فیلم های آموزشی دروس بتن و فولاد

ICIVIL

فیلم آموزشی طراحی سازه های فولادی ۱

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

بسمه تعالی

دانشگاه ملایر

طراحی سازه های فولاد ۲

بر اساس مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲

مدرس: مصطفی فتحی سپهوند

خرداد ۱۳۹۳

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

فهرست مطالب

۱ مروری بر مباحث فولاد ۱ ..... ۱

۱.۱ روش طراحی LRFD ۱

۱.۲ فشردگی، غیر فشردگی و لاغر بودن اجزا تحت فشار ناشی از خمش ٦

۱.۳ اعضای تحت اثر نیروی خمشی ۱۰

۱.٤ فشرده یا لاغر بودن اجزاء مقطع تحت اثر نیروی محوری فشاری ۲۰

۱.۵ اعضای تحت اثر نیروی فشاری ۲۱

۱.٦ طراحی تیر ستونها ۲٤

۲ طراحی تیرورقها ۲۵

۳ جوش (WELDING) ٦۰

٤ اتصالات پیچی ۸۸

۵ اتصالات ۱۱۵

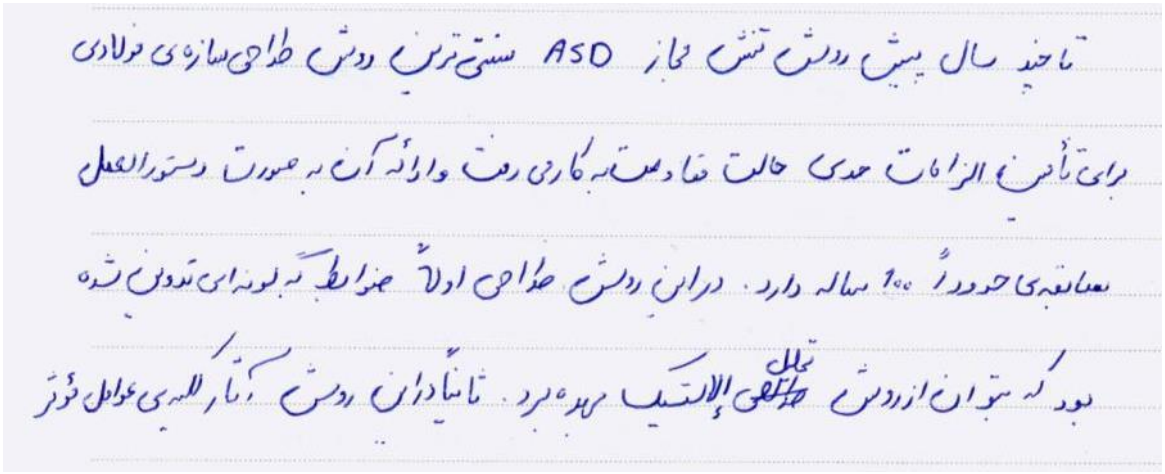
۵.۱ اتصال ساده با نبشی جان ۱۱٦

۵.۲ اتصال ساده با نبشی نشیمن ۱۲۳

۵.۳ اتصالات گیردار ۱۲۹

۱ مروری بر مباحث فولاد ۱

۱.۱ روش طراحی LRFD


تا چند سال پیش روش تنش مجاز ASD سنتی ترین روش طراحی سازه‌ی فولادی
برای تأمین الزامات حدی حالت مقاومت به کار می رفت و ارائه آن به صورت دستورالعمل
بعلاقه‌ی حدوداً ۱۰۰ ساله دارد. در این روش طراحی اولاً ضوابط به گونه‌ای تدوین شده
بود که بتوان از روش تحلیل خطی الاستیک بهره برد. ثانیاً در این روش کنترل نسبی عوامل مؤثر

برای تأمین کلیه عوامل مؤثر برای یک حاشیه‌ی ایمنی معقول و منطقی تنها به کمک یک ضریب به نام ضریب اطمینان و فقط در یک مرحله صورت می‌شد. در سه دهه‌ی اخیر آیین نامه نویسان کشورهای پیشرفته تلاش نموده‌اند آیین نامه‌ای تدوین کنند که در آن از یک طرف برای تحلیل سازه بتوان از روش تحلیل الاستیک استفاده و از طرف دیگر مقاومت اعضای سازه در حالت‌های حدی نهایی محاسبه شوند. در حال حاضر این شیوه که در طراحی سازه‌های فولادی به روش بار و مقاومت (LRFD) موسوم است در اکثر کشورهای

LRFD : Load and Resistance Factor Design

پیشرفته رواج یافته و ویرایش مبنایی مبحث 10 مقررات ملی ساختمان، (ویرایش 92) نیز فقط برای این روش تدوین گردیده است.

با توجه به این که در این روش طراحی حاشیه‌ی ایمنی لحاظ شده در دو مرحله (افزایش بار به کمک ضرایب بار و تبدیل مقاومت به کمک ضرایب کاهش مقاومت) صورت می‌گیرد لذا می‌توان گفت که طراحی به روش LRFD منطقی‌تر و اقتصادی‌تر از روش تنش مجاز بوده و به همین خاطر در اکثر کشورهای پیشرفته به جز شاید زلزله خیز طراحی به روش LRFD از اقبال عمومی بیشتری برخوردار بوده است.

حالت های حدی :

به شرایطی اطلاق می شود که اگر اعضای یا بخشی از سازه به هریک از آن حالت ها برسند تا دیگر به انجام وظایف خود نبوده و از حیز انتفاع خارج می شود .

مشخصات سازه ای باید به گونه ای باشد که تحت شرایط بارگذاری محتمل به هیچ یک از حالت های حدی نرسد .

انواع حالت های حدی :

1 - حالت حدی مقاومت

حالت هایی هستند که تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری تا رسیدن به آن حالت ها (تغییر شکل ، گسیختگی ، کمانش و ...) از مقاومت کافی و شکل پذیری مورد نیاز برخوردار بوده ولی از رسیدن به هریک از آنها پایداری خود را از دست می دهد .

حالت های حدی بهره برداری

حالت هایی هستند که مجموعه سازه تا رسیدن به آن حالت ها از نظر قابلیت نگهداری ، حفظ ظاهر ، دوام ، آسایش و حفظ ظاهر

وظایف خود را به طور کامل انجام می دهند و پس از رسیدن به هریک از این حالت ها قادر

به انجام وظایف خود نخواهند بود.

ضریب کاهش مقاومت ← مقاومت اسمی

$R_u \leq \phi R_n$

نیروهای موجود ← مقاومت طرح

از تحلیل سازه محاسبه می شود ← آیین نامه می دهد

ترکیبات بارگذاری ... برای محاسبه ی R_u نیازه

۱- حالت های حدی مقاومت (مبحث ۶ مقررات ملی 1392)

1) $1.4\,D$

2) $1.2\,D + 1.6\,L + 1.5\,(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

D: بار مرده — L: بار زنده به جز بار زنده بام — L_r: بار زنده بام — S: بار برف — R: بار باران

3) $1.2\,D + 1.6\,(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5\,(1.4\,W)]$

W: بار باد

4) ...

5) $0.9\,D + 1.0\,E + L + 0.2\,S$

E: بار زلزله

۲ ـ حالت کلی حدی بهره برداری

1) D
2) D + L
3) D + (Lr یا S یا R)
4) D + L + (Lr یا S یا R)
5) D + T
6) D + L + T + (Lr یا S)

بارخودکرنش مانداثرات
(دما، نشست دوارتعلی)

واحدهای به کاررفته ← SI

نیرو N ، KN

طول m و mm

لنگر N.m ، KN.m

تنش $1\frac{N}{mm^2} = MPa$ و Pa

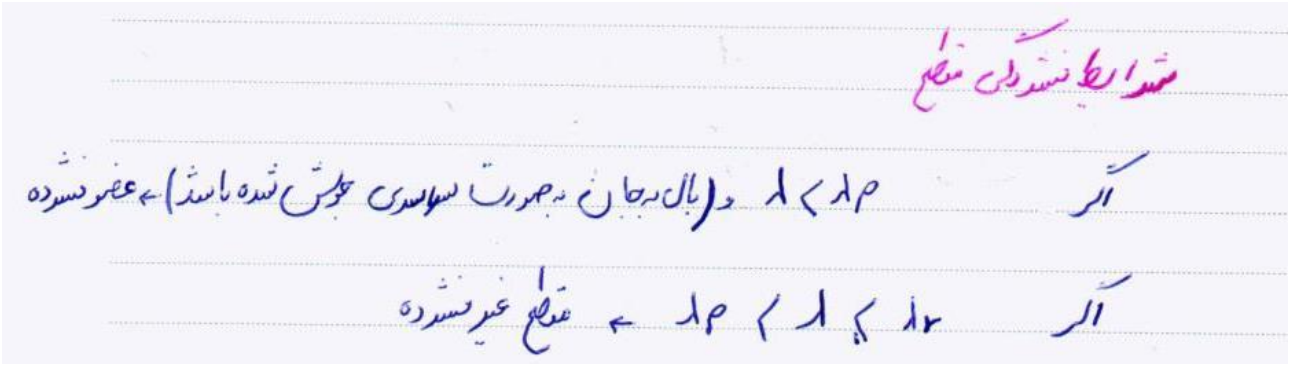
* مشخصات فولاد

$E = 2 \times 10^5$ MPa

$\nu = 0.3$

St37: $F_y = 240$ MPa, $F_u = 370$ MPa

۲.۱ فشردگی، غیر فشردگی و لاغر بودن اجزا تحت فشار ناشی از خمش



اگر $\lambda > \lambda_r$ ← مقطع لاغر (مجاز به استفاده فقط در جان تیر ورق‌ای)

نسبت‌هایی برای ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده تحت خمش

(جدول ۱۰-۲-۲-۳ صفحه‌ی 30) و بال فشاری تحت خمش

λ_r	λ_p	نسبت λ	مقطع
$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بال نورد شده — بال ورق — سپری — ناودانی توگار خونه درست شده خمش حول محور قوی یا ضعیف
$0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t_w}$	بال تیر ورق بانک یا دو محور تقارن

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \quad 0.76 \le K_c \le 0.76$$

$$F_L = \begin{cases} 0.7F_y & \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge 0.7 \\ \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y & \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \end{cases}$$

اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی

اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

$$\begin{cases} S_{xt} = \frac{I}{y_t} \\ S_{xc} = \frac{I}{y_c} \end{cases}$$

λ_r	λ_p	نسبت λ	مقطع
$0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.54\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	نبشی تک
$1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{d}{t}$	جان ناودانی
$5.9\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.96\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t_w}$	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و مقاطع ناودانی
$5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\left(0.54\frac{M_p}{M_y}-0.09\right)^2 \le \lambda$	$\frac{h_c}{t_w}$	مقطع I تک محور تقارن

اساس مقطع پلاستیک

لنگر پلاستیک مقطع $M_p = Z F_y$

لنگر آستانه‌ی تسلیم $M_y = S_x F_y$

لنگر پلاستیک و اساس مقطع پلاستیک

$f \le F_y$

$M = S_x F$

توزیع تنش در مقطع

moment

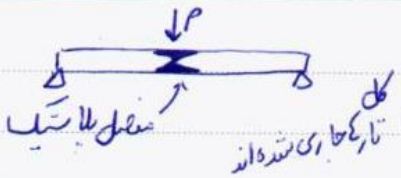
$f = F_y$

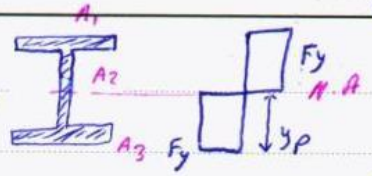
لنگر آستانه‌ی تسلیم $M_y = S_x F_y$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject
Date

اساس مقاطع کاملاً پلاستیک

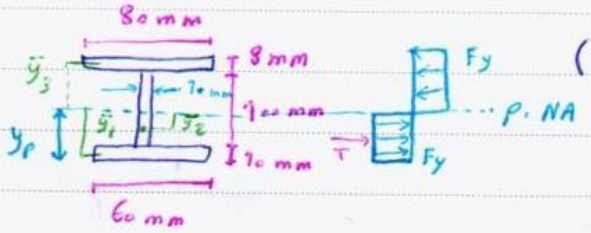




$M_P = \sum F_y$

$M_P = \sum F_y A_i \bar{y}_i = F_y \sum A_i \bar{y}_i$

مثال: در مقطع زیر مرکز سطح پلاستیک، اساس مقطع پلاستیک، M_y ، M_P را محاسبه کنید



$(F_y = 240\ MPa)$

از تعادل نیروها در مقطع y_p بدست می‌آید.

$$\underbrace{[(60\times10)+(y_p-10)\times10]F_y}_{T} = \underbrace{[(80\times8)+(110-y_p)\times10]F_y}_{C}$$

$$600+10y_p-100 = 640+1100-10y_p \Rightarrow y_p = 62\ mm$$

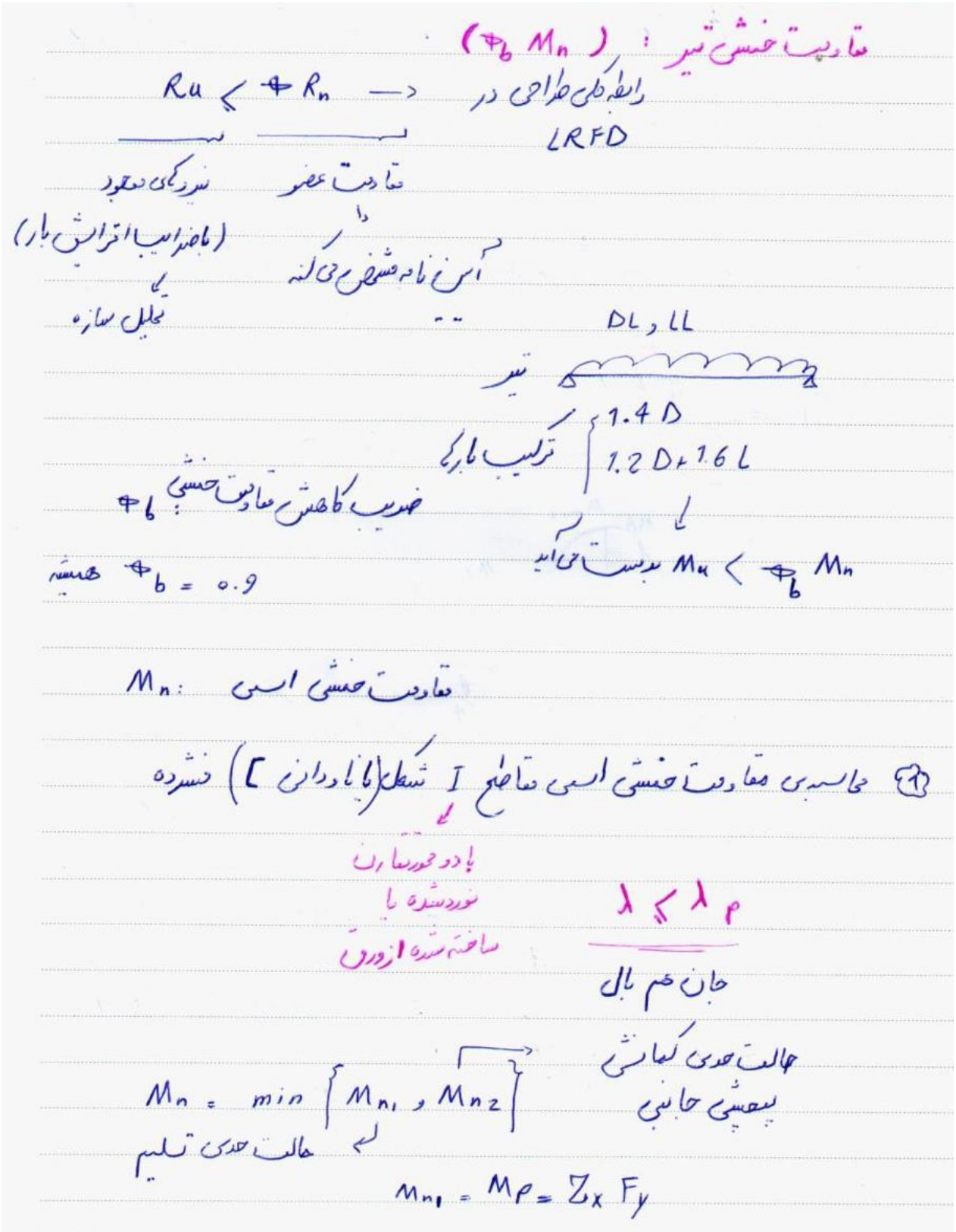
اساس مقطع پلاستیک $Z = \sum A_i \bar{y}_i$

$$= (60\times10)(62-\tfrac{10}{2}) + (100\times10)(62-60) + (80\times8)(118-\tfrac{8}{2}-62) = \ldots\ mm^3$$

$$M_P = Z \times F_y$$

$$\begin{cases} S_{xc} = \dfrac{I}{y_c} \quad , \quad S_{xt} = \dfrac{I}{y_t} \\ M_{yc} = S_{xc} F_y \\ M_{yt} = S_{xt} F_y \end{cases}$$

۳.۱ اعضای تحت اثر نیروی خمشی



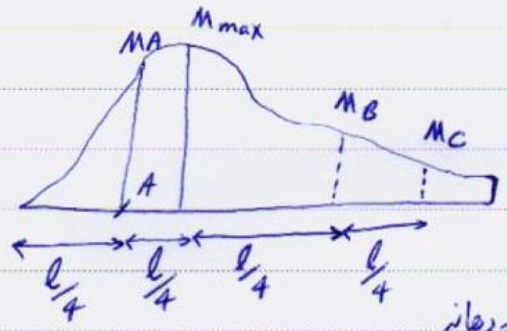
اگر $L_b \leqslant L_p$ نیازی به در نظر گرفتن کمانش پیچشی جانبی نیست

$$M_{n2} = \begin{cases} C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \dfrac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leqslant M_p & L_p < L_b \leqslant L_r \\ F_{cr} S_x \longrightarrow & L_b > L_r \end{cases}$$

C_b : ضریب یکنواختی لنگر ؛ ضریب اصلاح کمانش پیچشی جانبی

قدر مطلق حداکثر لنگر

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$



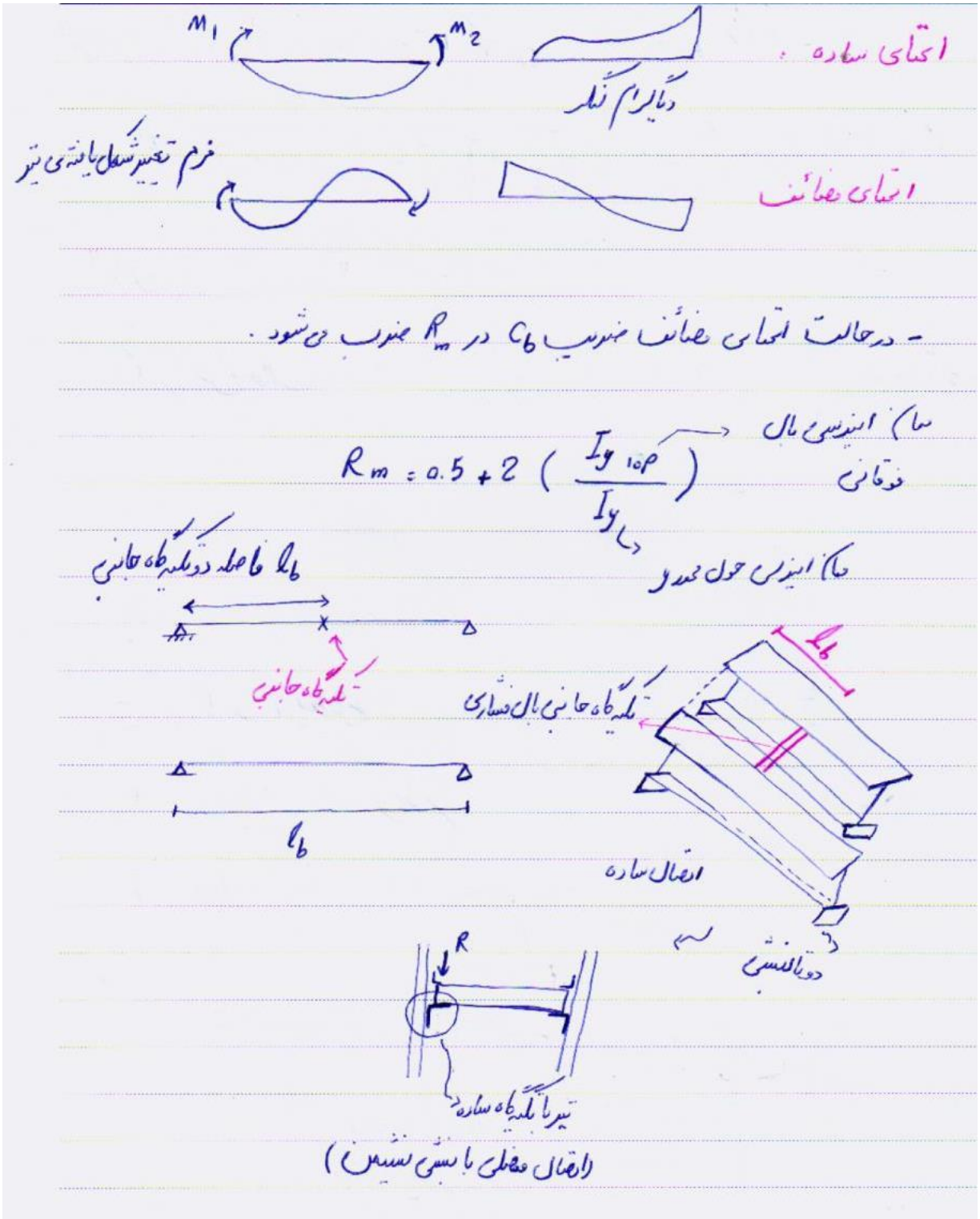
M_A : قدر مطلق لنگر در $\frac{1}{4}$ دهانه

M_B : قدر مطلق لنگر در وسط دهانه

M_C : قدر مطلق لنگر در $\frac{3}{4}$ دهانه

$C_b = 1$ برای تیرهای طره ای

C_b برای مقاطع نامتقارن به صورت محافظه کارانه ای می توانیم 1 در نظر بگیریم .


انحنای ساده :
M_1
M_2
دیاگرام لنگر
فرم تغییر شکل یافته‌ی تیر
انحنای مضاعف
- در حالت انحنای مضاعف ضریب C_b در R_m ضرب می‌شود .
$R_m = 0.5 + 2\left(\frac{I_{y\,top}}{I_y}\right)$
$I_{y\,top}$ ممان اینرسی بال فوقانی
I_y ممان اینرسی حول محور y
l_b فاصله دو تکیه‌گاه جانبی
تکیه‌گاه جانبی
تکیه‌گاه جانبی بال فشاری
l_b
انحنای ساده
دو انتهایی
R
تیر با تکیه‌گاه ساده
(انحنای مضاعف با بستن نشیمن)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ubject
ate

پیچش جانبی غیرارتجاعی را تشخیص می‌دهد)

"طول مهار نشده‌ی عضو" (بررسی حالت حدی تسلیم و کمانش

$$L_p = 1.76\, r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95\, r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{JC}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{JC}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

"طول مهار نشده‌ی عضو"

(که بررسی حالت حدی کمانش پیچشی جانبی غیرارتجاعی و کمانش پیچشی جانبی ارتجاعی را تشخیص می‌دهد)

r_y : شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف

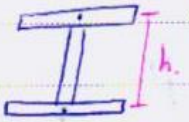
J : ثابت پیچش

$$J = \frac{1}{3} \sum b t^3$$

r_{ts} : شعاع ژیراسیون مؤثر

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

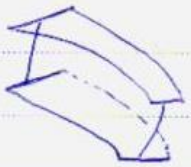
h_o : فاصله‌ی مرکز تا مرکز بالها



ضریب C =
- $1 \longrightarrow$ برای مقاطع I شکل
- $\frac{h_o}{2}\sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$ برای مقاطع ناودانی

C_w : ضریب پیچشی (تابیدگی)

مقاطع دایره‌ای ← $C_w = 0$



$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$$

برای مقاطع I شکل

$C_w = 0$ ○ ◎ L T +

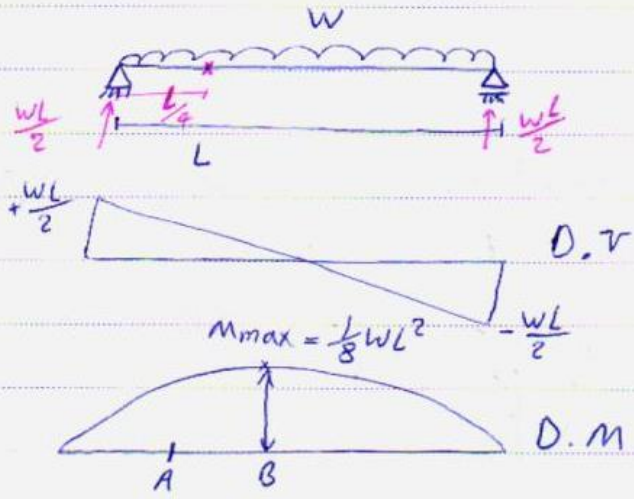
تنش بحرانی کمانش الاستیک

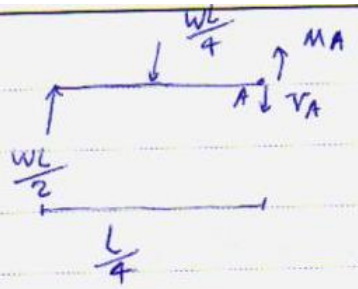
$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{l_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{l_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

به طور محافظه کارانه ای می توان مساوی یک در نظر گرفت. ← تبصره‌ی زیر بند پایین صفحه ۶۵

بند (۱-۲-۵-۲ صفحه ۶۳ - سال ۹۲)

مثال): ضریب C_b را برای تیر دو سر ساده با بارگذاری یکنواخت بدست آورید.



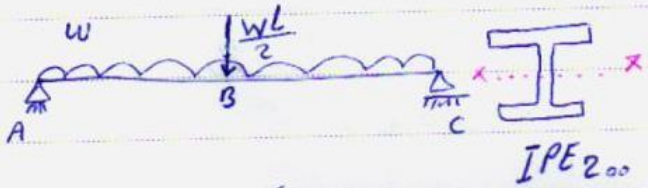


$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \rightarrow \frac{wL}{2} \times \frac{L}{4} - \frac{wL}{4} \times \frac{L}{8} - M_A = 0$

$M_C = M_A = \frac{1}{8} w l^2 - \frac{1}{32} w l^2 = \frac{3}{32} w l^2$

$C_b = \frac{12.5\, M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5(\frac{1}{8})}{2.5(\frac{1}{8}) + 3(\frac{3}{32}) + 4(\frac{1}{8}) + 3(\frac{3}{32})} = 1.14$

تمرین : برای تیر زیر حداکثر مقدار M_n را محاسبه کنید .



در نقطه B مهاربندی جانبی وجود (الف

ندارد

و سر سره (ب

دارد

(2)

حالت 2) مقاومت خمشی اسمی مقطع I شکل با دو محور متقارن با بالهای غیر فشرده

M_n

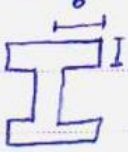
flange

و جان فشرده (خمش حول محور قوی)

$M_n = \min \{ M_{n2}, M_{n3} \}$

حالت قبل محاسبه شود

$M_{n3} = M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}$



$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$ ، $\lambda_{pf} = \lambda_p$ مربوط به بال

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ مربوط به بال

حالت 2) (بند 1-2-5-3 صفحه ۲۲)

حالت 3) مقاومت خمشی اسمی مقاطع I شکل بایک یا دو محور تقارن با بالهای فشرده یا غیر فشرده و باجان فشرده یا غیر فشرده .

مقاومت خمشی اسمی در این حالت از کوچکترین مقدار محاسبه شده در چهار حالت زیر بدست می آید (بند 1-2-5-4 صفحه ۶۷)

الف) تسلیم بال فشاری

$M_n = R_{pc} M_{yc}$

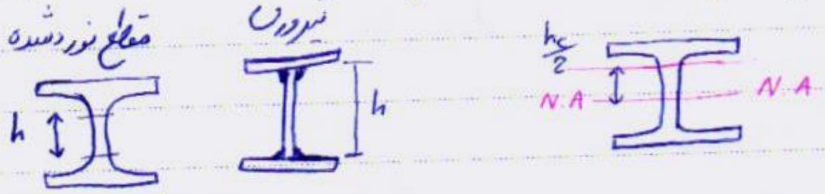
M_{yc} گشتاور تسلیم بال فشاری

$(M_{yc} = S_{xc} F_y)$

R_{pc} ضریب پلاستیک جان شفاف =

$$\begin{cases} \frac{M_p}{M_{yc}} \longrightarrow \text{if } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \text{ , } \frac{h}{t_w} \leq \lambda_{pw} \\ \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)\right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \longrightarrow \\ \text{if } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \text{ , } \frac{h}{t_w} > \lambda_{pw} \\ 1 \longrightarrow \text{if } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23 \end{cases}$$

I_{yc} : ممان اینرسی بال فشاری حول محور y



باید کنترل بشه $M_p = \Sigma F_y \leq 1.6 F_y S_{xc}$

$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$ (لاغری جان)

جان $\lambda_{pw} = \lambda_p$ جان $\lambda_{rw} = \lambda_r$

ب) کمانش پیچشی جانبی

if $l_b \leq l_p$ نزدیکی به دو تقریش کمانش پیچشی جانبی نمی باشد.

if $l_p < l_b \leq l_r \longrightarrow M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{l_b - l_p}{l_r - l_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc}$

R_{pc} : ضریب پلاستیک جان مقطع (الف)

if $l_b > l_r \longrightarrow M_n = F_{cr} S_{xc}$

F_{cr} : تنش بحرانی کمانش الاستیک پیچشی جانبی (حالت 2 قبلی M_n)

$$\begin{cases} l_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ l_r = 1.95 r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_{xc} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E}\right)^2}} \end{cases}$$

$J = \frac{1}{3} \sum b t^3$

if $\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.3 \longrightarrow J = 0$

برای مقاطع I شکل با بال فشاری مستطیلی

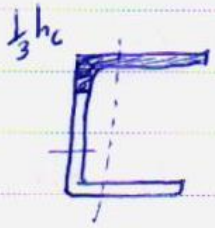
$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6}a_w\frac{h^2}{h_0 d}}}$$

r_t شعاع ژیراسیون مؤثر مربوط به کمانش پیچشی جانبی

$r_t = \frac{1}{3}$ (شعاع ژیراسیون بال فشار + $\frac{1}{3}$ ناحیه فشاری جان)

نسبت به محور ضعیف مقطع

مقطع نامدور یا بال فشار مقطع I غیر مستطیلی



$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}$$

$$F_L = \begin{cases} 0.7F_y \longrightarrow \text{if } S_{xt} \geq 0.7 \\ F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \longrightarrow \text{if } \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \end{cases}$$

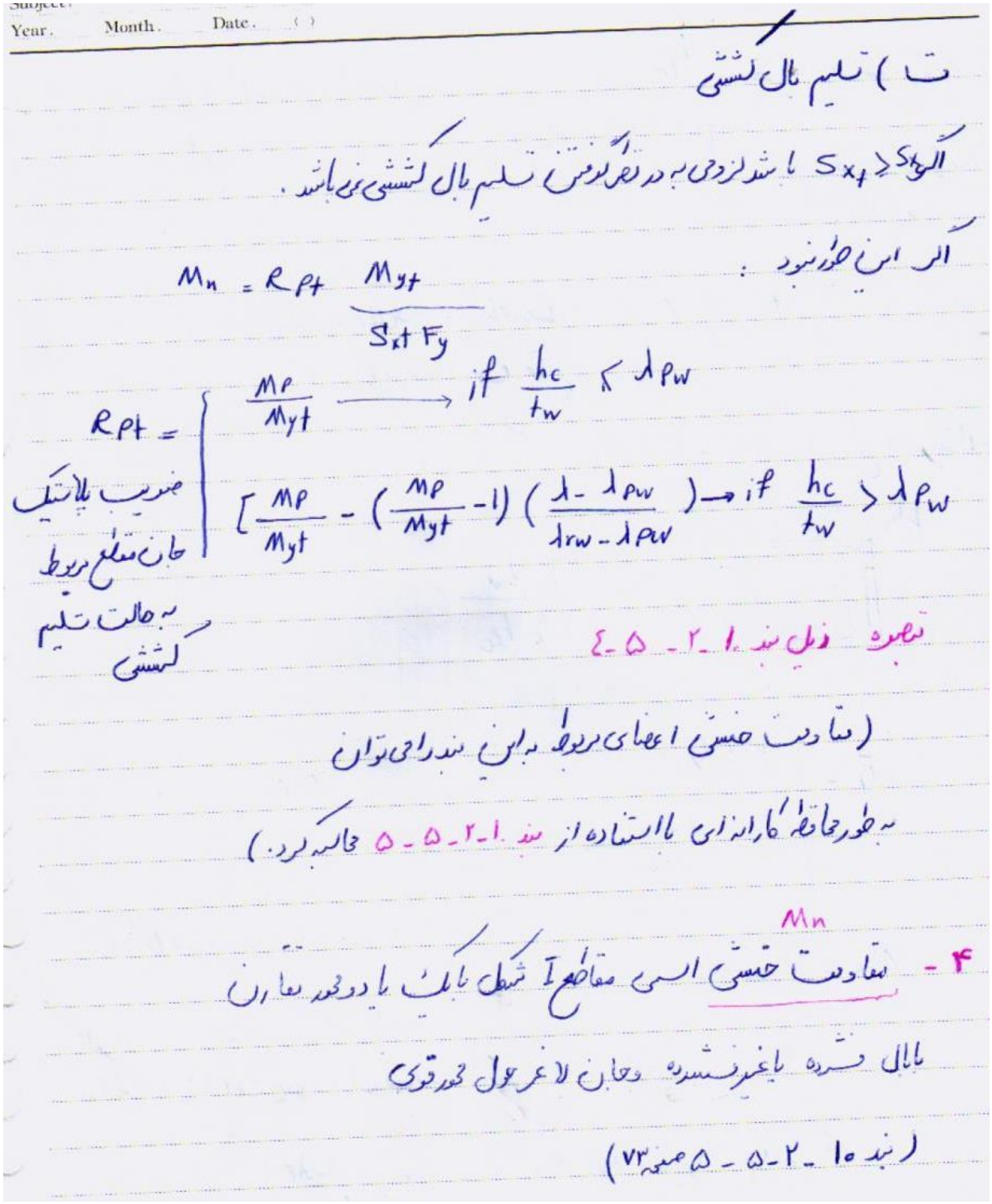
ب) کمانش موضعی بال فشاری

M_n = نیازیست

اگر بال فشاری مقطع فشرده باشد نیازی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال فشاری نمی‌باشد.

لاغری بال فشاری

اگر فشرده نباشد $M_n = R_{pc}M_{yc} - (R_{pc}M_{yc} - F_L S_{xc})\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$



(این قسمت که مربوط به محاسبه مقاومت خمشی تیر ورقها است به فصل طراحی تیرورق، صفحه ۲۷، منتقل شده است)

۴.۱ فشرده یا لاغر بودن اجزاء مقطع تحت اثر نیروی محوری فشاری

ستون‌ها: طراحی اعضای فشاری، تیرستون‌ها، فشردگی اجزای مقطع، تحت بارفشاری محوری

1- مقطع با اجزای غیرلاغر $\lambda \leq \lambda_r$

2- مقطع با اجزای لاغر $\lambda > \lambda_r$

جدول ۱-۲-۲-۶ لیست مرزهای نسبت پهنا به ضخامت در اعضای تحت بارفشاری محوری

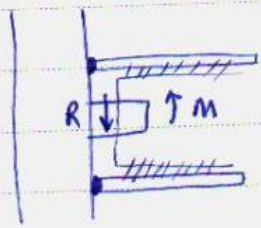
λ_r	λ	
$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بال مقطع I شکل نورد شده
$0.64\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بالهای تیر ورق
$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t_w}$	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن
$1.4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{b}{t}$ 1	مقاطع توخالی مستطیلی (H.S.S)
$0.11\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{D}{t}$ 2	

۵.۱ اعضای تحت اثر نیروی فشاری

ضریب طول مؤثر (K)

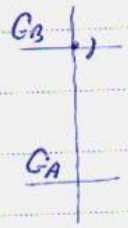
پیوست 1 صفحه 10

۱- برای قاب‌های مهار شده ← $K=1$ یا با استفاده از نوگرام



۲- برای قاب‌های مهار نشده ← (قاب‌های خمشی)

$$K=\sqrt{\frac{1.6\,G_A G_B+4(G_A+G_B)+7.5}{G_A+G_B+7.5}} \geq 1.0$$



$$G=\frac{\sum\left(\frac{EI}{\ell}\right)_c}{\sum\left(\frac{EI}{\ell}\right)_g}$$

لاغری ستون $\lambda=\frac{KL}{r}\leq 200$

مقاومت فشاری اسمی (P_n)

+I ← کانش خمشی و کانش پیچشی

T T [I ← کانش خمشی، کانش پیچشی، کانش خمشی پیچشی

□ ○ ▬ ● ← کانش خمشی ✓

L ← الزامات بند ۶-۴-۲-۱۰

۱- کانش خمشی

$$P_n=F_{cr}A_g$$

$$F_{cr}=\begin{cases}\left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y & \rightarrow \frac{F_y}{F_e}\leq 2.25\\ 0.877\,F_e & \rightarrow \frac{F_y}{F_e}>2.25\end{cases}$$

$$F_e=\frac{\pi^2 E}{(KL)^2}$$

۲- کمانش پیچشی و کمانش خمشی پیچشی

الزامات این قسمت برای مقاطع دارای یک محور تقارن و نامتقارن و هم چنین برای اعضای با دو محور تقارن است که طول مهار نشده ی آنها برای کمانش پیچشی از طول آزاد مهار شده بیشتر باشد.

الف) مقطع سپری T و جعبه بسته ☐

$P_n = F_{cr} A_g$ ← از فصل مربوط به خمش

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right]$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^2}$$ ← $\bar{r}_o$: شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2}$$

مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح ← x_o, y_o

$$\bar{r}_o = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$G = \frac{E}{2.6}$ با فرض $\nu = 0.3$

ب) برای سایر مقاطع

باید حالت 1 محاسبه می شود با این تفاوت که F_e آن به این صورت محاسبه می شود.

$F_e \rightarrow F_{cr} \rightarrow P_n = F_{cr} A_g$ محاسبه شده از قسمت 2-ب

از حالت 1 (کمانش خمشی)

ب) برای سایر مقاطع

ب-۱) مقطع با دو محور تقارن - حالت حدی کمانش پیچشی

ضریب اعوجاج یا تابیدگی

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z l)^2} + G\right]\left(\frac{1}{I_x + I_y}\right)$$

ب-۲) مقطع تک محور تقارن (نامتقارن)

- برای حالت کمانش خمشی - پیچشی:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right]$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L}{r_x}\right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z l)^2} + G J\right] \times \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2}$$

ب-۳) برای مقاطع نامتقارن F_e از کوچکترین ریشه معادله درجه 3 زیر بدست می‌آید:

$$(F_e + F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey})\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2 -$$

$$F_e^2 (F_e - F_{ex})\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2 = 0$$

٦.١ طراحی تیر ستونها

Year 91 Month Date

طراحی تیر ستون کے

مقاومت فشاری طراحی $\phi_c P_n$

$$0.1 \le \frac{I_x}{I_y} \le 0.9$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \le 1.0 \rightarrow \frac{P_u}{P_c} \ge 0.2$$

مقاومت خمشی حول محور قوی $M_{cx} = \phi_b M_{nx}$

$$\frac{P_u}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \le 0.1 \rightarrow \frac{P_u}{P_c} < 0.2$$

در صورتی که عضو تحت خمش و کشش قوی باشد در روابط قبل به جای P_c

مقدار P_t قراردهیم
مقاومت کششی طرح

$$P_t = \phi_t P_n$$

مقدار P_t از کدامیک سه حالت زیر بدست می آید.

۱- معیار تسلیم

$$\phi_t = 0.9 \quad , \quad P_n = F_y A_g$$

2- معیار گسیختگی عضو

$$\phi_t = 0.75 \quad , \quad P_n = F_y A_n$$

3- معیار گسیختگی در محل اتصال

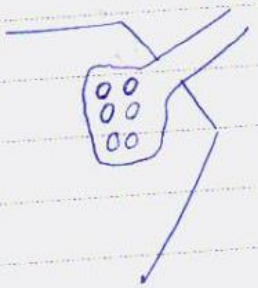
$$\phi_t = 0.75 \quad , \quad P_n = F_y A_e$$

$$A_e = U A_n$$

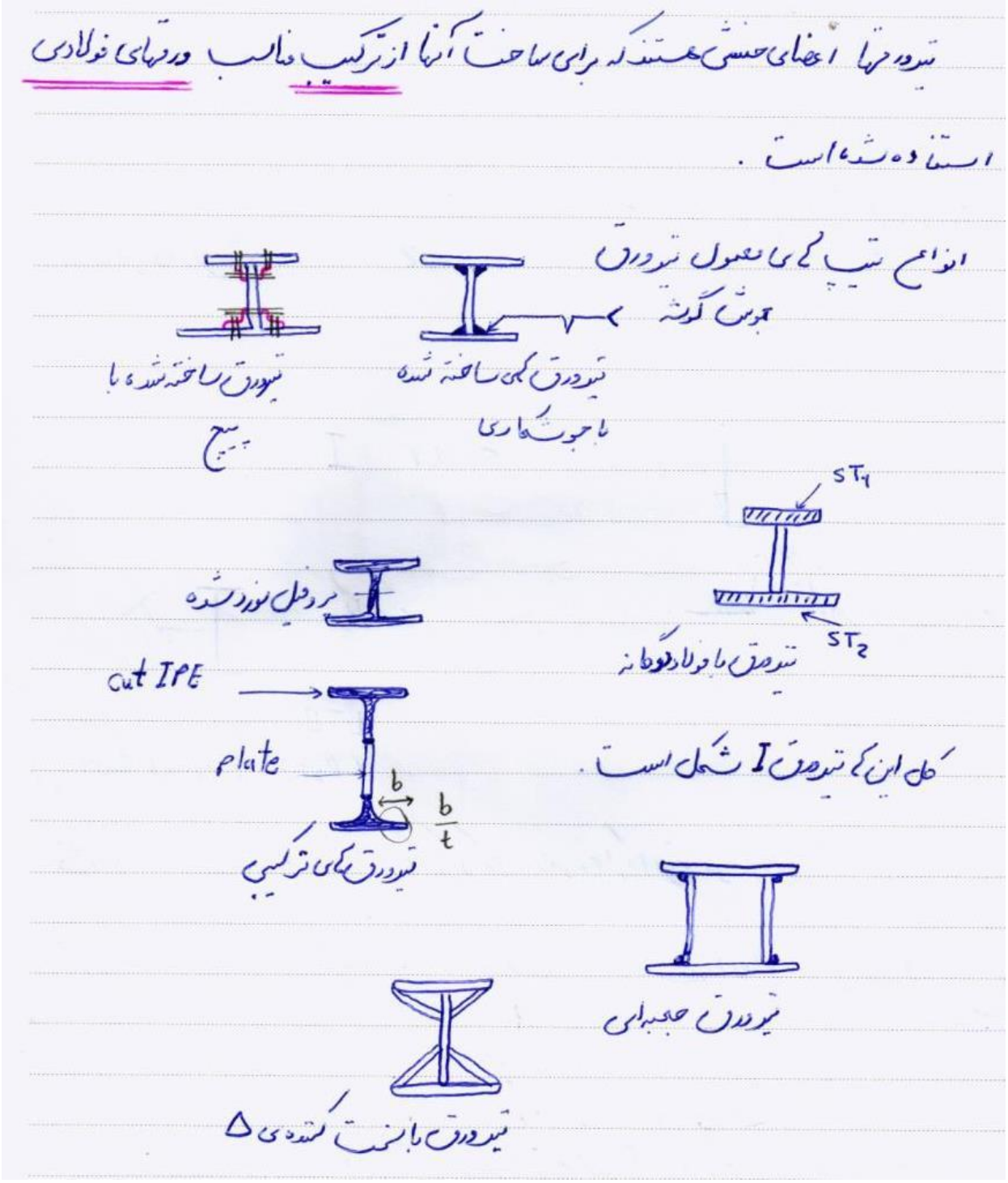
ضریب تأخیر برش

جدول ۱۰-۲-۳-۱

36 صفحه



۲ طراحی تیرورقها

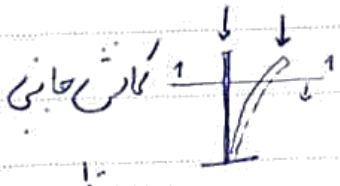


www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

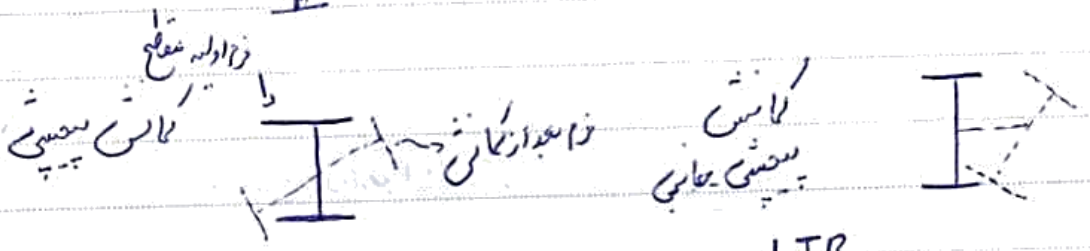
در این جا فقط طراحی تیر ورق کی I شکل مدنظر میباشد تیر ورق ها برای ساخت تیرهای پلهای به 30 تا 50 متر معمولا عملکرد مناسب و اقتصادی دارند.

معیارهای طراحی سازه های فولادی

1- معیار مقاومت
2- معیار پایداری
- کمانش کلی
  - کمانش جانبی
  - کمانش پیچشی-جانبی
- کمانش موضعی



Sec 1-1 I



LTB
(lateral Torsional Buckling)

فشرده بودن یک مقطع تعیین می کند که یک عضو دچار کمانش موضعی نشود.

مقاومت عمده در طراحی تیرها و تیرهای مورد بحث حساسیت اعضای تیر در مقابل انواع ناپایداری های موضعی یا کمانش های موضعی می باشد.

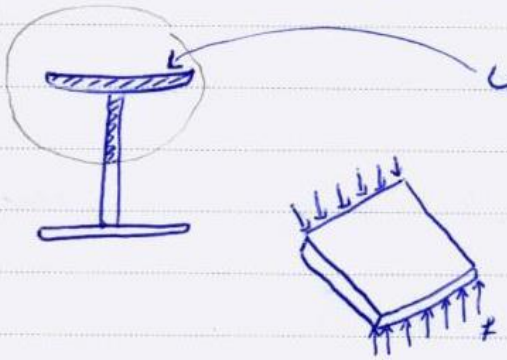
طراحی تیرها و تعیین ابعاد آنها بر اساس تنش های خمشی انجام می شود و سپس

کنترل‌های لازم برای جلوگیری از پدیده‌های گوناگون ناپایداری انجام می‌گیرد.

انواع پدیده‌های کمانش موضعی در تیرورق‌ها:

بال فشاری

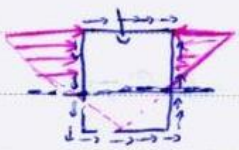
1 - کمانش موضعی بال فشاری



$f \leq F_{cr}$

2- کمانش قائم بال فشاری (کمانش قائم جان فشاری)

ورق جان



3- کمانش خمشی جان

M_n

4 - مقاومت خمشی اسمی مقاطع I شکل بابک یا دو محور تقارن

با بال فشرده یا غیرفشرده و جان لاغر حول محور قوی

(بند ۱۰-۲-۵-۵ صفحه ۷۳)

مقاومت خمشی اسمی در این حالت از مقدار حداقل محاسبه شده ۴ حالت زیر بدست می آید

① تسلیم با رفتاری

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc}$$

ضریب تقلیل مقاومت خمشی

اختلاف تاغیری

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 10$$

عرض و ضخامت بال فشاری

② مربوط به کمانش پیچشی جانبی

$$L_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

بیانگر نیروی کمانش پیچشی جانبی نیست

$$\text{if} \begin{cases} L_b \leq L_p \\ L_b > L_p \rightarrow \end{cases}$$

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$F_{cr} = \begin{cases} C_b\left[F_y - (0.3F_y)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq F_y & \text{if } L_p \leq L_b \leq L_r \\ \dfrac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \leq F_y \rightarrow & \text{if } L_b > L_r \end{cases}$$

(۳) کمانش موضعی بال فشاری

برای مقاطع با بال فشرده نیازی به در نظر گرفتن این مبحث نمی باشد .

- در غیر این صورت $M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3F_y)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

(بال فشاری)

(۴) تسلیم بال کششی :

اگر $S_{xt} > S_{xc}$ باشد لزومی برای در نظر گرفتن تسلیم بال کششی نمی باشد

در غیر این صورت $M_n = F_y S_{xt}$ (کششی)

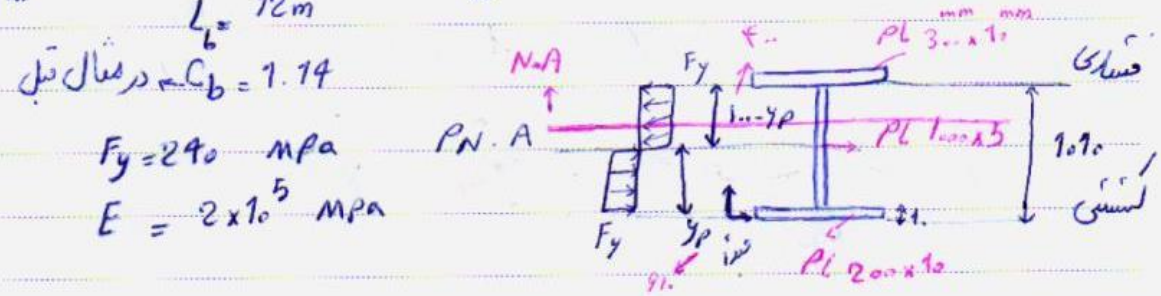
مثال : در تیر زیر مطلوب است حداکثر بار مرده ای که می توان به صورت گسترده به تیر وارد کرد . بار زنده $L = 5\ KN/m$ ، $D_{max} = ?$

$L_b = 12\ m$

$C_b = 1.14$ در مثال قبل

$F_y = 240\ MPa$

$E = 2 \times 10^5\ MPa$



(فقط تنش کمی حسش را در نظر بگیرید)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ادامه کار محاسبه‌ی مرکز پلاستیک

(y_p):

$$[3000+(10.0-y_p)\times 5]\times F_y = [2000+(y_p-10)\times 5]F_y$$

$$3000+5050-5y_p = 2000+5y_p-50 \Longrightarrow y_p = 610\ mm$$

$$8050-2000+50 = 10\,y_p$$

اساس مقطع پلاستیک $Z = \sum A_i y_{pi} = 3000\times 40.5 + (400\times 5)\times 200 +$

$$(600\times 5)\times 300 + 2000\times 60.5 = 3.125\times 10^6\ mm^3$$

لنگر پلاستیک مقطع $M_p = Z F_y = 3.725\times 10^6\ mm^3 \times 240\ N/mm = 894\times 10^6\ N.mm =$

$894\ \underline{kN.m}$

مرکز سطح پلاستیک $\bar{y} = \dfrac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i} = \dfrac{3000\times 1075 + 5000\times 510 + 2000\times 5}{10000} = 560.5\ mm$

ممان اینرسی $I = \sum (I_i + A_i d_i^2) = 3000\times (1075-560.5)^2 +$

$$\frac{1}{12}\times 5\times 1000^3 + 5000\times (560.5-510)^2 +$$

$$2000\times (560.5-5)^2 = 1.666\times 10^9\ mm^4$$

اساس مقطع پلاستیک:

$$\begin{cases} S_{xt} = \dfrac{I_x}{\bar{y}} = \dfrac{1.666\times 10^9}{560.5} = 2.972\times 10^6\ mm^3 \\ S_{xc} = \dfrac{I_x}{d-\bar{y}} = \dfrac{1.666\times 10^9}{1020-560.5} = 3.625\times 10^6\ mm^3 \end{cases}$$

$\Rightarrow$ لنگرهای آستانه‌ی جاری شدن

$$\begin{cases} M_{yc} = S_{xc} F_y = 870\ kN.m \\ M_{yt} = S_{xt} F_y = 713.3\ kN.m \end{cases}$$

بررسی لاغری بال فشاری تحت خمش (تیورق یا یک یا دو جور نقاری)

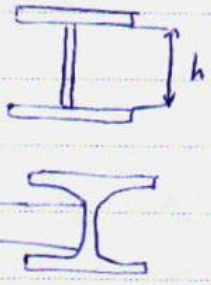
$$\lambda_f = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2\times 10} = 15$$

$$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38\sqrt{\frac{2\times 10^5}{240}} = 10.91$$

$\lambda < \lambda_{pf}$ ⟶ مقطع فشرده است

$$\lambda_{rf} = 0.95\sqrt{\frac{k_c E}{F_{L\,\text{بال}}}}$$

h در تیورق که ارتفاع جان است.



$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76 \Rightarrow$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{1000}{5}}} = 0.28 \xrightarrow{\text{take}} k_c = 0.35$$

$$F_L \begin{cases} 0.7F_y \longrightarrow \dfrac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7 \\ \dfrac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y \longrightarrow \dfrac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \end{cases}$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} = \frac{2.972}{3.625} = 0.82$$

$$\Rightarrow F_L = 0.7F_y = 0.7\times 240 = 168\ \text{MPa}$$

$\geq 0.5F_y$

$$\lambda_{rf} = 0.95\sqrt{\frac{0.35\times 2\times 10^5}{19.39}}$$

پس مقطع ما غیر فشرده است

(بال فشاری غیر فشرده)

بررسی لاغری جان (مقطع I شکل نایک خود تمارن)

$\frac{h_0}{2} = 1010 - \bar{y} = 1010 - 560.5 \rightarrow h_c = 899\,mm$

$\frac{h_p}{2} = 1010 - y_p = 1010 - 610 \rightarrow h_p = 800\,mm$

h_c ← فاصله تا محور خنثی در حالت الاستیک تا ابتدای بارگذاری

h_p ← ... پلاستیک ...

$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} = \frac{899}{5} = 179.8$

$\lambda_{rw} = 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5.7\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 164.54$

نتیجه:

$\lambda_{pw} = \frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{E/F_y}}{(0.54\frac{M_p}{M_y} - 0.09)^2} = 150.07 < \lambda_{rw}$

M_y: خمشی

پس این جان مقطع لاغر است.

لذا باید محاسبه‌ی ظرفیت خمشی این مقطع

الف) تسلیم یا کمانش

$M_{n_1} = R_{pg} F_y S_{xc}$

$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} = \frac{899\times5}{300\times10} = 1.18 < 10$ لاغر نشکل

$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200+300a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) = 0.988 < 1.0$ لاغر نشکل

$M_{n_1} = \underbrace{\frac{R_{pg}}{0.988}} \times 240\times(3.625\times10^6) = 859.56\ kN.m$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ب) کمانش پیچشی جانبی

شعاع ژیراسیون مؤثر برای کمانش پیچشی جانبی

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_o}{a_l} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o a_l}\right)}} =$$

h_o = فاصله‌ی بین مرکز سطح دو بال

$$= \frac{}{12\left(\frac{1010}{1020} + \frac{1}{6} * 1.18 * \frac{1000^2}{1010 \times 1020}\right)} = 79.69\ mm$$

$$l_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.1 \times 79.69 \sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 2530\ mm \rightarrow$$

چون $l_b = 12000\ mm$ بزرگتر از l_p است بنابراین از کمانش پیچشی جانبی رابطه‌ی در نظر گرفته می‌شود.

$$l_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 7227\ mm$$

$l_b > l_r \leftarrow F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{l_b}{r_t}\right)^2} \leq F_y \rightarrow F_{cr} = 99.2\ MPa \leq F_y \rightarrow$

$$M_{n2} = 0.988 \times 99.2 \times 3.625 \times 10^6 = 355.28\ kN.m$$

پ) کمانش موضعی بال فشاری (چون بال فشاری غیرفشرده است محاسبات این قسمت انجام می‌شود)

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3F_y)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)\right] =$$

$$= \left[240 - (0.3 \times 240) \times \left(\frac{15 - 10.91}{19.39 - 10.91}\right)\right] = 205.27\ \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{n3} = R_{pg} F_{cr} S_{xc} = 0.988 \times 205.27 \times 3.625 \times 10^6 = 735.19\ kN.m$$

ت) تعیین بار کنشی

مقاومت اسمی $M_n = \min\{M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}, M_{n4}\} =$

$355.28 \quad kN.m$

مقاومت خمشی طرح $\Phi_b M_n = 0.9 \times 355.28 = 319.75\ kN.m$

$M_{n4} = F_y$

$S_{xt} = M_{yt} = 713.3\ kN.m$

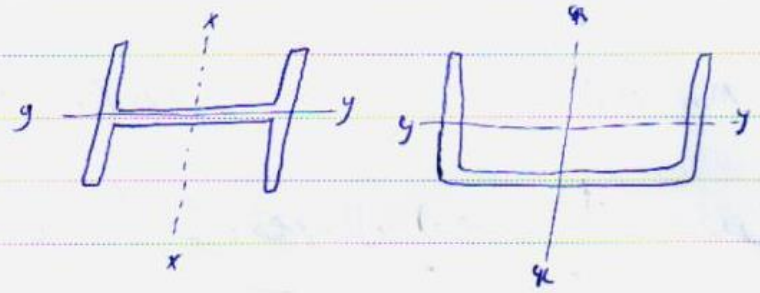
$W_u = 1.2D + 1.6L = 1.2D + 1.6 \times 5 = 1.2D + 8$

$M_u = \frac{1}{8} W_u \ell^2 \leq \Phi_b M_n$

$\frac{1}{8}(1.2D+8) \times 12^2 = 319.75 \hookrightarrow D_{max} = 8.13\ \frac{kN}{m}$

مقاومت خمشی اعضاء با مقطع I شکل یا ناودانی حول محور ضعیف

M_n



از دو حالت زیر بدست می آید

الف) معیار تسلیم $M_n = M_p \leq 1.6 F_y S_y$

ب) معیار کمانش موضعی بال

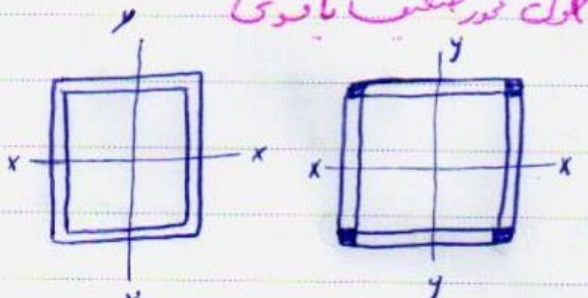
برای مقاطع با بال فشرده، لنگر به ظرفیت این قسمت نمی‌باشد.

در غیراین صورت:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right) \right]$$

مقاومت خمشی اعضا با مقطع توخالی شکل مورد ضعیف یا قوی

اسمی M_n



قوطی مورد نشده — تیپ ورق قوطی شکل

بالها ← فشرده یا غیرفشرده

جان‌ها ← فشرده یا غیرفشرده

مقاومت خمشی اسمی از کوچکترین مقدار سه حالت زیر بدست می‌آید:

الف) معیار تسلیم $M_n = M_p$

ب) کمانش موضعی بال (در صورت غیرفشرده بودن بال)

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S)\left[3.57 \frac{b}{t_f}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4\right] \leq M_p$$

پ) کمانش موضعی جان (در صورت غیرفشرده بودن جان)

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S)\left[0.305 \frac{h}{t_w}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738\right] \leq M_p$$

طراحی اعضاء برای برش

مقاومت برشی اسمی ← V_n

مقاومت برشی طراح ← $\phi_v V_n$

حداکثر برش مجاز در عضو تحت بارگیری افزایش یافته

↑

$V_u \le \phi_v V_n$

↓

ضریب کاهش مقاومت برشی

همه جا $\phi_v = 0.9$ به استثنای یک مورد که در آن $\phi_v = 1$ که در ادامه به آن اشاره می‌شود

$\phi_b = 0.9$

طراحی اعضا برای برش (F.2.10.4 مبحث ۱۰)

۱- محاسبه‌ی مقاومت برشی بدون در نظر گرفتن عمل میدان کششی

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

A_w ← مساحت جان تیر

C_v ← ضریب برش جان

K_v : ضریب کمانش برشی جان

الف) برای جان مقاطع I شکل نورد شده

$C_v = 1$ و $\phi_v = 1$ ← باشد $\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در آن

ب) برای جان سایر مقاطع (به جز مقاطع لوله‌ای شکل)

$C_v = 1 \rightarrow \frac{h}{t_w} \le 1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$

$C_v = \frac{1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} \rightarrow 1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \le 1.37\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$

$C_v = \frac{1.51 K_v E}{(\frac{h}{t_w})^2 F_y} \rightarrow \frac{h}{t_w} > 1.37\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$

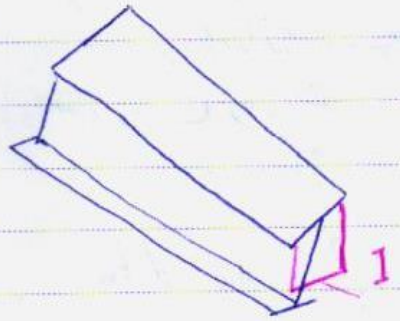
۱- برای جان‌های بدون سخت کننده‌ی عرضی که در آن

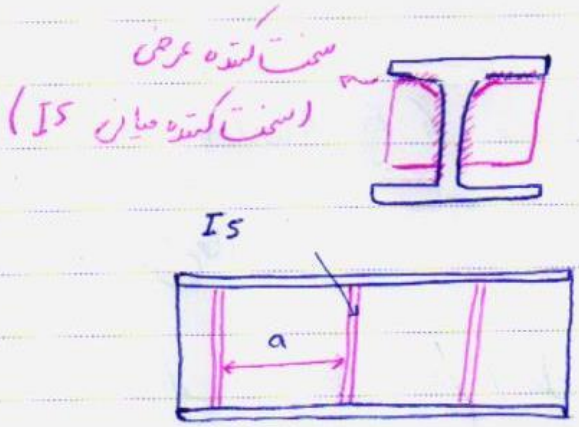
$\frac{h}{t_w} < 260$ $\quad K_v = 0.5$

(به استثنای مقاطع T که $K_v = 1.2$ است)

۲- برای جان‌های سخت شده

$$\begin{cases} K_v = 5 + \frac{5}{(\frac{a}{h})^2} \rightarrow \frac{a}{h} \le \min\left\{3, \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2\right. \\ K_v = 5 \rightarrow \frac{a}{h} > \text{---} \end{cases}$$





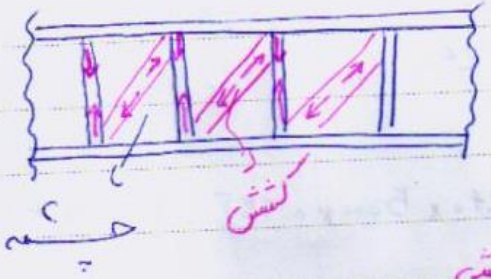
مثال: در تیر مثال قبل با فرض این که تنش بار مرده $8\ \frac{KN}{m}$ ضعیت برش تیر را حساب کرده و آن را برای برش حساب کنید. $L = 5\ \frac{KN}{m}$

$$W_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 8 + 1.6 \times 5 = 17.6\ \frac{KN}{m}$$

$$V_u = \frac{1}{2} W_u L = \frac{1}{2} \times 17.6 \times 12 = 105.6\ KN \qquad V_u \le \Phi_v V_n$$

Year. Month. Date.

جان تیرهای همراه با سخت کننده پس از کمانش برشی جان می‌تواند تبدیل به یک سیستم شبه خرپایی شود که در آن سخت کننده‌های عرضی فشار و ورق جان کشش را تحمل می‌کند. کرانی امر باعث افزایش مقاومت برشی جان می‌گردد. افزایش ظرفیت باربری ورق در این حالت که پس از کمانش برشی جان خ می‌دهد به عملکرد میدان کششی موسوم است.

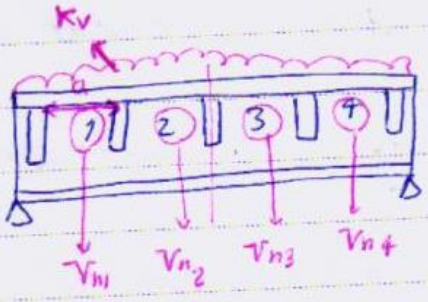


محدودیت‌های استفاده از عمل میدان کششی

به طور کلی عمل استفاده از میدان کششی برای حالت‌های زیر مجاز می‌باشد.

(بند ۱-۲-۶-۲-۱ مبحث ۹۸)

۱- در چشمه‌های دو انتهای تمام سخت کننده‌های عرضی اعضای دارای



Vu1 ≤ ϕv Vn1

$K_v = 5$ (بدون سخت کننده‌ی عرضی)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1000}{5} = 200$$

$$\begin{cases} 1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5\times 2\times 10^5}{240}} = 71.0 \\ 1.37\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1.37\sqrt{\frac{5\times 2\times 10^5}{240}} = 88.4 \end{cases}$$

$$C_v = \frac{1.51\, K_v E}{(\frac{h}{t_w})^2 F_y} = \frac{1.51\times 5\times 2\times 10^5}{200^2\times 240} = 0.157$$

مقاومت برشی اسمی $V_n = 0.6\, F_y\, A_w\, C_v = 0.6\times 240\times 5000\times 0.157 = 113.04\ kN$

مقاومت برشی طراحی $\phi_v V_n = 0.9 \times 113.04 = 101.736\ kN$

$V_u \le \phi_n V_n$ باید از سخت کننده استفاده شود.

با توجه به این که برش موجود و مقاومت برشی طراحی

تفاوت فاحشی ندارند از 5 درصد دارند معمولاً طراحان از این اختلاف صرف نظر کرده و

سخت کننده‌ی عرضی طراحی می‌کنند.

طراحی اعضا برای برش

۲ - محاسبه‌ی مقاومت برشی اسمی با در نظر گرفتن عمل میدان کششی (۳-۶-۲-۱۰)

عمل میدان کششی فقط برای وارهایی که از سخت کننده‌ی عرضی استاندارد استفاده می‌شود، استفاده می‌گردد.

۲- در اعضایی که $\frac{a}{h} > 3$ یا $\frac{a}{h} > \left(\frac{260}{\frac{h}{tw}}\right)^2$ باشد

۳- در اعضایی که $\frac{2Aw}{Af_c + Af_t} > 2.5$

۴- در اعضایی که $\frac{h}{bf_t} > 6$ یا $\frac{h}{bf_c} > 6$ باشد.

توصیه شده است که در جهت کمی که دارای بازشو یا سوراخ هستند وصله‌های محافظ از عمل میدان کششی استفاده نگردد.

مقاومت برشی اسمی با توجه به عمل میدان کششی

$$\begin{cases} V_n = 0.6 F_y A_w \rightarrow \frac{h}{tw} \leq 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ V_n = 0.6 F_y A_w \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \rightarrow \frac{h}{tw} > 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \end{cases}$$

سخت کننده‌های عرضی (I.5)

اگر سخت کننده‌های عرضی $\frac{h}{tw} \leq 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد یا $\phi_v V_n$

محاسبه شده با $k_v = 5$ کمتر از V_u باشد، استفاده از سخت کننده عرضی ضروری می‌باشد.

$$V_u > \phi_v V_n$$

Month . Date .

طراحی سخت کننده های عرضی

الف) سخت کننده های ایستایی

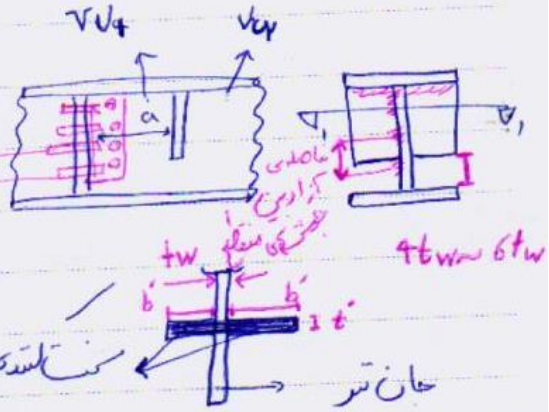
سخت کننده های ایستایی عرضی

حول محور مرکزی جان تیر

$$I_{st} \geq b t_w^3 j$$

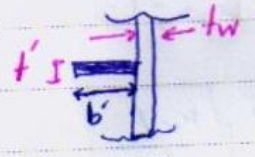
$$b = \min\{a, h\}$$

$$j = \frac{2.5}{(\frac{a}{h})^2} - 2 \geq 0.5$$



$$I_{st} = \frac{1}{12} t'(2b' + t_w)^3$$

جان ایستایی حول محور مرکزی جان تیر.



$$I_{st} = \frac{1}{12} t' b'^3$$

سخت کننده ی تک

ب) در صورتی که عمل تاکی مستقیم بین طوقه ی سخت کننده و بال تیر برای انتقال بار کمک کننده یا عکس العمل تکیه گاهی نیاز نباشد می توان سخت کننده را نریسیده به بال کششی قطع کرد.

در صورت استفاده از جوش متقطع فاصله آزاد جوش ها

$$\text{فاصله آزاد جوش} \leq \min\{16 t_w, 250\ mm\}$$

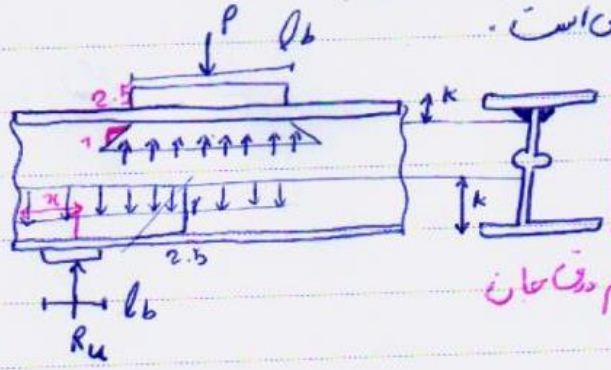
در صورت استفاده از پیچ

فاصله مرکز به مرکز پیچ ها $\leq 300\ mm$

سخت کننده‌های فشاری (Bearing stiffness) (B.S)

در صورت وجود بار متمرکز فشاری در صورتی که محدودیت‌های آیین‌نامه این نوع سخت کننده در محل اعمال بار متمرکز ضروری است.

سخت کننده میانی (Is) ← برای کنترل برش



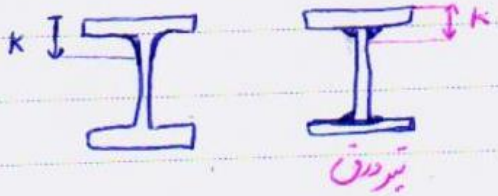
تسلیم موضعی جان

اگر $d \geq 2x$ باشد

تنش تسلیم در جان ←

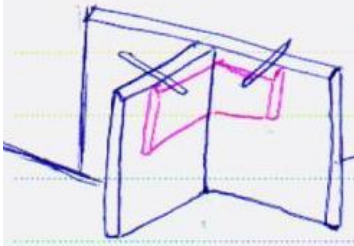
$$R_n = F_{yw} t_w (2.5k + l_b)$$

عرض تکیه‌گاه



اگر $d < 2x$ باشد

$$R_n = F_{yw} t_w (5k + l_b)$$



جان تیر

معایر محدودیت کی با سخت کننده‌ی عرضی

(ا_۲_۶_۳_۳ صفحه 99)

(ب

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}}$$

سخت کننده

$$I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1})\left(\frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}}\right)$$

الف) $I_{st} > I_{st1}$

$I_{st1} = b t_{wj}^3$ حداقل ممان اینرسی بدون توجه به عمل

Year. Month. Date.

اتصال جانبی

if $\frac{h/t_w}{l_b/b_f} > 2.3$ ← نیازی به کنترل کمانش جانبی بال نیست

$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2}\left[0.4\left(\frac{h/t_w}{l_b/b_f}\right)^3\right]$ → if $\frac{h/t_w}{l_b/b_f} < 1.7$

↓

در غیراین صورت نیازی به کنترل کمانش جانبی بال نیست .

اگر $\phi R_n < R_u$ باشد ← باید برای بال فشاری دهانه در محل اعمال بار جکویر تکیه‌گاه جانبی تعبیه گردد .

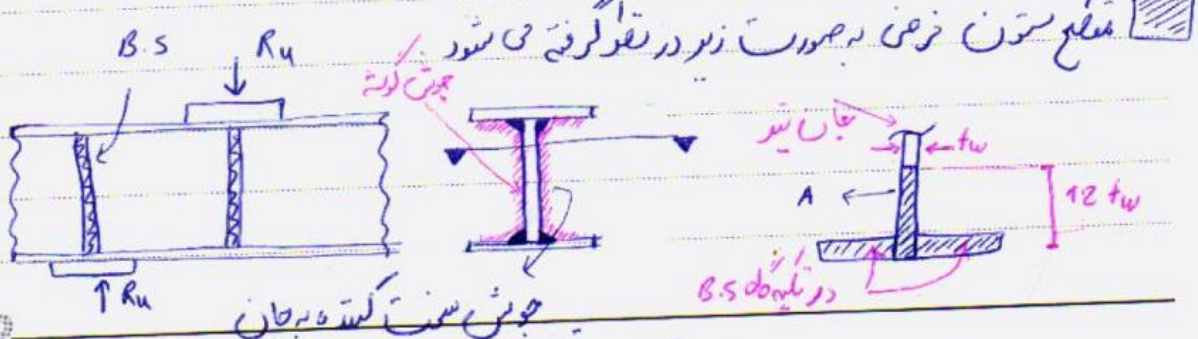
$$C_r = \begin{cases} 6.62\times10^6 & MPa \quad M_u < M_y \\ 3.31\times10^6 & MPa \quad M_u \geq M_y \end{cases}$$

طراحی سخت کننده‌های فشاری

اگر عقایق دوسر لقمه شده نیازی به سخت کننده‌ی فشاری باشد ، لازم است یک جفت سخت کننده‌ی فشاری در مقابل نیروی متمرکز تعبیه گردد . این سخت کننده باید به صورت یک ستون فرضی با بارگذاری فشاری تعبیه شود . ارتفاع مؤثر ستون

$KL = 0.75h$

مقطع ستون فرضی به صورت زیر در نظر گرفته می شود



باید دارای حوائل مقاومت $R_u - \phi R_n$ باشد

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year ۲۰۰۹ Month Date ( )

۲-۱۰-۹-۲-۱۰ تغییر

۳-۱۰-۹-۲-۱۰ طراحی کمیگی

مقاومت اسمی جان در برابر بارهای فشاری

ضریب کاهش مقاومت

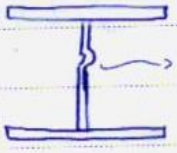
ΦR_n

$\Phi = 1$

اگر $\Phi R_n < R_u$ باشد ← نیازمند سخت کننده‌ی فشاری داریم.

$R_u - \Phi R_n$

کمیگی جان در مقابل بار متمرکز



کمیگی موضعی جان

۱- اگر $x \geq \frac{d}{2}$ (بار متمرکز داخلی)

$$R_n = 0.8\, t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

۲- اگر $x \leq \frac{d}{2}$ (بار کنار تکیه‌گاهی)

$$R_n = 0.4\, t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \rightarrow \frac{l_b}{d} \leq 0.2$$

$$R_n = 0.4\, t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4 l_b}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \rightarrow \frac{l_b}{d} > 0.2$$

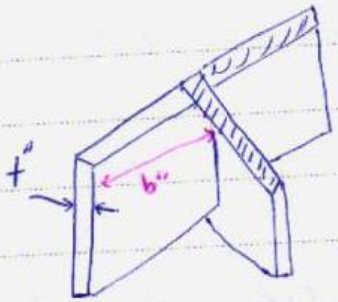
کمانش جانبی جان ۴-۱۰-۹-۲-۱۰

۱- اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران نگهداری شده باشد.

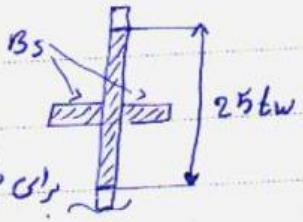
انتهای بال دوران داده

$$R_n = \frac{C_r t_w^2 t_f}{h^2}\left[1 + 0.4\left(\frac{h/t_w}{l_b/b_f}\right)^3\right] \rightarrow$$

$$\text{if } \frac{h/t_w}{l_b/b_f} \leq 2.3$$



$R_u - \phi R_n \leq \phi P_n$



برای تیرهای فشار ناخالص

اثر سوراخ در بال کششی:

سطح مقطع کل بال کششی

if $F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$ ⟵ عدم اثر سوراخ در بال کششی قابل صرف نظر است.

سطح خالص بال کششی ≥

ضریب تأثیر سوراخ $Y_t = \begin{cases} 1 & F_y/F_u \leq 0.8 \\ 1.1 & F_y/F_u > 0.8 \end{cases}$

else $M_n \leq \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x$ ⟵ کنترل لبسنجیل بال کششی

گام‌های طراحی تیرها

1) انتخاب ابعاد اولیه‌ی تیر

2) کنترل برای خمش

3) کنترل برش $\phi_v V_n \geq V_u$

4) کنترل تغییر شکل‌ها

طول دهانه‌ی تیر

$\Delta_{max} \leq \frac{1}{240} l$ ← برای بارهای زنده و دائم

طول دهانه‌ی تیر

5) کنترل ارتعاش تیر

$\Delta_{max} \leq \frac{1}{360} L$ برای بارهای زنده

در تیرهای مربوط به کف خزهای نوسانی تیرها (یک ناشی از سربارهای زنده و رفت و آمد) است

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

باید به گونه‌ای باشد که از حد احساس بیشتری تجاوز ننماید.

فرکانس تیر $f \geq 5\ Hz$

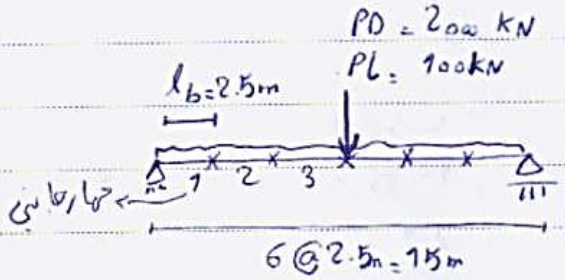
f برای تیرهای دوسرساده تحت بار یکنواخت $= \frac{\pi}{2L^2}\sqrt{\frac{EI_g}{0.9D}}$

$0.9D$

۶) طراحی سخت کننده عرضی در صورت نیاز

۴) تعیین بعد جوش گوشه لازم

مثال: تیر ورق I شکل زیر را طراحی کنید.



$E = 2 \times 10^5\ MPa$

$F_y = 240\ MPa$

در تیرهای بزرگ و دوسرساده (مانند تیرهای پل)

$$\begin{cases} P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 400\ kN \\ W_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 46\ kN/m \end{cases}$$

حداکثر لنگر $M_u = \frac{1}{8}w_u l^2 + \frac{1}{4}P_u l = 2493.75\ kN.m$

$V_u = \frac{1}{2}w_u l + \frac{1}{2}P_u = 545\ kN$

تعیین ارتفاع مقطع تیر (h)

در تیرهای بزرگ و دوسرساده (مثل تیرهای پل) $\frac{L}{14} \leq h \leq \frac{L}{6}$

$\frac{15000}{14} \leq h \leq \frac{15000}{6}$

$1071 \leq h \leq 2500\ mm$

توصیه آیین نامه AISC:

تیرهای معمولی $h/t_w \leq \frac{F_y L}{5600}$

تیرهای نوار نقاله $h/t_w \leq \frac{F_y L}{7000}$

$\rightarrow$ تا کنون $h = 1500\ mm$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year. ۲۴ Month. Date. ( )

تعیین ضخامت جان

ضخامت جان در تیر ورق که بهتر است با فرض استفاده از سخت کننده‌ی میانی تعیین شود

$$\begin{cases} t_w < \dfrac{h}{2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}} = 29.1\ mm \\ \dfrac{250}{300} < t_w < \dfrac{h}{150} \rightarrow 5 < t_w < 10\ mm \end{cases}$$

take $t_w = 6\ mm$

با فرض استفاده از I_s:

$$\begin{cases} \dfrac{h}{t_w} > 2.46\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} \\ \dfrac{h}{300} < t_w < \dfrac{h}{150} \end{cases}$$

هرچند توصیه شده است که

ابعاد بال تیر

با استفاده از فرض $M_n = M_p$ و غیرلاغر بودن بال، ابعاد بال تیر تعیین می‌گردد

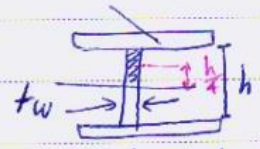
با فرض $M_n = M_p$

توصیه شده است که $\dfrac{h}{4} < b_f < \dfrac{h}{2.5}$

$$\phi_b M_n \geq M_u \Rightarrow \phi_b M_n = \phi_b M_p = \phi_b Z F_y \Rightarrow$$

$$\phi_b Z F_y \geq M_u \rightarrow Z \geq \frac{M_u}{\phi_b F_y}$$

A_f



$$Z \simeq 2\left[A_f \frac{h}{2} + \frac{A_w}{2} \times \frac{h}{4}\right] = A_f h + \frac{1}{4} A_w h$$

$A_w = h t_w$

$$\rightarrow A_f \geq \frac{M_u}{\phi_b h F_y} - \frac{1}{4} A_w = \frac{2793.75 \times 10^6}{0.9 \times 1500 \times 240} - \frac{1}{4}(1500 \times 6) =$$

$$8623\ mm^2$$

$$\frac{1500}{4} < b_f < \frac{1500}{2.5} \rightarrow 375 < b_f < 600$$

take $b_f = 450\ mm$

$$b_f t_f \geq 8623 \rightarrow t_f \geq 19.2\ mm$$

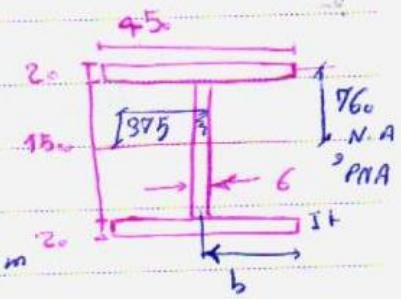
$b_f t_f \geq 8623 \rightarrow \quad t_f > 19.2 \text{ mm}$

کنترل لاغری $\lambda_f = \dfrac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_r = 0.95\sqrt{\dfrac{E k_c}{F_y}} \qquad t_f \geq \dfrac{b_f}{2 * 0.95\sqrt{\dfrac{E k_c}{F_y}}} = 13.84 \text{ mm}$

با استفاده از k_c حداقل

$k = 0.35$

take $t_f = 20$ mm



$M_p = Z\left[\dfrac{450 \times 20 \times 760 + 750 \times 6 \times 375}{Z = \sum A_i y_i}\right] \times 240 =$

4093.2 KN.m

$I_x = \frac{1}{12} \times 6 \times 1500^3 + 2[20 \times 450 \times 760^2] = 12.084 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$S_{xt} = S_{xc} = \dfrac{I_x}{d/2} = \dfrac{12.084 \times 10^9}{770} = 15.694 \times 10^6 \text{ mm}^3$

کنترل لاغری جان (مقطع I شکل با دو محور تقارن)

$\lambda_w = \dfrac{h}{t_w} = \dfrac{1500}{6} = 250$

$\lambda_{pw} = 3.76\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} = 108.54$

$\lambda_{rw} = 5.7\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} = 164.54$

$\lambda_w > \lambda_{rw}$ جان لاغر است.

$\dfrac{h}{t_w} \leq 260$ ✓ (۱۹ صفحه ۱۳-۵-۲-۱۰) تناسب بست ابعاد

$0.1 \leq \dfrac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.9$ ✓

بررسی لاغری بال: مقطع غیر فشرده است

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{450}{2t_f} = \frac{450}{2\times 20} = 11.25$$

$$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 10.91$$

$$\Rightarrow \lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf}$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} = 1 \geq 0.7 \longrightarrow F_L = 0.7F_y$$

$$0.35 < k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{250}} = 0.25 \leq 0.76 \rightarrow k_c = 0.35$$

$$\lambda_{rf} = 0.95\sqrt{\frac{k_c E}{F_L}} = 19.39$$

محاسبه‌ی لنگر خمشی طراحی (ربط تیرهای آشکل با بال غیرفشرده مهار لاغر)

الف) معیار تسلیم

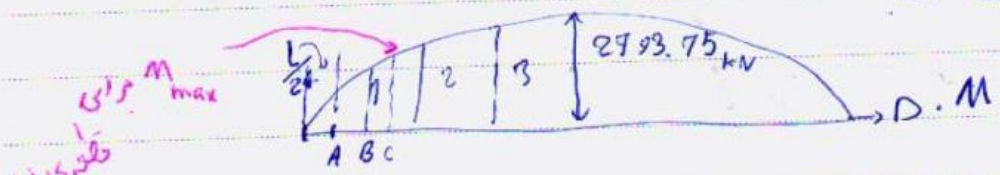
$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} = \frac{750\times 6}{450\times 20} = 0.8 \leq 10$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200+300a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) = 0.926$$

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} = 0.926\times 240\times 15.694\times 16$$

$$M_n = 3487.8\ kN\cdot m$$

ب) کاهش بیش از حد



M_{max} وای

$$M_u(x) = 545x - 23x^2$$

$$0 < x \leq \frac{l}{2} = 7.5\ m$$

برای طبقه‌ی اول:

1-

$$\begin{cases} M_A = M_u\left(\frac{l}{24}\right) = 331.64 \ \text{KN.m} \\ M_B = M_u\left(\frac{2l}{24}\right) = 645.31 \\ M_C = M_u\left(\frac{3l}{24}\right) = 941.02 \\ M_{max} = M_u\left(\frac{4l}{24}\right) = 1218.75 \end{cases}$$

$$C_{b1} = \frac{12.5\, M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \rightarrow C_{b1} = 1.613$$

2

$$\begin{cases} M_A = M_u\left(\frac{5l}{24}\right) = 1478.52 \\ M_B = M_u\left(\frac{6l}{24}\right) = 1720.31 \\ M_C = M_u\left(\frac{7l}{24}\right) = 1944.14 \rightarrow C_{b2} = 1.193 \\ M_{max} = M_u\left(\frac{8l}{24}\right) = 2150.0 \end{cases}$$

3

$$\begin{cases} M_A = M_u\left(\frac{9l}{24}\right) = 2337.89 \\ M_B = M_u\left(\frac{10l}{24}\right) = 2507.81 \rightarrow C_b = 1.091 \\ M_C = M_u\left(\frac{11l}{24}\right) = 2659.92 \\ M_{max} = M_u\left(\frac{12l}{24}\right) = 2793.75 \end{cases}$$

چون حول قطعات باهم برابر است f_{cr} فقط برای کمتر C_b محاسبه می‌کردیم.

چون اگه اعتای تکی در هر 3 قطعه ساده است R_k محاسبه نمی‌کردیم.

$$R_t = \frac{b f_c}{\sqrt{12\left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_0 d}\right)}} = 33.76 \text{ mm}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

$l_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.92\ mm$ $\quad L_b = 2500\ mm$

$l_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3659\ mm$ $\quad L_p \leq L_b \leq l_r$

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - 0.3F_y \left(\frac{L_b - l_p}{l_r - l_p} \right) \right] \leq F_y$$

(L_b: 2500, C_b: 1.092)

$= 191.6\ MPa \leq 240$ ✓

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} = 0.926 \times 191.6 \times 1569 \times 10^6$$

$= 3194.3\ KN.m$

ب) کمانش جانبی بال فشاری

$$F_{cr} = F_y - 0.3F_y \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) = 237.1\ MPa$$

$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} = 3445.7\ KN.m$

ت) تسلیم بال کششی

$M_n = F_y S_{xt} = 240 \times 15.694 \times 10^6 = 3766.6$

$M_n = \min\{M_{ni}\} = 3194.3\ KN$

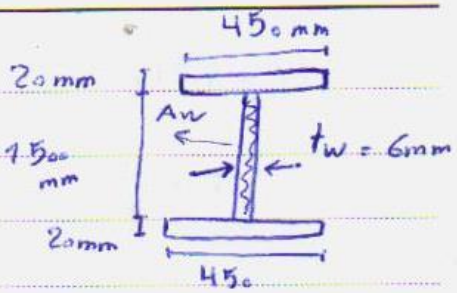
کنترل خمش

$\phi_b M_n \geq M_u$

$0.9 * 3194.3 \geq 2793.75$

2858.87

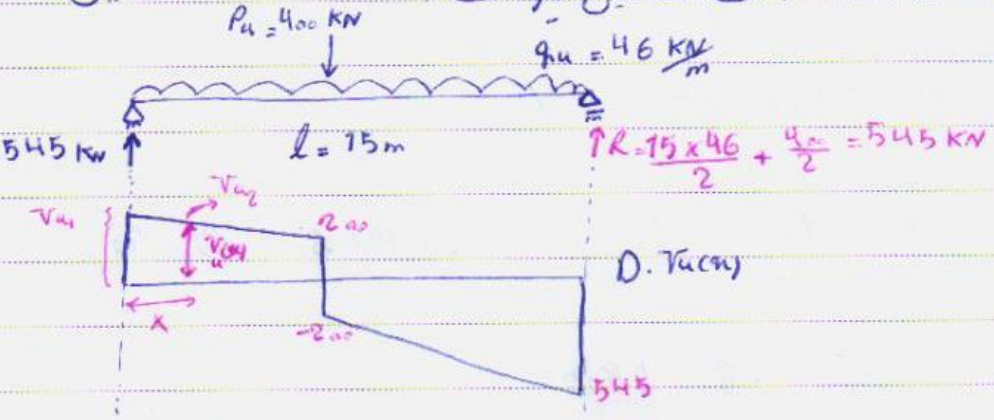
ok

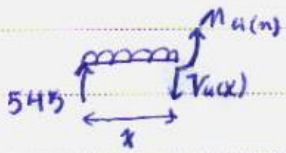


شرط لزوم استفاده از سخت کننده‌ی میانی (Is)

$$\frac{h}{t_w} > 2.46\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 71.0$$

بنابراین سخت کننده میانی نیاز است.

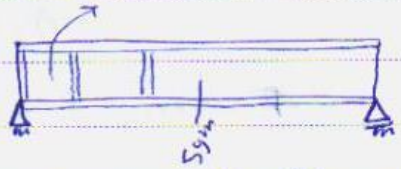




$$V_{u(x)} = 545 - 46x$$

* کنترل برش

چشمه‌ی اول



فرض می‌کنیم ← چشمه‌ی 1

$$\begin{cases} \frac{a}{h} > \min\left\{3, \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2\right\} = 1.082 \\ \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2 = \left(\frac{260}{\frac{1500}{6}}\right)^2 = 1.082 \end{cases} \Rightarrow k_v = 5$$

$$\begin{cases} 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5\times2\times10^5}{240}} = 71.0 \\ 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 88.4 \\ \frac{h}{t_w} = \frac{1500}{6} = 250 \end{cases} \Rightarrow C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{1.51*5*2\times10^5}{250^2\times240} =$$

0.101

$\frac{a}{h} \geq 1.083 \longrightarrow V_n = 73.0$

بنابراین بدون استفاده از عمل میدان کششی می‌توان فاصله‌ی بین سخت کننده‌های میانی را چنان افزایش داد. پس در این جا می‌خواهیم از عمل میدان کششی استفاده کنیم.

"شرایط استفاده از عمل میدان کششی:"

۱- جان‌های استوانی نیست ok

۲- $\frac{a}{h} < 3$ ، $\frac{a}{h} < \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2$

۳- $\frac{2A_w}{A_{fc}+A_{ft}} = \frac{A_w}{A_f} = \frac{1500*6}{450*20} = 1 < 2.5$

۴- $\frac{h}{b_{fc}} = \frac{h}{b_{ft}} = \frac{h}{b_f} = \frac{1500}{450} = 3.33 < 6$

می‌خواهیم $\frac{a}{h} > \min\left\{3, \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2\right\}$ باشد ← $\begin{cases} K_v = 5 \\ C_v = 0.707 \end{cases}$

$\min\{\ldots} = 1.082$

$\frac{h}{t_w} = 250 > 1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 91.0$

$V_{n2} = 0.6 F_y A_w \left\{C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right\}$

$\Phi V_{n2} \geq V_{u2}$

$a = 305.0 \longrightarrow V_{n2} = 578.07 \Longrightarrow \Phi_v V_{n2} = 0.9 * 578.07 =$

$520.21 \geq V_{u2} = 510.5$ ok

$V_{n1} = 0.6\ F_y\ A_w\ C_v = 0.6 * 240 * 1500 * 6 * 0.101 = 1309.9\ kN$

$\phi_v V_{n1} = 0.9 \times 1309.9 \geq V_{u1} = 545\ kN \longrightarrow \frac{a}{h} < 1.082$ باید باشد

بنابراین باید فرض حالت 1 باشد!

$K_v = 5 + \frac{5}{(\frac{a}{h})^2}$ $\quad \frac{a}{h} = 0.5 \longrightarrow a = 1500 * 0.5 = 750\ mm$

$K_v = 5 + \frac{5}{0.5^2} = 25$

$1.1\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{25*2*10^5}{240}} = 158.8$

$1.37\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1.37\sqrt{\frac{25*2*10^5}{240}} = 197.7$ $\Rightarrow$

$\frac{h}{t_w} = \frac{1500}{6} = 250$

$C_v = \frac{1.51\ K_v E}{(\frac{h}{t_w})^2 F_y} = \frac{1.51*25*2*10^3}{250^2*240} = 0.503$

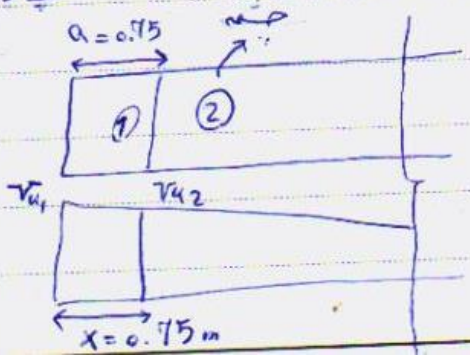
$V_{n1} = 0.6\ F_y\ A_w\ C_v = 0.6 \times 240 \times 1500 \times 6 \times 0.503 = 651.89\ kN$

$\phi_v V_{n1} = 0.9 * 651.89 = 586.7 \geq V_{n1} = 545 \longrightarrow$ ok

حالت 2:

$V_u(x) = 545 - 46x$

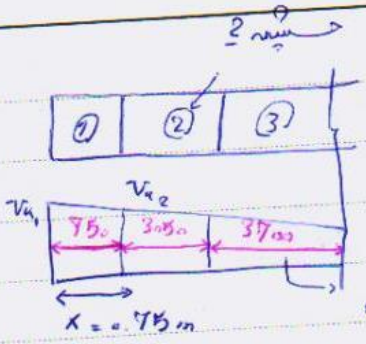
$V_{u2} = 545 - 46 * 0.75 = 510.5\ kN$



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Year 1401 Month Date ( )

حاشیه ی 3



$K_v = 5$, $C_v = 0.101$

$7500 - 3050 - 750 = 3700$

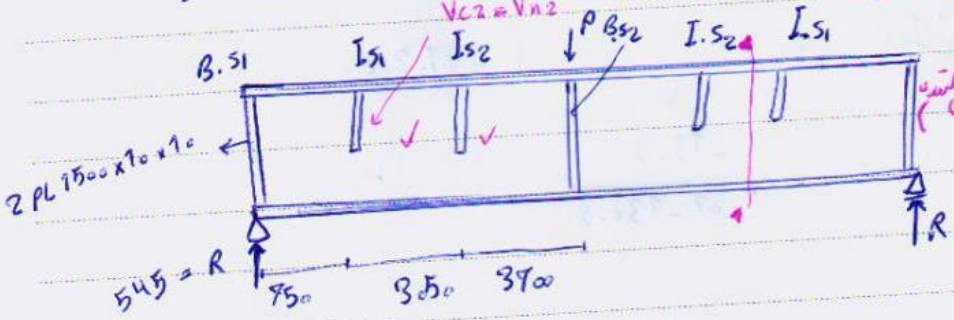
$$V_{n3} = 0.6\, F_y\, A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.75\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right)$$

$a = 3700$ mm

$V_{n3} = 517.5$ kN $\rightarrow \phi_v V_{n3} \geq V_{u3} \rightarrow$ OK

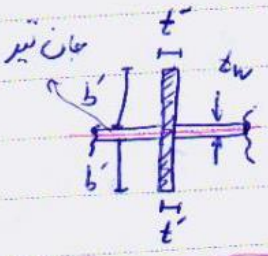
طراحی سخت کننده میانی: I_{s1}

(یا استاده از جفت سخت کننده)



$b = \min\{a, h\} = \min\{750, 1500\} = 750$

$$j = \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 = \frac{2.5}{\left(\frac{750}{1500}\right)^2} - 2 = 8 \geq 0.5$$

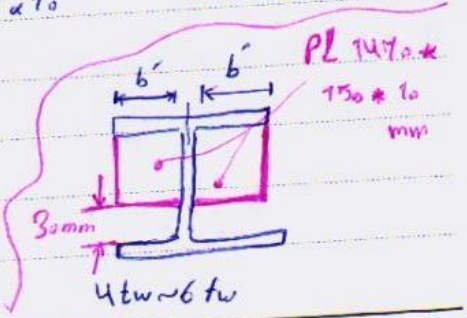


$$I_{st1} = b\, t_w^3\, j = 750 \times 6^3 \times 8 = 7.296 \times 10^6$$

$$I_{st} = \frac{1}{12}\, t' (2b' + t_w)^3$$

$$b \leq \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{450 - 6}{2} = 222 \text{ mm}$$

Take $b' = 150$ mm



محدودیت کمی استفاده از عمل میدان کششی

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} \le 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{y\,st}}} \qquad t' \ge 9.3\ mm \qquad I_s \text{ طرح}$$

$$\frac{150}{t'} \le 0.56\sqrt{\frac{2*1.5}{240}}$$

Take $t' = 10\ mm$ $\qquad I_{st} = \frac{1}{12}\times 10\times(2\times 150+6)^3 = 23.88\times 10^6\ mm^4$

با در نظر گرفتن عمل میدان کششی

$$I_{st2} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1/3}}{40}\left(\frac{F_{yw}}{E}\right)^{1.5} = 5.261\times 10^6\ mm^4$$

$$\rho_{st} = \max\left\{\frac{F_{yw}}{F_{yst}}, 1\right\} = 1$$

$$I_{st} \ge I_{st_1} + (I_{st_2} - I_{st_1})\left(\frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}}\right) = 1.296\times 10^6 + (5.26\times 10^6 - 1.296\times 10^6)\times\frac{545 - 130.9}{598.01 - 130.9} \longrightarrow \text{ok}$$

سخت کننده ی دوم را حساب نمیکنیم.

طراحی سخت کننده ی فشاری (BSI)

(فرض کنید $l_b = 450\ mm$ عرض تکیه گاه)

$$R_n = F_{yw}\, t_w\,(2.5k + l_b)$$

$$R_n = 240\times 6\,(2\times 2.5 + 450) = 720\ KN$$

(2 ↓)

۱- معیار تسلیم جان

در حالتی که جوش طرح شده نمی تواند حداقل بعد جوش را به این مقدار افزایش دهد.

$$\phi R_n = 1*720\ KN = 720 \ge 545 \longrightarrow \text{ok}$$

فیلم های آموزشی دروس بتن و فولاد

ICIVIL

فیلم آموزشی طراحی سازه های فولادی ۱

$$A_g = 2 \times 150 \times 10 + 12 \times 6^2 = 3432\ mm^2$$

$$I = \frac{1}{12} t'' (2b'' + t_w)^3 = \frac{1}{12} \times 10 \times (2 \times 150 + 6)^3 = 23.88 \times 10^6\ mm^4$$

$$\sqrt{\frac{I}{A_g}} = \sqrt{\frac{23.88 \times 10^6}{3432}} = 83.4\ mm$$

لاغری ضعیف $= \frac{KL}{r} = \frac{0.75h}{r} = \frac{1125}{83.4} = 13.49 \leq 200$ OK

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^5}{13.49^2} = 10847\ MPa$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{10847} = 0.0221 < 2.25 \qquad F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] \times F_y = 0.658^{0.0221} \times 240$$

$$= 237.8\ MPa$$

مقاومت اسمی عضو فشاری $P_n = F_{cr} A_g = 237.8 \times 3432 = 816.1\ KN$

$$\phi_c P_n = 0.9 \times 816.1 \geq P_u \rightarrow \text{OK}$$

* کنترل کمانش جانبی جان

بال فشاری در محل‌های بار متمرکز در مقابل دوران نگه داشته شده اند.

$$\frac{h/t_w}{l_b/b_f} = \frac{750/6}{450/45} = 25 > 2.3 \rightarrow$$

بال نیازی به کنترل کمانش جانبی جانبی نیست.

۲ - مقاومت لهیدگی جان

$\phi R_n = 1 * 720\ kN = 720 \geq 545 \rightarrow$ ok

$\frac{l_b}{d} = \frac{450}{154} = 0.29 > 0.2 \rightarrow R_n = 0.4\, t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4 l_b}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$

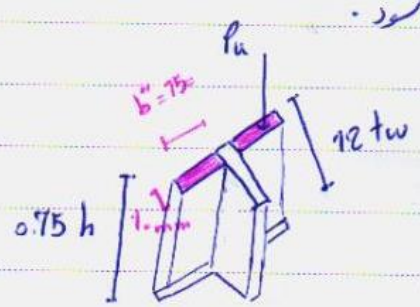
$= 271.14\ kN \qquad \phi R_n = 0.75 * 271.14 = 758.3\ kN \geq 545$

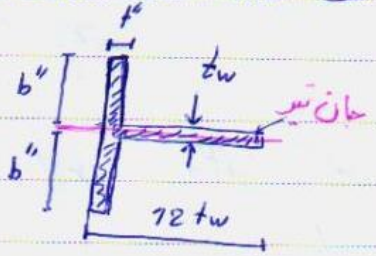
نیازی به سخت کننده فشاری داریم.

بار طراحی سخت کننده $\Rightarrow P_u = R_u - \phi R_n = 545 - 758.3 \Rightarrow P_u = 386.7\ kN$

طول مؤثر ستون فرضی $KL = 0.75h = 0.75 \times 1500 = 1125$

سخت کننده‌ی فشاری به صورت یک ستون فرضی طراحی می‌شود.





$A_g = 2 b'' t'' + 12 t_w^2$

کنترل لاغری $\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{2 * 10^5}{240}}$

$\lambda = \frac{b''}{t''} < \lambda_r \rightarrow$ فاقد لاغری فرض می‌کنیم $\rightarrow \frac{150}{t''} < 0.56 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} \rightarrow$

$t'' > 9.3$ Take $t'' = 10\ mm$

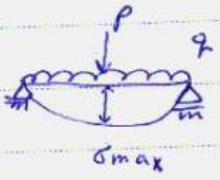
طراحی ستون در حالت LRF $\boxed{\phi_c P_n \geq P_u}$

ضریب کاهش مقاومت در اعضای فشاری $\phi_c = 0.9$

* کنترل تغییر شکل

۱- برای بارگذاری زنده + زنده

$$\delta_{max} \leq \frac{1}{240} l = \frac{15000}{240} = 62.5\ mm$$



$$\begin{cases} q = q_D + q_L = 25 + 10 = 35 \\ P = P_D + P_L = 200 + 100 = 300 \end{cases} \qquad \delta_{max} = \frac{5qL^4}{384EI} + \frac{PL^3}{48EI}$$

$$= \frac{5 \times 35 \times 15000^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 15.694 \times 10^9} + \frac{300 \times 10^3 \times (15000)^3}{48 \times 2 \times 10^5 \times 15.69 \times 10^9}$$

$$= 7.35 + 6.92 = 14.07 < \frac{l}{240} \quad ok$$

۲- برای بارگذاری زنده

$$\delta_{max} \leq \frac{l}{360} = \frac{15000}{360} = 41.67 \rightarrow ok$$

تأثیر لرزه بارگذاری زنده

* کنترل ارتعاش تیر

$$g = 9.81 \ \frac{m}{s^2} = 9810 \ \frac{mm}{s^2}$$

$$q = q_D + \frac{P_D}{L} = 25 + \frac{200}{15} = 28.3 \ \frac{kN}{m}$$

$$f = \frac{\pi}{2L^2}\sqrt{\frac{EIg}{q}} = \frac{\pi}{2 \times 15000^2}\sqrt{\frac{2 \times 10^5 \times 15 \times 694 \times 10^6 \times 9810}{28.3}}$$

$$= 7.28\ Hz \geq 5\ Hz \rightarrow ok$$

$$g = 9.81 \ \frac{m}{s^2} = 9810 \ \frac{mm}{s^2}$$

مثال پایان بدیرفت

۳ جوش (Welding)

اتصال اعضای یک سازه‌ی فولادی به کمک حرارت و ذوب شدن قطعه‌ی آنها و یکپارچه شدن

پس از این فرآیند را جوشکاری می‌گوییم ؟

اتصال جوشی خوب اتصالی است که در آن خواص مکانیکی مصالح اولیه تحت اثر حرارت و ذوب شدن تغییر نکند.

بیش از ۸۰ درصد اتصالات اعضای فولادی با استفاده از جوش انجام می‌گیرد .

آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران ـ نشریه 228 ، سازمان مدیریت .

انواع فرآیندهای جوش

۱ـ جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش دار SMAW

جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش دار یکی از متداول ترین ، ساده ترین و شاید کارا مدترین روش هایی است که برای جوش فولادها متداول به کار می‌رود .

در این روش جوشکاری حرارت با برقرار نمودن قوس الکتریکی بین الکترود روکش دار و فلز پایه ایجاد می‌گردد . فلز پایه به قطعاتی می‌گویند که باید به هم وصل گردند

در این جوش فلز الکترود تبدیل به ماده‌ی پرکننده‌ی می‌شود و قسمتی از روکش به گاز محافظ و قسمت دیگر آن به گل جوشکاری تبدیل می‌شود. روکش الکترود در مخلوط گل مانند از سیلیکات‌ها سخت کننده و مواد گردمانند قلیایی و کلسیکی آلیاژهای فلزی و سلولز است.

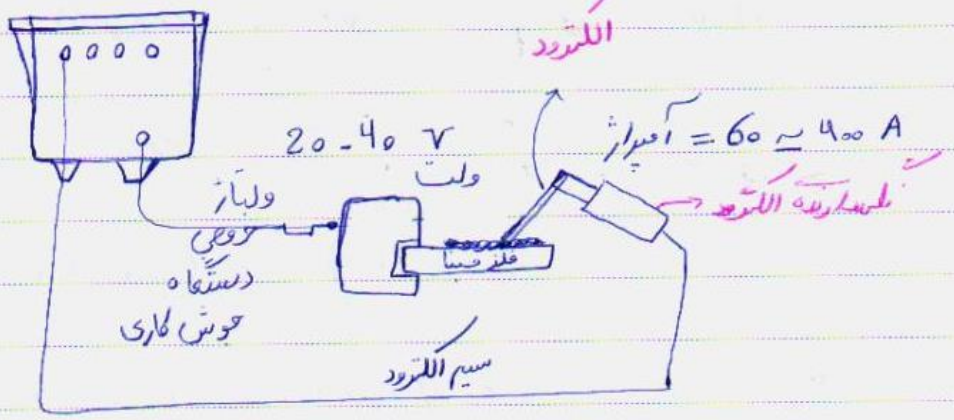
این مخلوط پخته شده و فشرده می‌گردد تا روکش سخت و خشک به وجود بیاورد.

روکش الکترود که مانند ماده حفاظت کننده است وظایف زیر را بر عهده دارد.

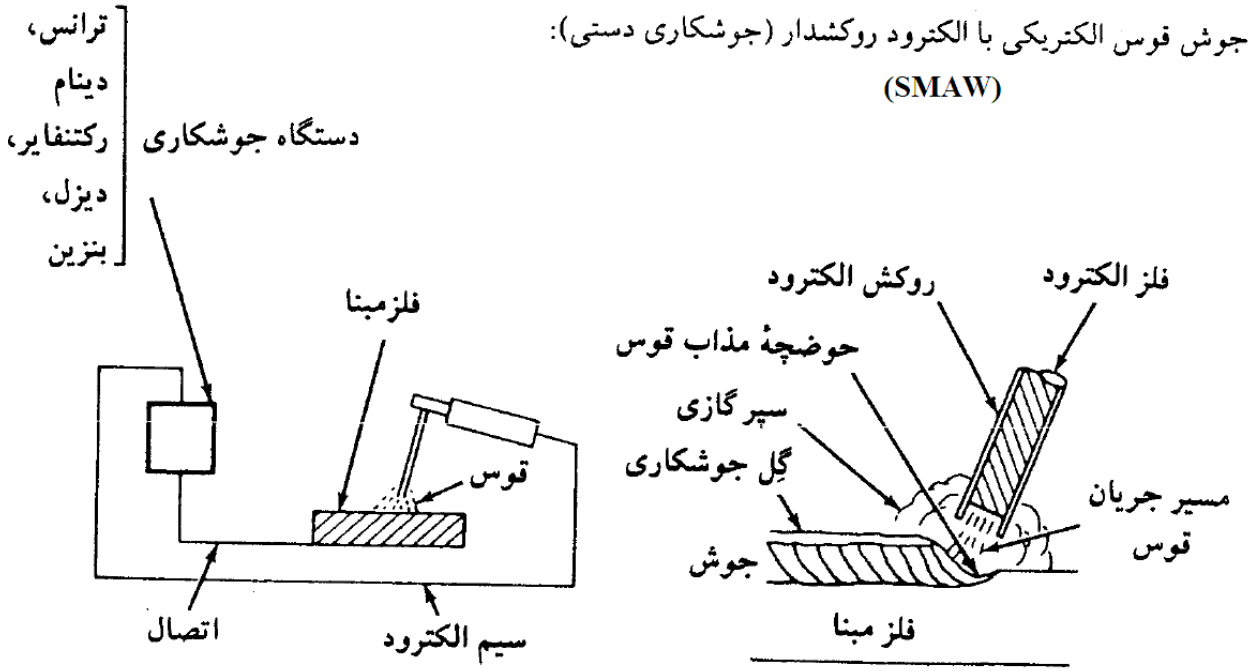
الف) با ایجاد سرباره‌ی هوا را از ناحیه قوس را تثبیت می‌کند.

ب) مواد دیگری مانند احیا کننده‌ها را وارد فلز جوش کرده و بافت ساختمانی آن را بهبود می‌بخشد.

پ) با ایجاد روکش از گل جوشکاری روی قطعه‌ی مذاب جوش سخت شده آنها را در مقابل اکسیژن و نیتروژن هوا محافظت کرده در ضمن مانع سرد شدن سریع جوش می‌گردد.



جوش قوس الکتریکی با الکترود روکشدار (جوشکاری دستی):
(SMAW)



(الف) مدار جوش قوسی

(ب) جوش قوس الکتریکی تحت حفاظ

۲- جوش قوس الکتریکی زیر پودری SAW

۳- جوش قوس الکتریکی تحت حفاظ گاز (GMAW)

۴- جوش قوس الکتریکی با الکترود توپودری (FCAW)

پیوست 1 نشریه 228

در این سه روش فوق که اغلب به صورت اتوماتیک انجام می‌شود الکترود به صورت مفتول بی‌روکش می‌باشد و عمل پوشش را پودر و یا گاز CO_2 انجام می‌دهد.

انواع اتصال‌های جوش

۱- اتصال لب به لب (B)

Butt

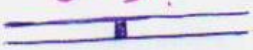
معمولاً برای اتصال ورق‌های با ضخامت یکسان

Year. Month. Date.

۲- جوش سپاری

این جوش اغلب به منظور انتقال کامل نیروی اعضاء به کار می‌رود. این جوش 15٪ از جوشکاری کل سازه‌ی فلزی را تشکیل می‌دهد.

۱ انواع جوش‌های سپاری



۱- جوش سپاری ساده

۲- جوش سپاری جناغی

۳- جوش سپاری نیم جناغی

۴- جوش سپاری جناغی دو طرفه

۵- جوش سپاری نیم جناغی دو طرفه

۶- جوش لاله‌ای

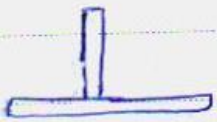
(جوش سپاری با نفوذ کسری)

۷- جوش نیم لاله‌ای

۸- لاله‌ای دو طرفه

۹- نیم لاله‌ای دو طرفه

2- اتصال سپری (T)



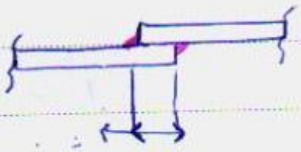
T-joint

3- اتصال گوشه ای (C)

Corner

4- اتصال روسری (پوششی) (L)

Lap



اتصال پوششی نسبت به اتصال لب به لب

دارای مزایایی زیر است.

1- سهولت تنظیم 2- سهولت انصال (یعنی قطعات نیاز به آماده سازی ندارند.

3- عدم محدودیت ضخامت

انواع جوش

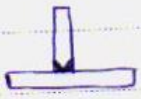
1- جوش گوشه

پرکاربردترین نوع جوش است که تقریباً 80٪ از جوش کی سازه کی فلزی را شامل می گردد.

مثل اتصال بال به جان تیرورق

جوشی که در راه داخل فلز جوش ستاری هست.

مثال اتصال گونیا

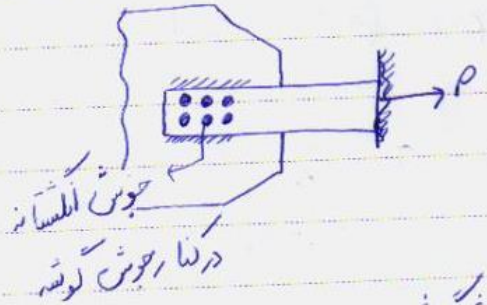


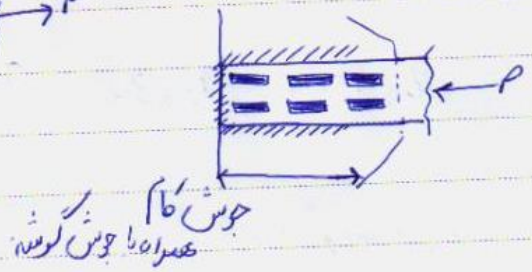
مثال اتصال سپری

جوش گوشه

۳- جوش انگشتانه و کام و نوشابه :-

این جوش که به تنهایی یا در کنار جوش گوشه دیده می‌شود به کار روند این جوش که برای انتقال نیروی برشی و جلوگیری از لغزش ورق که هم چنین برای تقویت ورق که در اثر نیروی کششی در مقابل کشش موضعی می‌توانند به کار روند.





الکترود دستی

Aws: America welding society 1 Kips = 7 $\frac{N}{mm^2}$

E 6o xx

↳ مقاومت کششی فلز الکترود (Kips) برحسب

$E6o \rightarrow Fue = 60\ Kips = 420\ Mpa$

مقاومت کرنش الکترود مصرفی در این

$\phi R_n \geq R_u$

فلز الکترود باید با مصالح فلز پایه پایدار باشد یعنی هر نوع الکترودی با هر نوع فلزی به کار برده نمی‌شود.

جدول ۱۰-۲-۹-۲-۶ مبحث دهم.

مقاومت فلز الکترود (MPa) Fue	نوع الکترود سازگار	فلز پایه (تنش تسلیم Fy برحسب MPa)		
420	E60	$t \leq 15\ mm$	$Fy \leq 300$	ST37 Fy = 240
420	E70			
	E70	$t > 15\ mm$, $Fy \leq 300$		
	E70	Fy: 300 ~ 380		
	E80	Fy: 380 ~ 460		
نشده 228	E100	t: 50 ~ 100	Fy: 460 ~ 800	
	E110	t < 50		

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

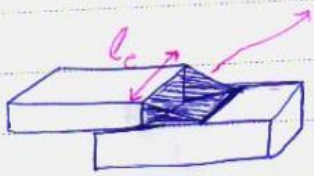
(سطح مقطع مؤثر جوش)

۱- جوش گوشه

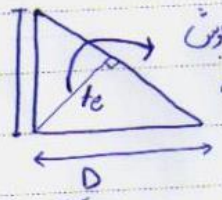
$A_{we} = l_e \, t_e$

l_e ← طول مؤثر جوش

t_e ← تئوری مؤثر جوش



D : پاپ های مساوی

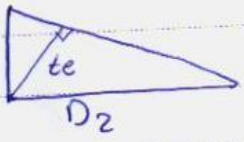


طول مؤثر جوش ← گوشه

$t_e = \frac{D}{\sqrt{2}} = 0.707\,D$

جوش یاساق جوش

جوش گوشه پاسناهای ناعمادی



$t_e = \frac{D_1 D_2}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}$

طول مؤثر جوش برابر با طول جوش از کله در حالت زیر.

در اتصال انتهایی اعضای خوری که بصورت طولی بارگذاری شده است.

l_e :

- L ; $\frac{L}{D} \le 100$
- βL ; $100 < \frac{L}{D} < 300$
- $180D$; $\frac{L}{D} > 300$

β ← ضریب کاهش طول مؤثر

$\beta = 1.2 - 0.002\left(\frac{L}{D}\right)$

$\beta = 0.6$

$0.6 \le \beta \le 1$

$\frac{L}{D} = 300$ $\quad$ $\frac{L}{D} = 100$

$BL = 0.6L = 0.6 * 300\,D = 180\,D$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

در همه‌ی حالت‌ها طول مؤثر جوش $le \geq 4D$

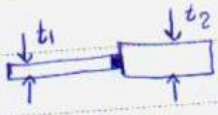
در قسمت a

2- جوش سپری

$Awe = le.te$

طول مؤثر جوش ← طول جوش شده می‌باشد

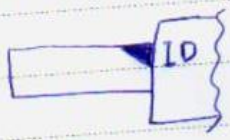
بلوی مؤثر جوش ← ورق‌ها



با نفوذ کامل

بانفوذ نسبی

$te = min\{t_1, t_2\}$

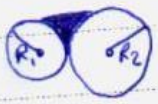


$te = 0.3mm$

در لبه‌گیری گرد:

جوش دو گلویی در کنار هم

$R = min\{R_1, R_2\}$



$te = 0.5R$

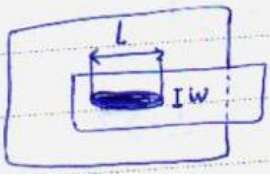
جوش گلویی در کنار ورق

$te = 0.3R$

3- جوش انگشتانه

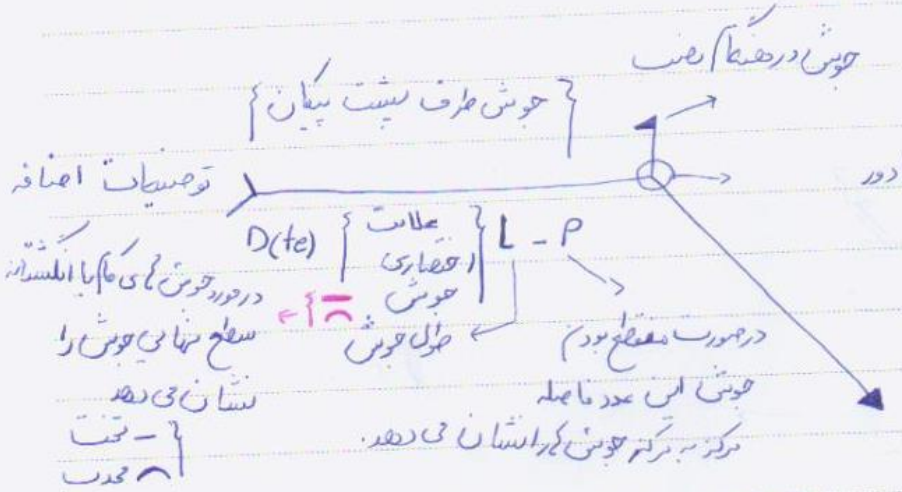
$Awe = \frac{\pi D^2}{4}$

4- جوش کام



$Awe = wl$

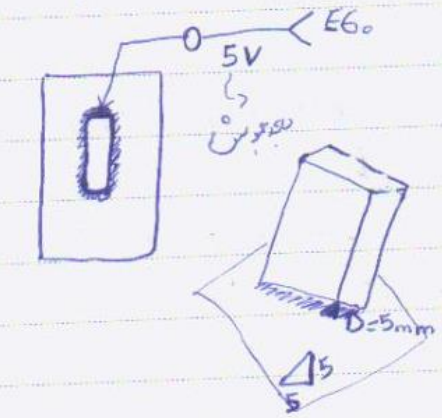
علائم جوشکاری

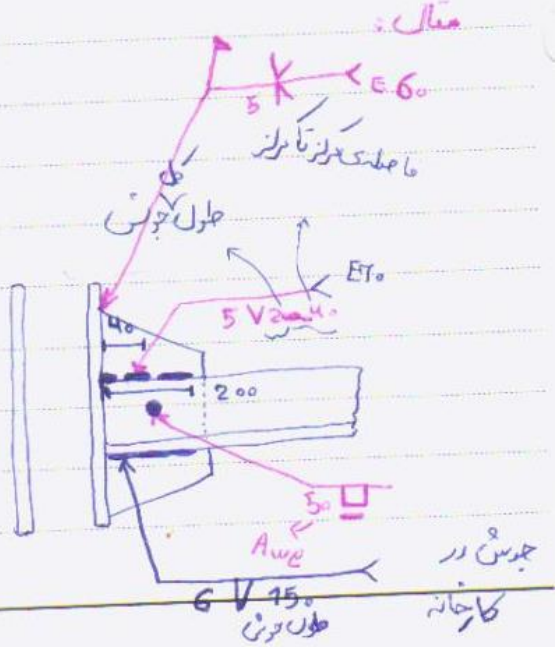


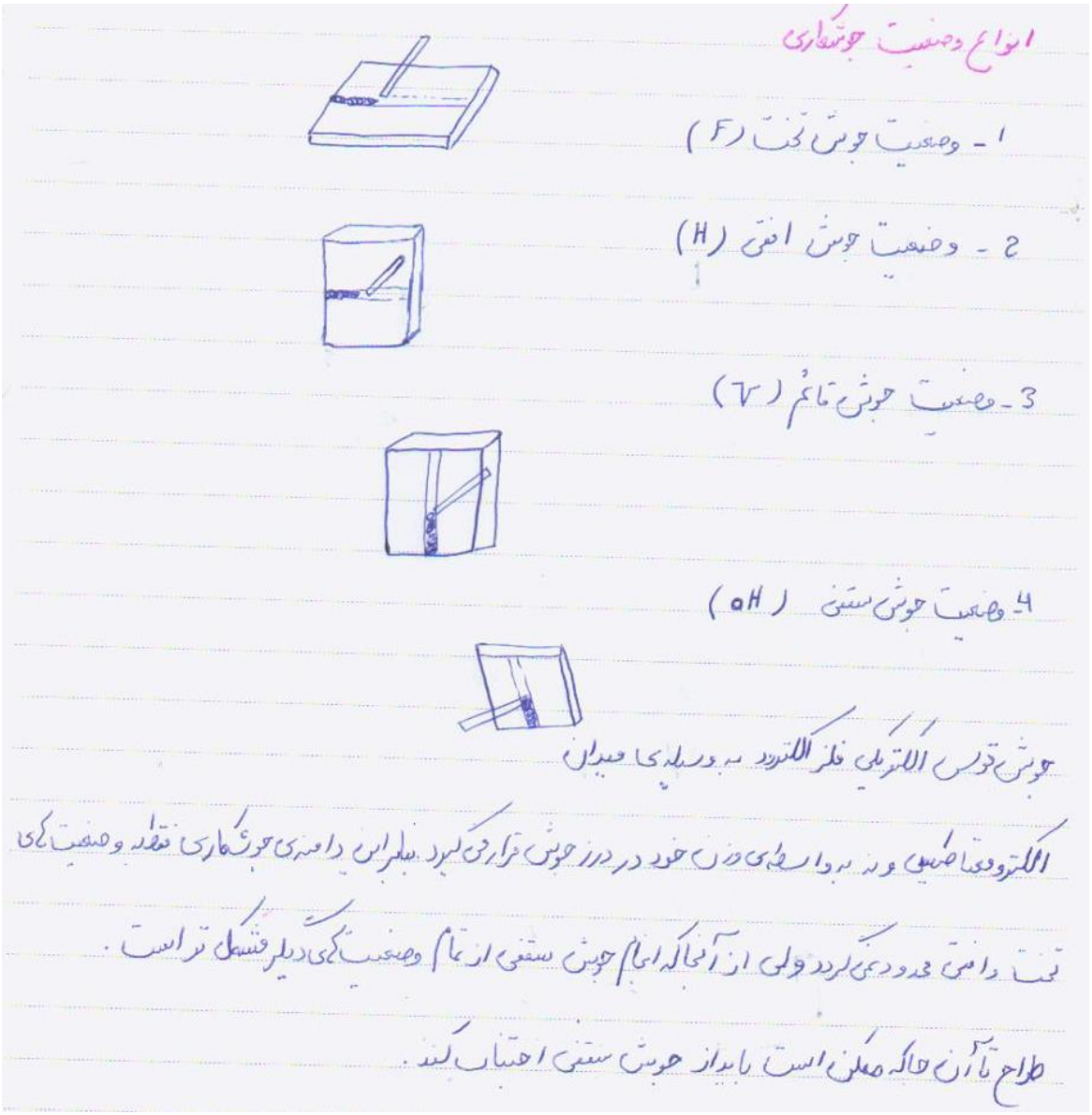
علائم اختصاری نوع جوش

جوش سپاری

جناقی سه‌گرد	جناقی گرد	نیم‌لاله‌ای	لاله‌ای	سه‌جناقی	جناقی	ساده	کام یا انگشتانه	جوش گوشه
۲	۷	۲	۲	۷	۷	۱۱	□	△



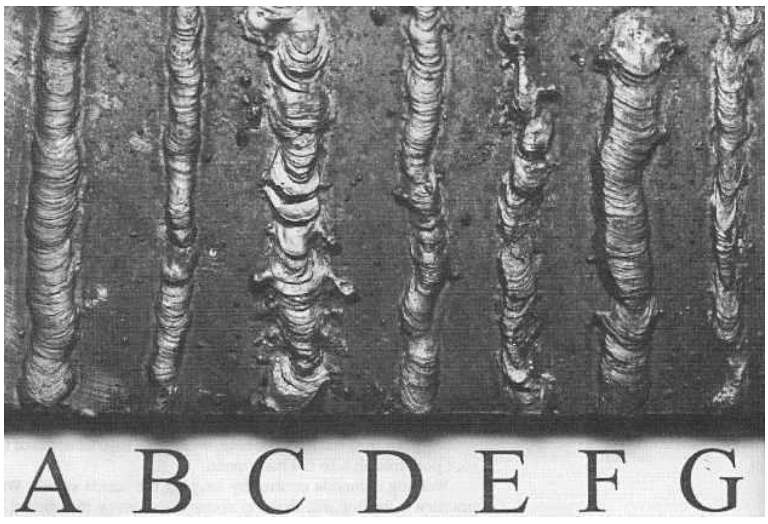




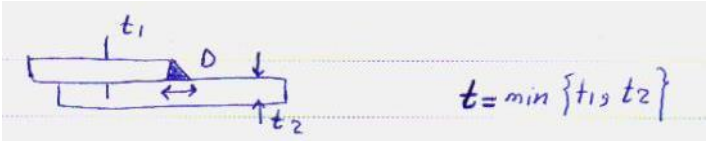
معایب جوش

A – جوش قابل قبول B – آمپراژ کم است C – آمپراژ زیاد است D – طول قوس کوتاه است

E – طول قوس بلند است F – سرعت حرکت کم است G – سرعت حرکت زیاد است



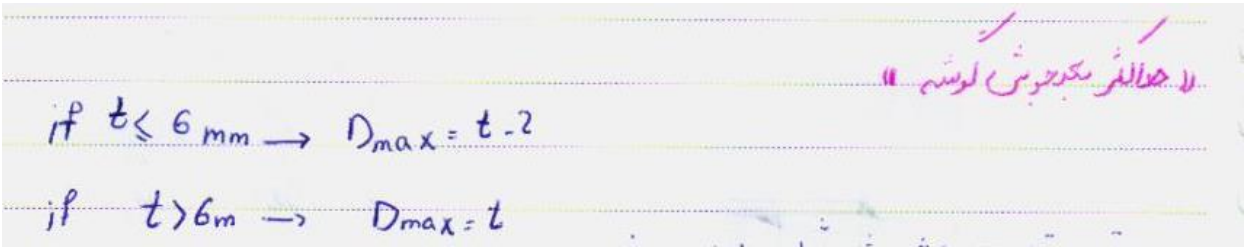
حداقل بعد جوش گوشه، بر اساس ضخامت قطعه نازکتر می باشد.



جدول ۱۰-۲-۹-۲ حداقل بُعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر (t)	حداقل بُعد جوش گوشه D_{min} (با یک بار عبور)
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰	۸ میلی‌متر

- در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یکبار عبور تأمین نمود، باید از پیش گرمایش و یا فرآیندهای کم هیدروژن استفاده کرد.
- در سازهٔ تحت بار دینامیکی حداقل اندازه جوش ۵ میلی‌متر می‌باشد



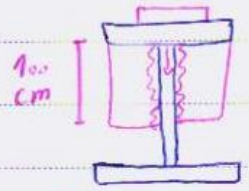
جدول ۱۰-۲-۹-۱ حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت موثر
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر
بیش از ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر	۱۰ میلی‌متر
بیش از ۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر	۱۳ میلی‌متر
بیش از ۱۵۰ میلی‌متر	۱۶ میلی‌متر

- *در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تعیین نمود باید از پیش گرمایش و یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.*
- *برای قطعات با ضخامت بزرگتر از ۴۰ میلی‌متر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعهٔ خاص مورد بررسی قرار گیرد.*

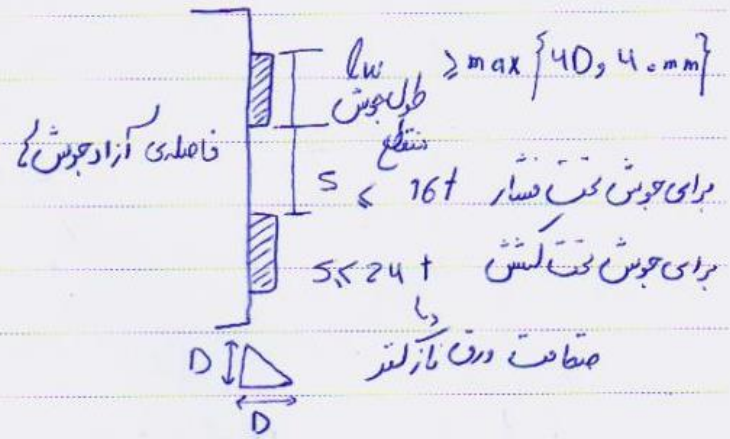
نکات آیین نامه ای مربوط به جوش گوشه

استفاده از جوش منقطع در اتصال جان و بال تیر ورق که اتصال ورق کمکی تقویتی بال ،
اتصال سخت کننده به جان تیر ورق و برای اتصال اجزای ساخته شده از ورق مجاز می باشد .

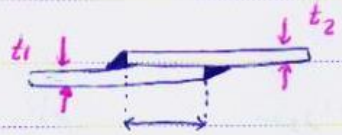


منقطع

$30cm \leftarrow D_{min}$



- طول هم پوشانی در اتصال روی هم

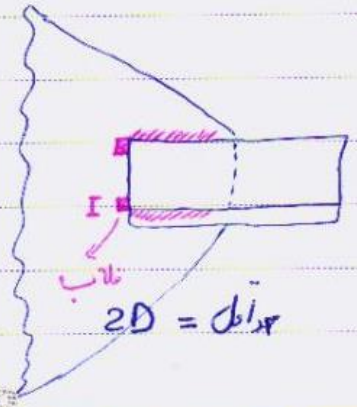


$$\text{طول هم پوشانی} \geq \max\{25mm, 5t\}$$

$t = \min\{t_1, t_2\}$

تذکر : کلیه ی جوش هایی که در لبه کناری یا ضلع انتهایی عضو اجرا می شود باید در انتها ضلع دور

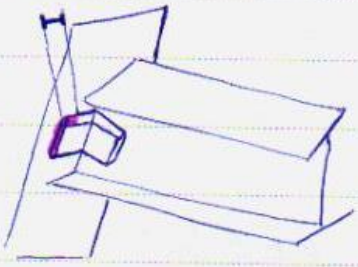
روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به آن تذکر می گویند .

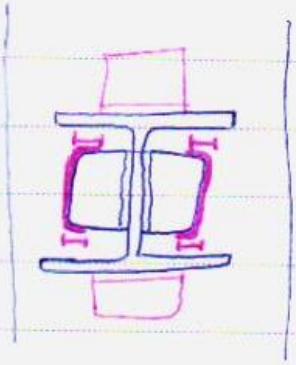


در اتصال نبشی به جان تیر (در اتصال ساده)

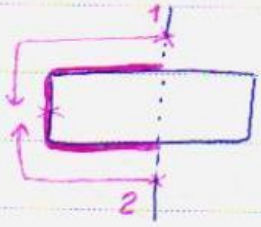
طول حداکثر قلاب: 4D (برای عدم تأثیر بر انعطاف پذیری اتصال)

طول قلاب: max = 4D, min = 2D





مسیر مناسب برای جلوگیری از زخم لبه ← اودوف شده



« جوش کمکی گوشه در دو طرف مخالف یک صفحه‌ی مشترک »

در این حالت جوش باید در گوشه‌ی مشترک دو بار جوش قطع شود.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

انقباض جوش و تنش‌های پسماند

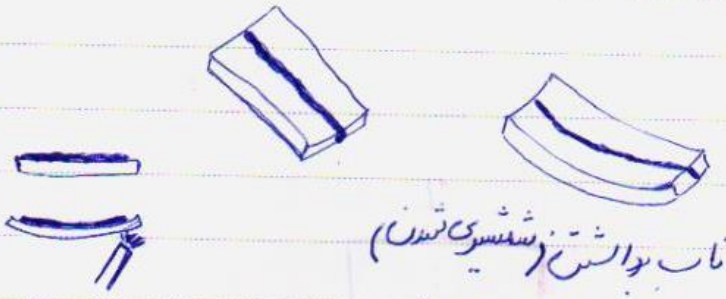
در اثر انقباض فلز جوش در هنگام سرد شدن تنش‌های پس ماند در جوش ایجاد می‌شود.

$$\text{مقدار انقباض} = \alpha \Delta T$$

$$\text{تنش پسماند} = E_m \alpha \Delta T$$

$E_m \simeq 0.75\, E_e$ الکترود

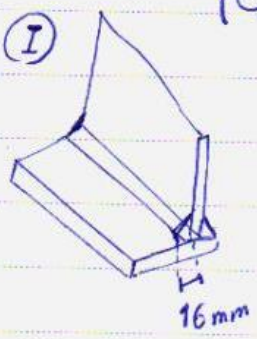
E_m توسط فلز جوش از دماهای جوش تا دمای معمولی اتاق



تاب برداشتن (شکستن تنش)

چند راهکار عملی برای جلوگیری از تاب برداشتن و کم کردن نیروی انقباض جوش:

1- استفاده از حداقل مقدار فلز جوش (مخصوصاً در جوش‌های شیاری)



2- استفاده از تعداد دفعات عبور کمتر

3- استفاده از پیش تاب در هنگ قطعات

4- تنش زدایی با استفاده از عملیات حرارتی

تنش زدایی با استفاده از عملیات حرارتی

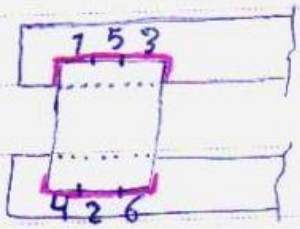
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

5- استفاده از جلیقه کاری برای عملیات تنش زدایی

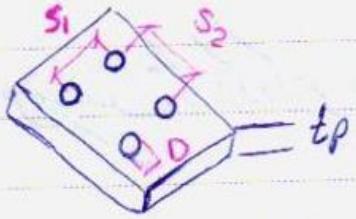
6- استفاده از ترتیب مناسب در انجام جوش متقابل

1	7	3	9	5
6	2	8	4	10

(II)

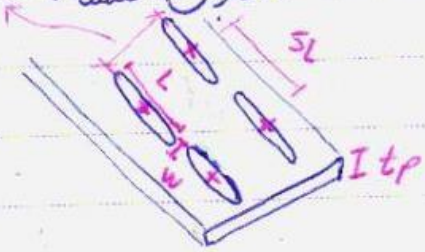


نکات مربوط به هندسی جوش انگشتانه

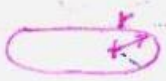


$$\begin{cases} D \geq t_p + 8\,mm \\ D \leq 2.25\,t_w < t_p + 11 \end{cases}$$

فاصله ی مرکز تا مرکز $S \geq 4D$ (دو جوش انگشتانه)



جوش کام



ایجاد جوش

$$\begin{cases} L \leq 10\,t_w \\ W > t_p + 8 \\ W < 2.25\,t_w \\ r \geq t_p \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_r \geq 4W \\ S_L \geq 2L \end{cases}$$

برای هر دو جوش آنلستا به دو گام

if $t_p \leq 16\,mm \longrightarrow t_w = t_p$

if $t_p > 16\,mm \longrightarrow t_w > \frac{1}{2} t_p \geq 16\,mm$

* مقاومت جوش

مقاومت طراحی جوش ϕR_n است. که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت و R_n مقاومت اسمی جوش است که از کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت های مختلف حالت های حدی گسیختگی کششی، گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش بدست می آید. صفحه 153

الف) براساس مصالح فلز پایه (BM : Base Materi

$$R_n = F_{nBM} A_{BM}$$

تنش اسمی فلز پایه

$R_n = \min$ ↑

ب) براساس مصالح فلز جوش

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we}$$

F_{nw}: تنش اسمی فلز جوش

β: ضریب بازرسی جوش

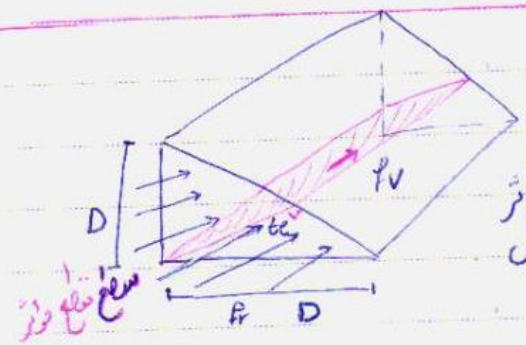
برای حالتی که جوش تحت آزمایش غیرمخرب مثل UI ، RT (الکترونیک (رادیوگرافی) پرتونگاری)

1 } 0.85 برای حالت جوش کارخانه ای و بازرسی چشمی جوش

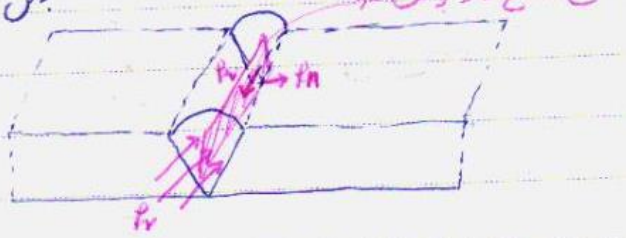
0.75 درصورت انجام جوش در کارگاه و بازرسی چشمی جوش

جدول مقاومت جوش‌ها — ۱۰_۲_۹_۳ صفحه 155

نوع جوش	نوع بار وارد شده بر محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت ϕ	تنش اسمی F_{nBM} یا F_{nw}
گوشه	برش در سطح مؤثر	فلز پایه / فلز جوش	0.75	$F_{nw}=0.6F_{uE}$ (برش) — طبق فصل ۱۰_۲_۱_۶
	کشش یا فشار موازی محور جوش	فلز پایه		طبق فصل ۱۰_۲_۱_۳ کشش / ۱۰_۲_۱_۴ فشار
جوش آب‌شیار و کام	برش بر سطح برش شونده (روی سطح مؤثر)	فلز پایه / فلز جوش	0.75	$F_{nw}=0.6F_{uE}$ — طبق فصل ۱۰_۲_۱_۶ برش
جوش سوراخی و با شیار کامل و نیمه کامل شده	کشش عمود بر سطح مؤثر جوش	فلز پایه		طبق فصل ۱۰_۲_۱_۳ (کشش)
	فشار عمود بر سطح جوش یا موازی محور جوش			F (فشار)
	کشش			۳ (کشش)
	برش در سطح مؤثر	فلز پایه		۶ (برش)



t_e بعد مؤثر جوش $= 0.707\,D = \frac{D}{\sqrt{2}}$



ارزش جوش

به مقاومت نهایی واحد طول جوش ارزش جوش می‌گویند

$$\text{ارزش جوش} = \frac{\text{مقاومت نهایی جوش}}{\text{طول جوش}} \qquad R_w = \frac{\phi R_n}{L_w} = \frac{\phi \beta F_{nw} A_{we}}{L_w}$$

(R_w: N/mm ، L_w: mm)

$\phi\beta F_{nw} t_e$ ← ضریب کاهش مقاومت، ضریب کیفیت جوش، تنش نهایی جوش، بازوی گشتاور جوش ($t_e = 0.707D$)

0.75	جوش کارگاهی
0.85	جوش کارخانه‌ای
1	جوش با انجام آزمایش‌های غیرمخرب

* ارزش جوش گوشه برای $E60$ و شرایط کارگاهی

$\beta = 0.75$ ، $F_{ue} = 60 \times 7 = 420\ MPa$

$\phi = 0.75$ ، $F_{nw} = 0.6 F_{ue}$

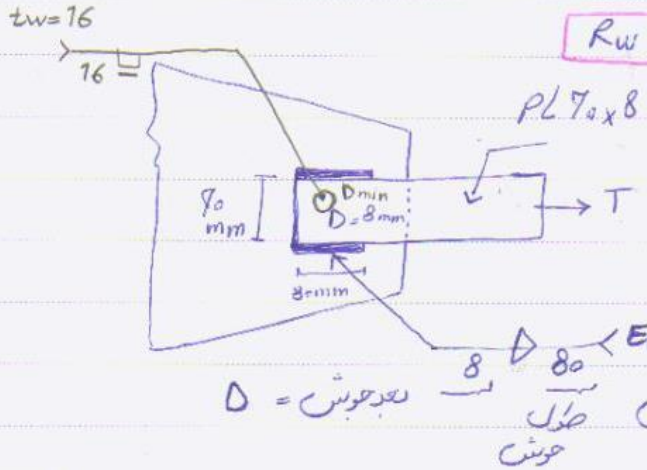
برای جوش گوشه $E60$، $\beta = 0.75$:

$$R_w = \phi \beta (0.6 F_{ue}) \times 0.707D =$$

$$= 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 420 \times 0.707D \cong 100D$$

$$R_w = 100D$$

مثال: ظرفیت اتصال زیر بدست آورید.



$R_w = 100\,D = 100 \times 8 = 800\ N/mm$

مقاومت نهایی جوش $T_w = R_w . l_e = 800 \times 80 = 64\ kN$ (کنترل کننده است)

$\frac{L}{D} = \frac{80}{8} = 10 \leq 100 \rightarrow l_e = L = 80\ mm$

مقاومت نهایی ورق (BM) $T_p =$ { معیار تسلیم: $\phi_t P_n = 0.9 F_y A_g = 0.9 \times 240 \times (70 \times 8) = 121.0\ kN$; معیار گسیختگی: $\phi_t P_n = 0.75 F_u A_e = 0.75 \times 370 \times (70 \times 8) = 155.4\ kN$ }

$A_e = UA_g$ ، ضعیف‌ترین اتصال $= 64\ kN$

اگر در این اتصال از یک جوش انگشتانه با قطر حداقل استفاده شود ضعیف‌ترین اتصال چه تغییری می‌کند.

حداقل قطر جوش انگشتانه $D = D_{min} = t_p + 8 = 8 + 8 = 16\ mm$ ← جوش انگشتانه

مقاومت $t_w = \phi R_n = \phi B F_{nw} A_w = 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 420 \times \pi \times \frac{16^2}{4} =$

$\phi = 0.75$ ، $F_{nw} = 0.6 F_{ue}$ ← ناشی از جوش انگشتانه

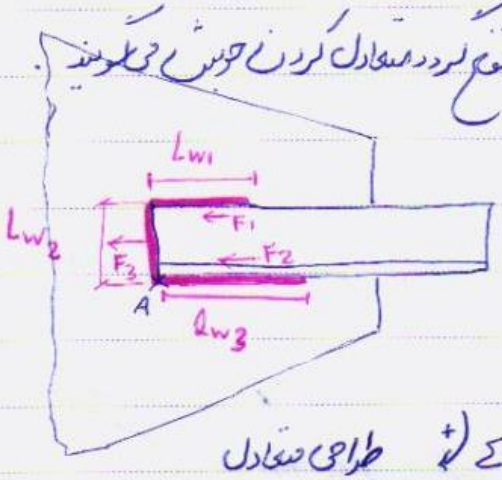
$28.5\ kN$

مقاومت مجموعی جوش $= t_w + t_w' = 64 + 28.5 = 92.5\ kN$

$if\ t_p < 16 \rightarrow t_w = \frac{8}{t_p}\ m$

جوش متعادل

طراحی جوش در اتصال اعضای نیروی محوری به صورتی که در جوش برون محوری (خروج از مرکزیت) اتفاق نیفتد طراحی جوش به صورتی که عدم تقارن در تنش ایجاد نشود متعادل کردن جوش می گویند.



$$F_2 = R_w l_{w2}$$

طراحی متعادل جوش

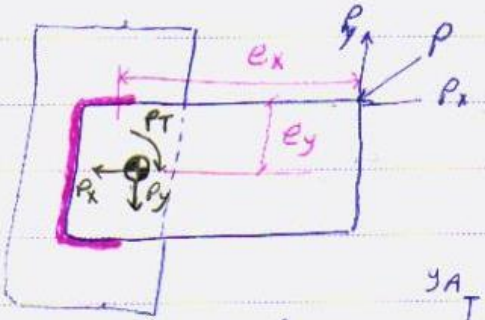
$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 \Rightarrow T_y - F_2 \frac{d}{2} - F_1 d = 0 \Rightarrow$$

$$F_1 = \frac{T_y}{d} - \frac{1}{2} F_2$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_1 + F_2 + F_3 = T \longrightarrow F_3 = T - F_1 - F_2$$

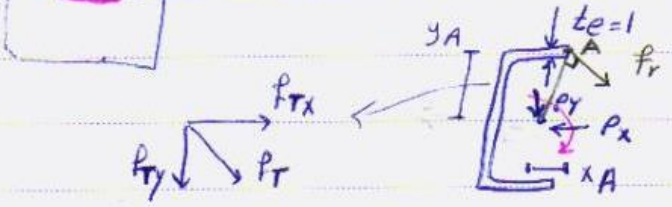
$$\begin{cases} F_1 = R_w l_{w1} \longrightarrow l_{w1} = \frac{F_1}{R_w} \\ F_3 = R_w l_{w3} \longrightarrow l_{w3} = \frac{F_3}{R_w} \end{cases}$$

جوش تحت اثر برش و پیچش



جوش تحت اثر

فرض می کنیم که گلوی موثر جوش واحد است.



$$T = P_y e_x - P_x e_y$$

و با این فرض مشخصات هندسی جوش را بدست می آوریم. (A_w و I_x و I_y)

تنش برشی ناشی از نیروی برشی:

$$f_{vx} = \frac{P_x}{A_w}$$

$$f_{vy} = \frac{P_y}{A_w}$$

تنش برشی ناشی از پیچش در یک نقطه‌ی دلخواه از جوش (در نقطه A):

$$f_{TA} = \frac{T r_A}{J} \nearrow = \begin{cases} f_{Tx} = \frac{T y_A}{J} \\ f_{Ty} = \frac{T x_A}{J} \end{cases}$$

ممان اینرسی قطبی جوش $J = I_x + I_y$

حل مرکز سطح

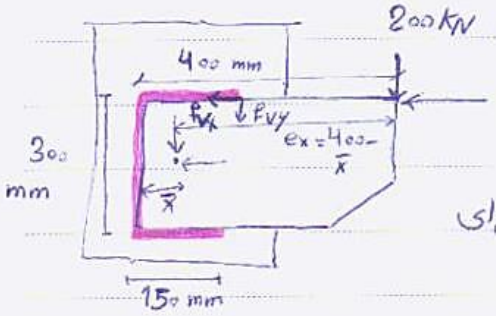
$$f_r = \sqrt{(f_{vx} + f_{Tx})^2 + (f_{vy} + f_{Ty})^2} \leq \frac{R_w}{E60} \quad \left(\frac{N}{mm}\right)$$

تنش معادل

$100\,D$

مثال: اتصال زیر را برای اتصال جوش گوشه طراحی کنید.

اتصال برای $E70$ و شرایط جوش کارخانه‌ای می باشد. $200\,kN$

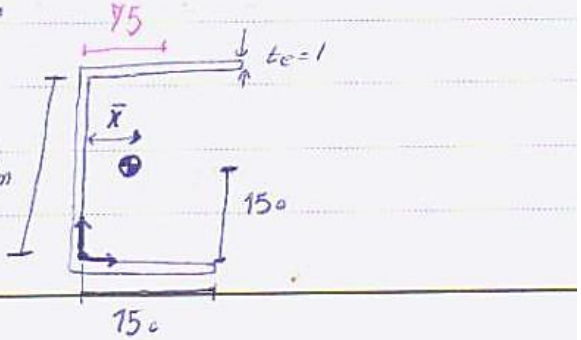


جوش کارخانه‌ای $\beta = 0.85$

الکترود $E70 \rightarrow F_u = 490\,MPa$

حل: با فرض $te = 1$ مشخصات هندسی جوش را بدست می آوریم.

$$A_w = 2 \times 150 + 300 = 600\,mm$$



$$\bar{x} = \frac{\sum A_{wi} x_i}{A_w} = \frac{2 \times 150 \times 75}{600} = 37.5\,mm$$

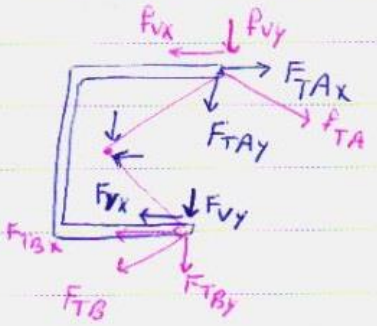
$$I_x = \frac{1}{12} \times 300^3 + (2 \times 150 \times 1) \times 75^2 =$$

$$2.25 \times 10^6$$

$$I_y = 2\times\left[\frac{1}{12}\times 150^3 + 150\times(75-37.5)^2\right] + 300\times 37.5^2 = 7.41\times 10^6 \ mm^4$$

$$J = I_x + I_y = 3.66\times 10^6 \ mm^4$$

$$T = 200\,(400-37.5) - 150\times 150 = 50{,}000 \ KN.mm = 50 \ KN-m$$



برش مستقیم:

$$f_{VX} = \frac{P_x}{Aw} = \frac{150\times 10^3}{600} = 250 \ \frac{N}{mm}$$

$$f_{VY} = \frac{P_y}{Aw} = \frac{200\times 10^3}{600} = 333.3 \ \frac{N}{mm}$$

$$f_{rA} = \sqrt{(f_{VX} - f_{TAX})^2 + (f_{VY} + f_{TAY})^2}$$

✓ جوابی $f_{rB} = \sqrt{(f_{VX} + f_{TBX})^2 + (f_{VY} + f_{TBY})^2}$

گروه جوش BC حول نقطه ۱:

$$f_{rX} = \frac{T y_B}{J} = \frac{50\times 10^6 \times 150}{3.66\times 10^6} = 2049 \ \frac{N}{mm}$$

$$f_{TY} = \frac{T x_B}{J} = \frac{50\times 10^6 \times (150-37.5)}{3.66\times 10^6} = 1537 \ \frac{N}{mm}$$

$$f_r = \sqrt{(f_{VX} + f_{TX})^2 + (f_{VY} + f_{TY})^2} = \sqrt{(250+2049)^2 + (333.3+1537)^2}$$

$$f_r = 2964 \ \frac{N}{mm} < R_w$$

ارزش جوش $R_w = \phi_B F_{nw} t_e = \phi_B (0.6 F_{uE}) \times 0.707 D$

$$= 0.75\times 0.85\times 0.6\times 490\times 0.707 D = 123.7 D$$

$R_w \geq f_r \longrightarrow 123.7 D \geq 2964$

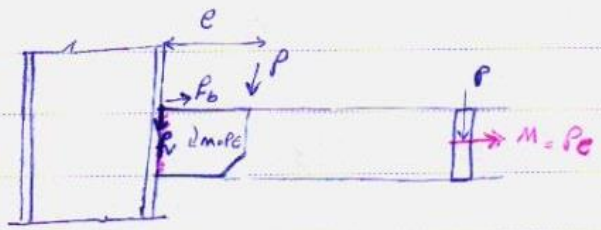
$\Rightarrow D \geq 23.96 \ mm$

ضخامت ورق بازکنار $t = 30 \ mm > 20 \ mm \longrightarrow D_{min} = 8 \ mm$

$t > 6mm \longrightarrow D_{max} = t \longrightarrow D_{max} = 30 \ mm$

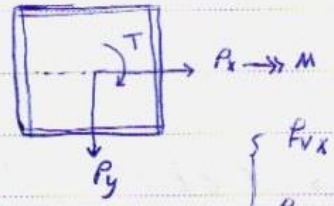
$\Rightarrow$ Use $D = 24$

جوش تحت اثر برش و لنگش



با فرض $t_e = 1$:

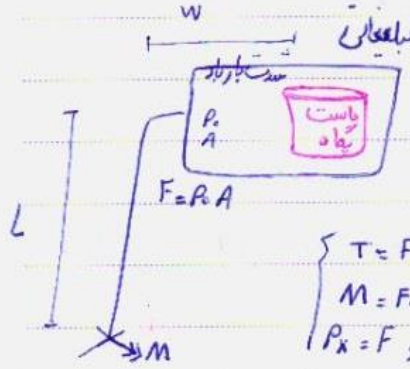
$$\begin{cases} f_v = \dfrac{P}{A_w} \\ f = \dfrac{M}{S_x} \end{cases} \rightarrow f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} \leq R_w$$



بعد جوش تغییر می‌کرد . با فرض $t_e = 1$

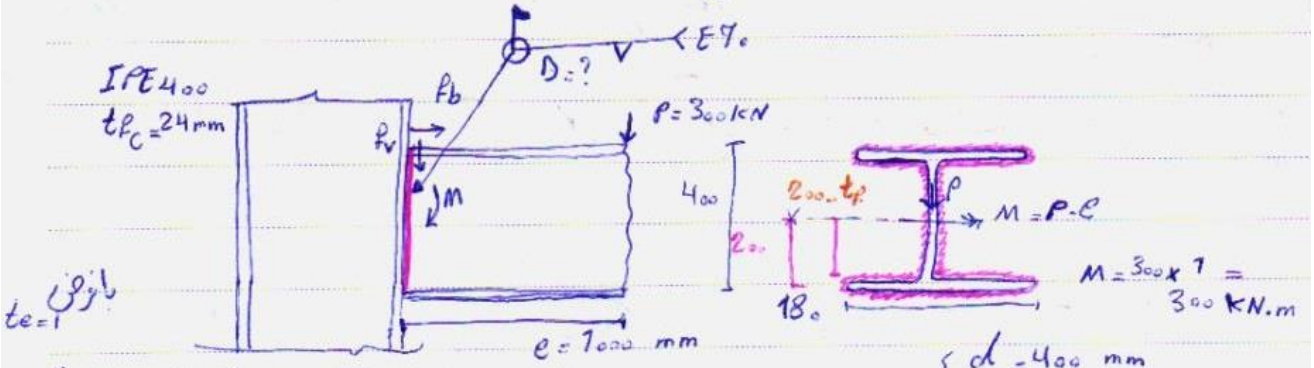
$$\begin{cases} f_{vx} = \dfrac{P_x}{A_w} \\ f_{vy} = \dfrac{P_y}{A_w} \end{cases} \qquad \begin{cases} f_{Tx} = \dfrac{T_y}{J} \\ f_{Ty} = \dfrac{T_x}{J} \end{cases} , \quad f_b = \dfrac{M}{S_w}$$

$$f_r = \sqrt{(f_{rx} + f_{Tx})^2 + (f_{vy} + f_{Ty})^2 + f_b^2} \leq R_w$$



$$\begin{cases} T = F_w \\ M = FL \\ P_x = F \ , \ P_y = 0 \end{cases}$$

مثال : برای اتصال جوش گوشه با الکترود E70 و شرایط جوش کارگاهی طراحی کنید.



$$\begin{cases} A_w = 4 \times 18 - 2 \times 8.6 + 2 \times 400 = 1502.8 \text{ mm} \\ I_{wx} = 2 \times \left[\frac{1}{12} \times 400^3 \right] + 2 \left[18 \times 200^2 + (18 - 8.6) \times (200 - 13.5)^2 \right] = 36.59 \times 10^6 \text{ mm}^3 \end{cases}$$

IPE 400 :

$$\begin{cases} d = 400 \text{ mm} \\ b_f = 180 \text{ mm} \\ t_f = 13.5 \text{ mm} \\ t_w = 8.6 \text{ mm} \end{cases}$$

$$f_{vx} = \frac{P}{A_w} = \frac{300 \times 10^3}{1502.8} = 199.6 \ \frac{N}{mm}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{Mc}{I_w} = \frac{300\times10^6\times200}{36.99\times10^6} = 1622\ \frac{N}{m}$$

$$f_r = \sqrt{f_{vy}^2 + f_b^2} = \sqrt{199.6^2 + 1622^2} = 1634.2\ \frac{N}{mm}$$

$$R_w = \phi\beta F_{nw} t_e = \phi\beta\,(0.6F_{ue})\,0.707D = 0.75\times0.75\times0.6\times490\times0.707D = 116.9D$$

$$R_w \geq f_r \Rightarrow 116.9D \geq 1634.2 \Rightarrow$$

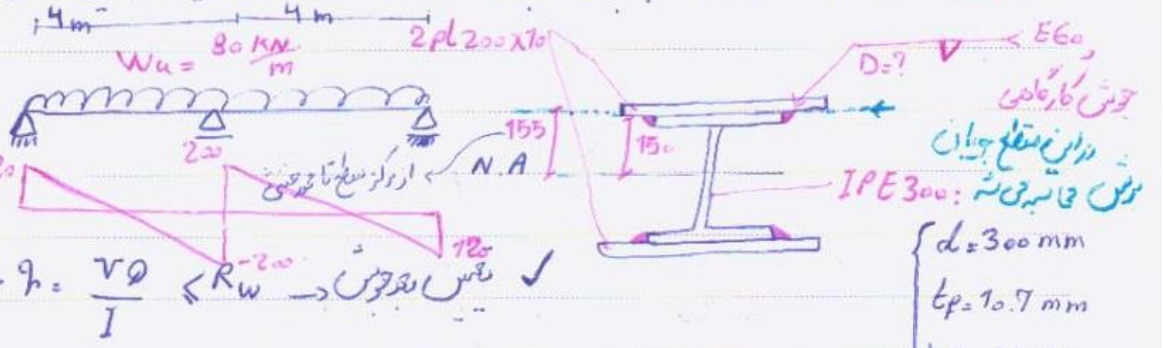
$$\boxed{D \geq 14.0\ mm}$$

$$t = \min\{t_{fc}, t_{fb}, t_{wb}\} = 8.6\ mm \rightarrow 6 \leq t \leq 72 \rightarrow D_{min} = 5\ mm$$

برای کمترین بعد جوش $t > 6 \rightarrow D_{max} = t \rightarrow D_{max} = 8.6\ mm$

این اتصالات شکل دارند زیاد از آنها استفاده می‌شود.

مثال: حداقل اندازه‌ی بعد جوش برای اتصال صفحی تقویت به تیر I شکل زیر بدست آورید.



$$\frac{N}{mm}\ \text{جریان برش}\ q = \frac{VQ}{I} \leq R_w \rightarrow \text{برش بحرانی} \checkmark$$

$$\text{کل ممان اینرسی}\ I = 83.6\times10^6 + 2\left[\frac{1}{12}\times200\times10^3 + (200\times10)\times155^2\right] =$$

$$179.9\times10^6\ mm^4$$

$d = 300\ mm$
$t_f = 10.7\ mm$
$b_f = 150\ mm$
$t_w = 7.1\ mm$
$I_x = 83.6\times10^6\ mm^4$
$r = 15\ mm$

* کنترل برش در فلز الکترود

$$Q = \sum A_i \bar{y}_i = (200\times10)\times 155 = 3.1\times10^5 \ mm^3$$

$$\text{جریان برشی } q = \frac{V_u Q}{I} = \frac{(200\times10^3)\times 3.1\times10^5}{179.9\times10^6} = 344.6 \ \frac{N}{mm}$$

جریان برشی به دو تا جوش وارد می شود.

$R_w = 100\,D$ (جوش گاهی وقتا)

با جست و جو می گیم دو برابری گیم یا این جا تقسیم بر 2 می گیم!

$$\frac{q}{2} \le R_w \Rightarrow \frac{344.6}{2} \le 100\,D \Longrightarrow D \ge 1.7 \ mm$$

* کنترل برش در جان پایه

V_n مربوط به جان پایه $\quad \frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \longrightarrow$

ضلع نوردشده $\quad t_f$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300-2(10.7+15)}{7.1} = 35.07$$

$$2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.25\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 64.66$$

$\Rightarrow \Phi_v = 1$, $C_v = 1$

d_{tw}

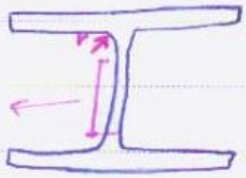
مقاومت برشی اسمی $\quad V_n = 0.6 F_y A_w C_v = 0.6\times240\times(300\times7.1) = 306.72 \ KN$

مقاومت برشی طراحی $\quad \Phi_v V_n = 306.72 \ KN$

جریان برشی ناشی از لنگر خمشی تحمل شده توسط جان پایه (BM)

$$q_{BM} = \frac{(\Phi_v V_n) Q}{I} = \frac{(306.72\times10^3)\times 3.1\times10^5}{179.9\times10^6} = 528.5 \ \frac{N}{mm}$$

$$\frac{q_{BM}}{2} \le R_w \longrightarrow \frac{528.5}{2} \le 100\,D \quad D \ge 2.64 \ mm$$



در طراحی بعد جوش گوشه‌ی تحت برش بهینه ترین بعد جوش از حساوی کم قرار دادن مقاومت فلز جوش و مقاومت فلز پایه بدست می آید.

بنابراین در مثال قبل کنترل ابتدایی که مربوط به فلز جوش بود لازم نیست.

ضخامت ورق‌های جوش شده $= \min(t_f, t_p) = \min(10.9, 10) = 10\ mm$

$$\Rightarrow \begin{cases} t: 6 \sim 12mm \longrightarrow D_{min} = 5mm \\ t > 6\ mm \longrightarrow D_{max} = t \longrightarrow D_{max} = 10\ mm \end{cases}$$

مقدار حداقل آیین نامه‌ای از مقدار بعد جوش طراحی شده $(D \geq 2.64)$ بیشتر است.

USE $D = 5mm$ استفاده شده

در این حالتی توانیم از جوش منقطع استفاده کنیم.

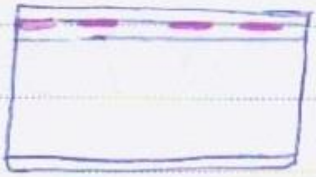
استفاده از جوش منقطع: $(R_w = 100D)$

$$\begin{cases} (R_w)_{Use} = 100 \times 5 = 500\ N/mm \\ (R_w)_{Design} = 100 \times 2.64 = 264\ N/mm \end{cases}$$

$$(R_w)_{Use} \times \underbrace{L_{Tw}}_{\text{طول کل جوش منقطع}} = (R_w)_{Design} \times \underbrace{L}_{\text{طول تیر}}$$

$$500 \times L_w = 264 \times 4000 \Rightarrow L_{Tw} = 2112 \text{ mm}$$

$$L_{Tw} = \Sigma L_w$$



$$\begin{cases} L_w \geq \max\{4D, 40\} = \max\{4 \times 5, 40\} = 40 \text{ mm} \\ S \leq 24t = 24 \times 10 = 240 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{Use} \begin{cases} L_w = 250 \text{ mm} \\ S = 750 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow (L_{wT}) = 10 \times 250 = 2500 > L_{wT}$$

$$= \frac{L}{S_T L_w} = \frac{4000}{250+750}$$

۴ اتصالات پیچی

صفحه 157 انواع وسایل اتصال در سازه‌های فولادی

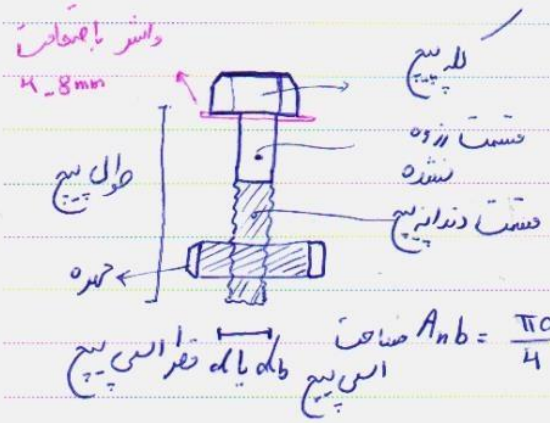
اتصالات پیچی
1- جوش ← تقریباً ۸۰٪ از اتصالات سازه‌های فولادی با جوش انجام می‌شود.
2- پیچ
3- پرچ

پرچ: از وسایل بسیار قدیمی برای اتصالات سازه‌های فولادی است که استفاده از آنها تقریباً منسوخ شده است.

مزایای اتصالات پیچی

۱- سرعت نصب و عوتاثر بالا
۲- امکان بازنمودن سازه و استفاده مجدد
3- نداشتن محدودیت در تأمین وسایل و تجهیزات جوشکاری
4- عدم نیاز به کارگر ماهر
5- بی‌سرو صدا بودن هنگام نصب و اجرا (نسبت به عملیات پرچ کاری)
6- شرایط خوب کار (توانایی اجرا در شرایط جوی مختلف)
7- عدم محدودیت در اعضای اتصال یابی
8- کم‌هزینه بودن کارهای نصب و اجرا

شکل ظاهری پیچ



انواع پیچها از نظر مقاومت

پیچها براساس مقاومت نهایی آنها به دو دسته‌ی پیچ معمولی و پیچ پر مقاومت تقسیم می‌شوند.

پیچ معمولی از فولاد نرم یا کربن کم و پیچ های پرمقاومت از فولاد با کربن متوسط ساخته شده اند.

مبحث 8 آیین نامه.

(جدول 1-2-و-6)

نوع پیچ	Fu (MPa)	Fy (MPa)	ISO	ASTM	فلز پیچ
پیچ معمولی	400	240	—	A307	
پیچ های پرمقاومت	800 ($d \le 24mm$)	—	—	A_{325}	
	725 ($d > 24mm$)	—	—	A_{325}	
	1000	—	—	A_{490}	

پیچ استاندارد ISO — نوع فلزی A.B — MPa — $F_u = 10A$ — $F_y = \frac{B}{10} F_u$

Fu	Fy	ISO
400	240	4.6
420	320	4.8
500	300	5.6
520	400	5.8
600	480	6.8
800	—	8.8
1000	—	10.9
1200	—	12.9

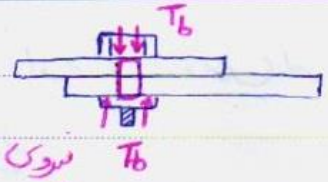
پیچ ها معمولاً از قطر 12 mm تا 36 mm تولید می شود و پیچ ها را به صورت $M_{12} \sim M_{36}$ نشان می دهند.

قطر اسمی: قطر مغتنی دانه شده

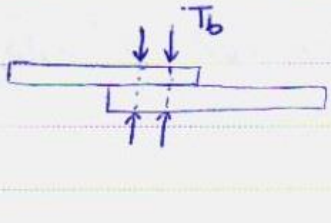
انواع اتصال پیچی

۱- اتصال اتکایی ← بدون نیروی پیش تنیدگی (پیچ معمولی، پیچ پرمقاومت)

۲- اتصال اصطکاکی ← همراه با نیروی پیش تنیدگی (پیچ پرمقاومت)



نیروی پیش تنیدگی



(در پیچ جاندن پیچ مقداری سفت شدن آن در پیچ ایجاد می‌کردد)

استفاده از پیچ‌های معمولی در اتصالات اصطکاکی غیرمجاز است.

حداقل نیروی پیش تنیدگی در اتصالات پیچی اصطکاکی (T_b)

(صفحه‌ی 158 جدول 10-2-9-4) پیچ پرمقاومت ASTM

قطر اسمی پیچ mm	T_b پیچ (KN) A325	T_b پیچ (KN) A
M_{16}	91	114
M_{20}	142	179
M_{22}	176	221
M_{24}	205	257
M_{27}	267	334
M_{30}	326	408
M_{36}	475	595

برای سایر پیچ‌ها

$$T_b = 0.55\, A_{nb}\, F_u$$

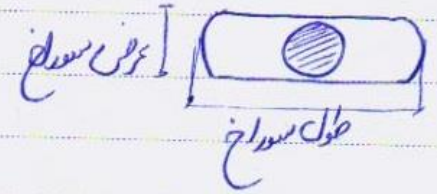
A_{nb} = مساحت اسمی مقطع پیچ

$$A_{nb} = \frac{\pi d^2}{4}$$

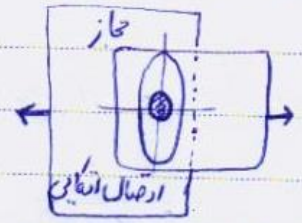
نحوه‌ی وصول نیروی پیش تنیدگی در پیچ

1- استفاده از آچارهای مدرج دستی یا مکانیکی

۶- سوراخ لوبیایی بلند



فقط در حالتی که امتداد سوراخ عمود بر نیرو است در اتصالات اتکایی مجاز هستند.

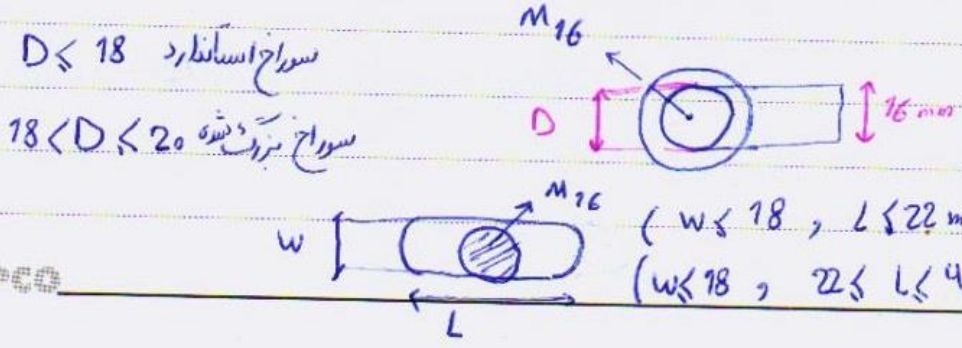


در اتصالات اصطکاکی در تمام امتدادها مجاز بوده و فقط در یکی از درزهای اتصال باید وجود داشته باشند.

ابعاد حداکثر سوراخ پیچ (mm)

پیچ	سوراخ استاندارد	سوراخ برگرو شده	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	سوراخ لوبیایی بلند (طول × عرض)
M_{16}	18	20	18×22	18×40
M_{20}	22	24	22×26	22×50
M_{22}	24	28	24×30	24×55
M_{24}	27	30	27×32	27×60
M_{27}	30	35	30×37	30×67
M_{30}	33	38	30×39	30×67
$M \geq 36$	$d+3$	$d+8$	$(d+3)\times(d+10)$	$d+3\times 2.5d$

برگرد پیچ



سوراخ استاندارد $D \leq 18$

سوراخ برگرو شده $18 < D \leq 20$

سوراخ لوبیایی کوتاه $(W \leq 18 \text{ mm},\ L \leq 22 \text{ mm})$

سوراخ لوبیایی بلند $(W \leq 18,\ 22 \leq L \leq 40)$

1- نگذاریم اعمال از طرف آچار $T_b = \frac{M_v}{k\,d}$ (نیروی برش تنبیدگی) قطر پیچ

(سر عرضی است که بر روی دسته آچار نوشته شده است)

2- استفاده از آچارهای خاردار (خاردار)

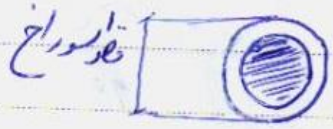
در این آچار قابل تنظیم به محض رسیدن T_b آچار آزاد می‌شود

این آچار از آچار مدرج سریعتر است.

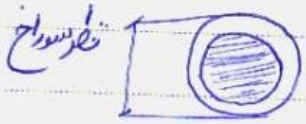
3- پیچاندن مجدد مهره که به مقدار زاویه‌ی دلخواه بعد از محکم شدن اولیه آن.

انواع سوراخ در اتصال پیچی

1- سوراخ استاندارد

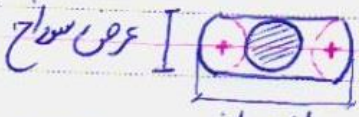


2- سوراخ بزرگ شده



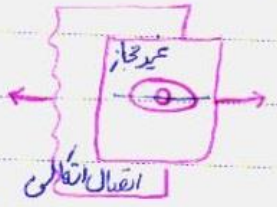
فقط در اتصالات اتکایی مجاز به استفاده از آن هستیم.

3- سوراخ لوبیایی کوتاه

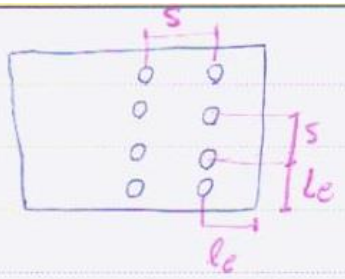


در تمام امتدادی که در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند

ولی در اتصال اتکایی امتداد طولی سوراخ باید عمود بر نیرو باشد.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران



۱- حداکثر فاصله‌ی مرکز سوراخ تا لبه

لبه بریده شده با قیچی یا گیوتین ← $2d_0+c$ } $(l_e)_{min}$

لبه ورق نورد شده یا لبه بریده شده با شعله ← $1.75d_0+c$

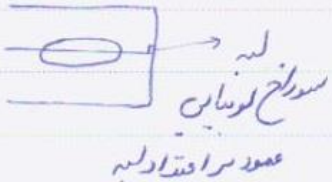
مقدار افزایش فاصله‌ی سوراخ تا لبه برای سوراخ‌های غیر استاندارد ⇓

$C=0$ سوراخ استاندارد

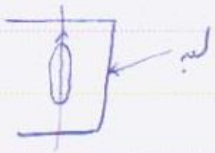
$C=3mm$ سوراخ بزرگ شده

$C=5$ لوبیایی کوتاه

$C=0.75d$ لوبیایی بلند



$C=0$ ← سوراخ لوبیایی موازی با امتداد لبه



۲- حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا لبه $(l_e)_{max}$

الف) برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط نباشند از عوامل جوی تاثیر دارند.

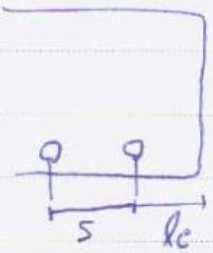
$$(l_e)_{max} = \min\{12t, 150\,mm\}$$

ب) [illegible]

$$l_{e\,max} = \min\{8t, 125\,mm\}$$

← قطعات قطعه‌ی نازک‌تر اتصال

3- حداکثر فاصله مرکز تا مرکز سوراخ که در اتصالات پیچی (S_{max})



الف) در کرد متوسط

$S_{max} = min\{24t, 300mm\}$

ب) در شدید

$S_{max} = min\{14t, 200mm\}$

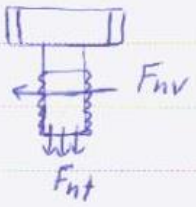
مقاومت کششی طراحی و مقاومت برشی طراحی در اتصالات اتکایی:

مقاومت برشی پیچ در اتصال اتکایی $\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nb}$

سطح مقطع اسمی پیچ — تنش برشی اسمی

مقاومت کششی $\phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_{nb}$

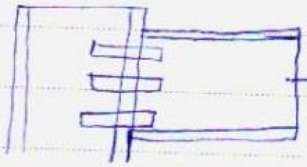
تنش کششی اسمی



ضریب کاهش مقاومت $\phi = 0.75$

تنش اسمی پیچ و قطعات درج شده جدول صفحه 163 کتاب (10-9-2-10)

نوع وسیله اتصال	F_{nt} اتکایی	F_{nv} اتکایی
پیچ معمولی	$0.75F_u$ (1)	$0.45F_u$
پیچ پر مقاومت	$0.75F_u$	$0.45F_u$ (2)
(وقتی که صفحه برش از وسط نداشته می گذرد)	$0.75F_u$	$0.55F_u$ (2)
" " " می گذرد	$0.75F_u$	$0.45F_u$ (2)
قطعه دارد نشده (" ")	$0.75F_u$ (1)	$0.55F_u$ (2)
قطعه دارد نشده (" " می گذرد)		



$T_i = \frac{T}{n} \leq \phi R_{nt}$

$V_i = \frac{V}{n} \leq \phi R_{nv}$

$L \geq 1250\ mm \rightarrow$ کاهش نمی‌دهیم (حالت ۲ جدول) / $0.4 F_{nv}$

(1) : فقط بارگذاری استاتیکی

(2) : وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از 1250 mm تجاوز نماید این مقدار را باید 0.4/ کاهش داد.

اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی

در صورتی که پیچ تحت اثر توأم کشش و برش باشد مقاومت کشش و برشی طراحی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$\phi R_{nt} = \phi F'_{nt} A_{nb}$ ← مقاومت کششی پیچ

مقاومت کششی پیچ وقتی تحت کشش تنها است

(در اتصال اتکایی تحت اثر برش و کشش)

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{F_{uv}}{\phi F_{nv}}\right] \leq F_{nt}$$

تنش برش مورد نیاز

$$F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \frac{F_{ut}}{\phi F_{nt}}\right] \leq F_{nv}$$

تنش کششی مورد نیاز (تنش ایجاد شده در پیچ تحت اثر بارهای ضریب دار)

تبصره ۱ : در مواردی که تنش کششی یا برشی مورد نیاز کمتر از 30/ تنش طراحی متناظر باشد

$F_{ut} \leq 0.3 F_{nt} \phi$

یا

$F_{uv} \leq 0.3 F_{nv} \phi$

منظور کردن روابط تئوری کششی نیاز نیست.

اتصال اصطکاکی

مقاومت کششی طراحی و برشی طراحی در اتصالات اصطکاکی

مقاومت کششی (ϕR_{nt}) پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی عیناً مشابه طرح پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اتکایی است.

$$\phi R_{nt} = \phi (0.75 F_u) A_{nb}$$

مقاومت برشی طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی براساس کنترل لغزش بحرانی تعیین می‌شود.

مقاومت برشی طراحی پیچ‌های پرمقاومت براساس کنترل لغزش = ϕR_n می‌باشد.

مقاومت برشی اسمی اتصال اصطکاکی $R_{nv} = M D_u h_f T_b n_s$

M : ضریب اصطکاک

1- برای وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلس دار تمیز و رنگ نشده) $M = 0.3$

2- برای وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه‌پاش و رنگ نشده) $M = 0.5$

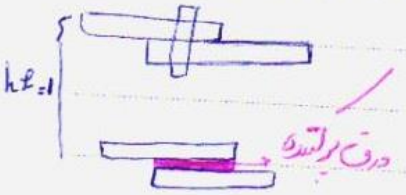
D_u : نسبت پیش تنیدگی متوسط پیچ‌ها به مقدار پیش‌تنیدگی حداقل = 1.13

h_f : ضریب کاهش به خاطر وجود ورق لایی پرکننده در بین وصله‌ها متصل به یکدیگر

1- درصورت عدم نیاز به ورق پرکننده $h_f = 1$

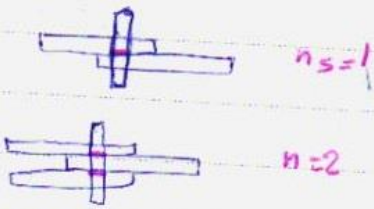
2- درصورت استفاده از یک ورق پرکننده $h_f = 1$

3- درصورت استفاده از 2 یا چند ورق پرکننده $h_f = 0.85$



T_b : حداقل نیروی پیش تنیدگی (A_{325} و A_{490} و جدول)

سایر پیچ‌ها $T_b = 0.55 F_u A_{nb}$



n_s : تعداد صفحات لغزش

ضریب کاهش مقاومت

1- سوراخ استاندارد و سوراخ لوبیایی کوتاه که محور آن عمود بر امتداد نیرو است $\Phi = 1$

2- سوراخ بزرگ شده و سوراخ لوبیایی کوتاه که امتداد آن موازی راستای نیرو است $\Phi = 0.85$

3- سوراخ لوبیایی بلند $\Phi = 0.7$

اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اصطکاکی

درصورت وجود تؤام کشش و برش مقاومت برشی اسمی (R_{nv}) در ضریب کاهشی (K_{sc}) ضرب می‌گردد :

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}$$

T_u ← نیروی کششی حداکثر پیچ

D_u ← مقدار ارائه‌ای قبل 1.13

T_b ← حداقل نیروی پیش تنیدگی

n_b ← تعداد پیچ‌هایی که نیروی کشش کنترل نمی‌کند

مقاومت اتکایی طراحی در سوراخ حداریج در اتصالات اتکایی و اصطکاکی سادی ϕR_n می‌باشد که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر 0.75 و R_n مقاومت اتکایی اسمی می‌باشد که بر اساس مقاومت حدی اتکایی برای حالت‌های مختلف به شرح زیر است:

1- برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده، سوراخ لوبیایی کوتاه و بلند در حالتی که نیرو در امتداد طولی آن باشد

$$R_n = 1.2\, l_c\, t\, F_u \leq 2.4\, d\, t\, F_u$$

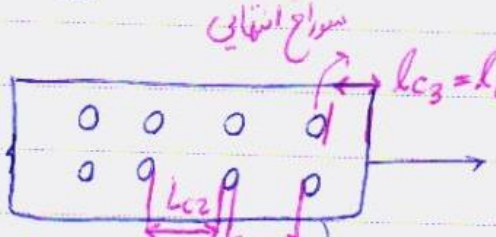
(l_c: فاصله صافی ورق تا اتصال، t: ضخامت ورق اتصال، F_u: تنش کششی نهایی ورق اتصال، d: قطر پیچ)

2- برای سوراخ لوبیایی بلند که نیرو عمود بر محور سوراخ است.

$$R_n = 1.0\, l_c\, t\, F_u \leq 2.0\, d\, t\, F_u$$

1) فاصله l_c فاصله خالص در امتداد نیرو بین لبه‌ی سوراخ‌ها برای سوراخ‌های داخلی

2) فاصله خالص برای سوراخ کمی استهلاکی که در راستای نیرو بین لبه‌ی سوراخ تا لبه‌ی آزاد ورق اتصال است.



$\min\{l_{c1}, l_{c2}\} = l_c$ سوراخ داخلی

مقاومت برشی قالبی

در اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بار خود را به تیر زانویی منتقل کرده است یا در اتصال اعضای کششی یا در دورهای اتصال جوشها یا پرچها یا پیچها در حالت کلی نقطه‌ای که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله‌ی اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در مقطع مار بر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خوابی اتفاق افتد برش قالبی اتفاق افتاده است.

مقاومت طراحی برش قالبی ϕR_n از مجموع مقاومت برشی مردودی سطح مار بر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

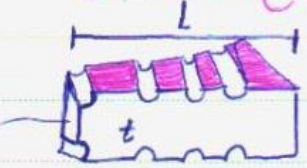
سطح مقطع خالص تحت کشش

$$\phi = 0.75 \qquad R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \le 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

سطح مقطع خالص تحت برش — ضریب توزیع تنش کششی

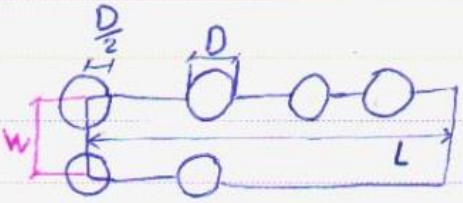
$U_{bs} = 1$ برای توزیع یکنواخت

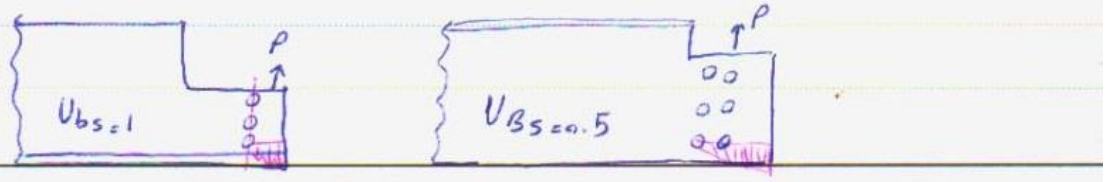
$U_{bs} = 0.5$ " " غیریکنواخت

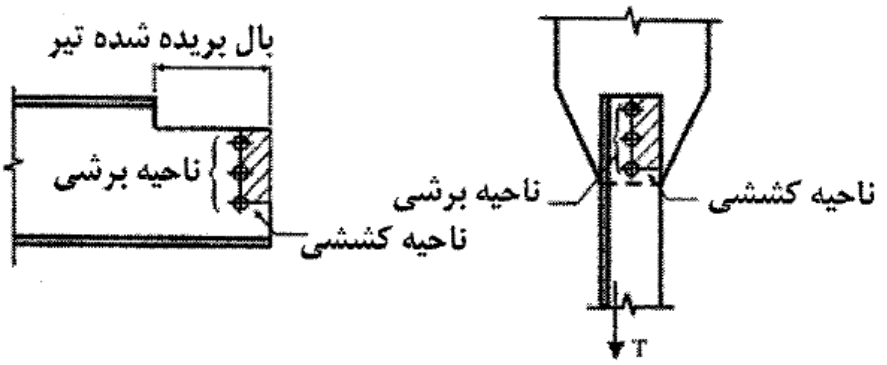


$(W-D)t = A_{nt}$

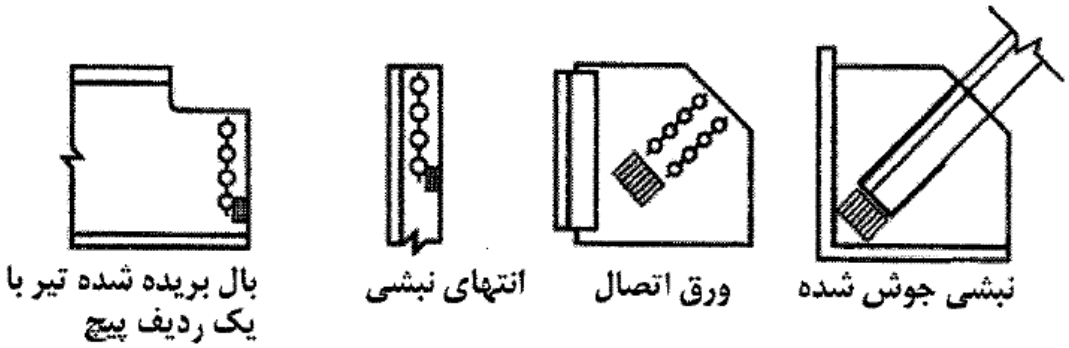
$$A_{nv} = \left(L - 3D - \frac{D}{2}\right) t \times 2$$



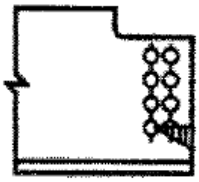




شکل ۱۰-۲-۹-۱۰- الف سطوح گسیختگی در برش قالبی



(a) حالت‌هایی که در آنها U_{bs}=۱/۰ در نظر گرفته می‌شود



بال بریده شده تیر با دو ردیف پیچ

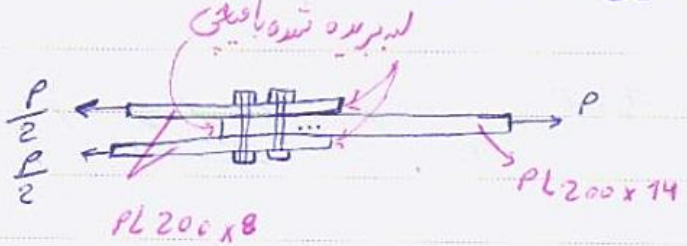
(b) حالت‌هایی که در آنها U_{bs}=۰/۵ در نظر گرفته می‌شود

شکل ۱۰-۲-۹-۱۰-ب توزیع تنش کششی در برش قالبی

مثال: در اتصال زیر جان چه از پیچ M_{20} از نوع 8.8 استفاده شده باشد از ضعیفی برش از داخل مشت دندانه شده عبور کند مطلوب است.

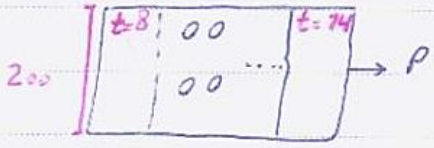
الف: تعیین ظرفیت اتصال ب: تعداد پیچ‌های مورد نیاز در دو ناحیه آنها

۱- با فرض اتصال اتکایی ۲- با فرض اتصال اصطکاکی



ورق ST37

شرایط محلی خوردگی ← متوسط



پیچ سوراخ‌ها استاندارد است.

الف = P_{max} = ؟ $A_{n1} = [200 - 2\times22]\times8 = 1248\ mm^2$ ورق بالایی و پایینی

$A_{n2} = [200 - 2\times22]\times14 = 2184\ mm^2$ ورق وسطی

M_{20} پیچ ← حداکثر قطر سوراخ استاندارد ← $D = 22\ mm$

سوراخ استاندارد

- کنترل تسلیم کششی: $P_n = F_y A_g$ و $\Phi_t = 0.9$ ← جدول

ورق بالایی و پایینی: $\frac{P}{2} \le \Phi_t P_n = 0.9\times240\times(200\times8) \rightarrow P \le 691.2\ KN$

$P \le \Phi_t P_n \rightarrow P \le 604.8\ KN$

- گسیختگی کششی ($\Phi_t = 0.75$, $P_n = F_u A_n$)

ورق بالایی و پایینی $\frac{P}{2} \leq \Phi_t P_n = 0.75 \times 370 \times 1248 \rightarrow P \leq 692.68\ KN$

ورق وسطی $P \leq \Phi_t P_n = 0.75 \times 370 \times 2184 \rightarrow P \leq 596.07\ KN$

- گسیختگی کششی در محل اتصال ($\Phi_t = 0.75$, $P_n = F_u A_e$) ← مبحث دهم آیین نامه صفحه 38

$A_e = UA_n$, $U = 1 \rightarrow A_e = A_n$

نتایج با گسیختگی کششی یکسان است.

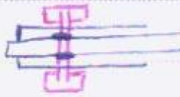
$P = 596.07\ KN = P_{max}$ ظرفیت اتصال

قسمت ب)

۱- تعیین تعداد پیچ که در فاصله بین آرماتورهای اتصال اتکایی و استفاده از حداکثر ظرفیت اتصال

$V_i = \frac{P}{2n}$ ← تعداد صفحات برش ← تعداد پیچ

دلیل ۲ برش عبور برش از صفحه است.



$V_i = \frac{596.07}{2n} = \frac{298.03}{n}\ (KN)$

پیچ Iso 8.8 $F_u = 800\ MPa$

پیچ $F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \cdot 800 = 360$ ← اتصال اتکایی

$$A_{nb} = \frac{\pi}{4}(20)^2 = 314.16\ mm^2$$

مقاومت برشی پیچ $\Rightarrow \Phi F_{nv} A_{nb} \geq V_i \quad 0.75 \times 360 \times 314.16 \geq \frac{298.03}{n}$

$$n \geq 3.51 \qquad \text{Take} \Rightarrow n = 4$$ تعداد پیچ ها

حداقل فاصله مرکز سوراخ تا لبه ($l_{e\,min}$) / $= 0$ سوراخ استاندارد

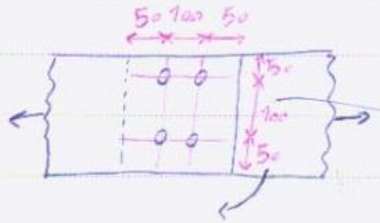
$$(l_e)_{min} = 2d + C = 2 \times 20 = 40\ mm$$

حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا لبه ($l_{e\,max}$) / برای لبه‌ی بریده شده با قیچی

$l_{e\,max} = \min\{12t, 150\ mm\} = \min\{12 \times 8, 150\} = 96\ mm$ برای ورق اتصال

حداکثر فاصله‌ی طولی مرکز تا مرکز سوراخ‌ها

$$S_{max} = \min\{24t, 300\} = 192\ mm$$



$100 < 192 \rightarrow S_{max}$

$40 \leq 50 \leq 96$
$l_{e\,min} \qquad l_{e\,max}$

لنگر مقاومت اتکایی در حفره سوراخ

$\Phi = 0.75$

R_n سوراخ استاندارد $= 1.2\, l_c t F_u \leq 2.4 d t F_u$

برای پیچ کناری $l_{c1} = 50 - \frac{d}{2} = 50 - \frac{22}{2} = 39\ mm$

برای پیچ وسطی $l_{c2} = 100 - D = 100 - 22 = 78\ mm$

$$l_c = \min\{l_{c1}, l_{c2}\} = 39\ mm$$

برای ورق بالایی و پایینی $(t=8mm)$

$$R_n = 1.2 \times 39 \times 8 \times 370 \leq 2.4 \times 20 \times 8 \times 370$$

$$\Rightarrow R_n = 138.5 \leq 142.1\ kN \rightarrow \text{ok}$$

مقاومت اتکایی پیچ $\phi R_n = 0.75 \times 138.5 = 119.22 \geq \frac{P}{2} = \frac{596.07}{8} = 74.51$

نیروی وارد بر هر ورق

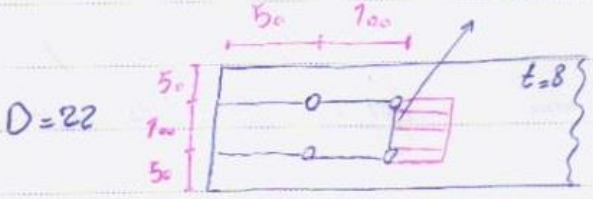
تعداد پیچ ها $= 4$

$\rightarrow$ ok

- برای ورق وسطی $\leftarrow$ کنترل بر عهده ی دانشجو $\leftarrow$

$P =$ نیروی وارد بر هر ورق

A_{nt}



- کنترل برش قالبی

- برای ورق بالایی و پایینی

چند تا D می تونه باشه ولی آخری همیشه $\frac{D}{2}$ است.

$$\begin{cases} A_{nv} = 2\left[150 - \left(D - \frac{D}{2}\right)\right] \times 8 = 1872\ mm^2 \\ A_{nt} = \left[100 - D\right] \times 8 = 624\ mm^2 \end{cases}$$

برش قالبی ورق $R_n = 0.6 F_u A_n + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$

$$= 0.6 \times 370 \times 1872 + 1 \times 370 \times 624 \leq$$

$$0.6 \times 240 \times [2 \times 150 \times 8] + 1 \times 370 \times 624$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year. 1oV Month. Date. ( )

مقدار آیین نامه

$R_n = 646.5 \not\leq 576.5 \rightarrow R_n = 576.5\ kN$

$\phi R_n = 0.75 \times 576.5 \geq \frac{P}{2} = \frac{596.07}{2}$

$432.4 \geq 298.0 \rightarrow$ ok ✓

تعیین تعداد پیچ با توجه به استاندارد اتصالات سطحی

$R_n = F_u D_u h_f T_b n_s$

حداقل نیروی پیش تنیدگی $= T_b = 0.55 A_{nb} F_u = 0.55 \times 314.16 \times 800 = 738.23\ kN$

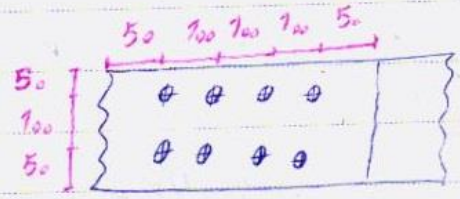
$R_n = 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 738.23 \times 1 = 46.56$

0.3 ← کلاس سطحی A توی آیین نامه

1 ← برای ورق بالایی یا پایینی

$\phi R_n \geq \frac{P/2}{n}$ برای سوراخ استاندارد $\phi = 1$

$1 \times 46.56 \geq \frac{596.07}{2} \Rightarrow n \geq 6.4$ Take $n = 8$



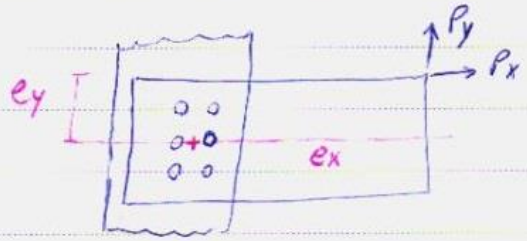
کنترل مقاومت اتکایی سوراخ پیچ

← فاصله اتصال اتکایی

کنترل برش قالبی ← ✓

تمام شد

« پیچ تحت اثر برش و لنگر پیچشی »



تنش های برشی مستقیم وارده بر پیچ

$$f_{vx} = \frac{P_x}{\sum A_{bi}}$$

$$f_{vy} = \frac{P_y}{\sum A_{bi}}$$

لنگر پیچشی وارده بر مرکز سطح پیچ

$$T = P_x e_y + P_y e_x$$

تنش های ناشی از لنگر پیچشی وارده بر پیچ i ام

$$f_{xi} = \frac{T y_i}{J}$$

$$f_{yi} = \frac{T x_i}{J}$$

نسبت به مرکز سطح پیچ ها

$$f_r = \sqrt{(f_{vx} + f_{Tx})^2 + (f_{vy} + f_{Ty})^2}$$

$$f_r \le \phi F_{nv}$$

یا

$$f_r A_{bi} \le \phi R_n$$

$$J = \sum_{i=1}^{n} A_{bi} (x_i^2 + y_i^2)$$

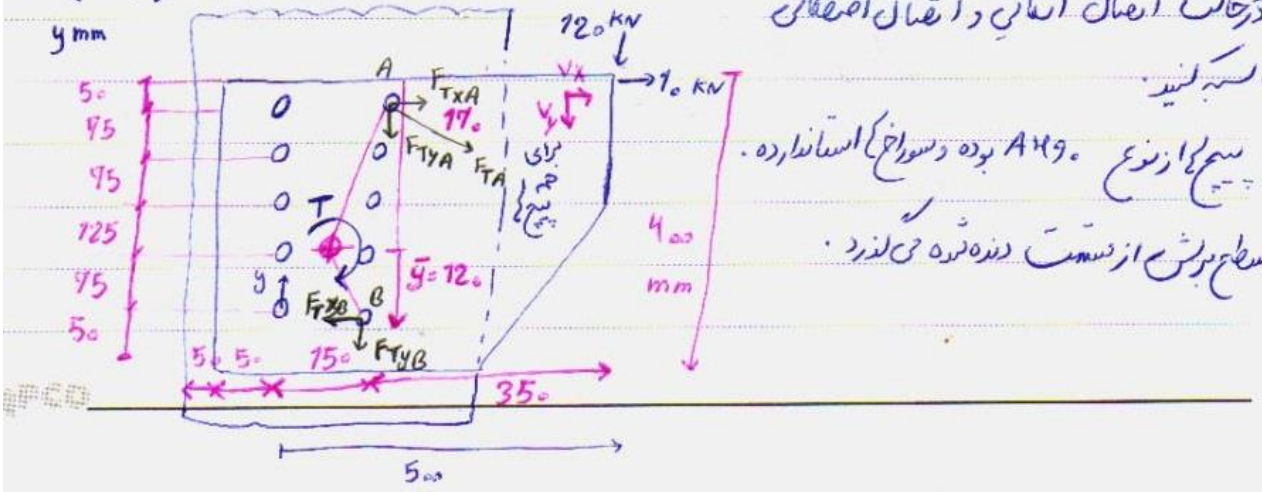
مثال: در اتصال زیر تعداد پیچ مورد نیاز را در دو حالت اتصال اتکایی و اتصال اصطکاکی محاسبه کنید.

پیچ ها از نوع A490 بوده و سوراخ ها استاندارد.

سطح برش از قسمت دنده نشده می گذرد.

سطح برش از قسمت دنده شده می گذرد (A490)

$A_{490} \rightarrow F_u = 1000$ MPa



$$\bar{y} = \frac{\sum A_{bi}\,\bar{y}_i}{\sum A_{bi}} = \frac{A(75+200+275+350)}{10\,A_b} = 180\ mm$$

$$y_i^2 = (\bar{y}-y)^2$$

نسبت به مرکز سطح $J = \sum A_{bi}(x_i^2+y_i^2) = 2A_b\left[0\times 75^2 + (180)^2 + (180-75)^2 + (200-180)^2 + (275-180)^2 + (350-180)^2\right]$

$$J = 219750\,A_b$$

$$T = 120\times(500-75) + 10(170+50) \qquad T = 53.2\ KN.m$$

نیروی برشی مستقیم وارده بر هر بیچ

$$V_x = \frac{P_x}{n} = \frac{10}{10} = 1\ KN$$

$$V_y = \frac{P_y}{n} = \frac{120}{10} = 12\ KN$$

نیروی برشی ناشی از لنگر در بیچ A

$$T_{xA} = \frac{T_{yA}}{J}\cdot A_b = \frac{53.2\times10^3\times170}{219750\,A_b}\cdot A_b = 41.16\ KN$$

$$T_{yA} = \frac{T_{xA}}{J}\cdot A_b = \frac{53.2\times10^3\times75}{219750\,A_b}\cdot A_b = 18.16\ KN$$

در بیچ B

$$T_{xB} = \frac{T_{yB}}{J}\cdot A_b = \frac{53.2\times10^3\times180}{219750\,A_b}\cdot A_b = 43.58\ KN$$

$$T_{yB} = \frac{T_{xB}}{J}\cdot A_b = \frac{53.2\times10^3\times75}{219750\,A_b}\cdot A_b = 18.16\ KN$$

برآیند نیروهای وارده بر بیچ A

$$R_A = \sqrt{(V_x+T_{xA})^2+(V_y+T_{yA})^2} = 51.84\ KN$$

$$R_B = \sqrt{(V_x-T_{xB})^2+(V_y+T_{yB})^2} = 52.18\ KN$$

برآیند نیروی وارده حداکثر $R_u = 52.18\ KN$

تعیین قطر پیچ بر مبنای اتصال اتکایی

$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} \geq R_u$

$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \times 1000 = 450\ MPa$

$0.75 \times 450 \times A_{nb} \geq 52.18 \times 10^3$

برای پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد.

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

$\Longrightarrow d \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{52.18 \times 10^3}{750 \times 450}} \Rightarrow d \geq 14.03$ Take M_{14}

بالای اعاص

تعیین قطر پیچ در اتصال اصطکاکی

$T_b = 0.55 F_u A_{nb} = 550 A_{nb}$

$\phi R_{nv} = \phi \mu D_u h_f T_b n_s \geq R_u$

برای سوراخ استاندارد $\phi = 1$

با توجه سطح کلاس A

$1 \times 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 550 A_{nb} \times 1 \geq 52.18 \times 10^3$

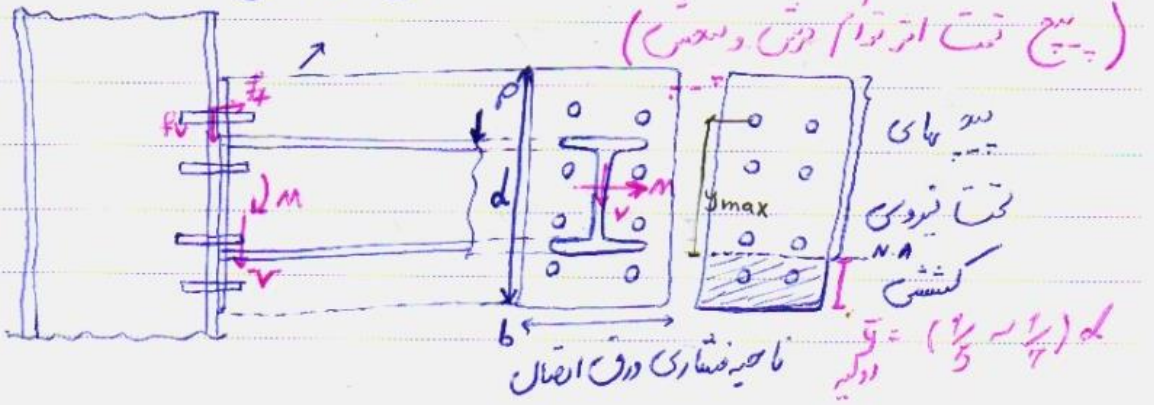
$d \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{52.18 \times 10^3}{0.3 \times 1.13 \times 550}} = 18.9 \longrightarrow$ Take M_{20}

تمرکز تنش

اتصال اتکایی تحت اثر برش و کشش

تنش ناشی از کشش

(پیچ تحت اثر توأم برش و کشش)



تجزیه و تحلیل اتصال در این حالت با استفاده از اصول خمش انجام می‌گیرد.

در این صورت: جهت حدس اولیه تعداد پیچ‌ها تحت فشار ارتفاع اولیه تا خنثی را مساوی $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{4}$ ارتفاع اتصال در نظر می‌گیرند. سپس ارتفاع دقیق تا خنثی از مساوی گذاردن سطح پیچ‌های تحت کشش و گذاردن سطح ورق تحت فشار بدست می‌آید که در این حالت در صورت فشاری بودن سطح مقطع پیچ

مابقی برای پیچ یک مقدار اضافه در نظر گرفت.

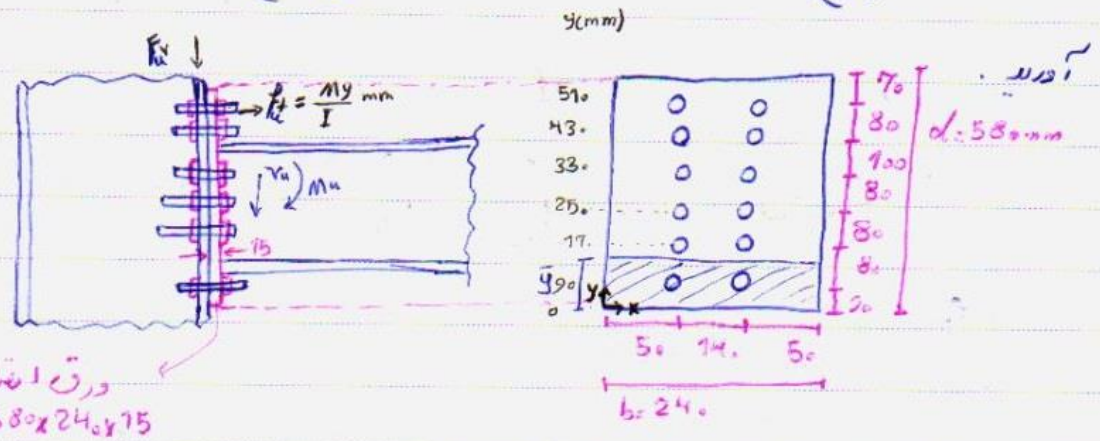
نسبت به مرکز سطح پیچ‌ها — ورق

$Q_C = Q_T$

$\frac{1}{2} b\bar{y}^2 = \sum A_{bi}\,\bar{y_i} \longrightarrow \bar{y}$ دقیق محاسبه می‌شود

$$f_t = \frac{M_u\, y_{max}}{I} \qquad f_v = \frac{V_u}{\text{تعداد پیچ‌ها}} \longrightarrow f_u = \sqrt{f_t^2 + f_v^2} \leq \begin{cases} f_t \leq \phi F_{nt} \\ f_v \leq \phi F_{nv} \end{cases}$$

مثال: تعیین تعداد پیچ مورد نیاز اتصالی زیر را که از نوع پیچ‌های معمولی A307 هستند را بدست آورید.



$M_u = 700\ KN\cdot m$ — نوع فولاد مصرفی = ST37

$V_u = 300\ KN$

پیچ‌ها و اتصال = A307 $\longrightarrow$ $F_u = 400\ Mpa$

با نوع استفاده از پیچ با قطر M_{24} :

$\bar{y}$ اولیه $= \frac{1}{5} \times 580 = 116\ mm$

$$\frac{1}{2} b \bar{y}^2 = \sum A_{bi} y_i$$

(ممان استاتیکی برش) (ممان استاتیکی فشاری)

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \times 240 \bar{y}^2 = 2A_b \left[(170 - \bar{y}) + (250 - \bar{y}) + (330 - \bar{y}) + (430 - \bar{y}) + (510 - \bar{y}) \right] \\ A_b = \frac{\pi}{4} 24^2 = 452.4\ mm^2 \end{cases} \Rightarrow$$

(معادله درجه دو)

$$120 \bar{y}^2 = 3380 A_b - 10 A_b \bar{y} \Rightarrow \underline{\bar{y} = 95.6\ mm}$$

اگر نقطه توان فشار بیش تر کشش افتاده دوباره .

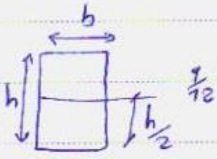
$$I = \frac{1}{3} b \bar{y}^3 + \sum A_{bi} y_i^2$$

فشار نگرفته داریم
حساب نمی کنیم
فرض کنیم همان فرق می کند

$$= \frac{1}{3} \times 240 \times 95.6^3 + 452.4 \times$$

$$2 \left[(170 - 95.6)^2 + (250 - 95.6)^2 + \right.$$

$$\left. (330 - 95.6^2) + (430 - 95.6)^2 + (510 - 95.6)^2 \right] =$$

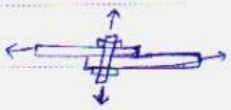


$\frac{1}{12} bh^3$

$\frac{1}{12} bh^3 + bh \times \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} bh^3$

$402.75 \times 10^6\ mm^4$

$$\begin{cases} f_{ut} = \frac{M_u y_{max}}{I} = \frac{100 \times 10^6 \times (510 - 95.6)}{402.75 \times 10^6} = 102.9\ MPa \\ f_{uv} = \frac{V_u}{\sum A_{bi}} = \frac{300 \times 10^3}{72 \times 452.4} = 66.37\ MPa \leq \Phi F_{vf}' \end{cases}$$



وقتی پرچ می داریم سر $F \leftarrow F'$ یعنی تحت اثر برش و کشش هردو است .

F خالص باشد فقط کشش است یا فقط برش هست هردوتاش نیست

فقط در صورتی که $f_{ut} \le \phi F_{nt} \times 0.3$ یا $f_{uv} \le \phi F_{nv} \times 0.3$ باشد نیازی به در نظر گرفتن اثر توأم تنشهای برشی و کششی نیست.

$$\begin{cases} f_{ut} \le \phi F_{nt} \\ f_{uv} \le \phi F_{nv} \end{cases}$$

اگر از 0.3 کمتر بود

با اثر توأم در نظر گرفتن

$$\begin{cases} F_{ut} \le \phi F'_{nt} \\ F_{uv} \le \phi F'_{nv} \end{cases}$$

حالا برای این مسئله داریم:

$$\begin{cases} F_{nt} = 0.75 F_u = 0.75 \times 400 = 300 \text{ MPa} \\ F_{nv} = 0.45 F_u = 0.4 \times 400 = 180 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0.3 \phi F_{nt} = 0.3 \times 0.75 \times 300 = 67.5 \not\ge F_{ut} \\ 0.3 \phi F_{nv} = 0.3 \times 0.75 \times 180 = 40.5 \not\ge F_{uv} \end{cases} \longrightarrow$$

پس باید اثر توأم در نظر گرفته شود.

$$\begin{cases} F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \dfrac{F_{uv}}{\phi F_{nv}}\right] = 300 \times \left[1.3 - \dfrac{66.31}{0.75 \times 180}\right] = 242.6 \le F_{nt} \\ F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \dfrac{F_{ut}}{\phi F_{nt}}\right] = 180 \times \left[1.3 - \dfrac{102.9}{0.75 \times 300}\right] = 151.7 \le F_{nv} \end{cases}$$

با اثر توأم

$$\begin{cases} F_{ut} \le \phi F'_{nt} \\ F_{uv} \le \phi F'_{nv} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 102.9 \le 0.75 \times 242.6 = 181.9 \\ 66.31 \le 0.75 \times 151.7 = 113.8 \end{cases}$$

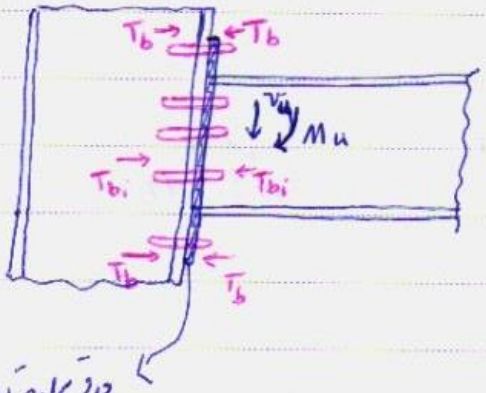
ok

خیر اقتصادی است بهتر است طراحی با ظرفیت کمتر انجام گیرد.

اتصال اصطکاکی تحت اثر برش و کنار خمشی

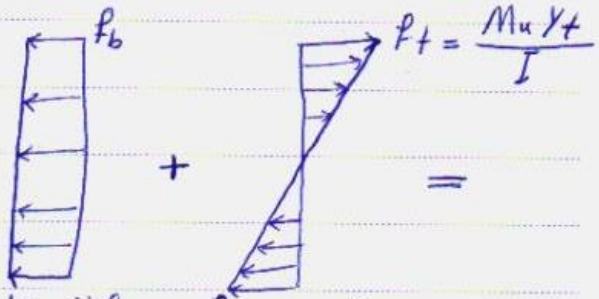
$T_b = 0.55\, F_u\, A_{nb}$

(بیج تحت اثر توأم برش و کشش)



ورق اتصال

$(b \times d)$



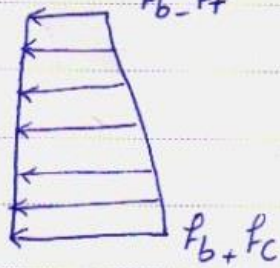
فشار تماس برروی ورق اتصال f_b

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

$f_c = \frac{M_u y_c}{I}$

توزیع تنش ناشی از خمش برروی ورق اتصال

$I = \frac{1}{12} b d^3$



در اتصالات اصطکاکی علاوه بر کنترل کشش و برش ، باید

$(F_{uv} \le \phi F_{nv}$ و $f_{ut} \le \phi F_{nt})$

جدایی بین ورق های اتصال اتفاق نیفتد یعنی $f_b - f_t \ge 0$

دوباره یعنی :-

$$\boxed{f_b \ge f_t}$$

درصورت حضور بارگذاری کششی یا فشاری تنش ناشی از آن به f_t اضافه یا کسر می شود .

کششی T_u

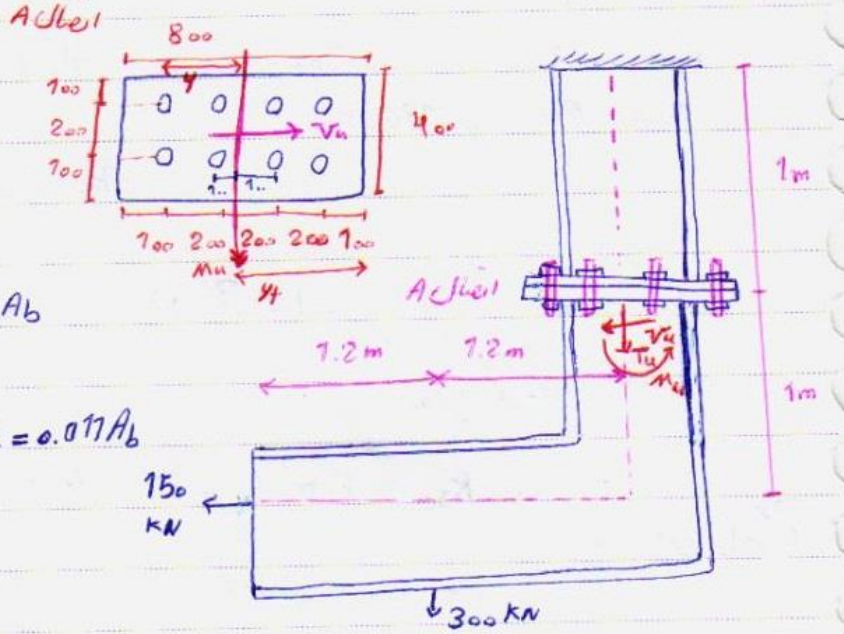
$$f_t = \frac{T_u}{bd} + \frac{M_u y_t}{I}$$

مثال: در اتصال اصطکاکی زیر قطر پیچ‌ها را تعیین کنید. پیچ‌ها از نوع Iso. 10.9 و سوراخ‌ها بزرگ شده

است. ضریب اصطکاک را برای وضعیت سطوح کلاس A در نظر بگیرید.

$\bar{y} = \frac{\sum A_{bi} y_i}{\sum A_{bi}}$

اتصال A



$T_u = 300\ kN$

$V_u = 150\ kN$

$M_u = 300 \times 1.2 - 150 \times 1 = 210\ kN.m$

$T_b = 0.55 F_u A_b = 550 A_b$

$f_b = \frac{\sum T_{bi}}{b d} = \frac{8 \times 550 A_b}{400 \times 800} = 0.011 A_b$

$f_t = \frac{T_u}{bd} + \frac{M_u y_t}{I} = \frac{300 \times 10^3}{400 \times 800} + \frac{210 \times 10^6 \times 400}{\frac{1}{12} \times 400 \times 800^3} = 3.9\ MPa$

$f_b \geq f_t \Rightarrow 0.011 A_b \geq 3.9 \Rightarrow A_b \geq 354.55\ mm^2$

تنش برشی در هر پیچ: $F_{nt} = 0.75 F_u = 750$

$F_{ut} = \frac{T_u}{\sum A_{bi}} + \frac{M_u y}{I} = \frac{300 \times 10^3}{8 A_b} + \frac{210 \times 10^6 \times 300}{400000 A_b}$

تنش برشی در هر پیچ

$I = \sum A_{bi} y_i^2 = 4 A_b (100^2 + 300^2) = 400000 A_b$

$\Rightarrow F_{ut} = \frac{195000}{A_b}$

$f_{ut} \leq \phi F_{nt} \rightarrow \frac{195000}{A_b} \leq 0.75 \times 750 \rightarrow A_b \geq 346.67\ mm^2$

کنترل برش در پیچ ها

$$F_{uv} = \frac{V_u}{\sum A_{bi}} = \frac{150\times10^3}{8A_b} = \frac{18750}{A_b}$$

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

$$= 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 550 A_b \times 1$$

برای در نظر گرفتن اثر توأم برش و کشش در ارتعال

$$F_{nv} = \frac{R_n}{A_b} = 186.45 \text{ Mpa}$$

اعضای F_{nv} باید در ضریب کاهش K_{sc}

ضرب شود.

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} = 1 - \frac{300\times10^3}{1.13\times550 A_b \times 8} = 1 - \frac{120.7}{A_b}$$

تعداد پیچ های کشش

$$\Phi F_{nv} K_{sc} \geq F_{uv} \qquad 0.85 \times 186.45\left(1 - \frac{120.7}{A_b}\right) \geq \frac{18750}{A_b}$$

0.85 برای سوراخ بزرگ شده

$$1 - \frac{120.7}{A_b} \geq \frac{118.3}{A_b} \Rightarrow \frac{239.0}{A_b} \leq 1$$

$$A_b \geq 239.0 \text{ mm}^2$$

A_b max اون تا

$$\frac{\pi d^2}{4} \geq 354.55 \qquad d \geq \sqrt{\frac{4}{\pi}\times354.55} = 21.25$$

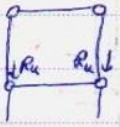
Use M22

۵ اتصالات

اتصالات در سازه‌های فولادی

اتصال ساده : تیرها ، شاه تیرها و خرپاها

به اتصالاتی می گویند که انتظار پذیرد (بدون قید دورانی) بوده و می توان آنها را فقط در برابر برش (عکس العمل تکیه گاهی) و اثرات ناشی از آن طراحی کرد.

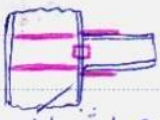


2- اتصال خمشی (اتصال گیردار)

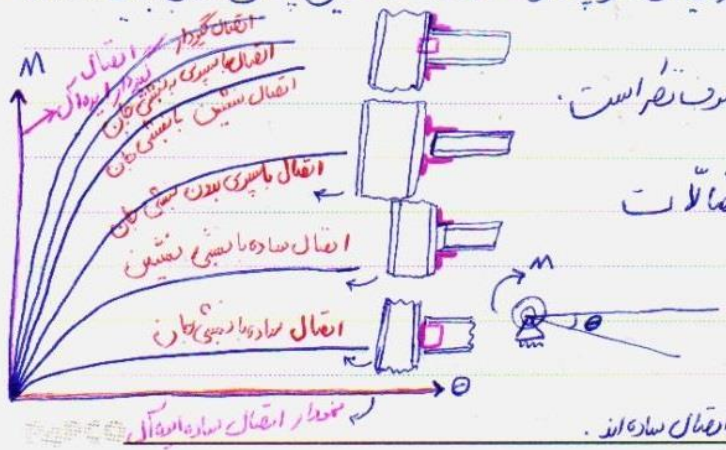
اتصال خمشی که کاملاً گیردار به اتصالی گفته می شود که در آن چرخش نسبی بین اعضای متصل شده به یکدیگر ناچیز است.

این نوع اتصالات به منظور حفظ زاویه‌ی بین اعضای متصل شده به یکدیگر باید دارای درجه‌ای از مقاومت و سختی کافی برخوردار باشد.

3- اتصال خمشی (نیمه گیردار)



به اتصالاتی گفته می شود که از طریق آن اگرچه لنگر منتقل می شود لیکن چرخش نسبی بین اعضای متصل شده به هم ناچیز نبوده و غیر قابل صرف نظر است.

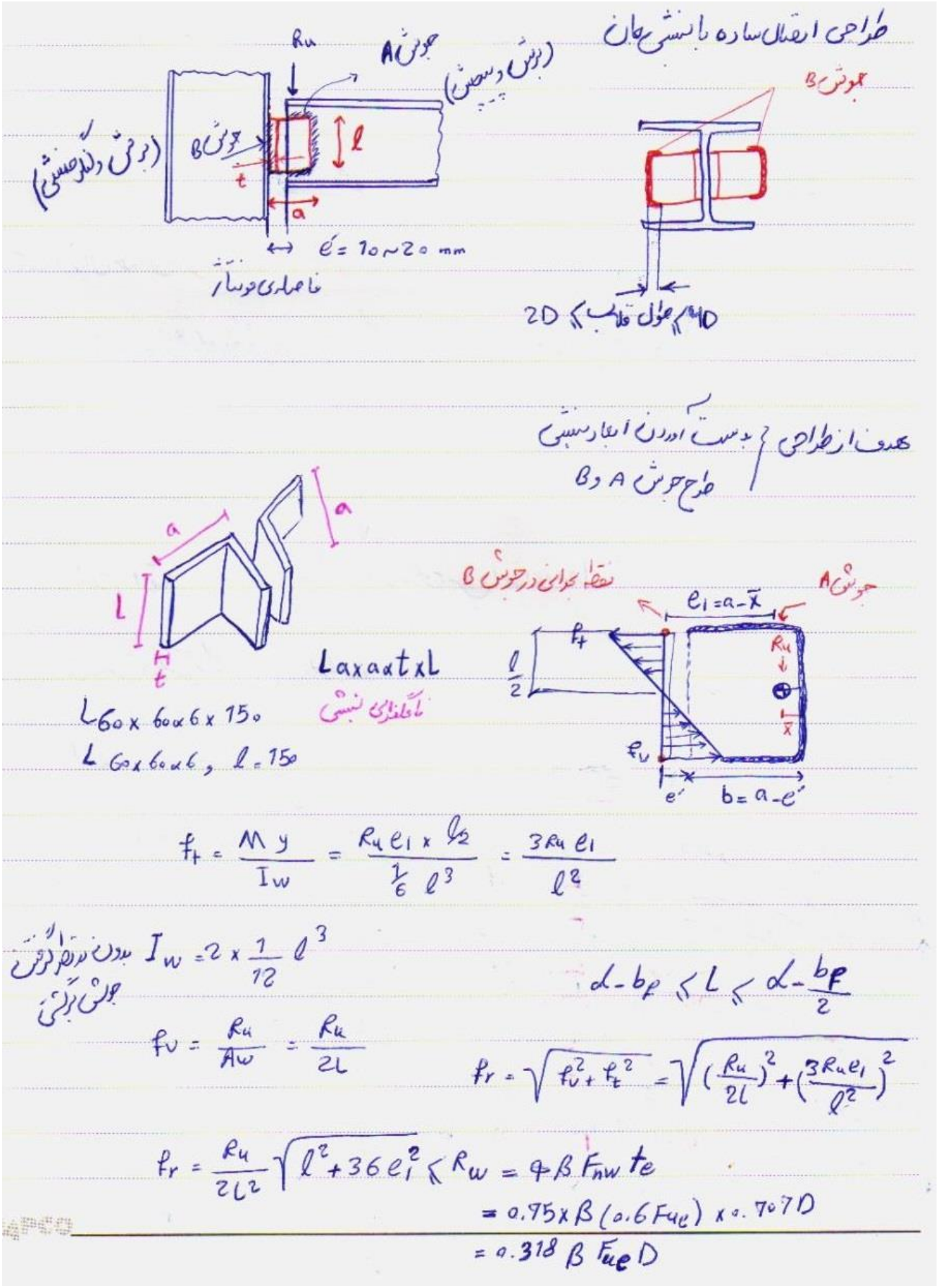


نمودار ۵-M انواع اتصالات

۲ تای اول از بالا اتصال ساده اند.

۳ تای بعدی نیمه گیردار.

۱.۵ اتصال ساده با نبشی جان



$$f_t = \frac{M y}{I_w} = \frac{R_u e_1 \times \frac{l}{2}}{\frac{1}{6} l^3} = \frac{3 R_u e_1}{l^2}$$

بدون در نظر گرفتن جوش بالایی $I_w = 2 \times \frac{1}{12} l^3$

$$f_v = \frac{R_u}{A_w} = \frac{R_u}{2L}$$

$$d - b_f \le L \le d - \frac{b_f}{2}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_t^2} = \sqrt{\left(\frac{R_u}{2L}\right)^2 + \left(\frac{3 R_u e_1}{l^2}\right)^2}$$

$$f_r = \frac{R_u}{2L^2}\sqrt{l^2 + 36 e_1^2} \le R_w = \phi \beta F_{nw} t_e$$

$$= 0.75 \times \beta (0.6 F_{uE}) \times 0.707 D$$

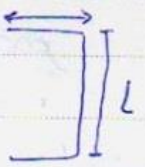
$$= 0.318 \beta F_{uE} D$$

if طول قلاب $= \frac{l}{12}$ $\quad f_r = \frac{R_u}{2L^2}\sqrt{l^2 + 2.25e_1^2} \leq R_w$

با یک رابطه‌ی فوق و تعیین یک جوش حداقل (d_{min}) و با یک d_{min} که براساس f_c بدست می‌آید یک D انتخاب می‌گردد پس ضخامت نبشی $t \geq D$ انتخاب به گونه‌ای

که D_{max} رعایت گردد و پس از معادله‌ی فوق با معلوم شدن D، R_w محاسبه و با یک معادله e_1 محاسبه می‌شود

$b = a - e'$

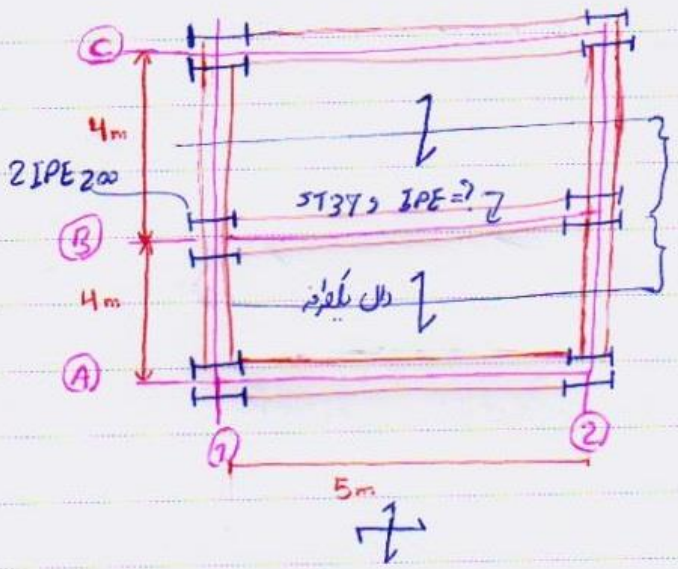


طرح جوش A: با نیروی برش R_u ؛ نگر بعضی $R_u e_1$

طرح جوش B: با نیروی برش R_u ؛ نگر خمشی $R_u e_1$

- کنترل برشی در نبشی $e_1 = a - \bar{x}$
- کنترل تغییر شکل $\theta \leq \theta_{Beam}$

مثال: در شکل زیر، تیر محور B را به ستون به صورت اتصال ساده با نبشی جان است طراحی کنید. ST37، E_{60}، شرایط جوشکاری



$$\begin{cases} DL = 5\ KN/m^2 \\ LL = 2\ KN/m^2 \end{cases}$$

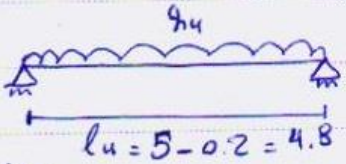
شدت بارگی وارده بر کف

$W_u = 1.2L + 1.6LL =$

$1.2\times5 + 1.6\times2 =$

$9.2\ KN/m^2$

$q_u = 9.2\times4 = 36.8\ KN/m$



$R_u = \frac{1}{2} q_u l_u = \frac{1}{2}\times36.8\times4.8 = 88.32 KN$ KN

$M_u = \frac{1}{8} q_u l_u^2 = \frac{1}{8}\times36.8\times4.8^2 = 105.98\ KN.m$

- طراحی تیر براساس خمش

برای محاسبه‌ی M_n برای تیر I شکل خمش‌دیده با دو محور تقارن حول محور قوی:

۱- حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

۲- حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی

چون بال فشاری تیر در اتصال دال سقف قرار دارد پس طول مهار نشده‌ی تیر صفر است ($l_b = 0$)

$l_b \leq l_p$ نیازی به کنترل کمانش پیچشی-جانبی نیست

$\Phi_b M_n \geq M_u \rightarrow 0.9\times240\, Z_x \geq 105.98\times10^6$

$Z_x \geq 490.468\ mm^3 \rightarrow$ Use IPE 270 از آشتال

(باقی اعضا)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

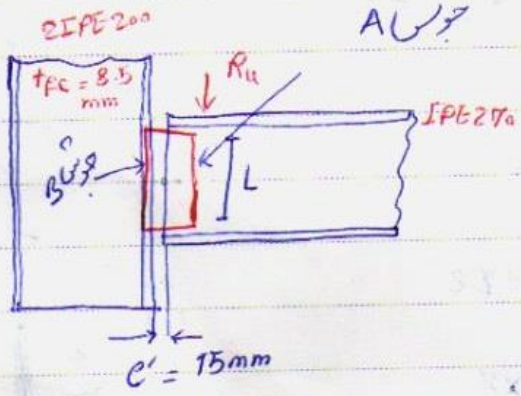
IPE 270: $\Sigma x = 484000\ mm^3$, $d = 270\ mm$, $t_w = 6.6$, $t_f = 10.2$

برعهده دانشجو: - کنترل برش - کنترل تغییر مکان - کنترل فرکانس ارتعاش

$f \geq 5$

* طراحی اتصال

جوش A



$d - b_f \leq$ طول بستی $l \leq d - \frac{b_f}{2}$ → $270 - 135 \leq l \leq 270 - \frac{135}{2}$ → Take $l = 170$ mm

$$\frac{R_u}{2L^2}\sqrt{l^2 + 20.25e_1^2} \leq \underbrace{R_w} = 100D$$

جوش B به ستون هست.

$t_{fc} = 8.5$ mm → $6 \leq t \leq 12$ → $D_{min} = 5$ mm

ضخامت نبشی

Take $t = 6$ mm → $D_{max} = 6$ mm

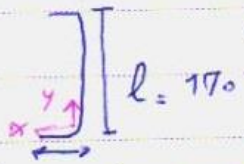
Take $= 6$ mm

$$\frac{88.32 \times 10^3}{2 \times 170^2}\sqrt{170^2 + 20.25e_1^2} \leq 100 \times 6 \rightarrow e_1 \leq 78.9\ mm$$

Take $a = 80$ mm

Try $L = 80\times80\times6\times170$

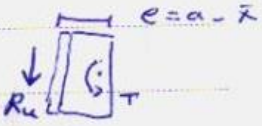
مقطع مورد A



$A_w = 2\times65 + 170 = 300\ mm$

$b = a - e' = 80 - 15 = 65$

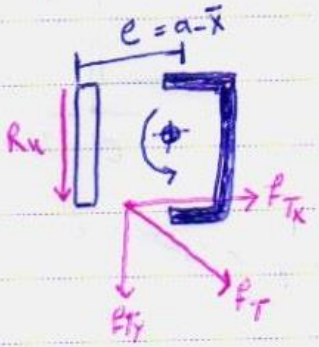
$\bar{x} = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{2b \times \frac{b}{2}}{A_w} = \frac{b^2}{A_w} = \frac{65^2}{300} = 14.08$



$T = R_u e_1 = R_u (a - \bar{x})$

$= 88.32 \times (80 - 14.08) = 5.822\ KN.m$

$f_y = \frac{\frac{R_u}{2}}{A_w} = \frac{88.32\times10^3}{2\times300} = 147.2$



$f_{Tx} = \frac{I_2 \times y}{I_p}$ $\qquad f_{Ty} = \frac{I_2 \times x}{I_p}$ حول

$f_{Tx} = \frac{(5822/2)(85)}{1.493 * 10^6} = 165.98\ \frac{N}{mm}$ جوش $t = 1$ زن

$f_{Ty} = \frac{(5.822/2)(65 - 14.08)}{1.493 * 10^6} = 100.63\ \frac{N}{mm}$

$I_x = \frac{1}{12} \times 1 * 170^3 + 2\times65\times85^2$

$I_x = 1.349 * 10^6\ mm^3$

$I_y = 2\left[\frac{1}{12} * 1 * 65^3\right] +$

$2\left[\frac{6}{A} * \left(\frac{65}{2} - \bar{x}\right)^2\right]$

$+ \frac{170}{A} * 14.08^2 = 0.124 * 10^6\ mm^3$

$I_p = I_x + I_y = 1.493 * 10^6\ mm^3$

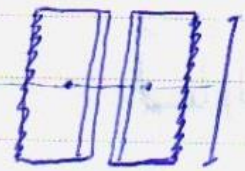
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

$$f_r = \sqrt{f_{Tx}^2 + (f_{Vy} + f_{Ty})^2} \leq R_w = 100D$$

Use $D = D_{min} = 5\,mm$

$299.4 \leq 100D \rightarrow D \geq 3\,mm$

For A welding



$L = 170\,mm$

طراحی جوش B : برش سطح در راستای 85

$A_w = 2l = 340\,mm$

$I_w = 2 * \frac{1}{12} l^3 = \frac{1}{6}(170)^3 = 818833\,mm^3$

M_u لنگر وارده بر جوش $M_u = R_u * e_1 = 5.822\ kN.m$

$$f_v = \frac{R_u}{A_w} = \frac{88.32 * 10^3}{340} = 259.8\ \frac{N}{mm}$$

$$f_t = \frac{M_y}{I_w} = \frac{5.822 * 85}{818833} = 604.4\ \frac{N}{mm}$$

$$\Rightarrow f_r = \sqrt{f_v^2 + f_t^2} = 657.9 \leq R_w = 100D$$

$\rightarrow D \geq 6.6\,mm$

Use $t = 8\,mm$ ضخامت نبشی

Take $D = 7\,mm$

For B welding

$D_{min} = 5\,mm \rightarrow$ برای t حداقل دو قطعه

$D_{max} = 8\,mm$ کوچک جوش

کنترل برش :

برش جان مقاطع غیر I شکل و لوله ای شکل

بدون کمک گذاشته $K_V = 5$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{170}{2t_s} = \frac{170}{2*8} = 10.625$$

نبشی

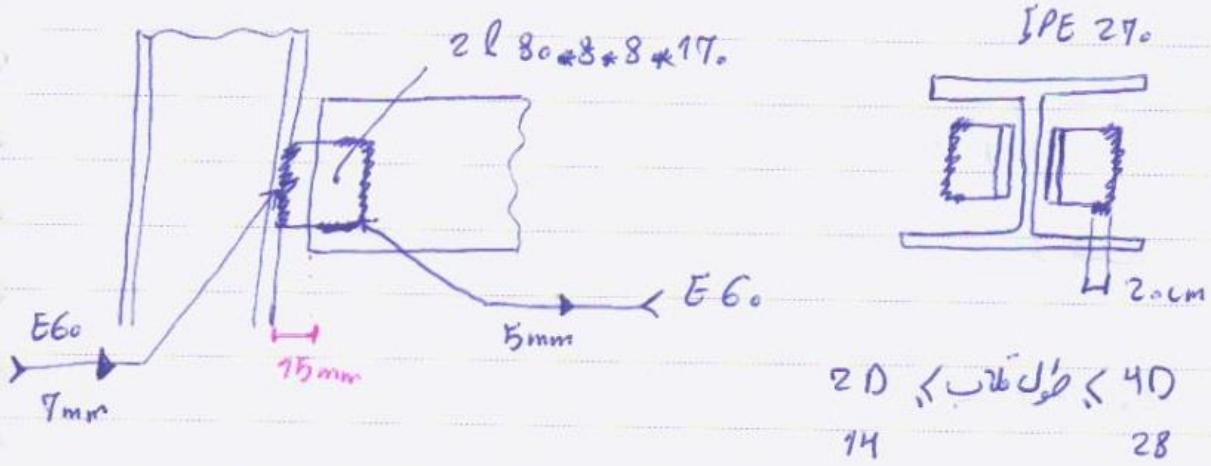
$$1.1\sqrt{\frac{K_V E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5 * 2*10^5}{240}} = 71$$

$$\Rightarrow \frac{h}{t_w} \leq 1.1\sqrt{\frac{K_V E}{F_y}}$$

$C_v = 1$

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v = 0.6 (240)(170 * 2 * 8) * 1 = 391.7 \text{ KN}$

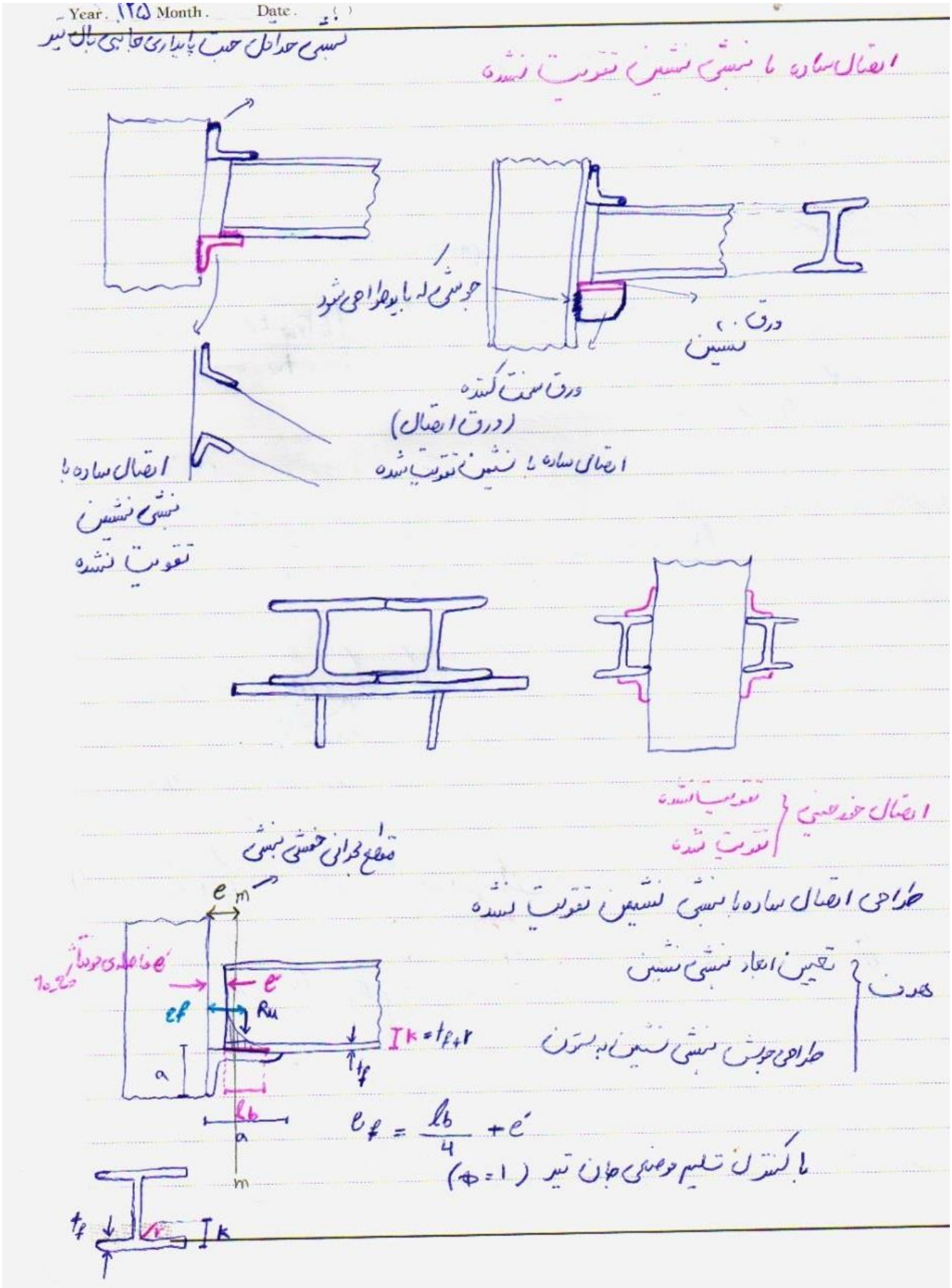
$\phi_v V_n \geq R_u$ ok ✓



$2D \leq$ طول نبشی $\leq 4D$

14 28

۲.۵ اتصال ساده با نبشی نشیمن



$$\phi R_n = \phi F_{yw} t_w (2.5K + l_b) \geq R_u$$

$$l_b \geq \frac{R_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2.5K \geq K$$

تعیین عرض نبشی : $a \geq l_b + e'$

- کنترل مقاومت لهیدگی جان تیر ($\phi = 0.75$)

$$\phi R_n = \phi \times 0.8\, t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \geq R_u$$

($\phi = 0.75$)

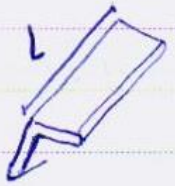
در حالتی که $\frac{l_b}{d} \leq 0.2$

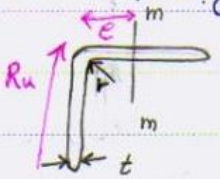
در حالتی که $\frac{l_b}{d} \geq 0.4$:

$$\phi R_n = \phi \times 0.4\, t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4 l_b}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \geq R_u$$

گاهی اوقات رابطه ی اول کنترل کننده نیست و l_b بدست آمده مقدی می گردد.
تسلیم موضعی جان
در این صورت با یک l_b فرضی رابطه لهیدگی جان کنترل می گردد.

(ل) طول نبشی از کنترل خمش در مقطع بحرانی نبشی بدست می آید.



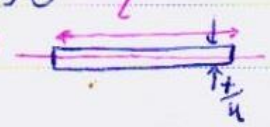


$$\begin{cases} e_f = \frac{l_b}{4} + e' \\ e = e_f - t - r \end{cases}$$

به سبب ضخامت نبشی شعاع گردی نبشی

$\frac{R_u e}{\text{گشتاور در مقطع بحرانی}} \leq \phi_b M_n = \phi_b M_p =$

$$\phi_b F_y Z = \phi_b F_y \times \frac{1}{4} l t^2$$



$Z_i = \sum A_i y_i = 2\left(l_x \frac{t}{2}\right) \times \frac{t}{4} = \frac{1}{4} l t^2$

$t \geq \sqrt{\frac{4 R_u e}{\phi_b F_y L}}$

در این حالت یک نبشی انتخاب کرده و با این رابطه ضخامت را کنترل می‌کنیم.

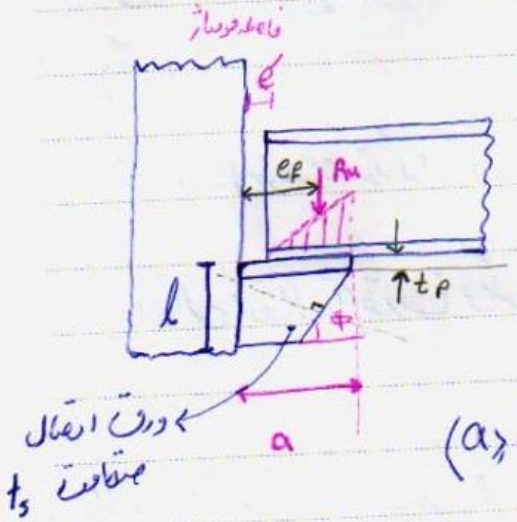
روابط کمکی طراحی : طرح جوش نبشی به ستون

برش $V_u = R_u$

لنگر خمشی $M_n = R_u e_f$

طرح جوش | | یا ⌊ ⌋

اتصال ساده با نبشی نشیمن تقویت شده



$e_p = e' + \frac{l_b}{2}$

l_b عادتا همانند حالت اتصال ساده تقویت نشده

از کنترل تسلیم موضعی و کمانش جان تعیین می‌گردد ($a \geq l_b + e'$)

- تعیین ضخامت t_s

(سخت کننده)

$t_s \geq t_w$

$\frac{a}{t_s} \geq 0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$t_s \geq \frac{R_u\left(6e_f - 2a\right)}{\phi\,(1.8F_y)(a^2 \sin^2\phi)}$ ($\phi = 0.75$)

$\phi = 90°$

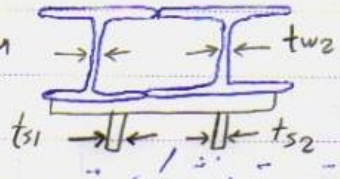
* ضخامت ورق نشیمن ($t_p \geq t_s$)

* با در نظر گرفتن یک l جوش سخت کننده به ستون طراحی می‌شود.

تحت اثر برش و لنگر خمشی

$\frac{R_u e_f}{R_u}$

درصورتی که تیر به شکل مقطع 2I باشد (دوبل) در زیر هر جان تیر باید یک صفحه کمکی نصب گردد. در این حالت $t_s = t_{s1} + t_{s2}$ و $t_w = t_{w1} + t_{w2}$



مثال: اتصال ساده با نبشی نشیمن تقویت نشده یک تیر دوسر ساده با طول 7.5 متر با نیمرخ IPE 300 به جان ستونی با نیمرخ IPB_{280} به صورت تمام قدرت طراحی کنید. (بال ستون از نوع دارای تکیه‌گاه جانبی کافی هست)

(بارگذاری کلی نوشته)

$F_y = 240$

$e' = 20\,mm$

الکترود = E60

شرایط جوش کارگاهی

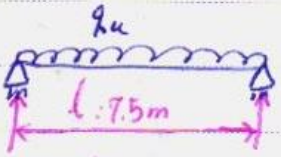
برای طراحی اتصال توصیه می‌شود که اتصال برای ظرفیت خمشی تیر طراحی گردد

به‌این ترتیب اتصال تمام قدرت می‌گردد.

به‌کاربردن چنین اتصالی باعث می‌شه اعضای اصلی و اتصالات آنها از ضرایب اطمینان کافی برخوردار باشند

و حداکثر کنترل شده. (در مورد بعضی تیرها با دهانه‌ی خیلی کوتاه ممکن است ظرفیت برشی طرف تمام قدرت باشد)

$M_u = \Phi_b M_n = \Phi_b M_p = \Phi_b Z F_y$



$R_u = \frac{1}{2} q_u l = \frac{4}{l} \times \frac{1}{8} q_u l^2 = \frac{4}{l} \underbrace{M_u}_{\Phi_b M_n}$ تکیه‌گاهی $R_u = \frac{1}{2} q_u L$

$\boxed{R_u = \frac{4 \Phi_b Z F_y}{l}}$ عکس العمل تکیه‌گاهی در حالت تمام قدرت

$M_u = \frac{1}{8} q_u l^2$

$$R_u = \frac{4M_u}{L}$$

IPE 280

$d = 280\ mm$

$b_{fc} = 280\ mm$

$t_{fc} = 18\ mm$

IPE 300

$d = 300\ mm$

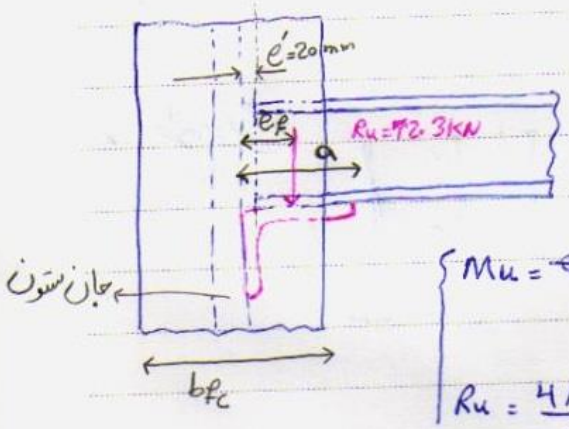
$b_f = 150$

$t_f = 10.7$

$t_w = 7.1$

$r = 15$

$Z = 628000\ mm^3$



$K = t_f + r = 10.7 + 15 = 25.7$

$M_u = \phi_b M_p = \phi_b F_y Z = 0.9 \times 240 \times 628000 = 135.6$

$R_u = \frac{4M_u}{L} = \frac{4 \times 135.6}{7.5} = 72.3\ KN$

$l_b = \frac{R_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2.5K = \frac{72.3 \times 10^3}{1 \times 240 \times 7.1} - 2.5 \times 25.7 = -21.8 < 0$ ← یک طول منفی

فرض انتخاب می‌کنیم

با فرض $l_b = 100\ mm$ داریم:

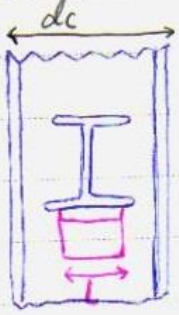
$\frac{l_b}{d} = \frac{100}{300} = 0.33 > 0.2 \rightarrow$

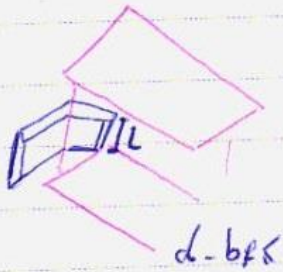
$\phi R_n = \phi \times 0.4\, t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{EF_{yw} t_f}{t_w}} = 207.4\ KN \geq R_u$

$a \geq l_b + e' \rightarrow a \geq 100 + 20 \rightarrow$ Take $a = 120\ mm$

بازوی لنگر وارد بر جوش

$e_f = \frac{l_b}{4} + e' = \frac{100}{4} + 20 = 45\ mm$





$d_c - b_{fc} \leq l \leq d_c - \frac{b_{fc}}{2} \rightarrow$

$0.5l \leq 140$ Use $l = 140\ mm$

$d - b_f \leq l \leq d - \frac{b_f}{2}$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

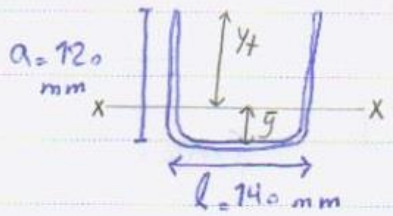
انتخاب نبشی L 120×120×15×140

$e = e_f - t - r = 45 - 15 - 13 = 17\ mm$

$t > \sqrt{\frac{4R_u e}{\phi_b F_y l}} = \sqrt{\frac{4\times 72.3\times 10^3\times 17}{0.9\times 240\times 140}} = 12.8\ mm$ ok

120 11
12
13
15 ✓

* طرح جوش



$A = 2\times 120 + 140 = 380\ mm$

$\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} = \frac{2\times 120\times 60}{380} = 37.9$

$I_x = 2\times\left[\frac{1}{12}\times 120^3 + 120\times(60-37.9)^2\right] + 140\times 37.9^2 = 606316\ mm^3$

$f_t = \frac{M_u y_t}{I_x} = \frac{R_u e^* y_t}{I_x} = \frac{72.3\times 10^3\times 17\times(120-37.9)}{606316} = 440.5\ N/mm$

$f_v = \frac{R_u}{A_w} = \frac{72.3\times 10^3}{380} = 190.3\ N/mm$

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

$479.8 \leq 100\ D$

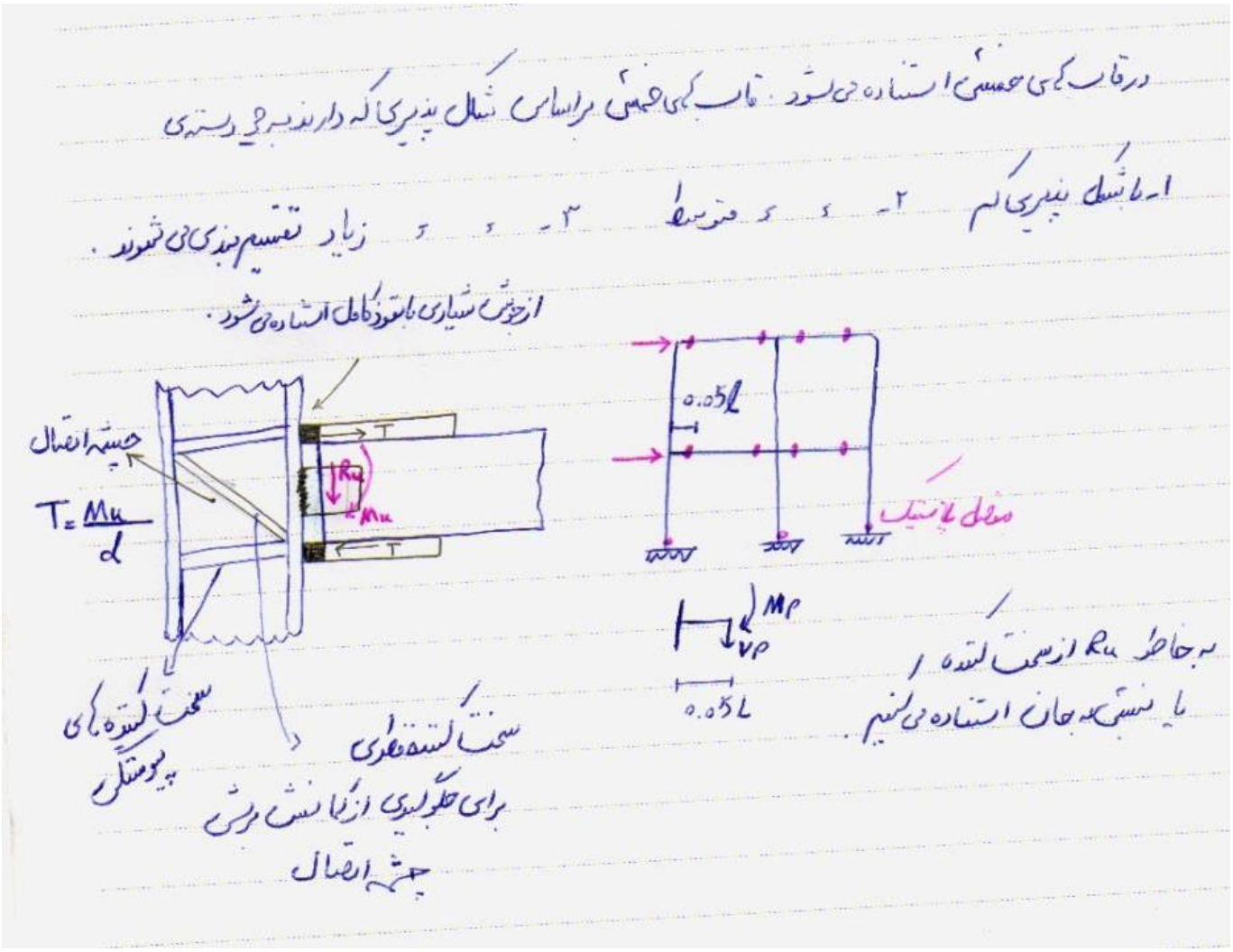
$D \geq 4.8\ mm$

اگر جوش به صورت ۱ | در نظر گرفته شود،

(برعهده دانشجو) $D = 8\ mm$

ضخامت حداقل برای جوش شونده $\begin{cases} D_{min} = 6 \\ D_{max} = 15 \end{cases}$

۳.۵ اتصالات گیردار



در قاب‌های خمشی استاده می‌شود. قاب‌های خمشی براساس شکل پذیری که دارند به چه دسته‌ای

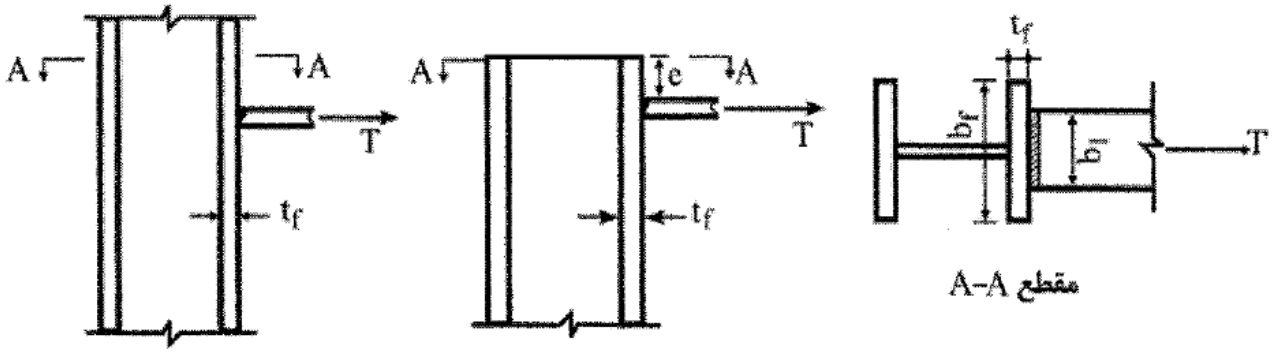
۱- با شکل پذیری کم ۲- " " متوسط ۳- " " زیاد تقسیم بندی می‌شوند.

از جوش شیاری با نفوذ کامل استاده می‌شود.

به جای R_u از سخت کننده / یا نبشی به جان استاده می‌کنیم.

۱۰-۲-۹-۱۰-۱ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

الزامات این بند برای هر دو حالت نیروی کششی متمرکز تکی و مولفهٔ کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۲-۹-۱۶).



شکل ۱۰-۲-۹-۱۶ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

مقاومت طراحی خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و R_n مقاومت اسمی طبق رابطهٔ زیر می‌باشد.

$$R_n = ۶/۲۵ F_{yf} t_f^{۲} \qquad (۱۰-۲-۹-۲۳)$$

که در آن:

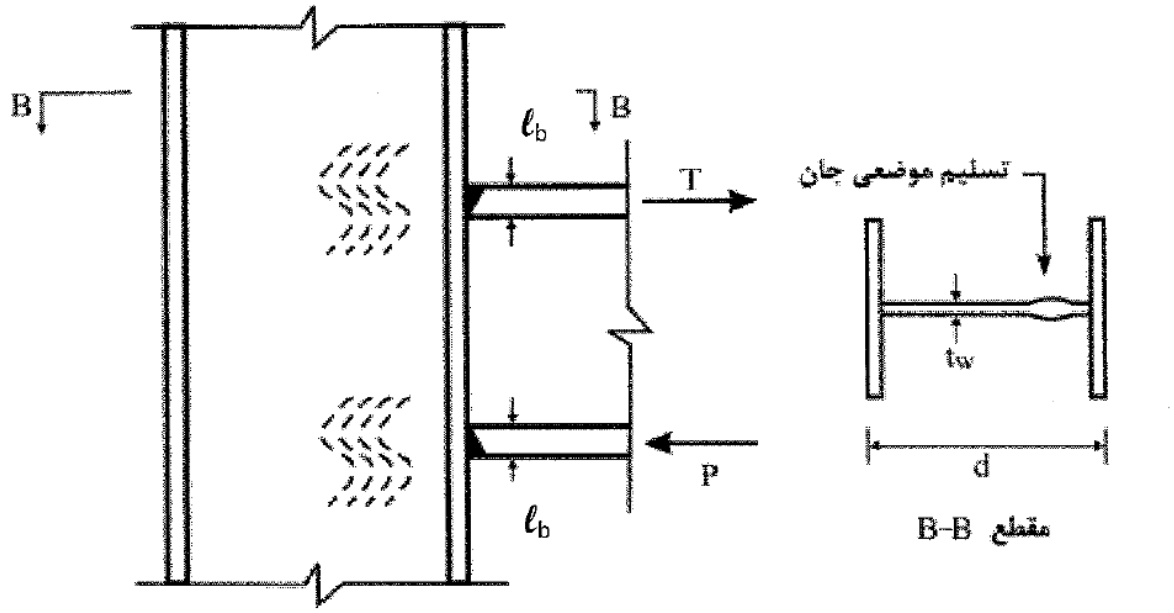
t_f= ضخامت بال تحت نیروی کششی

F_{yf}= تنش تسلیم بال

R_n = مقاومت اسمی با اعمال محدودیت‌های زیر:

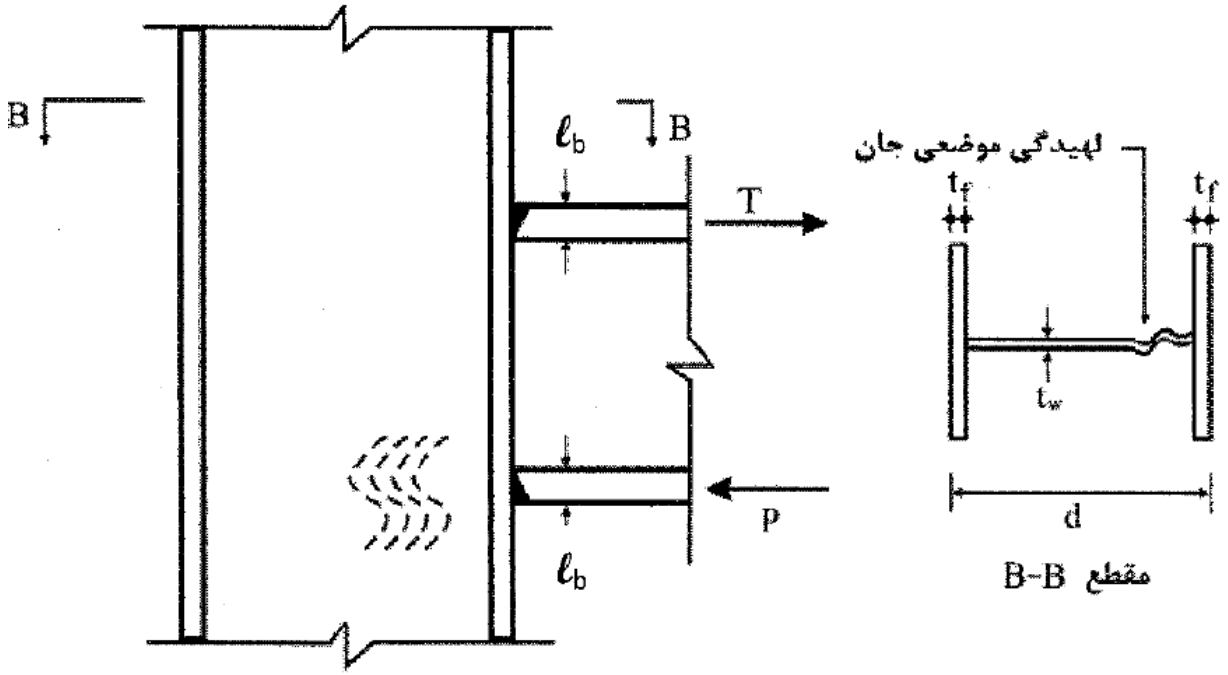
۱- در صورتی‌که طول بارگذاری شده در امتداد پهنای بال(b_1)، کوچکتر از $۰/۱۵b_f$ باشد، بررسی رابطه ۱۰-۲-۹-۲۳ الزامی نیست.

۲- در صورتی‌که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از $۱۰t_f$ از انتهای عضو اثر نماید ($e < ۱۰t_f$)، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۲۳ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.



(ب)

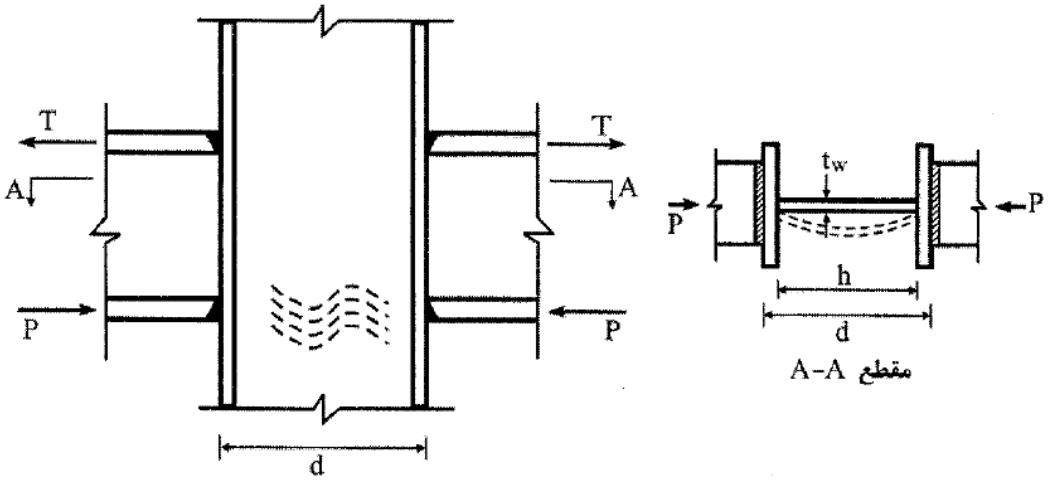
شکل ۱۰-۲-۹-۱۷ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری



شکل ۱۰-۲-۹-۱۸ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

۱۰-۲-۹-۱۰-۵ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط است به حالتی‌که یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مولفهٔ فشاری زوج نیرو در یک مقطع در جهت مخالف به بال‌های مقابل عضو اعمال می‌شوند (شکل ۱۰-۲-۹-۲۰).



شکل ۱۰-۲-۹-۲۰ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

مقاومت طراحی کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و R_n مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی کمانش موضعی جان از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد.

$$R_n = \frac{۲۴ t_w^۳ \sqrt{E F_{yw}}}{h} \qquad (۱۰-۲-۹-۳۱)$$

که در آن:

t_w = ضخامت جان

h= ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصلهٔ بین دو بال در مقاطع ساخته‌شده از ورق)

F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان

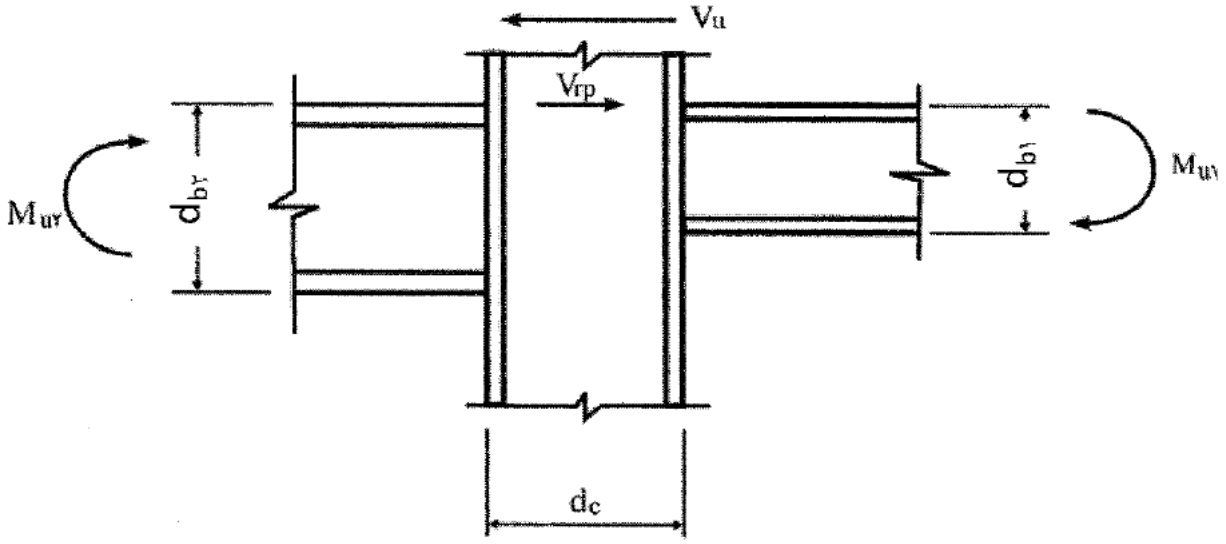
E = مدول الاستیسیته فولاد

تبصره۱: در صورتی‌که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از d/۲ از انتهای عضو اثر نماید، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۳۱ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

تبصره۲: در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های مورد نیاز باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ را تأمین نمایند.

۱۰-۲-۹-۱۰-۶ برش در چشمهٔ اتصال

الزامات این بند مربوط است به حالتی‌که یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو اثر می‌کند (شکل ۱۰-۲-۹-۲۱).



مقاومت برشی طراحی در چشمهٔ اتصال مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و R_n مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی تسلیم برشی به شرح زیر تعیین می‌گردد.

۱. در حالتی‌که تأثیر تغییرشکل چشمهٔ اتصال در تحلیل سازه منظور نشود:

- برای حالتی‌که $P_u \leq 0.4P_c$ باشد:

$$R_n = 0.6F_y d_c t_w \qquad (۱۰-۲-۹-۳۲)$$

- برای حالتی‌که $P_u > 0.4P_c$ باشد:

$$R_n = 0.6F_y d_c t_w \left(1.4 - \frac{P_u}{P_c}\right) \qquad (۱۰-۲-۹-۳۳)$$

۲. در حالتی‌که تأثیر تغییرشکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور شود:

- برای حالتی که $P_u \leq 0.75P_c$ باشد:

$$R_n = 0.6F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf}t_{cf}^2}{d_b d_c t_w}\right) \qquad (۱۰-۲-۹-۳۴)$$

- برای حالتی‌که $P_u > 0.75P_c$ باشد:

$$R_n = 0.6\, F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf}t_{cf}^2}{d_b d_c t_w}\right)\left(1.9 - \frac{1.2P_u}{P_c}\right) \qquad (۱۰-۲-۹-۳۵)$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

در روابط فوق:

b_{cf} = پهنای بال ستون

t_{cf} = ضخامت بال ستون

d_c = ارتفاع کلی مقطع ستون

d_b = ارتفاع کلی مقطع تیر

t_w = ضخامت جان مقطع ستون

F_y = تنش تسلیم فولاد

P_u = مقاومت محوری مورد نیاز ستون

$(P_c = P_y = A_g F_y)$ = مقاومت محوری تسلیم

A_g = سطح مقطع کلی مقطع ستون

تبصره۱: مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۱، مقاومت برشی مورد نیاز در چشمهٔ اتصال، V_{up}، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{up} = \frac{M_{u1}}{d_{b1}} + \frac{M_{u2}}{d_{b2}} - V_u \qquad (۱۰-۲-۹-۳۶)$$

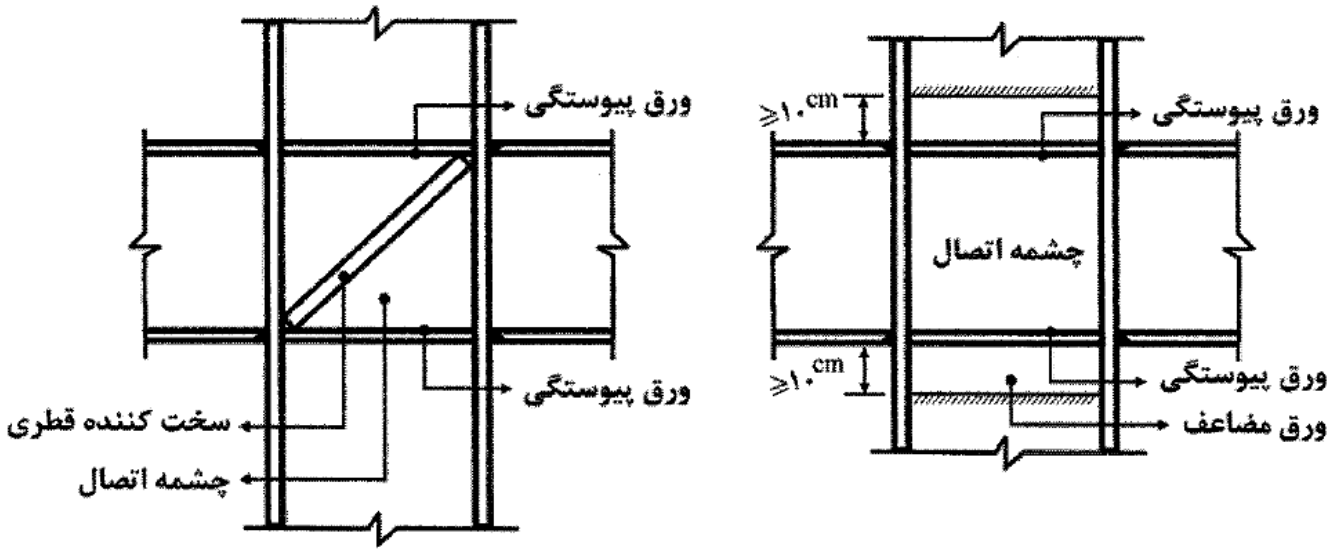
که در آن:

M_{u1} و M_{u2} = به ترتیب لنگرهای خمشی انتهایی تیرهای سمت چپ و راست چشمهٔ اتصال است.

V_u = نیروی برشی ستون در بالای چشمهٔ اتصال

d_{b1} و d_{b2} = به ترتیب ارتفاع‌های کل مقاطع تیرهای سمت چپ و راست چشمهٔ اتصال است.

تبصره۲: در صورتی‌که مقاومت برشی مورد نیاز چشمهٔ اتصال از مقاومت برشی طراحی بیشتر باشد، تعبیهٔ ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) یا یک جفت سخت‌کنندهٔ قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محدودهٔ چشمهٔ اتصال ضروری است. ورق‌های مضاعف باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ را تأمین نمایند.



شکل ۱۰-۲-۹-۲۲ سخت‌کننده‌های قطری و ورق‌های مضاعف در چشمهٔ اتصال

۱۰-۲-۹-۱۰-۹ پایداری ورق‌های چشمهٔ اتصال

ضخامت هر یک از ورق‌های واقع در چشمهٔ اتصال، شامل جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف) باید رابطهٔ زیر را برآورده نمایند.

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{۹۰} \qquad (۱۰-۹-۲-۳۷)$$

که در آن:

t_z = ضخامت جان (یا هر یک از جان‌های) ستون یا هر یک از ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف)

d_z = عمق چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ آزاد بین ورق‌های پیوستگی می‌باشد.

w_z = پهنای چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ آزاد بین بال‌های ستون می‌باشد.

تبصره: در صورتی‌که ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف)، با جوش انگشتانهٔ کافی به جان ستون متصل شده باشند، مجموع ضخامت جان ستون و ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال به عنوان t_z منظور می‌گردد.