

به نام خدا



دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان  
گروه عمران

# طراحی سازه های فولادی ۲

اتصالات جوشی

قسمت دوم

## نحوه محاسبه تنش در جوش:

جوش گوشه تحت برش

جوش گوشه تحت برش و پیچش

جوش گوشه تحت برش و خمش

جوش گوشه

جوش شیاری تحت اثر نیروی محوری

جوش شیاری تحت اثر نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی

جوش شیاری

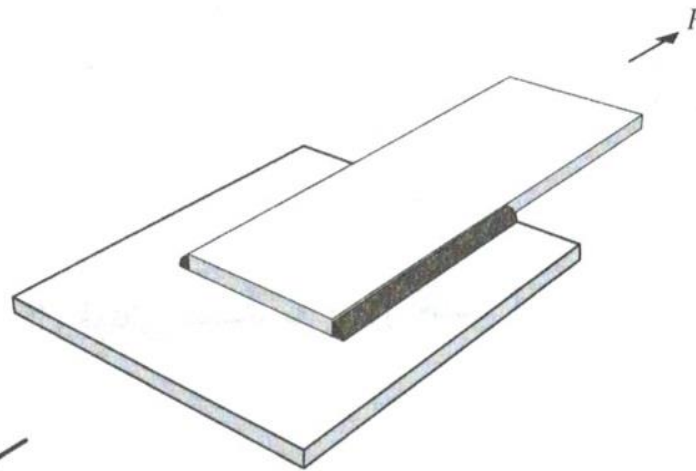
محاسبه تنش در جوش گوشه با استفاده از فرضیات ساده کننده انجام می شود. مهمترین فرضیات در این زمینه عبارتند از:

- ۱- جوش ها در ناحیه الاستیک هستند.
- ۲- صفحات متصل شونده توسط جوش دارای تغییرشکل های صلب هستند.
- ۳- تنش های حاصل از نیروهای محوری (کشش یا فشار) و نیروی برش در تمام طول جوش ثابت در نظر گرفته می شود.
- ۴- تنش های حاصل از لنگر خمشی و لنگر پیچشی نسبت به محل تار خنثی به صورت خطی تغییر می کنند.
- ۵- ترکیب تنش های قائم و برشی در یک نقطه از جوش به صورت جمع برداری محاسبه می شود.

## جوش گوشه تحت برش:



ب - جوش تحت برش عرضی



الف - جوش تحت برش طولی

در جوش گوشه با توجه به فرضیات ارائه شده و با فرض این که نیرو از مرکز سطح خطوط جوش عبور می کند، تنش برشی در جوش به صورت زیر محاسبه می شود.

$$f_v = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{t_e L_w} \leq F_{vw}$$

$$F_{vw} = 0.3\phi F_{ue}$$

$t_e$ : گلوئی موثر جوش گوشه

$L_w$ : طول جوش گوشه

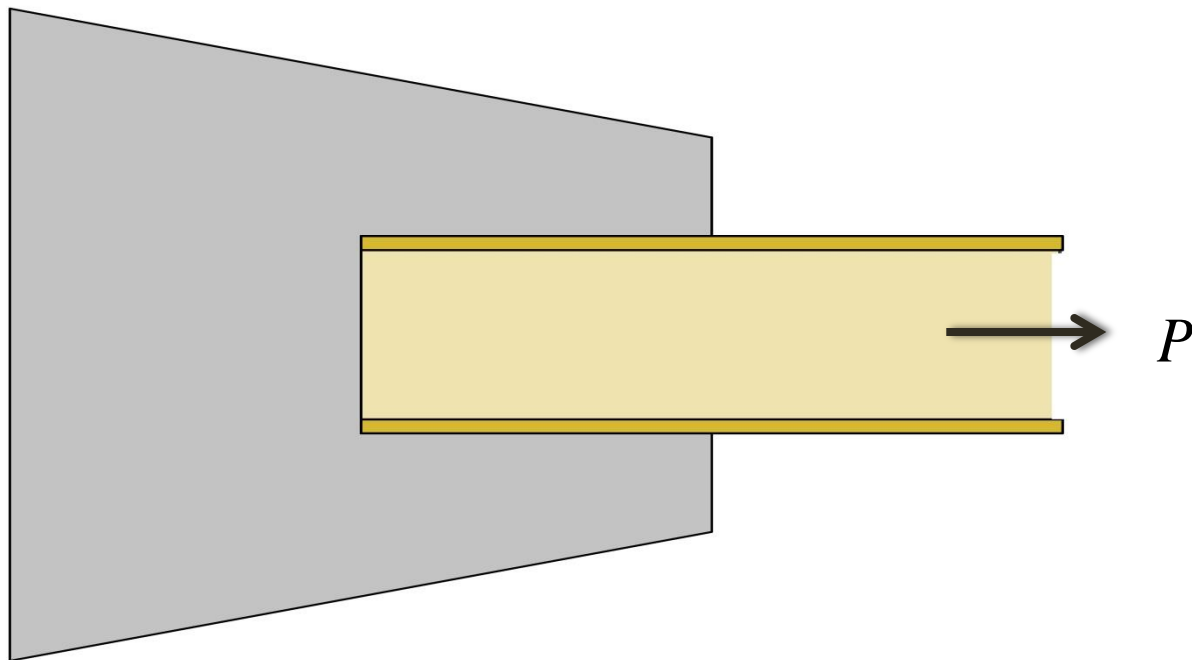
$F_{vw}$ : تنش مجاز برشی جوش گوشه

$F_{ue}$

**مثال:** می خواهیم پروفیل ناودانی U140×60 را مطابق شکل زیر توسط جوش گوشه به ورق متصل کنیم، ناودانی تحت نیروی محوری  $P = 20 \text{ ton}$  قرار دارد، با فرض استفاده از الکتروود E60 و جوش در محل با بازرسی چشمی توسط افراد مجرب، مطلوب است:

الف: با فرض جوشکاری فقط در لبه های بالایی و پایینی، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.

ب: با فرض جوشکاری در هر سه لبه، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.



جوش در محل با بازرسی چشمی  $\rightarrow \phi = 0.75$

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 4200 \frac{kg}{cm^2},$$

$$\Rightarrow F_{vw} = 0.3\phi F_{ue} = 0.3 \times 0.75 \times 4200 = 945 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{P}{A_w} = \frac{P}{t_e L_w} \leq F_{vw} \quad \Rightarrow \frac{20 \times 10^3}{t_e L_w} \leq 945 \frac{kg}{cm^2} \quad \Rightarrow t_e L_w \geq 21.16 cm^2$$

اکنون با توجه به محدودیت های آیین نامه بعد جوش را انتخاب می کنیم:

چون در ناودانی U 140× 60 ضخامت بال 10 mm است لذا:

$$5^{mm} \leq a_e \leq 8mm$$



use

$$a_e = 6^{mm}$$

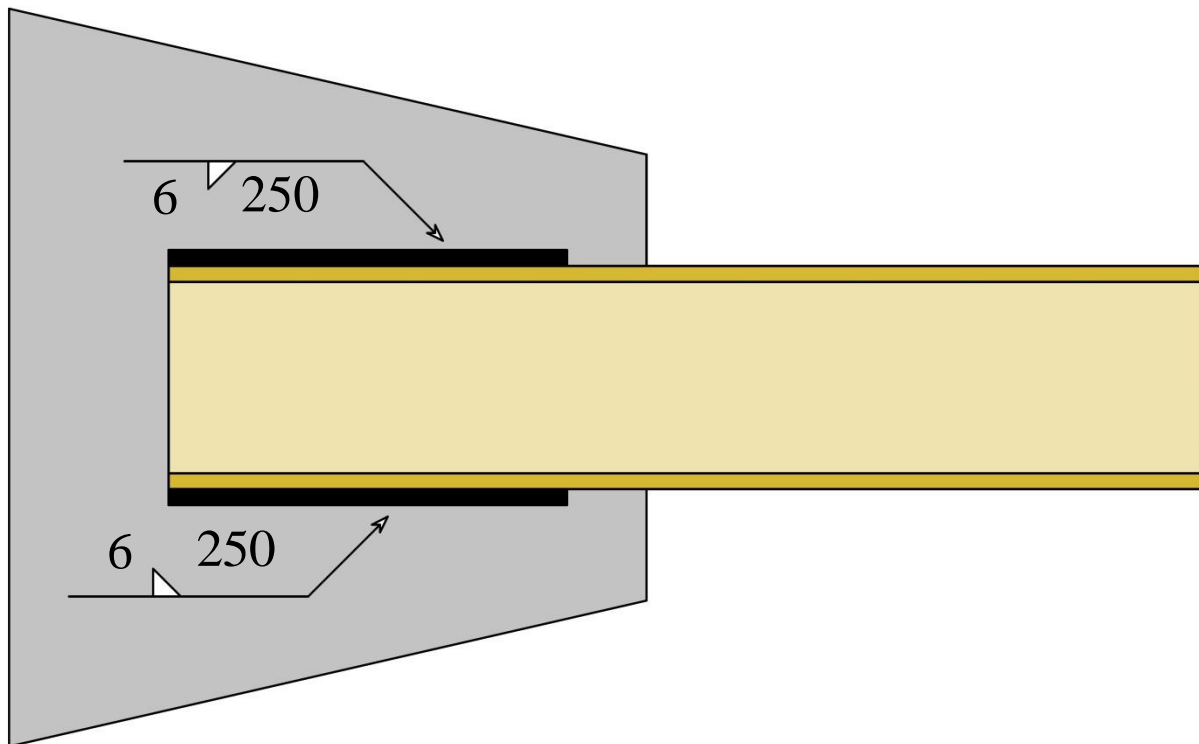
$$\Rightarrow t_e = 0.707 a_e = 4.24^{mm} = 0.424^{cm}$$

$$L_w \geq \frac{21.16 cm^2}{0.424 cm} = 49.9^{cm}$$

$$\Rightarrow L_w = 50^{cm}$$

$$L_w = 50^{cm}$$

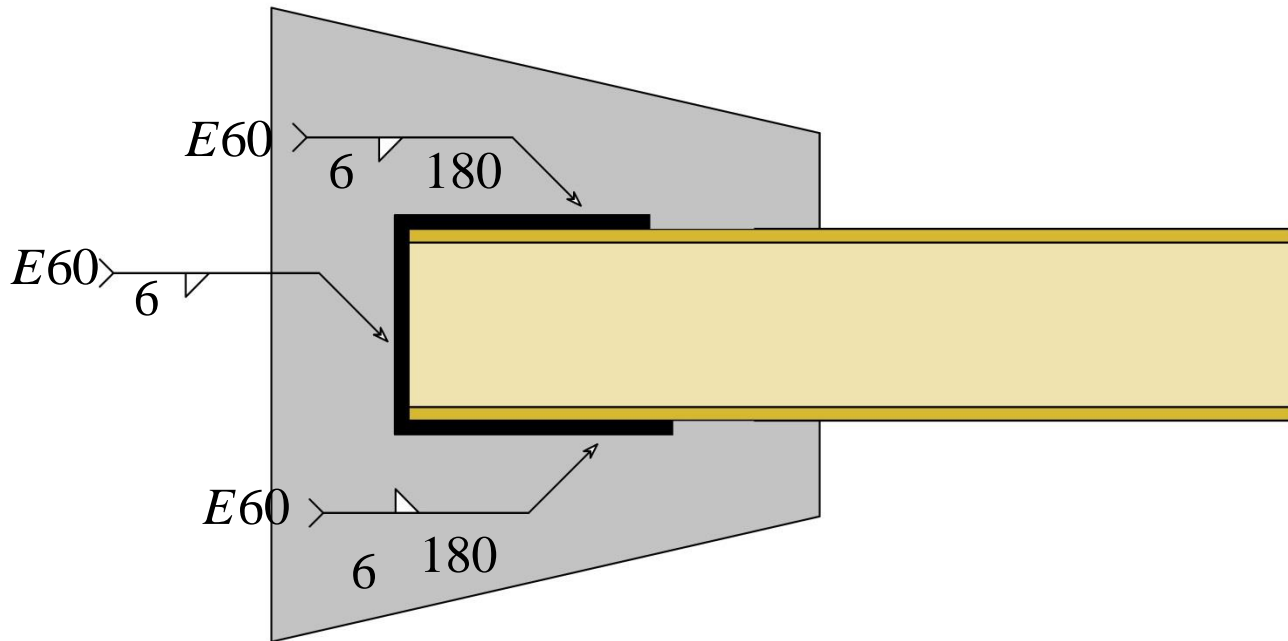
الف: با فرض جوشکاری فقط در لبه های بالایی و پایینی، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.



**توجه:** در این اتصال برای اینکه پیچشی ایجاد نگردد مرکز سطح خطوط جوش باید بر مرکز سطح مقطع ناودانی منطبق باشد. لذا با توجه به تقارن ناودانی و این که مرکز سطح آن در وسط ارتفاع قرار دارد، جوشها نیز باید متقارن باشند، به همین دلیل طول جوشها در لبه های بالایی و پایینی باید مساوی باشد.

$$L_w = 50^{cm}$$

ب: با فرض جوشکاری در هر سه لبه، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.

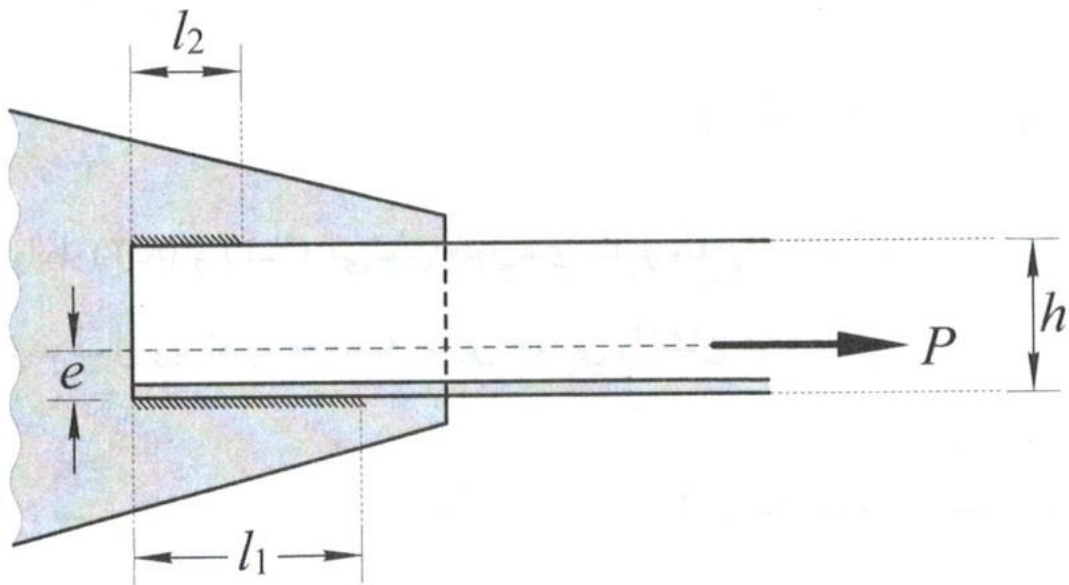


**توجه:** در این اتصال برای اینکه پیچشی ایجاد نگردد مرکز سطح خطوط جوش باید بر مرکز سطح مقطع ناودانی منطبق باشد. لذا با توجه به تقارن ناودانی و این که مرکز سطح آن در وسط ارتفاع قرار دارد، جوشها نیز باید متقارن باشند به همین دلیل طول جوشها در لبه های بالایی و پایینی باید مساوی باشد.



## جوش متعادل:

در برخی از اعضای غیر متقارن مانند نبشی ها خطوط جوش باید به نحوی طراحی شوند که سطح مقطع خطوط جوش بر سطح مقطع عضو منطبق شود تا برون محوری و در نتیجه گشتاور پیچشی ایجاد نشود، این گونه طراحی اتصال جوشی را متعادل کردن جوش می نامند.



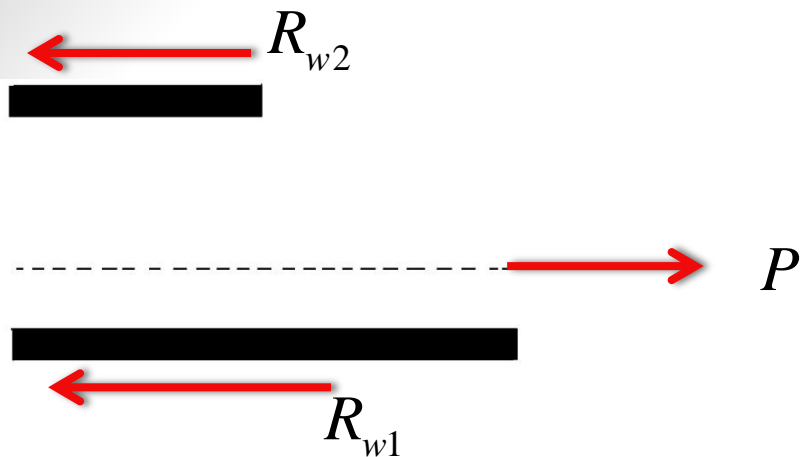
$$\leftarrow R_{w2}$$

$$\frac{R_{w2}}{t_e L_2} \leq F_{VW} \quad \Rightarrow R_{w2} = t_e L_2 F_{VW}$$

$$\rightarrow P$$

$$\leftarrow R_{w1}$$

$$\frac{R_{w1}}{t_e L_1} \leq F_{VW} \quad \Rightarrow R_{w1} = t_e L_1 F_{VW}$$



در چنین وضعیتی هدف تعیین طول های  $L1$  و  $L2$  می باشد. این طول ها باید به نحوی تعیین شوند که هیچ برون محوری و در نتیجه لنگری ایجاد نشود. برای به دست آوردن این طول ها هم می توان حول هر نقطه لنگر گرفت و مساوی صفر قرار داد و هم می توان  $L1$  و  $L2$  را به نحوی تعیین کرد که مرکز سطح خطوط جوش بر مرکز سطح مقطع عضو منطبق باشد.

چون در اینجا دو مجهول  $L1$  و  $L2$  وجود دارد باید به گونه ای لنگر گیری کرد که در هر مرحله فقط یک مجهول وجود داشته باشد. لذا ابتدا حول خط جوش بالایی لنگر گیری کرده و مطابق زیر  $L1$  محاسبه می شود.

$$R_{w1}h = P(h - e) \quad \Rightarrow \quad L_1 = \frac{P(h - e)}{t_e h F_{vw}}$$

اکنون حول خط جوش پایینی لنگر گیری کرده و مطابق زیر  $L2$  محاسبه می شود.

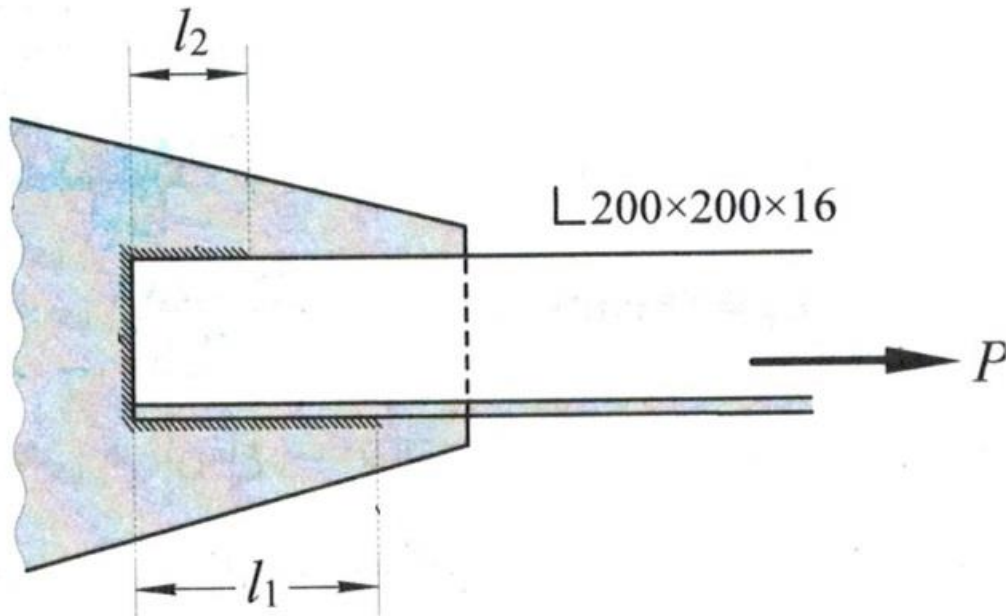
$$R_{w2}h = Pe \quad \Rightarrow \quad L_2 = \frac{Pe}{t_e h F_{vw}}$$

**مثال:** نبشی  $L200 \times 200 \times 16$  مطابق شکل زیر توسط جوش گوشه به ورق متصل کنیم، نبشی تحت نیروی محوری  $P = 30 \text{ ton}$  قرار دارد، با فرض استفاده از الکتروود E60 و جوش در محل با بازرسی چشمی توسط افراد مجرب، مطلوب است:

الف: با فرض جوشکاری فقط در لبه های بالایی و پایینی، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.

ب: با فرض جوشکاری در هر سه لبه، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.

ج: اتصال را برای ترکیب جوش انگستانه و جوش گوشه تحت نیروی  $P = 80 \text{ ton}$  طراحی کنید.



$$A = 61.8 \text{ cm}^2$$

$$e = 5.52 \text{ cm}$$

جوش در محل با بازرسی چشمی  $\rightarrow \phi = 0.75$

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2},$$

$$\Rightarrow F_{vW} = 0.3\phi F_{ue} = 0.3 \times 0.75 \times 4200 = 945 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

قسمت الف:


$$L_1 t_e = \frac{30000(20 - 5.52)}{945 \times 20} = 22.98 \text{ cm}^2$$

$$L_2 t_e = \frac{30000 \times 5.52}{945 \times 20} = 8.76 \text{ cm}^2$$

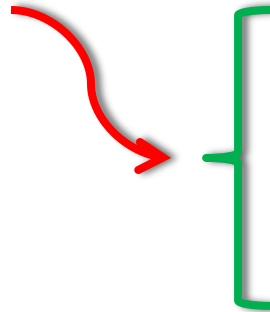
اکنون با توجه به محدودیت های آیین نامه بعد جوش را انتخاب می کنیم:

$$6^{mm} \leq a_e \leq 16^{mm}$$

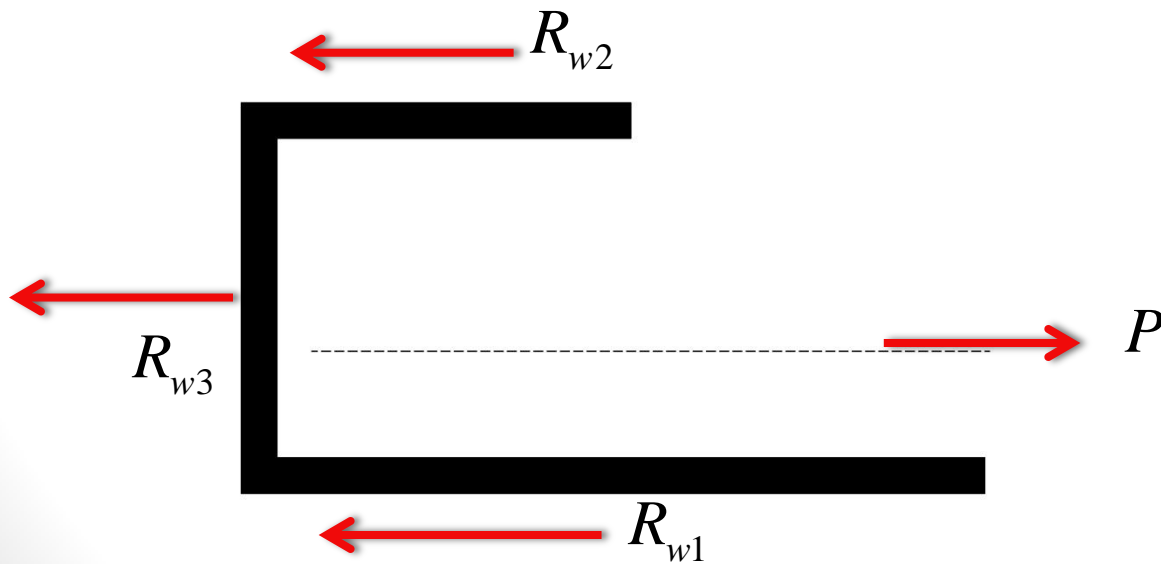
چون در نبشی L200×200×16 ضخامت 16 mm است لذا:

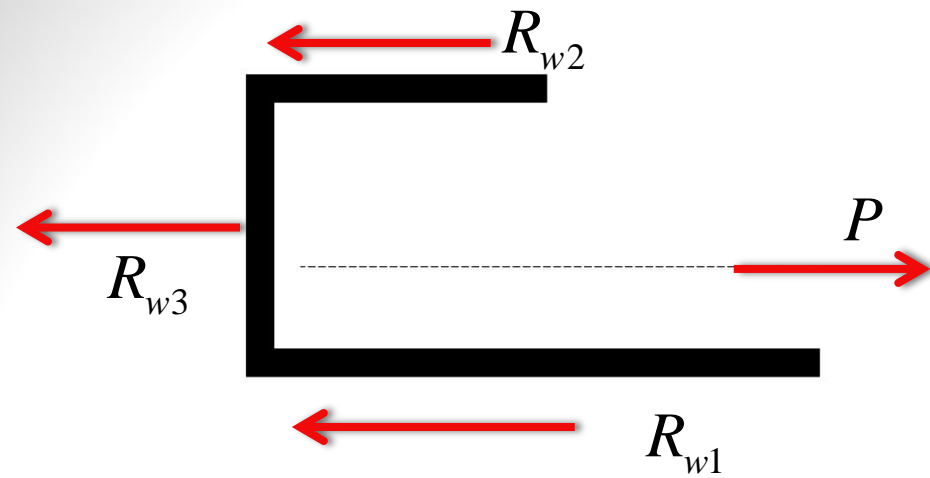

$$\text{use } a_e = 8^{mm} \Rightarrow t_e = 0.707 a_e = 5.656^{mm} = 0.5656^{cm}$$

$$t_e = 0.5656 \text{ cm}$$


$$\left\{ \begin{array}{l} L_1 t_e = 22.98 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow L_1 = 40.63 \text{ cm} \\ L_2 t_e = 8.76 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow L_2 = 15.49 \text{ cm} \end{array} \right.$$

**قسمت ب:** در این قسمت با توجه به جوش دادن ضلع سوم به ارتفاع 20 cm نیروی RW3 در تحمل نیروی P مشارکت می کند. با توجه به مقدار طول مشخص این ضلع مقدار نیروی RW3 نیز مشخص است.



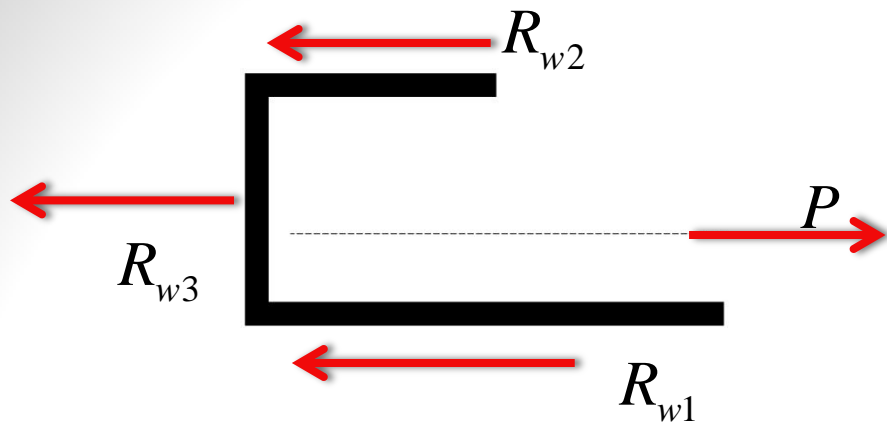


$$t_e = 0.5656^{cm}$$

$$R_{w1} = t_e L_1 F_{VW} = 0.5656 \times L_1 \times 945 = 534.5 L_1$$

$$R_{w2} = t_e L_2 F_{VW} = 0.5656 \times L_2 \times 945 = 534.5 L_2$$

$$R_{w3} = t_e L_2 F_{VW} = 0.5656 \times 20 \times 945 = 10689.8 \text{ kg}$$



با لنگر گیری حول خط جوش پایینی و صرف نظر از ضخامت جوش خواهیم داشت.

$$20R_{w2} + 10R_{w3} = 5.52P$$

$$20 \times 534.5L_2 + 10 \times 10689.8 = 30000 \times 5.52 \Rightarrow L_2 = 5.5 \text{ cm}$$

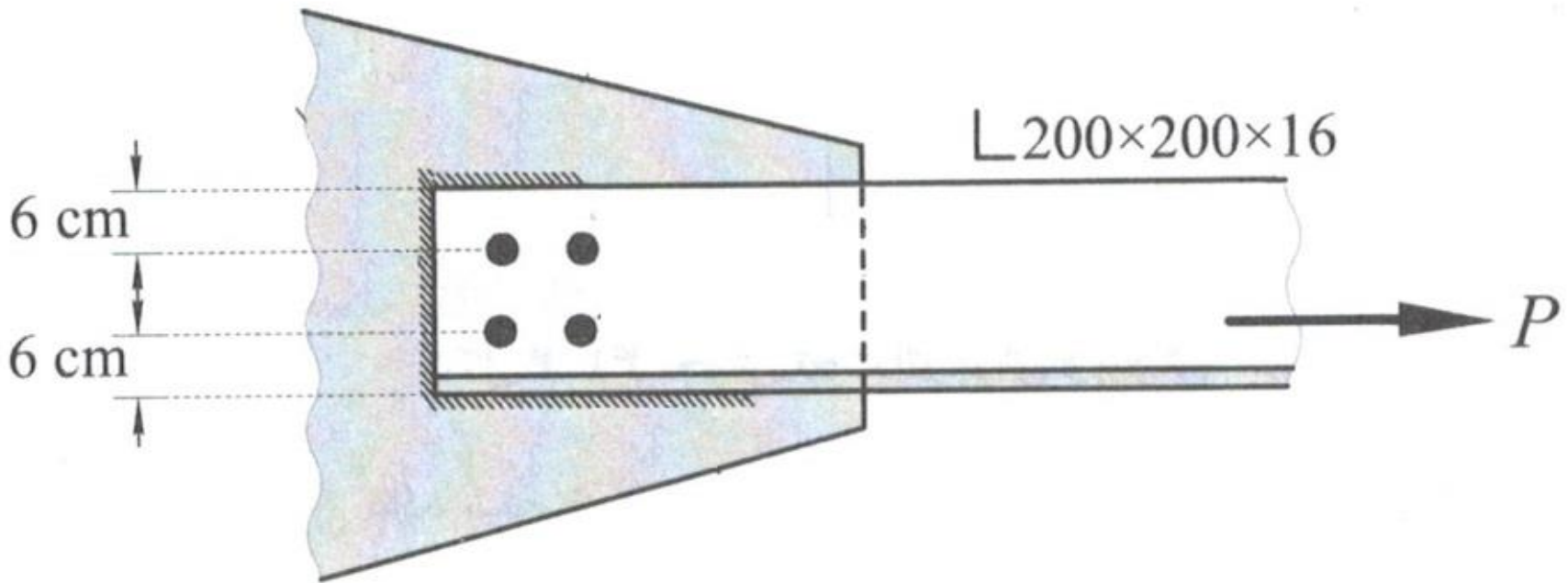
برای محاسبه طول  $L_1$  هم میتوان حول خط جوش بالایی لنگر گرفت و هم میتوان تعادل نیروها را در جهت X بررسی کرد.

$$R_{w1} + R_{w2} + R_{w3} = P$$

$$534.5L_1 + 534.5 \times 5.5 + 10689.8 = 30000 \Rightarrow L_1 = 30.63 \text{ cm}$$

**قسمت ج:** اتصال را برای ترکیب جوش انگشتانه و جوش گوشه تحت نیروی  $P = 80 \text{ ton}$  طراحی کنید.

$$t + 8 \leq d \leq (2.25t_w, \quad t + 11) \rightarrow 24 \text{ mm} \leq d \leq 27 \text{ mm use } d = 25 \text{ mm}$$





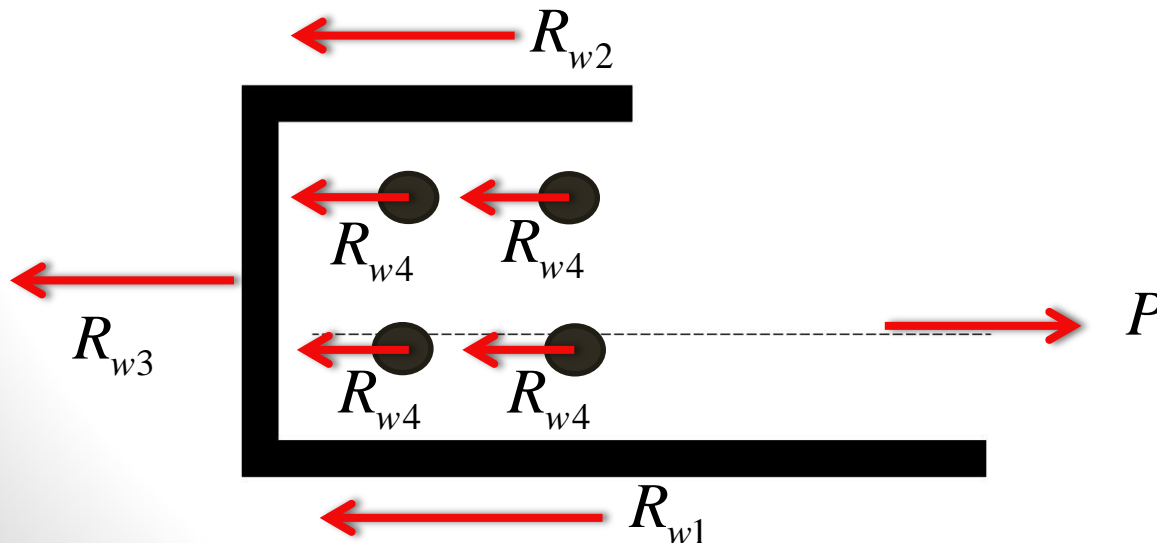
نیروی قابل تحمل توسط هر کدام از انگشتانه ها

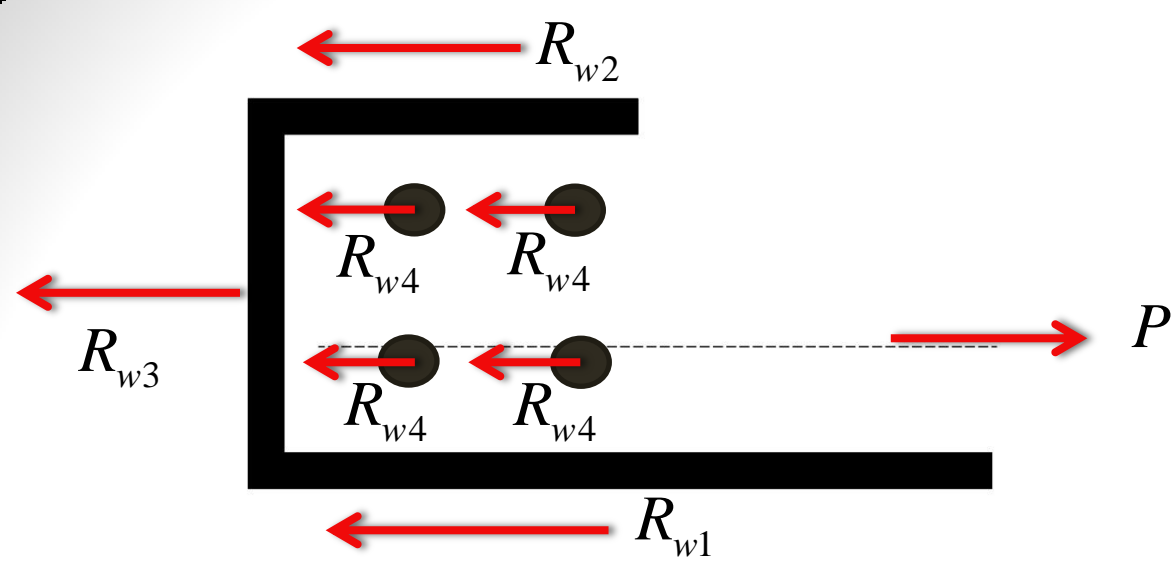
$$\frac{R_{w4}}{A_p} \leq F_{vw} \Rightarrow R_{w4} = \pi \frac{2.5^2}{4} \times 0.75 \times 0.3 \times 4200 = 4639 \text{ kg}$$

$$R_{w1} = t_e L_1 F_{VW} = 0.5656 \times L_1 \times 945 = 534.5 L_1$$

$$R_{w2} = t_e L_2 F_{VW} = 0.5656 \times L_2 \times 945 = 534.5 L_2$$

$$R_{w3} = t_e L_2 F_{VW} = 0.5656 \times 20 \times 945 = 10689.8 \text{ kg}$$



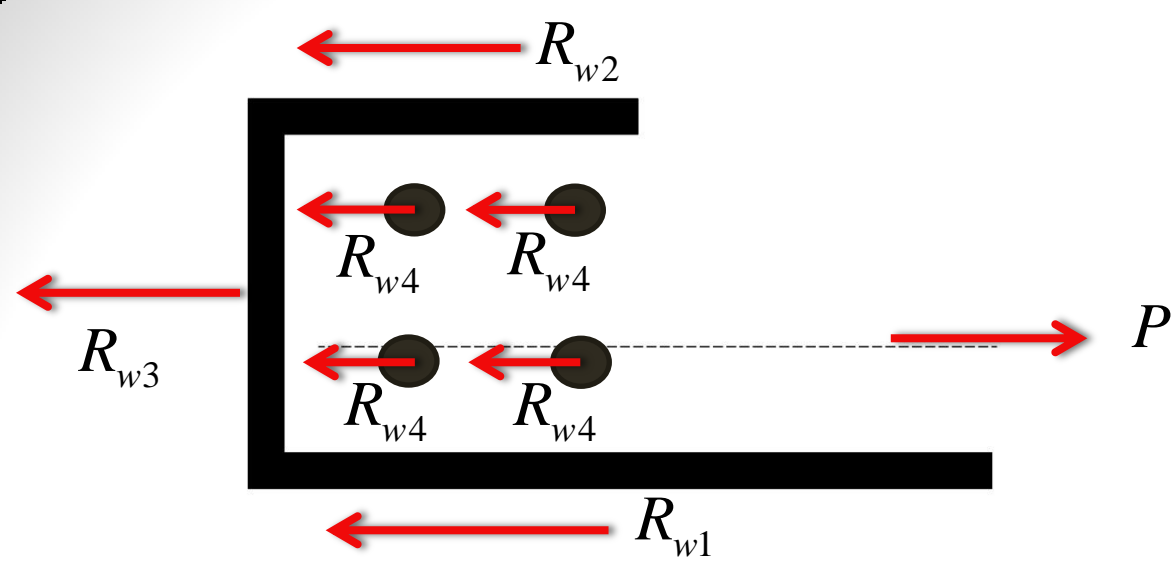


با لنگر گیری نسبت به خط جوش پایین

$$20 \times R_{w2} + 10 \times R_{w3} + 2 \times 14 \times R_{w4} + 2 \times 6 \times R_{w4} = 5.52 \times P$$

$$20 \times 534.5L_2 + 10 \times 10689.8 + 2 \times 14 \times 4639 + 2 \times 6 \times 4639 = 5.52 \times 80000$$

$$\Rightarrow L_2 = 13.95^{cm} = 14^{cm}$$



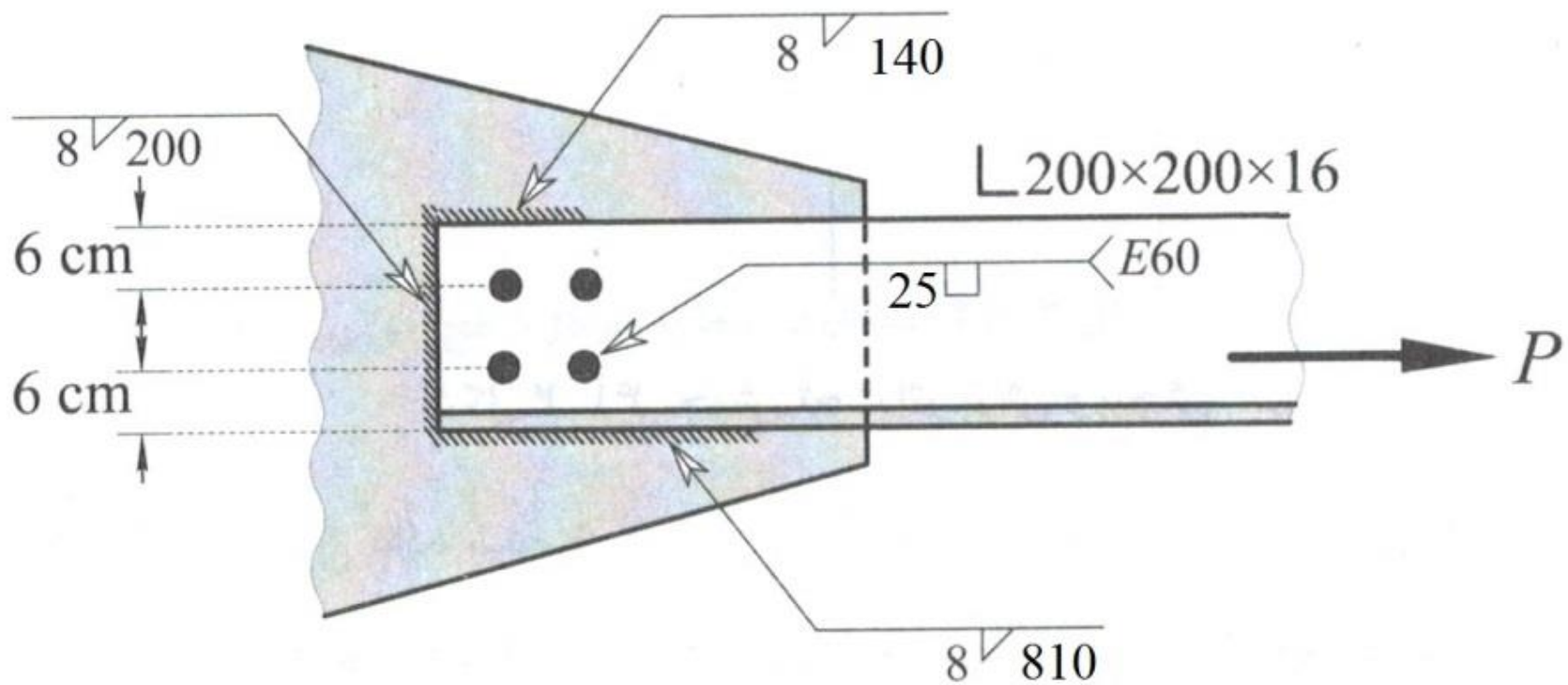
اکنون برای به دست آوردن طول  $L_1$  از تعادل نیروی در راستای افق استفاده می شود

$$R_{w1} + R_{w2} + R_{w3} + 4 \times R_{w4} = P$$

$$534.5L_1 + 534.5 \times 13.95 + 10689.8 + 4 \times 4639 = 80000$$

$$\Rightarrow L_1 = 81^{cm}$$

**قسمت ج:** اتصال را برای ترکیب جوش انگشتانه و جوش گوشه تحت نیروی  $P = 80 \text{ ton}$  طراحی کنید.



**جوش گوشه تحت برش و پیچش:** در اتصال جوشی نشان داده شده، خطوط جوش تحت تنشهای برشی ناشی از نیروی افقی  $P \cos \alpha$  و نیروی قائم  $P \sin \alpha$  و لنگر پیچشی  $T$  قرار دارند.

**گام اول:** تعیین مرکز سطح خطوط جوش

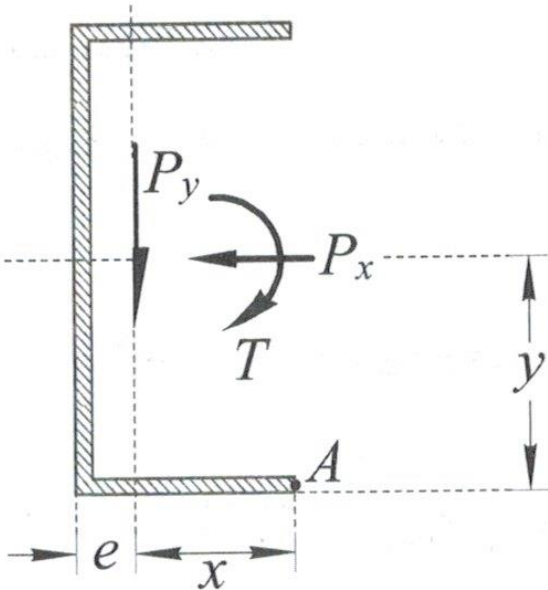
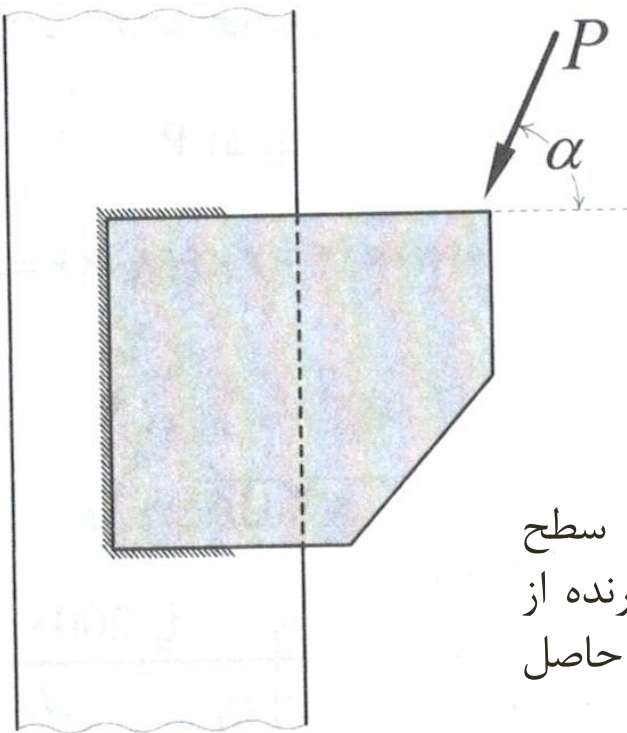
**گام دوم:** تعیین خصوصیات هندسی مقطع خطوط جوش نظیر سطح مقطع خطوط جوش و ممان اینرسی حول محورهای مختصات گذرنده از مرکز سطح و در نهایت ممان اینرسی قطبی که مطابق رابطه زیر حاصل می شود.

$$j = I_x + I_y$$

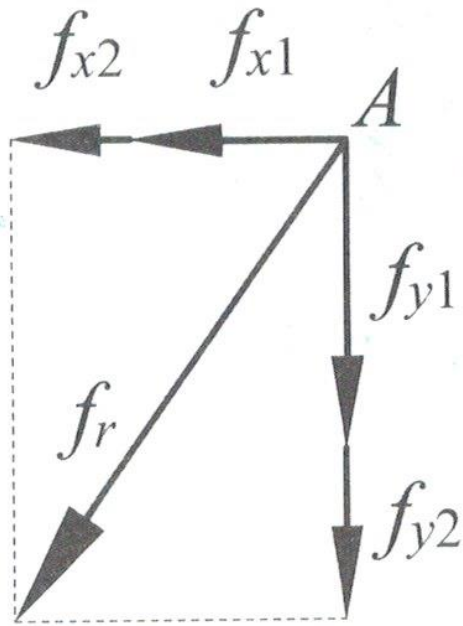
$I_x$ : ممان اینرسی مقطع حول محور  $x$

$I_y$ : ممان اینرسی مقطع حول محور  $y$

$J$ : ممان اینرسی قطبی مقطع حاصل از خطوط جوش



**گام سوم:** محاسبه تنش های برشی ناشی نیروی  
های  $P_x$  و  $P_y$



$$f_{x1} = \frac{P_x}{A} \quad f_{y1} = \frac{P_y}{A}$$

**گام چهارم:** محاسبه تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی در دو راستای X و Y با توجه به روابط زیر

$$f_{x2} = \frac{T_y}{j} \quad f_{y2} = \frac{T_x}{j}$$

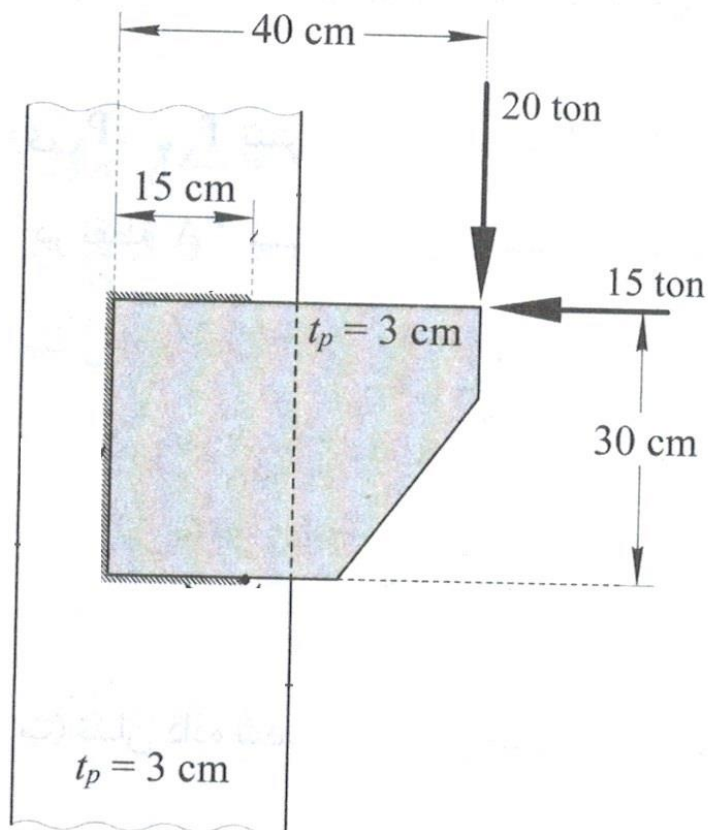
**گام پنجم:** در این مرحله با توجه به فاصله از مرکز سطح و همچنین جهت بردارهای تنش، نقطه بحرانی را تعیین و تنش برشی برآیند را در آن نقطه محاسبه و با تنش برشی مجاز مقایسه می کنیم

$$f_r = \sqrt{(f_{x1} + f_{x2})^2 + (f_{y1} + f_{y2})^2} \leq F_{vw}$$

**گام ششم:** با مقایسه تنش حداکثر با تنش مجاز ضخامت گلویی جوش محاسبه می شود.

$$t_e = \frac{f_r}{F_{vw}}$$

**مثال:** در اتصال نشان داده شده در شکل زیر، جوش گوشه را برای تحمل نیروی افقی ۱۵ تن و نیروی قائم ۲۰ تن طراحی کنید. الکتروود مصرفی از نوع E70 و جوش در کارخانه توسط بازرسی چشمی توسط افراد مجرب انجام میگیرد.



**گام اول:** فرض میکنیم که گلویی موثر جوش برابر با ۱ سانتی متر است. سپس مرکز سطح خطوط جوش بصورت زیر محاسبه می شود.

$$\bar{x} = \frac{2 \times 15 \times 7.5}{60} = 3.75 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = 15 \text{ cm}$$

گام دوم: تعیین خصوصیات هندسی سطح مقطع خطوط جوش

$$A = 2 \times 15 \times 1 + 30 \times 1 = 60 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{1 \times 30^3}{12} + 2 \times (1 \times 15) \times 15^2 = 9000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 30 \times 3.75^2 + \frac{2}{12} (1 \times 15^3) + 2 \times (1 \times 15) \times (7.5 - 3.75)^2 = 1406.25 \text{ cm}^4$$

در محاسبه ممان اینرسی ها از ممان اینرسی حول محور گذرنده از مرکز سطح خطوط جوش در راستای طولی این خطوط صرف نظر شده است.

$$j = I_x + I_y = 10406.25 \text{ cm}^4$$



**گام سوم:** محاسبه تنش های برشی ناشی نیروی های ۱۵ و ۲۰ تن

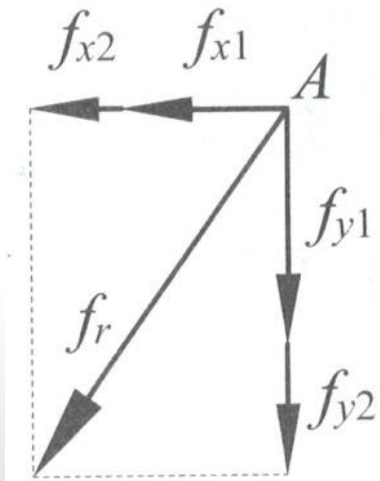
$$f_{x1} = \frac{P_x}{A} = \frac{15000}{60} = 250 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_{y1} = \frac{P_y}{A} = \frac{20000}{60} = 333.33 \text{ kg / cm}^2$$

**گام چهارم:** محاسبه تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی در دو راستای X و Y با توجه به روابط زیر

$$T = 20 \times (40 - 3.75) - 15 \times 15 = 5 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

**گام پنجم:** تعیین نقطه بحرانی. با توجه به فاصله از مرکز سطح و با توجه به جهت بردارهای تنش، تنش برشی در انتهای سمت راست خط جوش پایینی بحرانی است.



$$f_{x2} = \frac{T_y}{j} = \frac{5 \times 10^5 \times 15}{10406.25} = 720.72 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_{y2} = \frac{T_x}{j} = \frac{5 \times 10^5 \times 11.25}{10406.25} = 540.54 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(f_{x1} + f_{x2})^2 + (f_{y1} + f_{y2})^2}$$

$$= \sqrt{(250 + 720.72)^2 + (333.33 + 54054)^2} = 1306.12 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$F_{VW} = 0.3\phi F_{ue} = 0.3 \times .85 \times 4900 = 1249.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

**گام شش:** تعیین ضخامت گلوبی موثر و بعد جوش

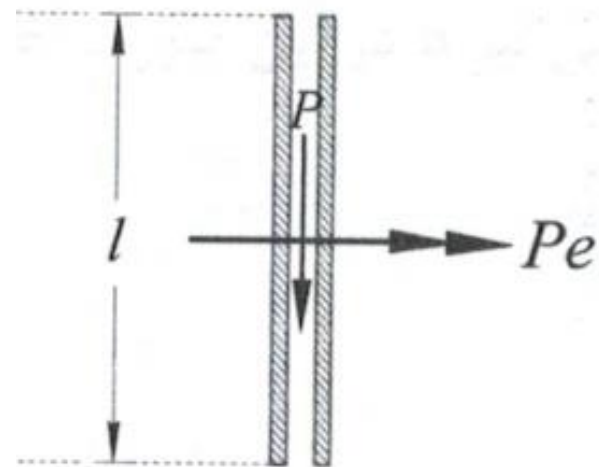
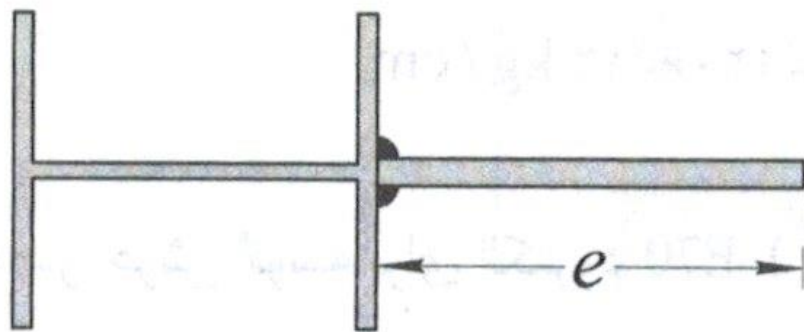
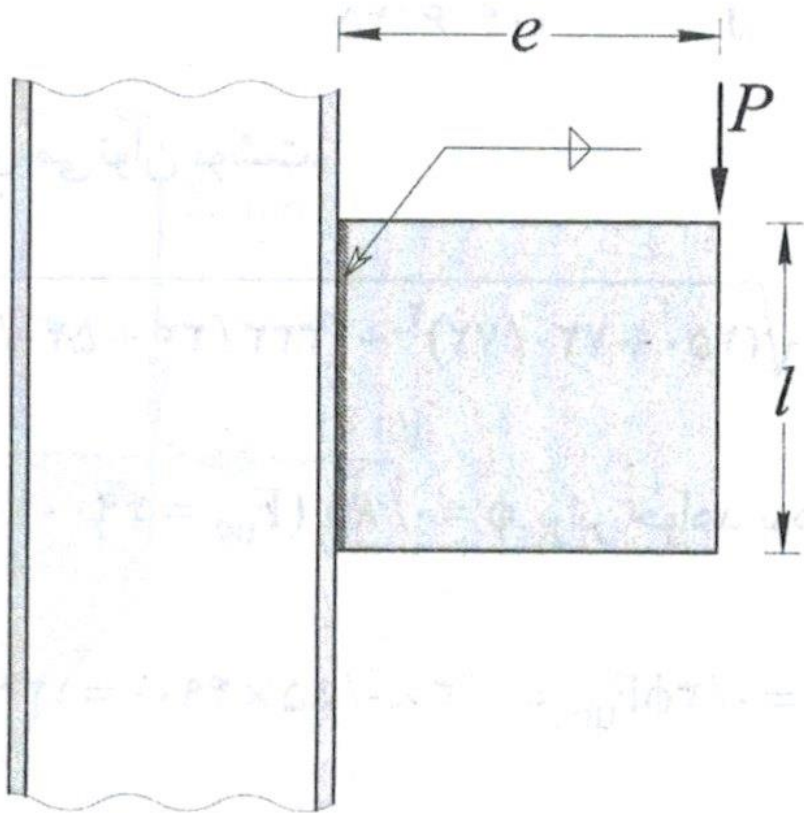
$$t_e = \frac{f_r}{F_{VW}} = \frac{1306.12}{1249.5} = 1.045 \text{ cm}$$

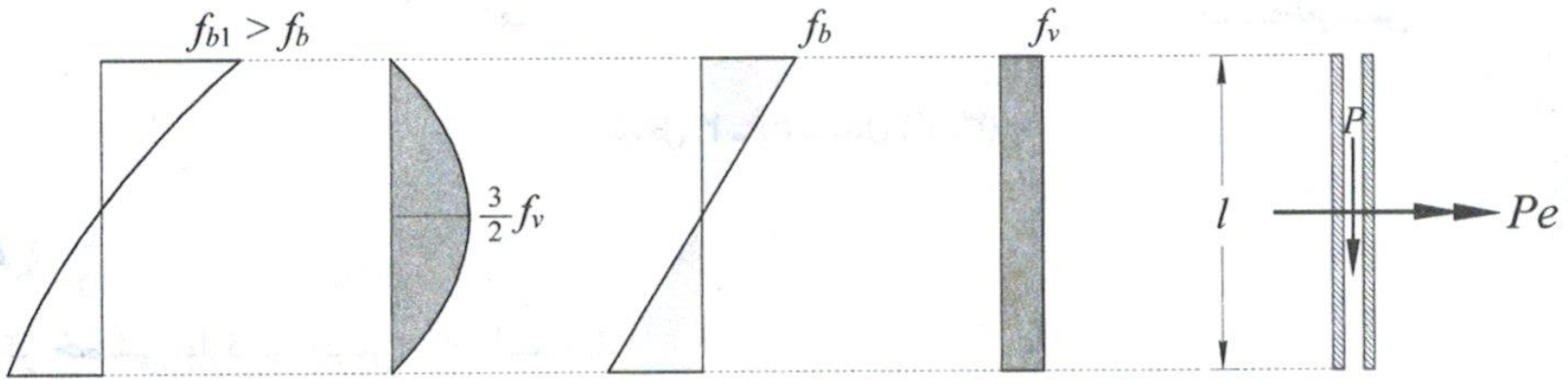
$$a_w = \frac{t_e}{0.707} = 1.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{use } a_w = 16 \text{ mm}$$

$$8 \text{ mm} \leq a_w = 16 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

## جوش گوشه تحت برش و خمشی: روش

معمول در محاسبه این گونه جوشها بدین صورت است که هر کدام از تنشهای برشی و خمشی را طبق روشهای مرسوم علم مکانیک جامدات محاسبه و برآیند آنها را به صورت برداری با تنش مجاز برشی جوش مقایسه می کنیم





هـ - تنش خمشی  
نزدیک به واقعیت

د - تنش برش  
واقعی

ج - تنش خمشی با  
تغییرات خطی

ب - تنش برش  
یکنواخت

الف - خطوط جوش

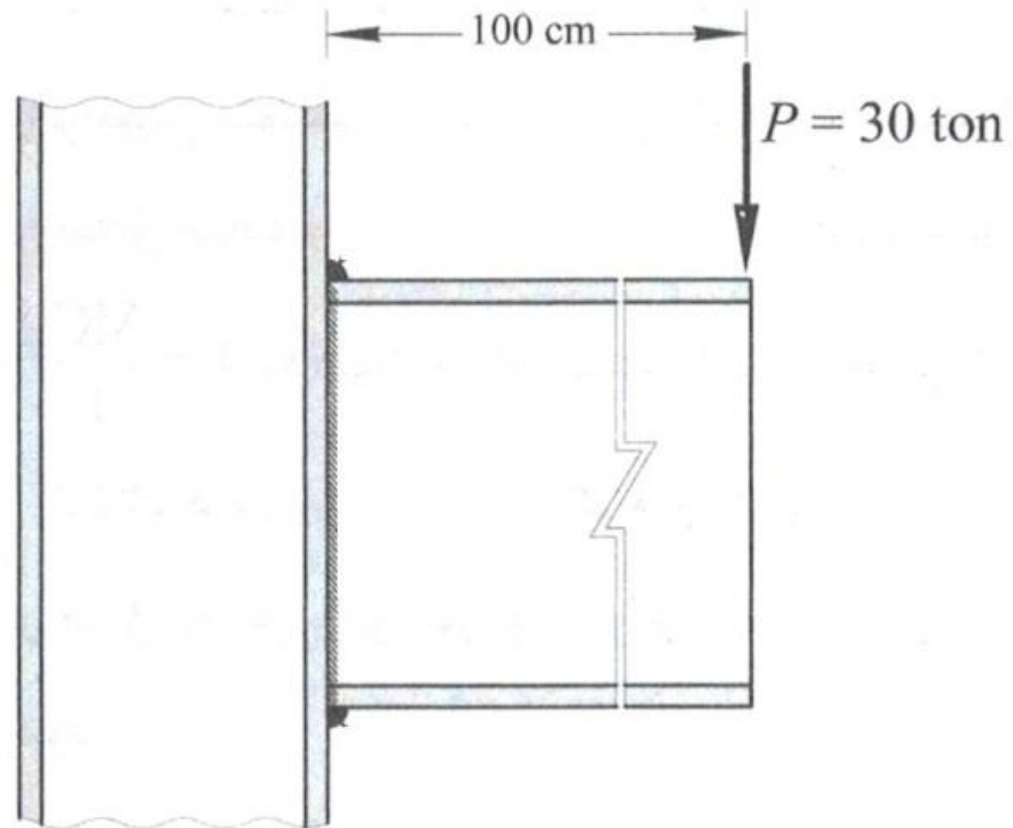
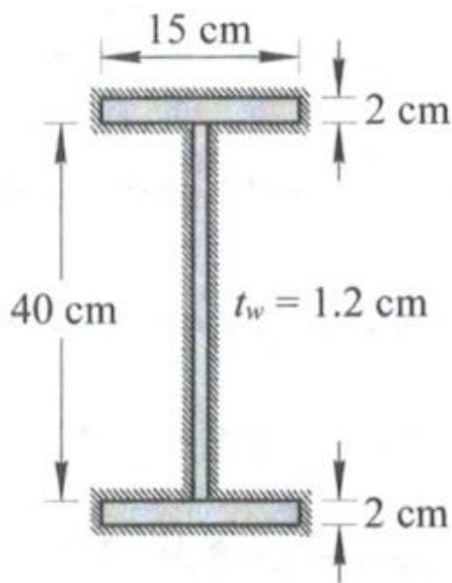
$$f_v = \frac{P}{A}$$

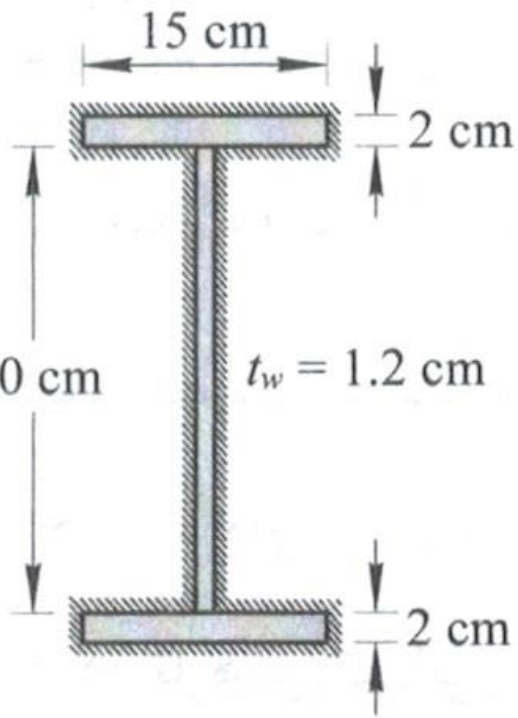
$$f_b = \frac{My}{I}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} \leq F_{vw}$$

$f_b$  : تنش ناشی از خمش  
 $f_v$  : تنش برشی

**مثال:** یک تیر ورق I شکل که عرض بال آن  $b_f = 15 \text{ cm}$  و ضخامت بال آن  $t_f = 2 \text{ cm}$ ، ارتفاع جان آن  $h_w = 40 \text{ cm}$  و ضخامت جان آن  $t_w = 1.2 \text{ cm}$  است توسط جوش گوشه به بال ستون متصل شده است. در این تیر طرفه نیروی  $P = 15 \text{ ton}$  با خروج از مرکزیت  $e = 100 \text{ cm}$  قرار دارد. گوشه را از الکتروود E70 و  $\phi = 0.85$  طراحی کنید.





$$P = 15000 \text{ kg}$$

$$M = Pe = 15000 \times 100 = 15 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

با فرض بعد جوش گوشه برابر با 1 cm

$$I_x = 2 \times \frac{1 \times 40^3}{12} + 2 \times (15 \times 1) \times 22^2 + 2 \times 13.8 \times 20^2 = 36226 \text{ cm}^4$$

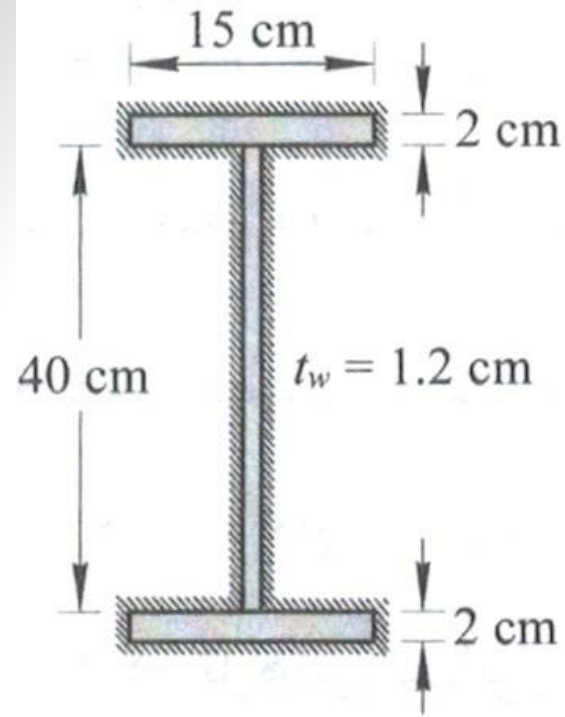
محاسبه تنش برشی با فرض تحمل آن توسط خطوط قائم

$$f_v = \frac{P}{A} = \frac{15000}{2 \times 1 \times 40} = 187.5 \text{ kg / cm}^2$$

چون فقط خطوط قائم برای برش در نظر گرفته شدند، تنش ناشی از خمش نیز در انتهای این خطوط یعنی در محل تقاطع بال و جان محاسبه می شود

$$f_b = \frac{My}{I} = \frac{1500000 \times 20}{36226} = 828.12 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{187.5^2 + 828.12^2} = 849.08 \text{ kg / cm}^2$$

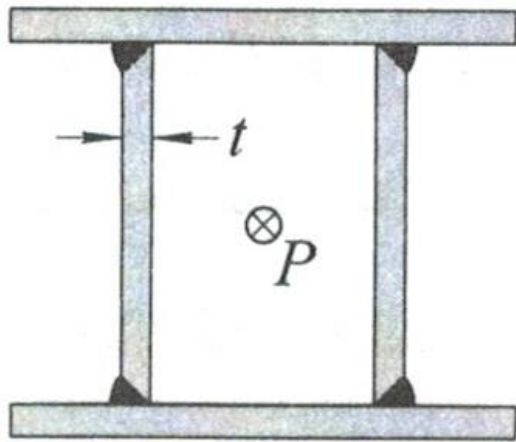


$$F_{VW} = 0.3\phi F_{ue} = 0.3 \times 0.85 \times 4900 = 1249.5 \text{ kg / cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_r}{F_{VW}} = \frac{849.4}{1249.5} = 0.68 \text{ cm}$$

$$a_w = \frac{a_e}{0.707} = 0.96 \text{ cm} \Rightarrow \text{use } a_w = 1 \text{ mm}$$

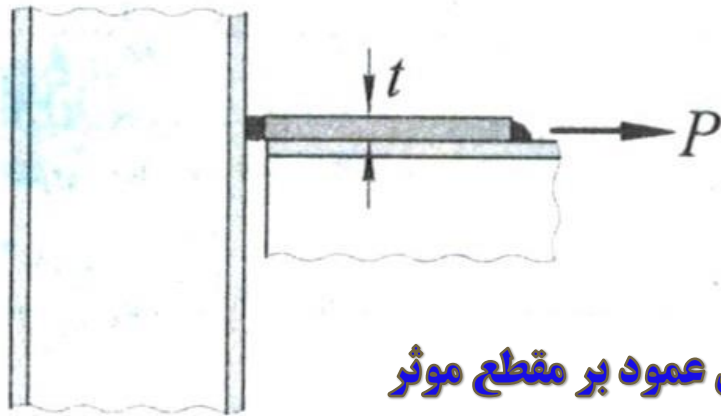
## جوش شیاری تحت نیروی محوری :



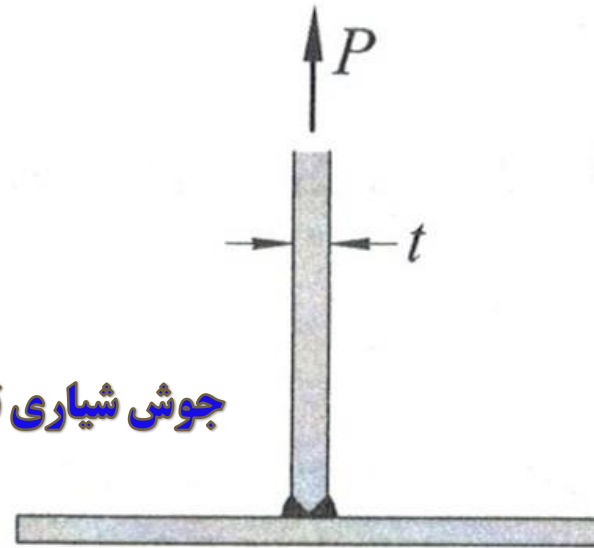
$$f_v = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{t_e L_w} \leq F_{vw}$$

$$F_{vw} = \min(0.3\phi F_{ue}, 0.4F_y)$$

جوش شیاری تحت برش



جوش شیاری تحت کشش عمود بر مقطع موثر

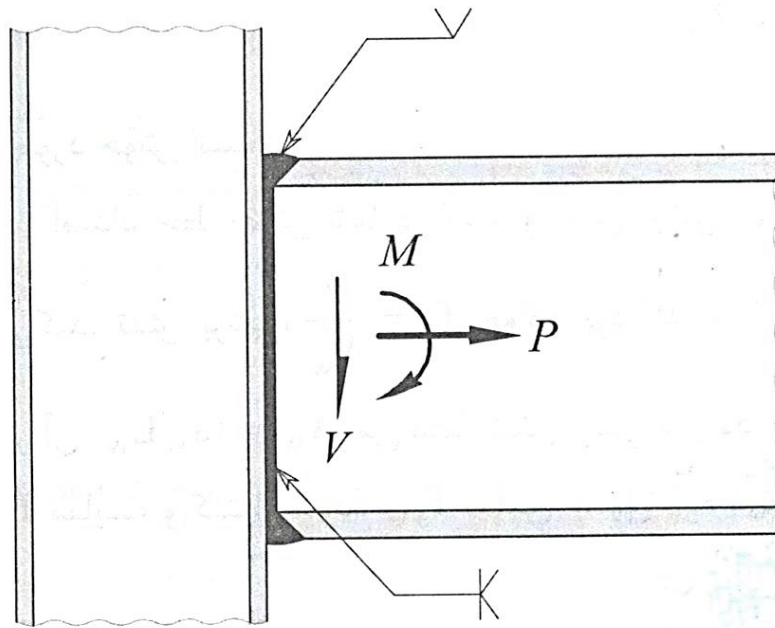
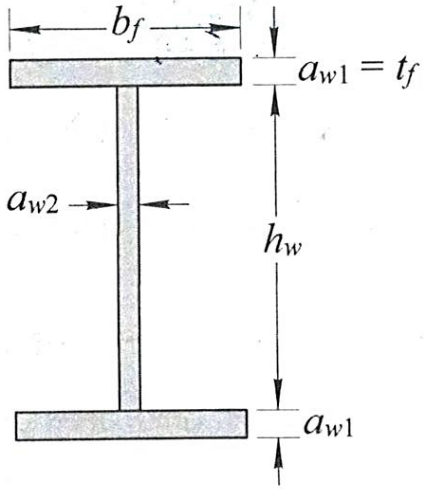


$$f_t = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{t_e L_w} \leq F_t$$

$$F_{vw} = \min(0.3\phi F_{ue}, 0.6F_y)$$



جوش شیاری تحت  
نیروی محوری، نیروی  
برشی و لنگر خمشی:



ب - مقطع جوش شیاری

الف - اتصال تیر به ستون

$$f_t = \frac{P}{A_w} + \frac{M \left( \frac{h_w}{2} \right)}{I_w}$$

$$f_r = \sqrt{f_t^2 + f_v^2} \leq F_{vw}$$



$$f_v = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{h_w a_{w2}}$$

$$F_{vw} = \min(0.3\phi F_{ue}, 0.4F_y)$$