الزامات عمومی

نسبت لاغری اعضا

- $\lambda = \dfrac{KL}{r}$
- کنترل ← $(\lambda)_{\text{اعضای فشاری}} \leq 200$

L : طول مهارشده عضو حول محور کمانش مورد نظر r : شعاع ژیراسیون مقطع عضو حول محور کمانش مورد نظر K : ضریب طول موثر

تعیین نسبت لاغری اعضا (بند ۱۰-۲-۴-۲)

ضریب طول موثر ستون (K) (پیوست ۲)

تعریف

- پارامتر K ضریب طول موثر ستون نام دارد و $L_e = \mathrm{KL}$ طول موثر ستون می‌باشد. در واقع L_e به فاصله بین دو نقطه عطف کمانش ستون تحت بار فشاری گفته می‌شود.
- بار کمانشی ستون‌ها ← بار محوری که به ازای اندکی افزایش، قبل از جاری شدن ستون، ستون دچار ناپایداری شده و کمانش می‌کند.

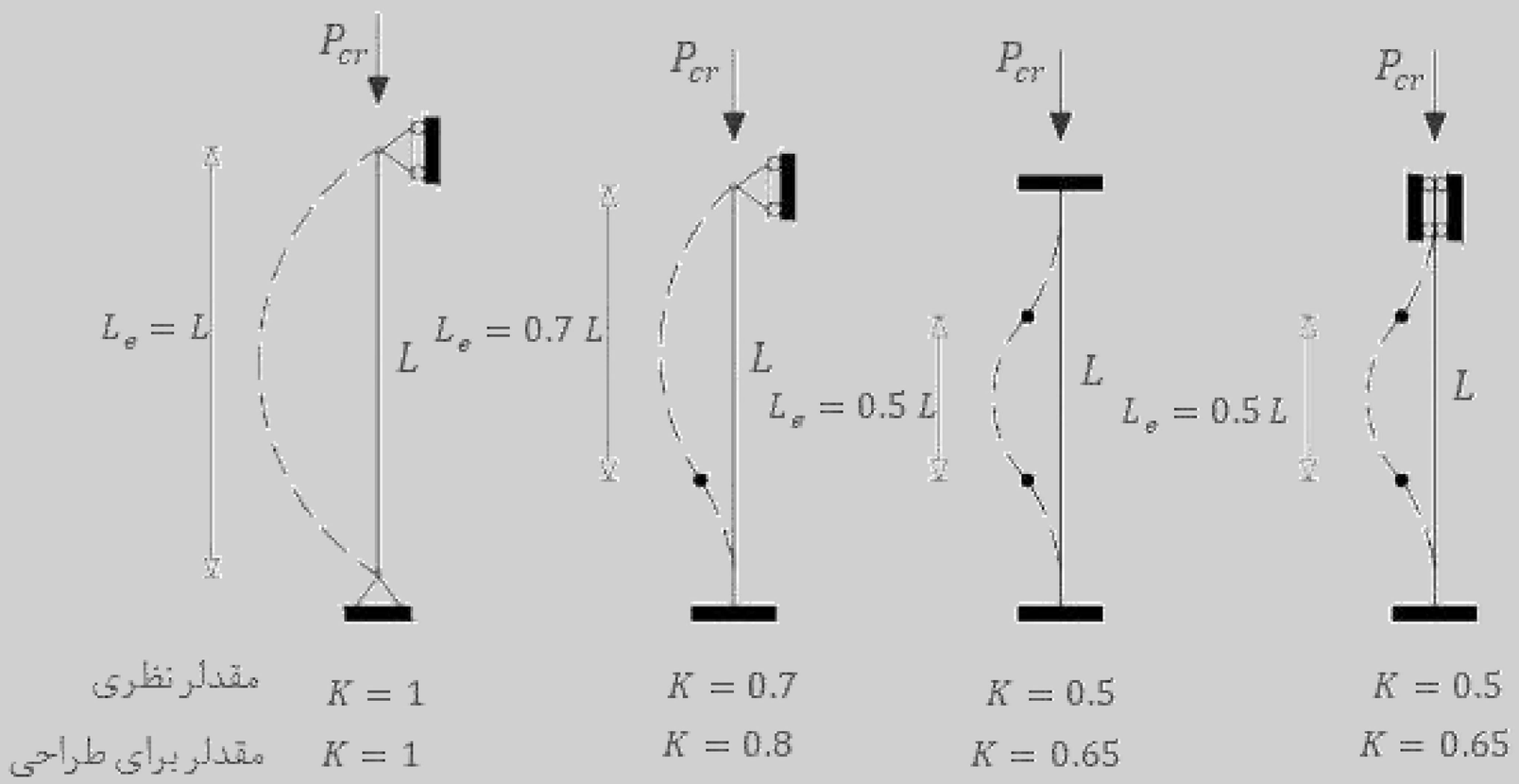
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L_e)^2} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

- قاب مهارشده ← به قاب‌هایی گفته می‌شود که در آن‌ها پایداری جانبی و مقاومت در برابر بارهای جانبی به سختی خمشی ستون‌ها وابسته نبوده و در آن‌ها حرکت قاب با تکیه‌کردن بر مهاربندی‌های مورب، دیوارهای برشی یا به شیوه‌ای مشابه مقید می‌شود.
- قاب مهارنشده ← به قاب‌هایی گفته می‌شود که در آن‌ها فقط سختی جانبی قاب‌ها در پایداری جانبی موثر هستند و قاب به دیوار برشی یا مهاربندی متکی نیست.

نکته: با توجه به رابطه P_{cr} ضریب طول موثر و بار بحرانی رابطه عکس دارند و در نتیجه هر چه ضریب طول موثر بزرگ‌تر شود بار بحرانی قابل تحمل ستون کاهش یافته و ستون ضعیف‌تر می‌شود.

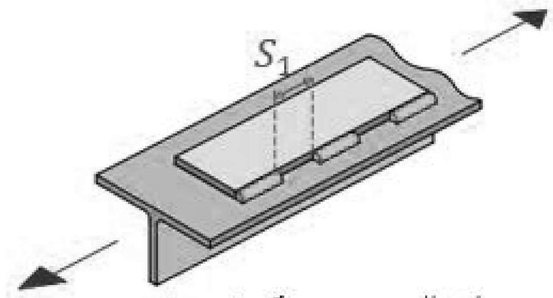
۱ ضریب طول موثر ستون‌هایی با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل

در زیر تعدادی ستون با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل همراه با ضرایب طول موثر نظری آن‌ها نشان داده شده است. با توجه به اینکه ایجاد شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل در عمل امکان‌پذیر نیست، از این‌رو در این‌گونه ستون‌ها باید از مقادیر پیشنهادی در طراحی استفاده کرد.



اعضا کششی خاص

در طراحی اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق، الزامات زیر باید تامین شوند.



اتصال ورق به تک نیمرخ

۱ فاصله بین نوارهای جوش

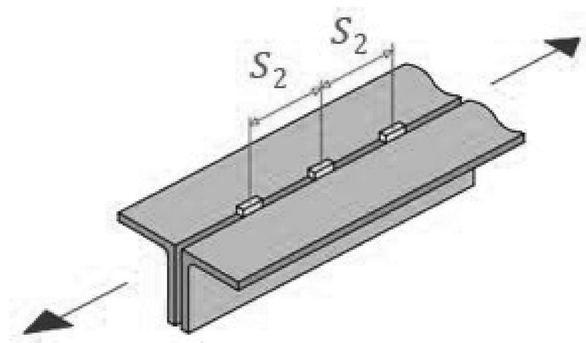
- همزمان
  - در نیمرخ فولادی + ورق فولادی
    (ورق فولادی + ورق فولادی)
  - با اتصال به وسیله نوار جوش منقطع
- S_1
  - قطعات رنگ شده (قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ زدگی و خوردگی ندارند) ← $S_1 \leq min\left(24t_{min} \text{ و } 300\ mm\right)$
  - قطعات رنگ نشده (که تحت اثر خوردگی ناشی از عوامل جوی قرار دارند) ← $S_1 \leq min\left(14t_{min} \text{ و } 180\ mm\right)$

۲ فاصله بین سوراخ پیچ‌ها

- همزمان
  - در نیمرخ فولادی + ورق فولادی
    (ورق فولادی + ورق فولادی)
  - اتصال توسط پیچ
- حداقل و حداکثر فاصله مرکز سوراخ‌ها تا لبه قطعات متصل شونده و نیز حداقل و حداکثر فاصله مرکز سوراخ‌ها باید الزامات بخش ۱۰-۲-۹ را تأمین نماید.

۳ فاصله بین لقمه‌ها

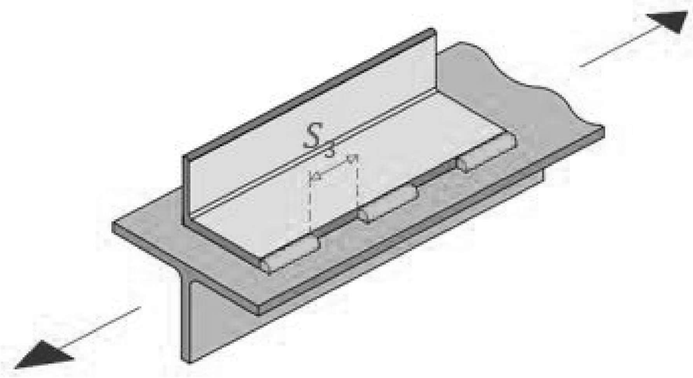
- در اعضای مرکبی که بین قطعات آن‌ها در فواصلی، قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط قطعات مرکب به یکدیگر متصل می‌شوند.
- $S_2 \leq 300\, r_{1,min}$



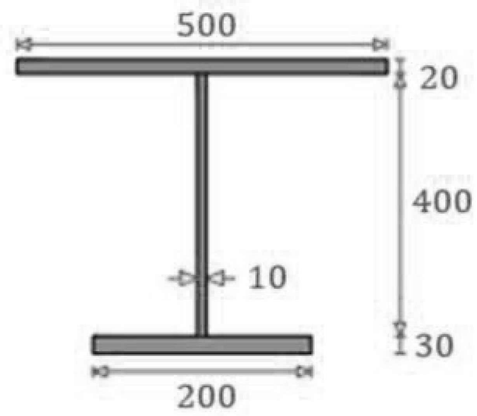
نکته: S_2 فاصله بین لقمه‌ها باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده عضو در فاصله‌ی آزاد از ۳۰۰ بیشتر نباشد.

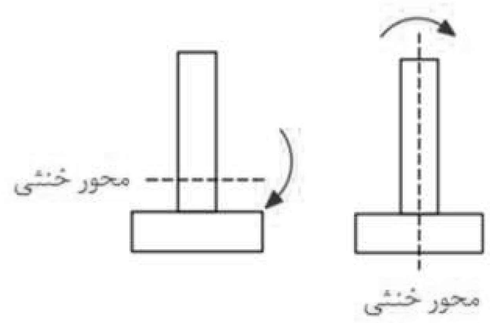
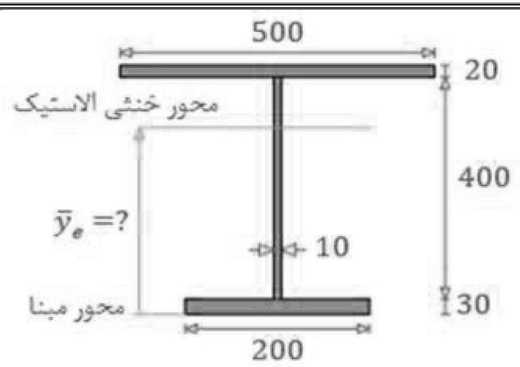
۴ فاصله بین نوارهای جوش یا پیچ‌ها

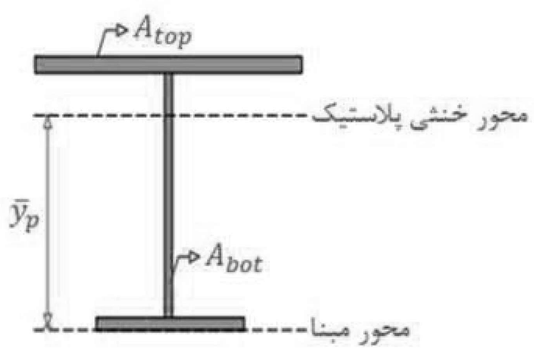
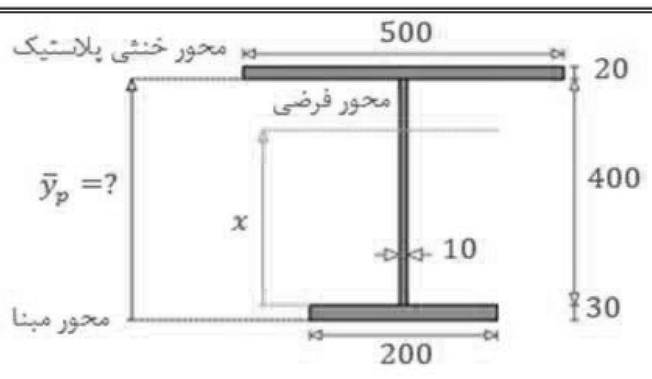
- همزمان
  - نیمرخ فولادی+ نیمرخ فولادی
  - اتصال توسط پیچ یا جوش منقطع
- $S_3 \leq 300\, r_{1,min} \leq 600\ mm$



جدول نحوه محاسبه مشخصات هندسی مقاطع

پارامتر	سطح مقطع (mm^2)	 ابعاد بر حسب mm
تعریف	برشی از عضو عمود بر محور طولی عضو، مقطع گفته می‌شود.	
رابطه	$A = \sum A_i$	
توضیح	مساحت از حاصلضرب ابعاد (طول× عرض) محاسبه می شود. مجموع مساحت همه‌ی قسمت‌های یک مقطع را به عنوان سطح مقطع می‌شناسیم.	
مثال	$A = \sum A_i = (20 \times 500) + (400 \times 10) + (200 \times 30) = 20000\ mm^2$	

پارامتر	محور خنثی الاستیک (mm)	
تعریف	مکان هندسی نقاطی از مقطع است که دارای تغییر طول نسبی صفر در حین خمش هستند.	
رابطه	$\bar{y}_e = \dfrac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i}$	
توضیح	۱- یک محور مبنا برای مقطع انتخاب می شود که اغلب تار بالایی یا پایینی مقطع است. ۲- محور خنثی الاستیک که موازی محور مبنا است، در یک محل فرضی در نظر گرفته می‌شود.فاصله محور خنثی تا محور مبنا را $\bar{y}_e$ می‌نامیم که قصد محاسبه آن را داریم. ۳- مقطع را به اجزای مستطیلی و ساده تقسیم کرده و آن‌ها را با شماره ۱ تا n نامگذاری می‌کنیم. ۴- مجموع حاصل ضرب فاصله مرکز سطح هر جزء تا محور مبنا در مساحت هر جزء را در صورت کسر محاسبه می‌کنیم. ۵- مجموع مساحت هر جزء را در مخرج کسر محاسبه می‌کنیم.	
مثال	$\bar{y}_e = \dfrac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i} = \dfrac{(220 \times 30) \times 15 + (400 \times 10) \times 230 + (500 \times 20) \times 440}{(200 \times 30) + (400 \times 10) + (500 \times 20)}$ $\bar{y}_e = 270.5\ mm$	 ابعاد بر حسب mm

پارامتر	محور خنثی پلاستیک (mm)	
تعریف	محور خنثی پلاستیک مقطع را به دو بخش با مساحت‌های مساوی تقسیم می‌کند.	
رابطه	$A_{Top} = A_{Bot} \rightarrow \bar{y}_p = ?$	
توضیح	۱- یک محور مبنا برای مقطع انتخاب می شودکه اغلب تار بالایی یا پایینی مقطع است. ۲- مقطع را به اجزای مستطیلی و ساده تقسیم کرده و آن‌ها را با شماره ۱ تا n نامگذاری می‌کنیم. ۳- محور خنثی پلاستیک $\bar{y}_p$ که موازی محور مبنا است، در یک محل فرضی در نظر گرفته می‌شود. ۴- فاصله محور فرضی از محور مبنا را طوری بدست می‌آوریم که جمع مساحت قطعاتی که در زیر یا بالای محور فرضی قرار دارند نصف مساحت کل شود. ۵- فاصله محور مبنا تا محلی که مساحت نصف شکل گرفت به عنوان محور خنثی پلاستیک در نظر گرفته می‌شود.	
مثال	$\dfrac{A}{2} = \dfrac{(200 \times 30) + (400 \times 10) + (500 \times 20)}{2} = 10000\ mm^2$ $10000 = (200 \times 30) + (10 \times x) \rightarrow x = 400\ mm$ $\bar{y}_p = 30 + x = 30 + 400 = 430\ mm$	 ابعاد بر حسب mm

الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع

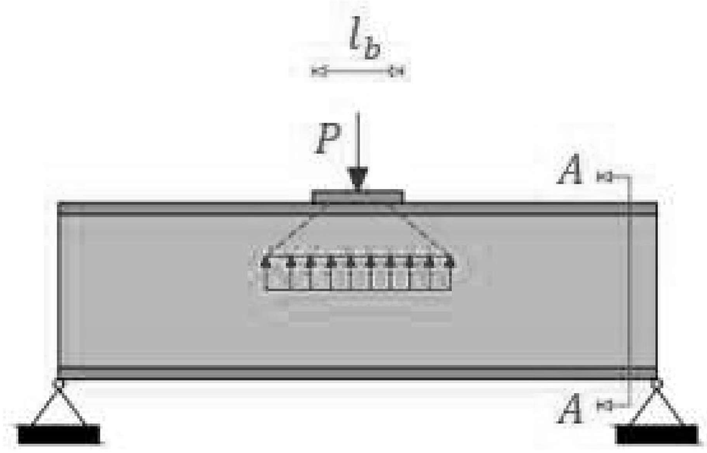
الزامات این بند مربوط به حالتی است که یک نیروی متمرکز فشاری به عضوی وارد می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل اثر نیروی متمرکز، توسط مهار جانبی جلوگیری نشده است.

مقاومت طراحی
- $LRFD \longrightarrow P_u \leq \emptyset R_n \qquad \emptyset = 0.85$
- $ASD \longrightarrow P_u \leq \dfrac{R_n}{\Omega} \qquad \Omega = 1.76$

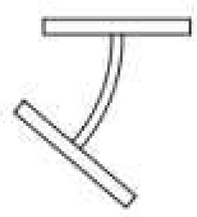
کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۴)

مقاومت اسمی
- بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده باشد.
  - $\alpha > 2.3 \longrightarrow$ لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.
  - $\alpha \leq 2.3 \longrightarrow R_n = \dfrac{C_r\, t_w{}^3 t_f}{h^2}[1 + 0.4\alpha^3]$
  - $IF \quad P_u > R_d \longrightarrow$ باید بال کششی را مهار نمود یا در زیر بار متمرکز فشاری از یک جفت سخت‌کننده عرضی یا از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) استفاده نمود.
- بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد.
  - $\alpha > 1.7 \longrightarrow$ لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.
  - $\alpha \leq 1.7 \longrightarrow R_n = \dfrac{C_r t_w{}^3 t_f}{h^2}[0.4\alpha^3]$
  - $IF \quad P_u > R_d \longrightarrow$ تعبیه یک جفت سخت‌کننده عرضی ضروری است.

$$LRFD \rightarrow R_d = \emptyset R_n \qquad \text{و} \qquad ASD \rightarrow R_n = \frac{R}{\Omega}$$



بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است (مقطع $A - A$)



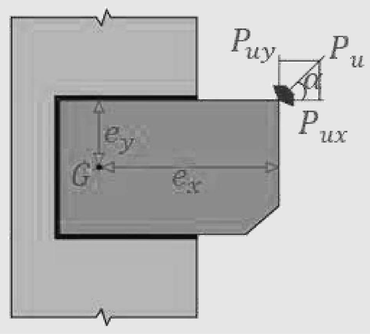
بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است (مقطع $A - A$)

نکات: ۱- نحوه طراحی سخت‌کننده و ویژگی‌های آن در بخش ۱۰-۲-۹-۱۰-۳ عنوان شد.

۲- در چارت فوق منظور از بال فشاری، بال بارگذاری شده تحت فشار می‌باشد.

جوش‌ها

تعریف ← نیروی (P_u) همراه با خروج از مرکزیت نسبت به مرکز سطح جوش (نقطه G) می‌باشد. بردار نیرو و مرکز سطح جوش در یک صفحه هستند.



گام ۱ — تعیین مرکز سطح جوش ← مراجعه به جدول $1-\mathrm{E}$

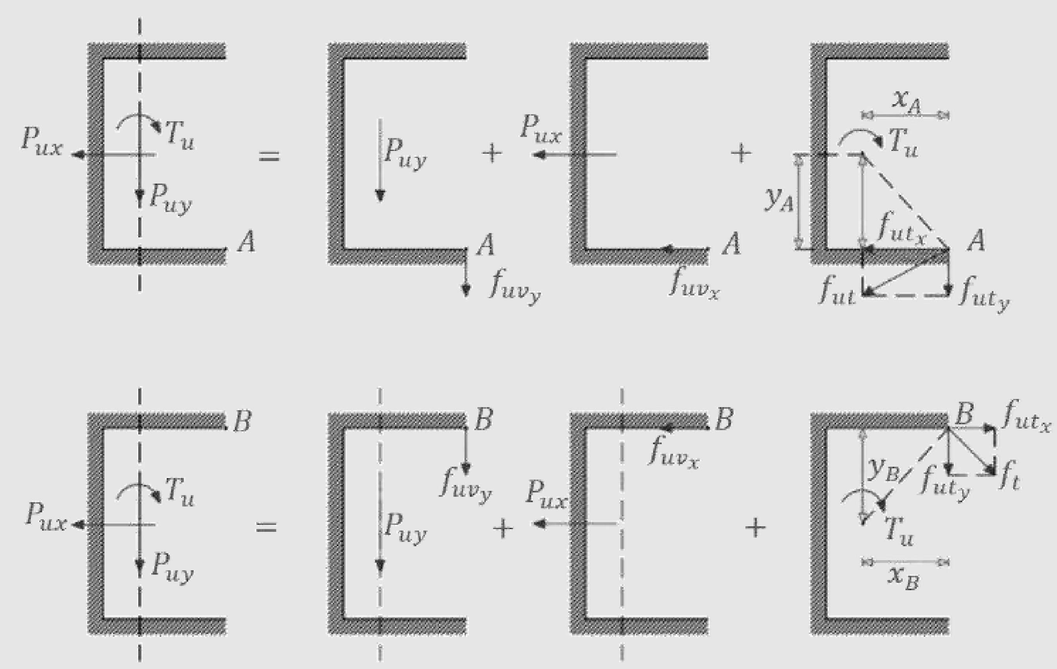
گام ۲ — تعیین خروج از مرکزیت نیروی P نسبت به مرکز سطح ← e_x و $e_y = ?$

گام ۳ — تعیین ممان اینرسی جوش ← I_{x_w} و I_{y_w} و $J = I_p = I_{x_w} + I_{y_w}$

گام ۴ — محاسبه تنش‌های برشی در نقطه مورد نظر ← $(f_{uvx})_A = \dfrac{P_{ux}}{A_{we}}$ و $(f_{uvy})_A = \dfrac{P_{uy}}{A_{we}}$

گام ۵ — محاسبه تنش‌های پیچشی در نقطه مورد نظر ← $(f_{utx})_A = \dfrac{T_u y_A}{J}$ و $(f_{uty})_A = \dfrac{T_u x_A}{J}$

$$T_u = P_{uy} \times e_x \pm P_{ux} \times e_y$$



گام ۶ — محاسبه برایند تنش‌های برشی در نقطه مورد نظر

نقطه A ← $f_{uA} = \sqrt{(f_{uvx} + f_{utx})^2 + (f_{uvy} + f_{uty})^2}$

نقطه B ← $f_{uB} = \sqrt{(f_{uvx} - f_{utx})^2 + (f_{uvy} + f_{uty})^2}$

گام ۷ — تعیین نقطه بحرانی جوش ← نقطه‌ای است که در آن مقدار برآیند تنش‌های برشی نهایی حداکثر می‌باشد.

برابر ۱ فرض شود.

گام ۸ — به عنوان مثال در روش $LRFD$ ← $f_{u\,\text{نقطه بحرانی}} \le F_{u_w} = \emptyset F_{nw}\, t_e L_e \rightarrow t_e = ?$

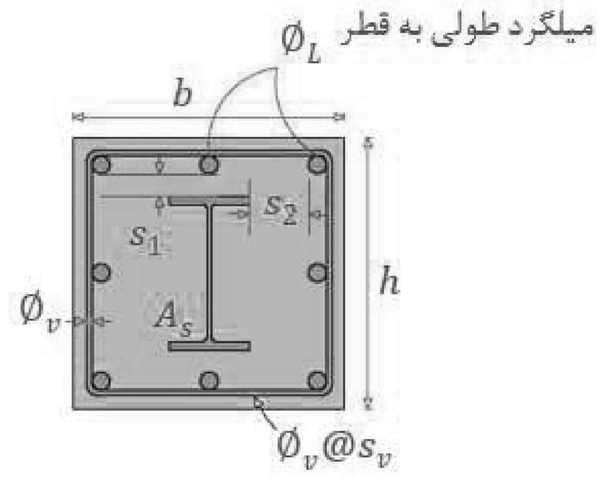
گام ۹ — کنترل بعد جوش محاسبه شده با مقادیر حداقل و حداکثر ← $t_e = 0.707a \rightarrow a = ?$ و $a_{min} \le a \le a_{max}$

اعضای محوری با مقطع مختلط

اعضای محاط در بتن (بند ۱۰-۲-۸-۲-۱)

محدودیت‌ها

- $\frac{A_s}{A_g} \geq 0.01$ و $A_g = bh$
- پوشش بتنی هسته فولادی باید به کمک میلگردهای طولی و تنگ‌های عرضی یا مارپیچ مسلح شوند.
- $\Phi_v \geq 10\ mm$
- S_v
  - $IF\ \ \Phi_v = 10\ mm \rightarrow S_v \leq 300\ mm$
  - $IF\ \ \Phi_v = 12\ mm \rightarrow S_v \leq 400\ mm$
- $(S_v)_{max} \leq \frac{min(b\ و\ h)}{2}$
- $\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0.004$
- S_1 و $S_2 \geq max(40\ mm\ و\ 1.5\ \Phi_L)$



A_g : مساحت کلی مقطع مختلط

A_{sr} : مساحت میلگردهای طولی

S_v : فاصله مرکز تا مرکز تنگ‌ها در راستای طول عضو

S_1 و S_2 : فاصله آزاد بین میلگردها و مقطع فولادی

h و b : ابعاد مقطع مختلط

A_s : سطح مقطع هسته فولادی شامل نیمرخ و ورق‌های تقویتی آن(درصورت وجود)

مقاومت فشاری طراحی

- $LRFD \longrightarrow P_u \leq \emptyset_c P_n$ و $\emptyset_c = 0.75$
- $ASD \longrightarrow P_u \leq \frac{P_n}{\Omega_c}$ و $\Omega_c = 2$

مقاومت فشاری اسمی

- $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \rightarrow P_n = P_{no}\left[0.658^{\frac{P_{no}}{P_e}}\right]$
- $\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \rightarrow P_n = 0.877 P_e$

پارامترها

$P_{no} = A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} + 0.85 f'_c A_c$

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

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

$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c}$

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

w_c

- بتن با وزن مخصوص معمولی $\longrightarrow 2300\ \frac{Kg}{m^3} \leq w_c \leq 2500\ \frac{Kg}{m^3}$
- بتن با وزن مخصوص سبک $\longrightarrow 1400\ \frac{Kg}{m^3} < w_c \leq 2300\ \frac{Kg}{m^3}$

طراحی برشی

t_w : ضخامت جان مقطع

A_w : مساحت جان مقطع

d : عمق کلی مقطع

k_v : ضریب کمانش برشی ورق جان

a : فاصله‌ی آزاد بین سخت‌کننده‌های عرضی جان

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

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

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

نکات: ۱- در صورتی که مقاومت برشی اسمی به دست آمده با توجه به عمل میدان کشش کوچک‌تر از مقاومت برشی حاصل از بدون عمل میدان کشش باشد، مقاومت برشی اسمی را می‌توان بدون توجه به عمل میدان کشش محاسبه نمود.

۲- جهت استفاده از عمل میدان کشش وجود سخت‌کننده‌ها الزامی می‌باشد.

۳- استفاده از عمل میدان کشش باعث افزایش مقاومت برشی تیر می‌شود. در صورت استفاده از عمل میدان کشش در محاسبه مقاومت برشی عضو و برقراری رابطه $V_u > V_d$ استفاده از عمل میدان کشش بی‌فایده بوده و باید ضخامت جان افزایش یابد.

سخت‌کننده‌های عرضی

- **کاربرد**
  - $\frac{h}{t_w} \le 2.54\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$ ← لزومی به تعبیه سخت‌کننده عرضی نیست.
  - $\frac{h}{t_w} > 2.54\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$ ← می‌توان جهت تأمین مقاومت برشی از سخت‌کننده استفاده کرد.
- **الزامات ابعادی**
  - کنترل کمانش موضعی ← ورق‌های تشکیل دهنده قطعات سخت کننده باید رابطه زیر را ارضاء کنند.

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} \le 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}}$$

  - ممان اینرسی ← ممان اینرسی (I_{st}) قطعات سخت‌کننده باید محدودیت زیر را بر اساس مشخصات هر دو چشمه مجاور آن به صورت جداگانه تامین نماید.

$$I_{st} \ge I_{st2} + (I_{st1} - I_{st2})P_w$$

- **محدودیت اجرایی**

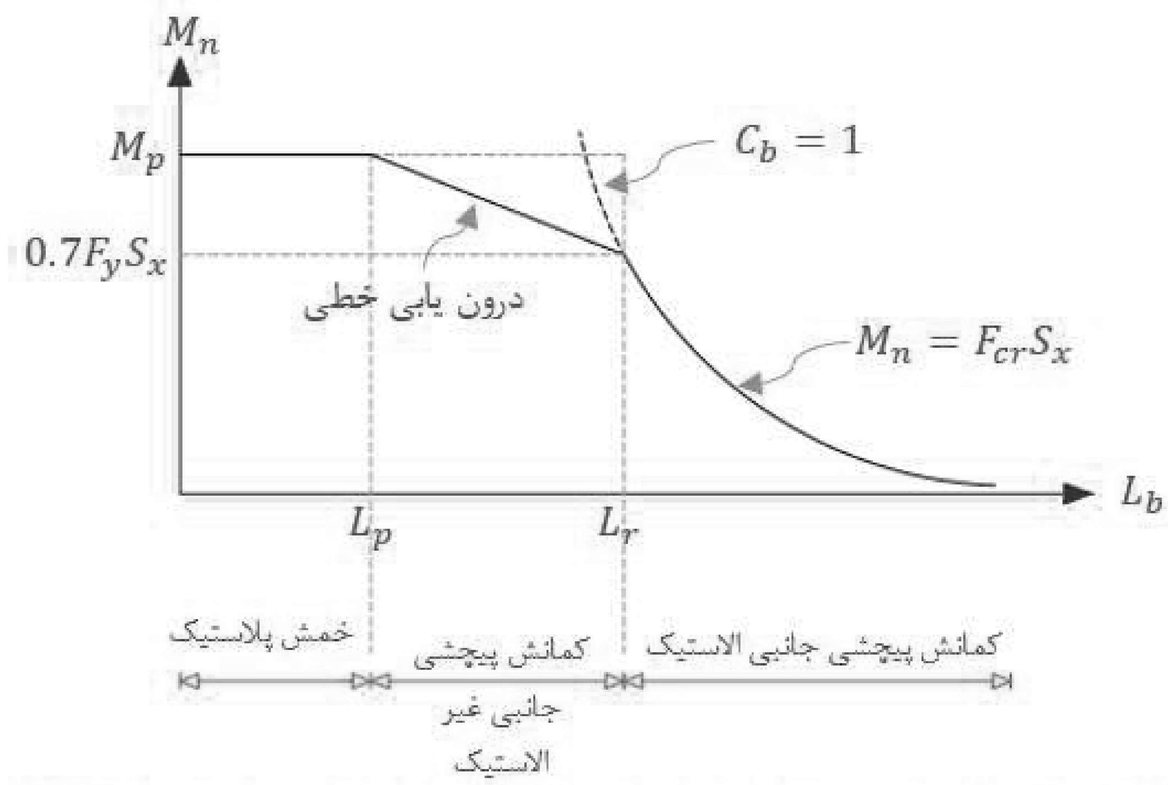
الف) در صورتی که به عمل تماسی مستقیم بین قطعه سخت‌کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا عکس العمل تکیه‌گاهی نیاز نباشد، می‌توان سخت‌کننده عرضی را به بال کششی جوش نداده یا حتی می‌توان قطعه سخت-کننده را نرسیده به بال کششی قطع کرد. در صورت عدم جوشکاری سخت‌کننده به بال کششی، جوش‌هایی که قطعه سخت‌کننده را به جان تیر متصل می‌کنند باید در فاصله‌ای نه کمتر از ۴ برابر و نه بیشتر از ۶ برابر ضخامت جان از بر جوش اتصال سخت‌کننده به جان و بال کششی ختم شوند.

ب) سخت‌کننده‌های عرضی باید به بال فشاری متصل گردند تا از بلند شدن بال در اثر پیچش جلوگیری به عمل آید.

پ) فاصله مرکز تا مرکز پیچ‌هایی که سخت‌کننده‌ها را به جان تیر متصل می‌کنند، نباید از ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر باشد. چنانچه برای اتصال سخت‌کننده‌ها به جان تیر از جوش‌های گوشه منقطع استفاده شود، نباید فاصله آزاد بین جوش-های منقطع از ۱۶ برابر ضخامت جان و ۲۵۰ میلی‌متر بیشتر شود.

طراحی خمشی

اصول طراحی خمشی



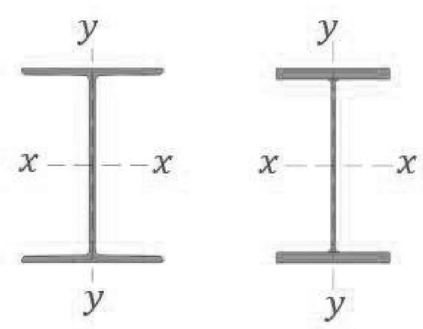
تغییرات مقاومت خمشی اسمی مقطع براساس تغییرات طول مهار نشده L_b برای $C_b = 1$

مقطع I شکل

الف

بند (۲-۵-۲-۱۰)

ویژگی
- مقطع فشرده
- مقطع با دو محور تقارن
- خمش حول محور قوی مقطع



مقاومت خمشی طراحی
- $LRFD \longrightarrow M_u \le \emptyset_b M_n$ و $\emptyset_b = 0.9$
- $ASD \longrightarrow M_u \le \dfrac{M_n}{\Omega_b}$ و $\Omega_b = 1.67$

مقاومت خمشی اسمی (M_n)

$$M_n = min\left(M_{n1} \text{ و } M_{n2}\right)$$

حالت حدی تسلیم(Y) $\longrightarrow$ $M_{n1} = M_p = F_yZ_x$

حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی
- $L_b \le L_p \longrightarrow$ لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیچشی-جانبی نمی‌باشد.
- $L_p < L_b \le L_r \longrightarrow M_{n2} = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0.7F_yS_x\right)\left(\dfrac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p$
- $L_b > L_r \longrightarrow M_{n2} = F_{cr}S_x \le M_p$