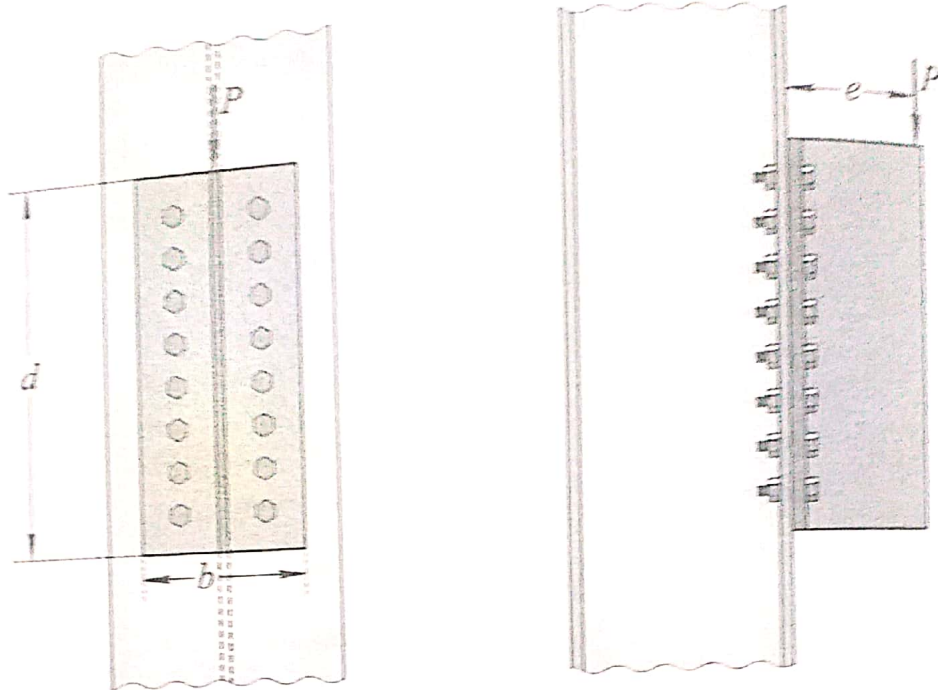


۵-۱۲-۲ اتصال پیچی تحت اثر هم‌زمان نیروی برشی و لنگر خمشی

چنانچه به اتصالات پیچی، بار خارج از محور اعمال شود، اتصال علاوه بر نیروی برشی، تحت اثر لنگر خمشی نیز قرار خواهد گرفت (شکل ۳-۳۲).



شکل ۳-۳۲ - اتصال پیچی تحت اثر هم‌زمان نیروی برشی و لنگر خمشی

در شکل ۳-۳۲ پیچ‌های اتصال بال سپری به بال ستون علاوه بر نیروی برشی تحت اثر لنگر خمشی $M = Pe$ نیز قرار دارند. هر چند تجزیه و تحلیل دقیق تنش‌ها در پیچ‌های اتصال پیچیده است؛ لیکن با فرضیات ساده‌کننده و با استفاده از اصول اولیه‌ی علم مکانیک جامدات، تنش‌های موجود در پیچ‌ها را تعیین می‌کنیم.

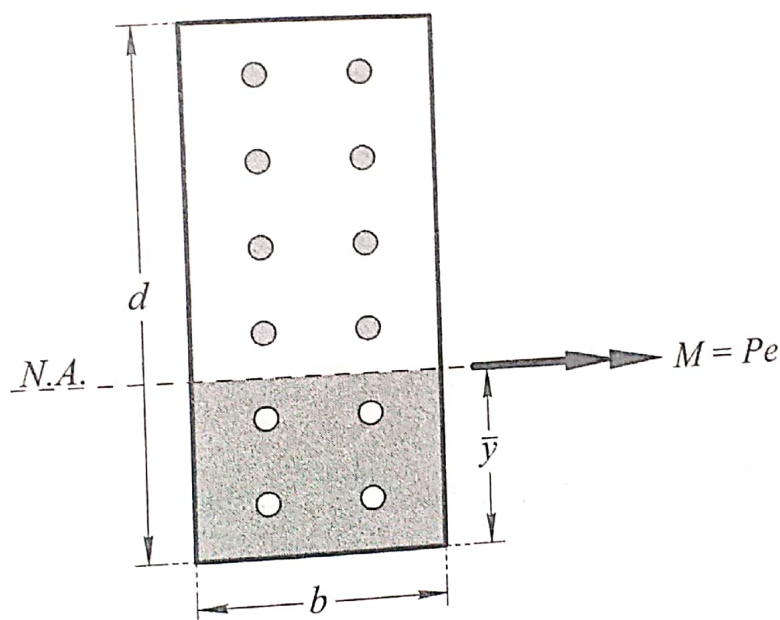
اصولاً اتصالات پیچی که لنگر خمشی را منتقل می‌کنند دو نوع عملکرد متفاوت از خود نشان می‌دهند. این دو عملکرد متفاوت ناشی از وجود یا عدم وجود پیش‌تنیدگی اولیه در پیچ‌های اتصال است؛ زیرا است:

الف- پیچ‌های اتصال فاقد نیروی پیش‌تنیدگی اولیه هستند

این حالت هنگامی رخ می‌دهد که از پیچ‌های معمولی نظیر A307 مطابق استاندارد ASTM یا A307 مطابق استاندارد ISO و یا از پرچ استفاده شود. استفاده از پیچ‌های پرمقاومت و عدم ایجاد پیش‌تنیدگی اولیه در آن‌ها نیز در این طبقه‌بندی قرار می‌گیرد. در شکل ۳-۳۲ چنانچه

هیچ گونه نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌ها موجود نباشد، لنگر خمشی $M = Pe$ موجب ایجاد فشار بین ورق‌های اتصال در قسمت پائینی و تولید کشش در قسمت بالایی مقطع اتصال خواهد شد. پیچ‌های ناحیه‌ی فشاری عملاً هیچ‌گونه نقشی در باربری ایفا نکرده ولی در قسمت کششی (ناحیه فوقانی) پیچ‌های اتصال نیروی کششی ناشی از لنگر خمشی را تحمل می‌کنند.

تجزیه و تحلیل اتصال در این حالت با استفاده از اصول خمش معمولی به آسانی امکان‌پذیر است. در شکل ۳-۳۳ مقطع مؤثر که در مقابل لنگر خمشی مقاومت می‌کند، نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۳ - مقطع مؤثر در برابر لنگر خمشی در حالتی که پیچ‌ها فاقد کشش اولیه باشند

تعیین محل محور خنثی در شکل ۳-۳۳ به کمک روش سعی و خطا به آسانی میسر است. برای حدس اولیه و با تقریب خوبی می‌توان ارتفاع محور خنثی $\bar{y}$ را برابر مقادیر بین $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{7}$ ارتفاع کل مقطع در نظر گرفت.

پس از تعیین محل محور خنثی، سایر خصوصیات هندسی مقطع نظیر ممان اینرسی تعیین گردیده و با استفاده از روابط معمول در علم مقاومت مصالح تنش‌های محاسباتی در اتصال مشخص خواهد شد. مثال ۳-۱۰ نحوه‌ی محاسبات را نشان می‌دهد.

مثال ۳-۱۰:

انصال شکل ۳-۳۴ تحت اثر همزمان لنگر خمشی M و نیروی برشی V قرار دارد، چنانچه پنج‌های اتصال از نوع A307 و با قطر ۲۲ میلی‌متر باشند، با نگرش طراحی LRFD مطلوبست.

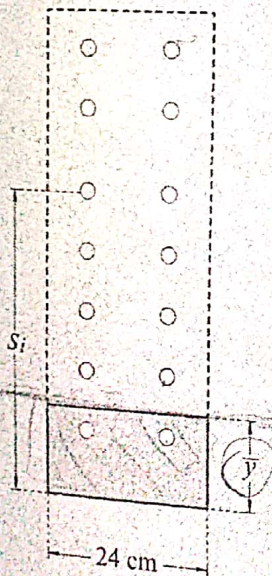
الف- تعیین $V_u = V_o$ برای حالتی که $M_u = 0$ است.

ب- تعیین $M_u = M_o$ برای حالتی که $V_u = 0$ است.

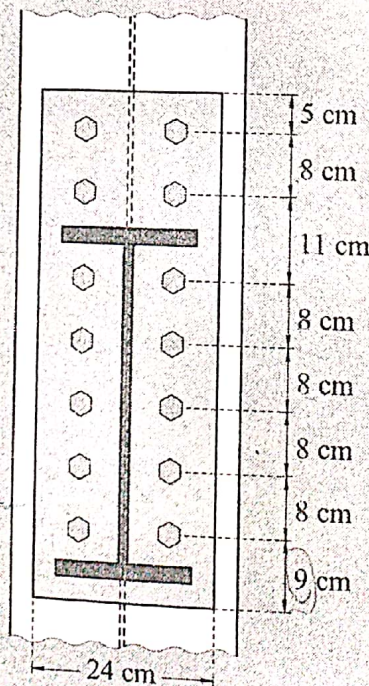
پ- تعیین لنگر خمشی M_u برای حالتی که $V_u = \frac{V_o}{2}$ است.

ت- تعیین نیروی برشی V_u برای حالتی که $M_u = \frac{M_o}{2}$ است.

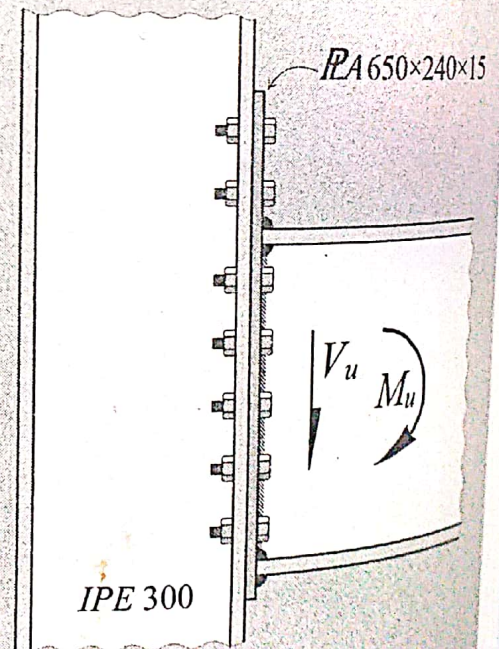
میدان را به در فاصله
نیز در این صورت
در هر سطح سمت
نشان را سازه
را $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$
را $F_u = 4000 \text{ kg/cm}^2$



ب- مقطع مؤثر
(ابعاد بر حسب سانتی‌متر)



ب- ابعاد بر حسب سانتی‌متر



الف

شکل ۳-۳۴ - مثال ۳-۱۰

حل:

با فرض $\bar{y} \cong \frac{d}{6} = 10/83$ تنها یک پیچ در ناحیه‌ی فشاری قرار می‌گیرد. بنابراین محل تار خنثی به طریق زیر محاسبه می‌شود،

$$b\bar{y}^2 = \sum A_{bi}(S_i - \bar{y})^2 \quad A_{bi} = 3/8 \text{ cm}^2, \quad b = 24 \text{ cm}$$

$$\frac{24\bar{y}^2}{2} = 2 \times 3/8 \times (17 + 25 + 33 + 41 + 52 + 60 - 6\bar{y}) \Rightarrow \bar{y} = 10/3 \text{ cm}$$

ممان اینرسی مقطع مؤثر برابر است با،

$$I = \frac{b\bar{y}^3}{3} + \sum A_{bi}(S_i - \bar{y})^2$$

$$I = \frac{24 \times 10^3}{3} + 2 \times 3/8 \times (6/7^2 + 14/7^2 + 22/7^2 + 30/7^2 + 41/7^2 + 49/7^2) = 53792/64 \text{ cm}^4$$

الف - $M_u = 0$

در این حالت پیچ‌ها فقط تحت برش خالص هستند و F_{nv} تنش برشی اسمی با فرض اینکه سطح برش از قسمت دندان‌ه شده نمی‌گذرد از جدول ۸-۳ برابر است با،

$$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \times 4000 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u = V_o \leq \phi R_{nv} = 0.75 \times 14 \times 3/8 \times 1800$$

$$V_o = 7182.0 \text{ kg}$$

$n_b \cdot A_{nb}$

ب - $V_u = 0$

در این حالت پیچ‌های فوقانی تحت کشش خالص هستند. F_{nt} تنش کششی اسمی پیچ از جدول ۸-۳ برابر است با،

$$F_{nt} = 0.75 F_u = 0.75 \times 4000 = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ut} = \frac{M_u d}{I} = \frac{M_o (60 - 10/3)}{53792/64} \leq \phi F_{nt} = 0.75 \times 3000 \Rightarrow M_o = 24352 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ب - $V_u = \frac{V_o}{2}$

$$V_u = \frac{V_o}{2} = \frac{7182.0}{2} = 3591.0 \text{ kg}$$

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n_b A_{nb}} = \frac{35910}{14 \times 3 / 8} = 675 \text{ kg/cm}^2$$

F'_{nt} تنش کششی اسمی تحت اثر توأم برش و کشش از رابطه‌ی (۳۵-۳) برابر است با،

$$F'_{nt} = 0.75 \times 4000 \left(\frac{1}{3} - \frac{675}{0.75 \times 0.45 \times 4000} \right) = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ut} = \frac{M_u d}{I} = \frac{M_u \times 49/7}{53792/64} \leq \phi F'_{nt} = 0.75 \times 2400 \Rightarrow M_u = 19482 \text{ kg.m}$$

$$M_u = \frac{M_o}{2}$$

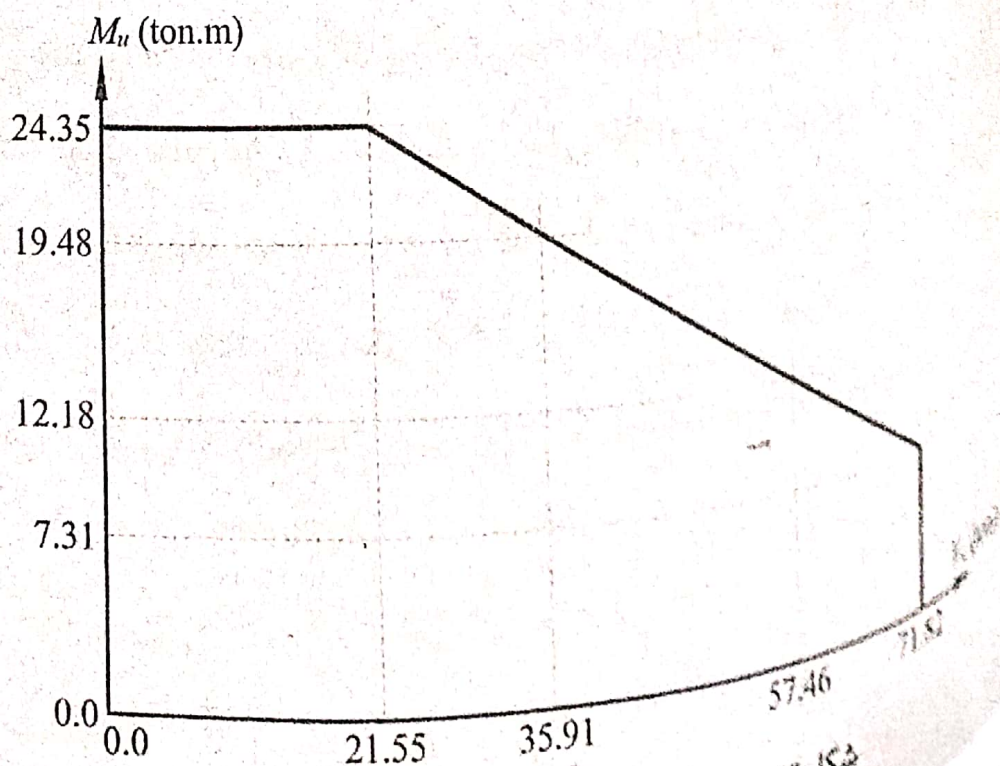
$$M_u = \frac{M_o}{2} = \frac{24353}{2} = 12176.5 \text{ kg.m}$$

$$f_{ut} = \frac{M_u d}{I} = \frac{12176.5 \times 49/7}{53792/64} = 1125 \text{ kg/cm}^2$$

F'_{nv} تنش برش اسمی تحت اثر توأم برش و کشش از رابطه‌ی (۳۷-۳) برابر است با،

$$F'_{nv} = 0.45 \times 4000 \left(\frac{1}{3} - \frac{1125}{0.75 \times 0.75 \times 4000} \right) = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u \leq \phi F'_{nv} n_b A_{nb} = 0.75 \times 1440 \times 14 \times 3 / 8 = 57456 \text{ kg}$$



شکل ۳-۳۵

ب - پیچ‌های اتصال دارای نیروی پیش‌تنیدگی اولیه هستند

هنگامی که از پیچ‌های پرمقاومت نظیر A325 و A490 مطابق استاندارد ASTM و یا (8.8) و (10.9) مطابق استاندارد ISO استفاده شود و در آن‌ها نیروی پیش‌تنیدگی T_b در اثر محکم کردن کافی ایجاد شود، تحت شرایطی که شرح داده خواهد شد ورق‌های اتصال به صورت یکپارچه در انتقال لنگر خمشی ایفای نقش می‌کنند.

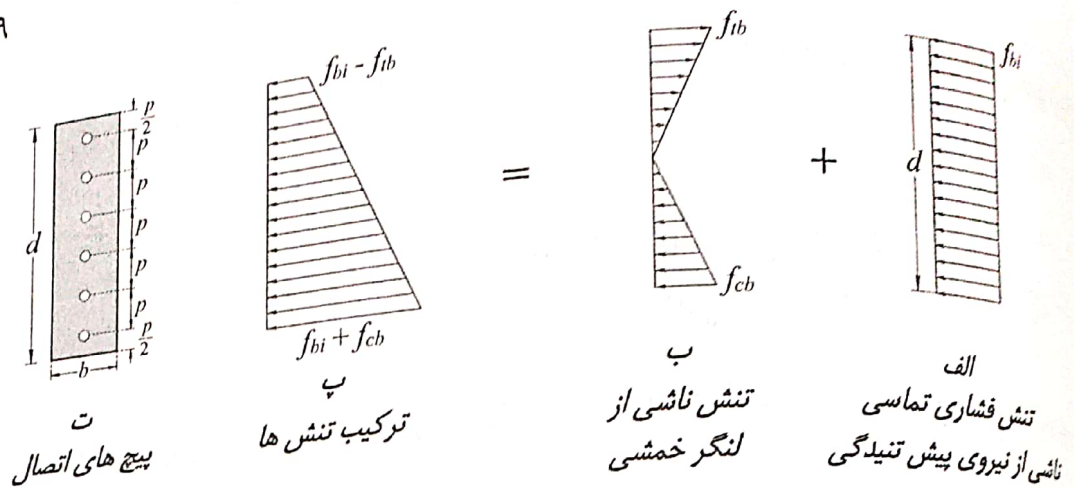
در شکل ۳-۳۲ چنان‌چه پیچ‌ها تحت کشش اولیه T_b قرار داشته باشند، تنش فشاری تماسی اولیه به صورت یکنواخت در محل اتصال ورق‌ها به وجود می‌آید (شکل ۳-۳۶-الف). با اعمال لنگر خمشی M بر موضع اتصال، چنان‌چه محل محور خنثی مرکز سطح ورق اتصال به ابعاد $b \times d$ باشد، توزیع تنش‌های خمشی مانند شکل ۳-۳۶-ب خواهد بود. این تنش تارهای فوقانی را تحت کشش و تارهای تحتانی را تحت فشار قرار می‌دهد. ترکیب تنش‌های تماسی فشاری و تنش‌های ناشی از لنگر خمشی در شکل ۳-۳۶-پ نشان داده شده است. نیروهای پیش‌تنیدگی T_b در پیچ‌ها با فرض توزیع یکنواخت، تنش‌های تماسی فشاری به شرح زیر ایجاد می‌کنند،

(۳-۶۲)

$$f_{bi} = \frac{\sum T_{bi}}{bd}$$

در رابطه‌ی (۳-۶۲)، $\sum T_{bi}$ مجموع نیروهای پیش‌تنیدگی در کلیه‌ی پیچ‌ها است.

۲۳۹



شکل ۳-۳۶- توزیع تنش های ناشی از لنگر خمشی در اتصال با پیش تنیدگی اولیه

چنانچه تنش فشاری f_{bi} به گونه ای باشد که هیچ گونه جدایی بین ورق های اتصال رخ ندهد، آن گاه محل محور خنثی در فاصله $\frac{d}{4}$ ارتفاع قرار داشته و تنش های کششی در تارهای بالایی ناشی از لنگر خمشی برابر خواهد بود با،

$$f_{tb} = \frac{6M}{bd^2}$$

(۶۳-۲)

شرط تحقق رابطه ی (۶۳-۳) این است که تنش خمشی کششی f_{tb} از تنش تماسی فشاری f_{bi} کمتر باشد $(f_{bi} > f_{tb})$.

T_{net} نیروی کششی خالص در روی هر پیچ، برابر حاصل ضرب سطح تماس هر پیچ در تنش f_t خواهد بود. چنانچه فاصله ی پیچ ها در جهت عمودی برابر p و عرض صفحه ی اتصال b باشد، (شکل ۳-۳۶- ت) آن گاه می توان نوشت،

$$T_{net} = f_{tb}bp$$

(۶۴-۲)

برای جایگزینی f_{tb} از رابطه ی (۶۳-۳)، تنش محور کششی اسمی f_t در پیچ های فوقانی برابر خواهد بود با،

$$f_t = \frac{T_{net}}{A_{nb}} = \frac{6Mp}{A_{nb}d^2}$$

(۶۵-۲)

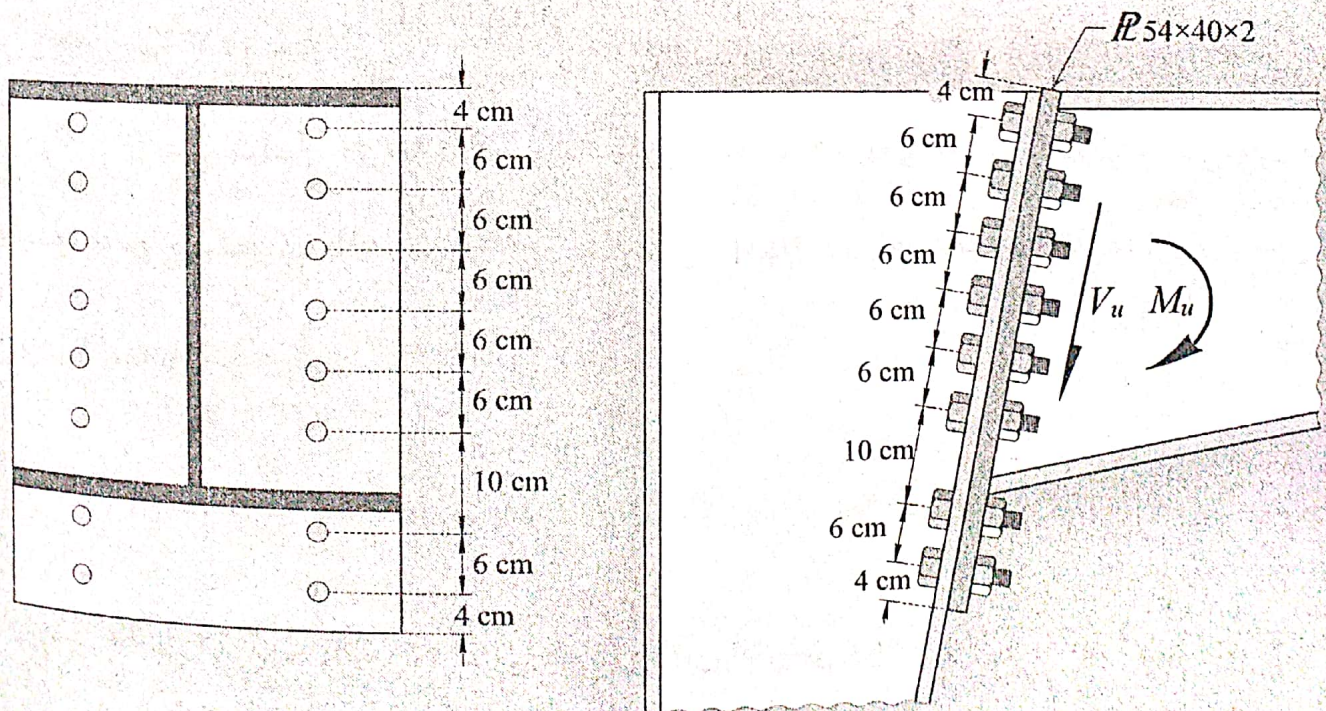
در اتصال قاب صنعتی نشان داده شده در شکل ۳-۳۷ چنانچه از ۱۶ عدد پیچ با قطر ۲۰ میلی‌متر استفاده شود. مطلوبست:

الف - اگر پیچ‌های اتصال از نوع ۴.۶ مطابق استاندارد ISO باشند، حداکثر نیروی برشی $V_u = V_o$ در حالتی که $M_u = 0$ است را تعیین کنید.

ب - اگر پیچ‌های اتصال از نوع ۴.۶ باشند، در صورتی که $V_u = \frac{V_o}{3}$ باشد حداکثر لنگر خمشی M_u که می‌توان به اتصال اعمال نمود را تعیین کنید.

پ - اگر پیچ‌های اتصال از نوع ۸.۸ با عملکرد اصطکاکی باشند، حداکثر نیروی برشی $V_u = V_o$ در حالتی که $M_u = 0$ است را تعیین کنید.

ت - اگر پیچ‌های اتصال از نوع ۸.۸ با عملکرد اصطکاکی باشند، حداکثر لنگر خمشی که می‌توان به اتصال اعمال نمود را تعیین کرده و براساس آن مقاومت برشی اتصال را محاسبه کنید. وضعیت سطحی کلاس A است.



شکل ۳-۳۷ - اتصال قاب صنعتی مثال ۳-۱۱

حل: الف - تنش برشی اسمی پیچ 4.6 برابر است با،

$$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \times 4000 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

برای تعیین ظرفیت برشی اتصال می توان نوشت،

$$V_u \leq \phi F_{nv} n_b A_{nb} = 0.75 \times 1800 \times 16 \times \pi \Rightarrow V_u = 67858 \text{ kg}$$

ب - پیچ های نوع 4.6 نمی توانند نیروی پیش تنیدگی تحمل کنند بنابراین تنش تماسی فشاری در

بین ورق اتصال و بال ستون وجود ندارد. با فرض اولیه $\bar{y} = \frac{d}{6} = 9 \text{ cm}$ تنها یک پیچ در

قسمت فشاری قرار می گیرد. برای محاسبه ی محل محور خنثی در این حالت می توان نوشت،

$$20 \bar{y}^2 = 2\pi(10 + 20 + 26 + 32 + 38 + 44 + 50 - 7\bar{y}) \Rightarrow \bar{y} = 7/3 \text{ cm}$$

ممان اینرسی مقطع مؤثر برابر خواهد بود با،

$$I = \frac{40 \times 7/3^3}{3} + 2\pi \left(2/7^2 + 12/7^2 + 18/7^2 + 24/7^2 + 30/7^2 + 36/7^2 + 42/7^2 \right)$$

$$I = 38117/3 \text{ cm}^4$$

تنش موجود کششی برابر خواهد بود با،

$$f_{ut} = \frac{M_u (50 - 7/3)}{38117/3} = \frac{M_u}{892/7}$$

تنش موجود برشی برابر خواهد بود با،

$$V_u = \frac{V_o}{3} = \frac{67858}{3} = 22619 \text{ kg}$$

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n_b A_{nb}} = \frac{22619}{16 \times \pi} = 450 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطه ی (۳-۳۵) تنش کششی اسمی تعیین می شود،

$$F'_{nt} = 0.75 \times 4000 \left(1/3 - \frac{450}{0.75 \times 0.45 \times 4000} \right) = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

برای تعیین حداکثر لنگر خمشی می توان نوشت،

$$f_{ut} = \frac{M_u}{892/7} \leq \phi F'_{nt} = 0.75 \times 2900 \Rightarrow M_u = 19/42 \text{ t.m}$$

پ - R_{nv} مقاومت برشی اسمی از رابطه ی $R_{nv} = 0.3 \times 1/13 \times 1 \times 0.55 \times 8000 \times \pi \times 1 = 4686 \text{ kg}$

برای تعیین ظرفیت برشی اتصال در این حالت خواهیم داشت،
 $V_u \leq \phi R_{nv} n_b = 1 \times 4686 \times 16 \Rightarrow V_u = 74976 \text{ kg}$

ت - نیروی پیش تنیدگی پیچ در این حالت برابر است با،
 $T_b = 0.55 A_{nb} F_u = 0.55 \times \pi \times 8000 = 13823 \text{ kg}$

تنش فشاری تماسی موجود بین ورق اتصال و بال ستون برابر خواهد بود با،

$$f_{bi} = \frac{\sum T_i}{bd} = \frac{16 \times 13823}{54 \times 40} = 10.2/4 \text{ kg/cm}^2$$

برای این که بین ورق های اتصال جدایی رخ ندهد، f_{tb} حداکثر تنش کششی ناشی از لنگر خمشی M_u باید برابر f_{bi} باشد، بنابراین می توان نوشت،

$$f_{tb} = \frac{6M_u}{bd^2} = \frac{6 \times M_u}{40 \times 54^2} = 10.2/4 \Rightarrow M_u = 19/9 \text{ t.m}$$

تنش موجود کششی در پیچ از رابطه ی (۷۰-۳) به دست می آید. ممان اینرسی مجموعه ی پیچ ها حول مرکز سطح ورق اتصال برابر است با $(\bar{y} = d/2 = 27 \text{ cm})$ ،

$$I = 2\pi (23^2 + 17^2 + 11^2 + 5^2 + 1^2 + 7^2 + 17^2 + 23^2) = 11511 \text{ cm}^4$$

$$f_t = \frac{M_u y}{I} = \frac{19/9 \times 1.5 \times 23}{11511} = 3976 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل تنش کششی در پیچ ها

مناسب است. $f_{ut} < \phi F_{nt} \Rightarrow 3976 \text{ kg/cm}^2 < 0.75 \times 0.75 \times 8000 = 4500 \text{ kg/cm}^2$
 بنابراین می توان حداکثر لنگر خمشی $M_u = 19/9 \text{ t.m}$ را به اتصال اعمال نمود.

کنترل برش در پیچ و تعیین برش نهایی

K_{sc} ضریب کاهش مقاومت برشی اسمی پیچ اصطکاکی تحت اثر توأم برش و کشش از رابطه‌ی (۳-۴۰) تعیین می‌شود، نیروی کششی T_u در پیچ در اثر اعمال لنگر خمشی $M_u = 19/9 \text{ t}\cdot\text{m}$ برابر است با،

$$T_u = f_{ut} A_{nb} = 3976 \times \pi = 12491 \text{ kg}$$

$$K_{sc} = 1 - \frac{12491}{1/13 \times 13823 \times 1} = 0.2$$

در این صورت اتصال در اثر اعمال لنگر خمشی M_u ، به میزان ۸۰ درصد مقاومت برشی اصطکاکی خود را از دست می‌دهد.

$$R'_{nv} = K_{sc} R_{nv} = 0.2 \times 4686 = 937/2 \text{ kg}$$

حداکثر نیروی برشی که می‌توان در این حالت ($M_u = 19/9 \text{ t}\cdot\text{m}$) به اتصال اعمال نمود برابر است با،

$$V_u \leq \phi R'_{nv} n_b = 1 \times 937/2 \times 16 \Rightarrow V_u = 14995 \text{ kg}$$