش پایه باد:

$$\rightarrow V = 10 \times (388.8 \times 7.75 + 243 \times 7.75 - 230.85 \times 6.2456 \times Cos(71.928) + 340.2 \times 6.2456 \times Cos(71.928))$$
$$\Rightarrow V = 510848 kg$$

- 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:

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

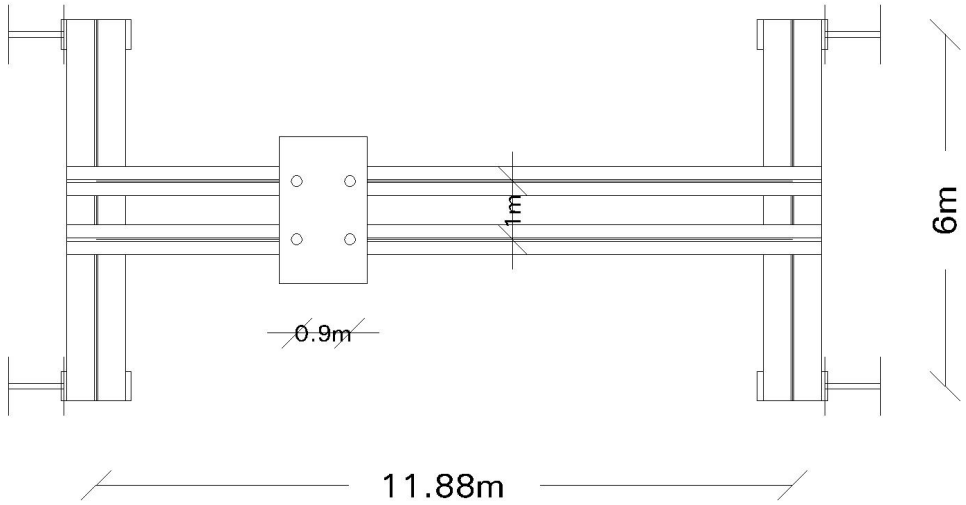
برش پایه زلزله

$$\rightarrow V = CW$$
$$V = 0.135 \times 112575 = 15197.6kg$$

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:



W=6000 kg: وزن بار

Wt=200 kg: وزن ارابه

=50 kg/m: وزن پل

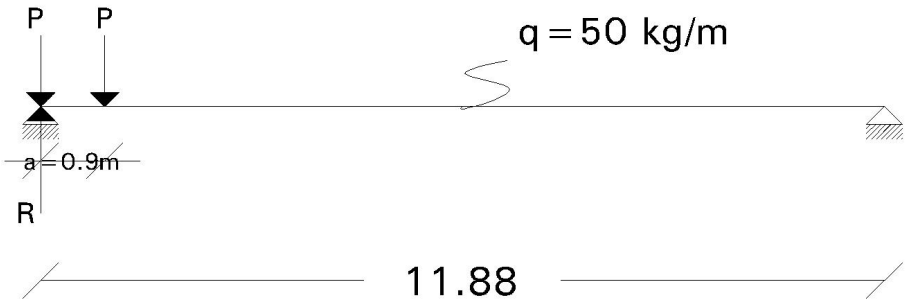
=100 kg/mوزن ریل طولی و تیر حمال

حداکثر بار چرخهای پل جرثقیل:

بار هر چرخ ارابه: $p = \frac{w + w_T}{4} = \frac{6000 + 200}{4} = 1550kg$

حداکثر بار چرخهای پل جرثقیل:

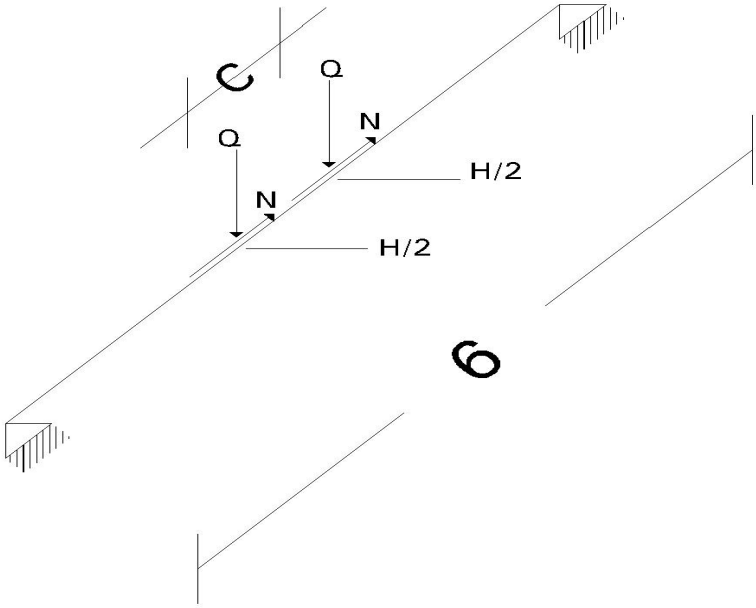
$$R=\frac{2p}{L}(l-\frac{a}{2})+\frac{ql}{2}=\frac{2(1550)}{11.875}(11.875-\frac{0.9}{2})+\frac{50\times11.875}{2}=3279.4kg$$



بارگذاری تیر زیرسری:

بار قائم(Q):

$$Q=1.25R=1.25\times3279.4=4099.25kg$$



بار افقی- جانبی(H):

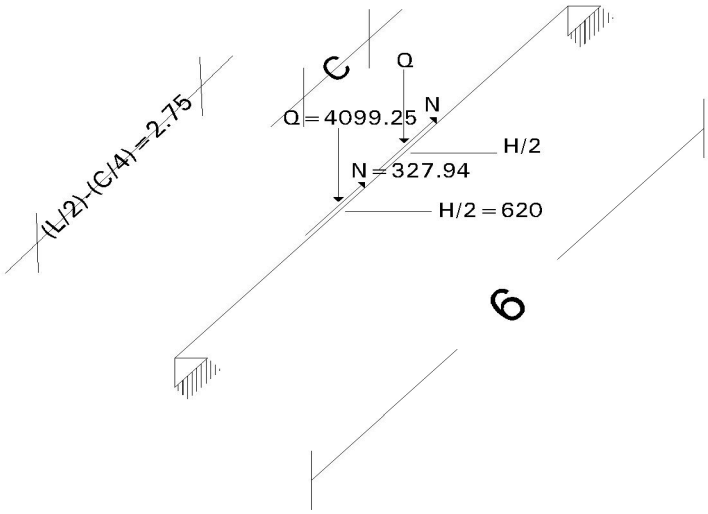
$$H=0.2(w+w_T)=0.2(6000+200)=1240kg$$

بار افقی – طولی(N):

$$N = 0.1R = 0.1 \times 3279.4 = 327.94kg$$

لنگر حداکثر در تیر زیرسری:

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

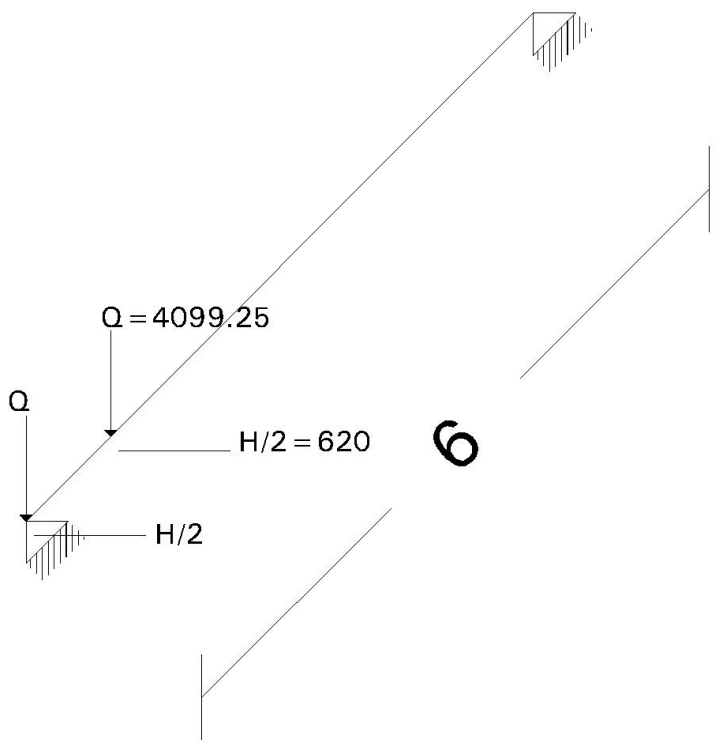


$$l/2 - c/4 = 2.75m$$

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

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

نیروی برشی حداکثر در تیر زیر سری:



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

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

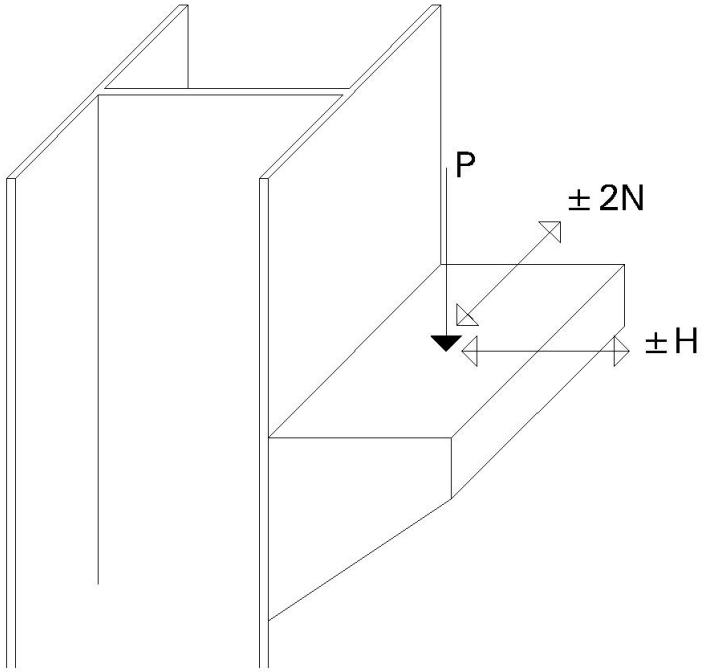
نمایش بارهای وارد بر ستون:

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:

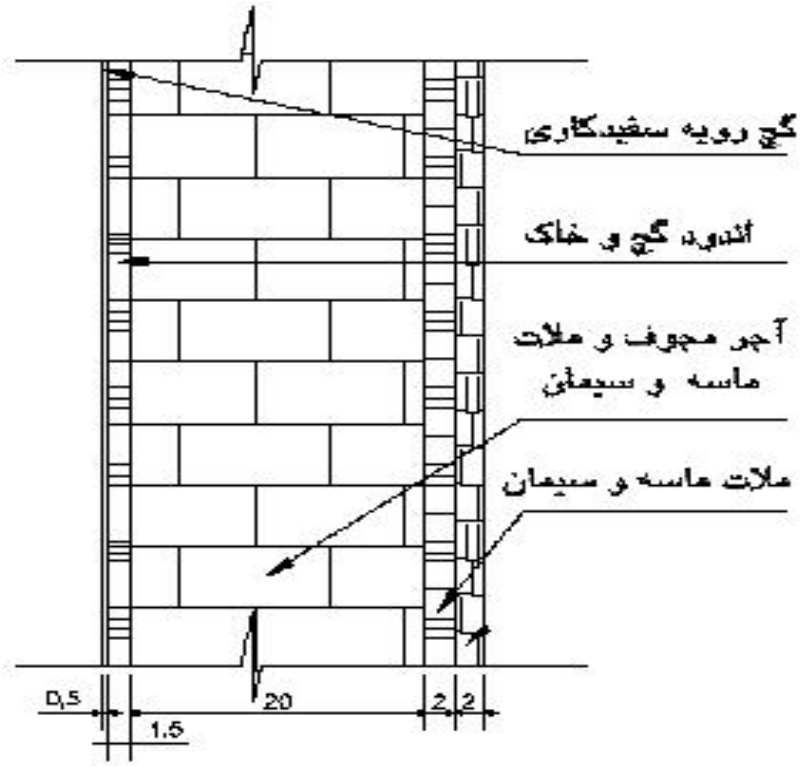
$$p = q'l + 2R = 3279.4\times 2 + 100\times 6 = 7158.8\ kg$$

$$\pm H = \pm 1240\ kg$$

$$\pm 2N = \pm 2\times 327.94 = \pm 655.88\ kg$$


P
± 2N
± H

جزئیات دیوار محیطی:



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

7civil.com

آنالیز کامپیوتری

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/m²***
بار زنده (بار برف)	***190 kgf/m²***

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 ثقلی 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***

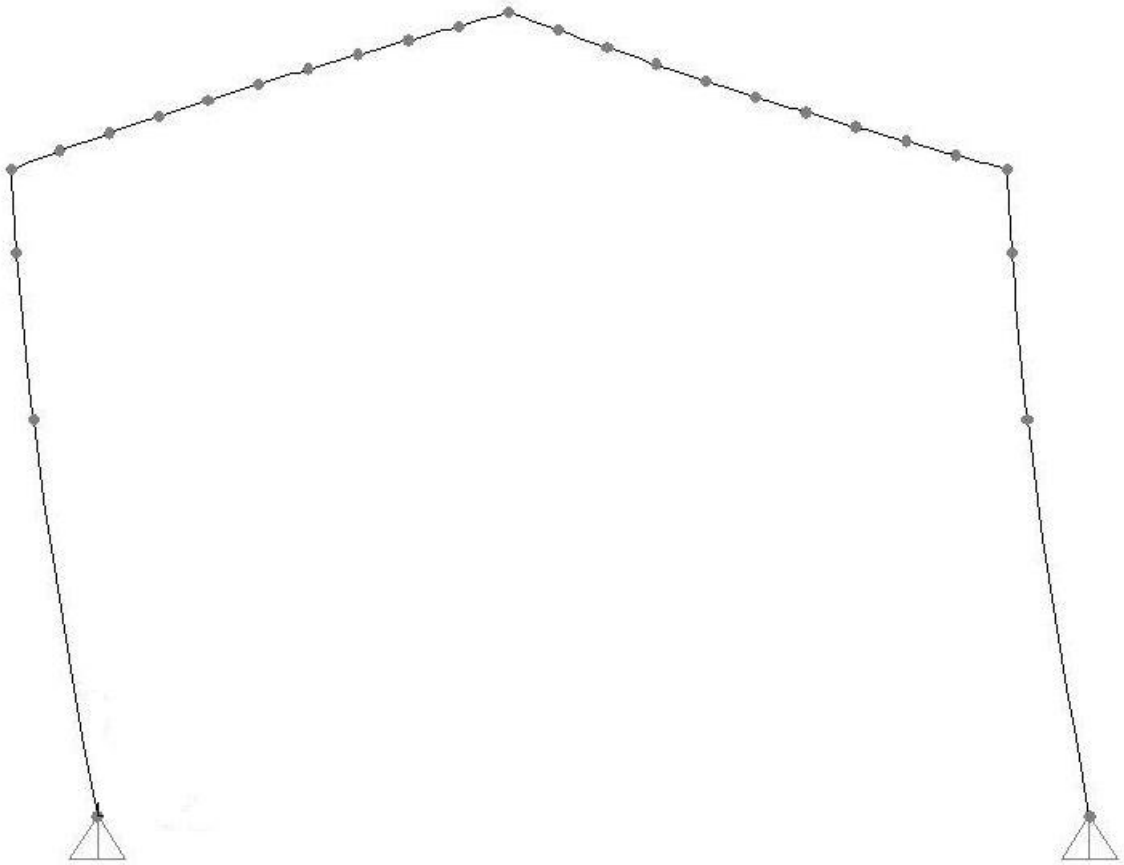
معرفی ترکیبات بار :

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

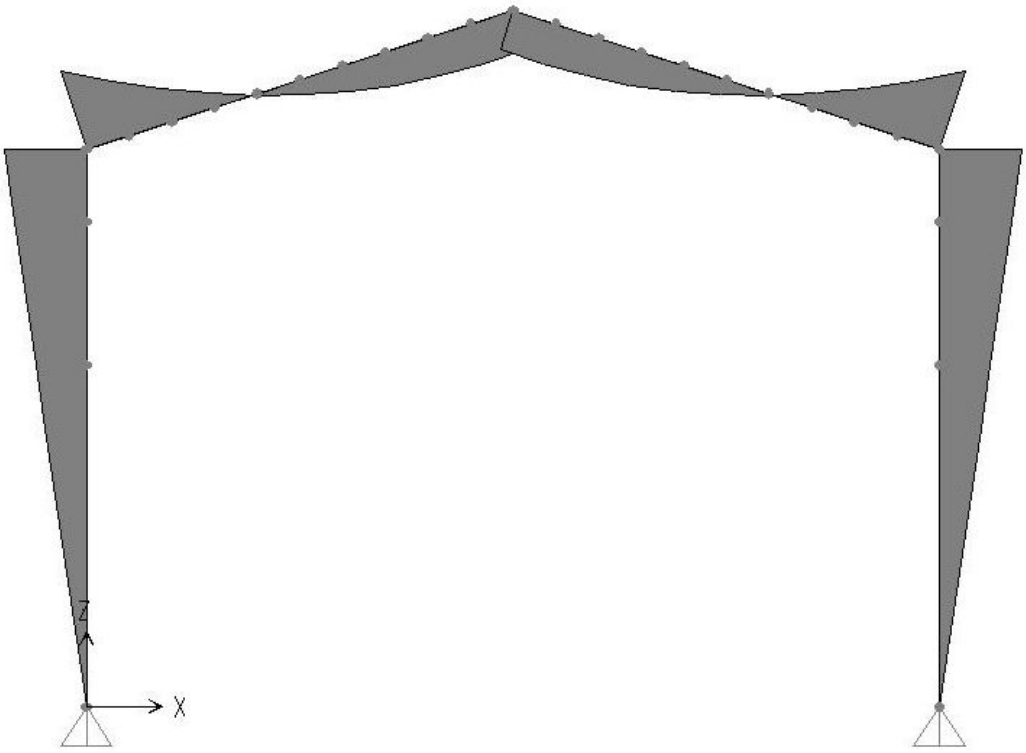
WY	WX	LIVE	DEAD	ترکیبات بار	
-	-	-	1.4	DSTL 1	1
-	-	1.6	1.2	DSTL 2	2
-	1.6	1	1.2	DSTL 3	3
-	-1.6	1	1.2	DSTL 4	4
1.6	-	1	1.2	DSTL 5	5
-1.6	-	1	1.2	DSTL 6	6
-	0.8	-	1.2	DSTL 7	7
-	-0.8	-	1.2	DSTL 8	8
0.8	-	-	1.2	DSTL 9	9
-0.8	-	-	1.2	DSTL 10	10
-	1.6	-	0.9	DSTL 11	11
-	-1.6	-	0.9	DSTL 12	12
1.6	-	-	0.9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

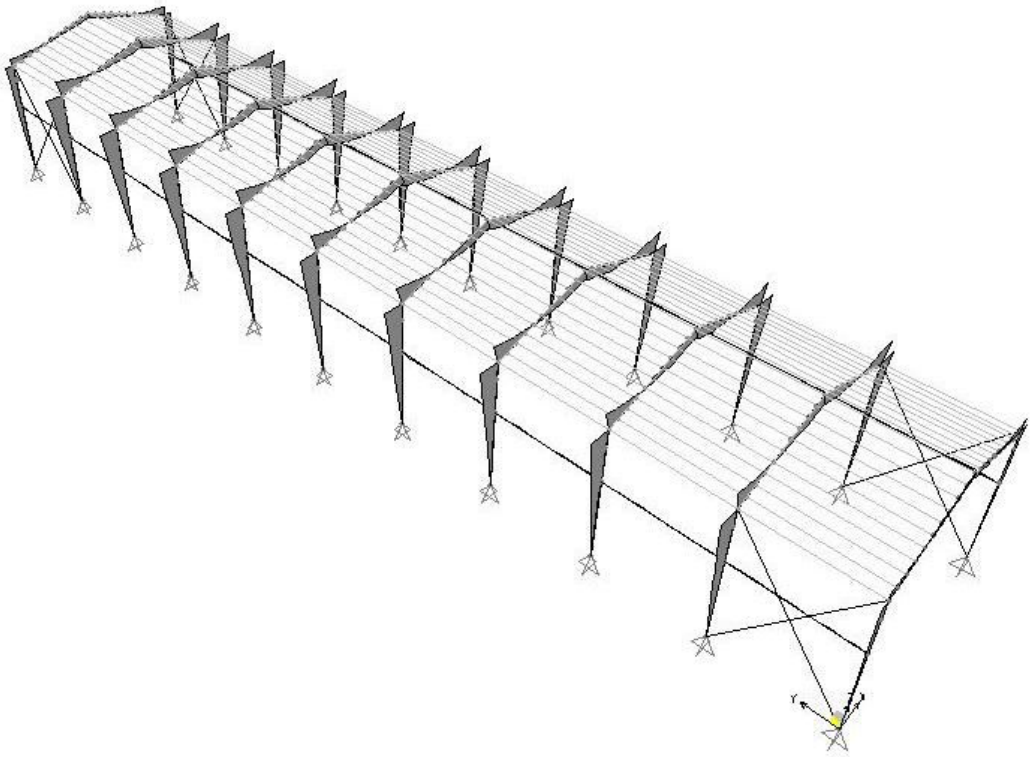
دیاگرام لنگر خمشی تیر عرضی سازه



تغییر شکل سازه بر اثر بارگذاری



دیاگرام لنگر خمشی سازه در بحرانی‌ترین حالت



دیاگرام لنگر خمشی سه بعدی سازه

7civil.com

طراحی اعضای قاب

طراحی مقاطع: (تیرها و ستونها)

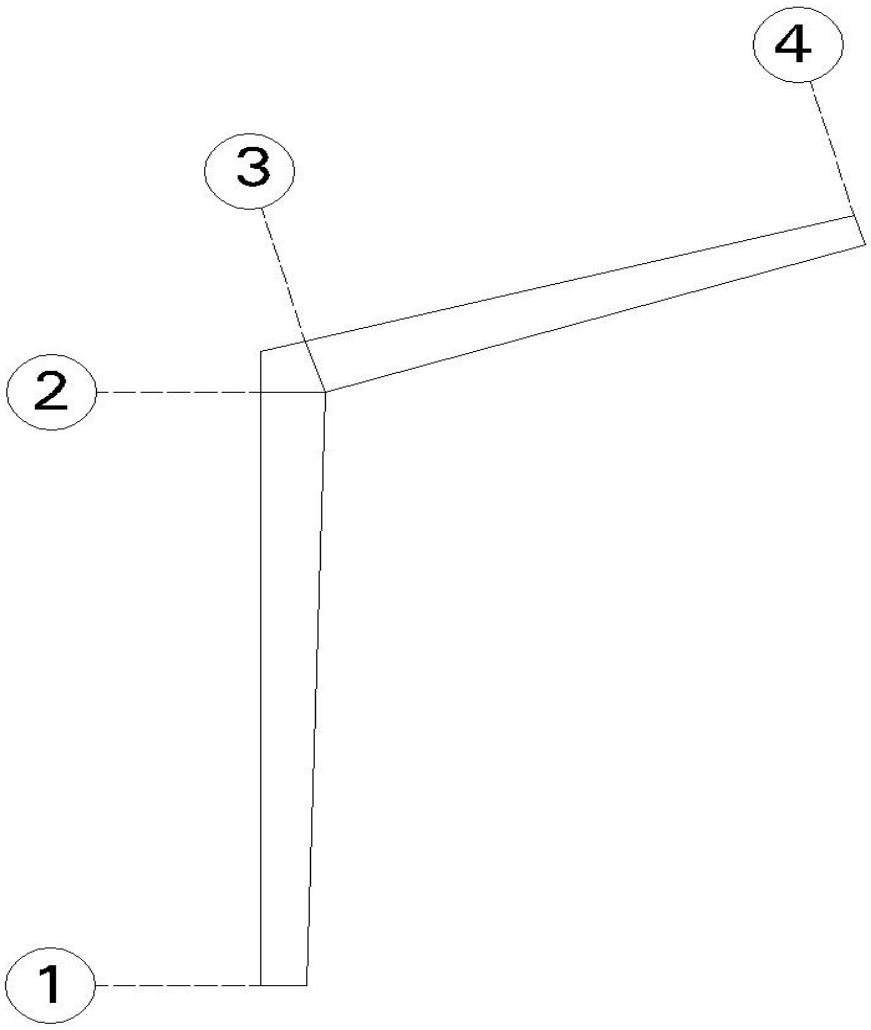
جدول تیرها :

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

جدول ستونها:

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

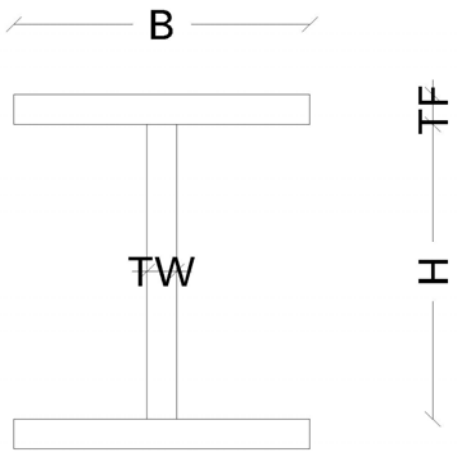
با رعایت ضوابط ***LRFD*** هر گاه از تیر ساخته شده به جای تیر ورق استفاده شود می توان به اقتصادی بودن مقطع اطمینان داشت. در تیر ساخته شده ضخامت جان به اندازه ای که تحت برش کمانش نکند بالا گرفته می شود گر چه با انتخاب تیر ساخته شده که فاقد تقویت جان هستند سنگینی نیمرخ بالاتر از تیر ورق با همان دهانه و 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:

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

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.



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

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

طراحی مقطع شماره ۳:

$$P_u = -13.59\ k$$
$$V_u = -30.83\ k$$
$$M_{ux} = -3840.39\ k-in$$
$$M_{ntx} = -262.104\ k-in$$
$$M_{ltx} = 3567.6\ k-in$$

طراحی برای بال و جان فشرده:

$$Z_{total} = \frac{M_u}{\varphi_b . F_y} = 118.53\ in$$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

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

فرض می شود:

H=17 in

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

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

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 $V_u \le \varphi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

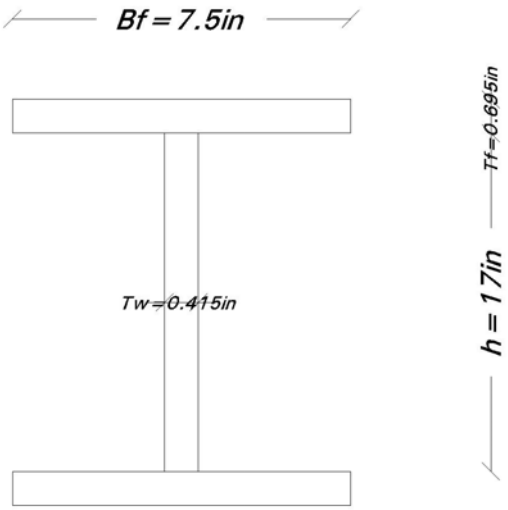
$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\varphi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)}$$

اگر فرض شود ضخامت بال ***0.695 in*** باشد:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\varphi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)} = \frac{3840.39}{0.9 \times 36 \times (17 + 0.695)} - \frac{0.415 \times 17^2}{4(17 + 0.695)} = 5.41\ in^2$$
$$\rightarrow b_f = 7.5\ in$$

کنترل فشردگی بال:

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



$Web: PL\ 17 \times 0.415$
$Flange: 2Pls\ 7.5 \times 0.695$

مشخصات مقطع:

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

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

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

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

$$Z = 2 \times \left(0.695 \times 7.5 \times 8.8475 + 8.5 \times 0.415 \times 4.25\right) = 122.9\ in^3 \ge 118\ in^3$$

تعیین زون:

$$L_b = 245.891\ in$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow L_r = 334.02\ in$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow zone\ 2$$

تعیین لنگرها:

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

$$M_p = Z.F_y = 36 \times 122.9 = 4424.4\ k - in \rightarrow \varphi_b M_p = 0.9 \times 4424.4 = 3982\ k - in$$

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

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

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

$$\varphi_b M_n = C_b\left[\varphi_b M_p - BF\left(L_b - L_p\right)\right] \le \varphi_b M_p$$

$$\varphi_b M_n = 2.45 \times \left(3982 - 8.4\left(245.891 - 85\right)\right) = 6457.92\ k - in > \varphi_b M_p = 3982\ k - in$$

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

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

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

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

$$\rightarrow \varphi_c.P_n = \varphi_c.F_{cr}.A_g = 10.206\times 17.57 = 179.32\ k$$

$$B_{1x} = \frac{C_{mx}}{1-\frac{P_u}{P_{e_{1x}}}} \geq 1 \rightarrow B_{1x} = 1 \quad \& \quad B_{2x} = \frac{1}{1-\frac{\sum P_u}{\sum P_{e_2}}}$$

$$P_{e_2} = \frac{\pi^2 EI_x}{[(kl)_x]^2} = \frac{\pi^2\times 29000\times 992.4}{(1\times 245.891)^2} = 4697.85\ k \quad \& \quad P_u = 13.59\ k$$

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

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

$$P_u \big/ \varphi_c.P_n = \frac{13.59}{179.32} = 0.076 < 0.2 \rightarrow$$

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

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

حال باید به بررسی برش بپردازیم:

۱. کنترل برش:

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

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

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:

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

۴. تسلیم موضعی جان:

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

۵. کمانش موضعی جان:

$$For\ {}^{N}\!/_{d} \leq 0.2$$

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

$$075 \times 0.4 \times 0.415^2 \times \left[1 + 3\left(\frac{3}{18.39}\right)\left(\frac{0.415}{0.695}\right)^{1.5}\right] \times \sqrt{\frac{29000 \times 36 \times 0.695}{0.415}} \rightarrow$$

$$\varphi.R_n = 73.46\ k \geq V_u = 30.83\ k \rightarrow ok$$

۶. کمانش فشاری جان:

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

طراحی مقطع شماره ۴:

$P_u = -5.61\,k$
$V_u = -2.2\,k$
$M_{ux} = 1030.56\,k-in$
$M_{ntx} = 24.063\,k-in$
$M_{ltx} = 1000.5\,k-in$

طراحی برای بال و جان فشرده:

$$Z_{total} = \frac{M_u}{\varphi_b . F_y} = 31.81\,in$$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

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

فرض می شود:

H=10 in

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

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

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 $V_u \le \varphi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

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

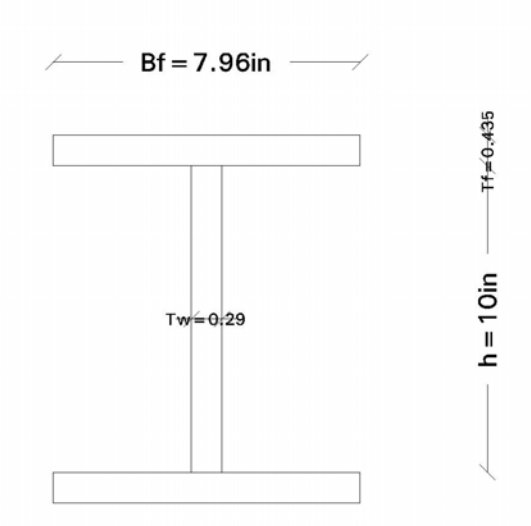
اگر فرض شود ضخامت بال ***0.435 in*** باشد:

$$(A_f)_{req} = \frac{M_u}{\varphi_b F_y (h + t_f)} - \frac{t_w h^2}{4(h + t_f)} = \frac{1030.56}{0.9 \times 36 \times (10 + 0.435)} - \frac{0.29 \times 10^2}{4(10 + 0.435)} = 2.4\,in^2$$

$$\rightarrow b_f = 7.96\,in$$

کنترل فشردگی بال:

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



$$\begin{array}{l} Web: PL\ 10\times 0.29 \\ Flange: 2Pls\ 7.96\times 0.435 \end{array}$$

مشخصات مقطع:

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

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

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

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

$$Z = 2\times\left(0.29\times 5\times 2.5 + 7.96\times 0.435\times 5.2175\right) = 43.4\ in^3 \ge 32\ in^3$$

تعیین زون:

$$L_b = 245.891\ in$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow L_r = 375.66\ in$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow zone\ 2$$

تعیین لنگرها:

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

$$M_p = Z.F_y = 36 \times 43.4 = 1562.4\ k - in \rightarrow \varphi_b M_p = 0.9 \times 1562.4 = 1406.2\ k - in$$

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

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

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

$$\varphi_b M_n = C_b\left[\varphi_b M_p - BF\left(L_b - L_p\right)\right] \le \varphi_b M_p$$

$$\varphi_b M_n = 2.45 \times (1406.2 - 2.58(245.891 - 96.5)) = 2505.9\ k - in > \varphi_b M_p = 1406.2\ k - in$$

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

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

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

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

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

$$B_{1x} = \frac{C_{mx}}{1-\frac{P_u}{P_{e_{1x}}}} \geq 1 \rightarrow B_{1x} = 1 \quad \& \quad B_{2x} = \frac{1}{1-\frac{\sum P_u}{\sum P_{e_2}}}$$

$$P_{e_2} = \frac{\pi^2 EI_x}{[(kl)_x]^2} = \frac{\pi^2\times 29000\times 212.8}{(1\times 245.891)^2} = 1007.4\ k \quad \& \quad P_u = 5.61\ k$$

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

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

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

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

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

حال باید به بررسی برش بپردازیم:

۱. کنترل برش:

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

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

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. خمش موضعی بال:

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

۴. تسلیم موضعی جان:

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

۵. کمانش موضعی جان:

$$For \ N/d \le 0.2$$

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

$$075 \times 0.4 \times 0.29^2 \times \left[1 + 3\left(\frac{2}{10.87}\right)\left(\frac{0.29}{0.435}\right)^{1.5}\right] \times \sqrt{\frac{29000 \times 36 \times 0.435}{0.29}} \rightarrow$$

$$\varphi.R_n = 40.85\ k \ge V_u = 2.2\ k \rightarrow ok$$

۶. کمانش فشاری جان:

$$\varphi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w{}^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} = \frac{0.9 \times 24 \times 0.29^3 \times \sqrt{29000 \times 36}}{10} = 53.83\ k \ge 2.2\ k \rightarrow ok$$

طراحی مقطع شماره ۲:

$P_u = -34.46\ k$

$V_u = -3.36\ k$

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

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

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

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

$G_b = 10$

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

$kl > 22 \rightarrow m = 1.3$

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

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

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

$$((Drift)_{\max})_x = \frac{2.98\times10^{-2}}{305.1181} = 9.77\times10^{-5}$$

$\sum H_x = 366.96\ k \quad \& \quad \sum P_u = 620.967\ k$

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

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

$$\left(\frac{kl}{r}\right) = 50 \rightarrow \varphi_c F_{cr} = 26.83(ksi) \rightarrow A_{req} = \frac{p_{Ueq}}{26.83}$$

$\varphi_c p_n = A\times\varphi_c F_{cr}$

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

IF:

$Zone1 \rightarrow \varphi_b M_{nx} = \varphi_b M_p \rightarrow \varphi_b M_{ny} = \varphi F_y Z_Y$

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

IF:

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

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

فرض می شود:

H=15 in

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

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

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 $V_u \leq \varphi V_n$ نیز کنترل شود.

سطح مقطع بال:

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

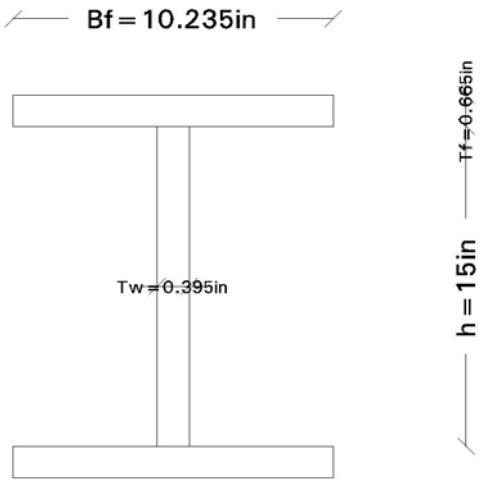
اگر فرض شود ضخامت بال ***0.665 in*** باشد:

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

$$\rightarrow b_f = 10.235\, in$$

کنترل فشردگی بال:

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



$Web: PL\ 15 \times 0.395$
$Flange: 2Pls\ 10.235 \times 0.665$

مشخصات مقطع:

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

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

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

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

کنترل **Z** مقطع:

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

تعیین زون:

$$L_b = 305.1181\ in$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow L_r = 840.5\ in$$

$$L_p < L_b < L_r \rightarrow zone\ 2$$

تعیین لنگرها:

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

$$M_p = Z.F_y = 36\times 128.84 = 4638.24\ k-in \rightarrow \varphi_b M_p = 0.9\times 4638.24 = 4174.42\ k-in$$

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

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

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

$$\varphi_b M_n = C_b\left[\varphi_b M_p - BF(L_b - L_p)\right] \le \varphi_b M_p$$

$$\varphi_b M_n = 1.57\times(4174.42 - 4.34(305.1181-123.5)) = 5316.33\ k-in > \varphi_b M_p = 4174.42\ k-in$$

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

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

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

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

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

$$\rightarrow \varphi_c.P_n = \varphi_c.F_{cr}.A_g = 13.71\times 19.54 = 267.9\ k$$

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

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

$$P_u \big/ \varphi_c.P_n = \frac{34.46}{267.9} = 0.129 < 0.2 \rightarrow$$

$$\frac{P_u}{\varphi_c.P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\varphi_b.M_{nx}}\right) \le 1 \Rightarrow \frac{34.46}{2\times 267.9} + \left(\frac{3840.39}{4174.42}\right) = 0.98 \le 1 \rightarrow ok$$

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

کنترل برش:

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

$$\varphi_V.V_n = \varphi_V \times 0.6 \times F_{yw}.A_w = 0.9 \times 0.6 \times 36 \times 15 \times 0.395 = 115.182\ k \ge 3.4\ k \rightarrow ok$$

طراحی مقطع شماره ۱:

$P_u = -67.93\ k$

$V_u = -16.99\ k$

ضخامت لازم جان:

برای اینکه جان فشرده باشد باید داشته باشیم:

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

فرض می شود:

H=6 in

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

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

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 $V_u \le \varphi V_n$ نیز کنترل شود.

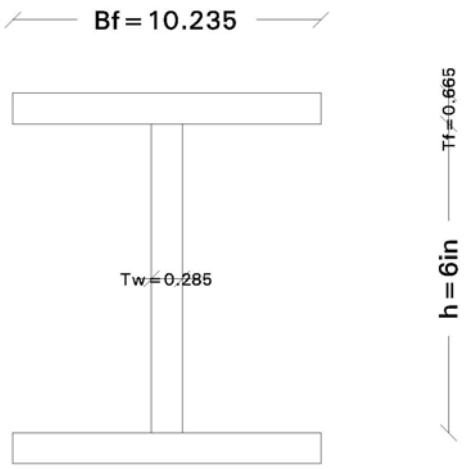
سطح مقطع بال:

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

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

کنترل فشردگی بال:

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



$Web: PL\ 6\times 0.285$
$Flange: 2Pls\ 10.235\times 0.665$

مشخصات مقطع:

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

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

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

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

$$Z = 2\times\left(0.285\times 1.5\times 3 + 10.235\times 0.665\times 3.3325\right) = 47.93\ in^3$$

$$\begin{cases} \left(\frac{kl}{r}\right)_x = 107.06 \\ \left(\frac{kl}{r}\right)_y = 123.3 \xrightarrow{Table} \varphi_c.F_{cr} = 13.75 \rightarrow \varphi_c.P_n = 265.3\ k \geq P_u = 67.93\ k \rightarrow ok \end{cases}$$

کنترل برش:

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

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

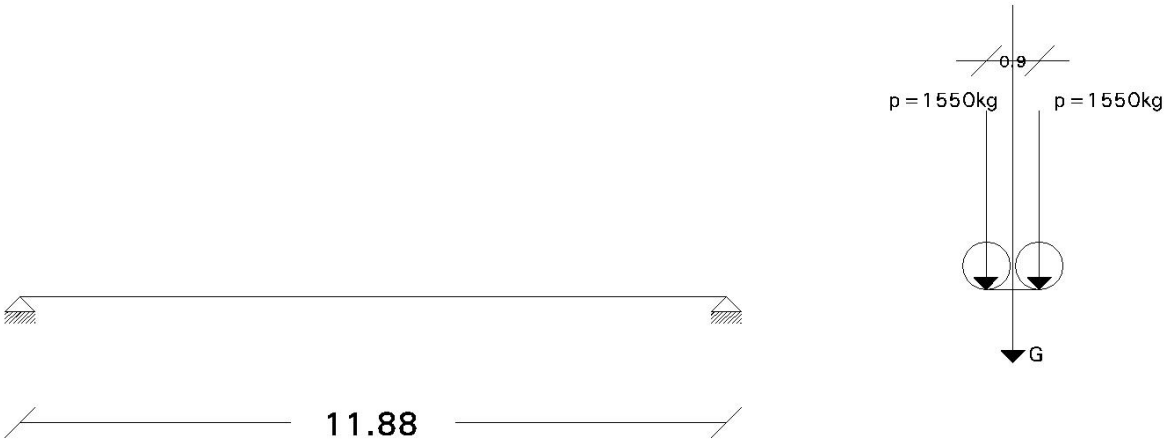
7civil.com

شاهتیرهای جرثقیل سقفی متحرک

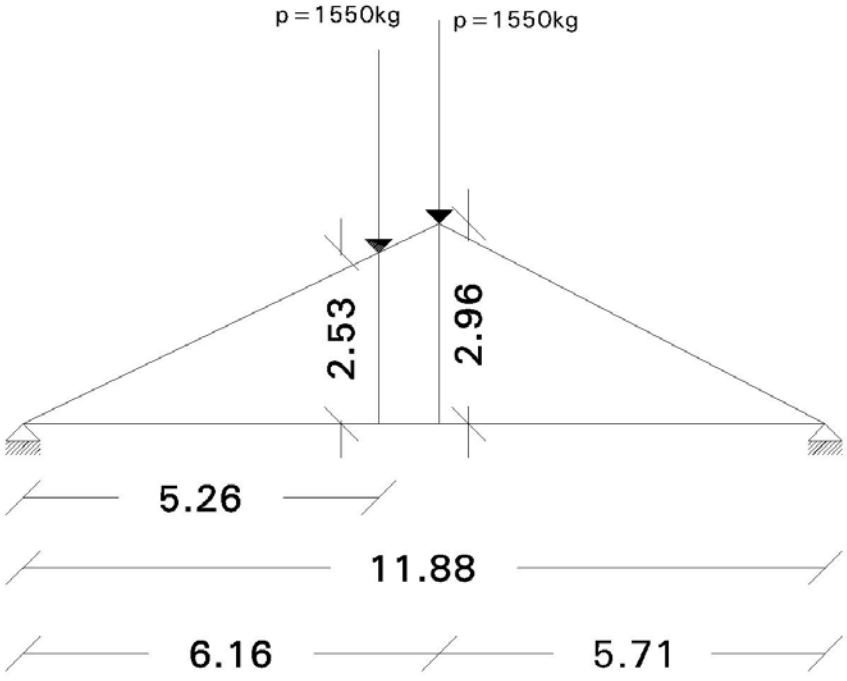
طراحی پل جرثقیل:

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.

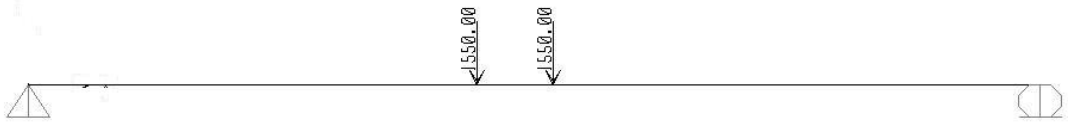
در شکل زیر شکل تیر و بارهای متحرک وارد بر آن مشاهده می شود:



نحوه قرار گیری بارها برای لنگر و نیروی برشی ماکزیمم:

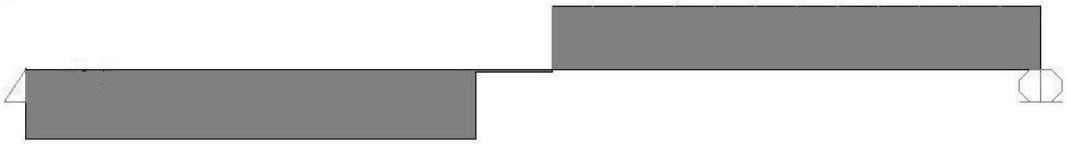


لنگر حداکثر با توجه به رسم خط تاثیر



دیاگرام لنگر خمشی ماکریمم:

دیاگرام نیروی برشی ماکریمم:



حال به محاسبات و طراحی تیر می پردازیم:

$$L = 467.52\ in$$
$$(M_u)_{Max} = 9398.92\ kg-m = 815.79\ k-in$$
$$(V_u)_{Max} = 42\ k$$

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

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

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

$$\frac{\varphi_b M_{nx}}{C_b}=\frac{M_u}{C_b}=53.5\,k-ft\rightarrow W8\times48\Rightarrow\begin{cases}\varphi_b M_p=132\,k-ft=1584\,k-in\\ L_p=8.7\ ft=104.4\,in\\ L_r=46.7\ ft=560.4\,in\\ BF=1.26\,k\\ Z=49\,in^3\end{cases}$$

$$\varphi_b M_n=C_b\left[\varphi_b M_p-BF\left(L_b-L_P\right)\right]\le\varphi_b M_P$$

$$=1.27\left[1584-1.26\left(467.52-104.4\right)\right]=1430.6\le1584\rightarrow\varphi_b M_{nx}=1430.6\,k-in$$

۱. کنترل خمش:

$$\varphi_b.M_p=1430.6\,k-in\ge815.79\,k-in\rightarrow ok\ \checkmark$$

۲. کنترل برش:

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

$$\varphi V_n=0.6\varphi F_{yw}A_w=(0.9)(0.6)(36)(6.32)(0.4)=49.14\,k>42\,k\rightarrow ok$$

۳. کنترل خیز:

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

۴. خمش موضعی بال:

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

۵. تسلیم موضعی جان:

$$\varphi R_n=(2.5k+N)\times F_{yw}\times t_w=\left[(2.5)\left(\frac{19}{16}\right)+2\right](36)(0.4)=71.55\,k\ge42\,k\rightarrow ok\ \checkmark$$

۶. کمانش موضعی جان:

$$For \ N/d > 0.2$$

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

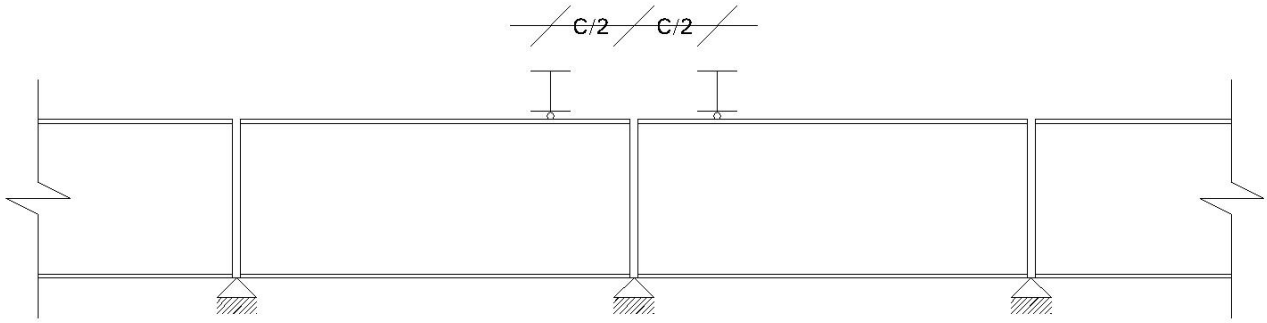
۷. کمانش فشاری جان:

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

طراحی تیر زیر سری جرثقیل:

برای طراحی مثل قبل باید لنگر خمشی و نیروی برشی ماکزیمم را در تیر زیرسری 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.



$$(M_u)_{Max} = 10783.53\ kg-m = 936\ k-in$$
$$(V_u)_{Max} = 7815.3\ kg = 16.57\ k$$
$$L = 236.22\ in = 19.7\ ft$$

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

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

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

$$\frac{\varphi_b M_{nx}}{C_b} = \frac{M_u}{C_b} = 65\ k-ft \rightarrow W12\times35 \Rightarrow \begin{cases} \varphi_b M_p = 138\ k-ft = 1656\ k-in \\ L_p = 6.4\ ft = 76.8\ in \\ L_r = 20.6\ ft = 247.2\ in \\ BF = 3.47\ k \\ Z = 51.2\ in^3 \end{cases}$$

$$\varphi_b M_n = C_b\left[\varphi_b M_p - BF(L_b - L_P)\right] \le \varphi_b M_P$$
$$= 1.2[1656 - 3.47(236.22 - 76.8)] = 1323.46 \le 1656 \rightarrow \varphi_b M_{nx} = 1323.46\ k-in$$

۱. کنترل خمش:

✓ $\varphi_b.M_p = 1323.46\ k-in \ge 936\ k-in \rightarrow ok$

۲. کنترل برش:

✔ $h/t_w = 36.2 < 418/\sqrt{F_y} = 69.7 \rightarrow$

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

۳. کنترل خیز:

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

۴. خمش موضعی بال:

$\varphi.R_n = \varphi.(6.25).F_{yf}.(t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.52)^2(36) = 54.8\ k > 16.57\ k \rightarrow ok$ ✔

۵. تسلیم موضعی جان:

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

۶. کمانش موضعی جان:

$For\ N/d < 0.2$

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

۷. کمانش فشاری جان:

$\varphi R_n = 0.9 \times \dfrac{24\,{t_w}^3\sqrt{EF_{yw}}}{h} = 54.87\ k \geq 42\ k \rightarrow ok$ ✔

7civil.com

لایه ها و مهارهای آنها

طراحی لاپه ها:

همان طور که می دانیم فواصل قابها ۶ متر است،فرض می شود که بعد از نصب پوشش بتوان بال فوقانی لاپـه را بـا مهـار ممتـد جـانبی گرفت و از امکان پیچش لاپه صرف نظر می شود؛

بارهای وارده بر لاپه به شرح زیر خواهد بود:

بار برف	**190 kg/m²**
وزن پوشش	**30 kg/m²**
وزن تقریبی لاپه ها	**25 kg/m²**
بار باد که عمود بر سقف خواهد بود	**56.7 kg/m²**

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

$$1) w_{ux} = 1.2D + 1.6S + 0.8W$$
$$= 1.2(15+25)\times 1\times \cos(18.07) + 1.6(190)(1)(\cos(18.07)) + 0.8(56.7)(1) = 380\ {kg}/{m}$$

$$2) w_{ux} = 1.2D + 0.5S + 1.3W$$
$$= 1.2(15+25)(1)(\cos(18.07)) + 1.3(56.7)(1) + 0.5(190)(1)(\cos(18.07) = 209.7\ {kg}/{m}$$

$$3) w_{uy} = (1.2D + 1.6S)(\sin(18.07))$$
$$= [1.2(15+25)(1) + 1.6(190)(1)](\sin(18.07)) = 109.2\ {kg}/{m}$$

$$M_{ux} = \frac{w_{ux} l^2}{8} = \frac{380\times 6^2}{8} = 1710\ kg-m$$
$$M_{uy} = \frac{w_{uy} l^2}{8} = \frac{109.2\times 6^2}{8} = 122.85\ kg-m$$

IPE 140 بررسی می شود:

$$\varphi_b . M_{nx} = \varphi_b . M_{px} = 0.9(2333)(88.4) = 1856\ kg-m \geq 1710\ kg-m$$
$$\varphi_b . M_{ny} = \varphi_b . M_{py} = 0.9(2333)\left(\frac{1.38(7.3)^2}{4}\right) = 386\ kg-m \geq 122.85\ kg-m$$

$$\frac{M_{ux}}{\varphi_b . M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varphi_b . M_{ny}} \leq 1$$
$$\frac{1710}{1856} + \frac{122.85}{386} = 1.24 > 1 \rightarrow N.G.$$

IPE 160 بررسی می شود:

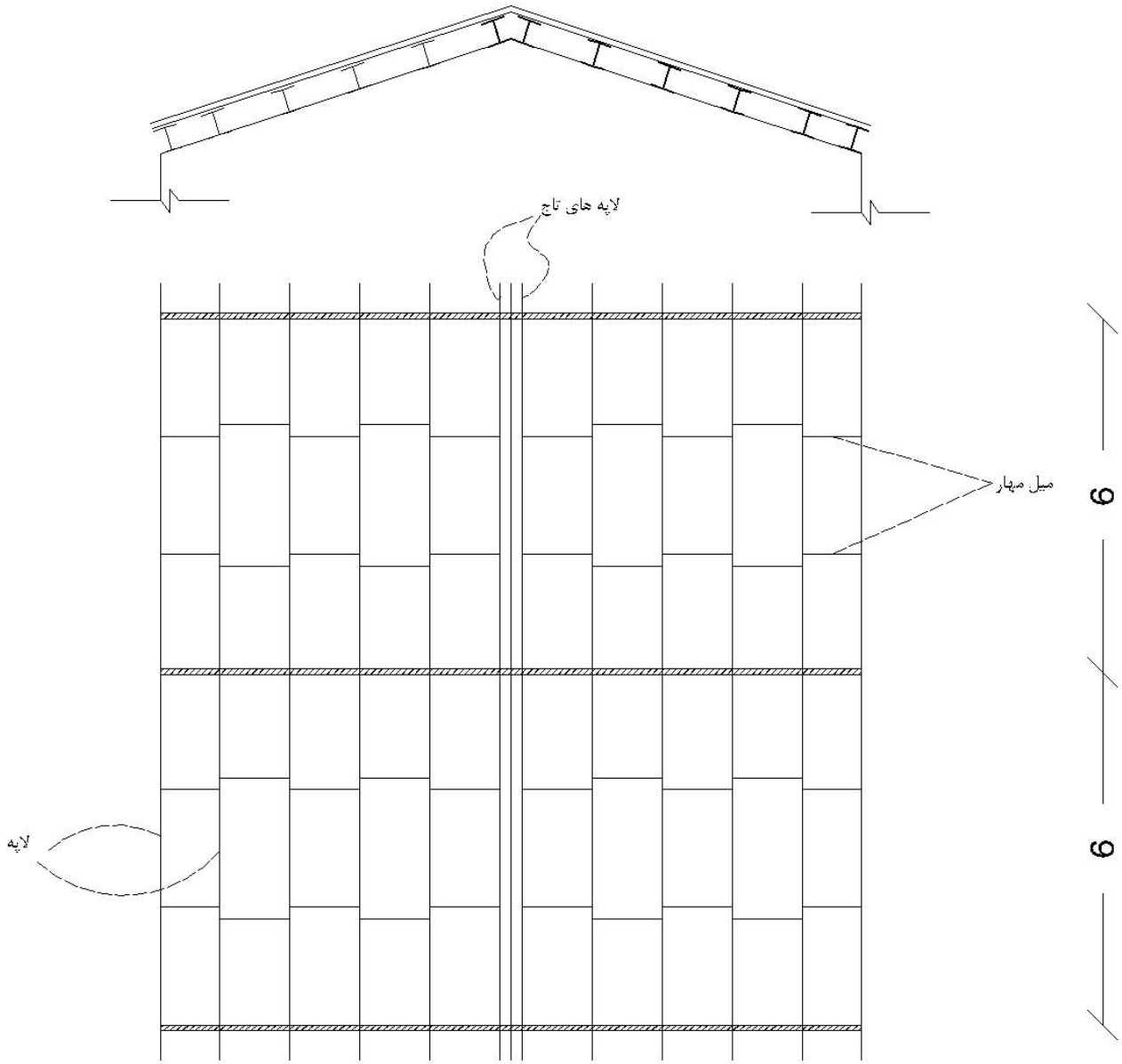
$$\varphi_b.M_{nx} = \varphi_b.M_{px} = 0.9(2333)(61.9\times 2) = 2599.4\ kg-m \geq 1710\ kg-m$$
$$\varphi_b.M_{ny} = \varphi_b.M_{py} = 0.9(2333)(25.88) = 543.4\ kg-m \geq 122.85\ kg-m$$

$$\frac{M_{ux}}{\varphi_b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varphi_b.M_{ny}} \leq 1$$
$$\frac{1710}{2599.4} + \frac{122.85}{543.4} = 0.90 \leq 1 \rightarrow ok$$

طراحی میل مهارها:

لاپه 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 m

وزن یک متر طول لاپه (۶ عدد لاپه)***=15.8 kg/m***

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

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

پوشش سقف $= 15 \ {kg}/{m^2}$

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

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

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

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

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

از میلگرد $\phi 12$ استفاده می کنیم:

$$A_D = 1.13 \ cm^2$$

مقدار نیرو در میل مهار واقع شده در رأس سوله:

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

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

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

7civil.com

سیستمهای مهاربندی

طراحی بادبند ها و اتصالات مربوط به آنها:

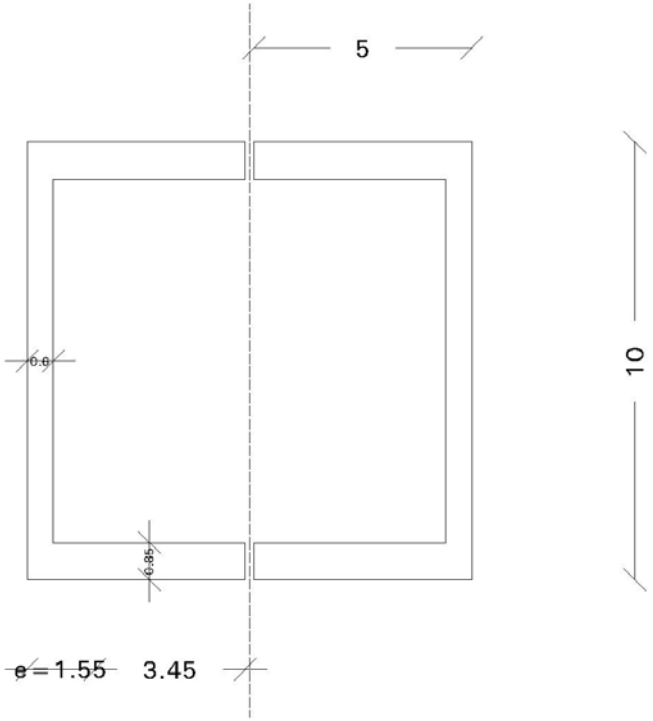
TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	M2	M3
Text	in	Text	Text	Kip	Kip	Kip-in	Kip-in
47	385.8719643	DSTL13	Combination	6.270016435	6.39E-02	0	7.87E-15
47	192.9359821	DSTL13	Combination	6.187449873	-1.85E-17	0	6.166475119
47	0	DSTL13	Combination	6.104883311	-6.39E-02	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 $= 8.83\, k = 4005.3\, kgf \quad \& \quad l = 9.8\, m$

از دو ناودانی برای بادبندها استفاده می کنیم.

2 U100 را امتحان می کنیم:



$$I_y = 29.3\,cm^4$$

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

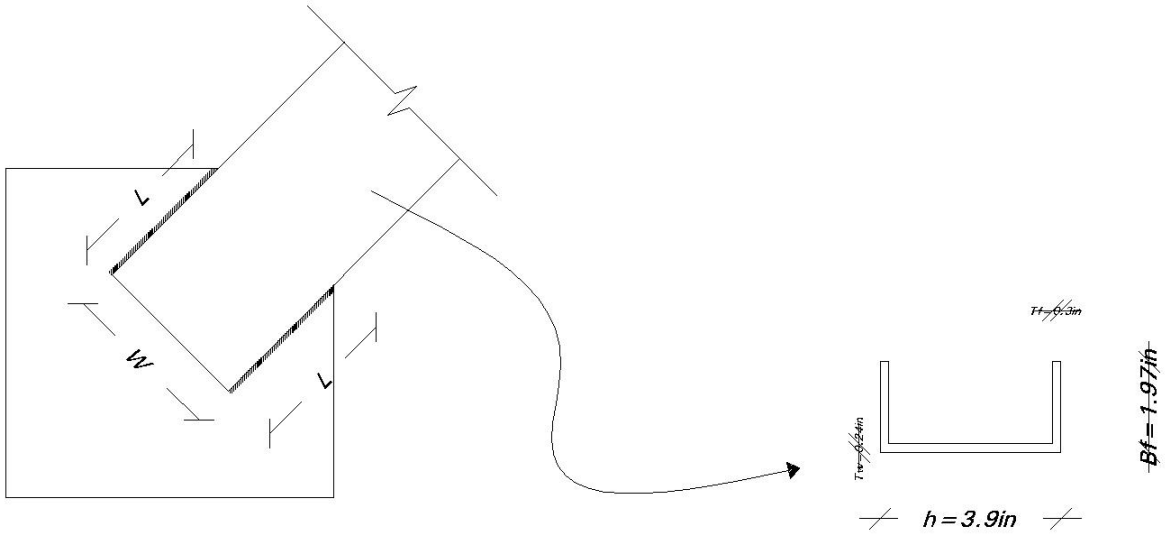
$$\left(I_y\right)_{Total} = 2\left(29.3 + 14.5\times 3.45^2\right) = 403.8\,cm^4$$

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

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

$$P_u = 1.6\left(4005.3\right) = 6408.5\,kg \rightarrow \varphi_c.P_n \geq P_u \rightarrow ok$$

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؛

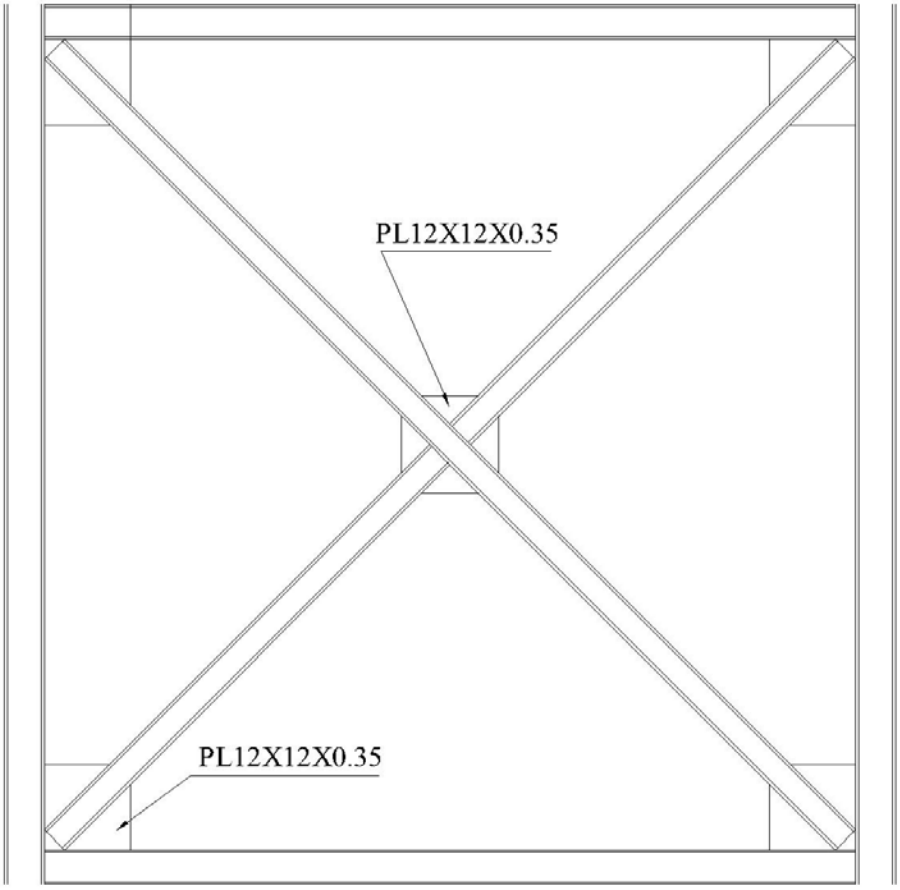
$$\begin{cases} a_{Min} = 3/16\,in \\ a_{Max} = 0.35 - 1/16 = 0.24\,in \end{cases} \rightarrow a = 0.2\,in$$

$$\rightarrow t_w = 0.707\left(0.2\right) = 0.14\,in$$

ظرفیت جوش: $\varphi.F_w = 0.75\left(1\times 0.14\right)\left(0.6\times 70\right) = 4.41\,k/in$

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

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


PL12X12X0.35
PL12X12X0.35

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.

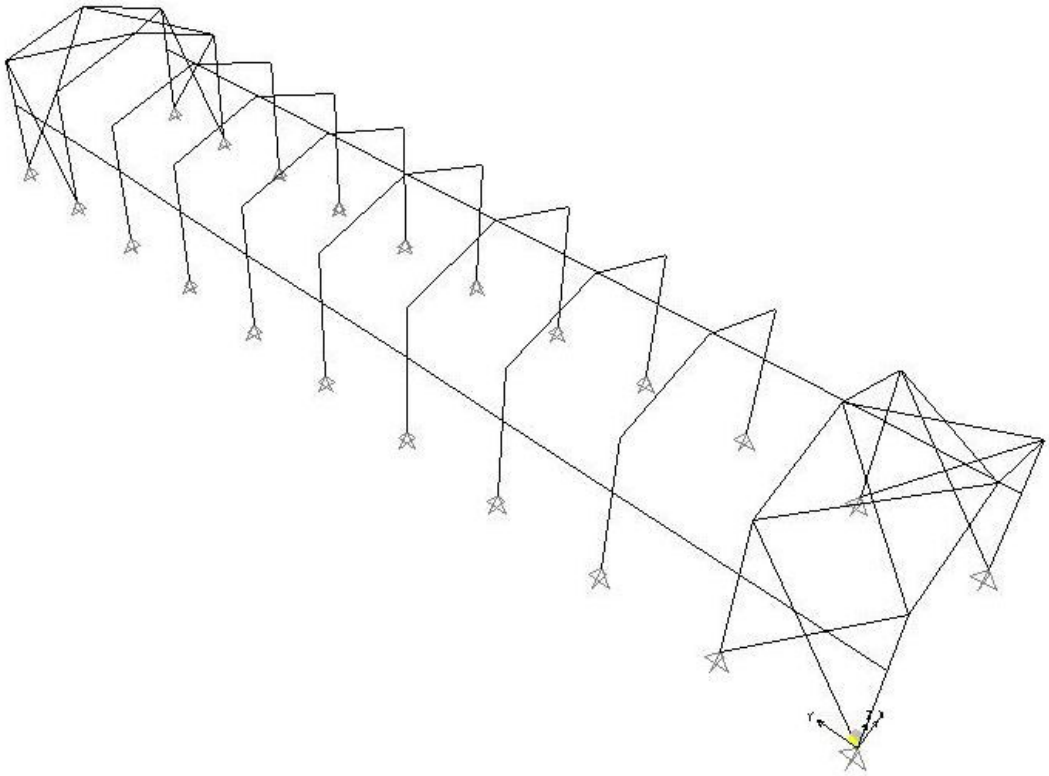
TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3
Text	m	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
77	8.660705081	DSTL14	Combination	397.955333	582.9033622	0
77	4.33035254	DSTL14	Combination	264.1621665	2.75E-14	0
77	0	DSTL14	Combination	130.3689999	-582.9033622	0
77	8.660705081	DSTL10	Combination	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.

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

$$\rightarrow \phi 20$$

از آرماتور نمره ۲۰ استفاده می‌کنیم.



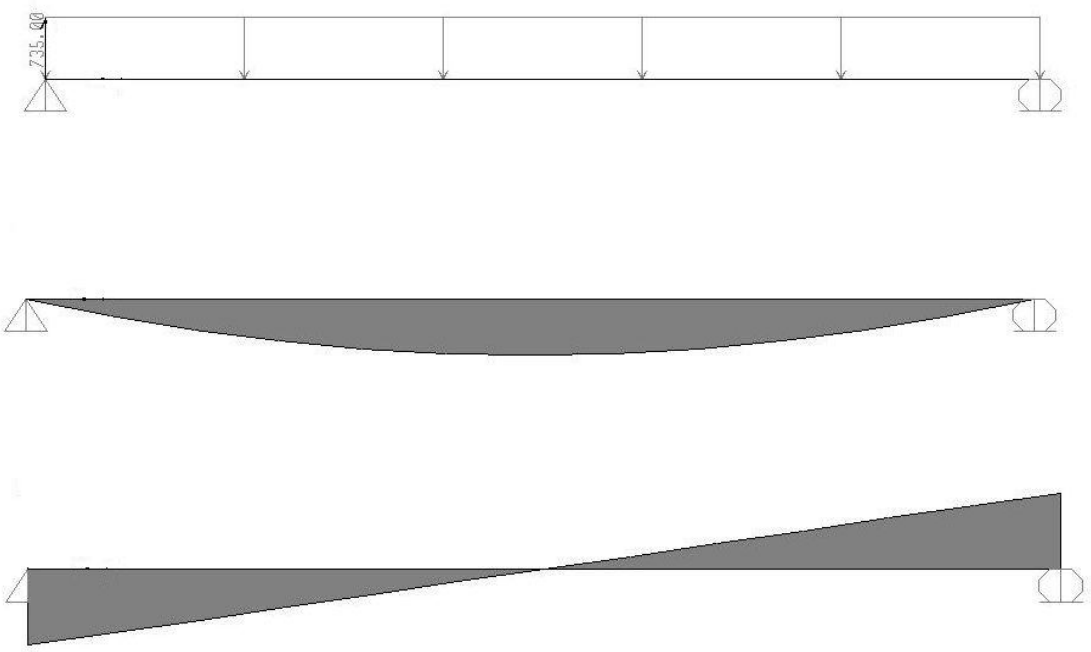
7civil.com

تیرهای عرضی دو انتها و بین قابی در طول

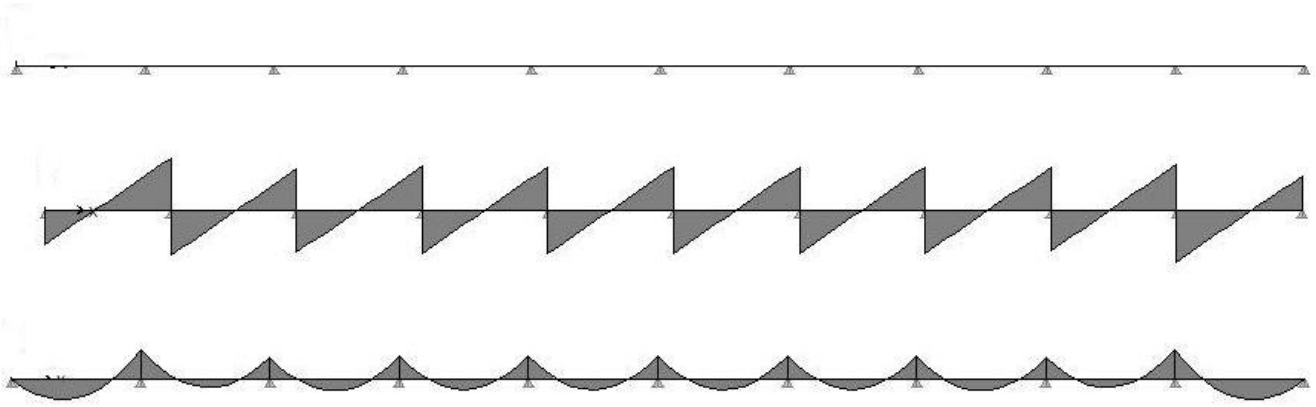
طراحی تیرهای عرضی بین قابی:

برای اینکه این تیرها را بتوان طراحی کرد آنها را در برنامه ***SAP*** مدل کرده و یا با روش دستی ***0.9*** تیر را تحلیـل می کنـیم و از نتـایج 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:



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

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

$L_b = 236.22\ in$

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

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

$$\frac{\varphi_b M_{nx}}{C_b} = \frac{M_u}{C_b} = 6\ k-\ ft \rightarrow W5\times16 \Rightarrow \begin{cases} \varphi_b M_p = 25.9\ k-\ ft = 310\ k-in \\ L_p = 5.3\ ft = 64\ in \\ L_r = 26.3\ ft = 315\ in \\ BF = 0.444\ k \\ Z = 9.59\ in^3 \end{cases}$$

$$\varphi_b M_n = C_b\left[\varphi_b M_p - BF(L_b - L_P)\right] \le \varphi_b M_P$$

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

۱. کنترل خمش:

$\varphi_b . M_p = 310\ k-in \ge 113.245\ k-in \rightarrow ok$ ✓

۲. کنترل برش:

$$h/t_w = 15.8 < 418/\sqrt{F_y} = 69.7 \rightarrow$$ ✓

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

۳. کنترل خیز:

$$\left.\begin{aligned} \delta &= \frac{Ml^2}{32EI} = \frac{113.245(236.22^2)}{32(29000)(21.3)} = 0.32 \\ \delta_{all} &= \frac{l}{360} = \frac{236.22}{360} = 0.66 \end{aligned}\right\} \rightarrow ok$$ ✓

۴. خمش موضعی بال:

$\varphi . R_n = \varphi.(6.25).F_{yf}.(t_f)^2 = (0.9)(6.25)(0.36)^2(36) = 26.2\ k > 15.78\ k \rightarrow ok$ ✓

۵. تسلیم موضعی جان:

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

۶. کمانش موضعی جان:

$$For\ {}^{N}\!/_{d} > 0.2$$

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

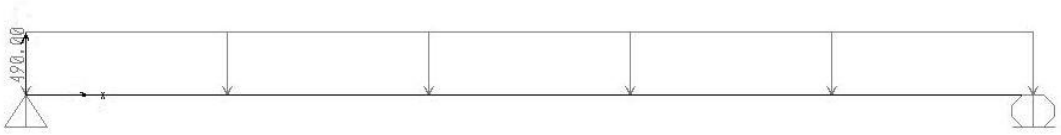
۷. کمانش فشاری جان:

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

7civil.com

تیرهای نعل درگاهی

طراحی نعل درگاهی پنجره ها:



L=177.165 in
1.4D=686 kg/m

$$(M_u)_{Max}=\frac{686(4.5)^2}{8}=1736.44\ kg-m\Rightarrow M_u=150.7\ k-in$$
$$(V_u)_{Max}=1543.5\ kg\Rightarrow V_u=3.4\ k$$
$$Z_{req}=\frac{M_u}{\varphi_b.F_y}=\frac{150.7}{(0.9)(36)}=4.65\ in^3$$
$$\rightarrow W8\times10$$

۱. کنترل خمش:

$$\varphi_b.M_p=23.9\ k-ft=286.8\ k-in\geq150.7\ k-in\rightarrow ok\ \checkmark$$

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:

$$\begin{cases}\delta=\dfrac{5ql^4}{384EI_x}=\dfrac{(5)(1.03)(177.165)^4}{384(29000)(30.8)}=0.4\\ \delta_{all}=\dfrac{l}{360}=\dfrac{177.165}{360}=0.5\end{cases}\rightarrow ok\ \checkmark$$

۳. کنترل برش:

$$h/t_w=40.5<418/\sqrt{F_y}=69.7\rightarrow$$
$$\varphi V_n=0.6\varphi F_{yw}A_w=(0.9)(0.6)(36)(6.885)(0.17)=22.75\ k>3.4\ k\rightarrow ok$$

۴. خمش موضعی بال:

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

۵. تسلیم موضعی جان:

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

۶. کمانش موضعی جان:

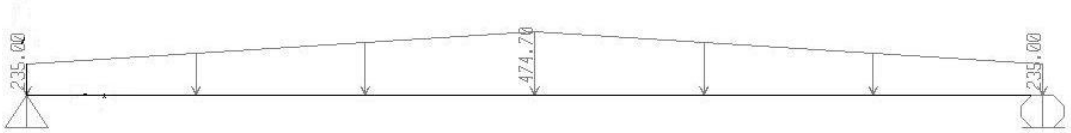
$$For\ N/d > 0.2$$

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

۷. کمانش فشاری جان:

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

طراحی نعل درگاهی درب ها:



$$l = 6\ m = 236.22\ in \quad \& \quad \begin{cases} 1.4D = \begin{vmatrix} 1)474.7\ {}^{kg}\!/_{m} = 0.03\ {}^{k}\!/_{in} \\ 2)235\ {}^{kg}\!/_{m} = 0.01\ {}^{k}\!/_{in} \end{vmatrix} \end{cases}$$

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

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

$$Z_{req} = \frac{M_u}{\varphi_b.F_y} = \frac{215.88}{(0.9)(36)} = 6.67\ in^3$$

$$\rightarrow W12\times19$$

۱. کنترل خمش:

$$\varphi_b.M_p = 66.7\ k-ft = 800.4\ k-in \geq 215.88\ k-in \rightarrow ok\ \checkmark$$

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:

$$\begin{cases} \delta = \dfrac{5q_1l^4}{384EI_x} + \dfrac{q_2l^4}{60EI_x} = \dfrac{(5)(0.014)(236.22)^4}{384(29000)(130)} + \dfrac{(0.028)(236.22)^4}{(60)(29000)(130)} = 0.53 \\ \delta_{all} = \dfrac{l}{360} = \dfrac{236.22}{360} = 0.67 \end{cases} \rightarrow ok\ \checkmark$$

۳. کنترل برش:

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

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

۴. خمش موضعی بال:

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

۵. تسلیم موضعی جان:

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

۶. کمانش موضعی جان:

$$For\ N/d < 0.2$$

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

۷. کمانش فشاری جان:

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

7civil.com

ورقهای زیرستونی

طراحی صفحات زیر ستونی:(Base Plate)

$P_u = 67.93\ k$

$A36 \quad \& \quad f_c' = 3\ ksi$

$d = 7.33\ in \quad , \quad b_f = 10.235\ in$

$$A_1 = A_2 \Rightarrow A_1 = \frac{P_u}{\varphi_c \times 0.85 f_c'} = 44.4\ in^2$$

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

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

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

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

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

محاسبه ضخامت:

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

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

$$\varphi_c P_p = 0.6 \times 0.85 f_c' \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 164.2k$$

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

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

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

$$PL\,12\times 10$$
$$Concrete\,16\times 14$$
$$t = 1/2\ in$$

7civil.com

اتصالات

طراحی اتصالات بال به جان تیر:

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

$$\frac{V.Q}{I}\times e \le \varphi.F_w$$

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

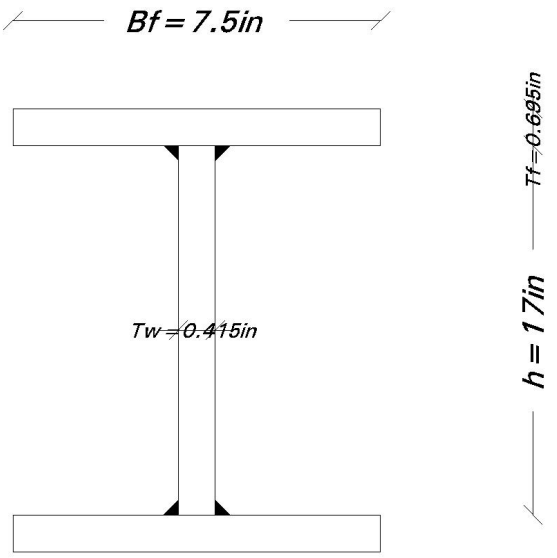
$$\varphi.F_w = 0.75(0.6F_E)(A_W)$$
$$A_W = l_w.t_w \quad \& \quad t_w = 0.707(a)$$

a =ساق یا بعد جوش

نوع جوش را هم ***SMAW*** در نظر می گیریم.نوع الکترد را هم ***E70*** در نظر خواهیم گرفت.

مقطع شماره ۳:

$V_u = 31\,k$



$$Q = 0.695(7.5)(8.8475) = 46.12\ in^3$$
$$I = 992.4\ in^4$$
$$\frac{31(46.12)}{992.4} \le 0.75(0.6)(70)(t_w)(2) \rightarrow Min.\,t_w = 0.023\ in$$

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 ($\frac{1}{16}$ –ضخامت)خواهد بود.

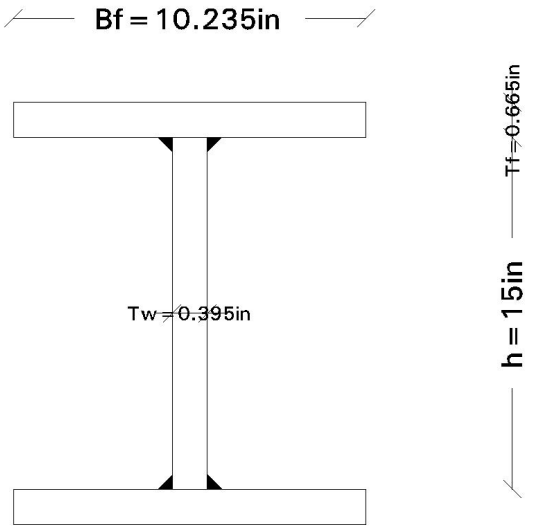
۲.حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

ضخامت $\le 1/4$	حداقل ساق $= 1/8$
ضخامت $1/4\ to\ 1/2$	$3/16\ in$
ضخامت $1/2\ to\ 3/4$	$1/4\ in$
ضخامت بالای $3/4$	$5/16\ in$

$$LRFD\begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16}\ in \\ a_{Max} = 0.415 - \frac{1}{16} = 0.35\ in \end{cases} \Rightarrow a = 0.35\ in$$
$$\rightarrow t_w = 0.35(0.707) = 0.25\ in \ge 0.023\ in \rightarrow ok$$
$$\rightarrow t_w = 0.25\ in$$

مقطع شماره ۲:

$V_u = 3.4\ k$



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

$$I = 946.7\ in^4$$

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

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 ($\frac{1}{16}$ –ضخامت)خواهد بود.

۲.حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

ضخامت	حداقل ساق =
$\le 1/4$	$1/8$
ضخامت $1/4\ to\ 1/2$	$3/16\ in$
ضخامت $1/2\ to\ 3/4$	$1/4\ in$
ضخامت بالای $3/4$	$5/16\ in$

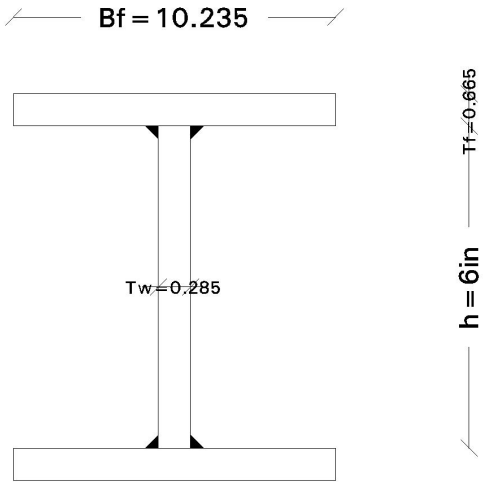
$$LRFD\begin{cases} a_{Min} = 3/16\ in \\ a_{Max} = 0.385 - \frac{1}{16} = 0.32\ in \end{cases} \Rightarrow a = 0.32\ in$$

$$\rightarrow t_w = 0.32(0.707) = 0.23\ in \ge 0.003\ in \rightarrow ok$$

$$\rightarrow t_w = 0.23\ in$$

مقطع شماره ۱:

$V_u = 17\ k$



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

$$I = 156.81\ in^4$$

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

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 ($\frac{1}{16}$ –ضخامت)خواهد بود.

۲.حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

ضخامت	حداقل ساق =
$\le 1/4$	$1/8$
ضخامت $1/4\ to\ 1/2$	$3/16\ in$
ضخامت $1/2\ to\ 3/4$	$1/4\ in$
ضخامت بالای $3/4$	$5/16\ in$

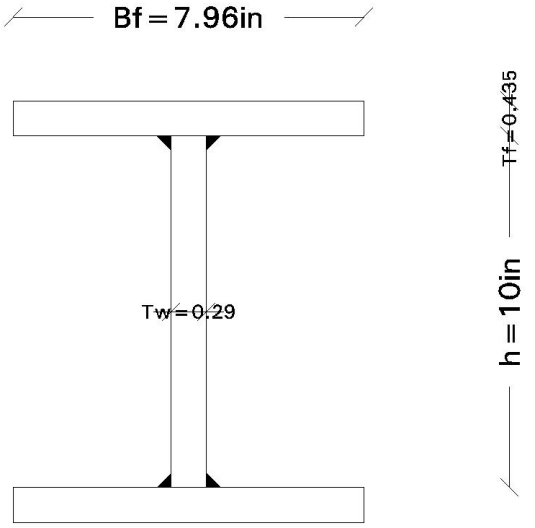
$$LRFD\begin{cases} a_{Min} = \frac{3}{16}\ in \\ a_{Max} = 0.285 - \frac{1}{16} = 0.22\ in \end{cases} \Rightarrow a = 0.22\ in$$

$$\rightarrow t_w = 0.22(0.707) = 0.2\ in \ge 0.04\ in \rightarrow ok$$

$$\rightarrow t_w = 0.2\ in$$

مقطع شماره ۴:

$V_u = 2.2\ k$



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

$$I = 212.8\ in^4$$

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

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 ($\frac{1}{16}$ –ضخامت)خواهد بود.

۲.حداقل ساق جوش گوشه از جدول زیر:

ضخامت	حداقل ساق =
$\le 1/4$	$1/8$
$1/4\ to\ 1/2$ ضخامت	$3/16\ in$
$1/2\ to\ 3/4$ ضخامت	$1/4\ in$
$3/4$ ضخامت بالای	$5/16\ in$

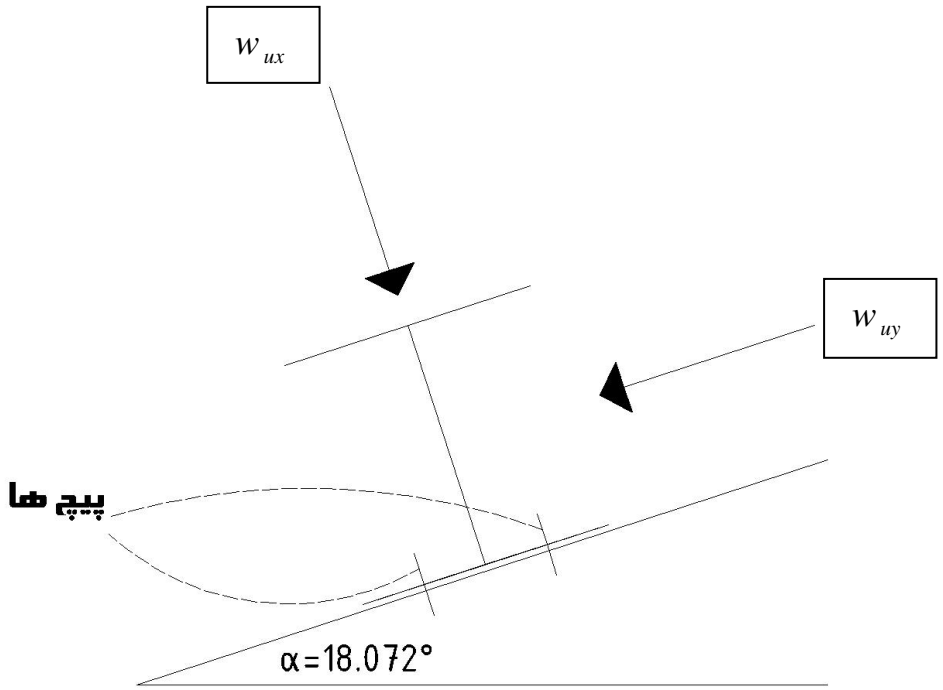
$$LRFD\begin{cases} a_{Min} = 3/16\ in \\ a_{Max} = 0.29 - \frac{1}{16} = 0.23\ in \end{cases} \Rightarrow a = 0.23\ in$$

$$\rightarrow t_w = 0.23(0.707) = 0.2\ in \ge 0.003\ in \rightarrow ok$$

$$\rightarrow t_w = 0.2\ in$$

طراحی اتصال لاپه ها به قابها:

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



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

از پیچ با قطر ${}^{3}\!/_{16}\ in$ و ***A325X*** استفاده 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)

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

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

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

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

کنترل به برش:

$$\varphi.A_P.(60) = 60\left(\frac{\pi\times(3/16)^2}{4}\right)\times 0.75 = 1.24\ k \geq 0.25\ k \rightarrow ok\ \checkmark$$

تنش برشی:

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

تنش کششی:

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

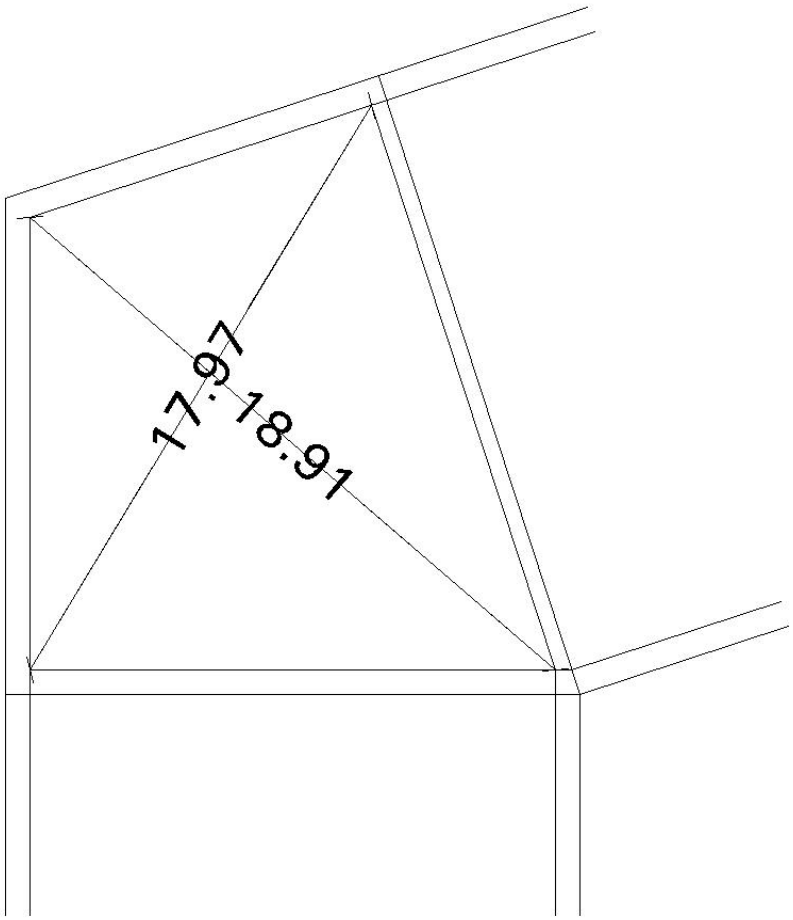
$$A325X \rightarrow F_t = (117 - 1.5 f_v) \leq 90 \Rightarrow F_t = 103.425 > 90 \rightarrow \varphi F_t = 0.9(90) = 67.5\ ksi \geq 31.51 \rightarrow ok$$

کنترل لهیدگی:

مقاومت لهیدگی $= 0.75(R_n) = 0.75(2.4\times dt\times F_u) = 0.75(2.4)(3/16)(t)(58) = 0.87 \rightarrow t = 0.04\ in$

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*

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

در نتیجه به سخت کننده احتیاجی نیست.

طراحی اتصالات پیچی قابها:

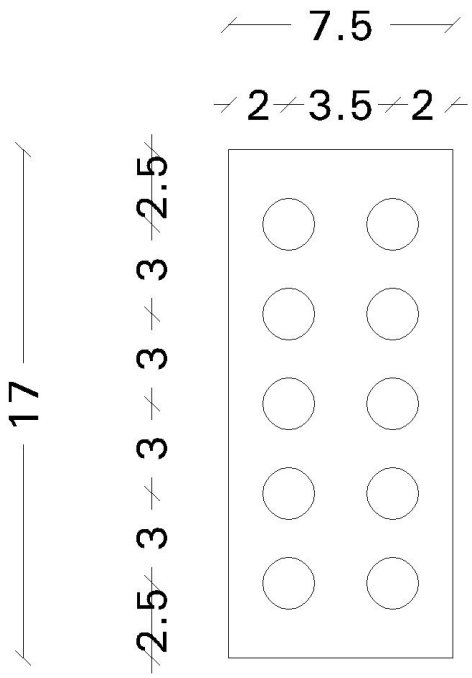
در محل اتصال تیر به ستون:

$M_u = 3840.4\ k-in$

$V_u = 31\ k$

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

پیچهای $\frac{7}{8}\ in$ 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)

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

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

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

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

تنش برشی:

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

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

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

$$2\times\left[\frac{\pi\left(\frac{7}{8}\right)^4}{64} + \frac{\pi}{4}\left(\frac{7}{8}\right)^2(8.86)^2\right] = 594.2\ in^4$$

تنش کششی:

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

$$F_t = 117 - 1.5 f_v \le 90 \rightarrow$$
$$117 - 1.5(5.2) = 109.2 > 90 \rightarrow F_t = 90\ ksi$$
$$\varphi.F_t = 67.5\ ksi \ge f_t = 57.26\ ksi \rightarrow ok$$

کنترل ورق اتصال:

$$A = 0.415\times 7.5 = 3.11\ in^2$$

کنترل تسلیم: $p_u = \varphi_t.A_g.F_y = 0.9\times 36\times 3.11 = 100.76\ k \ge 31\ k \rightarrow ok$

کنترل گسیختگی: $p_u = \varphi_t.A_n.F_y = 0.75\times 36\times 2.28 = 99.18\ k \ge 31\ k \rightarrow ok$

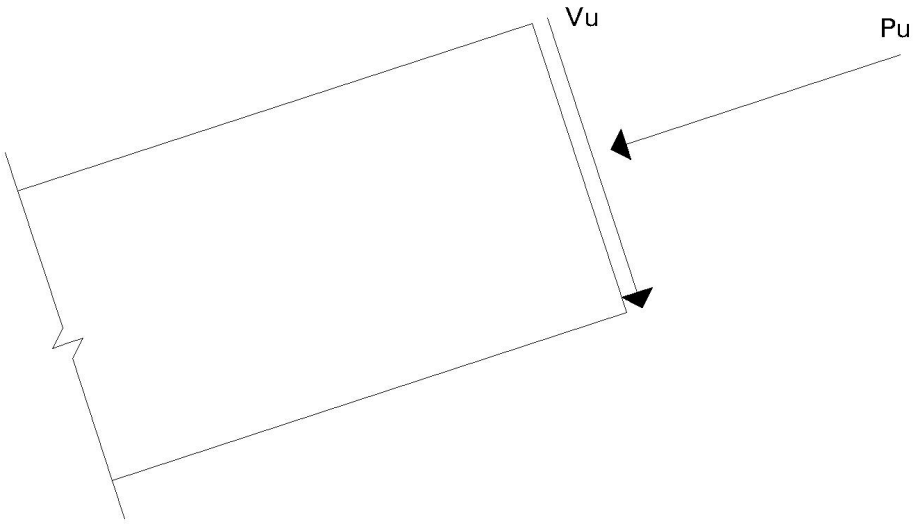
$$A_n = 3.11 - 2\left(\frac{7}{8}+\frac{1}{8}\right)(0.415) = 2.28\ in^2$$

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

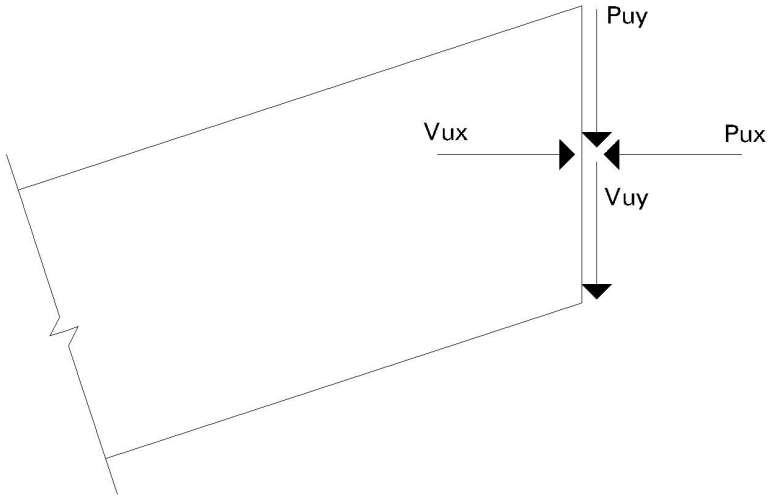
اتصال تیر به تیر در رأس قابها:

$$M_u = 1030.6\ k-in$$
$$V_u = 2.2\ k$$
$$P_u = 5.6\ k$$
$$Assume = \begin{cases} h = 10\ in \\ b = 7.96\ in \end{cases}$$

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



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



نوع سوراخ: استاندارد ***STD***

ضوابط ***LRFD*** :

۱.حداقل فاصله ها:

دو پیچ از هم =۳ برابر قطر

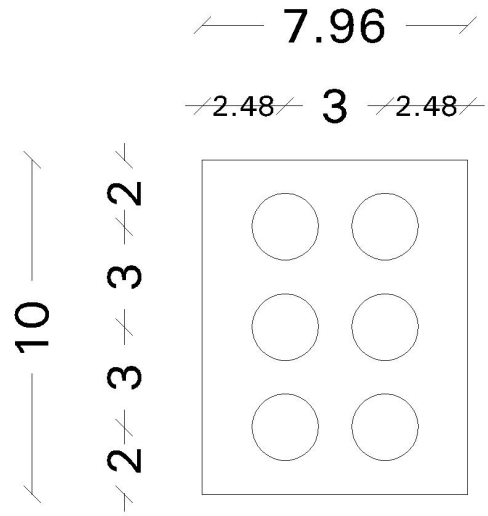
از لبه ورق = ***1.5*** برابر قطر

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:



حداقل فاصله پیچها $= 3\times1 = 3\ in$

حداقل فاصله از لبه $= 1.5\times1 = 1.5\ in$

حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها $= Min.\begin{cases}24\times0.35 = 8.96\ in\\ 12\ in\end{cases} \rightarrow 8.96\ in$

حداکثر فاصله از لبه $= Min.\begin{cases}12\times0.35 = 4.2\ in\\ 6\ in\end{cases} \rightarrow 4.2\ in$

تنش برشی:

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

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

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

$$I = 110.94\ in^4$$

تنش کششی:

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

$$F_t = 117 - 1.5 f_v \le 90 \rightarrow$$
$$117 - 1.5(0.81) = 115.8 > 90 \rightarrow F_t = 90\ ksi$$
$$\varphi.F_t = 67.5\ ksi \ge f_t = 47.75\ ksi \rightarrow ok$$

کنترل ورق اتصال:

$$A = 0.35\times7.96 = 2.8\ in^2$$

کنترل تسلیم: $p_u = \varphi_t.A_g.F_y = 0.9\times36\times2.8 = 90.72\ k \ge 2.2\ k \rightarrow ok$

کنترل گسیختگی: $p_u = \varphi_t.A_n.F_y = 0.75\times36\times2.01 = 54.27\ k \ge 2.2\ k \rightarrow ok$

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

کنترل لهیدگی قطعه: $p_u = 0.75(2.4\times1\times0.35\times58) = 36.54\ k \ge 2.2\ k \rightarrow ok$

- لازم به توضیح است که وقتی $\begin{cases}L_e \ge 1.5d\\ S \ge 3d\end{cases}$ 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:

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

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

✓

در مورد دوم:

$$L_e = 2\,in \quad \& \quad 1.5d = 1.5\times 1 = 1.5\,in \Rightarrow L_e \geq 1.5d$$

$$S = 3\,in \quad \& \quad 3d = 3\times 1 = 3\,in \Rightarrow S \geq 3d$$

✓

طراحی بولتهای زیر پی:

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

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

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

اگر از دو میلگرد استفاده کنیم:

$$\frac{A_g}{2} = \frac{0.302}{2} = 0.151\ in^2 \Rightarrow 2\#4\ (in) \approx 2\phi 16\ (mm)$$

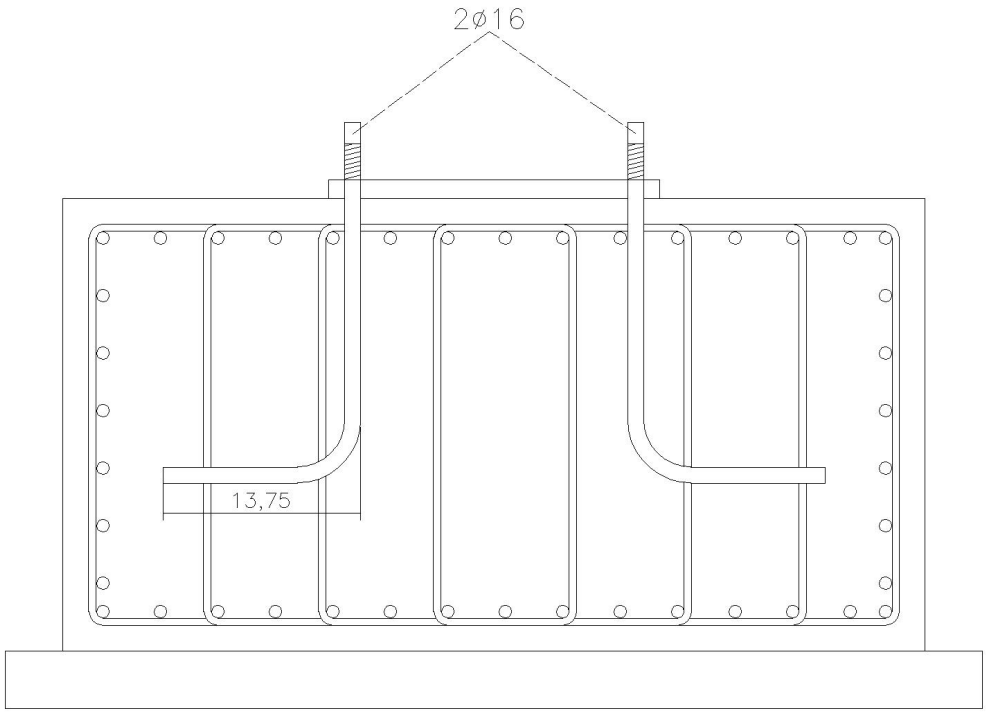
کنترل به برش:

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

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

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

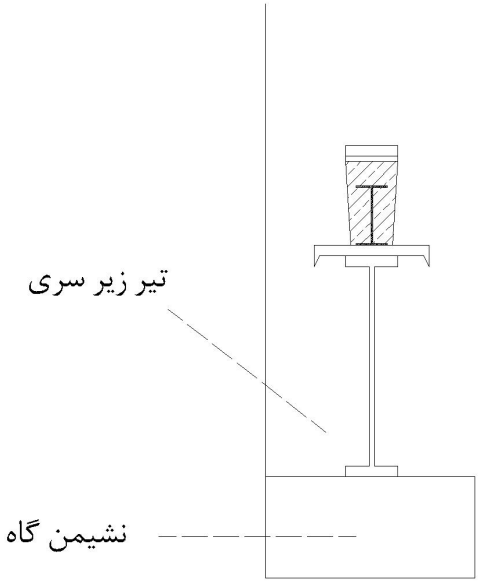
$$A_{ns} = \frac{17}{(0.75)(0.6)(71.12)} = 0.53\ in^2 \Rightarrow 2\#5\ (in) \approx 2\phi 16\ (mm)$$



7civil.com

قطعات تکیہ گاہی

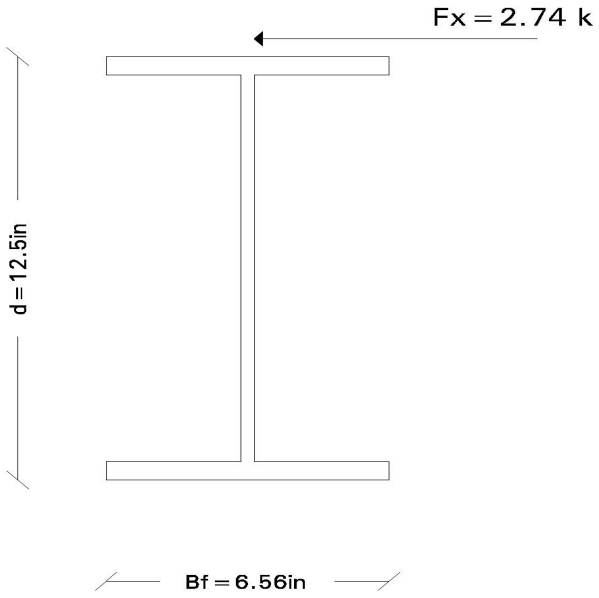
طراحی نشیمن گاه تیر زیر سری:



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

$F_x = 1240\,kg = 2.74\,k$

$M = 2.74 \times 12.5 = 34.25\,k - in$



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

نوع سوراخ: استاندارد ***STD***

ضوابط ***LRFD*** :

۱.حداقل فاصله ها:

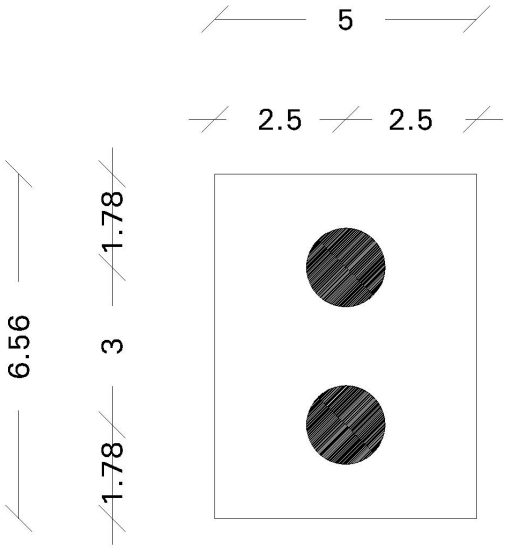
دو پیچ از هم =۳ برابر قطر

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)



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

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

$$\text{حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها} = Min.\begin{cases}24\times0.35 = 8.4\,in\\ 12\,in\end{cases} \rightarrow 8.4\,in$$

$$\text{حداکثر فاصله از لبه} = Min.\begin{cases}12\times0.355 = 4.2\,in\\ 6\,in\end{cases} \rightarrow 4.2\,in$$

تنش برشی:

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

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

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

تنش کششی:

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

ظرفیت پیچهای ***A325X*** در اتصالات اصطکاکی:

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

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

کنترل لهیدگی:

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

$$P_u=4.73\,k$$

$$\rightarrow 4.73=78.3(t)\Rightarrow t=0.06\,in$$

طراحی نشیمن گاه:

برای نشیمن گاه از قوطی استفاده می کنیم؛

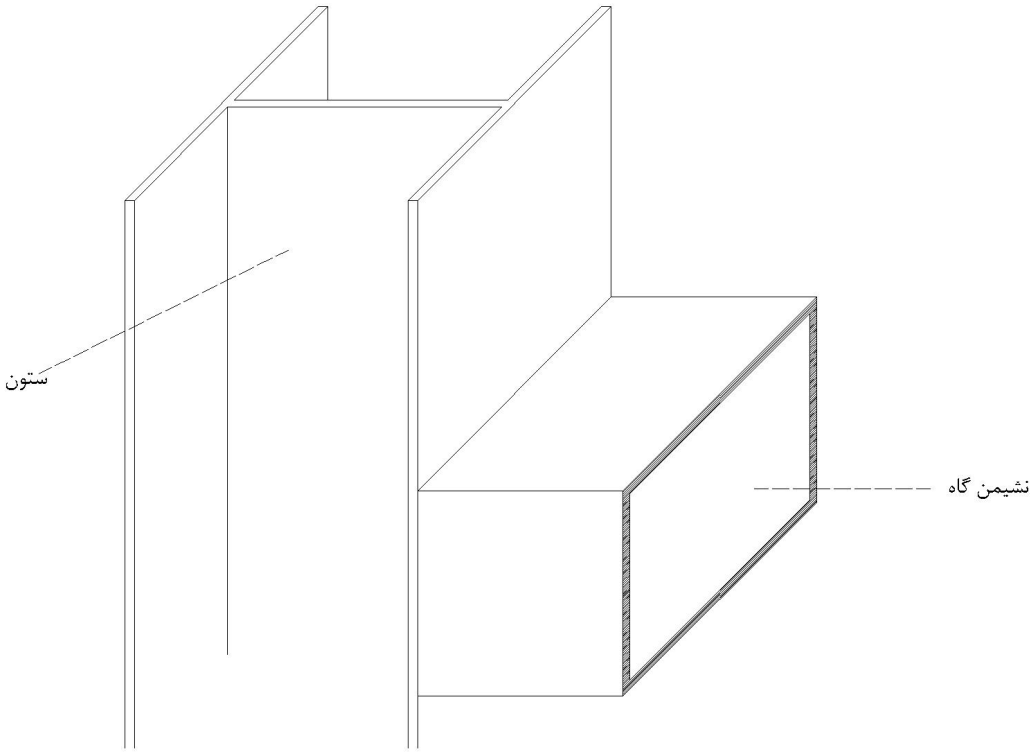
$$P_u=4.73\,k$$

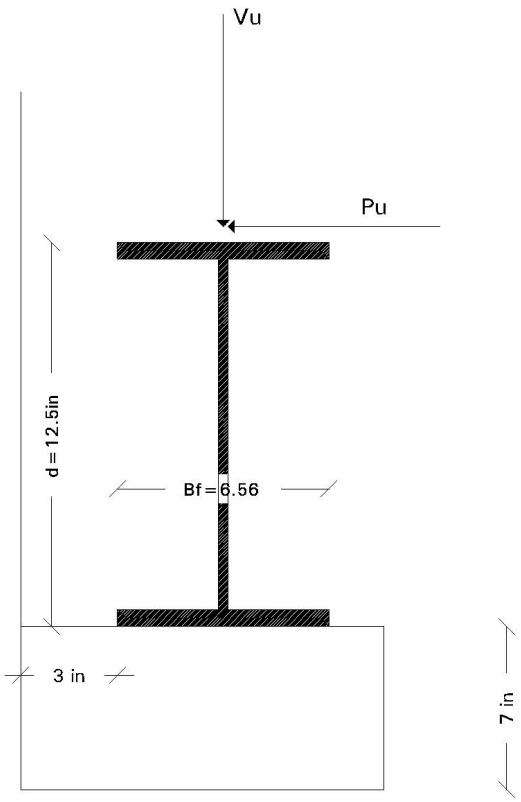
$$V_{uh}=34.76\,k$$

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

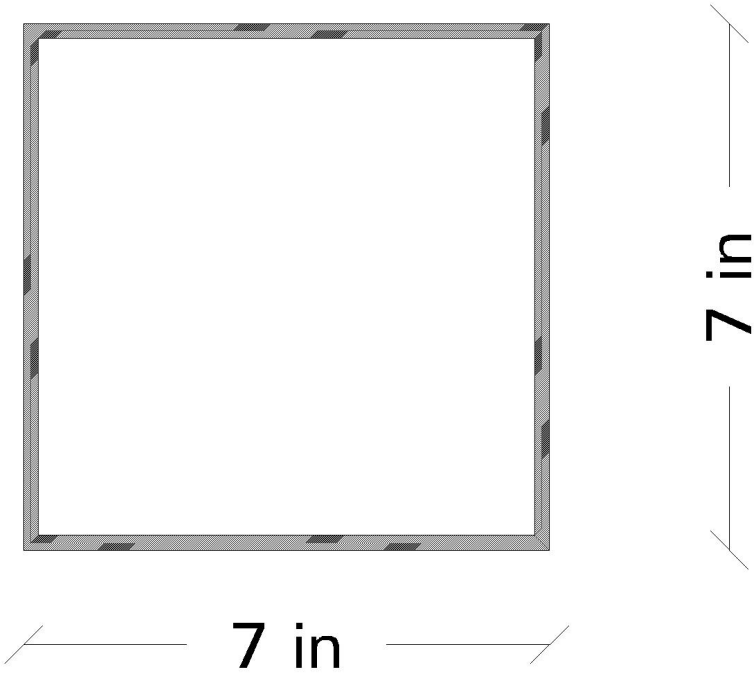
$$\textbf{V} \text{ لنگر ناشی از}=34.76\times\left(\frac{6.56}{2}+3\right)=218.3\,k-in$$

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


ستون
نشیمن گاه


Vu
Pu
d = 12.5in
Bf = 6.56
3 in
7 in

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



$$A = (7\times1)\times4 = 28\ in^2$$

$$I_x = I_y = \left(\frac{7(1)^3}{12} + 7\times1\times4^2\right)\times2 + \frac{1\times7^3}{12}\times2 = 282.3\ in^4$$

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

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

مقاومت جوش طولی(در طول واحد):

$$\varphi.F_w = 0.75(0.6\times70)(0.707\times1) = 22.3\ {}^{k}\!/_{in}$$

مقاومت جوش عرضی(در طول واحد):

$$\varphi.F_w = 0.75(0.6\times70)(0.707\times1)\times1.5 = 33.45\ {}^{k}\!/_{in}$$

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

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

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

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

بعد جوش $= \frac{R}{\varphi.F_w} = \frac{2.98}{22.3} = 0.14\ in \rightarrow a = 0.2\ in$

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

در نتیجه ضخامت ورق=***0.3 in***

کنترل به اثر برش و پیچش:

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

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

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

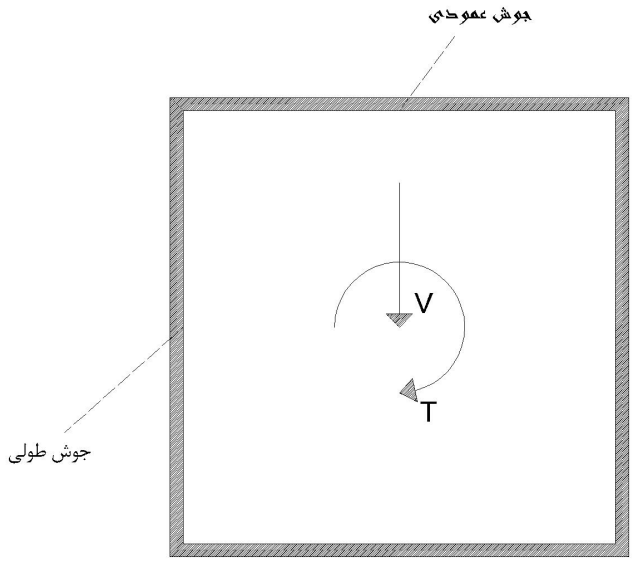
$$f = \frac{V_{uh}}{A} = \frac{34.76}{28} = 1.24\ ksi$$

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

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

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

در نتیجه بعد جوش = ***0.2 in***



7civil.com

طراحی پی

طراحی پی:

بار محوری مرده و زنده :

$$P_D = 14620.9\,kg = 146.209\,KN$$
$$P_L = 6768.83\,kg = 67.7\,KN$$
بدون ضریب:$\rightarrow \begin{cases} 121.8\,KN \\ 42.3\,KN \end{cases}$

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

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

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

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

$$(q_a)_{Net} = q_a - (w_c.h_f + w_s.h_s)$$
$$= 120 - (24\times 0.675 + 17\times 0.525) = 94.875\,KN/m^2 = 0.095\,MPa$$

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

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

ابعاد پی:

$$USE\ 1500\times 1500\ (mm)$$

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

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

تعیین ضخامت پی:

ضخامت پی را بر اساس کنترل برش یک طرفه به فاصله **d** از بَر ستون، و کنترل برش دو طرفه به فاصـله **S/2** از بَـر سـتون تعیـین مـی کنیم.اگر بُعد ستون را با **c** نمایش دهیم، خواهیم داشت:

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

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

$$\phi.V_c = \frac{1}{6}\phi\sqrt{f_c'}.B.d = \frac{1}{6}(0.75)\left(\sqrt{25}\right)(1500)(d)=937.5d$$

$$V_u = \phi.V_c = 150\times\left[727.5-d\right]=937.5d \rightarrow d = 110\ mm$$

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

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

$$\phi.V_c = Min\begin{cases}\phi\dfrac{\sqrt{f_c'}}{3}b_0 d\\ \left(1+\dfrac{2}{\beta}\right)\dfrac{\phi\sqrt{f_c'}}{6}b_0 d\\ \left(\dfrac{\alpha_s.d}{b_0}+2\right)\dfrac{\phi\sqrt{f_c'}}{6}b_0 d\end{cases}$$

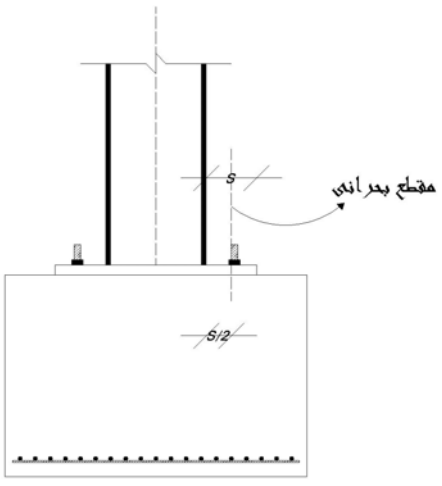
در برش دوطرفه $\phi.V_c$ مقدار حداقل از روابط بالاست.چون $\beta = 1.0$ بوده و مقدار α_{sd}/b_0 بـه ازای $d = 110\ mm$ کـه حـداقل **d** ممکن است، بزرگتر از ۲ می باشد، رابطه اول در روابط بالا مقدار $\phi.V_c$ را مشخص می کند؛

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

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

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 $h = 600\ mm$ استفاده می شود که عمق مؤثر آن با رعایت ۷۵ میلی متر پوشش بتن، تقریباً $d = 525\ mm$ خواهد بود.

طرح میلگردهای خمشی:



مقطع بحرانی خمش 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:

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

$$M_u=(q_{ult}\times B)\frac{x^2}{2}=(0.1\times1500)\times\frac{565^2}{2}=23941875\ N-mm$$

$$m=\frac{f_y}{0.85\,f_c'}=\frac{400}{0.85\times25}=18.82$$

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

$$\rho=\frac{1}{18.82}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times18.82\times1.47}{400}}\right]=0.004$$

$$A_s=\rho bd=0.004\times1500\times110=660\ mm^2$$

$$(A_s)_{Min}=0.0018bh=0.0018\times1500\times600=1620\ mm^2$$

$$\rightarrow A_s=1620\ mm^2$$

$$USE\ 15\phi12@120mm$$

حداکثر فاصله میلگردهای افت و حرارت = $Min\{5h,500\ mm\}=\{5\times600,500\ mm\}=500\ mm$

چون پی مربعی است، میلگردهای خمشی هر دوجهت 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 mm*** انتخاب می شود.بنابراین طول مستقیم میلگردهای خمشی از محل مقطع بحرانی خمش برابر با ***565-75=490 mm*** است.طول مهاری میلگردهای $\phi12$ 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 $\phi19$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$l_d=\left(\frac{12}{25}\frac{f_y}{\sqrt{f_c'}}\psi_t\psi_e\lambda\right)d_b=\left(\frac{12}{25}\times\frac{400}{\sqrt{25}}\times1\times1\times1\right)d_b=38.4d_b$$

$$l_d=461\,mm\le565\ mm$$

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:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 146.209 + 67.7 = 213.91\,KN$$

$$P_b = 0.85\,f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \le 2 \times 0.85\,f_c'.A_1$$

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

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

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

طراحی کلاف های میانی در پی:

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

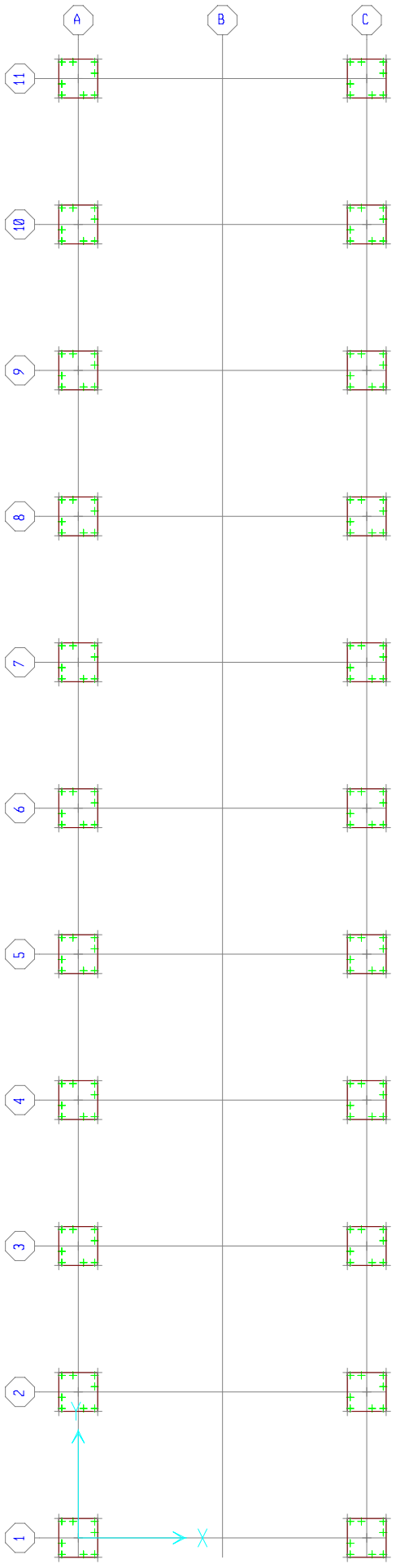
$$P_{u,\max} = 213.91\,KN \rightarrow T = 0.1 \times P_u = 21.391\,KN$$

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

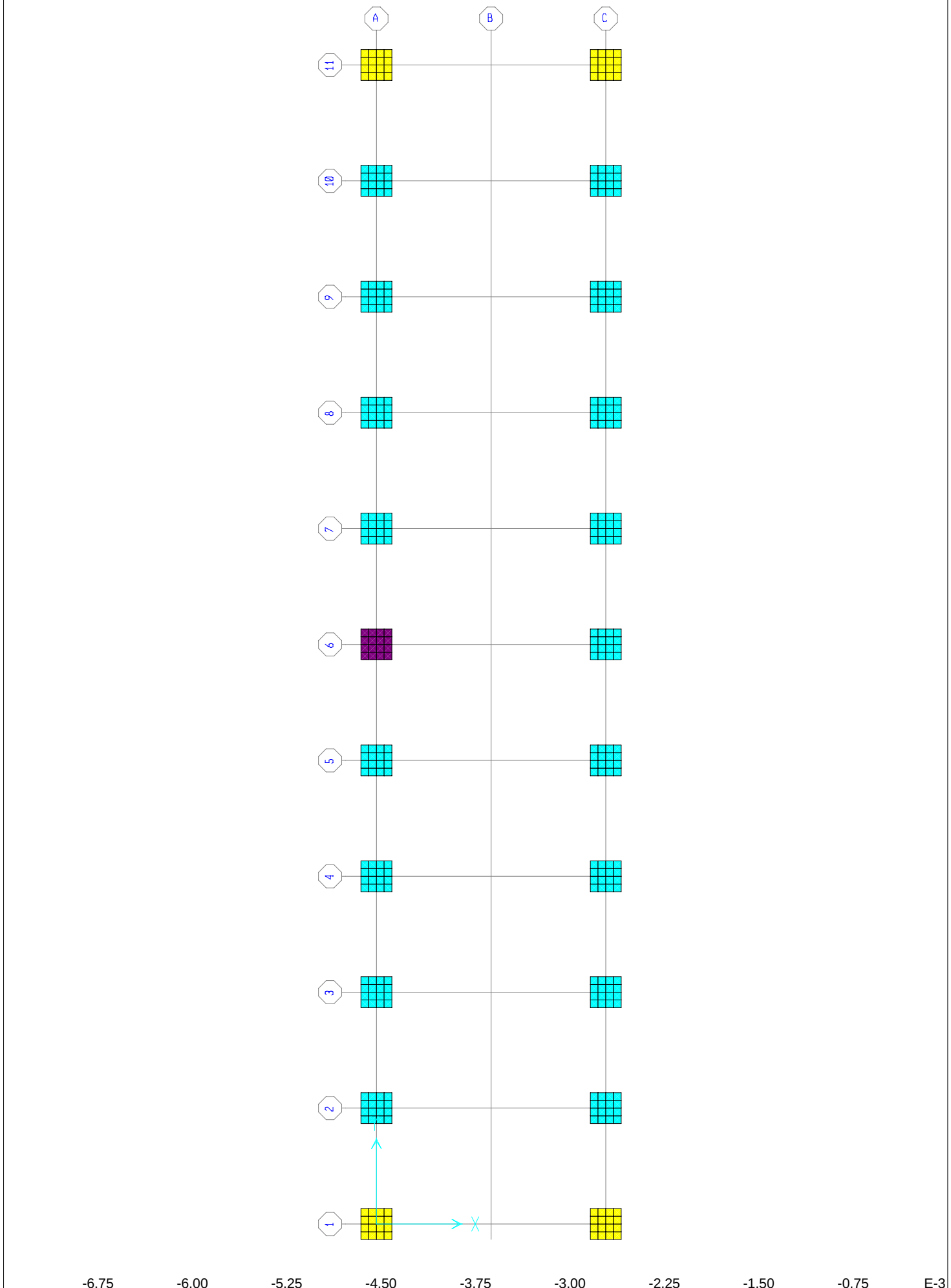
چون مقدار آرماتور مورد نیاز کم است، حداقل آرماتور مورد تعیین شده در مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان را قرار می دهیم و ابعاد کلاف ها را **30×30** سانتیمتر در نظر می گیریم.

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

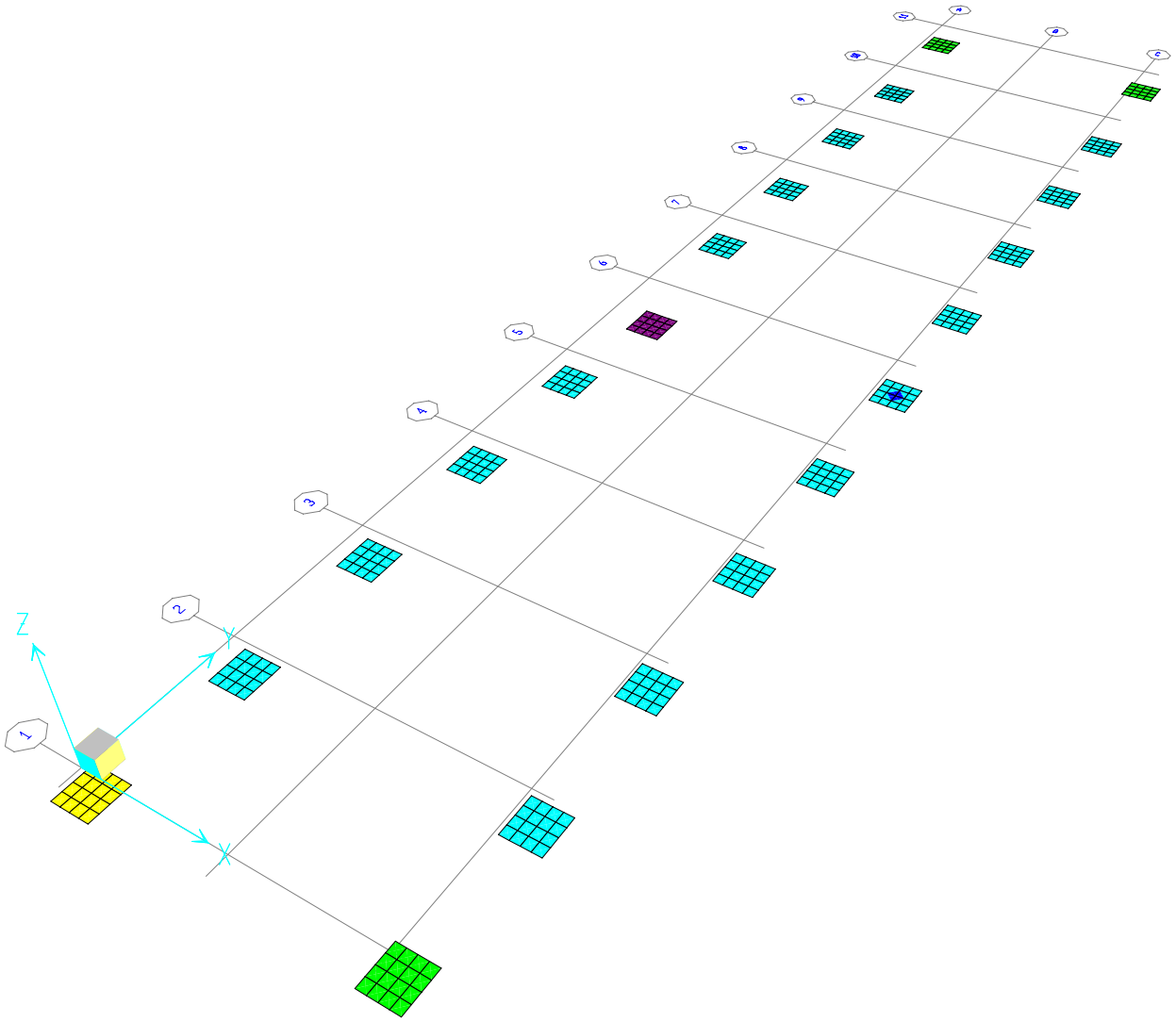
7civil.com

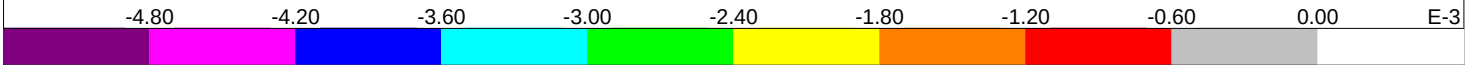


7civil.com

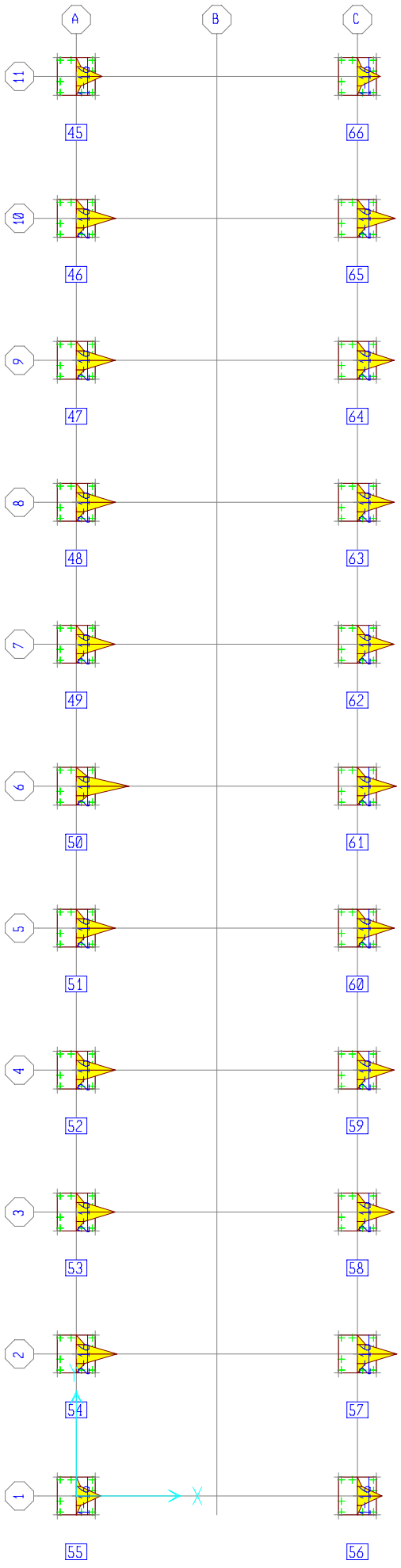


7civil.com

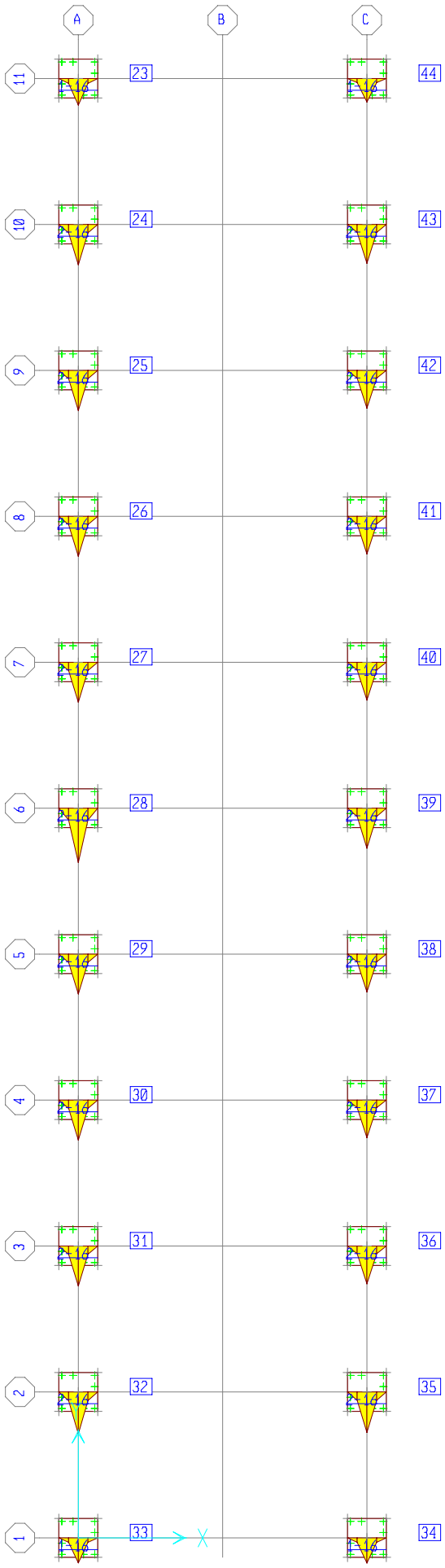




7civil.com


A
B
C
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
66
65
64
63
62
61
60
59
58
57
56

7civil.com


A
B
C
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34