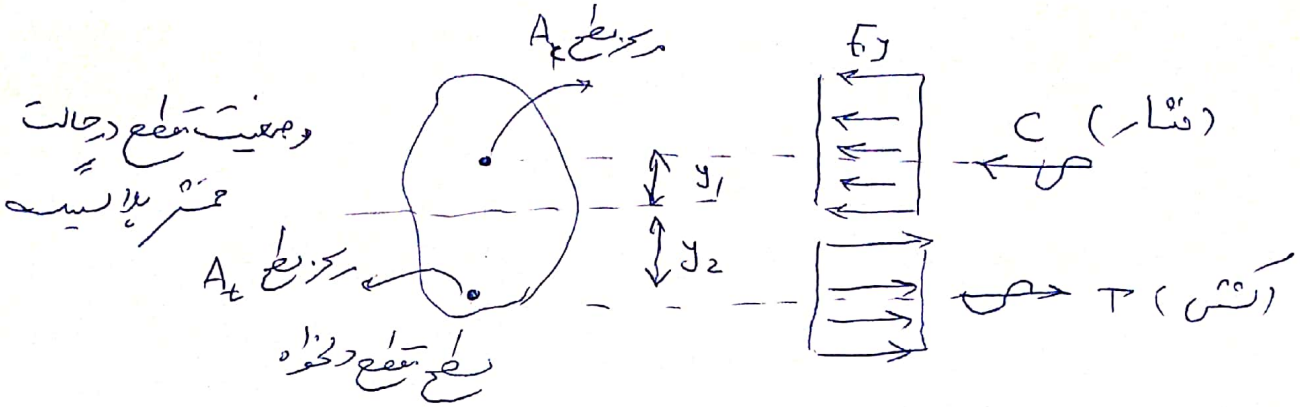


$$\xrightarrow{\text{برای تعادل}} \sum F = 0 \longrightarrow C = T$$

$$C = F_y A_c$$

$$T = F_y A_t \longrightarrow A_c = A_t$$

از طرفی

$$A_t + A_c = A \longrightarrow A_c = A_t = \frac{A}{2}$$

مساحت کل

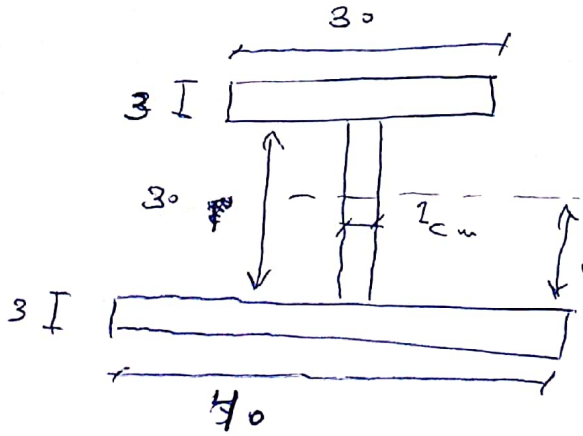
✓ تار خنثی پلاستیک وقتی است که سطح مقطع نصف می‌شود.

✓ لنگر پلاستیک = لنگر برایند تنش‌ها

$$\longrightarrow M_p = T \times y_2 + C \times y_1$$

$$M_p = Z F_y \longrightarrow Z = \frac{M_p}{F_y}$$

$$Z = A_t y_2 + A_1 y_1$$

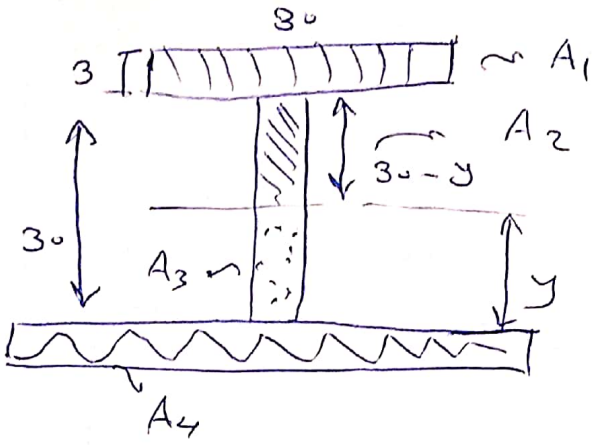


مثال:

① ابتدا باید محل تار خنثی یعنی جایی که مساحت مقطع به دو قسمت مساوی است را حدس زده

② بنابراین فرض می‌کنیم جایی در میانه‌های جان است و حال با این فرض مساحت را بدست می‌آوریم

Scanned by CamScanner



مقطع به چهار قسمت تقسیم شده

دو قسمت بالا A_1, A_2 (فشاری)

دو قسمت پایین A_3, A_4 ← کششی

$A_1 = 30 \times 3 = 90$

$A_2 = (30-y) \times 1$

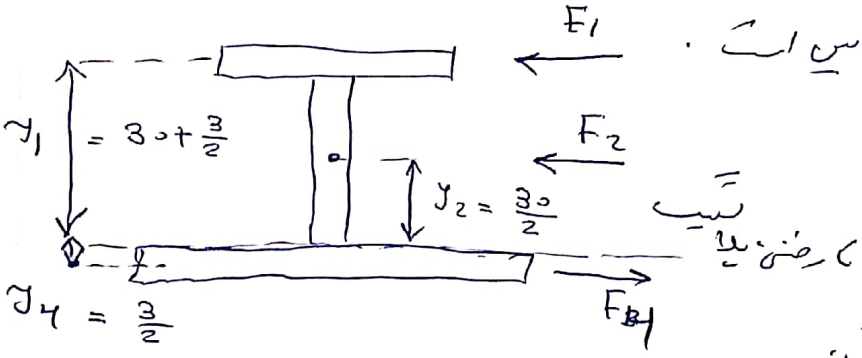
$A_3 = y \times 1$

$A_4 = 3 \times 40 = 120$

$\longrightarrow (A_1 + A_2) = A_3 + A_4$

$90 + 30 - y = y + 120$

$\longrightarrow y = 0$



یعنی تارخنثی در مرز بین بتن و آرماتور پایین است.

② مرحله دوم باید لنگر خمشی را حساب کنیم.

بالای تارخنثی ← فشاری هستند. دو قسمت بال و جان را جداگانه حساب کنید.

$F_1 = A_1 \times F_y = 30 \times 3 \times F_y = 90 F_y$

$F_2 = A_2 \times F_y = 30 \times 1 \times F_y = 30 F_y$

$F_3 = 0 \longrightarrow$ حذف شد.

$F_4 = A_4 \times F_y = 40 \times 3 \times F_y = 120 F_y$

موقعیت هر کدام از نیروها F_1, F_2, F_3 در وسط مقطع است.

$\longrightarrow M_p = F_1 \times y_1 + F_2 \times y_2 + F_4 \times y_4$

$= F_y \times (90 \times 31.5 + 30 \times \frac{30}{2} + 120 \times 1.5)$

$M_p = 1575 F_y \longrightarrow \boxed{Z = 1575}$

Scanned by CamScanner

اعضای خمشی:

$M_u < \phi M_n$

✓ برای اعضای نامدود I شکل حول محور قوی که مقطع آنها فشرده باشد یعنی

$\frac{b}{t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

تذکر: $b = \frac{b_f}{2}$

و h همان $(h-2c)$ در جدول اشتال است برای مقاطع نورد شده ولی برای مقاطع تیرورق h فاصله خالص بین جدیل است.

$M_u < \phi M_n$ ✓

$M_n = ?$

(۱) اگر $l_b < l_p = 1.76 r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow M_n = Z F_y$

(۲) اگر $l_p < l_b < l_r$

$\left(l_r \approx 20 \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} \right)$

$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right] < M_p$

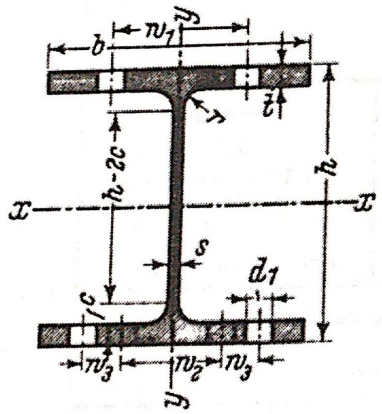
(۳) اگر $l_b > l_r \rightarrow M_n = F_{cr} \times S_x$

$F_{cr} = C_b \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$

Scanned by CamScanner

تیرآهن عریض I

ردیف I PB-



b = h = در تیرهای تا ۳۰۰

b = ۳۰۰م م درتیرهای ۳۰۰ به‌بالا

طول استاندارد

در پروفیل‌هائی بارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر

از ۳۰۰ میلیمترِ به‌بالا ۸ تا ۱۸ متر

$I_x = J_x$ | $I_y = J_y$

S_x

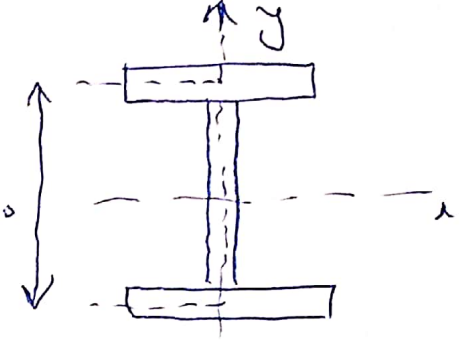
S_x s_x JD CM را درصفحه ۳۱ ملاحظه‌کنید

علائم اختصاری	اندازه بمیلیمتر برای							F	G	برای محور خمش						سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰		
	h	b	s	t	r	c	h-2c			x-x			y-y					
								cm^2	kg/m	J_x cm^4	W_x cm	i_x cm	J_y cm^4	W_y cm^3	i_y cm	d_1 mm	w_1 w_2 mm	w_3 mm

Scanned by CamScanner

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{I_y h_o}{2 S_x}$$

(h_o فاصله وسط بال تا وسط بال)



S_x در اینجا همان اساس مقطع الاستیک است که در جدول اشتال با W_x و W_y نشان داده است.

طراحی به خمش:

(۱) تحلیل سازه و تعیین لنگرهای در وسط دهانه و تکیه‌گاه‌ها ناشی از M_D, M_L, M_E

(۲) ترکیبات بار وسط دهانه:

$$\begin{cases} M_{u1} = 1.4 M_D \\ M_{u2} = 1.2 M_D + 1.6 M_L \\ M_{u3} = 1.2 M_D + M_L + M_E \end{cases}$$

تکیه‌گاه:

$$\begin{cases} M_{u4} = 1.4 M_D \\ M_{u5} = 1.2 M_D + 1.6 M_L \\ M_{u6} = 1.2 M_D + M_L + M_E \end{cases}$$

$$\rightarrow M_u = \max(M_{u1}, M_{u2}, \dots M_{u6})$$

(۳) $M_u < \phi M_n = \phi Z F_y$ ($\phi = 0.9$)

$$\rightarrow \frac{M_u}{0.9 F_y} < Z \rightarrow$$

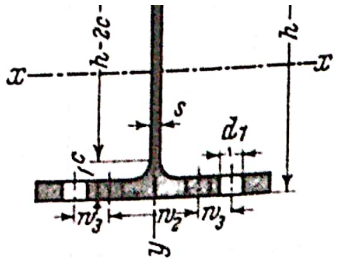
باید در یکی از جداول اشتال $S = \frac{Z}{2}$ را حساب کنیم و در یکی از صفحات ۳۱ ستون مربوطه و مقطع را انتخاب کنیم.

Scanned by CamScanner

IPE					IPEo و IPEv					IPBS					
سروفیل	S_x cm³	s_x cm	JD cm⁴	CM cm⁶		S_x cm³	s_x cm	JD cm⁴	CM cm⁶	سروفیل	s mm	S_x cm³	s_x cm	JD cm⁴	C_M cm⁶
80	11,6	6,90	0,700	118	180 o	94,6	15,9	6,78	8740	360/380	14	1660	32,4	374	5880000
100	19,7	8,68	1,21	351	200 o	125	17,7	9,49	15570		14,8	1780	32,5	448	6408000
120	30,4	10,5	1,74	890	220 o	161	19,5	12,3	26790		17,1	2110	32,9	697	7833000
140	44,2	12,3	2,45	1980	240 o	205	21,3	17,3	43680		19,4	2440	33,3	1020	9305000
160	61,9	14,0	3,62	3960	270 o	287	24,2	25,0	87640		21,7	2770	33,8	1440	10880000
180	83,2	15,8	4,81	7430	300 o	372	26,9	31,2	157700		24	3130	34,2	1970	12850000
200	110	17,6	7,01	12990	330 o	471	29,5	42,3	245700	500/350	12	2230	44,4	349	8808000
220	143	19,4	9,10	22670	360 o	593	32,1	56,0	380300		14,5	2740	44,9	613	11140000
240	183	21,2	12,9	37390	400 o	751	35,6	73,4	587600		21	4040	46,0	1760	17780000
270	242	23,9	16,0	70580	400 v	841	35,8	99,4	670300	600/350	13	3010	53,2	449	14010000
300	314	26,6	20,2	125900	450 o	1020	40,0	109	997600		15,5	3640	53,7	759	17410000
330	402	29,3	28,3	199100	450 v	1150	40,2	150	1156000		21	4970	54,6	1780	25080000
360	510	31,9	37,5	313600	500 o	1310	44,2	144	1548000	700/380	14,5	4210	62,1	618	26710000
400	654	35,4	51,3	490000	500 v	1580	44,6	244	1961000		17	5020	62,6	1010	32650000
450	851	39,7	67,2	791000	550 o	1630	48,5	188	2302000		21	6350	63,4	1930	43130000
500	1100	43,9	89,8	1249000	550 v	2100	48,7	382	3095000	1000/400	16,5	7870	88,1	1020	74890000
550	1390	48,2	124	1884000	600 o	2240	52,9	319	3860000		19	9160	88,6	1570	89210000
600	1760	52,4	166	2846000	600 v	2660	53,2	514	4813000		21	10220	89,0	2130	101500000

Scanned by CamScanner

طول استاندارد
در پروفیل‌هائی بارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
از ۳۰۰ میلیمتر به‌بالا ۸ تا ۱۸ متر



$I_x = J_x$ } مادی
$I_y = J_y$ } اشتال

S_x

Sx sx JD CM را در صفحه ۳۱ ملاحظه کنید

علائم اختصاری	اندازه بمیلیمتر برای							F	G	برای محور خمش						سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰		
										x-x			y-y					
	h	b	s	t	r	c	h-2c	cm²	kg/m	J_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	J_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	d_1 mm	w_1 w_2 mm	w_3 mm
IPB HE-B	تیرآهن عریض با لبه موازی ردیف IPB (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۲ انتشار اکتبر ۱۹۶۳ ردیف IPB معادل نرم اروپائی (HE-B) ۶۲ – ۵۳ است																	
100	100	100	6	10	12	22	56	26,0	20,4	450	89,9	4,16	167	33,5	2,53	13	56	-
120	120	120	6,5	11	12	23	74	34,0	26,7	864	144	5,04	318	52,9	3,06	17	66	-
140	140	140	7	12	12	24	92	43,0	33,7	1 510	216	5,93	550	78,5	3,58	21	76	-
160	160	160	8	13	15	28	104	54,3	42,6	2 490	311	6,78	889	111	4,05	23	86	-
180	180	180	8,5	14	15	29	122	65,3	51,2	3 830	426	7,86	1 360	151	4,57	25	100	-
200	200	200	9	15	18	33	134	78,1	61,3	5 700	570	8,54	2 000	200	5,07	25	110	-
220	220	220	9,5	16	18	34	152	91,0	71,5	8 090	736	9,43	2 840	258	5,59	25	120	-
240	240	240	10	17	21	38	164	106	83,2	11 260	938	10,3	3 920	327	6,08	25	96	35
260	260	260	10	17,5	24	41,5	177	118	93,0	14 920	1 150	11,2	5 130	395	6,58	25	106	40
280	280	280	10,5	18	24	42	196	131	103	19 270	1 380	12,1	6 590	471	7,09	25	110	45
300	300	300	11	19	27	46	208	149	117	25170	1 680	13,0	8 560	571	7,58	28	120	45
320	320	300	11,5	20,5	27	47,5	225	161	127	30 820	1 930	13,8	9 240	616	7,57	28	120	45
340	340	300	12	21,5	27	48,5	243	171	134	36 660	2 160	14,6	9 690	646	7,53	28	120	45
360	360	300	12,5	22,5	27	49,5	251	181	142	43 190	2 400	15,5	10 140	676	7,49	28	120	45
400	400	300	13,5	24	27	51	298	198	155	57 680	2 880	17,1	10 820	721	7,40	28	120	45
450	450	300	14	26	27	53	344	218	171	79 890	3 550	19,1	11 720	781	7,33	28	120	45
500	500	300	14,5	28	27	55	390	239	187	107 200	4 290	21,2	12 620	842	7,27	28	120	45
550	550	300	15	29	27	56	438	254	199	136 700	4 970	23,2	13 080	872	7,17	28	120	45
600	600	300	15,5	30	27	57	486	270	212	171 000	5 700	25,2	13530	902	7,08	28	120	45
650	650	300	16	31	27	58	534	286	225	210 600	6 480	27,1	13 980	932	6,99	28	120	45
700	700	300	17	32	27	59	582	306	241	256 900	7 340	29,0	14 440	963	6,87	28	126	45
800	800	300	17,5	33	30	63	674	334	262	359 100	8 980	32,8	14 900	994	6,68	28	130	40
900	900	300	18,5	35	30	65	770	371	291	494 100	10 980	36,5	15 820	1050	6,53	28	130	40
1000	1000	300	19	36	30	66	868	400	314	644 700	12 890	40,1	16 280	1090	6,38	28	130	40

Scanned by CamScanner

(۴) سپس باید مقطع (بال) را کنترل کنیم یعنی

کنترل کمانش موضعی (بال) $\frac{b}{t} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{h}{t} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

کمانش جانبی پیچشی $l_p = 1.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$l_r = \pi r_{ts}\sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$

$r_{ts} = \frac{I_y h_o}{2S_x}$

S در فرمول S_x در اینجا

S_x و W_x در جدول اشتال

۳۱ اشتال متفاوت است

l_b = در واقع فاصله بین تکیه‌گاه‌های جانبی

$l_b = ?$

در صورت نشده باید فرض کنید

$l_b = l/2$ یعنی

مثلاً گفته که در یک دهانه تکیه‌گاه جانبی داریم

$l_b = l$ یا گفته تیر بدون تکیه‌گاه جانبی است

l کل طول تیر

$M_n = M_p \leftarrow l < l_p$ ← حالا آمد

$M_n = C_b[M_p - (\quad)] \leftarrow l_p < l < l_r$

$M_n = F_{cr} S_x \quad l_r < l$

بنابراین M_n تعیین می‌شود (اگر مورد دوم یا سوم باشد باید C_b را نیز حساب کنید)

اگر $M_u < \phi M_n$ ← مقطع ok است

M_u می‌دهد شده

Scanned by CamScanner