



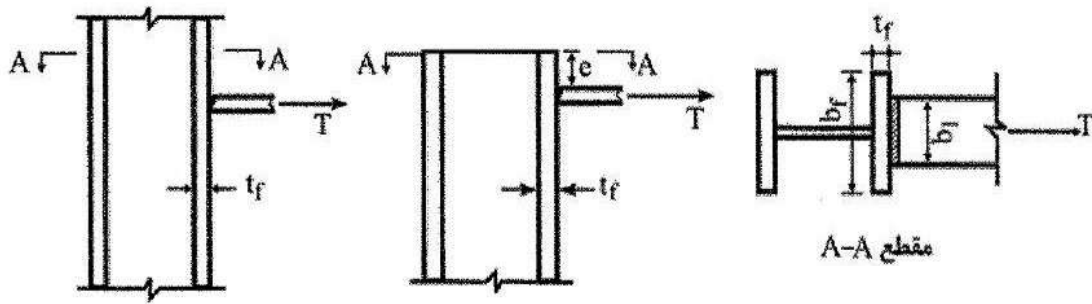
## ۱۰-۲-۹-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

الزامات این بند مربوط است به بررسی جان و بال (یا بال‌های) مقاطع اعضایی که به یک یا هر دو بال آنها نیروهای متمرکز در امتداد عمود بر صفحه بال و به طور متقارن نسبت به جان اثر می‌کند. نیروهای متمرکز می‌توانند به صورت تک یا زوج نیرو باشند. نیروی متمرکز تکی به صورت فشاری یا کششی، و زوج نیرو یکی کششی و دیگری فشاری بوده و ایجاد لنگر در عضو می‌نماید. بال (یا بال‌ها) و جان اعضایی که تحت اثر بار متمرکز بر بال قرار می‌گیرند، باید دارای مقاومت طراحی کافی جهت اقناع معیارهای زیر باشند.

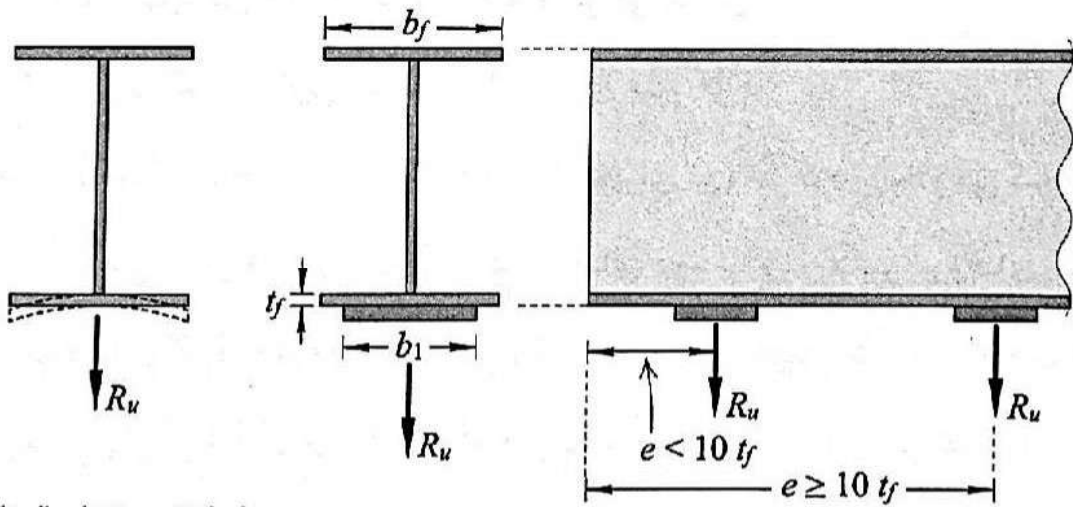
- ۱- خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۱)
  - ۲- تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۲)
  - ۳- لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۳)
  - ۴- کماتش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۴)
  - ۵- کماتش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری، که به هر دو بال عضو اثر می‌کند (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۵)
  - ۶- برش در چشمه اتصال (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۶)
- علاوه بر معیارهای فوق، رعایت مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷)، مقررات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) در مقابل نیروهای متمرکز (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸) و الزامات پایداری ورق‌های چشمه اتصال (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۹) الزامی است.

۱۰-۲-۹-۱۰-۱ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

الزامات این بند برای هر دو حالت نیروی کششی متمرکز تکی و مولفه کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۲-۹-۱۶).



شکل ۱۰-۲-۹-۱۶ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی



(پ) تغییر شکل بال ناشی از خمش موضعی بال

(ب) عرض  $b_1$

(الف) محل اعمال بار متمرکز کششی

مقاومت طراحی خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر  $0.9$  و  $R_n$  مقاومت اسمی طبق رابطه زیر می‌باشد.

$$R_n = 6.25 F_{yf} t_f^2 \quad \phi = 0.90 \quad (۱۰-۲-۹-۲۳)$$

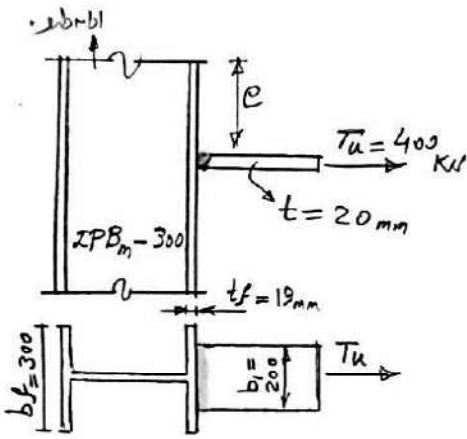
که در آن:  $t_f$  ضخامت بال تحت نیروی کششی و  $F_{yf}$  تنش تسلیم بال

$R_n$  = مقاومت اسمی با اعمال محدودیت‌های زیر:

۱- در صورتی که طول بارگذاری شده در امتداد پهناى بال ( $b_1$ )، کوچکتر از  $0.15 b_f$  باشد، بررسی رابطه ۱۰-۲-۹-۲۳ الزامی نیست.

۲- در صورتی که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از  $1.0 t_f$  از انتهای عضو اثر نماید ( $e < 1.0 t_f$ )، مقدار  $R_n$  حاصل از رابطه ۱۰-۲-۹-۲۳ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز ( $T_{II}$ ) از مقاومت طراحی ( $\phi R_n$ ) بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری می‌باشد. سخت‌کننده‌های مورد نیاز باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ را تأمین نمایند.



مثال ۱. بال ستون نشان داده شده را برای بخش موضعی کنترل کنید.

فولاد مصروف (رنوم S235)  $(F_y = 235 \text{ MPa})$  فرض میشود.

کدام م. م. نیاز است، تحلیل و ترکیب بده.

کدام م. م. بررسی لازم کنترل بخش موضعی بال:

کنترل لازم است  $\rightarrow b_1 = 200 \geq 0.15 b_f = 0.15 \times 300 = 45 \text{ mm}$

کدام م. م. (۲) کنترل بخش موضعی بال: نیازی نیست در فواصل بیشتر از  $10 t_f = 190 \text{ mm}$  از انتهای عضو اثر کند،  $e > 10 t_f$

بنابراین:  $R_n = 6.25 F_y t_f^2 = 6.25 \times 235 \times (19)^2 = 530,219 \text{ N} = 530.2 \text{ kN}$

$T_u = 400 \text{ kN} \leq \phi \times 530.2 = 0.9 \times 530.2 = 477.2 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$

مثال ۲. مثال قبل را اگر  $b_1 = 40 \text{ mm}$  باشد، دوباره حل کنید.

کدام م. م. قبل

کدام م. م. (۱) بررسی لازم کنترل بخش موضعی بال:

نیازی به کنترل نیست.  $b_1 = 40 \not\geq 0.15 b_f = 45 \text{ mm} \rightarrow$

مثال ۳. در مثال (۱) اگر  $C = 150 \text{ mm}$  باشد، مسئله را دوباره حل کنید.

کدام م. م. (۱) و (۲) در مثال (۱).

کدام م. م. (۲) کنترل بخش موضعی بال:

$e = 150 \text{ mm} < 10 t_f = 190 \Rightarrow R_n = 150 \times [6.25 F_y t_f^2]$

$R_n = 150 \times 530.2 = 265.1 \text{ kN}$

$T_u = 400 \text{ kN} \not\leq \phi \times 265.1 = 238.6 \text{ kN} \quad \text{N.G.}$

لازم است که جهت سخت کننده در محل اثر بار متمرکز استفاده شود.

این جهت سخت کننده باید:

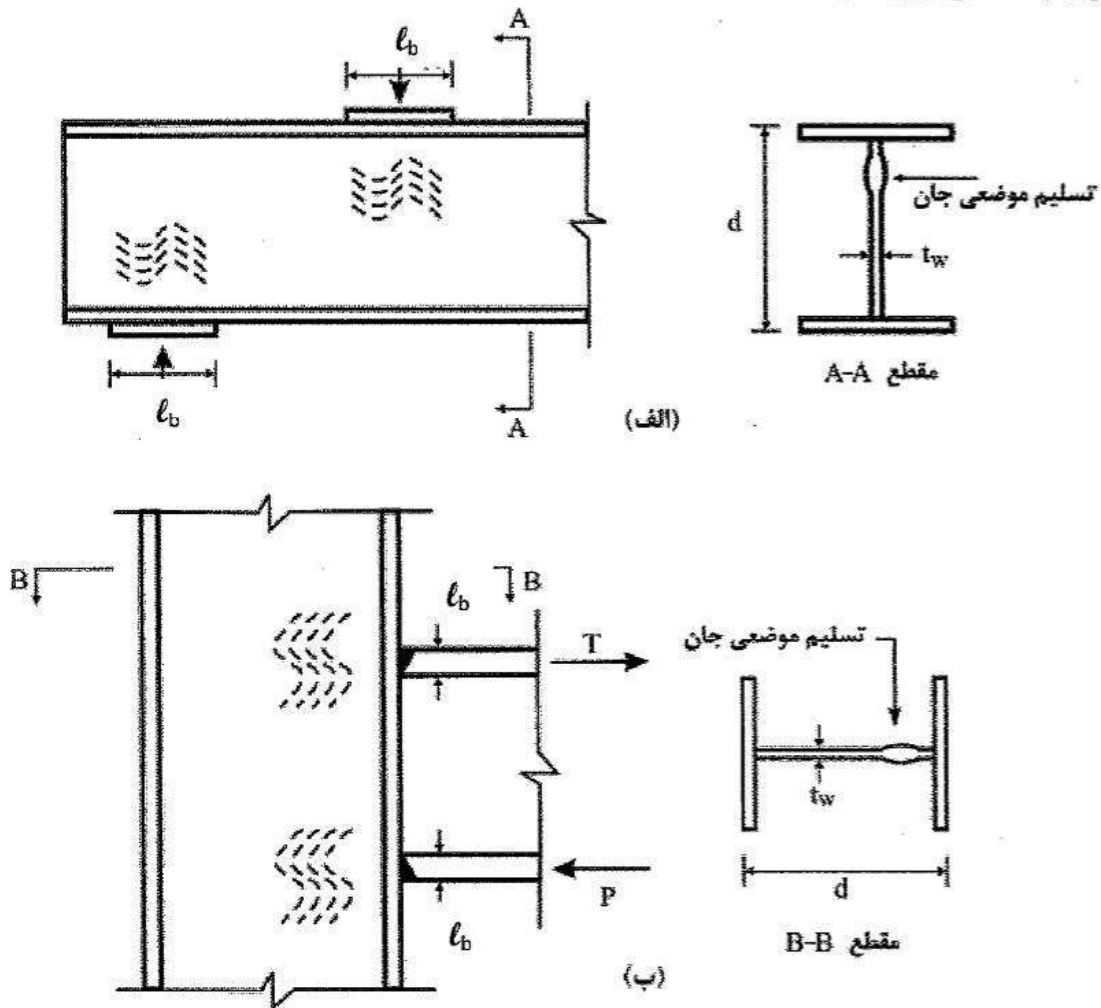
الف) طرز عمل نیروی کششی برابر  $N_u = (T_u - \phi R_n) = 161.4 \text{ kN}$  طرح شود.

ب) به هر الزامات بند (۱-۲-۹-۱۰-۷) مقررات ملی ساختمان ایران را تأمین کند.

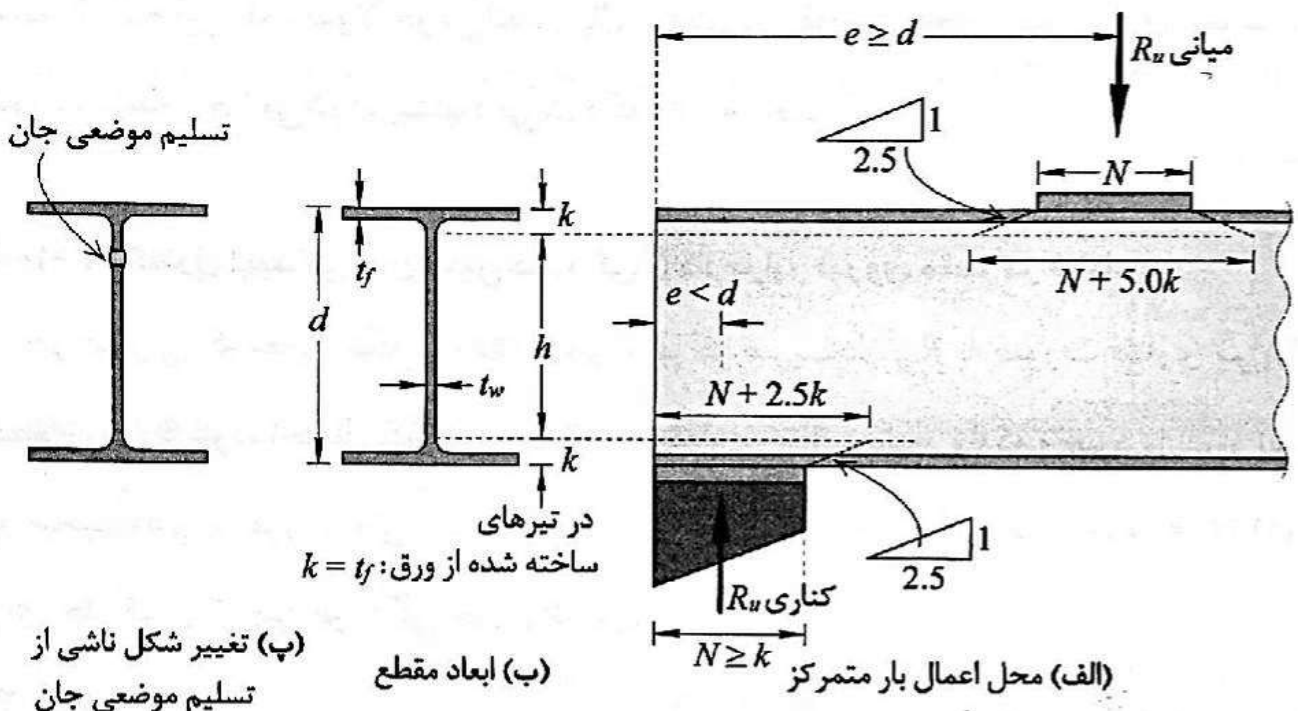


۲-۱۰-۹-۲-۱۰ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

الزامات این بند برای نیروی کششی متمرکز تکی، نیروی فشاری متمرکز تکی و هر دو مولفه فشاری و کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۷-۹-۲-۱۰).



شکل ۱۷-۹-۲-۱۰ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری



مقاومت طراحی تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۱ و  $R_n$  مقاومت اسمی می‌باشد که براساس حالت حدی تسلیم موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود.

$$\phi = 1.00$$

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای بزرگتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw}t_w(5k + l_b) \quad (24-9-2-10)$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا کوچکتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw}t_w(2.5k + l_b) \quad (25-9-2-10)$$

در روابط فوق:

$$F_{yw} = \text{تنش تسلیم فولاد جان}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان}$$

$$d = \text{ارتفاع کلی مقطع تیر}$$

$k$  = فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته‌شده از ورق.

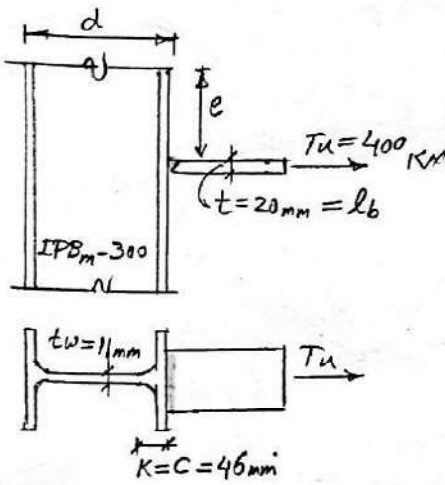
$l_b$  = طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار  $l_b$  نباید کمتر از  $k$  در نظر گرفته شود)

**تبصره:** در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده

دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت موجود در محل بارهای

متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های تعبیه شده باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ را تأمین

نمایند.



شماره ۴ در مثال ۱ چون سکن از برای تسلیم موضعی کنترل نشده.  
فرض برسد  $e > d$  است.

$$R_n = F_{yw} \cdot t_w (5K + l_b)$$

$$R_n = 235 \times 11 (5 \times 46 + 20) = 646.25 \text{ KN}$$

$$T_u = 400 \leq \phi \times R_n = 1 \times 646.25 = 646.25 \text{ O.K.}$$

شماره ۵. در مثال قبل اگر  $e \leq d$  باشد، سکن را دوباره کنترل کنیم.

$$R_n = F_{yw} \cdot t_w (2.5K + l_b) = 349.0 \text{ KN}$$

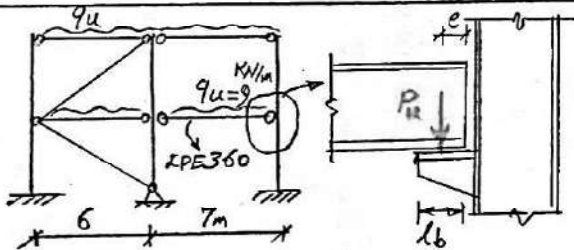
$$T_u = 400 \not\leq \phi R_n = 1 \times 349.0 = 349.0 \text{ KN N.G.}$$

لازم است یک جفت سخت کننده در محل اثر بار متمرکز استفاده شود.

این جفت سخت کننده به معنی:

الف) برای تحمل نیروی کششی برابر  $N_u = (T_u - \phi R_n) = 51 \text{ KN}$  طرح شود

ب) به معنی الزامات بند (۱-۲-۹-۱۰-۷) را تامین کند



شماره ۶. با فرض اینکه  $e \leq d$  باشد، حداقل طول تکمه به  $(l_b)$  لازم است.  
بنابراین تسلیم موضعی را در نظر آورید. فولاد مصرفی از نوع S275 ( $F_y = 275 \text{ MPa}$ ) است.

مکام ۵۰ بارندگی، تپیل، ترکیب بار.

$$P_u = \frac{7m}{2} \times 9u = 3.5 \times 9 = 31.5 \text{ KN}$$

$$\text{IPE360} \begin{cases} t_w = 8 \text{ mm} \\ K = C = 30.7 \text{ mm} \end{cases}$$

کام ۱۲ تعیین  $\phi R_n$

$$R_n = F_{yw} \cdot t_w (2.5K + l_b) = 275 \times 8 (2.5 \times 30.7 + l_b) = 2200 (76.75 + l_b) \text{ N}$$

$$\phi = 1.0 \rightarrow \phi R_n = 2200 (76.75 + l_b) \text{ N}$$

$$P_u = 31.5 \times 10^3 \text{ N} \leq \phi R_n = 2200 (76.75 + l_b)$$

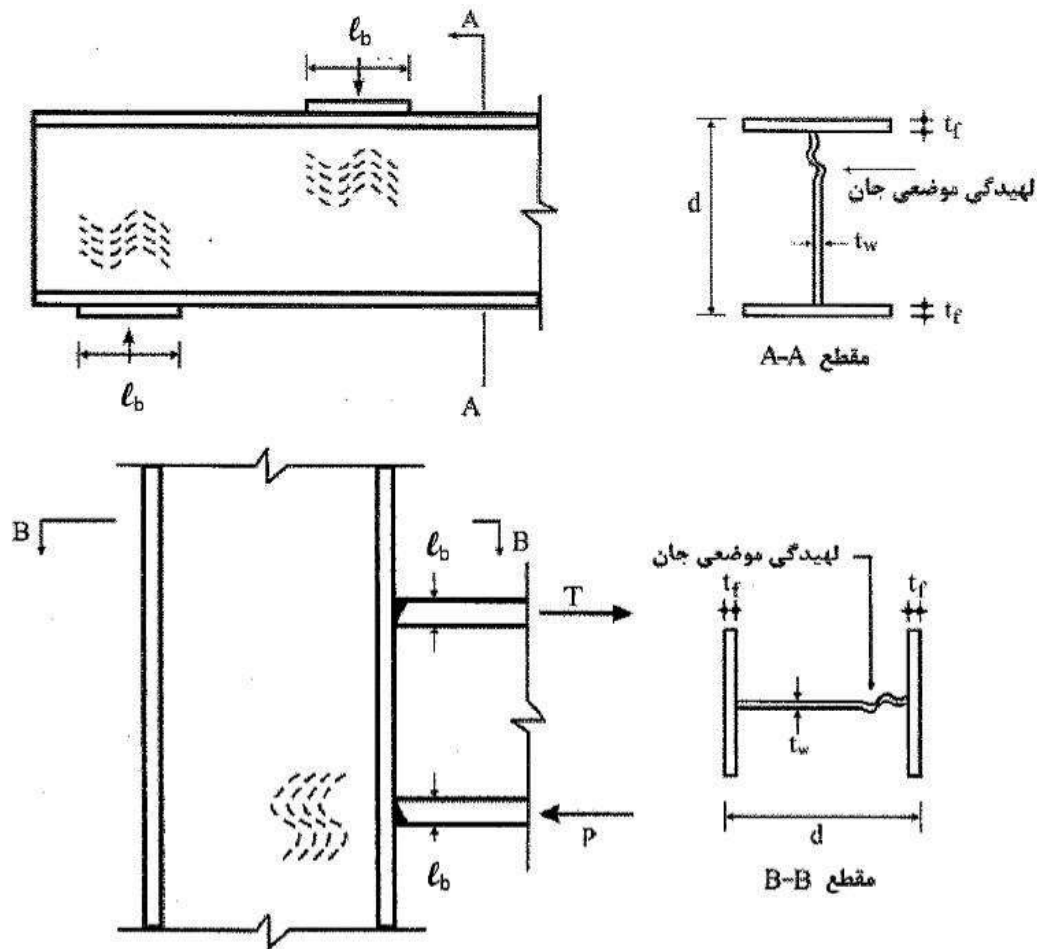
۲۲۴ کنترل:

$$\Rightarrow l_{b, req} = -62.4 \text{ mm} \not\leq K = 30.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \boxed{l_{b, req} = K = 30.7 \text{ mm}}$$

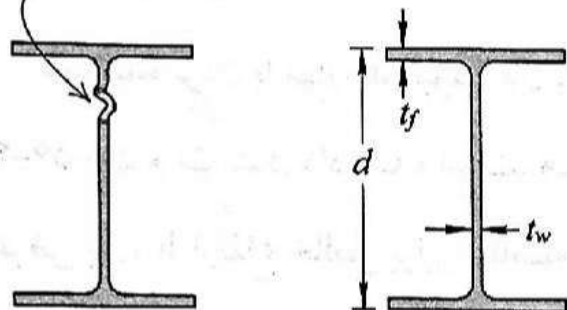
۳-۱۰-۹-۲-۱۰ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند برای نیروی فشاری متمرکز تکی و مولفه فشاری زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۸-۹-۲-۱۰).



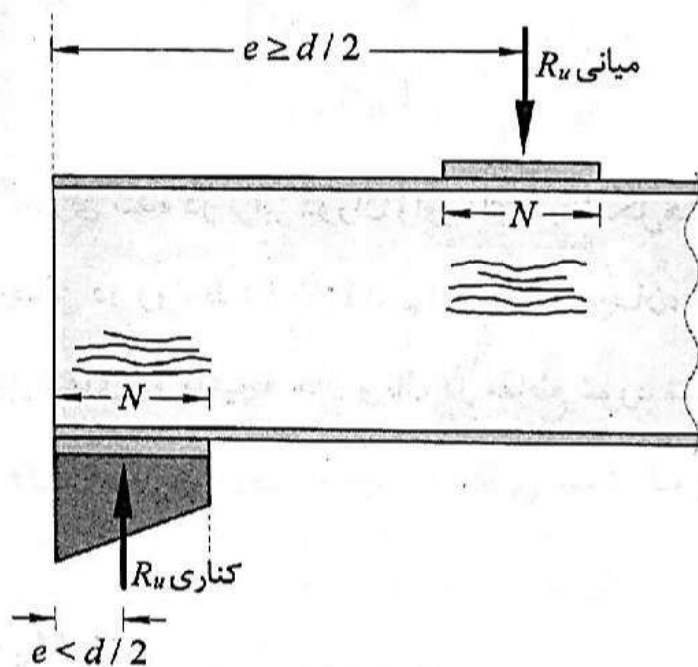
شکل ۱۸-۹-۲-۱۰ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

لهیدگی موضعی جان



(پ) تغییر شکل ناشی از لهیدگی موضعی جان

(ب) ابعاد مقطع



(الف) محل اعمال بار متمرکز



مقاومت طراحی لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۷۵ و  $R_n$  مقاومت اسمی می‌باشد که بر اساس حالت حدی لهیدگی موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود.

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا بزرگتر از  $d/2$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = 0.80t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (26-9-2-10)$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای کوچکتر از  $d/2$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

- در صورتی که  $l_b/d \leq 0.2$  باشد:

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (27-9-2-10)$$

- در صورتی که  $l_b/d > 0.2$  باشد:

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[ 1 + \left( \frac{4l_b}{d} - 0.2 \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (28-9-2-10)$$

در روابط فوق:

$d$  = ارتفاع کلی مقطع

$t_w$  = ضخامت جان

$t_f$  = ضخامت بال تحت بار

$l_b$  = طول اتکایی بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار  $l_b$  نباید کمتر از  $k$  در نظر گرفته شود)

$F_{yw}$  = تنش تسلیم فولاد جان

$E$  = مدول الاستیسیته فولاد

تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های تعبیه شده باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ را تأمین نمایند.

شکل ۷. تیر مثال (۶) را برای  $l_b = 30.7$  و باصله محل اتصال بار متمرکز تا انتهای عضو  $e \leq d/2$  باشد، برای بررسی جان در برابر بار فشرسی کنترل کنید.

IPE 360 :  $d = 360 \text{ mm}$  ,  $t_f = 12.7 \text{ mm}$  ,  $t_w = 8 \text{ mm}$

$F = 200,000 \text{ MPa}$  ,  $F_y = 275 \text{ MPa}$  .  $\phi R_n$  ماسه (۱۲ ک)

$\left\{ e \leq d/2 \text{ و } \frac{l_b}{d} = \frac{30.7}{360} = 0.085 \leq 0.2 \right\} \Rightarrow$

$R_n = 0.4 t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} \rightarrow R_n = 269.8 \text{ KN} \xrightarrow{\phi = 0.75} \phi R_n = 202.4 \text{ KN}$

$P_u = 31.5 \text{ KN} \leq \phi R_n = 202.4 \text{ KN}$  O.K. ✓ .  $\phi R_n$  کنترل (۲۲ ک)

شکل ۸. در مثال (۱) اگر نیروی فشرسی  $P_u = 800 \text{ KN}$  استون طویل شود، جان ستون را برای بررسی جان در برابر بار فشرسی کنترل کنید.

IPE 300 :  $d = 300 \text{ mm}$  ,  $t_f = 19 \text{ mm}$  ,  $t_w = 11 \text{ mm}$

$F = 200,000 \text{ MPa}$  ,  $F_y = 235 \text{ MPa}$  ,  $l_b = t = 20 \text{ mm}$  .  $\phi R_n$  ماسه (۱۲ ک)

$e > d/2 \Rightarrow R_n = 0.8 t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}}$

$R_n = 949. \text{ KN} \xrightarrow{\phi = 0.75} \phi R_n = 711.8 \text{ KN}$

$\phi R_n$  کنترل (۲۲ ک)

$P_u = 800 \text{ KN} \not\leq \phi R_n = 711.8$  N.G.

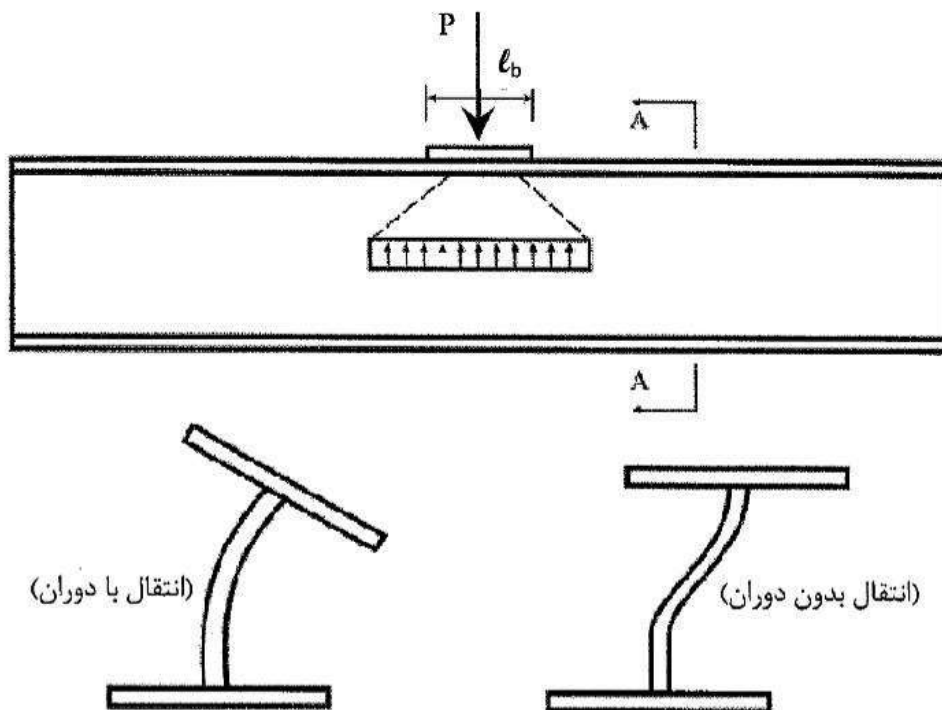
لازم است از یک جفت سخت کننده در محل اثر بار متمرکز استفاده شود.  
این جفت سخت کننده باید؛

الف) برای تحمل نیروی فشرسی برابر  $N_u = (P_u - \phi R_n) = 88.2 \text{ KN}$  طرح شود.

ب) به الزامات بند (۱۰-۲-۹-۱۰-۷) را تأمین کند.

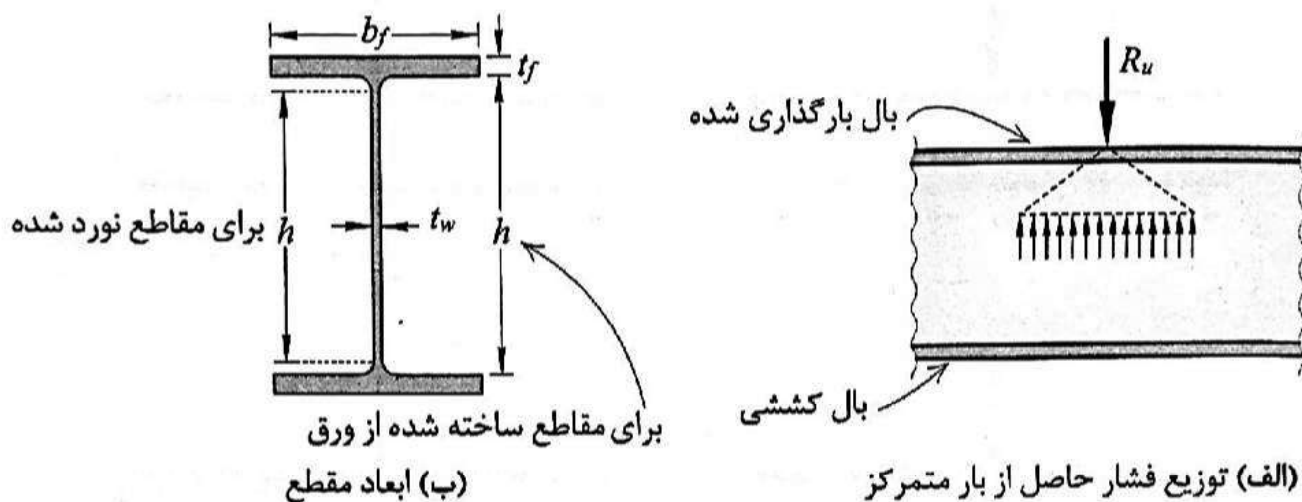
۴-۱۰-۹-۲-۱۰ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط است به حالتی که یک نیروی فشاری متمرکز تکی، به عضوی اعمال می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل تأثیر نیروی متمرکز توسط مهار جانبی جلوگیری نشده است (شکل ۱۹-۹-۲-۱۰).



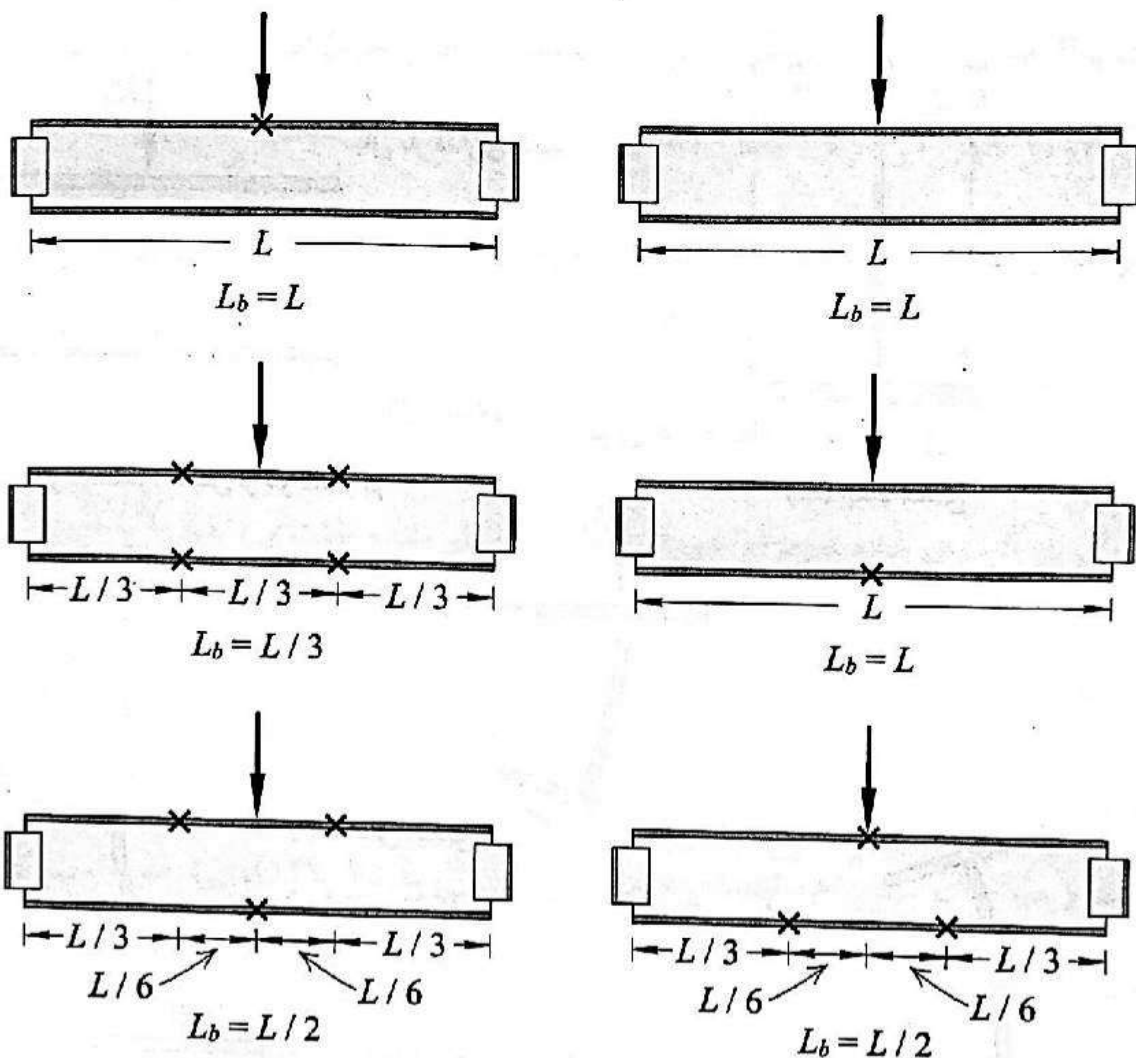
(الف) حالتی که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است (مقطع A-A).  
 (ب) حالتی که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است (مقطع A-A).

شکل ۱۹-۹-۲-۱۰ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری



برای مقاطع ساخته شده از ورق (ب) ابعاد مقطع  
 برای مقاطع نورد شده

(الف) توزیع فشار حاصل از بار متمرکز  
 بال بارگذاری شده  
 بال کششی



مقاومت طراحی کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸۵ و  $R_n$  مقاومت اسمی است که براساس حالت حدی کمانش جانبی جان به شرح زیر تعیین می گردد.

۱- اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه ای نگهداری شده باشد (شکل ۱۰-۲-۹-۱۹-الف):

- در صورتی که  $(h/t_w)/(L_b/b_f) \leq 2.3$  باشد:

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right]$$

(۱۰-۲-۹-۲۷)

- در صورتی که  $(h/t_w)/(L_b/b_f) > 2.3$  باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

**تبصره:** در صورتی که مقاومت موردنیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، باید بال کششی را مهار نمود و یا از یک جفت سخت کننده در زیر بار متمرکز، یا از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) استفاده نمود. در صورت استفاده از ورق تقویتی جان رعایت الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰ و در صورت استفاده از سخت کننده در زیر بار متمرکز رعایت الزامات بند ۱۰-۲-۹-۷ ضروری است.

۲- اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد (شکل ۱۰-۲-۹-۱۹-ب):

- در صورتی که  $(h/t_w)/(L_b/b_f) \leq 1.7$  باشد:

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \quad (28-9-2-10)$$

- در صورتی که  $(h/t_w)/(L_b/b_f) > 1.7$  باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست. تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه مهار جانبی برای هر دو بال فشاری و کششی در محل اثر بار متمرکز ضروری است.

در روابط فوق:

$b_f$  = پهنای بال

$t_f$  = ضخامت بال

$t_w$  = ضخامت جان

$L_b$  = بزرگترین طول بدون مهار جانبی هر دو بال در محدوده اعمال بار متمرکز  
 $h$  = ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصله بین دو بال در مقاطع ساخته شده از ورق)

$C_r$  = ضریبی است که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

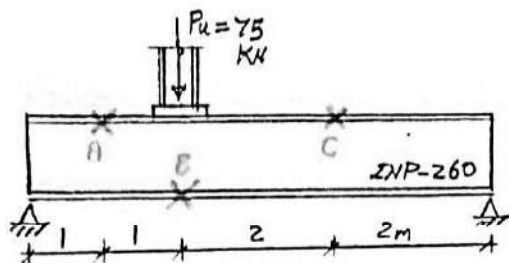
- اگر در محل اعمال بار متمرکز  $M_u < M_y$  باشد:  
 $C_r = 6.6 \times 10^6 \text{ MPa}$  (29-9-2-10)

- اگر در محل اعمال بار متمرکز  $M_u \geq M_y$  باشد:  
 $C_r = 3.3 \times 10^6 \text{ MPa}$  (30-9-2-10)

که در آن:

$M_u$  = مقاومت خمشی مورد نیاز

$M_y$  = لنگر خمشی تسلیم



سوال 9. تیر مورد را برای کماتش جانبی جان در برابر نیروی فکری مستقر  $P_u$

کنترل کنید. بالای تیر در نقاط A, B, C دارای مهار جانبی است.

فولاد مصرفی از نوع S275 با  $F_y = 275 \text{ MPa}$  است.

بال فوقانی (بال بارندگی شده) در برابر دوران زاویه ای مهار شده فرض می شود.

گام 1) بررسی لزوم کنترل کماتش جانبی جان :

طول مینیمم جان  $L_b = 4 \text{ m}$  و ZNP-260  $\rightarrow$   $\begin{cases} d = 260 \text{ mm} \\ t_w = 9.4 \text{ mm} \\ b_f = 113 \text{ mm} \end{cases}$  و  $S_x = 442 \times 10^3 \text{ mm}^3$ ,  $t_f = 41.1 \text{ mm}$   
 $K = C = 26 \text{ mm}$ ,  $h = d - 2C = 208$

$$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} = \frac{208/9.4}{4000/113} = 0.625 < 2.3 \rightarrow \text{کنترل کماتش جانبی جان لازم است}$$

گام 2)  $\phi R_n$  محاسبه

$$\left. \begin{aligned} P_u \text{ اثرات} \rightarrow M_u &= \frac{P_u \times 2 \times 4}{6} = 100 \text{ KN.m} \\ M_y &= F_y \cdot S_x = 275 \times 442 \times 10^3 = 121.55 \text{ KN.m} \end{aligned} \right\} M_u < M_y \Rightarrow C_r = 6.62 \times 10^6 \text{ MPa}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \rightarrow R_n = 1967 \text{ KN} \quad \xrightarrow{\phi = 0.85}$$

$$\phi R_n = 1672 \text{ KN}$$

گام 3) کنترل :

$$P_u = 75 \text{ KN} \leq \phi R_n = 1672 \text{ O.K.} \checkmark$$

سوال 10. در مثال قبل اگر بال بارندگی شده در برابر دوران زاویه ای مهار شده فرض شود، مسئله را دوباره حل کنید.

گام 1) بررسی لزوم کنترل کماتش جانبی جان :

$$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} = 0.625 < 1.7 \rightarrow \text{کنترل لازم است}$$

گام 2)  $\phi R_n$  محاسبه

$$M_u = 100 < M_y = 121.55 \rightarrow C_r = 6.62 \times 10^6 \text{ MPa}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \rightarrow R_n = 175 \text{ KN.m} \quad \xrightarrow{\phi = 0.85}$$

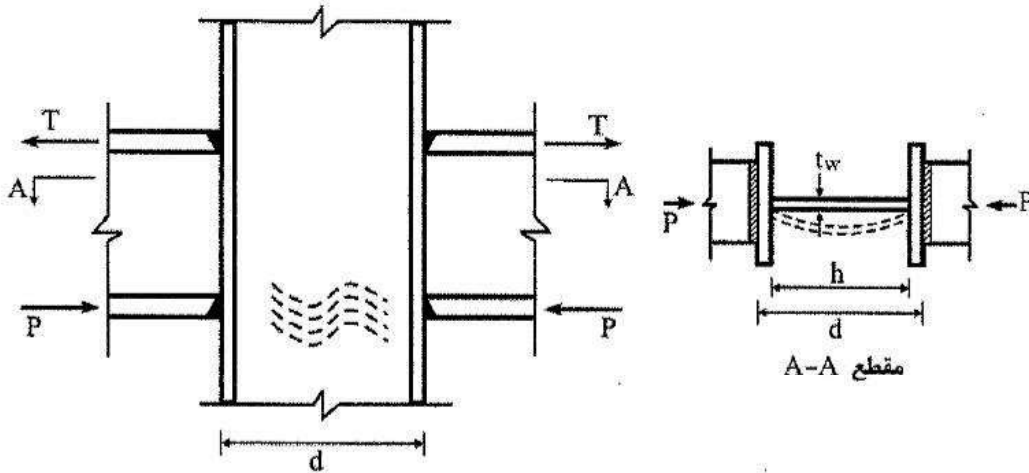
$$\phi R_n = 148.8 \text{ KN}$$

گام 3) کنترل :

$$P_u = 75 \text{ KN} \leq \phi R_n = 148.8 \text{ O.K.} \checkmark$$

### ۱۰-۲-۹-۱۰-۵ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط است به حالتی که یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مولفه فشاری زوج نیرو در یک مقطع در جهت مخالف به بال‌های مقابل عضو اعمال می‌شوند (شکل ۱۰-۲-۹-۲۰).



شکل ۱۰-۲-۹-۲۰ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

مقاومت طراحی کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر  $0.9$  و  $R_n$  مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی کمانش موضعی جان از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$R_n = \left( \frac{24t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} \right) \quad (۱۰-۲-۹-۳۱)$$

که در آن:

$t_w$  = ضخامت جان

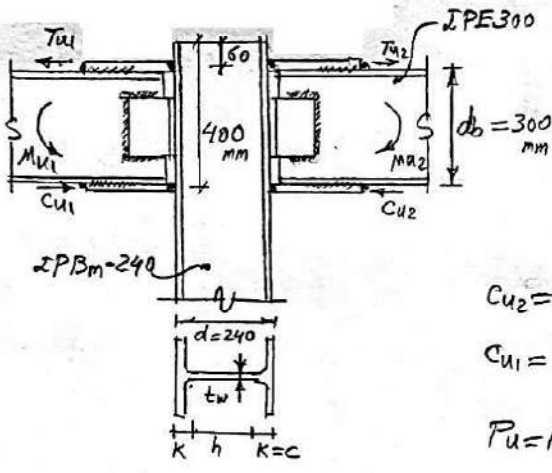
$h$  = ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصله بین دو بال در مقاطع ساخته شده از ورق)

$F_{yw}$  = تنش تسلیم فولاد جان

$E$  = مدول الاستیسیته فولاد

**تبصره ۱:** در صورتی که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از  $d/2$  از انتهای عضو اثر نماید، مقدار  $R_n$  حاصل از رابطه ۱۰-۲-۹-۳۱ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

**تبصره ۲:** در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های مورد نیاز باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ را تأمین نمایند.



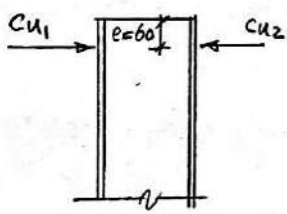
مثال ۱۱. جان ستون را برای کاهش فشاری ناشی از یک جفت نیروی  
 متضاد کنترلی، کنترل کنید.  $M_{u1} = M_{u2} = 240 \text{ KN.m}$   
 فولاد مصرفی برای ستون S235 است.  $F_y = 235 \text{ MPa}$

گام ۱) تعیین زوج نیروی فشاری.  
 $C_{u2} = T_{u2} \approx \frac{M_{u2}}{d_b} = 800 \text{ KN}$   
 $C_{u1} = T_{u1} \approx \frac{M_{u1}}{d_b} = 800 \text{ KN}$   
 $P_u = \text{Max} \{C_{u1}, C_{u2}\} \rightarrow P_u = 800 \text{ KN}$

گام ۲) تعیین  $\phi R_n$ .  
 مقطع ستون IPBm-240:  $K=C=38 \text{ mm}$ ,  $t_w=10 \text{ mm}$ ,  $d=240 \text{ mm}$   
 $h = d - 2c = 240 - 2 \times 38 \rightarrow h = 164 \text{ mm}$  و  $e = 400 \geq \frac{d}{2} = 120$   
 $R_n = \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_y w}}{h} \rightarrow R_n = 1003 \text{ KN} \xrightarrow{\phi=0.9} \phi R_n = 902.7 \text{ KN}$   
 گام ۳) کنترل.

$P_u = 800 \text{ KN} \leq \phi R_n = 902.7 \text{ KN}$  O.K.V

مثال ۱۲. در مثال قبل اگر  $M_{u1} = 240 \text{ KN.m}$  و  $M_{u2} = 210 \text{ KN.m}$  باشد، مسئله را دوباره حل کنید.



گام ۱) تعیین زوج نیروی فشاری.  
 $C_{u2} = \frac{M_{u2}}{d_b} = 800 \text{ KN}$   
 $C_{u1} = \frac{M_{u1}}{d_b} = 700 \text{ KN}$   
 $P_u = \text{Max} \{C_{u1}, C_{u2}\} \rightarrow P_u = 800 \text{ KN}$

گام ۲) تعیین  $\phi R_n$ .  
 $e = 60 \text{ mm} < \frac{d}{2} = 120 \text{ mm} \Rightarrow R_n = 150 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_y w}}{h} = 501.5 \text{ KN}$   
 $\phi R_n = 451.35 \text{ KN}$   
 گام ۳) کنترل.

$P_u = 800 \text{ KN} \not\leq \phi R_n = 451.35 \text{ KN}$  N.G.

لازم است از یک جفت سخت کننده در محل اثر بار استفاده شود.  
 این جفت سخت کننده باید:

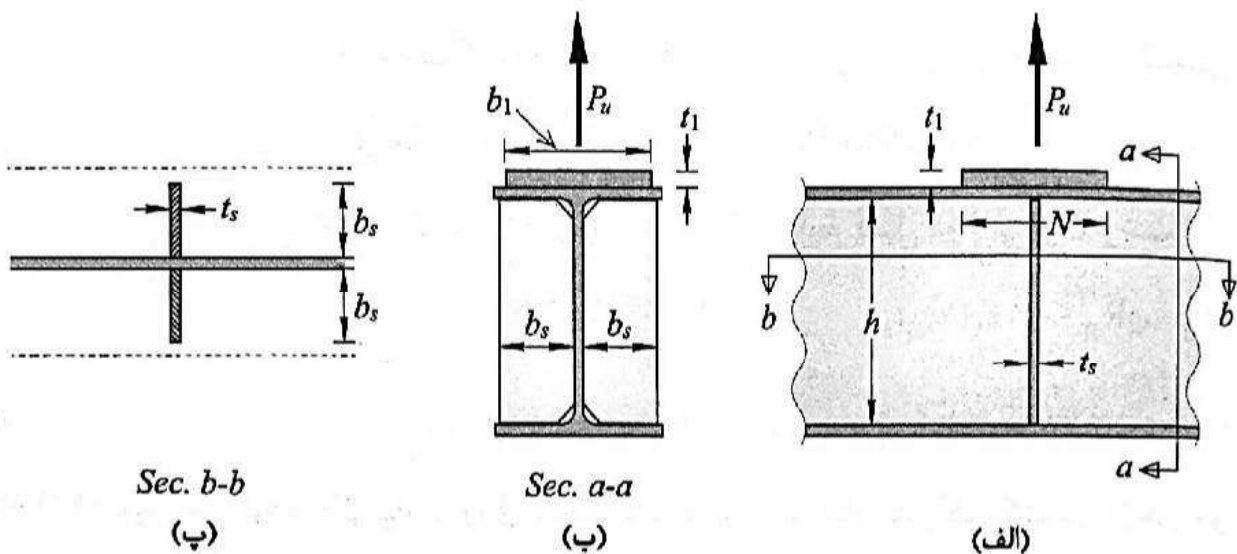
- الف) برای تحمل نیروی فشاری برابر  $N_u = (P_u - \phi R_n) = 348.65 \text{ KN}$  طرح شود.
- ب) باید الزامات بند (۱۰-۲-۹-۱۰-۷) را تأمین کند.



۷-۱۰-۹-۲-۱۰ مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز و در انتهای آزاد

### تیرها و شاه‌تیرها

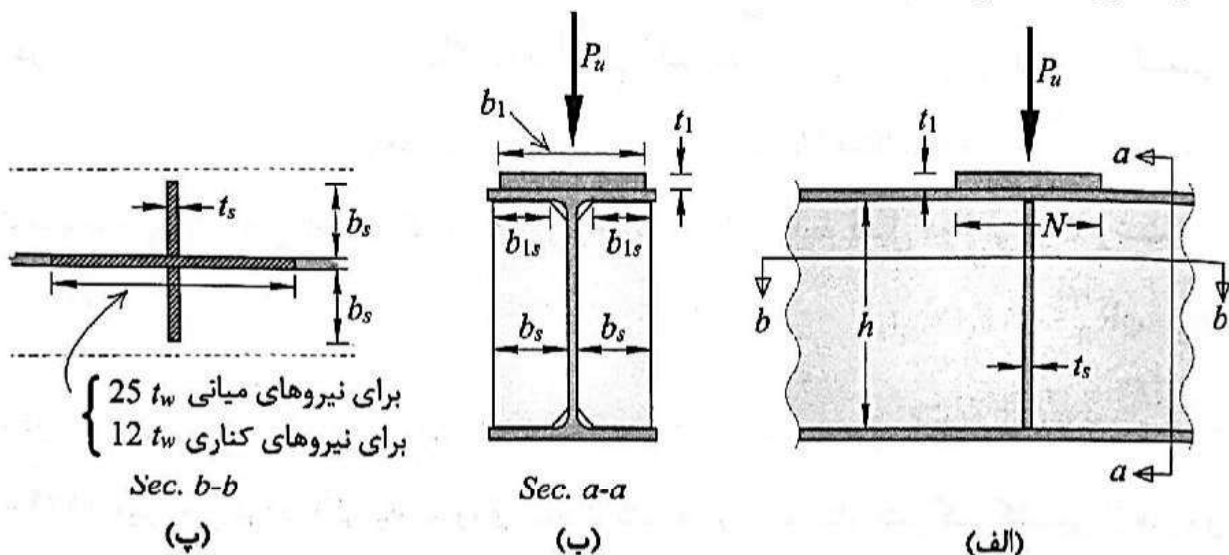
۱. در انتهای آزاد تیرها و شاه‌تیرهایی که در مقابل دوران در حول محور طولی نگهداری نشده است، باید یک جفت سخت‌کننده عرضی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارد، تعبیه گردد.
۲. در صورتی که مطابق بندهای ۱-۱۰-۹-۲-۱۰ و ۲-۱۰-۹-۲-۱۰ نیاز به سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز کششی باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز تعبیه شود. سخت‌کننده‌ها باید دارای مقاومت کششی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل‌های بارهای متمرکز مطابق الزامات بخش ۳-۲-۱۰ باشد. جوش سخت‌کننده‌ها به بال‌های فشاری و کششی باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز مطابق الزامات بخش ۳-۲-۱۰ باشد. جوش سخت‌کننده‌ها به جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف جبری نیروهای کششی دو انتهای سخت‌کننده باشد.



$$N_u = P_u - \phi R_n$$

$$N_u \leq 0.9 F_y (2 b_s t_s)$$

۳. در صورتی که مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰ تا ۱۰-۲-۹-۱۰-۶ نیاز به سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز فشاری باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی فشاری متمرکز تعبیه شود. این سخت‌کننده‌ها باید به صورت یک ستون فرضی با بار محوری فشاری طراحی شوند. ارتفاع مؤثر ستون فرضی برابر  $0.75h$  (ارتفاع آزاد جان در فاصله بین دو بال است) در نظر گرفته می‌شود. مقطع ستون فرضی عبارت است از مقطع جفت سخت‌کننده به اضافه نواری از جان که پهنای آن برای سخت‌کننده‌های میانی برابر  $25t_w$  و برای سخت‌کننده‌های انتهایی برابر  $12t_w$  در نظر گرفته می‌شود ( $t_w$  ضخامت جان است). جوش سخت‌کننده‌ها به بال (یا بال‌ها) باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز باشد. جوش سخت‌کننده‌ها به جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف جبری نیروهای فشاری دو انتهای سخت‌کننده باشد.



$$N_u = P_u - \phi R_n$$

$$N_u \leq 0.9 F_{cr} A^+$$

که در آن  $A^+$  مساحت مقطع ستون فرضی است که به کمک روابط محاسبه می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{برای نیروی میانی: } A^+ = 25 t_w^2 + 2 b_s t_s \\ \text{برای نیروی کناری: } A^+ = 12 t_w^2 + 2 b_s t_s \end{array} \right.$$

همچنین، تنش بحرانی کماتش خمشی ستون فرضی است که به کمک روابط فصل

سوم به دست می‌آید. در این روابط،  $\lambda = \frac{0.75h}{r^+}$  ضریب لاغری ستون فرضی است که در آن

$r^+$  شعاع ژیراسیون مقطع ستون فرضی حول محور عبوری از مرکز جان است.

$$r^+ \cong \sqrt{\frac{\frac{1}{12} t_s (2b_s + t_w)^3}{A^+}}$$

$$P_u \leq \phi R_n b$$

$$\phi = 0.75$$

$$R_n b = 1.8 F_y A_{pb}$$

$$A_{pb} = 2b_1 s t_s$$

ضمناً با توجه به توصیه کتاب دکتر ازهری لازمست مقاومت اتکایی سطح

تماس ورق بال تحت فشار با هفت سفت کننده نیز کنترل شود؛

۴. سخت‌کننده‌های عرضی و قطری باید ضوابط تکمیلی زیر را نیز برآورده نمایند.

- پهناهای هر سخت‌کننده به اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از یک سوم پهناهای بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

$$b_s \geq \min\left(\frac{b_f}{3}, \frac{b_1}{3}\right) - \frac{t_w}{2}$$

- ضخامت سخت‌کننده‌ها نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

$$t_s \geq \frac{1}{3} \times \min(t_f, t_1)$$

- همچنین ضخامت سخت‌کننده‌ها نباید از پهناهای هر سخت‌کننده تقسیم بر ۱۶ کمتر باشد.

$$t_s \geq \frac{b_s}{16}$$

- ارتفاع ورق سخت‌کننده باید مساوی ارتفاع آزاد جان (فاصله بین دو بال) باشد.

شماره ۱۳ برای مثال (۳) سخت کننده لازم را طرح کنید.

$$N_u = T_u - \phi R_n = 161.4 \text{ KN}$$

$$N_u \leq 0.9 F_y (2b_s \cdot t_s) \xrightarrow{F_y = 235} b_s \cdot t_s = 381.6 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

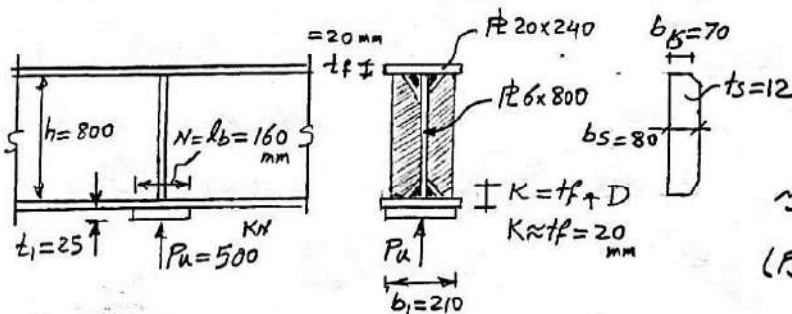
ملاحظات تکلیفی:

$$b_s \geq \text{Min} \left\{ \frac{b_f}{3}, \frac{b_1}{3} \right\} - \frac{t_w}{2} = \text{Min} \left\{ \frac{300}{3}, \frac{200}{3} \right\} - \frac{11}{2} = \frac{200}{3} - \frac{11}{2} \Rightarrow b_s \geq 61.2 \text{ mm} \quad (2)$$

$$t_s \geq \frac{1}{2} \times \text{Min} \{ t_f, t_1 \} = \frac{1}{2} \times \text{Min} \{ 19, 19 \} = \frac{1}{2} \times 19 \Rightarrow t_s \geq 9.5 \text{ mm} \quad (3)$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{16} \quad (4)$$

$$(1), (2), (3), (4) \rightarrow \begin{cases} b_s = 65 \text{ mm} \\ t_s = 10 \end{cases}$$



مثال ۱۴ جان تیر و ستون را در محل تکیه گاه در برابر تسلیم موضعی جان کنترل کنید و اگر جا بگوید، یک جفت سخت کننده در جان داده شده کنترل کنید فولاد مصرفی از نوع S235 (F<sub>y</sub> = 235 MPa) باشد.

$$R_n = F_y w \cdot t_w (5K + l_b) = 235 \times 6 (5 \times 20 + 160) \rightarrow R_n = 366.6 \text{ KN} \quad \text{کنترل برین سخت کننده.}$$

$$\phi = 1.0 \rightarrow \phi R_n = 366.6 \text{ KN} \quad P_u = 500 \text{ KN} \nless \phi R_n \quad \text{N.G.}$$

$$N_u = P_u - \phi R_n = 133.4 \text{ KN.}$$

$$A^+ = 25t_w^2 + 2b_s \cdot t_s \rightarrow A^+ = 2820 \text{ mm}^2$$

$$r^+ = \sqrt{\frac{1/2 t_s (2b_s + t_w)^3}{A^+}} \rightarrow r^+ = 40.3 \text{ mm.}$$

$$\lambda = \frac{0.75h}{r^+} = 14.9 \xrightarrow{\text{درجه اول منتهی به ستون}} F_{cr} = 232.5 \text{ MPa} \rightarrow \phi R_n^+ = 0.9 F_{cr} \cdot A^+ \rightarrow \phi R_n^+ = 590.1$$

$$N_u = 133.4 \leq \phi R_n^+ = 590.1 \quad \text{O.K.}$$

$$A_{pb} = 2b_{15} \cdot t_s = 2 \times 70 \times 12 \rightarrow A_{pb} = 1680 \text{ mm}^2 \quad \text{کنترل مهارت آنهایی سطح کوس:$$

$$\tilde{R}_n = 1.8 F_y \cdot A_{pb} = 710.6 \text{ KN} \xrightarrow{\phi = 0.75 \times} \phi \tilde{R}_n = 533 \text{ KN}$$

$$P_u = 500 \text{ KN} \leq \phi \tilde{R}_n = 533 \quad \text{O.K.}$$

$$b_s \geq \text{Min} \left\{ \frac{b_f}{3}, \frac{b_1}{3} \right\} - \frac{t_w}{2} \rightarrow 80 \geq 67 \text{ mm} \quad \text{O.K.} \quad \text{کنترل مقررات تکلیفی:}$$

$$t_s \geq \frac{1}{2} \text{Min} \{ t_f, t_1 \} = \frac{1}{2} \text{Min} \{ 20, 25 \} = 10 \rightarrow 12 \geq 10 \quad \text{O.K.}$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{16} \rightarrow 12 \geq 5 \quad \text{O.K.}$$