

به نام خدا



دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان  
گروه عمران

## طراحی سازه های فولادی ۲

اتصالات جوشی

# اتصالات جوشی

**جوشکاری:** اتصال اعضای یک سازه به کمک حرارت و ذوب شدن موضعی و یکپارچه شدن آنها را جوشکاری گویند.

## انواع روش های جوشکاری

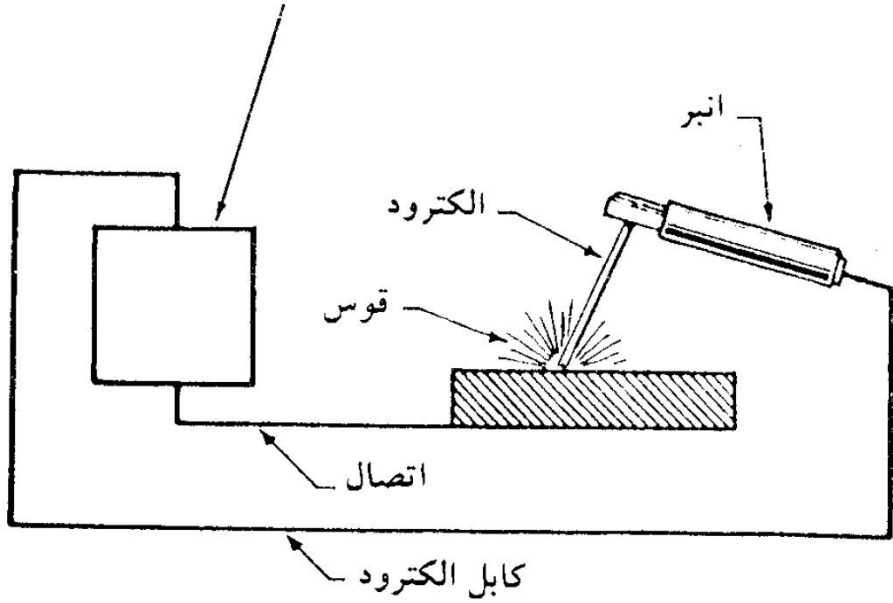
- |                 |   |                          |   |
|-----------------|---|--------------------------|---|
| جوشکاری اصطکاکی | ▶ | جوشکاری با قوس الکتریکی  | ▶ |
| جوشکاری انفجاری | ▶ | جوشکاری با شعله گاز      | ▶ |
| جوشکاری فراصوتی | ▶ | جوشکاری با لیزر          | ▶ |
| جوشکاری مقاومتی | ▶ | جوشکاری با پرتو الکترونی | ▶ |
|                 |   | جوشکاری زیر آب           | ▶ |

جوش مذاب شامل جوش قوس الکتریکی و جوش گازی از متداول ترین روشهای جوشکاری در سازه های فولادی است

**جوش گازی:** در این نوع جوش از گاز اکسیژن و استیلن با نسبت مساوی به عنوان انرژی لازم در فرایند جوشکاری و از سیم جوش به عنوان ماده جوش استفاده می شود، این نوع جوش، جوش کاربرد نیز نامیده می شود و بیشتر برای اتصال ورقهای نازک در کارگاه های کوچک کاربرد دارد.

**جوشکاری با قوس الکتریکی:** این روش یکی از متداول ترین روشهای اتصال در سازه های فولادی می باشد. در این روش منبع انرژی حرارت ناشی از قوس الکتریکی می باشد. تخلیه بار الکتریکی بین دو الکترود در میان گاز یونیزه شده به عنوان گاز هادی، را قوس الکتریکی نامند. میزان حرارت تولیدی از این روش به نوع الکترود و میزان شدت جریان بستگی دارد.

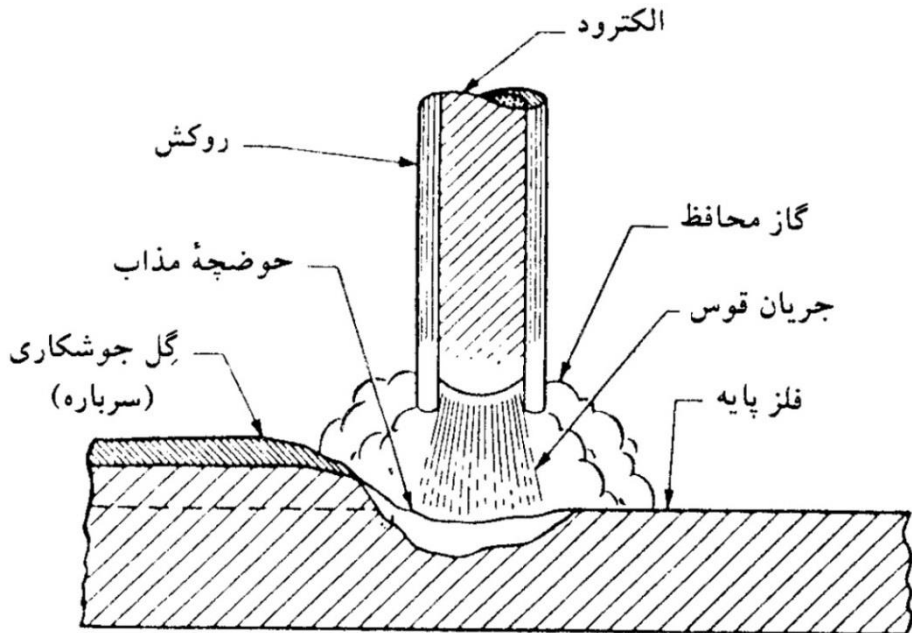
ماشین جوشکاری (ترانس، یا رکتیفایر، یا موتور - ژنراتور)



## متداولترین روش های جوشکاری با قوس الکتریکی:

### جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار (SMAW)

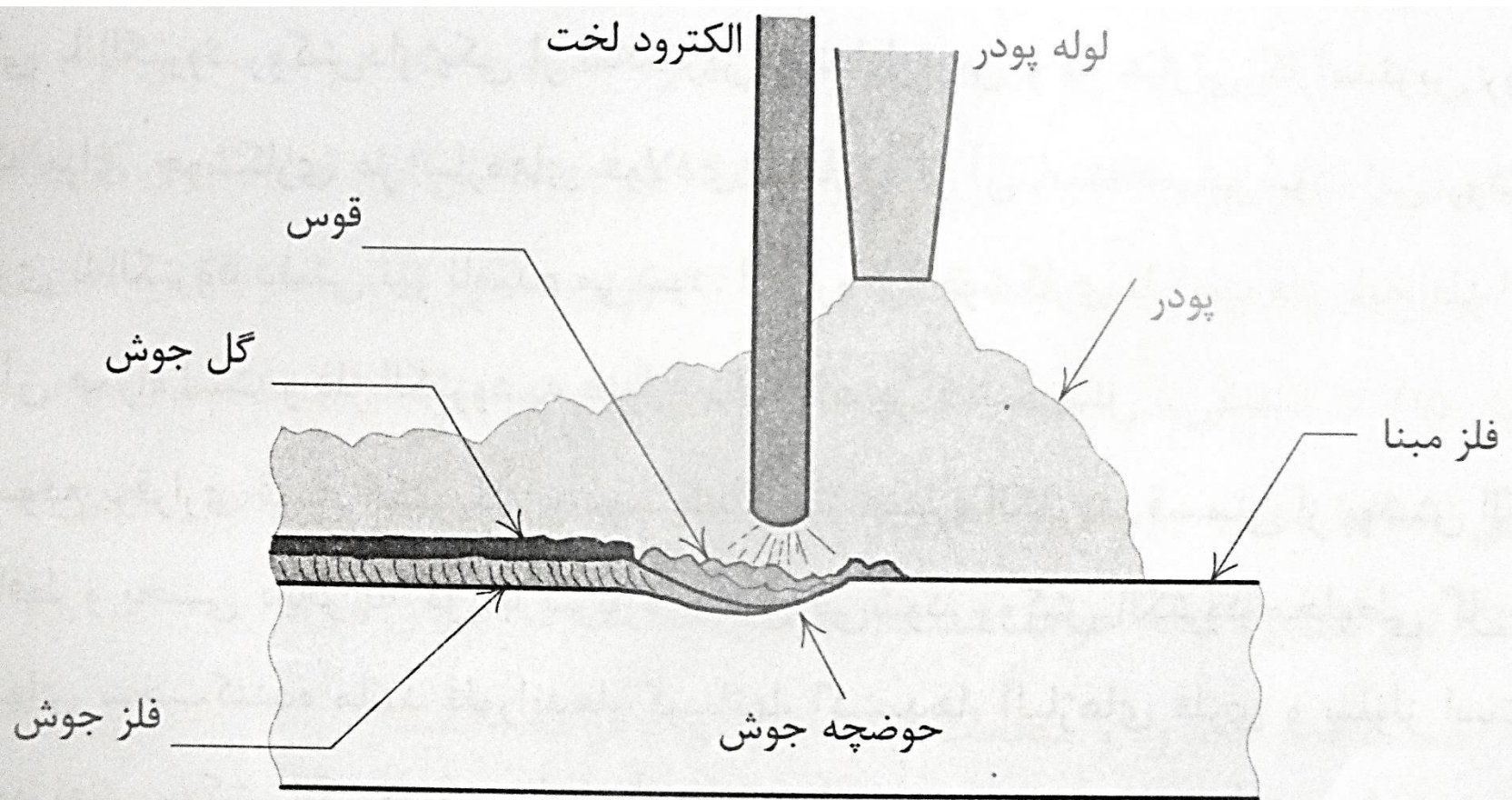
این روش یکی از ساده ترین، متداول ترین و به عبارتی کارآمد ترین روش برای جوشکاری سازه های فولادی است. در این روش جوشکاری با ذوب فلز پایه، فلز الکتروود و روکش آن همراه است. فلز پایه به عنوان ماده پر کننده عمل می کند و در هنگام جوشکاری بخشی از روکش الکتروود به گاز محافظ و بخشی به گل یا سربازه تبدیل شده و جلوی اکسیداسیون مذاب را می گیرد.



# متداولترین روش های جوشکاری با قوس الکتریکی:

## جوش قوس الکتریکی زیر پودری (SAW)

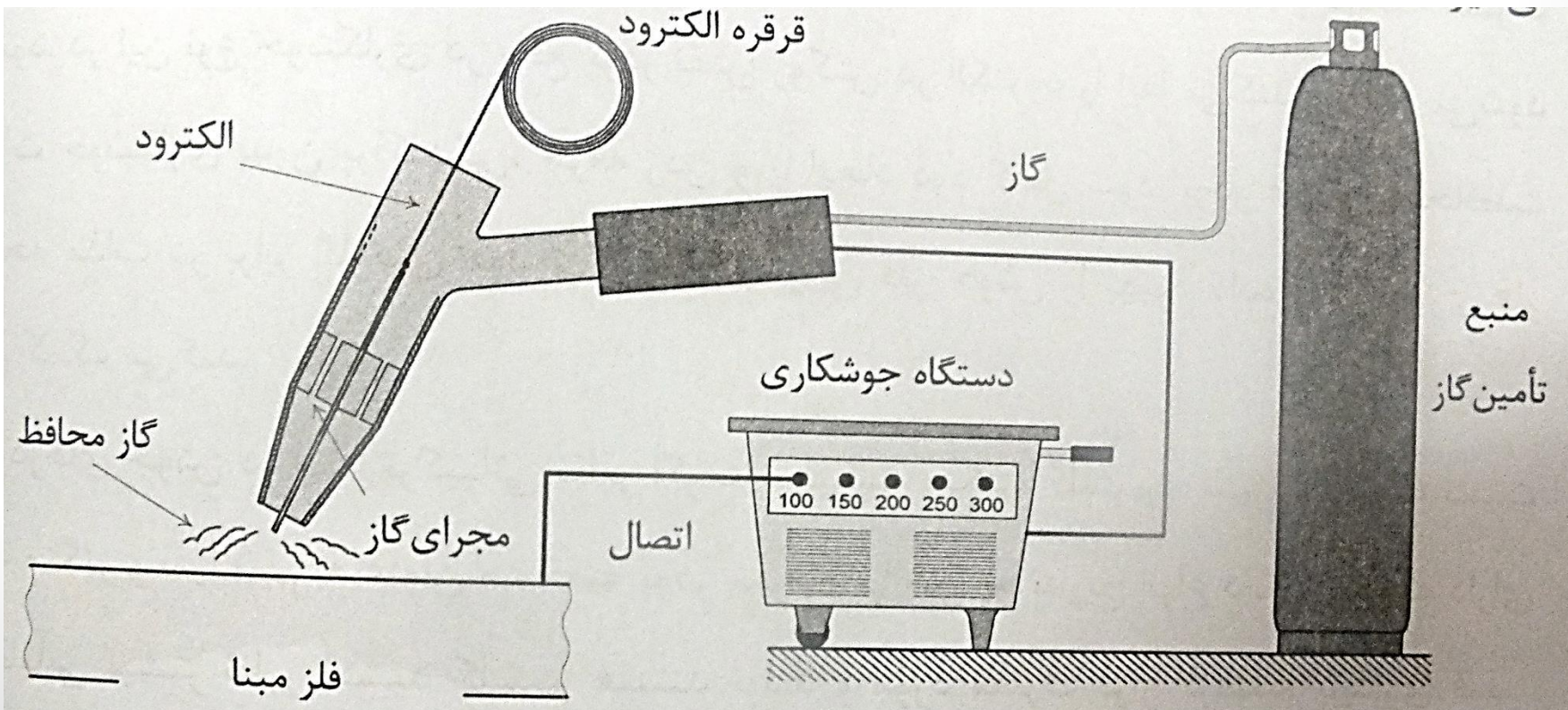
این روش از الکتروود بدون روکش و پودر به عنوان ماده محافظ استفاده می شود. این روش ماشینی بوده و ماده محافظ به صورت یک نوار پودری روی درز جوش ریخته می شود. در این روش قوس الکتریکی توسط الکتروود لخت در زیر پودر ایجاد می شود.



# متداولترین روش های جوشکاری با قوس الکتریکی:

## جوش قوس الکتریکی با گاز محافظ (GMAW)

در این روش جوشکاری از الکتروود بدون پوشش به صورت ممتد و گازی که به عنوان ماده محافظ از ورود هوا به حوضچه جوش جلوگیری می کند، استفاده می کند.



# متداولترین روش های جوشکاری با قوس الکتریکی:

## جوش قوس الکتریکی با الکتروود توپودری (FCAW)

در این روش جوشکاری به جای الکتروود روکش دار از الکتروود ممتد فلزی لوله ای شکل که ماده محافظ را در خود جای داده است، استفاده می شود و برای حفاظت بیشتر می توان از گاز CO2 استفاده نمود.

# انواع الکتروود و کاربرد آنها

## نقش پوشش روی الکتروود

- ۱- این پوشش با ایجاد سپر گازی باعث تثبیت شدن قوس الکتریکی می شود.
- ۲- با ایجاد سرباره و سپر گازی باعث جلوگیری از تماس حوضچه جوش با اتمسفر و در نتیجه ورود ناخالصی می شود و همچنین مانع سرد شدن ناگهانی مذاب می شود.
- ۳- با توجه به خواص فیزیکی نظیر چسبندگی و کشش سطحی باعث ایجاد برآمدگی و صافی لازم سطح جوش می شود و با توجه به خواص شیمیایی باعث بهبود بافت ساختمانی جوش می شود.

## انواع الکتروود بر حسب جنس پوشش

۱- الکتروود سلولوزی

۲- الکتروود رتیلی

۳- الکتروود اسیدی

۴- الکتروود بازی



# انواع الکتروودها و کاربرد آنها

## طبقه بندی الکتروودها بر حسب مقاومت

با توجه به مقاومت مورد انتظار از جوش، جنس فلز پایه و همچنین شدت جریان ورودی و ضخامت قطعه، الکتروودها بر حسب مقاومت طبقه بندی و شماره گذاری می شوند.

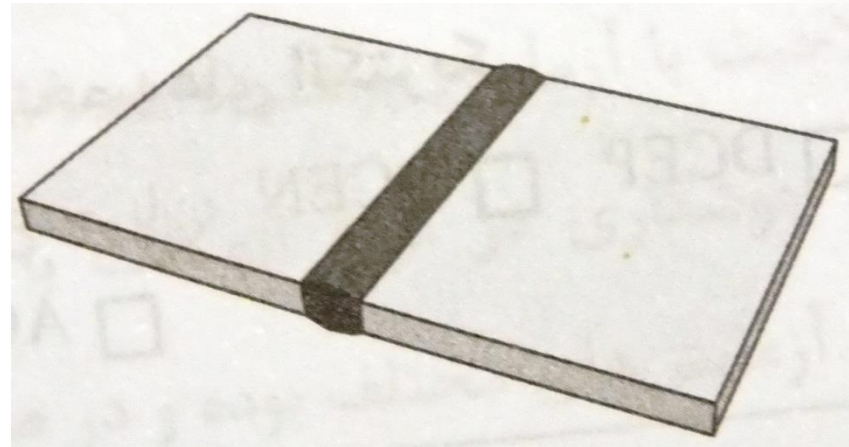
شماره گذاری بر اساس اکثر آیین نامه ها از جمله ASTM و AWS و آیین نامه جوشکاری ایران (نشریه ۲۲۸) به صورت Eab xx صورت می گیرد. در این نوع شماره گذاری عدد دو رقمی ab مقاومت فلز الکتروود را بر حسب (ksi (klb/in<sup>2</sup>) نشان می دهد. هر ksi برابر 70 kg/cm<sup>2</sup> است. عدد دو رقمی xx نیز معرف وضعیت گروهی و مصرفی الکتروود است.



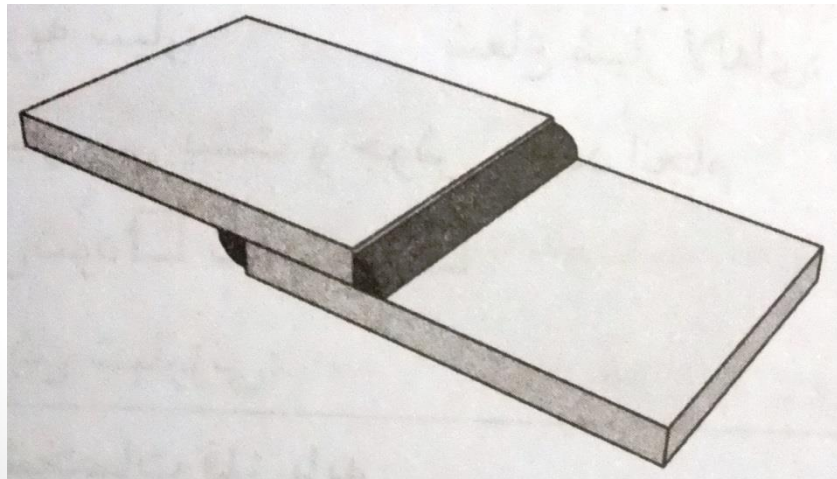
## انواع جوش و اتصالات جوشی

اتصالات جوشی با توجه به وضعیت قرارگیری قطعات مورد اتصال نسبت به یکدیگر و شکل جوش طبقه بندی می شوند.

### اتصالات جوشی از نظر وضعیت قرارگیری اعضای اتصال

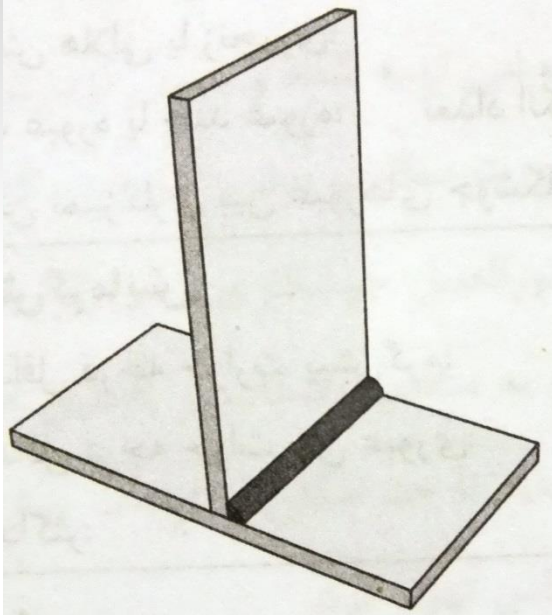


۱- اتصال لب به لب

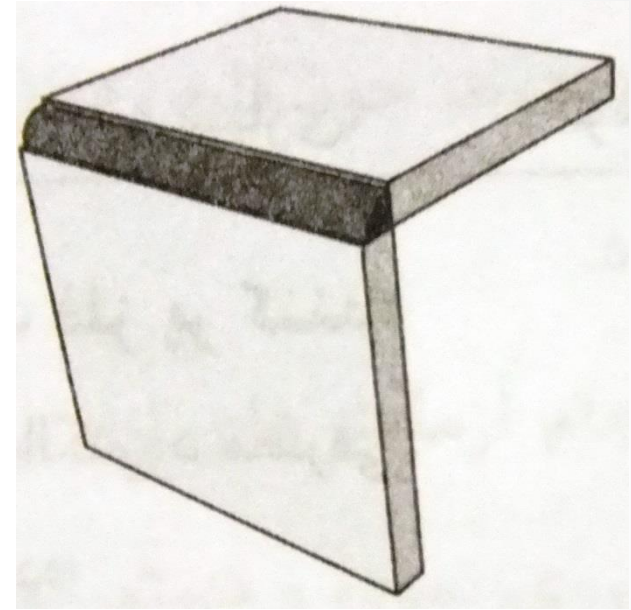


۲- اتصال روی هم (پوششی)

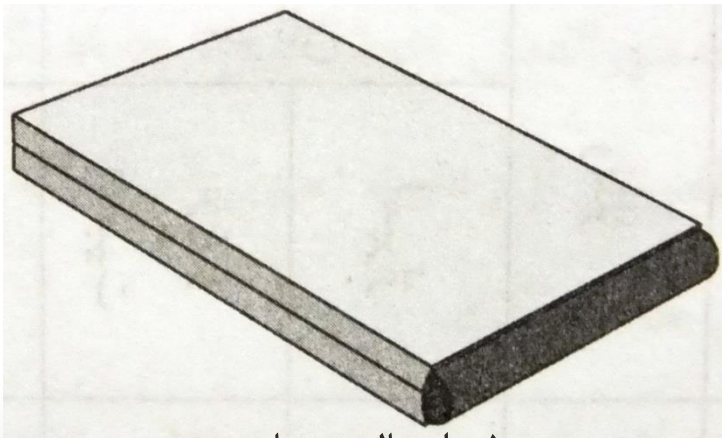
## اتصالات جوشی از نظر وضعیت قرار گیری اعضای اتصال



۳- اتصال سپری

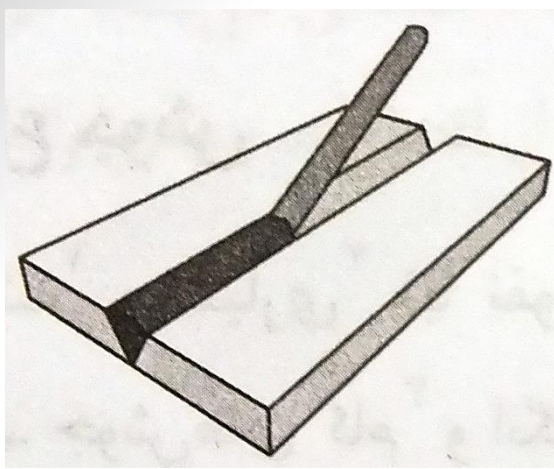


۴- اتصال گونیا (گوشه)

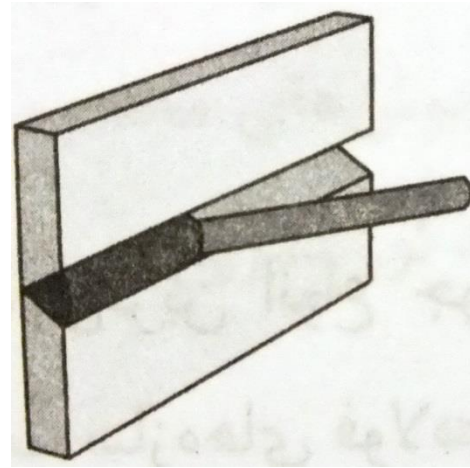


۵- اتصال پیشانی

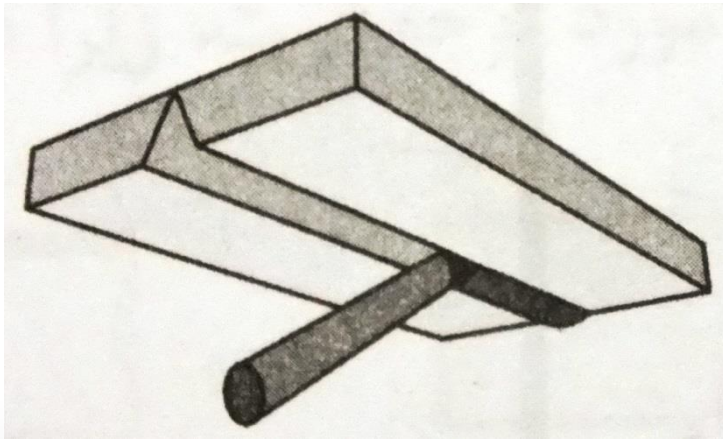
## انواع اتصال جوشی از نظر وضعیت جوشکاری



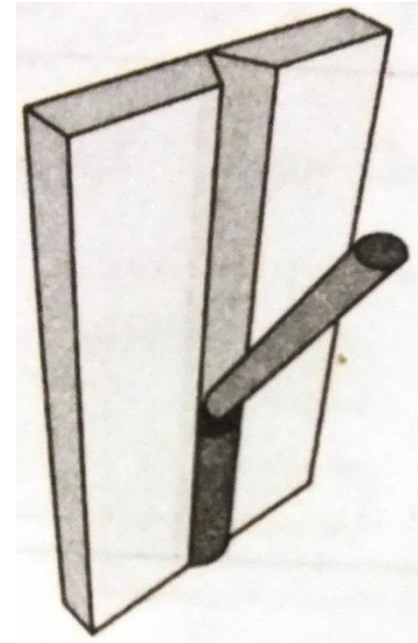
۱- جوشکاری تخت F



۲- جوشکاری افقی H



۳- جوش سقفی یا بالا سری

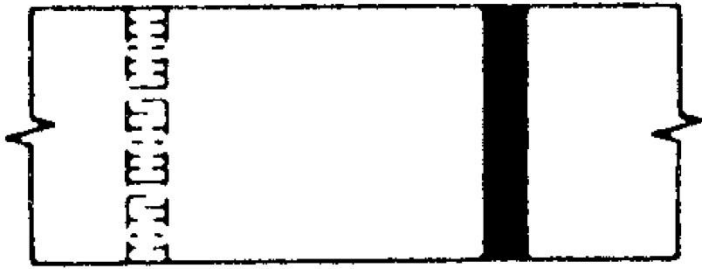


۴- جوش قائم یا سربالا

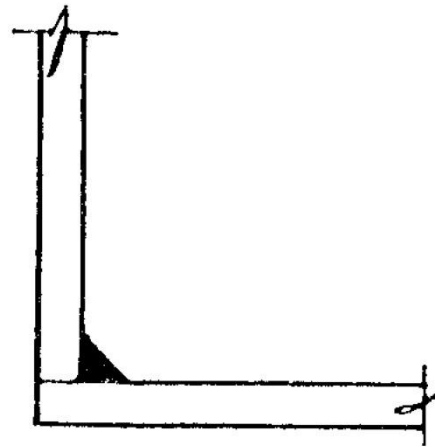
## انواع جوش

### ۱- جوش گوشه:

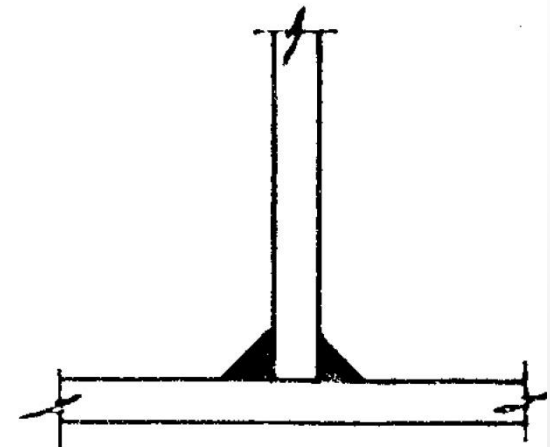
از متداولترین انواع جوش در سازه های فولادی است که در حدود ۸۰ درصد اتصالات جوشی توسط جوش گوشه صورت می گیرد.



جوش گوشه در اتصال روی هم



جوش گوشه در اتصال گونیا

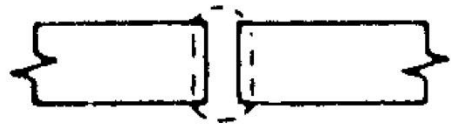


جوش گوشه در اتصال سپری

## انواع جوش

### ۲- جوش شیاری:

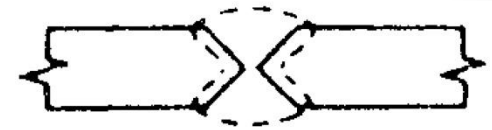
به منظور ایجاد اتصال جوشی در دو لبه کنار هم از جوش شیاری استفاده می شود. حدود ۱۵ درصد از اتصالات جوشی در سازه های فولادی توسط این جوش صورت می گیرد.



ساده



جناغی یک طرفه (V)



جناغی دو طرفه (X)



نیم جناغی



نیمه جناغی دو طرفه (K)



لاله ای (U)



لاله ای دو طرفه



نیم لاله ای

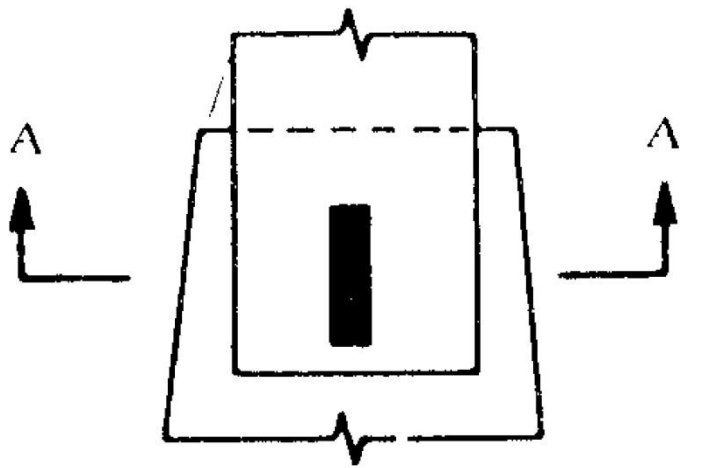


نیم لاله ای دو طرفه

# انواع جوش

## ۳- جوش کام و انگستانه:

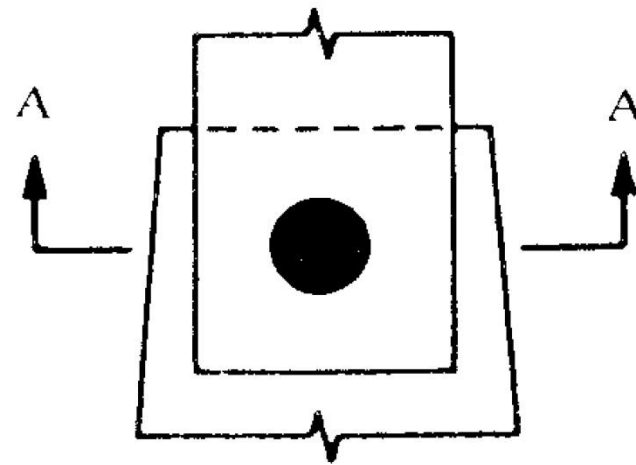
از این نوع جوش ها به تنهایی یا به همراه جوش گوشه برای افزایش مقاومت اتصال و جلوگیری از لغزش و همچنین جلوگیری از کمانش موضعی استفاده می شوند. در جاهای که طول جوش گوشه محدودیت دارد به منظور جبران کمبود مقاومت اتصال از این نوع جوش ها استفاده می گردد.



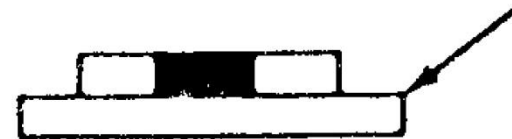
برش A-A



جوش کام



برش A-A



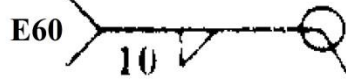
جوش انگستانه

# علائم جوشکاری

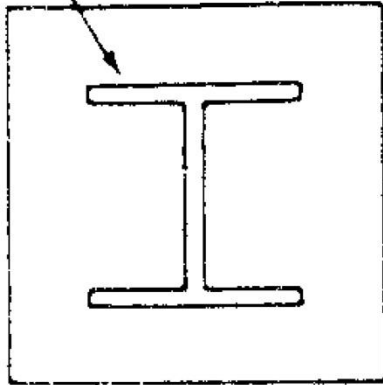
برای اینکه طراح سازه های فولادی قادر باشد منظور خود را از نظر نوع جوش، ابعاد، اندازه و سایر مشخصات به جوشکار و سازنده قطعات فولادی انتقال دهد، لازم است که از علائم استاندارد استفاده کند.

علائم جوش										
جوش پشت پشت بند	گوشه	کام یا انگشتانه	شیاری							
			ساده	جنافی	نیم جنافی	لاله ای	نیم لاله ای	جنافی لب گرد	نیم جنافی گرد	
جوش یکسره که طول آن مشخص نشده										
	جوش در موقع نصب		محدب	سنگ زده شود						وضعیت سطح جوش
	جوش دورادور		مستوی	مقعر						
<p> <math>a</math> = اندازه ساق یا بعد گلوی جوش  <math>l</math> = طول نوار جوش  <math>p</math> = فاصله مرکز به مرکز نوارهای جوش منقطع         </p> <p> </p>										



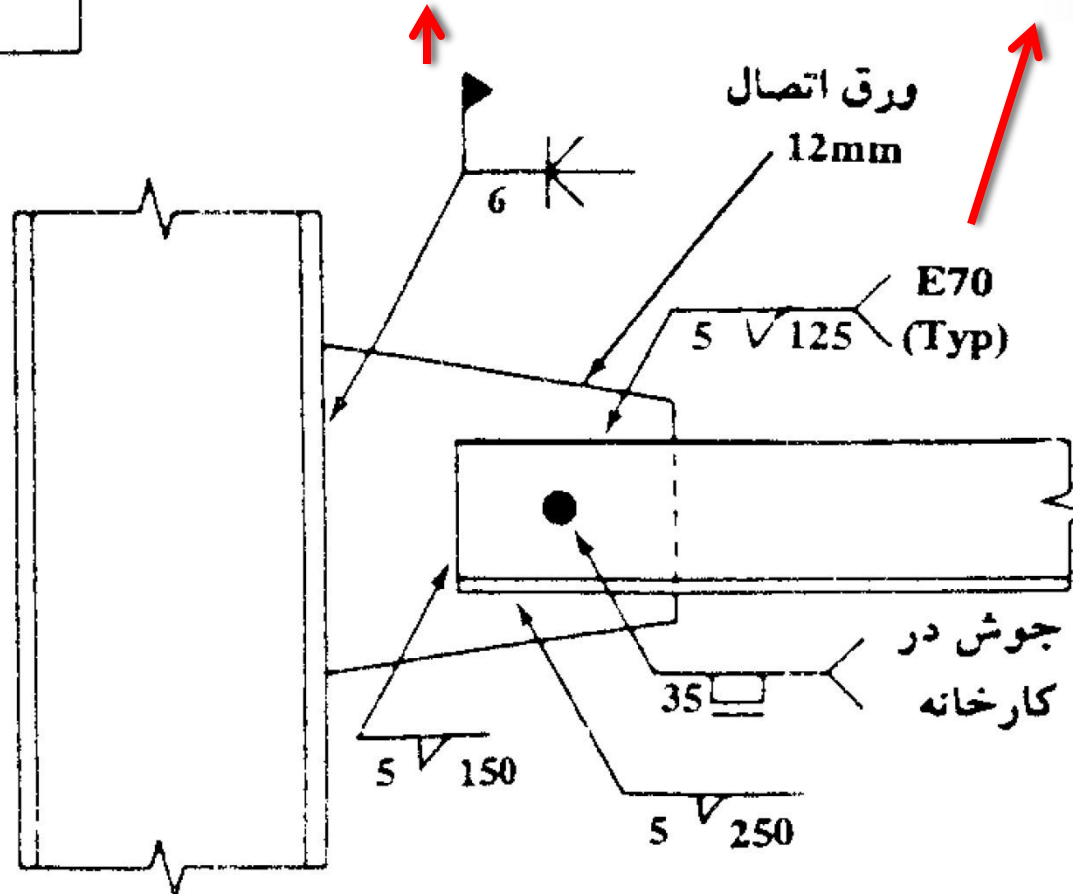


جوش گوشه به صورت دورادور با الکتروود E60 و بعد  
گلوبی جوش 10 mm



جوش گوشه با  
طول با 125 mm  
بعد با 5 mm  
الکتروود E70

جوش شیاری نیم جناغی  
دو طرفه جوش در محل

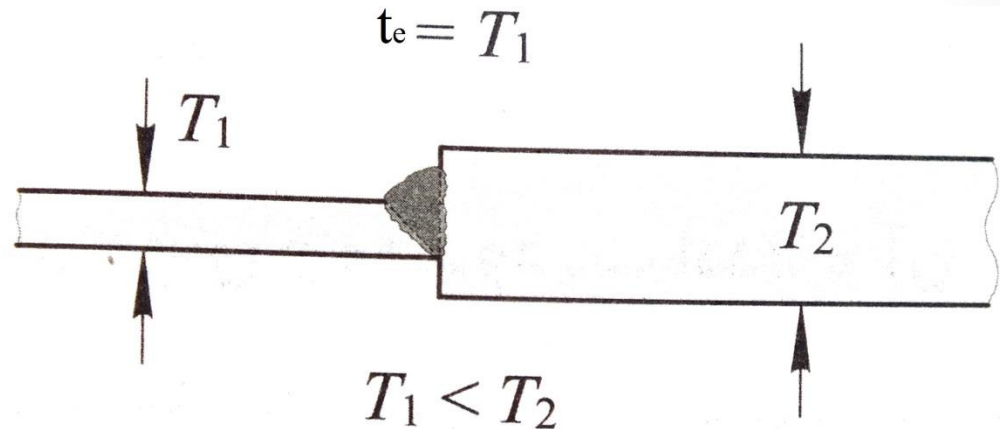
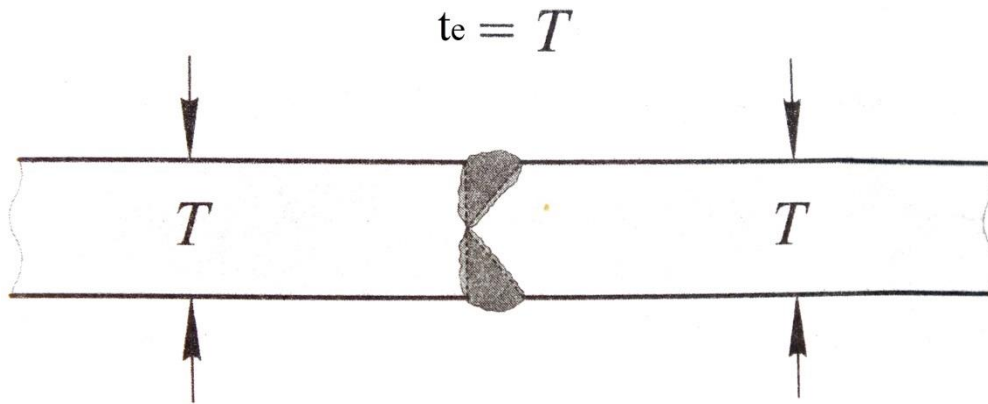


جوش انگشتانه در کارخانه بر  
روی زمین به قطر 35 mm

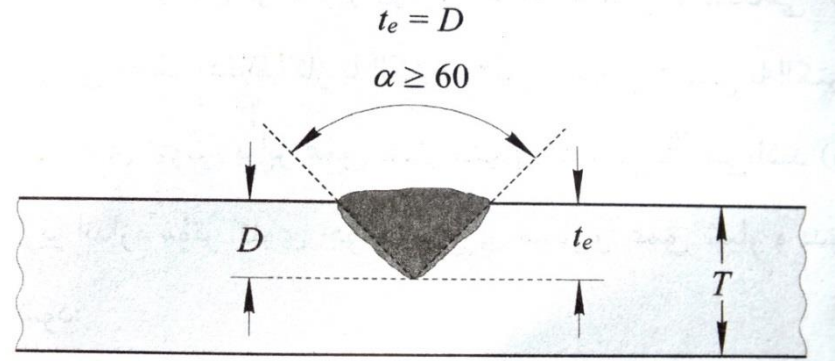
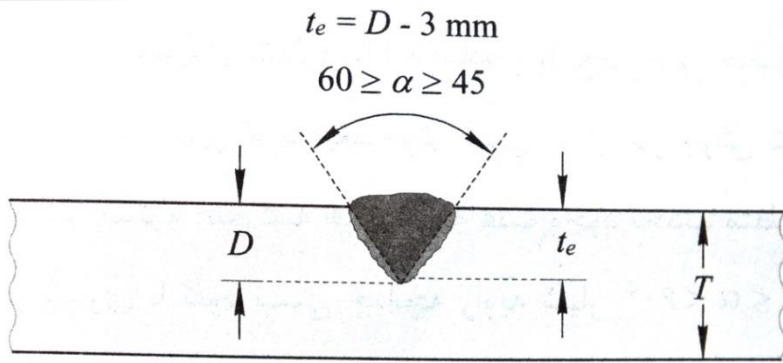
## سطح موثر جوش و محدودیت اندازه آن

برای محاسبه تنش های اسمی ناشی از نیروهای وارده بر موضع جوش، محاسبه سطح موثر جوش ضروری است. سطح موثر جوش برابر اندازه موثر گلوبی جوش  $t_e$  در طول جوش  $L_w$  است.

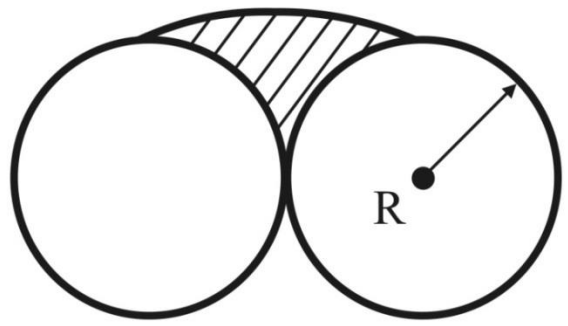
بعد موثر جوش شیاری با نفوذ کامل



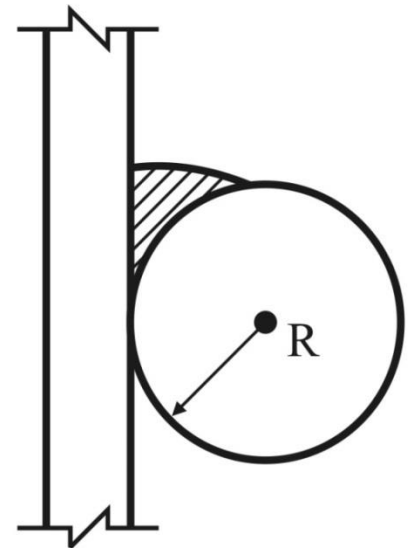
بعد موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی



ضخامت موثر جوش بین لبه های گرد

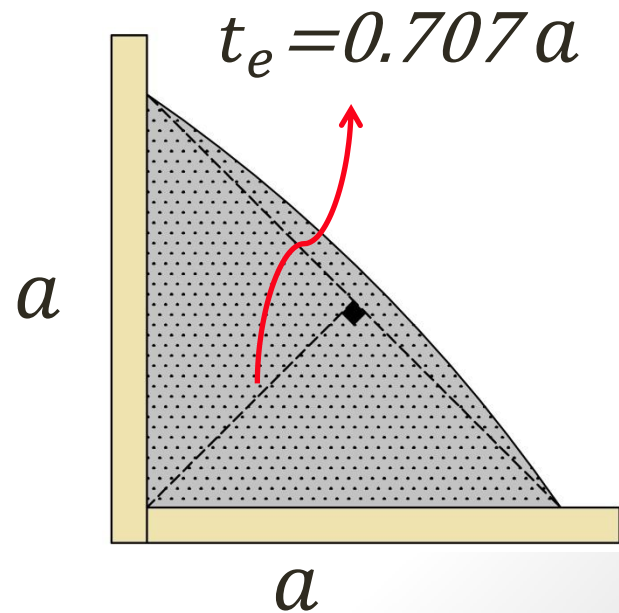
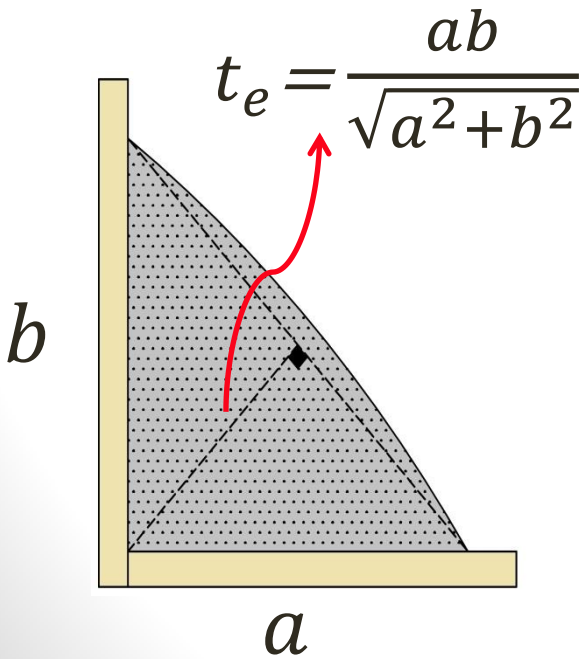
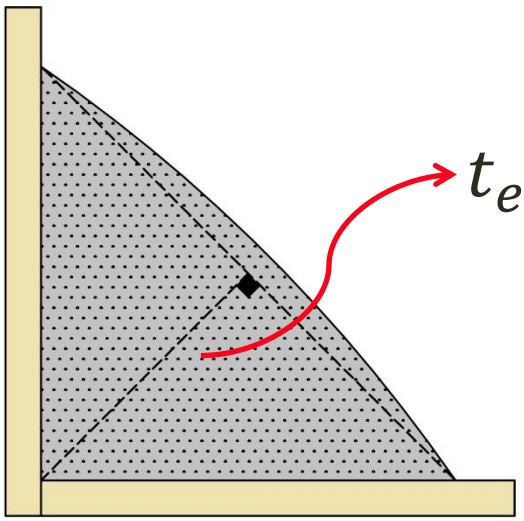


$t_e = 0.5 R$

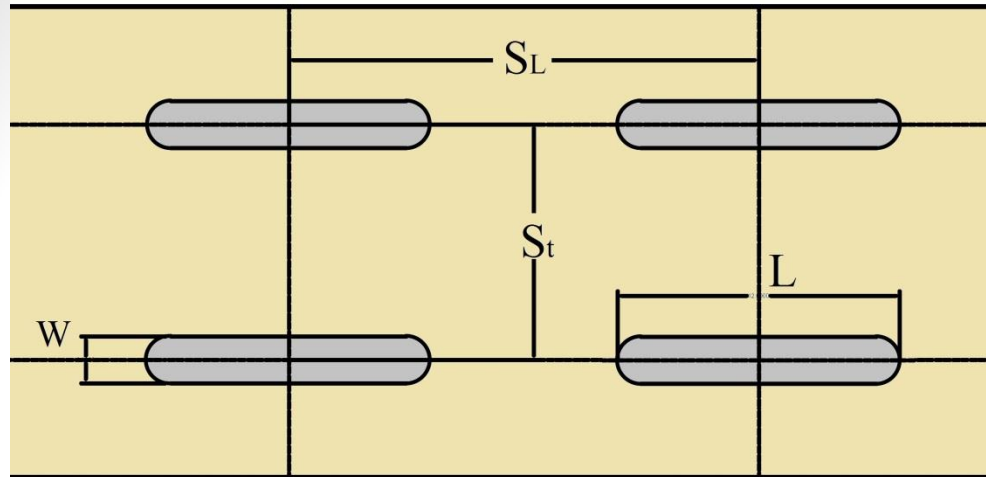


$t_e = 0.3 R$

بعد موثر گلوبی جوش گوشه: کوتاه ترین فاصله ریشه جوش تا سطح جوش یا در واقع ارتفاع مثلث نشان داده شده

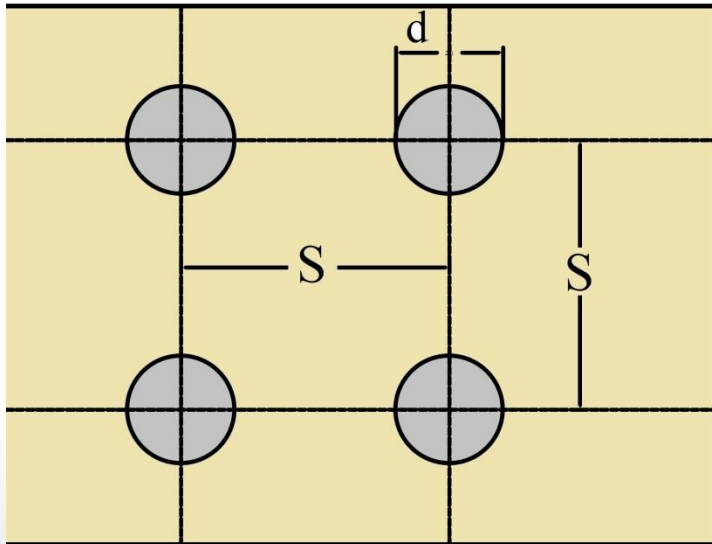


سطح موثر جوش کام:



$$A_e = WL$$

سطح موثر جوش انگستانه:



$$A_e = \frac{\pi d^2}{4}$$

## محدودیت های ضخامت کلویی جوش شیاری

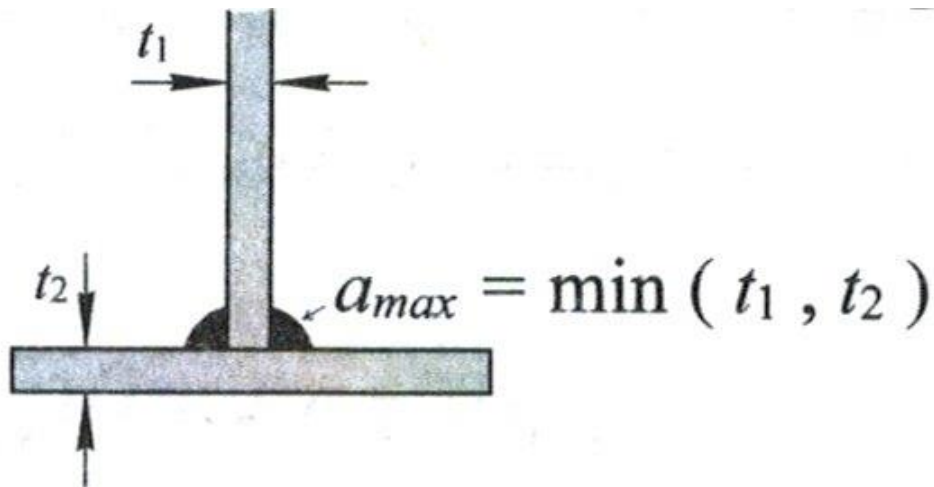
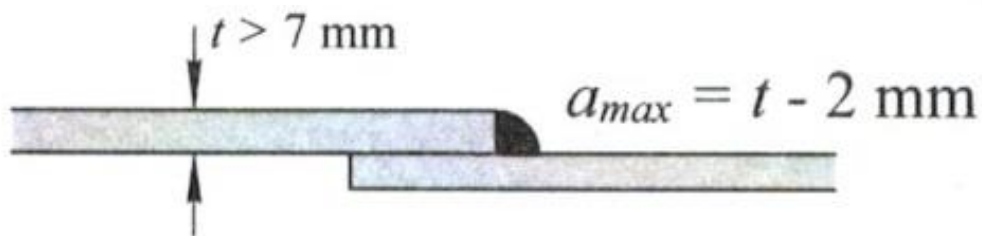
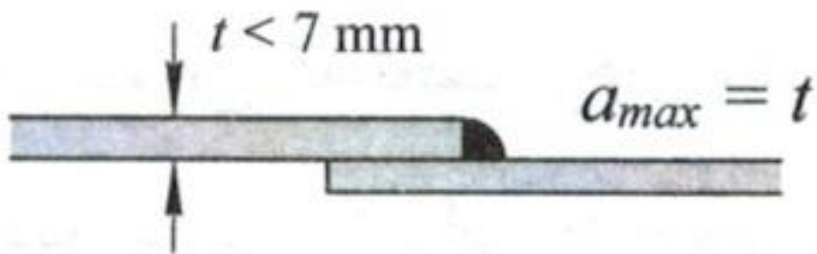
ضخامت موثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقادیر مندرج در جدول زیر کمتر شود. حداقل ضخامت با توجه به قطعه نازکتر تعیین می شود. از طرفی ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

حداقل ضخامت مؤثر	ضخامت قطعه نازکتر
۳ میلی متر	تا ۶ میلی متر
۴ میلی متر	بیش از ۶ تا ۱۲ میلی متر
۶ میلی متر	بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی متر
۸ میلی متر	بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی متر

## محدودیت های ضخامت اندازه جوش گوشه

حداکثر اندازه جوش گوشه با توجه به ضخامت قطعه تعیین می شود.



## محدودیت های ضخامت اندازه جوش گوشه

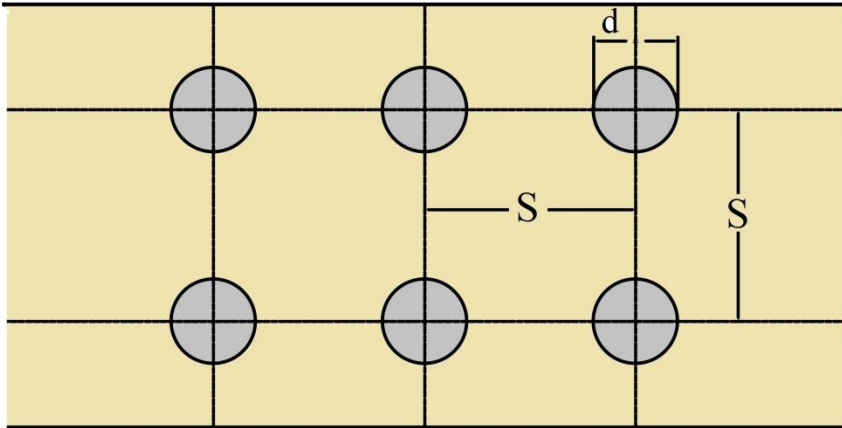
حداقل اندازه جوش گوشه با توجه به ضخامت قطعه نازکتر مطابق زیر تعیین می شود.

حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۷ میلی متر	۳ میلی متر
بیش از ۷ تا ۱۲ میلی متر	۵ میلی متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی متر	۶ میلی متر
بیش از ۲۰ میلی متر	۸ میلی متر



## محدودیت های اندازه جوش انگشترانه



محدودیت های جوش انگشترانه شامل موارد زیر می باشد

$$t + 8 \leq d \leq (2.25t_w, t + 11)$$

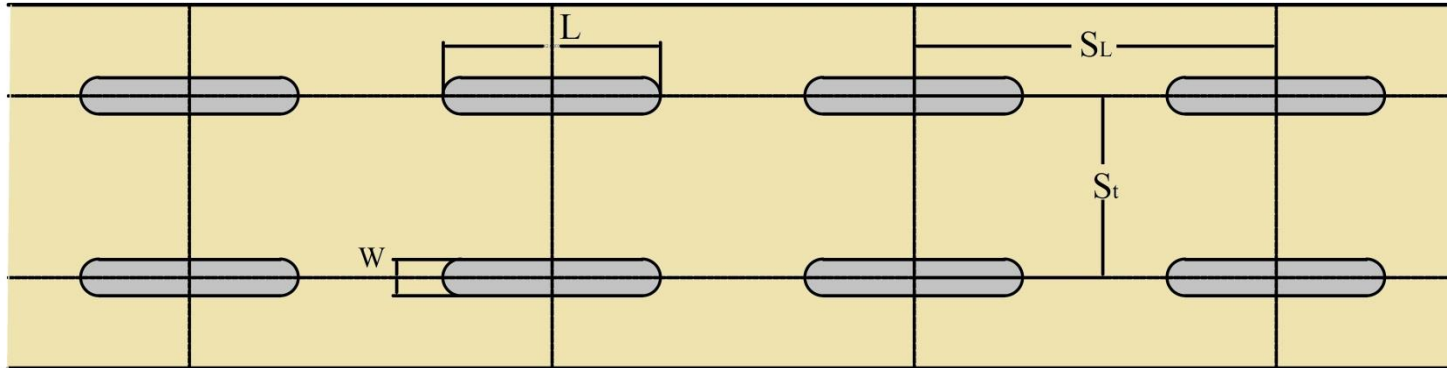
$$S_{max} = 4d$$

$$t \leq 16 \text{ mm} \rightarrow t_w = t$$

$$t \geq 16 \text{ mm} \rightarrow t_w = \max\left(\frac{t}{2}, 16 \text{ mm}\right)$$

# محدودیت های اندازه جوش کام

محدودیت های جوش کام شامل موارد زیر می باشد.



$$L \leq 10t_w$$

$$t + 8 \leq W \leq (2.25t_w)$$

$$S_t \geq 4W$$

$$S_L \geq 2L$$

$$t \leq 16 \text{ mm} \rightarrow t_w = t$$

$$t \geq 16 \text{ mm} \rightarrow t_w = \max\left(\frac{t}{2}, 16 \text{ mm}\right)$$

**تنش های مجاز جوش:** پس از محاسبه تنش های موجود در جوش لازم است این تنش ها با مقادیر مجاز نظیر خود مقایسه و کنترل شوند. با توجه به آزمایشات انجام شده توسط پژوهشگران بر روی نمونه های جوش، آیین نامه های طراحی سازه های فولادی بر حسب نوع تنش و با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان کافی تنش های مجاز جوش را در حالات گوناگون ارائه و در اختیار طراحان قرار داده اند.

تنش های مجاز جوش\*

تنش مجاز	نوع تنش	نوع جوش
متناسب با فلز مادر**	کششی یا فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	جوش شیاری با
متناسب با فلز مادر**	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	نفوذ کامل و لبه
$\frac{0.3}{3} \times$ مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش برشی در فلز مادر نباید از $\frac{0.4}{4}$ تنش تسلیم بیشتر شود.)	برشی، در مقطع مؤثر	آماده شده
متناسب با فلز مادر**	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	جوش شیاری با
متناسب با فلز مادر**	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	نفوذ نسبی
$\frac{0.3}{3} \times$ مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش کششی در فلز مادر نباید از $\frac{0.6}{6}$ تنش تسلیم فلز مادر بیشتر شود.)	کششی، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	
$\frac{0.3}{3} \times$ مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش برشی در فلز مادر نباید از $\frac{0.4}{4}$ تنش تسلیم بیشتر شود.)	برشی، موازی با محور جوش	

## تنش‌های مجاز جوش

نوع جوش	نوع تنش	تنش مجاز
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	$\frac{0}{3} \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
جوش انگستانه و کام	برشی، موازی سطح برش‌شونده (روی مقطع مؤثر)	$\frac{0}{3} \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش

\* این تنش‌ها باید در ضرایب  $\phi$  ضرب شوند.

\*\* فلز جوش (الکترودمصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکترودمصرفی با مقادیر زیر تأمین شود:

مقاومت نهایی کششی فلز الکترودمصرفی ( $F_{ue}$ )	تنش تسلیم فلز مادر ( $F_y$ )
$[420 \text{ N/mm}^2]^*$ یا $420 \text{ kg/cm}^2$ (E60)	تا $300 \text{ kg/cm}^2$ یا $[300 \text{ N/mm}^2]^*$
$[490 \text{ N/mm}^2]^*$ یا $490 \text{ kg/cm}^2$ (E70)	تا $380 \text{ kg/cm}^2$ یا $[380 \text{ N/mm}^2]^*$
$[560 \text{ N/mm}^2]^*$ یا $560 \text{ kg/cm}^2$ (E80)	تا $460 \text{ kg/cm}^2$ یا $[460 \text{ N/mm}^2]^*$

تنش های مجاز ذکر شده در جدول باید در ضریب  $\phi$  ضرب شوند. این ضریب که در واقع تاثیر نوع بازرسی و نظارت جوش را لحاظ می کند با توجه به موارد بیان شده در آیین نامه مطابق زیر تعیین می شود

۱- در صورت انجام آزمایش های غیر مخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فرا صوتی)  $\phi = 1$

۲- در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا فراهم نمودن شرایط مناسب جوشکاری در کارگاه) و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب  $\phi = 0.85$

۳- در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب  $\phi = 0.75$

**مثال:** چنانچه نوع الکتروود E60 باشد، تنش مجاز برشی جوش گوشه  $F_{vw}$  در حالتی که جوش در محل و با بازرسی چشمی توسط افراد مجرب انجام گیرد را محاسبه کنید.

$$\phi = 0.75$$

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

ارزش جوش در واقع بیانگر نیروی مجاز برشی با ضخامت موثر  $t_e$  و طول جوش 1 cm می باشد.

$$R_W = F_{vw} \times t_e = 945 \times 0.707 a_w = 668 a_w \frac{kg}{cm}$$

## 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

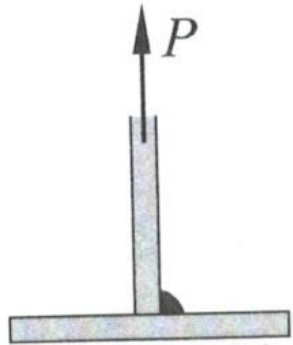
جوش شیاری تحت اثر نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی

جوش شیاری

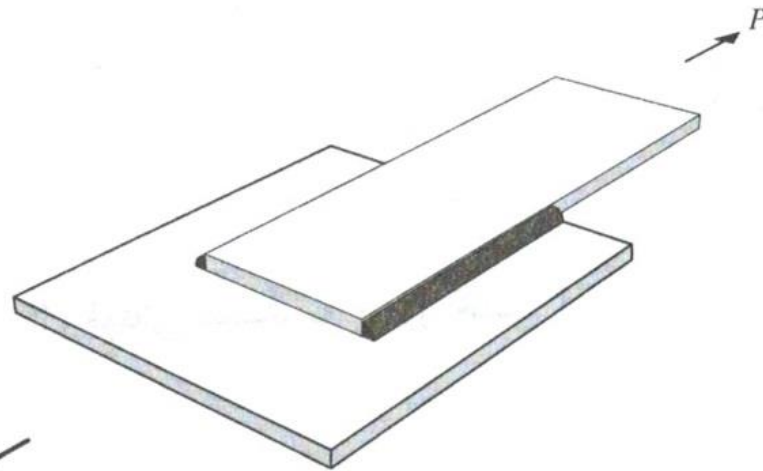
محاسبه تنش در جوش گوشه با استفاده از فرضیات ساده کننده انجام می شود. مهمترین فرضیات در این زمینه عبارتند از:

- 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.

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

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

$t_e$ : گلویی موثر جوش گوشه

$L_w$ : طول جوش گوشه

$F_{vw}$ : تنش مجاز برشی جوش گوشه

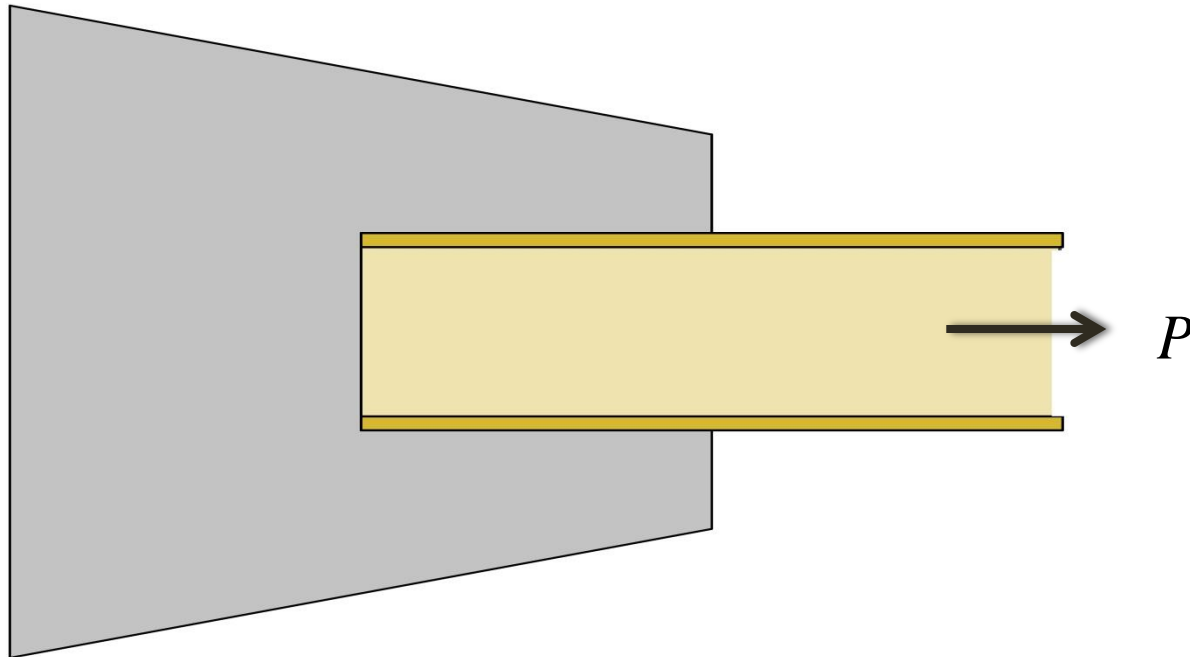
$F_{ue}$ :



**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:

$$5^{mm} \leq a_e \leq 10^{mm}$$



use

$$a_e = 6^{mm}$$

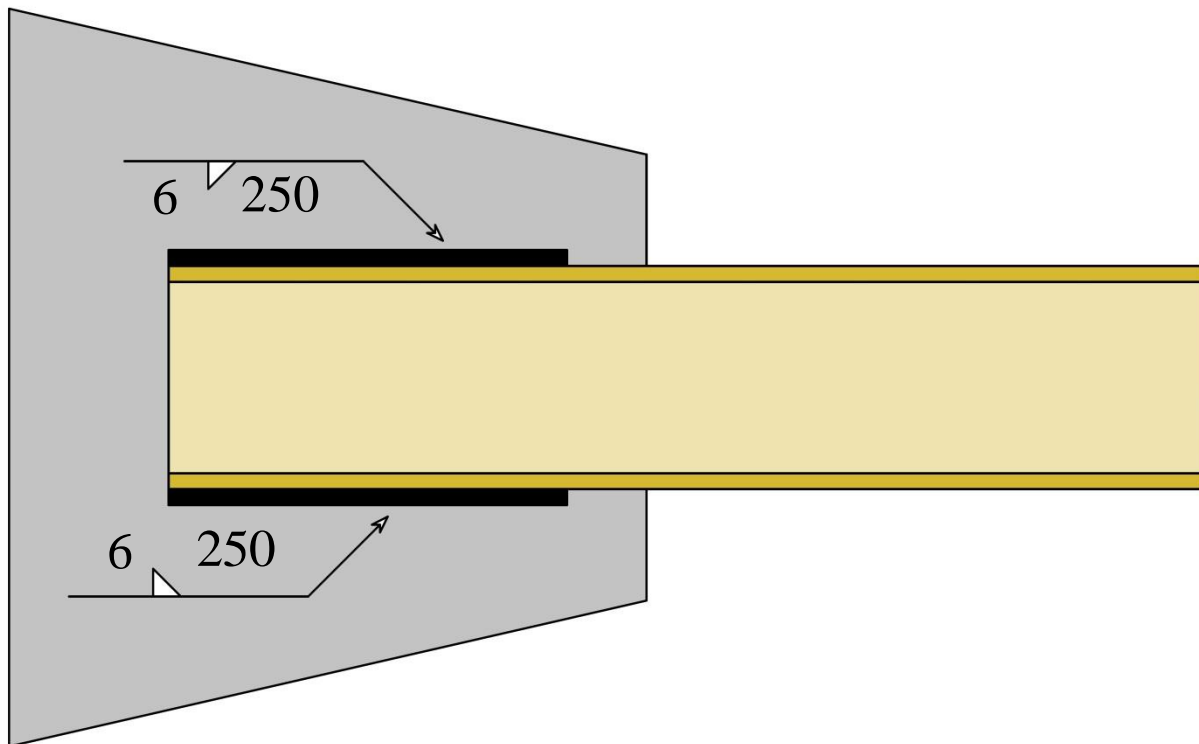
$$\Rightarrow t_e = 0.707 a_e = 4.24^{mm} = 0.424^{cm}$$

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

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

$$L_w = 50^{cm}$$

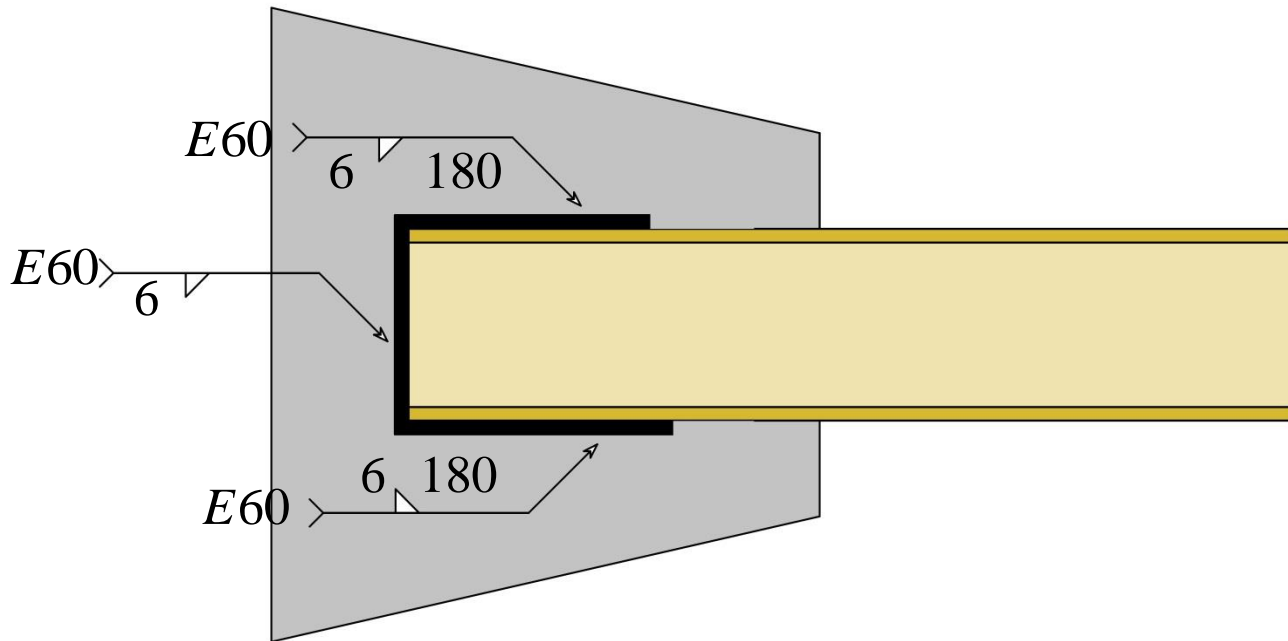
الف: با فرض جوشکاری فقط در لبه های بالایی و پایینی، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.



**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.

$$L_w = 50^{cm}$$

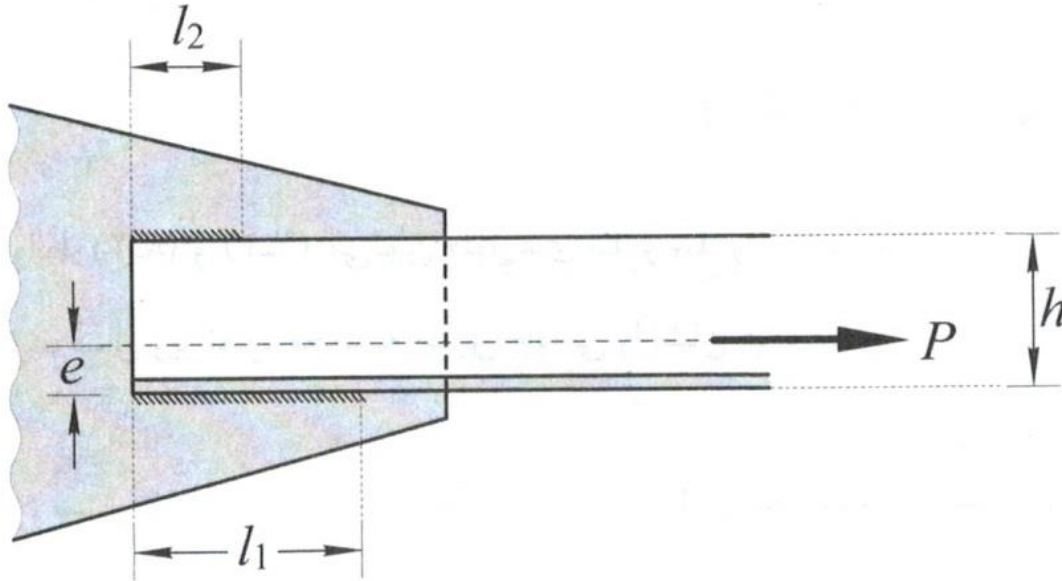
ب: با فرض جوشکاری در هر سه لبه، جوش گوشه را برای برقراری اتصال طراحی کنید.



**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.

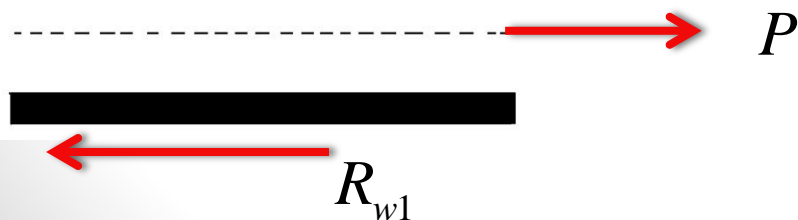
## جوش متعادل:

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.



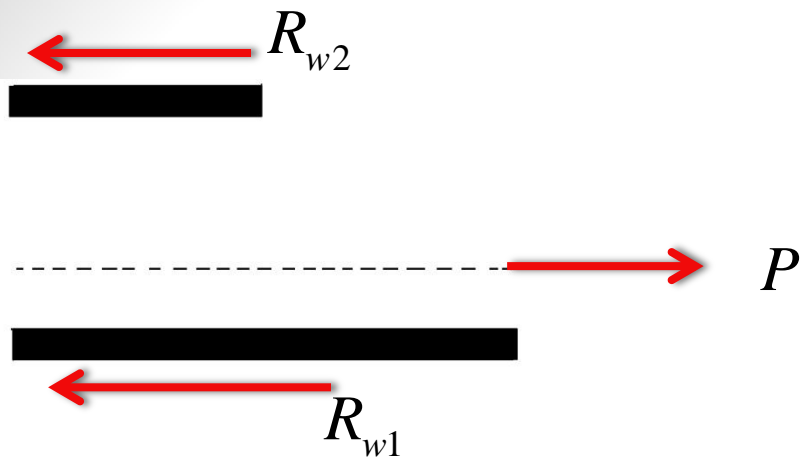
$$\frac{R_{w2}}{t_e L_2} \leq F_{VW}$$

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



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

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



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.

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

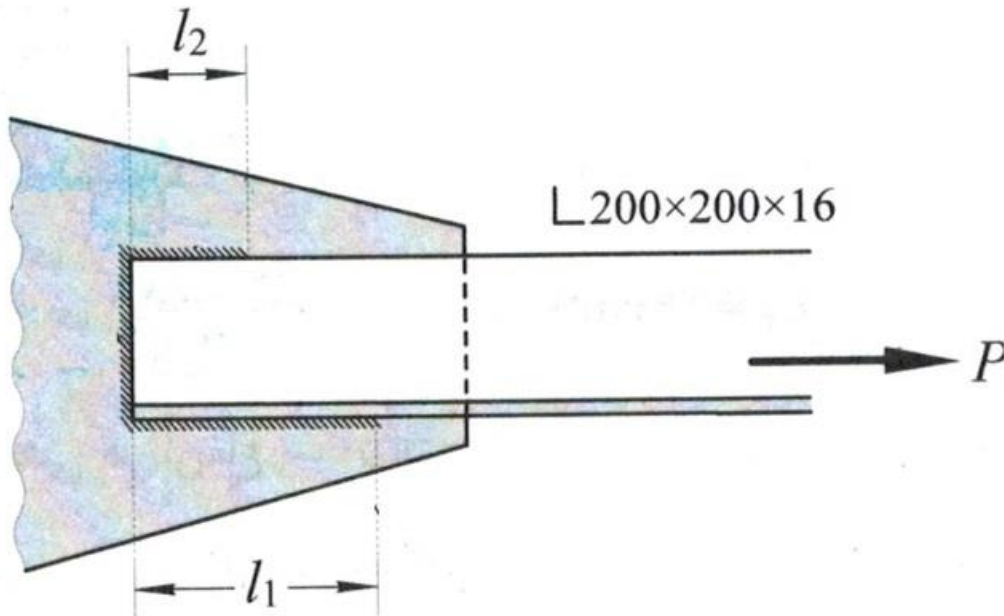
اکنون حول خط جوش پایینی لنگر گیری کرده و مطابق زیر  $L2$  محاسبه می شود.

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

**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.



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

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

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

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

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

قسمت الف:


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

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

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

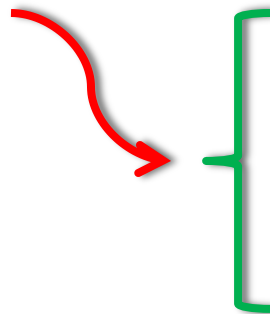
$$6^{mm} \leq a_e \leq 16^{mm}$$

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

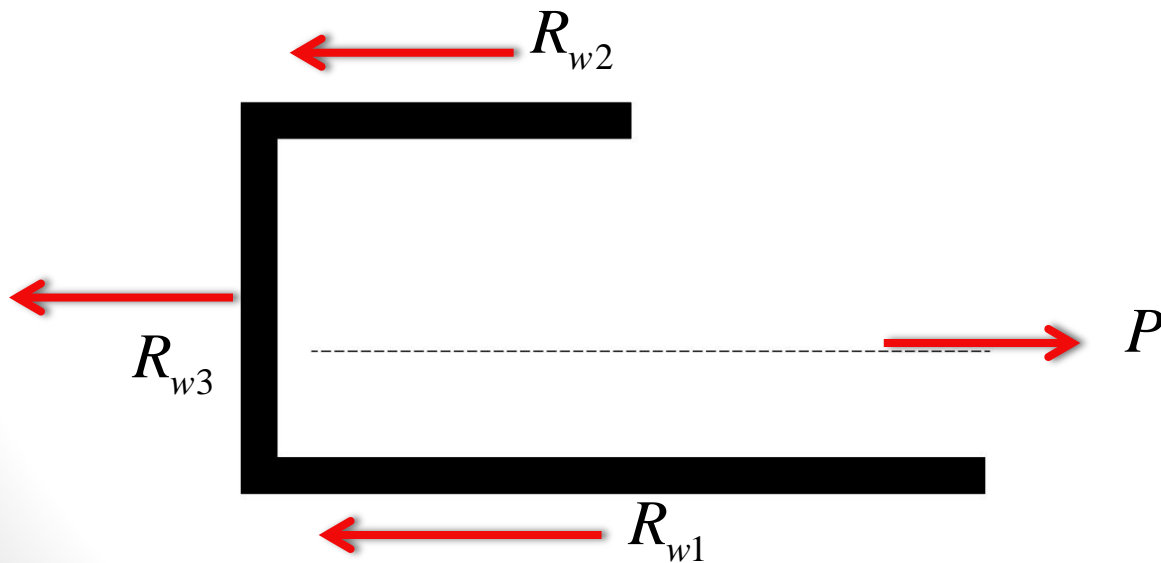

$$use \ a_e = 8^{mm} \Rightarrow t_e = 0.707 a_e = 5.656^{mm} = 0.5656^{cm}$$

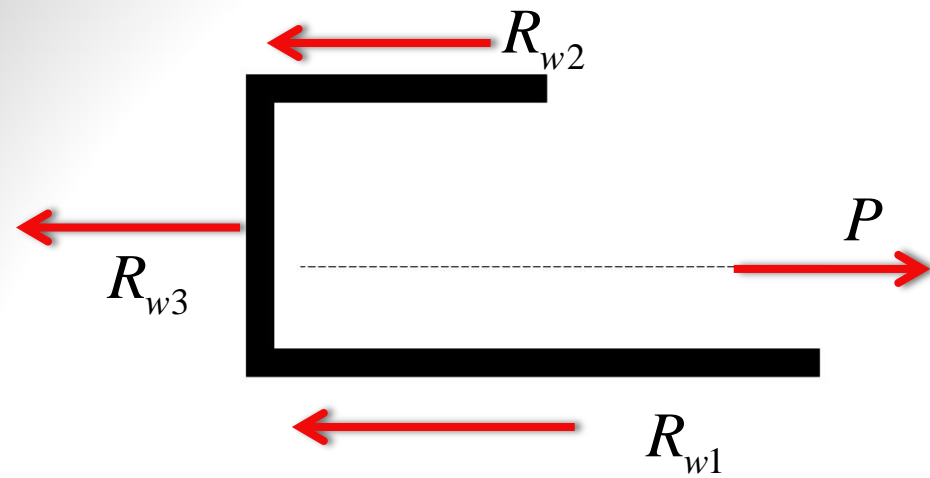


$$t_e = 0.5656 \text{ cm}$$


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

**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.



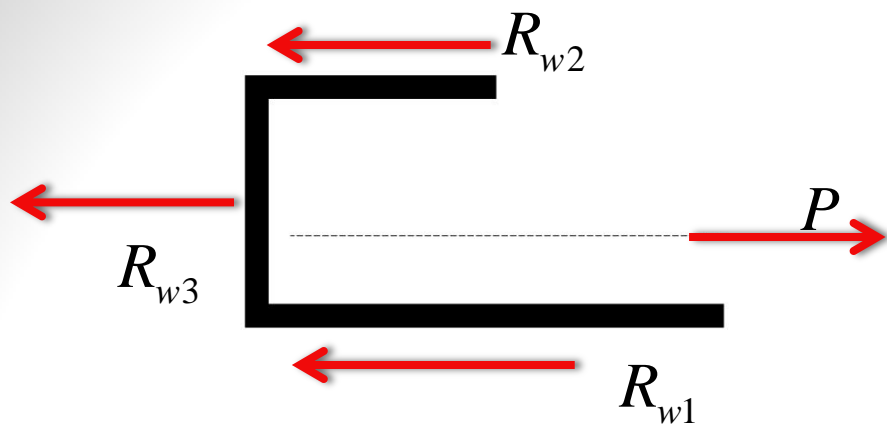


$$t_e = 0.5656^{cm}$$

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

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

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



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.

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

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