



۵- برش و پیچش



برش ← مقاومت برشی تیرها

بدون عمل
میدان کشش

مقاومت برشی اسمی → $V_n = 0.6F_y A_w C_v$

مقاومت برشی طرح → $V_u \leq \phi_v V_n$

$\phi_v - C_v$

جان مقطع I نوردشده با $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ → $\phi_v = 1 \cdot C_v = 1$

- جان سایر مقاطع به استثنای مقاطع لوله ای
- معیار تسلیم
- معیار کمانش غیرالاستیک
- معیار کمانش الاستیک

معیار تسلیم

$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow \phi_v = 0.9 \cdot C_v = 1$

معیار کمانش غیرالاستیک $1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow \phi_v = 0.9 \cdot C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} \quad (0.8 \leq C_v < 1)$

معیار کمانش الاستیک $\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow \phi_v = 0.9 \cdot C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} \quad (C_v < 0.8)$

محاسبه پارامترها

k_v

برای جان های سخت نشده (بدون سخت کننده عرضی)

$\frac{h}{t_w} < 260 \rightarrow k_v = 5$

$\frac{a}{h} \leq \left\{ 3, \left[\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right]^2 \right\} \rightarrow k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$

برای جان های سخت شده (دارای سخت کننده عرضی)

$\frac{a}{h} > \left\{ 3, \left[\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right]^2 \right\} \rightarrow k_v = 5$

t_w : ضخامت جان مقطع

A_w : مساحت جان مقطع

d : عمق کلی مقطع

ϕ_v : ضریب تقلیل مقاومت برشی

C_v : ضریب برشی جان (نسبت تنش بحرانی کمانش برشی

جان به تنش تسلیم برشی فولاد جان)

k_v : ضریب کمانش برشی ورق جان

a : فاصله ی آزاد بین سخت کننده های عرضی جان

h : برای تیر نوردشده مساوی فاصله آزاد بین دو بال منهای

شعاع گردی محل اتصال جان به بال برای مقاطع ساخته شده

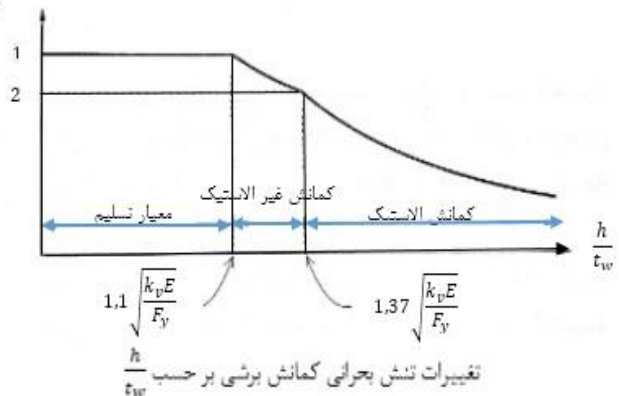
از ورق (اتصال جوشی: مساوی فاصله آزاد بین دو بال)(اتصال

پیچی: مساوی فاصله بین خطوط پیچ) برای سپری: مساوی

عمق کلی مقطع

نکته: برای محاسبه فاصله آزاد بین سخت کننده های عرضی جان (a) از رابطه فوق استفاده میکنیم. معمولاً در سوالات C_v را داده و از روابط بالا k_v را می یابیم.

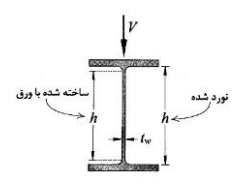
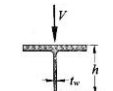
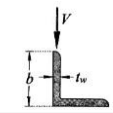
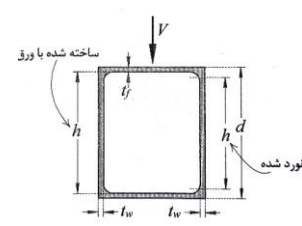
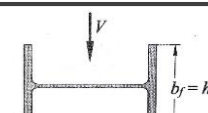
$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y}$

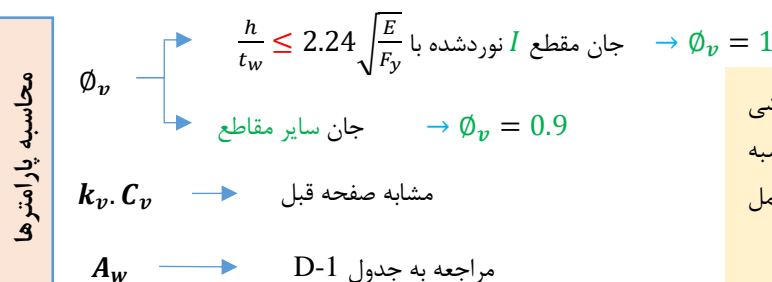
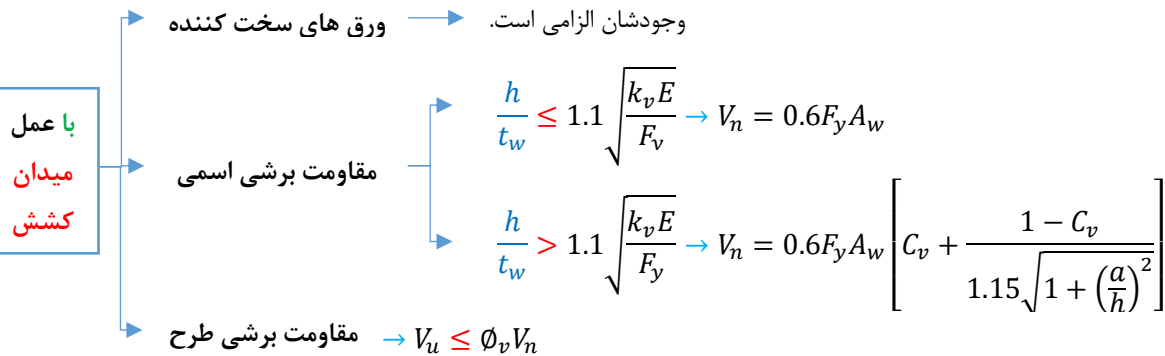


تغییرات تنش بحرانی کمانش برشی بر حسب $\frac{h}{t_w}$

برش ← مقاومت برشی تیرها

جدول D-1 مقادیر k_v و A_w و h

نوع مقطع	شکل	ارتفاع جان (h)	ضرایب کماتش برشی و برشی جان (k_v)	مساحت جان (A_w)
خمش حول محور قوی مقاطع I شکل و ناودانی		در مقاطع نورد شده، h فاصله خالص بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال بال به جان است.	$IF \frac{h}{t_w} < 260 \rightarrow k_v = 5$ جان بدون سخت کننده عرضی یا سخت کننده عرضی:	$A_w = dt_w$
			$IF \frac{a}{h} \leq \left\{ 3 \left \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right)^2 \right. \right\} \rightarrow k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2}$ $IF \frac{a}{h} > \left\{ 3 \left \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right)^2 \right. \right\} \rightarrow k_v = 5$	$A_w = ht_w$
خمش حول محور موازی بال مقاطع سپری		h ارتفاع کلی مقطع است	$k_v = 1.2$	$A_w = ht_w$
مقاطع نبشی شکل			$k_v = 1.2$	$A_w = bt_w$
مقاطع قوطی شکل		در مقاطع نورد شده، h فاصله خالص بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال بال به جان (یا ارتفاع کل مقطع منهای سه برابر ضخامت بال) در مقاطع ساخته شده از ورق، فاصله خالص بین دو بال است.	$k_v = 5$	$A_w = 2ht_w$
خمش حول محور ضعیف مقاطع		برابر عرض بال منظور می شود.	$k_v = 1.2$	$A_w = 2b_f t_f$



نکته: استفاده از عمل میدان کشش باعث افزایش مقاومت برشی تیر می شود. در صورت استفاده از عمل میدان کشش در محاسبه مقاومت برشی عضو و برقراری رابطه $V_u > V_d$ ، استفاده از عمل میدان کشش بی فایده بوده و باید ضخامت جان افزایش یابد.

برش ← مقاومت برشی تیرها ← با عمل میدان کشش

شرایط عدم استفاده از عمل میدان کشش

در چشمه های ابتدایی و انتهایی تمامی اعضای دارای سخت کننده عرضی

$$\frac{a}{h} > \left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \right]^2 \quad \text{یا} \quad \frac{a}{h} > 3$$

یکی به تنهایی

$$\left[\frac{2A_w}{A_{fc} + A_{ft}} \right] > 2.5$$

$$\frac{h}{\text{عرض بال کششی}} > 6 \quad \frac{h}{\text{عرض بال فشاری}} > 6$$

حضور بازشو در چشمه

$$k_v = 5 \rightarrow V_u \leq \phi_v V_n \quad \text{و} \quad \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \text{نیازی به تعبیه ی سخت کننده های عرضی در جان مقطع نمی باشد.}$$

طراحی ورق های سخت کننده عرضی جان

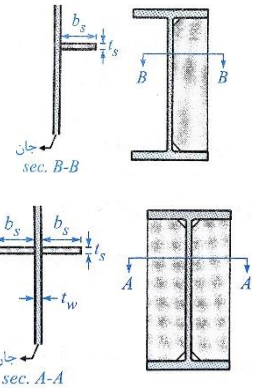
ابعاد ورق تقویتی

$$\text{مورد نیاز} \rightarrow I_{st} = \frac{1}{3} b_s^3 t_s \geq I$$

$$\text{مورد نیاز} \rightarrow I_{st} = \frac{(2b_s + t_w)^3 \times t_s}{12} \geq I$$

$$I_{st} \geq I_{\text{مورد نیاز}} = \min(a, h) \times t_w^3 j$$

$$j = \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0.5$$



محدودیت اجرایی

فاصله از برجوش اتصال سخت کننده به جان تا بال کششی در صورت عدم جوش ورق سخت کننده به بال کششی

$$\rightarrow 4t_w < L < 6t_w$$

$$\leq 300$$

$$\leq \min(t_w, 250\text{mm})$$

سخت کننده باید به بال فشاری متصل گردند تا از بلند شدن بال در اثر پیچش جلوگیری به عمل آید.

k_v : ضریب کماتش برشی ورق جان

ϕ_v : ضریب تقلیل مقاومت برشی

a : فاصله ی آزاد بین سخت کننده های عرضی جان

A_w : مساحت قسمت برشی

A_{ft}, A_{fc} : به ترتیب سطح مقطع بال فشاری و کششی

t_w : ضخامت جان مقطع

b_s : پهناى ورق سخت کننده

b_{ft}, b_{fc} : به ترتیب پهنای بال فشاری و کششی

t_s : ضخامت ورق سخت کننده

C_v : ضریب برشی جان (نسبت تنش بحرانی کماتش برشی جان به تنش تسلیم برشی فولاد جان)

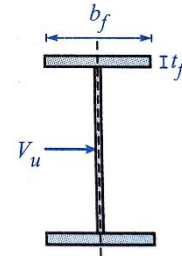
h : برای تیر نوردشده مساوی فاصله آزاد بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال جان به بال برای مقاطع ساخته شده از ورق (اتصال جوشی: مساوی فاصله آزاد بین دو بال) (اتصال پیچی: مساوی فاصله بین خطوط پیچ) برای سپری: مساوی عمق کلی مقطع

برش ← مقاومت برشی

مقاومت برشی
در امتداد عمود
بر محور ضعیف

مقاومت برشی اسمی → $V_n = 0.6F_y A_w C_v$

مقاومت برشی طرح → $V_u \leq \phi_v V_n \quad \phi_v = 0.9$



پارامترهای لازم برای محاسبه مقاومت برشی طرح

$A_w = 2b_f t_f$ $K_v = 1.2$ $\frac{h}{t_w} = \frac{b_f/2}{t_f}$

نکته: ضریب C_v برای مقاطع IPE تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف همواره برابر یک است.

C_v → $\frac{b_f/2}{t_f} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = 1$

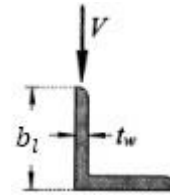
C_v → $1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{b_f/2}{t_f} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{b}{t_f}} \quad (0.8 \leq C_v < 1)$

C_v → $\frac{b_f/2}{t_f} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{b}{t_f}\right)^2 F_y} \quad (C_v < 0.8)$

نبشی تک

مقاومت برشی اسمی → $V_n = 0.6F_y A_w C_v$

مقاومت برشی طرح → $V_u \leq \phi_v V_n \quad \phi_v = 0.9$



پارامترهای لازم برای محاسبه مقاومت برشی

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

C_v → $\frac{b_l}{t} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = 1$

C_v → $1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{b_l}{t} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{b_l}{t}} \quad (0.8 \leq C_v < 1)$

C_v → $\frac{b_l}{t} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{b_l}{t}\right)^2 F_y} \quad (C_v < 0.8)$

A_w : مساحت جان

ϕ_v : ضریب تقلیل مقاومت برشی

t_w : ضخامت جان مقطع

k_v : ضریب کمانش برشی ورق جان

t_f : ضخامت جزء مقاوم در برابر برش

$t \cdot b_l$: پهنا و ضخامت ساق مقاوم مقطع در برابر نیروی برشی

b : نصف پهنای کلی بال در مقاطع I شکل و پهنای کلی بال برای مقاطع ناودانی

C_v : ضریب برشی جان (نسبت تنش بحرانی کمانش برشی جان به تنش تسلیم برشی فولاد جان)

h : برای تیر نوردشده مساوی فاصله آزاد بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال جان به بال برای مقاطع ساخته شده از ورق (اتصال جوشی: مساوی فاصله آزاد بین دو بال) (اتصال پیچی: مساوی فاصله بین خطوط پیچ) برای سیری: مساوی عمق کلی مقطع

برش ← مقاومت برشی

مقاطع لوله ای

مقاومت برشی اسمی $\rightarrow V_n = \frac{1}{2} F_{cr} A_g$

مقاومت برشی طرح $\rightarrow V_u \leq \phi_v V_n \quad \phi_v = 0.9$

پارامترهای لازم برای محاسبه مقاومت برشی

t \rightarrow ضخامت اسمی جان مقطع $\times 0.93 = t$ جوش قوس الکتریکی (ERW)

t \rightarrow ضخامت اسمی جان مقطع $= t$ جوش زیرپودری (SAW)

F_{cr} \rightarrow حالت حدی تسلیم $\rightarrow F_{cr1} = 0.6F_y$

F_{cr} \rightarrow حالت حدی کماتش برشی \rightarrow

$$F_{cr2} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}} \left(\frac{D}{t}\right)^4}$$

$$F_{cr3} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2}$$

$F_{cr} = \max(F_{cr1}, F_{cr2}, F_{cr3})$

مقطع قوطی

مقاومت برشی اسمی $\rightarrow V_n = 0.6F_y A_w C_v$

مقاومت برشی طرح $\rightarrow V_u \leq \phi_v V_n \quad \phi_v = 0.9$

$A_w = 2ht$

پارامترهای لازم برای محاسبه مقاومت برشی طرح

t \rightarrow ضخامت اسمی جان مقطع $\times 0.93 = t$ جوش قوس الکتریکی (ERW)

t \rightarrow ضخامت اسمی جان مقطع $= t$ جوش زیرپودری (SAW)

h \rightarrow اگر شعاع گردی در محل اتصال جان ها به بال ها مشخص باشد $\rightarrow h =$ فاصله آزاد بین دو بال

h \rightarrow اگر شعاع گردی در محل اتصال جان ها به بال ها مشخص نباشد $\rightarrow h =$ سه برابر ضخامت اسمی بال - بعد بیرونی مقطع

$k_v - C_v$ \rightarrow

$$\frac{h}{t} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow k_v = 5 \cdot C_v = 1$$

$$1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow k_v = 5 \cdot C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{h}{t}} \quad (0.8 \leq C_v < 1)$$

$$\frac{h}{t} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow k_v = 5 \cdot C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2 F_y} \quad (C_v < 0.8)$$

A_w : مساحت جان مقطع

ϕ_v : ضریب تقلیل مقاومت برشی

D : قطر خارجی مقطع لوله ای

t : ضخامت اسمی جان مقطع قوطی شکل و ضخامت طراحی مقطع لوله ای

k_v : ضریب کماتش برشی ورق جان

C_v : ضریب برشی جان (نسبت تنش بحرانی کماتش برشی جان به تنش تسلیم برشی فولاد جان)

F_{cr} : تنش برشی مقطع

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

برش ← مقاومت برشی

اعضا در مجاورت ناحیه اتصال → مقاومت برشی طرح $R_d \leq \phi_v R_n$

پارامترها

- تسلیم برشی روی مقطع کلی → $R_{n1} = 0.6F_y A_{gv}$ $\phi_v = 1$ $A_{gv} = dt_w$
- گسیختگی برشی روی مقطع خالص → $R_{n2} = 0.6F_u A_{nv}$ $\phi_v = 0.75$ $A_{nv} = (b - nD)t$
- $R_n = \min(R_{n1}, R_{n2})$

\dot{D} : قطر محاسباتی سوراخ

b و d : کل ارتفاع مقطع

A_{nv} : سطح مقطع خالص تحت برش

A_{gv} : سطح مقطع کلی تحت برش

ϕ_v : ضریب تقلیل مقاومت برشی

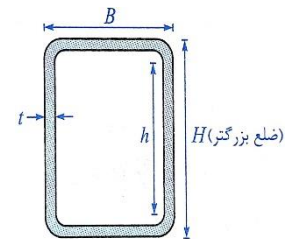
پیچش ← مقاومت پیچشی

مقاطع لوله ای → $T_u \leq \phi_t T_n = 0.9T_n$ $T_n = F_{cr} C$

پارامترها

- $C = \frac{\pi(D - t_t)^2 t_t}{2}$
- $F_{cr1} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t_t}\right)^{\frac{5}{4}}}}$
- $F_{cr2} = \frac{0.6E}{\left(\frac{D}{t_t}\right)^{\frac{3}{2}}}$
- $F_{cr} = \max(F_{cr1}, F_{cr2}) \leq 0.6F_y$

مقاطع قوطی شکل → $T_u \leq \phi_t T_n = 0.9T_n$ $T_n = F_{cr} C$



پارامترها

- تسلیم پیچشی → $\frac{H - 3t}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.6F_y$
- کمانش غیرالاستیک پیچشی → $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{H - 3t}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \frac{0.6F_y \left(2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)}{\left(\frac{h}{t}\right)}$
- کمانش الاستیک پیچشی → $3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{H - 3t}{t} \leq 260 \rightarrow F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$

$C = 2(B - t)(H - t)t - [4.5(4 - \pi)t^3]$

پیچش ← مقاومت پیچشی

سایر مقاطع

مقاومت پیچشی → $T_u \leq \phi_t T_n = 0.9T_n$ $T_n = F_{cr}C$

پارامترها

T_n

تسلیم تحت اثر تنش قائم → $F_{n1} = F_y$

تسلیم برشی تحت اثر تنش برشی → $F_{n2} = 0.6F_y$

حالت حدی کمانش → $F_{n3} = F_{cr}$

$T_n = \min(F_{n1} \cdot F_{n2} \cdot F_{n3})$

ϕ_t : ضریب تقلیل برای پیچش

A_w : مساحت جان مقطع

F_{cr} : تنش برشی مقطع

k_v : ضریب کمانش برشی ورق جان

F_n : تنش مقاوم ناشی از پیچش مقطع

t_t : ضخامت جدار لوله

D : قطر خارجی مقطع لوله ای

C : ثابت پیچشی

L : طول عضو

H : طول بزرگتر قوطی

t : ضخامت اسمی جان مقطع قوطی شکل و ضخامت طراحی مقطع لوله ای

L_p : فاصله بین محل نیروی برشی حداکثر تا محل نیروی برشی صفر در طول عضو

C_v : ضریب برشی جان (نسبت تنش بحرانی کمانش برشی جان به تنش تسلیم برشی فولاد جان)

h : برای تیر نوردشده مساوی فاصله آزاد بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال جان به بال و

در صورت مشخص نبودن شعاع گردی طول ضلع بزرگتر منهای ۳ برابر ضخامت مقطع