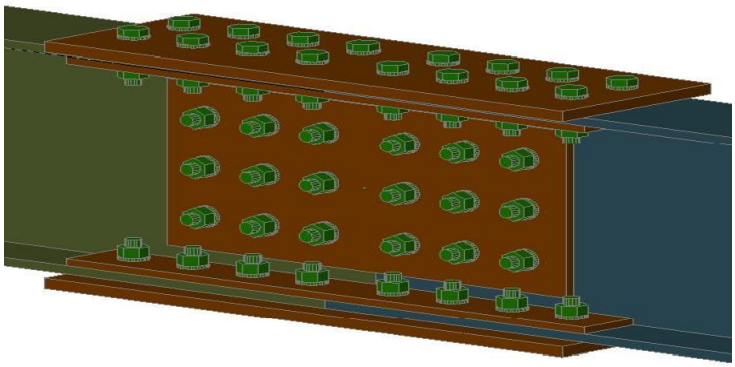
فصل ششم: وصله پیچی تیر ها

٦-١- مقدمه

در اجرای سازه های فولادی مواردی رخ می دهد که لازم است تیر ها و یا ستون ها را به یکدیگر وصله کنیم. هر چند اجرای وصله در اعضای سازه های فولادی مستلزم صرف هزینه است. لیکن انجام آن در بعضی مواقع اجتناب ناپذیر است. مواردی که استفاده از وصله در سازه های فولادی ضروری است به قرار زیر است.

- طول استاندارد نیمرخ به صورت معمول ۱۲ متر است. هنگامیکه طول دهنه تیر و یا ارتفاع ستون از طول نیمرخ های استاندارد بیشتر باشد تیر یا ستون را باید در محل مناسب وصله کرد.
- در مواردی که نیرو های طراحی در تیر یا ستون در یک ناحیه به طور چشمگیری از بقیه نواحی بزرگتر است، استفاده از مقطع با ظرفیت باربری بالا در ناحیه مورد نظر همراه با وصله نمودن آن به نواحی مجاور ضروری می باشد[1].
- در اجرای سازه های فولادی جوش ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. معولا جوش های مربوط به اتصال گیردار در محل پروژه و بر روی کار انجام می شود. جوش های نفوذی اتصال گیردار نیازمند دقت و حوصله کافی جوشکار است. معمولا این جوش ها بدلیل ارتفاع ستون، نظارت توسط مهندس ناظر بعد از عملیات ریختن سقف انجام می شود که دیر هنگام است. توصیه می شود قسمتی از تیر در کارگاه به ستون جوش شود و بقیه تیر در محل پروژه توسط پیچ یا جوش وصله شود. چنین روشی کمک می کند جوش های نفوذی اتصال گیردار در محل کارگاه زیر نظر مستقیم مهندس ناظر انجام شود و همچنین جوشکار از امنیت بیشتری برخوردار خواهد بود.
- محدودیت هایی مثل حمل و نقل اعضای فولادی و یا جلوگیری از دور ریز زیاد مصالح ایجاب میکند از وصله در تیر یا ستون استفاده کنیم.



[1] فصل دهم از جلد ششم کتاب طراحی سازه های فولادی به روش حالات حدی و مقاومت مجاز، ازهری، میر قادری

باز نشر با ذکر منبع مجاز می باشد. Strain.blog.ir

٦- ٢- نمونه محاسبات وصله پیچی تیر

در این ساختمان وصله تیر ها در ۵ تیپ طراحی شده است که محاسبات وصله تیر PG_300_150_12_8 به تیر PG_300_150_12_8 در ادامه گزارش آمده است.

٦-٢-١- مشخصات مصالح و مقاطع مصرفی

مشخصات تیر ۱ :

$$b = 15\ cm\ , h = 30\ cm\ , t_f = 1.2\ cm\ , t_w = 0.8\ cm, I = 11168\ , Z_b = 765.7\ cm^3$$

مشخصات تیر ۲ :

$$b_f = 15\ cm, t_f = 1.2\ cm\ , h_w = 30\ cm, t_w = 0.8\ cm\ , I = 11168\ , Z_b = 765.7\ cm^3$$

مشخصات فولاد و الکترود مصرفی :

$$f_y = 2400\ {}^{kg}/_{cm^2}\ , f_u = 3700\ {}^{kg}/_{cm^2}$$ الکترود $E60$ $F_{ue} = 4200\ {}^{kg}/_{cm^2}$

٦- ٢- ٢- نیرو های طراحی وصله تیر

وصله تیر های باربر جانبی باید الزامات لزره ای زیر را تامین کنند[۲].

- وصله تیر ها باید خارج از ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر قرار گیرند.
- در صورت استفاده از وصله مستقیم ، وصله باید با جوش نفوذی کامل صورت گیرد. در این گونه موارد ازجح است محل وصله بال ها و محل وصله جان در یک مقطع صورت نگیرد.
- در وصله مستقیم بین ورق های با پهنا یا ضخامت متفاوت - که در بال یا جان تیر ها به کار می روند - تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت، از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.
- مقاومت خمشی مورد نیاز M_u وصله های غیر مستقیم باید برابر مقاومت خمشی طراحی $\emptyset_b M_p$ عضو با مقطع کوچکتر وصله شونده در نظر گرفته شود.
- مقاومت برشی مورد نیاز V_u وصله های غیر مستقیم نباید از یکی از مقادیر زیر کمتر در نظر گرفته شود

۱- بیشترین برش حاصل از ترکیبات زلزله تشدید یافته در محل وصله

۲- نیروی برشی در محل وصله که باید با ئر نظر گرفتن تعادل استاتیکی بار های ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و برش لرزه ای ناشی از $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$ در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود.

۳- مقاومت برشی طراحی عضو با مقطع کوچکتر وصله شونده

[۲] بند ۱۰- ۳- ۵- ۴ - مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۲)

مقاومت خمشی مورد نیاز M_u وصله های غیر مستقیم طبق مطالب بالا برابر است با :

$$M_u = \emptyset_b M_p = 0.9 \times 2400 \times 765.7 = 16.5\ T.m$$

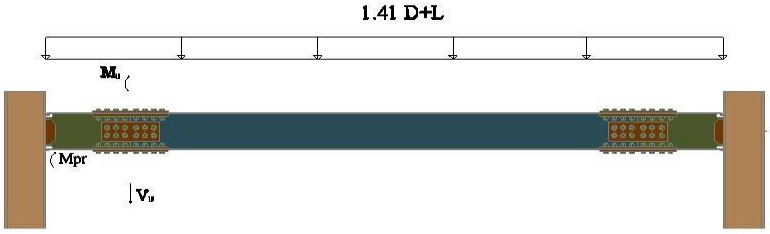
مقاومت برشی مورد نیاز V_u وصله های غیر مستقیم طبق مطالب بالا برابر است با :

۱- بیشترین برش حاصل از ترکیبات زلزله تشدید

$$V_u = 13\ T$$

۲- نیروی برشی در محل وصله که باید با ئر نظر گرفتن تعادل استاتیکی بار های ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و برش لرزه ای ناشی از $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$ در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود.

محل وصله از بر ستون برابر $S = 70\ cm$ فاصله دارد. هم چنین طول دهنه تیر برابر $l = 6\ m$ متر می باشد. D و L بترتیب بار مرده و زنده روی تیر هستند که با توجه به بار مرده $465\ ^{kg}/_{m^2}$ که با فرض عرض سطح بارگیر ۲/۵ متر برابر $1162\ ^{kg}/_{m}$ و با توجه به بار زنده $200\ ^{kg}/_{m^2}$ که با فرض عرض سطح بارگیر ۲/۵ متر برابر $500\ ^{kg}/_{m}$.



$$C_{pr} = \frac{F_u + F_y}{2F_u} = 0.82\ C_{pr} = 1.1 \rightarrow M_{pr} = C_{pr} R_y M_p = 1.1 \times 1.15 \times 18.3 = 23.14\ T.m$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{l} - \frac{1.41D + L}{2S} = \frac{2 \times 23.1}{6} - \frac{1.41 \times 1.162 + 0.500}{2 \times 0.7} = 6.17\ T$$

۳- مقاومت برشی طراحی عضو با مقطع کوچکتر وصله شونده

$$\phi V_u = 0.6 F_y A_w C_w \rightarrow \frac{h}{t_w} < 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \rightarrow C_w = 1, \qquad \phi V_u = 0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 32.4 \times 0.8 \times 1 = 33.5\ T$$

٦- ٢- ٣- طراحی ورق های اتصال بال تیر ها

ورق های اتصال بال در انتقال لنگر و ورق های اتصال جان در انتقال نیروی برشی سهیم هستند. بنابر این داریم:

$$T_u = \frac{M_u}{d}, \qquad d = h_w + 2t_f = 32.4\ \text{cm}, \qquad T_u = \frac{16.5 \times 10^5}{32.4} = 50.9\ \text{T}$$

با توجه به زیاد بودن نیروی طراحی از دو ورق یکی در بالای بال و یکی در زیر بال استفاده میکنیم. سهم بار هر یک از ورق ها با توجه به نسبت سطح مقطع تعیین می شود

پیچ های مورد نیاز اتصال :

پیچ ها از نوع پر مقاومت (A325) و اتصال هم اصطکاکی است. مقاومت برشی طراحی پیچ های پر مقاومت در اتصالات اصطکاکی بر اساس کنترل لغزش بحرانی مساوی $\emptyset R_{nv}$ می باشد[۳]. با فرض استفاده پیچ M16 داریم :

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s \ \rightarrow T_b = 9.1T\ , R_{nv} = 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 9.1 \times 1 = 5.14\ T$$

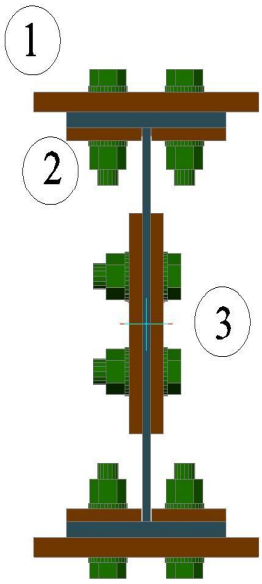
مقاومت اتکایی طراحی در جدار سوراخ پیچ در اتصالات اصطکاکی مساوی $\emptyset R_n$ می باشد. که در آن $\emptyset$ برابر ۰.۷۵ می باشد.

$$R_{n1} = 1.2 l_c t F_u \le 2.4 d t F_u \quad R_n = \min(1.2 \times 3.2 \times 1.2 \times 3700, 2.4 \times 1.6 \times 1.2 \times 3700) = 17\ T$$

$$R_{n2} = 1.2 l_c t F_u \le 2.4 d t F_u \quad R_n = \min(1.2 \times 3.2 \times 1 \times 3700, 2.4 \times 1.6 \times 1 \times 3700) = 14\ T$$

با فرض ضخامت ۱/۲ سانتی متر و عرض ۲۲ سانتی متر برای ورق اتصال شماره ۱ و ضخامت ۱ سانتی متر و عرض ۶ سانتی متر برای ورق شماره ۲ می توان نسبت سهم نیروی هر ورق را تعیین کرد.

تعیین تعداد پیچ برای ورق شماره ۱



[۳] بند ۱۰- ۲- ۹- ۳- ۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۲)

$$T_{1u}=\frac{A_1}{A_1+A_2}T=0.7\times 50.9=35.6\,T\,,T_{2u}=14.4\;\rightarrow n=\frac{T_{1u}}{\emptyset\mu D_u h_f T_b n_s},\emptyset=1,n=6.92$$

$use\;\; n=8\;\;\rightarrow$ چهار پیچ در هر طرف

کنترل مقاومت اتکایی در ورق شماره ۱:

$$\frac{T_{1u}}{8}=\frac{35.6}{8}=4.48\,T \text{ سهم هر پیچ},\emptyset R_{n1}=0.75\times 17=12.7\,T\;\rightarrow 4.48<12.7\;ok.$$

تعیین تعداد پیچ برای ورق شماره ۲

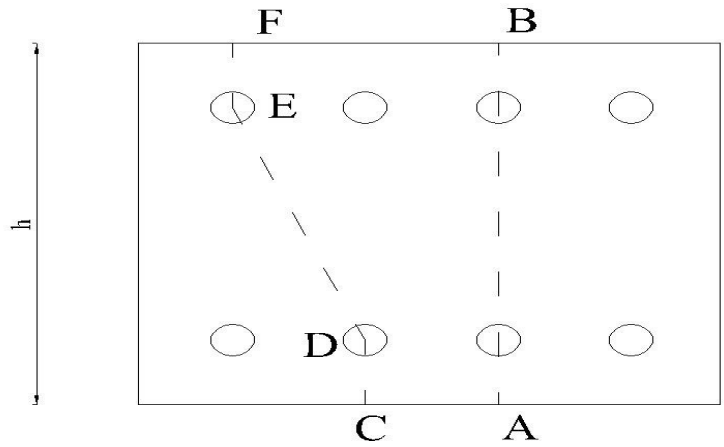
$$T_{2u}=14.4\;\rightarrow n=\frac{T_{2u}}{2(\emptyset\mu D_u h_f T_b n_s)},\emptyset=1,n=2.8\;\;use\;\;n=4$$

بدلیل اینکه دارای دورق از نوع شماره ۲ می باشیم نیروی T_{2u} نصف شده است.

کنترل مقاومت اتکایی در ورق شماره ۲

$$\frac{T_{2u}}{2(4)}=\frac{14.4}{8}=1.8\,T \text{ سهم هر پیچ},\emptyset R_{n1}=0.75\times 14=10.5\,T\;\rightarrow 1.8\;<10.5\;\;ok.$$

کنترل کفایت ضخامت ورق اتصال شماره ۱ در مقابل نیروی محوری



AB مسیر $A_n=ht-2(dt)=22\times 1.2-2(1.6+0.2)\times 1.2=22\;cm^2$

$CDEF$ مسیر $A_n=ht-2(dt)+\frac{s^2}{4g}t=22\times 1.2-2(106+0.2)\times 1.2+\frac{4.8^2}{4\times 11.6}\times 1.2=22.6\;cm^2$

$A_e=0.85A_g=22.4\;cm^2$

تسلیم کششی در مقطع عضو

$$T_{1u}<\emptyset F_y A_g\;\;\rightarrow\emptyset=0.9\;\;\rightarrow A_g=ht=26.4\;cm^2\;\rightarrow\;35.6<57\,T\;\;\;ok$$

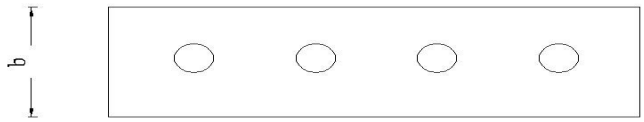
گسیختگی کششی در مقطع خالص

$$T_{1u} < \emptyset F_u A_n \rightarrow \emptyset = 0.75 \rightarrow 35.6 < 61\ T \quad ok$$

گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر

$$T_{1u} < \emptyset F_u A_e \rightarrow \emptyset = 0.75 \rightarrow 35.6 < 62\ T \quad ok$$

کنترل کفایت ضخامت ورق اتصال شماره ۲ در مقابل نیروی محوری



$$A_n = ht - 2(dt) = 6 \times 1 - (1.6 + 0.2) \times 1 = 4.2\ cm^2$$

$$A_e = 0.85 A_g = 5.1\ cm^2$$

تسلیم کششی در مقطع عضو

$$\frac{T_{2u}}{2} < \emptyset F_y A_g \rightarrow \emptyset = 0.9 \rightarrow A_g = ht = 6\ cm^2 \rightarrow 7.2 < 12.9\ T \quad ok$$

گسیختگی کششی در مقطع خالص

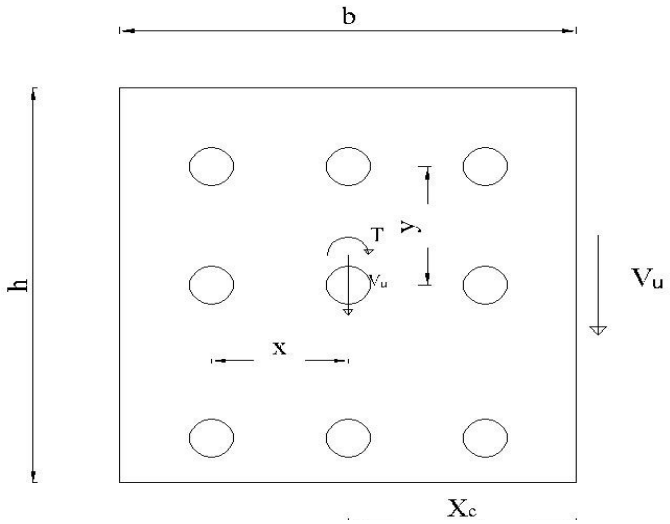
$$\frac{T_{2u}}{2} < \emptyset F_u A_n \rightarrow \emptyset = 0.75 \rightarrow 7.2 < 11.65\ T \quad ok$$

گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر

$$T_{1u} < \emptyset F_u A_e \rightarrow \emptyset = 0.75 \rightarrow 7.2 < 14.15\ T \quad ok$$

٦- ٢- ٤- طراحی ورق اتصال جان (ورق شماره ٣)

ورق اتصال جان در محل اتصال دو پروفیل تحت اثر برش V_u می باشد که با انتقال نیرو به مرکز سطح ورق اتصال جان ورق تحت اثر برش و پیچش خواهد بود. ابتدا تعداد و ارایش پیچ ها را فرض میکنیم و سپس با نیروی برشی و پیچش کنترل می شود.



با فرض استفاده از ۹ پیچ M16 مطابق شکل بالا داریم:

$T = V_u X_c \rightarrow X_c =$ مرکز هندسی پیچ ها $= \frac{b}{2}, b = 16\ cm \rightarrow T = 2.82\ T.m$

$f_{vy} = \frac{V_u}{9} = 3.73\ T$ سهم هر پیچ از نیروی برشی $f_{tx} = \frac{T.y}{J}$ سهم هر پیچ در راستای x از پیچش

$f_{ty} = \frac{T.x}{J}$ سهم هر پیچ در راستای y از پیچش $J = \sum(x_i^2 + y_i^2) =$ ممان اینرسی قطبی پیچ ها

↳ $J = 4(4.8^2 + 4.8^2) + 4(4.8^2) = 276.48 \rightarrow f_{tx} = 4.9T,\ f_{ty} = 4.9\ T$

برآیند نیرو ها $f_v = \sqrt{(f_{vy} + f_{ty})^2 + {f_{tx}}^2} = 10.1T$

$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s \rightarrow T_b = 9.1T, n_s = 2 \rightarrow R_{nv} = 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 9.1 \times 2 = 10.28\ T$

$f_v < \phi R_{nv} \rightarrow 10.19 < 1 \times 10.28$ ok مناسب است

کنترل ورق اتصال جان در مقابل برش و خمش

ورق اتصال جان تحت اثر برش $\frac{V_u}{2}$ و لنگر $e\frac{V_u}{2} = M$ می باشد. (نصف شدن نیرو ها بدلیل استفاده از جفت ورق اتصال جان است) سطح مقطع خالص A_n و ممان اینرسی خالص I_n و اساس مقطع پلاستیک خالص Z_n را در محل ردیف اول سوراخ از محل درز اتصال بدست می اوریم. ضخامت ورق برابر t=1.2

$A_n = ht - 3dt = 16 \times 1.2 - 3 \times 1.8 \times 1.2 = 12.72\ cm^2$

$I_n = \frac{h^3 t}{12} - 2dt(4.8)^2 = 310\ cm^4$

$Z_n = 2Q_n = 2(8 \times 1.2 \times 4 - 1.8 \times 4.8 \times 1.2) = 56.06 \ \ cm^3$

$M = \frac{V_u}{2} e = 0.53 \ T.m \ \rightarrow \ \phi M_n = 0.9 F_y Z_n = 1.21 \ T.m \ o.k$ مناسب است

$V_n = 0.6 F_y A_n \ \rightarrow \ 0.6 \times 2400 \times 12.72 = 18.4 \, T \quad \frac{V_u}{2} < \emptyset \, V_n$ متاسب نیست

٦- ٢- ٥- کنترل تیر در مقطع سوراخدار

اعضای دارای بال کششی سوراخ دار باید رابطه زیر را ارضا کنند[۴].

$F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$

سطح مقطع کلی بال کششی $A_{fg} = 15 \times 1.2 = 18 \ cm^2$

سطح مقطع خالص بال کششی $A_{fn} = 15 \times 1.2 - 2 \times 1.8 \times 1.2 = 13.68 \ cm^2$

$if \ \frac{F_y}{F_u} \leq 0.8 \ \rightarrow Y_t = 1$

$F_u A_{fn} = 3700 \times 13.68 = 50616 \, , \qquad Y_t F_y A_{fg} = 1 \times 2400 \times 18 = 43200, \qquad 50616 > 43200$ مناسب است

[۴] بند ۱۰- ۲- ۵- ۱۳- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۲)