

مبانی و مفاهیم

ترکیبات بارگذاری روشن LRFD بر اساس آیین نامه AISC آمریکا

شرایط	ترکیب بار
ترکیب بار مبنا (مرده + بهره برداری)	$1/4 D$
	$1/2 D + 1/6 L + 0/5 (L_T \text{ یا } S \text{ یا } R)$
	$1/2 D + 1/6 (L_T \text{ یا } S \text{ یا } R) + L$
ترکیب بار مرده، بهره برداری و زلزله یا باد	$1/2 D + 1/6 (L_T \text{ یا } S \text{ یا } R) + 0/5 W$
	$1/2 D + W + L + 0/5 (L_T \text{ یا } S \text{ یا } R)$
	$1/2 D + E + L + 0/2 S$
	$0/9 D + (W \text{ یا } E)$

D: بار مرده،

L: بار بهره برداری شامل بار زنده طبقات،

L_T : سر بار حاکم بر بام شامل بار زنده بام یا بار برف یا بار باران،

W: بار باد،

E: بار زلزله طرح بر اساس استاندارد ۲۸۰۰،

ضرایب کاهش مقاومت بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و AISC آمریکا

$\phi_c = 0/9$	برای فشار محوری
$\phi_v = 0/9$ یا $1/0$	برای برش
$\phi_b = 0/9$	برای لنگر خمشی
$\phi_t = 0/9$	برای تسلیم عضو کششی
$\phi_t = 0/75$	برای گسیختگی عضو کششی
$\phi_v = 0/75$	برای گسیختگی برشی
$\phi = 0/75$	برای مقاومت اتکایی
$\phi_t = 0/9$	برای لنگر پیچشی
$\phi_c = 0/6$	برای مقاومت اتکایی ورق کف ستون
$\phi = 0/75$ یا $0/85$ یا $1/0$	برای پیچ ها
$\phi_w = 0/75$ یا $0/8$	برای جوش ها

مقاومت کششی

1) کنترل تسلیم مقطع کل (نیر خالص) (A_g) ، برای جلوگیری از تغییر شکل های زیاد :

$$P_u \leq \phi_t \cdot P_{n1}$$

P_{n1} = مقاومت کششی مورد نیاز (Demand) = نیروی کششی نهایی (ضریب بار)

$$P_{n1} = F_y \cdot A_g$$

P_{n1} = مقاومت کششی نهایی اسی حالت تسلیم

$$\phi_t = 0.9$$

ϕ_t = ضریب کاهش مقاومت حالت تسلیم

2) کنترل گسستگی کششی مقطع خالص مؤثر (A_e) ، این کنترل در محل اتصالات انجام میشود :

$$P_u \leq \phi_t \cdot P_{n2}$$

P_{n2} = مقاومت کششی نهایی اسی حالت گسستگی

$$P_{n2} = F_u \cdot A_e$$

ϕ_t = ضریب کاهش مقاومت حالت گسستگی

$$\phi_t = 0.75$$

تعین سطح مقطع عضو

- سطح مقطع نیر خالص :

$$A_g = \text{gross Area}$$

- سطح مقطع خالص :

$$A_n = \text{net Area}$$

$$A_n = A_g - \text{سوراخها} + 2 \frac{S^2}{4g} \times t$$

الف) برای اتصالات بیچی :
 ب) برای اتصالات جوشی : معمولاً $A_n = A_g$ ، اما در دو حالت [مقاطع لولای بایک

ورت اتصال هم محور = ردیف ۵ جدول ۱-۲-۱۰] و [مقاطع توپول شکل بایک ردیف

اتصال هم محور = ردیف ۶ جدول ۱-۲-۱۰] داریم :
 $A_n = A_g - \text{سوراخها}$

- سطح مقطع خالص مؤثر :

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$U = \text{Max} \begin{cases} U_1 = \frac{\text{مساحت مقطعی که نیرو منتقل میکند}}{A_g} \\ U_2 = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \rightarrow \text{فرج از مرکزیت اتصال} \\ U_3 = \text{مساحت زینهای جدول لولای ۱-۲-۱۰ در صورتیکه موجود باشد} \end{cases} \begin{cases} \bar{x} = \text{فاصله از مرکزیت اتصال} \\ l = \text{طول اتصال} \end{cases}$$

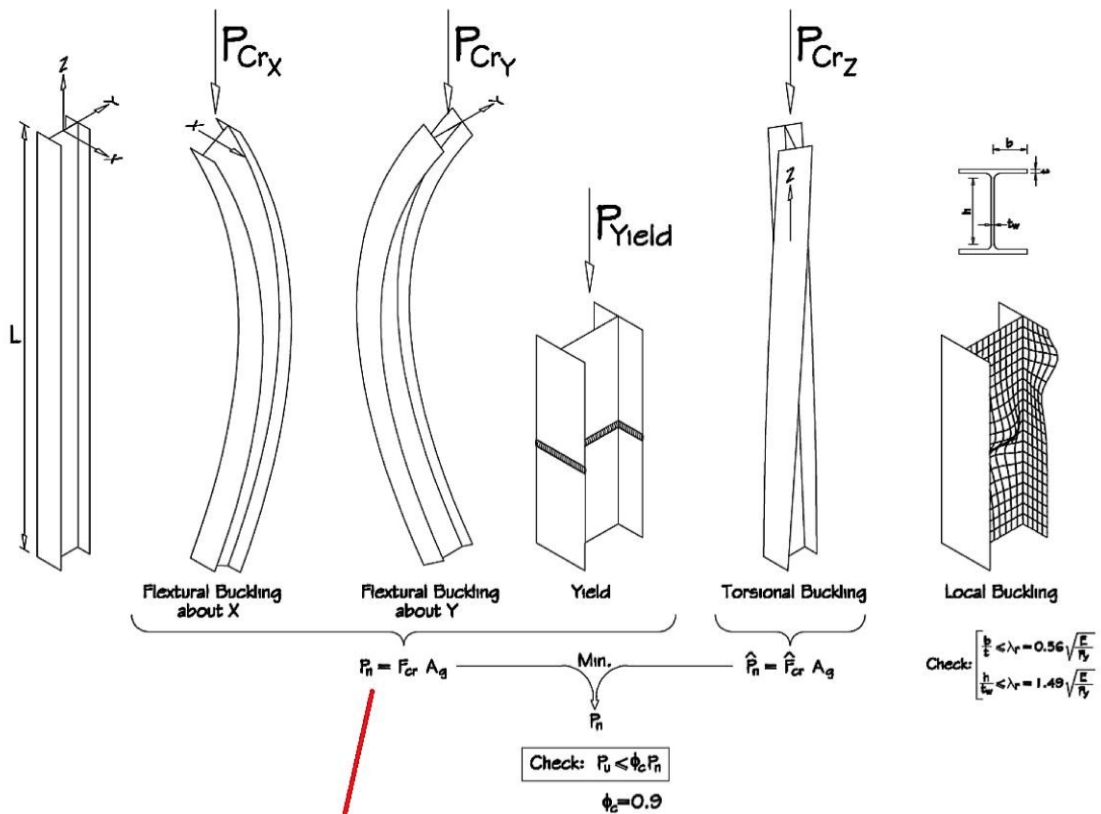
در مورد اتصالات بیچی l = فاصله اولین و آخرین بیج (در تعداد نیرو)

جدول ۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اعضای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال
۱	کلیه اعضای کششی که در آنها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶)	$U = 1$	
۲	کلیه اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1$ = A_n / سطح مقطع قسمت (یا قسمتهای) اتصال یافته	
۴	تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصله عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد.	$w \leq l < 1/5w \dots U = 0.75$ $1/5w \leq l < 2w \dots U = 0.87$ $l \geq 2w \dots U = 1.0$	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$D \leq l < 1/3D \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $l \geq 1/3D \dots U = 1.0$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$	
۶	در مقاطع قوطی شکل چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{2(B+H)}$	

۷	در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$b_f \geq \frac{1}{4}d \Rightarrow U = 0.9$ $b_f < \frac{1}{4}d \Rightarrow U = 0.85$	در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده شده از آن‌ها و همچنین
	در اتصالات جوشی و پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.7$	نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.
۸	چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.8$	در نیمرخ‌های تک‌نبشی در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.
	چنانچه دو یا سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.6$	

مقاومت فشاری



۱- حالت حدی کمانش خمشی

الف) اگر $\frac{F_y}{F_e} \leq 2/25$ یا $\frac{KL}{r} \leq 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد:

$$F_{cr} = [0.658 \frac{F_y}{F_e}] F_y$$

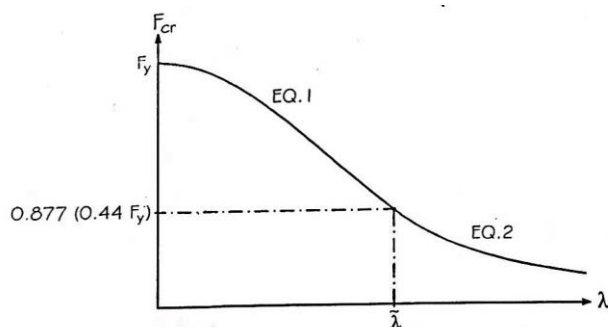
(۲-۴-۲-۱۰)

ب) اگر $\frac{F_y}{F_e} > 2/25$ یا $\frac{KL}{r} > 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد:

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

(۳-۴-۲-۱۰)

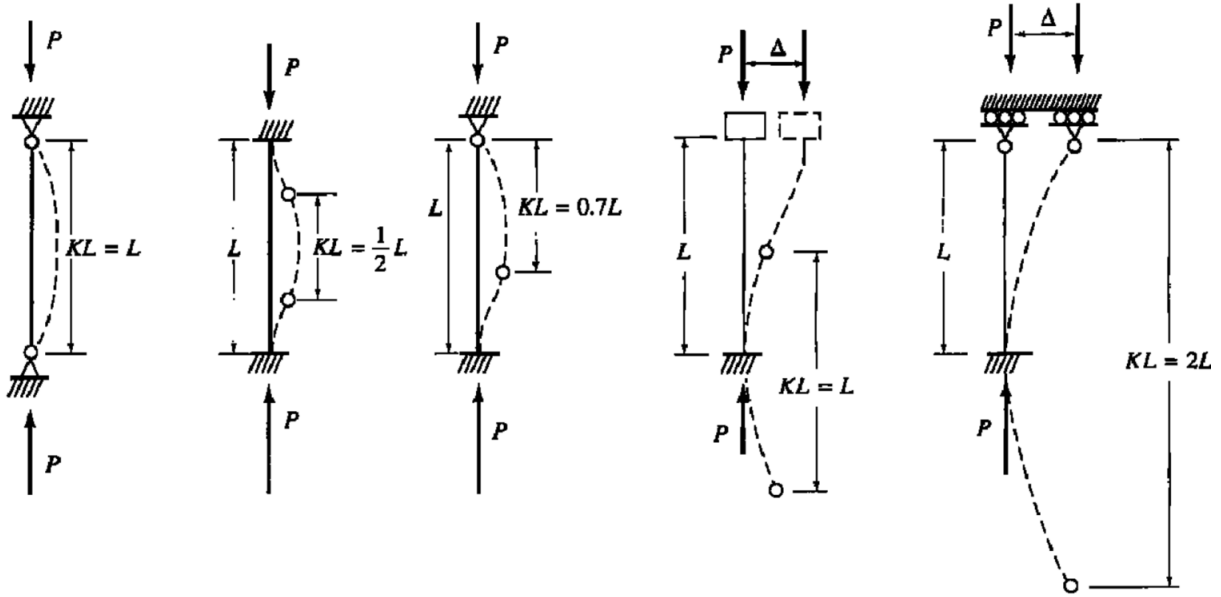
$$P_n = F_{cr} A_g \quad , \quad \phi_c = 0.9$$



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

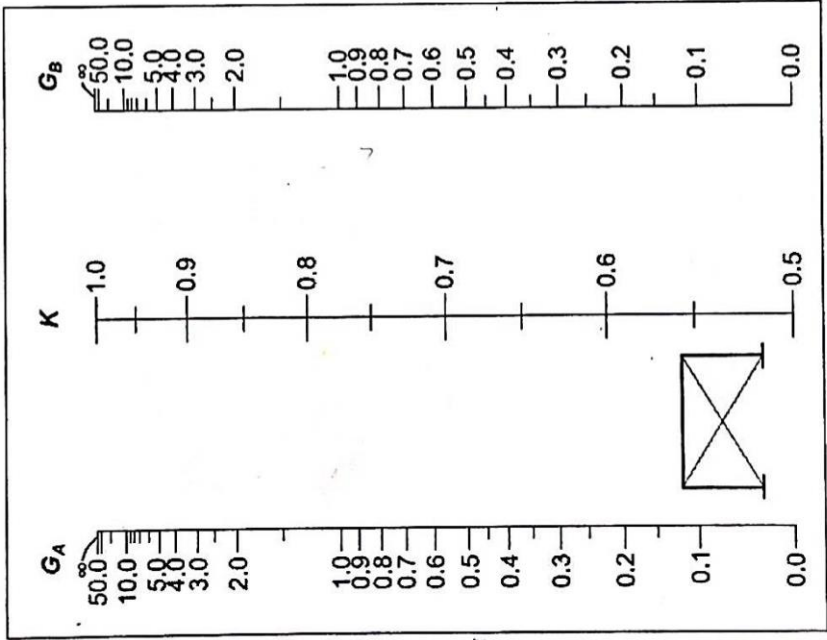
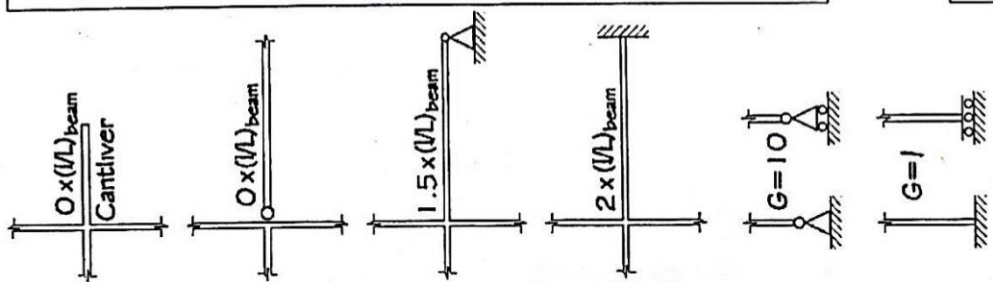
Flexural Buckling Stress $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \lambda < \tilde{\lambda} \Rightarrow F_{cr} = [0.658 \frac{F_y}{F_e}] F_y \text{ (EQ.1)} \\ \text{if } \lambda > \tilde{\lambda} \Rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e \text{ (EQ.2)} \end{array} \right.$	\iff	$\text{if } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$
	\iff	$\text{if } \frac{F_y}{F_e} > 2.25$



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
تنوریک	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
طراحی	0.65	0.80	1.0	1.2	2.10	2.0

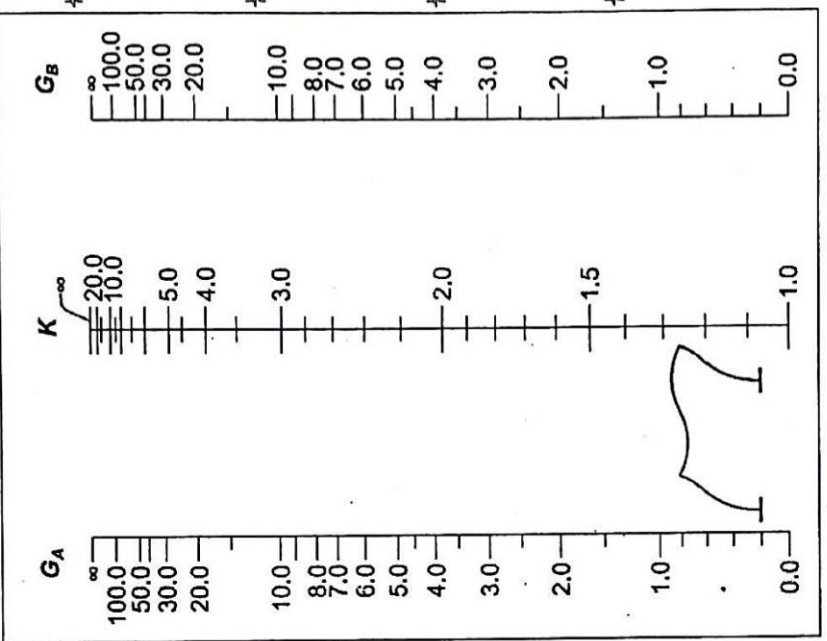
$$G = \frac{\sum(EI/L)_{\text{column}}}{\sum(EI/L)_{\text{beam}}} = \frac{\sum(I/L)_{\text{column}}}{\sum(I/L)_{\text{beam}}}$$



(a) Sidesway inhibited frame (braced frame) (Nonsway Frame)

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} \right) + \frac{2 \tan(\pi / 2K)}{(\pi / K)} - 1 = 0$$

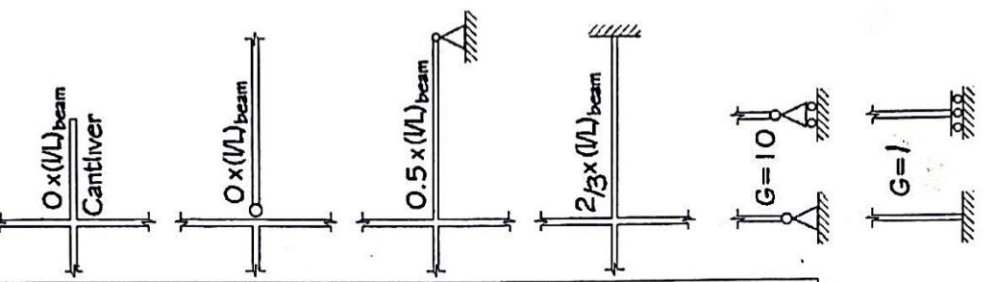
$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2(G_A + G_B) + 1.28}$$



(b) Sidesway uninhibited frame (moment frame) (Sway Frame)

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36 \frac{(\pi / K)}{\tan(\pi / K)} = 0$$

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{(G_A + G_B) + 7.5}} \geq 1.0$$



$f_y = 355 \text{ MPa}$ $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ $\lambda = 4.71 \sqrt{E/f_y} = 111.6$

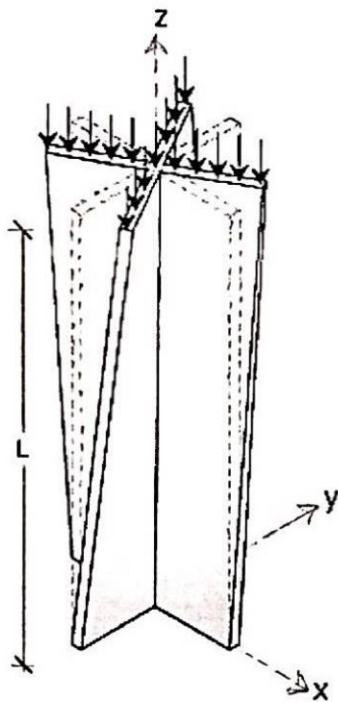
λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}
1	355.0	41	312.5	81	216.6	121	118.2	161	66.8
2	354.9	42	310.9	82	214.0	122	116.3	162	66.0
3	354.8	43	309.9	83	211.4	123	114.4	163	65.2
4	354.6	44	308.9	84	208.7	124	112.6	164	64.4
5	354.3	45	304.5	85	206.1	125	110.8	165	63.6
6	354.0	46	302.7	86	203.4	126	109.0	166	62.8
7	353.7	47	300.6	87	200.8	127	107.3	167	62.1
8	353.3	48	298.5	88	198.2	128	105.7	168	61.3
9	352.8	49	296.3	89	195.6	129	104.0	169	60.6
10	352.3	50	294.1	90	192.9	130	102.4	170	59.9
11	351.8	51	291.9	91	190.3	131	100.9	171	59.2
12	351.2	52	289.6	92	187.7	132	99.4	172	58.5
13	350.5	53	287.3	93	185.1	133	97.9	173	57.8
14	349.8	54	285.0	94	182.5	134	96.4	174	57.2
15	349.0	55	282.7	95	180.0	135	95.0	175	56.5
16	348.2	56	280.4	96	177.4	136	93.6	176	55.9
17	347.4	57	278.0	97	174.8	137	92.2	177	55.3
18	346.4	58	275.6	98	172.3	138	90.9	178	54.6
19	345.5	59	273.2	99	169.8	139	89.6	179	54.0
20	344.5	60	270.7	100	167.2	140	88.3	180	53.4
21	343.4	61	268.3	101	164.7	141	87.1	181	52.8
22	342.3	62	265.8	102	162.2	142	85.9	182	52.3
23	341.1	63	263.3	103	159.7	143	84.7	183	51.7
24	339.9	64	260.8	104	157.3	144	83.5	184	51.1
25	338.7	65	258.3	105	154.8	145	82.3	185	50.6
26	337.4	66	255.8	106	152.4	146	81.2	186	50.0
27	336.0	67	253.2	107	150.0	147	80.1	187	49.5
28	334.7	68	250.6	108	147.5	148	79.0	188	49.0
29	333.2	69	248.1	109	145.2	149	78.0	189	48.5
30	331.7	70	245.5	110	142.8	150	76.9	190	48.0
31	330.2	71	242.9	111	140.4	151	75.9	191	47.5
32	328.7	72	240.3	112	138.0	152	74.9	192	47.0
33	327.1	73	237.7	113	135.6	153	74.0	193	46.5
34	325.4	74	235.1	114	133.2	154	73.0	194	46.0
35	323.7	75	232.5	115	130.9	155	72.1	195	45.5
36	322.0	76	229.8	116	128.7	156	71.1	196	45.1
37	320.2	77	227.2	117	126.5	157	70.2	197	44.6
38	318.4	78	224.6	118	124.3	158	69.3	198	44.2
39	316.6	79	221.9	119	122.2	159	68.5	199	43.7
40	314.7	80	219.3	120	120.2	160	67.6	200	43.3

$f_y = 235 \text{ MPa}$ $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ $\lambda = 4.71 \sqrt{E/f_y} = 137.4$

λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}	λ	F_{cr}
1	235.0	41	216.1	81	169.5	121	113.3	161	66.8
2	235.0	42	215.2	82	168.1	122	111.9	162	66.0
3	234.9	43	214.3	83	166.7	123	110.6	163	65.2
4	234.8	44	213.4	84	165.3	124	109.2	164	64.4
5	234.7	45	212.4	85	164.0	125	107.9	165	63.6
6	234.6	46	211.5	86	162.6	126	106.5	166	62.8
7	234.4	47	210.5	87	161.2	127	105.2	167	62.1
8	234.3	48	209.5	88	159.8	128	103.9	168	61.3
9	234.1	49	208.5	89	158.4	129	102.6	169	60.6
10	233.8	50	207.5	90	157.0	130	101.2	170	59.9
11	233.6	51	206.4	91	155.5	131	99.9	171	59.2
12	233.3	52	205.4	92	154.1	132	98.6	172	58.5
13	233.0	53	204.3	93	152.7	133	97.3	173	57.8
14	232.7	54	203.2	94	151.3	134	96.0	174	57.2
15	232.4	55	202.1	95	149.9	135	94.8	175	56.5
16	232.0	56	201.0	96	148.5	136	93.5	176	55.9
17	231.6	57	199.9	97	147.0	137	92.2	177	55.3
18	231.2	58	198.7	98	145.6	138	90.9	178	54.6
19	230.8	59	197.6	99	144.2	139	89.6	179	54.0
20	230.4	60	196.4	100	142.8	140	88.3	180	53.4
21	229.9	61	195.2	101	141.4	141	87.1	181	52.8
22	229.4	62	194.0	102	139.9	142	85.9	182	52.3
23	228.9	63	192.8	103	138.5	143	84.7	183	51.7
24	228.4	64	191.6	104	137.1	144	83.5	184	51.1
25	227.8	65	190.4	105	135.7	145	82.3	185	50.6
26	227.2	66	189.1	106	134.2	146	81.2	186	50.0
27	226.6	67	187.9	107	132.8	147	80.1	187	49.5
28	226.0	68	186.6	108	131.4	148	79.0	188	49.0
29	225.4	69	185.4	109	130.0	149	78.0	189	48.5
30	224.7	70	184.1	110	128.6	150	76.9	190	48.0
31	224.0	71	182.8	111	127.2	151	75.9	191	47.5
32	223.3	72	181.5	112	125.8	152	74.9	192	47.0
33	222.6	73	180.2	113	124.4	153	74.0	193	46.5
34	221.8	74	178.9	114	123.0	154	73.0	194	46.0
35	221.1	75	177.6	115	121.6	155	72.1	195	45.5
36	220.3	76	176.2	116	120.2	156	71.1	196	45.1
37	219.5	77	174.9	117	118.8	157	70.2	197	44.6
38	218.7	78	173.5	118	117.4	158	69.3	198	44.2
39	217.8	79	172.2	119	116.0	159	68.5	199	43.7
40	217.0	80	170.8	120	114.7	160	67.6	200	43.3

۲- حالت حدی کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی

الف) در موارد زیر لازم است علاوه بر کنترل کمانش فمشی، ستون برای کمانش پیچشی یا فمشی-پیچشی نیز کنترل شود:



۱- مقاطع با دو محور تقارن

۱-۱- مقاطع فاص مانند مقطع صلیبی

۱-۲- مقاطع سافته شده

۱-۳- مقاطعی که در آنها طول آزاد مهار نشده پیچشی بزرگتر از

طول آزاد مهار نشده فمشی باشد: $L_z > \max\{L_x, L_y\}$

۲- مقاطع با یک محور تقارن

۳- مقاطع نامتقارن

ب) نمونه کنترل: $P_u \leq \phi_c \tilde{P}_n$

مقاومت فشاری اسمی ستون بر اساس کمانش پیچشی یا فمشی-پیچشی: $\tilde{P}_n = \tilde{F}_{cr} \cdot A_g$

$$\begin{cases} \tilde{F}_{cr} = \left[0.658^{F_y/\tilde{F}_e} \right] F_y & \text{اگر } \frac{F_y}{\tilde{F}_e} \leq 2.25 \\ \tilde{F}_{cr} = 0.877 \tilde{F}_e & \text{اگر } \frac{F_y}{\tilde{F}_e} > 2.25 \end{cases}$$

پ) تعیین تنش کمانش پیچشی یا فمشی-پیچشی الاستیک (\tilde{F}_e)

پ-۱) برای مقاطع با دو محور تقارن (که حول مرکز برش می‌پیچد):

$$\tilde{F}_e = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

پ-۲) برای مقاطع با یک محور تقارن (که حول مرکز برش می‌پیچد) (محور تقارن = محور y):

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

پ-۳) برای مقاطع نامتقارن (که حول مرکز برش می‌پیچد) \tilde{F}_e برابر است با کوچکترین ریشه معادله درجه سوم:

$$(\tilde{F}_e - F_{ex})(\tilde{F}_e - F_{ey})(\tilde{F}_e - F_{ez}) - \tilde{F}_e^2(\tilde{F}_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{\tilde{r}_0} \right)^2 - \tilde{F}_e^2(\tilde{F}_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{\tilde{r}_0} \right)^2 = 0$$

ثابت تابیدگی = C_w و ثابت پیمشی = J و ضرائب طول موثر حول محور x, y, z : K_x, K_y, K_z

طول موثر حول محور x, y, z : $L_{cx} = K_x L_x$ و $L_{cy} = K_y L_y$ و $L_{cz} = K_z L_z$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} \leftarrow \lambda_x = \frac{L_{cx}}{r_x}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} \leftarrow \lambda_y = \frac{L_{cy}}{r_y}$$

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

تذکر: برای مقاطع جفت نبشی و سپری مقدار ثابت تابیدگی $C_w \approx 0$ فرض می‌شود.

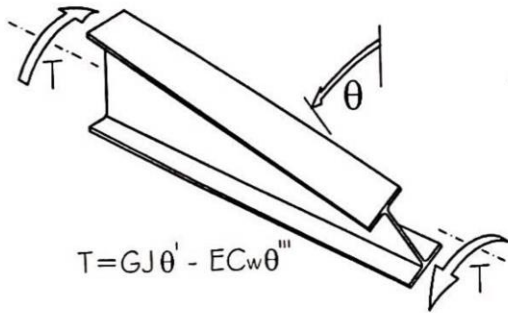
شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش: \bar{r}_0 و

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

مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح: x_0 و y_0

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} = \frac{r_x^2 + r_y^2}{\bar{r}_0^2} \quad \text{ثابت فمشی:}$$

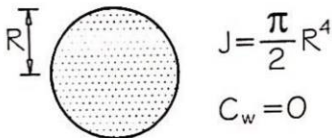
$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{b_f^3 t_f h_0^2}{24} \quad J = \frac{1}{3} \sum L t^3$$



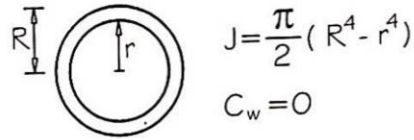
$J =$ Torsion Constant
 $C_w =$ Warping Constant
 $s =$ Shear Center

$E = 200,000 \text{ MPa}$, $\nu = 0.3$

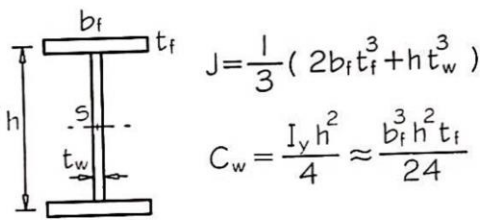
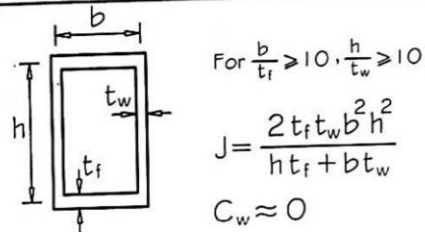
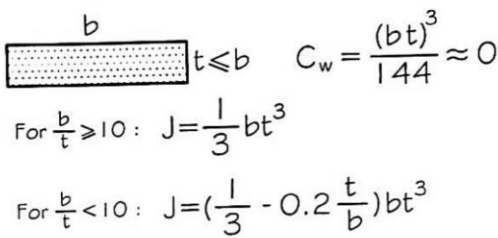
$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 76923 \text{ MPa}$



$J = \frac{\pi}{2} R^4$
 $C_w = 0$

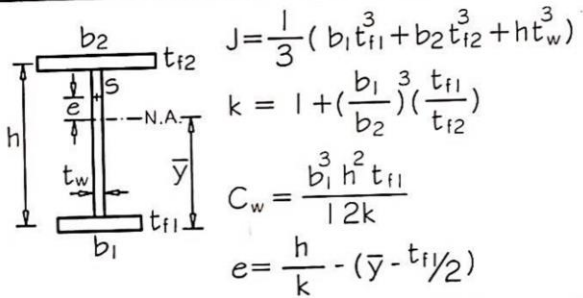


$J = \frac{\pi}{2} (R^4 - r^4)$
 $C_w = 0$



$J = \frac{1}{3} (2b_f t_f^3 + ht_w^3)$

$C_w = \frac{I_y h^2}{4} \approx \frac{b_f^3 h^2 t_f}{24}$

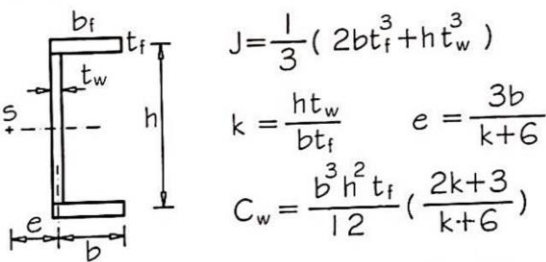


$J = \frac{1}{3} (b_1 t_{f1}^3 + b_2 t_{f2}^3 + ht_w^3)$

$k = 1 + (\frac{b_1}{b_2})^3 (\frac{t_{f1}}{t_{f2}})$

$C_w = \frac{b_1^3 h^2 t_{f1}}{12k}$

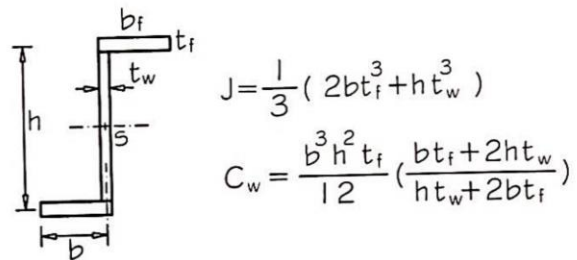
$e = \frac{h}{k} - (\bar{y} - t_{f1}/2)$



$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$

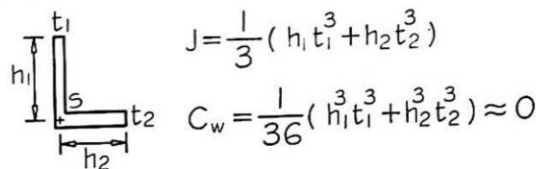
$k = \frac{ht_w}{bt_f}$ $e = \frac{3b}{k+6}$

$C_w = \frac{b^3 h^2 t_f}{12} (\frac{2k+3}{k+6})$



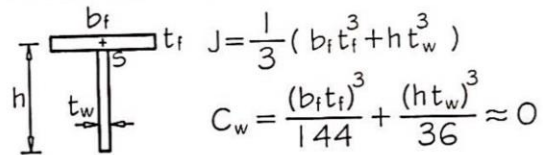
$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$

$C_w = \frac{b^3 h^2 t_f}{12} (\frac{bt_f + 2ht_w}{ht_w + 2bt_f})$



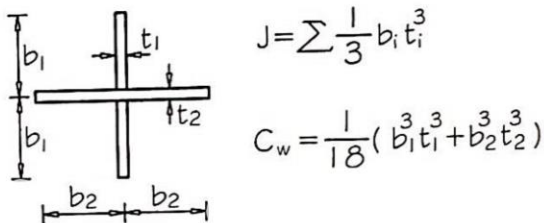
$J = \frac{1}{3} (h_1 t_1^3 + h_2 t_2^3)$

$C_w = \frac{1}{36} (h_1^3 t_1^3 + h_2^3 t_2^3) \approx 0$



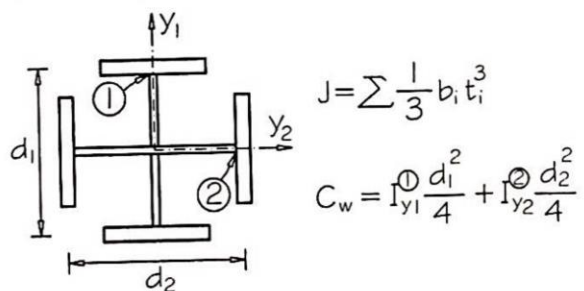
$J = \frac{1}{3} (b_f t_f^3 + ht_w^3)$

$C_w = \frac{(b_f t_f)^3}{144} + \frac{(ht_w)^3}{36} \approx 0$



$J = \sum \frac{1}{3} b_i t_i^3$

$C_w = \frac{1}{18} (b_1^3 t_1^3 + b_2^3 t_2^3)$



$J = \sum \frac{1}{3} b_i t_i^3$

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

۳- حالت حدی کمانش موضعی در فشار محوری

مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ایران

۱-۲-۲-۲-۱۰ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری برای فشار محوری، مقاطع فولادی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

• مقاطع با اجزای غیرلاغر **Nonslender-element Sections**

• مقاطع با اجزای لاغر **Slender-element Sections**

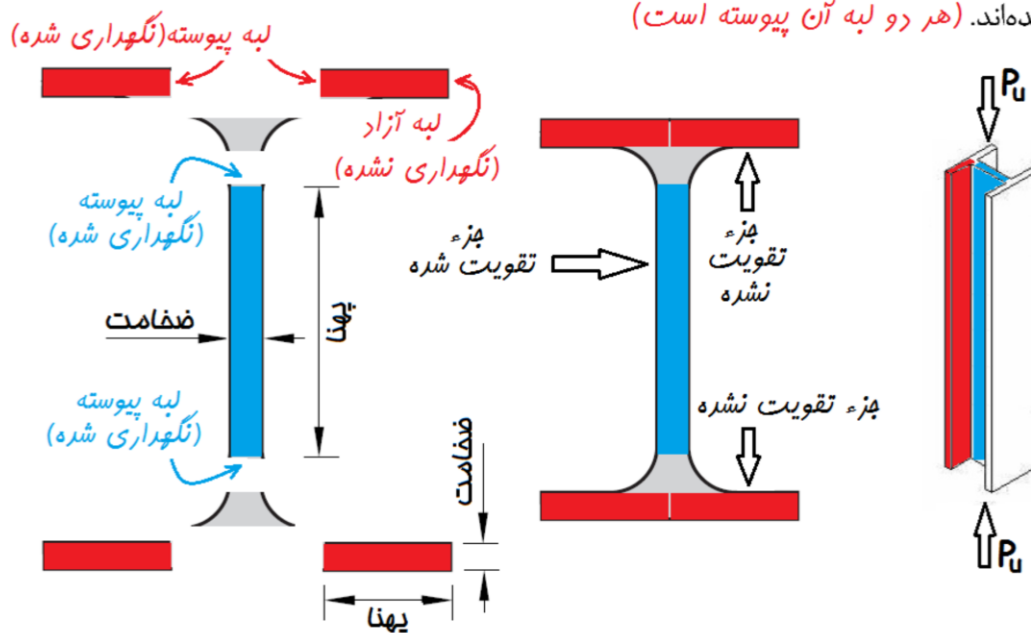
مقاطع با اجزای غیرلاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت ^{همه} اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۱-۲-۲-۱۰ و ۲-۲-۲-۱۰ تجاوز ننماید. چنانچه نسبت پهنا به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۱-۲-۲-۱۰ و ۲-۲-۲-۱۰ تجاوز نماید، در این صورت مقطع با اجزای لاغر محسوب می‌گردد.

تبصره: مطابق مقررات این مبحث، استفاده از مقاطع فولادی با اجزای لاغر در اعضایی که تحت اثر فشار محوری قرار دارند، مجاز نمی‌باشد.

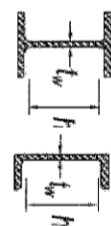

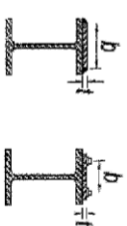


اجزای تقویت نشده (سفت نشده) **Unstiffened Elements**
 اجزای تقویت شده (سفت شده) **Stiffened Elements** } اجزای تشکیل دهنده مقاطع فولادی

اجزای تقویت نشده به اجزایی گفته می‌شوند که فقط در یک لبه در امتدادی به موازات نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. (یک لبه جزء آزاد و یک لبه آن پیوسته است)

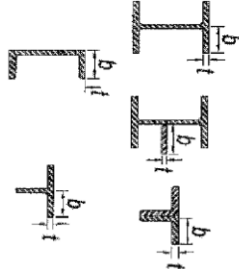
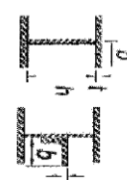
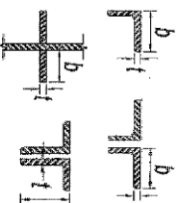

اجزای تقویت شده به اجزایی گفته می‌شوند که در هر دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. (هر دو لبه آن پیوسته است)



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

حالات	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_p (لاغر/غیر لاغر)	
			مثال‌های نمونه	
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقطع ناودانی	b/t_w	$\frac{1}{49} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۶	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جمعیتی با ضخامت یکنواخت	b/t	$\frac{1}{40} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۷	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیوارگرم در حد فاصل خطوط جوش با پیچ	b/t	$\frac{1}{40} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۸	سایر اجزای فشاری تقویت شده	b/t	$\frac{1}{49} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۹	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$\frac{1}{11} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

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

حالات	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_p (لاغر/غیر لاغر)	
			مثال‌های نمونه	
۱	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ورق‌های بیرون‌زده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های برجسته جهت تکیه با اتصال پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سبوری	b/t	$\frac{1}{56} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
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	$\frac{1}{64} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $0.64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	
۳	ساق‌های نبشی‌های تک، ساق‌های نبشی‌های دپول دارای جداکننده (قلمه) و سایر اجزای تقویت نشده	b/t	$\frac{1}{45} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۴	تیغه (جاری) مقاطع سبوری	d/t	$\frac{1}{75} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

مقاومت خمشی

$M_u \leq \phi_b M_n$ (مغز خمشی نامی (ضریب بار) یا نیاز سازه خمشی
 مقاومت خمشی اسمی است که ضریب بار همیشگی است و ۰.۹
 تعیین M_n : تکامل مای فریب تیر در خمش به صورت نامی زیر است و کمترین M_n منبای طراحی است:

۱- حالت حدی تسلیم (Y)

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

۲- حالت حدی کمانش پیشگی - جانبی (LTB)

$M_n = M_p = F_y Z_x$ حالت اول ($L_b \leq L_p$)

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

$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$ حالت سوم ($L_b \geq L_r$)

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

$$L_p = 1/\sqrt{6} r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{۶-۵-۲-۱۰}$$

$$L_r = 1/\sqrt{9} r_{ts} \frac{E}{\sqrt{F_y}} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o} \right)^2 + 6/\sqrt{6} \left(\frac{\sqrt{F_y}}{E} \right)^2}} \tag{۷-۵-۲-۱۰}$$

J = ثابت پیشگی مقطع تیر Torsion Constant h_o = فاصله مرکز تا مرکز بالها

S_x = مدول مقطع الاستیک نسبت به محور قوی x

برای مقطع I با دو محور تقارن: $c = 1$ و برای مقطع ناودانی: $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

C_w = ثابت تابیدگی مقطع تیر Warping Constant برای مقطع ناودانی به جدول مراجعه شود و برای مقطع I با دو محور تقارن مقدار آن برابر است با: $C_w = I_y h_o^2 / 4$

$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$ = شعاع زیراسیون موثر طبق رابطه روبرو:

برای مقطع I با دو محور تقارن با توجه به مقدار C_w نتیجه میشود: $r_{ts}^2 = I_y h_o / 2 S_x$

برای این مقطع میتوان بصورت تقریبی r_{ts} را برابر شعاع زیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و

یک ششم جان نسبت به محور y در نظر گرفت: $r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1+h_{tw}/6b_f t_f)}}$

C_b	نمودار M
1	
1.136	
1.25	
1.316	
1.667	
2.273	

$$C_b = \frac{12/5 M_{max}}{2/5 M_{max} + 3M_A + 3M_B + 3M_C} \quad (1-5-2-10)$$

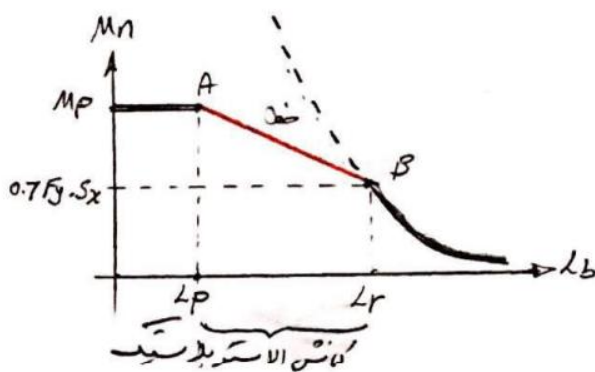
که در آن:

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

M_A = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه $\frac{1}{4}$ طول مهارنشده

M_B = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه $\frac{1}{4}$ طول مهارنشده

M_C = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه $\frac{3}{4}$ طول مهارنشده



در این رابطه استرلایت آئین با AZS راجع به
 یک رابطه خطی بین ماکزیمم آنه، این خوبه با مع از در معادله

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

۳- حالت حدی کمانش موضعی تحت خمش (LB)

۱۰-۲-۲-۲ طبقه بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای خمش

برای خمش، مقاطع فولادی به سه گروه زیر طبقه بندی می شوند.

- مقاطع فشرده (Compact Sections) $C \Leftarrow$
- مقاطع غیر فشرده (Noncompact Sections) $NC \Leftarrow$
- مقاطع با اجزای لاغر (Slender Sections) $S \Leftarrow$

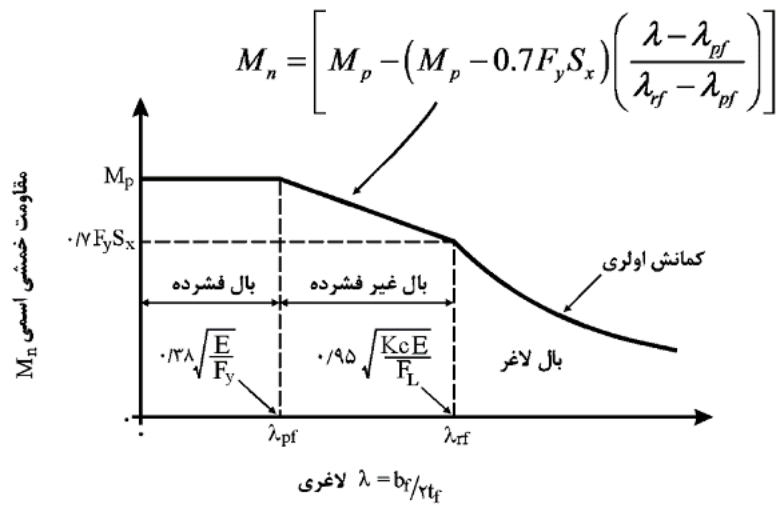
الف) مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می شوند که در آنها اولاً بالها به طور سرتاسری و پیوسته به جان یا جانها متصل باشند، ثانیاً نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_p مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ تجاوز ننماید.

ب) مقاطع غیر فشرده به مقاطعی گفته می شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء فشاری از مقطع عضو از λ_p مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ تجاوز نموده ولی از λ_r مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ کوچکتر باشد.

پ) مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ بزرگتر باشد.

تبصره: مطابق مقررات این مبحث، از به کار بردن مقاطع فولادی با اجزای فشاری لاغر در اعضایی که تحت تأثیر تنش فشاری ناشی از خمش قرار دارند، باید خودداری شود، مگر برای جان تیوروقها که در این صورت الزامات بخش های ۱۰-۲-۵ و ۱۰-۲-۶ باید تأمین گردد.

بسته به اینکه لاغری بال و جان در محدوده مقطع فشرده یا غیرفشرده باشد، مقاومت خمشی اسمی با توجه به رابطه و شکل زیر به دست می آید:



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

Y = تسلیم

LB = کمانش موضعی

C = فشرده

NC = غیرفشرده

S = لاغری

N/A = کاربرد ندارد.

LTB = کمانش پیچشی - جانبی

FLB = کمانش موضعی بال

WLB = کمانش موضعی جان

TFY = تسلیم کششی بال

LLB = کمانش موضعی ساق

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

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	لاغر (غیر فشرده) λ_1	(غیر فشرده / فشرده) λ_2			
	$\frac{5}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{3}{\sqrt{76}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t_{wb}}$	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع تاودانی	۱۵
	$\frac{5}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h_e \sqrt{E}}{h_p \sqrt{F_y}} \frac{M_D}{M_D - 0.9 M_D} \leq \lambda_r$	$\frac{h}{t_{wb}}$	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن	۱۶
	$\frac{1}{\sqrt{40}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{1}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جمع‌های با ضخامت یکسان	۱۷
	$\frac{1}{\sqrt{40}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{1}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیوار آرم در حد قفل خطوط جوش یا پیچ	۱۸
	$\frac{5}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{3}{\sqrt{42}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t}$	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل و شکل (HSS) و جمع‌های	۱۹
	$\frac{0.77}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{0.31}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{D}{t}$	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	۲۰

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

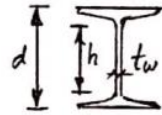
مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	(لاغر) غیر فشرده λ_1	(غیر فشرده / فشرده) λ_2			
	$\frac{1}{\sqrt{95}} \sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$	$\frac{0.378}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	۱۱
	$\frac{0.91}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{0.54}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	ساق‌های نبشی‌های تک	۱۲
	$\frac{1}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{0.378}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بال‌های کلبه مقاطع I شکل و تاودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	۱۳
	$\frac{1}{\sqrt{93}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{0.44}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{d}{t}$	تیغه (جان) مقاطع سری	۱۴

مقاومت برشی

طرح برای برش (shear)

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_n$$

(I) مقطع I شکل مورد شده با $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

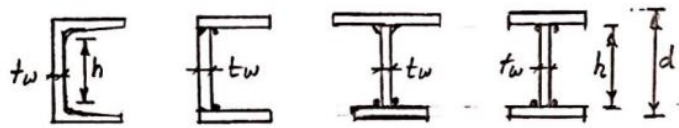


$\phi_v = 1.0$ و $C_v = 1.0$ و $A_w = d \cdot t_w$ و $V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v$

(II) مقاطع I شکل ساخته شده با بالهای ساری یا بُرساری + مقاطع ناوجانی + مقاطع I شکل مورد شده با $\frac{h}{t_w} > 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\phi_v = 0.9$

$A_w = d \cdot t_w$



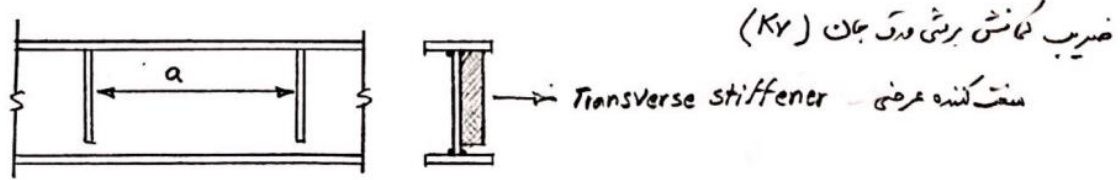
$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v$

II - الف) بدون اثر عمل سیران کششی

$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$	$\rightarrow C_v = 1.0$	ضریب برشی جان
$1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$	$\rightarrow C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}}{(h/t_w)}$	★
$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$	$\rightarrow C_v = \frac{1.51 K_v \cdot E}{(h/t_w)^2 \cdot F_y}$	

برای دهولت معاسبات: $\lambda_w = \frac{h}{t_w}$ و $\lambda_p = 1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$ و $\lambda_r = 1.245 \lambda_p$

$\lambda_w \leq \lambda_p \rightarrow C_v = 1.0$
 $\lambda_p < \lambda_w \leq \lambda_r \rightarrow C_v = \frac{\lambda_p}{\lambda_w}$
 $\lambda_w > \lambda_r \rightarrow C_v = \frac{1}{1.245} \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_w} \right)^2$



① در صورتیکه سخت کننده عرضی شرایط عمومی (شرطهای ۱ تا ۴) را دارا باشد و همچنین $\frac{a}{h} \leq \text{Min} \left\{ \begin{matrix} 3.0 \\ \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 \end{matrix} \right\}$ باشد (جان سخت شده باشد)؛

$$K_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

② در صورتیکه سخت کننده عرضی نداشته باشیم (جان سخت نشده) و یا ضوابط بالا ① برقرار نباشد؛

$K_v = 5.0$

II - ب) با اثر عمل میان کششی

$$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right)$$

در این حالت لازمست چپشده یا یا بال مورد نظر جزو موارد منوعیت کاربرد اثر عمل میان کششی نباشد و ضمناً سخت - کننده های عرضی علاوه بر شرایط عمومی (1 تا 4) شرایط اضافی (4+1) و (4+2) را نیز برآورده کند.

در صورتی که $\frac{h}{t_w} \geq 260$ باشد استفاده از سخت کننده عرضی الزامی است.



ضخامت جان تیر

$$I_{st} = 2 \left[\frac{1}{12} t_{st} \cdot b_{st}^3 + (b_{st} \cdot t_{st}) \left(\frac{b_{st} + t_w}{2} \right)^2 \right]$$

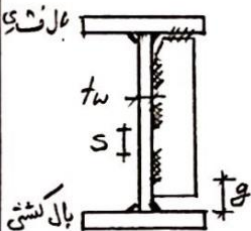


$$I_{st} = \frac{1}{3} t_{st} \cdot b_{st}^3$$

شرایط عمومی سخت کننده های عرضی:

شرط 1) تأمین سختی حداقل:

$$\begin{cases} I_{st} \geq b \cdot t_w^3 \cdot j \\ b = \text{Min} \{ \alpha, h \} \\ j = \text{Max} \left\{ 0.5, \left[\frac{2.5}{(\alpha/h)^2} - 2 \right] \right\} \end{cases}$$



شرط 2) سخت کننده عرضی باید به بال فشاری متصل شود تا از بلند شدن بال در اثر بیخیش جلوگیری کند.

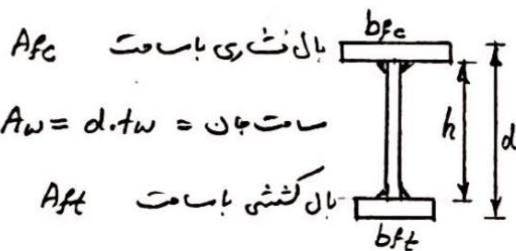
شرط 3) می توان سخت کننده عرضی را در توان به بال کششی موش نهاده و ایضی نه رسیده به بال کششی

$$4t_w \leq g \leq 6t_w$$

قطع کرد. در این حالت لازمست:

شرط 4) اتصال به جان: اگر توسط بیج است باید فاصله مرکز به مرکز و عموداً کمتر از 300 میلیتر باشد و اگر توسط جوش

$$s \leq \text{Min} \{ 16t_w, 250 \text{ mm} \}$$



A_{fc} بال فشاری با مساحت

$A_w = d \cdot t_w =$ مساحت جان

A_{ft} بال کششی با مساحت

موارد منوعیت کاربرد اثر عمل میان کششی:

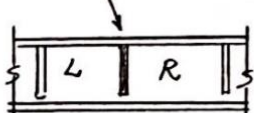
الف) اگر $\frac{a}{h} > \text{Min} \left\{ 3.0, \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 \right\}$ باشد.

ب) در چپشده های دو انبهای عضو

پ) اگر $\frac{2A_w}{(A_{fc} + A_{ft})} > 2.5$ باشد.

ت) اگر $\frac{h}{b_{fc}} > 6$ یا $\frac{h}{b_{ft}} > 6$ باشد.

شرایط خاص (اضافه) برای سخت کننده های عرضی در صورت استفاده از اثر عمل میان کششی:



$$\frac{b_{st}}{t_{st}} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

شرط (4+1) جلوگیری از کمزش موضعی:

شرط (4+2) تأمین سختی حداقل بیشتر از شرط (1):

شرط (1) $I_{st} \geq b \cdot t_w^3 \cdot j$ و $I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right]$

$$I_{st2} = \frac{h^4 \cdot \rho_{st}^{1.3}}{40} \left[\frac{F_y W}{E} \right]^{1.5} \quad \text{و} \quad \rho_{st} = \text{Max} \left\{ 1, \frac{\text{حدتیم جان}}{\text{حدتیم سخت کننده}} \cdot \frac{F_y W}{F_y A_{st}} \right\} > V_u = \text{Max} \left\{ \begin{matrix} V_u^L \\ V_u^R \end{matrix} \right\}$$

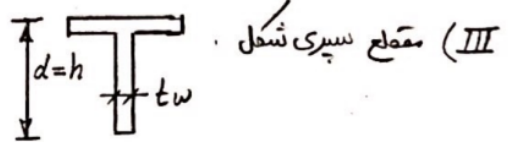
تعارف برشی اساسی بدون اثر عمل میان کششی $V_{c1} = \phi_v \times V_{n1}$ و $V_{n1} =$

تعارف برشی اساسی با اثر عمل میان کششی $V_{c2} = \phi_v \times V_{n2}$ و $V_{n2} =$

$$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \phi_v = 0.9$$

$$A_w = d \cdot t_w$$

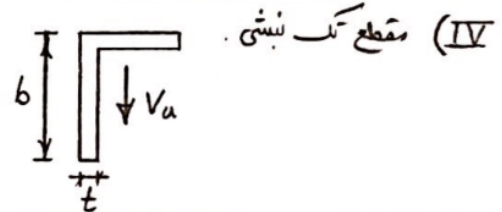
$$K_v = 1.2 \xrightarrow{\frac{h}{t_w} = \frac{d}{t_w}} C_v$$



$$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \phi_v = 0.9$$

$$A_w = b \cdot t$$

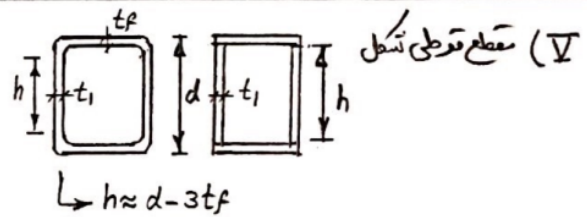
$$K_v = 1.2 \xrightarrow{\frac{h}{t_w} = \frac{b}{t}} C_v$$



$$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \phi_v = 0.9$$

$$A_w = 2h \cdot t \quad \text{د } t = \begin{cases} 0.93 t_1 & \text{جوش زیر پودری} \\ t_1 & \text{جوش قوس الکتریکی} \end{cases}$$

$$K_v = 5 \xrightarrow{\frac{h}{t_w} = \frac{h}{t}} C_v$$



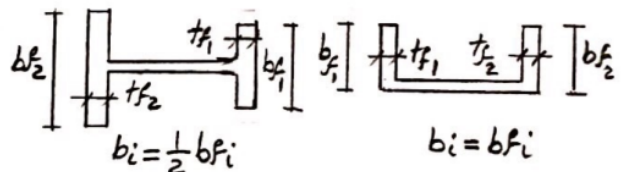
(VI) مقاطع بایگ یا در صورت تقارن تحت برش عمود بر محور ضعیف (و بدون پیچش) $\phi_v = 0.9$

$$V_n = \sum V_{ni} \quad \text{تسارت برشی بال } i$$

$$V_{ni} = 0.6 F_y \cdot A_{wi} \cdot C_{vi}$$

$$A_{wi} = b_{fi} \cdot t_{fi}$$

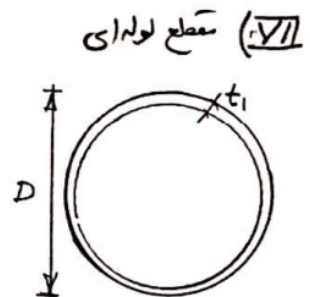
$$K_v = 1.2 \xrightarrow{\frac{h}{t_w} = \frac{b_i}{t_{fi}}} C_{vi}$$



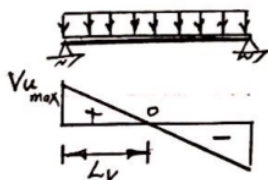
$$V_n = \frac{1}{2} F_{cr} \cdot A_g \quad \phi_v = 0.9 \quad \text{د } A_g = \text{مساحت مقطع کل لوله}$$

$$F_{cr} = \text{Max} \left\{ \begin{matrix} F_{cr1} \\ F_{cr2} \end{matrix} \right\} \leq 0.6 F_y \quad \text{برای شرایط قوی تسلیم و کاهش برشی}$$

$$F_{cr1} = \frac{1.6 E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}} \quad \text{و} \quad F_{cr2} = \frac{0.78 E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}}$$



$L_v =$ فاصله بین محل نیروی برشی حداکثر تا محل نیروی برشی صفر در طول عضو



$$t = \begin{cases} 0.93 t_1 & \text{جوش زیر پودری} \\ t_1 & \text{جوش قوس الکتریکی} \end{cases}$$

تذکره: عموماً برای $\frac{D}{t} \geq 100$ مقاطع ساخته شده از فولاد پر مقاوت و با دهانه های بزرگ، حالت قوی کاهش

$$\text{تعیین کننده است: } F_{cr} = \text{Max} \{ F_{cr1}, F_{cr2} \}$$

۱. برای مقاطع لوله ای استاندارد معمولاً حالت قوی تسلیم تعیین کننده است: $F_{cr} = 0.6 F_y$

مقاومت اندرکنشی نیروی محوری - لنگر خمشی

* طراحی اعضای تحت اثر نیروی محوری کششی و لنگر خمشی

اگر $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2$ $\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$

اگر $\frac{P_u}{\phi P_n} > 0.2$ $\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$

P_u, M_{ux}, M_{uy} به ترتیب نیروی محوری کششی، لنگر خمشی حول محور x ، حول محور y

تقاطع بدون محسوس مرتبه دوم می باشد

P_n : مقاومت کششی تقاطع، $\phi P_n = 0.9 A_g f_y$

M_n : مقاومت خمشی تقاطع براساس فرض

* طراحی اعضای تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی (تیر ستون ها)

اگر $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2$ $\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \leq 1$

اگر $\frac{P_u}{\phi P_n} > 0.2$ $\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$

P_u, M_{rx}, M_{ry} به ترتیب نیروی محوری فشاری، لنگر خمشی حول x ، y تقاطع با محسوس مرتبه دوم

روش های تحلیل سازه های فولادی

۱- روش تحلیل مستقیم

- سطر بندی P-Δ, P-δ (بریکر از روش)
- ضریب طول مؤثر ستون ها $K=1$
- سختی خمشی EI ستون کاهش یابد: $(EI)^* = \gamma_b EI$

$$\gamma_b = \begin{cases} P_u / A_g f_y \leq 0.5 \rightarrow \gamma_b = 1 \\ P_u / A_g f_y > 0.5 \rightarrow \gamma_b = 4 \frac{P_u}{A_g f_y} \left(1 - \frac{P_u}{A_g f_y} \right) \end{cases}$$

- اعمال بارهای خمشی انعطاف در طبقات برای در نظر گیری تراکم بندی
- (مجموع بارهای انعطاف طبقه i: γ_i) $N_i = 0.002 \gamma_i$

۲- روش طول مؤثر

- فقط برای سازه هایی که $B_2 \leq 1.5$ باشد.
- سطر بندی P-Δ, P-δ (بریکر از روش)
- ضریب طول مؤثر ستونها و سختی خمشی ستونها (بدون کاهش) (اصلاح)
- اعمال بارهای خمشی انعطاف $N_i = 0.002 \gamma_i$

۳- روش تحلیل مرتبه اول

- فقط برای سازه های $B_2 \leq 1.5$ و $\frac{P_u}{A_g f_y} < 0.5$
- اثر P-δ با ضریب تعدیل B_1
- طول مؤثر ستونها $K=1$
- به طبقه ترکیب بارها، بارهای خمشی زیراحته شود.
- $N_i = \max(2.1 \gamma_N \gamma_i, 0.0042 \gamma_i)$
- γ_N مدانه مقدار در نیت $\frac{A}{h}$ طبقه است.

* روش سطر بندی اثرات

- ۱- روش دقیق (من معادله در نیت)؛ تحلیل الاستیک مرتبه دوم
- ۲- روش نیمه دقیق (کامپوزی): ضریب B_1
- ۳- روش تقریبی (کامپوزی): ضریب B_1
- ۴- روش تقریبی (کامپوزی): ضریب B_2

* روش تجربی (آیین نامه ای) برابر مسکوکین آثار مرتبه دوم P-Δ, P-δ
 تعدید گنگر و نیروی محوری تحمیل مرتبه اول با ضرایب B₁, B₂ اعمال می شود:

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{2t}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{2t}$$

M_{nt}: گنگر خمشی عضو در مدلی که حرکت جانبی مقید شده است (not lateral sway) ←
 در سازه ای نسبتاً مستقر، M_{nt} گنگر حاصل از بارهای ثقلی ضریب دار در مدل اصلی است.
 M_{2t}: گنگر خمشی عضو در مدل مقید نشده حاصل از حرکت جانبی سازه (lateral sway)
 در سازه ای نسبتاً مستقر، M_{2t} گنگر حاصل از بارهای جانبی (در مدل اصلی) است.

B₁ = ضریب تعدید ناشی از P-δ

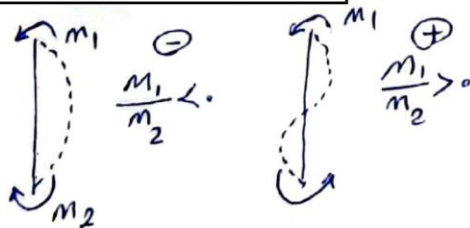
B₂ = ضریب تعدید ناشی از P-Δ

M_r, P_r: گنگر خمشی و نیروی محوری تعدید یافته معادل تحمیل مرتبه دوم.

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



$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{m_1}{m_2} \right) \quad \left| \frac{m_1}{m_2} \right| < 1$$



$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

P_u = نیروی محوری عضو تحمیل مرتبه دوم

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e,story}}}$$



$$P_{e,story} = R_m \frac{V L}{\Delta}$$

V: برش طبقه
 L: ارتفاع طبقه
 Δ: جابجایی نسبی جانبی طبقه

$$R_m = \left(1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} \right)$$

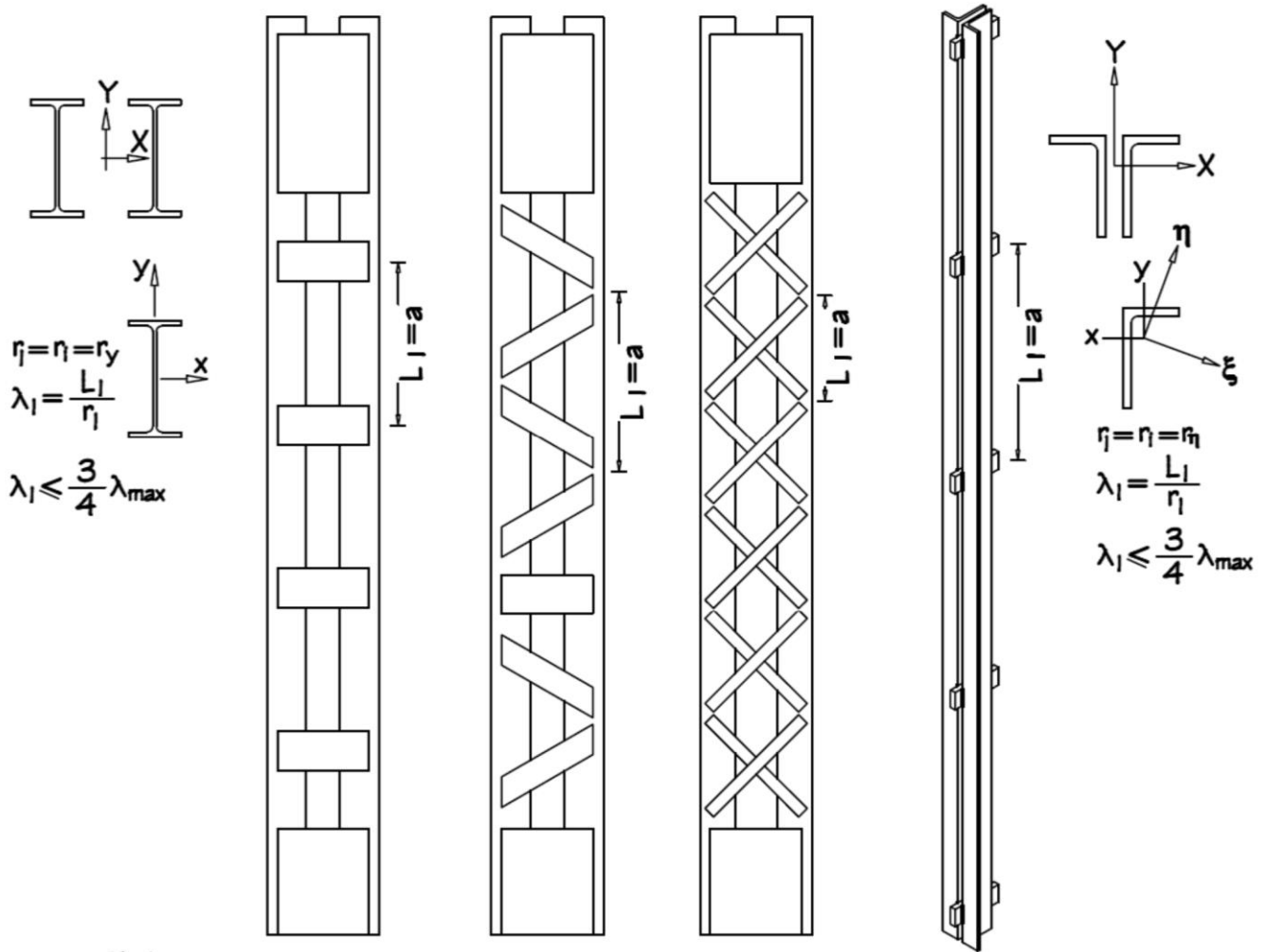
P_{mf} = مجموع بارهای قائم ستون‌ها قاب خمشی طبقه

P_{story} = مجموع بارهای قائم کل ستون‌ها طبقه

R_m = 0.1 (تاسه بندی), R_m = 0.85 (ناخمشی)

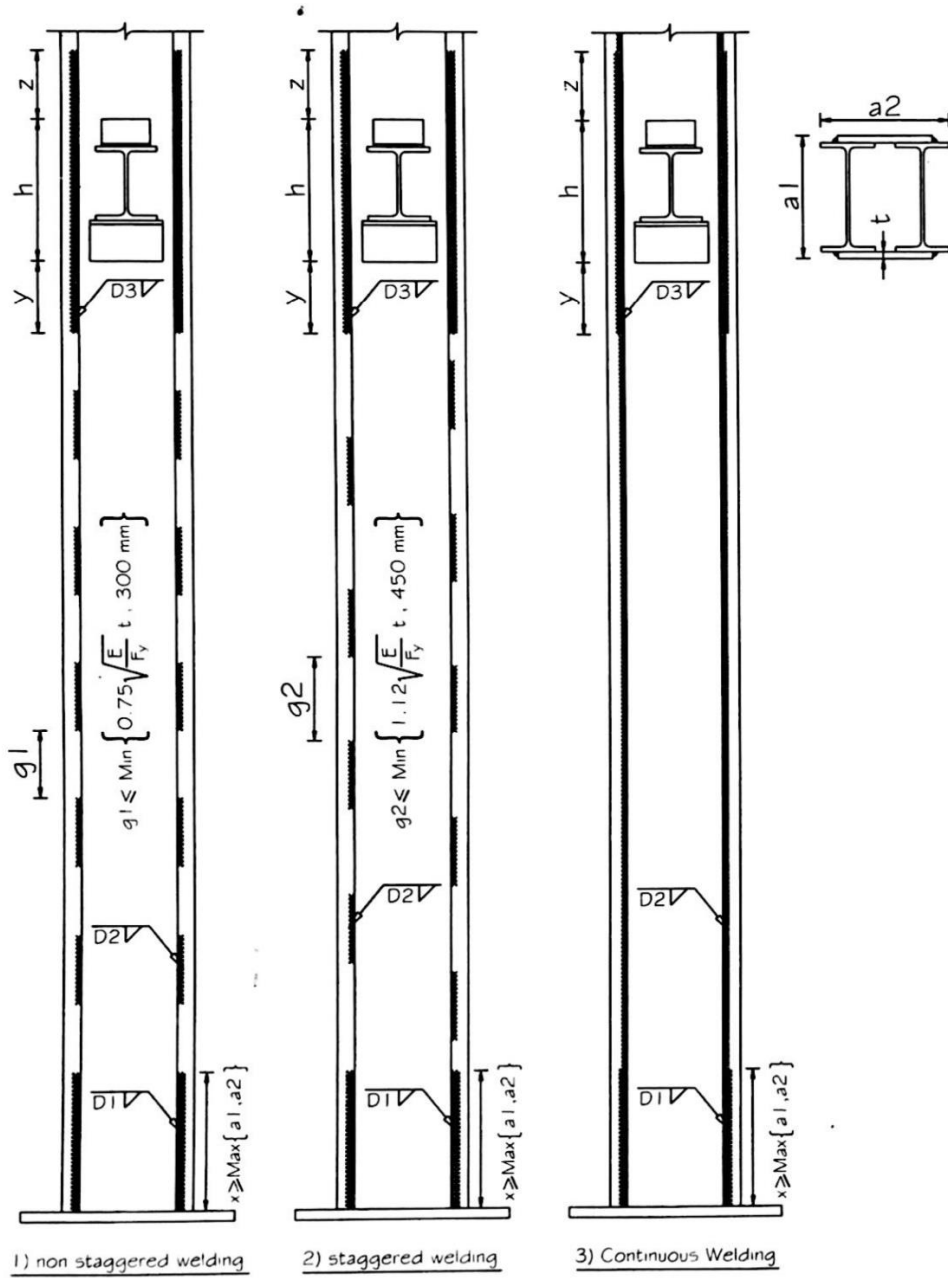
$$P_{e,story} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad \leftarrow \text{(ارائه دیگری)}$$

ستون های ساخته شده



$$\left. \begin{aligned} \lambda_x &= \frac{K_x L}{r_x} \\ \lambda_y &= \frac{K_y L}{r_y} \Rightarrow \lambda_{y_{eff}} = \lambda_m \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lambda_{max} = \text{Max} \{ \lambda_x, \lambda_{y_{eff}} \}$$

$$\left[\begin{aligned} \text{if: } \lambda_1 \leq 40 &\Rightarrow \lambda_{y_{eff}} = \lambda_y \\ \text{if: } \lambda_1 > 40 &\Rightarrow \lambda_{y_{eff}} = \sqrt{\lambda_y^2 + (K_1 \lambda_1)^2} \end{aligned} \right] \leftarrow K_1 = \begin{cases} 0.50 & \text{for angles back to back } \Gamma \\ 0.75 & \text{for channels back to back }] [\\ 0.86 & \text{for all other cases} \end{cases}$$



کنترل تغییر شکل و ارتعاش تیرها

$E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $L = m$
 $I = m^4$
 $q_D = \text{N/m}$

$f_0 = \frac{\pi \sqrt{EIg}}{2L^2} \sqrt{q_D}$

$f > 5 \text{ Hz}$

$f = f_0$

$f = 1.56 f_0$

$f = 2.27 f_0$

$f = 0.36 f_0$

$f = 0.25 f_0$

$f = 0.57 f_0$

c/L	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
f/f_0	1.00	0.98	0.80	0.54	0.34	0.23

c/L	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
f/f_0	1.00	0.96	0.71	0.44	0.29	0.20

TABLE 1604.3
DEFLECTION LIMITS^{a, b, c, d, e}

CONSTRUCTION	L	S or W'	D + L ^{d/g}
Roof members: ^e			
Supporting plaster ceiling	l/360	l/360	l/240
Supporting nonplaster ceiling	l/240	l/240	l/180
Not supporting ceiling	l/180	l/180	l/120
Floor members	l/360	—	l/240
Exterior walls and interior partitions: With brittle finishes	—	l/240	—
With flexible finishes	—	l/120	—
Farm buildings	—	—	l/180
Greenhouses	—	—	l/120

- For SI: 1 foot = 304.8 mm.
- For structural roofing and siding made of formed metal sheets, the total load deflection shall not exceed $l/60$. For secondary roof structural members supporting formed metal roofing, the live load deflection shall not exceed $l/150$. For secondary wall members supporting formed metal siding, the design wind load deflection shall not exceed $l/90$. For roofs, this exception only applies when the metal sheets have no roof covering.
 - Interior partitions not exceeding 6 feet in height and flexible, folding and portable partitions are not governed by the provisions of this section. The deflection criterion for interior partitions is based on the horizontal load defined in Section 1607.13.
 - See Section 2403 for glass supports.
 - For wood structural members having a moisture content of less than 16 percent at time of installation and used under dry conditions, the deflection resulting from $L + 0.5D$ is permitted to be substituted for the deflection resulting from $L + D$.
 - The above deflections do not ensure against ponding. Roofs that do not have sufficient slope or camber to assure adequate drainage shall be investigated for ponding. See Section 1611 for rain and ponding requirements and Section 1503.4 for roof drainage requirements.
 - The wind load is permitted to be taken as 0.7 times the "component and cladding" loads for the purpose of determining deflection limits herein.
 - For steel structural members, the dead load shall be taken as zero.
 - For aluminum structural members or aluminum panels used in skylights and sloped glazing framing, roofs or walls of sunroom additions or patio covers, not supporting edge of glass or aluminum sandwich panels, the total load deflection shall not exceed $l/60$. For aluminum sandwich panels used in roofs or walls of sunroom additions or patio covers, the total load deflection shall not exceed $l/200$.
 - For cantilever members, l shall be taken as twice the length of the cantilever.

1604.3.3 Steel. The deflection of steel structural members shall not exceed that permitted by AISC 360, AISI-NAS, AISI-General, AISI-Truss, ASCE 3, ASCE 8, SJI JG-1.1, SJI K-1.1 or SJI LH/DLH-1.1, as applicable.

m = Middle Point

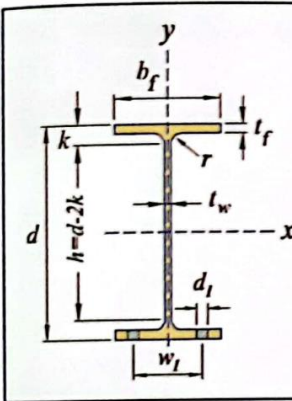
$\Delta_m = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{185} \frac{qL^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{384} \frac{qL^4}{EI}$	
$\Delta_A = \frac{1}{8} \frac{qL^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{48} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{7}{768} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{192} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_A = \frac{1}{3} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{23}{648} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{5}{648} \frac{PL^3}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{16} \frac{ML^2}{EI}$	
$\Delta_A = \frac{1}{2} \frac{ML^2}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{153.6} \frac{q_{max}L^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{768} \frac{q_{max}L^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{1}{120} \frac{q_{max}L^4}{EI}$	
$\Delta_m = \frac{0.7}{384} \frac{q_{max}L^4}{EI}$	

جدول ۲: اطلاعات تکمیلی نیمرخ IPE

J = ثابت پیچشی
 C_w = ثابت پیچش تابیدگی
 r_{ts} = شعاع ژیراسیون موثر
 L_p = مرز بین تسلیم و کمانش جانبی پیچشی غیر الاستیک
 L_T = مرز بین کمانش جانبی پیچشی غیر الاستیک و الاستیک
 Q_x = لنگر اول سطح (ممان استاتیکی) نصف مقطع نسبت به محور x
 $g_e = I_x / Q_x = 2I_x / Z_x$ = فاصله بین مرکز کشش و فشار در حالت توزیع خطی تنش
 $g_p = 2Z_x / A$ = فاصله بین مرکز کشش و فشار در حالت توزیع یکنواخت تنش

IPE	ثابت پیچشی و تابیدگی		پارامترهای کمانش جانبی پیچشی						اطلاعات تکمیلی				سورخ‌های لبه طبق DIN 997		
	J	C_w	r_{ts}	ST37 $F_y=240 \text{ MPa}$		ST44 $F_y=300 \text{ MPa}$		ST52 $F_y=360 \text{ MPa}$		Q_x	g_e	g_p	r	d_1	w_1
				L_p	L_T	L_p	L_T	L_p	L_T						
	$\times 10^4$	$\times 10^6$	mm	mm		mm		mm		$\times 10^3$	mm	mm	mm	mm	
mm ⁴	mm ⁶	mm	mm		mm		mm		mm ³	mm	mm	mm	mm	mm	
80	0.70	118	12.58	533	2 897	477	2 348	436	1 985	11.6	69.0	60.7	5	6.4	26
100	1.21	351	14.78	630	3 087	563	2 514	514	2 137	19.7	86.0	76.5	7	8.4	30
120	1.74	890	17.21	737	3 223	659	2 648	602	2 269	30.4	105	92.0	7	8.4	36
140	2.45	1 980	19.64	838	3 416	750	2 826	684	2 438	44.2	123	108	7	11	40
160	3.62	3 960	21.84	935	3 677	836	3 054	763	2 642	61.9	140	123	9	13	44
180	4.80	7 430	24.36	1 042	3 923	932	3 276	850	2 847	82.2	158	139	9	13	50
200	7.02	12 990	26.46	1 138	4 246	1 018	3 547	929	3 084	110	176	155	12	13	56
220	9.10	22 670	29.25	1 260	4 549	1 127	3 816	1 029	3 329	143	194	171	12	17	60
240	12.9	37 390	31.71	1 367	4 947	1 222	4 148	1 116	3 618	183	212	188	15	17	68
270	16.0	70 580	35.62	1 534	5 262	1 372	4 448	1 253	3 903	242	239	211	15	21/17	72
300	20.2	125 900	39.57	1 702	5 641	1 522	4 795	1 390	4 225	314	266	233	15	23	80
330	28.3	199 100	41.91	1 804	5 967	1 613	5 073	1 473	4 471	402	293	257	18	25/23	86
360	37.5	313 600	44.70	1 926	6 297	1 722	5 363	1 572	4 733	510	319	280	18	25	90
400	51.4	490 000	46.82	2 007	6 534	1 795	5 573	1 639	4 924	654	354	309	21	28/25	96
450	67.1	791 000	49.30	2 093	6 713	1 872	5 750	1 709	5 096	851	401	345	21	28	106
500	89.7	1 249 000	51.76	2 190	6 950	1 959	5 967	1 788	5 298	1 097	439	378	21	28	110
550	124	1 884 000	53.91	2 261	7 230	2 022	6 209	1 846	5 513	1 393	482	416	24	28	120
600	166	2 846 000	56.56	2 368	7 548	2 118	6 488	1 933	5 765	1 756	524	450	24	28	120

جدول ۱: مشخصات هندسی نیمرخ IPE

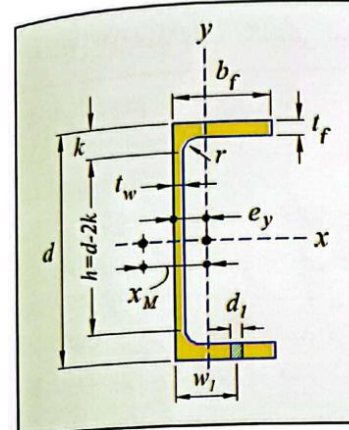


A = سطح مقطع
 G = وزن در واحد طول بر حسب کیلوگرم بر متر
 I_x و I_y = ممان اینرسی مقطع
 S_x و S_y = اساس مقطع الاستیک
 Z_x و Z_y = اساس مقطع پلاستیک
 r_x و r_y = شعاع ژیراسیون
 a = فاصله بین دو نیمرخ ($I'_x = I'_y = 2I_x$)

IPE	ابعاد هندسی مقطع						مساحت و وزن		مشخصات هندسی مقطع								
	d	b_f	t_w	t_f	k	h	A	G	محور x-x				محور y-y				
									I_x	S_x	Z_x	r_x	I_y	S_y	Z_y	r_y	a
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	kg/m	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm	
80	80	46	3.8	5.2	10.2	59	7.64	6.00	80.1	20.0	23.2	32.4	8.49	3.69	5.82	10.5	63
100	100	55	4.1	5.7	12.7	74	10.3	8.10	171	34.2	39.4	40.7	15.9	5.79	9.15	12.4	79
120	120	64	4.4	6.3	13.3	93	13.2	10.4	318	53.0	60.7	49.0	27.7	8.65	13.6	14.5	96
140	140	73	4.7	6.9	13.9	112	16.4	12.9	541	77.3	88.3	57.4	44.9	12.3	19.2	16.5	112
160	160	82	5.0	7.4	16.4	127	20.1	15.8	869	109	124	65.8	68.3	16.7	26.1	18.4	129
180	180	91	5.3	8.0	17.0	146	23.9	18.8	1 320	146	166	74.2	101	22.2	34.6	20.5	145
200	200	100	5.6	8.5	20.5	159	28.5	22.4	1 940	194	221	82.6	142	28.5	44.6	22.4	162
220	220	110	5.9	9.2	21.2	177	33.4	26.2	2 770	252	285	91.1	205	37.3	58.1	24.8	179
240	240	120	6.2	9.8	24.8	190	39.1	30.7	3 890	324	367	99.7	284	47.3	73.9	26.9	196
270	270	135	6.6	10.2	25.2	219	45.9	36.1	5 790	429	484	112	420	62.2	96.9	30.2	220
300	300	150	7.1	10.7	25.7	248	53.8	42.2	8 360	557	628	125	604	80.5	125	33.5	245
330	330	160	7.5	11.5	29.5	271	62.6	49.1	11 770	713	804	137	788	98.5	154	35.5	270
360	360	170	8.0	12.7	30.7	298	72.7	57.1	16 270	904	1 019	150	1 040	123	191	37.9	294
400	400	180	8.6	13.5	34.5	331	84.5	66.3	23 130	1 160	1 307	165	1 320	146	229	39.5	326
450	450	190	9.4	14.6	35.6	378	98.8	77.6	33 740	1 500	1 702	185	1 680	176	276	41.2	365
500	500	200	10.2	16.0	37.0	426	116	90.7	48 200	1 930	2 194	204	2 140	214	336	43.1	404
550	550	210	11.1	17.2	41.2	467	134	106	67 120	2 440	2 787	223	2 670	254	400	44.5	442
600	600	220	12.0	19.0	43.0	514	156	122	92 080	3 070	3 512	243	3 390	308	486	46.6	481

جدول ۱۶: اطلاعات تکمیلی نیمرخ UPE

J = ثابت پیچشی
 C_w = ثابت پیچش تابیدگی
 r_{ts} = شعاع ژیراسیون موثر
 L_p = مرز بین تسلیم و کمانش جانبی پیچشی غیر الاستیک
 L_r = مرز بین کمانش جانبی پیچشی غیر الاستیک و الاستیک
 Q_x = لنگر اول سطح (ممان استاتیکی) نصف مقطع نسبت به محور x
 g_e = فاصله بین مرکز کشش و فشار در حالت توزیع خطی تنش ($g_e = I_x / Q_x = 2I_x / Z_x$)
 g_p = فاصله بین مرکز کشش و فشار در حالت توزیع یکنواخت تنش ($g_p = 2Z_x / A$)
 e_y و x_M = موقعیت مرکز سطح و مرکز برش



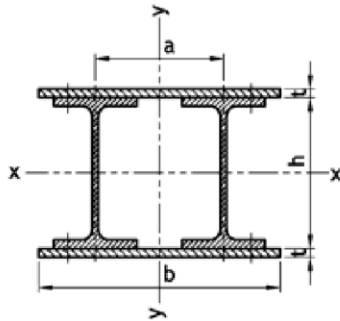
جدول ۱۵: مشخصات هندسی نیمرخ UPE

A = سطح مقطع
 G = وزن در واحد طول بر حسب کیلوگرم بر متر
 I_x و I_y = ممان اینرسی مقطع
 S_x و S_y = اساس مقطع الاستیک
 Z_x و Z_y = اساس مقطع پلاستیک
 r_x و r_y = شعاع ژیراسیون
 a = فاصله بین دو نیمرخ ($I'_x = I'_y = 2I_x$)، (پشت تا پشت)

UPE	ثابت پیچشی و تابیدگی		پارامترهای کمانش جانبی پیچشی						اطلاعات تکمیلی						سوراخ‌های لبه		
	J	C_w	ST37		ST44		ST52		Q_x	g_p	g_e	e_y	x_M	r_l	d_l	w_l	
			$F_y=240$ MPa	$F_y=300$ MPa	$F_y=360$ MPa	$F_y=360$ MPa											
	$\times 10^4$	$\times 10^6$	r_{ts}	L_p	L_r	L_p	L_r	L_p	L_r	$\times 10^3$	mm						
mm ⁴	mm ⁶	mm	mm		mm		mm		mm ³	mm							
80	1.44	237	17.01	808	5 278	723	4 240	660	3 551	15.6	58.8	68.7	18.2	37.1	10	13	30
100	1.99	568	18.86	889	4 961	795	4 000	726	3 363	24.0	72.3	86.2	19.1	39.3	10	13	30
120	2.84	1 197	20.61	965	4 912	863	3 974	788	3 354	35.2	85.3	103	19.8	41.2	12	17/13	35
140	3.99	2 337	22.38	1 052	4 951	941	4 020	859	3 405	49.4	101	121	21.7	45.4	12	17	35
160	5.17	4 180	24.22	1 128	4 986	1 009	4 065	921	3 459	65.8	112	138	22.7	47.6	12	21/17	40
180	7.00	7 158	26.02	1 214	5 151	1 086	4 212	991	3 594	86.5	128	156	24.7	51.9	12	21	40
200	8.88	11 570	27.75	1 290	5 246	1 154	4 305	1 054	3 686	110	141	174	25.6	54.1	13	23/21	45
220	21.1	18 440	29.54	1 372	7 009	1 227	5 672	1 120	4 788	141	153	191	27.0	57.0	13	23	45
240	15.1	27 760	31.30	1 443	5 678	1 291	4 678	1 178	4 019	173	166	207	27.9	59.1	15	25/23	50
270	20.0	45 540	33.14	1 519	5 792	1 359	4 790	1 240	4 129	226	185	233	28.9	61.4	15	25	50
300	31.9	75 460	34.94	1 565	6 262	1 400	5 165	1 278	4 442	307	196	255	28.9	60.3	15	28	55
330	45.6	116 300	36.53	1 611	6 581	1 441	5 425	1 315	4 664	396	209	278	29.0	60.0	18	28	60
360	59.3	172 400	38.26	1 672	6 794	1 495	5 609	1 365	4 828	491	225	302	29.7	61.2	18	28	60
400	80.5	266 300	39.88	1 712	6 959	1 531	5 756	1 398	4 963	631	242	332	29.8	60.6	18	28	60

UPE	ابعاد هندسی مقطع						مساحت و وزن		مشخصات هندسی مقطع								
	d	b_f	t_w	t_f	k	h	A	G	محور X-X				محور Y-Y				
									I_x	S_x	Z_x	r_x	I_y	S_y	Z_y	r_y	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	kg/m	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	mm	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	mm	mm
80	80	50	4	7	17	46	10.1	7.90	107	26.8	29.7	32.6	25.4	7.98	14.1	15.9	20.4
100	100	55	4.5	7.5	17.5	65	12.5	9.82	207	41.4	45.2	40.7	38.2	10.6	18.9	17.5	35.3
120	120	60	5	8	20	80	15.4	12.1	364	60.6	65.7	48.6	55.4	13.8	24.8	19.0	49.9
140	140	65	5	9	21	98	18.4	14.5	599	85.6	92.5	57.1	78.7	18.2	32.6	20.7	63.0
160	160	70	5.5	9.5	21.5	117	21.7	17.0	911	114	122	64.8	107	22.6	40.7	22.2	76.3
180	180	75	5.5	10.5	22.5	135	25.1	19.7	1 353	150	161	73.4	144	28.6	51.3	23.9	89.4
200	200	80	6	11	24	152	29.0	22.8	1 909	191	204	81.1	187	34.4	62.2	25.4	103
220	220	85	6.5	12	25	170	33.9	26.6	2 682	244	260	89.0	246	42.5	76.9	27.0	116
240	240	90	7	12.5	27.5	185	38.5	30.2	3 599	300	320	96.7	311	50.1	90.8	28.4	129
270	270	95	7.5	13.5	28.5	213	44.8	35.2	5 255	389	414	108	401	60.7	110	29.9	150
300	300	100	9.5	15	30	240	56.6	44.4	7 823	522	555	118	538	75.6	137	30.8	169
330	330	105	11	16	34	262	67.8	53.2	11 008	667	710	127	681	89.7	162	31.7	189
360	360	110	12	17	35	290	77.9	61.2	14 825	824	876	138	844	105	189	32.9	209
400	400	115	13.5	18	36	328	91.9	72.2	20 981	1 049	1 113	151	1 045	123	221	33.7	235

مقادیر استاتیکی تیر IPE 2



- $b =$ عرض
- $t =$ ضخامت تسمه
- $a =$ فاصله مرکز تیرها
- $F =$ سطح مقطع
- $G =$ وزن

II PE	سطح مقطع					محور خمشی					
	ابعاد		a mm	F cm ²	G kg/m	x - x			y - y		
	b mm	t mm				J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm
120	190	6	100	49.2	38.6	1540	234	5.60	1400	148	5.34
		8		56.8	44.6	1880	277	5.76	1630	172	5.36
		10		64.4	50.6	2240	321	5.90	1860	196	5.37
140	220	8	120	68.0	53.4	3010	386	6.65	2690	245	6.29
		10		76.8	60.3	3560	445	6.81	3050	277	6.30
		12		85.6	67.2	4140	505	6.95	3400	309	6.30
160	250	8	140	80.2	63.0	4560	518	7.54	4190	335	7.23
		10		90.2	70.8	5350	595	7.70	4710	377	7.23
		12		100	78.7	6180	672	7.86	5230	419	7.23
180	275	8	160	91.8	72.1	6530	666	8.43	6030	439	8.11
		10		103	80.7	7610	761	8.60	6730	489	8.09
		12		114	89.3	8730	856	8.76	7420	540	8.08
200	300	8	170	105	82.4	9070	840	9.30	8000	533	8.73
		10		117	91.8	10500	955	9.47	8900	593	8.72
		12		129	101	11980	1070	9.64	9800	653	8.72
220	325	8	190	119	93.3	12300	1040	10.2	11020	678	9.63
		10		132	103	14140	1180	10.4	12160	748	9.61
		12		145	114	16050	1320	10.5	13300	819	9.59
240	350	8	210	134	105	16390	1280	11.1	14910	852	10.5
		10		148	116	18720	1440	11.2	16340	933	10.5
		12		162	127	21130	1600	11.4	17760	1020	10.5