

فولاد ۲

(روش LRFD)

مدرس: مهندس احمد رضا جعفری

www.jafarii.blogfa.com

arjafari2004@gmail.com

کردآورنده: حسن رشیدی

cehrashidi@mail.yahoo.com

منبع: مبحث دهم ویرایش ۹۲

فهرست:

تیر ورق ها

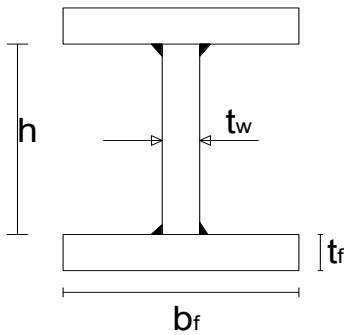
-اتصالات جوشی (مفصلی ت گیردار-وصله)

-اتصالات پیچی

-بادبند ها

تیر ورق ها

اعضایی که از اتصال چندین ورق به یکدیگر ساخته می شود . تیرورق ها می توانند اشکال مختلفی داشته باشند و به عنوان تیر ، ستون یا بادبند استفاده شوند . در این درس در مورد تیر ورق های I شکل که عمدتاً با دو بال مساوی می باشند و به عنوان تیر استفاده می شوند ، بحث می شود. تیر ورق ها بید برای ضوابط خمش و برش طراحی و کنترل شوند.



*ضوابط خمش

بال تیر ورق ها بر اساس نسبت عرض به ضخامت می تواند فشرده یا غیر فشرده باشد. جان آنها نیز می تواند فشرده یا غیر فشرده و در مورد تیرها با مقطع لاغر نیز باشد.

بالتی ر ورق:

$if \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	فشرده
$if \lambda_p < \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{k_c}{F_l}}$	غیر فشرده
$\frac{b_f}{2t_f} > \lambda_r$	بال (غیر مجاز)
$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$	
$F_l = 0.7F_y$	برای مقطع I شکل دوبال مساوی

جل تیر ورق:(بادو بال مساوی)

$if \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	فشرده
$if \lambda_p < \frac{h}{t_w} \leq \lambda_r = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	غیر فشرده
$\lambda_r < \frac{h}{t_w}$	جان لاغر

*ضوابط طراحی ورق دبرای خمش :

این ضوابط بر حسب آنکه جان و بال فشرده یا غیر فشرده یا لاغر باشند ، متفاوت است. در هر یک از این حالات باید از ضوابط بندهای زیر در مبحث دهم استفاده کرد.

بال	جان	شماره بند	
فشرده	فشرده	2-5-2-10	دو بال مساوی
غیر فشرده	فشرده	3-5-2-10	دو بال مساوی
فشرده یا غیر فشرده	فشرده یا غیر فشرده	4-5-2-10	دو بال مساوی یا غیر مساوی
فشرده یا غیر فشرده	لاغر	5-5-2-10	دو بال مساوی یا غیر مساوی

*در این ضوابط مقاطع با دو بال مساوی و جان لاغر ذکر می شود.

بند 5-5-2-10

رابطه ی کلی طراحی اعضای خمشی $\phi M_n \geq M_r$

ϕ : ضریب جزئی ایمنی در برابر خمش

M_n : مقاومت خمشی اسمی عضو

منظور از مقاومت اسمی این است که مقاومتی که عضو در حالت تنوریک بدون اعمال بار دارد.

M_r : لنگر خمشی وارد بر عضو در حالت ضریب دار

مقدار M_n در رابطه ی فوق باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت های حدی تسلیم بال فشاری ، کمانش پیچشی جانبی ، کمانش موضعی بال فشاری و تسلیم بال کششی و به شرح زیر در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم بال فشاری $M_n = R_{pg} F_y S_{xc}$

S_{xc} : اساس مقطع نسبت به بال فشاری

R_{pg} ضریب تقلیل مقاومت خمشی مطابق رابطه ی زیر :

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1$$

a_w : نسبت مساحت جان به مساحت بال فشاری

ب) کمانش جانبی پیچشی :

ب-1) اگر $L_b \leq L_p$ باشد لزومی به کنترل این ضابطه نیست.

L_b بزرگترین فاصله ی مهار های جانبی

ب-2) اگر $L_b > L_p$

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$L_p < L_b \leq L_r \implies F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3 F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$$L_b > L_r \implies F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

L_b : بیشترین فاصله بین مهار های جانبی

$$L_p = 1.1 \times r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad , \quad L_r = \pi \times r_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}} \quad , \quad r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{a_w}{6}\right)}}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} R_M$$

$R_M = 1$ دو بال مساوی

M_{max} : ماکسیمم لنگر در فاصله ی دو مهار جانبی

M_A : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی 5220 طول مهار نشده

M_B : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی 0.5 طول مهار نشده

M_C : قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه ی 0.75 طول مهار نشده

پ(ک)ن ش وضع ی بلا فش اری

پ-1) برای مقاطع با بال فشرده نیازی به رعایت این ضابطه نیست.

پ-2) مقاطع با بال غیر فشرده

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3 F_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq F_y \quad \text{و} \quad \lambda = \frac{b_{fc}}{2 t_{fc}}$$

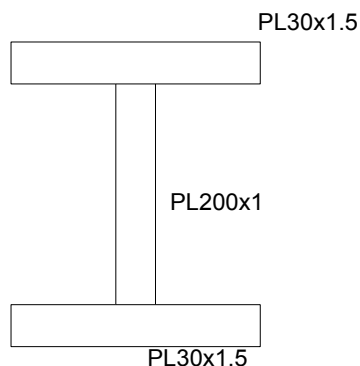
λ_{pf} : حد مجاز لاغری بال در حالت فشرده

λ_{rf} : حد مجاز لاغری بال در حالت غیر فشرده

ت(تسل)ی هگ ش ش ی

برای مقاطع دو بال مساوی کاربرد ندارد.

*مثال 1: مقطع زیر را از نظر فشردگی یا غیر فشردگی چک کنید.



بال:

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{30}{2 \times 1.5} 10 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 11.2 \quad \checkmark$$

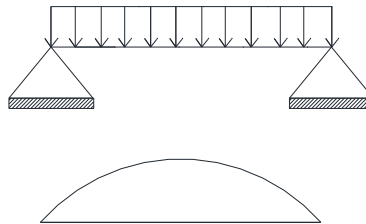
بال فشرده است.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200}{1} = 200$$

$$\lambda_p = 3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

$$\lambda_r = 5.7 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 169 \implies 200 > 169 \implies \text{جان لاغر}$$

*مثال 2: از مقطع مثال 1 برای تیری با بار گسترده یکنواخت با دهانه ی 05 متر استفاده می کنیم. حداکثر بار گسترده ی ضریب دار بر اساس معیار خمش چقدر می تواند باشد؟ (تیر در ابتدا و انتها و نقاط و دهانه دارای مهار جانبی در بال فشاری است. مقدار فرض کنید).



$$M_r = \frac{W_u L^2}{8} \quad , \quad \phi M_n \geq M_r$$

محاسبه ی M_n :

جان لاغر ، بال فشرده در نتیجه از بند 5-5-10

الف) تسلیم بال فشاری

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc}$$

$$S_{xc} = S_x = \frac{I_x}{c}$$

محاسبه ی I_x (محور خنثی در وسط مقطع)

$$I_x = \left[\frac{1}{12} \times 1 \times 200^3 \right] + 2 \times \left[\frac{1}{12} \times 30 \times 1.5^3 + (30 + 1.5) \times 100.75^2 \right] = 1580234 \text{ cm}^4$$

$$S_{xc} = \frac{1580234}{\frac{200}{2} + 1.5} = 15569$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1$$

$$a_w = \frac{200 \times 1}{30 \times 1.5} = 4.44 \leq 10 \quad \checkmark$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{4.44}{1200 + 300 \times 4.44} \left(\frac{200}{1} - 5.7 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} \right) = 0.94 \leq 1 \quad ok.$$

$$M_n = 0.94 \times 2400 \times 15569 = 351.2 \times 10^5 \text{ kgf} - \text{cm} = 351.2 \text{ tonf} - \text{m}$$

(ب) کمانش پیچشی ت جانبی:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad , \quad L_b = 10 \text{ m}$$

$$L_p = 1.1 \times r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad , \quad L_r = \pi \times r_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}} \quad , \quad r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{a_w}{6}\right)}}$$

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{a_w}{6}\right)}} = \frac{30}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{4.44}{6}\right)}} = 6.56$$

$$L_p = 1.1 \times 6.56 \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 213 \text{ cm}$$

$$L_b = 10 \text{ m} > 2.13 \text{ not good}$$

$$L_r = \pi \times 6.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{0.7 \times 2400}} = 729 \text{ cm}$$

$$L_b > L_r \implies M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$L_b > L_r \implies F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} = \frac{1 \times \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{\left(\frac{1000}{6.56}\right)^2} = 892 < F_y$$

$$M_n = 0.94 \times 892 \times 15569 = 130.54 \times 10^5 \text{ kgf} - \text{cm} = 130.54 \text{ t} - \text{m}$$

(پ) کمانش موضعی بال فشاری

بال فشرده است و نیازی به کنترل نیست.

ت) تسلیم بال کششی

مقطع دو بال مساوی می باشد و نیازی به کنترل این بخش نیست.

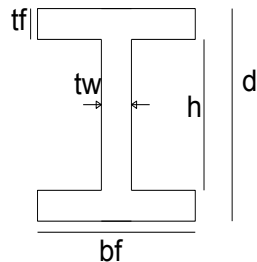
$$M_n = \min(351.2, 130.54) = 130.54 \text{ tonf} - \text{m}$$

$$\phi M_n \geq M_r$$

$$0.9 \times 130.54 \geq \frac{w_u \times 30^2}{8} \implies w_u \leq 1.04 \text{ ton/m}$$

w_u : بار ضریب دار

نمونه ۱: مثال ۱ و ۲ را برای حالتی حل نمائید که بال های تیر ورق $40 \times 1.5 \text{ cm}$ باشد و فاصله ی مهار های جانبی ۵m باشد. $C_b = 1$



$$\phi_v V_n \geq V_r$$

طراحی و کنترل تیر ورق ها برای برش

ϕ_v : ضریب ایمنی جزئی برای برش

V_n : مقاومت برشی اسمی $V_n = 0.6 F_y A_w C_V$

V_r : ماکسیمم نیروی برشی ضریب دار

A_w : مساحت جان برابر $A_w = d \times t_w$

الف) برای مقاطع نورد شده با $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \implies C_V = 1, \phi_v = 1$

ب) برای جان سایر مقاطع به استثنای مقطع لوله ای

ب-۱) اگر $\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \implies C_V = 1$

ب-۲) اگر $1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} < 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \implies C_V = \frac{1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}}$

ب-۳) اگر $\frac{h}{t_w} \geq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \implies C_V = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \times F_y}$

در روابط بالا k_v ضریب کمانش برشی جان می باشد و به شرح زیر محاسبه می شود.

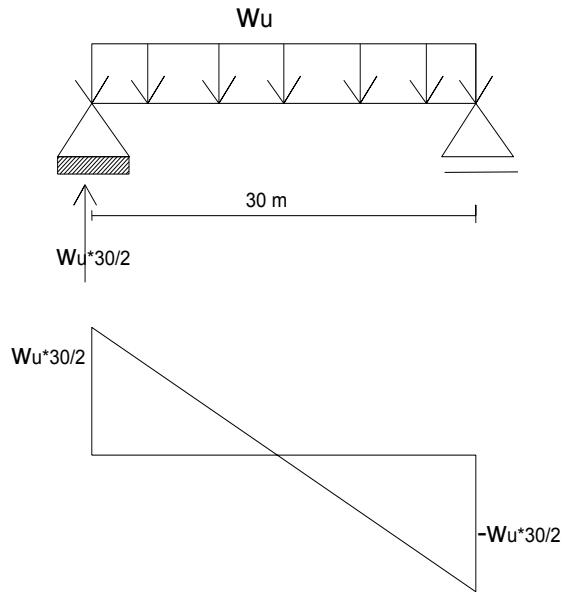
۱- برای جان سخت شده (بدون سخت کننده عرضی) با $\frac{h}{t_w} \leq 260$ مقدار k_v برابر ۵ می باشد.

۲- در صورت وجود سخت کننده عرضی

$$\begin{cases} k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} & \text{if } \frac{a}{h} \leq \min\left(3, \frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}\right) \\ k_v = 5 & \text{if } \frac{a}{h} > \min\left(3, \frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}\right) \end{cases}$$

a فاصله ی مرکز به مرکز سخت کننده های عرضی جان در راستای طولی تیر

مثال ۳: در مثال ۲ با فرض عدم استفاده از سخت کننده ی عرضی جان حداکثر بار ضریب دار را با توجه به معیار برش محاسبه نمائید. واحد kgf, m



$$\phi_v V_n \geq V_r$$

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_V$$

$$A_w = d \times t_w = (200 + 2 \times 1.5) \times 1 = 203 \text{ cm}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 \leq 200 \implies k_v = 5$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 > 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1 \sqrt{\frac{5 \times 2.1 \times 10^6}{2400}} =$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 \geq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.37 \times \sqrt{\frac{5 \times 2.1 \times 10^6}{2400}} = 90.6$$

$$C_V = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \times F_y} = \frac{1.51 \times 5 \times 2.1 \times 10^6}{200^2 \times 2400} = 0.164$$

مقطع مورد شده (تیر ورق)

$$V_n = 0.6 \times 2400 \times 203 \times 0.164 = 47940$$

$$\phi_v = 0.9$$

مقدار ϕ_v برای مقاطع مورد شده به شرط $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برابر 1 و در بقیه ی موارد برابر 520 است.

$$\phi_v V_n = 0.9 * 47940 = 43146 \geq V_r = 15w_u \implies w_u \leq 2876 \text{ kgf/m}$$

مثال 4: اگر در مثال قبل بار ضریب دار برابر 4000 باشد مطلوبست تعیین فواصل سخت کننده ها در دو انتهای طولی

$$w_u = 4000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} > 2876 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

مقطع بدون وجود سخت کننده جوابگوی برش نیست.

$$V_r = \frac{4000 \times 30}{2} = 60000 \text{ kgf}$$

$$\phi_v V_n \geq V_r = 60000$$

$$0.9 \times (0.6 \times 2400 \times 203 \times C_v) \geq 60000 \implies C_v \geq 0.228$$

محاسبه ی C_v برای حالتی که از سخت کننده های عرضی استفاده شده باشد.

$$\begin{cases} k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} & \text{if } \frac{a}{h} \leq \min\left(3, \frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}\right) \\ k_v = 5 & \text{if } \frac{a}{h} > \min\left(3, \frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}\right) \end{cases}$$

فرض می کنیم ک حالت اول برقرار است. در انتها پس از محاسبه ی چک می کنیم ک فرض اولیه صحیح است یا خیر.

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{200}\right)^2}$$

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \times F_y} = \frac{1.51 \times k_v \times 2.1 \times 10^6}{200^2 \times 2400} \geq 0.228 \implies k_v \geq 6.9$$

در رابطه ی قبل را می گذاریم.

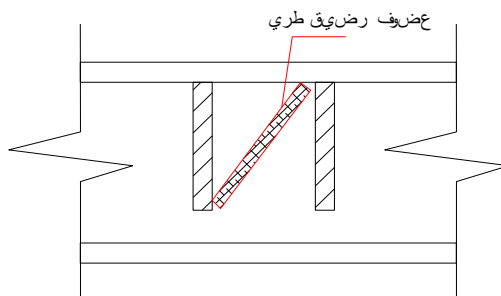
$$5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{200}\right)^2} \geq 6.9 \implies a \leq 324 \text{ cm}$$

کنترل مقدار بر اساس محدودیت زیر:

$$\frac{a}{h} = \frac{324}{200} = 1.62 \leq \min\left(3, \left(\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\right)^2\right) =$$

اگر صدق نمیکرد مقدار را باید تا حدی کاهش می دادیم که در رابطه ی فوق صدق نماید.

مقاومت برشی اعضا با توجه به اثر میدان کششی



فضای بین دو سخت کننده ی متوالی پنل یا چشمه نام دارد.

در تیر های دارای سخت کننده ی عرضی در فاصله ی دو سخت کننده ی متوالی قسمتی از جان پنل به صورت قطری می تواند به عنوان یک عضو خریابی عمل نماید و قسمتی از برش را به صورت نیروی کششی در خود تحمل نماید در این صورت می توان مقدار برش را به صورت نیروی کششی در خود تحمل نماید. در این صورت میتوان مقدار برش مقاوم پنل را مقداری افزایش داد. استفاده از عمل میدان کشش دارای محدودیت های زیر است:

حالت پیکه اسبقاده از عمل میدان کشش مجزئست.

الف) در دو چشمه ی ابتدا و انتها

$$\text{در چشمه های با } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right]^2 \text{ یا } \frac{a}{h} > 3$$

$$\text{پ) در اعضایی که } \frac{2A_w}{(A_{fc}-A_{ft})} > 2.5$$

$$\text{ت) در اعضایی که } \frac{h}{b_{ft}} > 6 \text{ یا } \frac{h}{b_{fc}} > 6 \text{ می باشد}$$

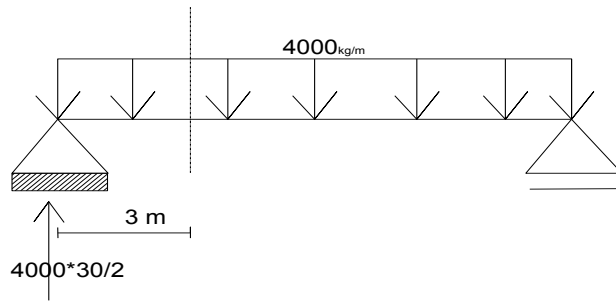
مقاومت برشی اسمی با توجه به عمل میدان کششی

در صورت مجاز بودن استفاده از عمل میدان کششی مقاومت برشی اسمی باید به شرح زیر محاسبه شود.

$$\text{الف) } \text{if } \frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \implies V_n = 0.6 F_y A_w$$

$$\text{ب) } \text{if } \frac{h}{t_w} > 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \implies V_n = 0.6 F_y A_w \left[C_V + \frac{1 - C_V}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2}} \right]$$

مثال 5: در مثال قبل با فرض آنکه فاصله ی سخت کننده ها در اولین پانل 0 متر باشد برای پانل دوم با لحاظ کردن اثر میدان کشش با فرض اینکه استفاده از این اثر مجاز باشد فاصله ی سخت کننده ها به چه فاصله ای می تواند افزایش یابد؟



$$V_r = 60000 - 4000 \times 3 = 48000 \text{ kgf}$$

$$\phi_V V_n \geq V_r$$

$$\phi_V = 0.9$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 > 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

چون مقدار k_v نامشخص است صحت نامساوی فوق قابل تعیین نیست. k_v محاسبه شده در مثال قبل مربوط به پانل اول است. در پانل دوم ممکن است عدد دیگری باشد. با فرض اینکه رابطه ی فوق برقرار باشد خواهیم داشت :

$$V_n = 0.6 F_y A_w \left[C_V + \frac{1 - C_V}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right]$$

در انتها باید صحت فرض بالا کنترل شود.

در این رابطه نیز C_V و a مجهول است.

برای حل مساله به روش سعی و خطا عمل می کنیم یعنی یک مقدار برای a فرض می کنیم و بر اساس آن محاسبات را انجام می دهیم اگر نتیجه نامناسب بود این مقدار را اصلاح می کنیم. برای اینکه اثر میدان کشش قابل استفاده باشد نامساوی زیر باید برقرار باشد:

$$\frac{a}{h} \leq \min \left(3, \left(\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \right)^2 \right) = \min(3, 1.69) = 1.69$$

$$\frac{a}{200} \leq 1.69 \implies a \leq 338 \text{ cm} \implies a = 335 \text{ cm}$$

نکته : استفاده از مقدار بزرگتر نیز مجاز است اما در این صورت دیگر مجاز به استفاده اثر میدان کشش نخواهیم بود.

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{335}{200}\right)^2} = 6.78$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 > 1.37 * \sqrt{\frac{6.78 \times 2.1 \times 10^6}{2400}} = 105.5$$

$$C_V = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \times F_y} = \frac{1.51 \times 6.78 \times 2.1 \times 10^6}{200^2 \times 2400} = 0.224$$

$$\frac{h}{t_w} = 200 > 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1 \sqrt{\frac{6.78 \times 2.1 \times 10^6}{2400}} = 84.7$$

$$V_n = 0.6 F_y A_w \left[C_V + \frac{1 - C_V}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] = 0.6 \times 2400 \times 203 \times \left[0.224 + \frac{1 - 0.224}{1.15 \sqrt{1 + \left(\frac{335}{200}\right)^2}} \right] = 166593 \text{ kgf}$$

$$\phi_V V_n = 0.9 \times 166593 = 149934 \geq V_r = 48000 \text{ ok.}$$

* به عنوان تمرین بررسی شود که در پِنل فوق شرایط اعمال اثر میدان کشش برقرار بوده است یا خیر.

تمرین ۱: در مثال قبل بدون لحاظ کردن اثر میدان کشش با سعی و خطا حداکثر فاصله ی بین سخت کننده ها را در پانل دوم بدست آورید . برای سعی اول از عدد 350 استفاده کنید . و مقادیر را در فواصل 0.5 متر افزایش دهید.

تمرین ۲: در تمرین قبل از چه نقطه ای از تیر به بعد نیازی به وجود سخت کننده نمی باشد؟

راهنمایی: باید بر اساس عدم وجود سخت کننده بدست آورده می شود سپس بر اساس نمودار برش نقطه ای از تیر که مقدار V_r با عدد فوق برابر است بدست می آید.

ضوابط قطعات سخت کننده

در موارد زیر به سخت کننده نیاز می باشد.

$$1- \quad \frac{h}{t_w} > 260$$

$$2 \text{ وقتی که مقاومت برشی تیر بدون وجود سخت کننده در حالت } \sqrt{\frac{E}{F_y}} > 2.46 \frac{h}{t_w} \text{ به اندازه کافی نیست}$$

0- در زیر بارهای متمرکز قابل توجه . در این حالت سخت کننده فشاری گفته می شود که جلوتر ضوابط آن مطرح می شود.

ضوابط عمومی برای سخت کننده ها

سخت کننده ها در حالت عمومی می توانند به حالت تک در یک طرف جان یا جفت در هر دو طرف جان تعبیه شوند . در مورد سخت کننده های فشاری معمولاً از حالت جفت استفاده می شود.

ممان اینرسی I_{st} در قطعات سخت کننده ی جفت نسبت به محور مرکزی جان تیر و در قطعات سخت کننده ی تک نسبت به محل تماس سخت کننده با ورق جان باید محدودیت زیر را تامین نماید.

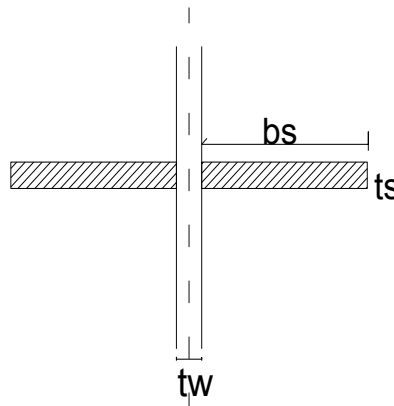
$$I_{st} \geq b t_w^3 j$$

$$b = \min(a, h)$$

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

$$I_{st} = \frac{b_s^3 t_s}{12} + b_s t_s \left(\frac{b_s}{2}\right)^2 = \frac{b_s^3 t_s}{3}$$

حالت جفت:



$$I_{st} = \frac{t_s}{12} (2b_s + t_w)^3 - \frac{1}{12} t_s t_w^3$$

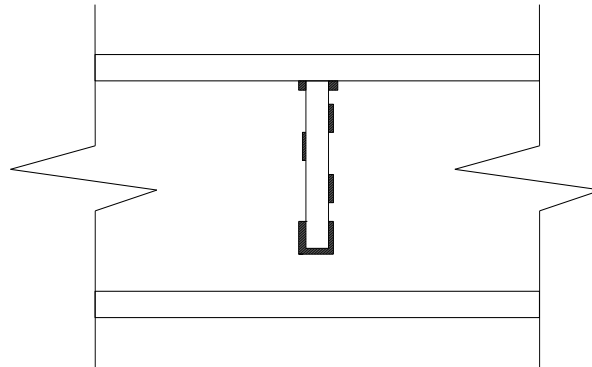
اگر به تماس مستقیم سخت کننده به بال کششی جهت انتقال بارهای متمرکز نیاز نباشد می توان سخت کننده را به بال کششی جوش نداد. و سخت کننده را در نزدیک بال کششی قطع نمود. سخت کننده باید به بال فشاری جوش شود و به جان تیر نیز باید به صورت پیوسته یا منقطع جوش شود. جوش سخت کننده به جان تیر در حالتی که از عمل میدان کشش استفاده شده باشد باید قادر باشد در هر سانتی متر اتصال سخت کننده به جان تیر نیروی زیر را منتقل نماید.

$$f_{nv} = 1.6h \sqrt{\left[\frac{1500F_y}{E}\right]^3}$$

در صورتی که بخواهیم از جوش منقطع استفاده کنیم فواصل آزاد بین قطعات جوش نباید از 11 برابر ضخامت جان و 250 mm هر کدام که کوچکتر است تجاوز نماید.

نکته: در کلیه ی جوش های منقطع طول هر تکه ی جوش حداقل باید 4 برابر بعد جوش و حداقل 4 cm باشد) هر کدام که بیشتر است)

نکته: جوش اتصال سخت کننده به جان تیر در فاصله ای نه کمتر از 4 برابر ضخامت جان و نه بیشتر از 1 برابر ضخامت جان در مجاورت بال کششی باید قطع شود.



در صورت استفاده از عمل میدان کشش ضوابط زیر به صورت اضافه در طرح سخت کننده ها باید رعایت شود.

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yst}}}$$

$$I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right]$$

$$I_{st} = b \times t_w^3 \times j$$

I_{st1} حداقل ممان اینرسی مورد نیاز بدون توجه به عمل میدان کشش

I_{st2} حداقل ممان اینرسی مورد نیاز بر اساس اثر میدان کشش

$$I_{st2} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1/3}}{40} \left[\frac{F_{yw}}{E} \right]^{1.5}$$

F_{yw} تنش تسلیم جان

$$\rho_{st} = \max \left(1, \frac{F_{yw}}{F_{yst}} \right)$$

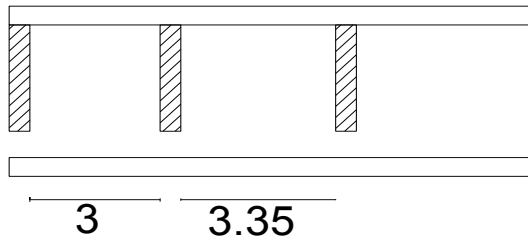
اگر مصالح سخت کننده و جان تیر یکسان باشد $\rho_{st} = 1$ خواهد بود

V_u برش ماکسیمم ضریب دار در پنل های مجاور سخت کننده

V_c مقاومت برشی موجود در چشمه های مجاور سخت کننده بدون اثر میدان کشش (مقدار کوچکتر لحاظ می شود).

V کوچکترین مقاومت برشی موجود در چشمه های مجاور اثر میدان کشش

مثال 6: در مثال قبل مطلوبست طراحی سخت کننده ی عرضی که در انتهای پانل اول و در ابتدای پانل دوم قرار دارد.



فرض: سخت کننده تک باشد

ضوابط عمومی: بدون توجه به اثر میدان کشش

$$I_{st} \geq b \times t_w^3 \times j$$

$$b = \min(a, h) = \min(335, 200) = 200, t_w = 1$$

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

$$j = \frac{2.5}{\left(\frac{335}{200}\right)^2} - 2 = -1.1 \geq 0.5 \implies j = 0.5$$

$$I_{st} \geq 200 \times 1^3 \times 0.5 = 100 \text{ cm}^4$$

$$I_{st} = \frac{b_s^3 t_s}{3}$$

$$\text{فرض: } t_s = 1 \implies \frac{b_s^3}{3} \geq 100 \implies b_s \geq 6.7 \text{ cm } b_s = 7 \text{ cm}$$

تعیین ارتفاع سخت کننده

$$h - 6t_w \leq h_s \leq h - 4t_w$$

$$200 - 6 \times 1 = 194 \leq h_s \leq 200 - 4 \times 1 = 196$$

$$h_s = 195 \text{ cm}$$

نکته: ارتفاع سخت کننده میتواند تا ارتفاع جان افزایش یابد اما به شرطی که آن اضافه ارتفاع به جان تیر جوش نشود.

ضوابط اضافه با توجه به اثر میدان کشش

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yst}}}$$

$$\frac{7}{1} = 7 \leq 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 16.6 \text{ ok}$$

$$I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right]$$

$$I_{st} = \frac{b_s^3 t_s}{3} = \frac{7^3 \times 1}{3} = 114.3$$

$$I_{st1} = 100$$

$$I_{st2} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1/3}}{40} \left[\frac{F_{yw}}{E} \right]^{1.5}$$

$$I_{st2} = \frac{200^4 \times 1}{40} \left[\frac{2400}{2.1 \times 10^6} \right]^{1.5} = 1545.4$$

$V_u = 60000 \text{ kg}$ حداکثر برش در دو پانل مجاور است که در این جا در محل تکیه گاه رخ می دهد.

در این جا پانل دوم که فاصله ی سخت کننده ها بیشتر است مقاومت کمتری دارد.

این مقدار به شرح زیر محاسبه می شود.

$$V_{c1} = \varphi_v V_n$$

$$V_{c1} = [0.6 F_y A_w C_v] \times \varphi_v$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{335}{200}\right)^2} = 6.78$$

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \times F_y} = \frac{1.51 \times 6.78 \times 2.1 \times 10^6}{200^2 \times 2400} = 0.224$$

$$V_{c1} = 0.6 \times 240 \times 203 \times 0.224 = 65480 \times 0.9 = 58932$$

$$V_{c2} = 166593 \times 0.9 = 149934$$

V_{c2} مشابه V_{c1} اما با اثر میدان کشش باز هم پیل دوم مقاومت کمتری دارد.

$$I_{st} = 114.3 \geq 100 + (1545.4 - 100) \left[\frac{60000 - 58932}{149934 - 58932} \right] = 117$$

ابعاد را اصلاح می کنیم $b_s \times t_s = 8 \times 1$.

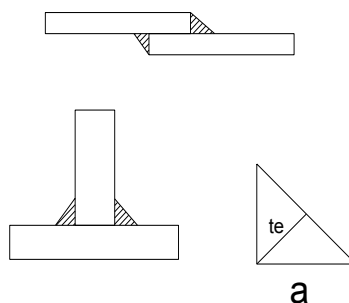
$$I_{st} = \frac{8^3 \times 1}{3} = 171 \geq 117 \text{ ok}$$

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{8}{1} = 8 \leq 16.6 \text{ ok.}$$

*تمرین: مثال قبل را با استفاده از سخت کننده جفت دوباره حل کنید.

نکاتی در مورد طراحی جوش ها

انواع جوش: 1- گوشه 2- نفوذی (شبیاری) 0- انگشتانه 4- کام



عمده ی جوش های مورد استفاده در سازه های فلزی جوش گوشه می باشد. این جوش حالت مثلثی شکل دارد.

$$t_e = \frac{a}{\sqrt{2}} = 0.707a$$

مقاومت جوش: ϕR_n

برای حالتی که جوش تحت برش باشد $\phi = 0.75$

یعنی نیرو در راستای طولی جوش باشد.

R_n مقاومت اسمی جوش

صفحه ی جوش صفحه ای است که یک ضلع آن بعد موثر جوش و ضلع دیگر آن طول جوش است. اگر نیرو در این صفحه باشد برای جوش حالت برشی دارد.

R_n این مقاومت یکی بر اساس مصالح فلز جوش و یکی بر اساس مصالح فلز اولیه (پایه) باید محاسبه شود که مینیمم این دو مقدار برابر مقاومت جوش خواهد بود.

معمولا محاسبه بر اساس فلز جوش انجام می شود. با رعایت یکسری ضوابط اضافه مقاومت لازم برای فلز پایه نیز تامین می شود.

مقدار R_n بر اساس مصالح جوش:

$$R_n = \phi F_{nw} A_{we}$$

$$A_{we} = l_w \times t_e = 0.707 l_w \times a$$

$$F_{nw} = 0.6 \times F_{ue}$$

$$E60 \text{ الکتروود } F_{ue} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$E70 \text{ الکتروود } F_{ue} = 4900 \text{ kg/cm}^2$$

A_{we} سطح مقطع موثر جوش

l_w طول جوش

β ضریب بازرسی جوش به شرح زیر :

1- در صورت انجام آزمایشهای غیرمخرب نظیر رادیو گرافی و اولتراسونیک $\beta = 1$

2- در صورت انجام جوش در کارخانه و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش $\beta = 0.85$

0-در صورت انجام جوش در محل و بازرسی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش $\beta = 0.75$

اگر $\beta = 0.75$ و الکتروود E60

$$R_n = 0.75 \times (0.6 \times 4200) \times 0.707 l_w \times a$$

$$R_n = 1336 l_w a$$

مقاومت اسمی جوش با طول یک سانتی متر :

$$R_{wn} = 1336 a$$

الکتروود استفاده شده در جوشکاری باید بافلز مادر یکسان باشد.

برای این منظور باید به جدول 10-2-9-4 مراجعه نمود.

مثلاً الکتروود E60 برای قطعات تا ضخامت 15 mm و F_y تا 300 Mpa قابل استفاده است.

الکتروود E70 برای قطعات با ضخامت بیش از 15 mm و F_y تا 380 Mpa قابل استفاده است.

حداقل و حداکثر بعد جوش در جوش گوشه

این دو وابسته به ضخامت قطعه ی نازک تر می باشند. حداقل بعد جوش از جدول 10-2-9-2 قابل استخراج است.

ضخامت قطعه ی نازک تر	حداقل بعد جوش گوشه
تا 6 میلی متر	3 mm
بیش از 6 تا 12 میلی متر	5 mm
بیش از 12 تا 20 میلی متر	6 mm
بیش از 20 میلی متر	8 mm

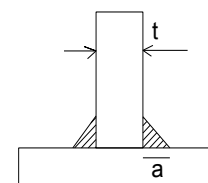
حداکثر بعد جوش در قطعات با ضخامت 6 mm یا کمتر برابر ضخامت قطعه و در قطعات با ضخامت بیش از 6 mm میلی متر برابر ضخامت قطعه منهای دو میلی متر است.

* همچنین حداکثر بعد و ش باید به گونه ای باشد که مقاومت جوش از مقاومت فلز پایه بیشتر نشود. برای این منظور رابطه ی زیر باید برقرار شود.

$$\phi R_{wn}(\text{جوش}) \leq \phi R_n(\text{فلز پایه})$$

رابطه ی فوق در صورتی که حداکثر بعد جوش ذکر شده در قسمت قبل رعایت گردد و الکتروود نیز متناسب با فلز مادر باشد. در قطعاتی که از یک سمت جوش می شوند عملاً رعایت می شود.

اگر قطعه از دو سمت جوش شود این رابطه باید جداگانه کنترل گردد.



نم بُرای و فولاد 37 st و $\beta = 0.75$ کت رود E60 دایم :

$$\phi R_n = 0.75[\beta F_{nw} A_{we}] = 0.75[0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 2 \times l_w \times 0.707a] =$$

مثال 7: در مثال قبل جوش اتصال سخت کننده به جان تیر را طراحی نمائید. الکتروود را E 60 و جوش را کارگاهی با کنترل چشمی فرض نمائید.

نیرویی که جوش باید در واحد طول از سخت کننده به جان منتقل نماید

$$f_{nv} = 1.6h \sqrt{\left[\frac{1500F_y}{E}\right]^3} = 1.6 \times 200 \sqrt{\left[\frac{1500 \times 2400}{2.1 \times 10^6}\right]^3} = 718 \frac{kg}{cm}$$

تعیین بعد جوش:

ابتدا محدودیت حداقل و حداکثر بعد جوش را مشخص می کنیم. این دو مقدار تابع ورق نازک تر است. در اینجا سخت کننده و جان تیر هر دو 10 mm ضخامت دارند پس مقدار کمتر همان 10 mm است.

$$a_{min} = 5 \text{ mm}, a_{max} = 10 > 6 \implies a_{max} = 10 - 2 = 8 \text{ mm}$$

با فرض جوش سراسری سخت کننده به جان، چون جوش از دو طرف خواهد بود بعد جوش از 0.75 یا 75% ضخامت سخت کننده باید کمتر اختیار گردد.

$$a \leq 0.75 \times 10 = 7.5 \text{ mm}$$

در صورت جوش منقطع به صورت زیگزاگ این محدودیت لازم نیست در نظر گرفته شود. در ابتدا فرض می کنیم جوش سراسری با بعد جوش حداقل باشد.

$$\phi R_n = 0.75[\beta F_{nw} A_{we}] = 0.75[0.75 \times 0.6 \times F_u \times 2 \times l_w \times 0.707a] = 1002 l_w$$

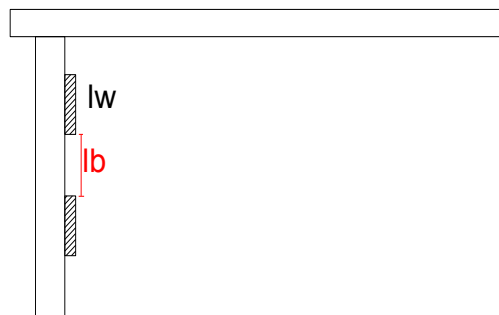
برای طول واحد: $\phi R_n = 1002 \frac{kg}{cm}$

$$\phi R_n \geq 718 \text{ ok.}$$

اگر کوچکتر بود بعد جوش را تا حداکثر مجاز اضافه می کردیم و محاسبات باید تکرار می شد.

*چون مقدار مقاومت موجود از مجاز بیشتر است می توانیم از جوش منقطع نیز استفاده کنیم.

فاصله ی قطعات جوش:



$$l_b \leq \min(25, 16t_w) = 16 \implies l_b = 15 \text{ cm}$$

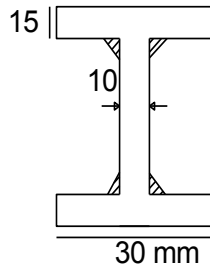
برای محاسبه ی طول قطعات جوش از تناسب استفاده می کنیم.

$$\frac{l_w}{l_b + l_w} = \frac{718}{1002}$$

$$1002l_w = 718(15 + l_w) \Rightarrow l_w = 37.9 = 40 \text{ cm}$$

$$40 \text{ cm} > \max(4a, 4 \text{ cm}) = 4 \text{ cm}$$

مثال ۸ : در مثال قبل مطلوبست طراحی جوش اتصال بال به جان تیر ورق



این جوش را در ابتدا یک جوش سراسری با حداقل بعد جوش در نظر می گیریم. $a_{min} = 5 \text{ mm}$

نیروی ماکسیمم موجود در محل اتصال بال به جان از رابطه ی جریان برش $\frac{V_u Q}{I_{NA}}$ محاسبه می شود.

$$V_u = 60000, Q = (30 \times 1.5) \times \left(\frac{200 + 1.5}{2} \right) = 4534, I_{NA} = 1580234$$

$$\frac{V_u Q}{I_{NA}} = \frac{60000 \times 4534}{1580234} = 172 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\phi R_{wn} = (0.75 \times 1336a) \times 2 = 1002 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} > 172 \text{ ok.}$$

چون اختلاف زیاد است بهتر است جوش منقطع استفاده کنیم. فاصله ی آزاد بین قطعات منقطع جوش نباید از 11 برابر ضخامت قطعه ی نازک تر در حالت فشاری و 24 برابر این ضخامت در حالت کششی بیشتر شود.

در جهت اطمینان بال فشاری را لحاظ می کنیم.

$$16 \times 1 = 16 \text{ cm}, l_b = 15 \text{ cm}$$

مشابه حالت قبل از تناسب استفاده می کنیم.

$$\frac{l_w}{l_b + l_w} = \frac{172}{1002} \Rightarrow l_w = 3.1 \text{ cm}$$

$$3.1 \leq \max(4 \times a, 4) = 4 \text{ not good}$$

$$l_w = 5 \text{ cm}$$

الزامات ویژه ی بال ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بار های متمرکز

بار متمرکز می تواند به صورت یک بار خارجی یا واکنش تکیه گاهی باشد. در محل بارهای متمرکز باید ضوابط مختلفی کنترل شود. که مهمترین آنها شامل ضابطه ی تسلیم موضعی جان و ضابطه ی لهیدگی جان است.

تسلیم موضعی جان $\phi R_n \geq R_r$

R_r بار متمرکز ضریب دار. $\phi = 1$.

R_n مقاومت اسمی به شرح زیر :

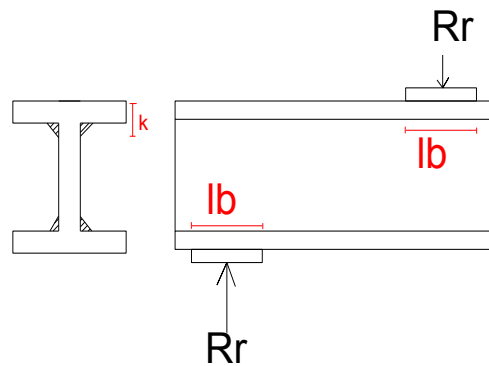
اگر بار متمرکز در فاصله ای بزرگتر از d از ابتدا و انتهای عضو وارد شود:

d : ارتفاع مقطع

$$R_n = F_{yw} t_w (5k + l_b)$$

در غیر این صورت:

$$R_n = F_{yw} t_w (2.5k + l_b)$$



l_b طول اثر بار در راستای طولی تیر

در مورد واکنش تکیه گاهی : $l_b \geq k$

لهیدگی جان:

$$\phi R_n \geq R_r \implies \phi = 0.75$$

اگر محل اثر بار دور تر از $\frac{d}{2}$ تا $2\frac{d}{2}$ انتهای تیر باشد

$$R_n = 0.8 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

در غیر این صورت :

اگر: $\frac{l_b}{d} \leq 0.2$

$$R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

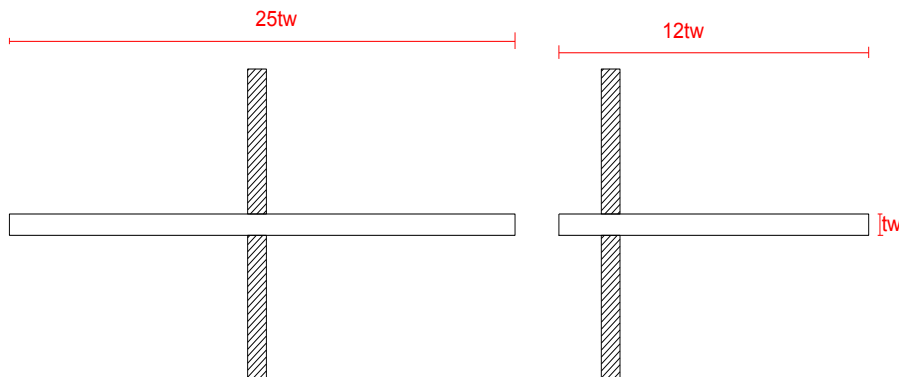
$$\frac{l_b}{d} > 0.2 \text{ اگر}$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + \left(4 \frac{l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

اگر ضوابط فوق ارضا نشد باید از یک جفت سخت کننده در زیر محل اثر بار در داخل جان تیر استفاده نمود. سخت کننده ها به بال تحت بار متمرکز متصل شده و حداقل تا نصف ارتفاع جان باید ادامه یابند. طراحی این سخت کننده ها باید بر اساس نیرویی معادل اختلاف R_n و ϕR_n انجام شود. اگر بار متمرکز کششی باشد طراحی سخت کننده مطابق ضوابط اعضای کششی و اگر فشاری باشد مطابق ضوابط اعضای فشاری خواهد بود.

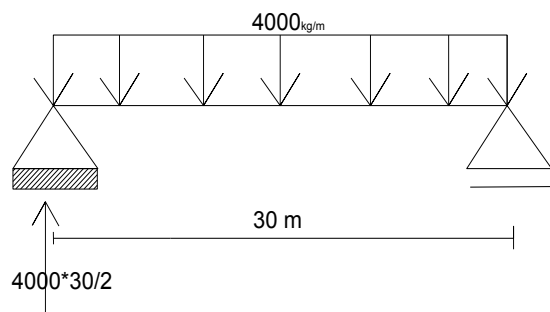
جوش اتصال سختت کننده به جان نیز باید برای انتقال نیرویی که هر سخت کننده برای آن طراحی می شود انجام گیرد.

در مورد سخت کننده های فشاری می توان روش زیر را جهت طراحی در نظر گرفت. در این حالت تمام نیروی متمرکز را به یک ستون فرضی با ابعاد زیر اعمال می کنیم. این ستون فرضی شامل سخت کننده ها و بخشی از جان تیر می باشد. این ستون فرضی باید بر اساس ضوابط اعضای فشاری طراحی شود. طول موثر این ستون $0.75h$ فرض می شود. فرض می شود کمانش تنها حول محور طولی گذرنده از مرکز جان تیر انجام می شود.



$$\lambda = \frac{0.75h}{r}$$

مثال 9: در مثال قبل در محل تکیه گاه کنترل نمائید که برای انتقال واکنش تکیه گاهی نیاز به سخت کننده فشاری می باشد یا خیر؟



$$\frac{4 \times 30}{2} = 60 \text{ t} \text{ واکنش تکیه گاهی:}$$

کنترل بار براساس تسلیم موضعی جان

موقعیت بار در فاصله ی کمتر از d از انتهای تیر d=203

$$\varphi_n R_n \geq R_r \implies \varphi_n = 1, R_r = 60t, t_w = 1 \text{ cm}$$

$$R_n = F_{yw} t_w (2.5k + l_b)$$

$$k = a + t_f = 0.5 + 1.5 = 2 \text{ cm}$$

l_b طول تکیه گاه بار متمرکز : 1- برای واکنش تکیه گاهی اگر این طول در صورت مساله داده نشده بود برابر k . 2- برای نیروهای متمرکز اگر این طول در صورت مساله داده نشده بود برابر صفر است.

$$R_n = 2400 \times 1(2.5 \times 2 + 2) = 16800 < 60000 \text{ not good}$$

نیاز به سخت کننده ی فشاری یا باید طول اتکای بار متمرکز را افزایش داد.

هرچند که نیاز به سخت کننده فشاری است اما ضابطه لهیدگی جان را برای آن کنترل می کنیم.

$$\varphi_n R_n \geq R_r \implies \varphi_n = 0.75, R_r = 60000 \frac{kg}{cm^2}$$

محل بار متمرکز در فاصله ای کمتر از $\frac{d}{2}$ از انتهای تیر

$$\frac{l_b}{d} = \frac{2}{203} = 0.01 \leq 0.2 \implies \text{استفاده از فرمول اول}$$

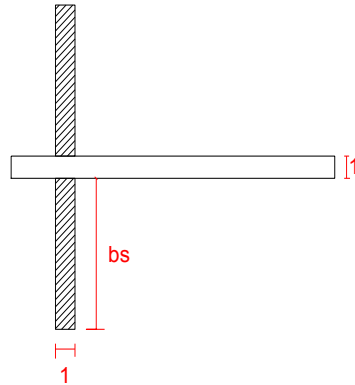
$$R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$R_n = 0.4 \times 1^2 \left[1 + 3 \times \frac{2}{203} \left(\frac{1}{1.5} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 1.5}{1}} = 35336$$

$$\varphi_n R_n = 0.75 \times 35336 = 26502 < 60000 \text{ not good}$$

نیاز به سخت کننده فشاری یا نیاز به افزایش طول اتکای بار متمرکز

مثال 01- در مثال قبل مطلوبست طراحی سخت کننده فشاری در محل تکیه گاه سخت کننده فشاری مثل یک ستون تحت فشار طراحی می شود. در مقطع این ستون فرضی قسمتی از جان نیز در نظر گرفته می شود . طول این قسمت از جان در محل تکیه گاه 12 برابر ضخامت جان و برای بار های متمرکز میانی 20 برابر ضخامت جان است. ستون برای کماتش حول محور گذرنده از مرکز جان طراحی می شود.



$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\phi_C P_n \geq P_r, \phi_C = 0.9$$

بر اساس معیار کمانش خمشی

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$A_g = 2 \times b_s \times t_s + 12 \times 1 =$$

$$F_{cr} = 2000 \frac{kgf}{cm^2} \text{ برای برابری } 2000$$

$$\phi_C P_n = 0.9 \times 2000 \times A_g \geq 60000 \Rightarrow A_g \geq 33.3$$

$$2 \times b_s \times t_s + 12 \geq 33.3 \Rightarrow b_s \times t_s \geq 10.65$$

$$\text{فرض: } b_s = 10, t_s = 1.2 \Rightarrow b_s \times t_s = 12 > 10.65 \text{ ok}$$

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{10}{1.2} = 8.3 \leq 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 16.6 \text{ ok.}$$

عرض سخت کننده باید به گونه ای در نظر گرفته شود که از بال تیر بیرون نزنند.

$$2 \times b_s + t_w \leq b_f$$

$$2 \times 10 + 1 = 21 \leq 30 \text{ ok}$$

محاسبه ی دقیق F_{cr}

$$\lambda = \frac{kl}{r} = \frac{0.75h}{r}$$

ممان اینرسی جان نیز قابل صرف نظر است و فقط سخت کننده ها را در نظر میگیریم.

$$I = \frac{1}{12} \times 1.2 \times 213 = 926.1$$

$$A = 2 \times 10 \times 1.2 + 12 \times 1 = 36 \text{ cm}^2$$

$$\lambda = \frac{0.75 \times 200}{5.07} = 29.6$$

رابطه ی محاسبه ی F_{cr} بر اساس کماتش خمشی

$$\text{if : } \lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \implies F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e} \right] F_y$$

$$\text{if : } \lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \implies F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{29.6^2} = 23655$$

$$29.6 \leq 139.3 \implies F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e} \right] F_y = \left[0.658^{2400/23655} \right] 2400 = 2300$$

$$\phi_c P_n = 0.9 \times 2300 \times 36 = 74520 \geq 60000 \text{ ok.}$$

تمرین: به عنوان تمرین ابعاد سخت کننده اقتصادی شود.

تعیین طول فاعل سبک کننده

طبق آئین نامه ارتفاع آن را نصف ارتفاع جان می گیریم. اگر این سخت کننده علاوه بر انتقال بار متمرکز برای تحمل برش نیز لازم باشد باید ارتفاع سخت کننده بر اساس هر دو معیار محاسبه شود. و مقدار بزرگتر در نظر گرفته شود. در این جا اگر سخت کننده برای تحمل برش نیاز باشد این سخت کننده بر اساس معیار برش باید به بال فشاری متصل شود بر اساس معیار انتقال بار متمرکز نیز باید به بالی که تحت نیروی متمرکز است متصل شود. در این جا بار متمرکز به بال پایینی منتقل می شود. بنابراین مجبوریم ارتفاع سخت کننده به ارتفاع جان در نظر گرفته و به هر دو بال جوش شود.

طراحی جوش اتصال سبک کننده تیر

این جوش را برای سهم هر سخت کننده از بار متمرکز طراحی میکنیم

$$= \frac{10 \times 1.2}{36} \times 60000 = 20000$$

ابتدا فرض میکنیم جوش سراسری با بعد جوش حداقل باشد. وابسته به قطعه نازک تر

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$6 \leq t_w \leq 12 \text{ mm} \implies a_{min} = 5 \text{ mm}$$

$$\implies a_{max} = 10 - 2 = 8 \text{ mm}$$

$$a < 0.75 t_w = 0.75 \times 10 = 7.5 \text{ mm}$$

$$5 \leq 7.5 \text{ ok.}$$

$$\varphi_n R_n \geq R_r = 20000 \Rightarrow \varphi_n = 0.75$$

جوش کارگاهی با کنترل چشمی:

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} , \quad \beta = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 \times F_{ue}$$

$$F_{ue} = 4200$$

$$\varphi_n R_n = 0.75 [0.75 \times 0.6 \times 420 \times 2 \times 0.707 \times 0.05 \times 200]$$

تمرین: بعنوان تمرین با جوش منقطع دوباره طراحی شود.

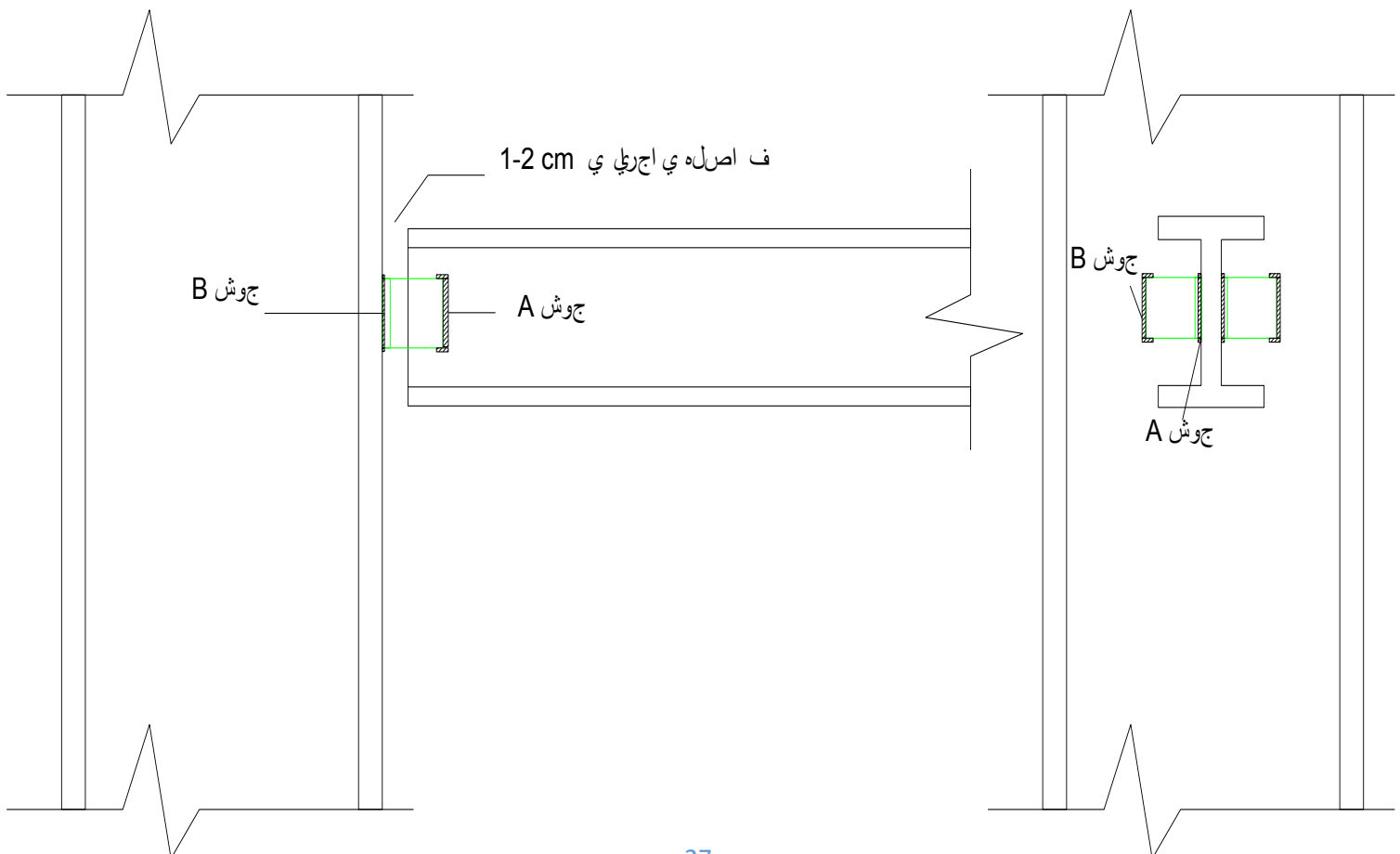
تمرین: فرض کنید که تیر ورق مثال قبل یک بار متمرکز ضریب دار در وسط تیر وارد می شود و کنترل نمائید که به سخت کننده فشاری نیاز است یا خیر. ؟ و در صورت نیاز آنها را طراحی کنید. طول اتصال بار متمرکز در راستای طولی تیر را 5cm در نظر بگیرید.

اتصالات

پیچی و جوش-مفصلی ، گیردار ، نیمه گیردار

اتصالات مفصلی: 1-جفت نبشی جان 2- نبشی نشیمن 0- ورق نشیمن و سخت کننده دوزنقه ای 4-ورق نشیمن و سخت کننده ی مثلثی

اتصال مفصلی با جفت نبشی جان (اتصال تیر به ستون) (جوش گوشه))



برگشت جوش حداقل دو برابر بعد جوش و حداکثر 4 برابر بعد جوش می باشد.

مراحل طراحی اتصال جفت نبشی

مرحله ی اول تعیین واکنش تکیه گاهی به صورت ضریب دار

مرحله ی دوم: انتخاب سائز و طول نبشی های اتصال (معمولاً یک حدس اولیه فرض می شود و در صورت نامناسب بودن تعویض می شود)

توصیه: ضخامت نبشی در حدود ضخامت جان تیر . بعد نبشی ترجیحاً بعد پایین استفاده شود. اگر بعد زیاد شود گیرداری اتصال و بعد جوش آن بالاتر می رود. ارتفاع نبشی نیز طوری اختیار شود که نبشی داخل جان تیر جا شود و فضای کافی برای جوشکاری وجود داشته باشد.

مرحله ی سوم : کنترل کفایت سائز نبشی و ارتفاع نبشی برای تحمل واکنش های تکیه گاهی بر اساس معیار برش

$$\phi_V V_n \geq V_r, \phi_V = 0.9$$

$$V_n = 0.6 \times F_y A_w C_V, A_w = 2 \times L \times t$$

L ارتفاع نبشی

t ضخامت نبشی

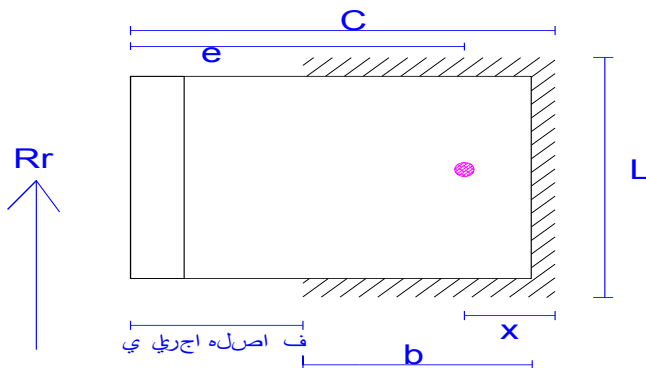
$$\frac{l}{t} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \Rightarrow C_V = 1$$

$$k_v = 5 \Rightarrow \frac{l}{t} < 73$$

اگر جوابگو نبود باید ابعاد نبشی اصلاح شود.

مرحله ی 4: طراحی جوش A

ابتدا مرکز جوش را محاسبه می کنیم



با فرض آنکه واکنشی در لبه ی نبشی باشد این واکنش نسبت به مرکز جوش ایجاد یک لنگر می کند که این لنگر حول محوری عمود بر صفحه ی جوش است. که در این صورت به عنوان لنگر پیچشی خواهد بود. پس باید جوش A اثر همزمان یک نیروی برشی و لنگر پیچشی طراحی شود.

طول ساق نبشی C و فاصله اجرایی $b = C -$

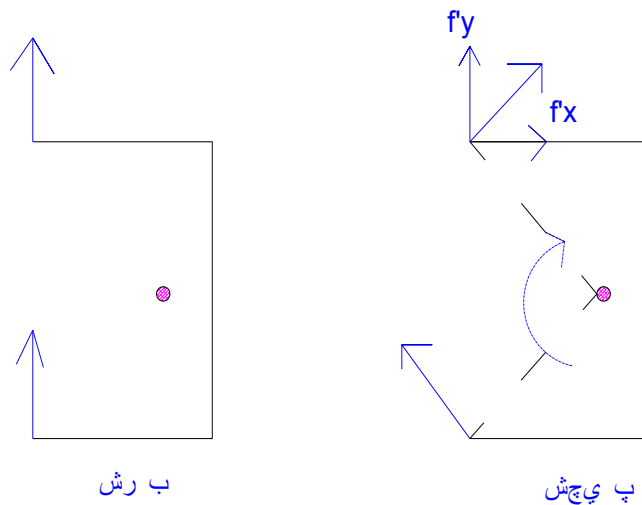
$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + l}, e = C - X$$

باید تنش ناشی از برش و پیچش جداگانه محاسبه و با همدیگر جمع شوند.

$$f_y = \frac{R_y}{2 \times (l + 2b)}$$

*تنش ناشی از پیچش یکنواخت نیست و متناسب با فاصله تا مرکز جوش است. پس بیشترین تنش در دورترین فاصله تا مرکز جوش است. راستای تنش نیز بر اساس جهت لنگر تعیین می شود. در این جا دورترین نقاط در گوشه های شکل ناودانی در سمت چپ است. جهت تنش نیز مطابق شکل است.

I_p در صفحه ی 105 کتاب فریدون ایرانی موجود است.



این تنش ها با تنش ناشی از برش اثر افزاینده دارد.

$$f'_x = \frac{T \cdot y}{I_p}, y = \frac{l}{2}, x = b - \bar{x}$$

$$f'_y = \frac{T \cdot x}{I_p}$$

$$I_p \text{ ناودانی} = \frac{l^3 + 6l^2b + 8b^3}{12} - \frac{b^4}{l + 2b}$$

$$f'_x = \frac{T_r \frac{l}{2}}{2I_p}, f'_y = \frac{T_r(b - \bar{x})}{2I_p}$$

به این ترتیب یک بعد جوش بدست می آید که باید حداقل مجاز بیشتر و از مجاز کمتر باشد. در صورت عدم جوابگویی باید طرح اولیه اصلاح شود.

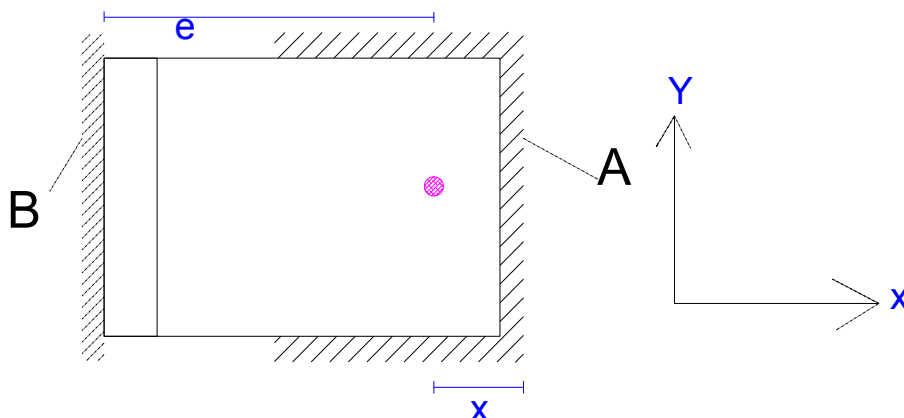
باید برای طول واحد از جوش محاسبه شود.

$$f_r = \sqrt{f_x'^2 + (f_y + f_y')^2} \text{ برآیند تنش}$$

$$\varphi_n R_n \geq f_r$$

R_n : باید برای طول واحد از جوش محاسبه شود.

مرحله ی 0: طراحی جوش B



در طراحی این جوش فرض میکنیم که تنش تکیه گاهی در مرکز ثقل جوش قرار دارد. فرض میکنیم که واکنش تکیه گاهی در مرکز ثقل جوش A وجود دارد. برگشت جوش به اندازه ی $\frac{1}{12}$ فرض شده است. چون محور لنگر در صفحه ی جوش است لنگر خمشی محسوب می شود. $M_r = R_r \cdot e$

چون B تحت اثر همزمان برش و خمش است و چون در صفحه ی yz است نیروی برشی در راستای تنش ایجاد میکند. لنگر خمشی در راستای عمود بر صفحه ی جوش x تنش ایجاد می کند.

برای طراحی این جوش سه روش وجود دارد.

1- بلاغت 2- سالمن 0- سالمن اصلاح شده (متداول تر است)

*محاسبات سالمن اصلاح شده:

در محاسبه ی تنش ناشی از برگشت جوش صرف نظر نمی شود.

$$f_y = \frac{R_r}{2 \times l} \frac{kg}{cm}$$

$$f_{x \text{ خمشی}} = \frac{M_r}{S} = \frac{R_r \cdot e}{S}$$

در محاسبه ی خمش برگشت جوش صرف نظر نمی شود.

شکل جوش به صورت دو نبشی می باشد. اساس مقطع برای شکل های جوش از صفحه ی 105 کتاب ایرانی استخراج شود.

$$f_x = \frac{9R_r \cdot e}{4l^2}$$

$$f_r = \sqrt{\left(\frac{R_r}{2l}\right)^2 + \left(\frac{9R_r \cdot e}{4l^2}\right)^2} = \frac{R_r}{2l^2} \sqrt{l^2 + 20.25e^2}$$

از این رابطه ی بعد جوش محاسبه می شود. اگر بعد جوش در فاصله ی حداقل و حداکثر مجاز بود مناسب است در غیر این صورت طرح باید اصلاح شود. (ابعاد نبشی)

مثال ۰۰: مطلوبست طراحی اتصال تیر فرعی IPE18 با مقطع به تیر اصلی با مقطع IPE 22 الکتروود E60 جوش کارگاهی با کنترل چشمی واکنش تیر فرعی ناشی از بار مرده 1.5 ton و بار زنده 1 ton می باشد.

$$\begin{cases} 1.4D \\ 1.2D + 1.6l \end{cases} \quad \begin{cases} 1.4 \times 1.5 = 2.1 t \\ 1.2 \times 1.5 + 1.6 \times 1 = 3.4 ton \end{cases} \implies \max = R_r = 3.4 ton$$

$$\xrightarrow{\text{اشتال IPE18}} l - 2c = 14.6$$

$$\xrightarrow{\text{اشتال IPE200}} t_w = 0.59 cm$$

انتخاب نبشی: ارتفاع نبشی به گونه ای انتخاب می شود که در داخل مقطع تیر با ابعاد کوچکتر قرار بگیرد و جا برای جوشکاری وجود داشته باشد.

$$l60 \times 6mm, L = 12 cm$$

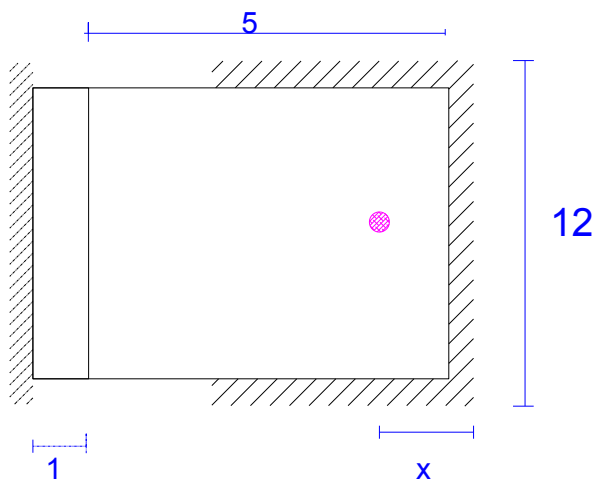
کنترل کفایت نبشی برای تحمل واکنش بر اساس برش

$$\phi_v V_n \geq V_r, \phi_v = 0.9, V_r = 3400 kgf, K_v = 5$$

$$V_n = 0.6 \times F_y A_w C_v, A_w = 2 \times L \times t, \frac{h}{t_w} = \frac{l}{t} = \frac{12}{0.6} = 20 \leq 73$$

$$\phi_v V_n = 0.9 \times 0.6 \times 2 \times 12 \times 0.6 \times 2400 \times 1 = 18662 \geq 3400 \quad ok$$

طراحی جوش A



فاصله ی اجرایی 1 cm

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+l} = \frac{5^2}{2 \times 5 + 12} = 1.14 \quad , \quad e = C - X = 6 - 1.14 = 4.86$$

$$f_y = \frac{R_r}{2(2b+l)} = \frac{3400}{2(2 \times 5 + 12)} = 77.3$$

$$f'_x = \frac{R_r \cdot e \cdot l}{4 I_p}$$

$$I_p = \frac{l^3 + 6l^2b + 8b^3}{12} - \frac{b^4}{l+2b} = \frac{12^3 + 6 \times 12^2 \times 5 + 8 \times 5^3}{12} - \frac{5^4}{12 + 2 \times 5} = 559 \text{ cm}^3$$

$$f'_x = \frac{3400 \times 4.86 \times 12}{4 \times 559} = 88.7 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

$$f'_y = \frac{R_r \cdot e(b - \bar{x})}{2I_p} = \frac{3400 \times 4.86(5 - 1.14)}{2 \times 559} = 57 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

$$f_r = \sqrt{f_x'^2 + (f_y + f_y')^2} = \sqrt{88.7^2 + (77.3 + 57)^2} = 161 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

محاسبه ی $\varphi_n R_n$ برای طول واحد از جوش (ارزش جوش) $\varphi_n = 0.75$

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} \quad , \quad \beta = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 \times F_{ue}$$

$$F_{ue} = 4200$$

$$\varphi_n R_n = 0.75[0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times a] = 1002a \geq 161$$

$$A_{we} = 0.707 \cdot a \cdot l_w \Rightarrow a \geq 0.16 \text{ cm} \sim 2\text{mm}$$

مقایسه با حداقل و حداکثر بعد جوش

در جوش A ورق نازک تر جان IPE180 است که 0.53 cm می باشد.

مطابق جدول : $a_{min} = 3 \text{ mm}$ چون این ضخامت زیر 6 mm است a_{max} برابر ضخامت جان است. $a_{max} = 5.3 \text{ mm}$

از طرفی چون جان تیر فرعی از دو سمت جوش می شود بعد جوش max نباید از 75% ضخامت بیشتر باشد.

$$a_{max} = 0.75 \times 0.53 = 0.4 \text{ cm} = 4 \text{ mm}$$

$$3 \leq a \leq 4 \text{ mm} \Rightarrow a = 3 \text{ mm} \geq 2 \text{ mm}$$

اگر بعد جوش محاسباتی از a_{max} بیشتر شود طرح باید اصلاح شود ترجیحاً ارتفاع نبشی افزایش یابد در درجه ی دوم بعد نبشی افزایش یابد.

طراحی جوش B

$$f_r = \frac{R_r}{2l^2} \sqrt{l^2 + 20.25e^2} = \frac{3400}{2 \times 12^2} \sqrt{12^2 + 20.25 \times 4.86^2} = 294.5$$

$$\varphi_n R_n = 1002a \geq 294.5 \Rightarrow a \geq 0.3 \text{ cm}$$

بعد جوش حداقل و حداکثر در اینجا بر اساس ضخامت ورق نازک تر که جان IPE220 است تعیین می شود. ضخامت جان 0.53 cm است که بر اساس آن $a_{min} = 0.3 \text{ cm}$, $a_{max} = 0.59 \text{ cm}$ است. چون از یک سمت به جان تیر جوش می شود نیازی نیست که بعد جوش از 75% ضخامت جان کمتر باشد.

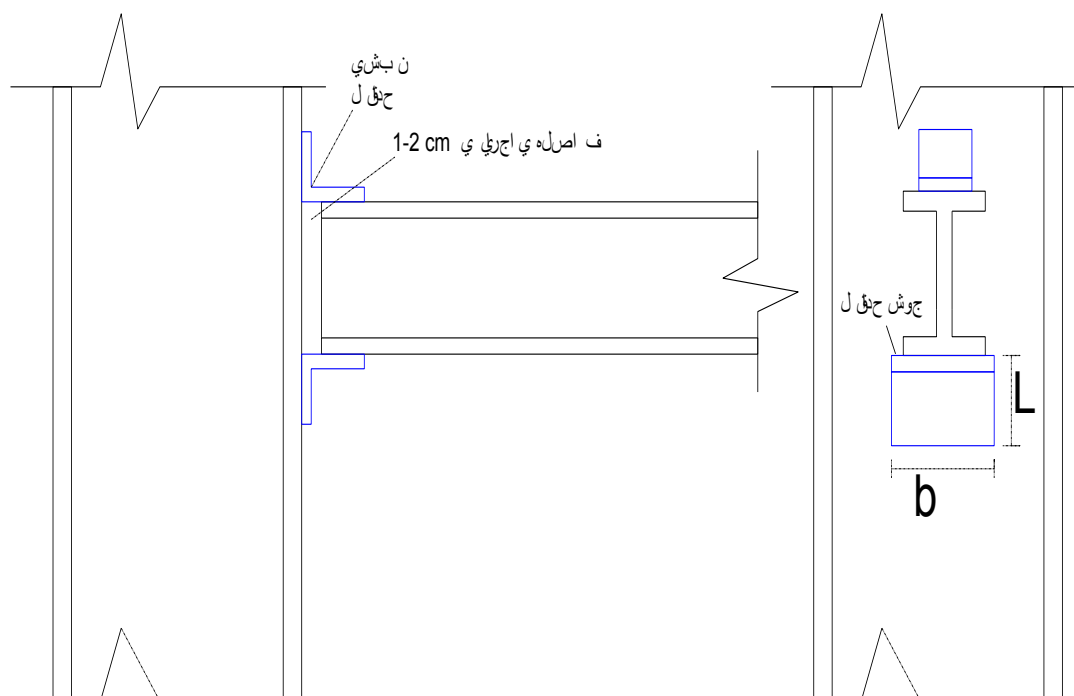
تذکره: در مثال قبل با توجه به طرح بدست آمده حداکثر واکنش ضریب دار مجاز را محاسبه کنید.

راهنمایی: جوش A, جوش B, نبشی. هر کدام از این سه مرحله یک نتیجه ای را بدست می آورد برای واکنش. جواب نهایی حداقل سه مقدار خواهد بود.

تذکره: مطلوبست طراحی اتصال تیر با مقطع IPE 270 به بال ستون با مقطع IPE 300.

راهنمایی: طراحی باید به گونه ای انجام شود که اتصال روی بال ستون جا شود. یعنی مجموع عرض دو نبشی و ضخامت جان تیر و بعد جوش B باید از عرض بال ستون کمتر باشد.

اتصال ساده با نبشی نشیمن



از این اتصال جهت اتصال مفصلی تیر به ستون استفاده می شود. کاربرد آن وقتی است که واکنش تیر کم یا متوسط باشد. برای واکنش های زیاد این اتصال مناسب نیست. انتقال نیرو از طریق نبشی پائین است. معمولاً نبشی پائین از (l_8, l_{10}) می باشد. نبشی بالا یک نبشی حداقل است. که نقش آن جلوگیری از لغزش جانبی بال بالاست. معمولاً (l_8, l_6) می باشد. بسته به اینکه واکنش تیر چقدر باشد. نبشی بالا جهت حفظ انعطاف اتصال به ستون فقط دو خط افقی بالای خود جوش می شود. بین تیر و ستون فاصله ی اجرایی بین 1 تا 2 سانتی متر خواهد بود. اتصال تیر بر روی نبشی با یک جوش حداقل انجام می شود. حداکثر 5cm. این جوش فقط جهت جلوگیری از لغزش تیر بر روی نبشی است.

جوش نبشی نشیمن به ستون معمولاً در دو خط عمودی باریک برگشت جوش در قسمت بالا در حدود $\frac{1}{12}$ طول عمودی l انجام می گیرد. البته جوش وجوه افقی نیز بلامانع است. فرض می شود که واکنش تیر به فاصله $\frac{l_b}{2}$ از اتصال تیر قرار گیرد. l_b بر اساس دو معیار لهیدگی جان تیر و تسلیم موضعی آن محاسبه می شود. Min این دو مقدار ملاک است. سائز نبشی باید به گونه ای باشد که طول l_b بر روی آن قابل تامین باشد جهت مسائل اجرایی عرض نبشی نشیمن بیشتر از عرض بال تیر و کمتر از عرض بال ستون اختیار می شود. در مورد نبشی بالا عرض نبشی کمتر از عرض بال تیر انتخاب می شود.

مراحل طراحی نبشی نشیمن:

1- تعیین واکنش تیر در حالت ضریب دار

2- انتخاب سائز نبشی نشیمن حداقل l_8 و حداکثر $l_{15\text{ mm}}$

0- تعیین طول نبشی نشیمن بر اساس معیار های خمش و برش

ابتدا l_b را بر اساس ضوابط تسلیم موضعی جان و لهیدگی تعیین می کنیم.

تسلیم موضعی جان:

$$R_n = f_{yw} t_w (l_b + 2.5k)$$

$$\phi_n R_n \geq R_r$$

ل وگی:

$$l_b \leq 0.2 \Rightarrow R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$l_b > 0.2 \Rightarrow R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$\phi_n R_n \geq R_r \quad \text{و} \quad \phi_n = 0.75$$

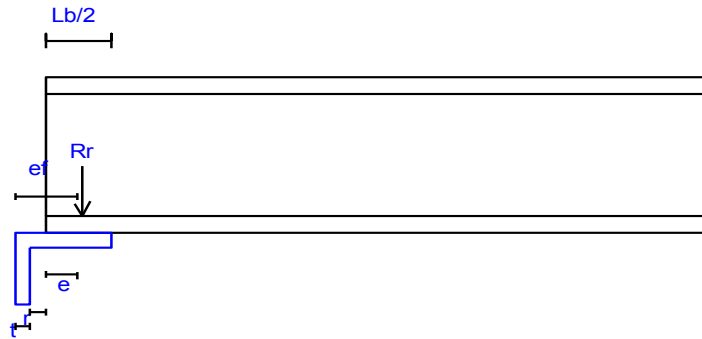
از هر یک از دو حالت یک l_b بدست می آید که max این دو حالت انتخاب می شود.

فاصله اجرایی $l_b + \geq$ طول ساق نبشی

در صورت عدم تامین رابطه ی فوق سائز نبشی افزایش می یابد.

$$e_f = \frac{l_b}{2} + \text{فاصله اجرایی}$$

$$e = e_f - (t + r)$$



خمش در مقطع بحرانی نبشی: $M_r = R_e \cdot e$

برش در مقطع بحرانی نبشی: $V_r = R_r$

تعیین عرض نبشی براساس مخرج خمش:

$$\varphi_n M_n \geq M_r \quad \text{و} \quad \varphi_n = 0.9$$

$$M_n = M_p = f_y Z = f_y \left(\frac{b t^2}{4} \right) \Rightarrow b \geq \frac{4.44 R_r \cdot e}{f_y \cdot t^2}$$

تعیین عرض نبشی براساس مخرج برش:

$$\varphi_v V_n \geq V_r \quad , \quad \varphi_v = 0.9 \quad , \quad C_v = 1$$

$$V_n = 0.6 \times f_y A_w C_v \Rightarrow b \geq \frac{1.85 R_r}{f_y \cdot t}$$

دو مقدار برای b بدست می آید که max این دو مقدار عرض نبشی خواهد بود. مقدار بدست آمده باید از لحاظ اجرایی نیز قابل قبول باشد بطور خاص از عرض بال ستون تجاوز نکند و فضای کافی برای جوش نبشی به ستون نیز وجود داشته باشد. اگر این شرایط تامین نشد می توان از نبشی با ضخامت بالاتر استفاده کرد.

* طراحی جوش اتصال نبشی به بال ستون

طراحی این جوش مشابه جوش B در اتصال جفت نبشی جان است.

$$f_r = \frac{R_r}{2l^2} \sqrt{l^2 + 20.25e^2} \quad , \quad \varphi_n R_n \geq f_r$$

بعد جوشی که با این روش به دست می آید باید در محدوده ی حداقل و حداکثر مجاز باشد. اگر از حداکثر مجاز تجاوز کرد ، میتوان ساق نبشی را بزرگ کرد

تعیین ابعاد نبشی بالا بر اساس مقادیر نیرو و l_6 یا l_8 عرض آن اندکی کمتر از بال تیر تقریباً 2 cm

مثال 12: مطلوبست طراحی اتصال مفصلی با نبشی نشیمن برای تیر IPE20 که با ستون IPB24 متصل می شود واکنش ضریب دار را 10 t فرض کنید و فاصله ی اجرایی 1 cm و عرض بال تیر 10 cm

نبشی نشیمن: فرض: $l_{120 \times 12}$

$$\xrightarrow{\text{اشنال از IPE200}} d = 20 \text{ cm}, t_w = 0.56, t_f = 0.85, k = 2.05 \text{ cm}$$

$$\xrightarrow{\text{IPB240}} t_f = 1.7 \text{ cm}, b_f = 24 \text{ cm}$$

تعیین l_b

معیار تسلیم موضعی:

$$\varphi R_n = 1 \times 2400 \times 0.56 \times (2.5 \times 2.05 + l_b) \geq R_r = 10000 \Rightarrow l_b \geq 2.31 \geq k = 2.05 \text{ ok.}$$

اگر کمتر از k بود همان k را میگیریم.

معیار لهدگی:

$$\varphi R_n = 0.75 \times 0.4 \times 0.56^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{30} \left(\frac{0.56}{0.85} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} 0.85 l_b}{0.56 d}} \leq 0$$

$$\varphi R_n \geq 10000 \Rightarrow l_b \geq 2.68 \geq 2.05 \text{ ok}$$

کنترل: $\frac{l_b}{d}$

$$\frac{l_b}{d} = \frac{2.68}{20} = 0.134 \leq 0.2 \text{ ok}$$

اگر این رابطه برقرار نبود از شرط $\frac{l_b}{d} > 0.2$ محاسبات را انجام می دهیم

$$l_b = \max(2.68, 2.31) = 2.68$$

کنترل کفایت طول ساق نبشی

$$12 \geq 1 + 2.68 = 3.68$$

تعیین طول نبشی

$$b \geq \frac{4.44 R_r \cdot e}{f_y \cdot t^2}, e_f = 1 + \frac{l_b}{2} = \frac{2.68}{2} + 1 = 2.34, e = e_f - (t + r)$$

$$\xrightarrow{\text{اشنال از } l_{120 \times 12}} t = 1.2 \text{ cm}, r = 1.3 \text{ cm}, e = 2.34 - (1.2 + 1.3) = -0.16 \leq 0 \Rightarrow \text{خمش ایجاد نمیشود}$$

نیازی به کنترل معیار خمشی نیست.

$$b \geq \frac{1.85 R_r}{f_y \cdot t} = \text{معیار برش} = \frac{1.85 \times 10000}{2400 \times 1.2} = 6.42$$

$$b \geq b_f + 2 = 10 + 2 = 12 \geq 6.42 \text{ ok.}$$

$$f_r = \frac{R_r}{2 l^2} \sqrt{l^2 + 20.25 e^2} = \frac{10000}{2 \times 12^2} \sqrt{12^2 + 20.25 \times 2.34} = 554.3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

طراحی جوش:

$$\varphi R_n = 1002 a \geq 554.3 \Rightarrow a \geq 0.55 \text{ cm} \Rightarrow a = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5 \text{ mm}, a_{\max} = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$$

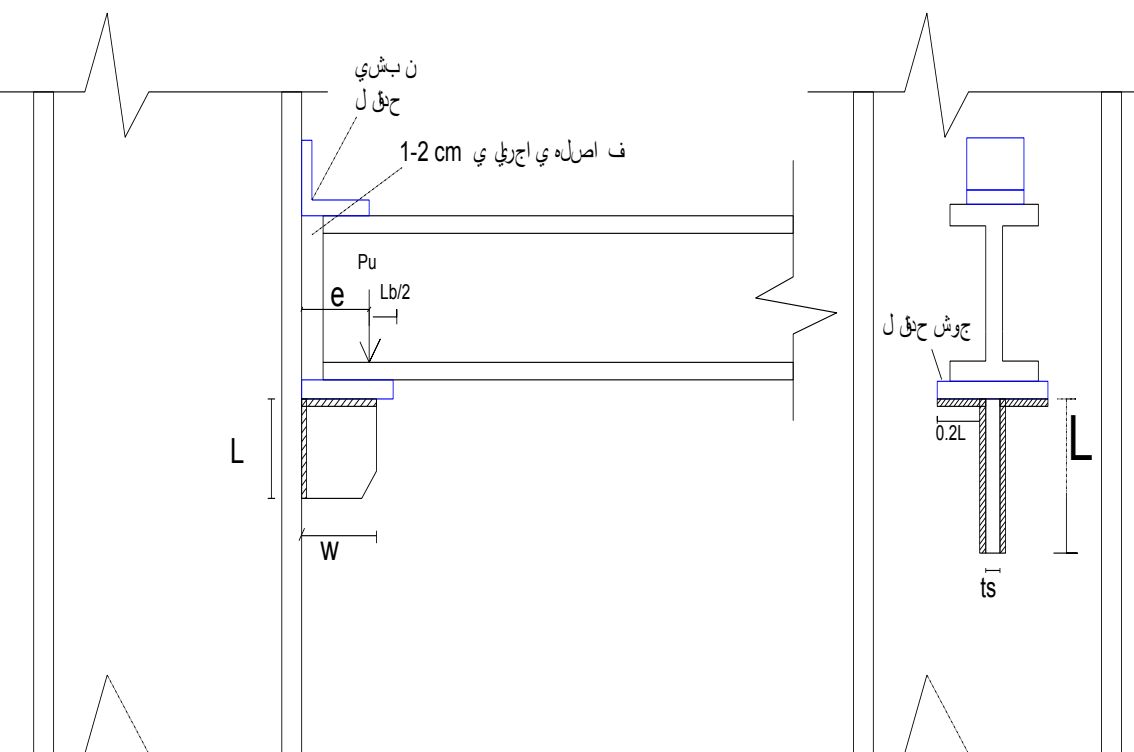
$$5 < a = 6 < 10 \text{ ok.}$$

اگر مقدار max جواب نداد نبشی را تغییر داده ولی اگر حداقل جواب نداد همان مقدار حداقل را می گیریم. نبشی بالا را نبشی I_6 به طول 8 cm که 2cm کمتر از عرض بال تیر است در نظر میگیریم.

*اتصال مفصلی تیر به ستون با ورق نشیمن و سخت کننده دوزنقه ای شکل

از این اتصال برای انتقال واکنش های زیاد استفاده می کنیم

Type equation here.



$$e = w - \frac{l_b}{2}$$

محاسبه ی l_b : مشابه اتصال نبشی نشیمن

نبشی بالا: نبشی حداقل مشابه اتصال نبشی نشیمن

موقعیت واکنش به اندازه ی $\frac{l_b}{2}$ از انتهای ورق نشیمن است. در مقایسه با اتصال نبشی نشیمن فاصله ی واکنش تا ستون بیشتر است. و در نتیجه گیرداری اتصال بالاتر است. ضخامت ورق نشیمن در حدود ضخامت بال تیر و سخت کننده ی زیر آن

عرض: حداقل $t_s + (0.21)w$ و حداقل عرض بال تیر + چند سانتی متر اضافه تر برای جوش . حداکثر برابر عرض بال ستون
 w حداقل فاصله ی اجرایی l_b + فاصله اجرایی $w \geq$.

*سخت کننده

ضخامت سخت کننده

$$t_s \geq t_w$$

$$t_s \geq \frac{w}{0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}}$$

$$t_s \geq \frac{P_u(6e - 3w)}{\phi(1.8F_y)w^2}$$

$$e = w - \frac{l_b}{2}, \phi = 0.75$$

ضخامت جان تیر

Max این سه رابطه در نظر گرفته می شود.

ارتفاع سخت کننده و جوش اتصال آن به ستون

یک ارتفاع برای سخت کننده حدس میزنیم و بر اساس آن بعد جوش اتصال سخت کننده به ستون را طراحی می کنیم اگر این بعد جوش بین حداقل و حداکثر مجاز بود ارتفاع سخت کننده مناسب است. در غیر این صورت باید اصلاح شود. در طراحی جوش نیروی ایجاد شده در واحد طول جوش از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$R_r = \frac{P}{2.4l^2} \sqrt{16e^2 + l^2} \left(\frac{kg}{cm} \right), \phi R_n \geq R_r$$

*مثال: مطلوبست تعیین مشخصات ورق نشیمن و سخت کننده ی نوزنقه ای زیر آن در اتصال مفصلی تیر به ستون با مشخصات زیر.

تیر IPE270 با واکنش ضریب دار 25 ton ، ستون ، IPB300 جوش کارگاهی با کنترل چشمی ، الکتروود سازگار با قطعه انتخاب شود. فولاد ST37

$$P_u = 25 \text{ ton.}, \text{ اشتال: } IPE270 : t_f = 1.02, t_w = 0.66, k = 2.5 \text{ cm}, b_f = 13.5 \text{ cm}$$

$$IPB300 : t_f = 1.9, b_f = 30 \text{ cm}$$

تعیین l_b :

+معیار تسلیم موضعی جان

$$\phi R_n \geq R_r, \phi = 1, R_r = 25 \text{ t}$$

$$R_n = F_{yw} t_w (2.5 k + l_b) = 2400 \times 0.66 (2.5 \times 2.5 + l_b) \geq 25000 \Rightarrow l_b \geq 9.53 \geq k = 2.5 \text{ ok}$$

+معیار لهیدگی

$$\phi R_n \geq R_r, \phi = 0.75$$

$$\frac{l_b}{d} \leq 0.2 \text{ با فرض}$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$0.75 \times 0.4 \times 0.66^2 \left[1 + 3 \frac{l_b}{27} \left(\frac{0.66}{1.02} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 1.02}{0.66}} \geq 25000 \implies l_b \geq 20.48 \geq k = 2.5$$

$$\frac{l_b}{d} = \frac{20.48}{27} > 0.2 \text{ not good}$$

پس باید از رابطه ی زیر محاسبات را تکرار کنیم.

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + \left(4 \frac{l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$0.75 \times 0.4 \times 0.66^2 \left[1 + \left(4 \frac{l_b}{27} - 0.2 \right) \left(\frac{0.66}{1.02} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 1.02}{0.66}} \geq 25000 \implies l_b = 16.49$$

$$l_b = \max(9.53, 16.49) = 16.49$$

ورق نشیمن :

ضخامت در حدود ضخامت بال تیر و ورق سخت کننده

$$2 \times 0.2 \text{ م} + t_s, \quad \text{فرض اولیه } 1.5 \text{ cm}$$

$$w = 20 \text{ cm و } l_b = 2 + 16.49 = 18.49 \text{ فاصله ی اجرایی}$$

فاصله ی اجرایی: 2 cm

[فعلاً نامشخص است.

ضخامت سخت کننده

$$t_s \geq t_w = 0.66$$

$$t_s \geq \frac{w}{0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}} = \frac{20}{0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}}} = 1.2 \text{ cm}$$

$$e = w - \frac{l_b}{2} = 20 - \frac{16.49}{2} = 11.75$$

$$\varphi = 0.75$$

$$t_s \geq \frac{P_u(6e - 3w)}{\varphi(1.8F_y)w^2} = \frac{25000 \times (6 \times 11.75 - 3 \times 20)}{0.75 \times 1.8 \times 2400 \times 20^2} = 0.2$$

$$t_s = 1.2 \text{ cm}$$

نکته : اگر ضخامت بدست آمده بزرگ و غیر اجرایی بود میتوان تعداد سخت کننده ها را اضافه کرد . اما به هر حال رابطه ی اول و دوم باید ارضا شود.

*ارتفاع سخت کننده

فرض اولیه: $L=20\text{ cm}$

$$R_r = \frac{P}{2.4l^2} \sqrt{16e^2 + l^2} = \frac{25000}{2.4 \times 20^2} \sqrt{1611.75^2 + 20^2} = 1330 \left(\frac{kg}{cm} \right), \varphi R_{nw} \geq R_r$$

$$انتخاب الکتروود $t_s = 1.2\text{ cm}$, $t_f = 1.9 > 1.5\text{ cm} \implies E70$$$

$L=25\text{ cm}$

$$R_r = \frac{P}{2.4l^2} \sqrt{16e^2 + l^2} = \frac{25000}{2.4 \times 20^2} \sqrt{1611.75^2 + 25^2} = 887 \left(\frac{kg}{cm} \right)$$

$$1169a \geq 887 \implies a \geq 0.75\text{ cm}$$

$$5\text{ mm} \leq a = 8\text{ mm} \leq 9\text{ mm}$$

$$عرض ورق نشیمن $2 \times (0.2l) + t_s = 2 \times 0.2 \times 25 + 1.2 = 11.2 \sim 15\text{ cm}$$$

$$15 \geq b_{fb} = 13.5$$

$$15 \leq b_{fc} = 30$$

فولاد st 37 اگر ضخامت یکی از قطعات بیش از 1.5 cm باشد باید از الکتروود E70 استفاده نمود.

$$\varphi = 0.75, \beta = 0.75, F_{ue} = 4900$$

$$0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707a = 1169a \geq 1330 \implies a \geq 1.14\text{ cm}, a = 12\text{ mm}$$

در اثر وجود دو خط جوش در R_r دیده شده است پس نیازی نیست که در R_{nw} ضریب 2 اعمال شود.

مقایسه با حداقل و حداکثر بعد جوش

ضخامت قطعه نازک تر: بین بال ستون و ورق سخت کننده 12 mm

$$a_{min} = 5\text{ mm}, a_{max} = 12 - 2 = 10\text{ mm}$$

$$a_{max} = 0.75 * 12 = 9\text{ mm}, 12 \geq 5\text{ ok}, 12 > 9\text{ not good}$$

و چون دو سمت ورق جوش می شود $12 > 9\text{ not good}$

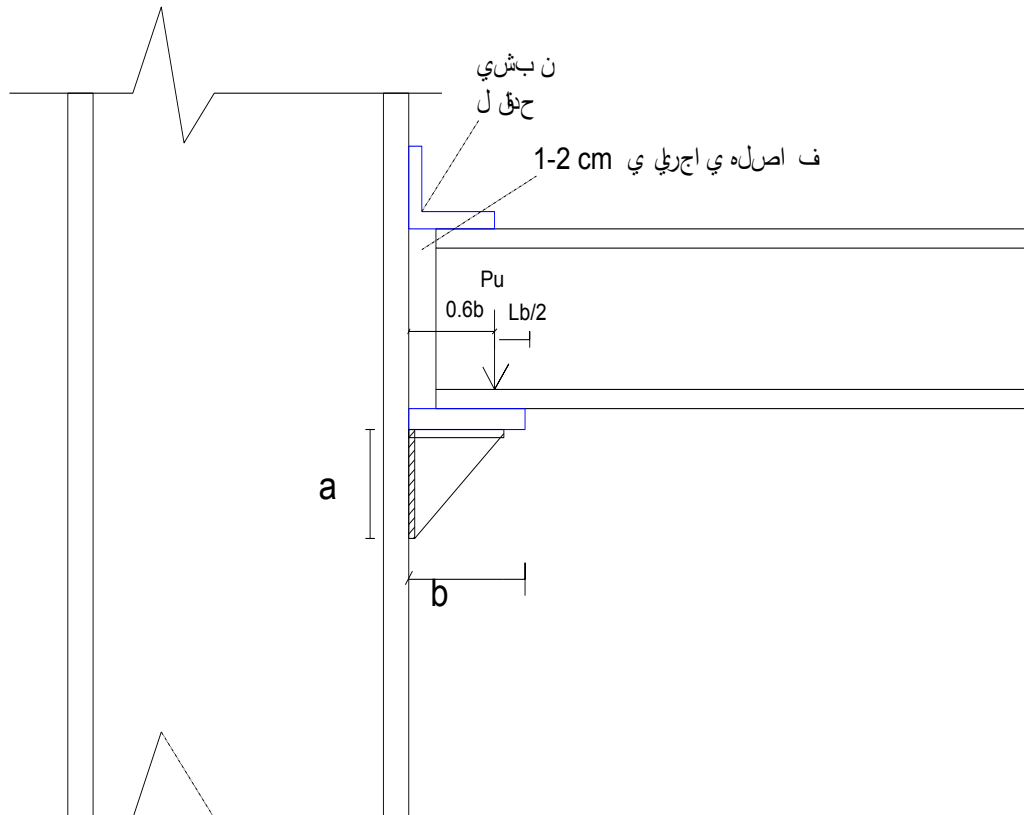
l را باید افزایش دهیم.

اتصال با ورقش منو سخت کننده می شود

این اتصال مشابه اتصال قبلی است فقط سخت کننده مثلثی شکل است. فرآیند طراحی مشابه اتصال قبلی است. تفاوت های زیر در این فرآیند وجود دارد.

$$0.5 \leq \frac{b}{a} \leq 2$$

ورق نشیمن با جوش نفوذی باید به ستون متصل شود. طول ورق نشیمن باید به گونه ای در نظر گرفته شود که باز P_u در فاصله ای در حدود $0.6b$ از بر ستون قرار گیرد.



$$b - \frac{l_b}{2} = 0.6b \implies b = 1.25l_b$$

*در انتخاب ضخامت سخت کننده نکات زیر باید رعایت گردد.

$$\text{اگر } 0.5 \leq \frac{b}{a} \leq 1$$

$$\frac{b}{t} \leq 1.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\text{اگر } 1 \leq \frac{b}{a} \leq 2$$

$$\frac{b}{t} \leq 1.47 \left(\frac{b}{a} \right) \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$\phi = 0.85 \quad , \quad P_n = F_y \cdot Z \cdot b \cdot t$$

$$Z = 1.39 - 2.2 \left(\frac{b}{a} \right) + 1.27 \left(\frac{b}{a} \right)^2 - 0.25 \left(\frac{b}{a} \right)^3$$

تضخامت سخت کننده

نکته: یک مقدار برای $\frac{b}{a}$ فرض می شود. و بر اساس آن مقدار t محاسبه می شود.

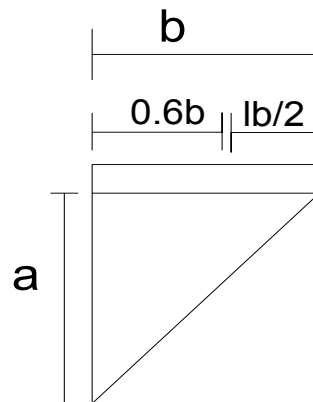
مثال: مثال قبل را بر اساس سخت کننده ی مثلثی شکل دوباره حل کنید.

از مثال قبل داریم:

$$P_u = 25 \text{ ton}$$

$$l_b = 16.49$$

تیر IPE270 و ستون IPB300



$$b \approx 1.25l_b = 1.25 \times 16.49 = 20.6 \quad , \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$\text{فرض: } \frac{b}{a} \leq 1 \implies \frac{b}{t} \geq 1.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{20}{t} \leq 1.47 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 42.4 \implies t \geq 0.47 \text{ cm}$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad , \quad \phi = 0.85 \quad , \quad P_n = F_y \cdot Z \cdot b \cdot t$$

$$Z = 1.39 - 2.2 \left(\frac{b}{a} \right) + 1.27 \left(\frac{b}{a} \right)^2 - 0.25 \left(\frac{b}{a} \right)^3$$

$$\text{فرض: } \frac{b}{a} = 1 \implies Z = 1.39 - 2.2 \times 1 + 1.27 \times 1^2 - 0.25 \times 1^3 = 0.21$$

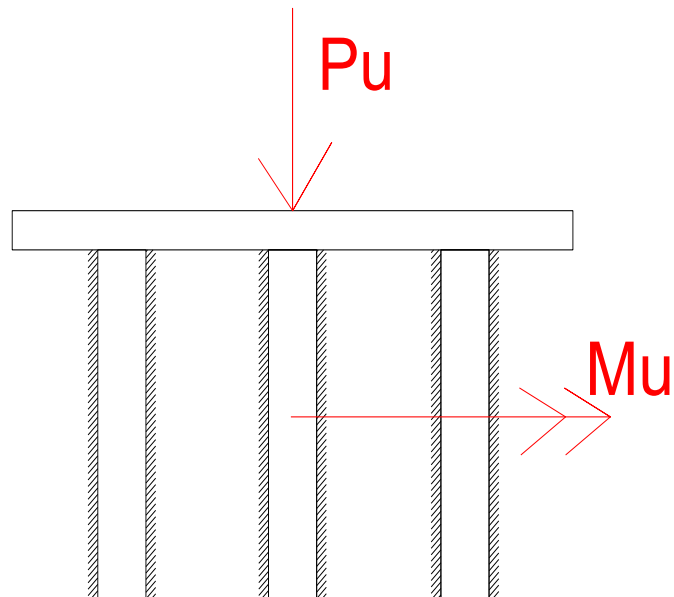
$$0.85 \times 2400 \times 0.21 \times 20 \times t \geq 25000 \implies t \geq 2.92$$

$$t = 1 \geq 0.47$$

تعیین ضخامت سخت کننده:

از سه سخت کننده به ضخامت یک سانتی متر استفاده میکنیم.

*طراحی جوش:

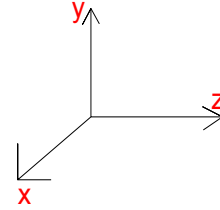


در محاسبه در جهت اطمینان از برگشت جوش صرف نظر میکنیم. جوش تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر خمشی می باشد.

$$f'_y = \frac{P_u}{6a} = \frac{25000}{6 \times 20} = 208.3 \text{ kg/cm}$$

f_y' تنش برشی مستقیم

سه قطعه جوش می شود و هر کدام دو خط جوش دارد پس: $2 \times 3 = 6$



$$f_x'' = \frac{M_u}{S} = \frac{P_u \times e}{6 \times \frac{a^2}{6}} = \frac{P_u \times \left(b - \frac{l_b}{2}\right)}{a^2}$$

$$f_x'' = \frac{25000 \times \left(20 - \frac{16.49}{2}\right)}{20^2} = 735 \frac{kg}{cm}$$

$$f_r = \sqrt{(f_x' + f_x'')^2 + (f_y' + f_y'')^2} = \sqrt{208.3^2 + 735^2} = 764 \frac{kg}{cm}$$

$$\phi R_{nw} \geq R_r, \quad R_r = f_r$$

$$\phi R_{nw} = 0.75 \times (0.75 \times 0.6 \times 2400 \times 0.707a) = 1002a \geq 764 \quad a \geq 0.76 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} a_{min} = 5 \text{ mm} \\ a_{max} = 10 - 2 = 8 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow a_{max} = 7.5 \text{ mm}$$

$0.75 \times 10 = 7.5$

بعد جوش حداکثر تابع ورق نازک تر بین سخت کننده و بال ستونکه در این جا سخت کننده می شود. سخت کننده 1 cm و بال ستون 1.5 cm

با اندکی اغماض بعد جوش را حداکثر مجاز یعنی 7.5 mm در نظر میگیریم. اگر جوابگو نبود یا ضخامت سخت کننده ها را اضافه می کردیم تا بر اساس آن بعد جوش حداکثر افزایش یابد یا ارتفاع سخت کننده ها را اضافه میکنیم که در این صورت باید محاسبات را از مرحله ی محاسبه ی ضخامت سخت کننده دوباره تکرار کنیم.

تعیین عرض ورق نشیمن

25 cm: عرض ورق نشیمن

$$\frac{27}{2} = 13.5 \leq 25 \leq 30$$

عرض ورق نشیمن را بر اساس مسائل اجرایی بین عرض بال تیر و بال ستون در نظر میگیریم. عرض ورق نشیمن: 25 cm

ضخامت بر اساس مسائل اجرایی بر اساس ضخامت سخت کننده ها و بال تیر ، در این جا 1 cm در نظر میگیریم.

اتصالات گیر دار

این اتصالات علاوه بر واکنش عمودی لنگر خمشی نیز به ستون منتقل می کنند. انواع اتصالات گیر دار در بخش 10-0-15 مبحث دهم تحت عنوان اتصالات گیردار از پیش تعیین شده معرفی شده اند.

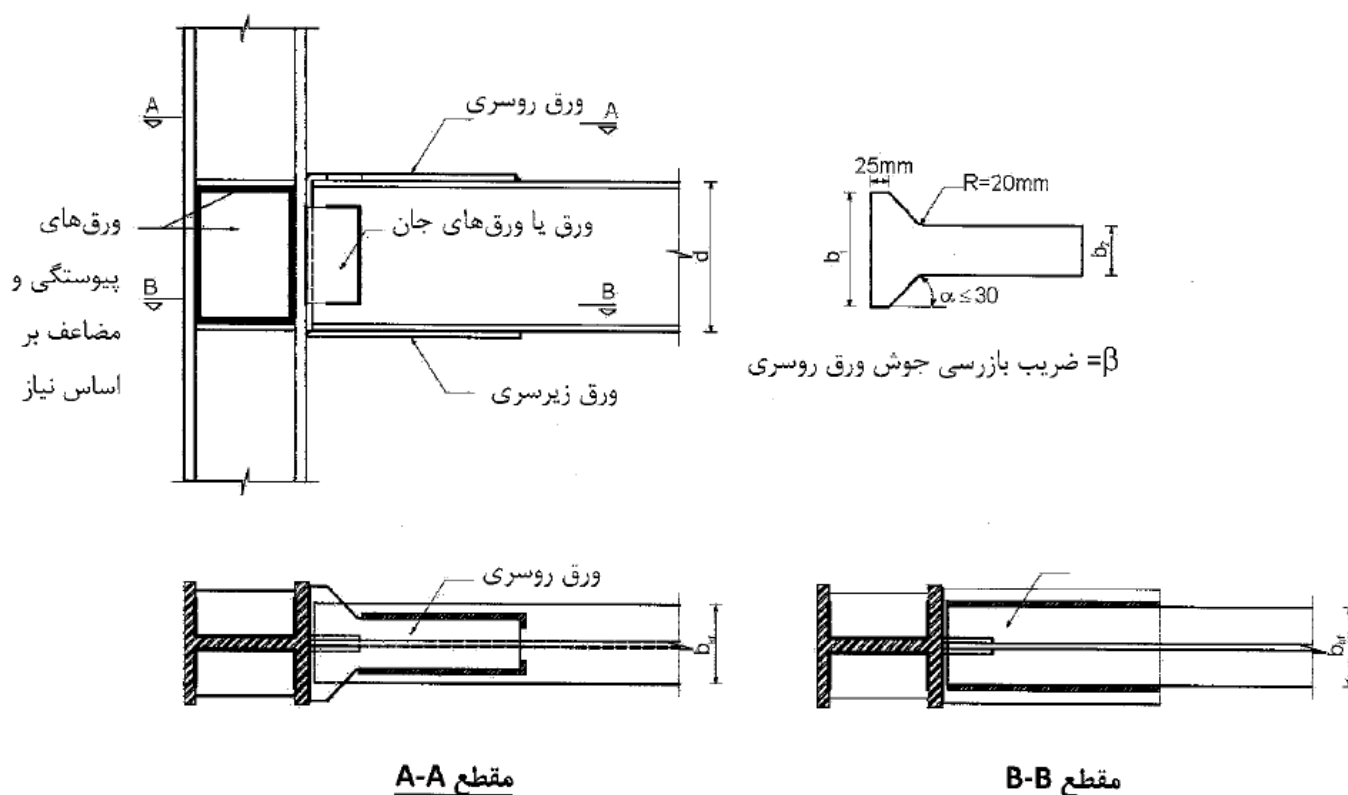
در این جا به یک نوع از اتصالات تحت عنوان اتصال گیردار جوشی به کمک ورق های روسری و زیر سری اشاره می شود.

(WFP) بند 0-10-0-15

استفاده از این نوع اتصال برای قاب های خمشی با سطح شکل پذیری کم و متوسط مجاز می باشد. و برای قاب های خمشی ویژه قابل استفاده نیست.

منظور از شکل پذیری توانایی سازه در ورود به تغییر شکل های غیر الاستیک در اثر نیروهای جانبی زلزله می باشد.

دتایل به شرح زیر است.



شکل ۱۰-۳-۱۳ اتصال گیردار جوشی به کمک ورق های روسری و زیرسری (WFP)

$$b_2 = b_1 \times \beta$$

$$b_2 < b_{fb}$$

عرض بال تیر b_{fb}

β ضریب بازرسی جوش

عرض باید به اندازه ای که جوش ورق به بال بالای تیر امکان پذیر باشد از عرض بال تیر کمتر باشد (در حدود 3 cm)

ورقی زیر سری

ورق زیر سری مستطیلی شکل بوده و عرض آن چند سانتی متر از عرض بال پائین تیر بیشتر باید باشد.

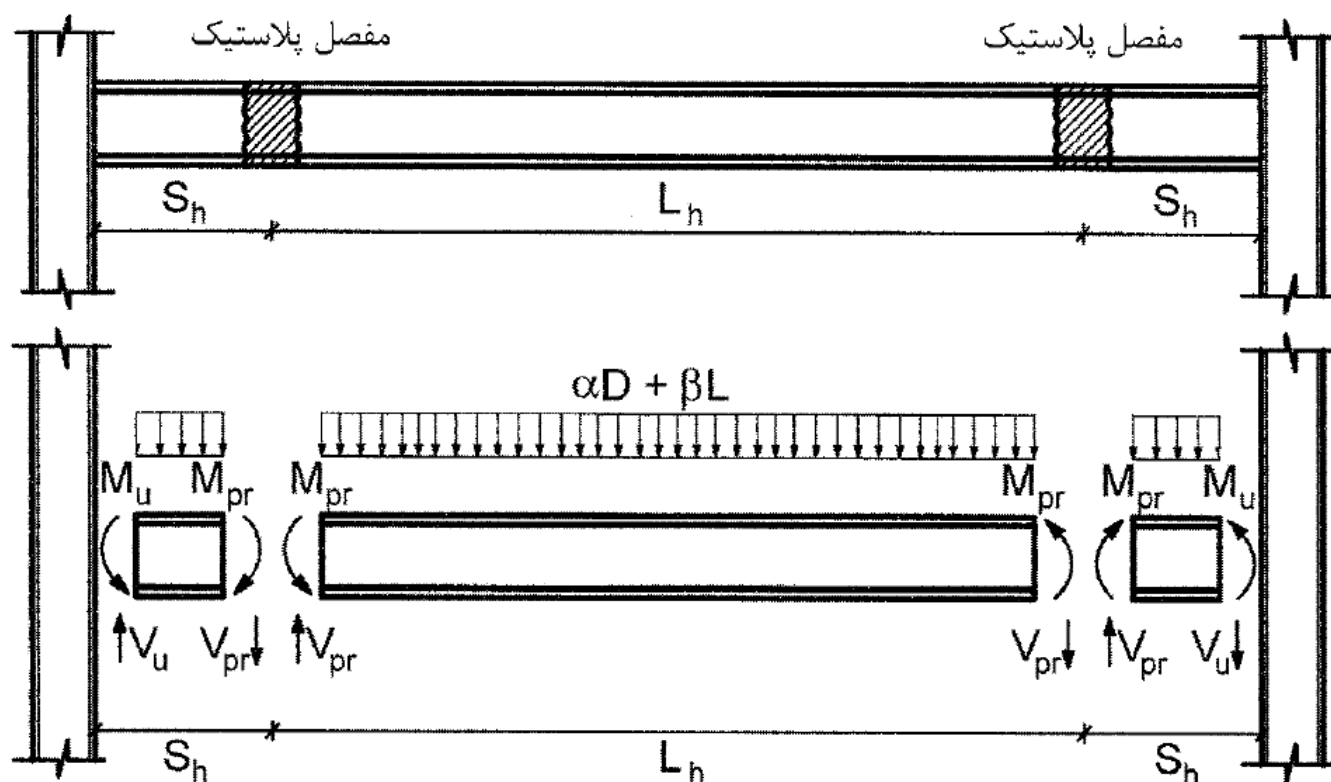
ورق اتصال جان می تواند به صورت تک در یک سمت جان یا جفت در دو سمت جان باشد. جوش ورق های زیر سری و روسری به بال ستون نفوذی کامل و می باشد. بقیه ی جوش ها از نوع جوش گوشه می باشد. ورق های زیر سری و روسری وظیفه ی انتقال لنگر خمشی و ورق اتصال جان وظیفه ی انتقال نیروی برشی را دارد.

مراحل طراحی اتصال:

1- تعیین لنگر خمشی و نیروی برشی برای طراحی اتصال این دو مقدار در قاب های خمشی معمولی از تحلیل سازه تحت ترکیب بار های ضریب دار بدست می آیند. در قاب های خمشی با سطح شکل پذیری متوسط این دو به شرح زیر محاسبه می شود.

فاصله ی مرکز مفصل پلاستیک تا لبه ی ستون

در اتصال WFP، Sh برابر ماکسیمم طول ورق های زیر سری و روسری است.



شکل ۱۰-۳-۸ نمودار پیکره آزاد تیرهای باربر جانبی

w_u بار ثقلی ضریب دار

اولین نقطه ای که به لنگر پلاستیک می رسد (به تسلیم می رسد) مفصل پلاستیک می باشد.

M_u ، V_u مقادیر مورد نظر جهت طراحی اتصال می باشند. این دو مقدار با استفاده از معادلات تعادل تیر بدست می آیند.

$$M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$$

$$1.1 \leq C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$R_y \begin{cases} \text{مقاطع نورد شده 1.2} \\ \text{مقاطع عادی 1.15} \end{cases} \text{ و } M_P = Z \cdot F_y$$

Z مدول پلاستیک مقطع

V_{Pr} از تعادل نیروها در قطعه ی وسط بدست می آید.

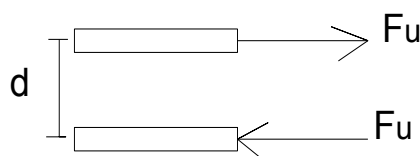
$$V_{Pr} = \frac{w_u l_h}{2} + \frac{2M_{Pr}}{l_h}$$

مرحله ی ۲: طراحی ورق های تیر سری و روسری

این ورق ها برای تحمل لنگر خمشی طراحی می شوند. برای این منظور باید لنگر خمشی را بر ارتفاع تیر تقسیم نمود. به این شکل نیرویی که هر یک از دو ورق باید برای آن طراحی شوند بدست می آید.

$$F_u = \frac{M_u}{d_b}$$

برای محاسبات دقیق تر به d باید نصف ضخامت ورق های بالا و پائین را اضافه کنیم.



بر اساس نیروی بدست آمده و باتوجه به مقاومت جوش نفوذی در محل اتصال ورق ها به ستون عرض و ضخامت ورق های بالا و پائین را تعیین می کنیم. مقاومت جوش نفوذی بر اساس حاصلضرب ضریب بازرسی جوش در مقاومت کششی ورق بدست می آید.

با معلوم بودن عرض ورق بالا در محل اتصال به ستون عرض ورق در ناحیه ی باریک آن محاسبه می شود.

$$b_2 = b_1 \times \beta$$

عرض بدست آمده چند سانتیمتری باید از عرض بال تیر کمتر باشد. اگر این مساله تامین نشد باید ضخامت ورق را افزایش و عرض آنرا کاهش دهیم.

طول ورق های روسری و زیرسری باید به گونه ای تعیین شود که نیروی F_u از بال تیر به این ورق ها با توجه به دوخط جوش موجود منتقل شود. معمولاً بعد جوش حداکثر مجاز اختیار شده و بر اساس آن طول جوش مورد نیاز و طول ورق ها محاسبه می شود.

مرحله ی ۳: تیر بر اساس نیروی برشی بدست آمده ورق اتصال جان به تیر طراحی می شود. این ورق می تواند تک یا دابل باشد. برای این منظور ابتدا ابعادی برای ورق یا ورق ها فرض می کنیم. معمولاً ارتفاع ورق درصدی فرض می شود که داخل جان تیر جا شود.

ضخامت ورق یا مجموع ضخامت دو ورق اندکی بیشتر از ضخامت جان تیر در نظر گرفته می شود. و طول ورق نیز از یک مقدار حداقل شروع می شود. مثلاً در حدود 10 cm

طراحی این ورق تقریباً مشابه اتصال نبشی جان می باشد. یعنی ابتدا مقطع عرضی ورق از نظر کفایت برای نیروی برشی کنترل می شود. سپس جوش اتصال ورق به جان تیر طراحی می شود. این جوش تحت اثر همزمان پیچش و برش و لنگر پیچشی است. و سپس جوش اتصال ورق به بال ستون طراحی می شود. این جوش تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر خمشی می باشد.

مرحله ی ۴: طراحی ورق پیوستگی

طراحی ورق پیوستگی ابتدا بر اساس بند های زیر بررسی می کنیم که نیاز به این ورق پیوستگی می باشد یا خیر.

بند 1-10-9-2-10 خمشی موضعی بال در برابر نیروی متمرکز کششی

بند 2-10-9-2-10 تسلیم موضعی جان در برابر نیروی متمرکز کششی و فشاری

بند 3-10-9-2-10 لهیدگی جان در برابر نیروی متمرکز فشاری

بند 5-10-9-2-10 گشایش فشاری جان در برابر نیروی متمرکز فشاری

در صورتی که ضوابط یکی از بندهای فوق ارضا نشود نیاز به سخت کننده ی پیوستگی در داخل جان ستون در روبهروی ورق های بالا و پائین اتصال بال های تیر به ستون می باشد.

طراحی این سخت کننده ها بر حسب اینکه تحت اثر نیروی فشاری یا کششی هستند بر اساس ضوابط اعضای کششی و فشاری می باشد. این ضوابط قبلاً در مورد سخت کننده ها در زیر بال های متمرکز در فصل تیرورق ها توضیح داده شده است.

نکته: در تعیین ابعاد سخت کننده های پیوستگی علاوه بر ضوابط ذکر شده در بالا باید ضوابط بند 7-10-9-2-10 (قسمت 4 این بند) نیز رعایت شود.

نکته: در مورد قاب های خمشی با سطح شکل پذیری متوسط ضوابط ذکر شده در بالا با توجه به اصطلاحات بند 5-8-3-10 باید مورد استفاده قرار گیرند.

5- طراحی ورق های مضاعف کننده در چشمه ی اتصال

چشمه ی اتصال بخشی از جان ستون است که در مقابل اتصال تیر به ستون قرار دارد. ارتفاع چشمه ی اتصال برابر ارتفاع بلندترین تیر متصل به ستون در دو سمت چشمه ی اتصال است.

باید بر اساس ضوابط بند 6-10-9-2-10 کنترل شود که چشمه ی اتصال در برابر نیروی برشی که به آن وارد می شود جوابگوست یا خیر. در صورت عدم جوابگویی در ناحیه ی چشمه ی اتصال در دو سمت جان ستون ورق هایی به جان ستون متصل می کنند که به آن ورق های مضاعف کننده می گویند.

نکته: برای قاب های خمشی با سطح شکل پذیری متوسط کنترل ضوابط فوق علاوه بر بند فوق باید ضوابط تکمیلی بند 4-8-3-10 باشد.

مثال: مطلوبست طراحی اتصال گیردار تیر به ستون از نوع WFP برای قاب خمشی با سطح شکل پذیری متوسط بر اساس مشخصات زیر:

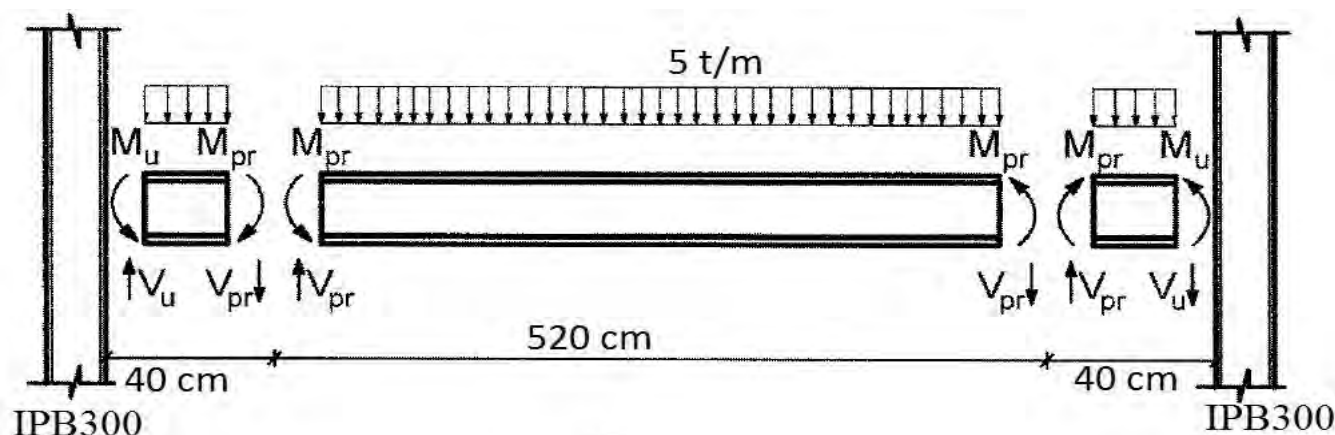
ستون IPB300 و تیر IPE300. اتصال گیردار از دو سمت ستون به آن وجود دارد یعنی فرض می شود دو تیر IPE300 با مشخصات مشابه از دو سمت ستون به آن وصل می شود. اتصال به بال ستون است. طول دهانه ی آزاد تیر 1 متر، بار ضریب دار مرده و زنده ی وارد بر تیر 5 ton/m، برای شروع محاسبات فرض کنید مفصل پلاستیک از لبه ی ستون به فاصله ی 40 cm باشد.

اتصال فوق در طبقه ی دوم یک ساختمان 4 طبقه می باشد. فرض کنید نیروی برشی ضریب دار ستون به موازات تیرها در طبقه ی بالای تیر 6 ton می باشد. نیروی محوری ضریب دار ستون نیز 50 ton می باشد.

حل: مرحله ی اول: تعیین نیروی برشی و لنگر خمشی جهت طراحی اتصال

چون سطح شکل پذیری متوسط است تعیین نیروی برشی و لنگر خمشی باید بر اساس معادلات تعادل طبق شکل 1-8-3-10 باشد.

برای سطح شکل پذیری کم این مقادیر از تحلیل سازه بدست می آید.



-محل مفصل پلاستیک در انتهای ورق های اتصال بال بالا و پائین است. چون در شروع مسائل طول این ورق ها نامشخص است باید یک حدس اولیه برای آن داشته باشیم. اگر در ادامه مقادیر واقعی با حدس اولیه اختلاف قابل ملاحظه ای داشته باشد باید برگردیم و محاسبات را تکرار کنیم.

$$M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$$

$$1.1 \leq C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} = \frac{2400 + 3700}{2 \times 2400} = 1.27 \leq 1.2 \text{ not good}$$

$$C_{pr} = 1.2$$

بستگی به این دارد که مقطع تیر نورد شده باشد یا ساخته شده از ورق.

$$R_y \begin{cases} \text{مقاطع نورد شده 1.2} \\ \text{مقاطع ساخته شده با ورق 1.15} \end{cases} \Rightarrow R_y = 1.2, \quad M_p = Z \cdot F_y$$

$$Z = 628 : \text{ داریم } IPE300 : \text{ از اشنال}$$

$$M_{pr} = 1.2 \times 1.2 \times 628 \times 2400 = 21.7 \times 10^5 \text{ kgf} - \text{cm}$$

V_{pr} : بر اساس تعادل قسمت میانی تیر بدست می آید.

$$V_{pr} = \frac{w_u l_h}{2} + \frac{2M_{pr}}{l_h} = \frac{5000 \times 5.2}{2} + \frac{2 \times 21.7 \times 10^3}{5.2} = 21346 \text{ kgf}$$

محاسبه ی M_u و V_u بر اساس تعادل قطعه ی اول و آخر

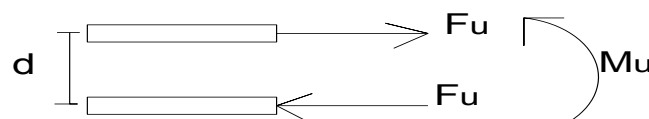
$$V_u = V_{pr} + w_u S_h = 21346 + 5000 \times 0.4 = 23346$$

$$M_u = M_{pr} + V_{pr} S_h + \frac{w_u S_h^2}{2} = 21.7 \times 10^3 + 21346 \times 0.4 + \frac{5000 \times 0.4^2}{2} = 30638 \text{ kg.m}$$

$$M_u = 30.638 \text{ ton} - \text{m}$$

-طراحی ورق های اتصال بالا و پائین:

این ورق ها برای تحمل لنگر خمشی طراحی می شوند . لنگر خمشی را به یک کوپل نیرو تبدیل می کنیم.



$$F_u = \frac{M_u}{d_b} = \frac{30.648}{0.3} = 102.1 \text{ ton}$$

ورق اتصال بالا:

-تعیین ابعاد ورق در قسمت انتهایی (قسمت عریض)

این ابعاد باید به گونه ای باشد که جوش نفوذی اتصال ورق به بال ستون توان تحمل نیروی F را داشته باشد. برای سطح شکل پذیری متوسط ضریب کاهش مقاومت ϕ در طراحی جوش برای این ورق برابر 0.9 در نظر گرفته می شود. بر اساس ظرفیت کششی ورق تعیین می شود.

$$\phi R_n \geq R_r$$

$$\phi = 0.9, \quad R_r = F = 102100 \text{ kgf}$$

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we}, \quad \beta = 0.75 \text{ جوش کارگاهی با کنترل چشمی}$$

$$A_{we} = b_1 \times t$$

بر اساس ظرفیت کششی ورق تعیین میشود $F_{nw} = F_y$

$$\phi R_n = 0.9[0.75 \times 2400 \times b_1 \times t] \geq 102100 \implies b_1 \times t \geq 63 \text{ cm}^2$$

$$\text{فرض: } t = 25 \text{ mm}, \quad b_1 \times 2.5 \geq 63 \implies b_1 \approx 25 \text{ cm} \leq b_{fc} = 30 \text{ cm}$$

$$b_2 = b_1 \times \beta = 25 \times 0.75 = 18.75 \leq b_{fb} = 15 \text{ cm}, \quad t = 3.5 \text{ cm} \implies b_1 = 18 \text{ cm}$$

$$b_2 = 0.75 \times 18 = 13.5 \leq 15 \text{ cm} \quad ok.$$

-کنترل ورق در قسمت باریک برای تحمل نیروی F بر اساس معیار کشش:

در این حالت برای حد شکل پذیری متوسط ضریب کاهش مقاومت را یک فرض میکنیم.

$$\phi R_n \geq R_r \quad \text{و} \quad \phi = 1 \quad \text{و} \quad R_r = F = 102100$$

$$R_n = b_2 t \times F_y = 1 \times 13.5 \times 2400 = 113400 \geq 102100 \quad ok.$$

-تعیین طول جوش مورد نیاز جهت اتصال ورق به بال تیر

چون ضخامت ورق از 1.5 cm بیشتر است الکتروود سازگار با آن طبق جدول 4-9-2-10 الکتروود E70 است.

$$\phi R_n \geq R_r \quad \text{و} \quad \phi = 0.9 \quad (\text{حشکل پذیری متوسط})$$

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} = 0.75 \times 0.6 \times F_{ue} \times l_w \times 0.707a$$

$$0.9 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times l_w \times 0.707a \geq 102100$$

بعد جوش را ماکسیم مجاز در نظر میگیریم.

در این جا بین ورق اتصال و بال تیر، قسمت نازکتر بال تیر است که ضخامت آن طبق اشتال 1.07 cm می باشد.

$$10.7 \geq 6 \implies a_{max} = 10.7 - 2 = 8.7 \approx 9 \text{ mm}$$

$$0.9 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times l_w \times 0.707 \times 0.9 \geq 102100$$

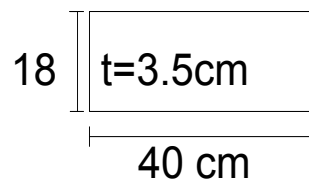
$$l_w \geq 80.8 \text{ cm} \implies l_w \approx 80 \text{ cm}$$

$$l = \frac{80}{2} = 40 \text{ cm} , m = 2.5 + \frac{18 - 13.5}{2 \tan 30} + 40 = 46.4 , m = 50 \text{ cm}$$

طول ورق با فرض اولیه ی 40 cm در صورت مساله برای موقعیت مفصل پلاستیک اختلاف زیادی ندارد. اگر اختلاف زیاد بود باید برمیگشتیم و محاسبات را با فرض اولیه ی جدید اصلاح میکردیم.

*ورق اتصال پائین:

برای ورق اتصال پائین از جواب های ورق اتصال بالا کمک می گیریم. عرض و ضخامت ورق مشابه ورق های بالا در قسمت عریض و طول آنرا L در ورق بالا می گیریم.



• ورق اتصال جان:

ورق اتصال جان را به صورت دابل در دو سمت جان در نظر میگیریم. ابتدا یک حدس اولیه برای ابعاد ورق می زنیم. ضخامت ورق را در حدود ضخامت جان تیر می گیریم.

$$\text{اشنال: } IPE300 \quad t_{wb} = 0.71 \text{ cm}$$

$$t_w = 2 \times 0.6 \text{ cm}$$

$$h_1 = 24.9 \text{ cm}$$

$$h = 23 \text{ cm}$$

طول ورق را نیز برای شروع 10 cm فرض میکنیم.

-کنترل ورق ها برای تحمل نیروی برشی

$$\varphi_V V_n \geq V_r , \quad \varphi_V = 0.9$$

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_V , \quad C_V = 1 , \quad A_w = 2 \times h \times t$$

$$0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 2 \times 23 \times 0.6 \times 1 = 35770 \geq 23346 \quad ok$$

جوش حث اثر همزمان پیچش و برش می باشد.

طراحی جوش A:

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} \quad , \quad F_{nw} = 0.6 F_u$$

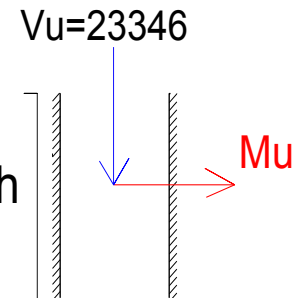
الکتروود E70

$$0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707a \geq 545 \implies a \geq 0.46 \text{ cm} \quad a = 5 \text{ mm}$$

مقایسه با مقادیر حداقل و حداکثر مجاز به عنوان تمرین انجام شود.

نکته: چون جوش از دو سمت انجام می شود بعد جوش به 75% ضخامت جان محدود می شود.

طراحی جوش B تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی برشی



$$M_u = P_u \times e = 23343 \times 8.03$$

$$f'_y = \frac{V_u}{2h} \quad , \quad f''_x = \frac{P_u \times e}{S} = \frac{3P_u e}{h^2} \implies S = \frac{h^2}{3}$$

$$f_r = \sqrt{f_x'^2 + f_y'} = \sqrt{\left(\frac{3V_u e}{2h^2}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{2h}\right)^2}$$

$$f_r = \frac{V_u}{2h^2} \sqrt{h^2 + 36 \times e^2}$$

$$f_r = \frac{23346}{2 \times 23^2} \sqrt{23^2 + 36 \times 8.03^2} = 1178$$

$$\phi R_n \geq R_r \quad , \quad R_r = f_r$$

$$\phi R_n = 1169a$$

$$1169a \geq 1178 \implies a \geq 1 \text{ cm} \quad a = 10 \text{ mm}$$

مقایسه با حداکثر و حداقل

$$t = 6 \text{ mm} \quad , \quad t_{fc} = 19 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6 \text{ mm} \quad , \quad \begin{cases} a_{min} = 3 \text{ mm} \\ a_{max} = 6 \text{ mm} \end{cases} \quad 10 > 6 \text{ not good}$$

یا می توانیم اتصال ورق به بال ستون را با جوش نفوذی انجام دهیم در این حالت باید محاسبات را با این فرض تکرار کنیم یا این که چون بعد جوش ماکسیمم تابع ضخامت ورق است این ورق را آنقدر زیاد می کنیم که بعد جوش max اقل 10mm باشد.

$$t = 12 \text{ mm} \implies a_{max} = 12 - 2 = 10 \text{ mm} \quad 10 \leq 10 \text{ ok}$$

-کنترل نیاز یا عدم نیاز به ورق های پیوستگی:

بند 1-10-9-2-19: خمش موضعی بال درمقابل نیروی محوری کششی

t_f ضخامت بال ستون

$$\phi R_n \geq R_r \quad , \quad \phi = 0.9$$

$$R_n = 6.25 F_y \times t_f^2$$

$$R_r = \frac{M_u}{d_b}$$

-برای حد شکل پذیری متوسط در مورد ستون های H شکل اگر ضخامت بال ستون از دو مقدار زیر بیشتر شود نیازی به ورق پیوستگی نیست) علاوه بر ضوابط بالا باید رعایت شود.

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} \times t_{bf} \frac{R_{yb}}{R_{yc}}}$$

$$t_{fc} \geq \frac{b_{bf}}{6}$$

b_{bf} پهنای بال تیر

t_{bf} ضخامت بال تیر

t_{cf} ضخامت بال ستون

R_{yb} برای تیر: R_y

R_{yc} برای ستون: R_y

-ستون باکس باید ضابطه ی بند 10-3-8-5 ب را ارضا نماید.

$$R_r = \frac{M_u}{d_b} = \frac{30.637 \times 10^5}{30} = 102100$$

$$\phi R_n = 0.9 \times 6.25 \times 2400 \times 1.9^2 = 48735 < 102100 \text{ not good}$$

$$t_{cf} < 0.4 \sqrt{1.8 \times 15 \times 1.07 \times \frac{1.2}{1.2}} = 2.14$$

مقطع I شکل نورد شده $R_{yb} = R_{yc} = 1.2$

$$t_{cf} = 1.9 < \frac{15}{6} = 2.5$$

از روابط فوق یک رابطه ارضا نشود نیاز به ورق پیوستگی است.

هرچند کنترل بقیه بندها ضروری نیست و در هر صورت نیاز به ورق پیوستگی است اما جهت آموزش این بند ها نیز کنترل می شود.

بند 10-2-9-10: تسلیم وضعی جان درمقالبان روی متعکشی فشرای

$$\phi R_n \geq R_r, \quad \phi = 1$$

اتصال گیردار تیر به ستون (غیر از طبقه ی آخر)

$$R_n = F_y t_{wc} (5k + l_b)$$

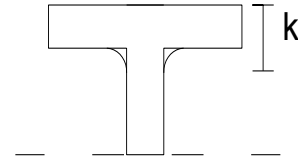
اتصال گیردار تیر به ستون در طبقه ی آخر

$$R_n = F_y t_{wc} (2.5k_c + l_b)$$

t_{wc} ضخامت جان ستون

l_b ضخامت ورق اتصال بال فشاری تیر

k_c مقدار k برای ستون



اشتال: $IPB300$: $k = 4.6 \text{ cm}$, $t_w = 1.1 \text{ cm}$, $l_b = 3.5 \text{ cm}$

$$\phi R_n = 1 \times 2400 \times 1.1 \times (5 \times 4.6 + 3.5) = 69960 < 102100$$

نیاز به ورق پیوستگی در مجاورت بال فشاری تیر

اگر ستون باکس بود R_r در رابطه ی فوق نصف می شود.

لگوی چل ستون و مقابله نیروی مرکب فشاری 3-10-2-9-10

$$\phi R_n \geq R_r \quad , \quad \phi = 0.75$$

- غیر از طبقه ی آخر

$$R_n = 0.8 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot F_y t_{wc}}{t_{wc}}}$$

طبقه ی آخر با فرض : $\frac{l_b}{d} \leq 0.2$

$$R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{3 l_b}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot F_y t_{wc}}{t_{wc}}}$$

l_b ضخامت ورق اتصال بال فشاری تیر:

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.8 \times 1.1^2 \times \left[1 + 3 \times \frac{3.5}{30} \times \left(\frac{1.1}{1.9} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 1.9}{1.1}} = 78182 < R_r = 102100$$

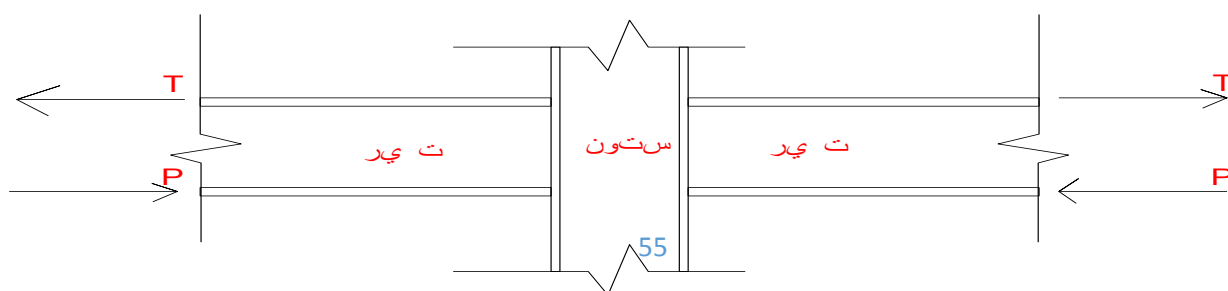
نیاز به ورق پیوستگی در مقابل بال فشاری تیر

نکته: اگر باکس بود R_r تقسیم به دو می شود.

بند 5-10-2-9-10: بکشی فشاری جان در قبلی یک جهت نیروی مرکب فشاری

- الزامات این بند مربوط است به حالاتی که یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت زوج نیرو در یک مقطع در جهت مخالف به بال های مقابل عضو اعمال می شود.

- این بند وقتی کنترل می شود که به ستون از دو سمت آن تیر با اتصال گیردار متصل شود.



$$\phi R_n \geq R_r, \quad \phi = 0.9$$

$$R_n = \frac{24t_{wc}^3 \sqrt{E \times F_y}}{h_c}$$

$$h_c = d_c - 2k_c \quad \text{ارتفاع آزاد جان ستون}$$

$$\phi R_n = \frac{0.9 \times 2400 \times 1.1^3 \times \sqrt{2.1 \times 10^6 \times 2400}}{30 - 2 \times 4.6} = 98126 < R_r = 102100$$

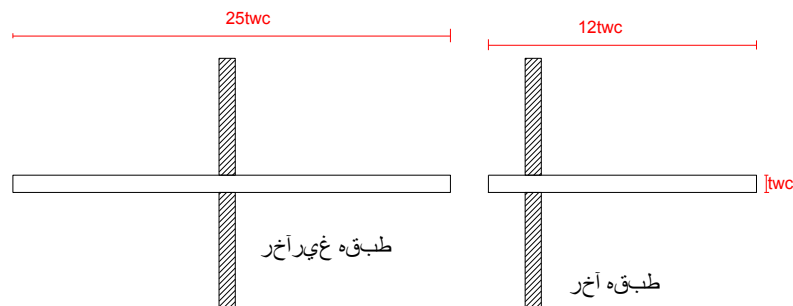
نیاز به ورق پیوستگی

نکته: برای ستون باکس R_r نصف می شود.

طراح ورق پیوستگی:

ورق پیوستگی در مقابل بال کششی تیر طبق ضوابط اعضای کششی و در مقابل اعضای فشاری طبق ضوابط اعضای فشاری باید طراحی شود. چون در این جا لنگر تیر ناشی از زلزله و رفت و برگشتی است هر یک از دو بال تیر همزمان میتوان کششی یا فشاری باشد پس باید طراحی برای هر دو حالت انجام شود.

-در این جا طراحی را برای فشار که بحرانی تر است انجام می دهیم. این طراحی مشابه سخت کننده های فشاری در تیر ورق ها است.



$$R_r = 102100 \quad \text{بار فشاری}$$

$$F_{cr} = 2000 \quad \text{فرض اولیه}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$0.9 \times 2000 \times A_g \geq 102100 \implies A_g = 56.7$$

$$A_{st} = \frac{56.7 - 1.1 \times 27.5}{2} = 13.2 \text{ cm}^2$$

-در انتخاب ابعاد سخت کننده ها باید محدودیت های زیر رعایت شود:

$$2b_s + t_{wc} \geq \frac{2}{3}b_1 \quad , \quad t_s \geq \frac{t}{2}$$

b_1 عرض ورق اتصال بال تیر

t ضخامت ورق اتصال بال تیر

ارتفاع آزاد جان ستون $(h_c) = (h_s)$ ارتفاع سخت کننده

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

-برای حد شکل پذیری متوسط علاوه بر ضوابط فوق ضوابط زیر نیز باید ارضاء شود :

$$2b_s + t_{wc} \geq b_1$$

-اگر از هر دو سمت بال ستون دو تیر با اتصال گیردار به ستون متصل شده باشد $t_s \geq t$

ستون H شکل

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

ستون باکس

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

در ستون باکس b_s به اندازه ی عرض داخلی بال ستون است.

فرض: $t_s = 3.5$, $b_s = 9$

$$2b_s + t_{wc} \geq b_1$$

$$2 \times 9 + 1.1 = 19.1 \geq b_1 = 18 \quad ok.$$

اتصال گیردار از دو سمت بال ستون

$$t_s = 3.5 \geq t = 3.5$$

$$t_s = 3.5 \geq \frac{b_s}{16} = \frac{9}{16} = 0.56 \quad ok.$$

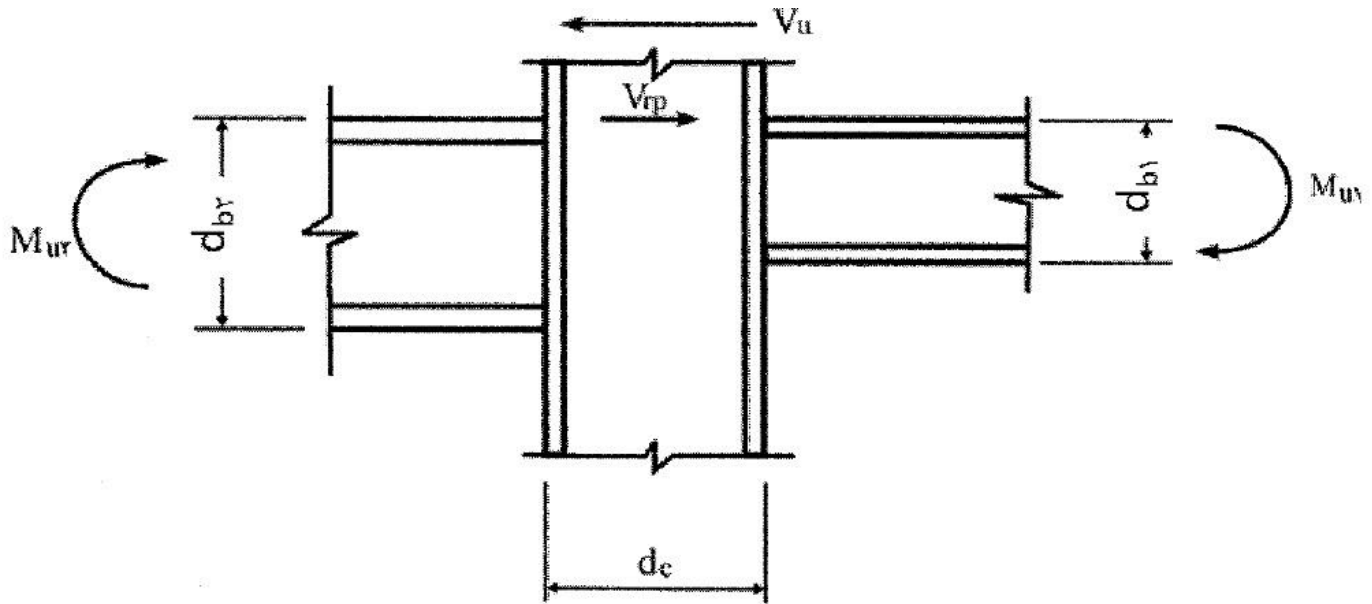
$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{9}{3.5} = 2.57 \leq 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 16 \quad ok.$$

$$A_{st} = 9 \times 3.5 = 31.5 \geq 13.2 \quad ok.$$

-محاسبه ی مشخصات ستون و محاسبه ی مقدار P_n و F_{cr} کنترل رابطه ی زیر بر اساس کمانش خمشی به عنوان تمرین انجام شود.

$$\phi_c P_n \geq P_r \quad , \quad P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad , \quad h_s = h_c = 20.8 \text{ cm}$$

بند 6-10-9-2-10: برش درچشمی اتصال :



شکل ۱۰-۲-۹-۲۱ برش در چشمه اتصال

$$\phi R_n \geq R_r \quad , \quad \phi = 0.9$$

$$V_{up} = \frac{M_{u1}}{d_{b1}} + \frac{M_{u2}}{d_{b2}} - V_u$$

-اگر فقط یک سمت به ستون اتصال گیردار داشته باشیم یکی از دو جمله ی فوق حذف می شود.و اگر در طبقه ی آخر باشیم V_u صفر می شود.

-با فرض آنکه تاثیر تغییر شکل چشمه ی اتصال در تحلیل سازه منظور نشده باشد.

$$P_u \leq 0.4P_C \text{ اگر}$$

$$R_n = 0.6F_y d_c t_{wc}$$

$$P_u \geq 0.4P_C \text{ اگر}$$

$$R_n = 0.6F_y d_c t_{wc} \left(1.4 - \frac{P_u}{P_C} \right)$$

$$P_C = A_g \times F_y$$

$$R_r \longrightarrow V_{up}$$

P_u بار ضریب دار محوری ستون

A_g سطح مقطع ستون

-در باکس R_r نصف می شود

$$V_{up} = \frac{30.735 \times 10^5}{30} + \frac{30.735 \times 10^5}{30} - 6000$$

-طبق صورت مساله به ستون دو تیر مشابه از دو سمت متصل می شود

$$V_{up} = 196500 \text{ kg}$$

$$P_u = 50 \text{ t} \text{ بار محوری ضریب دار ستون}$$

$$A_g = 149.1 : IPB300 \text{ : اشتال}$$

$$P_c = A_g \times F_y = 149.1 \times 2400 = 357840$$

$$50000 \leq 0.4 \times 357840 = 143136$$

$$R_n = 0.6 \times 2400 \times 30 \times 1.1 = 47520$$

$$\phi R_n = 0.9 \times 47520 = 42768 < R_r = 196500 \text{ not good}$$

بار محوری ضریب دار ستون

پس نیاز به ورق مضاعف کننده در ناحیه ی چشمه ی اتصال می باشد.

-ورق مضاعف به صورت یک جفت ورق در دو سمت جان تیر تعبیه می شود. ضخامت لای ها باید به گونه ای در نظر گرفته شود که رابطه ی قبلی با جایگزین جمع ضخامت ورق های مضاعف با ضخامت جان به جای t_{wc} جوابگو باشد

-5 فرض $t = 2 \times 2 \text{ cm}$ ضخامت ورق مضاعف کننده

$$t_w = 2 \times 2 + 1.1 = 5.1$$

$$\phi R_n = 0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 30 \times 5.1 = 198288 \geq 196500 \text{ ok}$$

-ضخامت جان ستون یا هر یک از ورق های سخت کننده باید در رابطه ی زیر صدق نماید

d_z ارتفاع چشمه ی اتصال برابر ارتفاع تیر بلند تر

$$t_z \geq \left(\frac{d_z + w_z}{90} \right)$$

$$d_z = 30 \text{ cm}$$

w_z پهنای چشمه ی اتصال

$$w_z = h_c = 20.8$$

t_z مینیمم ضخامت جان ستون و ورق های سخت کننده

$$t_z = \min(2, 1.1) = 1.1$$

$$1.1 \geq \frac{30 + 20.8}{90} = 0.56 \text{ ok}$$

-اگر رابطه ی فوق ارضا نشد می توان اتصال ورق های مضاعف کننده به جان ستون را با جوش انگشتانه انجام داد در این صورت در رابطه ی فوق t_z برابر جمع ضخامت جان ستون و ورق های مضاعف کننده خواهد بود. مثلاً در این جا: $t_z = 1.1 + 2 \times 2 = 5.1$

وصله ها

وصله جهت اتصال دو قطعه ی همسایز یا غیر همسایز در راستای طولی آنها استفاده می شود. وصله می تواند به روش های مختلف انجام می شود. 1- جوش مستقیم دو قطعه با جوش نفوذی کامل 2- استفاده از ورق های وصله جهت اتصال دو قطعه در این حالت اجزای دو قطعه توسط ورق هایی که نیمی از آنها روی هر یک از دو قطعه قرار دارد و به صورت کامل با جوش گوشه جوش شده است. به هم متصل می شود. در روش سوم ترکیبی از دو روش اول و دوم استفاده می شود.

در مورد قطعات غیر همسایز قطعه ی کوچکتر ابتدا باید با جوش ورقهایی تحت عنوان فیلر پلیت با قطعه ی بزرگتر همسایز شود و سپس میتوان دو قطعه را با جوش مستقیم با ورق وصله و یا ترکیبی از این دو به هم وصله کنیم.

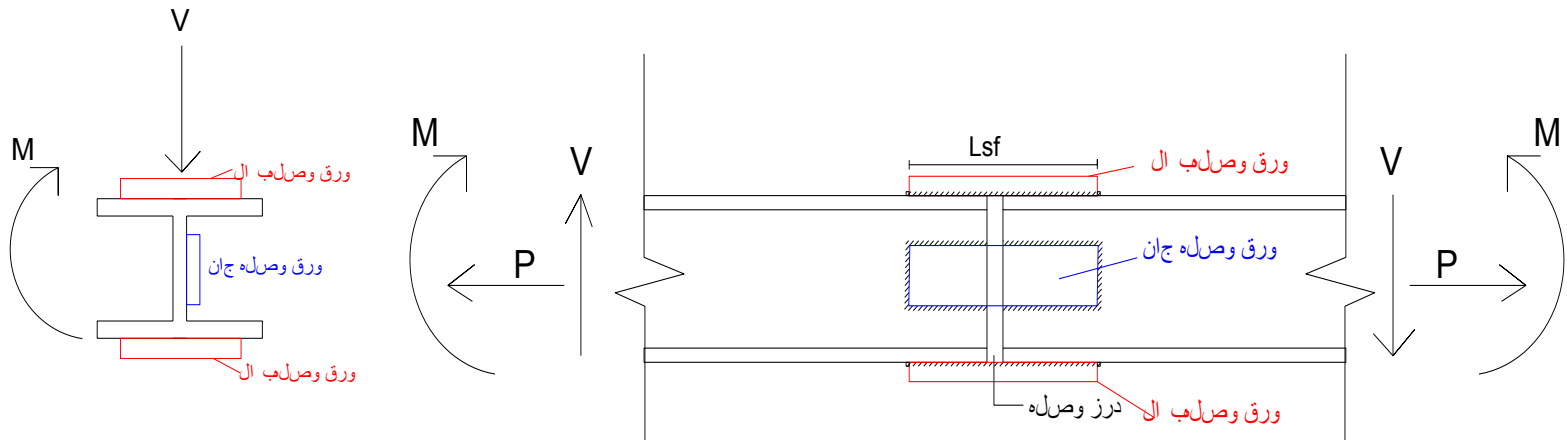
ضوابط ورق های پر کننده در بند 10-2-5 ذکر شده است

مکان وصله حتی الامکان باید در جایی تعبیه شود که نیروهای موجود (نیروی برشی ، لنگر خمشی) حتی الامکان حداقل باشد . وصله در برخی از قسمت ها مثلاً در مجاورت اتصال تیر به ستون در ستون ها و تیر های قاب خمشی ممنوع است.

وصله باید جوابگوی max نیروهای داخلی در محل وصله باشد در برخی از حالات طراحی وصله باید برای ضریبی از ظرفیت مقطع انجام گیرد.

وصله مبتل افاده از ورق های وصله:

در این جا به صورت نمونه جزئیات این روش برای مقاطع I شکل تحت ترکیب نیروهای برشی ، لنگر خمشی و نیروی محوری توضیح داده می شود. اصول کلی روش برای حالات دیگر مشابه است.



قرار داد علامت مثبت بر اساس نیروها در سمت چپ درز وصله :

P کششی مثبت

V رو به بالا مثبت

M ساعتگرد مثبت

مراحل طراحی وصله به شرح زیر است:

1- تعیین نیروها در درز وصله

این نیروها معمولاً ماکسیمم مقادیر موجود در درز وصله در ترکیب بارهای مختلف استو یا در برخی موارد خاص بر اساس نسبتی از ظرفیت مقطع در نظر گرفته می شود.

نکته : لزوماً هر سه حالت نیروی محوری ، برشی و لنگر خمشی در درز وصله وجود ندارند. مثلاً در تیر ها نیروی محوری معمولاً صفر است.

2- مقادیر موجود در درز وصله را به نسبت مناسب بین ورق های وصله جان و بال تقسیم میکنیم. در این مورد توجه به نکات زیر ضروری است.

الف) تمام نیروی برشی به ورق وصله ی جان می رسد

ب) (نیروی محوری به نسبت مساحت بین جان و بال تقسیم می شود.

$$P_f = \frac{A_f}{A} \times P = \text{نیروی محوری سهم یک بال}$$

$$P_w = \frac{A_w}{A} \times P = \text{نیروی محوری سهم جان}$$

A_f مساحت یک بال

A_w مساحت جان

A مساحت مقطع

پ) لنگر خمشی به نسبت ممان اینرسی بین جان و بال تقسیم می شود.

$$M_f = \frac{2I_f}{I} \times M = \text{نیروی محوری سهم یک بال}$$

$$M_w = \frac{I_w}{I} \times M = \text{نیروی محوری سهم جان}$$

I_f ممان اینرسی یک بال

I ممان اینرسی کل مقطع

I_w ممان اینرسی جان

0 طراحی ورق وصل بال:

ورق وصله ی بال برای ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری طراحی میشود. لنگر خمشی را می توان به یک کوپل نیرو تبدیل کرد. که هر یک از این دو نیرو با نیروی محوری سهم بال جمع می شود و عملاً طراحی ورق وصله ی بال برای یک نیروی محوری خواهد بود.

این نیروی محوری به شرح زیر محاسبه می شود:

$$F = \frac{M_f}{d} \pm P_f$$

لحاظ کردن علامت مثبت (حالت بحرانی)

$$F = \frac{M_f}{d} + P_f$$

d ارتفاع مقطع

تعیین سطح مقطع ورق وصله ی بال

$$\varphi_c P_n \geq P_r, \quad P_n = F_y \cdot A_{sf}, \quad \varphi_c = 0.9$$

A_{sf} مساحت ورق وصله ی بال

طول ورق وصله باید به گونه ای در نظر گرفته شود که در هر یک از دو سمت درز وصله طول جوش افی جهت اتصال ورق وصله ی بال به بال به صورت جوش گوشه تامین شود. بهتر است ابتدا بعد جوش را بر اساس حداکثر مجاز تعیین کرده و سپس با توجه به این بعد جوش طول جوش مورد نیاز را محاسبه کرد.

طول جوش مورد نیاز در کل طول ورق دو برابر مقداری است که به این روش محاسبه می شود.

$$\varphi R_{nw} \geq R_r, \quad R_r \longrightarrow F, \quad \varphi = 0.75, \quad R_{nw} = \beta 0.6 F_{ue} 0.707 a l_w$$

$$l_w = \frac{2l_{sf}}{2} + b_{sf} = l_{sf} + b_{sf}$$

b_{sf} عرض ورق وصله بال

-فرض می شود هر چهار ضلع ورق جوش شود

نکته: اگر عرض ورق بیش از عرض بال تیر باشد در رابطه ی بالا به جای b_{sf} عرض بال را جایگزین میکنیم.

$$l_w = l_{sf} + \text{Min}(b_f, b_{sf})$$

4 طراحی ورق وصله جان:

ورق وصله ی جان می تواند به صورت تک و یا دابل باشد

در صورتی که به صورت دابل باشد مشابه حالت تک طراحی کرده اما نیروهای طراحی را نصف میکنیم.

طراحی ورق وصله جان خود شامل مراحل زیر است:

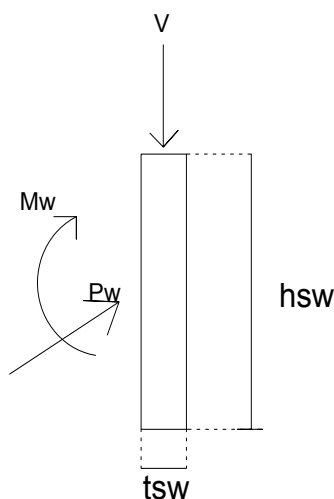
الف) حدس اولیه برای ابعاد این ورق

ارتفاع ورق اندکی کمتر از ارتفاع آزاد جان

ضخامت ورق اندکی بیشتر از ضخامت جان

طول ورق نیز بر اساس تجربه می باشد و بر اساس نیروها در محل درز وصله

ب) کنترل ارتفاع و ضخامت ورق بر اساس نیروهای موجود در درز وصله



کنترل برای برش

$$\phi_v V_n \geq V_r, \quad \phi_v = 0.9, \quad V_r = V, \quad V_n = 0.6F_y A_w C_v, \quad C_v = 1$$

کنترل برای ترکیب خمش و نیروی محوری

بر اساس ضوابط تیر ستون ها

$$P_u = P_w, \quad P_t = 0.6F_y A_{sw} = 0.6F_y h_{sw} t_{sw}$$

$$\frac{P_u}{P_t} \geq 0.2 \quad \text{اگر}$$

$$\frac{P_u}{P_t} + \frac{8}{9} \times \frac{M_w}{M_{cx}} \leq 1$$

$$M_{cx} = ZF_y = \frac{t_{sw} \times h_{sw}^2}{4} F_y$$

$$\text{if } \frac{P_u}{P_t} \leq 0.2$$

$$\frac{P_u}{2P_t} + \frac{M_w}{M_{cx}} \leq 1$$

اگر روابط فوق ارضا نشد ابعاد ورق را اصلاح می کنیم

پ) کنترل کفایت طول ورق وصله و تعیین بعد جوش اتصال ورق به جان برای این منظور ورق را از محل درز وصله دو تکه می کنیم. در هر یک از دو تکه شکل جوش به صورت شکل ناودانی می باشد. مرکز ثقل ناودانی را محاسبه کرده و نیروهای موجود در درز وصله را به همراه لنگری که ایجاد میکنند به مرکز ناودانی منتقل می کنند.

نکته: در این انتقال باید به جهت لنگر ها توجه نمود.

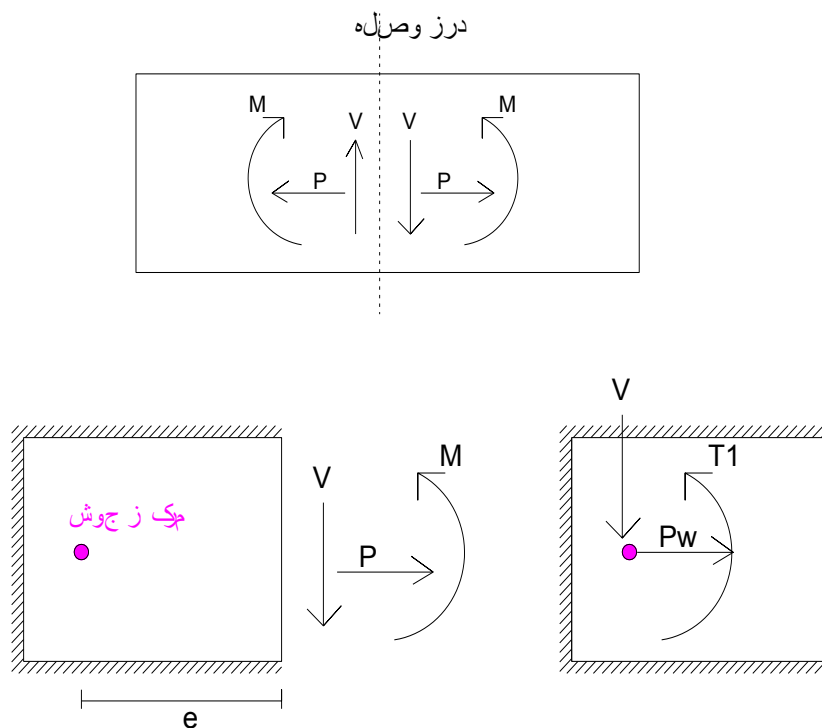
ممکن است لنگر ها نسبت به هم کاهنده باشند. این مساله در سمت چپ و راست درز وصله می تواند متفاوت باشد. در این صورت بین این دو سمت قسمتی را انتخاب می کنیم که اثرات به صورت افزایشده باشد و بحرانی تر شود. سپس جوش ناودانی شکل را تحت ترکیب لنگر پیچشی و نیروهای برشی افقی و عمودی طراحی میکنیم.

نقطه ی بحرانی برای کنترل نقطه ای است که بیشترین فاصله از مرکز ثقل جوش را داشته باشد و تنش ناشی از پیچش در مقایسه تنش های ناشی از برش افقی و عمودی افزایشده باشد.

اگر این دو همزمان رخ نداد باید بیش از یک نقطه را برای کنترل امتحان میکنیم. یک نقطه در جایی که بیشترین فاصله تا مرکز جوش را دارد و نقطه ی دیگر جایی که هرچند ممکن است بیشترین فاصله را نداشته باشد اما تنش ناشی از پیچش با تنش های برشی افقی و عمودی حالت افزایشده دارد. به این روش بعد جوشی برای اتصال ورق به جان بدست می آید.

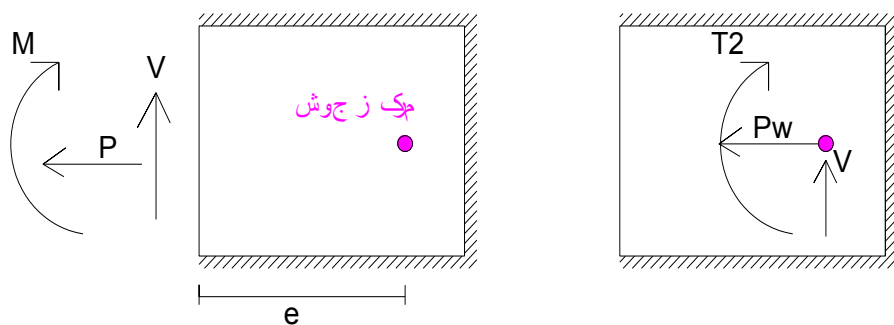
این بعد جوش با حداقل و حداکثر مجاز مقایسه می شود.

در مورد ورق های وصله ی دوبل توجه گردد که بعد جوش باید با ۷۵٪ ضخامت جان نیز مقایسه شود. اگر بعد جوش از حداکثر مجاز بیشتر شد باید بازگشته و طول ورق را افزایش دهیم و محاسبات را تکرار کنیم.



اثر کاهنده دارد

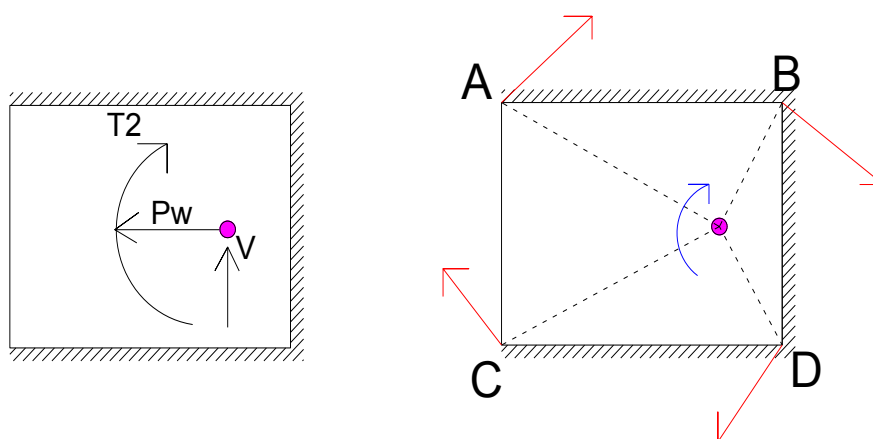
$$T_1 = M_w - V \times e$$



$$T_2 = M_W + V \times e$$

سمت راستی بحرانی تر است.

تشریح روش پی‌چش



A : عمودی افزایشده ، افقی کاهشده

B : عمودی کاهشده ، افقی افزایشده

C : عمودی افزایشده ، افقی کاهشده

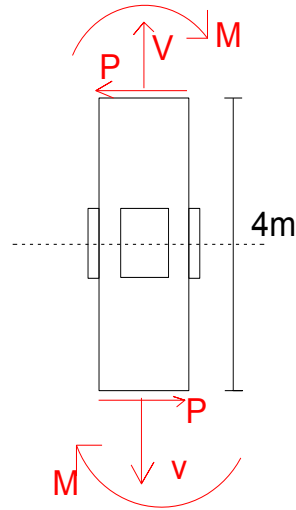
D : عمودی کاهشده ، افقی افزایشده

نکته : اگر در یکی از دو نقطه ی A و C هر دو اثر افزایشده نبود برای نقطه ی بحرانی یکی از دو نقطه ی A و C و یکی از دو نقطه ی B و D که هر دو اثر افزایشده را داشت را امتحان می‌کردیم.

مثال : مطلوبست طراحی وصله ی ستونی با مقطع IPB300 با استفاده از ورق های وصله ی بال و جان. مقادیر نیروی محوری و لنگر خمشی موجود در ستون را 50 % مقادیر مجاز و نیروی برشی را بر اساس رابطه ی تعادل با لنگر دو انتها بر اساس همان لنگر موجود در مقطع فرض کنید. ارتفاع ستون را 4 m در نظر بگیرید.

ستون تحت خمش حول محور قوی است. جهات نیروها را بر اساس استاندارد جهت مثبت در نظر بگیرید. فرض کنید ستون تحت کشش است.

جهت نیروی برشی در جهتی که لنگر دو انتهای ستون را خنثی کند.



$$V = \frac{2M}{h}$$

مابین به ی M

کل ظرفیت $M_n = ZF_y$ ، $\phi_b = 0.9$ ، $\phi_b M_n \geq M_r$

اشنال: $IPB300$: $d = 30 \text{ cm}$ ، $b_f = 30 \text{ cm}$ ، $t_f = 1.9$ ،

$t_w = 1.1$ ، $Z = 1868$ ، $h_1 = 20.8$ ، $A = 149.1$ ، $I = 25170 \text{ cm}^4$

$$M_r = 0.9 \times 1868 \times 2400 = 40.35 \times 10^5 \text{ kg-cm}$$

$$50\% \text{ ظرفیت ستون} = M = 0.5M_r = 20.17 \times 10^5 \text{ kg-cm}$$

$$\phi_c P_n \geq P_r \quad , \quad P_n = F_y \cdot A_{sf} \quad , \quad \phi_c = 0.9$$

$$0.9 \times F_y \times A_g = 0.9 \times 2400 \times 149.1 \geq P_r = 322056$$

$$P = 0.5P_r = 161028$$

$$V = \frac{2M}{h} = \frac{2 \times 20.17 \times 10^5}{400} = 10085 \text{ kg}$$

مابین به ی نیروهای طراحی شده و جان:

$$\text{نیروی محوری سهم یک بال} = P_f = \frac{A_f}{A} \times P = \frac{30 \times 1.9}{149.1} \times 161028$$

$$\text{نیروی محوری سهم جان} = P_w = \frac{A_w}{A} \times P = P - 2P_f = 161028 - 37908$$

$$I_w = \frac{1}{12} \times 1.1 \times (30 - 2 \times 1.9)^3 = 1649 \text{ cm}^4$$

$$I_f = \frac{I - I_w}{2} = \frac{25170 - 1649}{2} = 11761$$

$$\text{نیروی محوری سهم جان} = M_w = \frac{I_w}{I} \times M = \frac{1649}{25170} \times 20.17 \times 10^5 = 1.32 \times 10^5$$

$$\text{نیروی محوری سهم یک بال} = M_f = \frac{2I_f}{I} \times M = M - M_w = (20.17 - 1.32) \times 10^5 = 18.85 \times 10^5 \text{ kg} - \text{cm}$$

طراحی ورق وصله بال

$$F = \frac{M_f}{d} + P_f = \frac{18.85 \times 10^5}{30} + 61560 = 124393 \text{ kgf}$$

تعیین سطح مقطع ورق وصله بال بر اساس معیار کشش

$$\varphi_C P_n \geq P_r \quad , \quad P_n = F_y \cdot A_{sf} \quad , \quad \varphi_C = 0.9 \quad , \quad P_r = F$$

فرض $t_{sf} = 2 \text{ cm}$ (در حدود ضخامت بال)

$$0.9 \times 2400 \times 2 \times b_{sf} \geq 124393 \Rightarrow b_{sf} \geq 28.8$$

کمی بیش از عرض بال جهت جوش $b_{sf} = 32 \text{ cm}$

تعیین طول ورق وصله بال:

ابتدا بعد جوش را تعیین می کنیم.

بعد جوش را بر اساس max مجاز لحاظ می کنیم

ضخامت بال: 1.9 cm

ضخامت ورق وصله بال: 2 cm

مینیمم: 1.9

$$a_{max} = 19 - 2 = 17 \text{ mm} \quad , \quad a = 10 \text{ mm}$$

فرض: الکتروود E60 جوش کارگاهی (چون ضخامت بیش از 15 mm است)

$$\varphi R_{nw} \geq R_r \quad , \quad \varphi = 0.75 \quad , \quad R_r = F = 124393$$

$$0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 1 \times l_w \geq 124393 \Rightarrow l_w \geq 106.4$$

$$l_w = l_{sf} + \min(b_f, b_{sf})$$

$$l_w = l_{sf} + \min(30, 32) \geq 106.4 \quad , \quad l_{sf} \geq 76.4 \Rightarrow l_{sf} = 80 \text{ cm}$$

طراحی ورق وصله جان:

فرض: ورق وصله دوبل

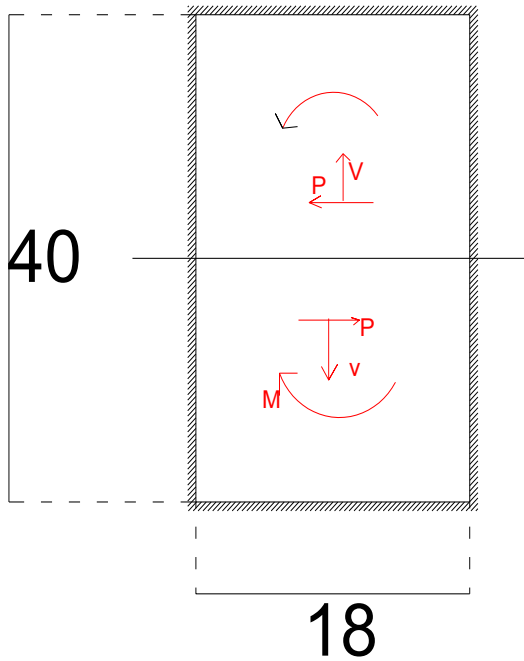
ابعاد اولیه برای ورق وصله

ارتفاع کمی کمتر از ارتفاع آزاد جان

مجموع ضخامت دو ورق کمی بیشتر از ضخامت جان

طول : دلخواه بر اساس تجربه

$2pl18 \times 40 \times 0.6 \text{ cm}$: فرض اولیه



چون ورق دویل است مقادیر را نصف می کنیم

$$V = \frac{10085}{2} = 5042$$

$$P_w = \frac{37908}{2} = 18954$$

$$M_w = \frac{1.32 \times 10^5}{2} = 66000$$

با فرض آنکه محل وصله نزدیک به پایین ستون باشد جهت لنگر را بر اساس جهت لنگر پایین ستون تعیین می کنیم.

نکته: جهت نیروها و لنگر ها دو سمت درز وصله باید خلاف هم باشد

کنترل ابعاد ورق وصله

$$\phi V_n \geq V_r, \phi = 0.9, V_r = V = 5042$$

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_V, C_V = 1, A_w = h_{sw} \times t_{sw}$$

$$0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 18 \times 0.6 \times 1 = 13997 \geq 5042 \quad ok$$

کنترل برای اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

$$\frac{P_u}{P_t} \geq 0.2 \text{ or } \leq 0.2$$

$$P_u = P_w = 18954$$

$$P_t = \varphi_c P_n = 0.9 \times (F_y \times A_{sw}) = 0.9 \times (F_y \times h_{sw} \times t_{sw}) = 0.9 \times 2400 \times 18 \times 0.6 = 23328$$

$$\frac{18954}{23328} = 0.81 \geq 0.2$$

$$\implies \frac{P_u}{P_t} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1, \quad M_{uy} = 0$$

$$M_{ux} = M_w = 66000$$

$$M_{cx} = \varphi_b \times Z F_y = 0.9 \times \left(\frac{t_{sw} \times h_{sw}^2}{4} F_y \right)$$

$$= 0.9 \times \frac{0.6 \times 18^2}{4} \times 2400 = 104976$$

$$0.81 + \frac{8}{9} \times \frac{66000}{104976} = 1.37 > 1 \text{ not good}$$

$$t_{sw} = 0.8 \text{ cm}$$

$$\frac{P_u}{P_t} = \frac{18954}{0.9 \times 2000 \times 18 \times 0.8} = 0.61 \geq 0.2$$

$$0.61 + \frac{8}{9} \times \frac{66000}{139968} = 1.03 > 1$$

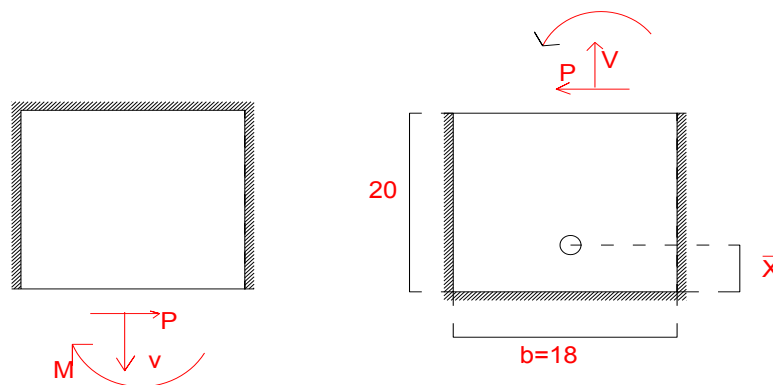
ضخامت را افزایش می دهیم.

چون فاصله کم است با اندکی اغماض قابل قبول است

طراحی جوش اتصال

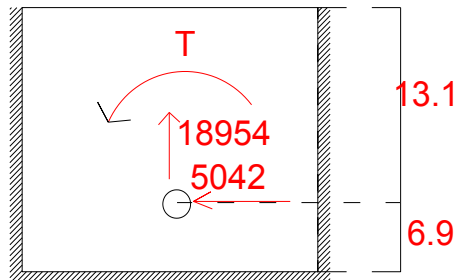
ورق را در محل درز وصله دو تکه می کنیم.

در صورت انتقال نیروها به مرکز جوش در قطعه ی بالا نیروی برشی لنگری کاهنده نسبت به لنگر موجود ایجاد می کند پس این لنگر در قطعه ی پایینی افزاینده است پس قطعه ی پایینی بحرانی تر است.



$$\bar{x} = \frac{d^2}{2d + b} = \frac{20^2}{2 \times 20 + 18} = 6.9 \text{ cm}$$

انتقال نیروها به مرکز جوش



$$T = 66000 + 5042 \times (20 - 6.9) = 132050 \text{ kg} - \text{cm}$$

محاسبه نیروها در واحد طول جوش

$$f'_y = \frac{V_y}{2d + b} = \frac{18954}{2 \times 20 + 18} = 327$$

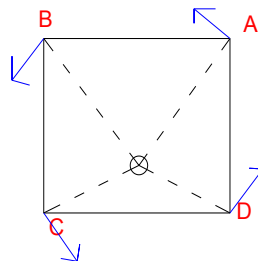
$$f'_x = \frac{V_x}{2d + b} = \frac{5042}{2 \times 20 + 18} = 87 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

تنش ناشی از پیچش

ابتدا نقطه ی بحرانی را انتخاب میکنیم

نقطه ی بحرانی نقطه ای است که دورترین فاصله تا مرکز جوش را داشته باشد و جهت مولفه های تنش با مولفه های تنش ناشی از برش مستقیم هم جهت باشد.

اگر به طور همزمان تمام موارد رخ نداد بیشتر از یک نقطه را انتخاب میکنیم. یک نقطه با دورترین فاصله و نقطه ی دیگر با مولفه های افزایشنده A و B دورترین فاصله نسبت به مرکز جوش را دارد. در B مولفه ی عمودی تنش نسبت به برش های مستقیم کاهشده است. و مولفه ی افقی افزایشنده است.



در A هر دو مولفه افزایشنده است. پس نقطه ی A بحرانی است. اگر بین A و B نقطه ای بدست نمی آمد که هر دو مولفه افزایشنده باشد، یکی از دو نقطه A و B را با یکی از دو نقطه ی C و D که در آن هر دو مولفه افزایشنده بود را همزمان کنترل می کردیم تا نقطه ی بحرانی مشخص شود.

$$F_y'' = \frac{T_x x}{I_p} \quad , \quad F_x'' = \frac{T_x y}{I_p}$$

$$I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d + b} = \frac{18^3 + 6 \times 18^2 + 8 \times 20^2}{12} - \frac{20^4}{2 \times 20 + 18} = 6301 \text{ cm}^3$$

$$F_x'' = \frac{13205 \times (20 - 6.9)}{6301} = 275 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$F_y'' = \frac{132050 \times \left(\frac{18}{2}\right)}{6301} = 189$$

$$f_r = \sqrt{(f_x' \pm f_x'')^2 + (f_y' \pm f_y'')^2}$$

چون اثرات افزاینده است از علامت مثبت استفاده میکنیم.

$$f_r = \sqrt{(87 + 275)^2 + (327 + 189)^2} = 630 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

طراحی جوش

فرض الکتروود E70

$$\varphi R_{nw} \geq R_r \quad , \quad \varphi = 0.75 \quad , \quad R_r = f_r = 630$$

$$R_{nw} = \beta \times 0.6 F_{ue} \times A_{we}$$

$$0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times a = 1169a \geq 630 \implies a \geq 0.54 \text{ cm} \quad a = 6 \text{ mm}$$

مقایسه با مقادیر حداقل و حداکثر

$$t_{min} = \min(8, 11) = 8 \text{ mm}$$

$$7 \leq 8 \leq 12 \implies a_{min} = 5 \quad , \quad 6 < 8 \implies a_{max} = 8 - 2 = 6 \text{ mm} \quad , \quad 5 \leq 6 \leq 6 \quad ok.$$

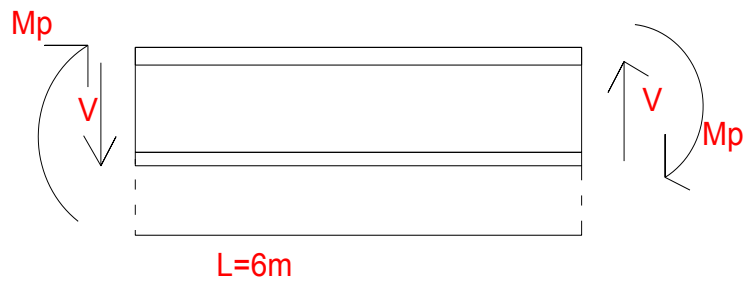
ورق دوبل و جوش از دو طرف جان:

$$a \leq 0.75 t_w$$

$$6 \leq 0.75 \times 11 = 8.25 \quad ok$$

اگر از بعد جوش max بیشتر بود طول ورق را افزایش میدادیم و دوباره تکرار میکردیم. اگر از بعد جوش min کمتر بود طول ورق را کاهش میدادیم و محاسبات را دوباره تکرار میکنیم.

تمرین: در مثال قبل ورق های وصله را بر اساس ظرفیت کششی مقطع محاسبه کنید. نیروی برشی و لنگر خمشی صفر است
تمرین: در یک تیر با مقطع IPE300 مربوط به قاب خمشی با فرض آنکه در دو انتهای مقطع لنگر پلاستیک و ساعتگرد رخ داده باشد وصله ی مقطع را طراحی کنید. نیروی برشی را از تعادل لنگرها بدست آورید. فرض کنید مقطع وصله در سمت چپ مقطع است. $M_p = Z \cdot f_y$, $v = \frac{2M_p}{h}$



اتصالات پیچی

تقریب برآمد اتصالات براساس قوت پیچ

1-پیچ معمولی

2-پیچ پر مقاومت

0-قطعات دندانه شده

مشخصات پیچ های معمولی از جدول 10-2-9-6 قابل استخراج است.

قطعات دندانه شده مانند بولت ها که از میلگرد های A2 و A3 ساخته می شوند.

جدول ۱۰-۲-۹-۶ مشخصات پیچ‌های تولید یا موجود در ایران

تنش کششی نهایی مصالح پیچ (F_u)	تنش تسلیم مصالح پیچ (F_y)	نام استاندارد		نوع پیچ
		ISO	ASTM	
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	-	A۳۰۷	پیچ‌های معمولی
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	۴.۶	-	
۴۲۰ MPa	۳۲۰ MPa	۴.۸	-	
۵۰۰ MPa	۳۰۰ MPa	۵.۶	-	
۵۲۰ MPa	۴۰۰ MPa	۵.۸	-	
۶۰۰ MPa	۴۸۰ MPa	۶.۸	-	
۸۰۰ MPa	-		A۳۲۵ $d \leq 24mm$	پیچ‌های پرمقاومت
۷۲۵ MPa	-	-	A۳۲۵ $d > 24mm$	
۱۰۰۰ MPa	-	-	A۴۹۰	
۸۰۰ MPa	-	۸.۸		
۱۰۰۰ MPa	-	۱۰.۹		
۱۲۰۰ MPa	-	۱۲.۹		

تقریباً بر مبنای اتصالات زلزله‌محور اجرا

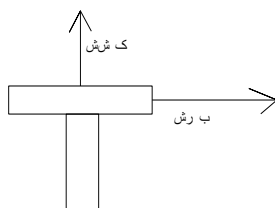
۱- اتصال اتکایی

۲- اتصال اصطکاکی

در اتصال اتکایی پیچ و مهره در حدی سفت می‌شود که دو قطعه در جای خود فیت شوند. در این حالت در پیچ و دو قطعه نیروی قبل از اعمال بارگذاری وجود ندارد. در اتصالات اصطکاکی نسبت به اتصالات اتکایی با آچارهای مخصوص پیچ و مهره چند دور اضافه پیچانده می‌شوند به گونه ای که یک پیش تنیدگی اولیه در اتصال بوجود آید در این حالت قبل از بارگذاری بین دو قطعه یک فشار اولیه و در پیچ یک کشش اولیه بوجود می‌آید. اتصالات اصطکاکی فقط برای پیچ‌های پرمقاومت استفاده می‌شود.

نکته: اگر اتصال تحت نیروی زلزله باشد فقط باید به صورت اصطکاکی اجرا شود

پیچ‌ها برای تحمل نیروهای برشی و کششی طراحی می‌شوند. اگر نیرو در راستای پیچ باشد کششی و اگر عمود بر راستای پیچ باشد برشی است.



انواع سوراخ در اتصال پلای پی

1- سوراخ استاندارد

2- سوراخ بزرگ شده

3- سوراخ لوبیائی بلند

4- سوراخ لوبیائی کوتاه

در سوراخ های استاندارد قطر پیچ 2 یا 0 میلی متر کمتر از سوراخ می باشد. برای پیچ های تا قطر 22mm قطر سوراخ 2mm بزرگتر است و برای پیچ های بزرگتر 3mm

محدودیت فواصل پیچ ها

حداقل فاصله ی مرکز به مرکز پیچ ها در حالت سوراخ استاندارد باید سه برابر قطر پیچ باشد. حداکثر این فاصله تابع عوامل جوی است. اگر قطعات تحت اثر خوردگی کمو متوسط باشند فاصله ی بین مراکز سوراخ ها نباید از 24 برابر ضخامت قطعه ی نازکتر و همچنین 30cm در شرایط خوردگی شدید حداکثر فاصله نباید از 14 برابر ضخامت قطعه ی نازکتر و 20 cm بیشتر شود.

حداکثر فاصله ی سوراخ تالاب :

شرایط محیطی متوسط و کم در برابر خوردگی $\min(12t, 150 \text{ mm})$

شرایط محیطی شدید در برابر خوردگی $\min(8t, 125 \text{ mm})$

T ضخامت قطعه ی نازک تر

حداقل و حداکثر فواصل پیچ ها تا لبه ی قطعه

فاصله ی مرکز پیچ ها تا لبه ی قطعه از مقادیر زیر نباید کمتر شود.

جدول ۱۰-۲-۹-۸ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

لبه نورد شده ورق - نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره	لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)
$\frac{1}{2}d$	$2d$

d = قطر اسمی پیچ

طراحی اتصالات اتکالی برای برش و کشش

$$\phi R_{nt} \geq T_r$$

$$\phi R_{nv} \geq V_r$$

$$\phi = 0.75$$

$$R_{nt} = F_{nt} \times A_{nb}$$

$$R_{nv} = F_{nv} \times A_{nb}$$

T_r نیروی کششی ضریب دار

V_r نیروی برشی ضریب دار

A_{nb} مجموع سطح مقطع پیچ ها

F_{nt} و F_{nv} مقادیر مجاز تنش کششی و برشی بر اساس جدول 10-9-2-10 در صورت اثر همزمان کشش و برش مقادیر F_{nt} و F_{nv} باید به شرح زیر اصلاح شود

$$F'_{nt} = F_{nt} \left(1.3 - \frac{F_{uv}}{\phi F_{nv}} \right) \leq F_{nt}$$

$$F'_{nv} = F_{nv} \left(1.3 - \frac{F_{ut}}{\phi F_{nt}} \right) \leq F_{nv}$$

در صورتی که یکی از دو شرط زیر برقرار باشد نیازی به اصلاح مقادیر فوق نیست.

$$F_{uv} \leq 0.3 F_{nv} \phi$$

$$F_{ut} \leq 0.3 F_{nt} \phi$$

$$F_{ut} = \frac{T_r}{A_{nb}} \quad , \quad F_{uv} = \frac{V_r}{A_{nb}}$$

جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ تنش اسمی (پیچ و قطعات دندانه شده)

تنش کششی اسمی (F_{nt})	تنش برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی	نوع وسیله اتصال
$0.75 F_u$ [۱],[۲]	$0.45 F_u$ [۵],[۳]	پیچ های معمولی
$0.75 F_u$ [۴]	$0.45 F_u$ [۵]	پیچ های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد
$0.75 F_u$ [۴]	$0.55 F_u$ [۵]	پیچ های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد
$0.75 F_u$ [۱],[۶]	$0.45 F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد
$0.75 F_u$ [۱],[۶]	$0.55 F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد

یادداشت‌ها:

[۱] فقط بارگذاری استاتیکی

[۲] در پیچ‌های معمولی که طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به ازای هر ۲ میلی‌متر طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۳] قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است.

[۴] برای تنش کششی اسمی پیچ‌های پرمقاومت تحت اثر تنش کششی ناشی از خستگی به آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی رجوع شود.

[۵] وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلی‌متر تجاوز کند این مقادیر را باید ۲۰٪ کاهش داد.

[۶] مقاومت کششی اسمی ناحیه دندانه‌شده یک قطعه دندانه‌شده با حدیده توپی بر اساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حدیده، A_D ، باید از سطح مقطع اسمی تنه (قبل از ناحیه توپی) ضربدر F_y بیشتر باشد.

مقاومت کششی طراحی دلت‌صلالات لک‌کای

طراحی اتصالات اصطکاکی برای کشش مشابه اتصالات اتکایی است.

در حالت برش باید طبق رابطه‌ی زیر عمل شود

$$\phi R_{nv} \geq V_r$$

این رابطه بر اساس کنترل لغزش بحرانی بین دو قطعه می باشد.

ϕ برای سوراخ‌های استاندارد برابر یک

$$R_{nv} = \mu_r D_u h_f T_b n_s$$

μ_r ضریب اصطکاک به شرح زیر:

سطح تماس در کلاس A (سطح فلز دار تمیز شده) $\mu_r = 0.3$

سطح تماس در کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ شده) $\mu_r = 0.5$

D_u نسبت پیش تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش تنیدگی حداقل و مساوی 1.13

h_f ضریب کاهش بخاطر وجود ورق‌های پرکننده (فیلر پلیت) در قطعات متصل

ورق پرکننده: یک ورق یا کمتر $h_f = 1$

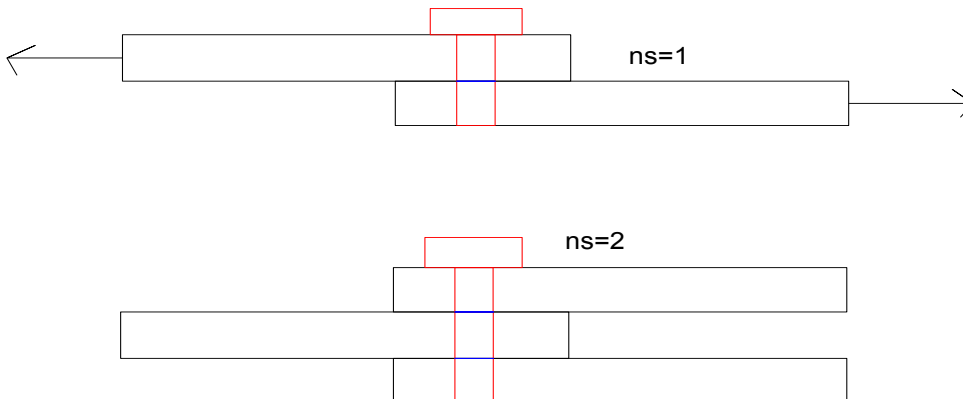
ورق پرکننده: دو ورق یا بیشتر $h_f = 0.85$

T_b حداقل نیروی پیشتنیدگی در پیچ ها طبق مقادیر جدول 7-9-2-10 یا بر اساس رابطه ی زیر

$$T_b = 0.55 F_u \cdot A_{nb}$$

A_{nb} مجموع سطح مقطع پیچ ها

F_u تنش گسیختگی مصالح پیچ



n_s تعداد صفحات لغزش

n_s تعداد قطعات متصل شده توسط پیچ منهای یک

اثر مشترک کششی و برش در اتصالات اصطکاکی

در اتصالات اصطکاکی در صورت وجود توام نیروی کششی و برشی مقاومت برشی اسمی باید توسط ضریب زیر کاهش یابد

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}$$

T_u کششی ضریب دار

1.3: D_u

n_b تعداد پیچ های تحت کشش

T_b نیروی پیشتنیدگی برای یک پیچ

مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ

مقاومت اتکایی طراحی در جدار سوراخ پیچ در اتصالات اتکایی و اصطکاکی مساوی ϕR_n می باشد که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر 0.75 و R_n مقاومت اتکایی اسمی می باشد.

R_n برای سوراخ استاندارد به شرح زیر محاسبه می شود.

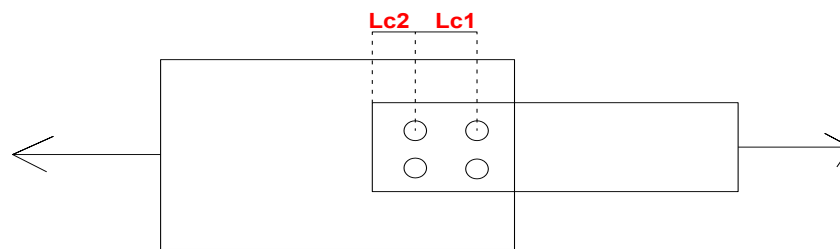
$$R_n = \min(1.2 l_c, 2.4 d) \times t \times n \times F_u$$

d قطر پیچ

F_u تنش گسیختگی قطعه

n تعداد پیچ

l_c کمترین فاصله بین لبه های سوراخ پیچ ها با یکدیگر یا با لبه ی قطعات در راستای نیرو

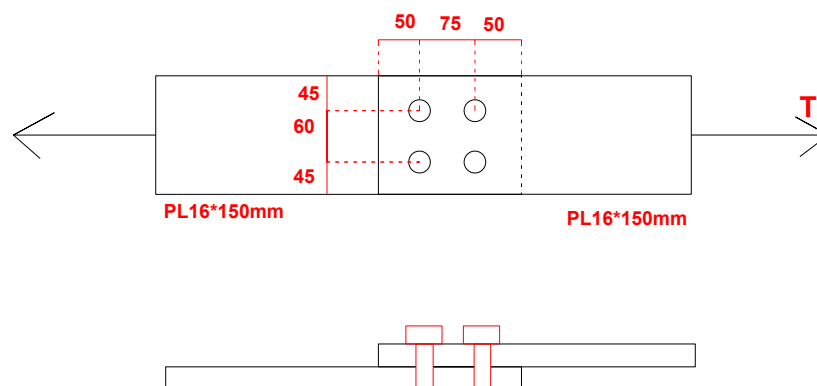


$$l_c = \min(l_{c1}, l_{c2})$$

کنترل فوق برای هر یک از قطعات باید جداگانه انجام شود.

قطعه ی بحرانی قطعه ای است که در آن و کوچکتر است.

مثال: در شکل زیر حداکثر نیروی T در حالت ضریب دار بر اساس ظرفیت پیچ ها چقدر می باشد؟ فرض کنید ورق ها دارای ظرفیت کششی کافی می باشند. پیچ ها از نوع A325 و به قطر 22 mm می باشند و در حالت اتکایی اجرا شده اند فواصل پیچ ها از یکدیگر نیز کنترل شوند. شرایط محیطی از نظر محیطی متوسط است. لبه ی ورق ها با گیوتین بریده شده است. سطح برش هم از قسمت دندانده شده ی پیچ عبور می کند.



$$\phi R_{nv} \geq V_r$$

$$V_r = T, \quad \phi = 0.75$$

$$R_{nv} = F_{nv} \times A_{nb}$$

$$A_{nb} = 4 \times \frac{\pi d^2}{4} = 4 \times \frac{\pi \times 2.2^2}{4} = 15.2 \text{ cm}^2$$

پیچ A325 از جدول 10-9-2-6 جزو پیچ های پر مقاومت است.

$$F_u = 800 \text{ Mpa} = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{nv} = ?$$

از جدول 10-9-2-10 پیچ پر مقاومت تحت برش ، سطح برش از قسمت دندانه شده عبور می کند.

$$F_{nv} = 0.45 F_u$$

$$\phi R_{nv} = 0.75 \times (0.45 \times 8000) \times 15.2 = 41040 \geq V_r = T$$

محاسبه ی T بر اساس ضابطه ی مقاومت اتکایی:

$$\phi R_{nv} \geq V_r$$

$$\phi = 0.75, \quad V_r = T$$

کنترل مقاومت اتکایی فقط برای حالتی است که پیچ ها تحت برش باشند.

$$R_n = \min(1.2 l_c, 2.4 d) \times t \times n \times F_u$$

در این جا چون دو ورق مشابه اند محاسبه برای یکی از دو ورق کفایت می کند در غیر این صورت باید برای هر یک از دو ورق محاسبه جداگانه انجام شود. یا فقط برای ورق بحرانی انجام شود.

قبل از محاسبه ی l_c باید قطر سوراخ را بدست آوریم.

قطر سوراخ برابر است با قطر پیچ + لقی مجاز 2mm+

چون قطر پیچ کمتر از 24mm است لقی مجاز 2 mm است. به این ترتیب قطر سوراخ 26mm خواهد شد.

$$l_c = \min\left(50 - \frac{26}{3}, \quad 75 - 26\right) = \min(49, 37) = 37$$

$$R_n = \min(1.2 \times 3.7, 2.4 \times 2.2) \times 1.6 \times 3700 \times 4 = 105139$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 105139 = 78854 \geq T$$

$$T = \min(78854, 41040) = 41040 \text{ kg}$$

کنترل فواصل:

فاصله از لبه

لبه ی ورق با گیوتین بریده شده پس از جدول 8-9-2-10 حداقل فاصله برابر 2d

$$45 \geq 2 \times 22 = 44 \text{ ok}$$

حداکثر فاصله از لبه بر اساس شرایط محیطی متوسط 12 برابر قطعه ی نازک تر و 150 mm

$$50 \leq \min(12 \times 16, 150) = 150 \quad ok$$

کنترل فواصل مرکز به مرکز پیچ ها

حداقل 3d

$$75 \geq 3 \times 22 = 66 \quad ok$$

$$60 < 3 \times 22 = 66$$

در جهت عرضی رعایت نشده است.

کنترل حداکثر

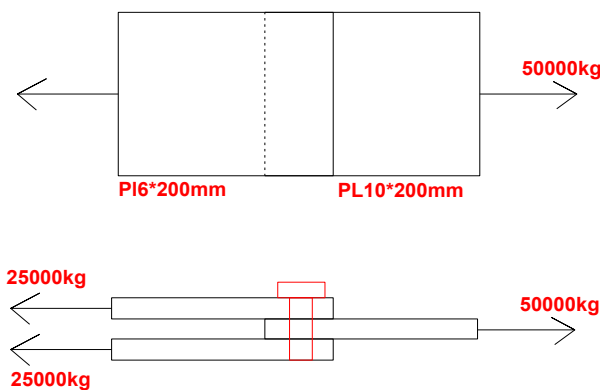
شرایط محیطی متوسط است پس مینیمم 24 برابر ضخامت و 300 mm

$$75 \leq \min(24 \times 16, 300) = 300 \quad ok$$

تمرین: مثال قبل را در حالتی حل نمایید که پیچ ها از نوع A490 و به صورت اصطکاکی به قطر 20 mm باشد سطح تماس دو قطعه سطح فلز دار و رنگ شده است. (راهنمایی: تعداد سطوح لغزش یکی است)

*مثال: در اتصال شکل زیر اتصال را از پیچ A490 به صورت اصطکاکی طراحی کنید. نیروی وارد بر اتصال در حالت ضریب دار می باشد. نیازی به کنترل فواصل پیچ ها نیست. سطح تماس ورق ها در سطح B می باشد.

تعداد و قطر پیچ ها مجهول است. پیچ ها تحت اثر برش می باشند.



$$\phi R_{nv} \geq V_r$$

$$V_r = 50000, \quad R_{nv} = \mu_r D_u h_f T_b n_s$$

$$\mu_r = 0.5 \text{ کلاس B}, \quad D_u = 1.13, \quad h_f = 1, \quad n_s = 3 - 1 = 2$$

ϕ = سورخ استاندارد 1

$$T_b = 0.55 F_u \cdot A_{nb}$$

از جدول 6-9-2-10 برای A490 داریم:

$$F_u = 1000 Mpa = 10000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$A_{nb} = \frac{n\pi d^2}{4}$$

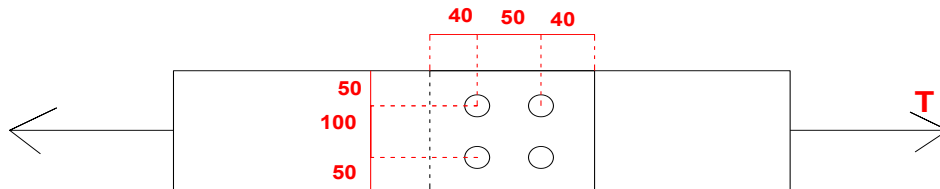
$$1 \times 0.5 \times 1.13 \times 1 \times (0.55 \times 10000 \times A_{nb}) \times 2 \geq V_r$$

$$A_{nb} \geq 8.04$$

چون هم قطر و هم تعداد مجهول است باید یکی را فرض و دیگری را بدست آوریم. اگر قطر پیچ را 16 mm فرض کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{n \times \pi \times 1.6^2}{4} \geq 8.04 \sim n \geq 4$$

پیچ ها را در دو ردیف دو تایی مطابق شکل زیر قرار می دهیم.



کنترل اتصال بر اساس ضابطه ی مقاومت اتکایی:

چون مشخصات ورق های چپ و راست متفاوت است این کنترل را برای هر یک از این دو حالت جداگانه انجام می دهیم.

ورق سمت راست:

$$\phi R_n \geq V_r$$

$$\phi = 0.75, V_r = 50000 kg$$

$$R_n = \min(1.2l_c, 2.4d) \times t \times n \times F_u$$

$$\text{قطر سوراخ: } 16 + 2 + 2 = 20 mm$$

$$l_c = \min\left(40 - \frac{20}{2}, 50 - 20\right) = 30 mm$$

$$R_n = \min(1.2 \times 3, 2.4 \times 1.6) \times 1 \times 4 \times 3700 = 53280$$

$$0.75 \times 53280 = 39960 < 50000 \text{ not good}$$

راه حل: یا افزایش فواصل پیچ ها از لبه و از یکدیگر را در راستای نیرو افزایش دهیم یا افزایش تعداد و قطر پیچ ها انجام شود.

به عنوان تمرین انجام شود.

ال فواصل افزایش باید در صورت عدم جوابگویی تعداد یا قطر پیچ اضافه شود.

کنترل برای ورق سمت چپ:

$$V_r = 25000, t = 0.6$$

$$R_n = \min(1.2 \times 3, 2.4 \times 1.6) \times 0.6 \times 3700 \times 4 = 31968$$

$$0.75 \times 31968 = 23976 < 25000 \quad \text{not good}$$

به عنوان تمرین طرح اصلاح شود.

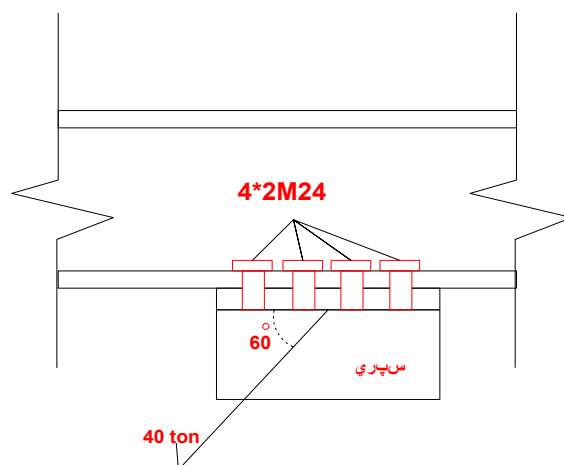
تمرین: مثال قبل را برای حالتی حل نمایید که پیچ از نوع A307 باشد و با اجرای اتکایی

نکته: چون هر پیچ دو سطح برش دارد در محاسبه ی A_{nb} باید یک ضریب دو نیز اعمال شود.

$$A_{nb} = 2 * \frac{n\pi d^2}{4}$$

مثال: در اتصال شکل زیر از پیچ های 8.8 به صورت اتکایی استفاده شده است. قطر پیچ ها 24 mm بوده و در دو ردیف 4 تایی اجرا شده اند. بررسی نمایید که اتصال نمایش داده شده برای تحمل نیروی ضریب دار نشان داده شده جوابگو است یا خیر. از کنترل مقاومت اتکایی صرف نظر کنید. سطح برش از قسمت دندانده شده می باشد.

اتصال تحت اثر همزمان کشش و برش می باشد.



مولفه ی افقی برش ، مولفه ی عمودی کششی می باشد.

$$V = 40 \cos 60 = 20 \text{ t}$$

$$T = 40 \sin 60 = 34.6 \text{ t}$$

$$\phi R_{nv} \geq V_r, \phi = 0.75$$

$$\phi R_{nt} \geq T_r$$

$$R_{nv} = F_{nv} \times A_{nb}$$

$$R_{nt} = F_{nt} \times A_{nb}$$

از جدول 10-9-2-6 برای این پیچ داریم : $F_u = 800 \text{ Mpa} = 8000 \text{ kg/cm}^2$

$$A_{nb} = 8 \times \frac{\pi \times 2.4^2}{4} = 36.2 \text{ cm}^2$$

پیچ بر مقاومت سطح برش خارج از ناحیه ی رزوه شده از جدول 10-9-2-10:

$$F_{nv} = 0.55 F_u = 0.55 \times 8000 = 4400$$

$$F_{nt} = 0.75 \times F_u = 0.75 \times 8000 = 6000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

بدلیل اثر همزمان برش و کشش مقادیر و به شرح زیر باید اصلاح شوند.

$$F'_{nt} = F_{nt} \left(1.3 - \frac{F_{uv}}{\phi F_{nv}} \right) \leq F_{nt}$$

$$F'_{nv} = F_{nv} \left(1.3 - \frac{F_{ut}}{\phi F_{nt}} \right) \leq F_{nv}$$

$$F_{nv} = \frac{V_r}{A_{nb}} = \frac{20000}{36.2} = 552 \leq 0.3 \phi F_{nv} = 0.3 \times 0.75 \times 4400 = 990 \quad ok$$

$$F_{nt} = \frac{T_r}{A_{nb}} = \frac{34600}{36.2} = 956 \leq 0.3 \phi F_{nt} = 0.3 \times 0.75 \times 6000 = 1350 \quad ok$$

چون حداقل یکی از روابط فوق برقرار است نیازی به اصلاح نیست.

$$\phi R_{nv} = 0.75 \times 4400 \times 36.2 = 119460 \geq 20000 \quad ok$$

$$\phi R_{nt} = 0.75 \times 6000 \times 36.2 = 162900 \geq 34600 \quad ok$$

تمرین: در مثال قبل نیروی ضریب دار 40 t تا چه مقدار می تواند افزایش یابد ؟ (راهنمایی : چون نیرو مجهول است مقادیر و نیز مجهولند).

در نتیجه مقدار دقیق مقادیر اصلاح شده ی و مشخص نخواهد بود. برای این مقادیر حدس اولیه میزنیم. بر اساس حدس اولیه حداکثر نیروی مجاز را بدست می آوریم. با نیروی مجاز بدست آمده به صورت دقیق کنترل می کنیم. که اتصال جوابگوست یا خیر و در صورت لزوم مقدار نیرو را در جهت مناسب اصلاح میکنیم. این فرآیند را به صورت سعی و خطا تکرار می کنیم تا به جواب مناسب برسیم.

مثال: در مثال قبل اگر پیچ ها از نوع اصطکاکی باشند مساله را دوباره حل نمائید.

سطح تماس کلاس B

کنترل برای کشش (مشابه اتصالات اتکایی)

$$\phi R_{nt} \geq T_r$$

برای R_{nt} نیازی به لحاظ کردن اندر کش کشش و برش نیست.

$$0.75 \times F_{nt} \times A_{nb} = 0.75 \times 6000 \times 36.2 = 162900 \geq 34600 \quad ok$$

برای برش : $\phi R_{nv} \geq V_r$, $\phi = 1$

بدلیل اندر کنش کشش و برش در محاسبه ی R_{nv} باید ضریب کاهش K_{sc} به شرح زیر اعمال شود.

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} = 1 - \frac{34600}{1.13 \times 19905 \times 8} = 0.81$$

$$T_u = T = 34600, \quad D_u = 1.13, \quad n_b = 8$$

$$T_b = 0.55 \times F_u \times A_{nb} = 0.55 \times 8000 \times \frac{\pi \times 2.4^2}{4} = 19905$$

$$R_{nv} = K_{sc} \mu_r D_u h_f T_b n_s$$

$$\mu_r = 0.5, \quad h_f = 1, \quad n_s = 1$$

$$T_b = 19905 \times 8 = 159240$$

$$R_{nv} = 0.81 \times 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 159240 \times 1 = 72876$$

$$\phi R_{nv} = 1 \times 72876 \geq 20000 \quad ok$$

تمرین : در مثال قبل حداکثر نیروی مجاز چقدر است؟) بر اساس برش و کشش سپس مینیمم آن انتخاب می شود.

*ترکیب برش و پیچش در اتصالات پیچی

اگر نیروی برشی نسبت به مرکز اتصال برون از مرکزیت داشته باشد این برون از مرکزیت ایجاد یک لنگر می کند این لنگر اگر حول محور عمود بر صفحه ی اتصال باشد از نوع پیچشی و اگر حول محور داخل صفحه ی اتصال باشد از نوع خمشی خواهد بود . در حالت ترکیب برش و پیچش تنش های هر یک از این دو حالت باید جداگانه محاسبه شود و سپس با هم ترکیب شوند . تنش ناشی از پیچش در پیچ ها از نوع برشی است .

مشابه اتصالات جوشی در این جا نیز بیشترین تنش در پیچ هایی است که دورترین فاصله تا مرکز اتصال را دارد . جهت تنش عمود بر خط واصل مرکز پیچ به مرکز اتصال است و راستای تنش نیز با توجه به جهت لنگر تعیین می شود. مقدار تنش نیز با استفاده از رابطه ی زیر بدست می آید.

$$f_x'' = \frac{T \times y}{\sum A_i \times d_i^2}, \quad f_y'' = \frac{T \times x}{\sum A_i \times d_i^2}$$

T لنگر پیچشی ضریب دار

y فاصله ی مرکز پیچ مورد نظر تا مرکز اتصال در راستای محور

x فاصله ی مرکز پیچ مورد نظر تا مرکز اتصال در راستای محور

A_i سطح مقطع پیچ i ام

d_i فاصله ی مرکز پیچ i ام از مرکز اتصال

تنش های ناشی از برش مستقیم

$$f_x' = \frac{V_x}{\sum A_i}, \quad f_y' = \frac{V_y}{\sum A_i}$$

V_x برش ضریب دار در راستای محور X

V_y برش ضریب دار در راستای محور y

ترکیب تنش ها:

$$f_r = \sqrt{(f'_x \pm f''_x)^2 + (f'_y \pm f''_y)^2}$$

علامت + یا - بر اساس افزایش یا کاهش تنش ها تعیین می شود.

$$\phi R_{nv} \geq V_r \quad , \quad \phi = 0.75 \quad , \quad V_r = F_r$$

$$R_{nv} = F_{nv} = 10 - 9 - 2 - 10$$

$$\phi F_{nv} \geq F_r$$

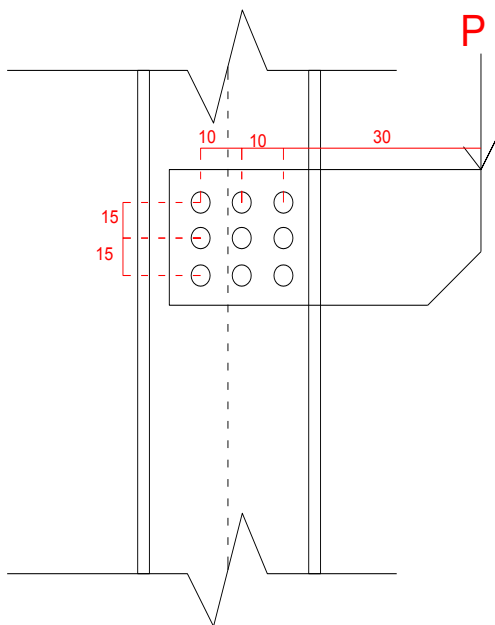
در حالت اصطکاکی به جای F_{nv} مقدار زیر جایگزین می شود.

$$F_{nv} = \frac{\mu D_u h_f T_b n_s}{A_b}$$

A_b کل سطح مقطع پیچ ها

مثال : در اتصال شکل زیر حداکثر نیروی ضریب دار مجاز P چقدر می تواند باشد. پیچ ها M22 : اتکایی A325

در صورت انتقال P به مرکز اتصال یک لنگر عمود بر صفحه ی اتصال ایجاد می شود. از نوع پیچشی است.



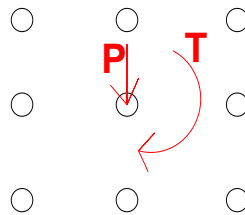
$$T = P \cdot e = 40P$$

$$e = 30 + 10 = 40$$

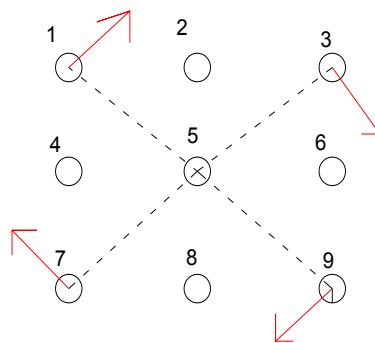
تنش ناشی از برش مستقیم

$$f'_x = \frac{V_x}{\sum A_i} = 0$$

$$f'_y = \frac{P}{9 \times \pi \times \frac{2.2^2}{4}} = 0.029 P$$



تنش ناشی از پیچش:



دورترین پیچ ها از مرکز اتصال 1 و 0 و 7 و 0 است.

تنش در دو پیچ 0 و 0 با تنش f'_y اثر افزاینده دارد.

$$\sum A_i d_i^2 = \frac{\pi \times 2.2^2}{4} = (4 \times 25^2 + 2 \times 15^2 + 2 \times 10^2 + 0^2) = 11974$$

برای پیچ های 1 و 0 و 7 و 0

$$d_i = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25$$

برای پیچ های 2 و 8

$$d_i = 16$$

برای پیچ های 4 و 1

$$d_i = 10$$

برای پیچ 0

$$d_i = 0$$

$$f_x'' = \frac{40P \times 15}{11974} = 0.05P$$

$$f_y'' = \frac{40P \times 10}{11974} = 0.033P \downarrow$$

$$f_r = \sqrt{(f_x' \pm f_x'')^2 + (f_y' \pm f_y'')^2} = P\sqrt{0.05^2 + (0.029 + 0.033)^2} = 0.08P$$

$$\phi F_{nv} \geq F_r, \quad \phi = 0.75$$

پیچ پر مقاومت با فرض آنکه سطح برش خارج از ناحیه ی رزوه شده باشد.

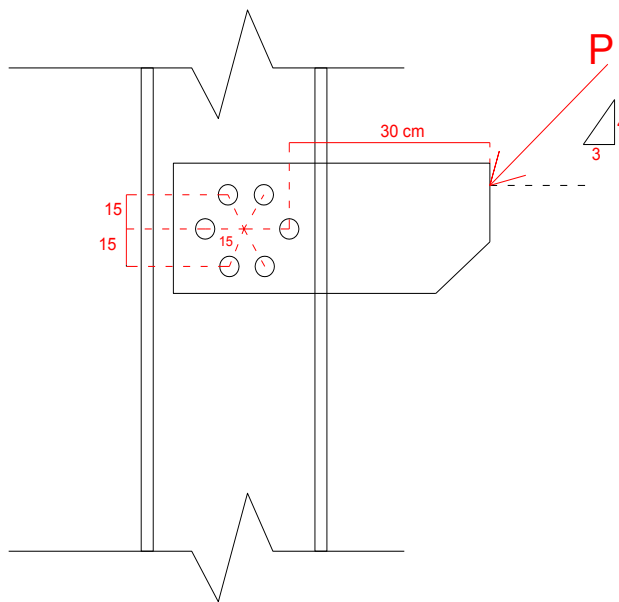
$$F_{nv} = 0.55F_{nv} = 0.55 \times 8000 = 4400$$

$$0.75 \times 4400 \geq 0.08P \implies P \leq 41250 \text{ kg}$$

پیچ پر مقاومت با فرض آنکه سطح برش خارج از ناحیه ی رزوه شده باشد.

تمرین: مثال قبل را در حالتی حل نمائید که پیچ ها پر مقاومت باشند و سطح کلاس را A فرض کنید

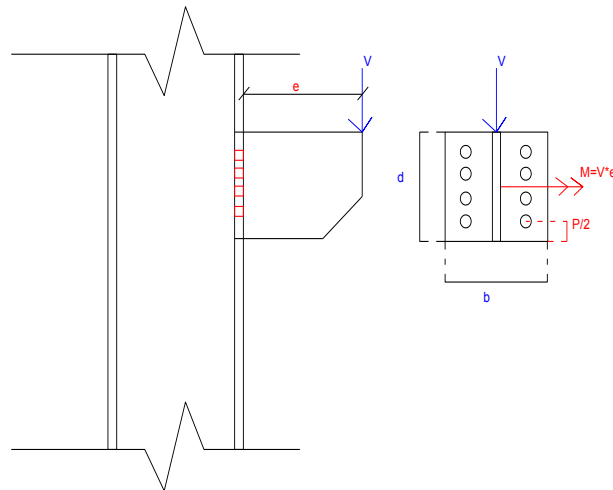
تمرین: مثال قبل را برای حالتی حل نمائید که چیدمان پیچ ها به شکل زیر باشد و نیرو نیز مایل باشد. پیچ ها روی رؤس یک 6 ضلعی منتظم قرار دارند و فواصل مراکز تمام پیچ ها تا مرکز اتصال 15 cm می باشد.



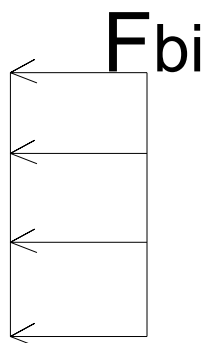
طراحی اتصالات پیچی برای ترکیب برش و خمش در حالت اصطکاکی

اگر لنگر خمشی ایجاد شده در اتصال حول محوری داخل صفحه ی اتصال باشد. این لنگر از نوع خمشی خواهد بود. رفتار اتصال در دو حالت اتکایی و اصطکاکی متفاوت است. در این جا فقط به حالت اصطکاکی پرداخته می شود.

لنگر خمشی در پیچ هایی که در وجه کششی اتصال هستند ایجاد نیروی کششی مینماید در پیچ های وجه فشاری نیروی محوری ایجاد نمی شود. بدلیل پیشتنیدگی اولیه ورق های اتصال تحت یک فشار اولیه و پیچ ها تحت یک کشش اولیه هستند.



تنش فشاری در اتصال ناشی از پیشتنیدگی

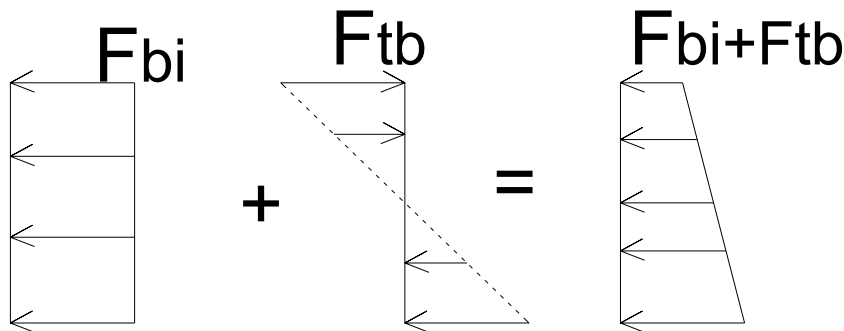


مجموع نیروهای پیشتنیدگی پیچ ها $\sum T_i$

$$f_{bi} = \frac{\sum T_i}{bd}$$

لنگر خمشی نیز یک تنش سطحی غیریکنواخت ایجاد میکند با تنش ناشی از پیش تنیدگی جمع می شود.

$$f_{tb} = \frac{6M}{bd^2}$$



بیشترین تنش کششی در دورترین پیچ در وجه کششی است. با فرض آنکه تنش ناشی از خمش کمتر از تنش اولیه ی ناشی از پیشتنیدگی باشد مقدار تنش در دورترین پیچ از رابطه ی زیر بدست می آید.

f_t بیشترین تنش کششی در پیچ ها

$$f_t = \frac{6M}{A_b \times d^2} \times \left(\frac{d-P}{d} \right)$$

$$T = \frac{6M}{d^2} \left(\frac{d-P}{d} \right)$$

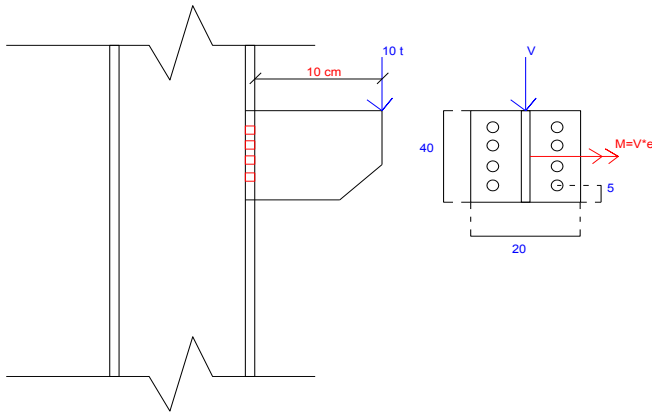
A_b سطح مقطع یک پیچ

T بیشترین نیروی کششی در پیچ ها

نیروی برشی بین تمام پیچ ها به نسبت سطح مقطع آن ها تقسیم می شود. با بدست آمدن نیروی کششی و نیروی برشی پیچ می توان مثل حالت های عادی بر اساس ضوابط اثر همزمان برش و کشش پیچ را کنترل نمود

نکته: در حالت ترکیب برش و کشش و خمش روش حل مساله مشابه است. جز اینکه به کشش ناشی از خمش نیروی کششی ناشی از کشش مستقیم نیز اضافه می شود. کشش مستقیم بین پیچ ها به نسبت مساحت آن تقسیم میشود.

*مثال: در اتصال زیر کفایت اتصال برای نیروی وارده را کنترل نمایید. پیچ ها از نوع اصطکاکی به قطر 22mm و از نوع A325 می باشند. سطح تماس کلاس B.



$$V = 10 \text{ t} = 10000 \text{ kg}$$

$$M = 10000 \times 10 = 100000 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$f_{bi} = \frac{\sum T_i}{bd} = \frac{8 \times 0.55 \times 8000 \times 3.8}{20 \times 40} = 167.2$$

$$A_b = \frac{\pi \times 2.2^2}{4} = 3.8$$

$$f_{tb} = \frac{6M}{A_b \times d^2} = \frac{6 \times 100000}{20 \times 40^2} = 18.75 < f_{bi} = 167.2 \text{ ok.}$$

اگر این رابطه ارضا نشود این روش برای تحلیل مثال مناسب نیست.

$$T = \frac{6M}{A_b \times d^2} \times \left(\frac{d - P}{d} \right) = \frac{6 \times 100000}{40^2} \left(\frac{40 - 10}{40} \right) = 281.25$$

T نیروی کششی ماکسیمم در پیچ ها

$$V_i = \frac{V}{n} = \frac{10000}{8} = 1250 \text{ kg}$$

کنترل پیچ برای اندر کشش برش و کشش :

در حالت اصطکاکی کنترل برای کشش بدون لحاظ کردن اثر برش می باشد.

$$\phi R_{nt} \geq T_r$$

$$\phi = 0.75, \quad T_r = 281.25$$

$$R_{nt} = F_{nt} \times A_b$$

$$F_{nt} = 0.75 \times F_u = 0.75 \times 8000 = 6000$$

$$A_b = 3.8$$

$$0.75 \times 6000 \times 3.8 = 17100 \geq 281.25 \text{ ok.}$$

کنترل برای برش

در برش یک ضریب کاهنده ی K_{sc} اعمال می شود.

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}$$

$$T_u = 281.25$$

$$D_u = 1.13$$

T_b نیروی پیشتنیدگی در یک پیچ

$$T_b = 0.55 \times 8000 \times 3.8 = 16720$$

چون محاسبه برای یک پیچ انجام می شود برابر یک فرض می شود. $n_b = 1$

$$K_{sc} = 1 - \frac{281.25}{1.13 \times 16720 \times 1} = 0.98$$

$$\phi R_{nv} \geq V_r = 1250$$

سوراخ استاندارد $\phi = 1$

$$R_{nv} = K_{sc} \mu_r D_u h_f T_b n_s$$

$$\mu = 0.5 \quad \text{کلاس B}$$

$$D_u = 1.13$$

$$h_f = 1$$

فاقد ورق پر کننده

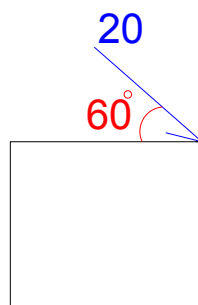
برش در یک سطح $n_s = 1$

محاسبه برای یک پیچ: $T_b = 16720$

$$\phi R_{nv} = 1 \times 0.98 \times 1.13 \times 0.5 \times 1 \times 16720 \times 1 = 9258 \geq V_r = 1250 \quad ok.$$

*تمرین: مثال قبل را برای حالتی حل نمایید که نیرو مجهول باشد. حداکثر مقدار مجاز نیرو را بدست آورید.

*تمرین: در مثال قبل اگر نیرو 20t و مایل باشد دوباره حل کنید. با زاویه ی 15 درجه .



$$f_{bi} = \frac{\sum T_i - T}{bd}$$

مولفه ی افقی به تعداد پیچ ها تقسیم شده و به کشش ناشی از خمش اضافه می شود.

T نیروی کششی وارد بر اتصال

اتصالات بادبند ها

بادبند های هم محور CBF : 1- حد شکل پذیری کم 2- حد شکل پذیری زیاد

بادبند های برون محور EBF

بادبند های هم محور: 1- قطری 2- ضربدری 0- شورون: هفتی یا هشتی

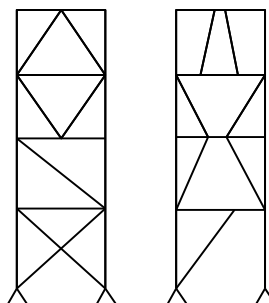
در این جا ضوابط طراحی اتصالات برای بادبند های هم محور در سطح شکل پذیری کم توضیح داده می شود. اصول کلی طراحی اتصالات برای بقیه ی حالات نیز مشابه است. اتصالات در این حالت خود شامل چهار حالت زیر است.

1- اتصال بادبند به تیر و ستون گوشه ها قابل استفاده برای بادبند های قطری ، ضربدری ، شورون

2- اتصال بادبند ها در وسط به یکدیگر در بادبند های ضربدری

0- اتصال بادبند ها به ستون و کف ستون در بادبند های قطری ، ضربدری ، شورون

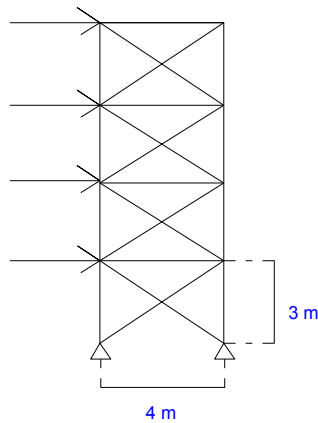
4- اتصال بادبند ها به تیر در بادبند های شورون در وسط دهانه ی تیر



در این جا سه اتصال توضیح داده می شود.

نحوه ی طراحی ایت اتصالات به صورت گام به گام در مثال زیر بیان می شود.

*مثال : در قاب شکل زیر مطلوبست طراحی اتصالات بادبند ها در طبقه ی همکف بادبند ها دویل ناودانی 160 باشند. ستون IPE270 و تیر IPE270 می باشد.



نیروی طراحی اتصالات:

در حد شکل پذیری کم اتصالات بادبند های هم محور برای مینیمم دو مقدار زیر طراحی می شود .

$$R_y \times F_y \times A_g \text{ الف)}$$

A_g سطح مقطع کلی بادبند

F_y تنش تسلیم

R_y نسبت تنش تسلیم محتمل به حداقل تنش تسلیم

$R_y = 1.2$ برای ناودانی

ب) بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار زلزله ی تشدید یافته در مهاربند ها

منظور از ترکیب بار زلزله تشدید یافته حالتی است که در ترکیبات بارگذاری نیروی زلزله با ضریب اضافه مقاومت Ω_0 تشدید شده است.

برای قاب های مفصلی $\Omega_0 = 2$

برای قاب های خمشی $\Omega_0 = 3$

برای قاب های دوگانه $\Omega_0 = 2.5$

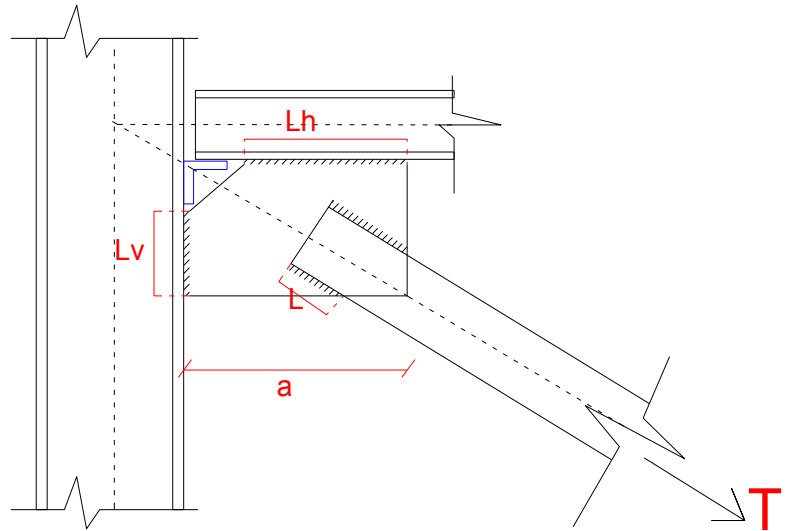
چون نیرو ها داده نشده است در این جا در جهت اطمینان محاسبه را فقط بر اساس بند الف انجام می دهیم.

از اشنال $UNP160 : A = 24 \text{ cm}^2$, $t_f = 1.05 \text{ cm}$, $L = 16 \text{ cm}$

برای مقطع دابل $A_g = 2 \times 24 = 48 \text{ cm}^2$

$$T = 1.2 \times 2400 \times 48 = 138240 \text{ kg}$$

اتصال بادبند به تیر و ستون:



حدس اولیه برای ضخامت ورق اتصال: کمی بیشتر از ضخامت قسمتی از بادی به ورق جوش می شود. در این جا بال جوش می شود. $t=1.2 \text{ cm}$

مرحله ۲: تعیین طول اتصال بلب بر روی ورق اتصال (L)

این طول باید به گونه ای باشد که طول جوش لازم جهت انتقال نیروی T از بادی به ورق تامین می شود.

الکتروود سازگار: (E60) ضخامت ماکسیمم کمتر یا مساوی 15mm)

فرض: جوش کارگاهی: $\beta = 0.75$

فرض اولیه برای بعد جوش: $a=8 \text{ mm}$

مقایسه با حداقل و حداکثر مجاز:

ورق نازکتر: بال ناودانی (1.05 cm)

$$8 \leq 10.5 - 2 = 8.5 \text{ ok.}$$

$$8 \leq 0.75 \times 12 = 9 \text{ mm ok.}$$

$$\phi R_{nw} \geq R_r = T = 138240, \quad \phi = 0.75$$

$$R_{nw} = \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times 0.707 a \times l_w = 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.8 \times l_w \geq 138240$$

$$l_w \geq 172 \text{ cm}$$

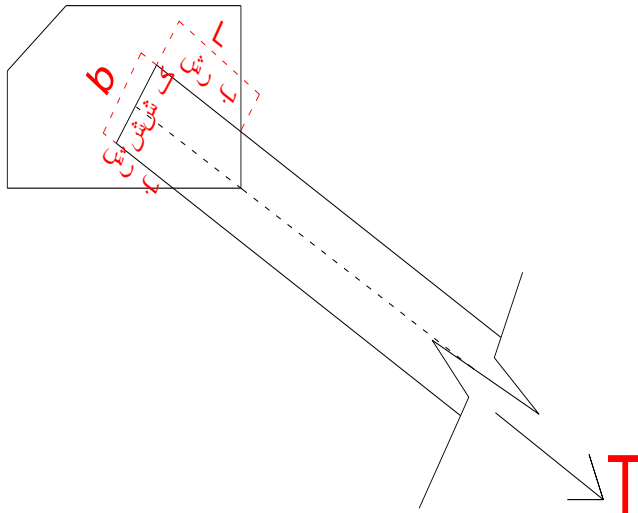
$$l_w = 4l \geq 172 \implies l \geq 43 \text{ cm}$$

4 خط جوش چون مقطع دابل است و برای مقاطع تک دو خط جوش داریم.

*هندسه ی ورق بادی به گونه ای در نظر گرفته شود که طول جوش فوق تامین شود.

مرحله یکم: ترل برش قلی در ورق اتصال

ورق اتصال باید در برش قالبی جوابگو باشد.



$$\phi R_n \geq R_r = T, \quad \phi = 0.75$$

$$R_n = U_{bs} \times F_u \times A_{nt} + \min(0.6 F_u A_{nv}, 0.6 F_y A_{gv})$$

$$U_{bs} = 1, \quad A_{nt} = b \times t, \quad A_{gv} = A_{nv} = 2l \times t$$

$$\phi R_n = 0.75 \times (F_u \times b \times t + 0.6 F_y \times 2l \times t) \geq T$$

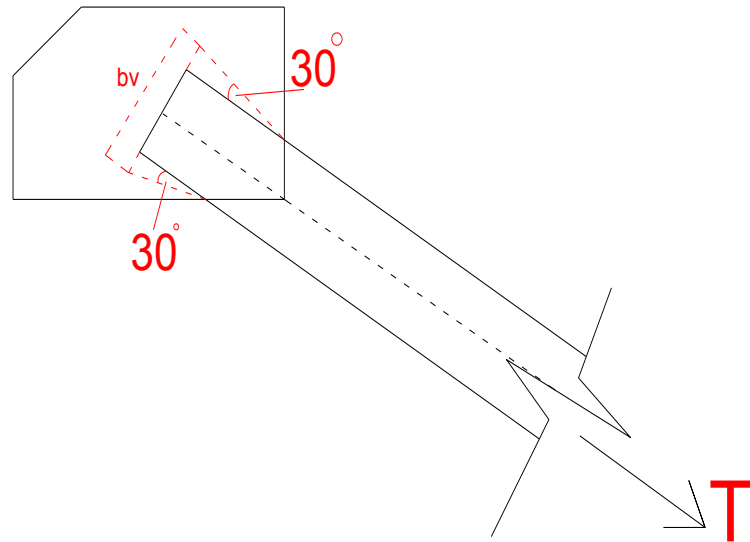
$$0.75 F_u \times b \times t + 0.9 F_y \times l \times t \geq T$$

$$0.75 \times 3700 \times 16 \times 1.2 + 0.9 \times 2400 \times 43 \times 1.2 = 164736 \geq 138240 \quad ok.$$

اگر جوابگو نبود t یا L را افزایش می دهیم.

* مرحله دوم: ترل ورق اتصال بر روی محوری T در عرضی ت مور

فرض می شود که نیروی محوری T با زاویه ی 30 درجه در ورق اتصال توزیع می شود. به این ترتیب عرض در ورق بدست می آید که آنرا عرض وینمور می نامند. مقدار تنش در ورق ناشی از نیروی محوری تیر نباید از حد مجاز بیشتر شود. در غیر این صورت باید L یا t را افزایش داد.



$$b_v = b + 2l \times \tan 30$$

$$\phi R_n \geq R_r = T$$

$$\phi R_n = \min(0.9F_y \times A_g, 0.75F_u \times A_e)$$

$$A_g = b_v \times t, \quad A_e = A_g$$

$$b_v = 16 + 2 \times 43 \times \tan 30 = 66 \text{ cm}$$

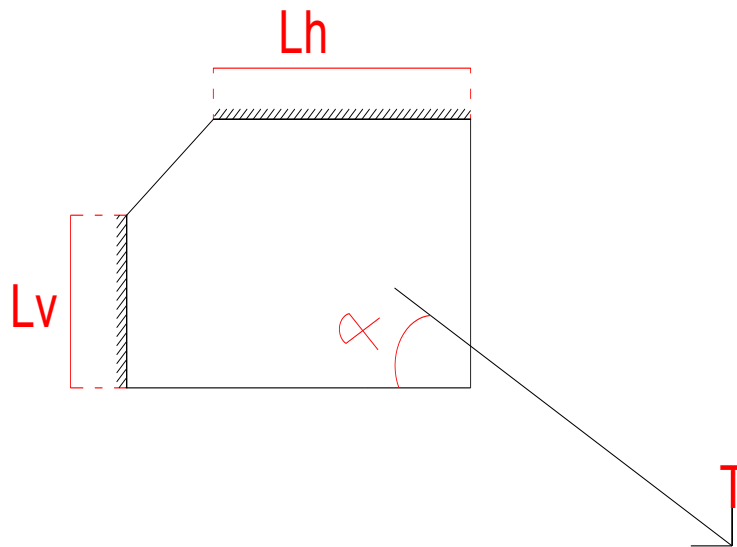
$$A_g = 66 \times 1.2 = 79 \text{ cm}^2$$

$$\min(0.9 \times 2400 \times 79, 0.75 \times 3700 \times 79) = 170640 \geq T = 138240 \quad \text{ok}$$

$$A_e = u A_g, \quad u \leq 1$$

نکته: u در این جا به جهت سادگی از u صرف نظر شد.

*مرحله پنجم: تعیین طول جوش فلزی و عمودی مورد نیاز جهت اتصال ورق بپایه بتی و ستون:



روش های مختلفی برای تبدیل این اتصال وجود دارد در یک روش ساده شده ی تقریبی نیروی T به مولفه های افقی و عمودی تجزیه می شود . سپس مولفه ی افقی جهت تعیین طول جوش افقی و از مولفه ی عمودی جهت تعیین طول جوش عمودی استفاده می شود.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{3}{4}\right) = 37^\circ$$

$$T_x = T \cos \alpha = 138240 \times \cos 37 = 110403$$

$$T_y = T \sin \alpha = 138240 \times \sin 37 = 83195$$

فرض $a = 8 \text{ mm}$ (مقایسه با بعد جوش حداقل و حداکثر باید انجام شود)

الکتروود: E60 و جوش کارگاهی

$$\phi R_{nw} \geq R_r = T_x , T_y$$

$$\phi = 0.75$$

$$\text{جوش افقی} : 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.8 \times l_w \geq T_x = 110403$$

$$l_w \geq 138 \text{ cm} , \quad l_w = 2l_h \geq 138 , \quad l_h \geq 69 \text{ cm}$$

$$\text{جوش عمودی} : 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.8 \times l_w \geq T_y = 83195$$

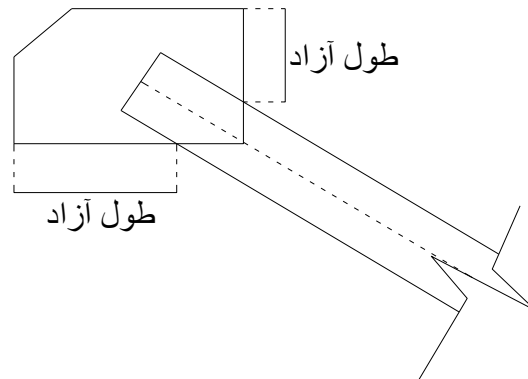
$$l_w \geq 104 \text{ cm} , \quad l_w = 2l_v \geq 104 , \quad l_v \geq 52 \text{ cm}$$

به ابعاد بدست آمده به علت برش ورق در محل نبشی باید مقداری اضافه شود اگر این مقدار را 15 cm فرض کنیم خواهیم داشت:

$$a = 69 + 15 = 84 \sim 85 \text{ cm}$$

$$b = 52 + 15 = 67 \sim 70 \text{ cm}$$

* آخرین مرحله اتصال نسبت طول آزاد ورق به ضخامت ورق جهت چک کردن شمول موضوع بلی از $1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ کوچکتر باشد.



در محاسبه ی طول آزاد می توانیم بعد بادبند را کسر کنیم . در این جا در جهت اطمینان این کار را انجام نمی دهیم

$$\max(a, b) = \max(70, 85) = 85 \text{ : طول آزاد}$$

$$\frac{85}{t} = \frac{85}{1.2} = 71 > 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{2.1 \times 10^6}{2400} = 40.4 \text{ not good}$$

ضخامت ورق باید افزایش یابد. $t=2\text{cm}$

$$\frac{85}{2} = 42.5 > 40.5 \text{ not good}$$

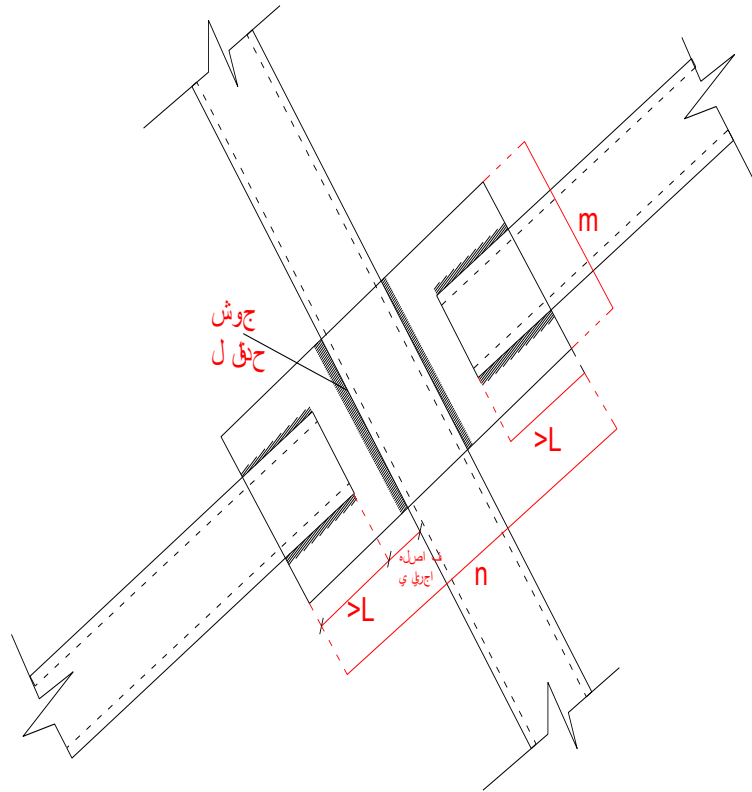
چون اختلاف کم است قبول میکنیم.

طراحی اتصالات ایوان دو بیابند به هم

برای این اتصال از یک ورق مستطیلی استفاده می شود جهت اجرای این اتصال یکی از دو بادبند باید قطع و دیگری به صورت ممتد ادامه یابد. طول ورق در راستای بادبندی قرار میگیرد که قطع شده است و عرض آن در راستای بادبندی که قطع نشده است. نیروی طراحی اتصال همان نیرویی است که با آن اتصال بادبند به تیر و ستون طراحی می شود. بادبند ممتد با جوش حداقل به ورق متصل می شود. بادبندی که قطع شده است باید دارای طول اتصالی به اندازه ی حداقل L باشد. L مشابه اتصال قبلی محاسبه می شود و باید به میزانی باشد که نیروی طراحی اتصال از بادبند به ورق منتقل شود طول ورق باید به میزانی باشد که طول اتصال L برای دو بادبند قطع شده تامین شود و بادبند ممتد نیز از وسط بتواند عبود کند و یک فاصله ی اجرایی نیز تامین شود.

عرض ورق باید حداقل به میزانی باشد که ورق در مقطع عرض خود که نباید بیشتر از عرض ویتمور در نظر گرفته شود براساس مقاومت کششی جوابگوی نیروی محوری طراحی اتصال باشد.

کنترل برش قالبی نیز مشابه اتصال قبلی باید انجام گیرد.



$$T=138240 \text{ kg}$$

مشابه اتصال قبل $t=2 \text{ cm}$

مشابه اتصال قبل: $a=8 \text{ mm}$ بعد جوش اتصال بادی بند قطع شده به ورق

بعد جوش حداقل $a=5 \text{ mm}$ بعد جوش اتصال بادی بند ممتد به ورق مشابه حالت قبل $L=43$

کنترل برش قالبی: مشابه اتصال قبل

تعیین عرض ورق بر اساس تامین مقاومت کششی لازم در مقطع عرضی در عرضی از ورق که بیشتر از عرض ویتور نیست.

$$\varphi_n P_t \geq P_r = T = 138240$$

$$\varphi_n P_n = \min(0.9 F_y A_g, 0.75 F_u A_e)$$

$$A_g = \min(m \times t, b_v \times t)$$

$$A_e = 0.85 A_g$$

$$\min(0.9 \times 2400 \times A_g, 0.75 \times 3700 \times 0.85 \times A_g) = \min(2160 A_g, 2359 A_g) = 2160 A_g \geq 138240$$

$$A_g \geq 64 \text{ cm}^2$$

$$A_g = \min(m \times 2, 66 \times 2) = \min(2m, 132) \geq 64$$

$$2m \geq 64, \quad m = 32 \sim 35$$

تعیین طول ورق:

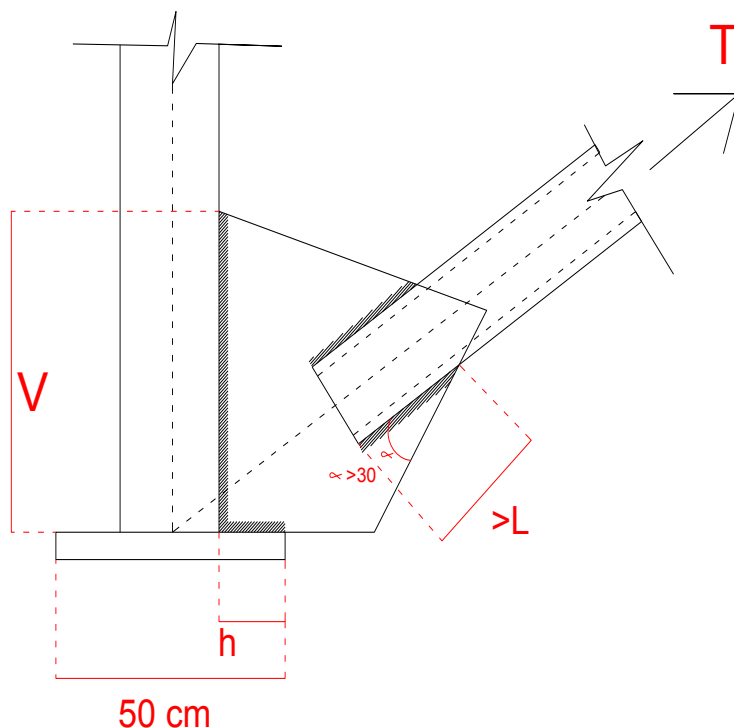
$$n \geq 2l + 2 \times \text{فاصله اجرایی} + b, \quad b = 16 \text{ cm}$$

فرض: فاصله اجرایی: 3 cm

$$n \geq 2 \times 43 + 2 \times 3 + 16 = 108 \text{ cm} , n = 110$$

$$PL35 \times 110 \times 2 \text{ cm}$$

اتصال بلبن بلبن تیر کف ستون



$$h = \frac{50 - 27}{2} = 11.5$$

مجهول: V

مشابه اتصال قبلی: $T=138240$

مشابه اتصالات قبلی $t=2 \text{ cm}$

مشابه اتصالات قبلی $L=43 \text{ cm}$

کنترل برش قالبی مشابه اتصالات قبلی

کنترل کشش در ورق در عرض ویتور مشابه اتصالات قبلی

$a=8 \text{ mm}$ بعد جوش اتصال بادبند به ورق. مشابه اتصالات قبلی

کنترل نسبت طول آزاد لبه ی ورق به ضخامت ورق مشابه قبل

طراحی جوش اتصال ورق به ستون و کف ستون:

در این جا در دو مرحله طراحی انجام می شود در مرحله ی اول فرض می شود که مشابه اتصال بادبند به تیر و ستون ، جوش افقی مولفه ی افقی و جوش عمودی مولفه ی عمودی نیرو را تعیین میکند.

اما در اینجا طول افقی جوش معلوم است و در صورت عدم جوابگویی قابل افزایش نیست. البته بهتر است در مرحله ی طراحی کف ستون ، عرض کف ستون به موازات بادبند به گونه ای تعیین می شود که طول جوش کافی را تامین نماید. اگر این طول جوش تامین نشد باید کل مجموعه ی جوش افقی و عمودی برای تحمل نیروی بادبند طراحی شود. در این حالت تامین طول جوش عمودی حالت سعی و خطا پیدا می کند. غنی یک حدس اولیه برای طول جوش عمودی میزنیم. و بر اساس آن کنترل میکنیم که این طول مناسب است یا خیر و در صورت لزوم مقدار آنرا اصلاح میکنیم. در اینجا توجه گردد که جوش حالت L شکل خواهد داشت و محل اثر نیرو لزوماً از مرکز جوش عبور نخواهد کرد که این مساله ایجاد پیچش در جوش خواهد کرد. پس جوش باید برای اثر همزمان برش و پیچش طراحی شود.

$$T_x = 11043, T_y = 83195$$

تعیین بعد جوش : فرض $a = 8 \text{ mm}$

مقایسه با حداقل و حداکثر به عنوان تمرین انجام شود

کنترل کفایت طول جوش افقی:

الکتروود (E70) چون ضخام بیش از 15 mm است و $\beta = 0.75$

$$\phi R_{nw} \geq R_r, \quad \phi = 0.75, R_r = T_x = 11043, l_w = 2 \times h = 2 \times 11.5 = 23$$

$$R_{nw} = \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times 0.707 \times a \times l_w$$

$$= 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 0.8 \times 23 = 21513 < 110403 \text{ not good}$$

طول جوش کافی تامین نشده است.

پس باید جوش را برای اثر همزمان برش و پیچش طراحی کرد. ابتدا باید یک حدس اولیه برای طول جوش عمودی زد. برای یک حدس مناسب میتوان از رابطه ی زیر کمک گرفت.

مقاومت بر اساس طول جوش عمودی

$$\phi R_{nw} \geq R_r$$

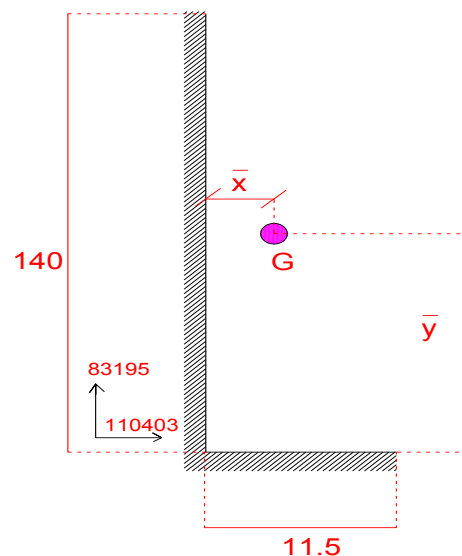
$$R_r = T_y + 2 \times (T_x - \phi R_{nw})$$

مقاومت بدست آمده از مرحله قبل بر اساس طول جوش افقی

$$R_r = 83195 + 2 \times (110403 - 21513) = 260975 \text{ kg}$$

$$0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 0.8 \times (2V) \geq 260975 \Rightarrow V \geq 139.5 \text{ cm}, \quad V = 140 \text{ cm}$$

نیرو را به محل برخورد آکس ستون و آکس بادبند منتقل میکنیم. موقعیت مرکز جوش را محاسبه کرده و سپس نیرو را به همراه لنگر پیچشی که ایجاد میکند به مرکز جوش منتقل میکنیم.



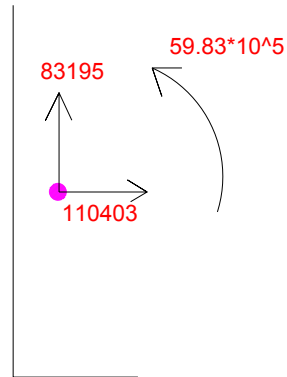
$$\bar{x} = \frac{h^2}{2 \times (h + v)} = \frac{11.5^2}{2 \times (11.5 + 140)} = 0.44 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{v^2}{2 \times (h + v)} = \frac{140^2}{2 \times (11.5 + 140)} = 64.7 \text{ cm}$$

انتقال نیرو و به مرکز جوش

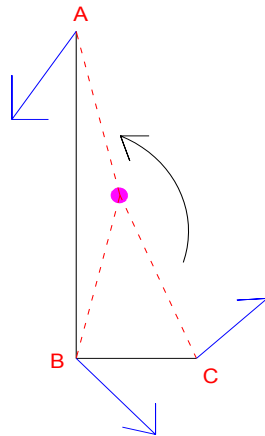
M لنگر پیچشی (پادساعتگرد مثبت)

$$M = 110403 \times 64.7 - 83195 \times (13.5 + 0.44) = 59.83 \times 10^5 \text{ kg} - \text{cm}$$



محاسبه ی تنش های ناشی از برش مستقیم

محاسبه ی تنش ناشی از پیچش :



$$f'_x = \frac{T_x}{2(h+v)} = \frac{110403}{2 \times (140 + 13.5)} = 364.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$f'_y = \frac{T_y}{2(h+v)} = \frac{83195}{2 \times (140 + 13.5)} = 274.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

برای این منظور ابتدا باید نقطه ی بحرانی را تشخیص دهیم . نقطه ی بحرانی نقطه ای است که همزمان هم دورترین فاصله تا مرکز جوش را داشته باشد و هم تنش ناشی از آن با تنش ناشی از برش مستقیم اثر افزاینده دارد.

دورترین نقطه A : اما تنش در آن نسبت به تنش های برشی مستقیم کاهنده است.

دورترین نقطه پس از A : C

هر دو مولفه ی تنش نسبت به برش های مستقیم افزایشده است. کنترل را برای هر دو نقطه ی A و C انجام می دهیم.

$$f_x'' = \frac{T \cdot y}{I_P} \quad , \quad f_y'' = \frac{T \cdot x}{I_P}$$

$$\text{نقطه A : } \begin{cases} x = 0.44 \\ y = 140 - 64.7 = 75.3 \end{cases}$$

$$\text{نقطه C : } \begin{cases} x = 11.5 - 0.44 = 11.06 \\ y = 64.7 \end{cases}$$

$$I_P = I_x + I_y$$

$$I_x = h \times \bar{y}^2 + V \times \left(\frac{V}{2} - \bar{y} \right)^2 + \frac{V^3}{12}$$

$$I_y = V \times \bar{y}^2 + h \times \left(\frac{h}{2} - \bar{x} \right)^2 + \frac{h^3}{12}$$

$$I_x = 11.5 \times 64.7^2 + 140 \times \left(\frac{140}{2} - 64.7 \right)^2 + \frac{140^3}{12} = 280739$$

$$I_y = 140 \times 0.44^2 + 11.5 \times \left(\frac{11.5}{2} - 0.44 \right)^2 + \frac{11.5^3}{12} = 478$$

$$I_P = 478 + 280739 = 281217$$

$$\text{نقطه A : } \begin{cases} f_x'' = \frac{59.83 \times 10^5 \times 75.3}{2 \times 281217} = 801 \frac{kg}{cm} \\ f_y'' = \frac{59.83 \times 10^5 \times 0.44}{2 \times 281217} = 4.7 \frac{kg}{cm} \end{cases}$$

$$\text{نقطه C : } \begin{cases} f_x'' = \frac{59.83 \times 10^5 \times 64.7}{2 \times 281217} = 801 \frac{kg}{cm} \\ f_y'' = \frac{59.83 \times 10^5 \times 11.06}{2 \times 281217} = 4.7 \frac{kg}{cm} \end{cases}$$

رکتوب ن تلو ج ح صل از برش پی پی چش

$$f_r = \sqrt{(f_x' \pm f_x'')^2 + (f_y' \pm f_y'')^2}$$

علامت مثبت و منفی بر اساس افزایشده یا کاهنده بودن تنش ها تعیین می شود.

نقطه ی A: علامت منفی

نقطه ی C : علامت مثبت

$$f_{rA} = \sqrt{(364.4 - 801)^2 + (274.6 - 4.7)^2} = 513 \frac{kg}{cm}$$

$$f_{rA} = \sqrt{(364.4 + 688.7)^2 + (274.6 + 117.7)^2} = 1124 \frac{kg}{cm}$$

$$\phi R_{nw} \geq R_r = f_r = 1124$$

$$\phi R_{nw} = 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 1 \times 0.8 = 935 < 1124 \text{ not good}$$

طول جوش باید افزایش یابد. به عنوان تمرین انجام شود.

چون f_r نیرو در واحد طول است باید l_w یک سانتی متر فرض شود. همچنین چون اثر دو خط جوش قبلاً در محاسبه ی f_r دیده شده است دیگر در محاسبه ی R_{nw} لحاظ نمی شود. مطابق محاسبه ی فوق اتصال حدود 25 % ضعیف است. حدود 30 cm به طول جوش اضافه کرده و محاسبات را تکرار می کنیم. $V=170 \text{ cm}$

ارد بزرگ:

آنچه رخ داده را باید پذیرفت اما آنچه روی نداده را می توان به میل خویش ساخت.