دانشگاه یزد

# طراحی سازه های فولادی ۱

## مبحث دوم:

# طراحی اعضای کششی

مدرس: دکتر محمدرضا میرجلیلی

نیمسال اول ۰۳-۱۴۰۲

توجه: این درسنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادری می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه کنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

## طراحی اعضای کششی

$$P_u \le \phi P_n$$

۱) کنترل تسلیم مقطع کل (غیرخالص) ($A_g$) ، برای جلوگیری از تغییر شکل‌های زیاد :

$$P_u \le \phi_{t1} \cdot P_{n1}$$

$P_u$ = مقاومت کششی مورد نیاز (Demand) = نیروی کششی نهایی (ضریبدار)

$P_{n1}$ = مقاومت کششی نهایی اسمی حالت تسلیم

$\phi_{t1}$ = ضریب کاهش مقاومت حالت تسلیم

$$P_{n1} = F_y \cdot A_g$$

$$\phi_{t1} = 0.9$$

---

۲) کنترل گسیختگی کششی مقطع خالص مؤثر ($A_e$) ، این کنترل در محل اتصالات انجام میشود :

$$P_u \le \phi_{t2} \cdot P_{n2}$$

$P_{n2}$ = مقاومت کششی نهایی اسمی حالت گسیختگی

$\phi_{t2}$ = ضریب کاهش مقاومت حالت گسیختگی

$$P_{n2} = F_u \cdot A_e$$

$$\phi_{t2} = 0.75$$

---

## تعیین سطح مقطع عضو

- سطح مقطع غیرخالص :

$A_g$ = gross Area

- سطح مقطع خالص :

$A_n$ = net Area

الف) برای اتصالات پیچی :

$$A_n = A_g - \text{سوراخ} + \sum \frac{s^2}{4g} \times t$$

ب) برای اتصالات جوشی : معمولاً $A_n = A_g$ ، اما در دو حالت [مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم محور = ردیف ۵ جدول ۱۰-۲-۳-۱] و [مقاطع متوقف شکل با یک ردیف اتصال هم محور = ردیف ۶ جدول ۱۵-۲-۳-۱] داریم : $A_n = A_g -$ سوراخ

- سطح مقطع خالص مؤثر :

$$A_e = U \cdot A_n$$

$U$ = ضریب تأخیر برش $= \text{Max}$

$U_1 = \dfrac{\text{مساحت مقطعی که نیرو منتقل می‌کند}}{A_g}$

$U_2 = 1 - \bar{x}/l$ ← فرمول ردیف ۲ جدول (۱۰-۳-۲-۱)

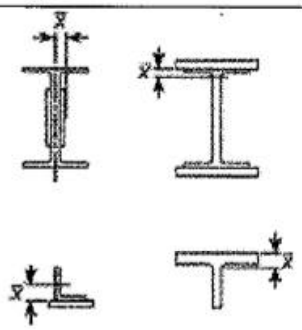
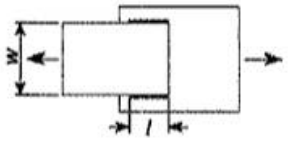
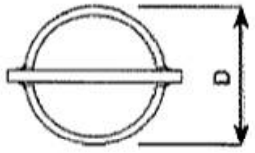
$U_3 =$ سایر ردیف‌های جدول (۱۰-۳-۲-۱) در صورتیکه موجود باشد.

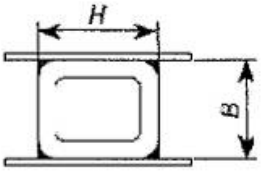
$\bar{x}$ = خروج از مرکزیت اتصال

$l$ = طول اتصال

در مورد اتصالات پیچی $l$ = فاصله اولین تا آخرین پیچ (در امتداد نیرو)

**جدول ۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اعضای کششی**

| حالت | شرح | ضریب تأخیر برش، U | مثال |
|---|---|---|---|
| ۱ | کلیهٔ اعضای کششی که در آنها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶) | $U = ۱$ | |
| ۲ | کلیهٔ اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد. | $U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$ |  |
| ۳ | کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد. | $U = ۱$<br>$A_n$= سطح مقطع قسمت (یا قسمتهای) اتصال یافته | |
| ۴ | تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد. | $w \le l < ۱/۵w \dots U = ۰/۷۵$<br>$۱/۵w \le l < ۲w \dots U = ۰/۸۷$<br>$l \ge ۲w \dots U = ۱/۰$ |  |
| ۵ | در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد. | $D \le l < ۱/۳D \dots U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$<br>$l \ge ۱/۳D \dots U = ۱/۰$<br>$\bar{x} = \frac{D}{\pi}$ |  |
| ۶ | در مقاطع قوطی شکل | چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.<br>۱ | $l \ge H \dots U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$<br>$\bar{x} = \frac{B^۲ + ۲BH}{۴(B+H)}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد. | $l \geq H \quad ... \; U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$<br>$\bar{x} = \frac{B^۲}{۴(B+H)}$ |  |
| ۷ | در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده شده از آن‌ها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. | در اتصالات جوشی و پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرارشده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد. | $b_f \geq \frac{۲}{۳}d \implies U = ۰/۹$<br>$b_f < \frac{۲}{۳}d \implies U = ۰/۸۵$ | |
| | | در اتصالات جوشی و پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد. | $U = ۰/۷$ | |
| ۸ | در نیمرخ‌های تک‌نبشی در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. | چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد. | $U = ۰/۸$ | |
| | | چنانچه دو یا سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد. | $U = ۰/۶$ | |

*در این جدول:*

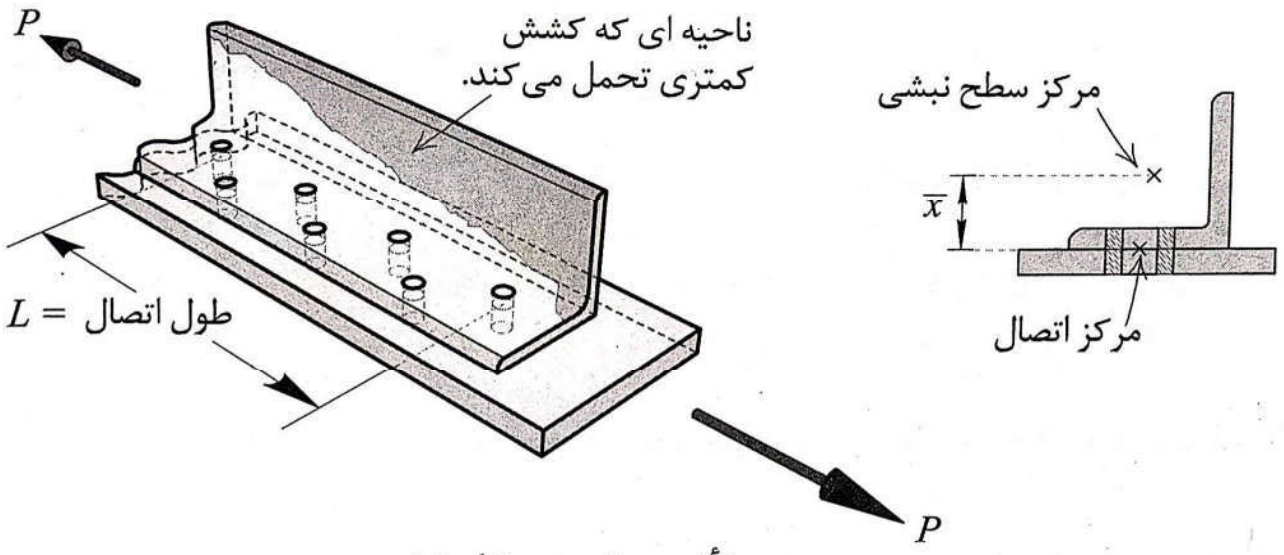
*l= طول اتصال مساوی فاصله اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی*

*w= پهنای ورق*

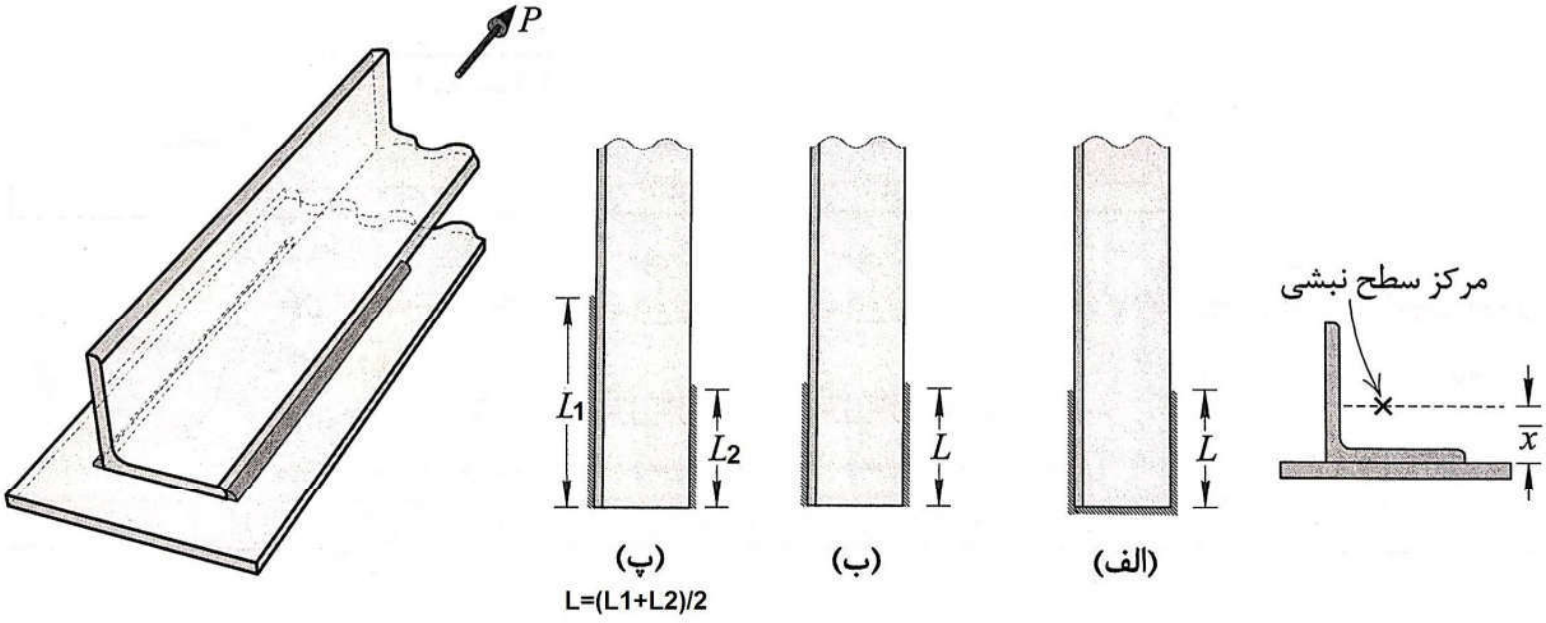
*$\bar{x}$= خروج از مرکزیت اتصال*

*B= پهنای کلی مقاطع قوطی شکل (عمود بر صفحهٔ اتصال)*

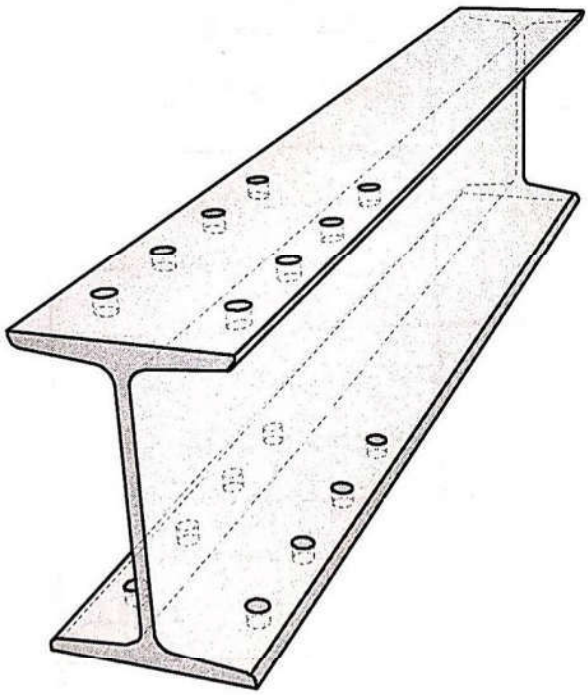
*H= ارتفاع کلی مقاطع قوطی شکل (در صفحهٔ اتصال)*

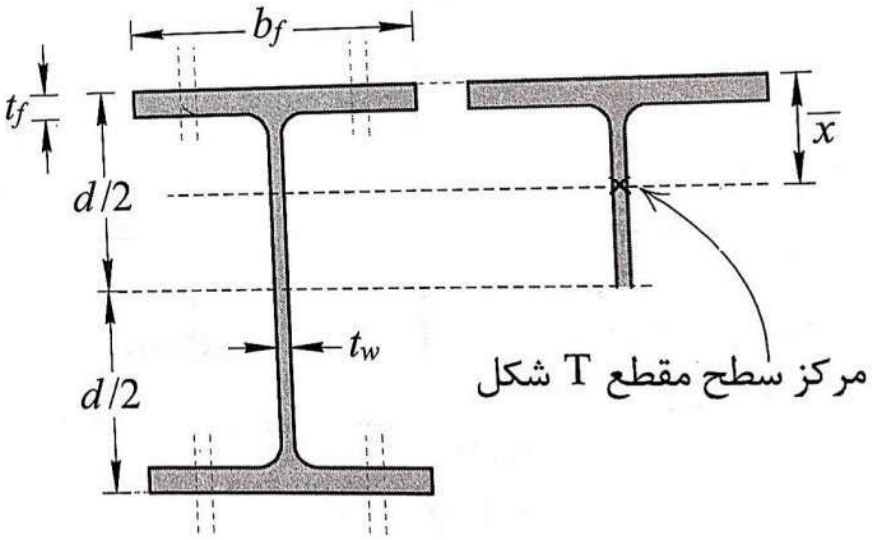



**پدیده تأخیر برشی در مقطع نبشی**

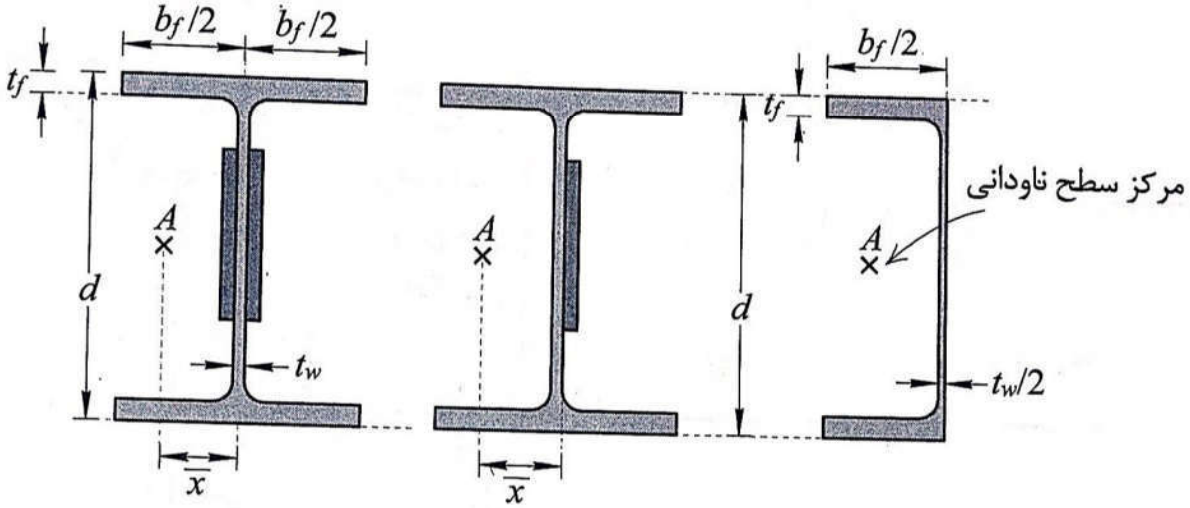



**مقادیر $\overline{x}$ و L برای مقطع نبشی با جوش طولی**

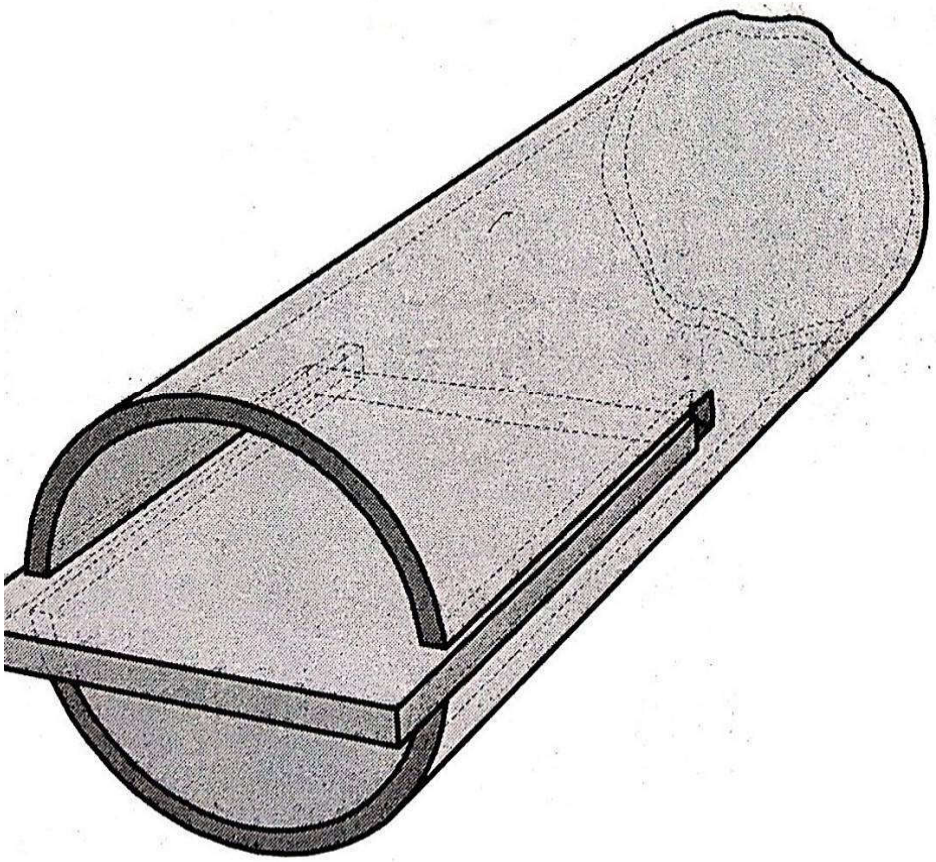


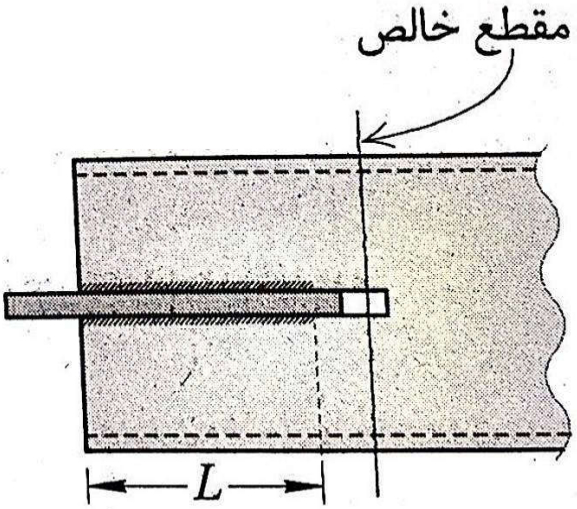



محاسبه $\overline{X}$ برای مقطع I شکل با اتصالات بال




**محاسبه $\overline{x}$ برای مقطع I- شکل با اتصالات جان**






## مقادیر طول اتصال و سطح مقطع خالص برای مقطع لوله با یک ورق اتصال

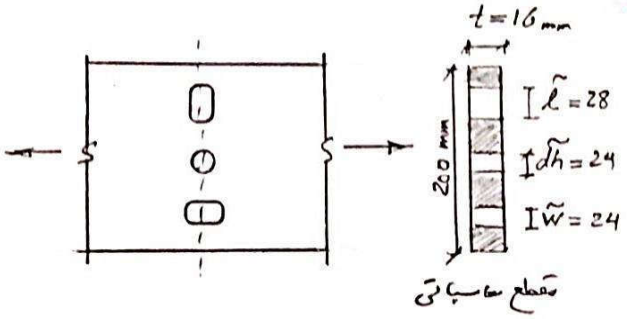
جدول ۱۰-۲-۹-۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ بر حسب میلی‌متر

| قطر پیچ (mm) | ابعاد اسمی سوراخ (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | سوراخ استاندارد | سوراخ بزرگ‌شده | سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض) | سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض) |
| M۱۶ | ۱۸ | ۲۰ | ۱۸×۲۲ | ۱۸×۴۰ |
| M۲۰ | ۲۲ | ۲۴ | ۲۲×۲۶ | ۲۲×۵۰ |
| M۲۲ | ۲۴ | ۲۸ | ۲۴×۳۰ | ۲۴×۵۵ |
| M۲۴ | ۲۷ | ۳۰ | ۲۷×۳۲ | ۲۷×۶۰ |
| M۲۷ | ۳۰ | ۳۵ | ۳۰×۳۷ | ۳۰×۶۷ |
| M۳۰ | ۳۳ | ۳۸ | ۳۳×۴۰ | ۳۳×۷۵ |
| ≥M۳۶ | d+۳ | d+۸ | (d+۳) × (d+۱۰) | (d+۳)×۲/۵ d |

### ۱۰-۲-۳-۲ محدودیت لاغری در اعضای کششی

ضریب لاغری حداکثر اعضای کششی، $(L/r)_{max}$، نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید. برای قلاب‌ها و میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به مقدار کافی باشند، به طوری که پس از ایجاد کشش اولیه عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت لاغری ضروری نیست.

## مثالهای محاسبه سطح خالص An




**مثال ۱.** پیچ مورد استفاده M20 . سوراخها استاندارد و لوبیایی کوتاه.

M20 ← جدول (۱۰-۲-۹-۸) ← سوراخ استاندارد $dh = 22\ mm$ ، لوبیایی کوتاه $l \times w = 26 \times 22$

برای تعیین سطح مقطع An ابعاد سوراخها را 2mm افزایش دهیم :

سوراخ استاندارد $\tilde{dh} = dh + 2 = 24\ mm$

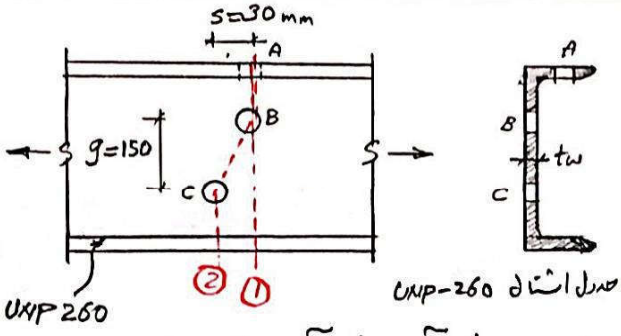
لوبیایی کوتاه $\tilde{l} = l + 2 = 28$ ، $\tilde{w} = w + 2 = 24$

سطح مقطع غیرخالص $Ag = 200 \times 16 = 3200\ mm^2$

خالص ~ ~ $An = Ag - \tilde{l}.t - \tilde{dh}.t - \tilde{w}.t = 3200 - (28+24+24) \times 16 \Rightarrow An = 1984\ mm^2$

---

**مثال ۲.** پیچ مورد استفاده M16 سوراخها از نوع بزرگ شده.




M16 ← جدول (۱۰-۲-۹-۸) ← $dh = 20\ mm$

قطر محاسباتی سوراخ $\tilde{dh} = 20 + 2 = 22\ mm$

UNP-260 جدول استاندارد ← $Ag = 48.3 \times 10^2\ mm^2$ ، $t_f = 14\ mm$ ، $t_w = 10\ mm$

$An_1 = Ag - \underbrace{\tilde{dh}.t_f}_{\text{سوراخ A}} - \underbrace{\tilde{dh}.t_w}_{\text{سوراخ B}} = 4830 - 22\times14 - 22\times10 \rightarrow \boxed{An_1 = 4302\ mm^2}$

$An_2 = Ag - \text{//} - \text{//} - \underbrace{\tilde{dh}.t_w}_{\text{سوراخ C}} + \underbrace{\frac{s^2}{4g} \times t_w}_{\text{خط BC}} = 4830 - 22\times14 - 2\times22\times10 + \frac{30^2}{4\times150} \times 10$

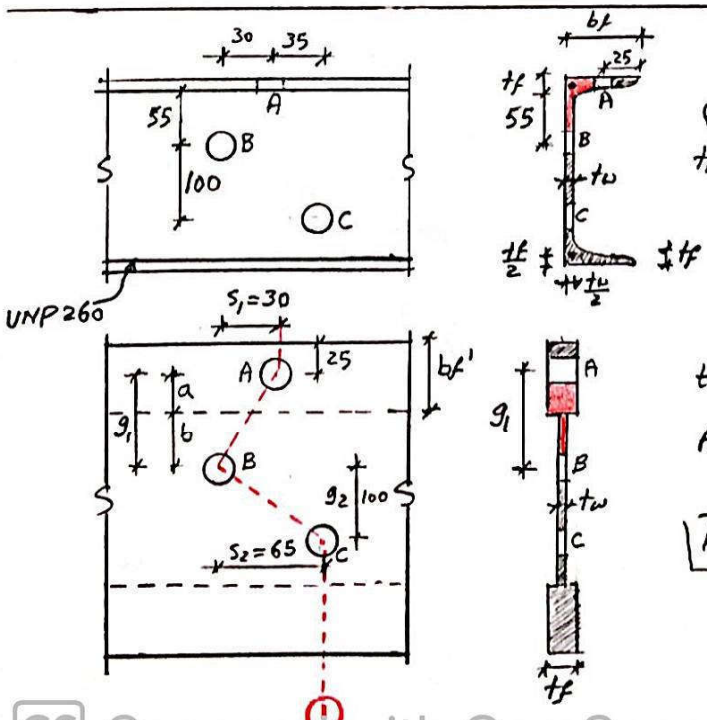
$\Rightarrow \boxed{An_2 = 4097\ mm^2}$

$An = \min\{An_1, An_2\} \rightarrow \boxed{An = 4097\ mm^2}$

---

**مثال ۳.** شبیه مثال قبل. تعیین $An_1$ .

ابتدا ناودانی را حول محورهای حل تقاطع خط اگرکزیت بال و جان باز می‌کنیم تا تبدیل به یک ورق شود. جدول استال $t_f = 14$ ، $t_w = 10$ ، $b_f = 90$




$b_f' = b_f - \frac{t_w}{2} = 85\ mm$

$a = b_f' - 25 \Rightarrow a = 60$

$b = 55 + t_f/2 \Rightarrow b = 62$

$\rightarrow g_1 = a + b = 122$

ضخامت متوسط سیر AB :

$t_{ave} = \frac{a.t_f + b.t_w}{a+b} = 12.2\ mm$

$An_1 = Ag - \underbrace{22\times14}_{\text{سوراخ A}} - \underbrace{22\times10\times2}_{\text{سوراخ B و C}} + \underbrace{\frac{s_1^2}{4g_1} \times t_{ave}}_{\text{سیر AB}} + \underbrace{\frac{s_2^2}{4g_2} \times t_w}_{\text{سیر BC}}$

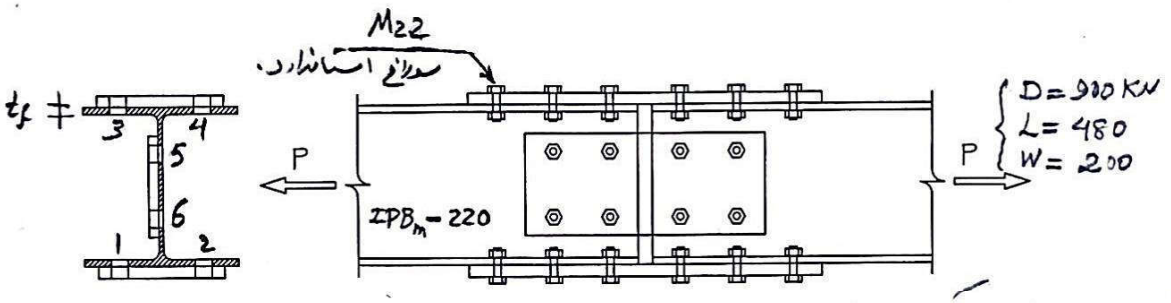
$\boxed{An_1 = 4210\ mm^2}$

تمرین : برای سایر سیرها An را حساب کنید.

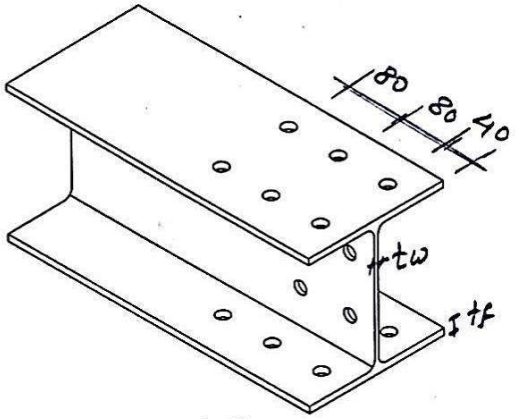
Scanned with CamScanner

E.1

مثال ۱ - عضو کششی زیر را کنترل کنید. فولاد مصرفی S235 ( $F_y = 235\,MPa$ و $F_u = 360\,MPa$ )




گام ۰) بارگذاری، تحلیل و ترکیب بارها.




| | | |
|---|---|---|
| $1.4D$ | $\rightarrow P_u = 1260\ KN$ | Max |
| $1.2D + 1.6L$ | $\rightarrow P_u = 1848$ | |
| $1.2D + 1.0(1.4W) + L$ | $\rightarrow P_u = 1840$ | |

$$P_u = 1848\ KN$$

گام ۱) تعیین مشخصات مقطع :

$IPBm-220 \xrightarrow{\text{جدول اشتال}} A_g = 91\,cm^2 = 9100\,mm^2$ ، $t_f = 16mm$ ، $t_w = 9.5\,mm$

پیچ $\rightarrow M22 \rightarrow d_0 = d = 22mm \xrightarrow[\text{سوراخ استاندارد}]{\text{جدول ۱۰-۲-۹-۸}} d_h = 24_{mm} \xrightarrow{+2mm} \tilde{d}_h = 26_{mm}$

$$A_n = A_g - 4 \times \tilde{d}_h \times t_f - 2 \times \tilde{d}_h \times t_w \rightarrow A_n = 6942\ mm^2$$

با توجه به جدول ۱۰-۲-۳-۱ ، چون نیرو توسط همهٔ اجزای مقطع (بالها و جان) منتقل می‌شود ، از رابطهٔ

$$A_e = U \times A_n = 6942\ mm^2 \leftarrow \quad U = 1.0 \quad \leftarrow \text{ضریب تأخیر برش} \ (1)$$

گام ۲) کنترل :

۱) کنترل تسلیم : $\quad P_{n1} = F_y \cdot A_g = 235 \times 9100 = 2{,}138{,}500\ N$ (MPa, mm²) مقاومت اسمی

$$\left.\begin{array}{l} P_{n1} = 2138.5\ KN \\ \phi_{t1} = 0.9 \end{array}\right\} \rightarrow \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 1924.7\ KN \quad \text{مقاومت طراحی}$$

$$P_u = 1848 \leq \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 1924.7 \qquad O.K.\checkmark$$

۲) کنترل گسیختگی : $\quad P_{n2} = F_u \cdot A_e = 360 \times 6942 = 2499.1\ KN$ مقاومت اسمی

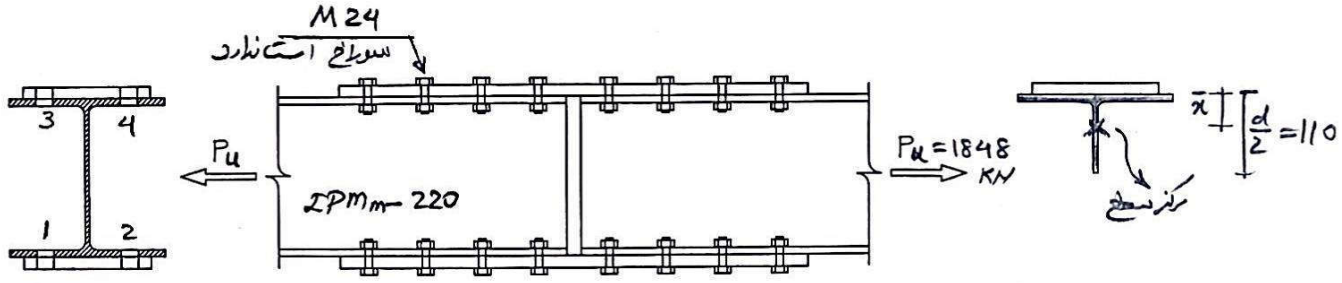
$$\left.\begin{array}{l} P_{n2} = 2499.1\ KN \\ \phi_{t2} = 0.75 \end{array}\right\} \rightarrow \phi_{t2} \cdot P_{n2} = 1874.3\ KN \quad \text{مقاومت طراحی}$$

$$P_u = 1848 \leq \phi_{t2} \cdot P_{n2} = 1874.3 \qquad O.K.\checkmark$$

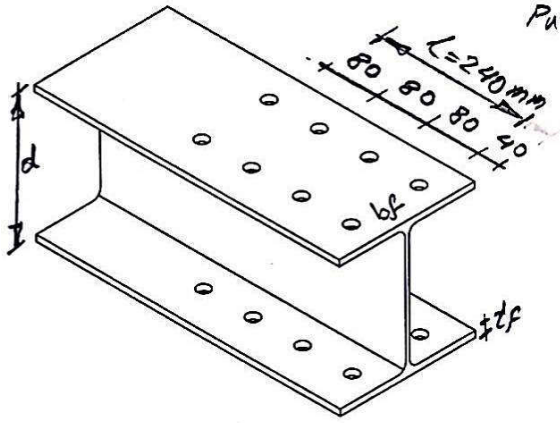
نتیجه : با توجه به اینکه هر دو کنترل جوابگوست $\rightarrow$ مقطع برای کشش جوابگوست $O.K.\checkmark$

E.2

مثال ۲- مثال ۱ را با فرض اینکه اتصال فقط از طریق بالها است، حل کنید.




گام ۰) بارگذاری، تحلیل و ترکیب بارها ← مثال قبل ← $P_u = 1848^{KN}$




گام ۱) محاسبهٔ مشخصات مقطع:

$IPB_m - 220 \xrightarrow[\text{اشتال}]{\text{جدول}} A_g = 9100\,m^2,\ t_f = 16mm$

$d = 220mm,\ b_f = 220\ mm,\ t_w = 9.5mm$

پیچ $M24 \rightarrow d_b = d = 24_{mm} \xrightarrow[\text{استاندارد}]{\text{جدول ۱۰-۲-۹}} d_h = 27mm$

$\xrightarrow{+2mm}\ \tilde{d}_h = 29\,mm$

$A_n = A_g - 4 \times \tilde{d}_h \times t_f = 7244\,mm^2$

تعیین سطح مقطع خالص موثر ← چون همهٔ اجزای مقطع در انتقال نیرو شرکت ندارند و فقط بالها نیرو را منتقل میکنند ← $U \le 1.0$ خواهد بود.

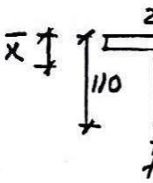
تعیین U

$$U_1 = \frac{2 \times b_f \cdot t_f}{A_g} = \frac{2 \times 220 \times 16}{9100} = 0.77 \rightarrow \boxed{U_1 = 0.77}$$

$$U_2 = 1 - \frac{\bar{x}}{l}\ ,\quad l = \text{طول اتصال} = 3 \times 80 = 240\,mm$$

برای تعیین $\bar{x}$ = فاصلهٔ مرکز سطح $\frac{1}{2}IPB_m$ تا صفحهٔ اتصال دو روش وجود دارد:

روش اول ← با مراجعه به جدول اشتال برای تیرآهن نیم‌شده ← $\bar{x} = 1.92_{cm} = 19.2_{mm}$




روش دوم ← مقطع سپر شکل را بصورت دو مستطیل درآورده و بصورت دستی $\bar{x}$ را محاسبه کنیم:

$$\bar{x} = \frac{220 \times 16 \times 8 + 94 \times 9.5\left(\frac{94}{2} + 16\right)}{\frac{1}{2} \times 9100} \rightarrow \bar{x} = 19.13\,mm$$

$$U_2 = 1 - \frac{19.2}{240} \rightarrow \boxed{U_2 = 0.92}$$

برای تعیین $U_3$ به ردیف ۷ جدول ۱۰-۲-۳-۱ مراجعه میشود: اتصال از طریق بالها و حداقل ۳ وسیله اتصال در هر ردیف (مطابق شرح) موجود است و $b_f = 220 \ge \frac{2}{3} \times d = \frac{2}{3} \times 220$ ← $\boxed{U_3 = 0.9}$

جمع بندی: $U = Max\{U_1, U_2, U_3\}$ ← $\boxed{U = 0.92}$ ← $\boxed{A_e = U \cdot A_n = 6664.5\ mm^2}$

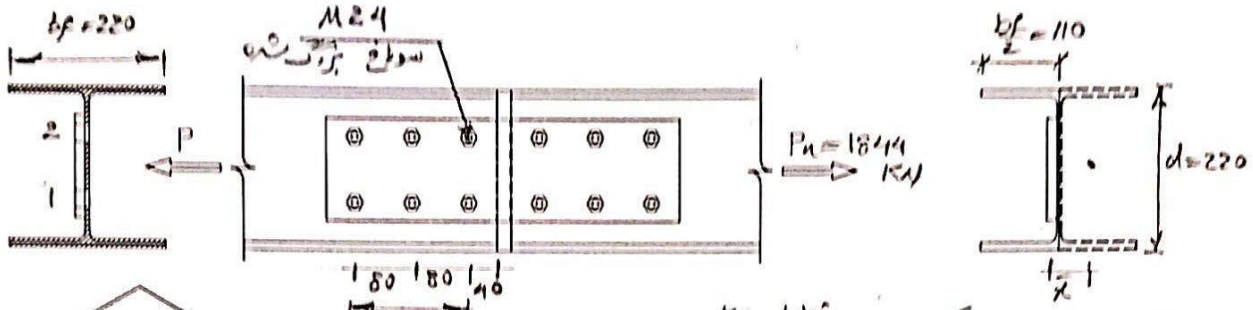
گام ۲) کنترل: کنترل (۱) تسلیم ← مثال قبل O.K. ← $P_u = 1844 \le \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 1924.7$

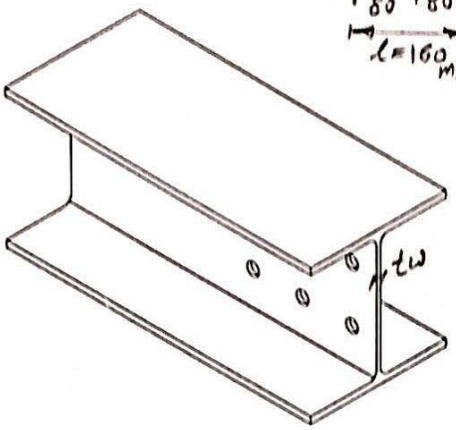
کنترل (۲) گسیختگی: $\phi_{t2} = 0.75$ ، $P_{n2} = F_u \cdot A_e = 360 \times 6664.5 = 2399.2\ KN$

$P_u = 1844 \not\le \phi_{t2} \times P_{n2} = 1799.4$ N.G. ×

E.3

مثال ۳- مثل مثال ۱ ، انتقال فقط از طریق بال.




گام ۰) بارگذاری، تحلیل و ترکیب بارها ← $P_u = 1844$ KN ← مثال ۱

گام ۱) تعیین مشخصات مقطع:

$IPB_m - 220 \rightarrow A_g = 9100\ mm^2$ ، $d = 220\ mm$

$b_f = 220\ mm$ ، $t_f = 16\ mm$ ، $t_w = 9.5\ mm$

پیچ ← M24 ← $d_b = 24$ ← (جدول ۱۰-۲-۹-۸ سوراخ بزرگ) ← $d_h = 30\ mm$

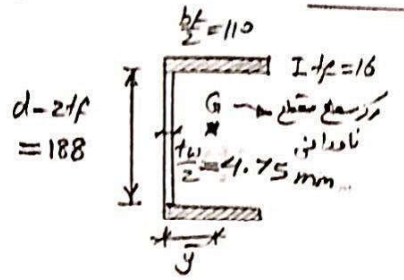
+2mm ← $\tilde{d}_h = 32\ mm$

$$A_n = A_g - 2 \times \tilde{d}_h \times t_w = 9100 - 2 \times 32 \times 9.5 \rightarrow A_n = 8492\ mm^2$$

تعیین سطح مقطع خالص مؤثر ← چون نقطه بال در انتقال نیرو شرکت دارد ← $U \le 1.0$

تعیین U.

$$U_1 = \frac{d \cdot t_w}{A_g} = \frac{220 \times 9.5}{9100} \Rightarrow U_1 = 0.23$$




$$U_2 = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad , \quad l = 160\ mm$$

$$\bar{y} = \frac{188 \times 4.75 \times \frac{4.75}{2} + 2\left[110 \times 16 \times \frac{110}{2}\right]}{\frac{1}{2} A_g = \frac{1}{2} \times 9100} = 43.0\ mm$$

$$\bar{x} = \bar{y} + t_w/2 = 47.8\ mm$$

$$U_2 = 1 - \frac{47.8}{160} \rightarrow U_2 = 0.70$$

جدول (۱۰-۲-۳-۱) ردیف ۷:

انتقال از طریق بال، حداقل ۳ پیچ در هر ردیف موازی نیرو ← در این مثال ۳ پیچ وجود دارد

بنابراین ردیف ۷ برای مثال قابل استفاده نیست ← $U_3$ نداریم

$$U = \max\{U_1, U_2\} = 0.70 \rightarrow A_c = U \cdot A_n = 5944.4\ mm^2$$

گام ۲) کنترل:

کنترل ۱) تسلیم ← مثل مثال (۱) ← $P_u = 1844 \le \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 1924.7$ O.K. ✓

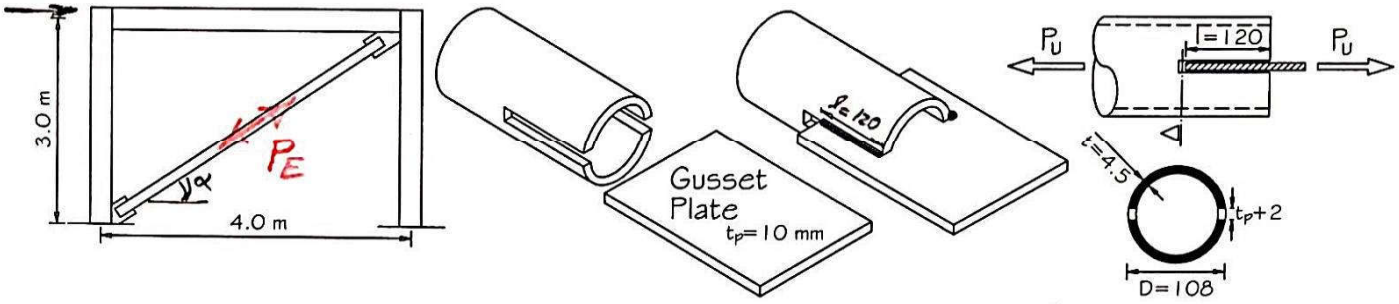
کنترل ۲) گسیختگی: $\phi_{t2} = 0.75$ ، $P_{n2} = F_u \cdot A_c = 360 \times 5944.4 = 2140.0$ KN

$P_u = 1844 \not\le \phi_{t2} \cdot P_{n2} = 1605$ KN ✗ N.G.

E.4

مثال ۴ - بادبند کششی را کنترل کنید. مقطع بادبند از لوله به قطر خارجی $D=108mm$ و ضخامت $t=4.5mm$، فولاد مصرفی S355 ($F_y=355\ MPa$ و $F_u=510\ MPa$)

$E=250\ KN$




گام ۰) بارگذاری، تحلیل و ترکیب بارها.

تحلیل $\rightarrow$ $P_E=\frac{E=250\ KN}{\cos\alpha}=325\ KN$

فرض میشود در اثر بار مرده، زنده و سایر بارها، هیچ نیروی در بادبند ایجاد نمی‌شود. و مقطع در اثر نیروی زلزله، نیروی کششی $P_E$ بوجود می‌آید.

ترکیب بار $\rightarrow$ $P_u=1.0(E)=325\ KN$

گام ۱) محاسبه مشخصات مقطع: میتوان از هندسه مقطع محاسبه کرد و هم میتوان از جدول اشتال استخراج کرد

$A_g=14.6\ cm^2=1460\ mm^2$ و $r=3.66\ cm=36.6\ mm$ شعاع ژیراسیون

عرض شکاف = ضخامت ورق اتصال + $2mm$ $=t_p+2=2mm+$ $12_{mm}$

$A_n=A_g-2\times t(t_p+2)=A_g-2\times4.5\ (12)=1352\ mm^2$

ردیف ۵ - جدول ۱۰-۵-۳-۱ : اولاً شرط $\ell=120\geq D=108$ طول جوش، رعایت شده است. ثانیاً باتوجه به اینکه

$$108=D<\ell=120\leq1.3\times D=1.3\times108=140.4 \Rightarrow U=1-\frac{\bar{x}}{\ell}$$

$$\bar{x}=\frac{D}{\pi}=\frac{108}{\pi}=34.4\ mm \rightarrow U=1-\frac{34.4}{120} \rightarrow \boxed{U=0.71}$$

$$A_e=U.A_n=960\ mm^2$$

گام ۲) کنترل:

مقاومت طراحی شلیم — مقاومت نهایی (اسمی) شلیم

۱) کنترل شلیم: $P_{n1}=F_y.A_g=518.3KN$، $\phi_{t1}=0.9$ $\rightarrow$ $\phi_{t1}.P_{n1}=466.5\ KN$

$$P_u=325\leq\phi_{t1}.P_{n1}=466.5 \quad O.K.\checkmark$$

مقاومت نهایی (اسمی) گسیختگی — مقاومت طراحی گسیختگی

۲) کنترل گسیختگی کششی: $P_{n2}=F_u.A_e=489.6\ KN$، $\phi_{t2}=0.75$ $\rightarrow$ $\phi_{t2}.P_{n2}=367.2\ KN$

$$P_u=325\leq\phi_{t2}.P_{n2}=367.2 \quad O.K.\checkmark$$

گام ۳) کنترل لاغری:

$L=5m=5000\ mm$ طول عضو

$r=36.6mm$ حداقل شعاع ژیراسیون مقطع

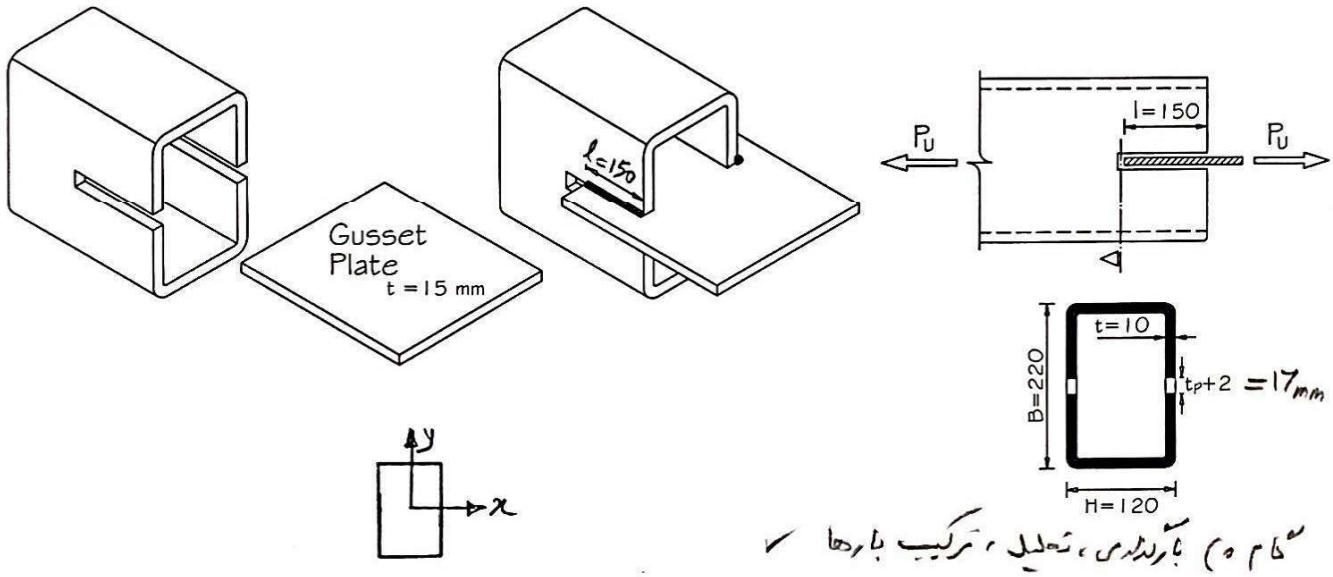
ضریب لاغری حداکثر $\lambda=\frac{L}{r}=136.6\leq300$ O.K.

جمع‌بندی: مقطع حالت حدی مقاومت (شلیم و گسیختگی) را تامین میکند. $\rightarrow$ O.K.✓

ضریب لاغری مطابقت

E.5

۵. عضو کششی زیر را برای تحمل $P_u = 1200$ KN کنترل کنید، فولاد مصرفی S275 ($F_y = 275$ MPa, $F_u = 410$ MPa) طول این عضو $L = 8$ m است.




گام ۰) بارگذاری، تحلیل، ترکیب بارها ✓

گام ۱) تعیین مشخصات مقطع: جدول استاد → $A_g = 6140\ mm^2$ ، $r_x = 77.4$ mm ، $r_y = 48$ mm

ضخامت عرض = $t_p + 2 = 17$ mm

$$A_n = A_g - 2t(t_p+2) = 5800\ mm^2$$

ردیف ۲ جدول ۱۰-۲-۳-۱ ← اولاً طول جوش $l = 150 \geq H = 120$ (توجه شود که H ضلع سازه‌ای ورق اتصال است)

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)} = 74.4\ mm \quad , \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.50 \rightarrow A_e = U \cdot A_n = 2900\ mm^2$$

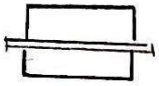
گام ۲) کنترل:

کنترل ۱) تسلیم: $P_{n_1} = F_y \cdot A_g = 1688.5$ KN ، $\phi_{t_1} = 0.9 \rightarrow \phi_{t_1} \cdot P_{n_1} = 1519.7$ KN

$P_u = 1200 \leq \phi_{t_1} \cdot P_{n_1} = 1519.7$ O.K.✓

کنترل ۲) گسیختگی: $P_{n_2} = F_u \cdot A_e = 1189$ KN ، $\phi_{t_2} = 0.75 \rightarrow \phi_{t_2} \cdot P_{n_2} = 891.8$ KN

$P_u = 1200 \not\leq \phi_{t_2} \cdot P_{n_2} = 891.8$ N.G. ✗

شرین: مقطع را بصورت  و با طول جوش $l = 250_{mm}$ مجدداً کنترل کنید.

گام ۳) کنترل لاغری:

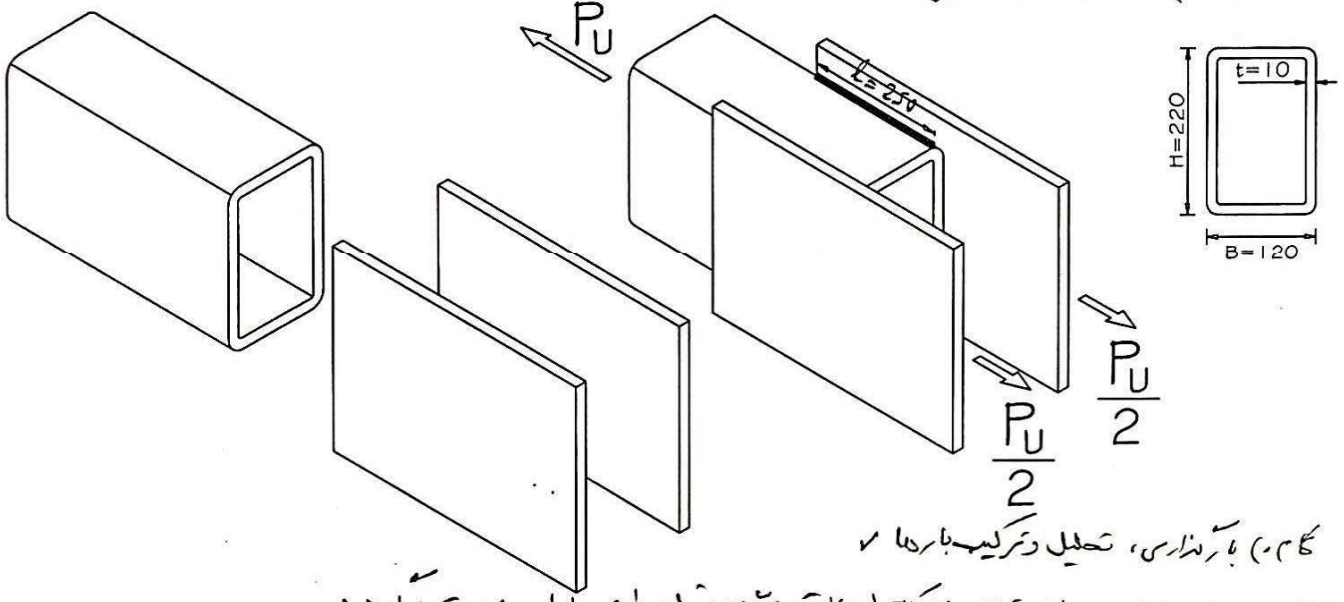
$L = 8000$ mm

$r_{min} = \min\{r_x, r_y\} = 48$ mm

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r_{min}} = 166.7 \leq 300 \quad \text{O.K.} \checkmark$$

F.6

مثال ۶ - عضو کششی زیر را برای تحمل نیروی $P_u = 1100\ kN$ طرح کنید. فولاد مصرفی S235 ($F_y = 235$ و $F_u = 360\ MPa$)، مقطع قوطی مستطیلی و $L = 250\ mm$ فرض شود.




گام ۰) بارگذاری، تحلیل و ترکیب بارها ✓

گام ۱) طرح اولیه: با استفاده از کنترل حالت حدی تسلیم طرح اولیه صورت می‌گیرد:

$$P_u \le \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 0.9 \times F_y \cdot A_g \longrightarrow A_{g\,req.} = \frac{P_u}{0.9 F_y} = \frac{1100 \times 10^3}{0.9 \times 235} = 5201\ mm^2$$

$52.01\ cm^2 = 5201\ mm^2$ ← با مراجعه به جدول اشتال، مقطعی با سطح مقطع بزرگتر و عددی نزدیک به

انتخاب ریشوف، انتخابهای متعددی وجود دارد، در این مثال:

$\therefore$ TRY BOX $220 \times 120 \times 10$

$A_g = 6140\ mm^2$

گام ۲) محاسبه مشخصات مقطع:

$A_n = A_g$

با توجه به ردیف ۶ جدول ۱۰-۲-۳-۱: طول جوش باید بزرگتر از $H$ باشد، توجه شود که $H$ ضلع موازی ورق اتصال است). $[B = 120, H = 220\ mm]$

$l = 250\ mm > H = 220$ O.K.✓

$$\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)} = 10.6\ mm \longrightarrow U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 0.96$$

$$A_e = U \cdot A_n = 5894\ mm^2$$

گام ۳) کنترل:

۱) کنترل تسلیم:

$$P_{n1} = F_y \cdot A_g = 1442.9\ KN \xrightarrow{\times \phi_{t1} = 0.9} \phi_{t1} \cdot P_{n1} = 1298.6\ KN$$

$$P_u = 1100 \le 1298.6 \quad \text{O.K.✓}$$

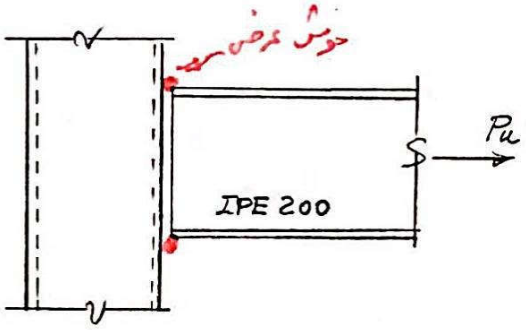
* با توجه به اینکه طرح اولیه (گام ۱) براساس کنترل تسلیم صورت گرفت، عملاً کنترل تسلیم جواب می‌دهد و نیازی به انجام آن نبود.

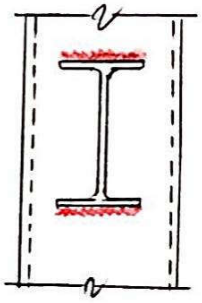
۲) کنترل گسیختگی:

$$P_{n2} = F_u \cdot A_e = 2121.8\ KN \xrightarrow{\times \phi_{t2} = 0.75} \phi_{t2} \cdot P_{n2} = 1591.4\ KN$$

$$P_u = 1100 \le 1591.4 \quad \text{O.K.✓}$$

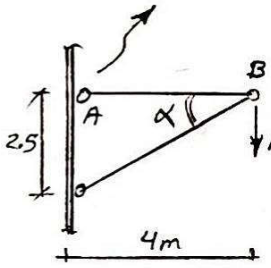
## مثال مربوط به محاسبهٔ ضریب تأثیر برشی ($C_v$) - ردیف ۳ جدول (۱۰-۲-۳-۱)



عضو کششی نشان داده شده با کنترل کنید. فولاد مصرفی S275 با $F_u = 410\ MPa$ و $F_y = 275\ MPa$.

گام ۱) تعیین بارهای ترکیب بار:




$$\alpha = \text{Arc}\tan\frac{2.5}{4} = 32^\circ$$

$$F \begin{cases} D = 200\ KN \\ L = 30 \\ L_r = 10 \end{cases}$$

$$\sum F_x = 0 \quad P = C\cos\alpha$$
$$\uparrow \sum F_y = 0 \quad F = C\sin\alpha$$
$$\Big\} \; P = F\cot\alpha = 1.6F$$

$$P \begin{cases} D = 1.6 \times 200 = 320\ KN \\ L = 1.6 \times 30 = 48 \\ L_r = 1.6 \times 10 = 16 \end{cases}$$

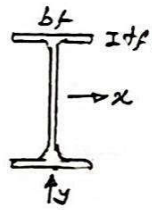
$1.4D \rightarrow P_u = 448\ KN$

$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) \rightarrow \boxed{P_u = 467}$ تعیین کننده

$1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5(1.4W) \rightarrow P_u = 458$

گام ۲) تعیین مشخصات مقطع:

IPE200: $A_g = 28.5 \times 10^2\ mm^2$, $b_f = 100mm$, $t_f = 8.5mm$




$U = 1$ بر اساس ردیف ۳ جدول (۱۰-۲-۳-۱) بخش ۱۰

$A_n =$ سطح مقطع خالص (مؤثر) اعضای یافته

$A_n = 2 \times b_f \times t_f = 1700\ mm^2$

$A_e = U \cdot A_n = 1 \times 1700 = 1700\ mm^2$

گام ۳) کنترل:

الف) کنترل تسلیم:

$P_u \le \phi_{t1} \cdot P_{n1}$, $\phi_{t1} = 0.9$, $P_{n1} = F_y \cdot A_g = 783.75\ KN$

$P_u = 467 \le 0.9 \times 783.75 = 705.4\ KN$ O.K.

ب) کنترل گسیختگی کششی:

$P_u \le \phi_{t2} \cdot P_{n2}$, $\phi_{t2} = 0.75$, $P_{n2} = F_u \cdot A_e = 697\ KN$

$P_u = 467 \le 0.75 \times 697 = 522.75$ O.K.

گام ۴) کنترل لاغری:

IPE200: $r_x = 82.6\ mm$, $r_y = 22.4\ mm$

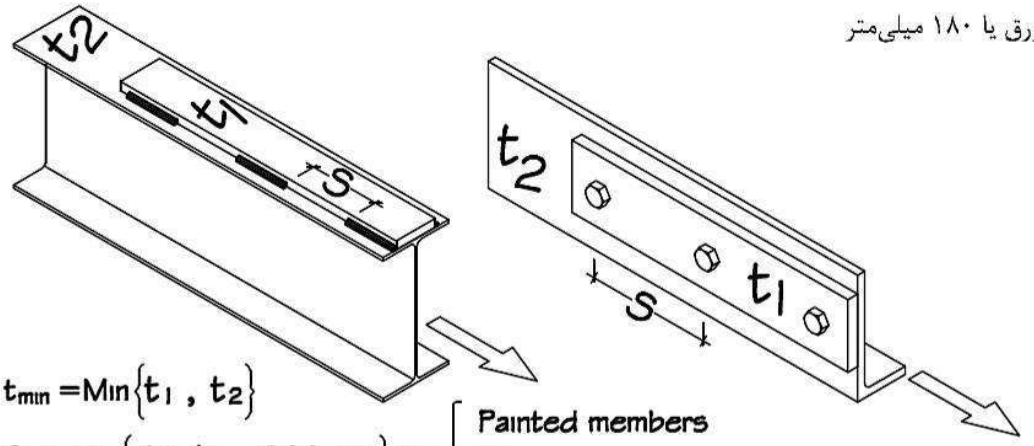
$$\lambda_{max} = \frac{L}{r_{min}} = \frac{4000\ mm}{22.4} = 178.6 \le 300 \quad O.K.$$

### اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق

در طراحی اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق باید الزامات زیر تامین گردد:

**الف)** چنانچه در یک مقطع مرکب تحت کشش، ورق‌های متصل به یک نیمرخ فولادی یا به یک ورق دیگر توسط وسایل اتصال یا نوارهای جوش منقطع به یکدیگر متصل شوند، فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی عضو نباید از مقادیر زیر بیشتر شود.

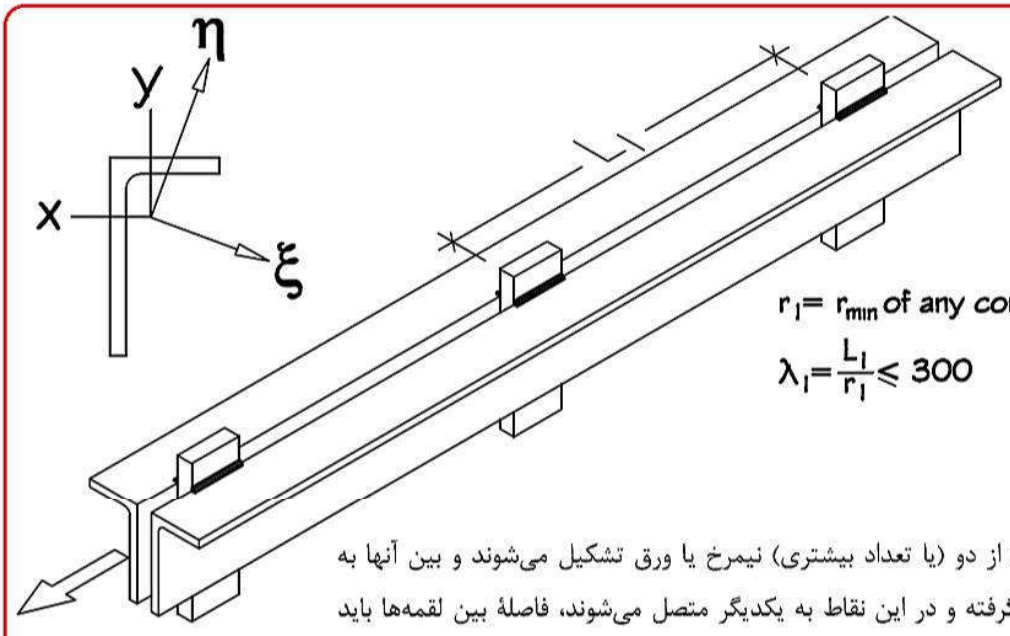
- در قطعات رنگ شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازکترین ورق یا ۳۰۰ میلی‌متر.
- در قطعات رنگ نشده که تحت اثر زنگ زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازکترین ورق یا ۱۸۰ میلی‌متر




$t_{min} = Min\{t_1 , t_2\}$

$S \leq Min\{24\ t_{min}, 300\ mm\}$ For [ Painted members or Unpainted members not subject to corrosion ]

$S \leq Min\{14\ t_{min}\ 180\ mm\}$ For unpainted members of Weathering steel subject to atmospheric Corrosion

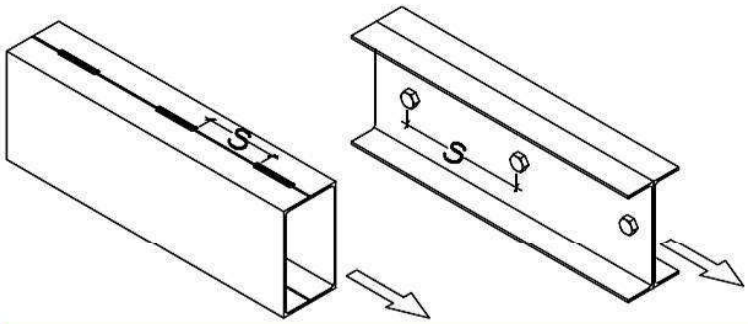



$r_1 = r_{min}$ of any component

$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_1} \leq 300$

**ب)** در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) نیمرخ یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آنها به فواصلی قطعات لقمه قرارگرفته و در این نقاط به یکدیگر متصل می‌شوند، فاصلهٔ بین لقمه‌ها باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ تجاوز نکند.

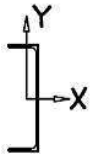
**پ)** در اعضای کششی که از دو ( یا تعداد بیشتری) نیمرخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ تجاوز ننماید. بعلاوه، فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از ۶۰۰ میلی‌متر بیشتر باشد.



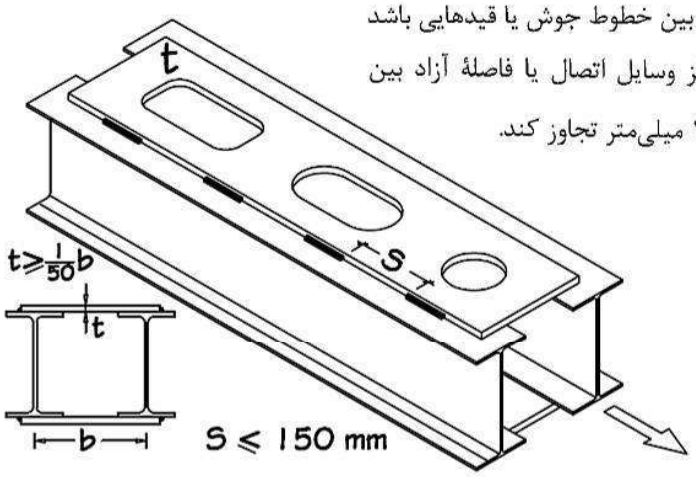

$r_1 = r_{min}$ of any component

$\lambda_1 = \frac{S}{r_1} \leq 300$

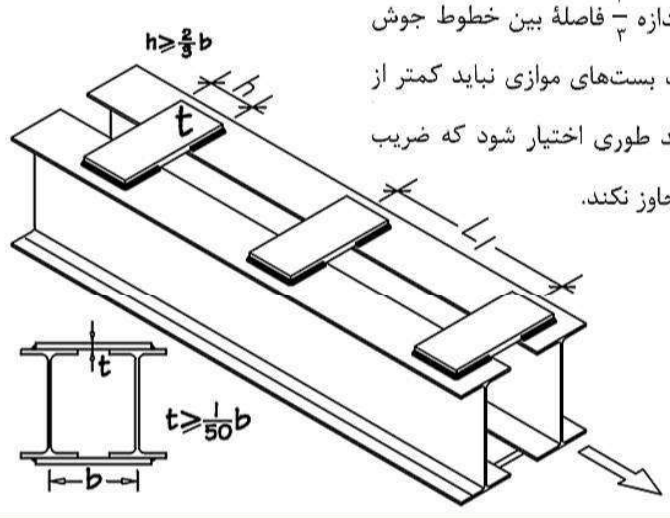
$S \leq 600$ mm




**ت)** در اعضای کششی مرکب، به کاربردن ورق‌های پوششی مشبک در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. ضخامت ورق‌های پوششی مشبک نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصلهٔ بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می‌کند. فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی ورق مشبک نباید از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند.

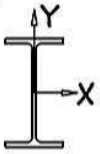



**ث)** در اعضای کششی مرکب، به کاربردن بست‌های موازی در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. پهنای بست‌های موازی در امتداد طولی عضو بایستی حداقل به اندازه $\frac{2}{3}$ فاصلهٔ بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می‌کند. ضخامت بست‌های موازی نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصلهٔ مذکور باشد. فاصلهٔ مرکز تا مرکز بست‌های موازی باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در این فاصله از ۳۰۰ تجاوز نکند.



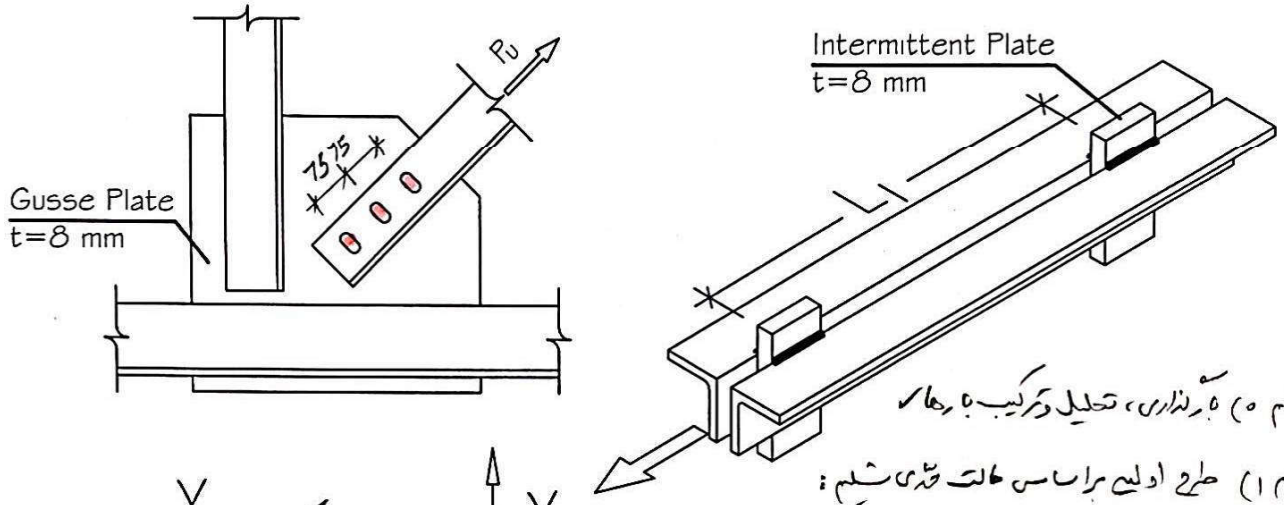

$r_1 = r_{min}$ of any component

$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_1} \leq 300$



E.7

مثال ۷ ← عضو کششی خرپای نشان داده شده را برای تحمل $P_u = 185\ kN$ ناشی از ترکیب بار ثقلی با بار زلزله طراحی کنید. فولاد مصرفی با $F_y = 235\ MPa$ و $F_u = 360\ MPa$ و پیچ‌ها از نوع M20 با سوراخ لوبیایی کوتاه فرض می‌شود. طول عضو 4 متر است. حداکثر فاصله بین لقمه‌ها ($L_1$) را محاسبه کنید.




گام ۰) آرایش، تحلیل و ترکیب بارها ✓

گام ۱) طرح اولیه براساس حالت حدی تسلیم:

$$P_u \le \phi t_1 . P_{n1} = 0.9 F_y . A_g$$

$$A_{g\,req.} = \frac{P_u}{0.9 F_y} = 875\ mm^2 = 2 \times 438\ mm^2$$

$$\therefore \text{TRY } \frac{2L50\times50\times5}{A_g = 2\times480 = 960\ mm^2}$$

گام ۲) محاسبه‌ی مشخصات مقطع:

$M20 \rightarrow d_b = 20\ mm$ ← سوراخ لوبیایی کوتاه ← جدول ۱۰-ج-۱۹ ← $I_{22}$ ($26$) $\xrightarrow{+2mm}$ $I_{24}$ ($28$)

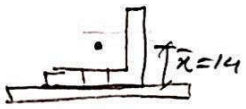
$$A_n = A_g - 2\times(28\times5) = 680\ mm^2$$

$$U_1 = \frac{\text{L} \times 2}{\text{L} \times 2 = A_g} = \frac{2\times50\times5}{960} = 0.52$$

$$U_2 = 1 - \frac{\bar{x}}{\ell} = 1 - \frac{14}{150} = 0.91$$

$U_3 = 0.6$ ردیف ۸ جدول

$\xrightarrow{Max}$ $U = 0.91$




$$A_e = U . A_n = 619\ mm^2$$

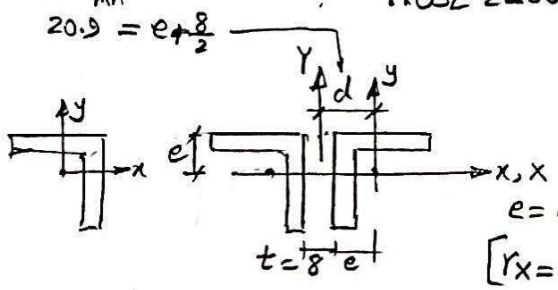
گام ۳) کنترل حالت حدی گسیختگی:

$$P_{n2} = F_u . A_e = 223\ kN \quad , \quad \phi t_2 = 0.75$$

$$P_u = 185 \not\le \phi t_2 . P_{n2} = 167 \quad N.G$$

طرح مجدد (بعنوان تمرین) ← نتیجه: $\therefore USE\ 2L60\times60\times6$

گام ۴) کنترل لاغری:




الف) لاغری کل عضو به طول $4 = L$ متر (جهت بیشی)

مقادیر استان: $e = 16.9\ mm$ ، $r_x = r_y = 18.2\ mm$ ، $r_\eta = 11.7$

$$[r_X = r_x = 18.2\ mm \ , \ r_Y = \sqrt{r_y^2 + d^2} = 27.7] \rightarrow r_{min} = 18.2$$

$$\lambda = \frac{L}{r_{min}} = \frac{4000}{18.2} = 220 \le 300 \quad O.K.$$

ب) لاغری بین لقمه‌ها (تک‌نبشی)

$$r_1 = r_\eta = 11.7\ mm$$

$$\lambda = \frac{L_1}{r_1} = \frac{L_1}{11.7} \le 300 \Rightarrow \underline{L_1 \le 3510\ mm}$$