

مقدمه و کلیات

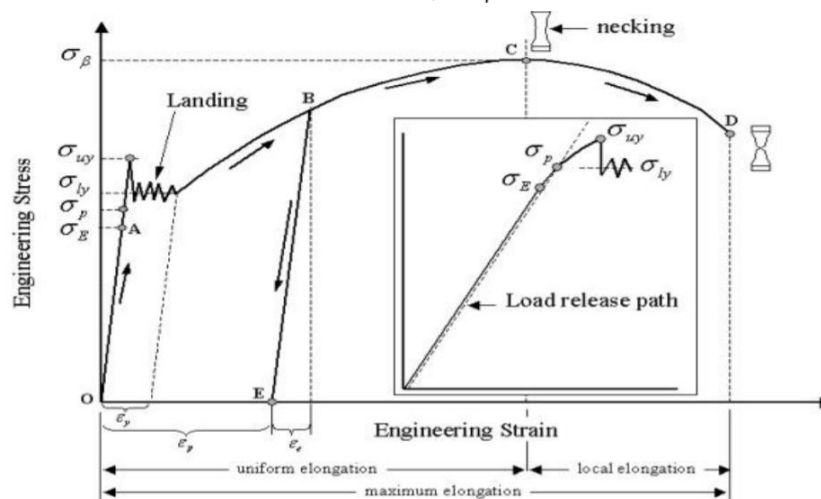
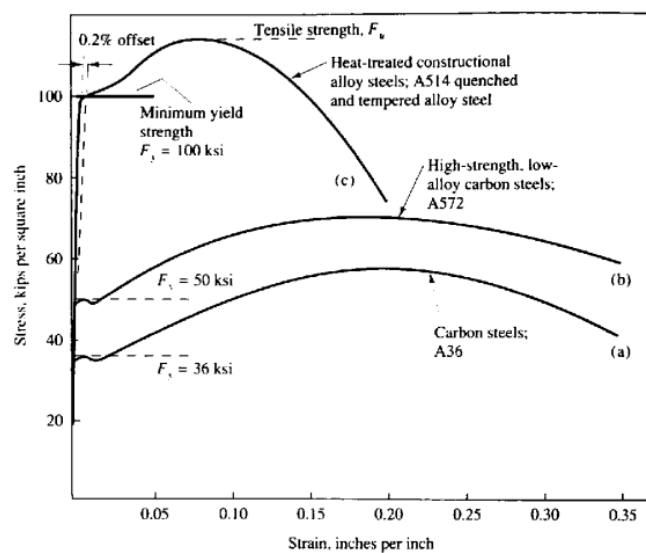
سازه‌های فلزی به دلیل سرعت اجرای بالاتر و همچنین ابعاد کوچکتری که نسبت به سازه‌های بتنی می‌توانند داشته باشند مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند.

از مزایای سازه‌های فلزی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- مقاومت بالا ۲- شکل پذیری ۳- سرعت اجرای بالا ۴- وزن اسکلت پایین‌تر

از معایب سازه‌های فولادی نیز می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱- زنگ زدگی ۲- خستگی تحت اثر بارهای تکرارشونده ۳- در برابر آتش سوزی مقاومت چندانی ندارد
رفتار فولاد تحت اثر نیروی کششی به صورت نمودار شکل زیر است.



به شیب منحنی تنش کرنش فولاد قبل از جاری شدن مدول الاستیسیته یا مدول ارتجاعی می‌گویند و با حرف E نشان داده می‌شود و مقدار آن برابر است با:

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

همچنین تنش تسلیم یا تنش جاری شدن که با F_y نشان داده می‌شود نقطه‌ای است که در آن نمودار تنش کرنش به حالت افقی در می‌آید و تنش نهایی که با F_u نشان داده می‌شود حداکثر تنش قابل تحمل فولاد را نشان می‌دهد. برای فولاد $ST 37$ و $ST 52$ تنش تسلیم و تنش نهایی به صورت جدول زیر است:

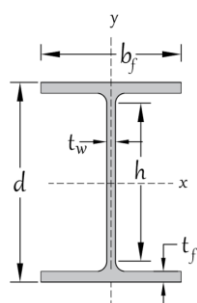
تنش نهایی (F_u)	تنش تسلیم (F_y)	نوع فولاد
370 MPa	235 MPa	$ST 37$
520 MPa	355 MPa	$ST 52$

عدد بعد از ST بیانگر تنش نهایی فولاد (F_u) بر حسب $\frac{kgf}{mm^2}$ می‌باشد.

نکته ۱: مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی مطابق استانداردهای ایران، اروپا و بین‌المللی در صفحه ۳۰ مبحث ۱۰ ارائه شده است و مقادیر تنش تسلیم برای ضخامت‌های مختلف برای یک نوع رده فولادی، می‌تواند متغیر باشد. همچنین برای تامین ضوابط لرزه‌ای باید $\frac{F_u}{F_y} \geq 1.2$ باشد.

پروفیل‌های فولادی

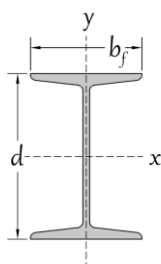
پروفیل IPE: از این مقاطع بیشتر در تیرها به دلیل ممان اینرسی بالا حول یکی از محورها استفاده می‌شود. این مقاطع با توجه به اینکه ممان اینرسی حول یک محور کم است مناسب برای استفاده در ستون‌ها نیستند و به صورت تکی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و برای استفاده از آن‌ها به عنوان ستون، آن‌ها را به صورت مرکب به کار می‌برند. ممان اینرسی حول محور قوی این مقاطع نسبت به محور ضعیف آن‌ها تقریباً بین ۱۰ تا ۲۳ می‌باشد. همچنین در این مقاطع نسبت طول بال به ارتفاع کلی مقطع تقریباً برابر نیم می‌باشد.



$$I_x \gg I_y$$

$$\frac{b_f}{d} \cong 0.35 \sim 0.5$$

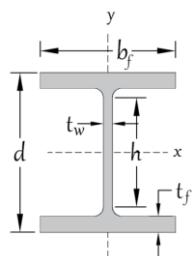
پروفیل INP: این مقاطع نیز مشابه مقاطع IPE بوده ولی قسمت بال آن‌ها دارای شیب است.

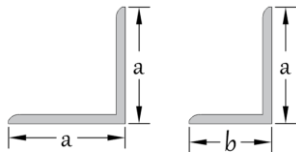


$$I_x \gg I_y$$

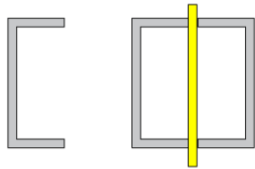
$$\frac{b_f}{d} \cong 0.35 \sim 0.5$$

پروفیل IPB: این مقاطع به شکل I هستند و به آن‌ها مقاطع بال پهن نیز گفته می‌شود، عرض بال برای مقاطع بال پهن برای پروفیل‌های تا عمق ۳۰ سانت برابر عمق مقطع می‌باشد. ممان اینرسی این مقاطع حول محور قوی نسبت به محور ضعیف آن‌ها تقریباً بین ۳ تا ۴ می‌باشد و نسبت به مقاطع IPE اختلاف ممان اینرسی آن‌ها حول محورهای ضعیف و قوی خیلی زیاد نیست.



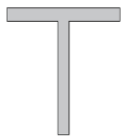


نبشی: این مقاطع به صورت L شکل هستند و دارای بال‌های با ساق مساوی و نامساوی تولید می‌شوند. از این مقاطع برای اجرای وال پست (*wall post*)، اجرای نبشی کشی برای اتاقک آسانسور، اتصالات و... استفاده می‌شود. همچنین این مقاطع اکثراً به صورت مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرند.



ناودانی: این نیمرخ‌ها دارای یک محور تقارن هستند و اکثراً به صورت مرکب برای مهاربندها مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین از این مقاطع می‌توان به عنوان برشگیر در مقاطع مختلط استفاده کرد.

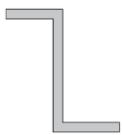
۳



سپری: این مقاطع به صورت T شکل هستند و اکثراً در ساخت اعضای مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرند.



مقطع لوله و قوطی: این مقاطع به دلیل داشتن ممان اینرسی و شعاع ژیراسیون بالا، بیشتر به عنوان ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند.



مقطع Z شکل: این نوع مقطع در کارهای ساختمانی برای زیرسازی سقف‌های شیب دار به کار می‌رود و در کشتی سازی نیز استفاده می‌شود. در نقشه‌های فنی با Z نشان داده می‌شود و عدد بعد از آن ارتفاع پروفیل را نشان می‌دهد.

ورق‌ها: ورق‌ها کاربرد بسیار زیادی در ساخت سازه‌های فولادی دارند به طوریکه از آن‌ها می‌توان برای ساخت مقاطع فولادی به صورت تیر ورق استفاده کرد و ابعاد دلخواه را تهیه نمود. همچنین از ورق‌ها برای انجام وصله و در اتصالات گیردار استفاده می‌شود. ورق و تسمه در نقشه‌های فنی با علامت اختصاری PL نشان داده می‌شوند که اعداد بعد از PL به ترتیب بیانگر طول، عرض و ضخامت آن می‌باشند.

مشخصات هندسی مقاطع

محور خنثی الاستیک (y_e): نقاطی از یک مقطع هستند که به هنگام خمش تغییر طول نخواهند داشت.

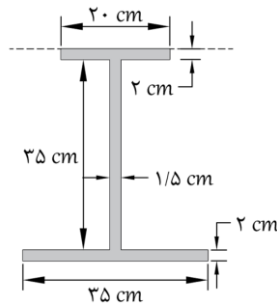
$$y_e = \frac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i}$$

که در آن:

A_i : مساحت قسمت i و $\bar{y}_i$ فاصله مرکز سطح قسمت i از یک محور مبنای فرض شده است.



مثال: فاصله محور خنثی از خط نشان داده شده در مقطع زیر چند cm می‌باشد؟

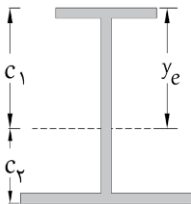


$$y_e = \frac{20 \times 2 \times \frac{2}{2} + 35 \times 1.5 \times \left(\frac{35}{2} + 2\right) + 35 \times 2 \times \left(\frac{2}{2} + 35 + 2\right)}{20 \times 2 + 35 \times 1.5 + 35 \times 2} = 22.92 \text{ cm}$$

۲- اساس مقطع الاستیک (S): اساس مقطع الاستیک از تقسیم ممان اینرسی مقطع به فاصله محور خنثی الاستیک از دورترین فاصله مقطع بدست می‌آید. برای مقاطعی که حول یک محور دارای تقارن نیستند دو اساس مقطع الاستیک بدست می‌آید.

$$S = \frac{I}{c}$$

مثال: با فرض اینکه مقطع مثال قبل تحت لنگر مثبت 200 kN.m قرار دارد اساس مقطع الاستیک و تنش‌های کششی و فشاری ماکزیمم را برای آن بدست آورید.



$$I_x = \frac{20 \times 2^3}{12} + 20 \times 2 \times (22.92 - 1)^2 + \frac{1.5 \times 35^3}{12} + 1.5 \times 35 \times \left(22.92 - 2 - \frac{35}{2}\right)^2 + \frac{35 \times 2^3}{12} + 2 \times 35 \times (38 - 22.92)^2 = 41148 \text{ cm}^4$$

$$C_1 = y_e = 22.92 \text{ cm}$$

$$C_2 = 39 - 22.92 = 16.08 \text{ cm}$$

$$S_{xc} = \frac{I_x}{C_1} = \frac{41148}{22.92} = 1795.29 \text{ cm}^3 \Rightarrow \sigma_c = -\frac{M_x}{S_{xc}} = -\frac{200 \times 100}{1795.29} = -11.14 \text{ kN/cm}^2$$

$$S_{xt} = \frac{I_x}{C_2} = \frac{41148}{16.08} = 2558.96 \text{ cm}^3 \Rightarrow \sigma_c = +\frac{M_x}{S_{xc}} = +\frac{200 \times 100}{2558.96} = +7.82 \text{ kN/cm}^2$$

نکته: در مقاطعی که متقارن نسبت به یک خط هستند $C_1 = C_2$ خواهد بود و مقدار تنش‌های کششی و فشاری در آن با یکدیگر برابر خواهد شد.

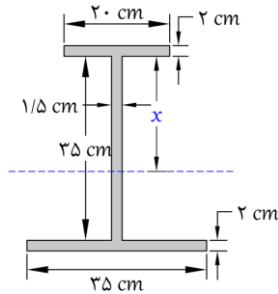
۳- اساس مقطع پلاستیک (Z): اساس مقطع پلاستیک، مقطع همگن را به دو بخش با مساحت‌های یکسان تقسیم می‌کند و به صورت فرمول زیر بیان می‌شود:

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

که در آن $\bar{y}_i$ فاصله مرکز سطح قسمت i از محور خنثی پلاستیک است.

مثال: برای مثال قبلی محور خنثی پلاستیک و اساس مقطع پلاستیک را محاسبه نمایید.

$$A_{top} = A_{bot} \Rightarrow 20 \times 2 + 1/5 \times x = 35 \times 2 + 1/5 \times (35 - x) \Rightarrow x = 27/5 \text{ cm}$$



$$Z = 20 \times 2 \times 28/5 + 27/5 \times 1/5 \times \frac{27/5}{2} + (35 - 27/5) \times 1/5 \times \left(\frac{35 - 27/5}{2} \right) + 35 \times 2 \times 8/5 = 2344/375 \text{ cm}^3$$

۴- ضریب شکل مقطع: نسبت مدول پلاستیک مقطع به مدول الاستیک مقطع می‌باشد و همواره بزرگتر از یک می‌باشد.

$$\left(\frac{Z}{S} \right) > 1/0$$

لنگر پلاستیک: به لنگری که باعث می‌شود تمامی تارهای مقطع تسلیم شوند لنگر پلاستیک می‌گویند و با M_p نشان داده می‌شود.

لنگر تسلیم: به لنگری که باعث می‌شود اولین تار مقطع تسلیم شود لنگر الاستیک مقطع می‌گویند و با M_y نشان داده می‌شود.

$$M_y = S_{min} \times F_y = \frac{I}{C_{max}} \times F_y \quad \Rightarrow \quad \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S_{min}}$$

و

$$M_p = Z \times F_y$$

S_{min} : مدول الاستیک کوچکتر مقطع حول محور مورد نظر

Z : مدول پلاستیک مقطع حول محور مورد نظر

نکته: اگر مقطع با مصالح متفاوتی ساخته شده باشد در این صورت برای پیدا کردن محور خنثی پلاستیک باید خطی را پیدا کنیم که نیروی بالای خط با پایین خط را به دو قسمت مساوی تقسیم کند و سپس برای تعیین M_p از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$M_p = \sum |Q_i F_i| \quad , \quad Q_i = A_i \times \bar{y}_i$$

که در آن:

Q_i = لنگر سطح اول

$\bar{y}_i$ = فاصله مرکز سطح قسمت i ام از محور خنثی پلاستیک

F_i = تنش تسلیم قسمت i ام

۵- شعاع ژیراسیون (r): مجذور ممان اینرسی مقطع به مساحت مقطع می‌باشد:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

مثال: برای مثال حل شده در سوال قبلی شعاع ژیراسیون حول محور قوی را حساب کنید:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{41148}{162/5}} = 15/91 \text{ cm}$$



۵- ثابت پیچشی (J): این پارامتر نشان دهنده مقاومت مقطع در مقابل لنگر پیچشی است و برای مقاطع جدار نازک و باز (مثل مقطع I شکل) به صورت زیر می‌توان حساب کرد:

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

که در آن t ضخامت مقطع، b طول هر یک از اجزاء و n تعداد اعضای تقسیم شده می‌باشد و برای مقاطع جدار نازک بسته ممان اینرسی پیچشی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$J = \frac{4 A_m^2}{\oint \frac{ds}{t}}$$

که در آن:

A_m = مساحت واقع در داخل منحنی بسته‌ای که از وسط جداره‌های مقطع عبور می‌کند.

$\oint \frac{ds}{t}$: نسبت طول (از وسط جداره وسط جداره) مقطع جدار نازک بسته به ضخامت آن

مثال: برای مثال قبلی ثابت پیچشی را حساب کنید:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{3} b t^3 = \frac{1}{3} (20 \times 2^3 + 35 \times 1/5^3 + 35 \times 2^3) = 186/04 \text{ cm}^4$$



فصل ۱ اعضای کششی

مقدمه

در این فصل به طراحی اعضای کششی و کنترل‌های لازم در محل اتصال و در طول عضو پرداخته شده است. از اعضای کششی می‌توان به مهاربندها، خرپاها، کابل‌ها و... اشاره کرد. از این فصل همواره یک یا دو سوال در آزمون محاسبات سوال طرح شده است.

کلیات طراحی

روش طراحی براساس حالت حدی یا روش ضرایب بار و مقاومت (*Load and Resistance Factor Design*):

حالت‌های حدی مقاومت و بهره‌برداری به شرایطی گفته می‌شود که اگر تمام یا بخشی از سازه ساختمان و نیز قطعات الحاقی آن به هر یک از آن حالت‌ها برسند ساختمان قادر به انجام وظایف خود نبوده و از حیز انتفاع خارج می‌شود. در روش ضرایب بار و مقاومت حاشیه ایمنی لحاظ شده در دو مرحله (۱-افزایش ضرایب بار ۲-تقلیل مقاومت به کمک ضرائب کاهش مقاومت) صورت می‌گیرد.

$$\gamma \times Q \leq \phi R_n$$

در رابطه فوق:

γ : ضریب افزایش بار ($\gamma > 1$)

Q : بارهای وارده به سازه

ϕ : ضریب کاهش مقاومت ($\phi \leq 1$)

R_n : مقاومت اسمی

نکته ۱: در حالت حدی بهره‌برداری ضرایب افزایش بار و ضرایب کاهش مقاومت هردو برابر یک می‌باشد.

ترکیبات بار

۱) $1/4D$

۲) $1/2D + 1/6L + 0/5 (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۳) $1/2D + 1/6 (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0/5(1/6W)]$

۴) $1/2D + 1/6W + L + 0/5 (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۵) $1/2D + 1/0E + L + 0/2S$

۶) $0/9D + 1/6W$

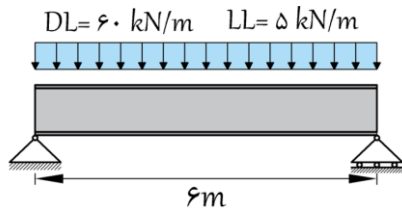
۷) $0/9D + 1/0E$

۸) $1/2D + 0/5L + 0/5 (L_r \text{ یا } S) + 1/2T$

۹) $1/2D + 0/16L + 1/6 (L_r \text{ یا } S) + 1/0T$



مثال ۱: در تیر فولادی شکل زیر با مقطع $IPE\ 450$ و در طراحی به روش $LRFD$ حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ از وزن تیر صرف نظر شود و تیر در طول خود دارای مهارجانبی کافی است. از مولفه قائم زلزله صرف نظر می‌شود. محاسبات بهمن ۹۷



$$F_y = 240\ MPa$$

$$E = 2 \times 10^5\ MPa$$

$$378\ kN.m\ (1)$$

$$360\ kN.m\ (2)$$

$$293\ kN.m\ (3)$$

$$408\ kN.m\ (4)$$

حل:

$$1/4D = 1/4 \times 60 = 15\ kN/m$$

$$1/2D + 1/6L = 1/2 \times 60 + 1/2 \times 5 = 32.5\ kN/m$$

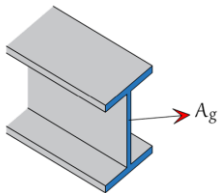
$$M_u = \frac{qL^2}{8} = \frac{32.5 \times 6^2}{8} = 378\ kN.m$$

گزینه ۱ صحیح است

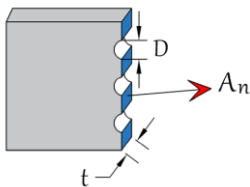
۱۰

۲-۱ تعاریف

سطح مقطع کل: سطح مقطعی از یک عضو بدون در نظر گرفتن سوراخ‌ها که با A_g نیز نشان داده می‌شود.



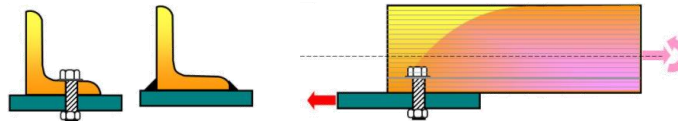
سطح مقطع خالص: سطح مقطعی که در آن سطح سوراخ‌ها از سطح مقطع کل کم شده باشد و آن را با A_n نشان می‌دهند.



$$A_n = A_g - nDt$$

(۱-۱)

ضریب تاخیر برشی ($shear\ lag$): در مواردی در محل اتصال عضو کششی تمامی سطح مقطع مانند شکل (۱-۱) متصل نیست و تمامی سطح مقطع در انتقال نیرو موثر نیست. در این حالت غیریکنواختی در تنش، در محل اتصال رخ می‌دهد اثرات این پدیده توسط ضریبی به نام ضریب تاخیر برشی که با حرف U نیز نشان داده می‌شود در نظر گرفته می‌شود و باعث کاهش مقاومت کششی می‌شود.



شکل (۱-۱) اتصال بال نبشی از طریق یک بال

سطح مقطع موثر: به حاصلضرب تاخیر برشی در سطح مقطع خالص سطح مقطع موثر گفته می‌شود و با A_e نشان داده می‌شود.

$$A_e = U \times A_n$$

(۲-۱)

آیین نامه مقادیری برای حالت‌های مختلف ارائه کرده است که به صورت جدول (۱-۱) زیر می‌باشد.

جدول (۱-۱) مقادیر ضریب تاخیر برش (U) در محل اتصالات و وصله‌های اعضای کششی

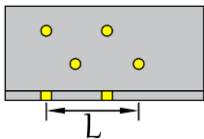
حالت	شرح	ضریب تاخیر برش، U	مثال
۱	کلیه اعضای کششی که در آن‌ها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۴، ۵ و ۶).	$U = 1.0$	
۲	کلیه اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آن‌ها بار به وسیله پیچ یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد. برای مقاطع I شکل نورد شده و سپری T بریده شده از آن‌ها و نیز نیمرخ‌های I شکل بال پهن، استفاده از مقادیر حالت ۷ این جدول نیز مجاز است. همچنین برای نبشی‌ها استفاده از حالت ۸ این جدول نیز مجاز است.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$	
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	$U = 1.0$ A_n : سطح مقطع قسمت (یا قسمت‌های) اتصال یافته	
۴	ورق‌ها (تسمه‌های کششی) نبشی‌ها، ناودانی‌ها و مقاطع I شکل با قطعات متصل شونده که در آن‌ها نیروی کششی فقط از طریق جوش‌های طولی در دولبه موازی (در انتهای قطعه) منتقل می‌شود.	$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{\bar{x}}{L}\right)$ مقدار $\bar{x}$ براساس حالت ۲ این جدول تعیین می‌شود.	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$U = \left(1 + \left(\frac{\bar{x}}{l}\right)^{3/2}\right)^{-1.0}$ $\bar{x} = \frac{R \cdot \sin \theta}{\theta} - \frac{1}{4} t_p$	

مثال	ضریب تاخیر برش، U	شرح	حالت
	$l \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = b - \frac{2b^2 + th - 2t^2}{2h + 4b - 4t}$	چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	۶
	$l \geq H$ $U = \left(\frac{2l^2}{2l^2 + H^2} \right) \left(1 - \frac{\bar{x}}{L} \right)$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	
	$b_f \geq \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.9$ $b_f < \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.85$	در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	۷
	$U = 0.7$	در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	

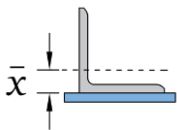
حالت	مثال	شرح	ضریب تاخیر برش، U	مثال
۸		چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.8$	در نیمرخ‌های نبشی تک و دوبل در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز است.
		چنانچه سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد. اگر تعداد وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو کمتر از ۳ باشد، آنگاه مقدار U باید از طریق حالت ۲ این جدول تعیین شود.	$U = 0.6$	(بزرگترین مقدار به دست آمده از حالت ۲ و این حالت به عنوان مقدار U در نظر گرفته می‌شود).

در این جدول:

L : طول اتصال مساوی فاصله اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی



$\bar{x}$: خروج از مرکزیت اتصال (فاصله عمودی مرکز اتصال تا مرکز هندسی بخشی از عضو که نیروی آن توسط این اتصال منتقل می‌گردد).

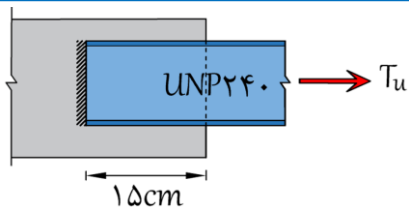


$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$ که در آن، l_1 و l_2 نباید از ۴ برابر بعد جوش کمتر باشد.

B : پهنای کلی مقاطع قوطی شکل (عمود بر صفحه اتصال)

H : ارتفاع کلی مقاطع قوطی شکل (در صفحه اتصال)

نکته ۲: مقدار ضریب تاخیر برشی (U) در ناحیه اتصال مقاطع باز لازم نیست از نسبت سطح مقطع اجزای اتصال یافته به سطح مقطع کل عضو کششی کوچکتر اختیار شود. این الزام در مورد مقاطع بسته (نظیر مقاطع قوطی شکل نورد شده و مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق) کاربرد ندارد.



مثال ۲: در شکل نشان داده شده یک ناودانی به یک تسمه به وسیله جوش عرضی در انتهای آن جوش داده شده است. مقدار ضریب تاخیر برشی برای آن چقدر است؟

۱/۰ (۴)

۰/۸ (۳)

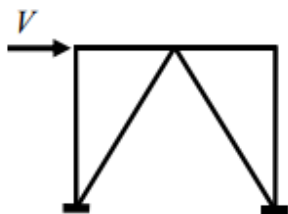
۰/۸۵ (۲)

۰/۸۹ (۱)

طبق ردیف ۳ از جدول (۱-۳-۲-۱۰) در صورتی که عضو در انتهای آن به وسیله جوش عرضی اتصال داشته باشد مقدار ضریب تاخیر برشی برای آن برابر ۱ می‌باشد فقط در محاسبه سطح مقطع خالص برابر سطح مقطع اجزای اتصال یافته در نظر گرفته می‌شود (سطح مقطع جان ناودانی)

۳-۱- اعضا کششی

اعضا کششی به اعضایی گفته می‌شود که تحت بارهای کششی بوده و نیروی کششی از مرکز سطح آن عبور می‌کند. مهاربندها کابل‌ها، خرپاها و... نمونه‌هایی از اعضا کششی هستند

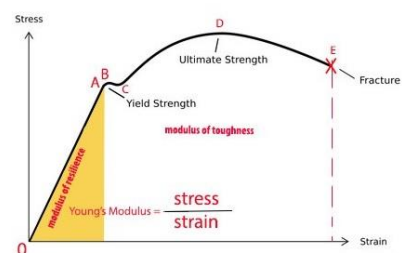


در اعضای کششی، موارد زیر برای عضو باید کنترل شوند:

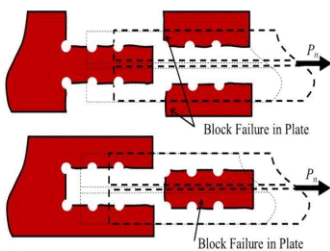
۲- کنترل گسیختگی در ناحیه اتصال:



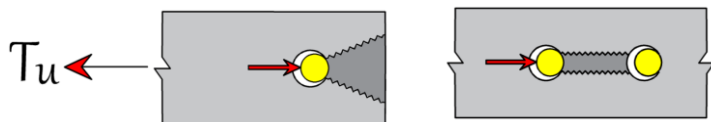
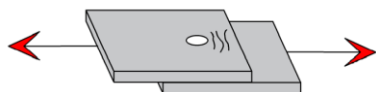
۱- کنترل تسلیم در سطح مقطع کلی



۳- کنترل برش قالبی در محل سوراخ:



۴- کنترل مقاومت اتکایی (لهیدگی):



۵- کنترل پارگی:

۶- کنترل لاغری عضو:



۱-۳-۱- کنترل تسلیم در سطح مقطع کلی

یک عضو کششی در طول خود نباید تسلیم شود. چرا حد تسلیم و گسیختگی نه؟

$$T_u \leq \phi A_g F_y \quad \text{و} \quad \phi = 0.9$$

(۳-۱)

T_u : نیروی کششی نهایی که از ترکیب بار بحرانی بدست می‌آید

A_g : سطح مقطع خالص عضو کششی

F_y : تنش تسلیم فولاد

مثال ۳: حداکثر نیروی کششی که می‌توان به مقطع $IPE300$ با تنش تسلیم 2400 kgf/cm^2 وارد کرد چند تن می‌باشد؟

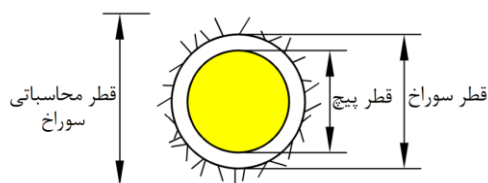
$$A_g = 53/8 \text{ cm}^2$$

$$T_u = 0.9 \times 2400 \times 53/8 = 11620.8 \text{ kgf} = 116/20.8 \text{ ton}$$

۱-۳-۲- کنترل گسیختگی در ناحیه اتصال

در محل اتصال ممکن است المان از ناحیه بحرانی که سطح مقطع آن در اثر سوراخکاری کاهش پیدا کرده است گسیختگی رخ دهد و باید در این ناحیه از گسیختگی جلوگیری شود. چون در حالت حدی گسیختگی، مقطع را کنترل می‌کنیم آیین نامه ضریب کاهش مقاومت کوچکتری نسبت به حالت تسلیم ارائه کرده است و مقدار آن برابر $\phi = 0.75$ می‌باشد.

برای محاسبه مقاومت گسیختگی در این ناحیه ابتدا لازم است سطح مقطع خالص محاسبه شود. آیین نامه جدولی براساس قطرپیچ مصرفی برای سوراخکاری ارائه کرده است و برای پیچ‌های تا قطر ۲۲ میلی‌متر اندازه سوراخ استاندارد (قطراسمی سوراخ) را ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر پیچ ارائه کرده است، این مقدار برای پیچ‌های با قطر ۲۴ میلی‌متر و بزرگتر، برابر قطر پیچ به اضافه ۳ میلی‌متر است. در اثر سوراخکاری ترک‌های ریزی به وجود می‌آید که برای در نظر گرفتن این مورد برای طراحی، باید ۲ میلی‌متر به قطراسمی سوراخ اضافه گردد. پس:

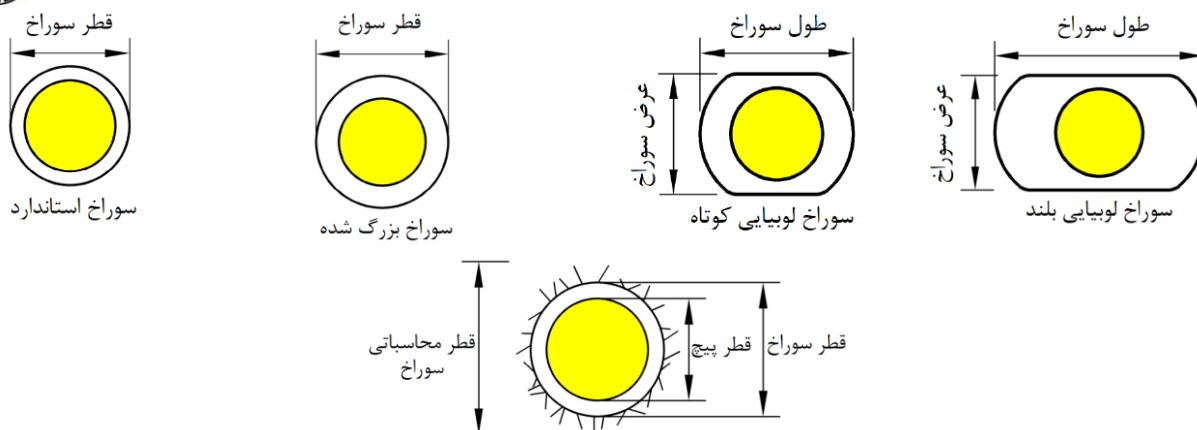


$2\text{mm} + \text{قطر اسمی سوراخ} = \text{قطر محاسباتی سوراخ}$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2\text{mm} \\ \text{یا} \\ 3\text{mm} \end{array} \right. + \text{قطر پیچ} = \text{قطر اسمی سوراخ}$$

جدول ۱-۲ ابعاد اسمی سوراخ پیچ

ابعاد اسمی سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ شده	سوراخ لوبیایی کوتاه (عرض×طول)	سوراخ لوبیایی بلند (عرض×طول)	
۱۸	۲۰	۱۸×۲۲	۱۸×۴۰	M۱۶
۲۲	۲۴	۲۲×۲۶	۲۲×۵۰	M۲۰
۲۴	۲۸	۲۴×۳۰	۲۴×۵۵	M۲۲
۲۷	۳۰	۲۷×۳۲	۲۷×۶۰	M۲۴
۳۰	۳۵	۳۰×۳۷	۳۰×۶۷	M۲۷
۳۳	۳۸	۳۳×۴۰	۳۳×۷۵	M۳۰
$d+3$	$d+8$	$(d+3) \times (d+10)$	$(d+3) \times 2/5d$	$\geq M36$



در نهایت نیروی وارده باید از مقاومت گسیختگی در مقطع خالص کمتر باشد یعنی:

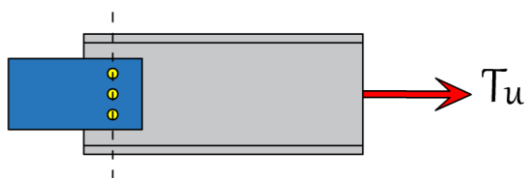
$$T_u \leq \phi F_u A_e, \quad \phi = 0.75$$

(۴-۱)

که در آن:

A_e : سطح مقطع خالص موثر مقطع می‌باشد.

مثال ۴: در شکل زیر برای $IPE300$ اگر سوراخ‌ها از نوع استاندارد بوده و پیچ‌ها از نوع $M20$ باشند سطح مقطع خالص در محل اتصال چند cm^2 می‌باشد؟



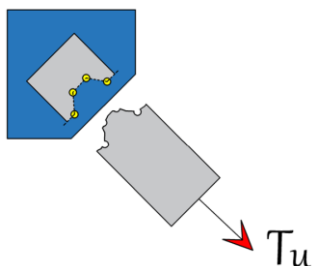
$$A_g = 53.8 \text{ cm}^2 \quad \text{و} \quad t_w = 0.71$$

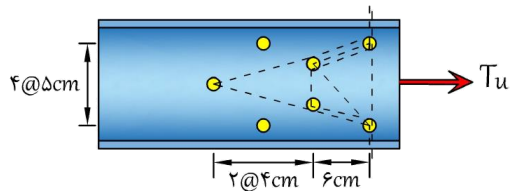
$$d_{\text{اسمی سوراخ}} = M + 2 = 20 + 2 = 22 \text{ mm} \quad \text{و} \quad d_{\text{محاسباتی سوراخ}} = d_{\text{اسمی سوراخ}} + 2 \text{ mm} = 22 + 2 = 24 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - (3 \times 2/4) = 53.8 - (3 \times 2/4) \times 0.71 = 48.688 \text{ cm}^2$$

۳-۳-۱ سطح مقطع بحرانی در حالت زیگزآگی

در صورتیکه آرایش پیچ‌ها به صورت منظم نباشد مقطع بحرانی ممکن است به صورت زیگزآگی باشد، در این حالت اگر گسیختگی رخ دهد به صورت شکل زیر خواهد بود.





D : قطر محاسباتی سوراخ

$قطر محاسباتی سوراخ = قطر اسمی سوراخ + 2mm$

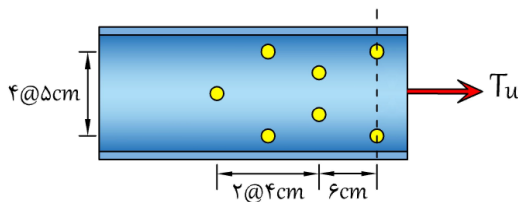
سوال: اگر چند ردیف پیچ به صورت زیگزاگ وجود داشته باشد مسیر بحرانی را چگونه باید پیدا کرد؟ ابتدا سطح مقطع کل را حساب می‌کنیم سپس مسیرهای احتمالی که می‌توانند بحرانی باشند را مشخص می‌کنیم، در گام بعد، سطح مقطع محاسباتی سوراخ‌ها را کم کرده و سپس برای گام‌های مورب سطحی به معادل $\frac{s^2}{4g}$ برابر ضخامت قطعه اضافه می‌شود که s فاصله افقی و g فاصله قائم از پیچ مجاور است. برای درک بهتر در شکل مقابل مسیرهایی که می‌توانند به عنوان مسیر بحرانی باشند با خط‌چین نشان داده شده است.

$$A_n = A_g - \sum n D t + \sum \frac{S_i^2}{4g_i} t \quad (5-1)$$

مثال: برای شکل بالا اگر المان از نوع $IPE360$ باشد و پیچ‌ها از نوع $M27$ سطح مقطع خالص بحرانی چند cm^2 خواهد بود؟

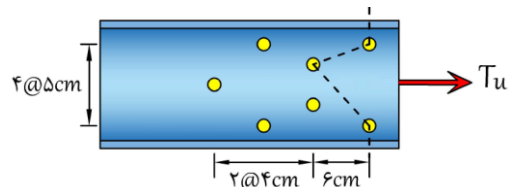
$$A_g = 72/7 \text{ cm}^2, \quad t_w = 0/8$$

قطر محاسباتی سوراخ $= 27+3+2 = 32 \text{ mm}$



مسیر ۱:

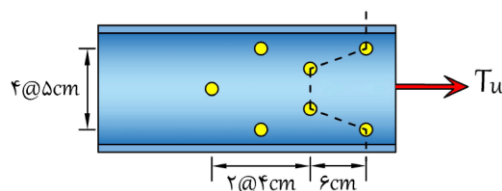
$$A_{n1} = 72/7 - (2 \times 3/2 \times 0/8) = 67/58$$



مسیر ۲:

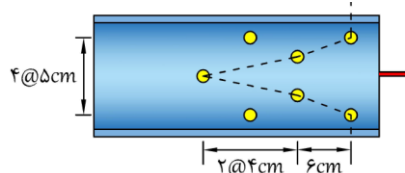
$$A_{n2} = 72/7 - (3 \times 3/2 \times 0/8) + \frac{6^2}{4 \times 5} \times 0/8 + \frac{6^2}{4 \times 15} \times 0/8 = 66/94$$

مسیر ۳:



$$A_{n3} = 72/7 - (4 \times 3/2 \times 0/8) + 2 \times \frac{6^2}{4 \times 5} \times 0/8 = 65/34$$

مسیر ۴:



$$A_{n4} = 72/7 - (5 \times 3/2 \times 0/8) + 2 \times \frac{6^2}{4 \times 5} \times 0/8 + 2 \times \frac{8^2}{4 \times 5} \times 0/8 = 67/9$$

پس مسیر بحرانی مسیر ۳ خواهد بود

۳-۴-۱ برش قالبی در محل سوراخ:

در اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در اتصال اعضای کششی یا در ورق‌های اتصال انتهای خرپاها و مهاربندها یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در مقطع ماربر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، مقاومت طراحی برش قالبی از مجموع مقاومت برشی در روی سطح ماربر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$R_D = \phi R_n \quad , \phi = 0.75 \quad (6-1)$$

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (7-1)$$

که در آن

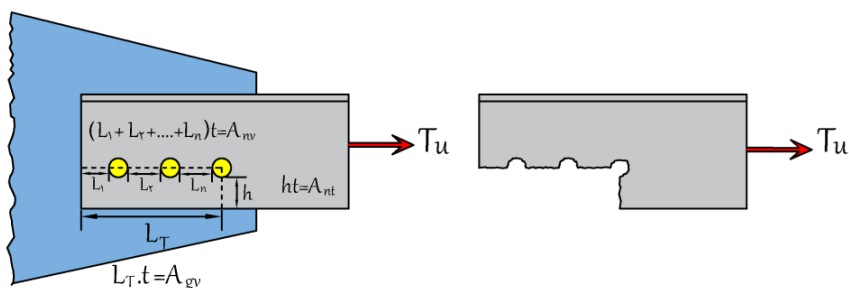
A_{gv} : سطح مقطع کلی تحت برش (سطحی در راستای نیرو)

A_{nt} : سطح مقطع خالص تحت کشش (سطحی در راستای عمود بر نیرو)

A_{nv} : سطح مقطع خالص تحت برش

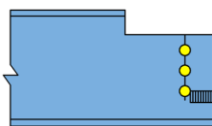
$$(8-1)$$

$$A_{nv} = A_{gv} - nDt$$

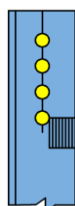


n تعداد پیچ‌ها و D قطر محاسباتی سوراخ‌ها می‌باشد

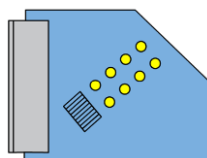
U_{bs} : ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.



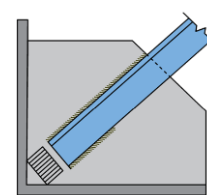
بال بریده شده تیر با یک ردیف پیچ



انتهای نبشی

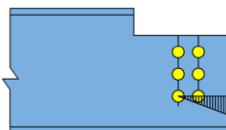


ورق اتصال



نبشی جوش شده

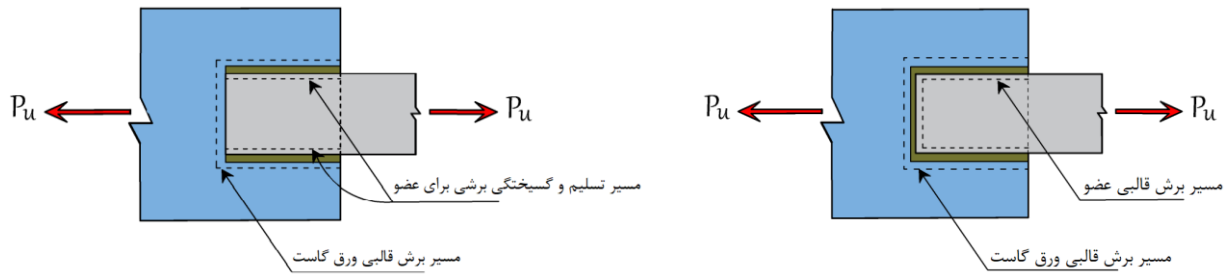
(۱) حالت‌هایی که در آن‌ها $U_{bs} = 1/0$ در نظر گرفته می‌شود.



بال بریده شده تیر با دو ردیف پیچ

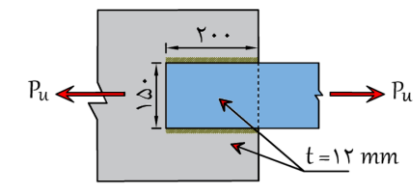
(۲) حالت‌هایی که در آن‌ها $U_{bs} = 0.5$ در نظر گرفته می‌شود.

برخی از حالت‌های مختلف گسیختگی برش قالبی در اتصالات جوشی در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۲-۱) حالت‌های مختلف گسیختگی برش قالبی در اتصال جوشی

مثال ۱۰: در اتصال شکل زیر براساس حالت حدی برش قالبی حداکثر نیروی کششی قابل تحمل (P_u) توسط اتصال به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (در شکل ابعاد به میلی‌متر است)



$$F_y = 240 \text{ MPa}, F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$F_{ue} = 490 \text{ MPa}$$



$$1272 \text{ kN} \quad (4)$$

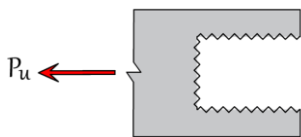
$$1221 \text{ kN} \quad (3)$$

$$1018 \text{ kN} \quad (2)$$

$$1357 \text{ kN} \quad (1)$$

محاسبات شهریور ۱۴۰۱

حل:



$$A_{nt} = 150 \times 1/2 = 75 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 2 \times 200 \times 1/2 = 200 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.6 \times 240 \times 200 + 1 \times 370 \times 75) \times 10^{-2} = 1017.9 \text{ kN}$$

$$P_u \leq \phi R_n = 1017.9 \text{ kN}$$

برش قالبی برای ورق گاست و ورق عضو باید کنترل شود:

مسیر گسیختگی برش قالبی برای ورق گاست:

مسیر گسیختگی برش قالبی برای عضو:



$$A_{nt} = 0$$

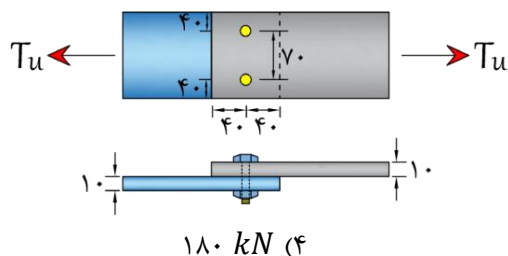
$$A_{nv} = A_{gv} = 2 \times 200 \times 1/2 = 200 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.6 \times 240 \times 200 + 0) \times 10^{-2} = 518.4 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{2} \leq \phi R_n = 518.4 \text{ kN} \Rightarrow P_u \leq 2 \times 518.4 = 1036.8 \text{ kN}$$

چون مقدار نیروی گسیختگی برای ورق عضو بزرگتر از ورق گاست می‌باشد گسیختگی در ورق گاست رخ خواهد داد.

گزینه ۲ صحیح است.



مثال ۱۱: در اتصال شکل زیر با فرض استفاده از پیچ $M22$ و سوراخ استاندارد، مقاومت کششی طراحی اتصال اصطکاکی زیر فقط براساس معیار گسیختگی قالبی برحسب کیلونیوتن به کدام یک از گزینه های زیر نزدیک تر است؟ (پیچ مصرفی $A490$ و فولاد مصرفی ورق ها دارای $F_y = 235 MPa$ و $F_u = 360 MPa$ است. اندازه ها در شکل به میلی متر است).

۱۸۰ kN (۴)

۲۱۰ kN (۳)

۲۵۰ kN (۲)

۲۷۵ kN (۱)

محاسبات مهر ۹۸ با تغییر

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

$$A_{gv} = (2 \times 40) \times 10 = 800 \text{ mm}^2$$

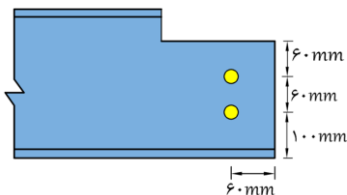
$$A_{nv} = 2 \times \left(40 - \frac{26}{2}\right) \times 10 = 540 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = \left(70 - \left(2 \times \frac{26}{2}\right)\right) \times 10 = 440 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \min \left\{ 0.6 \times 360 \times 540 + 1 \times 360 \times 440, 0.6 \times 235 \times 800 + 1 \times 360 \times 440 \right\} = 203.4 \text{ kN}$$

گزینه ۳ صحیح است

مثال ۱۲: برای اتصال تیرچه فولادی به تیر فولادی نشان داده شده در شکل زیر، بر اساس کنترل گسیختگی قالبی ناشی از نیروی برشی (V) در طراحی به روش حد نهایی حداقل ضخامت جان تیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟



$$V_u = 120 \text{ kN}, F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$d = 20 \text{ mm} \text{ قطر سوراخ}$$

۱۲ mm (۴)

۶ mm (۳)

۱۰ mm (۲)

۸ mm (۱)

محاسبات اسفند ۹۱ با تغییر

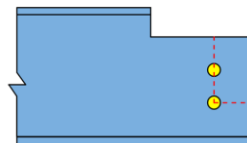
حل: قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲۲ mm خواهد بود.

چون فاصله قائم بین دو سوراخ پیچ و فاصله بین سوراخ پیچ و لبه بریده شده یکسان است مسیر محتمل گسیختگی به صورت شکل زیر خواهد بود:

$$A_{nt} = 60t - 0.5Dt = 60t - 0.5 \times 22 \times t = 49t$$

$$A_{nv} = 120t - 1.5Dt = 120t - 1.5 \times 22 \times t = 87t$$

$$A_{gv} = 120t$$



$$\phi R_n = 0.75 \times \min \left\{ 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt}, 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt} \right\} = 0.75 \times \min \left\{ 0.6 \times 400 \times 87t + 1 \times 400 \times 49t, 0.6 \times 240 \times 120t + 1 \times 400 \times 49t \right\} = 2766t$$

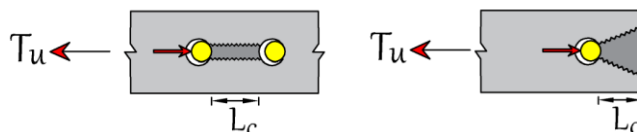
$$V_u \leq \phi R_n \rightarrow 120 \times 10^3 \leq 2766t \rightarrow t \geq 4/3 \text{ mm}$$

گزینه ۳ صحیح است

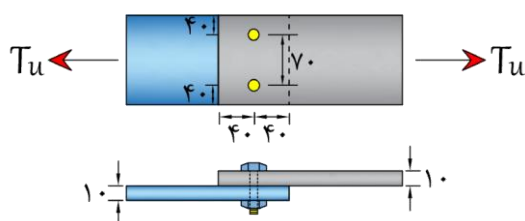
نکته ۴: برای همه ورق‌ها باید مقدار مقاومت پارگی کنترل شود. همچنین در محاسبه l_c مقدار d باید قطر اسمی سوراخ در نظر گرفته شود.

$$R_n = \sum r_n \quad \text{و} \quad \phi = 0.75 \quad (13-1)$$

در شکل زیر پارگی بین دو سوراخ و سوراخ انتهایی تا لبه نشان داده شده است:



شکل (۱۳-۱): پارگی بین دو سوراخ و سوراخ انتهایی تا لبه ورق



مثال ۱۳: در اتصال شکل زیر با فرض استفاده از پیچ $M22$ و سوراخ استاندارد، مقاومت کششی طراحی اتصال اصطکاکی زیر فقط براساس معیار مقاومت اتکایی و پارگی برحسب کیلونیوتن به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک تر است؟ (پیچ مصرفی $A490$ و فولاد مصرفی ورق‌ها دارای $F_u = 360 \text{ MPa}$ و $F_y = 235 \text{ MPa}$ است. اندازه‌ها در شکل به میلی‌متر است.)

۱۸۰ kN (۴)

۲۱۰ kN (۳)

۲۵۰ kN (۲)

۲۷۵ kN (۱)

محاسبات مهر ۹۸ با تغییر

$$0.75 \times (1/2 l_c t F_u) = 0.75 \times (1/2 \times 28 \times 10 \times 360) \times 10^{-3} = 90.72 \text{ kN}$$

$$0.75 \times (2/4 d t F_u) = 0.75 \times (2/4 \times 22 \times 10 \times 360) \times 10^{-3} = 142.56 \text{ kN}$$

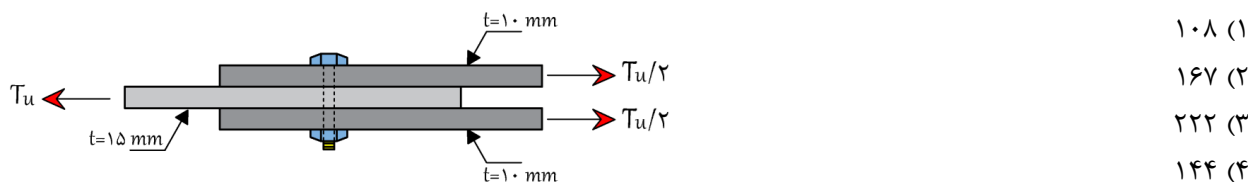
پس حالت پارگی تعیین کننده است و چون دو پیچ با مشخصات یکسان برای اتصال استفاده شده است مقاومت کششی اتصال برابر خواهد بود با:

$$2 \times 90.72 = 181.44 \text{ kN}$$

گزینه ۴ صحیح است

مثال ۱۴: چنانچه در اتصال اتکایی شکل زیر فقط از یک عدد پیچ $M25$ با سوراخ استاندارد استفاده شده باشد فقط براساس کنترل لهیدگی (اتکایی) ورق‌ها، حداکثر نیروی قابل تحمل (T) در طراحی به روش حدی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ورق‌ها از نوع $ST37$ بوده، $F_u = 370 \text{ MPa}$ و $F_y = 240 \text{ MPa}$ می‌باشد.

محاسبات آذر ۱۳۹۰



براساس مقدار تنش در واحد طول، ورق بحرانی ورقی است که بار T به آن وارد می‌شود.

$$\max \left(\frac{T/2}{10} \text{ \& } \frac{T}{15} \right)$$

$$T \leq 0.75 R_n \Rightarrow R_u = 0.75 \times 2/4 \times 25 \times t \times 370 \times 10^{-3} = 249.75 \text{ kN}$$

در رابطه بالا t ضخامت ورق بحرانی است که همان ۱۵ میلی‌متر است قرار داده می‌شود.

تمرین) در صورتیکه F_u برای تیرورق میانی برابر ۵۲۰ مگاپاسکال باشد حداکثر نیروی قابل تحمل (T) چقدر خواهد بود؟



۱-۳-۷ کنترل لاغری

ضریب لاغری حداکثر اعضای کششی که به صورت $\left(\frac{L}{r}\right)_{max}$ تعریف می‌شود نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید. برای قلاب‌ها و میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تندگی اولیه به مقدار کافی باشند، به طوری که پس از ایجاد کشش اولیه عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت لاغری ضروری نیست.

r : شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور ضعیف مقطع

(۱۴-۱)

$$r = \sqrt{\frac{I_{min}}{A_g}}$$

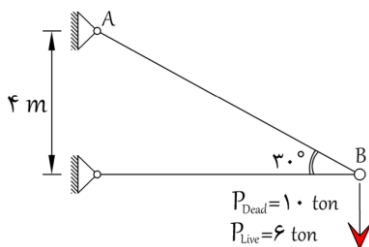
مثال ۱۳: مناسب‌ترین مقطع برای المان AB شکل زیر با $F_y = 240 \text{ MPa}$ کدام است؟

(۱) UNP ۲۰۰

(۲) UNP ۱۴۰

(۳) UNP ۲۸۰

(۴) UNP ۲۴۰



کنترل تسلیم:

$$P_u = 1/2 \times 10 + 1/6 \times 6 = 21/6 \text{ ton}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow T_{AB} = \frac{21/6}{\sin 30^\circ} = 43/2 \text{ ton}$$

$$A_g \geq \frac{43200}{0.9 \times 240} = 20 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{UNP } 140$$

کنترل لاغری:

$$L_{AB} = \frac{400}{\sin 30^\circ} = 800 \text{ cm}$$

$$\frac{800}{r_{min}} \leq 300 \Rightarrow r_{min} \geq 2/67 \Rightarrow \text{UNP } 280$$

مثال ۱۵: تسمه‌ای به طول آزاد یک متر تحت اثر نیروی کششی 70 kN قرار دارد. اگر پهنای تسمه 50 mm و تنش تسلیم فولاد 240 MPa باشد، در طراحی به روش حد نهایی، حداقل ضخامت لازم برای تسمه به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

محاسبات آذر ۹۲

(۴) ۸ mm

(۳) ۱۰ mm

(۲) ۱۲ mm

(۱) ۱۵ mm

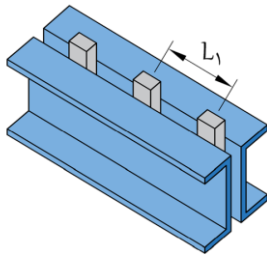
کنترل تسلیم:

$$T_u \leq 0.9 \times F_y \times A_g = 0.9 \times 240 \times 50 \times t \rightarrow 70 \times 10^3 \leq 10800t \rightarrow t \geq 6/48 \text{ mm}$$

کنترل لاغری:

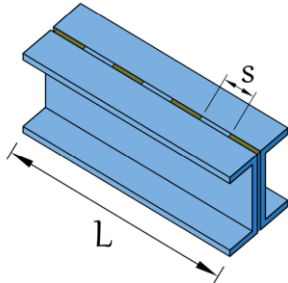
$$\frac{L}{r} \leq 300 \rightarrow \frac{1000}{\sqrt{\frac{I}{A_g}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{bt^3}{12bt}}} \leq 300 \rightarrow t \geq 11/55 \text{ mm}$$

گزینه ۲ صحیح است



ب) در اعضای کششی که از دو یا تعداد بیشتری نیمرخ یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آن‌ها به فواصلی قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط به یکدیگر متصل می‌شوند، فاصله بین لقمه‌ها باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هریک از اجزای تشکیل دهنده عضو در فاصله آزاد از ۳۰۰ بیشتر نباشد.

$$\frac{L_1}{r_{min}} \leq 300$$

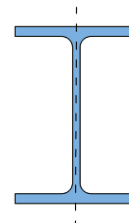
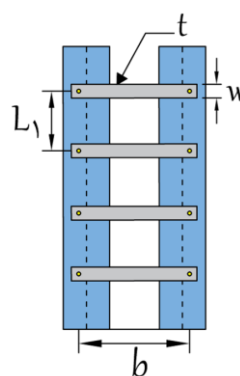
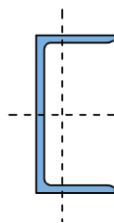
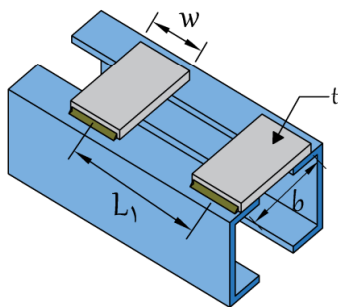


پ) در اعضای کششی که از دو یا تعداد بیشتری نیمرخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هریک از اجزای تشکیل دهنده عضو در فاصله آزاد از ۳۰۰ بیشتر نباشد. به علاوه، فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از ۶۰۰ میلی‌متر بیشتر باشد.

$$\left(\frac{s}{r_{min}}\right)_{\text{نیمرخ تک}} \leq 300, \quad \left(\frac{L}{r_{min}}\right)_{\text{مقطع مرکب}} \leq 300, \quad s \leq 600 \text{ mm}$$

ت) در اعضای کششی مرکب، به کار بردن ورق‌های پوششی مشبک در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. ضخامت ورق‌های پوششی مشبک نباید کمتر از فاصله بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آن‌ها را به اجزای عضو متصل می‌کند. فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی ورق مشبک نباید از ۱۵۰ میلی‌متر بیشتر باشد.

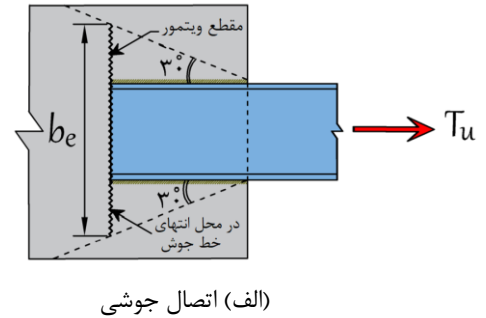
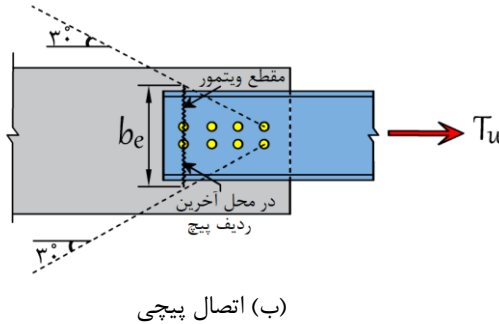
ث) در اعضای کششی مرکب، به کار بردن بست‌های موازی در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. پهنای بست‌های موازی در امتداد طولی عضو باید حداقل به اندازه $\frac{2}{3}$ فاصله بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آن‌ها را به اجزای عضو متصل می‌کند. ضخامت بست‌های موازی نباید کمتر از $\frac{1}{5}$ فاصله مذکور باشد. فاصله مرکز تا مرکز بست‌های موازی باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هریک از اجزای تشکیل دهنده عضو در این فاصله از ۳۰۰ بیشتر نباشد.



$$t \geq \frac{1}{5} b, \quad w \geq \frac{2}{3} b, \quad \left(\frac{L_1}{r_{min}}\right)_{\text{نیمرخ تک}} \leq 300, \quad \left(\frac{L}{r_{min}}\right)_{\text{مقطع مرکب}} \leq 300$$

۱-۵-۱- کنترل تسلیم در ورق‌های انتهایی

برای اتصال مهاربندها به ستون یا تیر، از ورق گاست استفاده می‌شود. این ورق باید برای نیروی کششی، فشاری، لهیدگی و... کنترل شود. برای کنترل گسیختگی در ورق گاست، باید از سطح مقطع موثر استفاده شود. برای تعیین پهنای موثر ورق‌های اتصال، پیشنهادات مختلفی توسط محققین ارائه شده است که یکی از این روش‌ها، روش ویتمور می‌باشد. طبق این روش، پهنای موثر در انتهای اتصال عضو کششی است و این پهنای برابر مقداری است که ساق‌های آن با ابتدای وسیله اتصال زاویه ۳۰ درجه دارد و کنترل تسلیم باید در این مقطع انجام شود. در شکل زیر پهنای ویتمور برای اتصال جوشی و پیچی نشان داده شده است.

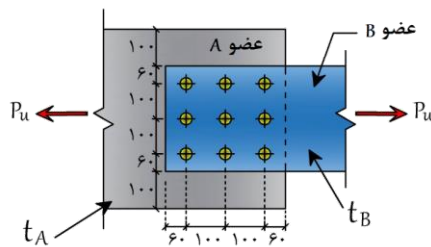


نکته: اگر پهنای ویتمور خارج از پهنای ورق اتصال قرار گیرد، پهنای ورق اتصال ملاک محاسبه خواهد بود. در فصل ضوابط لرزه‌ای مقدار نیرویی که ورق گاست باید برای آن طراحی شود ارائه شده است.

مثال ۱۹: در شکل زیر اتصال پیچی عضو کششی B به عضو کششی A نشان داده شده است. پهنای ویتمور در عضو کششی A به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است.

(محاسبات اسفند ۱۴۰۲)

$$F_y = 240 \text{ MPa} \text{ و } E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



۳۲۰ mm (۱)

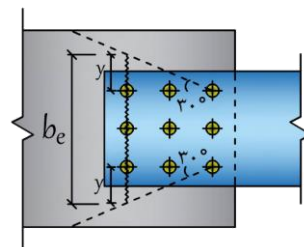
۵۰۰ mm (۲)

۵۲۰ mm (۳)

۴۳۰ mm (۴)

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} \Rightarrow y = 20 \times \tan 30^\circ = 11.5 \text{ cm}$$

$$b_e = 2 \times 11.5 + 20 = 43 \text{ cm} = 430 \text{ mm} \leq b_{\text{ورق}} = 520 \text{ mm}$$

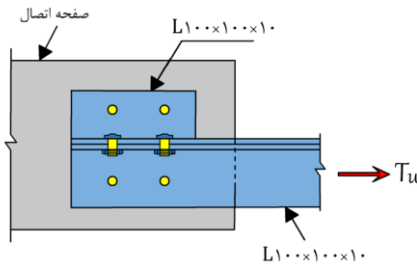


گزینه ۴ صحیح است.

تمرین‌های آخر فصل

۱: انتقال نیروی T از نبشی دو طرف مساوی $L100 \times 10$ به صفحه اتصال با شش عدد پیچ به قطر 20 mm با سوراخ‌های استاندارد طبق شکل انجام می‌گیرد. سطح مقطع خالص مؤثر این نبشی چقدر است؟ سوراخ‌ها با مته اجرا شده‌اند.

محاسبات آذر ۸۴



(۱) ۱۱/۱ سانتی‌متر مربع

(۲) ۱۲/۶ سانتی‌متر مربع

(۳) ۱۴/۸ سانتی‌متر مربع

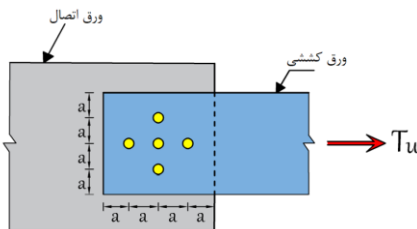
(۴) ۱۹/۲ سانتی‌متر مربع

$$A_e = A_n = A_g - 2Dt = 19/2 - 2 \times (2/4 \times 1) = 14/4 \text{ cm}^2$$

گزینه ۳ صحیح است

۲: در اتصال شکل زیر، چنانچه قطر محاسباتی سوراخ‌ها برابر $a/5$ فرض شود، مقدار تنش کششی نهایی در مقطع گسیختگی محتمل در ورق کششی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

محاسبات اسفند ۹۵



$$\frac{T_u}{3/4at} \quad (3)$$

$$\frac{T_u}{3/8at} \quad (4)$$

$$\frac{T_u}{4at} \quad (1)$$

$$\frac{T_u}{3/9at} \quad (2)$$

$$A_{n1} = A_g - Dt = 4at - \frac{a}{5}t = 3/8at$$

$$\sigma_1 = \frac{T_u}{A_{n1}} = \frac{T_u}{3/8at}$$

$$A_{n2} = A_g - 2Dt = 4at - 2 \frac{a}{5}t = 3/4at$$

در این حالت چون یک پیچ را رد شده‌ایم باید سهم نیروی آن از کل نیرو کم شود، چون ۵ پیچ داریم و اندازه پیچ‌ها یکسان است به هر پیچ $\frac{T_u}{5}$ نیرو وارد می‌شود:

$$\sigma_2 = \frac{\frac{4}{5}T_u}{A_{n2}} = \frac{\frac{4}{5}T_u}{3/4at} = \frac{T_u}{4/25at}$$

$$A_{n3} = A_g - 2Dt + \sum \frac{s^2}{4g}t = 4at - 2 \frac{a}{5}t + 2 \frac{a^2}{4a}t = 3/9at$$

$$\sigma_3 = \frac{T_u}{A_{n3}} = \frac{T_u}{3/9at}$$

$$\sigma = \max\{(\sigma_1), (\sigma_2), (\sigma_3)\} = \sigma_1 = \frac{T_u}{3/8at}$$

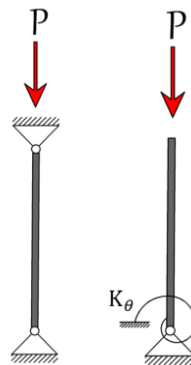
گزینه ۴ صحیح است

به عنوان تمرین برای این مقطع با تغییر عرض بال مقطع به ۴۵ سانتی متر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها همین مثال را حل کنید.

۲-۱۰- بار کمانش در ستون‌های صلب

از این قسمت برای آزمون محاسبات سوالی مطرح نشده است و فقط در آزمون کارشناسی ارشد سوالاتی طرح شده که تعداد آن نیز بسیار کم است.

عضو صلب عضوی است که تحت اثر بارهای وارده تغییر شکلی در آن به وجود نمی‌آید و نیروی محوری فشاری که در آن باعث ایجاد کمانش عضو می‌شود بار بحرانی نامیده می‌شود، در واقع بار بحرانی باری است که باعث می‌شود تغییر مکان عضو از حالت پایدار به ناپایدار برسد. عضو صلب اگر در دوانتها مهار شده باشد تحت بارهای وارده هرگز کمانش نخواهد کرد، اما اگر یک سر آزاد باشد می‌تواند در اثر بار وارده کمانش کند. شکل زیر یک ستون صلب با امکان کمانش و ستون صلب که امکان کمانش ندارد را نشان می‌دهد.

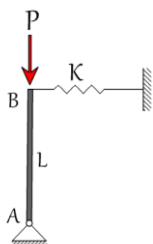


شکل (۲-۹) ستون صلب با امکان کمانش و ستون صلب که امکان کمانش ندارد

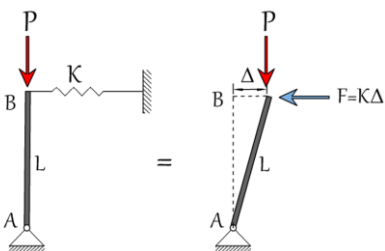
پس شرط لازم برای کمانش یک عضو صلب این است که مهار شده نباشد.

برای به دست آوردن بار بحرانی در این اعضا باید یک جابه‌جایی به اندازه Δ یا دورانی به اندازه θ به آن اعمال می‌کنیم و سپس رابطه تعادل برای آن را مینویسیم.

برای مثال در ستون صلب شکل روبه‌رو می‌خواهیم بار بحرانی را حساب کنیم:



ابتدا باید یک تغییر مکان در نقطه B در عضو صلب ایجاد کنیم و نیروی وارده به فنر در اثر این جابه‌جایی را محاسبه کنیم، در این صورت شکل به صورت زیر خواهد بود:

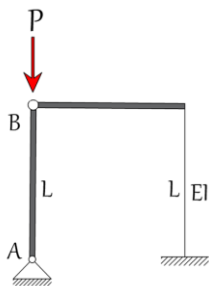


حال کافی است رابطه تعادل را برای آن بنویسیم:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow P \times \Delta = K \times \Delta \times L \Rightarrow P_{cr} = KL$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر مقدار نیروی فشاری وارده از مقدار KL بیشتر شود ستون کمانش کرده و ناپایدار خواهد شد و به عبارتی Δ به سمت بی نهایت میل خواهد کرد.

مثال ۱۶: در سازه نشان داده شده در شکل زیر، بار بحرانی کمانش ستون AB چقدر است؟



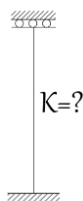
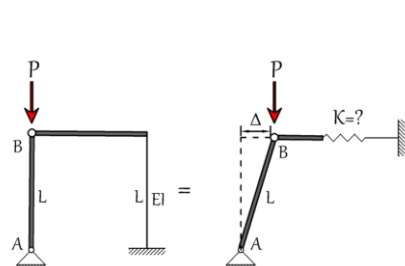
$$\frac{6EI}{L^2} \quad (۴)$$

$$\frac{2EI}{L^2} \quad (۳)$$

$$\frac{2EI}{L^2} \quad (۲)$$

$$\frac{12EI}{L^2} \quad (۱)$$

حل: ابتدا باید یک تغییر مکان در گره B به ستون اعمال کنیم و سپس معادله تعادل را برای سازه می‌نویسیم:



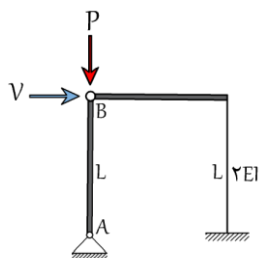
همانطور که مشاهده می‌شود باید سختی معادل ستون سمت راست را حساب کنیم. چون تیر صلب است یعنی امکان دوران در آن وجود ندارد و می‌توان آن را معادل ستونی که ترسیم شده در نظر گرفت و سختی این ستون را حساب کرد.

از تحلیل سازه می‌دانیم سختی خمشی یک ستون با شرایط تکیه‌گاهی یک سرگیردار و یک سرگیردارغلتکی به صورت زیر است:

$$K = \frac{12EI}{L^3}$$

با نوشتن معادله تعادل نیروی کمانشی ستون بدست می‌آید:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow P \times \Delta = K \times \Delta \times L \Rightarrow P_{cr} = \frac{12EI}{L^3} L = \frac{12EI}{L^2}$$



مثال ۱۷: در سازه نشان داده شده در شکل زیر، بار بحرانی کمانش ستون AB چقدر است؟

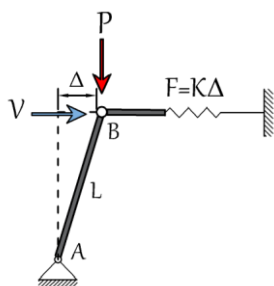
$$\frac{6EI}{L^2} \quad (۴)$$

$$\frac{9EI}{L^2} \quad (۳)$$

$$\frac{24EI}{L^2} \quad (۲)$$

$$\frac{12EI}{L^2} \quad (۱)$$

حل: ابتدا باید یک تغییر مکان در گره B به ستون اعمال کنیم و سپس معادله تعادل را برای سازه می‌نویسیم:



$$K = \frac{12 \times (2EI)}{L^3}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow P \times \Delta + V \times L = K \times \Delta \times L \Rightarrow P \times \Delta = K \Delta L - VL$$

$$\Rightarrow P_{cr} = \frac{24EI}{L^3} L - \frac{VL}{\Delta} = \frac{24EI}{L^2} - \frac{VL}{\Delta}$$

$$\Rightarrow \Delta = \frac{VL}{\frac{24EI}{L^2} - P}$$

ناپایداری زمانی رخ می‌دهد که جابه‌جایی عضو به سمت بی‌نهایت میل کند پس اگر $\Delta \rightarrow \infty$ آنگاه:

$$P_{cr} = \frac{24EI}{L^2}$$

اگر مقدار V صفر باشد یعنی Δ برابر صفر است و اگر بخواهیم عضو ناپایدار شود ($\Delta \rightarrow \infty$) باید مخرج کسر $\left(\Delta = \frac{VL}{\frac{24EI}{L^2} - P} \right)$ صفر باشد

یعنی:

۲-۱۱- ستون‌های مختلط

اعضای محوری با مقاطع مختلط به دو دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) مقطع مختلط محاط در بتن: در این حالت مقطع فولادی درون بتن محصور شده و امکان کمایش موضعی برای آن وجود نخواهد داشت ولی در هر حال حداکثر نسبت پهنا به ضخامت مجاز باید رعایت شود.

ب) مقطع مختلط پر شده با بتن: در این حالت بتن داخل مقطع فولادی قرار دارد و آیین نامه برای جلوگیری از کمایش موضعی اجزا، نسبت طول به ضخامت آن‌ها را محدود کرده است، این نسبت‌ها در جدول (۲-۸) ارائه شده است و به ۳ دسته طبقه‌بندی می‌شود که به صورت زیر می‌باشد:

مقطع مختلط فشرده: اگر نسبت پهنا به ضخامت هیچ یک از اجزا از λ_p تجاوز نکند.

مقطع مختلط غیر فشرده: اگر نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء مقطع از λ_p بیشتر باشد ولی از مقدار λ_r کمتر باشد.

مقطع مختلط با اجزای لاغر: اگر نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء مقطع از λ_r بیشتر باشد.

جدول (۲-۸) نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع مختلط پر شده با بتن در اعضای تحت اثر فشار محوری					
حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		حداکثر نسبت مجاز
			λ_p (غیر فشرده/فشرده)	λ_r (لاغر/غیر فشرده)	
۱	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t و h/t	$2/26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
۲	مقاطع دایره‌ای شکل	D/t	$0/15 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0/19 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0/31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن

محدودیت‌ها

۱- سطح مقطع هسته فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کلی مقطع مختلط باشد.

۲- پوشش بتنی هسته فولادی باید به کمک میلگردهای طولی و تنگ‌های عرضی یا مارپیچ، مسلح شوند. حداقل قطر تنگ‌های عرضی ۱۰ میلی‌متر است. چنانچه از تنگ عرضی با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شود، حداکثر فاصله مرکز تا مرکز تنگ‌ها در راستای طولی عضو محوری ۳۰۰ میلی‌متر و چنانچه از تنگ‌های عرضی با قطر ۱۲ میلی‌متر یا بیشتر استفاده شود، حداکثر فاصله مرکز تا مرکز تنگ‌ها ۴۰۰ میلی‌متر است. در هر حال حداکثر فاصله تنگ‌های عرضی در راستای طولی نباید از نصف بعد کوچک‌تر مقطع مختلط بیشتر باشد.

۳- نسبت مساحت میلگردهای طولی به مساحت کل مقطع مختلط (ρ_s) باید حداقل ۰/۰۰۴ باشد.

$$\rho_s = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0/004$$

که در آن A_g سطح مقطع کل مقطع مختلط و A_{sr} مجموع سطح مقطع آرماتورهای طولی است.

۲-۱۱-۱- مقاومت فشاری موجود مقاطع مختلط محاط در بتن

مقاومت فشاری موجود این اعضاء برابر $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن P_n مقاومت فشاری اسمی مقطع است و باید براساس حالت حدی کمایش خمشی با توجه به لاغری عضو تعیین شود.



(۴۷-۲)

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2}$$

(۴۸-۲)

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ySR} A_{SR} + 0.185 f'_c A_c$$

(۱) اگر $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2/25$:

(۴۹-۲)

$$P_n = P_{no} \left(0.165 \sqrt{\frac{P_{no}}{P_e}} \right)$$

(۲) اگر $\frac{P_{no}}{P_e} > 2/25$:

(۵۰-۲)

$$P_n = 0.177 P_e$$

$$\phi_c = 0.75$$

در روابط بالا:

A_c : سطح مقطع بخش بتنی

A_s : سطح مقطع بخش فولادی

A_{SR} : مجموع سطح مقطع آرماتورهای طولی

F_y : تنش تسلیم مشخصه فولاد

F_{ySR} : تنش تسلیم مشخصه میلگردهای فولادی

K : ضریب طول موثر عضو محوری فشاری مختلط

L : طول مهارنشده عضو محوری فشاری مختلط

$(EI)_{eff}$: صلبیت خمشی موثر مقطع مختلط است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۵۱-۲)

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{SR} + C_1 E_c I_c$$

که در آن C_1 ضریبی است که برای تعیین سختی موثر عضو فشاری با مقطع مختلط محاط در بتن از رابطه زیر تعیین می‌شود:

(۵۲-۲)

$$C_1 = 0.25 + 3 \left[\frac{A_s + A_{SR}}{A_g} \right] \leq 0.7$$

E_s : مدول الاستیسیته فولاد

I_s : ممان اینرسی مقطع فولادی نسبت به محور خنثی الاستیک مقطع مختلط حول محور ضعیف مقطع

I_{SR} : ممان اینرسی میلگردها نسبت به محور خنثی الاستیک مقطع مختلط حول محور ضعیف مقطع

I_c : ممان اینرسی بخش بتنی نسبت به محور خنثی الاستیک مقطع مختلط

A_g : سطح مقطع کل مقطع مختلط

E_c : مدول الاستیسیته بتن که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۵۳-۲)

$$E_c = 0.43 w_c^{1/5} \sqrt{f'_c} \quad (MPa)$$

که در آن w_c جرم مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و f'_c مقاومت مشخصه فشاری نمونه استوانه‌ای بتن بر حسب مگاپاسکال است.

محدودیت w_c :

$$2300 \text{ kg/m}^3 < w_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$$

برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی

$$1400 \text{ kg/m}^3 \leq w_c \leq 2300 \text{ kg/m}^3$$

برای بتن‌های با وزن مخصوص سبک:

تبصره: مقاومت فشاری موجود اعضای مختلط محاط در بتن ($\phi_c P_n$) لزومی ندارد کمتر از مقاومت فشاری مقطع فولادی تنها در نظر گرفته شود.

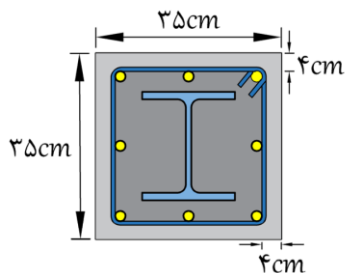
مثال ۱۹: یک ستون دوسر مفصل به طول ۵ متر که در آن از یک مقطع $IPB200$ در داخل بتن با ابعاد 35×35 محصور شده است. در داخل این مقطع مرکب از ۸ عدد میلگرد به قطر ۱۶ میلی‌متر که آرایش آن‌ها در شکل زیر نشان داده شده است، استفاده شده است. اگر میلگردهای مصرفی $S400$ و بتن مصرفی از رده $C25$ باشد، مقاومت محوری طراحی موجود ستون چقدر خواهد بود؟ (کاور تا بیرون میلگردهای طولی ۴ سانتی‌متر است و $F_y = 240 MPa$)

(۱) 365 ton

(۲) 267 ton

(۳) 296 ton

(۴) 274 ton



حل:

۷۵

$$A_g = 35 \times 35 = 1225 \text{ cm}^2, A_{IPB200} = 78.1 \text{ cm}^2, A_{sr} = 8 \times 2 = 16 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 1225 - 78.1 - 16 = 1130.9 \text{ cm}^2$$

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

$$I_s = 2000 \text{ cm}^4, I_{sr} = 8 \times \frac{\pi \times 16^4}{64} + 6 \times 2 \times 12.7^2 = 1936 \text{ cm}^4$$

$$I_c = \frac{35^4}{12} - 1936 - 2000 \approx 121116 \text{ cm}^4$$

$$E_c = 0.43 w_c^{1/2} \sqrt{f'_c} = 0.43 \times 240^{1/2} \sqrt{25} \approx 25279 \text{ MPa} = 252790 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right] = 0.25 + 3 \left[\frac{78.1 + 16}{1225} \right] = 0.48 \leq 0.7$$

$$(EI)_{eff} = 2 \times 10^6 \times 2000 + 2 \times 10^6 \times 1936 + 0.48 \times 252790 \times 121116 = 2.257 \times 10^{11}$$

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2} = \pi^2 \times \frac{2.257 \times 10^{11}}{50^2} \approx 891000 \text{ kg} = 891 \text{ ton}$$

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c = (240 \times 78.1 + 400 \times 16 + 0.85 \times 25 \times 1130.9) \times 10^{-3}$$

$$P_{no} = 491.76 \text{ ton}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{491.76}{891} = 0.55 \leq 0.25 \Rightarrow P_n = P_{no} \left(0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right)$$

$$P_u = 0.75 \times 491.76 (0.658^{0.55}) \approx 293 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت فشاری طراحی مقطع $IPB200$ تنها به عنوان تمرین انجام شود.

گزینه ۳ صحیح است



از جدول اشتال مشخصات مقطع به صورت زیر است:

$$\begin{cases} A_s = 54/9 \text{ cm}^2 \\ I = 1773 \text{ cm}^4 \end{cases}$$

کنترل فشردگی:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{15 - 3 \times 1}{1} = 12 \leq 2/26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \approx 65 \Rightarrow \text{مقطع فشرده}$$

$$\Rightarrow P_{no} = P_p = A_s F_y + C_r f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$$

با صرف نظر از گردش‌دگی در گوشه‌های مقطع مساحت قسمت بتنی برابر است با:

$$A_c = (b - 2t)^2 = (15 - 2 \times 1)^2 = 169 \text{ cm}^2$$

$C_r = 0.85$ برای مقاطع قوطی شکل (HSS)

$$P_{no} = (54/9 \times 2400 + 0.85 \times 2500 \times (169 + 0)) \times 10^{-3} = 167/67 \text{ ton}$$

$$E_c = 0.43 W_c^{1/5} \sqrt{f'_c} = 0.43 \times 2400^{1/5} \sqrt{25} \approx 25279 \text{ MPa} = 252790 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_c \approx \frac{(b - 2t)^4}{12} = \frac{(15 - 2 \times 1)^4}{12} = 2380 \text{ cm}^4$$

$$C_r = 0.45 + 3 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] = 0.45 + 3 \left[\frac{54/9}{169 + 54/9} \right] = 1/18 \leq 0.9 \Rightarrow C_r = 0.9$$

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_r E_c I_c = 2 \times 10^6 \times 1773 + 0.9 \times 2380 \times 252790 = 4/0.87 \times 10^9 \text{ kg.cm}^2$$

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2} = \pi^2 \times \frac{4/0.87 \times 10^9}{50.2^2} \times 10^{-3} = 161/35 \text{ ton}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{167/67}{161/35} = 1/0.39 \leq 2/25 \Rightarrow P_n = P_{no} \left(0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right)$$

$$P_n = 167/67 \times (0.658^{1/0.39}) = 108/54 \text{ ton}, 0.75 \times 108/54 = 81/4 \text{ ton}$$

مقاومت فشاری مقطع فولادی تنها:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_s}} = \sqrt{\frac{1773}{54/9}} = 5/68, \lambda = \frac{500}{5/68} = 88 < \lambda_c$$

$$\sigma_{cr} = 0.386 \left(\frac{88}{136} \right)^2 \times 2400 = 1611 \Rightarrow P_n = 1611 \times 54/9 \times 10^{-3} = 88/45 \text{ ton}, 0.9 \times 88/45 = 79/6 \text{ ton}$$

پس مقاومت مقطع فولادی تنها، از مقطع مختلط کمتر نیست.

انتقال بار در اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن

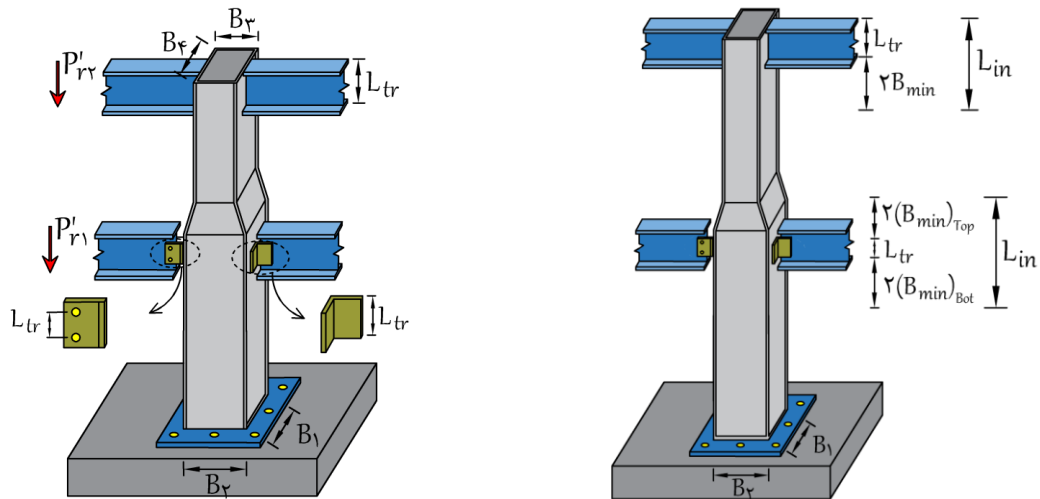
به طور کلی زمانی یک عضو مختلط تحت اثر نیروی وارده عملکرد مناسبی خواهد داشت که شرایط انتقال بار تامین شود. برای انتقال این بار، روش‌های مختلفی وجود دارد و برش طولی موجود در طول مقرر بار باید از برش طولی مورد نیاز بیشتر باشد. قبل از اینکه سراغ نحوه محاسبه مقاومت برشی طولی برویم بهتر است با دو واژه ناحیه انتقال بار و طول مقرر بار آشنا شویم:

ناحیه انتقال بار (L_{tr}): ناحیه انتقال بار به ارتفاع اتصال تیر به ستون گفته می‌شود که در اتصالات گیردار تیر فولادی برابر عمق کلی مقطع فولادی و در اتصالات مفصلی برابر ارتفاع ورق اتصال در اتصالات جوشی و فاصله پایین‌ترین پیچ تا بالاترین پیچ در اتصالات پیچی می‌باشد. طول مقرر بار (L_{in}): مجموع طول ناحیه انتقال بار (L_{tr}) و دوبرابر کوچکترین بعد مقطع مختلط در پایین و بالای ناحیه انتقال بار است

یعنی:

$$\begin{cases} L_{in} = L_{tr} + 2(B_{min})_{Top} + 2(B_{min})_{Bot} & \text{برای ستون‌های طبقات میانی} \\ L_{in} = L_{tr} + 2(B_{min})_{Bot} & \text{برای ستون طبقه آخر} \end{cases}$$

در شکل زیر ناحیه انتقال بار و طول مقرر بار برای اتصال مفصلی و گیردار به ستون مختلط نشان داده شده است.



شکل (۱۰-۲) ناحیه انتقال بار و طول مقرر بار در ستون‌های مختلط

هنگامی که اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن یا پر شده با بتن تحت اثر نیروی محوری خارجی قرار می‌گیرند، در مرز بخش بتنی و فولادی، برش طولی مورد نیاز (V_r')، متناسب با نحوه انتقال بار به مقطع مختلط براساس الزامات زیر تعیین می‌شود.

۲-۱۱-۵- مقاومت برشی طولی مورد نیاز (V_r') در مقاطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن

الف) هنگامی که نیروی خارجی مستقیماً به مقطع فولادی وارد می‌شود برش طولی مورد نیاز (V_r') از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_r' = P_r' \left(1 - \frac{A_s F_y}{P_{no}} \right) \quad (۶۷-۲)$$

P_r' : نیروی خارجی وارد بر مقطع، در تراز طبقات

P_{no} : مقاومت محوری فشاری اسمی مقطع مختلط بدون در نظر گرفتن آثار طول موثر

برای مقاطع مختلط محاط در بتن:

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_c' A_c \quad (۶۸-۲)$$

برای مقاطع مختلط پر شده با بتن:

۱) مقطع با اجزای فولادی فشرده:

$$P_{no} = P_p = A_s F_y + C_r f_c' \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (۶۹-۲)$$

۲) مقطع با اجزای فولادی غیرفشرده:

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^r}{(\lambda_r - \lambda_p)^r} (P_p - P_y) \quad (۷۰-۲)$$

$$P_y = F_y A_s + 0.85 f_c' \left[A_c + \frac{E_s}{E_c} \right] \quad (۷۱-۲)$$

$C_r = 0.85$ برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای و 0.95 برای مقاطع دایره‌ای شکل توخالی

برای مثال در شکل (۳-۵) عرض موثر برای تیرکناری سمت چپ و تیرمبانی به صورت زیر است:

$$b_{e1} = \min \left\{ S_1, \frac{L}{\lambda} \right\} + \min \left\{ \frac{S_2}{2}, \frac{L}{\lambda} \right\}$$

$$b_{e2} = \min \left\{ \frac{S_2}{2}, \frac{L}{\lambda} \right\} + \min \left\{ \frac{S_3}{2}, \frac{L}{\lambda} \right\}$$

۳-۱۵-۴- محدودیت‌های مربوط به ضخامت دال بتنی و ابعاد هندسی عرشه فولادی

۱- حداقل ضخامت دال بتنی در حالت بدون استفاده از ورق‌های عرشه برابر ۸۰ میلی‌متر است.

۲- پوشش بتن روی گل‌میخ‌ها نباید از ۱۵ میلی‌متر کمتر باشد.

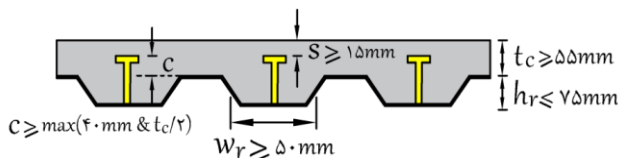
۳- ارتفاع اسمی عرشه فولادی (h_r) نباید از ۷۵ میلی‌متر بیشتر باشد. پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن (w_r) نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد.

۴- دال بتنی باید به وسیله برشگیرهای از نوع گل‌میخ با قطر حداکثر ۲۰ میلی‌متر به مقطع فولادی متصل شوند. گل‌میخ‌ها باید از طریق عرشه فولادی یا به طور مستقیم به مقطع فولادی متصل شوند. پس از نصب، ارتفاع گل‌میخ‌ها که از بالای عرشه فولادی اندازه‌گیری می‌شود، نباید از ۴۰ میلی‌متر و نصف ضخامت دال بتنی روی عرشه کوچک‌تر باشد.

۱۳۴

۵- ضخامت دال بتنی در قسمت فوقانی ورق عرشه فولادی نباید از

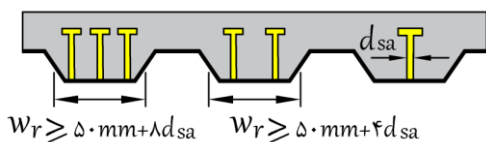
۵۵ میلی‌متر کمتر باشد.



۶- عرشه فولادی باید در فواصلی حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر به مقطع فولادی و سایر اعضای تکیه‌گاهی مهار شوند. این مهارها می‌توانند برشگیرهای از نوع گل‌میخ، ترکیبی از گل‌میخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای یا هر راهکار فنی دیگر باشد.

۷- در مقاطع مختلط با عرشه فولادی که کنگره‌های آن عمود بر محور طولی تیر است، مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه مساحت بخش بتنی مقطع (A_c)، باید از بتن موجود در زیر سطح فوقانی عرشه فولادی صرف نظر شود.

۸- در مقاطع مختلط با عرشه فولادی که کنگره‌های آن موازی با محور طولی تیر است در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه سطح مقطع بخش بتنی (A_c)، می‌توان از بتن موجود در داخل کنگره‌های عرشه فولادی استفاده نمود. در این حالت می‌توان بتن پر شده این ناحیه را (بتن قسمت داخل کنگره) با عرض موثر $0.5b_e$ در نظر گرفت. همچنین عرشه فولادی را باید در روی تیر فولادی تکیه‌گاهی از هم جدا کرد به طوری که در روی بال مقطع فولادی یک ماهیچه بتنی تشکیل شود.



۹- در مقاطع مختلط با عرشه فولادی که کنگره‌های آن موازی با محور طولی تیر است چنانچه ارتفاع اسمی عرشه فولادی (h_r) برابر ۴۰ میلی‌متر یا بزرگتر باشد، پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن در روی تیر تکیه‌گاهی نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر برای حالت یک گل‌میخ در پهنای باشد. این پهنای حداقل برای هر گل‌میخ اضافی در پهنای، باید به اندازه ۴ برابر قطر گل‌میخ افزایش یابد.

۳-۱۵-۵- مقاومت خمشی تیرهای مختلط با عملکرد مختلط کامل

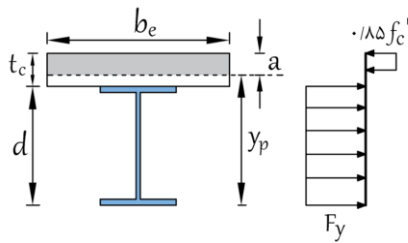
۳-۱۵-۵-۱- تعیین مقاومت خمشی اعضای مختلط در نواحی لنگر خمشی مثبت

مقاومت خمشی اعضای مختلط با مقطع فولادی I شکل و با دال بتنی متکی بر آن باید براساس حالت حدی تسلیم به شرح زیر تعیین شود:

الف- (۱) در صورتی که $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/F_y}$ باشد، در این صورت M_n براساس توزیع تنش پلاستیک (براساس توزیع تنشی که در آن فرض

می‌شود تنش در اجزای فولادی مقطع برابر F_y و در بخش بتنی مقطع در ناحیه فشاری برابر $0.85f'_c$ و در ناحیه کششی برابر صفر است)

تعیین شود. برای تعیین توزیع پلاستیک تنش در مقطع مختلط دو حالت زیر ممکن است رخ دهد:

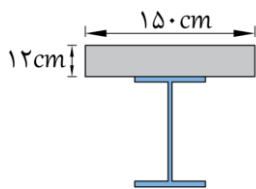


الف-۱) محور خنثی پلاستیک در داخل دال بتنی: در این حالت مقدار M_n براساس روابط زیر تعیین می‌شود.

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b_e} \leq t_c \quad (۸۶-۳)$$

$$M_n = A_s F_y \left(\frac{d}{2} + t_c - \frac{a}{2} \right), \quad \phi = 0.9 \quad (۸۷-۳)$$

مثال ۱۹: مقاومت خمشی طراحی مقطع مختلط شکل زیر با عملکرد مختلط چند $kN.m$ است؟
 $(f'_c = ۲۱ MPa, F_y = ۲۴۰ MPa, A_s = ۳۹/۱ cm^2, IPE۲۴۰)$



۱۷۶ $kN.m$ (۴)

۱۸۸ $kN.m$ (۳)

۲۰۸ $kN.m$ (۲)

۲۲۳ $kN.m$ (۱)

حل:

$$a = \frac{۳۹/۱ \times ۲۴۰}{0.85 \times ۲۱ \times ۱۵} = ۳/۵ cm < t_c$$

$$d' = \frac{۲۴}{2} + ۱۲ - \frac{۳/۵}{2} = ۲۲/۲۵ cm$$

$$M_d = ۳۹/۱ \times ۲۴۰ \times ۲۲/۲۵ \times 0.9 \times ۱۰^{-۴} = ۱۸۷/۹ KN.m$$

گزینه ۳ صحیح است

الف-۲) محور خنثی پلاستیک در داخل مقطع فولادی: در این حالت مقدار M_n با لنگرگیری حول محور خنثی پلاستیک به صورت روابط زیر به دست می‌آید.

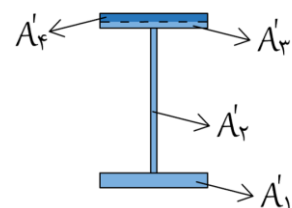
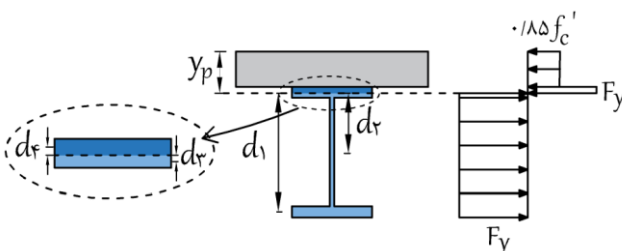
$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b_e} > t_c$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow (A_s - A_1) F_y = A_1 F_y + 0.85 f'_c b_e t_c$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{A_s F_y - 0.85 f'_c b_e t_c}{2 F_y} \quad (۸۸-۳)$$

در رابطه فوق A_1 مساحتی از مقطع فولادی است که تحت فشار می‌باشد.

اگر $A_1 \leq b_f t_f$ آنگاه محور خنثی در داخل بال فشاری قرار دارد و داریم:





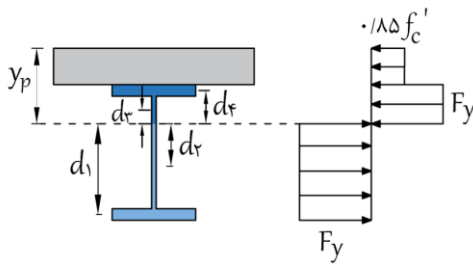
$$y_p = t_c + \left(\frac{A_1}{b_{fT}} \right) \quad (89-3)$$

$$M_n = M_p = F_y (A'_1 d_1 + A'_r d_r + A'_r d_r + A'_f d_f) + 0.185 f'_c b_e t_c \left(y_p - \frac{t_c}{2} \right) \quad (90-3)$$

$$\phi = 0.9$$

$$d_1 = d + t_c - y_p - \frac{t_{fB}}{2}, d_r = \frac{h}{2} + t_{fT} + t_c - y_p, d_r = \frac{t_c + t_{fT} - y_p}{2}, d_f = \frac{y_p - t_c}{2}$$

نکته: با خطای بسیار کم و در جهت اطمینان می‌توان از جملات $F_y A'_r d_r$ و $A'_f d_f F_y$ صرف نظر کرد.



اگر $A_1 > b_{fT} t_{fT}$ آنگاه محور خنثی در داخل جان قرار دارد و داریم:

$$y_p = t_c + t_{fT} + \left(\frac{A_1 - A'_f}{t_w} \right) \quad (91-3)$$

$$M_n = M_p = F_y (A'_1 d_1 + A'_r d_r + A'_r d_r + A'_f d_f) + 0.185 f'_c b_e t_c \left(y_p - \frac{t_c}{2} \right) \quad (92-3)$$

$$\phi = 0.9$$

$$d_1 = d + t_c - y_p - \frac{t_{fB}}{2}, d_r = d + t_c - y_p - \frac{t_{fB}}{2}, d_r = \frac{y_p - t_c - t_{fT}}{2},$$

$$d_f = y_p - t_c - \frac{t_{fT}}{2}$$

در روابط فوق:

A_1 = مساحت ناحیه‌ای از مقطع فولادی که تحت فشار است

y_p = فاصله محور خنثی پلاستیک از بالاترین تار فشاری بتن

A'_1 = مساحت بال پایینی مقطع فولادی که تحت کشش است

A'_r = مساحت یا مساحتی از جان که تحت کشش است

A'_f = برای حالتی که تار خنثی در داخل جان است برابر مساحت جان تحت فشار

= برای حالتی که تار خنثی در داخل بال قرار دارد برابر مساحت بال بالایی تحت کشش

A'_f = مساحتی از بال که تحت فشار است

b_{fT} = پهنای بال بالایی مقطع فولادی

t_{fT} = ضخامت بال بالایی مقطع فولادی

b_{fB} = پهنای بال پایینی (کششی) مقطع فولادی

d_i = فاصله مرکز سطح قسمت A'_i از تار خنثی پلاستیک

d = ارتفاع کل مقطع فولادی

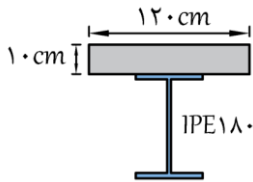
h = ارتفاع جان مقطع فولادی



مثال ۲۰: اساس مقطع تیرمختلط زیر (در محاسبات تنش) نسبت به تار پایینی مقطع تقریباً چقدر است؟

$$\left(I_{x_{IPE}} = 1320 \text{ cm}^4, A_{IPE180} = 23/9 \text{ cm}^2, n = \frac{E_s}{E_c} = 8 \right)$$

محاسبات شهرپور ۹۱



$$313/6 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

$$348/1 \text{ cm}^3 \quad (2)$$

$$734/9 \text{ cm}^3 \quad (3)$$

$$955/3 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

حل:

$$\frac{b_e}{n} = \frac{120}{8} = 15 \text{ cm}$$

روش اول برای محاسبه محور خنثی الاستیک:

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \rightarrow \bar{y} = \frac{15 \times \bar{y} \times \frac{\bar{y}}{2} + 23/9 \times 19}{23/9 + 15\bar{y}} \rightarrow \bar{y} = 6/35 \text{ cm}$$

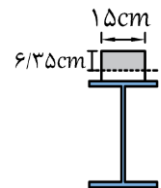
روش دوم برای محاسبه محور خنثی الاستیک:

$$|Q_{top}| = |Q_{Bot}| \Rightarrow 15 \times \bar{y} \times \frac{\bar{y}}{2} = 23/9 \times \left(\frac{18}{2} + 10 - \bar{y} \right) \Rightarrow \bar{y} = 6/35 \text{ cm}$$

(در محاسبات باید از بتن ناحیه کششی صرف نظر شود)

$$I = 1320 + 23/9(19 - 6/35)^2 + \frac{15 \times 6/35^3}{3} = 6424/77 \text{ cm}^4$$

$$S = \frac{6424/77}{28 - 6/35} = 296/75 \text{ cm}^3$$

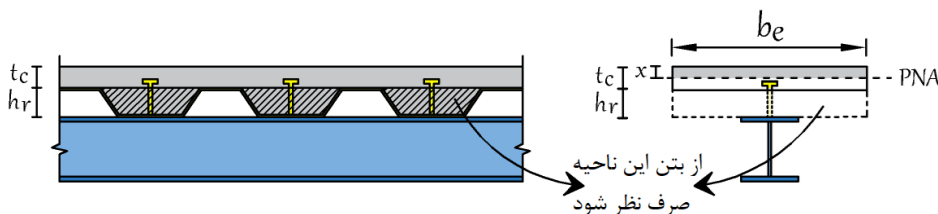


گزینه ۱ صحیح است.

مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه عرشه فولادی

عرشه فولادی که کنگره‌های آن‌ها عمود بر محور طولی تیر است:

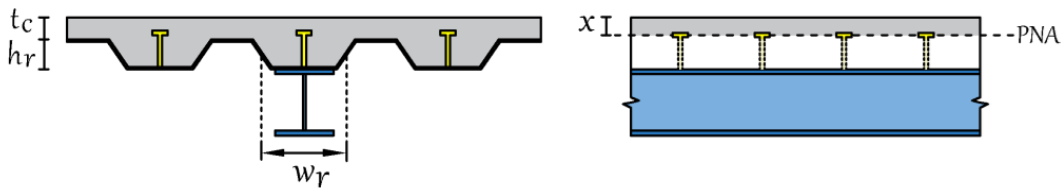
(الف) تار خنثی پلاستیک در داخل قسمت بتنی:



$$A_s F_y = 0.185 f'_c x b_e \Rightarrow x = \frac{A_s F_y}{0.185 f'_c b_e} \leq t_c$$

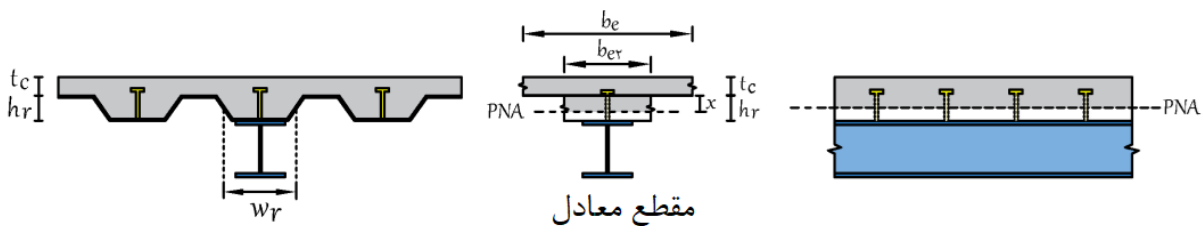
عرشه فولادی که کنگره‌های آن‌ها موازی با محور طولی تیر است:

(الف) تار خنثی پلاستیک در داخل قسمت بتنی و بالای کنگره:



$$A_s F_y = 0.85 f'_c x b_e \Rightarrow x = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b_e} \leq t_c$$

(ب) تار خنثی پلاستیک در داخل قسمت بتنی و در داخل کنگره:



$$b_{er} = 0.5 b_e$$

$$A_s F_y = 0.85 f'_c [b_e t_c + b_{er} x] \Rightarrow A_s \frac{F_y}{0.85 f'_c} = b_e \left[t_c + \frac{x}{2} \right]$$

با تغییر متغیر $m = \frac{F_y}{0.85 f'_c}$ داریم:

$$A_s m = b_e \left[t_c + \frac{x}{2} \right] \Rightarrow A_s \frac{m}{b_e} = \left[t_c + \frac{x}{2} \right] \Rightarrow A_s \frac{m}{b_e} - t_c = \frac{x}{2}$$

$$\Rightarrow x = 2 \left[A_s \frac{m}{b_e} - t_c \right] \leq h_r$$

(۹۷-۳)

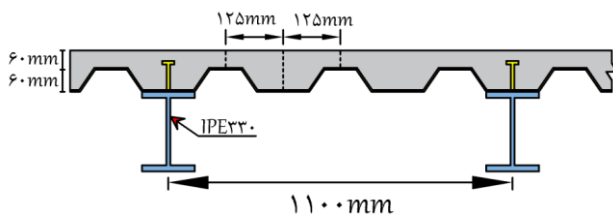
مثال ۲۱: براساس توزیع پلاستیک تنش، مقاومت اسمی خمشی مثبت (M_n) در تیر با مقطع مختلط و با عملکرد مختلط کامل نشان داده شده به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ $F_y = 235 \text{ MPa}$ و $f'_c = 25 \text{ MPa}$ فرض می‌شود. طول تیرها ۸ متر و فواصل آن‌ها ۱/۱ متر است.

$$450 \text{ kN.m (۱)}$$

$$320 \text{ kN.m (۲)}$$

$$370 \text{ kN.m (۳)}$$

$$400 \text{ kN.m (۴)}$$



محاسبات شهریور ۱۴۰۱

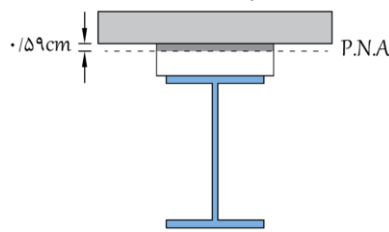
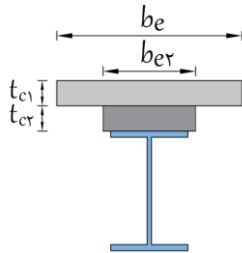
حل:

$$b_e = 2 \times \min \left(\frac{11.0}{2} \text{ \& } \frac{1.0}{1} \right) = 11.0 \text{ cm}$$



کنگره موازی محور تیر می‌باشد و طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۳-پ-۳ می‌توان از بتن موجود داخل کنگره‌های عرشه فولادی استفاده نمود: با فرض اینکه تارخشی پلاستیک داخل کنگره باشد:

$$A_s F_y = b_e t_{c1} \times 0.85 f'_c + b_{er} x \times 0.85 f'_c \Rightarrow A_s \times \frac{F_y}{0.85 f'_c} = b_e t_{c1} + b_{er} x$$



$$m = \frac{F_y}{0.85 f'_c} = \frac{2350}{0.85 \times 250} = 11.06$$

$$b_{er} = \frac{1}{4} b_e = 55 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow m A_s = b_e t_{c1} + b_{er} x \Rightarrow A_s = \frac{b_e}{m} \left(t_{c1} + \frac{1}{4} x \right) \Rightarrow 62/6 = \frac{110}{11.06} \left(6 + \frac{1}{4} x \right) \Rightarrow x = 0.59 \leq t_{c2}$$

با لنگرگیری حول محور خنثی پلاستیک مقدار لنگر اسمی مقاوم بدست می‌آید:

$$M_n = 62/6 \times 2350 \times \left(\frac{33}{4} + 6 - 0.59 \right) + 0.85 \times 250 \times 110 \times 6 \times (3 + 0.59)$$

$$+ 0.85 \times 250 \times \frac{110}{4} \times 0.59 \times \left(\frac{0.59}{4} \right) = 3728712 \text{ kg.cm} = 372/9 \text{ kN.m}$$

گزینه ۳ صحیح است.

۳-۱۵-۲- تعیین مقاومت خمشی مقطع مختلط در نواحی لنگرخمشی منفی

در نواحی لنگر خمشی منفی، مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط و دال بتنی متکی بر آن با عملکرد مختلط کامل برابر $\phi_b M_n^-$ می‌باشد. M_n^- را میتوان به طور محافظه کارانه برابر مقاومت خمشی اسمی منفی مقطع فولادی تنها در نظر گرفت. در صورت اقناع شرایط زیر مقاومت خمشی اسمی منفی مقطع مختلط را می‌توان براساس توزیع تنش پلاستیک و با منظور کردن میلگردهای موجود در دال بتنی در محدوده پهنای موثر تیر محاسبه نمود:

۱- اجزای مقطع فولادی فشرده و دارای اتکای جانبی کافی باشد $(L_b \leq L_p)$.

۲- در ناحیه لنگرخمشی منفی، دال بتنی به کمک برشگیرهای کافی به تیر فولادی وصل شده باشد.

۳- در نواحی لنگرمنفی از آرماتورهای موازی با محور طولی تیر استفاده شود.

۴- در محدوده عرض موثر دال بتنی، آرماتورهای موازی با محور طولی تیر به طور کامل الزامات مربوط به چسبندگی و طول مهاری را مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برآورده نمایند.

گام‌های محاسبه لنگرخمشی مقاوم منفی:

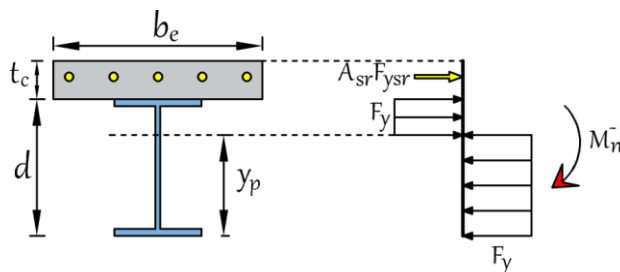
۱- محاسبه محور خنثی پلاستیک

$$F_{Top} = F_{Bot} \Rightarrow F_{ysr} A_{sr} + F_y [b_{fT} t_{fT} + (d - t_{fT} - y_p) t_w] = F_y [b_{fB} t_{fB} + (y_p - t_{fB}) t_w]$$

$$\Rightarrow y_p = ?$$

۲- با لنگر گیری حول محور خنثی پلاستیک لنگر مقاوم پلاستیک به دست می‌آید.

$$\sum M_{y_p} = ?$$



شکل (۶-۳) توزیع پلاستیک تنش در نواحی لنگر خمشی منفی

۳-۱۷-۶ تعیین مقاومت برشی مورد نیاز و مقاومت برشی موجود برشگیرها

برش افقی مورد نیاز کل (V_h) بین تیر فولادی و دال بتنی در فاصله نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر در حالت عملکرد مختلط کامل باید برابر کوچکترین دو مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی زیر در نظر گرفته شود:

۱- خرد شدگی بتن:

$$V_h = 0.185 f'_c A_c \quad (۹۸-۳)$$

۲- تسلیم کششی مقطع فولادی:

$$V_h = F_y A_s \quad (۹۹-۳)$$

در روابط فوق:

A_c = سطح مقطع دال بتنی در محدوده پهنای موثر

تبصره: در ناحیه لنگر خمشی مثبت (فاصله بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر) چنانچه $\sum Q_n$ مساوی یا بیش از V_h باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_h و مساوی یا بیشتر از $0.25 V_h$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25 V_h$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

در تیرهای پیوسته و خمشی که در آن میلگردهای طولی در نواحی لنگر خمشی منفی به صورت مختلط با مقطع فولادی عمل می‌نمایند، برش افقی مورد نیاز کل (V_h^-) بین دال بتنی و تیر فولادی در فاصله نقطه حداکثر لنگر خمشی منفی و نقطه لنگر خمشی صفر باید براساس حالت حدی تسلیم میلگردهای داخل بتن در پهنای موثر دال بتنی از رابطه زیر تعیین شود:

$$V_h^- = F_{ysr} A_{sr} \quad (۱۰۰-۳)$$

تبصره: در ناحیه لنگر خمشی منفی (فاصله بین نقطه حداکثر لنگر خمشی منفی و نقطه لنگر خمشی صفر) چنانچه $\sum Q_n$ مساوی یا بیش از V_h^- باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_h^- و مساوی یا بیشتر از $0.25 V_h^-$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25 V_h^-$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

$\sum Q_n$ = مقاومت اسمی برشگیرهای تعبیه شده در فاصله بین لنگر خمشی صفر و نقطه با حداکثر لنگر خمشی