جزوه طراحی سازه های فولادی ۱

(به روش LRFD)

-آموزش مطالب و مفاهیم طراحی

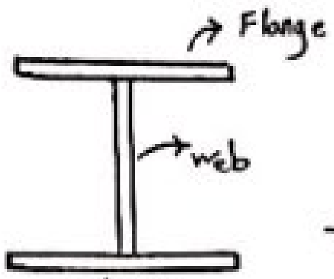
-بر اساس مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲

-به همراه جداول پروفیل های ساختمانی اشتال

امیرحسین گروسی

مروری بر استاتیک و استفاده از جدول اشتعال:

آشنایی با پروفیل های ساختمانی:

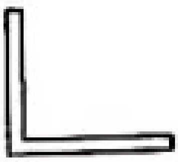


مقطع I شکل

→
- IPE (مقاطع نیم پهن) → ص ۴
- INP (مقاطع باریک) → ص ۱۸
- IPB (مقاطع پهن) → ص ۷

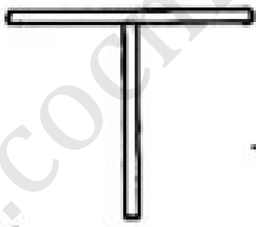
→ UNP → ص ۱۹

مقاطع ناودانی



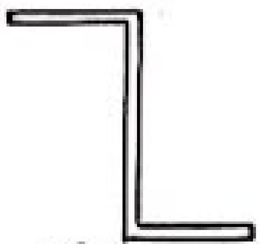
→ ص ۲۲

مقاطع نبشی (L شکل)

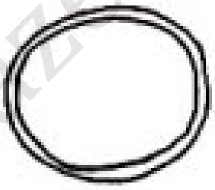


→ ص ۲۲

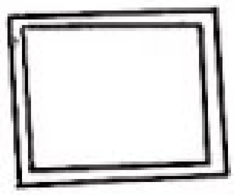
مقاطع سپری (T شکل)



مقاطع Z شکل



لوله



جعبه - قوطی - Box

ورق - plate

→ مثلاً PL 220 mm × 10 mm

ترکیب بارهای طراحی در حالت LRFD :

۱) $1.4\ DL$

۲) $1.2\ DL + 1.6\ LL + 0.5\ (L_r$ یا $S)$

۳) $1.2\ DL + 1.6\ (L_r$ یا $S) + LL$

۴) $1.2\ DL + LL + 0.5\ (L_r$ یا $S) \pm 1.4\ W_x$

۵) $1.2\ DL + LL + 0.5\ (L_r$ یا $S) \pm 1.4\ W_y$

۶) $1.2\ DL + LL + 0.2\ S \pm EQ_x \pm 0.3\ EQ_y$

۷) $1.2\ DL + LL + 0.2\ S \pm EQ_y \pm 0.3\ EQ_x$

۸) $0.9\ DL \pm 1.4\ W_x$

۹) $0.9\ DL \pm 1.4\ W_y$

۱۰) $0.9\ DL \pm EQ_x \pm 0.3\ EQ_y$

۱۱) $0.9\ DL \pm EQ_y \pm 0.3\ EQ_x$

DL : بار مرده

LL : بار زنده

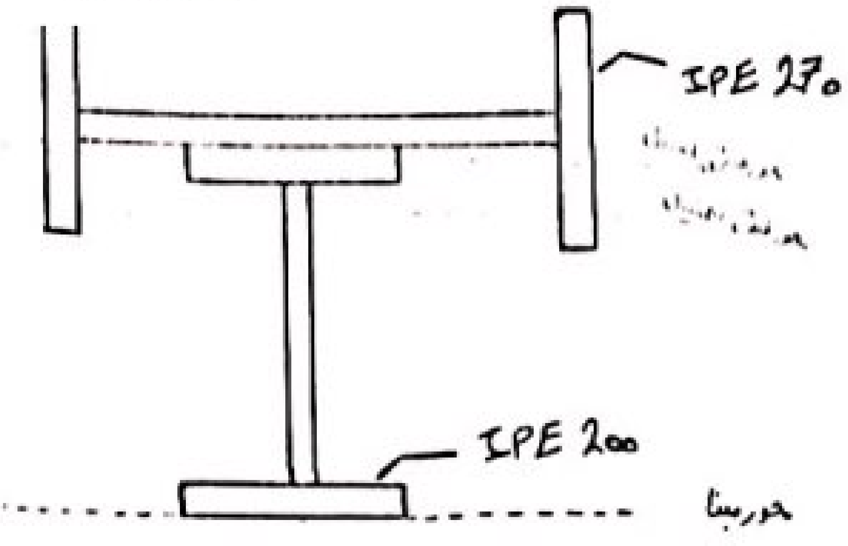
W : بار باد

EQ : بار زلزله

S : بار برف

L_r : بار زنده بام

مثال) تعیین مشخصات هندسی مقطع نشان داده شده:



مشخصات IPE 200 :

$h = ۲۰\ cm$, $b = ۱۰\ cm$, $t_w = ۰٫۵۶\ cm$, $t_f = ۰٫۸۵\ cm$, $h - ۲c = ۱۵٫۹\ cm$

$A = ۲۸٫۵\ cm^۲$, $I_x = ۱۹۴۰\ cm^۴$, $I_y = ۱۴۲\ cm^۴$,

مشخصات IPE 270 :

$h = ۲۷\ cm$, $b = ۱۳٫۵\ cm$, $t_w = ۰٫۶۶\ cm$, $t_f = ۱٫۰۲\ cm$, $h - ۲c = ۲۱٫۹\ cm$

$A = ۴۵٫۹\ cm^۲$, $I_y = ۵۷۹۰\ cm^۴$, $I_x = ۴۲۰\ cm^۴$,

۱) سطح مقطع (A):

$$A = ۲۸٫۵ + ۴۵٫۹ = ۷۴٫۴\ cm^۲$$

۲) حل محور خنثی الاستیک ($\bar{y}_e$):

$$\bar{y}_e = \frac{\Sigma A_i \bar{y}_i}{\Sigma A_i} = \frac{(۲۸٫۵ \times ۱۰) + (۴۵٫۹ \times ۲۰٫۳۳)}{۷۴٫۴} = ۱۴٫۳۷\ cm$$

A_i: مساحت جزء iام مقطع

$\bar{y}_i$: فاصله مرکز سطح جزء iام مقطع از محور مبنا

۳) حل محور خنثی پلاستیک ($\bar{y}_p$):

$$A_{top} = A_{bot} = \frac{۷۴٫۴}{۲} = ۳۷٫۲\ cm^۲$$

$$\rightarrow (۱۰ \times ۰٫۸۵) + ((۲۰ - (۲ \times ۰٫۸۵)) \times ۰٫۵۶) + (۱۰ \times (y_e - (۲۰ - ۰٫۸۵))) + ۲(۱٫۰۲ \times (y_e - (۲۰ - (۱۳٫۵ - (۶٫۷۵ + ۰٫۳۳))))) = ۳۷٫۲$$

$$\rightarrow \bar{y}_p = ۱۹٫۷۴\ cm$$

۴) ممان اینرسی (I):

y: فاصله محور دلخواه تا محور خنثی الاستیک

$$I_x = \Sigma I'_x + \Sigma A y^2$$

$$\Rightarrow I_x = \left(1940 + 28.5 \times (20.33 - 14.37)^2\right) + \left(420 + 45.9 \times (14.37 - 10)^2\right)$$

$$\Rightarrow I_x = 2384.9254 + 2282.47471 = 4669.41 \ cm^4$$

$$I_y = \Sigma I'_y + A x^2$$

$$\Rightarrow I_y = (142 + 0) + (5790 + 0) = 5932 \ cm^4$$

۵) اساس مقطع الاستیک (S):

C: فاصله تا دورترین تار از محور خنثی الاستیک

$$S_x = \frac{I}{C} \Rightarrow \begin{cases} S_{x_{min}} = \dfrac{I_x}{C_{max}} = \dfrac{4669.41}{14.37} = 285.242 \ cm^3 \\ S_{x_{max}} = \dfrac{I_x}{C_{min}} = \dfrac{4669.41}{\underbrace{10.71}_{((20+7.08)-14.37)}} = 435.984 \ cm^3 \end{cases}$$

$$S_y = \frac{I}{C} \Rightarrow \begin{cases} S_{y_{min}} = \dfrac{I_y}{C_{max}} = \dfrac{5932}{\underbrace{13.5}_{\frac{27}{2}}} = 439.41 \ cm^3 \\ S_{y_{max}} = \dfrac{I_y}{C_{min}} = \dfrac{5932}{13.5} = 439.41 \ cm^3 \end{cases}$$

۶) اساس مقطع پلاستیک (Z):

$\bar{y}_i$: فاصله مرکز سطح جزء iام مقطع از محور خنثی پلاستیک

$$Z = \Sigma A_i \bar{y}_i$$

$$Z = A_1\bar{y}_1 + A_2\bar{y}_2 + A_3\bar{y}_3 + A_4\bar{y}_4 + A_5\bar{y}_5 + A_6\bar{y}_6 + A_7\bar{y}_7 + A_8\bar{y}_8 + A_9\bar{y}_9$$

$$\Rightarrow Z = \left((27.08 - 19.74) \times 1.2 \times 3.67\right) + \left((27.08 - 19.74) \times 1.2 \times 3.67\right) + \left((27 - 2(1.2)) \times 0.62 \times 0.59\right)$$

$$+ \left((20 - 19.74) \times 10 \times 0.13\right) + \left((13.5 - (27.08 - 19.74)) \times 1.2 \times 3.08\right) +$$

$$+ \left((13.5 - (27.08 - 19.74)) \times 1.2 \times 3.08\right) + \left((19.74 - (20 - 0.85)) \times 10 \times 0.295\right)$$

$$+ \left((20 - 2(0.85)) \times 0.52 \times 9.74\right) + \left(\left(19.74 - \left(\frac{0.85}{2}\right)\right) \times 10 \times 0.85\right)$$

$$\Rightarrow Z = 349.45 \ cm^3$$

۷) شعاع ژیراسیون (r) :

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{4669.41}{74.4}} = 7.92\ cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5932}{74.4}} = 8.93\ cm$$

۸) ثابت پیچش (J) :

n : تعداد اجزای مستطیلی شکل مقطع

b : طول هر یک از اجزای مقطع

t : ضخامت هر یک از اجزای مقطع

$$J = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{3} b t^3$$

$$\Rightarrow J = \frac{1}{3}\left[b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3 + b_4 t_4^3 + b_5 t_5^3 + b_6 t_6^3\right]$$

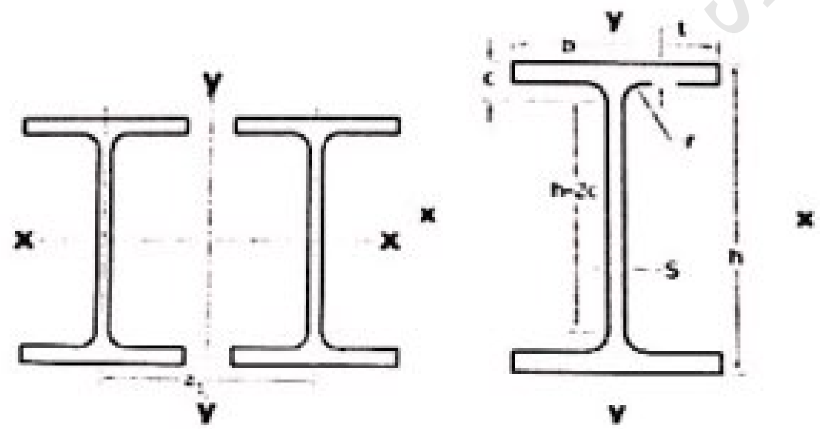
$$\Rightarrow J = \frac{1}{3}\left[13.5 \times 1.2^3 + \overset{(27-2(1.2))}{26.96} \times 0.66^3 + 13.5 \times 1.2^3 + 10 \times 0.85^3 + \overset{(20-2(0.85))}{18.3} \times 0.56^3 + 10 \times 0.85^3\right]$$

$$\Rightarrow J = 17.11\ cm^4$$

garousi

IPE

	h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	c mm	h-2c mm	A cm^2	G kg/m	I_x cm^4	S_x cm^3	r_x cm	Z_x cm^3	I_y cm^4	S_y cm^3	r_y cm	Z_y cm^3	a_1 mm	r_m mm
80	80	46	3.8	5.2	5	10.2	59	7.64	6	80.1	20	3.24	23.2	8.49	3.69	1.05	5.82	63	12.6
100	100	55	4.1	5.7	7	12.7	74	10.3	8.1	171	34.2	4.07	39.4	15.9	5.79	1.24	9.15	79	14.8
120	120	64	4.4	6.3	7	13.3	93	13.2	10.4	318	53	4.9	60.7	27.7	8.65	1.45	13.6	96	17.2
140	140	73	4.7	6.9	7	13.9	112	16.4	12.9	541	77.3	5.74	88.3	44.9	12.3	1.65	19.2	112	19.7
160	160	82	5	7.4	9	16.4	127	20.1	15.8	869	109	6.58	124	68.3	16.7	1.84	26.1	129	21.9
180	180	91	5.3	8	9	17	146	23.9	18.8	1320	146	7.42	166	101	22.2	2.06	34.6	145	24.4
200	200	100	5.6	8.5	12	20.5	159	28.5	22.4	1940	194	8.26	221	142	28.5	2.24	44.6	162	26.5
220	220	110	5.9	9.2	12	21.2	177	33.4	26.2	2770	252	9.11	285	205	37.3	2.48	58.1	179	29.3
240	240	120	6.2	9.8	15	24.8	190	39.1	30.7	3890	324	9.97	367	284	47.3	2.6	73.9	196	31.8
270	270	135	6.6	10.2	15	25.2	219	45.9	36.1	5790	429	11.2	484	420	62.2	3.02	96.9	220	35.7
300	300	150	7.1	10.7	15	25.7	248	53.8	42.2	8360	557	12.5	628	604	80.5	3.35	125	245	39.6
330	330	160	7.5	11.5	18	29.5	271	62.6	49.1	11770	713	13.7	804	788	98.5	3.55	154	270	42.0
360	360	170	8	12.7	18	30.7	298	72.7	57.1	16270	904	15	1019	1040	123	3.79	191	294	44.7
400	400	180	8.6	13.5	21	34.5	331	84.5	66.3	23130	1160	16.5	1307	1320	146	3.95	229	326	46.9
450	450	190	9.4	14.6	21	35.6	378	98.8	77.6	33740	1500	18.5	1702	1680	176	4.12	276	365	49.4
500	500	200	10.2	16	21	37	426	116	90.7	48200	1930	20.4	2194	2140	214	4.31	336	404	51.8
550	550	210	11.1	17.2	24	41.2	467	134	106	67120	2440	22.3	2787	2670	254	4.45	400	442	54.0
600	600	220	12	19	24	43	514	156	122	92080	3070	24.3	3512	3390	308	4.66	486	481	56.6

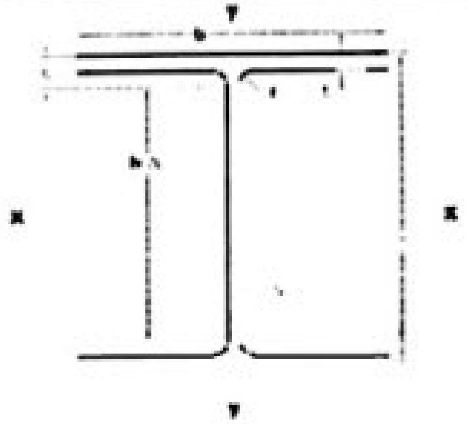


IPE

IPE	C_w cm^6	J cm^4	Lp (ST37) cm	Lp (ST52) cm	Lr (ST37) cm	Lr (ST52) cm
80	118.75	0.57	53.35	43.55	265.32	183.61
100	353.48	0.90	63.00	51.44	273.87	193.28
120	895.24	1.39	73.67	60.15	297.19	212.60
140	1988.58	2.06	83.84	68.44	322.56	233.26
160	3976.21	2.85	93.49	76.32	341.18	249.70
180	7469.96	3.96	104.67	85.45	371.16	273.37
200	13018.65	5.22	113.81	92.92	389.88	289.67
220	22773.78	7.15	126.01	102.87	426.49	317.82
240	37624.35	9.36	132.11	107.85	454.34	340.29
270	70870.84	12.04	153.45	125.27	492.46	372.60
300	126378.68	15.70	170.21	138.96	535.05	407.47
330	199641.23	20.70	180.38	147.25	559.33	427.66
360	313604.95	29.14	192.57	157.21	598.00	456.74
400	492961.43	37.72	200.70	163.85	615.94	473.11
450	794207.27	51.47	209.34	170.90	641.22	494.27
500	1253269.60	71.73	218.99	178.78	669.75	516.96
550	1894871.23	95.53	226.10	184.59	693.09	536.17
600	2866829.44	134.06	236.77	193.30	729.71	563.86

IPB

IPB	h mm	b mm	t mm	r mm	c mm	h-2c mm	A cm^2	G kg/m	I_x cm^4	S_x cm^3	r_x cm	Z_x cm^3	I_y cm^4	S_y cm^3	r_y cm	Z_y cm^3	r_T mm
100	100	100	10	12	22	56	26	20.4	450	89.9	4.16	104	167	33.5	2.53	51.4	27.8
120	120	120	11	12	23	74	34	26.7	864	144	5.04	165	318	52.9	3.06	81	33.4
140	140	140	12	12	24	92	43	33.7	1510	216	5.93	245	550	78.5	3.58	120	38.9
160	160	160	13	15	28	104	54.3	42.6	2490	311	6.78	354	889	111	4.05	170	44.4
180	180	180	14	15	29	122	65.3	51.2	3830	426	7.66	481	1360	151	4.57	231	49.9
200	200	200	15	18	33	134	78.1	61.3	5700	570	8.54	643	2000	200	5.07	306	55.5
220	220	220	16	18	34	152	91	71.5	8090	736	9.43	827	2840	258	5.59	394	61
240	240	240	17	21	38	164	106	83.2	11260	938	10.3	1053	3920	327	6.08	498	66.6
260	260	260	17.5	24	41.5	177	118	93	14920	1150	11.2	1283	5130	395	6.58	602	72.2
280	280	280	18	24	42	196	131	103	19270	1380	12.1	1534	6590	471	7.09	718	77.6
300	300	300	19	27	46	208	149	117	25170	1680	13	1869	8560	571	7.58	870	83.2
320	320	300	20.5	27	47.5	225	161	127	30820	1930	13.8	2149	9240	616	7.57	939	83.1
340	340	300	21.5	27	48.5	243	171	134	36660	2160	14.6	2408	9690	646	7.53	986	82.9
360	360	300	22.5	27	49.5	261	181	142	43190	2400	15.5	2683	10140	676	7.49	1032	82.7
400	400	300	24	27	51	298	198	155	57680	2880	17.1	3232	10820	721	7.4	1104	82.3
450	450	300	26	27	53	344	218	171	79890	3550	19.1	3982	11720	781	7.33	1198	81.9
500	500	300	28	27	55	390	239	187	107200	4290	21.2	4815	12620	842	7.27	1292	81.6
550	550	300	29	27	56	438	254	199	136700	4970	23.2	5591	13080	872	7.17	1341	81.1
600	600	300	30	27	57	486	270	212	171000	5700	25.2	6425	13530	902	7.08	1391	80.7



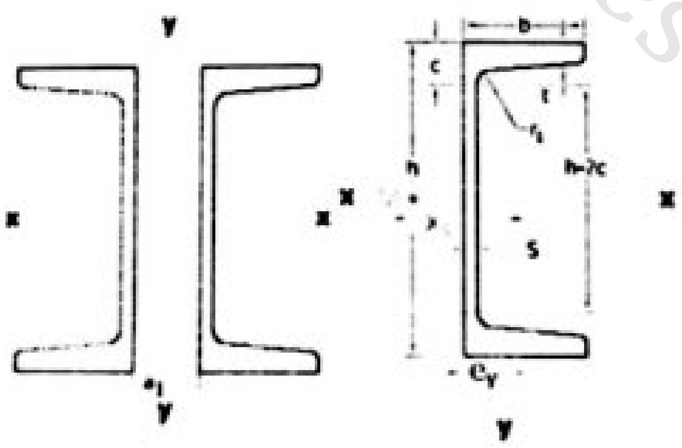
IPB

IPB	C_w cm^4	J cm^4	Lp (ST37) cm	Lp (ST52) cm	Lr (ST37) cm	Lr (ST52) cm
100	3381.75	7.31	128.55	104.94	911.77	930.99
120	9445.40	11.65	155.48	126.93	994.45	1090.61
140	22528.00	17.59	181.90	148.50	1075.47	1249.19
160	48026.00	25.94	205.78	167.99	1157.24	1403.83
180	93690.40	36.33	232.20	189.56	1240.99	1563.82
200	171125.00	49.50	257.61	210.30	1317.99	1719.20
220	295473.60	65.90	284.03	231.87	1408.22	1884.51
240	487344.20	86.04	308.92	252.20	1488.62	2041.94
260	754190.16	100.98	334.33	272.94	1517.27	2183.60
280	1130909.90	118.97	360.24	294.09	1567.10	2336.60
300	1689765.40	149.65	385.14	314.42	1650.67	2495.00
320	2072075.78	187.49	384.63	314.00	1667.62	2499.63
340	2457438.51	217.11	382.60	312.34	1645.97	2491.90
360	2867523.44	249.79	380.57	310.69	1628.80	2486.66
400	3824220.80	307.32	375.99	306.95	1567.90	2465.78
450	5267436.80	390.30	372.44	304.05	1506.87	2445.44
500	7026835.20	487.01	369.39	301.56	1458.88	2428.59
550	8876120.70	546.39	364.31	297.41	1383.24	2402.58
600	10969742.50	610.75	359.73	293.68	1321.57	2378.25

جداول اشتال — امیرحسین کروسی

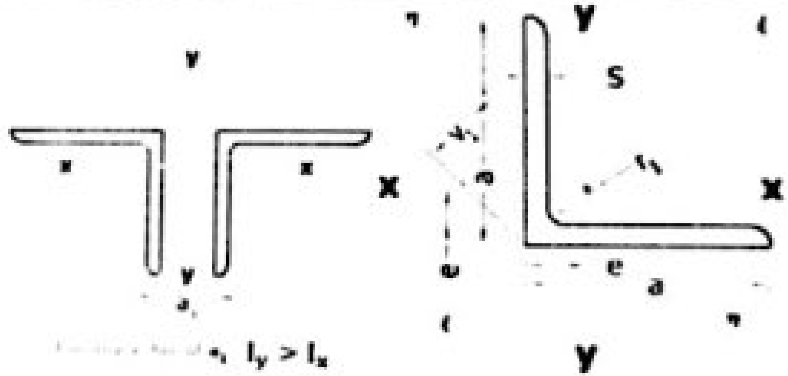
UNP

	h mm	b mm	s mm	t=r1 mm	c mm	h-2c mm	A cm²	G kg/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	Z_x cm³	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	Z_y cm³	e_y cm	e_M cm	a_1 mm
80	80	45	6	8	17	47	11	8.64	106	26.5	3.1	29.6	19.4	6.36	1.33	12	1.45	2.67	28
100	100	50	6	8.5	18	64	13.5	10.6	206	41.2	3.91	45.2	29.3	8.49	1.47	16.1	1.55	2.93	42
120	120	55	7	9	19	82	17	13.4	364	60.7	4.62	66.3	43.2	11.1	1.59	21.2	1.6	3.03	56
140	140	60	7	10	21	97	20.4	16	605	86.4	5.45	93.9	62.7	14.8	1.75	28.2	1.75	3.37	70
160	160	65	7.5	10.5	22.5	116	24	18.8	925	116	6.21	125	85.3	18.3	1.89	35	1.84	3.56	82
180	180	70	8	11	23.5	133	28	22	1350	150	6.95	162	114	22.4	2.02	42.9	1.92	3.75	96
200	200	75	8.5	11.5	24.5	151	32.2	25.3	1910	191	7.7	205	148	27	2.14	51.7	2.01	3.94	108
220	220	80	9	12.5	26.5	166	37.4	29.4	26900	245	8.48	262	197	33.6	2.3	64.2	2.14	4.2	122
240	240	85	9.5	13	28	185	42.3	33.2	3600	300	9.22	320	248	39.6	2.42	75.7	2.23	4.39	134
260	260	90	10	14	30	201	48.3	37.9	4820	371	9.99	396	317	47.7	2.56	91.6	2.36	4.66	146
280	280	95	10	15	32	216	53.3	41.8	6280	448	10.9	478	399	57.2	2.74	110	2.53	5.02	160
300	300	100	10	16	34	232	58.8	46.2	8030	535	11.7	571	495	67.8	2.9	130	2.7	5.41	174
320	320	100	14	17.5	37	247	75.8	59.5	10870	679	12.1	730	597	80.6	2.81	152	2.6	4.82	182
350	350	100	14	16	34	283	77.3	60.6	12840	734	12.9	781	570	75	2.72	142	2.4	4.45	204
380	380	102	13.5	16	33.5	313	80.4	63.1	15760	829	14	879	615	78.7	2.77	149	2.38	4.58	227
400	400	110	14	18	38	325	91.5	71.8	20350	1020	14.9	1081	846	102	3.04	192	2.65	5.11	240



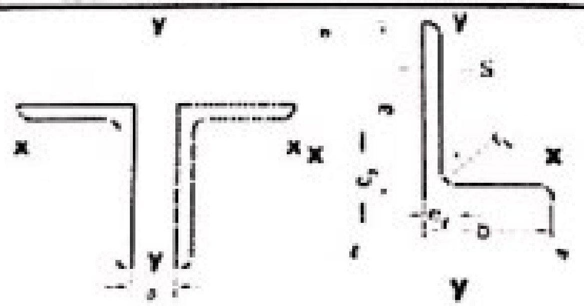
نبشی با ساق های مساوی

	r_1 mm	V_1 cm	A cm^2	G kg/m	$I_x=I_y$ cm^4	$S_x=S_y$ cm^3	$i_x=i_y$ cm	I_ξ cm^4	i_ξ cm	I_η cm^4	S_η cm^3	i_η cm	e cm
40 x 4	6	1.58	3.08	2.42	4.48	1.56	1.21	7.09	1.52	1.86	1.18	0.78	1.12
50 x 5	7	1.98	4.8	3.77	11	3.05	1.51	17.4	1.9	4.59	2.32	0.98	1.4
55 x 5	8	2.15	5.32	4.18	14.7	3.7	1.66	23.3	2.09	6.11	2.84	1.07	1.52
55 x 6	8	2.21	6.31	4.95	17.3	4.4	1.66	27.4	2.08	7.24	3.28	1.07	1.56
60 x 6	8	2.39	6.91	5.42	22.8	5.29	1.82	36.1	2.29	9.43	3.95	1.17	1.69
70 x 7	9	2.79	9.4	7.38	42.4	8.43	2.12	67.1	2.67	17.6	6.31	1.37	1.97
75 x 6	10	2.89	8.75	6.87	45.6	8.35	2.28	72.2	2.87	18.9	6.54	1.47	2.04
75 x 7	10	2.95	10.1	7.94	52.4	9.67	2.28	83.6	2.88	21.1	7.15	1.45	2.09
75 x 8	10	3.01	11.5	9.03	58.9	11	2.26	93.3	2.85	24.4	8.11	1.46	2.13
80 x 7	10	3.13	10.8	8.49	64.2	11.1	2.44	102	3.07	26.5	8.48	1.57	2.21
80 x 8	10	3.2	12.3	9.66	72.3	12.6	2.42	115	3.06	29.6	9.25	1.55	2.26
90 x 8	11	3.53	13.9	10.9	104	16.1	2.74	165	3.45	43.5	12.3	1.77	2.5
90 x 9	11	3.59	15.5	12.2	116	18	2.74	184	3.45	47.8	13.3	1.76	2.54
100 x 8	12	3.87	15.5	12.2	145	19.9	3.06	230	3.85	59.9	15.5	1.96	2.74
100 x 10	12	3.99	19.2	15.1	177	24.7	3.04	280	3.82	73.3	18.4	1.95	2.82
100 x 12	12	4.1	22.7	17.8	207	29.2	3.02	328	3.8	86.2	21	1.95	2.9
110 x 10	12	4.34	21.2	16.6	239	30.1	3.36	379	4.23	98.6	22.7	2.16	3.07
110 x 12	12	4.45	25.1	19.7	280	35.7	3.34	444	4.21	116	26.1	2.15	3.15
120 x 12	13	4.8	27.5	21.6	368	42.7	3.65	584	4.6	152	31.6	2.35	3.4
150 x 15	16	6.01	43	33.8	898	83.5	4.57	1430	5.76	370	61.6	2.93	4.25



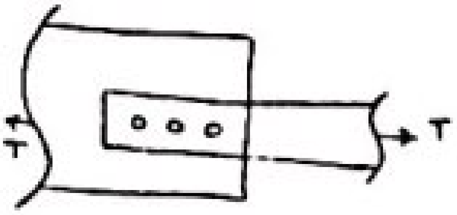
نبشی با ساق های نامساوی

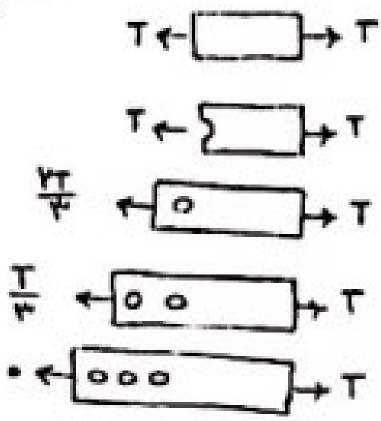
mm	r_1 mm	A cm^2	G kg/m	e_x cm	e_y cm	I_x cm^4	S_x cm^3	r_x cm	I_y cm^4	S_y cm^3	r_y cm	I_ξ cm^4	r_ξ cm	I_η cm^4	r_η cm	a_1 mm
40 X 20 X 4	3.5	2.25	1.77	1.47	0.48	3.59	1.42	1.26	0.6	0.39	0.52	3.79	1.3	0.39	0.42	13.8
50 X 30 X 5	4.5	3.78	2.96	1.73	0.74	9.41	2.88	1.58	2.54	1.12	0.82	10.4	1.66	1.56	0.64	12.2
50 X 40 X 5	4	4.27	3.35	1.56	1.07	10.4	3.02	1.56	5.89	2.01	1.18	13.3	1.76	3.02	0.84	[illegible]
60 X 30 X 5	6	4.29	3.37	2.15	0.68	15.6	4.04	1.9	2.6	1.12	0.78	16.5	1.96	1.69	0.63	21.4
80 X 40 X 6	7	6.89	5.41	2.85	0.88	44.9	8.73	2.55	7.59	2.44	1.05	47.6	2.63	4.9	0.84	29
80 X 40 X 8	7	9.01	7.07	2.94	0.95	57.6	11.4	2.53	9.68	3.18	1.04	60.9	2.6	6.41	0.84	27.2
90 X 60 X 6	7	8.69	6.82	2.89	1.41	71.7	11.7	2.87	25.8	5.61	1.72	82.8	3.09	14.6	1.3	17.8
100 X 50 X 8	9	11.5	8.99	3.59	1.13	116	18	3.18	19.5	5.04	1.31	123	3.28	12.6	1.05	35.4
100 X 50 X 10	9	14.1	11.1	3.67	1.2	141	22.2	3.16	23.4	6.17	1.29	149	3.25	15.5	1.04	33.8
120 X 80 X 12	11	22.7	17.8	4	2.03	323	40.4	3.77	114	19.1	2.25	371	4.04	66.1	1.71	20.2
130 X 65 X 10	11	18.6	14.6	4.65	1.45	321	38.4	4.15	54.2	10.7	1.71	340	4.27	35	1.37	46.8
130 X 65 X 12	11	22.1	17.3	4.74	1.53	376	45.5	4.12	63	12.7	1.69	397	4.24	41.2	1.37	44.6
150 X 75 X 11	10.5	23.6	18.6	5.37	1.65	545	56.6	4.8	93	15.9	1.98	578	4.95	59.8	1.59	54.4
150 X 100 X 12	13	28.7	22.6	4.89	2.42	650	64.2	4.76	232	30.6	2.84	749	5.1	132	2.15	28
150 X 100 X 14	13	33.2	26.1	4.97	2.5	744	74.1	4.73	264	35.2	2.82	856	5.07	152	2.14	26.2
160 X 80 X 12	13	27.5	21.6	5.72	1.77	720	70	5.11	122	19.6	2.1	763	5.26	78.9	1.69	57.9
160 X 80 X 14	13	31.8	25	5.81	1.85	823	80.7	5.09	139	22.5	2.09	871	5.23	90.5	1.69	55.8
180 X 90 X 10	14	26.2	20.6	6.28	1.85	880	75.1	5.8	151	21.2	2.4	934	5.97	97.4	1.93	69
180 X 90 X 12	14	31.2	24.5	6.37	1.93	1040	89.3	5.77	177	25.1	2.38	1100	5.94	114	1.92	67
200 X 100 X 10	15	29.2	23	6.93	2.01	1220	93.2	6.46	210	26.3	2.68	1300	6.66	133	2.14	77.4
200 X 100 X 12	15	34.8	27.3	7.03	2.1	1440	111	6.43	247	31.3	2.67	1530	6.63	158	2.13	75.2



مفاهیم اولیه‌ی طراحی اعضای کششی :

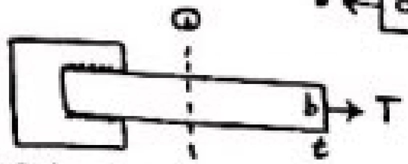
طراحی در محل اتصال یک عضو کششی :





مفهوم سطح مقطع کل و خالص عضو کششی :

سطح مقطع کل : (A_g)



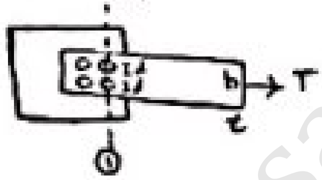
مقطع ① $\rightarrow$ $A_g = bt$

سطح مقطع خالص : (A_n)

الف) برای مسیرهای بحرانی مستقیم :

$$A_n = A_g - \sum_{i=1}^{n} d_i t_i$$

مثال $\rightarrow$

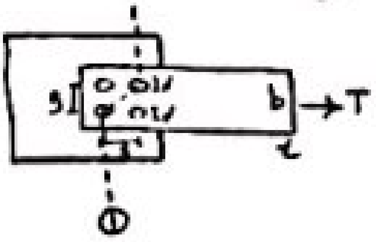


$$\Rightarrow A_n = bt - 2dt$$

ب) برای مسیرهای بحرانی مایل :

$$A_n = A_g - \sum d_i t_i + \sum \frac{s^2}{4g} t$$

مثال $\rightarrow$



$$\Rightarrow A_n = bt - 2dt + \frac{s^2}{4g} t$$

تذکر۱: حواسمان به دبل بودن مقطع باشد.

تذکر۲: برای طراحی، $A_{n_{min}}$ در محاسبات در نظر گرفته می‌شود.

garousi

نمره پیچ	M16	M20	M22	M24	M27	M30	≥ M36
قطر اسمی پیچ (d_b)	16 mm	20 mm	22 mm	24 mm	27 mm	30 mm	$d_b \geq 36$ mm
قطر اسمی سوراخ استاندارد (d)	18 mm	22 mm	24 mm	27 mm	30 mm	33 mm	$d_b + 3$ mm
قطر حسابی سوراخ (D) (حداقل ۲ ...)	20 mm	24 mm	26 mm	29 mm	32 mm	35 mm	$d_b + 5$ mm

سطح مقطع خالص مؤثر عضو کششی (A_e):

اتصال پیچی: $A_e = U A_n$

اتصال جوشی: $A_e = U A_g$

نحوه‌ی محاسبه‌ی ضریب تأخیر برشی (U):

نکته: ضریب U در محاسبه‌ی سطح مؤثر، ضریبی کاهشی بوده و مقدار این ضریب به تعداد و آرایش پیچ‌هایی که در اتصال شرکت دارند و همچنین طول خط جوش در اتصالات جوشی بستگی دارد.

۱) در اعضای کششی که تمام اجزای آنها برای انتقال نیروی کششی متصل شده اند، ضریب U برابر ۱ منظور می‌شود.

۲) در صورتی که سطحی مانند ناودانی یا نبشی نیروی کششی را توسط قسمتی از اجزای مقطع منتقل کند، U برابر است با:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$$

$\bar{x}$: فاصله‌ی صفحه‌ی اتصال تا مرکز سطح قسمت درگیر

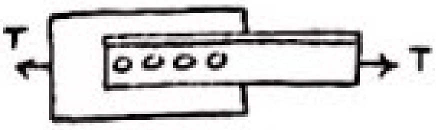
L: طول اتصال (طول خط جوش و یا طول بین اولین پیچ تا آخرین پیچ در راستای نیرو)

۳) در نیمرخ‌های تک که توسط یک بال متصل شده باشند، داریم:

$$U = \max\left(1 - \frac{\bar{x}}{L} , U^*\right)$$

ضریب U^* به صورت زیر تعیین می‌شود:

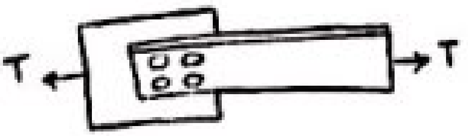
الف) در نیمرخ‌های تک نبشی که دارای اجزای متصل نشده باشند و حداقل چهار وسیله‌ی اتصال در هر ردیف در امتداد نیرو وجود داشته باشد، ضریب U^* برابر ۰٫۸ می‌گردد.



$U^* = ۰٫۸$

ب) در نیمرخ‌های تک نبشی که دارای اجزای متصل نشده باشند و فقط دو و یا سه وسیله‌ی اتصال در هر ردیف در امتداد نیرو وجود داشته باشد، ضریب U^* برابر ۰٫۶ می‌گردد.

$U^* = ۰٫۶$



$U^* = ۰٫۶$

۴) در اتصال تسمه و ورق با جوش های طولی در دو لبه ی موازی، ضریب U طبق روابط زیر تعیین می گردد:

$$\begin{cases} w \leq L < 1.5w \rightarrow U = 0.75 \\ 1.5w \leq L < 2w \rightarrow U = 0.87 \\ L \geq 2w \rightarrow U = 1 \end{cases}$$

L: طول جوش　　　w: پهنای ورق (فاصله ی بین خطوط جوش)

نکته: در ورق های اتصال (وصله) اعضای خرپاها و یا مهاربندها که تحت اثر نیروی کششی قرار می گیرند، داریم:

$$A_e = \min\{A_n, 0.85 A_g\}$$

A_g: سطح مقطع کل ورق اتصال (وصله)

A_n: سطح مقطع خالص ورق اتصال (وصله)

طراحی اعضای کششی:

محاسبه ی مقاومت کششی در طول عضو:

۱) برای تسلیم کششی روی سطح مقطع کل:

$$\left.\begin{array}{l} T_{u_1} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_y A_g \\ \phi_t = 0.9 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u_1} \leq 0.9 F_y A_g$$

۲) برای گسیختگی کششی روی سطح مقطع خالص:

$$\left.\begin{array}{l} T_{u_2} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_u A_n \\ \phi_t = 0.75 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u_2} \leq 0.75 F_u A_n$$

$$T_u = \min(T_{u_1}, T_{u_2})$$

محاسبه ی مقاومت کششی در محل اتصال عضو:

۱) برای تسلیم کششی روی سطح مقطع کل:

$$\left.\begin{array}{l} T_{u_1} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_y A_g \\ \phi_t = 0.9 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u_1} \leq 0.9 F_y A_g$$

۲) برای گسیختگی کششی در مقطع خالص مؤثر عضو در محل اتصال:

$$\left.\begin{array}{l} T_{u_2} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_u A_e \\ \phi_t = 0.75 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u_2} \leq 0.75 F_u A_e \quad , \quad A_e = U . A_n$$

محاسبه ی مقاومت کششی برای ورق اتصال (وصله) :

۱) برای تسلیم کششی روی سطح مقطع کل ؛

A_g : سطح مقطع کل ورق اتصال

$$\left.\begin{array}{l} T_{u1} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_y A_g \\ \phi_t = 0.9 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u1} \leq 0.9 F_y A_g$$

۲) برای گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر عضو در محل اتصال ؛

$$\left.\begin{array}{l} T_{u2} \leq \phi_t T_n \\ T_n = F_u A_e \\ \phi_t = 0.75 \end{array}\right\} \Rightarrow T_{u2} \leq 0.75 F_u A_e \quad , \quad A_e = \min\{A_n , 0.85 A_g\}$$

A_n : سطح مقطع خالص ورق اتصال

کنترل لاغری اعضای کششی :

$$\frac{L}{r_{min}} < 300$$

L : طول عضو بر حسب میلی متر

r_{min} : شعاع ژیراسیون حداقل

محاسبه ی تعداد پیچ لازم در اتصال به کمک مقاومت هر پیچ

$$T_u \leq n A F_y$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

طراحی اعضای فشاری:

مفاهیم اولیه در رابطه با اعضای فشاری:

بار کمانشی ستونها:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad , \quad L_e = kL$$

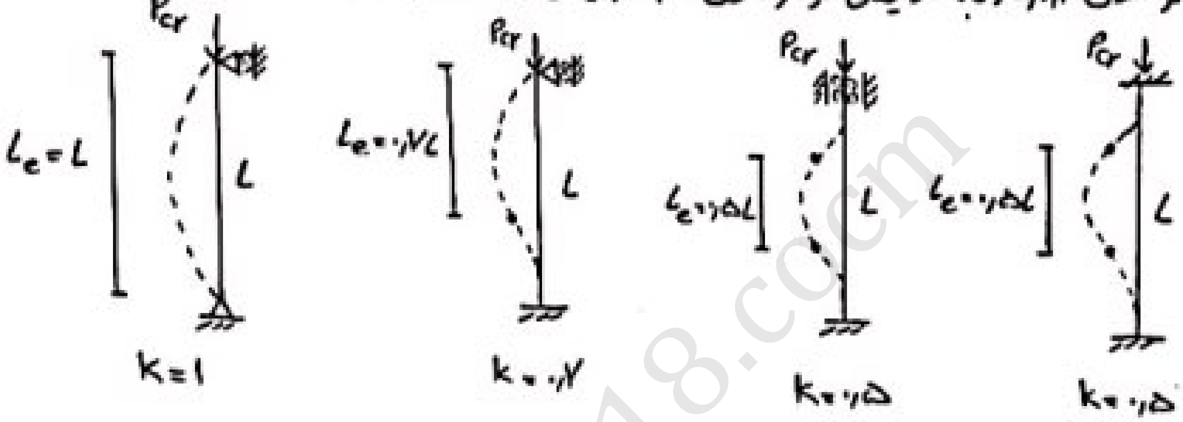
k: ضریب طول مؤثر ستون

کمانش حول محور ضعیف اتفاق می‌افتد. *

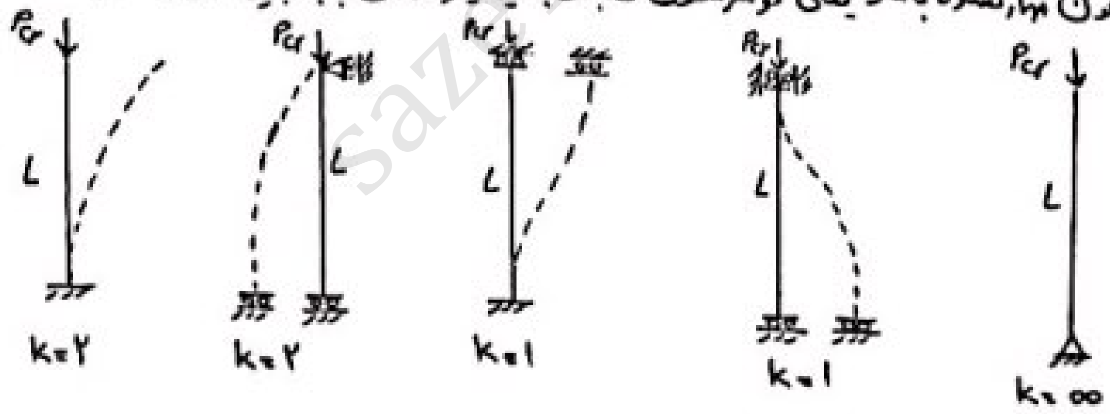
ضریب طول مؤثر (k):

۱) ضریب طول مؤثر ستونهای با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل:

الف) اگر ستون مهارشده باشد یعنی دو سر ستون نسبت به یکدیگر امکان جابجایی افقی نداشته باشد.



ب) اگر ستون مهارنشده باشد یعنی دو سر ستون نسبت به یکدیگر امکان جابه‌جایی افقی داشته باشد.



۲) ضریب طول مؤثر ستون‌های داخل قاب:

الف) ضریب طول مؤثر در یک قاب مهارشده: برای تعیین گام‌های زیر را طی می‌کنیم ($k \leq 1$)

گام ۱) تعیین ضرایب G_A و G_B:

$$G_A = \frac{\Sigma\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{ستون}}}{\Sigma n\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{تیر}}} \quad , \quad G_B = \frac{\Sigma\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{ستون}}}{\Sigma n\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{تیر}}}$$

E: مدول الاستیسیته مصالح

I: ممان اینرسی تیرها و ستونها حول محور عمود بر صفحه کمانش (محور قوی)

L: طول اعضا

n: ضریبی است که بیان کننده شرایط انتهای دور مورد نظر است.

توجه: ضرایب G_A و G_B نشان دهنده‌ی سختی نسبی ستون‌ها به تیرها در نقاط A، B می‌باشند.

گام ۲) محاسبه‌ی ضریب طول مؤثر:

با استفاده از نموگرام صفحه‌ی ۲۹۵ مبحث دهم

برای استفاده از این نموگرام ابتدا ضرایب G_A و G_B را بر روی محورهای سمت چپ و راست با خطی به یکدیگر متصل می‌کنیم. محل تقاطع خط با محور وسط برابر ضریب طول مؤثر است.

ب) ضریب طول مؤثر در یک قاب مهارنشده: برای تعیین گام‌های زیر را طی می‌کنیم: ($K \geq 1$)

گام ۱) تعیین ضرایب G_A و G_B:

$$G_A = \frac{\Sigma \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{ستون}}}{\Sigma n \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{تیر}}} \quad , \quad G_B = \frac{\Sigma \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{ستون}}}{\Sigma n \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{تیر}}}$$

گام ۲) محاسبه‌ی ضریب طول مؤثر:

با استفاده از نموگرام صفحه‌ی ۲۹۷ مبحث دهم و یا با استفاده از رابطه‌ی زیر:

$$K = \sqrt{\frac{1.6 G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}}$$

نکات تکمیلی مربوط به ضریب G:

۱) مقدار ضریب G برای تکیه‌گاه مفصلی از نظر تئوری بی‌نهایت می‌باشد ولی در عمل به علت گیرداری کمی که این نوع از تکیه‌گاه‌ها دارند مقدار این ضریب را در محاسبات برابر $G=10$ در نظر می‌گیریم.

۲) مقدار ضریب G برای تکیه‌گاه گیردار از نظر تئوری صفر می‌باشد ولی در عمل به علت مقداری نرمی که این نوع تکیه‌گاه‌ها دارند مقدار این ضریب را در محاسبات برابر $G=1$ در نظر می‌گیریم.

۳) برای ضریب n داریم:

مهارشده (بدون انتقال جانبی)	مهارنشده (با انتقال جانبی)	شرایط تکیه‌گاهی
۲	$\frac{2}{3}$	گیردار کامل تکیه‌گاهی
۱	۱	گیردار تیر به ستون
$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	مفصل
۰	۰	آزاد

garusi

نسبت لاغری در ستون‌ها:

$\lambda = \frac{kL}{r}$

r: شعاع ژیراسیون
L: طول اعضا

تذکر: نسبت لاغری حداکثر در اعضای فشاری نباید از ۲۰۰ تجاوز کند.

توجه: از بین مقادیر محاسبه شده برای λ باید بیشترین آنها به عنوان طراحی λ در نظر گرفته شود.

طراحی اعضای فشاری:

حدس اولیه:

$ST37 \rightarrow f_y = 2400\ kg/cm^2 \ , \ f_u = 3700\ kg/cm^2 \Rightarrow F_{cr} = (0.5 \text{ تا } 0.7) f_y$

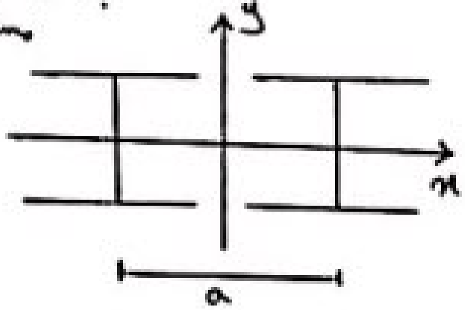
$ST52 \rightarrow f_y = 3600\ kg/cm^2 \ , \ f_u = 5200\ kg/cm^2 \Rightarrow F_{cr} = (0.5 \text{ تا } 0.7) f_y$

بند (۱۰-۲-۴-۱): شرط اول - مقاومت:

$$\left.\begin{aligned} P_u &\leq \phi_c P_n \\ P_n &= F_{cr} A_g \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_u \leq \phi_c F_{cr} A_g \quad , \quad \phi_c = 0.9$$

بند (۱۰-۲-۴-۳): شرط دوم - صلبیت:

$\lambda = \left(\frac{kL}{r}\right)_{max} < 200$ → چراکه نیرو مقطع دوبل می‌شود و مساحت دو برابر می‌شود.



$$I'_x = I'_y \Rightarrow 2I_x = 2\left(I_y + A\left(\frac{a}{2}\right)^2\right)$$

$$A' = 2A \quad , \quad r'_x = \sqrt{\frac{I'_x}{A'}} \quad , \quad r'_y = \sqrt{\frac{I'_y}{A'}}$$

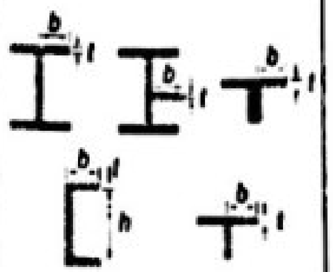
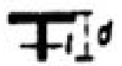
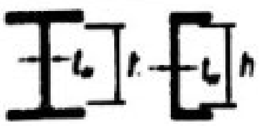
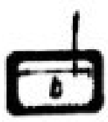
I_x، I_y، A مربوط به مقطع تک پروفیل می‌باشد.

کنترل کمانش موضعی در اعضای تحت نیروی فشاری (کنترل لاغری):

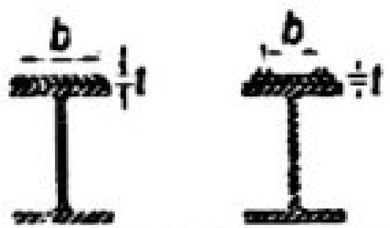
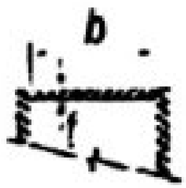
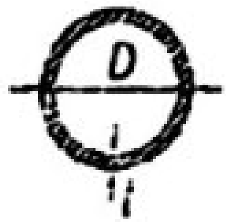
الف) مقطع با اجزای غیرلاغر: اگر نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع از λ_r تجاوز نکند.

ب) مقطع با اجزای لاغر: اگر نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع از λ_r بیشتر شود.

جدول ۱۰-۲-۲-۱ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_r (لاغر/غیرلاغر)	مثال‌های نمونه
۱	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ورق‌های سرریزده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های برجسته جفت نبشی با تصل پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سپری	b/t	[a] $۰/۵۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق و ورق‌ها یا ساق‌های نبشی بیرون زده از مقاطع I شکل ساخته شده از ورق	b/t	$۰/۶۴\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۳	ساق‌های نبشی‌های تک، ساق‌های نبشی‌های جفت دارای جداکننده (لقمه) و سایر اجزای تقویت نشده	b/t	$۰/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۴	تیغه (جان) مقاطع سپری	d/t	$۰/۷۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۶	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

جدول ۱۰-۲-۲-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_r (لاغر/غیرلاغر)	مثال‌های نمونه
۷	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۸	سایر اجزای فشاری تقویت شده	b/t	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۹	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$۰/۱۱\frac{E}{F_y}$	

م	>	<	حالت

جدول ۱۰

اصلاح لاغری (اتصال قطعات بست به مقطع به صورت جوشی و یا پیچی با عملکرد اصطکاکی):

★ برای مقاطع دوبل کنترل می‌شود.

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_o = \left(\frac{kL}{r}\right)_y$$

a: فاصله‌ی بین بستها

r_i: مینیمم شعاع ژیراسیون تک

$$\frac{ka}{r_i} \leqslant \frac{3}{4}\max\{\lambda_x , \lambda_{y_m}\} \rightarrow a = ? \rightarrow \text{نصف عضو}$$

$$\begin{cases} \frac{a}{r_i} > 40 \rightarrow \text{اصلاح نیاز دارد} \rightarrow \left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} \\ \frac{a}{r_i} \leqslant 40 \rightarrow \text{اصلاح نیاز ندارد} \rightarrow \left(\frac{kL}{r}\right)_m = \left(\frac{kL}{r}\right)_o \end{cases}$$

$$k_i = \begin{cases} 0.5 & \text{برای نبشی پشت به پشت} \\ 0.75 & \text{برای ناودانی پشت به پشت} \\ 0.86 & \text{برای سایر مقاطع} \end{cases}$$

محاسبه مقاومت فشاری با ضوابط حالت‌های کمانش:

گام ۱) تعیین حالت‌های حدی کمانش عضو فشاری براساس جدول صفحه‌ی بعد

گام ۲) محاسبه‌ی مقدار F_e برای حالت‌های مورد نظر

گام ۳) محاسبه‌ی مقدار F_{cr}:

الف) $E = 2.1 \times 10^6 \ kg/cm^2$

$$\lambda_{max} = \left(\frac{kL}{r}\right)_{max} \leqslant 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$$

ب)

$$\lambda_{max} = \left(\frac{kL}{r}\right)_{max} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$$

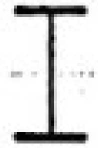
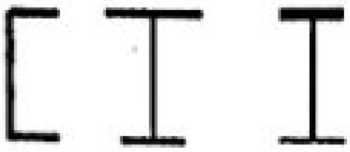
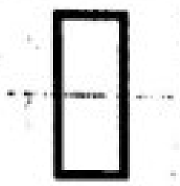
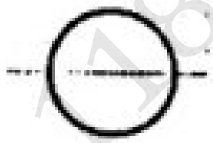
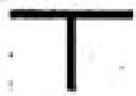
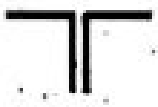
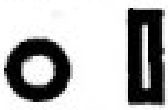
گام ۴) کوچکترین مقدار F_{cr} بین حالت‌های حدی مورد نظر به عنوان حالت بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

گام ۵) $P_n = F_{cr} A_g$

گام ۶) $P_u \leqslant \phi_c P_n$ ، $\phi_c = 0.9$

gorousi

جدول ۱۰-۲-۴-۱ حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری برای مقاطع مختلف بدون اجزای لاغر

ردیف	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی
۱	• مقطع I شکل با دو محور تقارن		• کمانش خمشی • کمانش پیچشی
۲	• مقطع I شکل با یک محور تقارن • مقاطع ناودانی		• کمانش خمشی • کمانش خمشی-پیچشی
۳	• مقاطع صلیبی • مقاطع مرکب		• کمانش خمشی • کمانش پیچشی
۴	• مقاطع توخالی مستطیلی شکل		• کمانش خمشی
۵	• مقاطع توخالی دایره‌ای شکل		• کمانش خمشی
۶	• مقاطع سپری		• کمانش خمشی • کمانش خمشی - پیچشی
۷	• مقاطع مرکب از دو نیمرخ نبشی پشت به پشت		• کمانش خمشی • کمانش خمشی - پیچشی
۸	• مقاطع نبشی تک		• الزامات بند ۱۰-۲-۴-۶
۹	• مقاطع توپر		• کمانش خمشی
۱۰	• مقاطع بدون محور تقارن غیر از نبشی‌های تک		• کمانش خمشی- پیچشی

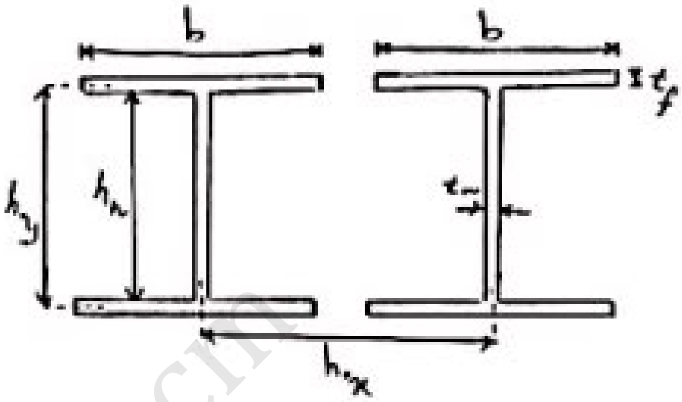
حالت حدی کمانش خمشی :

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{KL}{r})^2}$$

حالت حدی کمانش پیچشی :

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L)^2} + GJ\right]\left(\frac{1}{I_x + I_y}\right)$$

با پارامترهای استفاده شده در رابطه‌ی بالا :



(ثابت پیچشی) $J = \sum_{i=1}^{n} \frac{bt^3}{3}$

(ثابت تابیدگی) $C_w = 2(I_y \frac{h_{oy}^2}{2}) + I_x \frac{h_{ox}^2}{2}$

$I_y = \frac{t_f \times b^3}{12}$

$I_x = \frac{t_w \times h_w^3}{12}$

(مدول الاستیسیته برشی) $G = \frac{E}{2.6} = 807692.31$

I_x , I_y : همان اینرسی حول محورهای اصلی

k_z : ضریب طول موثر برای کمانش پیچشی می‌توان به طور محافظه‌کارانه برابر ۱ گرفته شود.

حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی :

الف) برای مقاطع با یک محور تقارن که محور تقارن آنها y نامگذاری شده باشد.

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right]$$

ب) برای مقاطع نامتقارن

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0$$

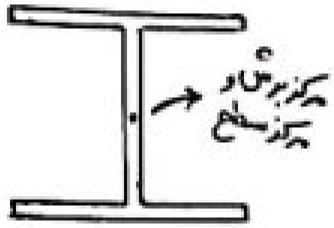
که در رابطه‌ی بالا F_e از درجه‌ی سوم است و کوچکترین ریشه را انتخاب می‌کنیم.

پارامترهای مورد استفاده در این روابط:

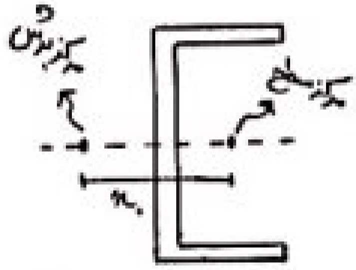
$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$\bar{r}_0$: شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش

x_0 و y_0 : مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح

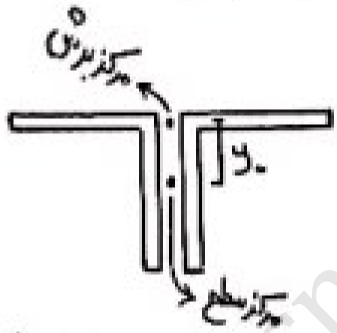


$\Rightarrow x_0 = 0 \quad y_0 = 0$

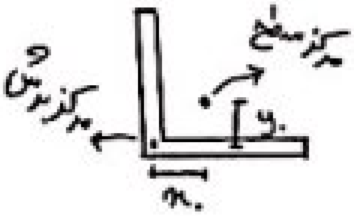


$\Rightarrow y_0 = 0$

$\Rightarrow x_0 = 0$



$\Rightarrow x_0 = 0$



مرکز برش: نقطه‌ای فرضی که اگر بار خارجی به آن نقطه اعمال شود لنگر پیچشی مقطع صفر می‌شود.

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2}$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L}{r_x}\right)^2}$$

F_{ex} : تنش کمانشی خمشی الاستیک حول محور اصلی x

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2}$$

F_{ey} : تنش کمانشی خمشی الاستیک حول محور اصلی y

r_x , r_y : شعاع ژیراسیون حول محورهای اصلی x و y

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right] \frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$$

F_{ez} : تنش کمانشی پیچشی الاستیک

Scanned by CamScanner

برای اعضای فشاری با مقطع سپری و نبشی جفت، نیازی به محاسبه‌ی مقدار F_e نیست و بار مقدار F_{cr} در چهار گام زیر تعیین می‌گردد:

گام ۱) برای مقاطع سپری، نسبت لاغری به صورت $(\frac{KL}{r})_y$، $\frac{KL}{r}$ یعنی حول محور تقارن y محاسبه شود.
برای مقاطع نبشی جفت نسبت لاغری اصلاح شده به صورت $(\frac{KL}{r})_m$، با $\frac{KL}{r}$ از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

گام ۲) بر اساس نسبت لاغری گام قبل، ابتدا مقدار F_e از رابطه‌ی $F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{KL}{r})^2}$ به دست آید و سپس مقدار F_{cr} از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود که این مقدار را F_{cry} می‌نامیم.

$$\lambda \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow F_c = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$$

$$\lambda > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow F_c = 0.877 F_e$$

گام ۳) مقدار F_{crz} از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

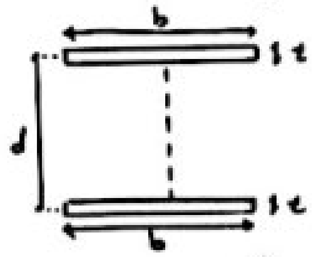
$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^2}$$

گام ۴) اکنون مقدار F_{cr} از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

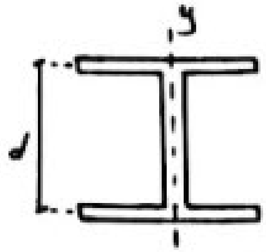
$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right]$$

garousi

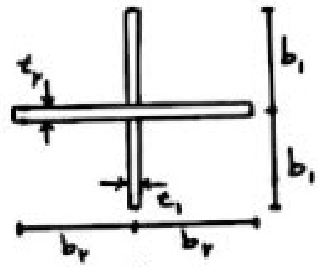
روابط ثابت تابیدگی (C_w) :



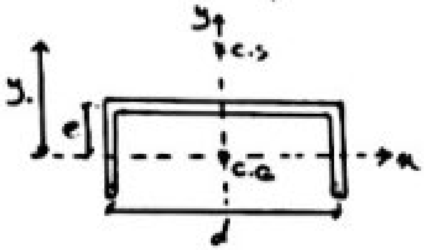
$$C_w = \left(\frac{tb^3}{12}\right)\times\left(\frac{d^2}{2}\right)$$



$$C_w = I_y \frac{d^2}{4}$$

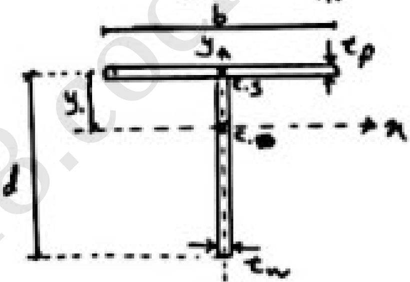


$$C_w = \frac{b_1^3 \cdot t_1^3}{18} + \frac{b_2^3 \cdot t_2^3}{18}$$



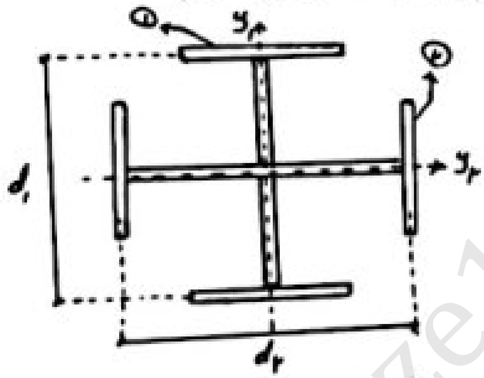
$$y_0 = \frac{d^2}{4}\cdot\frac{e}{r_y^2}+e$$

$$C_w = \frac{d^2}{4}\left(I_x - y_0 e A + 2Ae^2\right)$$

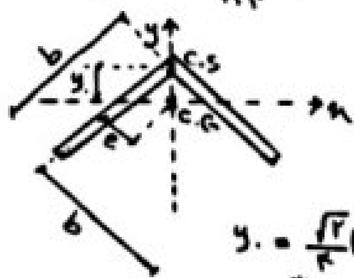


$$y_0 = \frac{t_w \cdot d^2}{A}\times\frac{1}{4}$$

$$C_w = \frac{(d \cdot t_w)^3}{36} + \frac{(b \cdot t_f)^3}{144}$$

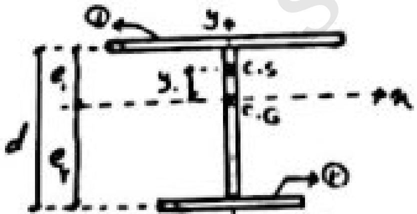


$$C_w = I_{y_1}^{(1)} \frac{d_1^2}{4} + I_{y_2}^{(2)} \frac{d_2^2}{4}$$



$$y_0 = \frac{\sqrt{2}}{4}b \cdot \sqrt{2}e$$

$$C_w = \frac{A^3}{144}$$



$$y_0 = \frac{e_1 I_y^{(1)} - e_2 I_y^{(2)}}{I_y}$$

$$C_w = \frac{d^2 I_y^{(1)} I_y^{(2)}}{I_y}$$

طراحی اعضای خمشی :

مفاهیم اولیه خمش :

برای یک مقطع [illegible] لنگر خمشی، لنگرهای تسلیم، پلاستیک، ضریب شکل، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

طراحی اعضای خمشی :

مفاهیم اولیه خمش :

برای یک مقطع موازی تحت اثر لنگر خمشی ، لنگرهای تسلیم، پلاستیک و ضریب شکل به صورت زیر تعریف می شوند:

$S.F. = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S}$: ضریب شکل ، $M_p = F_y Z$: لنگر پلاستیک ، $M_y = F_y S$: لنگر تسلیم

پارامتر S اساس مقطع الاستیک و پارامتر Z اساس مقطع پلاستیک نام دارد.

ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) :

برای اعضای با مقطع دارای یک محور تقارن و با انتهای ساده و خمش حول محور قوی و برای کلیه ی اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن ، ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) در نمودار لنگر خمشی غیر یکنواخت در حد فاصل دو مقطع مهارشده از رابطه ی زیر تعیین می شود :

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

M_{max} : قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر در حد فاصل دو مقطع مهارشده

M_A : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی $\frac{1}{4}$ در حد فاصل دو مقطع مهارشده

M_B : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی $\frac{1}{2}$ در حد فاصل دو مقطع مهارشده

M_C : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی $\frac{3}{4}$ در حد فاصل دو مقطع مهارشده

تبصره ۱ : برای تیرهای طره ای که انتهای آزاد آنها مهارنشده است، C_b مساوی واحد می باشد.

تبصره ۲ : برای اعضای با مقطع دارای یک محور تقارن و با انتهای مضاعف ، ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) باید به شرح زیر با ضریب R_m اصلاح شود. دقت کنید که در هر صورت مقدار C_b اصلاح شده نباید از ۳ بزرگتر در نظر گرفته شود.

$$R_m = 0.5 + 2\left(\frac{I_{y\,min}}{I_y}\right)^2$$

I_y : ممان اینرسی حول محور اصلی y

$I_{y\,min}$: ممان اینرسی بال ضعیف تر (کوچکتر) مقطع حول محور اصلی y

تبصره ۳ : برای اعضای خمشی با مقطع نامتقارن، C_b را می توان به طور محافظه کارانه مساوی واحد در نظر گرفت.

شعاع ژیراسیون مؤثر در کمانش پیچشی - جانبی (r_{ts}):

رابطه‌ی کلی برای محاسبه‌ی این پارامتر به صورت زیر می‌باشد.

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

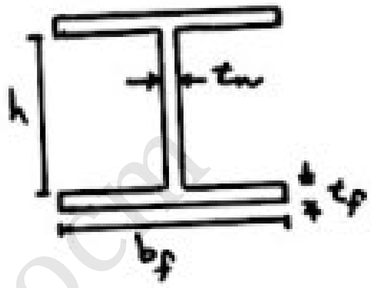
چند حالت خاص:

۱) برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن:

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_0}{2 S_x}}$$

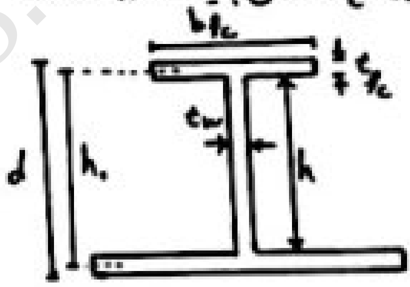
۲) برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن به صورت محافظه‌کارانه:

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{h t_w}{6 b_f t_f}\right)}}$$



۳) برای مقاطع I شکل با یک محور تقارن:

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_0 d}\right)}}$$



I_y : ممان اینرسی مقطع حول محور y (محور ضعیف)

S_x : اساس مقطع الاستیک حول محور x (محور قوی)

C_w : ثابت تابیدگی

b_{fc} : پهنای بال فشاری

t_{fc} : ضخامت بال فشاری

h_0 : مرکز تا مرکز بال‌ها

gorousi

الزامی اعضای خمشی:

$$\left.\begin{array}{l} M_u \leq \phi_b M_n \\ M_n = M_p = Z F_y \end{array}\right\} \Rightarrow M_u \leq \phi_b F_y Z \quad , \quad \phi_b = 0.9$$

کنترل کمانش موضعی در اعضای تحت لنگر خمشی (کنترل فشردگی):

if $\lambda < \lambda_p \rightarrow$ مقطع فشرده

if $\lambda_r > \lambda > \lambda_p \rightarrow$ مقطع غیرفشرده

if $\lambda > \lambda_r \rightarrow$ مقطع با اجزای لاغر

در جدول صفحه بعد پارامترهایی وجود دارد که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

مقدار k_c از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$$

برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده، مقدار F_L از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد.

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7 \rightarrow F_L = 0.7 F_y$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \rightarrow F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y$$

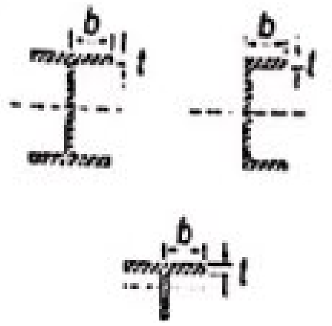
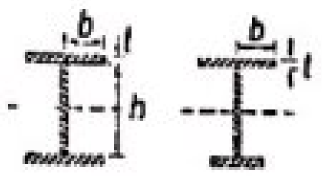
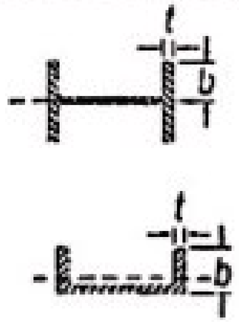
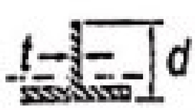
S_{xt}: اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی

S_{xc}: اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

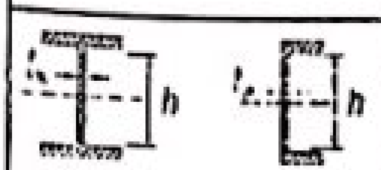
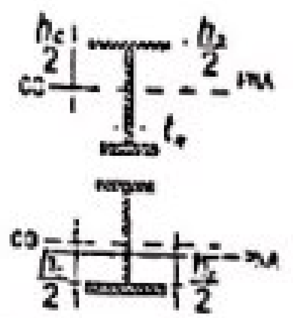
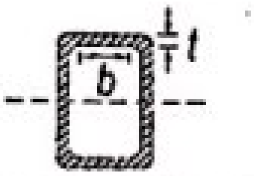
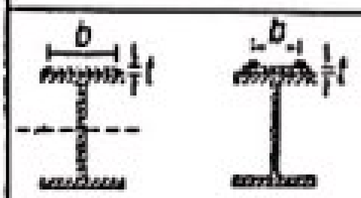
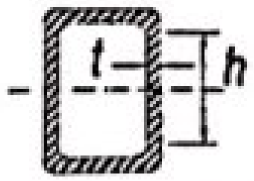
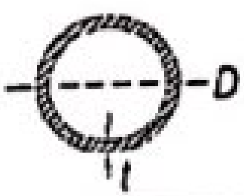
لنگرهای مقاوم مقطع شامل M_y: لنگر تسلیم در دورترین تار و M_p: لنگر خمشی پلاستیک

جدول ۱۰-۲-۳-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر خمش

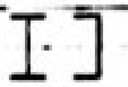
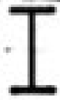
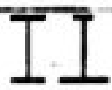
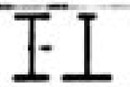
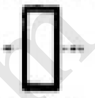
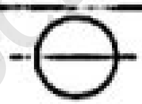
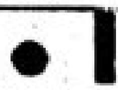
جدول ۱۰-۲-۲-۳ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_p (فشرده/غیرفشرده)	λ_r (غیرفشرده/لاغر)	مثال‌های نمونه
۱۰	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	b/t	۰/۳۸ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	۱/۰ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۱	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	b/t	۰/۳۸ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	[b],[c] ۰/۹۵ $\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$	
۱۲	ساق‌های نبشی‌های تک	b/t	۰/۵۴ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	۰/۹۱ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۳	بال‌های کلیه مقاطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	b/t	۰/۳۸ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	۱/۰ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۴	تیغه (جان) مقاطع سپری	d/t	۰/۸۴ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	۱/۰۳ $\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

جدول ۱۰-۲-۲-۴ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: λ_p (فشرده/غیرفشرده)	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: λ_r (غیرفشرده/لاغر)	مثال‌های نمونه
۱۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$۳/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۶	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن	h_c/t_w	[d] $\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{(۰/۵۴\frac{M_p}{M_y}-۰/۰۹)^۲} \le \lambda_r$	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۷	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۸	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۹	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) و جعبه‌ای	h/t	$۲/۴۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲۰	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$۰/۰۷۱\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	

جدول ۱۰-۲-۵-۱ انتخاب بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی

بند مربوطه	مقطع	لاغری بال	لاغری جان	حالت حدی
۱۰-۲-۵-۲		C	C	Y, LTB
۱۰-۲-۵-۳		NC	C	LTB, FLB
۱۰-۲-۵-۴		C, NC	C, NC	Y, LTB, FLB, TFY
۱۰-۲-۵-۵		C, NC	S	Y, LTB, FLB, TFY
۱۰-۲-۵-۶		C, NC	N/A	Y, FLB
۱۰-۲-۵-۷		C, NC	C, NC	Y, FLB, WLB
۱۰-۲-۵-۸		N/A	N/A	Y, LB
۱۰-۲-۵-۹		C, NC	N/A	Y, LTB, FLB
۱۰-۲-۵-۱۰		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
۱۰-۲-۵-۱۱		N/A	N/A	Y, LTB
۱۰-۲-۵-۱۲	مقاطع نامتقارن به غیر از نبشی تک	N/A	N/A	کلیهٔ حالت‌های حدی

Y - تسلیم

LTB - کمانش پیچشی – جانبی

FLB - کمانش موضعی بال

WLB - کمانش موضعی جان

TFY - تسلیم کششی بال

LLB - کمانش موضعی ساق

LB - کمانش موضعی

C - فشرده

NC - غیرفشرده

S - لاغر

N/A - کاربرد ندارد

۱) مقاومت خمشی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و با مقطع ناودانی فشرده، تحت خمش حول محور قوی

الف) حالت حدی تسلیم (y):

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_p : لنگر پلاستیک

F_y : تنش تسلیم مصالح

Z_x : اساس مقطع پلاستیک حول محور x

ب) حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی (LTB):

۱) اگر $L_b \leq L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیچشی ـ جانبی نمی‌باشد.

۲) برای $L_p \leq L_b \leq L_r$:

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

۳) برای $L_b > L_r$:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

توجه: به طور کلی در هنگام طراحی یک عضو باید حالت بحرانی در طراحی منظور شود و این یعنی مقدار کمتر ظرفیت عضو باید مد نظر قرار گیرد. پس در طراحی تیرهای مورد نظر از روش فوق باید مقدار M_n مینیمم بین حالت های حدی حاکم در نظر گرفته شود.

پارامترهای استفاده شده در روابط فوق:

L_b : فاصله‌ی بین دو مقطع از طول عضو که در آن مقاطع از تغییر مکان جانبی بال فشاری یا از پیچش کل مقطع جلوگیری شده است فاصله تکیه‌گاه‌های جانبی نامگذاری می‌شود.

L_p : طول مهارنشده‌ی عضو مطابق رابطه‌ی زیر که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند.

$$L_p = 1.76\, r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_r : طول مهارنشده‌ی عضو مطابق رابطه‌ی زیر که مرز بین حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی را مشخص می‌کند.

$$L_r = 1.95\, r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}}$$

F_{cr} : تنش کمانشی الاستیک پیچشی - جانبی مطابق رابطه زیر:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

c : ضریبی است طبق روابط زیر:

$c = 1$ برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن

$c = \frac{h_o}{2}\sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$ برای مقاطع ناودانی

۲) مقاومت خمشی مقاطع I شکل با دو محور تقارن با بالهای غیرفشرده و جان فشرده حول محور قوی:

الف) حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی (LTB):

الزامات این حالت حدی عیناً مشابه حالت قبلی است.

ب) حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری غیرفشرده (FLB):

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)\right]$$

λ : نسبت پهنا به ضخامت بال فشاری و برابر با $\frac{b_f}{2t_f}$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$: حد لاغری برای بال فشرده

$\lambda_r = \lambda_{rf}$: حد لاغری برای بال غیرفشرده

۳) مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف:

الف) حالت حدی تسلیم (Y):

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

S_y : اساس مقطع الاستیک نسبت به محور ضعیف

Z_y : اساس مقطع پلاستیک نسبت به محور ضعیف

ب) حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری (FLB):

ب - ۱) برای مقاطع با بالهای فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال نمی باشد.

ب - ۲) برای مقاطع با بالهای غیرفشرده:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)\right]$$

S_y : اساس مقطع الاستیک نسبت به محور ضعیف

طراحی تیر - ستون تحت اثر لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری :

برای حل سوالات مربوط به تیر - ستون گام های زیر را طی می کنیم :

گام ۱) حدس اولیه و بررسی شروط مقاومت و صلبیت (بخش فشاری)

گام ۲) بررسی شروط مقاومت خمشی و حدس مقطع (بخش خمشی)

گام ۳) کنترل لاغری (بخش فشاری)

گام ۴) کنترل فشردگی (بخش خمشی)

گام ۵) محاسبه ی ضریب طول مؤثر (بخش فشاری)

گام ۶) اصلاح لاغری در صورت دوبل طراحی شدن مقطع (بخش فشاری)

گام ۷) بررسی حالات حدی حاکم [ظرفیت اسمی فشاری] (بخش فشاری)

گام ۸) $P_u = P_{nt} + P_{lt}$ (مقاومت فشاری مورد نیاز)

گام ۹) بررسی شروط زیر :

$$\begin{cases} \dfrac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0{,}2 \rightarrow \dfrac{P_u}{\phi_c P_n} + \dfrac{8}{9}\left(\dfrac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \dfrac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1 \quad , \quad \phi_c = 0{,}9 \\ \dfrac{P_u}{\phi_c P_n} < 0{,}2 \rightarrow \dfrac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\dfrac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \dfrac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1 \quad , \quad \phi_c = 0{,}9 \end{cases}$$

M_{ux} : مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی x

M_{uy} : مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف y

$\phi_b M_{nx}$: مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی x

$\phi_b M_{ny}$: مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف y

ϕ_b : ضریب کاهش مقاومت برای خمش

گام ۱۰) بررسی حالات حدی حاکم [ظرفیت اسمی خمشی] (بخش خمشی)

گام ۱۱) محاسبه ی B_1 :

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}} < 1$$

C_m : ضریب هم‌کانی لنگر حداکثر ناشی از تحلیل اولیه با لنگر ثانویه در راستای بدون انتقال جانبی

$$C_m = 0{,}6 - 0{,}4\left(\frac{M_1}{M_2}\right) > 0{,}4$$

M_1 : لنگر کوچکتر (لهم M_1 کوچکتر)

M_2 : لنگر بزرگتر (لهم M_2 بزرگتر)

نکته: برای تیر-ستون هایی که در طول، بارگذاری عرضی دارند: $C_m = 1$

$$P_{e_1} = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

I: ممان اینرسی حول محور قوی

گام ۱۲) محاسبه‌ی B_2:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\Sigma P_{e_2}}}$$

نکته: اگر طبقه مهار شده باشد $B_2 = 1$ است.

ΣP_u: جمع نیروهای فشاری ستونهای طبقه و طبقات بالای ستون

ΣP_{e_2}: جمع ظرفیت فشاری اویلر ستون‌های طبقه $\rightarrow \Sigma P_{e_2} = \dfrac{\pi^2 E I}{(KL)^2}$

I: ممان اینرسی حول محور قوی

گام ۱۳) تشدید نیروها و لنگر:

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \Rightarrow \begin{cases} M_u = B_1 M_{nt_{top}} + B_2 M_{lt_{top}} \\ M_u = B_1 M_{nt_{bot}} + B_2 M_{nt_{bot}} \end{cases}$$

گام ۱۴) کنترل کفایت مقطع:

$$\begin{cases} \dfrac{P_u}{\phi_c P_n} + \dfrac{8}{9}\left(\dfrac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \dfrac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1 \\ \text{یا} \\ \dfrac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\dfrac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \dfrac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1 \end{cases} \rightarrow$$

جوابگو نبود مقطع دوبل طراحی می‌شود.

تعریف دو پارامتر:

M_{nt}: لنگر خمشی مرتبه‌ی اول حاصل از بارهای ضریبدار با فرض عدم انتقال جانبی قاب تحت بارهای ثقلی

M_{lt}: لنگر خمشی مرتبه‌ی اول حاصل از بارهای ضریبدار ناشی از انتقال جانبی قاب تحت بارهای جانبی

P_n: ظرفیت اسمی فشاری

P_u: نیروی محوری ضریبدار با در نظر گرفتن اثر P.Δ و P.δ

Jarousizi