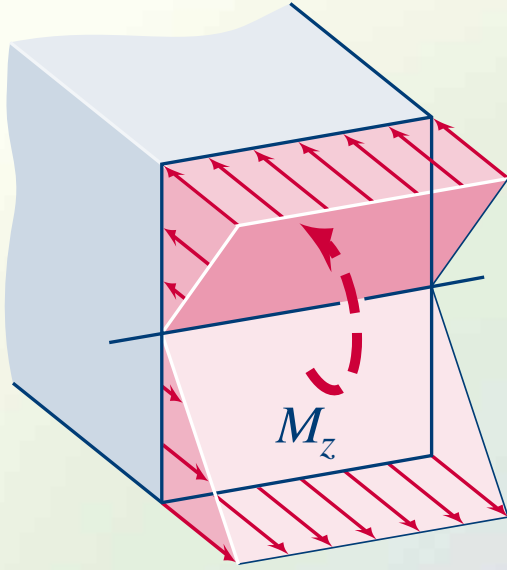


فصل نهم

تنش در تیرها



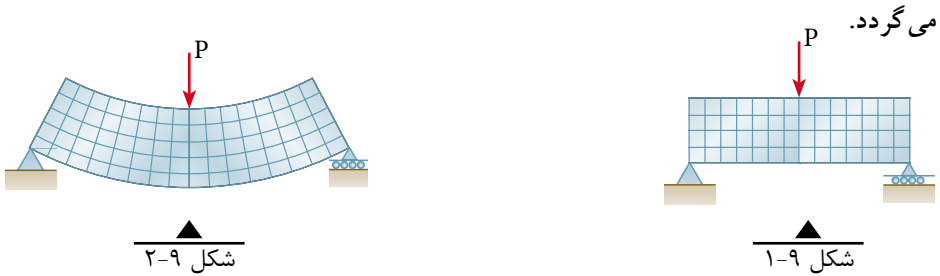
هدف‌های رفتاری

پس از آموزش این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

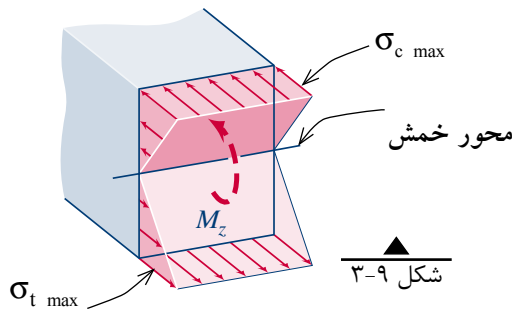
- ۱- تنش خمشی را در تیرها بشناسد.
- ۲- تنش خمشی حداکثر در هر مقطع از تیر با مقاطع متقارن را با بار متمرکز محاسبه کند.
- ۳- حداکثر تنش خمشی تیرها با مقاطع متقارن را با بار متمرکز به دست آورد.
- ۴- شماره مقطع مورد نیاز تیرها تحت بار متمرکز را به کمک رابطهٔ خمش، با استفاده از پروفیل‌های استاندارد تک یا دوبل به دست آورد.

۱-۹ تنش خمشی در تیرها با مقطع متقارن

در شکل (۱-۹) تیر با بارگذاری نشان داده شده، به صورت شکل (۲-۹) خم



ملاحظه می‌شود که تارهای تحتانی تیر کشیده شده و تارهای فوقانی آن فشرده می‌شود بنابراین در هر مقطع این تیر، ناحیه تحتانی دارای تنش کششی و ناحیه فوقانی دارای تنش فشاری می‌باشد که به تنش‌های مذکور تنش‌های خمشی گفته می‌شود. حداکثر تنش‌های کششی (σ_t) و فشاری (σ_c) ایجاد شده در مقطع تیر مطابق شکل (۳-۹) به ترتیب در تارهای تحتانی و فوقانی خواهد بود.



مقدار این تنش‌ها از رابطه (۱-۹) محاسبه می‌گردد که به رابطه خمشی معروف است:

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (1-9)$$

در این رابطه:

M : لنگر خمشی در مقطع مورد نظر

C : فاصله دورترین تارهای کششی یا فشاری مقطع از محور خمشی

I : ممان اینرسی حول محور خمشی تیر می‌باشد.

σ : تنش کششی (σ_t) و یا فشاری (σ_c) حداکثر، در مقطع مورد نظر می‌باشد که

در مقاطع متقارن با هم برابرند.

۹-۱-۱- تنش‌های خمشی حداکثر در تیر

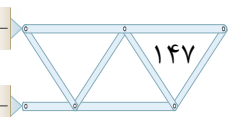
رابطه (۱-۹) مقادیر حداکثر تنش کششی یا فشاری (σ_{max}) در هر مقطع دلخواه از تیر

را تعیین می‌کند.

برای محاسبه حداکثر تنش کششی یا فشاری در طول تیر لازم است در رابطه (۱-۹)

لنگر خمشی حداکثر تیر (M_{max}) را از نمودار لنگر خمشی تیر جایگزین نماییم. یعنی:

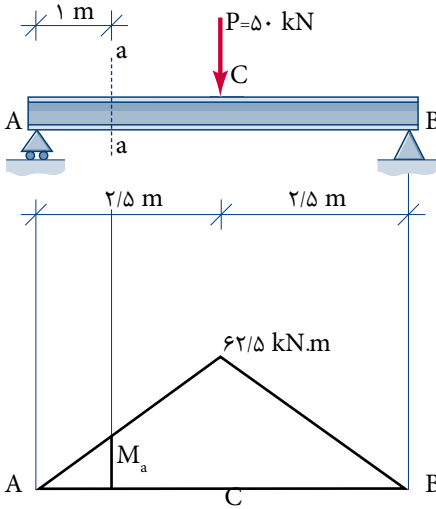
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} C}{I} \quad (2-9)$$



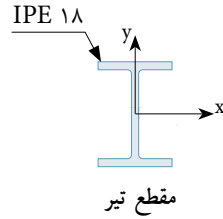
مثال ۱

در تیر شکل مقابل که متشکل از یک IPE ۱۸۰ mm می باشد، با توجه به نمودار لنگر خمشی تیر مطلوب است محاسبه:

(الف) تنش خمشی حداکثر در مقطع a-a به فاصله ۱ متر از تکیه گاه سمت چپ
(ب) تنش خمشی حداکثر تیر



نمودار لنگر خمشی تیر (M)



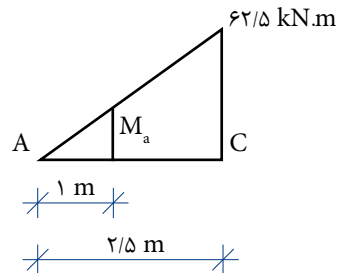
حل:

(الف) مقدار لنگر خمشی در مقطع a-a به فاصله ۱ متر از تکیه گاه سمت چپ با توجه به نمودار لنگر خمشی و استفاده از تناسب به صورت زیر به دست می آید.

$$\frac{M_a}{62/5} = \frac{1}{2/5} \Rightarrow M_a = \frac{62/5}{2/5}$$

$$M_a = 25 \text{ kN.m}$$

$$M_a = 25 \times 10^6 \text{ N.mm}$$



تنش خمشی ماکزیمم در مقطع a-a از رابطه خمش به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\sigma = \frac{M_a C}{I_x}$$

با استخراج مشخصات IPE ۱۸ از جداول پیوست خواهیم داشت:

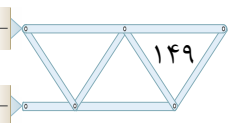
$$\text{IPE ۱۸} \begin{cases} I_x = 1320 \text{ cm}^4 = 132 \times 10^5 \text{ mm}^4 \\ C = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\sigma = \frac{25 \times 10^6 \times 90}{132 \times 10^5} \Rightarrow \boxed{\sigma = 170/45 \text{ MPa}}$$

ب) تنش خمشی حداکثر تیر با توجه به مقدار لنگر ماکزیمم تیر از روی نمودار لنگر خمشی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$M_{\max} = 62/5 \text{ kN.m} = 62/5 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} C}{I_x} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{62/5 \times 10^6 \times 90}{132 \times 10^5} \Rightarrow \boxed{\sigma_{\max} = 426/14 \text{ MPa}}$$



تنش برشی متوسط تیرهای با مقطع I شکل (مطالعه آزاد)

در فصل پنجم با نمودارهای نیروی برشی (V) و لنگر خمشی (M) تیرها آشنا شدیم. بر اساس این نمودارها، هر نقطه از تیر دارای مقدار معینی نیروی برشی و لنگر خمشی می‌باشد. تیرها باید مقادیر حداکثر نیروی برشی (V_{\max}) و لنگر خمشی (M_{\max}) ایجادشده را تحمل نمایند.

در تیرهای I شکل، جانِ تیر سهم بیشتری در تحمل نیروهای برشی دارد بنابراین برای محاسبهٔ تنش برشی در تیرها، در رابطهٔ ($\tau = \frac{V}{A}$) که در فصل هشتم آمده است، سطح جان تیر را قرار می‌دهیم.

لذا تنش برشی متوسط (τ_{ave}) در تیرها از رابطهٔ (۳-۹) به دست می‌آید.

$$\tau_{\text{ave}} = \frac{V}{A_w} \quad (۳-۹)$$

که A_w مطابق شکل (۴-۹) برابر است با:

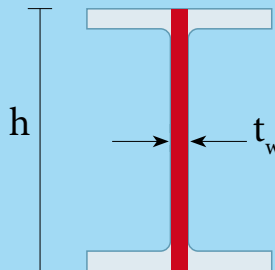
$$A_w = h.t_w \quad (۴-۹)$$

در این رابطه:

(h) ارتفاع مقطع تیر آهن و (t_w) ضخامت جانِ تیر می‌باشد که از جداول مربوطه استخراج می‌گردد.

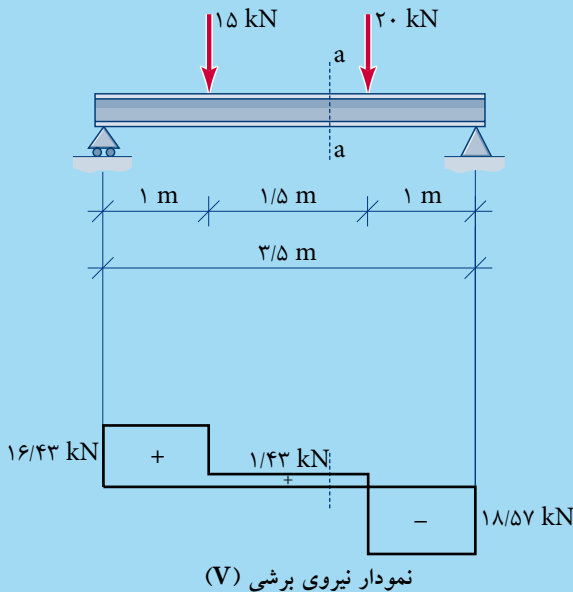
برای محاسبهٔ تنش برشی حداکثر (τ_{\max}) در تیر باید به جای V در رابطهٔ (۳-۹) از V_{\max} استفاده شود.

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max}}{h.t_w} \quad (۵-۹)$$



شکل ۴-۹

مثال ۲ (مطالعه آزاد)



در تیر شکل مقابل که از یک تیر آهن IPE ۱۶ تشکیل شده است، با توجه به نمودار نیروی برشی تیر مطلوب است محاسبه:

الف) تنش برشی تیر در مقطع a-a به فاصله ۱/۵ متر از تکیه گاه سمت راست؛
 ب) تنش برشی حداکثر تیر.

حل:

الف) با توجه به نمودار نیروی برشی، در مقطع a-a به فاصله ۱/۵ متر از تکیه گاه سمت راست، مقدار نیروی برشی برابر است با $V_a = 1/43 \text{ kN}$ بنابراین خواهیم داشت:

$$\tau_a = \frac{V}{A_w}$$

با استخراج سطح مقطع جان تیر آهن IPE ۱۶ از جداول پیوست، داریم:

$$\text{IPE ۱۶} \begin{cases} h = 16 \text{ cm} = 160 \text{ mm} \\ t_w = s = 5 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow A_w = h \cdot t_w \Rightarrow A_w = 160 \times 5 = 800 \text{ mm}^2$$

$$\tau_a = \frac{1/43 \times 10^3}{800} \Rightarrow \tau_a = 1/79 \text{ MPa}$$

تنش برشی در مقطع a-a

ب) تنش برشی حداکثر تیر:

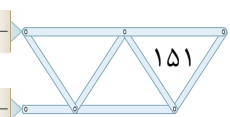
با توجه به نمودار نیروی برشی داریم:

$$V_{\max} = 18/57 \text{ kN} = 18570 \text{ N}$$

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max}}{h \cdot t_w} \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{18570}{800}$$

$$\Rightarrow \tau_{\max} = 23/21 \text{ MPa}$$

تنش برشی حداکثر تیر



تنش خمشی ماکزیمم تحت بار متمرکز

به طور کلی طراحی تیر یعنی تعیین مشخصات مقطع مورد نیاز با توجه به بارهای وارده و کنترل‌های لازم مانند کنترل تنش برشی حداکثر، کنترل تغییر شکل و . . . که با استفاده از آئین‌نامه‌های مربوطه انجام می‌گیرد.

در این قسمت با روش تعیین شماره مقطع مورد نیاز تیر فولادی با استفاده از رابطه (۲-۹) آشنا می‌شوید و کنترل‌های لازم را در مقاطع بالاتر فرا خواهید گرفت. تنش خمشی حداکثر تیر که عموماً تعیین‌کننده شماره مقطع مورد نیاز آن می‌باشد از رابطه (۲-۹) به دست می‌آید.

به طور کلی تنش ایجاد شده در هر مصالحی نباید از مقدار معینی تجاوز نماید که این مقدار تنش معین را تنش مجاز مصالح مورد نظر می‌نامند.

مقدار تنش مجاز توسط آئین‌نامه‌های مربوطه مشخص شده و با نماد σ_{all} نشان داده می‌شود. در این کتاب مقدار تنش مجاز مصالح فولادی در خمش معادل 144 MPa در نظر گرفته شده است.^۱

بنابراین تنش خمشی حداکثر در تیرهای فولادی نباید از 144 MPa تجاوز نماید در نتیجه رابطه (۲-۹) به صورت زیر در خواهد آمد.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot C}{I_x} \leq 144 \text{ MPa}$$

نسبت $\frac{I_x}{C}$ ، مدول مقطع یا اساس مقطع تیر یعنی (S_x) می‌باشد. بنابراین در رابطه (۳-۹) خواهیم داشت:

$$S_x = \frac{I_x}{C}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\frac{I_x}{C}} \leq 144 \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S_x} \leq 144$$

$$\Rightarrow S_x \geq \frac{M_{\max}}{144} \quad (4-9)$$

۱- مقدار تنش مجاز به عوامل مختلفی بستگی دارد که به منظور سادگی و پرهیز از طولانی شدن بحث به طور خلاصه آنرا معادل 144 MPa در نظر می‌گیریم.

«به مقدار S_x حاصل از رابطه (۹-۴) اساس مقطع لازم گویند.» بنابراین برای تعیین شماره مقطع تیر با استفاده از رابطه (۹-۴) اساس مقطع لازم تیر، محاسبه شده و از جداول پروفیل‌های ساختمانی می‌توان شماره مقطع مورد نیاز را که دارای اساس مقطعی معادل یا بزرگ‌تر از مقدار محاسبه شده از رابطه فوق می‌باشد، استخراج می‌شود.

مثال ۳

کنترل نمائید در مثال (۱) آیا با توجه به تنش مجاز خمشی تیر که معادل 144 MPa می‌باشد تیر آهن 18 IPE جوابگوی بار وارده می‌باشد یا خیر و در صورت لزوم مقطع مورد نیاز را تعیین نمائید.

حل:

تنش خمشی ماکزیمم در مثال (۱) برابر $\sigma_{\max} = 426/14 \text{ MPa}$ محاسبه شده که بزرگ‌تر از تنش مجاز خمشی یعنی $\sigma_{\text{all}} = 144 \text{ MPa}$ می‌باشد بنابراین 18 IPE جوابگوی بار وارده نمی‌باشد.

بنابراین باید اساس مقطع مورد نیاز را محاسبه نمائیم. با توجه به رابطه (۹-۴) خواهیم

$$S_x \text{ لازم} \geq \frac{M_{\max}}{144} \quad \text{داشت:}$$

$$\Rightarrow S_x \text{ لازم} = \frac{62/5 \times 10^6}{144} = 434.027 \text{ mm}^3 = 434.027 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

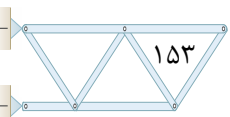
$$\Rightarrow S_x \text{ لازم} = 434/0.3 \text{ cm}^3 \Rightarrow \text{از جدول IPE} \Rightarrow \boxed{\text{IPE } 30}$$

$$S_x \text{ موجود} = 557 \text{ cm}^3 > 434/0.3$$

بنابراین برای این که تنش خمشی ماکزیمم تیر از حد مجاز تجاوز نکند باید مقطع آن حداقل 30 IPE باشد. چنانچه بخواهیم از تیر آهن دابل به عنوان تیر فوق استفاده نمائیم، کافی است اساس مقطع لازم را نصف نموده و بر اساس آن شماره مقطع مورد نیاز را از جدول استخراج و به صورت دابل مورد استفاده قرار دهیم. خواهیم داشت:

$$S_x \text{ لازم} \geq \frac{434/0.3}{2} = 217/0.2 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow \text{از جدول IPE} \Rightarrow \boxed{2 \text{ IPE } 22} \quad \text{با} \quad S_x \text{ موجود} = 252 \times 2 = 504 \text{ cm}^3 > 434/0.3 \text{ cm}^3$$



خلاصه فصل

- در اثر خمش در تیر، تنش‌های کششی و فشاری ایجاد می‌شود.
- مقادیر تنش خمشی حداکثر در هر مقطع از تیر در تارهای فوقانی و تحتانی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

- تنش خمشی حداکثر تیر از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} C}{I}$$

- تنش مجاز خمشی تیرهای فولادی برابر 144 MPa در نظر گرفته می‌شود.

$$\sigma_{\text{all}} = 144 \text{ MPa}$$

- برای تعیین اساس مقطع تیر آهن لازم از رابطه زیر استفاده می‌شود.

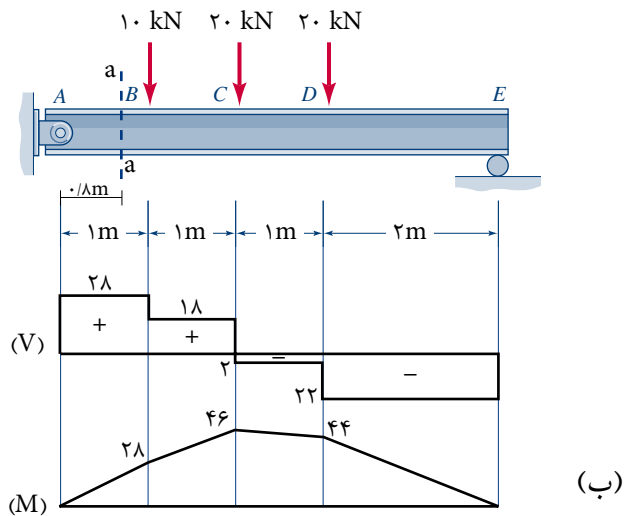
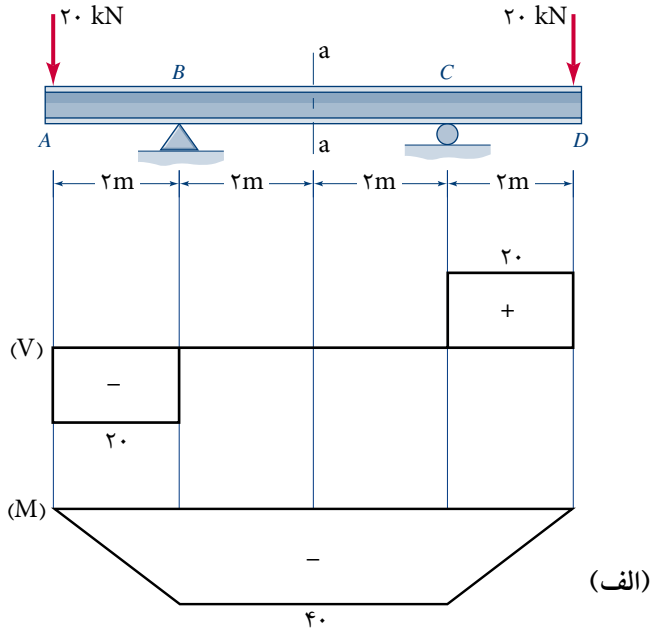
$$S_x \geq \frac{M_{\max}}{144}$$

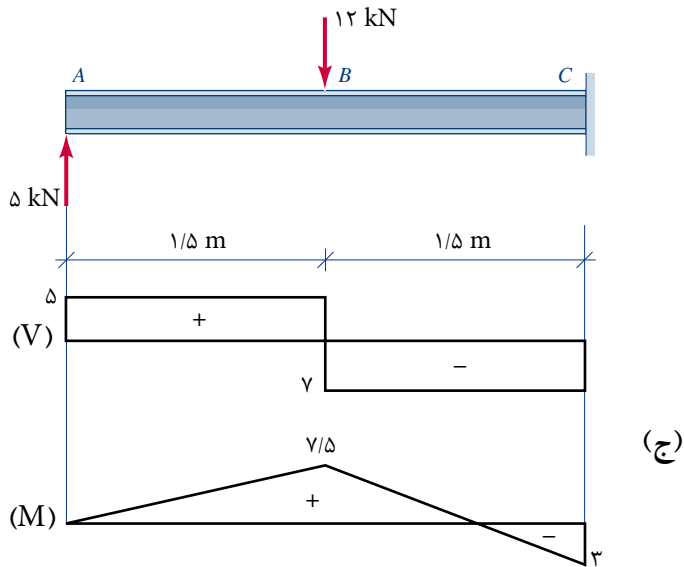


۱- در تیرهای داده شده مطلوب است:

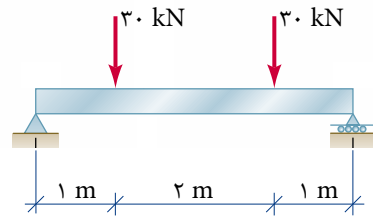
الف) محاسبه تنش خمشی در مقطع a-a

ب) محاسبه تنش خمشی ماکزیمم تیر

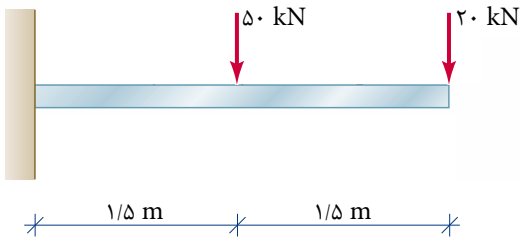




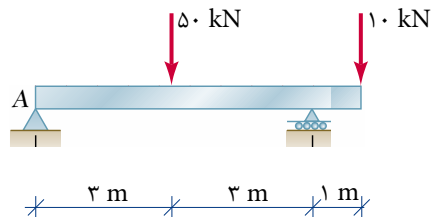
۲- شماره مقطع هر یک از تیرهای زیر را با استفاده از پروفیل IPE تک و دوپل تعیین کنید.
 (تنش مجاز خمشی فولاد را ۱۴۴ مگاپاسکال در نظر بگیرید.)



(الف)



(ب)

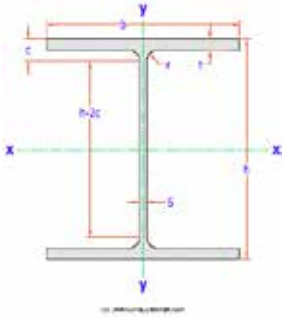


(ج)

ضمیمه:

جداول مشخصات نیمرخ‌های فولادی

نیمرخ بال پهن IPB



$A =$ سطح مقطع

$G =$ وزن واحد طول

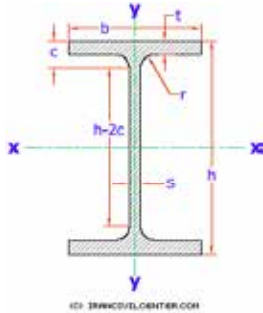
$I =$ ممان اینرسی

$S =$ اساس مقطع

$i =$ شعاع ژیراسیون

IPB	h	b	s	t	r	c	h-2c	A	G	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	r_T
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	mm
100	100	100	6	10	12	22	56	26	20.4	450	89.9	4.16	167	33.5	2.53	27.8
120	120	120	6.5	11	12	23	74	34	26.7	864	144	5.04	318	52.9	3.06	33.4
140	140	140	7	12	12	24	92	43	33.7	1510	216	5.93	550	78.5	3.58	38.9
160	160	160	8	13	15	28	104	54.3	42.6	2490	311	6.78	889	111	4.05	44.4
180	180	180	8.5	14	15	29	122	65.3	51.2	3830	426	7.66	1360	151	4.57	49.9
200	200	200	9	15	18	33	134	78.1	61.3	5700	570	8.54	2000	200	5.07	55.5
220	220	220	9.5	16	18	34	152	91	71.5	8090	736	9.43	2840	258	5.59	61
240	240	240	10	17	21	38	164	106	83.2	11260	938	10.3	3920	327	6.08	66.6
260	260	260	10	17.5	24	41.5	177	118	93	14920	1150	11.2	5130	395	6.58	72.2
280	280	280	10.5	18	24	42	196	131	103	19270	1380	12.1	6590	471	7.09	77.6
300	300	300	11	19	27	46	208	149	117	25170	1680	13	8560	571	7.58	83.2
320	320	300	11.5	20.5	27	47.5	225	161	127	30820	1930	13.8	9240	616	7.57	83.1
340	340	300	12	21.5	27	48.5	243	171	134	36660	2160	14.6	9690	646	7.53	82.9
360	360	300	12.5	22.5	27	49.5	261	181	142	43190	2400	15.5	10140	676	7.49	82.7
400	400	300	13.5	24	27	51	298	198	155	57680	2880	17.1	10820	721	7.4	82.3
450	450	300	14	26	27	53	344	218	171	79890	3550	19.1	11720	781	7.33	81.9
500	500	300	14.5	28	27	55	390	239	187	107200	4290	21.2	12620	842	7.27	81.6
550	550	300	15	29	27	56	438	254	199	136700	4970	23.2	13080	872	7.17	81.1
600	600	300	15.5	30	27	57	486	270	212	171000	5700	25.2	13530	902	7.08	80.7
650	650	300	16	31	27	58	534	286	225	210600	6480	27.1	13980	932	6.99	80.2
700	700	300	17	32	27	59	582	306	241	256900	7340	29	14440	963	6.87	79.6
800	800	300	17.5	33	30	63	674	334	262	359100	8980	32.8	14900	994	6.68	78.7
900	900	300	18.5	35	30	65	770	371	291	494100	10980	36.5	15820	1050	6.53	77.9
1000	1000	300	19	36	30	66	868	400	314	644700	12890	40.1	16280	1090	6.38	77

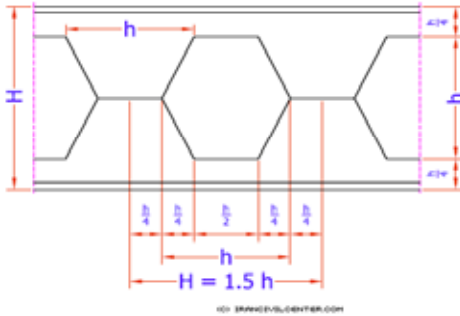
نیمرخ نیم بهن IPE



$A =$ سطح مقطع
 $G =$ وزن واحد طول
 $I =$ ممان اینرسی
 $S =$ اساس مقطع
 $i =$ شعاع ژیراسیون

IPE	h	b	s	t	r	c	h-2c	A	G	I_x	S_x	i_x	I_y	S_y	i_y	a_1	r_T
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm
80	80	46	3.8	5.2	5	10.2	59	7.64	6	80.1	20	3.24	8.49	3.69	1.05	63	12.2
100	100	55	4.1	5.7	7	12.7	74	10.3	8.1	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24	79	14.6
120	120	64	4.4	6.3	7	13.3	93	13.2	10.4	318	53	4.9	27.7	8.65	1.45	96	16.9
140	140	73	4.7	6.9	7	13.9	112	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	112	19.3
160	160	82	5	7.4	9	16.4	127	20.1	15.8	869	109	6.58	68.3	16.7	1.84	129	21.7
180	180	91	5.3	8	9	17	146	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.2	2.06	145	24
200	200	100	5.6	8.5	12	20.5	159	28.5	22.4	1940	194	8.26	142	28.5	2.24	162	26.4
220	220	110	5.9	9.2	12	21.2	177	33.4	26.2	2770	252	9.11	205	37.3	2.48	179	29.1
240	240	120	6.2	9.8	15	24.8	190	39.1	30.7	3890	324	9.97	284	47.3	2.6	196	31.8
270	270	135	6.6	10.2	15	25.2	219	45.9	36.1	5790	429	11.2	420	62.2	3.02	220	35.6
300	300	150	7.1	10.7	15	25.7	248	53.8	42.2	8360	557	12.5	604	80.5	3.35	245	39.5
330	330	160	7.5	11.5	18	29.5	271	62.6	49.1	11770	713	13.7	788	98.5	3.55	270	42.1
360	360	170	8	12.7	18	30.7	298	72.7	57.1	16270	904	15	1040	123	3.79	294	44.7
400	400	180	8.6	13.5	21	34.5	331	84.5	66.3	23130	1160	16.5	1320	146	3.95	326	47.1
450	450	190	9.4	14.6	21	35.6	378	98.8	77.6	33740	1500	18.5	1680	176	4.12	365	49.4
500	500	200	10.2	16	21	37	426	116	90.7	48200	1930	20.4	2140	214	4.31	404	51.8
550	550	210	11.1	17.2	24	41.2	467	134	106	67120	2440	22.3	2670	254	4.45	442	54
600	600	220	12	19	24	43	514	156	122	92080	3070	24.3	3390	308	4.66	481	56.5

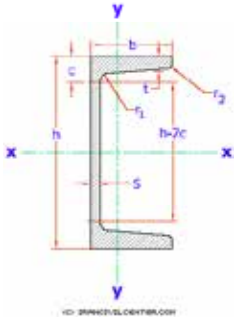
نیمرخ نیم پهن لانه زنبوری شده Cast IPE



A = سطح مقطع
 G = وزن واحد طول
 I = ممان اینرسی
 S = اساس مقطع

Cast IPE	h	H	s	t	A	G	I_{xa}	S_{xa}	F_b	I_{xb}	S_{xb}
	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m (per 1.5h)	cm ⁴	cm ³	cm ²	cm ⁴	cm ³
120	80	120	3.8	5.2	9.16	0.718	206	34.3	6.12	189	31.6
150	100	150	4.1	5.7	12.4	1.21	437	58.2	8.25	403	53.7
180	120	180	4.4	6.3	15.8	1.86	809	89.9	10.6	746	82.8
210	140	210	4.7	6.9	19.7	2.7	1370	131	13.1	1270	121
240	160	240	5	7.4	24.1	3.78	2200	184	16.1	2030	169
270	180	270	5.3	8	28.7	5.06	3330	247	19.1	3070	228
300	200	300	5.6	8.5	34.1	6.7	4910	327	22.9	4540	302
330	220	330	5.9	9.2	39.9	8.63	6990	423	26.9	6460	392
360	240	360	6.2	9.8	46.5	11	9790	544	31.7	9070	504
405	270	405	6.6	10.2	54.8	14.6	14550	719	37	13470	665
450	300	450	7.1	10.7	64.5	19	21010	934	43.2	19410	863
495	330	495	7.5	11.5	75	24.3	29580	1200	50.2	27330	1100
540	360	540	8	12.7	87.1	30.8	40890	1510	58.3	37780	1400
600	400	600	8.6	13.5	102	39.7	58290	1940	67.3	53700	1790
675	450	675	9.4	14.6	120	52.2	85430	2530	77.7	78290	2320
750	500	750	10.2	16	142	68.2	122400	3260	90.5	111800	2980
825	550	825	11.1	17.2	165	86.6	171100	4150	103	155700	3770
900	600	900	12	19	192	110	235300	5230	120	213700	4750

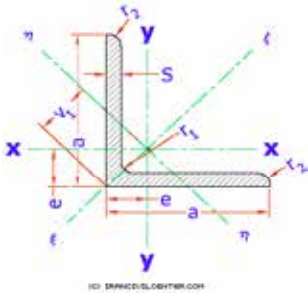
نیمرخ ناودانی UNP



- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- i = شعاع ژیراسیون

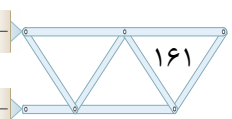
UNP	h	b	s	t=r ₁	r ₂	c	h-2c	A	G	I _x	S _x	i _x	I _y	S _y	i _y	e _y	x _M	a ₁
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	mm
30x15	30	15	4	4.5	2	9	12	2.21	1.74	2.53	1.69	1.07	0.38	0.39	0.42	0.52	0.74	--
30	30	33	5	7	3.5	14.5	1	5.44	4.27	6.39	4.26	1.08	5.33	2.68	0.99	1.31	2.22	--
40x20	40	20	5	5.5	2.5	11	18	3.66	2.87	7.58	3.79	1.44	1.14	0.86	0.56	0.67	1.01	--
40	40	35	5	7	3.5	14.5	11	6.21	4.87	14.1	7.05	1.5	6.68	3.08	1.04	1.33	2.32	--
50x25	50	25	5	6	3	12.5	25	4.92	3.86	16.8	6.73	1.85	2.49	1.48	0.71	0.81	1.34	--
50	50	38	5	7	3.5	15	20	7.12	5.59	26.4	10.6	1.92	9.12	3.75	1.13	1.37	2.47	4
60	60	30	6	6	3	12.5	35	6.46	5.07	31.6	10.5	2.21	4.51	2.16	0.84	0.91	1.5	--
65	65	42	5.5	7.5	4	16	33	9.03	7.09	57.5	17.7	2.52	14.1	5.07	1.25	1.42	2.6	16
80	80	45	6	8	4	17	47	11	8.64	106	26.5	3.1	19.4	6.36	1.33	1.45	2.67	28
100	100	50	6	8.5	4.5	18	64	13.5	10.6	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	1.55	2.93	42
120	120	55	7	9	4.5	19	82	17	13.4	364	60.7	4.62	43.2	11.1	1.59	1.6	3.03	56
140	140	60	7	10	5	21	97	20.4	16	605	86.4	5.45	62.7	14.8	1.75	1.75	3.37	70
160	160	65	7.5	10.5	5.5	22.5	116	24	18.8	925	116	6.21	85.3	18.3	1.89	1.84	3.56	82
180	180	70	8	11	5.5	23.5	133	28	22	1350	150	6.95	114	22.4	2.02	1.92	3.75	96
200	200	75	8.5	11.5	6	24.5	151	32.2	25.3	1910	191	7.7	148	27	2.14	2.01	3.94	108
220	220	80	9	12.5	6.5	26.5	166	37.4	29.4	26900	245	8.48	197	33.6	2.3	2.14	4.2	122
240	240	85	9.5	13	6.5	28	185	42.3	33.2	3600	300	9.22	248	39.6	2.42	2.23	4.39	134
260	260	90	10	14	7	30	201	48.3	37.9	4820	371	9.99	317	47.7	2.56	2.36	4.66	146
280	280	95	10	15	7.5	32	216	53.3	41.8	6280	448	10.9	399	57.2	2.74	2.53	5.02	160
300	300	100	10	16	8	34	232	58.8	46.2	8030	535	11.7	495	67.8	2.9	2.7	5.41	174
320	320	100	14	17.5	8.75	37	247	75.8	59.5	10870	679	12.1	597	80.6	2.81	2.6	4.82	182
350	350	100	14	16	8	34	283	77.3	60.6	12840	734	12.9	570	75	2.72	2.4	4.45	204
380	380	102	13.5	16	8	33.5	313	80.4	63.1	15760	829	14	615	78.7	2.77	2.38	4.58	227
400	400	110	14	18	9	38	325	91.5	71.8	20350	1020	14.9	846	102	3.04	2.65	5.11	240

نیمرخ نبشی با بال مساوی Angle Equal Leg

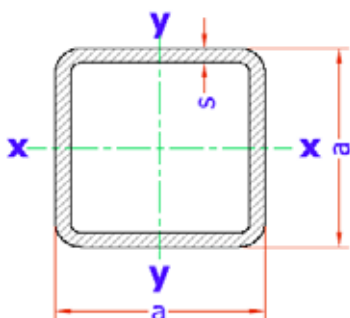


- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- i = شعاع ژیراسیون

a X s	r ₁	r ₂	A	G	e	w	v ₁	I _x =I _y	S _x =S _y	i _x =i _y	J _ξ	i _ξ	J _η	W _η	i _η
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm
20 X 3	3.5	2	1.12	0.88	0.6	1.41	0.85	0.39	0.28	0.59	0.62	0.74	0.15	0.18	0.37
20 X 4	3.5	2	1.45	1.14	0.64	1.41	0.9	0.48	0.35	0.58	0.77	0.73	0.19	0.21	0.36
25 X 3	3.5	2	1.42	1.12	0.73	1.77	1.03	0.79	0.45	0.75	1.27	0.95	0.31	0.3	0.47
25 X 4	3.5	2	1.85	1.45	0.76	1.77	1.08	1.01	0.58	0.74	1.61	0.93	0.4	0.37	0.47
25 X 5	3.5	2	2.26	1.77	0.8	1.77	1.13	1.18	0.69	0.72	1.87	0.91	0.5	0.44	0.47
30 X 3	5	2.5	1.74	1.36	0.84	2.12	1.18	1.41	0.65	0.9	2.24	1.14	0.57	0.48	0.57
30 X 4	5	2.5	2.27	1.78	0.89	2.12	1.24	1.81	0.86	0.89	2.85	1.12	0.76	0.61	0.58
30 X 5	5	2.5	2.78	2.18	0.92	2.12	1.3	2.16	1.04	0.88	3.41	1.11	0.91	0.7	0.57
35 X 3	5	2.5	2.04	1.6	0.96	2.47	1.36	2.29	0.9	1.06	3.63	1.34	0.95	0.7	0.68
35 X 4	5	2.5	2.67	2.1	1	2.47	1.41	2.96	1.18	1.05	4.68	1.33	1.24	0.88	0.68
35 X 5	5	2.5	3.28	2.57	1.04	2.47	1.47	3.56	1.45	1.04	5.63	1.31	1.49	1.01	0.67
35 X 6	5	2.5	3.87	3.04	1.08	2.47	1.53	4.14	1.71	1.04	6.5	1.3	1.77	1.16	0.68
40 X 3	6	3	2.35	1.84	1.07	2.83	1.52	3.45	1.18	1.21	5.45	1.52	1.44	0.95	0.78
40 X 4	6	3	3.08	2.42	1.12	2.83	1.58	4.48	1.56	1.21	7.09	1.52	1.86	1.18	0.78
40 X 5	6	3	3.79	2.97	1.16	2.83	1.64	5.43	1.91	1.2	8.64	1.51	2.22	1.35	0.77
40 X 6	6	3	4.48	3.52	1.2	2.83	1.7	6.33	2.26	1.19	9.98	1.49	2.67	1.57	0.77
45 X 4	7	3.5	3.49	2.74	1.23	3.18	1.75	6.43	1.97	1.36	10.2	1.71	2.68	1.53	0.88
45 X 5	7	3.5	4.3	3.38	1.28	3.18	1.81	7.83	2.43	1.35	12.4	1.7	3.25	1.8	0.87
45 X 6	7	3.5	5.09	4	1.32	3.18	1.87	9.16	2.88	1.34	14.5	1.69	3.83	2.05	0.87
45 X 7	7	3.5	5.86	4.6	1.36	3.18	1.92	10.4	3.31	1.33	16.4	1.67	4.39	2.29	0.87
50 X 4	7	3.5	3.89	3.06	1.36	3.54	1.92	8.97	2.46	1.52	14.2	1.91	3.73	1.94	0.98
50 X 5	7	3.5	4.8	3.77	1.4	3.54	1.98	11	3.05	1.51	17.4	1.9	4.59	2.32	0.98
50 X 6	7	3.5	5.69	4.47	1.45	3.54	2.04	12.8	3.61	1.5	20.4	1.89	5.24	2.57	0.96
50 X 7	7	3.5	6.56	5.15	1.49	3.54	2.11	14.6	4.15	1.49	23.1	1.88	6.02	2.85	0.96
50 X 8	7	3.5	7.41	5.82	1.52	3.54	2.16	16.3	4.68	1.48	25.7	1.86	6.87	3.19	0.96
50 X 9	7	3.5	8.24	6.47	1.56	3.54	2.21	17.9	5.2	1.47	28.1	1.85	7.67	3.47	0.97
55 X 5	8	4	5.32	4.18	1.52	3.89	2.15	14.7	3.7	1.66	23.3	2.09	6.11	2.84	1.07
55 X 6	8	4	6.31	4.95	1.56	3.89	2.21	17.3	4.4	1.66	27.4	2.08	7.24	3.28	1.07
55 X 8	8	4	8.23	6.46	1.64	3.89	2.32	22.1	5.72	1.64	34.8	2.06	9.35	4.03	1.07
55 X 10	8	4	10.1	7.9	1.72	3.89	2.43	26.3	6.97	1.62	41.4	2.02	11.3	4.65	1.06
60 X 5	8	4	5.82	4.57	1.64	4.24	2.32	19.4	4.45	1.82	30.7	2.3	8.03	3.46	1.17
60 X 6	8	4	6.91	5.42	1.69	4.24	2.39	22.8	5.29	1.82	36.1	2.29	9.43	3.95	1.17
60 X 8	8	4	9.03	7.09	1.77	4.24	2.5	29.1	6.88	1.8	46.1	2.26	12.1	4.84	1.16



نیمرخ قوطی مربع Square Tube

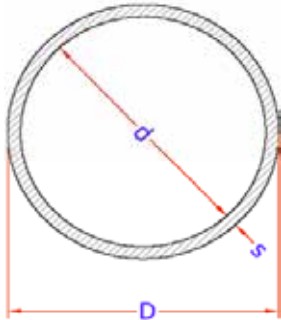


© IRANCTULCENTER.COM

A = سطح مقطع
 G = وزن واحد طول
 I = ممان اینرسی
 S = اساس مقطع
 i = شعاع ژیراسیون

$a \times s$	A	G	I	S	i
mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
40 X 2.9	4.23	3.32	9.66	4.83	1.51
40 X 4	5.62	4.41	12.1	6.05	1.47
50 X 2.9	5.39	4.23	19.8	7.94	1.92
50 X 4	7.22	5.67	25.4	10.1	1.87
60 X 2.9	6.55	5.14	35.5	11.8	2.33
60 X 4	8.82	6.93	45.9	15.3	2.28
60 X 5	10.8	8.47	54.1	18	2.24
70 X 3.2	8.46	6.64	62.7	17.9	2.72
70 X 4	10.4	8.18	75.3	21.5	2.69
70 X 5	12.8	10	89.6	25.6	2.65
80 X 3.6	10.9	8.55	106	26.4	3.11
80 X 4.5	13.4	10.5	127	31.7	3.08
80 X 5.6	16.4	12.9	151	37.6	3.03
90 X 3.6	12.3	9.68	153	34	3.52
90 X 4.5	15.2	11.9	185	41	3.48
90 X 5.6	18.6	14.6	220	49	3.44
100 X 4	15.2	12	233	46.6	3.91
100 X 5	18.8	14.7	281	56.3	3.87
100 X 6.3	23.3	18.3	339	67.8	3.82
120 X 4.5	20.5	16.1	452	75.3	4.7
120 X 5.6	25.1	19.7	544	90.6	4.65
120 X 6.3	28	22	598	99.7	4.62
140 X 5.6	29.6	23.3	885	126	5.47
140 X 7.1	37	29	1080	154	5.4
140 X 8.8	45	35.3	1280	182	5.33
160 X 6.3	37.7	29.6	1460	183	6.23
160 X 8	47	36.9	1780	222	6.15
160 X 10	57.4	45.1	2100	263	6.05
180 X 6.3	42.8	33.6	2120	236	7.05
180 X 8	53.4	41.9	2590	288	6.97
180 X 10	65.4	51.4	3090	343	6.87
200 X 6.3	47.8	37.5	2960	296	7.86

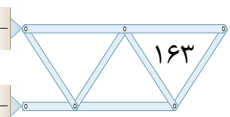
نیمرخ لوله Round Tube



© IRANCOLOMBENTER.COM

A = سطح مقطع
 G = وزن واحد طول
 I = ممان اینرسی
 S = اساس مقطع
 i = شعاع ژیراسیون

D X s	A	G	I	S	i _x
mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
21.3 X 2	1.21	0.962	0.571	0.536	0.686
21.3 X 2.6	1.53	1.21	0.681	0.639	0.668
21.3 X 3.2	1.82	1.44	0.768	0.722	0.65
26.9 X 2	1.56	1.24	1.22	0.907	0.883
26.9 X 2.6	1.98	1.57	1.48	1.1	0.864
26.9 X 3.2	2.38	1.89	1.7	1.27	0.846
33.7 X 2.6	2.54	2.01	3.09	1.84	1.1
33.7 X 3.2	3.07	2.42	3.6	2.14	1.08
33.7 X 4	3.73	2.95	4.19	2.49	1.06
42.4 X 2.6	3.25	2.57	6.46	3.05	1.41
42.4 X 3.2	3.94	3.11	7.62	3.59	1.39
42.4 X 4	4.83	3.81	8.99	4.24	1.36
48.3 X 2.6	3.73	2.95	9.78	4.05	1.62
48.3 X 3.2	4.53	3.59	11.6	4.8	1.6
48.3 X 4	5.57	4.41	13.8	5.7	1.57
60.3 X 2.9	5.23	4.14	21.6	7.16	2.03
60.3 X 3.6	6.41	5.07	25.9	8.58	2.01
60.3 X 4	7.07	5.59	28.2	9.34	2
60.3 X 5	8.69	6.82	33.5	11.1	1.96
76.1 X 2.9	6.67	5.82	44.7	11.8	2.59
76.1 X 3.6	8.2	6.49	54	14.2	2.57
76.1 X 4	9.06	7.17	59.1	15.5	2.55
76.1 X 5	11.2	8.77	70.9	18.6	2.52
88.9 X 3.2	8.62	6.81	79.2	17.8	3.03
88.9 X 3.6	9.65	7.57	87.9	19.8	3.02
88.9 X 4	10.7	8.43	96.3	21.7	3
88.9 X 5	13.2	10.3	116	26.2	2.97
88.9 X 6.3	16.3	12.9	140	31.5	2.93
101.6 X 3.6	11.1	8.76	133	26.2	3.47
101.6 X 4.5	13.7	10.7	162	31.9	3.44
101.6 X 5.6	16.9	13.2	195	38.4	3.4
101.6 X 7.1	21.4	16.9	227	46.6	3.35



منابع و مأخذ:

- ۱- خاکی، علی، ایستایی ساختمان، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۲- فرشاد، مهدی، مکانیک مهندسی - جلد اول: استاتیک، انتشارات پژوهش
- ۳- مریام، ج - ال، استاتیک، ترجمه حمید لعل‌خو

۴- ENGINEERING MECHANICS STATICS,

J.T.MERIAM&L.G.KRAIGE, SEVENTH EDITION

۵- STATICS AND MECHANICS OF MATERIALS,

Ferdinand P.Beer&E.Russell Johnston, Jr.&John T.DeWolf&David
F.Mazurek

۶- MECHANICS OF MATERIALS, Third Edition

ROY R. CRAIG, JR.

- ۷- فرشاد، مهدی، تاریخ مهندسی در ایران، انتشارات میرماه
- ۸- و سایت‌های مختلف اینترنتی مرتبط با موضوع

