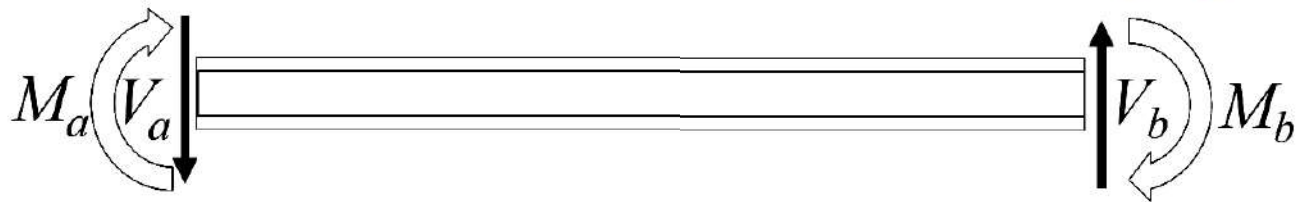


۶-خمش

۶-۱-تعریف تیر

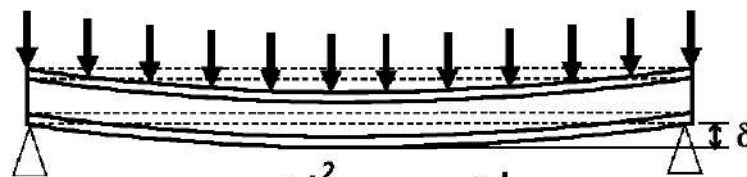


چه مواردی باید در مورد تیرها کنترل گردد؟

۱- برش تیر

۲- خمش تیر

۳- خیز تیر



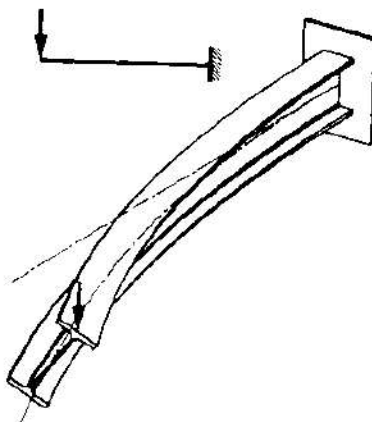
$$M = \frac{qL^2}{8} \quad v = \frac{qL}{2}$$

$$M_{\text{مقاوم}} = ? \quad v_{\text{مقاوم}} = ?$$

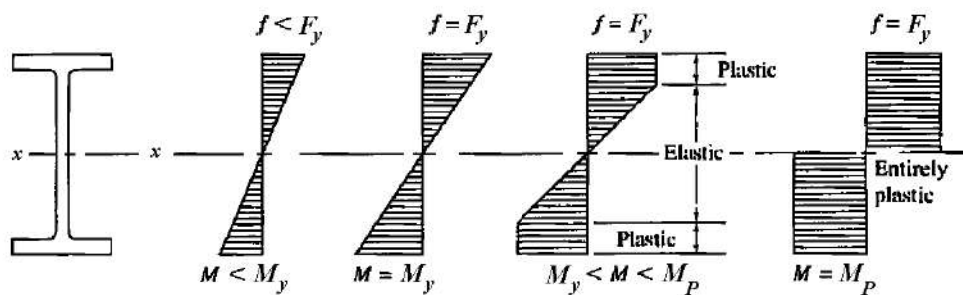
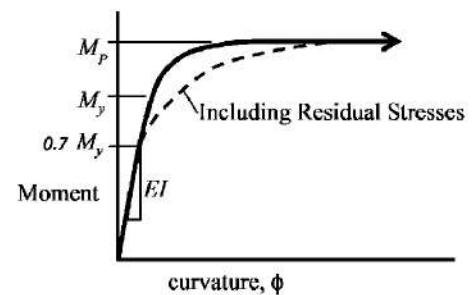
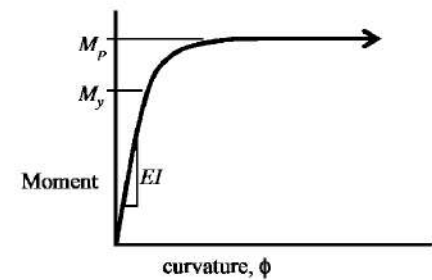
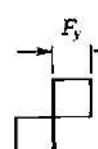
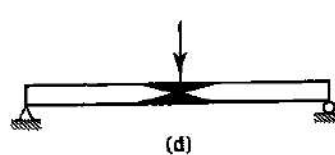
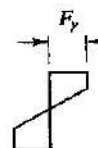
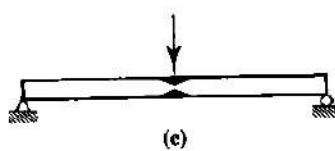
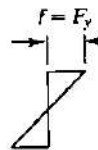
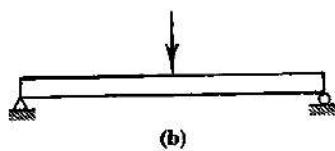
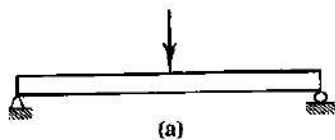
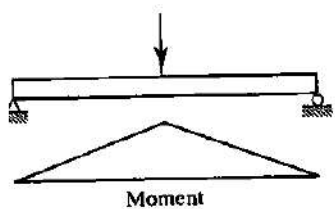
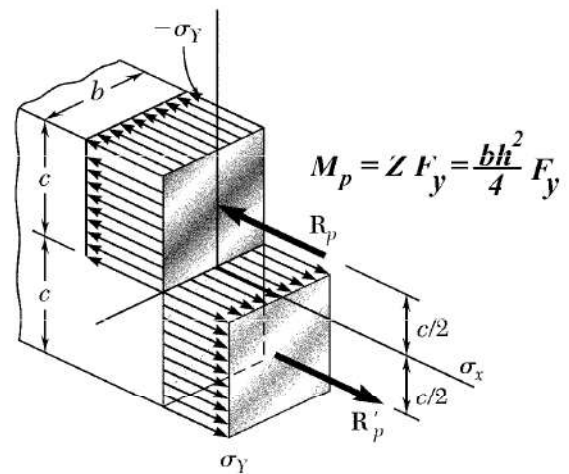
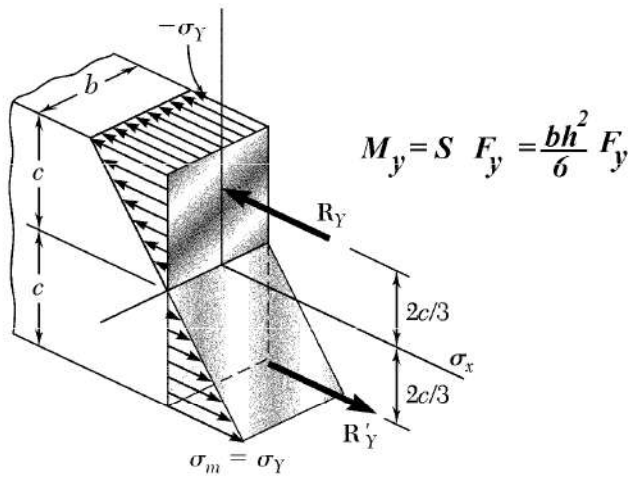
دو عامل مهم موثر در مقاومت خمشی تیر I شکل؟

۲- کمانش پیچشی جانبی

۱- کمانش موضعی



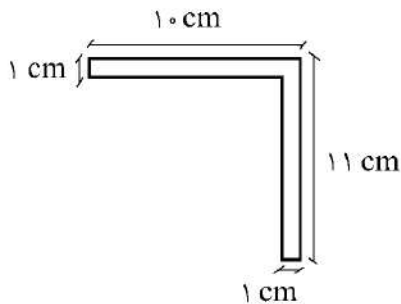
۶-۲- لنگر تسلیم و لنگر پلاستیک



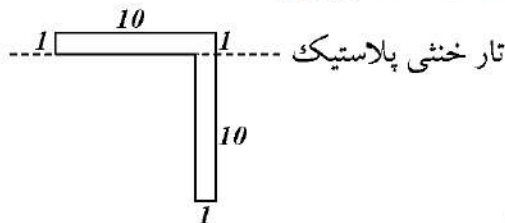
اساس الاستیک مقطع (S): منظور از ممان تسلیم (M_y) لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، اولین تار بالایی و یا پایینی به تسلیم برسد. برای بدست آوردن مقدار (M_y) می توان از روابط مقاومت مصالح استفاده نمود یعنی $M_y = \frac{I}{c} F_y = S F_y$ که در آن c فاصله دورترین تار از تار خنثی و I ممان اینرسی مقطع می باشد. به S اساس الاستیک مقطع می گویند.

اساس پلاستیک مقطع (Z): منظور از ممان پلاستیک (M_p) لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، کل مقطع به تسلیم برسد. برای بدست آوردن مقدار (M_p) نمی توان از رابطه $M_p = \frac{F_y I}{c}$ استفاده نمود و به جای آن باید از رابطه $M_p = Z F_y$ استفاده نمود که به Z اساس پلاستیک مقطع می گویند.

مثال: لنگر پلاستیک مقطع نبشی نشان داده شده چقدر است؟ ($F_y = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)



جهت محاسبه Z ابتدا تار خنثی را می یابیم، محل آن طوری تعیین می شود که مساحت مقطع در دو طرف تار خنثی برابر باشد:

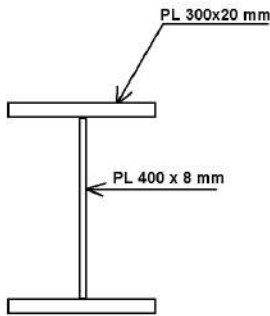


$$Z = (10 \times 1) \times 0.5 + (10 \times 1) \times 5 = 55 \text{ cm}^2$$

$$M_p = Z F_y = 55 \times 2000 = 110000 \text{ kg.m} = 1.1 \text{ t.m}$$

نکته: دیاگرام کرنش ها تحت خمش در همه حالات خطی فرض می شود:

مثال: مقادیر S_x ، S_y ، Z_x ، Z_y را برای مقطع مقابل محاسبه کنید:



$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{\left(\frac{300 \times 440^3}{12} - \frac{292 \times 400^3}{12}\right)}{220} = \frac{572266667}{220} = 2601212 \text{ mm}^3 = 2601 \text{ cm}^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{Z_x}{S_x} = 1.09 \\ Z_x = 2 \times [(300 \times 20) \times 210 + (200 \times 8) \times 100] = 2840000 \text{ mm}^3 = 2840 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

$$S_y = \frac{I_y}{c} = \frac{\left(2 \times \frac{20 \times 300^3}{12} + \frac{400 \times 8^3}{12}\right)}{150} = \frac{90017067}{150} = 600114 \text{ mm}^3 = 600 \text{ cm}^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{Z_y}{S_y} = 1.51 \\ Z_y = 2 \times [2 \times (150 \times 20) \times 75 + (4 \times 400) \times 2] = 906400 \text{ mm}^3 = 906 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$

مقاومت خمشی تسلیم M_y حول محور قوی برای تیر فوق؟

$$M_y = F_y S_x = 2400 \times 2601 \text{ kg.cm} = 62.4 \text{ ton.m}$$

مقاومت خمشی پلاستیک M_p حول محور قوی برای تیر فوق؟

$$M_p = F_y Z_x = 2400 \times 2840 \text{ kg.cm} = 68.16 \text{ ton.m}$$

مقاومت خمشی تسلیم M_y حول محور ضعیف برای تیر فوق؟

$$M_y = F_y S_y = 2400 \times 600 \text{ kg.cm} = 14.4 \text{ ton.m}$$

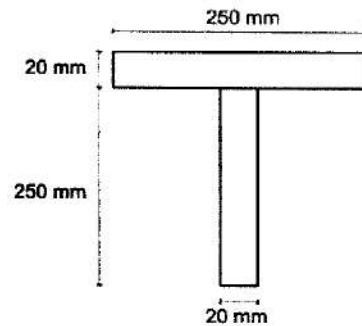
مقاومت خمشی پلاستیک M_p حول محور ضعیف برای تیر فوق؟

$$M_p = F_y Z_y = 2400 \times 906 \text{ kg.cm} = 21.74 \text{ ton.m}$$

محاسبات-۹۱

۴۰- لنگر پلاستیک مقطع نشان داده شده در شکل نسبت به محور قوی مقطع به کدامیک از مقادیر زیر

نزدیکتر است؟ (بر حسب $kN.m$)



$$F_y = 350 \text{ MPa}$$

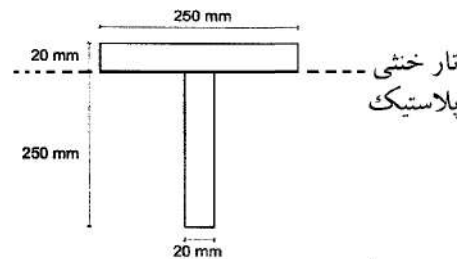
۳۵۰ (۱)

۲۴۰ (۲)

۱۴۲۰ (۳)

۱۰۴۰ (۴)

گزینه ۲:



$$Z = 20 \times 250 \times 10 + 250 \times 20 \times 125 = 675000 \text{ mm}^3$$

$$M_p = Z F_y = 675000 \times 350 = 236.25 \times 10^6 \text{ N.mm} = 236.25 \text{ kN.m}$$

محاسبات-۹۱

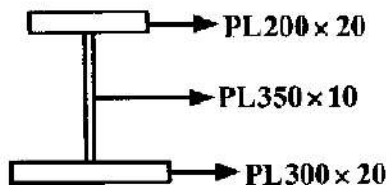
۴۶- فاصله‌ی تار خنثی الاستیک و پلاستیک در مقطع زیر، چند mm است؟

۷۶/۲ (۱)

۷۲/۶ (۲)

۶۷/۲ (۳)

۶۲/۷ (۴)



گزینه ۲

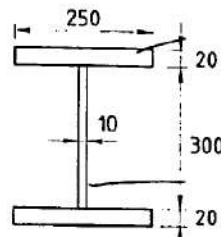
$$300 \times 20 + (y_p - 20) \times 10 = 200 \times 20 + (370 - y_p) \times 10 \rightarrow y_p = 95 \text{ mm}$$

$$y_e = \frac{200 \times 20 \times 380 + 350 \times 10 \times 195 + 300 \times 20 \times 10}{200 \times 20 + 350 \times 10 + 300 \times 20} = 167.6$$

$$y_e - y_p = 167.6 - 95 = 72.6 \text{ mm}$$

محاسبات-۹۵

۹- چنانچه فولاد بال‌های تیر I شکل زیر با $F_y = 240 \text{ MPa}$ و فولاد جان آن با $F_y = 360 \text{ MPa}$ باشد، لنگر پلاستیک مقطع تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است.)



۴۶۵ $kN.m$ (۱)

۶۳۰ $kN.m$ (۲)

۴۳۸ $kN.m$ (۳)

۶۵۷ $kN.m$ (۴)

گزینه ۱

$$M_p = Z_{\text{بال}} \times 240 + Z_{\text{جان}} \times 360 = (250 \times 20 \times 320) \times 240 + \left(\frac{10 \times 300^2}{4} \right) \times 360 = 465 \text{ kN.m}$$

۵۰- اساس مقطع پلاستیک مقطع قوطی مربع شکل فولادی با بعد خارجی یک متر و ضخامت 40mm حول قطر مقطع برحسب مترمکعب به کدام مقدار نزدیک تر است؟

(۳) 0.026

(۱) 0.018

(۴) 0.021

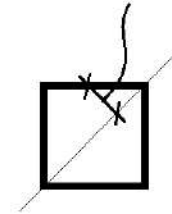
(۳) 0.052

گزینه ۳

البته روی سوال باید به شرح بدین صورت اصلاح شود: "اساس پلاستیک مقطع قوطی..."

محاسبه تقریبی:

فاصله مرکز هر ضلع از تار خنثی برابر است با $\frac{\sqrt{2}}{4}$



$$Z = 4 \left(\text{فاصله} \times \text{مساحت هر ضلع} \right) = 4 \left(0.04 \times \frac{\sqrt{2}}{4} \right) = 0.56 \text{ m}^3$$

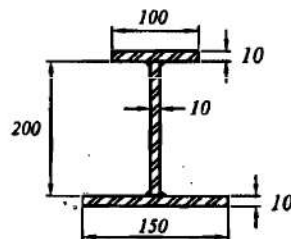
محاسبه دقیق:

اساس پلاستیک مربع توپر برابر است با:

$$Z_{\text{مربع حول قطر}} = a^3 \frac{\sqrt{2}}{6}$$

$$Z_{\text{باکس حول قطر}} = 1^3 \frac{\sqrt{2}}{6} - 0.92^3 \frac{\sqrt{2}}{6} = 0.052164 \text{ m}^3$$

۱۶- در مقطع نشان داده شده در شکل زیر، فاصله بین محورهای خنثی الاستیک و پلاستیک نسبت به محور قوی برحسب میلی‌متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است).



(۱) 26.7

(۲) 16.0

(۳) 13.3

(۴) 6.7

گزینه ۳

محل تار خنثی پلاستیک:

مساحت بالای تار باید با مساحت پایین تار برابر باشد:

$$150 \times 10 + (Y_p - 10) \times 10 = 100 \times 10 + (210 - Y_p) \times 10 \rightarrow Y_p = 85 \text{ mm}$$

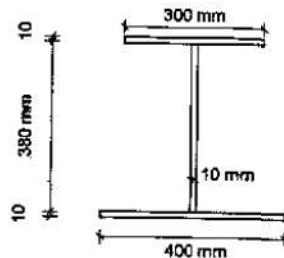
محل تار خنثی الاستیک:

$$Y_e = \frac{1000 \times 215 + 2000 \times 110 + 1500 \times 5}{1000 + 2000 + 1500} = 98.33$$

$$Y_e - Y_p = 98.33 - 85 = 13.33 \text{ mm}$$

محاسبات خرداد ۹۳

۳۳- تیر ورقی با مقطع مقابل از فولاد ST37 ($F_u = 370 \text{ MPa}$, $F_y = 240 \text{ MPa}$) با اتصال جوش جان به پال ساخته شده و تحت خمش مثبت قرار دارد. نسبت $\frac{M_p}{M_y}$ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



- (۱) 1.15
(۲) 1.21
(۳) 1.30
(۴) 1.08

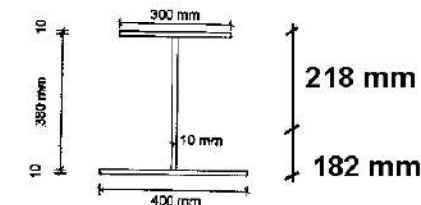
گزینه ۲

یافتن محل تار خشی الاستیک:

$$Y_e = \frac{300 \times 10 \times 395 + 380 \times 10 \times 200 + 400 \times 10 \times 5}{300 \times 10 + 380 \times 10 + 400 \times 10} = 182 \text{ mm}$$

یافتن تار خشی پلاستیک:

$$300 \times 10 + (390 - Y_p) \times 10 = 400 \times 10 + (Y_p - 10) \times 10 \rightarrow Y_p = 150 \text{ mm}$$



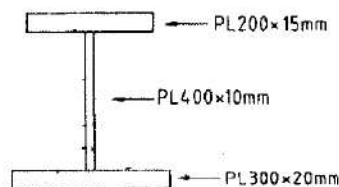
$$S = \frac{I}{218} = \frac{300 \times 10 \times (218 - 5)^2 + \frac{10 \times 380^3}{12} + 10 \times 380 \times 18^2 + 400 \times 10 \times (182 - 5)^2}{218} = 1414591 \text{ mm}^3$$

$$Z = 300 \times 10 \times (250 - 5) + 240 \times 10 \times 120 + 140 \times 10 \times 70 + 400 \times 10 \times 145 = 1701000 \text{ mm}^3$$

$$\frac{M_p}{M_y} = \frac{ZF_y}{SF_y} = \frac{Z}{S} = \frac{1701000}{1414591} = 1.2$$

محاسبات ۹۴

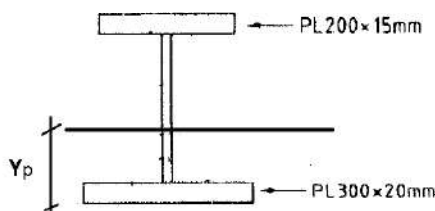
۱۶- یک تیر ورق به شکل زیر مفروض است. مقدار لنگر پلاستیک این مقطع نسبت به محور قوی بر حسب kN.m به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ و $F_y = 240 \text{ MPa}$



- (۱) 179
(۲) 404
(۳) 494
(۴) 809

گزینه ۳

ابتدا باید محل تار خشی پلاستیک بدست آید. محل تار خشی پلاستیک با برابر قرار دادن مساحت‌های دو سمت تار خشی بدست می‌آید:



$$300 \times 20 + (Y_p - 20) \times 10 = 200 \times 15 + (420 - Y_p) \times 10 \rightarrow Y_p = 70 \text{ mm}$$

پس از یافتن Y_p باید اساس پلاستیک مقطع محاسبه شود:

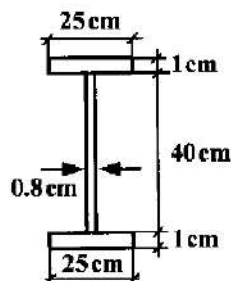
$$Z = 300 \times 20 \times 60 + 50 \times 10 \times 25 + 200 \times 15 \times 357.5 + 350 \times 10 \times 175 = 2057500 \text{ mm}^3$$

$$M_p = ZF_y = (2057500)240 = 493.8 \text{ kN.m}$$

تمرین: محاسبات-۹۱

۴۴- مقاومت خمشی اسمی M_n تیر ورق روبه‌رو، حول محور x براساس حالت حدی تسلیم کدام است؟ (لزومی به دو نظر گرفتن

کمانش پیچشی - جانبی نمی‌باشد.) $f_y = 240 \text{ MPa}$



$$322/8 \quad (1)$$

$$371/3 \quad (2)$$

$$308/2 \quad (3)$$

$$288/7 \quad (4)$$

گزینه ۱

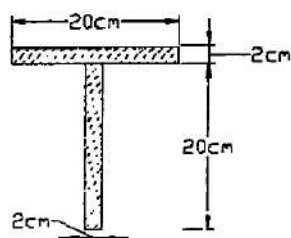
حالت "حدی" تسلیم خواسته شده:

$$M = ZF_y = 2 \times (1 \times 25 \times 20.5 + 20 \times 0.8 \times 10) \times 2400 = 1345 \times 240 = 3228000 \text{ kg.cm} \\ = 322.8 \text{ kN.m}$$

تمرین: محاسبات خرداد ۸۹

۱۶- فاصله بین تار خنثی الاستیک و پلاستیک و همچنین لنگر پلاستیک (M_p) مقطع نشان داده شده در شکل

کدامیک از مقادیر زیر است؟ $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$



$$10/56 \text{ ton.m} \text{ و } 4/5 \text{ cm} \quad (1)$$

$$11/52 \text{ ton.m} \text{ و } 4/5 \text{ cm} \quad (2)$$

$$9/66 \text{ ton.m} \text{ و } 5 \text{ cm} \quad (3)$$

$$11/52 \text{ ton.m} \text{ و } 5 \text{ cm} \quad (4)$$

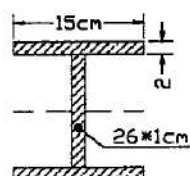
گزینه ۱

تار خنثی الاستیک:

$$Y_e = \frac{40 \times 21 + 40 \times 10}{40 + 40} = 15.5 \text{ cm} \quad \left. \begin{array}{l} Y_p = 20 \text{ cm} \\ Y_p - Y_e = 4.5 \text{ cm} \end{array} \right\} \\ M_p = ZF_y = (40 \times 1 + 40 \times 10)(2400) = 1056000 \text{ kg.cm}$$

تمرین: محاسبات خرداد ۸۹

۲۳- در مقطع نشان داده شده، لنگر خمشی نظیر شروع تسلیم تقریباً چقدر است؟



$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$M \approx 24 \text{ ton.m} \quad (2)$$

$$M \approx 18 \text{ ton.m} \quad (4)$$

$$M \approx 21 \text{ ton.m} \quad (1)$$

$$M \approx 13 \text{ ton.m} \quad (3)$$

گزینه ۱

$$M_y = SF_y = \left(\frac{I}{c} \right) F_y = \frac{\left(\frac{15 \times 30^3}{12} - \frac{14 \times 26^3}{12} \right)}{15} F_y = 21.19 \text{ t.m}$$

۱۰-۲-۲ الزامات مقاطع اعضای فولادی

این بخش به الزامات کمانش موضعی اجزای فشاری اعضای سازه و طبقه‌بندی آنها و نیز به تعاریف برخی دیگر از مشخصات مقاطع اعضا می‌پردازد. مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد.

- ۱۰-۲-۲-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۲-۲ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی
- ۱۰-۲-۲-۳ پهنای آزاد اجزای تقویت نشده
- ۱۰-۲-۲-۴ پهنای آزاد اجزای تقویت شده
- ۱۰-۲-۲-۵ تعیین سطح مقطع کل و خالص در اعضای سازه

۱۰-۲-۲-۱ الزامات عمومی

تأمین پایداری کل سازه و تمامی اعضا آن و نیز تمامی اجزای تشکیل دهنده مقاطع اعضا از الزامات تحلیل و طراحی است. پایداری اجزای تشکیل دهنده مقاطع اعضا در صورتی تأمین می‌شود که الزامات این بخش به نحو موثری در تحلیل و طراحی آنها لحاظ شده باشد.

۱۰-۲-۲-۲ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی

۱۰-۲-۲-۲-۱ 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

• مقاطع با اجزای لاغر

مقاطع با اجزای غیرلاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنای به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ تجاوز ننماید. چنانچه نسبت پهنای به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ 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.

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

برای خمش، مقاطع فولادی به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

- مقاطع فشرده
- مقاطع غیر فشرده
- مقاطع با اجزای لاغر

الف) مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند 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 ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰ تجاوز ننماید.

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

پ) مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰ 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 تیروورق‌ها که در این صورت الزامات بخش‌های ۵-۲-۱۰ و ۶-۲-۱۰ باید تأمین گردد.

۳-۲-۲-۱۰ پهنای آزاد اجزای تقویت نشده

مطابق الزامات این بخش، اجزای تقویت نشده به اجزایی گفته می‌شوند که فقط در یک لبه در امتدادی به موازات نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین گردد.

(الف) برای بال‌های نیمرخ‌های I و نیمرخ‌های سپری (T)، پهنای آزاد (b) برابر نصف پهنای کل بال (b_f) است.

(ب) برای ساق‌های نیمرخ‌های نبشی (L) و بال‌های نیمرخ‌های ناودانی (U) و نیمرخ‌های Z شکل پهنای آزاد (b) معادل کل بُعد اسمی بال است.

(پ) برای مقطع ساخته شده از ورق، پهنای آزاد (b) برابر فاصله بین لبه آزاد تا اولین ردیف وسایل اتصال یا خط جوش است.

(ت) برای تیغه (جان) نیمرخ‌های سپری (T) پهنای آزاد (d) برابر ارتفاع کلی مقطع سپری است.

۱۰-۲-۴ پهنای آزاد اجزای تقویت شده

مطابق الزامات این بخش، اجزای تقویت شده به اجزایی گفته می‌شوند که در هر دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین گردد.

(الف) برای جان مقاطع نوردشده یا شکل داده شده، h عبارت است از فاصله بین نقاط شروع گردی ریشه اتصال جان به بال.

(ب) برای جان مقاطع ساخته شده از ورق، h عبارت است از فاصله بین نزدیکترین دو خط وسایل اتصال و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h برابر فاصله خالص بین دو بال است. برای مقاطع با بال‌های نامساوی، h_c عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای الاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای الاستیک تا رویه داخلی بال فشاری. همچنین برای مقاطعی با بال‌های نامساوی h_p عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای پلاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای پلاستیک تا رویه داخلی بال فشاری.

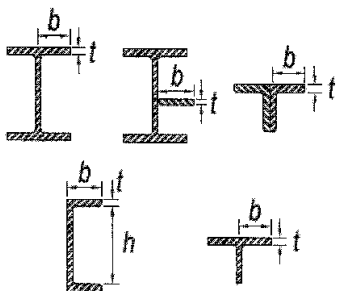
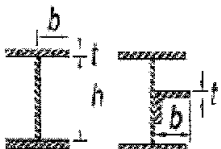
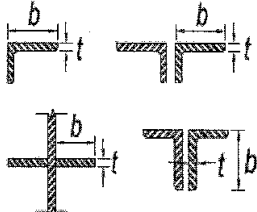
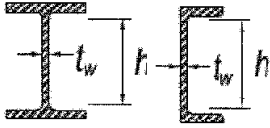
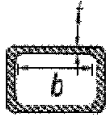
(پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق، پهنای b و h عبارت از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

(ت) برای ورق‌های پوششی (تقویتی) در بال تیرها و ورق‌های دیافراگم در مقاطع ساخته شده از ورق، پهنای b عبارت است از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

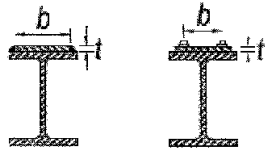
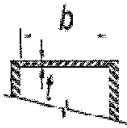
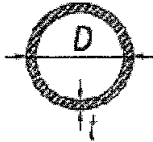
ث) برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)، پهنای b عبارت است از فاصله آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS)، h عبارت است از فاصله آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر b و h را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر ضخامت در نظر گرفت.

ج) برای مقاطع توخالی دایره‌ای شکل، D عبارت است از قطر خارجی مقطع دایره‌ای

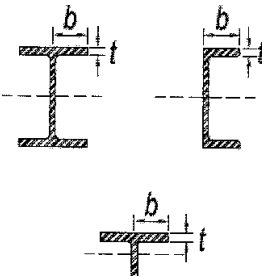
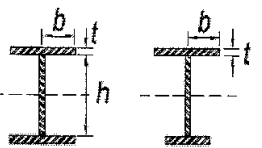
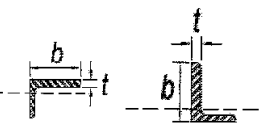
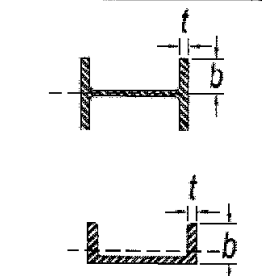
جدول ۱۰-۲-۱ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_p (لاغر/غیرلاغر)	مثال‌های نمونه
			[a]	
۱	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ورق‌های بیرون زده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های برجسته جفت نبشی با اتصال پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سپری	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
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	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۳	ساق‌های نبشی‌های تک، ساق‌های نبشی‌های دبل دارای جداکننده (لقمه) و سایر اجزای تقویت نشده	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۴	تیغه (جان) مقاطع سپری	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۶	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

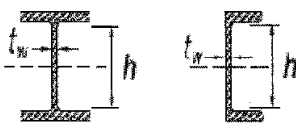
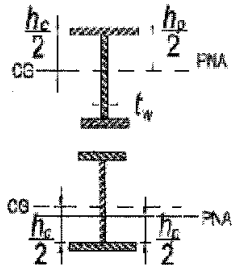
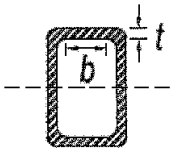
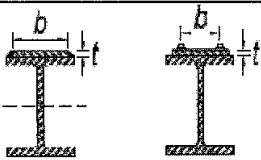
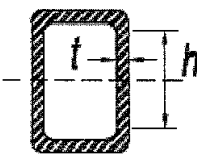
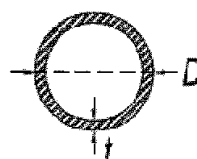
جدول ۲-۲-۱۰ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر فشار محوری

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_F (لاغر/غیرلاغر)	نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	۷
	$1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	سایر اجزای فشاری تقویت شده	۸
	$0/11 \frac{E}{F_y}$	D/t	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	۹

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 / غیرفشرده) λ_r	(غیرفشرده / فشرده) λ_p			
	$1/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	۱۰
	$0.95/\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$	$0.38/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	۱۱
	$0.91/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.54/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	ساق‌های نبشی‌های تک	۱۲
	$1/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های کلیه مقاطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	۱۳
	$1/0.3/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.84/\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	d/t	تیغه (جان) مقاطع سپری	۱۴

جدول ۲-۲-۱۰ 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_r)	(غیر فشرده / فشرده) (λ_p)			
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3/76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	h/t_w	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	۱۵
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$[d] \frac{h_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{h_p \sqrt{\frac{E}{F_y}}} \leq \lambda_r$ $(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.9)^2$	h_c/t_w	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن	۱۶
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	۱۷
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	۱۸
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2/42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	h/t	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) و جعبه‌ای	۱۹
	$0.7 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	D/t	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	۲۰

یادداشت‌ها:

[a]

 E = مدول الاستیسیته فولاد F_y = تنش تسلیم فولاد[b] مقدار K_c از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$0.35 \leq K_c = \frac{\xi}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$$

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

$$F_L = 0.7F_y$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7 \quad - \quad \text{برای}$$

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y \geq 0.5F_y$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \quad - \quad \text{برای}$$

که در آن:

 S_{xt} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

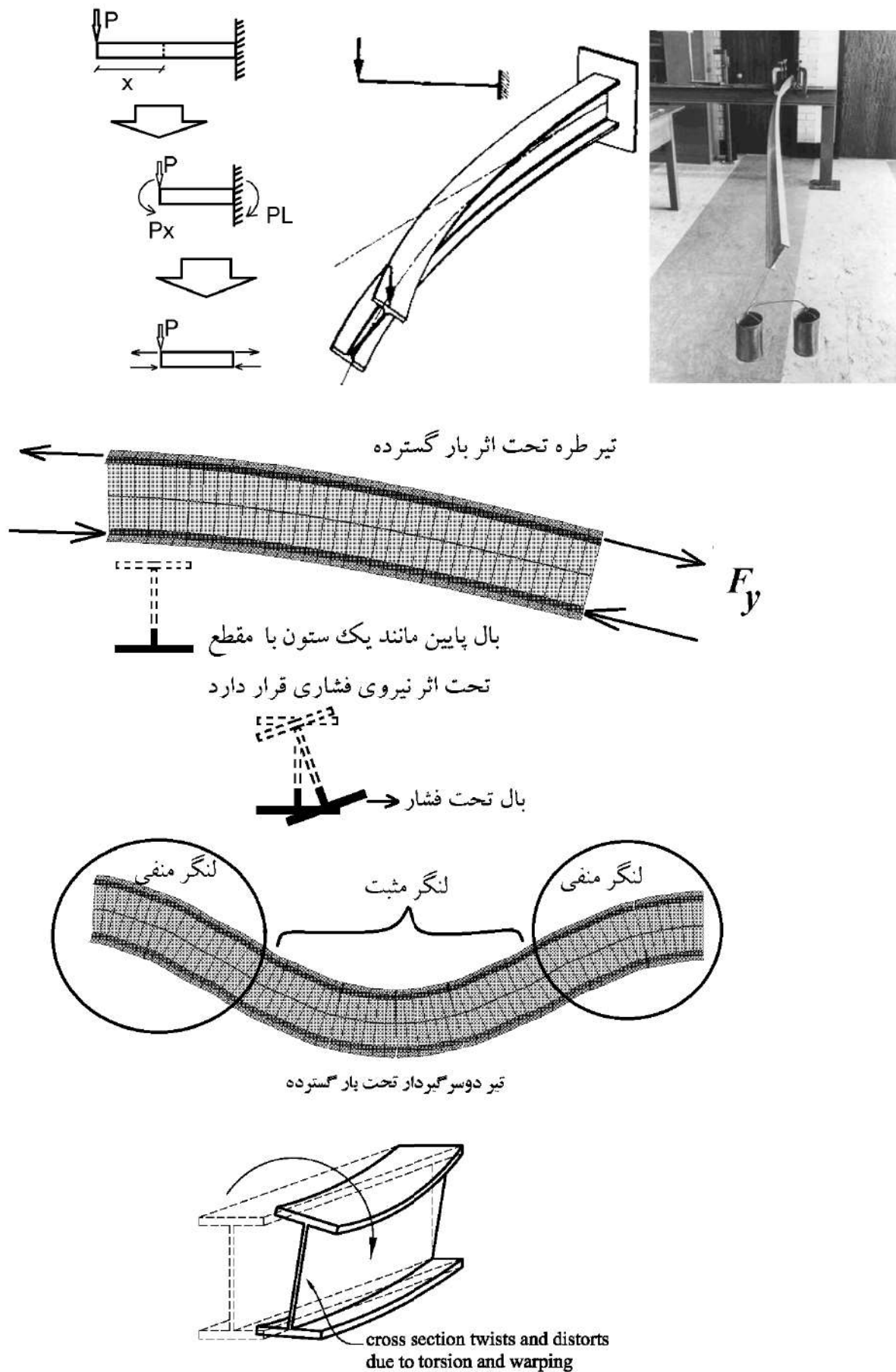
[d]

 M_y = لنگر تسلیم دورترین تار M_p = لنگر خمشی پلاستیک

۱۰-۲-۵ تعیین سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص در اعضای سازه

الف) سطح مقطع کلی عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع اجزای تشکیل‌دهنده آن و سطح مقطع هر جزء برابر با حاصل ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می‌باشد. برای نیمرخ نبشی پهنای کلی عبارت است از مجموع پهنای دو بال منهای ضخامت بال.

۶-۴- مقاومت خمشی مقاطع بدون مهار جانبی



در مقاطع I شکل با فرض:

۱- فشرده بودن مقطع

۲- $C_b=1$

مقاومت خمشی اسمی مقطع بر اساس نمودار زیر تعیین می شود:

