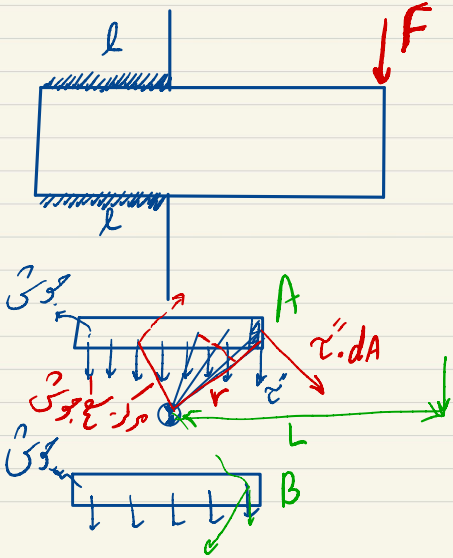
بسم الله الرحمن الرحیم

طراحی اجزاء مکانیکی

جلسه ۲۴

بارگذاری غیر متمرکز در جوشها (نیرو در صفحه جوش است):



۱) تنش برشی اولیه

$$\tau' = \frac{F}{A_{min}} = \frac{F}{0.707h \times 2l}$$

۲- تنش برشی ثانویه

$$F.L = \int dT = \int \tau''.dA.r = \int \frac{\tau''}{r}.r^2 dA$$

مقدار ثابت

$$= \frac{\tau''}{r}.\int r^2 dA = \frac{\tau''}{r}.J$$

$$\tau' = r.\frac{F.L}{J}$$

$$\vec{\tau} = \vec{\tau'} + \vec{\tau''}$$

مراحل طراحی جوش (با رئوس روی صفحه‌ای): (Table 9-1)

۱- یافتن مساحت (A) (اگر لازم بود h را حدس می‌زنیم)

۲- یافتن تنش برشی اولیه $\left(\tau' = \frac{V}{A}\right)$

۳- یافتن مرکز سطح جوش $(\bar{x}, \bar{y})$

۴- یافتن نقاط احتمالی بیشترین تنش (گوشه‌ها) و یافتن فاصله آنها تا مرکز سطح $(r_A, r_B, \dots)$

۵- یافتن ممان قطبی سطح جوش $J = 0.707h J_u$

۶- یافتن تنش برشی ثانویه

$$\tau'' = \frac{(F \cdot l) \cdot r_A}{J}$$

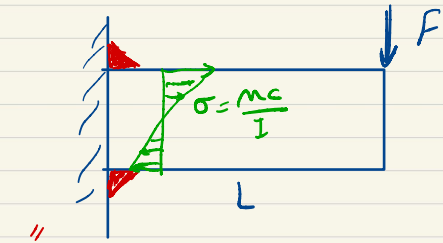
(فاصله نیروی خارجی تا مرکز سطح — فاصله مرکز سطح تا نقطه A)

۷- یافتن تنش برشی برآیند و مقایسه با سرحد مجاز

$$\vec{\tau} = \vec{\tau'} + \vec{\tau''} \leq \frac{k\, S_y}{n}$$

Table 9-4 : k, n

بارگذاری غیر متمرکز خمشی :



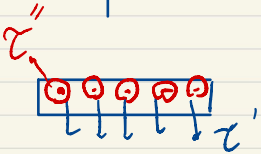
۱) تنش برشی اولیه

$$\tau' = \frac{F}{A_{min}}$$

۲) تنش حاصل از ممان خمشی

$$M = F.L$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \rightsquigarrow \tau'' = \frac{Mc}{I}$$

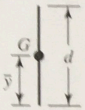
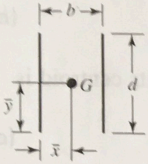
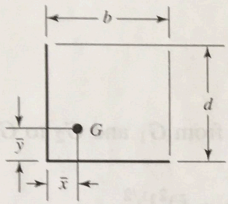
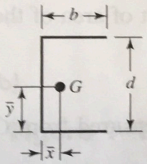
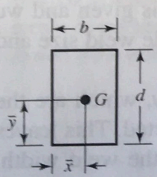


$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

Table 9–1

Torsional Properties of Fillet Welds*

$J = 0.707h \cdot J_u$

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
	$A = 0.70\,hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41\,hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \dfrac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \dfrac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \dfrac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \dfrac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \dfrac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414\,\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G is centroid of weld group; h is weld size; plane of torque couple is in the plane of the paper; all welds are of unit width.

Table 9–2

Bending Properties of Fillet Welds*

$I = 0.707h \cdot I_u$

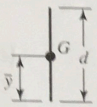
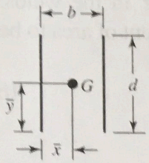
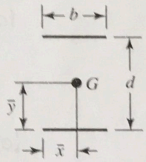
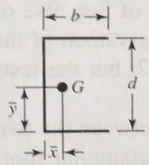
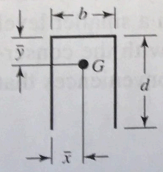
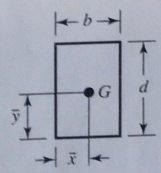
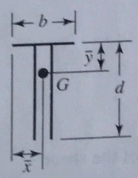
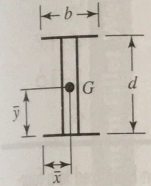
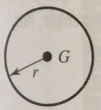
Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$

Table 9–2

Continued

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

*I_u, unit second moment of area, is taken about a horizontal axis through G, the centroid of the weld group, h is weld size; the plane of the bending couple is normal to the plane of the paper and parallel to the y-axis; all welds are of the same size.

مراحل طراحی جوش (بارگذاری غیرمستقیم خمشی): (Table 9-2)

۱- یافتن مساحت (A) (اگر لازم بود h را حدس می‌زنیم)

۲- یافتن تنش برشی اولیه $\left(\tau' = \frac{V}{A}\right)$

۳- یافتن مرکز سطح جوش $(\bar{x}, \bar{y})$

۴- یافتن نقاط احتمالی بیشترین تنش (گوشه بالا و پایین) و یافتن فاصله آنها تا مرکز سطح $(y_A, y_B, \dots)$

۵- یافتن ممان دوم سطح جوش $I = 0.707h \cdot I_u$ ممان حامل از نیروی خارجی

۶- یافتن تنش برشی ثانویه $\tau'' = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M \cdot y_A}{I}$

۷- یافتن تنش برشی برآیند و مقایسه با سرحد مجاز $\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \leq \frac{K \cdot S_y}{n}$ Table 9-4 : K, n

$$n = \frac{S_y}{K_f \cdot \sigma}$$

$$n = \frac{S_{sy}}{K_{fs} \cdot \tau} \longrightarrow \tau = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{\overbrace{K \cdot S_y}^{\text{جدول ۴-۹}}}{n}$$

جدول ۴-۹

توجه: چون همیشه جنس الکترود دارای استحکام بالاتری نسبت به جنس قطعات است، برای مراحل جوشی S_y قطعه بجای S_y جوشی در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۹-۴ ضرایب اطمینان انواع جوش‌ها بر اساس آیین‌نامه AISC

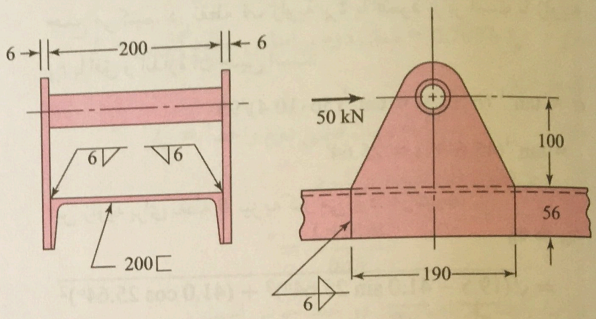
نوع بارگذاری	نوع جوش	تنش مجاز	n
کششی	لب به لب	$0.60S_y$	1.67
تکیه‌گاهی	لب به لب	$0.90S_y$	1.11
خمشی	لب به لب	$0.60–0.66S_y$	1.52–1.6
فشاری ساده	لب به لب	$0.60S_y$	1.67
برشی	لب به لب یا گلویی	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	1.44

تنش برشی در فلز مبنا نباید از $0.40S_y$ بیشتر شود (S_y استحکام تسلیم فلز مبناست). ضریب اطمینان n در ستون سمت راست بر اساس معیار فون میزز محاسبه شده است.

جدول ۹-۵ ضرایب تمرکز تنش خستگی

نوع جوش	K_{fs}
جوش لب به لب تقویت شده	1.2
پنجه جوش گلویی عرضی	1.5
انتهای جوش گلویی موازی	2.7
اتصال لب به لبِ T شکل با گوشه‌های تیز	2.0

طبق شکل ۹-۱۴، یک ناودانی فولادی توسط سه جوش گلویی 6 میلی‌متری به دو ورق جوش شده است. نیروی کل برشی وارده از جوش بر ورق‌ها 50 kN است. ماکزیمم تنش برشی در جوش را تخمین بزنید.



شکل ۹-۱۴ ابعاد به میلی‌متر

حل

با توجه به شکل،

$$b = 56\text{ mm} \quad , \quad d = 190\text{ mm} \quad , \quad h = 6\text{ mm}$$

مراحل زیر را اجرا می‌کنیم:

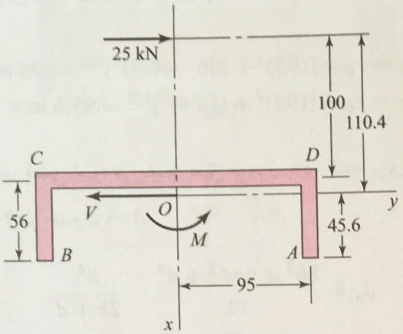
(۱) طبق شکل (۹-۱۵)، نقاط انتهایی و گوشه‌های هر جوش را با حروف A، B، C و D نشان می‌دهیم. سپس، نیروی برشی 50 kN را به دو قسمت تقسیم می‌کنیم و فقط یک ورق را در نظر می‌گیریم. طبق الگوی شماره ۴ در جدول ۹-۱، مساحت گلویی چنین است:

$$A = 0.707h(2b + d) = 0.707(6)[2(56) + 190]$$
$$= 1280\text{ mm}^2$$

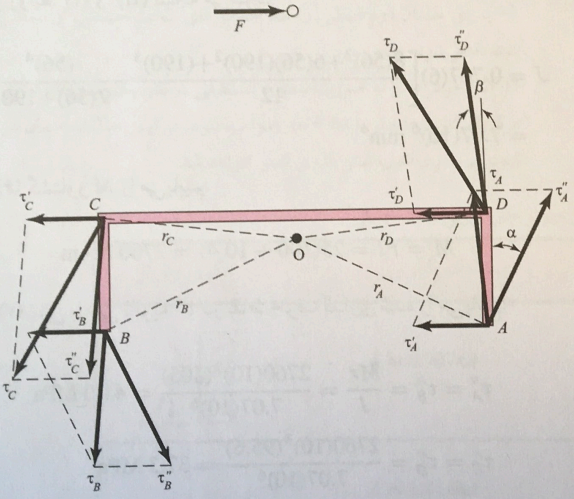
تنش برشی اولیه چنین است:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{25(10)^3}{1280} = 19.5\text{ MPa}$$

(۲) طبق شکل ۹-۱۶، که نمودار آزاد یکی از ورق‌ها را نشان می‌دهد، تنش τ' در نقاط حرف‌گذاری شده را با مقیاس رسم می‌کنیم.



شکل ۹-۱۵ شکل هندسی جوش در یکی از ورق‌ها؛ تمام ابعاد به میلی‌مترند. در این شکل، V و M نیروی برشی و لنگر خمشی وارده از جوش‌ها **بر ورق** را نشان می‌دهند.



شکل ۹-۱۶ نمودار آزاد یکی از ورق‌های جانبی

(۳) مختصه مرکزوار جوش‌ها (نقطه O در شکل‌های ۹-۱۵ و ۹-۱۶) را می‌یابیم. طبق الگوی شماره ۴ در جدول ۹-۱،

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d} = \frac{(56)^2}{2(56) + 190} = 10.4\text{ mm}$$

$$\bar{y} = d/2 = \frac{190}{2} = = 95\text{ mm}$$

(۴) فواصل r_A، r_B، r_C و r_D در شکل ۹-۱۶ را می‌یابیم:

از معادلات (۹-۵′) نتیجه می‌شود:

$$\begin{cases} r_A = r_B = [(95)^2 + (56 - 10.4)^2]^{1/2} = 105 \text{ mm} \\ r_C = r_D = [(95)^2 + (10.4)^2]^{1/2} = 95.6 \text{ mm} \end{cases}$$

(۵) ممان قطبی J را می‌یابیم. طبق فرمول داده شده برای الگوی شماره ۴ در جدول ۹-۱،

$$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} \qquad \frac{b^4}{2b + d} \tag{I}$$

طبق معادله (۹-۶)،

$$J = 0.707 h J_u \tag{II}$$

از روابط (I) و (II) نتیجه می‌شود:

$$J = 0.707(6)\left[\frac{8(56)^3 + 6(56)(190)^2 + (190)^3}{12} - \frac{(56)^4}{2(56) + 190}\right]$$

$$= 7.07(10)^6 \text{ mm}^4$$

(۶) گشتاور M را می‌یابیم:

$$M = Fl = 25(100 + 10.4) = 2760 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(۷) تنش برشی ثانویه τ'' در نقاط حرف گذاری شده را می‌یابیم:

$$\tau''_A = \tau''_B = \frac{Mr}{J} = \frac{2760(10)^3(105)}{7.07(10)^6} = 41.0 \text{ MPa}$$

$$\tau''_C = \tau''_D = \frac{2760(10)^3(95.6)}{7.07(10)^6} = 37.3 \text{ MPa}$$

(۸) طبق شکل ۹-۱۶، تنش‌های τ'' در نقاط حرف گذاری شده را رسم می‌کنیم (گفتنی است که تنش‌های τ' و τ'' واکنش ناودانی بر هر ورق است که از طریق جوش‌ها انتقال می‌یابد).

(۹) در نقاط حرف گذاری شده، تنش‌ها را به صورت برداری جمع می‌کنیم. در نقطه A، زاویهٔ τ''_A با عمود برابر است با زاویه r_A با افق و اندازهٔ آن چنین است:

$$\alpha = \tan^{-1}(b - \bar{x})/\bar{y} = \tan^{-1}(56 - 10.4)/95$$

$$= \tan^{-1}(45.6/95) = 25.64^\circ$$

این زاویه برای نقطه B نیز به کار می‌رود. در نتیجه،

$$\tau_A = \tau_B$$

$$= \sqrt{(\underbrace{19.5}_{\tau'} - \underbrace{41.0 \sin 25.64^\circ}_{\tau''})^2 + (41.0 \cos 25.64^\circ)^2}$$

$$= 37.0 \text{ MPa}$$

به طور مشابه، برای نقاط C و D،

$$\beta = \tan^{-1}(\bar{x}/\bar{y}) = \tan^{-1}(10.4/95) = 6.25^\circ$$

در نتیجه،

$$\tau_C = \tau_D$$

$$= \sqrt{(19.5 + 37.3 \sin 6.25^\circ)^2 + (37.3 \cos 6.25^\circ)^2}$$

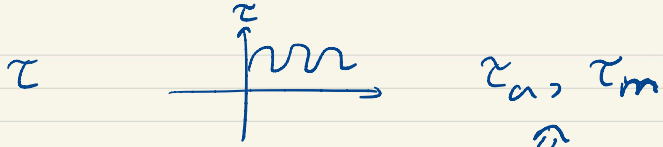
$$= 43.9 \text{ MPa}$$

(۱۰) با توجه به نتایج حاصل در مرحلهٔ (۱۰)، نقاط C و D نقاط متناظر با ماکزیمم تنش برشی هستند. اندازهٔ این تنش چنین است:

$$\tau_{max} = \tau_C = \tau_D = 43.9 \text{ MPa}$$

◄

خستگی در جوش‌ها:

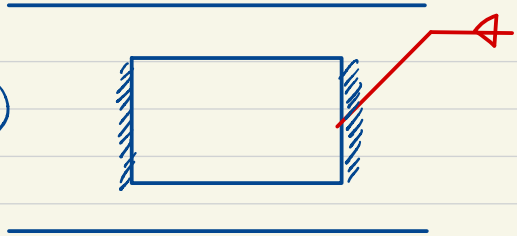


$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e$

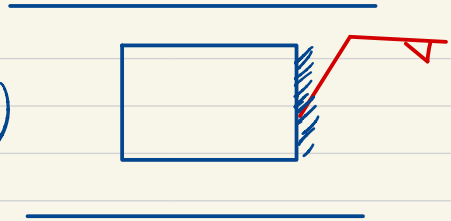
$K_b = 1$ برای برش

ضریب سطح: برای پیچ‌کاری (مگر اینکه سنگ‌خورده باشد)

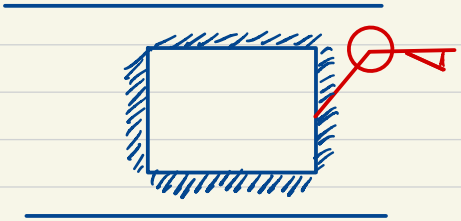
2)



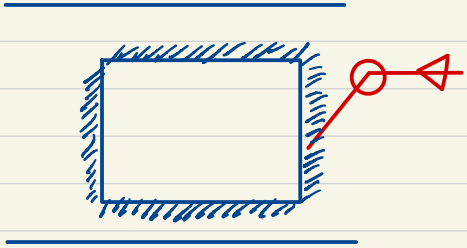
1)

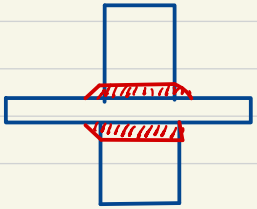


3)



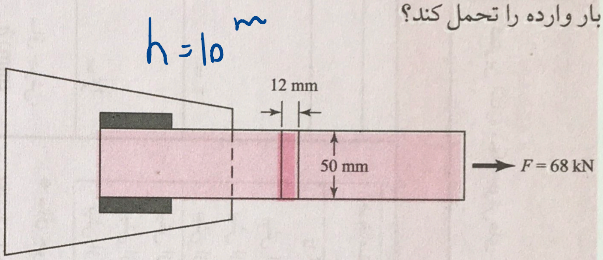
4)





مثال ۹-۲

یک قطعه فولادی ۱۰۱۵، با مقطع عرضی مستطیلی 12 mm × 50 mm، تحت بار استاتیکی محوری 68 kN قرار دارد. این قطعه در دوطرف خود توسط دو جوش گلویی به یک ورق پشت‌بند هم‌جنس خود جوش شده است. طول هر جوش 50 mm و ساق آن 10 mm است (شکل ۹-۱۸). الکترود جوش از نوع E 70XX است. با استفاده از آیین‌نامه‌های جوشکاری، توضیح دهید که آیا این سازه می‌تواند بار وارده را تحمل کند؟



شکل ۹-۱۸

حل: برای آنکه سازه بتواند بار وارده را تحمل کند، فلز جوش و فلز مبنا در مجاورت جوش باید دارای استحکام کافی باشند.

بررسی استحکام فلز جوش. طبق جدول ۹-۶، برای ساق 10 mm، نیروی مجاز برای طول واحد الکترود E 70 برابر با 1025 N/mm است. با توجه به دو ردیف جوش 50 میلی‌متری، نیروی مجاز برای این الکترود چنین است:

$$F = 1025\,(2 \times 50) = 102500\text{N} = 102.5\text{kN}$$

ملاحظه می‌شود که: $102.5\,\text{kN} > 68\,\text{kN}$. بنابراین،

فلز جوش دارای استحکام کافی است.

بررسی استحکام فلز مبنا. طبق جدول الف-۲۰ در پیوست الف، برای قطعه داده شده $S_y = 190\,\text{MPa}$. طبق جدول ۹-۴، تنش برشی مجاز و تنش کششی مجاز برای فلز مبنا، به ترتیب، عبارتند از:

$$\tau_{all} = 0.4\,S_y = 0.4(190) = 76\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{all} = 0.6S_y = 0.6(190) = 114\,\text{MPa}$$

از طرف دیگر، تنش برشی و تنش کششی در فلز مبنا در مجاورت جوش، به ترتیب، عبارتند از:

$$\tau = \frac{F}{2hl} = \frac{68\,000}{2(0.01)(0.05)} = 68\,\text{MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{tl} = \frac{68\,000}{(0.012)(0.05)} = 113\,\text{MPa}$$

ملاحظه می‌شود که $\tau < \tau_{all}$ و $\sigma < \sigma_{all}$. بنابراین،

فلز مبنا دارای استحکام کافی است.

ملاحظه می‌شود که فلز جوش و فلز مبنا دارای استحکام کافی هستند. بنابراین،

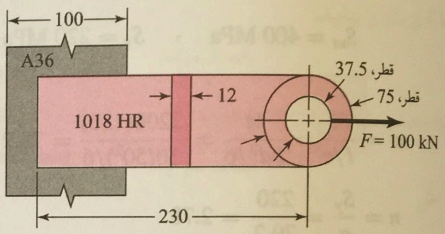
◀ سازه داده شده می‌تواند بار وارده را تحمل کند*.

---

* با تشکر از دوست و همکار عزیزم، آقای دکتر مهبادی، که توضیح این مثال را مدیون همکاری ایشان هستم.

مثال ۹-۳

شکل ۹-۱۹ یک قطعه فولادی نورد گرم شدهٔ 1018، با ضخامت 12mm، را نشان می‌دهد. این قطعه به یک عضو فولادی ساختمانی A36، با پهنای 75mm، جوش شده است. این سازه تحت بار استاتیکی 100kN قرار دارد. ***مشخصات جوشکاری*** (شامل الگوی جوش، نوع الکترود، نوع جوش، طول خط جوش و ساق جوش) را بیابید.



شکل ۹-۱۹

حل

خواص قطعه:

$$S_y = 220\ \text{MPa},\quad S_{ut} = 400\ \text{MPa}$$

خواص عضو:

$$S_y = 250\text{MPa} \quad , \quad 400\text{MPa} \le S_{ut} \le 550\text{MPa}$$

برای این عضو ساختمانی، از مقدار زیر استفاده می‌کنیم:

$$S_{ut} = 400\ \text{MPa}$$

معمولاً، فلز الکترود محکم‌تر از فلز قطعاتی است که به یکدیگر جوش می‌شوند. به همین دلیل، با توجه به خواص قطعه و عضو، الکترود E60XX را انتخاب می‌کنیم.

در این سازه، برخلاف مثال قبل، دو قطعه‌ای که به هم جوش شده‌اند از جنس یکسان نیستند. بنابراین، برای تعیین تنش برشی مجاز، کمترین تنش برشی را درنظر می‌گیریم. از جدول ۹-۴ و زیرنویس آن نتیجه می‌شود:

$$\tau_{all} = \min[0.3(400), 0.4(220)] = \min(120, 88) = 88\ \text{MPa}$$

در بارگذاری استاتیکی، جوش‌های گلویی موازی و عرضی به طور یکسان رفتار می‌کنند. تعداد ردیف جوش‌ها را با نماد n نشان می‌دهیم و می‌نویسیم:

$$\tau = \tau_{all} = \frac{F}{n(0.707)hl}$$

$$\Rightarrow \quad nh = \frac{F}{0.707 l \tau_{all}} = \frac{100\,000}{0.707(76)(88)} = 21.15$$

جدول زیر را تشکیل می‌دهیم:

تعداد ردیف جوش‌ها، n	ساق جوش، h
1	21.15
2	10.58 → 11 mm
3	7.05 → 8 mm
4	5.29 → 6 mm

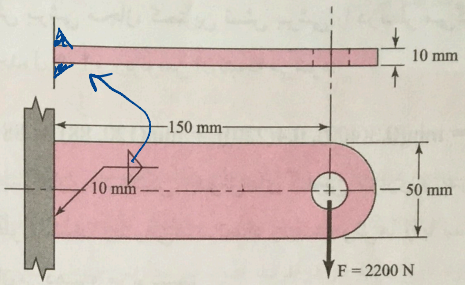
به این ترتیب، ***مشخصات جوشکاری*** چنین است:

- الگوی جوش : دور تا دور
- نوع الکترود : E 6010
- نوع جوش : دو جوش گلویی موازی، دو جوش گلویی عرضی
- طول خط جوش : 300 mm
- اندازه جوش : 6 mm

مثال ۹-۴

طبق شکل ۹-۲۰، یک تیر طره‌ای فولادی نورد گرم شدهٔ 1018 تحت بار استاتیکی عرضی 2200 N قرار دارد. این تیر توسط جوش گلویی، با ساق 10mm، به تکیه‌گاه خود جوش شده است. الکترود از نوع E6010 است. ضریب طراحی را 3.0

درنظر بگیرید. با استفاده از روش‌های سنتی (غیرآیین‌نامه‌ای)، توضیح دهید که آیا این سازه می‌تواند بار وارده را تحمل کند؟



شکل ۹-۲۰

حل: برای آنکه سازه بتواند بار وارده را تحمل کند، فلز جوش و فلز مبنا در مجاورت جوش باید دارای استحکام کافی باشند.

بررسی استحکام فلز جوش. برای الکترود E6010، طبق اعداد داخل پرانتز در جدول ۹-۳،

$$S_y = 345 \text{ MPa} \quad , \quad S_{ut} = 427 \text{ MPa}$$

طبق شکل ۹-۲۰،

$$b = 10 \text{ mm} \quad , \quad d = 50 \text{ mm}$$

طبق الگوی دوم در جدول ۹-۲،

$$A = 1.414hd = 1.414(10)50 = 707 \text{ mm}^2$$

$$I_u = d^3/6 = 50^3/6 = 20\,833 \text{ mm}^3$$

همچنین،

$$I = 0.707hI_u = 0.707(10)20\,833 = 147\,289 \text{ mm}^4$$

تنش‌های برشی اولیه و ثانویه در جوش، به ترتیب، عبارتند از:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{2200}{707} = 3.1 \text{ MPa}$$

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{2200(150)25}{147\,289} = 56 \text{ MPa}$$

اندازه برایند تنش‌های برشی مذکور چنین است:

$$\tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2} = (3.1^2 + 56^2)^{1/2} = 56.1 \text{ MPa}$$

ضریب اطمینان بر اساس استحکام مینیمم چنین است:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0.577(345)}{56.1} = 3.55$$

ملاحظه می‌شود که: $n = 3.55 > n_d = 3.0$. بنابراین،

***فلز جوش دارای استحکام کافی است**.*

بررسی استحکام فلز مبنا. طبق جدول الف-۲۰، برای فولاد نورد گرم شدهٔ 1018،

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa} \quad , \quad S_y = 220 \text{ MPa}$$

ضمناً،

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{bd^2/6} = \frac{2200(150)}{10(50^2)/6} = 79.2 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{220}{79.2} = 2.78$$

ملاحظه می‌شود که: $n = 2.78 < n_d = 3.0$. بنابراین،

فلز مبنا دارای استحکام کافی نیست

ملاحظه می‌شود که فلز جوش دارای استحکام کافی است، اما فلز مبنا استحکام کافی ندارد. بنابراین،

◀ ***سازهٔ داده شده نمی‌تواند بار وارده را تحمل کند***

---

* ***بررسی استحکام فلز جوش با استفاده از آیین‌نامه.*** طبق جدول ۹-۶، تنش برشی مجاز برای الکترود E6010 چنین است: $\tau_{all} = 124\text{MPa}$. محاسبه نشان داد که: $\tau = 56.1\text{MPa}$. طبق آیین‌نامه، ضریب طراحی چنین است:

$$n_d = \frac{0.577\,S_y}{\tau_{all}} = \frac{0.577(345)}{124} = 1.6$$

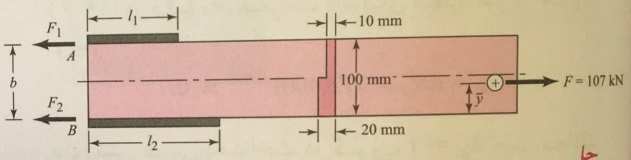
بنابراین، ضریب اطمینان مربوط به قسمت (الف) در این مثال چنین است:

$$n = 1.6\frac{\tau_{all}}{\tau} = 1.6\frac{124}{56.1} = 3.54$$

چون $n = 3.54 > n_d = 3.0$، ***فلز جوش دارای استحکام کافی است.***

مثال ۹-۵

یک قطعه، از فولاد ساختمانی A۳۶ و مقطع عرضی داده شده، در مرکزوار خود تحت نیروی استاتیکی $F = 24$ kip قرار دارد. استحکام تسلیم و استحکام کششی نهایی این قطعه، به ترتیب، 36 kpsi و 58 kpsi است. جوش‌های گلویی نامتقارن خروج از مرکز بارگذاری را خنثی می‌کنند به طوری که هیچ گشتاوری بر جوش‌ها وارد نمی‌شود. الکترود جوش از نوع E۷۰XX است. اندازهٔ جوش‌ها چنین است: $h = \frac{5''}{16}$. طول جوش‌ها (l_1 و l_2) را بیابید.



حل

مختصه y مرکزوار قطعه چنین است:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} = \frac{1(0.75)2 + 3(0.375)2}{0.75(2) + 0.375(2)} = 1.67\text{in}$$

گشتاور نیروها را نسبت به نقطه B مساوی صفر قرار می‌دهیم:

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow -F_1 b + F\bar{y} = -F_1(4) + 24(1.67) = 0$$

$$\Rightarrow F_1 = 10\,\text{kip}$$

بنابراین،

$$F_2 = 24 - 10.0 = 14.0\,\text{kip}$$

مساحت گلوگاه جوش‌ها دارای نسبت زیر باید باشد:

$$\frac{14}{10} = 1.4 \Rightarrow l_2 = 1.4 l_1$$

طبق جدول ۹-۴، تنش برشی مجاز در گلوگاه جوش چنین است:

$$\tau_{all} = 0.3(70) = 21\text{kpsi}$$

تنش برشی در گلوگاه 45° چنین است:

$$\tau = \frac{F}{(0.707)h(l_1 + l_2)} = \frac{F}{(0.707)h(l_1 + 1.4l_1)}$$

$$= \frac{F}{(0.707)h(2.4l_1)} = \tau_{all} = 21\text{kpsi}$$

در نتیجه، طول جوش‌ها بر اساس استحکام فلز جوش عبارتند از:

$$\begin{cases} l_1 = \dfrac{24}{21(0.707)0.3125(2.4)} = 2.16\text{in} \\ l_2 = 1.4l_1 = 1.4(2.16) = 3.02\text{in} \end{cases}$$

طبق جدول ۹-۴، تنش برشی مجاز در فلز مبنا (فلز قطعه) چنین است:

$$\tau_{all} = 0.4S_y = 0.4(36) = 14.4\text{kpsi}$$

تنش برشی در فلز مبنای مجاورِ جوش چنین است:

$$\tau = \frac{F}{h(l_1 + l_2)} = \frac{F}{h(l_1 + 1.4l_1)} = \frac{F}{h(2.4l_1)} = \tau_{all} = 14.4\text{kpsi}$$

در نتیجه، طول جوش‌ها بر اساس استحکام فلز مبنا عبارتند از:

$$\begin{cases} l_1 = \dfrac{F}{14.4h(2.4)} = \dfrac{24}{14.4(0.3125)2.4} = 2.22\text{in} \\ l_2 = 1.4l_y = 1.4(2.22) = 3.11\text{in} \end{cases}$$

با توجه به این نتایج، فلز مبنا عامل کنترل کننده طول جوش‌هاست. تنش کششی مجاز و تنش نامی در قطعه، به ترتیب، عبارتند از:

$$\sigma_{all} = 0.6S_y = 0.6(36) = 21.6\text{kpsi}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{24}{0.75(2) + 2(0.375)} = 10.7\text{kpsi}$$

توزیع این تنش بر روی مقطع عرضی قطعه به صورت **یکنواخت** است، زیرا نیرو در مرکزوار قطعه وارد شده است.

با توجه به آنکه $\sigma \le \sigma_{all}$، قطعه می‌تواند بار وارده را تحمل کند. با استفاده از اندازهٔ نامی $2\frac{1''}{4}$ برای l_1، نتیجه می‌شود:

$$l_2 = 1.4(2.25) = 3.15''$$

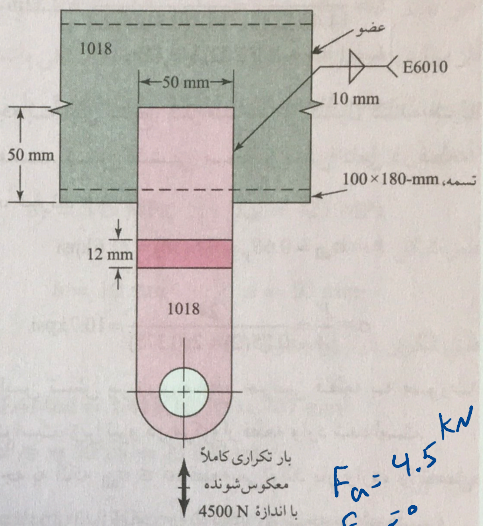
نتیجه نهایی:

$$\begin{cases} l_1 = 2\dfrac{1''}{4} \\ l_2 = 3\dfrac{1''}{4} \end{cases}$$

◀

توضیح: با توجه به این نتایج، نسبت l_2/l_1 با مقدار 1.4 (که قبلاً گفته شد) کمی تفاوت دارد (که مهم نیست). در این حالت نیز هیچ گشتاوری بر اتصال وارد نمی‌شود.

شکل ۹-۲۱ یک تسمهٔ فولادی 1018 را تحت بار تکراری کاملاً معکوس‌شوندهٔ 4500 N نشان می‌دهد. این تسمه به یک عضو با مشخصات داده شده جوش شده است. ضریب اطمینان خستگی جوش را برای عمر نامحدود بیابید.



شکل ۹-۲۱

حل: برای فولاد 1018، طبق جدول الف – ۲۰ در پیوست الف،

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa} \quad , \quad S_y = 220 \text{ MPa}$$

طبق فرمول (۶-۸) در فصل ۶،

$$S'_e = 0.5\, S_{ut} = 200 \text{ MPa}$$

طبق جدول ۹-۵، ضریب تمرکز تنش خستگی چنین است:

$$K_{fs} = 2.7$$

همانطور که در قسمت ۹-۷ گفته شد، سطح قطعه جوش شده مانند سطح آهنگری درنظر گرفته می‌شود. بنابراین، طبق فرمول (۶-۱۹) در فصل ۶ (همراه با داده‌های سطر آخر در جدول ۶-۲)،

$$k_a = aS_{ut}^b = 272(400)^{-0.995} = 0.7$$

برای تنش برشی یکنواخت در گلویی، $k_b = 1$. طبق معادله (۶-۲۶)،

$$k_c = 0.59$$

با توجه به شرایط مسئله،

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

مساحت تحت تنش برشی چنین است:

$$A = 2(0.707)10(50) = 707 \text{ mm}^2$$

طبق معادله (۶-۱۸)،

$$S_{se} = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.70(1)0.59(1)(1)(1)200 = 82.8 \text{ MPa}$$

برای بارگذاری داده شده،

$$F_a = 4500 \text{ N} \quad , \quad F_m = 0$$

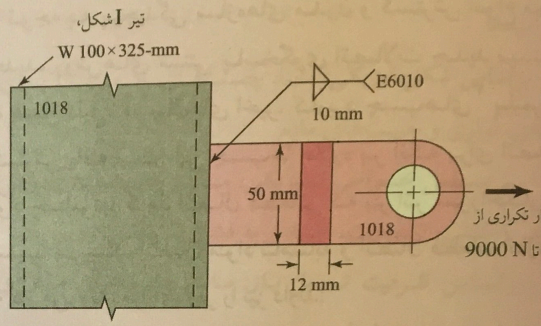
با توجه به عدم وجود گشتاور، فقط تنش برشی اولیه وجود دارد و مؤلفه‌های متناوب و میانگین آن عبارتند از:

$$\tau'_a = \frac{K_{fs} F_a}{A} = \frac{2.7(4500)}{707} = 17.2 \text{ MPa} \quad , \quad \tau'_m = 0 \text{ MPa}$$

با توجه به آنکه تنش میانگین صفر است، ضریب اطمینان خستگی چنین است:

$$n_f = \frac{S_{se}}{\tau'_a} = \frac{82.8}{17.2} = 4.81 \quad \blacktriangleleft$$

شکل ۹-۲۲ یک تسمه فولادی 1018 را تحت بار تکراری 9000 N نشان می‌دهد. این تسمه به یک تیر I شکل جوش شده است. ضریب اطمینان خستگی جوش را بیابید.



شکل ۹-۲۲

حل: در این بارگذاری،

$$F_a = F_m = 4500\,\text{N}$$

طبق حل مثال ۹-۶:

$$S_{ut} = 400\,\text{MPa} \quad , \quad S_y = 220\,\text{MPa}$$
$$S'_e = 200\,\text{MPa} \quad , \quad K_{fs} = 2$$

همانطور که در قسمت ۹-۷ گفته شد، سطح قطعه جوش شده همواره مانند سطح آهنگری درنظر گرفته می‌شود. طبق فرمول (۹-۶)، همراه با داده‌های سطر آخر در جدول ۶-۲،

$$k_a = aS_{ut}^b = 272(400)^{-0.995} = 0.7$$

برای تنش برشی یکنواخت در گلویی، $k_b = 1$، طبق معادلهٔ (۹-۲۶)،

$$k_c = 0.59$$

با توجه به شرایط مسئله،

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

طبق حل مثال ۹-۶،

$$S_{se} = 82.8\,\text{MPa}$$

مساحت تحت تنش برشی چنین است:

$$A = 2(0.707)10(50) = 707\,\text{mm}^2$$

با توجه به عدم وجود گشتاور، فقط تنش برشی اولیه وجود دارد و مؤلفه‌های متناوب و میانگین آن عبارتند از:

$$\tau'_a = \tau'_m = \frac{K_{fs}F_a}{A} = \frac{2(4500)}{707} = 12.7\,\text{MPa}$$

طبق معادله (۶-۵۳)،

$$S_{su} \doteq 0.67S_{ut} \qquad \text{(I)}$$

از رابطهٔ (I)، همراه با معیار شکست خستگی در جدول ۶-۷، نتیجه می‌شود:

$$n_f = \frac{1}{2}\left(\frac{0.67S_{ut}}{\tau_m}\right)^2 \frac{\tau_a}{S_{se}}\left[-1+\sqrt{1+\left(\frac{2\tau_m S_{se}}{0.67S_{ut}\tau_a}\right)^2}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{0.67(400)}{12.7}\right]^2 \frac{12.7}{82.8}\left\{-1+\sqrt{1+\left[\frac{2(12.7)82.8}{0.67(400)12.7}\right]^2}\right\}$$

$$= 5.99$$

◄