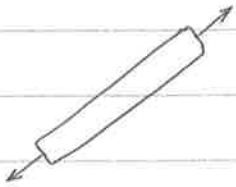
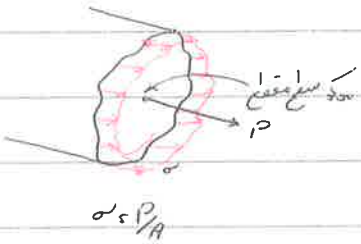
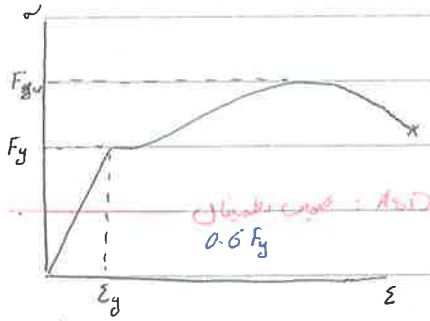
انواع المان‌های کششی





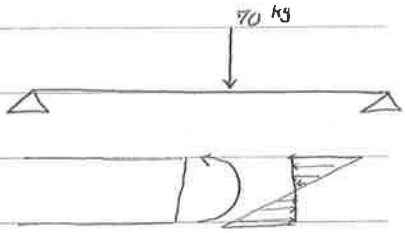
$\sigma = P/A$



روش‌های موجود: ASD — LRFD

$\sigma = E\varepsilon \Longleftarrow \sigma < F_y \;,\; \varepsilon < \varepsilon_y$

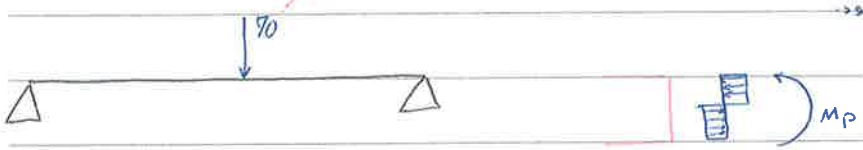
روش ASD:



تنش مجاز $= \dfrac{F_y}{\Omega} = 0.6\,F_y$

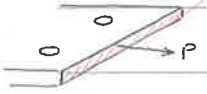
روش LRFD: بار اضافی می‌شود.

ضریب بار زنده $= 1.6$



مثال:

روش ASD: سطح مقطع کل



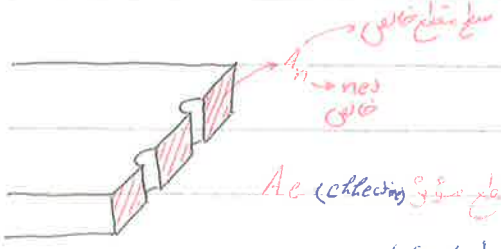
کل: gross — A_g

1st: f_t = تنش موجود $= P/A_g$

2nd: $F_t = \dfrac{F_y}{\Omega = 5/3} = 0.6\,F_y$

3rd: $f_t \le F_t \longrightarrow \dfrac{P}{A_g} \le 0.6\,F_y$

در حالت کلی:



A_e (effecting سطح مقطع موثر) $\rightarrow A_e = C_t \times A_n$

ضریب تأخیر برش ($C_t \leq 1$)

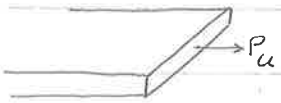
$A_e \leq A_n$, $A_n < A_g$ (در حالتی که کنج (U))

$\frac{P}{A_e} \leq 0.5 F_u$

در روش ASD باید دو معیار تأمین شود:

* $\frac{P}{A_g} \leq 0.6 F_y$ معیار تسلیم
* $\frac{P}{A_e} \leq 0.5 F_u$ معیار گسیختگی

روش LRFD: هر جایی با اندیس u یا ضریب ϕ داخلیده می‌شود.

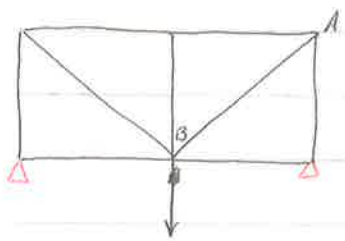


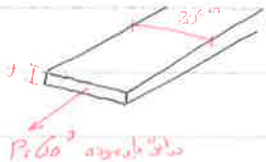
$P_u/A_g \leq \phi F_y$ ضریب کاهش تنش

* $P_u/A_g \leq 0.9 F_y$
* $P_u/A_e \leq 0.75 F_u$

معیار تسلیم
معیار گسیختگی
در حضور پیچ

مثال: پهنای ورق و ضخامت را در دو حالت تعیین کنید.





$F_y = 2400\ kg/cm^2$

$F_u = 3700\ kg/cm^2$

الف) ASD

الف-1) معیار تسلیم: $\frac{P}{A_g} \leq 0.6 F_y \leftarrow \frac{60 \times 1000}{20t} \leq 0.6 \times 2400 \leftarrow 2.08^{cm} \leq t$

use PL 20 × 2.1
plate

/ /

کششی نمی‌خواد ← چون سوراخ دارید.

ب) روش LRFD :

ب-۱) معیار تسلیم :

$P_u = 1.4 \times P$ (فقط بار مرده وقتی فقط بار مرده داریم) $= 1.4 \times 60 = 84\ ton \times 1000\ kg = 84000\ kg$

$\frac{84000}{20t} \leq 0.9(2400) \rightarrow t \geq 1.24\ cm \longrightarrow$ use PL $20^{cm} \times 2^{cm}$

ب-۲) معیار کشیختگی نداریم.

مثال: دو مثال قبل ← بار مرده 60^{ton} و بار زنده 30^{ton} :

الف) ASD

الف-۱) بار کل : $90^{ton} = 60 + 30$

$P/A_g \leq 0.6 F_y \rightarrow \frac{90 \times 10^3}{20 \times t} \leq 0.6 \times 2400 \rightarrow t \geq 3.125 \rightarrow$ use PL 20×3.2^{cm}

الف-۲) معیار کشیختگی نداریم.

ب) LRFD

ب-۱) بار کل : $P_t = 1.2 P_{D_{\text{مرده}}} + 1.6 P_{L_{\text{زنده}}}$ $\Rightarrow 120^{ton} = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 60$

$\frac{120 \times 10^3}{20t} \leq 0.9(2400) \Rightarrow t \geq 2.78\ cm \longrightarrow$ use PL 20×2.8^{cm}

ترکیب بارها در روش LRFD : D: بار مرده ، F_0: نیروی کمانش ، L: بار زنده طبقات ، R: بار باران

E: بار زلزله ، H: فشار جانبی خاک ، L_r: بار زنده بام ، S: بار برف

W: بار باد

انواع ترکیب بار:

1) $1.4(D+F)$

2) $1.2(D+F)+1.6(L+H)+0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

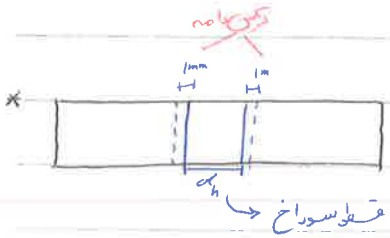
3) $1.2(D)+1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)+(L \text{ یا } 0.8W)$

4) $1.2D+1.6W+L+0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

5) $1.2D+1.0E+L+0.2S$

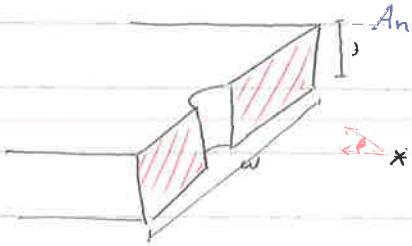
6) $0.9D+1.6W+1.6H$

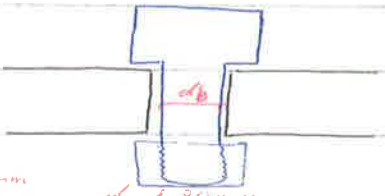
7) $0.9D+1.0E+1.6H$



$A_g = W \times t$

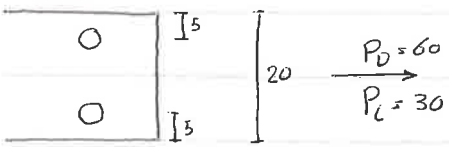
$A_n = [W - n(d_h + 2^{mm})]t$ ← تعداد سوراخ





$$\begin{cases} d_h = d_b + 2^{mm} & , d_b \le 24\,mm \\ d_h = d_b + 3^{mm} & , d_b > 24\,mm \end{cases}$$

دو مثال قبل ضخامت را حساب کنید:



قطر سوراخ = 1.5cm

ضریب تأخیر برش: $U = 0.9$

$A_g = 20^{\#} t$

$A_n = [20 - 2(1.5_{cm} + 0.2)]t = 16.6t$

$A_e = UA_n = 0.9 \times 16.6t = 14.11t$

/ /

الف) ASD

الف - 1) معیار تسلیم

$$\frac{(60+30)\times 10^3}{20t} \le 0.6 \times 2400 \rightarrow t \ge 3.125$$

الف - 2) معیار کمانش

$$\frac{(60+30)\times 10^3}{A_e = 14.11} \le 0.5 \times F_{cr} = 3700 \rightarrow t \ge 3.45$$

use PL 20×35

ب) LRFD

$$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L = 120$$

ب - 1) معیار تسلیم

$$\frac{120\times 10^3}{20t} \le 0.9(2400) \rightarrow t \ge 2.78$$

ب - 2) معیار کمانش

$$\frac{120\times 10^3}{14.11} \le 0.75 \cdot (3700) \rightarrow t \ge 3.06^{cm}$$

use PL 20×3.1 cm

/ /

/ /

ترکیبات بارگذاری:

D ← بار مرده
L ← بار زنده
E ← زلزله
F ← فشار رگاب
H ← فشار خاک
L_r ← زنده بام
R ← باران
S ← برف
W ← باد

روش ASD

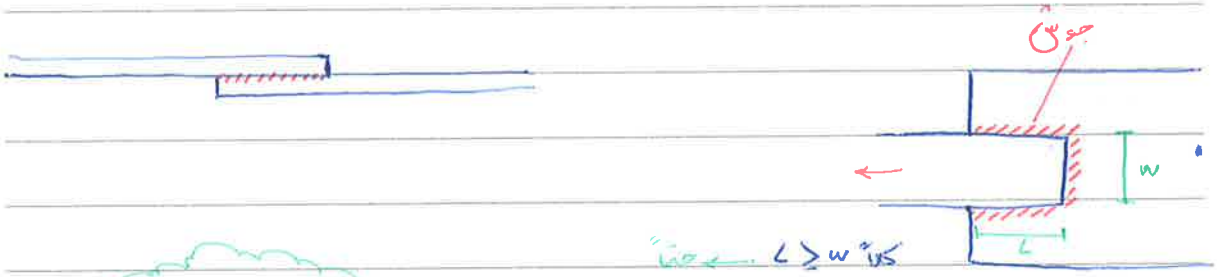
1) $D + F$
2) $D + H + F$
3) $D + H + F + (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
4) $D + H + F + (0.75)L + 0.75(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
5) $D + H + F + (W \text{ یا } 0.7E)$
6) $D + H + F + 0.75(W \text{ یا } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)$
7) $0.6D + W + H$
8) $0.6D + 0.7E + H$

روش LRFD

1) $1.4(D+F)$
2) $1.2(D+F) + 1.6(L+H) + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
3) $1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + (L \text{ یا } 0.8W)$
4) $1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
5) $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6) $0.9D + 1.6W + 1.6H$
7) $0.9D + 1.0E + 1.6H$

تعیین ضریب تأخیر برش: U

سطح مقطع خالص ← A_n — $A_e = U A_n$ ← سطح مقطع مؤثر



اگر $L \geq w$ ← حتماً

اگر $w \leq L < 1.5w$ ← $U = 0.75, \bar{x} = 0.25L$

اگر $1.5w \leq L < 2w$ ← $U = 0.87, \bar{x} = 0.13L$

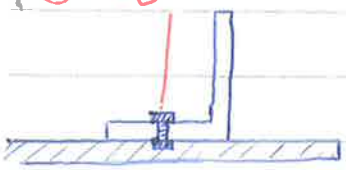
اگر $2w \leq L$ ← $U = 1, \bar{x} = 0$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

/ /

آب باریکی توسط نیروی انجام میشود: (انتقال یک بال نیرو)

جوش یا پرچ یا جوش



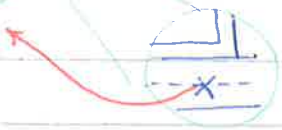
طول جوش : $U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

بالیم: فاصله اولین و آخرین پرچ

$\bar{x}$: فاصله مرکز سطح از مرکز اتصال

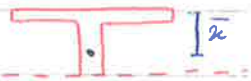
مرکز سطح

مرکز اتصال



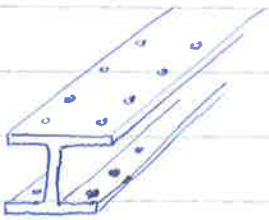
اگر اتصال به وسیله مقاطع I بود:

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$



$\bar{x}$

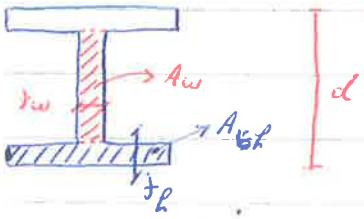
الف) پرچ و بال:



$\bar{x} = (4A_f t_f + A_w d) / 8A_f + 4A_w$

flang بال

web جان



t_w

A_w

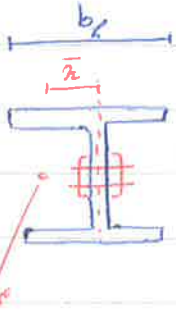
A_{bf}

t_f

d

ب) پرچ و جان:

$\bar{x} = (2A_f b_f + A_w t_w) / 8A_f + 4A_w$



b_f

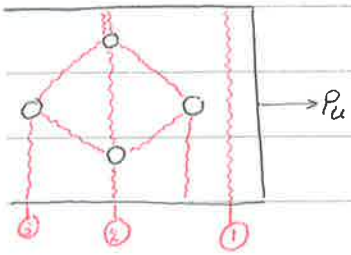
$\bar{x}$

$U = 1 - \bar{x}/L$

مرکز سطح نیمه I شکل

/ /

تعیین ظرفیت کششی صفحات آویز و اعضای هادیک امتداد نبارشته



LRFD

① $\frac{P_u}{A_g} \leq 0.9 F_y$

در حالت قطع مستقیم

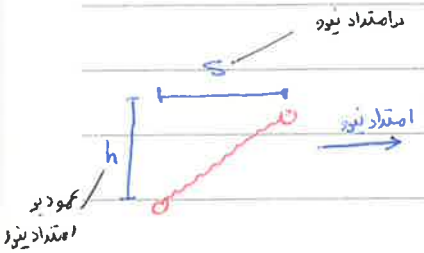
② $\frac{P_u}{A_e} \leq 0.75 F_y$

$A_e = [w - n(d_h + 2^{mm})]t$

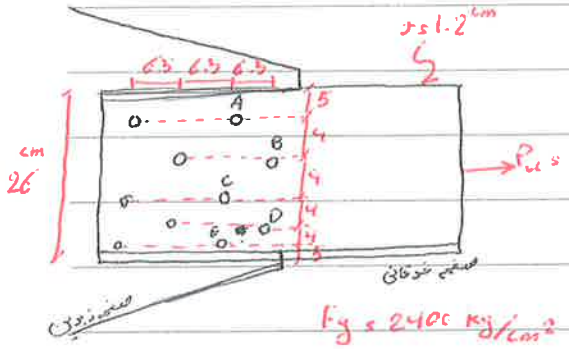
در حالت قطع مورب

③ $\frac{P_u}{A_e} \leq 0.75 F_y$

$A_e = [w - n(d_h + 2^{mm}) + \sum \frac{s^2}{4g}]t$



مثال: مقدار max P_u ؟



حل: معیار تسلیم:

$\frac{P_u}{A_g} \leq 0.9 F_y$

$A_g = 26 \times 1.2 = 31.2^{cm^2}$

$P_u \leq 0.9 \times 2400 \times 31.2 \Rightarrow P_u \leq 67.392^{kg}$

$F_y = 2400\ kg/cm^2$

$F_u = 3700\ kg/cm^2$

$d_h = 2cm$

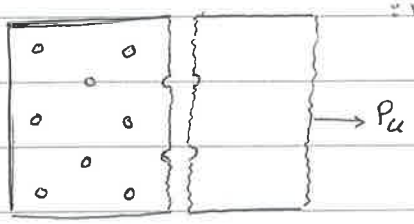
معیار گسیختگی:

مسیر BD:

$A_n = [26 - 2(2.2 + 0.2)] \times 1.2 = 25.44$

$A_e = U A_n \Rightarrow U = 1 \rightarrow A_e = 25.44$

$\frac{P_u}{A_e} \leq 0.75 F_u \rightarrow P_u \leq 70.596^{kg}$



$d_b = 20^{mm}$

$d_h = d_b + 2$

$d_h = 22^{mm}$

تعداد پیچ ↑ ⟵ S ↓ ⟵ بحرانی تر ⟵ ↓ Ae ⟵ توجه .....

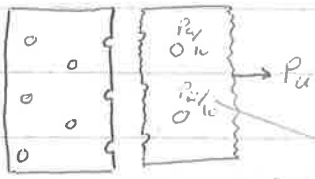
مسیر ACE

$A_n = [26 - 3(2.2 + 0.2)] \times 1.2$

$A_n = 22.56\ cm^2 \rightarrow A_e = A_n$

$0.8 P_u / A_e \leq 0.75 F_u$

$P_u \leq 78.255^{kg}$



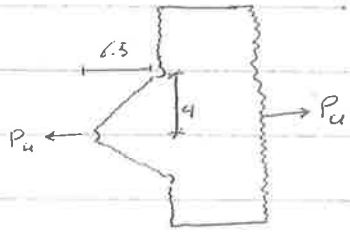
مقدار P_u به صفحه زیر منتقل شده $\frac{P_u}{10}$

مسیر BCD:

$A_e = A_n = [26 - 3(2.2 + 0.2) + 2\frac{6.5^2}{4 \times 4}] \times 1.2$

$A_e = A_n = 28.2\ cm^2$

$P_u \leq 80.147$

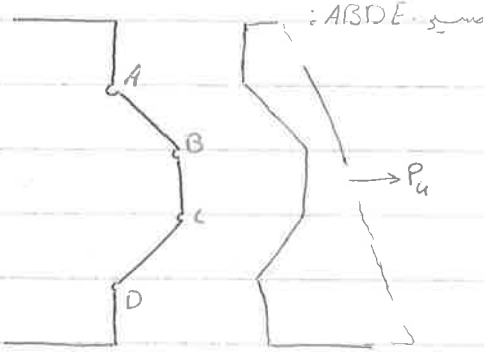


مسیر ABDE:

$A_e = A_n = (26 - 4(2.4) + 2 \times \frac{6.5^2}{4 \times 4}) \times 1.2$

$A_e = 26.02$

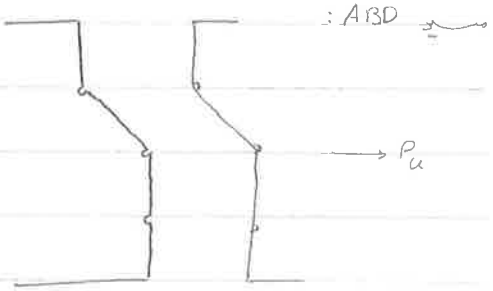
$P_u \leq 0.75 \times 3700 \times 26.02 \rightarrow P_u \leq 72.198^{kg}$



مسیر ABD:

$A_e = [26 - 3 \times 2.4 + \frac{6.5^2}{16}] \times 1.2 = 25.73$

$P_u \leq 0.75 \times 3700 \times 25.73 = 71400$



/ /

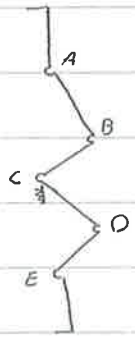
$A_e = [26 - 5\times 2.4 + 4\frac{6.5^2}{16}]\times 1.2$

$A_e = 29.475\ cm^2$

$P_u \le 0.75 \times 3700 \times 24.495$

$P_u \le 81793\ kg$

ABCDE

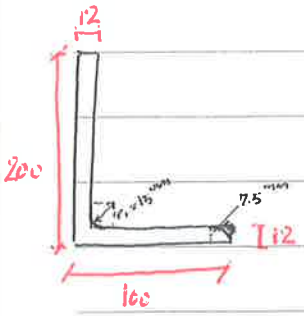


ase — معیار تسلیم ($P_u = 637.392$) قابل تحمل

روش ASD:

$P \le 0.6\ F_y \times A_g$

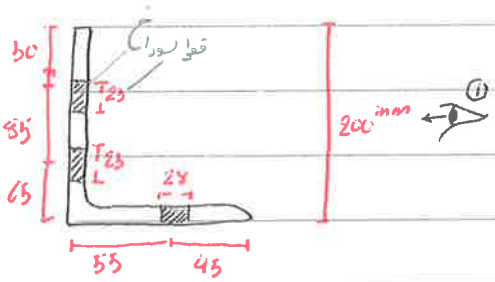
$P \le 0.5\ F_u \times A_e$

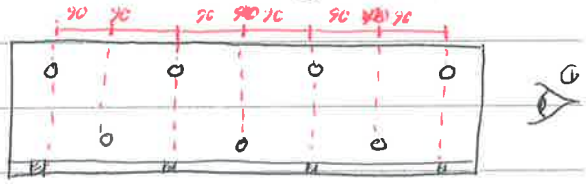


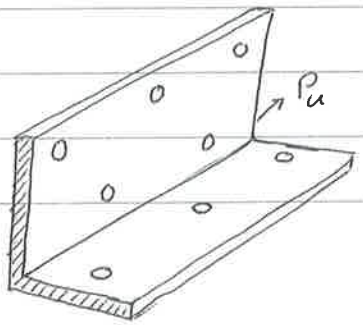
$F = 34.8\ cm^2$

$G = 27.3\ kg/m$

مثال: نبشی تحت کشش ... $U = 0.85$ ؟ = max P_u







/ /

معیار تسلیم:

$\frac{P_u}{A_g} \leq 0.9 \times F_y \longrightarrow A_g = \frac{F}{0.9} = 34.8\ cm^2$ (انتخاب)

$P_u \leq 0.9 \times 2400 \times 34.8 = 75168\ kg$

معیار گسیختگی:

$288 = 200 + 100 - 12 = a + b - t$

نسبی رابازی کنیم: P_u

P_u

A	50	o	o
C	85	o	o
B	108	o	o

سطح AB: $A_n = [w - n(d_h + 2^{mm})]t$

$[wt] - n(d_h + 2^{mm})t \longrightarrow A_n = 34.8 - [(2.5 + 0.2) + (2.8 + 0.2)] \times 1.2$

A_g ← دارید

$= 27.96\ cm^2$

سطح ACB: $A_n = 34.8 - [2(2.5 + 0.2) + (2.8 + 0.2)] \times 1.2 + \left[\frac{9^2}{4 \times 8.5} + \frac{9^2}{4 \times 10.8}\right] \times 1.2$

$= 29.83\ cm^2$

A_n در سطح AB بحرانی تر است پس داریم:

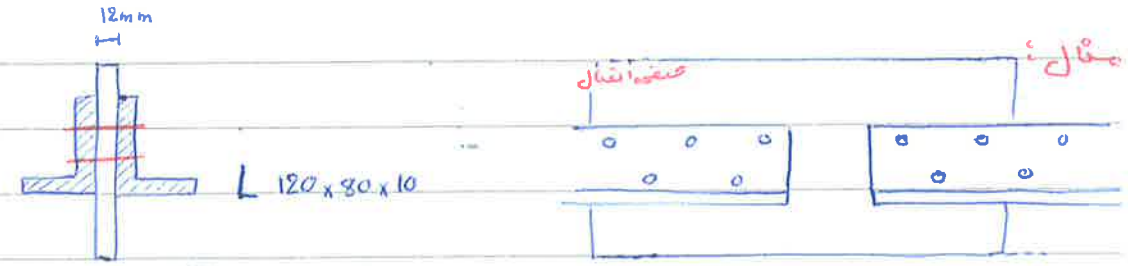
$P_u \leq \underbrace{A_e}_{U \times A_n} \times 0.75 \times F_u =$

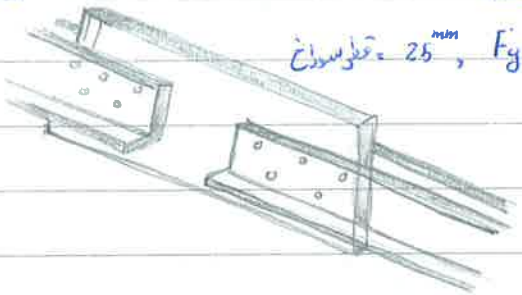
$(0.85 \times 27.96) \times 0.75 \times 3700 = 65950$ ← معیار گسیختگی غالب

خواهد بود.

/ /

مثال:





$t_{ورق} = 25\ mm$, $F_y = 2400\ kg/cm^2$, $F_u = 3700\ kg/cm^2$

حل:

$U = 1 - \bar{x}/L$

$\bar{x} = 1.2/2 + 1.95 = 2.55\ cm \rightarrow U = 0.818$

$L = 14\ cm$

$A = 19.1\ cm^2$, 12cm

$e_y = 1.95$

$e_x = 3.92$

8cm

مقطع:

معیار تسلیم: دو مقطع انتهایی

$T_u/A_g \leq 0.9 F_y \rightarrow A_g = 2 \times 19.1 \rightarrow A_g = 38.2\ cm^2 \rightarrow T_u \leq 0.9 \times 2400 \times 38.2 = 82512\ kg$

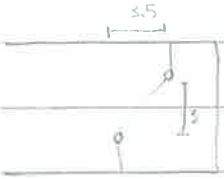
معیار گسیختگی:

$T_u/A_e \leq 0.75 F_u$

تعداد پیچ

$A_n = 2[19.1 - 1 \times (2.5 + 0.2) \times 1] = 32.8\ cm^2$ بدون حفره مورب

$A_n = 2\left[19.1 - 2(2.7) \times 1 + \frac{(3.5)^2}{4 \times 3} \times 1\right] = 29.44$ یک حفره مورب



$A_e = 0.818 \times 29.44 = 24.08\ cm^2$

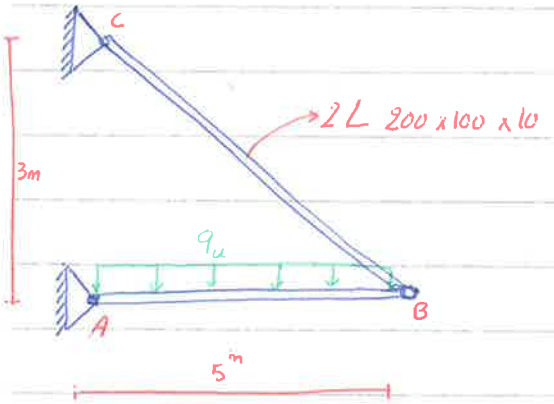
$T_u \leq 24.08 \times 0.75 \times 3700 = 66829\ kg$

$T_u \rightarrow 66.8\ ton$

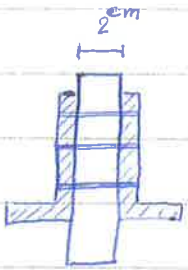
قابل تحمل

/ /

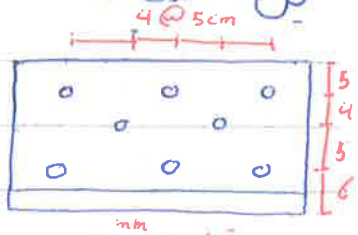
.....



* تمرين : تعيين q_u



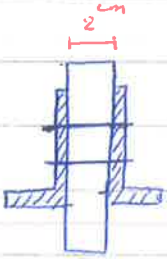
انتقال B



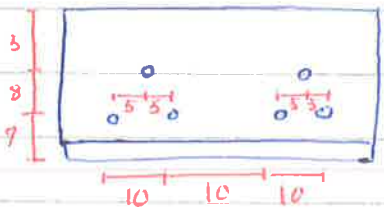
تخليم : 25

$F_y = 2400$

$F_u = 3700$



انتقال C



تخليم : C

بدون نیرو در طول ← نیرو در گره
مستقیم
عضو خود را
بی

/ /

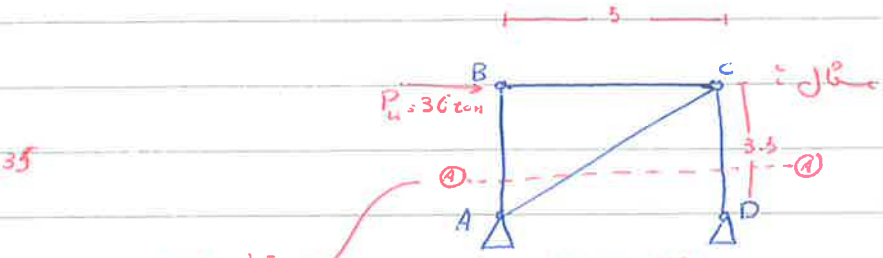
.....

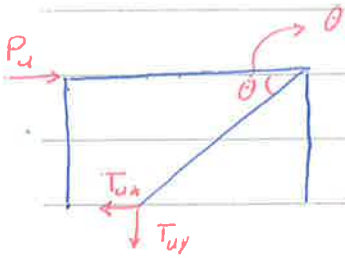
حداکثر طول عضو کششی:

$\frac{L}{r_{min}} \leq 300$

شعاع ژیراسیون حداقل

مثال:





مقطع A-A

طراحی AC؟؟

$\xrightarrow{+} \sum F_x = 0 \rightarrow T_{ux} = P_u \rightarrow T_u \cos\theta = P_u \Rightarrow T_u = \frac{36}{0.82}$

$T_u = 43.94$ ton

نبی دانم پیچ دارد یا نه پس فعلاً معیار تسلیم

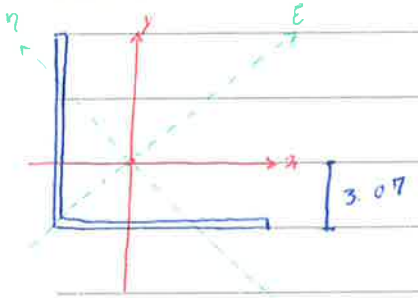
$\frac{T_u}{A_g} \leq 0.9 F_y$

$A_g \geq \frac{43940}{0.9 \times 2400} = 20.34$ cm²

$e_x = e_y$

ابری L 110×110×10 , A_g 21.2 cm² , $e_x = e_y$

$e = 3.07$



محدودیت:
حداقل ابعاد
حداکثر ضخامت

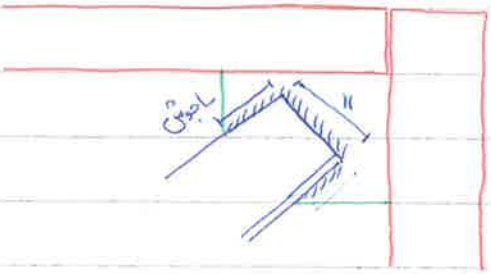
حاد دگی

طول عضو: $L = \sqrt{500^2 + 350^2} = 610$ cm

$\frac{L}{r_{min}}$ ← انتخاب: 2.16 $= \frac{610}{2.16} = 283 < 300$

/ /

اتصال مفصلی با جوش باشد (نوع کیفی جوش cm جوش 1 cm نیرو تحمل می کند)



طول جوش : $\frac{43940}{1000} \simeq 44\,cm$

$L_{جوش} = \frac{44-11}{2} = 16.5$

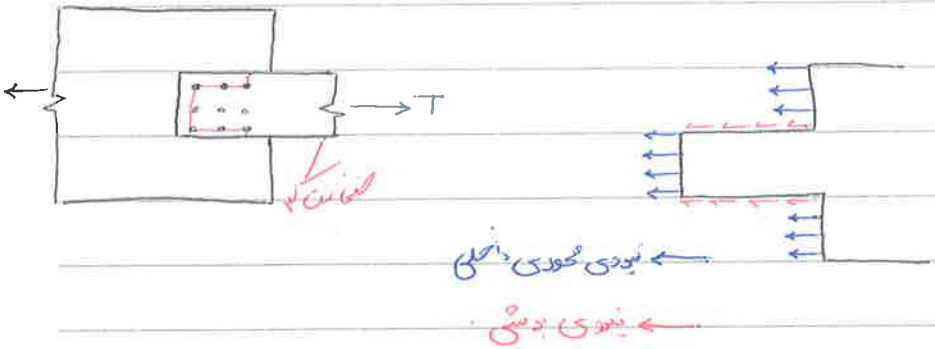
$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{3.02}{16.5} = 0.8154$

$T_u \leq A_e\,(0.75 F_y) \rightarrow T_u \leq (0.814 \times 21.2) \times 0.75 \times 3700 = 47887^{kg}$

/ /

حصول برش قالبی : Block shear

در این نوع برش هم نیروی محوری داخلی داریم هم نیروی برشی



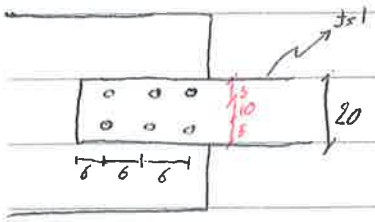
مقدار نیروی قابل تحمل : R_u ، $R_u = \phi R_{gn}$

0.75 ضریب اتی

$R_n = \min[0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \;,\; 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}]$

تنش نهایی — سطح مقطع خالص تحت برش — ضریب توزیع تنش — تنش تسلیم — سطح مقطع خالص تحت کشش — سطح مقطع کل تحت برش

مثال: ظرفیت کشش این اتصال؟



$d_h = 18^{mm}$

$F_y = 2400$

$F_u = 3700$

معیار تسلیم :

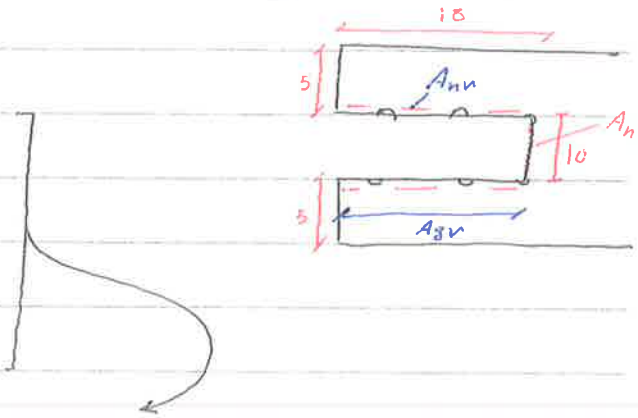
$P_u \leq 0.9 (2400)(20 \times 1)$

$P_u \leq 43^{T}00\ kg$

معیار گسیختگی:

$P_u \leq 0.75\,(3700)\,[\underbrace{20-2(2)}_{A_n}] \times \overset{\omega}{1} \times \underset{U}{1}$

$P_u \leq 44400\ kg$



صفحات

$A_{gv} = 18 \times 1 \times 2 = 36\ cm^2$

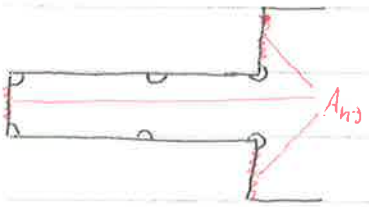
$A_{nv} = 2\,[18 - \underbrace{2.5(2)}_{\text{تعداد پیچ}}] \times 1 = 26\ cm^2$

$A_{nt} = [10 - 1\,(2)] \times 1 = 8\ cm^2$

$U_{bs} = 1 \longrightarrow$ تنش یکنواخت

$R_n = \min\left[0.6 \times 3700 \times 26 + 1 \times 3700 \times 8\ ,\ 0.6 \times 2400 \times 36 + 1 \times 3700 \times 8\right]$

$R_n = 81440 \longrightarrow P_u \leq 0.75\,R_n = 61080\ kg$



حالت دیگر برش قالبی

$A_{gv} = 12 \times 2 \times 1 = 24$

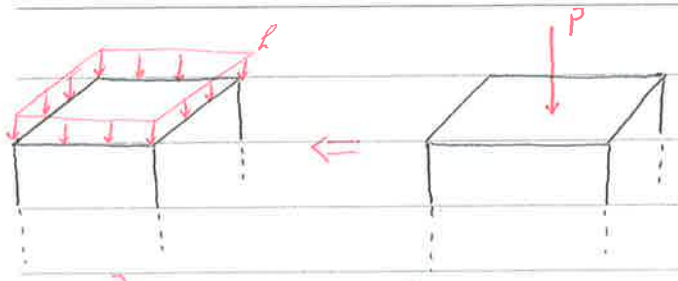
$A_{nv} = 2\,[12 - 2(2)] \times 1 = 16$

$A_{nt} = [20 - 2(2)] \times 1 = 16$

$P_u \leq 0.75 \times 93760 = 70320$

/ /

اعضای فشاری: (ستون)

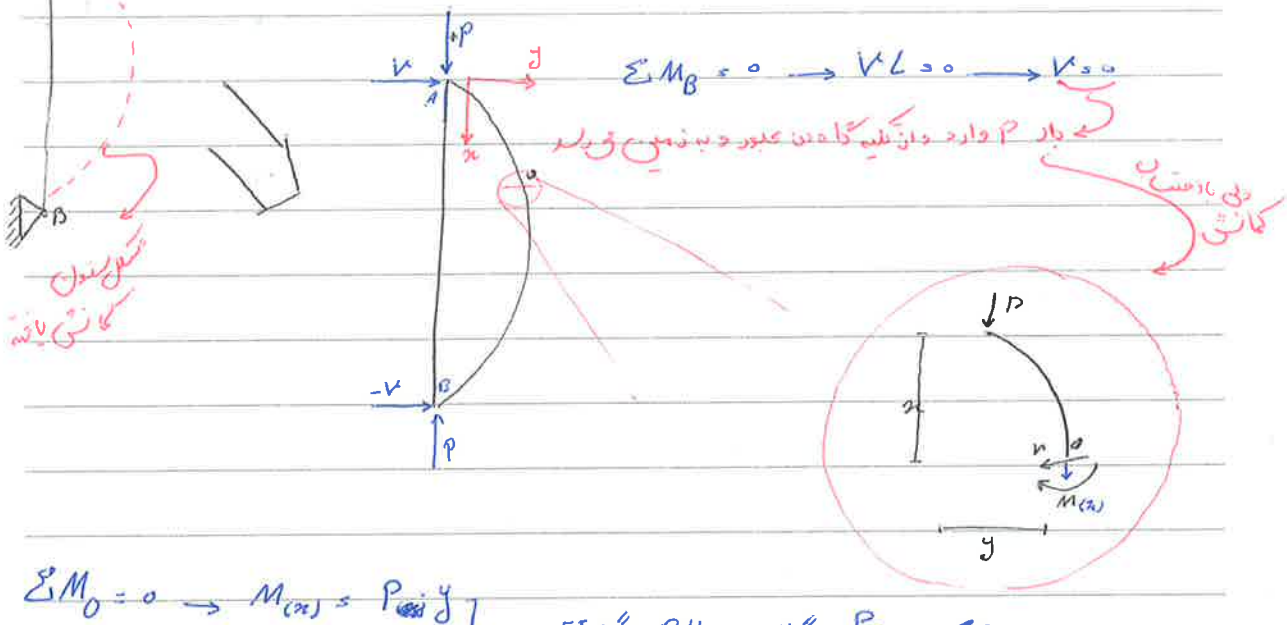


$\sigma = \frac{P}{A} \leq \frac{F_y}{\Omega}$ ← معیار تسلیم ← وابستگی به سطح مقطع

معیار پایداری (کمانش):

P_{cr} ← critical = بحرانی ← بار بحرانی که باعث ایجاد کمانش در ستون و نمود: بار بحرا

وابستگی به طول



شکل ستون کمانش یافته

$\sum M_B = 0 \rightarrow VL = 0 \rightarrow V = 0$

بار P وارد و باعث کاهش عمود و به زمین می‌رسد

نیروی داخلی کمانش

$\sum M_O = 0 \rightarrow M_{(x)} = P y$

$M_{(x)} = -EI y''$

$-EI y'' = Py \Rightarrow y'' + \frac{P}{EI} y = 0$

$\lambda^2 = \frac{P}{EI}$

$y'' + \lambda^2 y = 0$

$y = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x$

شرایط مرزی:

$x = 0 \rightarrow y = 0 \Rightarrow 0 = A \sin 0 + B \cos 0 \rightarrow B = 0$

$x = L \rightarrow y = 0 \Rightarrow 0 = A \sin \lambda L$ ← غیر صفر

$\sin \lambda L = 0 \rightarrow \lambda L = n\pi \rightarrow \lambda = \frac{n\pi}{L}$, $n = 0 \rightarrow \lambda = 0 \rightarrow P = 0$

$n = 1 \rightarrow \lambda = \frac{\pi}{L} \rightarrow P_{cr}$

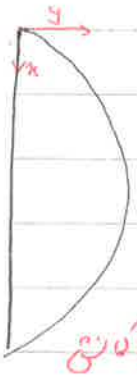
$n = 0, 1, 2, \ldots$ ← بودن کمانش

$\frac{P_{cr}}{EI} = \frac{\pi^2}{L^2}$

/ /

$P_{cr} = \pi^2 EI / L^2$ ← مقدار نیرویی که در آن دو تا مفصل باعث کمانش می‌شود

$y = A \sin \lambda x = A \sin \frac{\pi}{L} x$



شکل ستون تحت کمانش

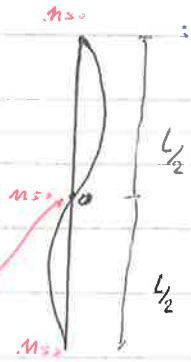
$\lambda = \frac{2\pi}{L} \rightarrow \lambda^2 = \frac{4\pi^2}{L^2} \rightarrow P_{cr} = \frac{4\pi^2}{L^2} EI$

$y = A \sin \lambda x = A \sin 2\pi/L\, x \rightarrow x=0 \quad y=0$

$x = L/2 \quad y=0$

$x = L \quad y=0$

یا $n=2$:



نقطه عطف ← y' تغییر جهت ← $y''=0$ ← $M = EI(y'')$

پس آن در نقطه O یک میل مهار قرار دهیم ← 4 برابر P می‌خوانده تا کمانش کند

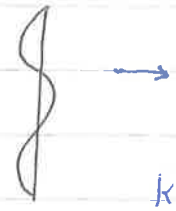
* در حالت کلی:

$(n^2 \pi^2 EI)/L^2 = P_{cr}$

$L_e = L/n$ طول مؤثر

$\rightarrow P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL^2)}$

فاصله دو نقطه عطف



kL ← ضریب طول مؤثر

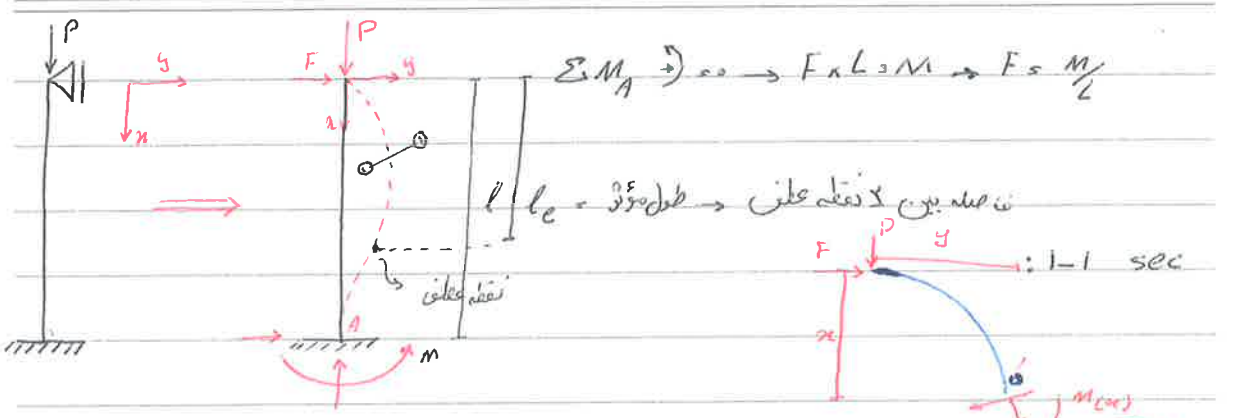
عددی که در L ضرب شود فاصله دو نقطه‌ای را می‌دهد که بین آن دو کمانش اتفاق

تنش بحرانی: $F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2 A}$

شعاع ژیراسیون $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

$F_{cr} = \frac{\pi^2 Er^2}{(kL/r)^2} \rightarrow F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(\frac{kL}{r})^2}$ تنش اویلر

$r \uparrow \Leftarrow \frac{kL}{r} \downarrow$



$\Sigma M_A \circlearrowleft = 0 \rightarrow F \times L = M \rightarrow F = \frac{M}{L}$

$\Sigma M_O = 0 \rightarrow F \times x + M(x) = P \times y$

$M(x) = -EI y''$ ← خیز دار

$EI y'' + P y = F \times x = \frac{M x}{L}$

به خواه الجهت ن
بلکه به نوعی شکل
خاصی دارد

$y'' + \frac{P}{EI} y = \frac{M}{LEI} x$

$\lambda^2 = \frac{P}{EI}$

$\rightarrow y'' + \lambda^2 y = \frac{M}{LEI} x$

y = جواب خصوصی + جواب عمومی ← خیز دار

$0 + \lambda^2 y = \frac{M}{LEI} x$

$\lambda^2 (Cx) = \frac{M}{LEI} x$

$C = \frac{M}{L(EI\lambda^2)} = \frac{M}{LP}$

(P)

اگر طرف ثانی معادله صفر بود.

$y = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x + Cx$

جواب عمومی — جواب خصوصی

$\rightarrow y = Cx \rightarrow y'' = 0$

شرایط مرزی:

$x = 0 \rightarrow y = 0 = A \sin 0 + B \cos 0 + 0 \rightarrow B = 0$

$x = L \rightarrow y = 0 = A \sin \lambda L + \frac{M}{LP} L \rightarrow A = -\frac{M}{P} \times \frac{1}{\sin \lambda L}$

$y = -\frac{M}{P} \times \frac{1}{\sin \lambda L} \sin \lambda x + \frac{M}{LP} x$

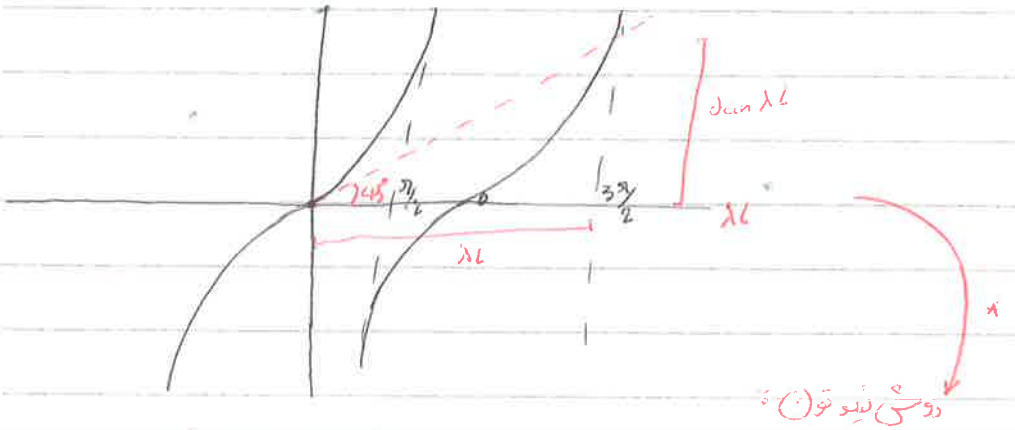
$y' = -\frac{M}{P} \times \frac{1}{\sin \lambda L} \times \lambda \cos \lambda x + \frac{M}{LP} \xrightarrow{y'=0,\ x=L} 0 = -\frac{M\lambda}{P \sin \lambda L} \cos \lambda L + \frac{M}{PL}$

/ /

تکیه‌گاه دوردار ← می‌تواند حرکت کند

$$\frac{M}{Pl}\left[\frac{-\lambda l}{\sin \lambda l}\cos \lambda l + 1\right] = 0 \rightarrow \lambda l \cot \lambda l = 1 \rightarrow \lambda l = \frac{1}{\cot \lambda l}$$

$$* \quad \lambda l = \tan \lambda l$$



دوستی نیوتون: *

$\lambda l = 4.4934$

$tg(4.4934) = 4.4934 \rightarrow \lambda = 4.4934/l \rightarrow \lambda^2 = \frac{20.190}{l^2}$

$P/EI = 20.190/l^2 \rightarrow P_{cr} = \left(\frac{1.430}{l}\right)^2 \pi^2 EI$

$P_{cr} = \pi^2 EI/(0.699l)^2$

$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.7l)^2} \leftarrow P$ مورد نیاز برای ایجاد کمانش (در mod اول)

/ /

تکیه‌گاه بالا و پایین جهت دورانی M و حرکت جانبی ندارد

مثال: ضریب طول مؤثر k

$kL = l_e$

فاصله دو نقطه عطف متوالی $= l_e$

$L = l_e$

$\frac{l_e}{4}$

$\frac{l_e}{4}$

k تئوری	1	0.7	0.5
k کدبنامه	1	0.8	0.65

بالا و پایین ستون محدود براستای ستون ∴ حرکت جانبی مقیدات
به نفع حرکت ندارند

$k < 1$ با حرکت جانبی مقید > 0.5

l_e

تئوری k	1	2	2
کدبنامه k	1.2	2.1	2

حرکت جانبی کزادات

جانبی کزاد $1 < k < \infty$

تا ∞ → تئوری

تا 15 → درعمل

فرضیات:

1st: رفتار ستون الاستیک است

2nd: اتصالات خمشی اند

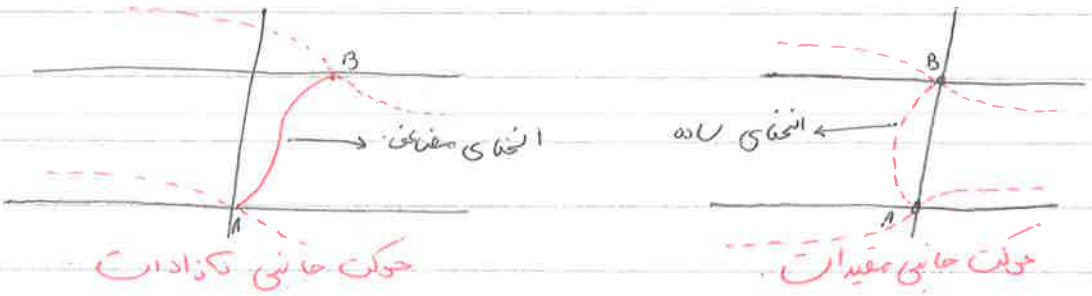
3rd: مقدار λL عددی ثابت است

4th: ستونها همزمان به کمانش می‌رسند

5th: دیوارهای موجود در قاب‌ها صلب‌اند

6th: ستونهای بدون حرکت جانبی دارای انحنای ساده‌اند

7th: ... ، ... ، ... مضاعف‌اند



حرکت جانبی نگذاشت — حرکت جانبی مقیدات

نسبت صلبیت ستون و تیر در گره A:

$$G_A = \frac{\sum (I/L)_{\text{ستون‌های متصل به گره A}}}{\sum (I/L)_{\text{تیرهای متصل به گره A}}}$$

(**) در مورد تیرها

نسبت صلبیت ستون و تیر در گره B:

$$G_B = \frac{\sum (I/L)_{\text{ستون متصل به گره B}}}{\sum (I/L)_{\text{تیرهای متصل به گره A}}}$$

برای حرکت جانبی نگذاشت: $k \geq 1$

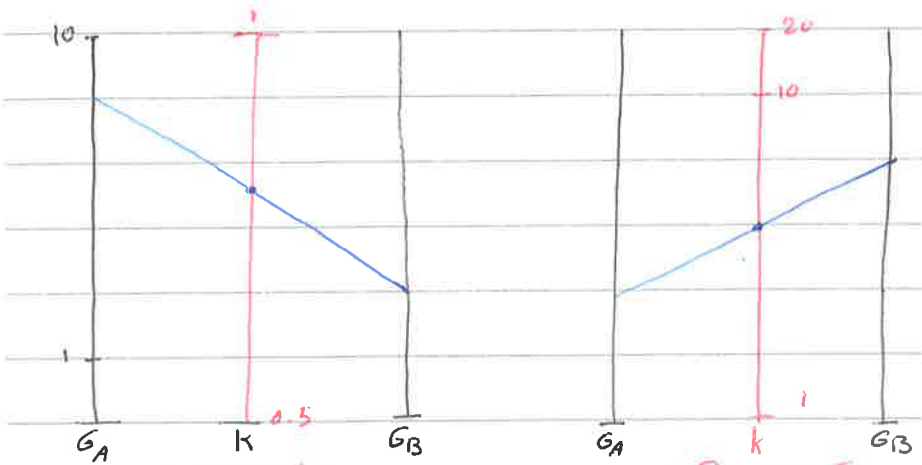
$$k = \sqrt{\frac{1.6\,G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}}$$

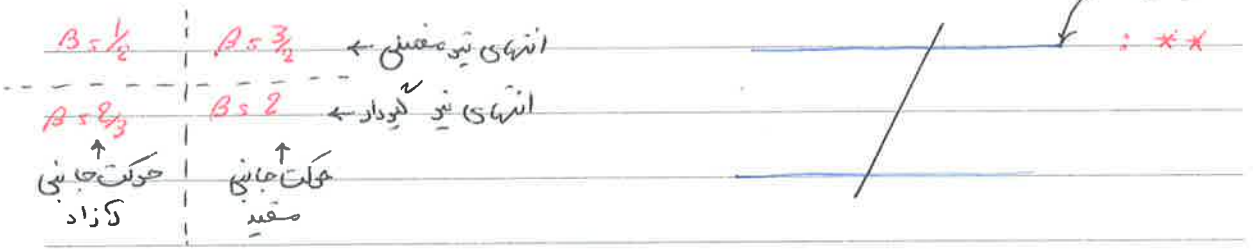
برای ... ، ... مقید: $0.5 \leq k \leq 1$

$$k = \sqrt{\frac{3\,G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3\,G_A G_B + 2(G_A + G_B) + 1.28}}$$

/ /

.....

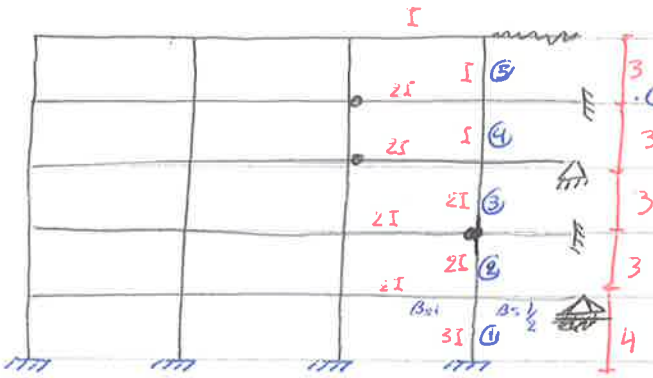

مثال: رسم خط تأثیر
10
1
1
0.5
G_A
K
G_B
حرکت جانبی مقید
20
10
1
G_A
k
G_B
حرکت جانبی آزاد


انتهای تیر
$B=1/2$
$A=3/2$
انتهای تیر مفصلی
$B=2/3$
$B=2$
انتهای تیر گیردار
حرکت جانبی آزاد
حرکت جانبی مقید

مرتفعل بدنه
$G=16$
$G=1$

/ /

مثال:



* حوزه ۵ ستون ۳ بود B یکی از دیگران.
** ولی اگر ان گزاد به مقید (G) تبدیل شود دیگر قضیه بالا جواب نمی دهد.

ستون (1):

اول باید معلوم شود که حرکت جانبی مقیدات یا گزاد

T: Top
B: Bottom

حرکت جانبی گزاد، $G_B = 1$

$$G_T = \frac{3I/4 + 2I/3}{\frac{1}{2}\times I/4 + 2I/6 \times 1} = 3.09$$

$\rightarrow K = 1.58$ حرکت جانبی گزاد

انتهای این تیر نه مفصل است و نه گیردار

ستون (2): حرکت جانبی گزاد.

(2) حرکت جانبی گزاد $G_B = 3.09$

$$G_T = \frac{2I/3 + 2I/3}{\frac{2}{3}\times I/4 + 0} = 8$$

$\rightarrow K = 2.22$

این تیر انگار وجود خارجی ندارد

مقاومتی در برابر M ندارد ← مفصل است.

ستون (3): حرکت جانبی مقید.

(3) حرکت جانبی مقید

$$G_B = \frac{2I/3 + 2I/3}{2I/4} = 2.67$$

$$G_T = (I/3 + 2I/3)/\tfrac{3}{4}I/4 + \tfrac{3}{2}\times 2I/6 = 1.14$$

$\rightarrow K = 0.84$

ستون A: حرکت جانبی مقید:

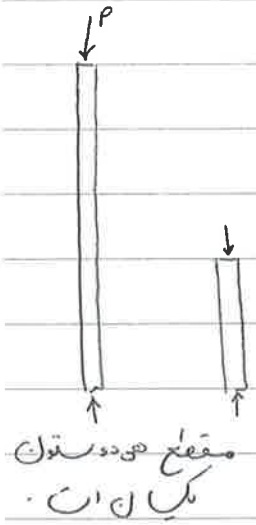
(a) حرکت جانبی مقید ، $G_B^* = 1.14$

$$G_T = \frac{I_3 + I_3}{2 \times I_4 + \frac{3I}{6} \times \frac{3}{2}} = 0.667 \rightarrow K = 0.76$$

ستون B: حرکت جانبی آزاد:

(b) حرکت جانبی آزاد ، $G_B^{**} = (I_3 + I_3) / \frac{2}{3} \times I_4 + \frac{1}{2} \times 2I_6 \times 2$

$$G_T = \frac{I_3}{I_6} \times 2 \rightarrow K = 1.06$$



$P_u / A_g \leq \phi F_{cr}$ ← باعث ایجاد تسلیم یا کمانش می شود

← بار خنیب دار

← سطح کل

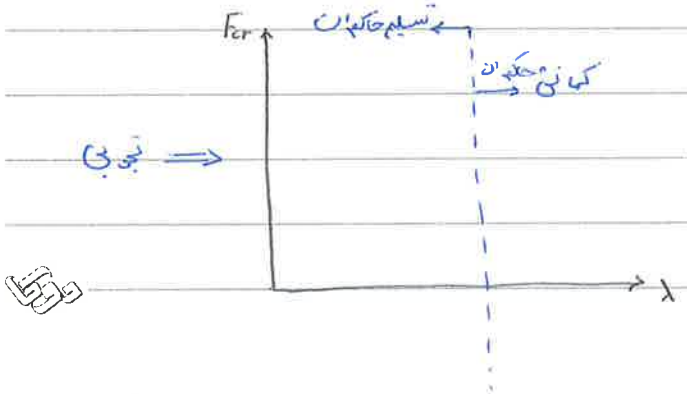
← خنیب کاهش مقاومت

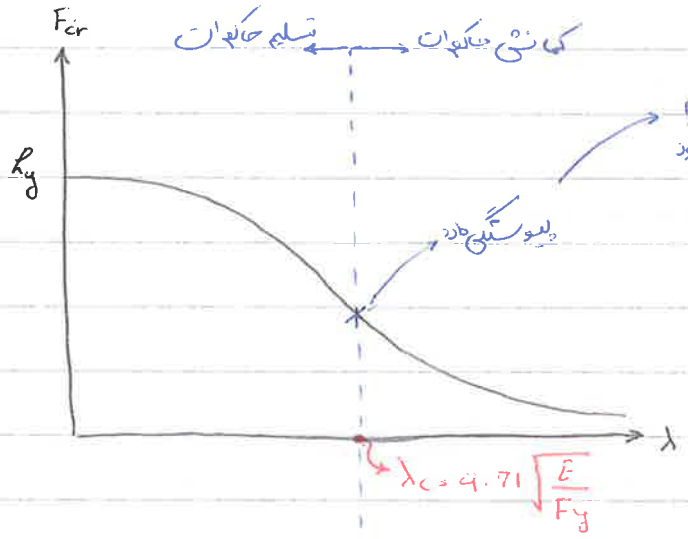
$P_u \leq \phi A_g F_{cr}$

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 E I}{(kL)^2} \rightarrow F_{ex} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(\frac{kL}{r})^2} \rightarrow$$ تنش اویلر

$\lambda = \frac{kL}{r}$ (خنیب لاغری) بدون بعد

← شعاع ژیراسیون حداقل





از هر دو رابطه در نقطه برو یم
جواب یکی ان خواهد بود

ستون ↑ ⇒ بارمجاز ↓

اگر $\lambda \le \lambda_c \longrightarrow F_{cr} = [0.658]^{F_y/F_e} \times F_y \quad , \quad F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$

اگر $\lambda = \lambda_c \longrightarrow F_{cr} = 0.38 F_y$

$$\lambda = 4.71\sqrt{E/F_y} \rightarrow \frac{\lambda}{4.71} = \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{\lambda^2}{(4.71)^2} = \frac{E}{F_y} \xrightarrow{\times \pi^2} \frac{\lambda^2 \pi^2}{(4.71)^2} = \frac{E\pi^2}{F_y}$$

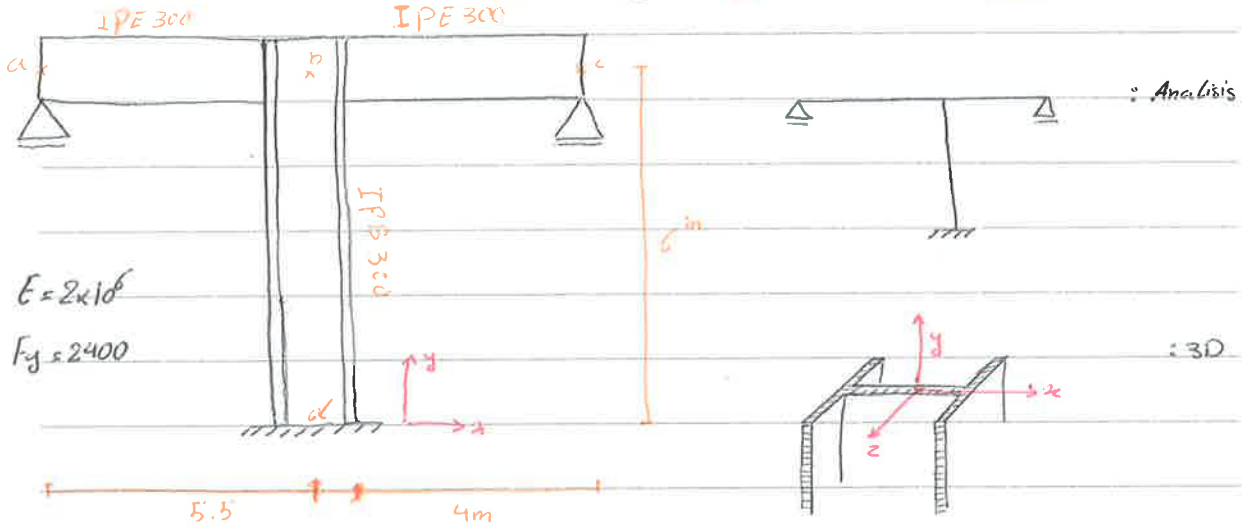
$$\frac{\pi^2}{(4.71)^2} = \frac{E\pi^2}{\lambda^2} \times \frac{1}{F_y} = \frac{F_e}{F_y} \longrightarrow \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{4.71}{\pi}\right)^2$$

$$F_{cr} = [0.658^{\left(\frac{4.71}{\pi}\right)^2}] F_y = 0.38 F_y$$

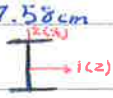
اگر $\lambda \ge \lambda_c \longrightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$

/ /

مطلوب است تعیین حداکثر نیروی قابل تحمل توسط این ستون: مهاربندی جانبی در نقاط a b c و جهت ضعیف

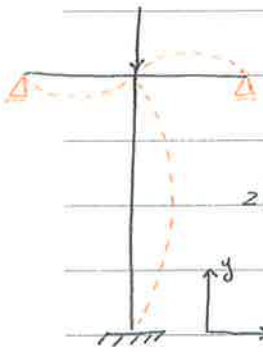


IPB 300 $A = 149\ cm^2$ ، $I_1 = 25170\ cm^4$ ، $r_1 = 13\ cm$ ، $r_2 = 7.58\ cm$: استفاده



اول و دوم حول کدام محور

IPE 300 $I_1 = 8360\ cm^4$



حل: حرکت جانبی نداریم.

$G_B = 1$

$G_T = (25170/6)/(\frac{1}{2} \times \frac{8360}{4} + \frac{1}{2} \times \frac{8360}{5.5}) = 2.324$

$k_z = \dfrac{1.6 \times 1 \times 2.324 + 4(1+2.324) + 7.5}{1 + 2.324 + 7.5} = 1.505$

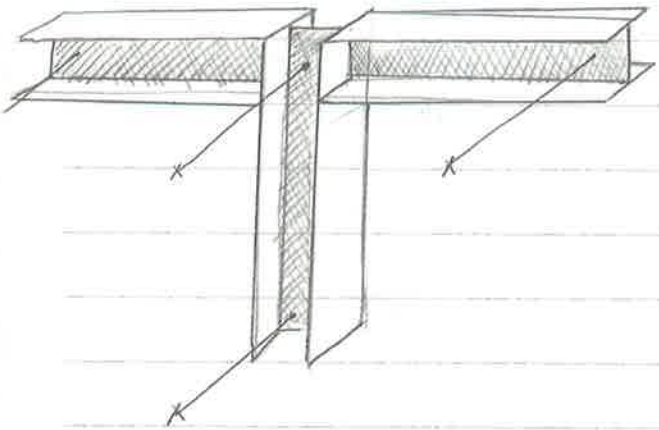
$\lambda_2 = \dfrac{k_z L}{r_2} = \dfrac{1.505 \times 600}{13} = 69.46$

r_1 مساوی

/ /

محور قوی

.....



خمش حول محور x :

کمانش در این جهت ان .

خمش حول x :

$k_x = 1$

$r_x = 7.58$

$\lambda_x = k_x L / r_x = 1 \times 600 / 7.58 = 79.16$

$\lambda = 79.16$:کمانش

$\lambda < \lambda_c$ ←

$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{(79.16)^2} = 3307 \ kg/cm^2$

$\lambda_c = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 139.3$

$\lambda \leq \lambda_c \rightarrow F_{cr} = [0.658^{F_y/F_e}] F_y \rightarrow F_{cr} = [0.658^{\frac{2400}{3307}}] \times 2400 =$

$= 1771 \ kg/cm^2$

$P_u \leq 0.9 \times A_g \times F_{cr} \longrightarrow P_u \leq 0.9 \times (149) \times 1771 = 237500 \ kg$

$P_u \leq 237.5$

/ /

.....

عهدها تا وقتی بهینه بودن باید کاری کرد که ها دوطرف باید باشد.

/ /

طراحی ستون ها:

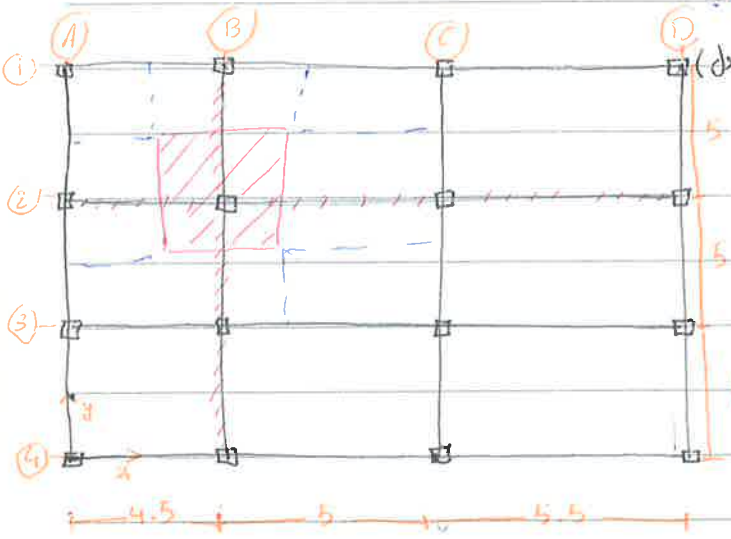
مثال: مطلوب است طراحی ستون B_2:

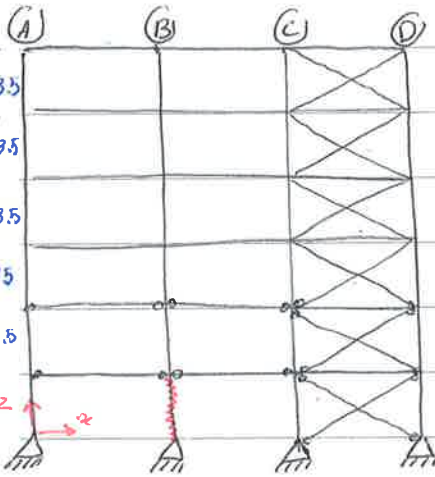
(ساختمان دارای ۴ طبقات ، طراحی شود برای طبقه اول)

D.L = 600 kg/m²

L.L = 300 kg/m²

(از IPB استفاده شود) فولاد St





قاب مفصلی: انتقال هم لنگرها به ستون ها مفصل است و ستون ها فقط بار محوری

می گیرند ← از نظر معماری اجازه نمی دهند ← هزینه ↑

ولی فضا باز می شود.

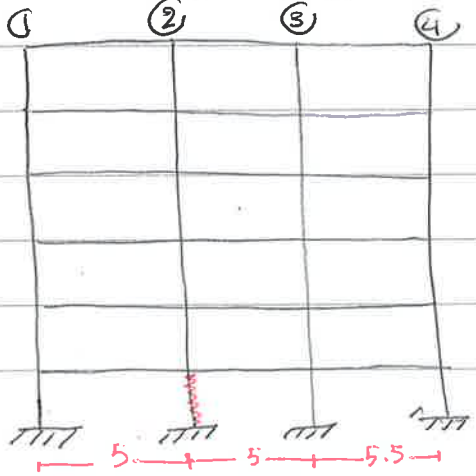
پس دلیل اصلی برای استفاده از بادبند ← معماری است.

ممکن است به دلیل نبود مشکل معماری بتوان استفاده کرد

(بادبند برای انتقال نیروی افقی است چون ستون ها برش

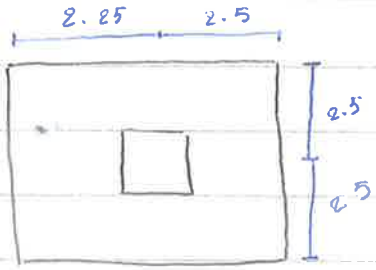
تحمل می کنند)

قاب ۲ (مفصلی)



قاب B (خمشی) ← همانطوران ← گیردار ← بهتر برای معماری

/ /

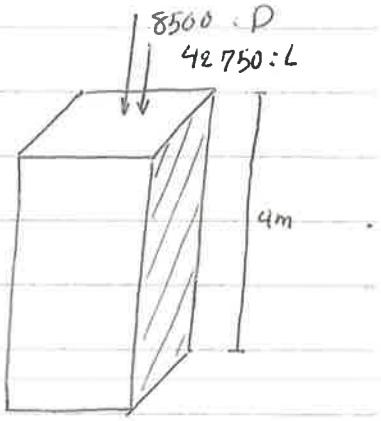


مساحت باربری ستون B2:

$\frac{5+4.5}{2} \times \frac{5+5}{2} = 23.75\ m^2$

$P_D = 6 \times 23.75 \times 600 = 85500$ ← در طبقه اول

$P_L = 6 \times (23.75) \times 300 = 42750\ kg$



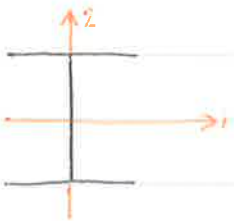
* طراحی اولیه:

$P_u \leq 0.9 F_{cr} \times A_g$

$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L \rightarrow P_u = 1.2 \times 85500 + 1.6 \times 42750 = 171000$

$F_{cr} = 1800\ kg/cm^2$ ← حدس اولیه ... حدس اولیه بین 1000 تا 2000

$A_g \geq \frac{P_u}{0.9 F_{cr}} = \frac{171000}{0.9 \times 1800} \rightarrow A_g \geq 105.6\ cm^2$



$A = 106\ cm^2$

$r_1 = 10.3\ cm$

$r_2 = 6.08\ cm$

$I_1 = 11260\ cm^4$

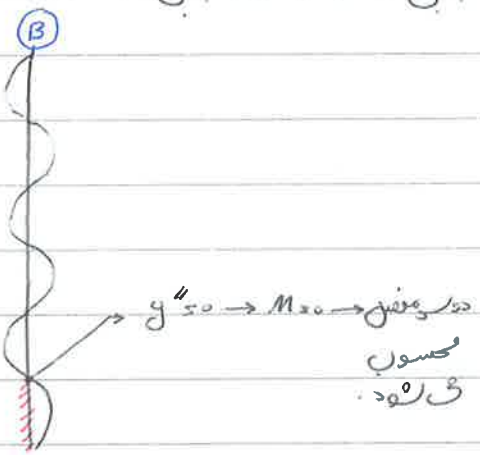
$I_2 = 3920\ cm^4$

IPB : استیل ← IPB24:

$\frac{\sum \frac{I}{L}}{\sum \frac{I}{L}}$, $\frac{\frac{I}{3.5} + \frac{I}{4}}{I}$ .....

/ /

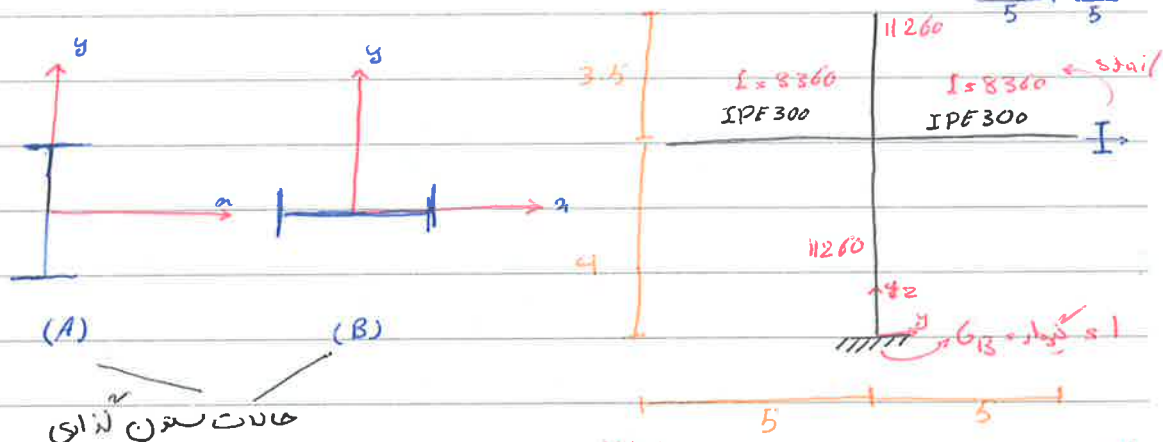
قاب بادبند شده ← قاب بدون حرکت جانبی ← حرکت جانبی در ستون مقیدان .



$\lambda_x = \frac{k_x L}{r_x}$ $\lambda_y = \frac{k_y L}{r_y}$

$k_x = ?$ $k_y = 1$

$G_T = \frac{\sum \frac{I}{L} \text{ ستون}}{\sum \frac{I}{L} \text{ تیر}} = \frac{\frac{11260}{4} + \frac{11260}{3.5}}{\frac{8360}{5} + \frac{8360}{5}} = 1.804$



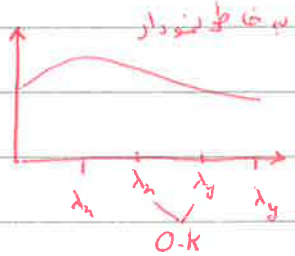
حالات ستون کناری

$k_y > 1$

حالت	r_x	r_y	λ_x	λ_y	λ_x , λ_y فاصله
A	10.3	6.08	$\frac{k_x \times L}{10.3}$	$\frac{1 \times L}{6.08}$	فاصله کمتر
B	6.08	10.3	$\frac{k_x \times L}{6.08}$	$\frac{1 \times L}{10.3}$	فاصله بیشتر

A) استفاده بهتر ⇐ از منحنی

به خاطر نمودار



/ /

$\lambda_y = \frac{1 \times 400}{6.08} = 65.79$

$\lambda_x = \frac{1.448 \times 400}{10.3} = 56.23$] → $\lambda_{\text{طراحی}} = 65.79$

$65.79 < 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 139.3$

$F_e = \pi^2 \times E / \lambda^2 = \frac{\pi^2 \times 2.04 \times 10^6}{65.79^2} = 4788$

$F_{cr} = \left[(0.658)^{\frac{2400}{4788}}\right] \times 2400 = 1946 \rightarrow P_u = 0.9 \times 1946 \times 10.6 = 185648$ kg

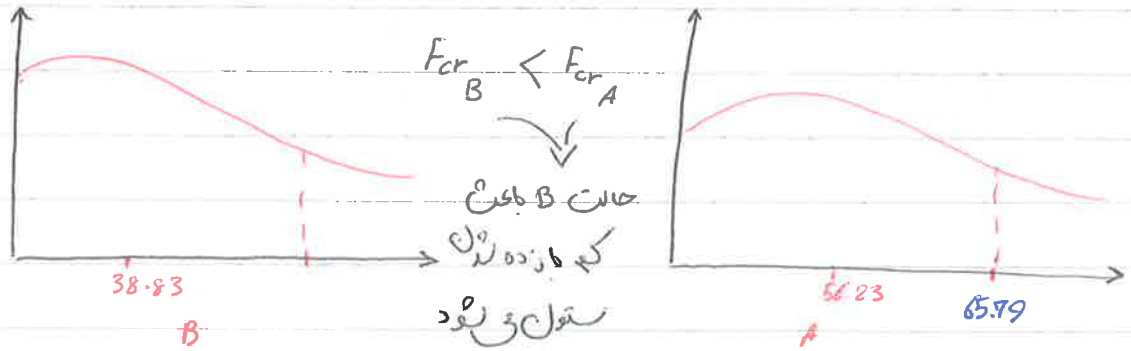
< 171000 ← چون بیشتر می‌تواند

IPB 22 بررسی شود

$\lambda_y = \frac{k_y L}{r_y} = \frac{1 \times 400}{10.3} = 38.83$ (B

$G_T = \frac{\frac{3920}{4} + \frac{3920}{3.5}}{\frac{8360}{5} + \frac{8360}{5}} = 0.63$

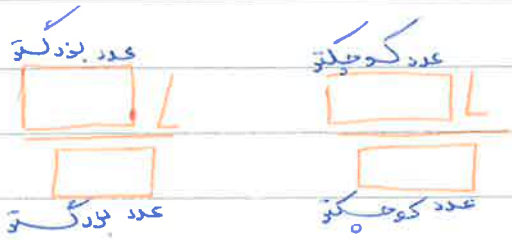
$k_x = \sqrt{\frac{1.6 \times 0.83 \times 1 + 4(0.63+1) + 7.5}{1 + 0.63 + 7.5}} = 1.28$



/ /

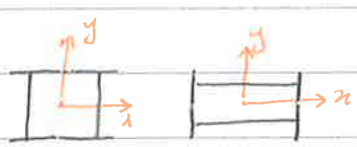
.....

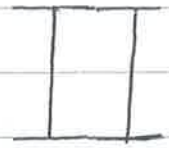
* نکته اساسی: در محاسبه λ رعایت کنید که:



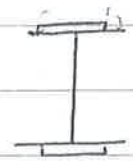
مثال ①: ستونی به طول 4.5^{m} مفروض است. اگر $k_x=1.2$ و $k_y=1.1$ باشد و ستون از IPE220 و 2 معادل شکل ساخته شده است. حداکثر ظرفیت باربری کل را محاسبه کنید برای حدود حالت زیر.

(P_u)





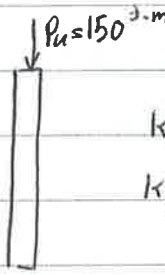
2×IPE 220



IPB 220 + 2PL 15×1

$E = 2.04 \times 10^{6}$

$F_y = 2400$

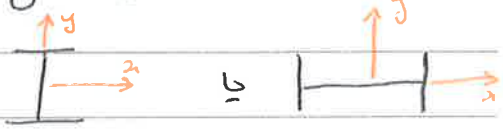


$K_x = 1.3$

$K_y = 0.8$

مثال ②: طراحی ستون از IPB_4

نحوه اجرای ستون را مشخص کنید.



/ /

کمانش پیچشی ←

کمانش خمشی حول محور x
" " " y

$\lambda_x = \frac{k_x l}{r_x}$
$k_y = \frac{k_y l}{r_y}$
$\rightarrow \lambda_{max} = \lambda$ بزرگتر

$\lambda \leq \lambda_c$
$\lambda \geq \lambda_c$
$\rightarrow F_{cr} = \dots$

$$P_u \leq 0.9 F_{cr} A_g$$

* برای اعضای دارای ایجاد پیچشی ستون‌ها داریم شبه خاص گسل

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

$$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) F_y$$

در این حالت حداکثر بار قابل تحمل بدون کمانش کدام است:

$$P_u = 0.9 \times F_{cr} \times A_g$$

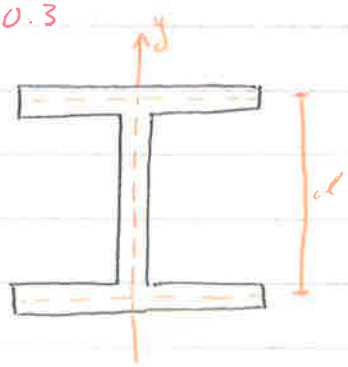
C_w = ثابت تابیدگی → cm^6

$C_w = I_y \left(\frac{d}{2}\right)^2$ ← فاصله بین مرکز دو بال
ممان اینرسی حول محور ضعیف

$k_z = 1$

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ مدول برشی

$\nu = 0.3$ ← ضریب پواسون



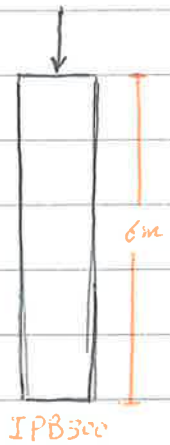
/ /

توضیح مثال قبل:

F_{cr} فرضی	$A_g \geq \frac{P_u}{0.9 F_{cr}}$	جدول انتخاب	λ_x	λ_y	λ طراحی	F_{cr}	P_u قابل تحمل
1800	105.6	IPB 240 $A_g = 106$			65.79	1946	$0.9 F_{cr} \times A_g$
2000	95 cm^2	IPB 240 106			65.79	1946	
1500	$\frac{171000}{0.9 \times 1500}$ = 126.66	IPB 280 131 cm^2	47.86	56.4	56.41	2047	

غیر اقتصادی

مثال: مطلوب است مقدار نیرویی که باعث ایجاد کمانش پیچشی در ستون می‌شود.

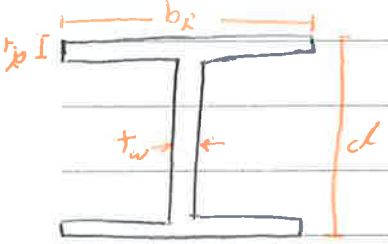


می دانیم که: $F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right] \frac{1}{I_x + I_y}$

$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) F_y$

$P_u = 0.9 \times F_{cr} \times A_g$

می دانیم: بین کمانش حول x، کمانش حول y، کمانش پیچشی کدام کمتر بود، کمانش اتفاق می‌افتد.

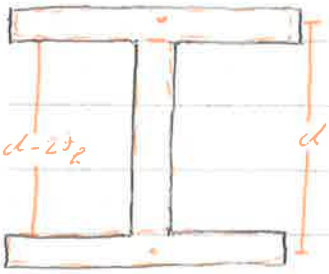


$d = 300$, $b = 300$, $A = 149$,

$I_x = 25170$, $I_y = 8560$, $t_f = 1.9$

$F_y = 2400$

$E = 2.1 \times 10^6$ kg/cm^2



$d's\ d - t_f = 30 - 1.9 = 28.1$

$C_w = I_y \times \frac{d'^2}{4} = 8560 \frac{28.1^2}{4} = 1.69 \times 10^6\ cm^6$

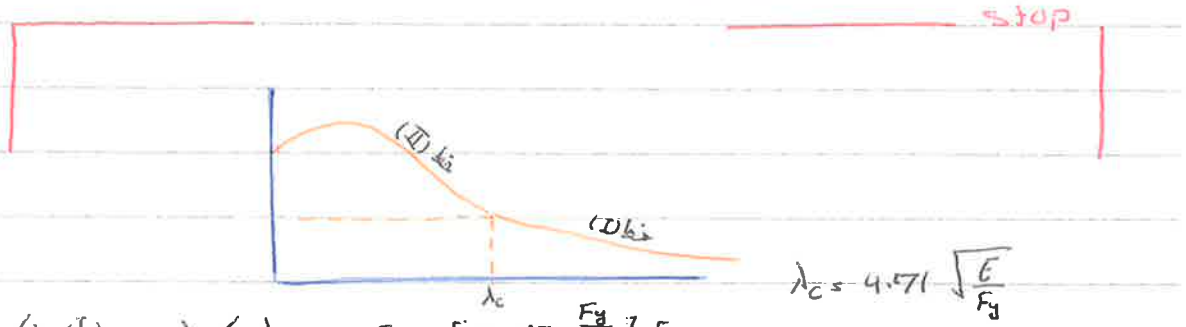
$K_z = 1 \quad , L = 600\ cm$

$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{E}{2.6} = \frac{2.1 \times 10^6}{2.6} = 8.077 \times 10^5\ kg/cm^2$

$\nu = 0.3$

$J = \frac{1}{3}\left[\sum b_i t_i^3\right] = \frac{1}{3}\left[(30 \times 1.9^3) \times 2 + (30 - 2 \times 1.2) \times 1.1^3\right] = 148.8\ cm^4$

$F_e = \left[\frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 1.69 \times 10^6}{(1 \times 600)^2} + 8.077 \times 10^5 \times 148.8\right] \times \frac{1}{28170 + 8560} = 6448$



$\lambda_c = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Line(I) $\lambda \le \lambda_c \Rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

Line(II) $\lambda \ge \lambda_c \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$

$F_e \ge 0.44 F_y \Rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$F_e \le 0.44 F_y \Rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$

در دومی میتوانید به جای مقایسه λ و λ_c از مقایسه F_e و $0.44 F_y$ استفاده کنید

/ /

$F_e = 6448$

$0.44 F_y = 0.44 \times 2400_{ksc} = 1056$

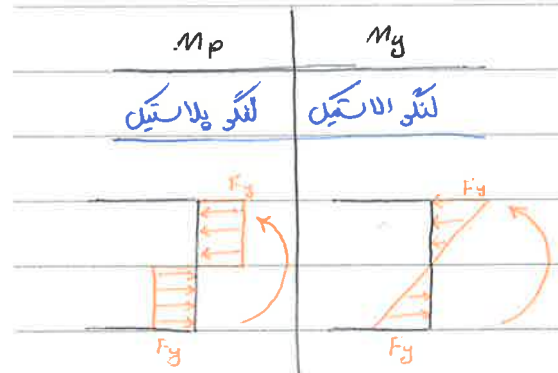
$\rightarrow F_e \geq 0.44 F_y \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{2400}{6448}}\right] 2400$

$= 2054 \ kg/cm^2$

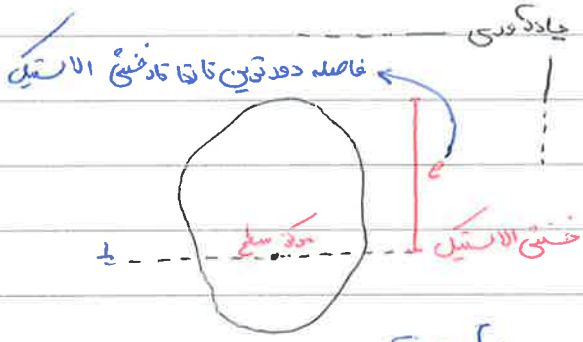
$\rightarrow P_u = 0.9 \times 149 \times 2054 = 306049 \ kg$

+ هستون معلی توکن تعیین میشود

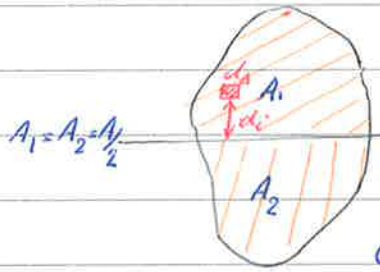
طراحی لعفای خمشی:



$M_p = Z \times F_y$ | $M_y = S \times F_y$



$S = \frac{I_1}{e}$



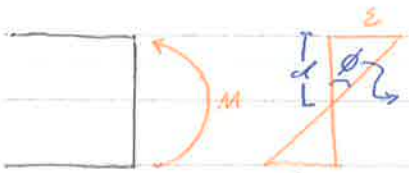
$Q_1 = \int d_i \times dA$

$Q_2 = \int d_i \, dA$

$Z = Q_1 + Q_2$

ضریب شکل $K = Z/S$

نمودار لنگر - انحناء:



φ = انحنا $\longrightarrow \varphi = \frac{\varepsilon}{d}$, $[\varphi] = \frac{1}{cm}$

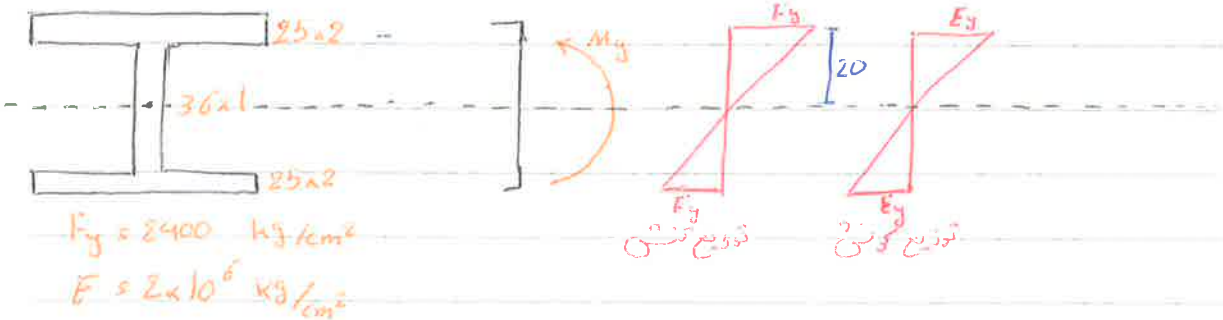
ε ← کرنش کششی

$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

$\sigma = \frac{Mc}{I}$ $\Big\} \rightarrow \varepsilon = \frac{Mc}{EI} \rightarrow \frac{\varepsilon}{c} = \frac{M}{EI} \Big\} \rightarrow \varphi = \frac{M}{EI}$

$\varphi = \varepsilon / c$

مثال: مطلوب است رسم دیاگرام $M-\varphi$



$F_y = 2400 \ kg/cm^2$

$E = 2 \times 10^6 \ kg/cm^2$

$F_y = M_y / S \Rightarrow M_y = S \times F_y$

$S = \frac{I}{C}$

$S = \frac{I}{20} = 2001 \ cm^3$

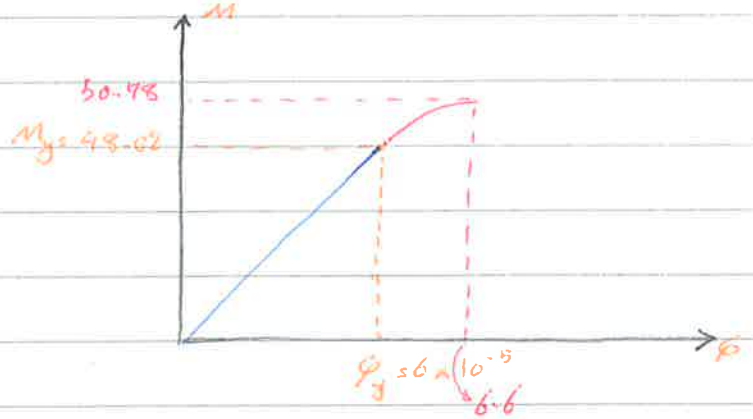
$I = \frac{1}{12}\left[(25 \times 40^3) - \left(\frac{24 \times 36^3}{12}\right)\right] = 40021 cm^4$

$M_y = F_y \times S = 2400 \times 2001 = 48.02 \times 10^5 \ kg.cm = 48.02 \ t-m$

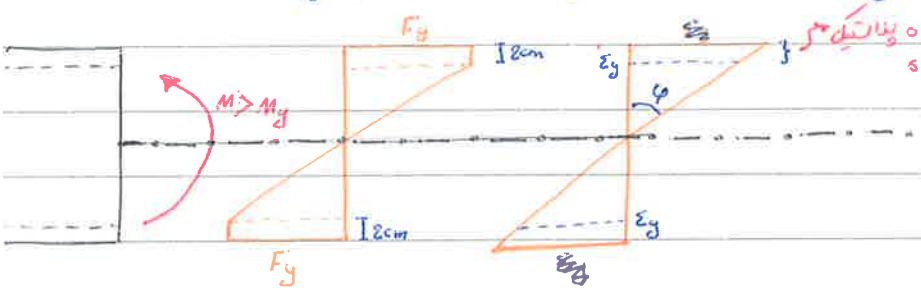
/ /

$\varepsilon_y = F_y / E = \frac{2400}{2\times10^6} = 0.0012$ → کرنش تسلیم

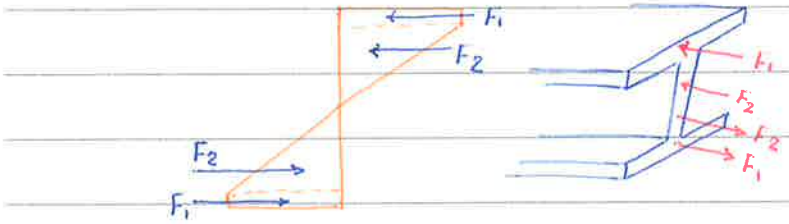
$\varphi_y = \frac{\varepsilon_y}{\frac{20}{2}} = 0.0012 / 20 = 6\times10^{-5} \ \frac{1}{cm}$

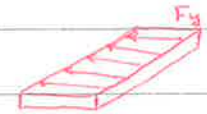


حال M را باز هم بزرگ تا $M > M_y$ شود F در دال به تسلیم برسد (F_y)



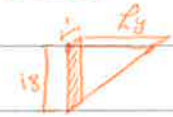
واحد محدوده پلاستیک شده





$F_1 = 25 \times 2 \times 2400$

$F_2 = (18 \times 1 \times 2400) \times \frac{1}{2}$

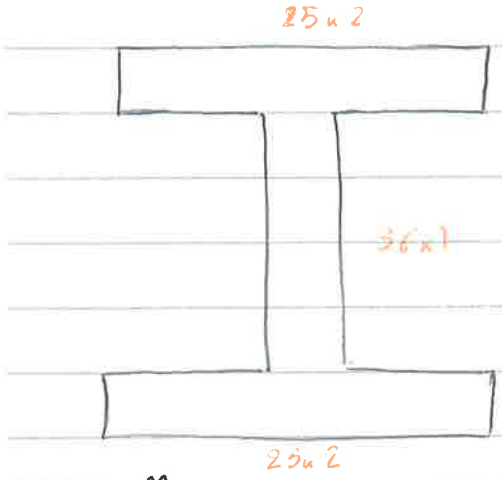


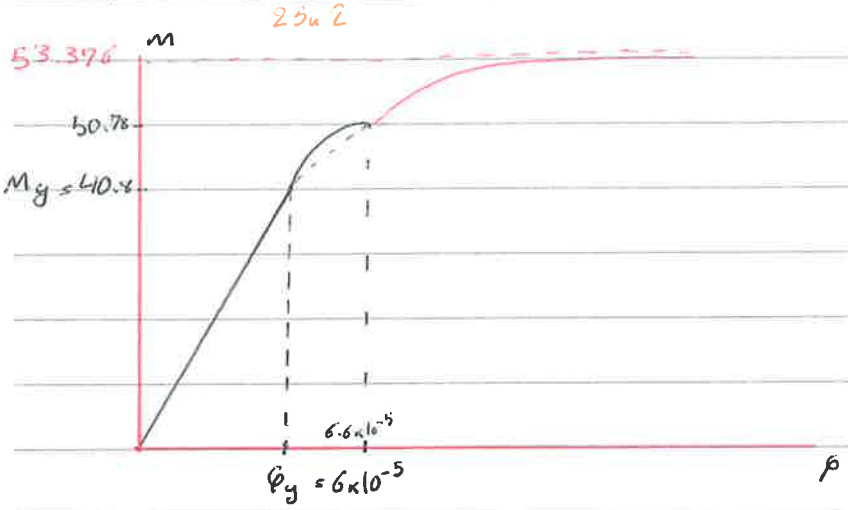
$M = (F_1 \times 19 + F_2 \times 12) \times 2 = 50.78\times10^5 \ kg\text{-}cm = 50.78 \ t\text{-}m$

$\varphi = \frac{\varepsilon_y}{18} = \frac{0.0012}{18} = 6.6\times10^{-5} \ \frac{1}{cm}$

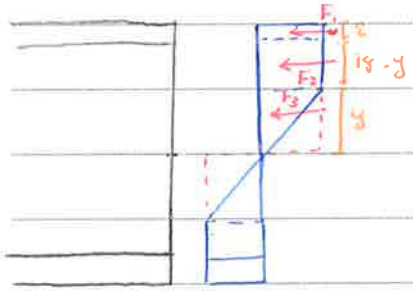
/ /

ادامه مثال:





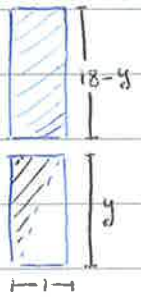
حالت 3) اگر علاوه بر بال بخشی از جان هم تسلیم شود.



$F_1 = 25 \times 2 \times F_y$

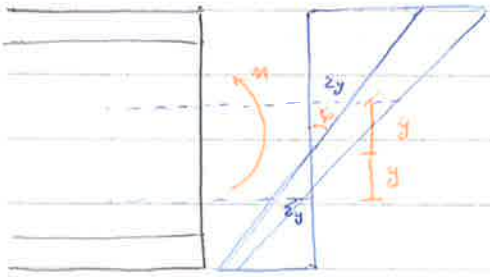
$F_2 = (18-y) \times 1 \times F_y$

$F_3 = \frac{1}{2} \times y \times 1 \times F_y$



$$M = 2\left[25 \times 2 \times F_y \times 19 + (18-y) F_y \times \left(y + \frac{18-y}{2}\right) + \frac{1}{2} y \times F_y \times \frac{2}{3}y\right]$$

$F_y = 2400 \Rightarrow M = -800y^2 + 5337.6 \times 10^5$

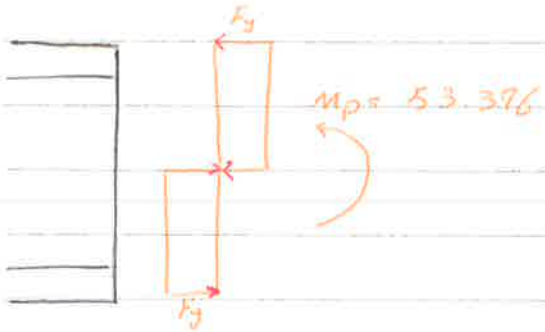


$$\varphi = \frac{\varepsilon_y}{y} \Rightarrow y = \frac{\varepsilon_y}{\varphi}$$

$$y = \frac{0.0012}{\varphi}$$

$$M = -800\left[\frac{0.0012}{\varphi}\right]^2 + 53.376\times10^5$$

$$M = 53.376\times10^5 - 1.152\times10^{-3}/\varphi^2$$



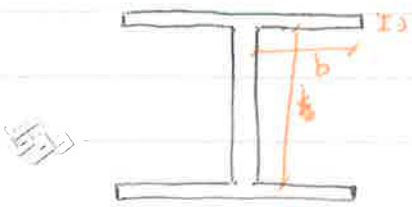
* برای طراحی تیرها در مقابل خمش، سه نوع مقطع در مقابل کمانش موضعی وجود دارند

الف) مقاطع فشرده شده — compact sec

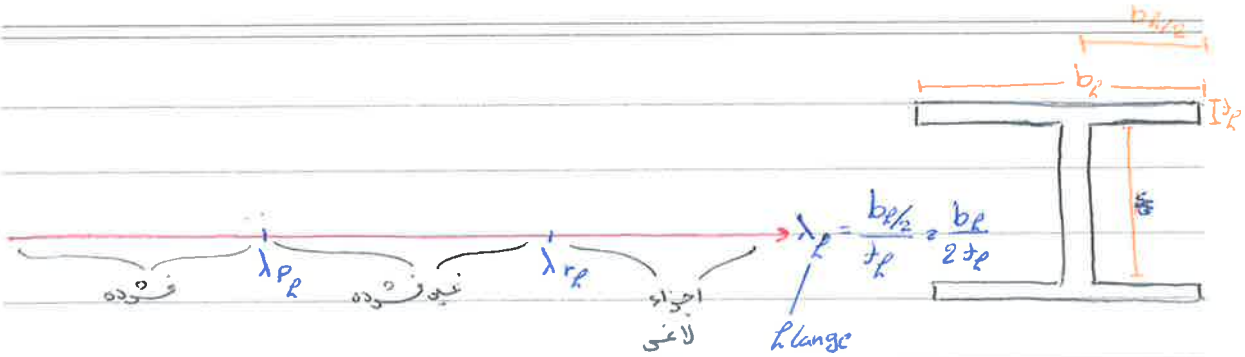
ب) " غیر فشرده شده — Non compact sec

ج) " با اجزاء لاغر — selender - Element sec

در مقاطع آن نسبت b به t کم باشد (تاحد معین) بهتر خمش تحمل می‌کند. چون خمش تبدیل به کمانش (جزء مقابل) و فشار (کمانش موضعی ایجاد) می‌شود.



/ /



اگر λ_f بین λ_{pf} و λ_{rf} باشد $\sqrt{F_y/F_r}$

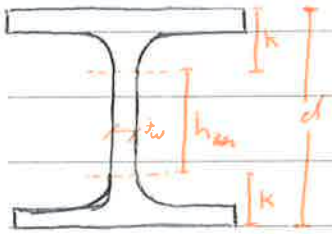
جان: web

مقاطع مایا

نوردشده:

ساخته کاوه‌ها

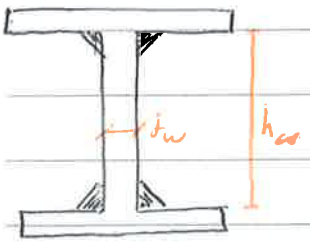
$\lambda_w = h/t_w$



جوشی:

ساخته خودما

$\lambda_w = h/t_w$

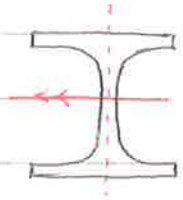


/ /

بال مقطع:

مقاطع غیر فشرده:

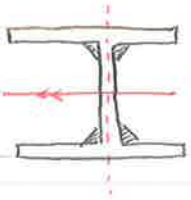
دارای دو محور تقارن - خمش حول محور قوی



$\lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\quad$ $\lambda_{r_f} = 1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

مقاطع فشرده:

دارای دو محور متقارن - خمش حول محور قوی



$\lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{E/F_y}$ $\quad$ $\lambda_{r_f} = 0.35\sqrt{\frac{E k_c}{F_L}}$

$F_L = 0.7 F_y$

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ $\quad$ $0.35 \le k_c \le 0.76$

اگر بیشتر از 0.76 بود همان 0.76

اگر کمتر از 0.35 بود همان 0.35

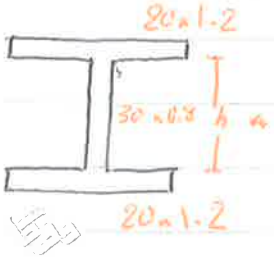
جان مقطع:

دقیقاً نه فشرده یا نشده نداریم.

$\lambda_{p_w} = 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\lambda_{r_w} = 5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

مثال: جان و بال مقطع زیر را از لحاظ فشرده بودن یا نبودن بررسی کنید.



کمیته تدوین ایران : هیچ مقطع دارای اجزاء لاغری نباید در حین بتن ریزی شکل گیرد. / کمیته آمریکا

حل:

$$\lambda_f = \frac{20/2}{1.2} = 8.33$$

$$\lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38\sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} = 10.97$$

8.33

$\lambda_{p_f} = 10.97$ λ_{r_f}

بال مقطع فشرده است.

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{30}{0.8} = 37.5$$

$$h_{p_w} = 3.76\sqrt{E/F_y} = 3.76\times\sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} = 108.54$$

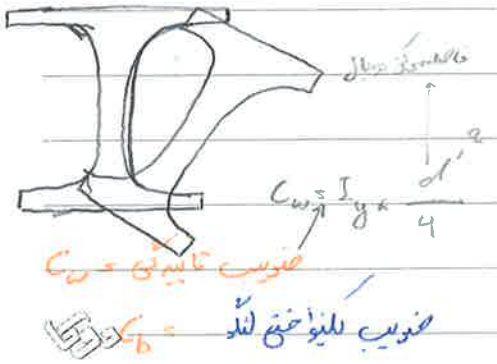
37.5 $\lambda_{p_w} = 108.54$ λ_{r_w}

جان مقطع فشرده است.

نکته: فعلا فرض بر این است که مقطع تو اقتصادی تو

$\frac{P_u}{\phi A_g F_{cr}} \leq 1$ ← موجب به اتو دیگ تو

M_{cr} - کمانش پیچشی جانبی:



$$M_{cr} = C_b\sqrt{\frac{\pi^4 E C_w E I_y}{L_b^4} + \frac{\pi^2 E I_y G J}{L_b^2}}$$

$C_w = I_y \times \frac{d'^2}{4}$

E = مدول الاستیسیته

G = مدول برشی $\Rightarrow \frac{E}{2(1+\nu)}$

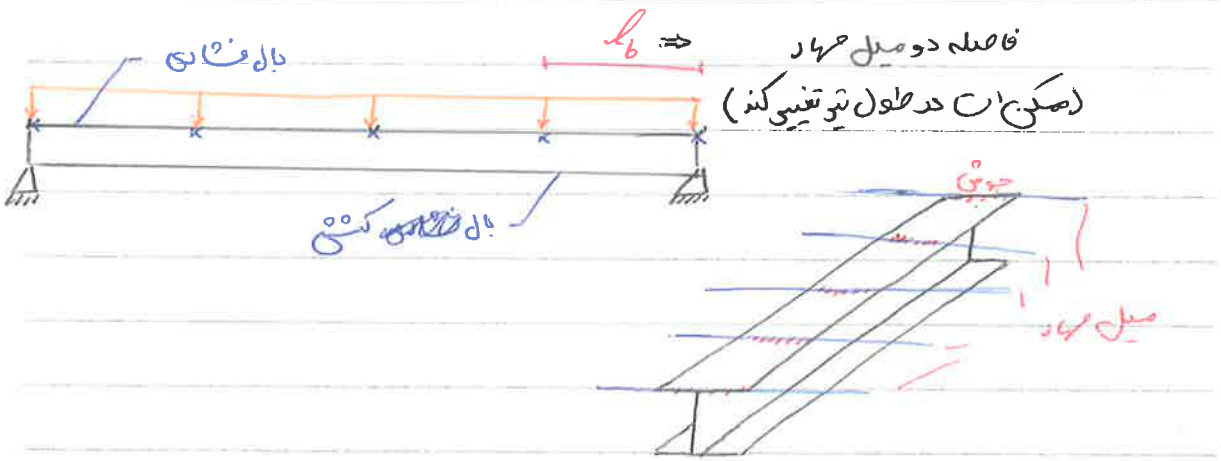
I_y = ممان اینرسی حول محور ضعیف

J = ممان اینرسی پیچشی مقاطع جدارنازک $= \frac{1}{2}\sum b_i t_i^3$

C_w = ضریب تابیدگی

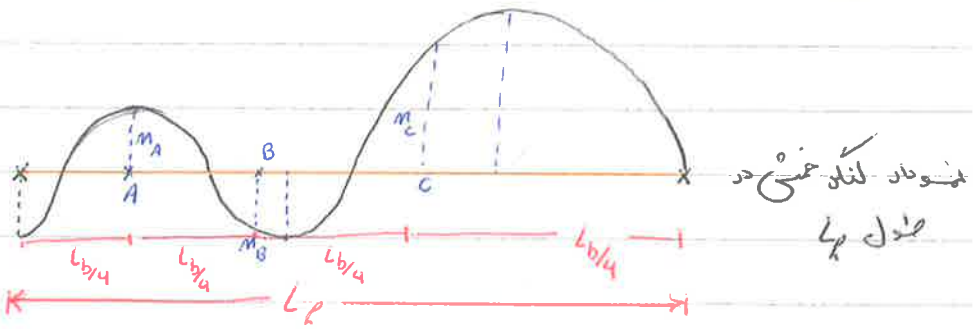
C_b = ضریب یکنواختی لنگر

L_b = فاصله مهارهای جانبی حریال فشاری



$$C_b = \left[\frac{12.5 \times M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \right] \quad R_m \leq 3$$

R_m = پارامتر تک‌محوری بودن



نمودار لنگر خمشی در طول L_p

مقادیر M_A ، M_B ، M_C و M_{max} همگی مثبت اند

R_m

- دارای 2 محور تقارن ← $R_m = 1$
- دارای 1 محور تقارن و انحنا دار نباشد ← $R_m = 1$
- 1 محور تقارن و انحنای مضاعف ← $R_m = 0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^2$

I_y : ممان اینرسی حول محور خنثی

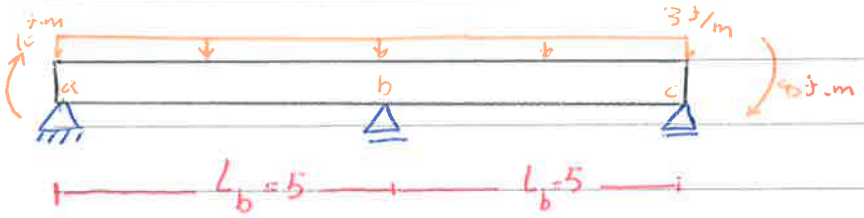
I_{yc} : ممان اینرسی بال فشاری کوچکتر حول محور خنثی

/ /

انحناء ساده:

انحناء مضاعف:

* L_b آن متغیر بود محاسبه تنش را انتخاب می‌کنیم ← بالتر / خمش بیشتر

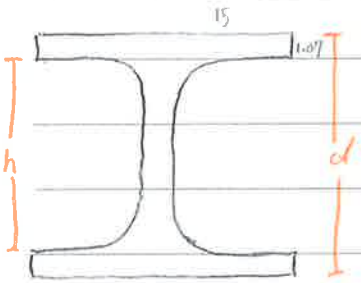


M_{cr} = ? :خواسته

IPE 300

$E = 2.1 \times 10^6$ kg/cm²

$\nu = 0.3$



IPE 300 Steel →

$b_f = 15$ cm

$t_f = 1.07$ cm

$d = 30$ cm

$t_w = 0.71$

$I_y = 604$ cm⁴

$$C_w = I_y \times \frac{d'^2}{4} = 604 \times \frac{(30-1.07)^2}{4} = 126374 \text{ cm}^6$$

$$J = \frac{1}{3}\left[(15 \times 1.07^3) \times 2 + (30 - 2 \times 1.07)\, 0.71^3\right] = 15.75 \text{ cm}^4$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{E}{2.6} = 8.077 \times 10^5$$

$L_b = 500$ cm

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 4}{500^2}(21 \times 10^6)}$$

$$M_{cr} = 10.74 \times 10^5 C_b$$

/ /

$M_{ab} = 10$ $\theta_a = ?$

$M_{cb} = 8$ $\theta_B = ?$

$M_{ba} + M_{bc} = 0$ $\theta_c = ?$

$$M_{ab} = \frac{2EI}{5}\left[2\theta_a + \theta_b\right] + \frac{-3\times25}{12} = 10$$

$$M_{cb} = \frac{2EI}{5}\left[2\theta_c + \theta_b\right] + \frac{3\times25}{12} = 8$$

$$M_{ba} + M_{bc} = 0$$

$$\left(\frac{2EI}{5}\left(2\theta_b + \theta_a\right) + \frac{3\times25}{12}\right) + \left(\frac{2EI}{5}\left(2\theta_b + \theta_c\right) + \frac{-3\times25}{12}\right) = 0$$

$M_{ba} = 9.87$ t.m

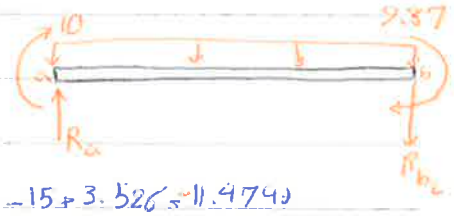
$M_{bc} = -9.87$ t.m

$$\sum M_b = 0 \longrightarrow R_a\times5 + 10 + 9.87 = 3\times5\times2.5$$

$$R_a = 3.526$$

$$R_a = 3\times5 + R_{b_L} \longrightarrow R_{b_L} = -15 + 3.526 = -11.474$$

left



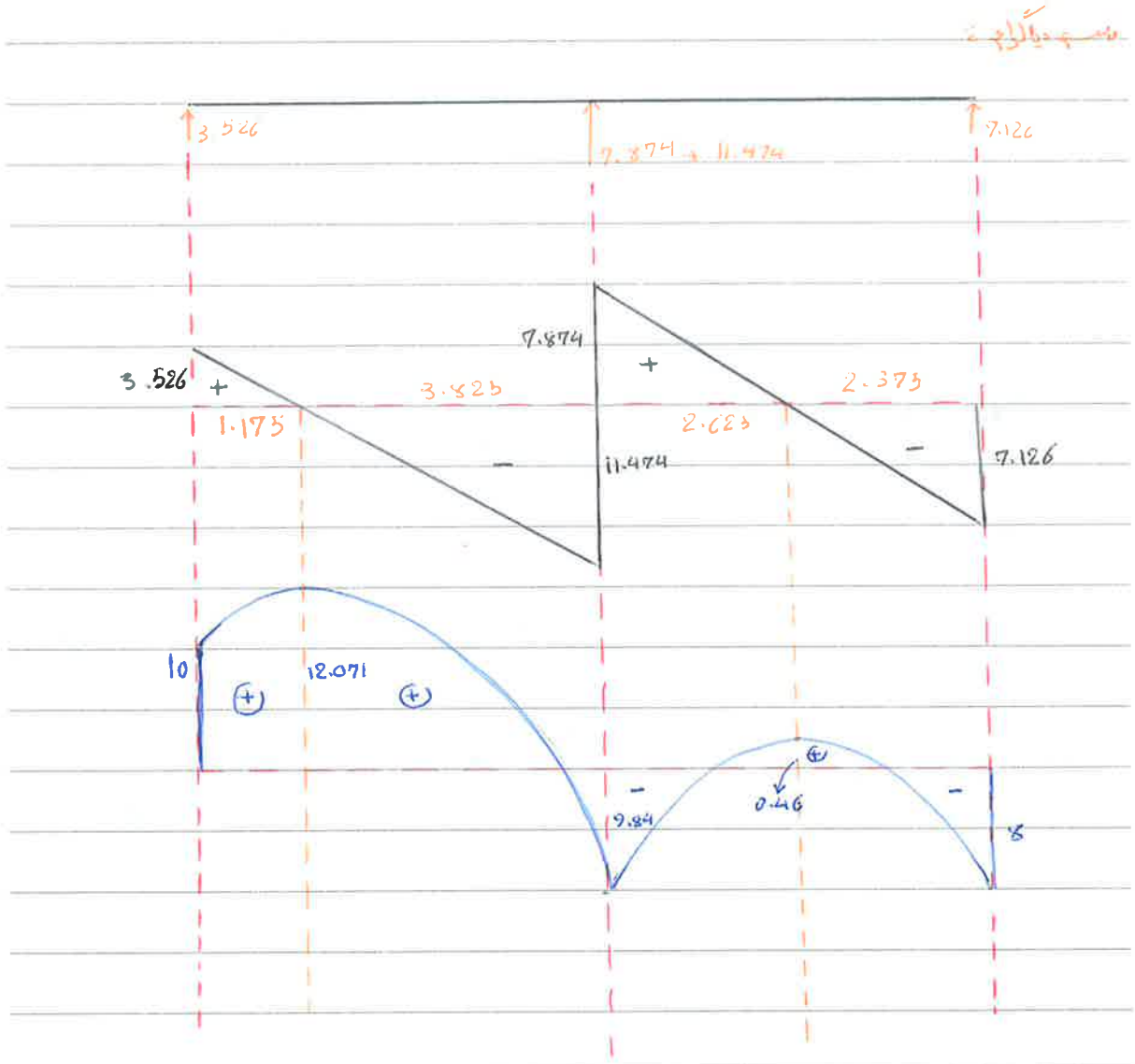
$$\sum M_b \rightarrow R_c\times5 + 9.87 = 8 + 3\times5\times2.5 \rightarrow R_c = 7.126$$

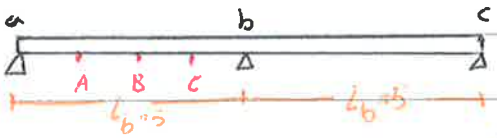
$$R_c + R_{b_R} = 5\times3 \rightarrow R_{b_R} = 7.874$$

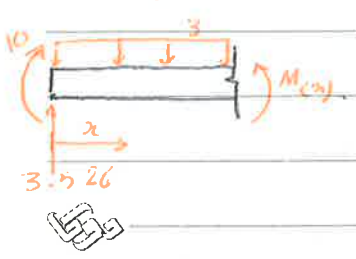
Right

/ /

.....







$M_{max} = 12.071$: ab ناحية

$M_x = 10 + 3.526x - \frac{3x^2}{2}$

$M_A = |M_{(1.25)}| = |(12.06)|$ مقطع خطر كونه تقارب

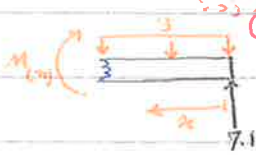
$M_B = |M(2.5)| = |9.44|$ $\Leftrightarrow R_m = 1$

$M_C = |M(3.75)| = |2.13|$

$$C_b = \frac{12.5\, M_{max}}{2.5\, M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \qquad * R_m = 1.365 < 3$$

ناحیه bc :

دو حالت ی توان مقطع ۱ رد:



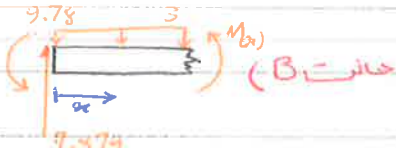
(حالت A)

$$M_{(x)} = 7.126x - \frac{3}{2}x^2 - 8$$

$$M_C = |M_{(1.25)}| = 2.37$$

$$M_B = |M_{(2.5)}| = 0.44 \qquad M_{max} = 9.87$$

$$M_A = |M_{(3.75)}| = 1.44$$



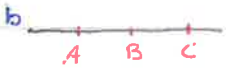
(حالت B)

$$M_{(x)} = -9.87 + 7.874x - \frac{3}{2}x^2$$

$$M_C = |M_{(1.25)}| = 1.44$$

$$M_B = |M_{(2.5)}| = 0.44$$

$$M_A = |M_{(3.75)}| = 2.37$$



به خاطر این دو دلیل می‌توانیم M_A و M_C فوق را بگذاریم که از کدام سمت در نظر گرفتیم.

$$C_b = 3.26 > 3 \rightarrow C_b = 3$$

ناحیه	C_b	$M_{cr} = 10.74 \times 10^5 C_b$	M_{max}
ab	1.365	$10.74 \times 10^5 \times 1.365 = 14.65$ t.m	12.07
bc	3	$10.74 \times 10^5 \times 3 = 32.22$ t.m	9.87

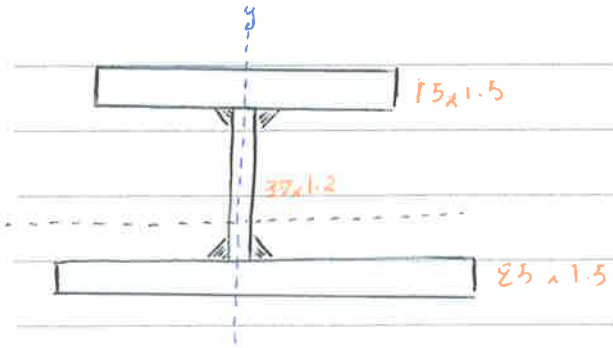
$M_{max} < M_{cr}$ ← ab

$M_{max} < M_{cr}$ ← bc

این یعنی لنگر کمانش پیچشی جانبی قرار نمی‌گیرد

/ /

مثال: سؤال قبل را با مقطع دوبرو حل کنید.



$ab \rightarrow C_b = 1.365\, R_m$

$bc \rightarrow C_b = 3.26\, R_m$

ab ناحیه

انحنا: مقاومت

$$R_m = 0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^2$$

$$I_y = \frac{15^3 \times 1.5}{12} + \frac{37 \times 1.2^3}{12} + \frac{25^3 \times 1.5}{12} = 2380\ cm^4$$

I_{yc} = ممان اینرسی بال فشاری نسبت به محور y $= \frac{15^3 \times 1.5}{12} = 421.9\ cm^4$

$$R_m = 0.5 + 2\left(\frac{421.9}{2380}\right)^2 = 0.5628$$

$$C_b = 1.365 \times 0.5628 \rightarrow C_b = 0.7682$$

bc ناحیه

انحنا: صفر

$R_m = 1$

$C_b = 3.26 \times 1 = 3.26 > 3 \rightarrow C_b = 3$

/ /

محاسبه M_{cr} :

$$M_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^4}{L_b^4} E^2 C_w I_y + \frac{\pi^2}{L_b^2} E I_y G J}$$

$E = 2.1 \times 10^6$

$G = \frac{E}{2.6} = \frac{2.1 \times 10^6}{2.6} =$

$L_b = 500\ cm$

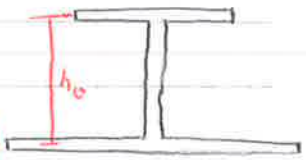
$I_y = 2380$

$J = \frac{1}{3}\left[15 \times 1.5^3 + 37 \times 1.2^3 + 23 \times 1.5^3\right] = 66.31$

محل اتصال بال فشاری

محل اتصال بال کششی

C_w : اگر یک محور تقارن داشته باشیم $\Rightarrow C_w = h_0^2 \frac{I_{y_c} I_{y_t}}{I_y}$



$h_0 = 37 + \frac{1.5}{2} + \frac{1.5}{2} = 38.5$

$C_w = 38.5^2 \frac{\frac{23 \times 1.5^3}{12} \times \frac{15 \times 1.5^3}{12}}{2380} = 513197\ cm^6$

$M_{cr} = C_b \times (43.55 \times 10^5)\ kg \cdot cm$

ab ناحیه $\rightarrow$ $M_{cr} = 33.46 > M_{max}$

bc ناحیه $\rightarrow$ $M_{cr} = 130.65 > M_{max}$

$\Rightarrow$ O.k. ✓

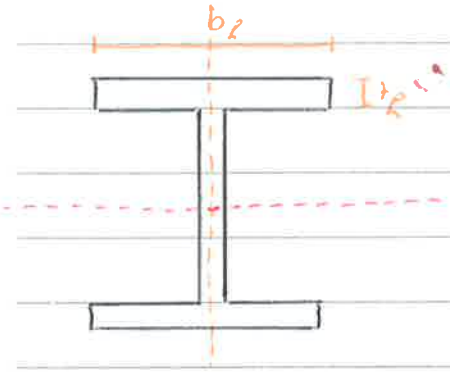
/ /

تعیین ظرفیت خمشی یک مقطع:

میزان ظرفیت خمشی به فشرده یا غیرفشرده بودن بال مقطع

بال مقطع " "

و فاصله مهارهای جانبی بستگی پیدا می‌کند.



I_x: ممان اینرسی حول محور قوی - مقاومت خمشی حول محور قوی

flang

(1) فشرده — λ_{p_f} — (2) غیرفشرده — λ_{r_f} — (3) رجیداء لاغر

$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$

web

1 فشرده — λ_{p_w} — 2 غیرفشرده — λ_{r_w} — 3 رجیداء لاغر

$\lambda_w = \frac{h}{t_w}$

فاصله مهارهای جانبی

1 خمش پلاستیک — L_p ؟ کمانش پیچشی-جانبی غیرالاستیک — L_r ؟ کمانش پیچشی-جانبی الاستیک — L_b

/ /

ظرفیت مقطع	میل مهار	جان	بال
		فشرده	فشرده
$M_n = M_p$ (ظرفیت اسمی)	1	1	1
$M_n = C_b\left[m_p - (m_p - 0.7 S_x F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \le m_p$	2	1	1
	3	1	1
		فشرده	غیرفشرده
	1	1	2
	2	1	2
	3	1	2
		غیرفشرده	فشرده
	1	2	1
	2	2	1
	3	2	1
		غیرفشرده	غیرفشرده
	1	2	2
	2	2	2
	3	2	2

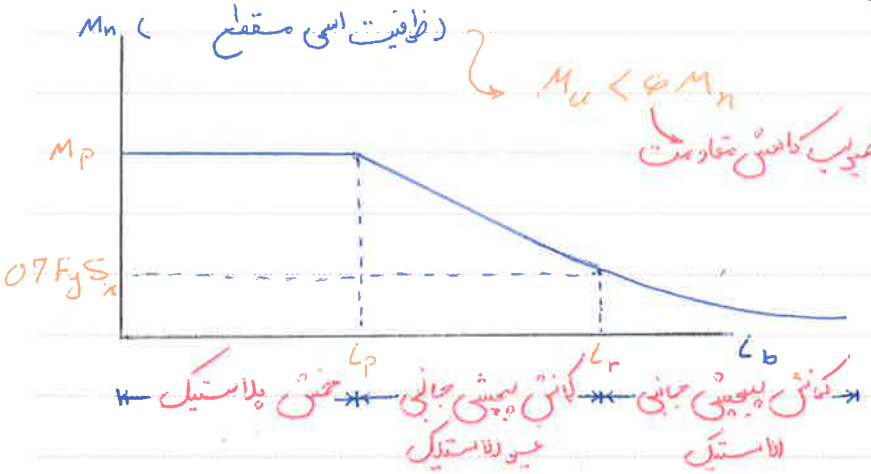
Subject
Date

تیر ها با لول جانبی

سه معیار برای طراحی تیرها وجود دارد:

1) معیار حالت حدی تسلیم (تمامی نواحی مقطع به تنش F_y برسند)
2) معیار حالت حدی کمانش موضعی ورق‌های تشکیل دهنده (جیم سقی کمانش نی کند)
3) معیار حالت حدی کمانش پیچشی جانبی (M_{cr})

* ① □ * اگر بال و جان مقطع فشرده باشند
(دارای دو محور تقارن و خمش حول محور قوی)



کنترل کمانش از پارامترهای ضوابط داده M_u

$M_p = Z F_y$

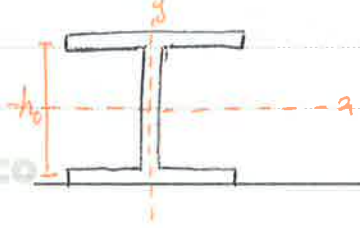
$M_y = S_x F_y$

در حالت دیزاین:

① , □ , 2 → $L_b \le L_r \rightarrow M_n = 0.75 S_x F_y$
$L_b \le L_p \rightarrow M_n = M_p$

① , □ , 3 → $M_n = F_{cr} \times S_x$

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



Subject

Date

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

$$L_r = 1.95\, r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J}{S_x h_o}} \sqrt{1+\sqrt{1+0.675\left(\frac{0.7F_y}{E} \times \frac{S_x h_o}{J}\right)^2}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x} = \sqrt{I_y \times I_y \times \frac{h_o^2}{4}} \Big/ S_x = \frac{I_y \times h_o}{2S_x}$$

لهستاع دیواسیون قسمت فشار مقطع

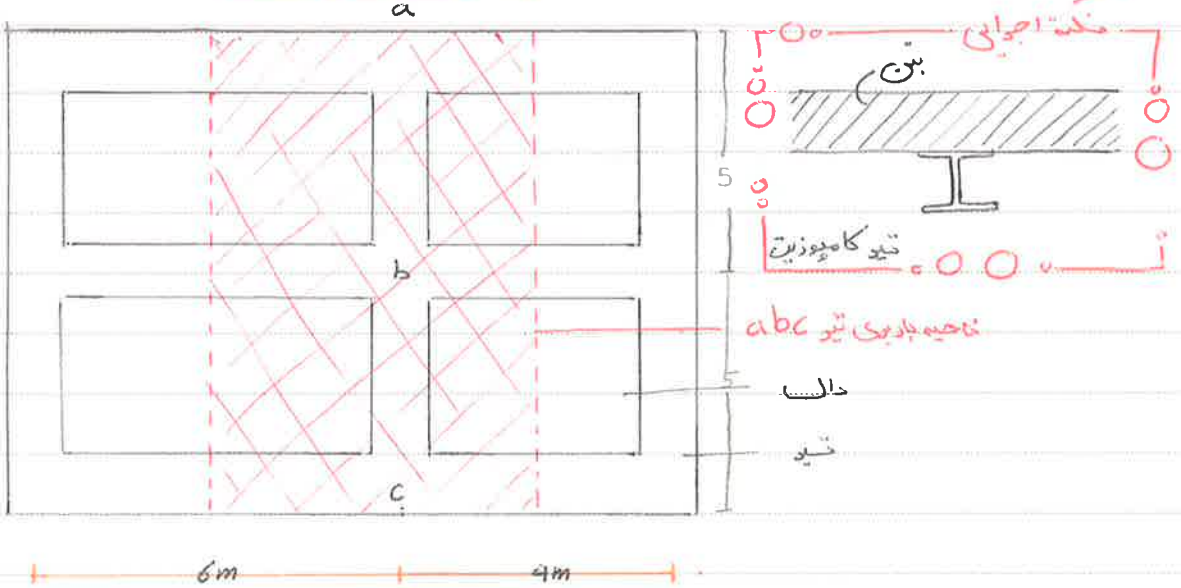
مثال مطلوب است طراحی تیر abc از IPE

تیر دارای تکیه گاه جانبی سقف است (فرض)

$q_p = 650\ kg/m^2$

$q_t = 250\ kg/m^2$

$L_b = 0$



نکته اجرایی

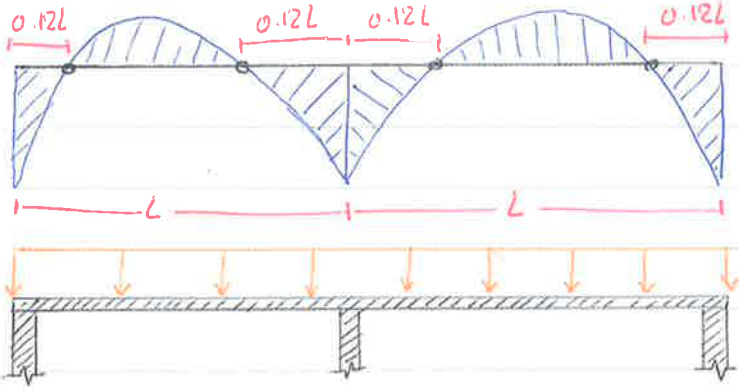
نکته

در هنگام باز گذاری قائم فرض می شود که مفاصل در 0.12L طول مقطع از تکیه گاه ها اتفاق افتاده است (فرض طراح ، لازم الذکر)

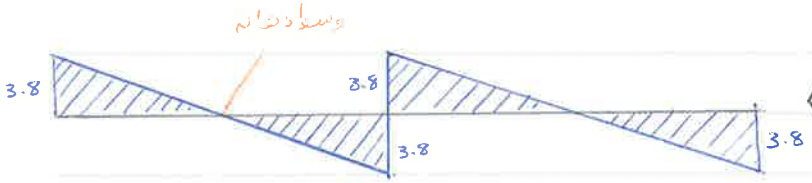
PdPCO

Subject

Date



دیاگرام لنگر خمشی تیر abc تحت بارگذاری قائم



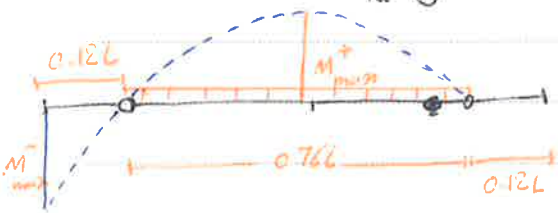
دیاگرام لنگر خمشی تیر تحت بار زلزله

ناسیه بادپی

$Q_D = (2+3)(650) = 3250\ kg/m$ ← بارگسترده خطی مرده

$Q_L = (2+3)(250) = 1250\ kg/m$ ← بارگسترده خطی زنده

با توجه به این فرض که از دو سمت $0.12L$ کم کرده، پس یک تیر دو سر مفصل داریم.



$$M^+_{max} = \frac{Q(0.76L)^2}{8} = 0.0722\,QL^2$$

محاسبه M^-_{max}:

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow V = \frac{1}{2}Q(0.76L) = 0.38LQ$$

$$M^-_{max} = V \times 0.12L + \frac{Q(0.12L)^2}{2}$$

$$= 0.0528QL^2$$

خلاصه: برای انجام صوابی نقاط دارای حمس max را در تلو ی هیرم.

برای سادگی محاسبات $L = 5^m$ ⇒

$$M^+_{max\ D.L} = 0.0722\,(3.25)(5^2) = 5.866\ t\text{-}m$$

$$M^+_{max\ L.L} = 0.0722\,(1.25)(5^2) = 2.256\ t\text{-}m$$

Subject
Date

حالت 1: $M_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 5.866 + 1.6 \times 2.256 = 10.65$

حالت 2: $M_u = 1.2D + L + E$ ← با توجه به صفر بودن E و ۱ بودن ضریب L ،

بنابراین تنها حالت حالت ۱ است ←

M_{Design} در وسط دهانه $M_u = 10.65$

$M^-_{max_D} = (0.0528)(3.25)(5^2) = 4.29\ t-m$: دوکناره ها

$M^-_{max_L} = (0.0528)(1.25)(5)^2 = 1.65\ t-m$

$M_{max_E} = 3.8$ ← در این مثال صفر فرض می‌شود

خلاصه :

با توجه به ماهیت رفت و برگشتی زلزله ، در دیاگرام لنگر خمشی ناشی از زلزله ممکن است در کل واحد ، از "+" به "-" تغییر کند.

$M_u = 1.2(4.29) + 1.6(1.65) = 7.79$

$M_u = 1.2(4.29) + 1.6(3) + 3.8 = 10.6\ t-m$

کنار دهانه $M_{Design} = M_u = 10.6\ t-m$

فرض می‌کنیم که مال وجال فشرده اند ← ① و 1.1

$L_b = 0 \rightarrow M_n = M_p$

$M_u \le \varphi M_n$

$\rightarrow 10.65 \times 10^5\ kg.cm \le 0.9\,(F_y Z)$

M_p

$F_y = 2400$

$Z \ge \dfrac{10.65 \times 10^5}{0.9 \times 2400} = 493.1\ cm^3$

خلاصه اجرایی : مهاربند چون حلو/ کاتش حاش دانی گیرد ، در اثر زلزله با جوش داخل میلگرد

Subject
Date

$$Z = Q_1 + Q_2$$
$$A_1\bar{y}_1 + A_2\bar{y}_2$$

Stall → IPE 300 , $Z = 628\,cm^3$

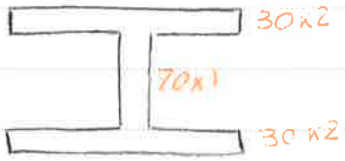
کنترل شکل‌پذیری بال و جان:

$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{15}{2\times1.07} = 7.01 \le 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$ بال شکل‌پذیر O.k

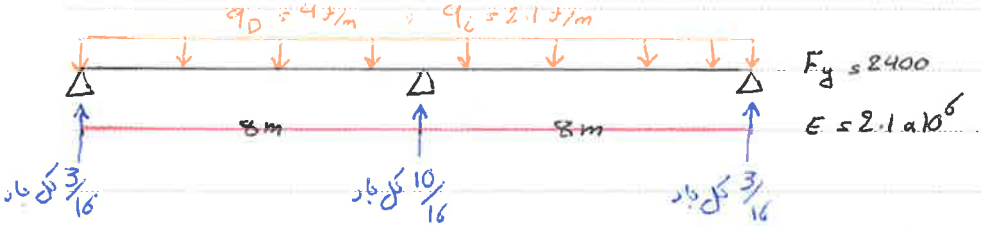
$\frac{h}{t_w} = \frac{30-2\times2.57}{0.71} = 35.01 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.2$ جان شکل‌پذیر O.k

نکته: اگر "Z" در مقاطع نوع‌شده بال و جان شکل‌پذیر باشد (اگر مقطع دستاز بود باید چک شود ولی در مقاطع استاندارد خیر)

مثال: مطلوب است رسم نمودار M-θ .



مثال: مطلوب است طراحی تیر از IPE برای حالت زیر



A) $L_b = 0$

B) $L_b = 4m$

C) $L_b = 8m$

PqPCO

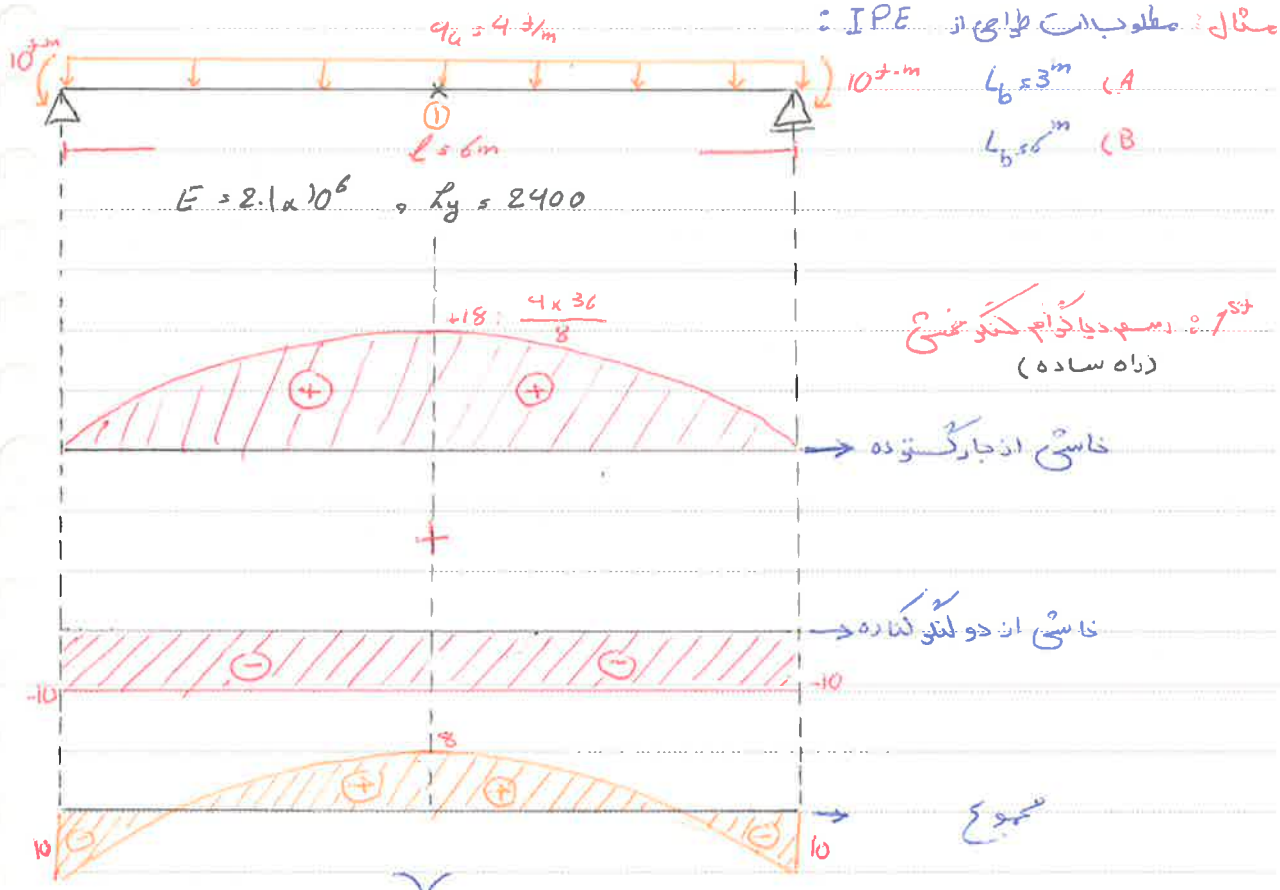
Subject

Date

مثال: مطلوبات طراحی از IPE :

$L_b = 3^m$ (A

$L_b = 6^m$ (B



۱st : رسم دیاگرام لنگر خمشی (راه ساده)

$M_{max} = 10\ t.m$

فرض: $M_n = M_p$ ← $M_u \leq \phi M_p$ ← $10 \times 10^5 \leq 0.9 (F_y Z)$ (M_p)

$L_b < L_p$

$Z \geq 463 cm^3$

try IPE 270 : $d = 27$, $b_f = 13.5$, $h = d - 2c = 21.9$, $S_x = 429 cm^3$, $Z = 460.3$

$t_f = 1.02$, $t_w = 0.66$, $r_y = 3.02$, $I_y = 420 cm$

$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = 6.26 \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$ ← جان فشرده

$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{21.9}{0.66} = 33.2 \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$ ← جان فشرده

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.02 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 157 cm$

پس $L_p > L_b$ شد ← فرض درست ← $L_b > L_p$ ← نیاز به محاسبه L_{pr} داریم

PgPCO

Subject

Date

$$J = \frac{1}{3}\left[(13.5\times 1.02^3)\times 2 + (27-2\times 1.02)(0.66)^3\right] = 11.94\,cm^4$$

$$h_o = 27 - 1.02 = 25.98$$

$$C_w = I_y \frac{h_o^2}{4} = 420 \times \frac{25.98^2}{4} = 70871\,cm^6$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{C_w I_y} / S_x = \sqrt{70871\times 420} / 429 = 12.71 \rightarrow r_{ts} = 3.566$$

$$L_r = 1.95 \times 3.566 \times \frac{2.1\times 10^{-6}}{0.7\times 2400}\sqrt{\frac{11.94}{429\times 25.98}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7\times 2400}{2.1\times 10^6}\times\frac{429\times 25.98}{11.94}\right)^2}}$$

$L_r = 300$ → $L_p < L_b < L_r$

$$M_n = C_b\left(M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \leq M_p$$

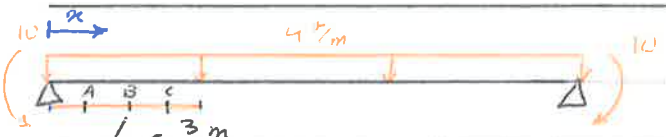
Subject

Date

PgPCO

Subject

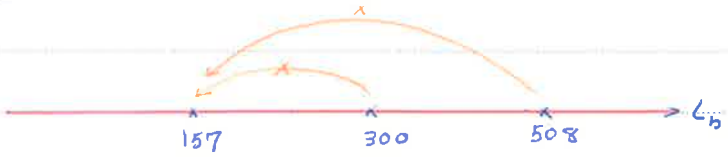
Date



$L_b = 3\ m$

$L_p = 157\ cm$

$L_r = 508\ cm$



$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \le M_p$$

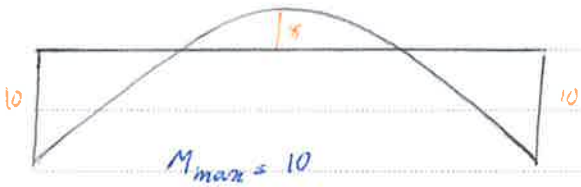
$$M_{(x)} = -10 + \frac{4\times 6}{2}x - \frac{4x^2}{2}, \quad 0 \le x \le 6$$

تکیه‌الصل

$$M_A = |M_{(x=0.75)}| = 8.125\ T.m$$

$$M_B = |M_{(x=1.5)}| = 3.5\ t.m$$

$$M_C = |M_{(x=2.25)}| = 6.875\ t.m$$



$$C_b = \frac{12.5\times 10}{2.5\times 10 + 3\times 8.125 + 4\times 3.5 + 3\times 6.875} = 1.894 \le 3$$

$\Rightarrow R_m = 1$

$$M_p = Z F_y = 4603 \times 2400 = 11.62\times 10^5\ kg.cm$$

$$M_n = 1.894\left[\le 11.62\times 10^5 - (11.62\times 10^5 - 0.7\times 429\times 7000)\frac{300-157}{508-157}\right] = 18.6\times 10^5 < M_p$$

$M_n = M_p$ است

$$M_n = M_p = 11.62\times 10^5$$

$$M_u < \varphi M_n$$

$$10\times 10^5 \le 0.9\times 11.62\times 10^5 \rightarrow 10 \le 10.46\ t.m \quad \checkmark O.K$$

به دلیل کاهش C_b به سمت صفر بوده زیرا گو کاهش زمان جوابگو نخواهد

Mmax را در نظر می‌گیرم

Subject

Date

$L_b = 6m$ (فرض)

try IPE 270 , $\begin{cases} L_p = 15.7\,cm \\ L_r = 508\,cm \end{cases}$

600

$L_b > L_r$ کنترل پیچش جانبی الاستیک

$M_n = S_n f_{cr}$

$M_n = S_n F_{cr}$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_s}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_{xx} h_o} \left(\frac{L_b}{r_s}\right)^2}$$

$C_b = ?$

$M_{max} = 10$

$$C_b = \frac{12.5 \times 10}{2.5 \times 10 + 3(3.5) + 4 \times 8 + 3 \times 3.5}$$

$$F_{cr} = \frac{1.603 \times \pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{\left(\frac{600}{3.566}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{11.94}{429 \times 25.98} \left(\frac{600}{3.566}\right)^2} = 2153\ kg/cm^2$$

$M_n = S_n \times F_{cr} = 429 \times 2153 = 9.236 \times 10^5\ kg.cm < M_p$

بنابراین $M_u < \phi M_n \rightarrow 10 < 0.9 \times 9.236$ برقرار

Try IPE 300 $\rightarrow L_r = 551\,cm$

$L_b > L_r$, $M_n = S_n F_{cr}$

Subject

Date

$F_{cr} = 239.8$ با قرار دادن مجدد در مختلف در فرمول

$M_n = 557 \times 239.8 = 13.36 \times 10^5$

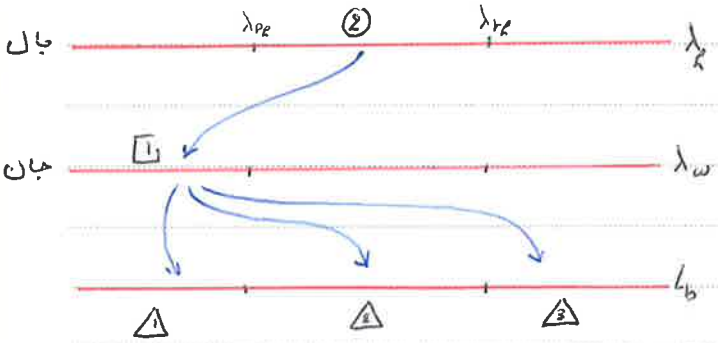
$M_u = 10 < 0.9 \times 13.36 = 12.02$ OK

یک پروفیل IPE 300 کافی است

نکته: در اصلاحی ت 395 و 394 و 393 و 392 ، پارامتر جانبی نظیر 2 و 2 و 2 و 1 را مشخص کرده

حالت بعدی: در چه حالت باید محاسبه شود

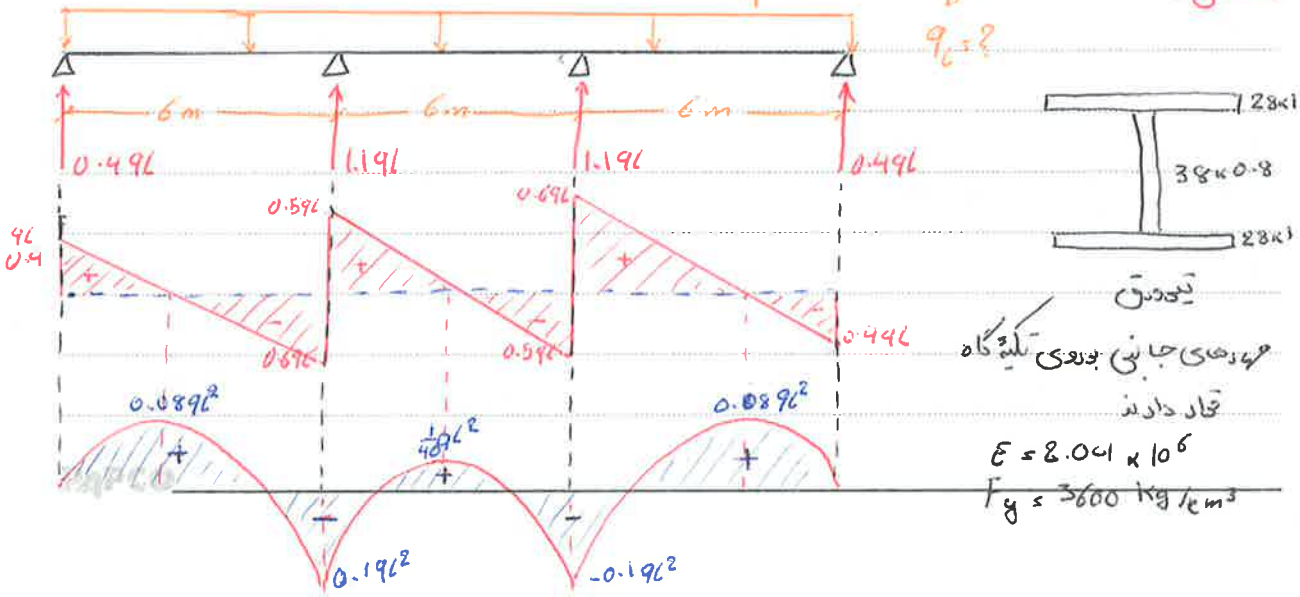
بال	جان	مهار جانبی	
(2)	[1]	△	$M_{n_1} = \left[M_p - (M_p - 0.7 S_n F_y)\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right] \le M_p$
(2)	[1]	△	$M_{n_2} = \left[M_p - (M_p - 0.7 S_n F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \le M_{n_1}$
(2)	[1]	△	$M_{n_3} = S_n F_{cr} \le M_{n_1}$



مثال:

$q_D = 3$ t/m

$q_L = ?$



تیر دارای مهارهای جانبی پیوسته تکیه‌گاه قرار دارد

$E = 2.04 \times 10^6$

$F_y = 3600$ kg/cm²

Subject
Date

$\frac{h}{t_w} = \frac{38}{0.8} = 47.5 < 3.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 89.5$ → جان نشرده

حالت ۱: جزیی جان مقطع:

λ_{p_w}

بال فشرده مقطع

$\lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

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

$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$

در تیورق

$\lambda_f = \frac{28}{2} = 14$

$\lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{\frac{2.04\times10^6}{3600}} = 9.04$

$\lambda_{r_f} = ?$

λ_{p_f} 9.04 λ_{r_f}

$\lambda_f > \lambda_{p_f}$

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{47.5}} = 0.58$ $0.35 \le k_c \le 0.76$ O.K

تیورق F_L = $F_L = 0.7F_y$ ، $S_{x2}/S_{x1} \ge 0.7$ برای مقطع الاستیک

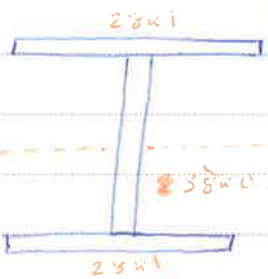
$F_L = \frac{S_{x2}}{S_{x1}} \times F_y \ge 0.5F_y$ ، $\frac{S_{x2}}{S_{x1}} \le 0.7$ برای مقطع الاستیک

$S_{x2}/S_{x1} = 1 \ge 0.7 \Rightarrow F_L = 0.7F_y$

$\lambda_{r_f} = 0.95\sqrt{\frac{2.04\times10^6\times0.58}{0.7\times3600}}$

$\lambda_{r_f} = 20.58$

چون مقطع متقارن است: $S_{x2} = S_{x1}$



$\lambda_{p_f} = 9.04 \le \lambda_f = 14 < \lambda_{r_f} = 20.58$

بال غیر فشرده است

PdPCO

Subject
Date

$$I_x = \frac{28\times 40^3}{12} - \frac{(28-0.8)\times 38^3}{12} = 24957\ cm^4$$

$$S_x = I_x/20 = 1248\ cm^3$$

$$Z = 2\left(28\times 1\times 19.5 + \frac{19\times 0.8\times 19}{2}\right) = 1380.8\ cm^3$$

$$M_p = F_y \times Z = 3600\times 1380.8 = 49.7\times 10^5\ kg.cm$$

$$M_{n_1} = \left(49.7\times 10^5 - (49.7\times 10^5 - 0.7\times 1248\times 3600)\frac{14-9.04}{20.58-9.04}\right) = 41.87\times 10^5$$

O.k ✓✓ $41.87 = M_{n_1} < M_p = 49.7$

$L_b = 600$, $L_p = ?$

$$I_y = \frac{28^3\times 1}{12}\times 2 + \frac{38\times 0.8^3}{12} = 3660\ cm^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3660}{2\times 28\times 1 + 38\times 0.8}} = 6.509\ cm$$

$$L_p = 1.76\, r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 273\ cm \rightarrow L_b > L_p \rightarrow$$ لازم است L_r تعیین شود

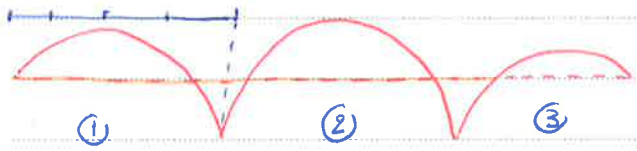
$$h_0 = 38+1 = 39$$

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x} = 57.18$$

$$J = 25.15$$

$\rightarrow L_r = 729\ cm$

6m



C_b برای ناحیه ① و ③ نباید بیشتر شود:

ناحیه اول: C_b و M_A شود

$$M(x) = 0.4qL\,x - qx^2/2 \quad , \quad 0 \le x \le 6$$

$$M(A) = |M_{(0.25L)}| = \frac{1}{100}qL^2$$

$$M_B = |M_{(0.5L)}| = \frac{3}{40}qL^2$$

$$M_C = |M_{(0.75L)}| = \frac{3}{160}qL^2$$

$$M_{max} = 0.1qL^2$$

$$C_b = \frac{12.5\times 0.1}{2.5\times 0.1 + 3\times\frac{1}{100} + 4\times\frac{3}{40} + 3\times\frac{3}{160}} = 1.538$$

Subject

Date

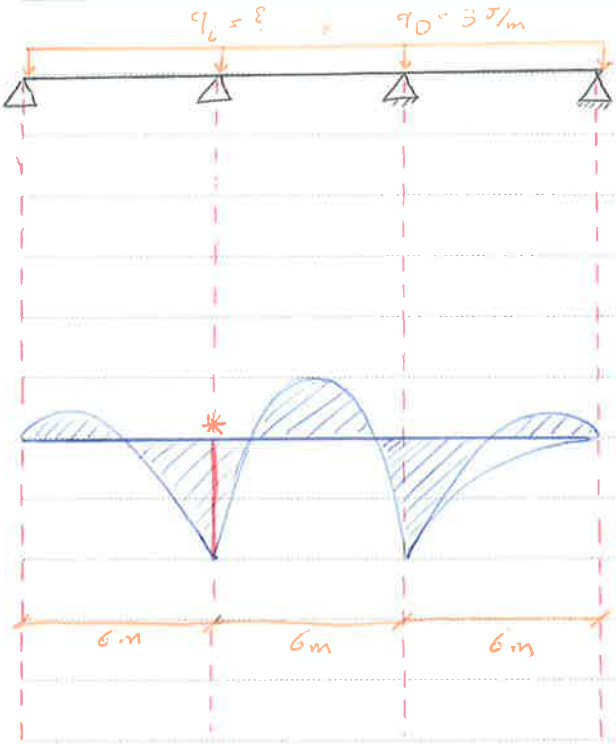
$$M_{n_2} = 1.538\left(49.7\times10^5 - (49.7\times10^5 - 0.7\times1248\times3600)\frac{600-273}{727-273}\right)$$

$$= 56.31\times10^5 \nleq M_{n_1} \Rightarrow M_{n_2} = M_{n_1} = 41.87\ t\cdot m$$

$$\underbrace{0.1qL^2}_{M_u} \leq 41.87\ t\cdot m$$

Subject

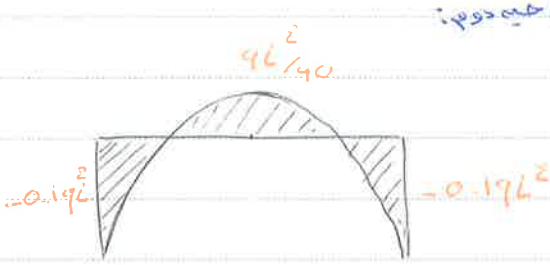
Date



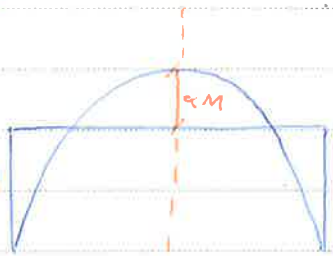
ناحیه اول و سوم:

$C_b = 1.538$

ناحیه دوم:



نکته: اگر نمودار لنگر در ناحیه‌ای سهمی بود و متقارن بود



$$C_b = \frac{\frac{qL^2}{40}}{\frac{qL^2}{10}} \quad \alpha = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$\alpha \leq \frac{1}{3} \rightarrow C_b = \frac{12.5}{4.05 \times 0.25} = 3.83$$

$$C_b \geq 3 \rightarrow \boxed{C_b = 3}$$

اگر $\alpha \geq \frac{1}{3} \rightarrow C_b = \frac{12.5}{1 + 8.5\alpha}$

اگر $\alpha \leq \frac{1}{3} \rightarrow C_b = \frac{12.5}{4 - 0.5\alpha}$

$$M_{n_2} = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_{n_1}$$

داشتیم: $M_{n_1} = \left[M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y) \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right] = 41.87 \times 10^5$ kg.cm

صفحه بعد

$L_p = 273 < L_b = 660 < L_r = 729$

Subject
Date

در ناحیه اول و سوم: $M_{n_2} = 1.538\left[49.7\times10^5 - (49.7\times10^5 - 0.7\times1248\times3600)\times\frac{600-273}{729-293}\right] = 563\times10^5 \nleq M_{n_1} = 41.87$

$\rightarrow M_{n_2} = 41.87\times10^5$

در ناحیه دوم: C_b از ناحیه اول بیشتر است پس:

$M_{n_2} \nleq M_{n_1} = 41.87 \rightarrow M_{n_2} = 41.87\times10^5$

در کل تیر طراحی M در * قرار دارد که:

$M_{design} = 0.1qL^2$ در کل تیر

$0.1qL^2 \leq 0.9\times41.87$ t.m

t/m ← m

$q \leq \frac{0.9\times41.87}{0.1\times(6^2)}$

$q_u \leq 10.47$ t/m ← بار گویت دار

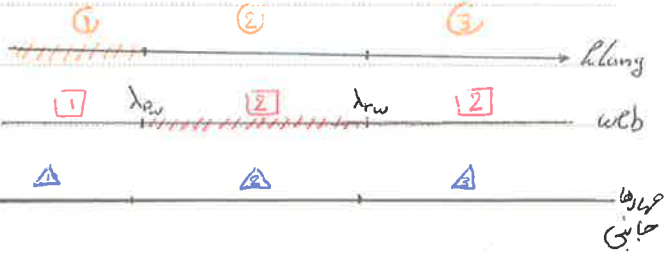
$q_u = 1.2q_D + 1.6q_L \leq 10.47$

$1.2\times3 + 1.6q_L \leq 10.47$

$q_L \leq 4.24$ t/m

حالت: بال فشرده و جان غیر فشرده:

بال	جان	L_b	
1	2	1	$M_{n_1} = R_{PC}M_y \leq M_p$ (حداکثر برابر)
1	2	2	$M_{n_2} = C_b\left[R_{PC}M_y - (R_{PC}M_y - 0.7\times F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \leq M_{n_1}$
1	2	3	$M_{n_2} = F_{cr}S_x \leq M_{n_1}$



مهارهای جانبی

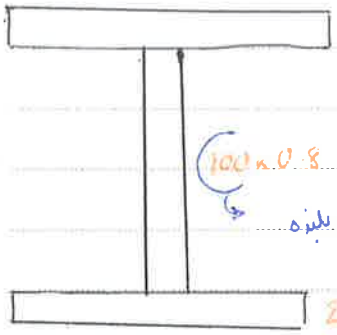
Subject
Date

$$R_{PC} = \left[\frac{M_P}{M_y} - \left(\frac{M_P}{M_y} - 1 \right) \frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right]$$

اگر $\lambda_w = \lambda_{pw} \Rightarrow R_{PC} = \frac{M_P}{M_y} = \frac{Z}{S}$

اگر $\lambda_w = \lambda_{rw} \Rightarrow R_{PC} = 1$

مثال: مطلوب است تعیین ظرفیت خمشی مقطع زیر:



جنس بلبه

$E = 2.04 \times 10^6$

$F_y = 2400$

$L_b = 3$

$C_b = 1.2$ ← چون پارگذاری داده نشده است

C_b را برابر ۱ فرض می‌کنیم

$$\lambda_f = \frac{25}{2 \times 1.2} = 10.42 < \lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.08$$

بال غیرفشرده است

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{100}{0.8} = 125$$

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{E/F_y} = 109.6$$

$$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{E/F_y} = 166.2$$

$\lambda_{pw} < \lambda_w < \lambda_{rw}$ ← جان غیرفشرده است

$R_{PC} = ?$

$Z = 5036$

$$M_p = Z F_y = \left[2 \times \left[(25 \times 1.2 \times 50.6) + (50 \times 0.8 \times 25) \right] \right] \times 2400 = 120.9 \times 10^5$$

بال فوقانی — جان

Subject

Date

$$I_x = \frac{25 \times 102.4^3}{12} - \frac{24.2 \times 100^3}{12} = 820245\ cm^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{51.2} = 4303$$

$$M_y = S_x F_y = 4303 \times 2400 = 103.3 \times 10^5$$

$$R_{pc} = \left[\frac{120.9}{103.3} - \left(\frac{120.9}{103.3} - 1 \right) \frac{125 - 109.6}{166.2 - 109.6} \right] \times 1.124$$

$L_b = 300$

$L_p = ?$

$L_r = ?$

نکته: اگر جان غیر فشرده بود

$$L_p = 1.1\, r_{ts} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

قبلاً: $L_p = 1.76\, r_y \sqrt{E/F_y}$ ← review

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y \times h_o}{2 S_x}$$

$h_o = 101.2$ ، $I_y = \frac{25^3 \times 1.2}{12} \times 2 + \frac{100 \times 0.8^3}{12} = 3129\ cm^4$

$r_{ts}^2 = \frac{3129 \times 101.2}{2 \times 4303} = 36.79 \rightarrow r_{ts} = 6.066\ cm$

$L_p = 1.1 \times 6.066 \sqrt{E/F_y} = 184.5\ cm \rightarrow L_b > L_p \rightarrow$ محاسبه L_r الزامی

$L_r = 1.95 \ldots = 681.2\ cm$

$J = \frac{[2(25 \times 1.2^3) + 100 \times 0.8^3]}{3} = 45.87\ cm^4$

$\rightarrow L_p < L_b < L_r$

P4PCO

Subject

Date

$$M_{n_1} = R_{pc} \times M_y = 1.124 \times 103.3 \times 10^5 = 116.1 \times 10^5 \ kg.cm$$

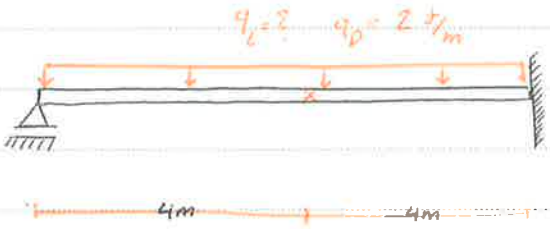
$L_p < L_b < L_r$ ← کمانش پیچشی-جانبی غیرالاستیک حاکم است.

$$M_{n_2} = 1.2\left[116.1\times10^5 - \left(116.1\times10^5 - 0.7\times2400\times1303\right)\frac{300-194.5}{681.2-194.5}\right] = 127.2\times10^5$$

M_n

$$M_{n_2} = 116.1\times10^5 \ kg.cm$$

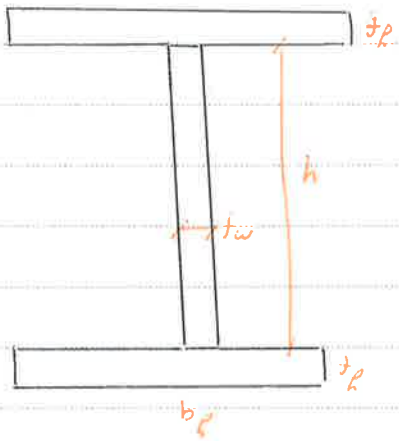
$$M_u \le \phi M_n \rightarrow M_u \le 0.9\times116.1 = 104.5 \ t.m$$



$L_b = 4m$ ..... مجهول است : q_L

$E = 2.04\times10^6 \ kg/cm^2$

$F_y = 2400 \ kg/cm^2$



b_f	t_f	h	t_w	q_L

Subject

Date

Subject
Date

بال غیرفشرده وجان غیرفشرده :

بال	جان	مهارهای جانبی	
(2)	2	1	$M_{n_1} = [R_{PC} M_y - (R_{PC} M_y - 0.7 S_x F_y)$
(2)	2	2	$M_{n_1} \geq M_n = C_b \left(R_{PC} M_y - (R_{PC} M_y - 0.7 S_x F_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right]$
(2)	2	3	$M_n = F_{cr} S_x \leq M_{n_1}$

غیرفشردگی بال $\left[\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right] \leq R_{PC} M_y$

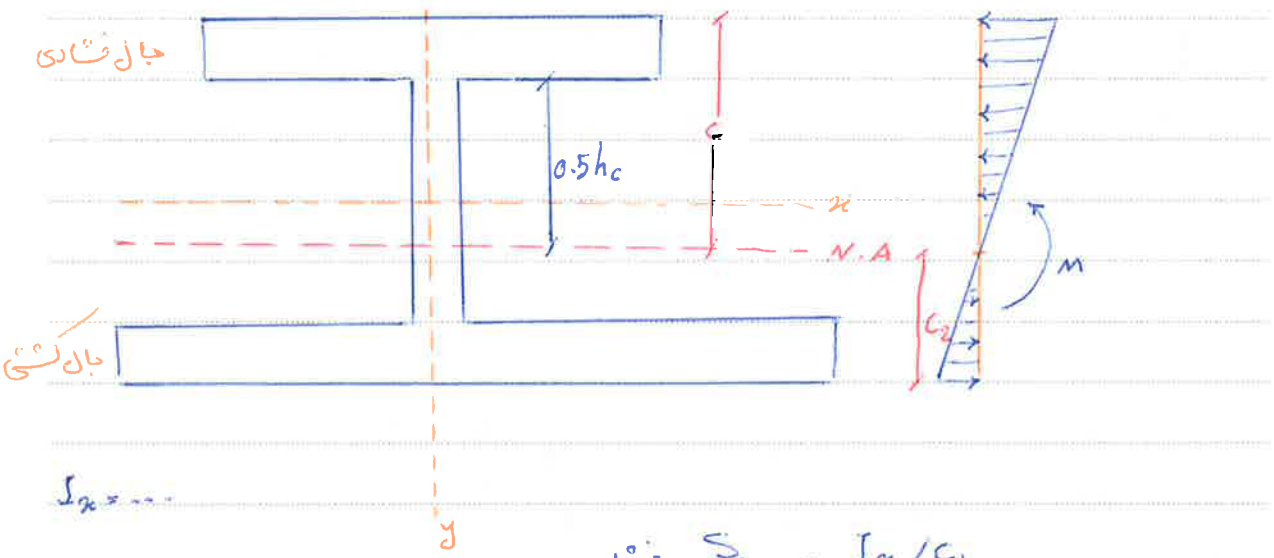
$$R_{PC} = \left(\frac{M_p}{M_y} - \left(\frac{M_p}{M_y} - 1 \right) \frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right)$$

ضریب بال استیل جان بت به بال فشاری

غیرفشردگی جان

مقاطع I شکل بامحور تقارن

(محور y محور تقارن رحمش حول محور قوی x اتفاق می افتد)



$I_x = \dots$

فشاری $S_{xc} \rightarrow I_x / c_1$

کششی $S_{xt} \rightarrow I_x / c_2$ $\rightarrow S_{xc} \neq S_{xt}$

Subject
Date

$$F_L = \begin{cases} 0.7F_y & \rightarrow S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7 \\ \max\left(\frac{S_{xt}}{S_{xc}}F_y\ ,\ 0.5F_y\right) & \rightarrow S_{xt}/S_{xc} < 0.7 \end{cases}$$

خنثی
$0.5h_c$: فاصله تار خنثی الاستیک تا زیر بال فشاری

ظرفیت خمشی اسمی مقطع برابر است با M_n

$M_u \leq \phi M_n$

$\phi = 0.9$

$M_n = \min\{M_{n_1}, M_{n_2}, M_{n_3}\}$

M_{n_1}: لنگر حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری (بال)

M_{n_2}: لنگر حالت حدی تسلیم بال فشاری و کششی (جان)

M_{n_3}: لنگر حالت حدی کمانش پیچشی جانبی (جهاز)

$$\frac{h_c}{t_w} = \lambda_w \quad ; \quad \lambda_w = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

جان فشرده است

$$\begin{cases} R_{pc} = M_p/M_{yc} \rightarrow M_{yc} = S_{xc}F_y \\ R_{pt} = M_p/M_{yt} \rightarrow M_{yt} = S_{xt}F_y \end{cases}$$

$$M_p = \min\left(Z_x F_y\ ,\ 1.6\, S_{xc} F_y\right)$$

i) $S_{xc} < S_{xt} \rightarrow M_{n_{g1}} = R_{pc} M_{yc}$

ii) $S_{xt} < S_{xc} \rightarrow M_{n_{g1}} = R_{pt} M_{yt}$

Subject
Date

$$\lambda_{pw} < \lambda_w < \lambda_{rw}$$ ← حال خواسته شده

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{y_c}} - \left(\frac{M_p}{M_{y_c}} - 1 \right) \frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right]$$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{y_t}} - \left(\frac{M_p}{M_{y_t}} - 1 \right) \frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right]$$

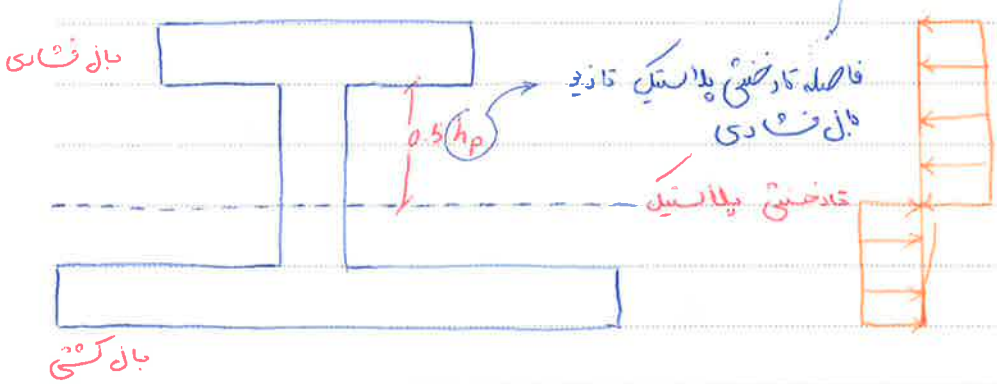
نکته

در این حالت نیز M_n ، M_{y_t} ، M_{y_c} از فرمول های قسمت جان فشرده بدست می آیند

$$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{pw} = \min \left(\frac{\frac{h_c}{h_p} \left(\sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09 \right)^2} \; , \; 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)$$

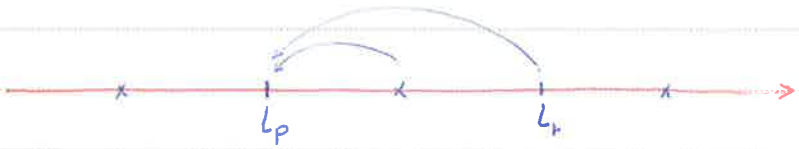
$$M_y = \min \left(M_{y_c} , M_{y_t} \right)$$



$M_n = ?$ با توجه به فاصله مهارهای جانبی

Subject

Date



* $L_b \le L_p$ $\quad M_{n_2} = M_{n_1}$
* $L_p \le L_b < L_r$ $\quad M_{n_2} = C_b \left[R_{PC} M_{y_c} - (R_{PC} M_{yc} - F_L S_{xc}) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \le R_{PC} M_{y_c}$
* $L_r \le L_b$ $\quad M_{n_2} = F_{cr} S_{xc} \le R_{PC} M_{yc}$

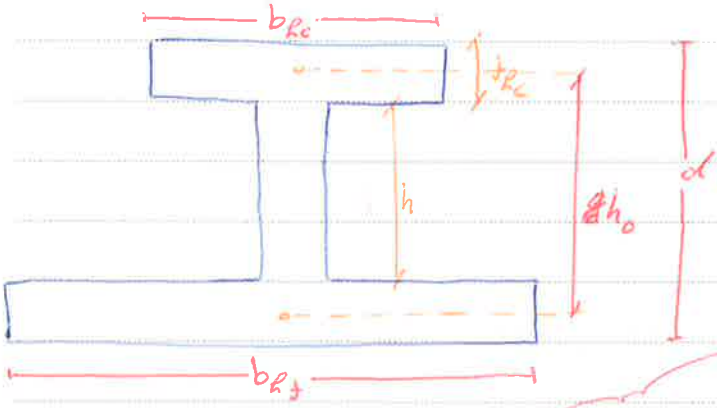
$$L_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \frac{S_{xc} h_o}{J} \right)^2}}$$

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

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

ضخامت بال فشاری



$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.087 \frac{J}{h_o S_{xc}} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2}$$

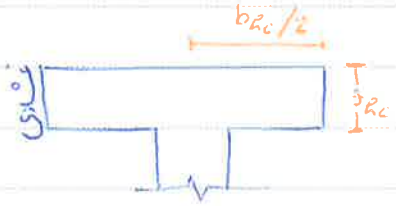
PgPCO

Subject

Date

$M_{n_3} = ?$ بر اساس فشردگی بال فشاری

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2 t_{fc}}$$



اگر $\lambda_f \le \lambda_{pf} \longrightarrow M_{n_3} = M_{n_1}$

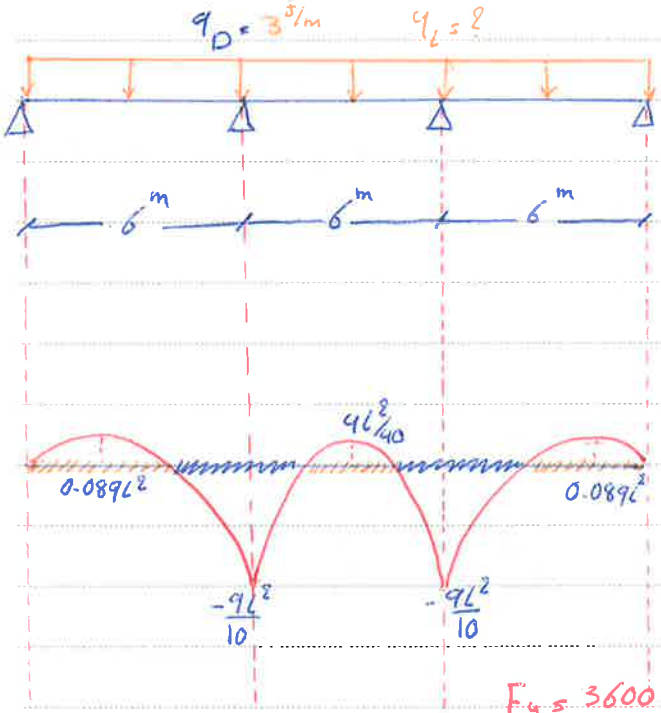
بال فشاری فشرده است

اگر $\lambda_{pf} < \lambda_f \le \lambda_{rf} \longrightarrow$

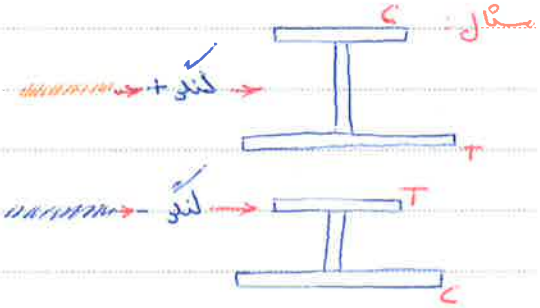
$$M_{n_3} = \left(R_{pc} M_{yc} - \left(R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc} \right) \frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

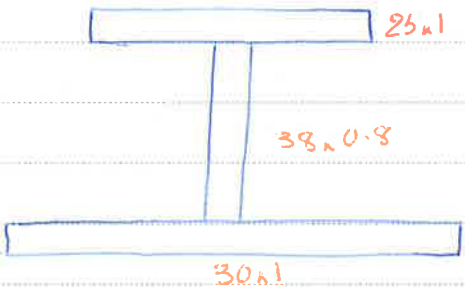
$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{rf} = 0.76 \sqrt{\frac{E}{F_L} k_c}$$



مثال:





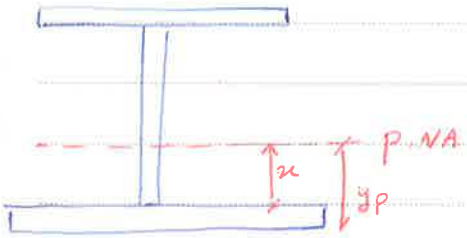
$F_y = 3600$

$E = 2.04 \times 10^6$

$L_b = 6m$

Subject

Date



حل:

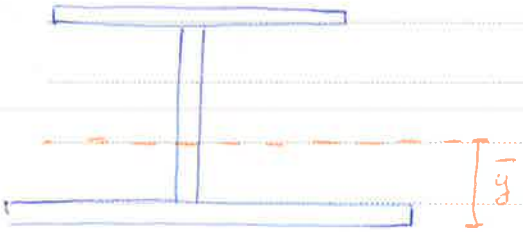
۱ام: محاسبه تار خنثی پلاستیک.

$A = 38\times0.8 + 25\times1 + 30\times1 = 85.4\,cm^2$

$A_c = A_t = A/2 = 42.7\,cm^2$

$42.7 = x\times0.8 + 30\times1 \longrightarrow x = 15.875$

$y_p = x + 1 = 16.875\,cm$



۲ام: محاسبه تار خنثی الاستیک.

$\bar{y} = (30\times1\times0.5 + 38\times0.8\times20 + 25\times1\times39.5)/85.4$

$= 18.86\,cm$

۳ام: محاسبه I_x:

$I_x = \frac{30\times1^3}{12} + 30\times1\times(18.86-0.5)^2 + \frac{38^3\times0.8}{12} + 38\times0.8(18.86-20)^2$

$+ \frac{25\times1}{12} + 25\times1\times(18.86-39.5)^2 = 24465\,cm^4$

۴ام: (تار خنثی مربوط - تار کشش مطابق)

$S_{xc} = \frac{I_x}{(40-18.86)} = 1157\,cm^3$

$S_{xt} = \frac{I_x}{18.86} = 1297\,cm^3$

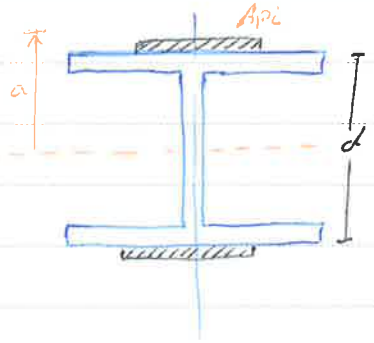
$M_{y_c} = S_{xc} F_y = 41.65$

$M_{y_t} = S_{xt} F_y = 46.69$

PAPCO

Subject

Date



تیر مقطع:

$Z_{PL} = \Sigma A_{PL} \times a$

$Z_{PL} \cong A_{PL} \times d \rightarrow A_{PL} = ?$

ادامه مثال:

$M_{max} = 18^{t-m}$

$M_{cr} = 13.56^{t.m}$

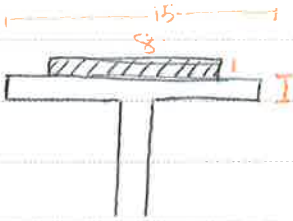
$\frac{M_{cr}}{M_p} = 0.85\%$ (حدس)

$Z_{PL} \times 2400 \times 0.85 = (18 - 13.56) \times 10^5 \ kg-cm$

$Z_{PL} = 217.6 \ cm^3$

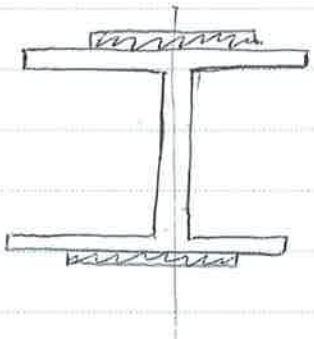
$Z_{PL} \cong A_{PL} \times d \xrightarrow{d \cong 30^{cm}} A_{PL} = \frac{217.6}{30} = 7.26$ ← سطح تقریبی

Try PL 8×1 cm^2



کنترل ضخامت: $8 \times 1 \leq 0.7(15 \times 1.07 + 8 \times 1)$

$8 \leq 14 \simeq$ ✓ O.K.

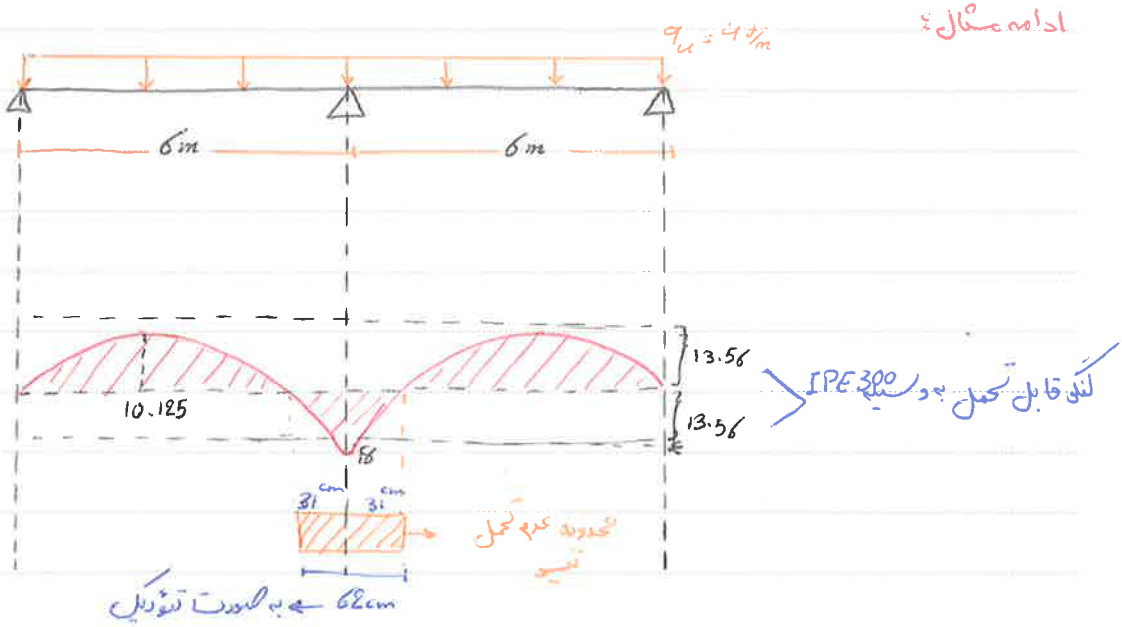


باید ضخامت جان را برای تیر دوبرابر تعیین کرد:

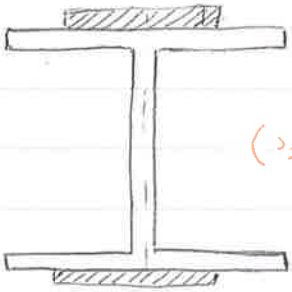
آیا از IPE بودن تیر در مثال تغییر می‌کند؟

Subject
Date

ادامه مثال:



لذا قابل تحمل به وسیله IPE300



نکته: محل حداکثر تنش در بال این نوع مقاطع I شکل در مرز بال و جان (در ستون) می‌باشد.

کنترل نامه

مساحت ورق تقویت نباید از 70% مساحت بال تقویت شده بیشتر باشد.

$S_{ورق} + S_{بال} \leq 0.7 \; S_{بال\ تقویت\ شده}$ مساحت صفحه تقویت

مقاومت نهایی مقطع که به صورت خمیری از M_p بدان گذر (حاصل)

نکته

مساحت تقریبی صفحه تقویت:

$$Z_{pl} \times F_y \frac{M_u}{M_p} = M_{max} - M_{u_1}$$

اساس مقطع پلاستیک صفحه تقویت (حدوث)

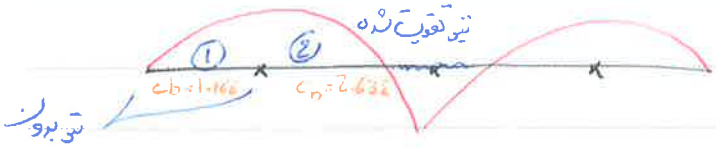
تنش تسلیم فولاد

لنگر پلاستیک مقطع با صفحات تقویت شده

بیشترین لنگری که در تیر وجود دارد

مقدار گشتاور خمشی تیر بدون تقویت M_{u_1}

Subject
Date



$L_b = 300 \quad L_b > L_p$ → L_r نیاز به محاسبه

$$L_r = 1.95 \times 3.658 \frac{2.04\times10^6}{0.7\times2400}\sqrt{\frac{20.9}{762.8\times29.62}} \times \sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7\times2400}{2.04\times10^6}\times\frac{762.8\times29.62}{20.9}\right)^2}} \Rightarrow L_r = 494.35\ cm$$

در ناحیه (1) از این مقطع استفاده نشده

در ناحیه (2)

$$L_p \le L_b \le L_r$$

$$M_n = C_b\left(M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y)\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \le M_p$$

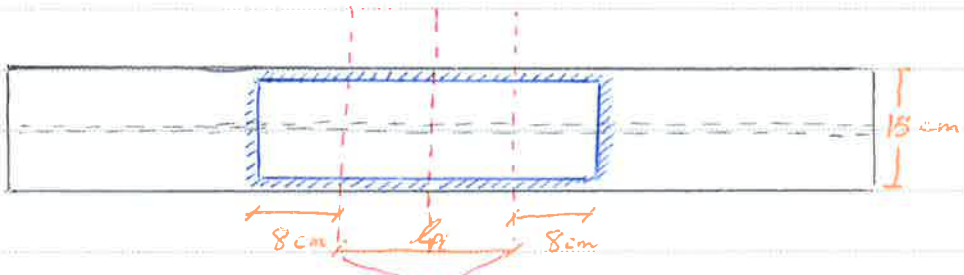
$$21.02\times10^5 \le 2.632\left(21.02\times10^5 - (21.02\times10^5 - 0.7\times762.8\times2400)\frac{300-161.2}{494.3-161.2}\right)$$

$\Rightarrow M_n = 21.02\times10^5$

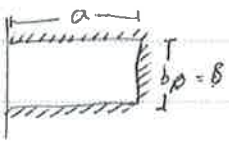
$M_u \le \phi M_n$

$18\times10^5 \le 0.9\times21.02\times10^5$

$18 \le 18.468 \quad \checkmark 0.K$



محل اجبار



کمترین ضخامت

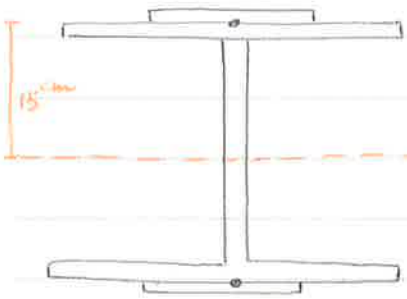
فرض می‌شود که ضخامت جوش از $\frac{3}{4}$ ضخامت صفحه تقویت بیشتر باشد

$a_{min} = b_p = 8$

use IPE300 + 2 PL 78×1 ← $L_{PL} = 2\times31 + 2\times8 = 78\ cm$

Subject

Date



I_x IPE360 نسبت به I_x

$I_x = 8360 + 2\left(\frac{8\times1^3}{12} + (8\times1)\times(15.5)^2\right)$

$= 12805$

$S_x = \frac{12205}{15+1} = 762.8$

فاصله تارهای تارهای بین ما

تارهای

$Z = 628 + (8\times1\times15.5)\times2 = 876$

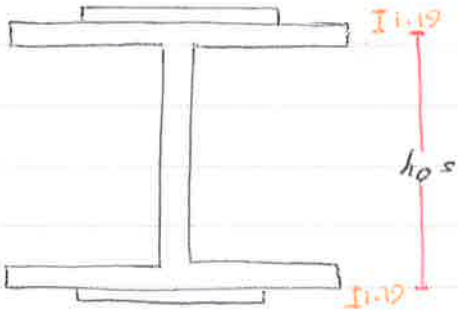
اساس مقطع IPE360

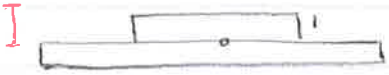
$M_p = Z F_y = 876\times2400 = 21.02\times10^5$ kg.cm

ظرفیت تقویت

$J = 15.57 + \frac{2\times8\times1^3}{3} = 209\ cm^4$

$h_0 = ?$ فاصله مرکز سطح تا ؟





$\bar{y} = \frac{1.07\times15\left(1+\frac{1.07}{2}\right)+8\times1\ (0.5)}{1.07\times15+8\times1} = 1.19$

$h_0 = (30+1+1) - 2\times1.19 = 29.62$ cm

$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x}$

$I_y = 604 + 2\left(\frac{8^3\times1}{12}\right) = 689.3\ cm^4$

$\rightarrow r_{ts}^2 = \frac{689.3\times29.62}{2\times762.8} = 13.383$

$\rightarrow r_{ts} = 3.658$ cm

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{689.3}{53.8+2\times8\times1}} = 3.14$ cm

$L_p = 1.76\, r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76\times3.14\sqrt{\frac{2.04\times10^6}{2400}} = 161.12$

Subject

Date

$S_y = \frac{I_y}{13-3.891} = 127.6\,cm^3$

ناصله تا دورترین تار

تار کشش

$y-y$

$\lambda_f = \frac{12}{1.5} = 8$

$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.08$ $\Big]\rightarrow \lambda_f < \lambda_{pf} \Rightarrow$ بال نشوده

$M_n = ?$

$Z_y = ?$

$A = 33.1 + 2\times 1.2\times 1.5 = 69\,cm^2$

$A_C = A_T = A/2 = 34.5$

$2\times 1.5\times x'_p = 34.5$

$x'_p = 11.5 \longrightarrow x_p = 13 - x'_p = 1.5\,cm$

Subject
Date

خلاصه: در مورد در مورد این طراحی وجود دارد:

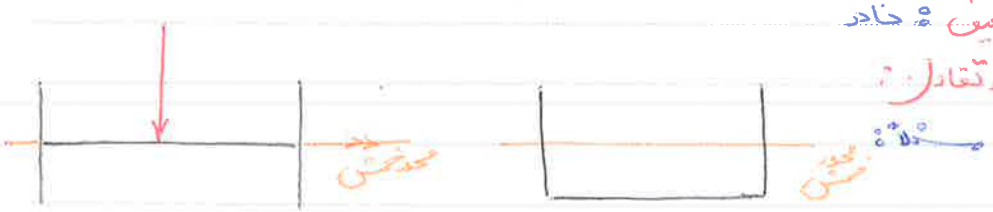
(I): در مقطع I تغییری کند و در نتیجه یک تیر غیر منشوری ایجاد. با تغییر I تمرکز تنش‌های داخلی به سمت مقطعی با I بیشتری رود

II: این تغییر خیلی محسوس نیست.

یادآوری

هنگامی تغییر I بودی دیاگرام... تأثیر دارد که ساده معین باشد

- خمش حول محور ضعیف: خاد
- با یک محور تقارن:



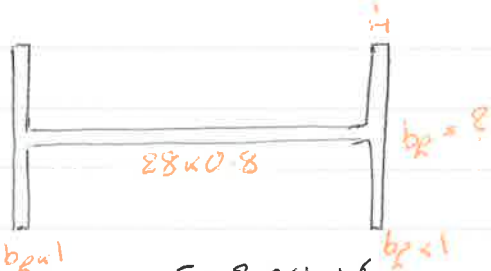
* در خمش حول محور ضعیف اتفاق نیافتد یکی از دو حالت زیر رخ می‌دهد:

$M_n = M_p = \min(Z_y \times F_y, 1.6 S_y F_y)$ ← اگر بال فشرده باشد

$M_n = \left(M_p - (M_p - 0.7 S_y F_y)\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$ ← اگر بال فشرده نباشد

مثال: برای برابری ضوابط دو مقطع، b_f را تعیین کنید.

$e_y = \frac{33 \times 1 \times 0.5 + 2(12 \times 1.5)(7)}{33 \times 1 + (12 \times 1.5) \times 2} \approx 3.891\ cm$



$I_y = \frac{33 \times 1^3}{12} + 33 \times 1 \times (3.891 - 0.5)^2 + 2\left(\frac{12^3 \times 1.5}{12} + (12 \times 1.5)(3.891 - 7)^2\right)$

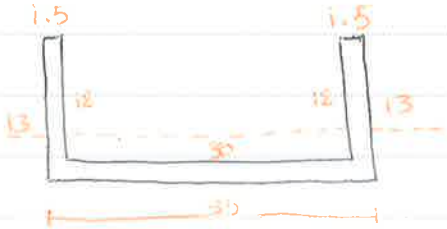
$= 1162\ cm^4$

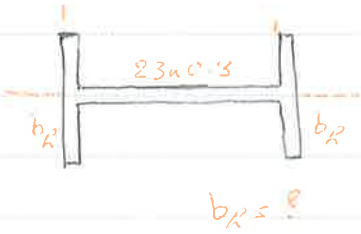
$E = 2.04 \times 10^6$

$F_y = 2400$

Subject
Date

ادامه مثال:





$$e_y = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} = 3.891\,cm$$

$I_y = 1162\ cm^4$

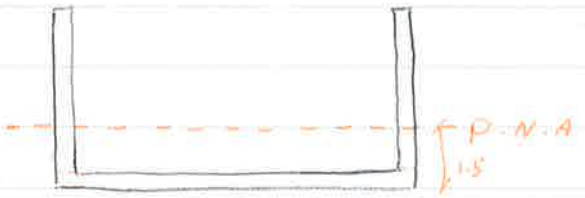
$S_y = 127.6\ cm$

مثال: Z: (دوتا متقارن)

$$\left(11.5 \times 1.5 \times \frac{11.5}{2}\right) \times 2$$

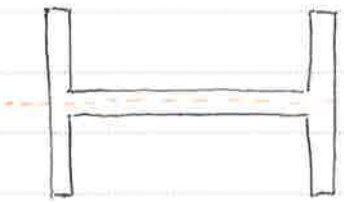
$$+ \left((0.5 \times 1.5) \times \frac{0.5}{2}\right) \times 2$$

$$+ (33 \times 1)(0.5 + 0.5) = 231.75\ cm^3$$



$$M_p = \min(F_y Z \ , \ 1.6 F_y S_y) = \min(2400 \times 231.75 \ , \ 1.6 \times 2400 \times 127.6)$$

$$= 4.9 \times 10^5\ kg.cm^*$$



فرض می‌کنیم که بال فشرده است:

$$Z_y = \left((b_f/2 \times 1)\, b_f/4\right) \times 4 + \left(\left(23 \times \frac{0.8}{2}\right) \times \frac{0.8}{4}\right) \times 2$$

$$= 204.2$$

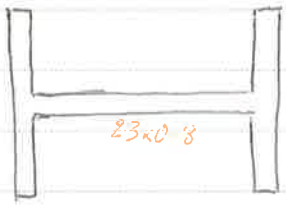
ضلعین جنبی ← جا فرض فشرده بال

$$M_p = Z_y F_y = 4.9 \times 10^5\ ^*$$

$$Z_y = \frac{4.9 \times 10^5}{2400} = 204.2\ cm^3 \longrightarrow b_f = 20.03$$

فرض اولیه

Subject
Date



$I_y = 2\times\frac{20^3\times 1}{12} + \frac{23\times 0.8^3}{12} = 1340\ cm^4$

$S_y = I_y/10 = 134\ cm^3$

$M_p = \min(F_y Z_y ; 1.6 F_y S_y)$

$M_p = 4.2\ t.m$

بررسی فشرده بودن اولیه:

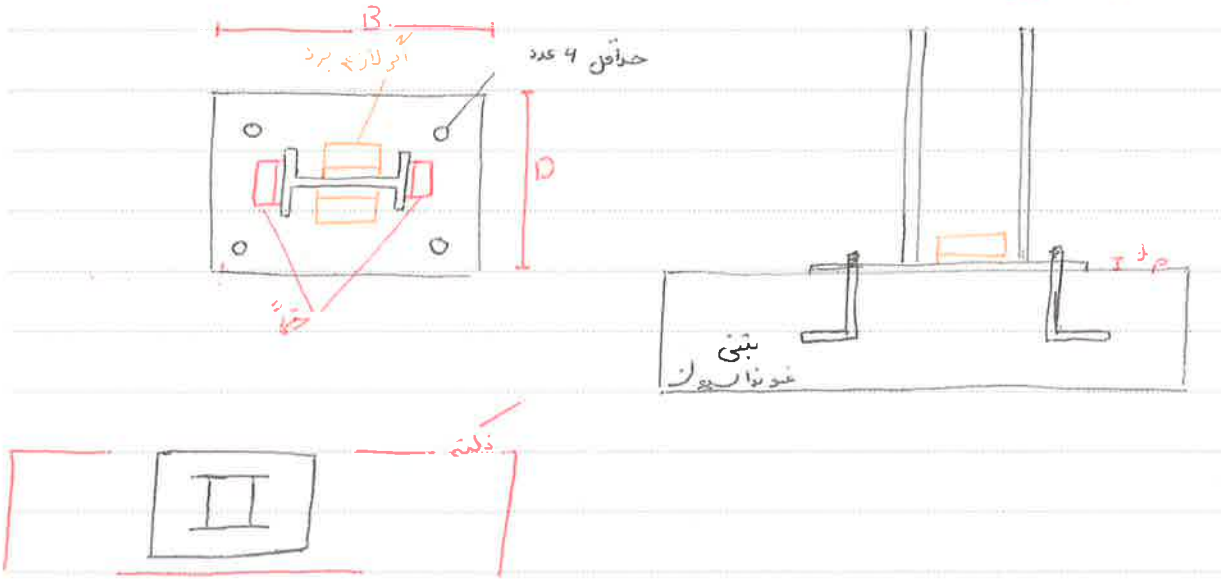
$b_f/2t_f = \frac{20}{2\times 1} = 10 \longrightarrow \lambda_{p_f} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.08$

$b_f/2t_f < \lambda_{p_f}$ ⟶ بال فشرده است

⇓

جان فشرده یا صحیح است

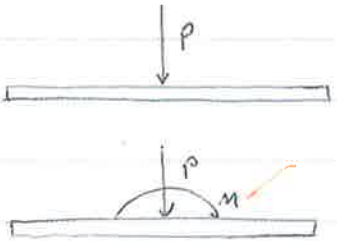
"Base Plate" صفحه زیر ستون



PARCO

Subject
Date

فونداسیون صلب بودن Base plate



دو حالت

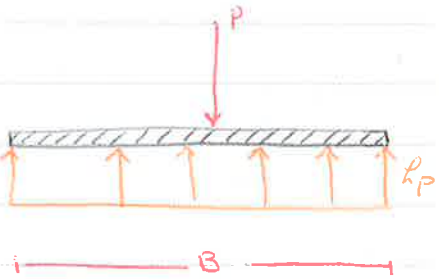
در یک محور

نکته: دو محور بررسی نمی کنیم (پیچیده تر و ولی بی توان حساب کرد)

$$f_p = \frac{P}{B \times D} \rightarrow \boxed{f_p < F_p}$$

تنش مقاوم بتن

تنش فشاری موجود در زیر ستون



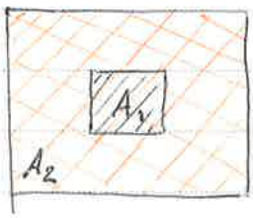
بعد عمود بر صفحه = D

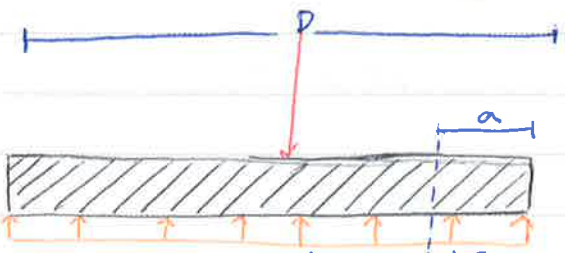
$$F_p = 0.3 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.6 f'_c$$

تنش مشخصه بتن 28 روزه

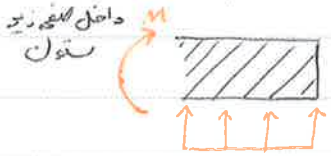
Base plate مساحت

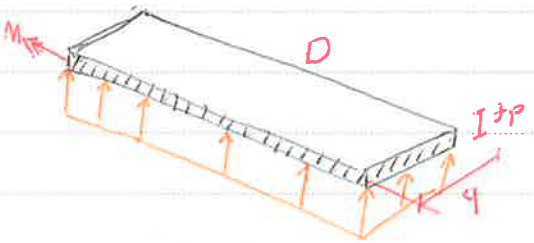
مساحت بتن





مقطع خطرناک بحرانی

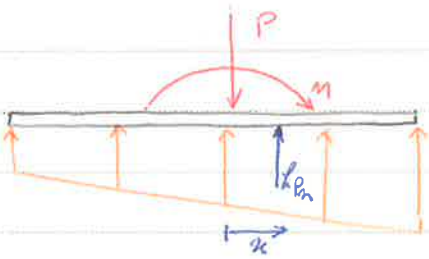




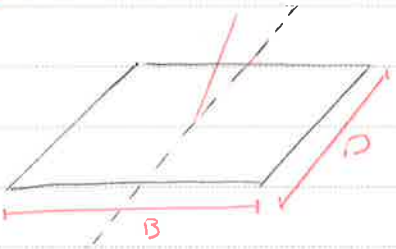
PgPCO

Subject

Date



فرض این است که عقلة تنش کششی نداریم



$$\sigma_{P_x} = \frac{P}{BD} + \frac{Mx}{\frac{B^3 D}{12}}$$

$$\sigma_{P_A} = \left[\quad \right._{x = B/2} \Rightarrow \sigma_{P_A} = \frac{P}{BD} + \frac{6}{B^2 D}$$

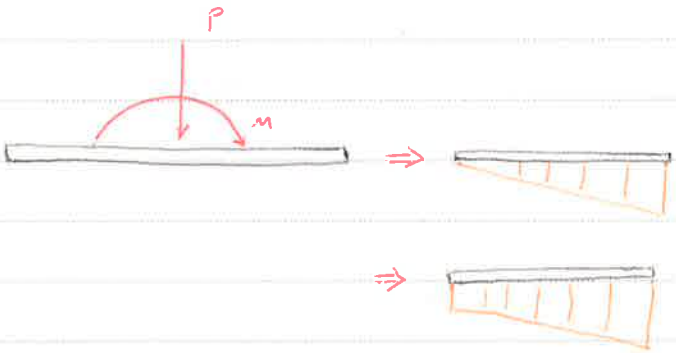
$$\sigma_{P_B} = \left[\quad \right._{x = -B/2} \Rightarrow \sigma_{P_B} = \frac{P}{BD} - \frac{6M}{B^2 D} \geq 0 \Rightarrow$$

نکته

چون در طبیعت تنش کششی نداریم.

$$\sigma_{P_B} = \frac{P}{BD} - \frac{6(Pe)}{B^2 D} = \frac{P}{BD}\left(1 - \frac{6e}{B}\right) \geq 0 \Rightarrow 1 - \frac{6e}{B} \geq 0 \Rightarrow 1 \geq \frac{6e}{B}$$

$$\Rightarrow e \leq B/6$$



$\Rightarrow$ اگر $e = \frac{M}{P} = \frac{B}{6}$

$\Rightarrow$ اگر $e < B/6$

نکته

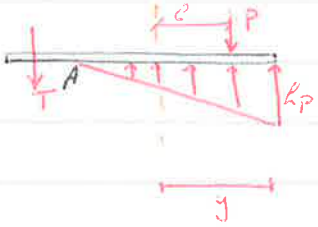
در عمل در پی های ساده ها با توجه به محدود بودن فضا برای در نظر گرفتن سنبل و عدم B.P در کف به صورت وسط به وسط، کنار دیوار در نظر گرفته شده و فونداسیون خمش ایجاد می شود.

Subject

Date

$\Rightarrow$

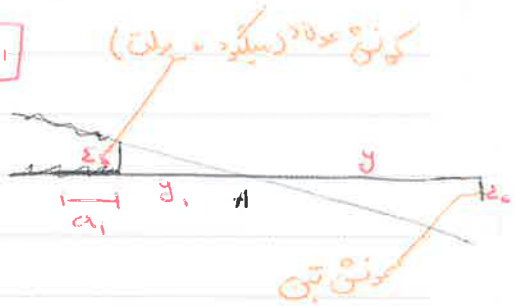
اگر $e = \frac{M}{P} > B/6$

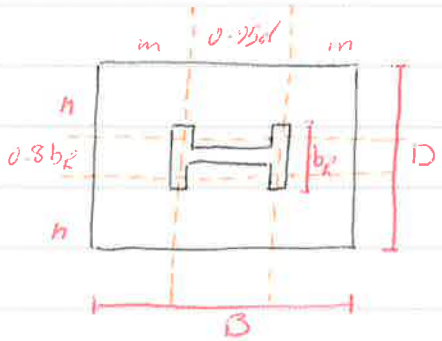


مجهولات

y	$\Sigma F_y = 0$	شرایط تعادل
k_P	$\Sigma M = 0$	" "
T	$\frac{\varepsilon_s}{y_1} = \frac{\varepsilon_c}{y}$	تشابه مثلث‌ها

$y_1 = B - y - a_1$





نحوه حل کردن:

$m = \frac{B - 0.95d}{2}$

$n = (D - 0.8b_e)/2$

d: ارتفاع مقطع I شکل

PqPCO

Subject

Date

Subject
Date

طراحی سازه های فولادی ۲

ویرهمایون جابری

فهرست:

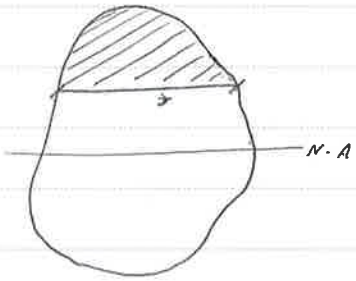
+ کنترل برش
+ کنترل تغییر مکان
+ کنترل لهیدگی در تکیه گاهها
+ تیرورقها
+ تیرستونها

+ تیرهای مرکب
+ اتصالات: پیچی و جوشی
+ تیرلانه زنبوری

منابع:

طراحی سازه های فولادی
دکتر اذهری جلد 5 و جلد 6

کنترل برش:



$f = \frac{VQ}{It}$

- f ← تنش برشی
- V ← عکس العمل تکیه گاه
- Q ← ممان اول سطح مقطع در محل برش
- I ← ممان اینرسی
- t ← ضخامت مقطع در محل برش

$V_u \le \phi_v V_n$

- V_u ← نیروی برش موجود در اثر بارضریب دار
- V_n ← ظرفیت برشی اسمی مقطع
- ϕ_v ← ضریب کاهش مقاومت

PqPCO

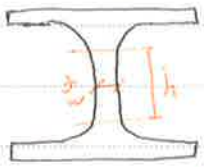
Subject

Date

محاسبه ϕ_v :

مقطع نورد شده :

$\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \phi_v = 1.0$



سایر مقاطع (تیر ورق) :

$\phi_v = 0.9$

$V_n = 0.6\, A_w\, F_y\, C_v$

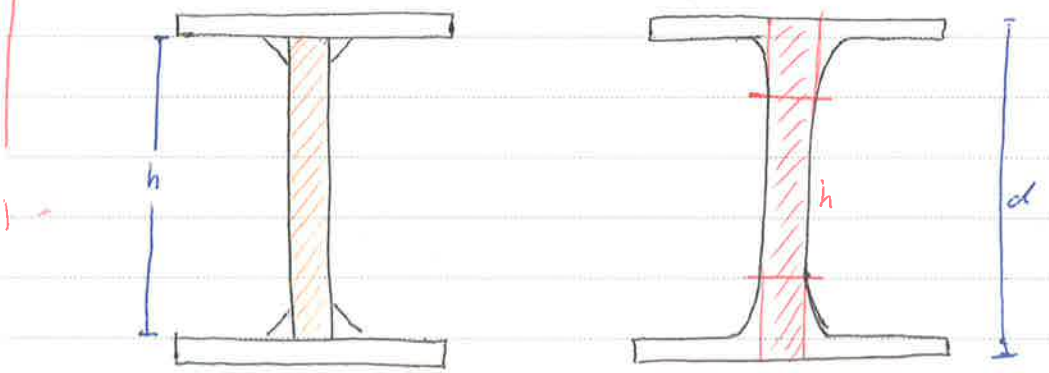
A_w : مساحت جان مقطع

F_y : حد تسلیم فولاد

C_v : ضریب کمانش جان تیر ورق یا جان بدون تسلیم

$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y}$

خلاصه



تیر ورق

$A_w = h\, t_w$

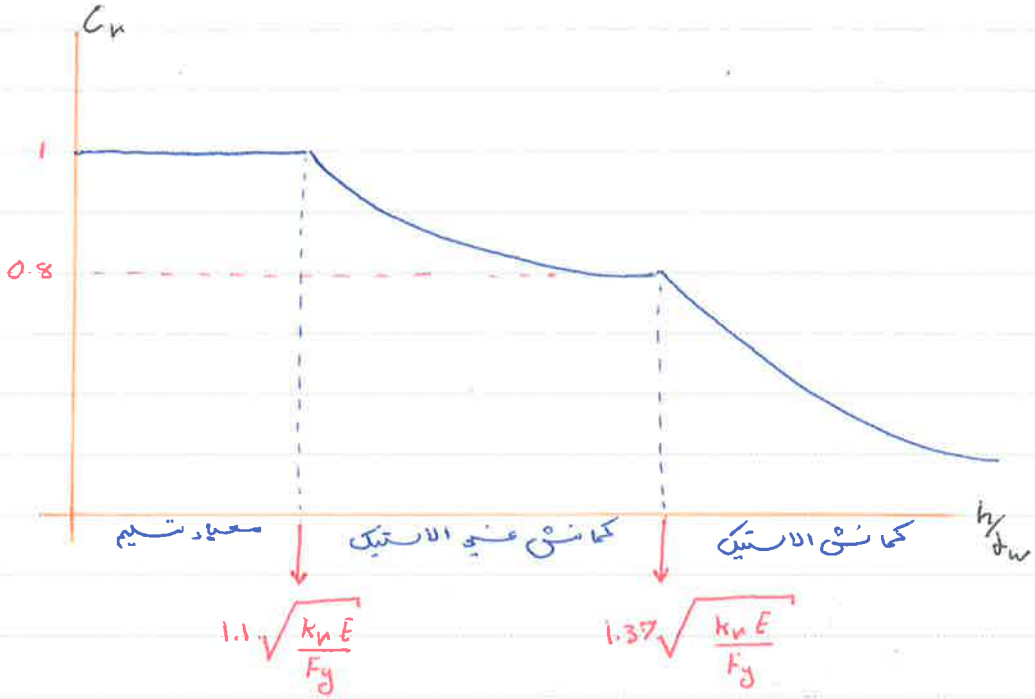
نورد شده

$A_w = d\, t_w$

Subject

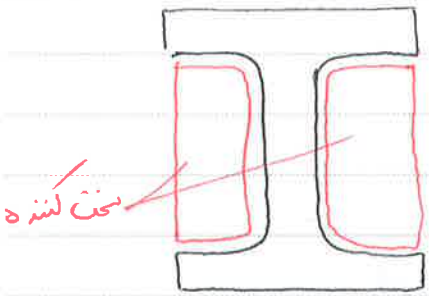
Date

محاسبه C_v : C_v بستگی به نسبت h/t_w دارد



$$C_v = \begin{cases} 1 & \leftarrow \quad \frac{h}{t_w} \leq 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{(h/t_w)} & \leftarrow \quad 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{1.51 E k_v}{F_y (h/t_w)^2} & \leftarrow \quad 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \leq \frac{h}{t_w} \end{cases}$$

محاسبه k_v : (ضریب کمانش برشی)



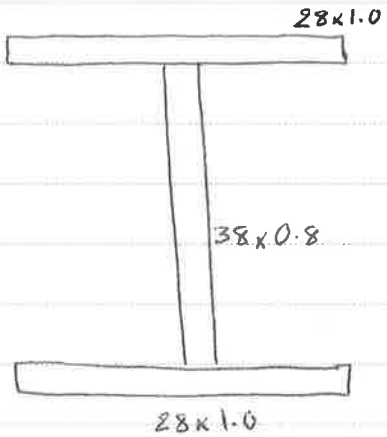
اگر $\frac{h}{t_w} \leq 260$ سخت کننده استفاده نشود

$k_v = 5$

سخت کننده در جهت نیروی برشی طراحی می‌شود

Subject
Date

مثال: بیشترین نیروی برشی قابل تحمل توسط مقطع زیر را محاسبه کنید.



$E = 2.04 \times 10^6 \ kg/cm^2$

$F_y = 2400 \ kg/cm^2$

حل:

$$V_u \le \phi_v V_n$$

$$V_u \le \phi_v (0.6 A_w F_y C_v)$$

ϕ_v: ضریب برای برش $\rightarrow \phi_v = 0.9$

A_w: سطح جان $\rightarrow A_w = 38 \times 0.8 = 30.4 \ cm^2$

F_y: تنش تسلیم $\rightarrow F_y = 2400$

C_v: ضریب برش $\rightarrow$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{38}{0.8} = 47.5 < 260 \rightarrow k_v = 5$$

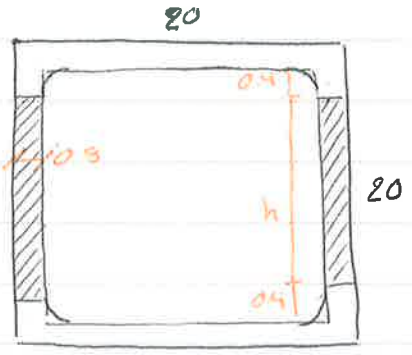
$$1.1\sqrt{\frac{E k_v}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{2.04\times10^6 \times 5}{2400}} = 58.6$$

71.71

$\rightarrow C_v = 1$

$V_u \le 59100 \ kg \rightarrow V_u \le 59.1 \ ton$

Subject
Date



مثال: $V_u = ?$

$V_u = ?$

$A_w = 2ht_w$

$h = 20 - \left[(0.8+0.8)+(0.8)\right] = 17.6\,cm$

$A_w = 2\,(17.6)(0.8) = 28.16\,cm^2$

$k_v = 5$

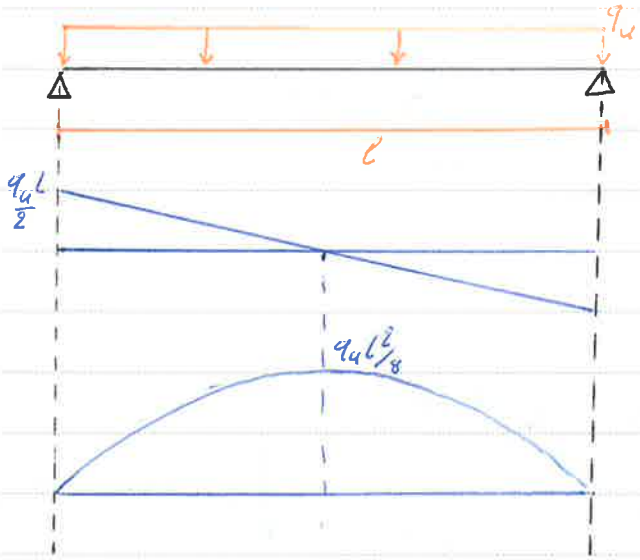
$$1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5\times 2.04\times10^6}{2400}} = 58.6$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{17.6}{0.8} = 22 \qquad \frac{h}{t_w} < 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \Rightarrow C_v = 1$$

$$V_u \le 0.9\times 0.6\times 28.16\times 2400\times 1 = 36.5\ ton$$

جلسه دوم (95 / 11 / 24)

مقداد یا داخیان محاسبه کنید که ظرفیت خمشی و برشی تحمل شوند.



$E = 2.04\times10^6$

$F_y = 2400$

$L_b = 0$

IPE 240 $\Rightarrow$ $Z = 366\,cm^3$

$b_f = 12\,cm$

$t_f = 0.98\,cm$

$d - 2k = 19\,cm$

$t_w = 0.62\,cm$

PdPCO

Subject
Date

$C_b = 1$ ← حال مقطع وجان مقطع فرودگاه

$M_n = M_p$

$M_p = Z \times F_y = 366 \times 2400 = 8.784 \times 10^5$ kg.cm → $M_u < 0.9 \times 8.784 = 7.906$ t.m

$M_u < \phi M_n$

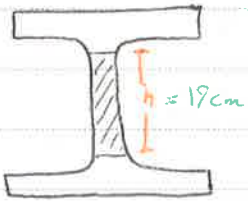
$\Rightarrow \frac{q_u L^2}{8} = 7.906$

برش:

$V_u < \phi_v V_n$

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

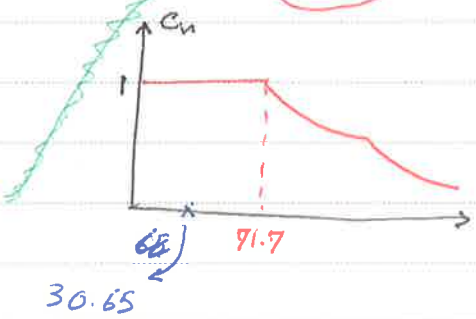
$A_w = h \times t_w$



$h/t_w = \frac{19}{0.62} = 30.65 < 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 65.3$ ✓ → $\phi_v = 1$

$K_v = 5$

$1.1\sqrt{\frac{5 \times 2.04 \times 10^6}{2400}} = 71.7$



$h/t_w < 71.7 \Rightarrow C_v = 1$

$V_u < 1 \times (0.6 \times 2400 \times (19 \times 0.62) \times 1)$

$V_u = 21.43$ t.m

نتیجه:

$V_u = \frac{q_u L}{2} = 21.43$ t.m

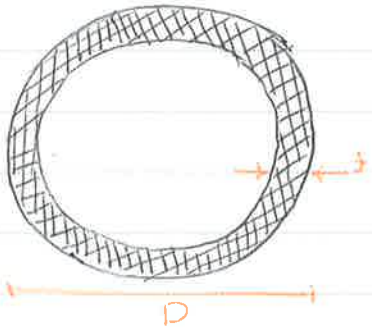
$M_u = \frac{q_u L^2}{12} = 7.906$

$\div \Rightarrow L = 1.48$ m

اگر $L < 1.48$ ← برش حاکم ← (شعاع مقطع و سپس برش تعیین و میزان q_u برای آن)

اگر $L > 1.48$ ← خمش حاکم ← (" " " " " q_u)

Subject
Date



تعیین ضخامت دیواره مقطع لوله‌ای ←
(P.P.C)

$V_u < \phi_n V_n$

$\phi_n = 0.9$

$V_n = \frac{1}{2} F_{cr} A_g$

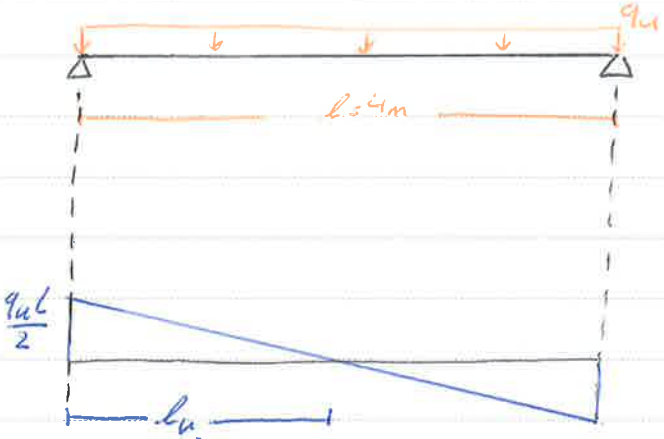
$A_g = \frac{\pi}{4}(D^2 - (D-2t)^2)$

$$F_{cr} = \max\left(\frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_u}{D}}\,(D/t)^{1.25}} \;,\; \frac{0.78E}{(\frac{D}{t})^{1.5}} \right) \leq 0.6F_y$$

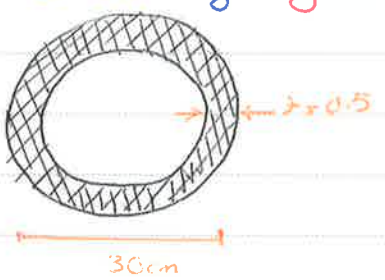
تنش بحرانی دیواره

L_u: فاصله بین محل بست‌های مجاور

مثال: $E = 2.04\times10^6$ ، $F_y = 2400$



$\ell_u = 2m = 200cm$



$$F_{cr} = \max\left(\frac{1.6\times2.04\times10^6}{\sqrt{\frac{200}{30}}\,(30/0.5)^{1.25}} \;,\; \frac{0.78\times2.04\times10^6}{(\frac{30}{0.5})^{1.5}} \right) \leq 0.6\times2400$$

$\rightarrow F_{cr} = 1440$

$V_u \leq 0.9\left(\frac{1}{2}\times1440\times\frac{\pi}{4}(30^2-29^2)\right)$

$V_u \leq 30.027$ Kg/ton

$q_u \times 4/2 = 30.027 \rightarrow q_u = 15$ t/m

PdPCO

Subject
Date

کنترل خیز

علاوه بر تحمل بار کافی در کلیه حیز دهم باید سختی لازم را داشته باشد

$$\delta_{DL+LL} < \frac{L}{240}$$

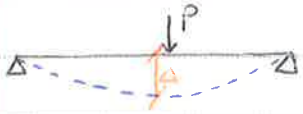
$$\delta_{LL} < \frac{L}{360}$$

نکته اساسی

مقدار خیز در فرمولهای فوق بدون بار گذاری ضریب محاسبه می‌شود

یادآوری

تغییر مکان در تیر یک سره (Δ)



$$\Delta = PL^3/48EI$$

فرمول تقریبی برای تیرهای سرتاسری

$$\delta_{\text{وسط دهانه}} = \frac{5L^2}{48EI}\left[M_C - 0.1(M_L + M_R)\right]$$

δ وسط دهانه: چون یک اسم برده چعنی کن صوفی وسط دهانه نداریم.

M_C: لنگر وسط دهانه مورد نظر

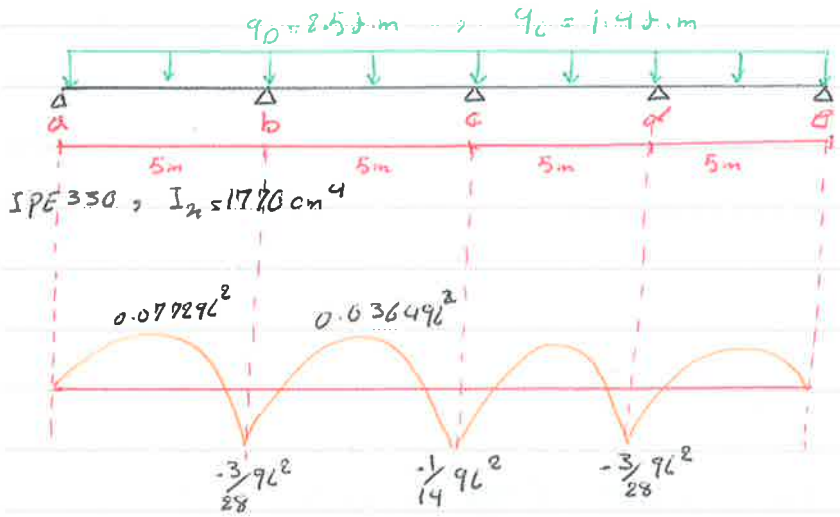
$M_L > 0$ اگر لنگر دهانه سمت چپ

$M_R > 0$ اگر لنگر دهانه سمت راست

PdPCO

Subject
Date

مثال: تیر زیر را تحلیل و کنترل تغییر مکان کنید؟



حل:

تیر ab دهانه 1st و دهانه de مشابه ((de)) :

$q = q_D + q_L = 2.5 + 1.4 = 3.9$ t.m

$M_L = 0$

$M_R = \frac{3}{28}(3.9)(5)^2 = 10.45$ t.m

$M_L = 0.07029(3.9)(5^2) = 7.527$ t.m

t.m → kg.cm واحد سازی

$$\delta = \frac{5(500)^2}{48 \times 2.04 \times 10^6 \times 11770}\left(7.527 - 0.1(0 + 10.45)\right) \times 10^5$$

$$\delta_{D.L+L.L} = 0.702\ cm < \frac{L}{240} = \frac{500}{2400} = 2.08\ cm \quad O.K$$

$$\delta_{L.L} = \frac{0.702}{3.9} \times 1.4 = 0.252\ cm < \frac{L}{360} = \frac{500}{360} = 1.39\ cm \checkmark$$

$q_D + q_L$ ← q_L

Subject

Date

$M_C = 0.0364\, wL^2 = 0.0364 \times 3.9 \times 25 = 3.549$ t.m : bc عند

$M_L = \frac{3}{28} wL^2 = 10.45$ t.m

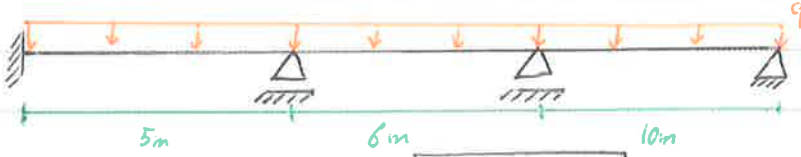
$M_R = \frac{1}{14} wL^2 = \frac{1}{14} \times 38.9 \times 25 = 6.966$ t.m

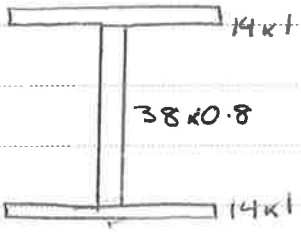
$$\delta_{DL+LL} = \frac{5 \times 500^2}{48 \times 2.04 \times 10^6 \times 1770} \left[3.549 - 0.1(10.45 + 6.966) \right] \times 10^5$$

$$= 0.196 < \frac{500}{240} = 2.08 \quad \text{OK}$$

$$\delta_{L.L} = 0.196 \times \frac{1.4}{3.9} = 0.0704 < \frac{500}{360} = 1.39 \quad \text{OK}$$

تمرين: بيام خمش وبرش وحنيه q_u





$E = 2.04 \times 10^6$ kg/cm^2

$F_y = 2400$ kg/cm^2

$q_D = 2 q_L$

$L_b = 0$

PAPCO

Subject
Date

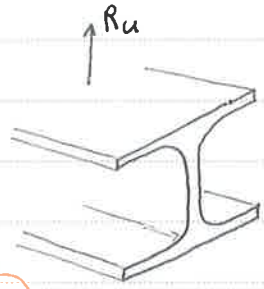
جلسه (8 ، 12 ، 95)

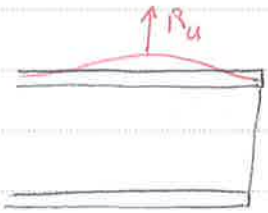
کنترل لهیدگی

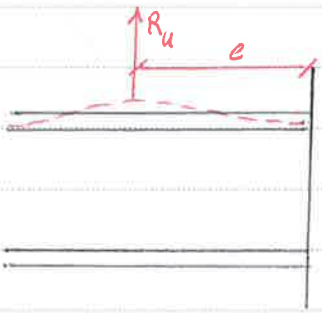
بیشتر در تیرها و در محل بارهای متمرکز که عامل بی دقت یا احتجاج ان.

پس در هر نقطه که بار متمرکز داشتیم انجام کنترل لهیدگی می باشد.

۱- کنترل جان تیر در مقابل خمش در اثر بار کششی:







(0.9) ← ضریب کاهش مقاومت

$R_u \le \varphi R_n$

R_u ← بار ضریب دار

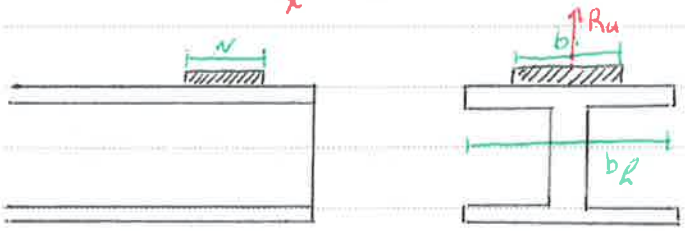
R_n ← ظرفیت اسمی تیر

$R_n = \begin{cases} 6.25\, t_f^2\, F_{yf} & \leftarrow e \ge 10 t_f \\ \frac{1}{2} \times 6.25 \times t_f^2 \times F_{yf} & \leftarrow e < 10 t_f \end{cases}$

(بار در میانه تیر / بار در کناره تیر)

t_f: ضخامت بال تحت کشش

F_{yf}: تنش تسلیم بال کشش

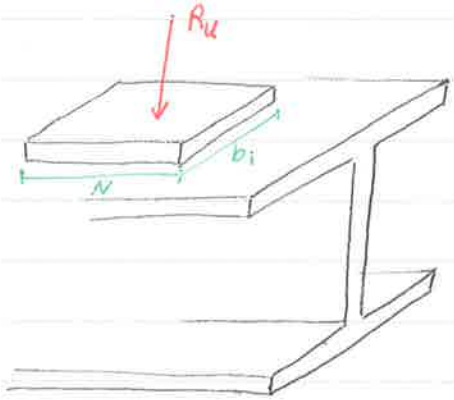


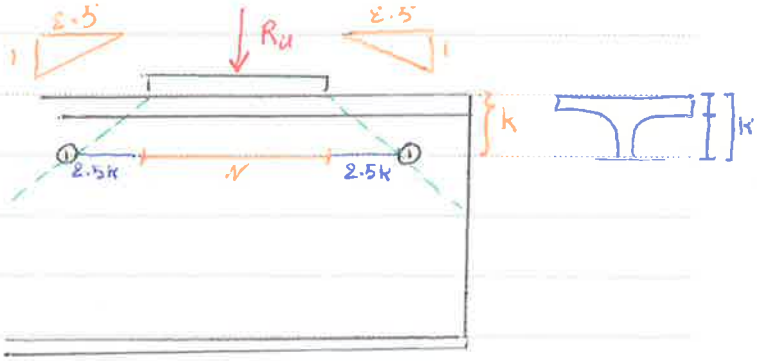
نکته:

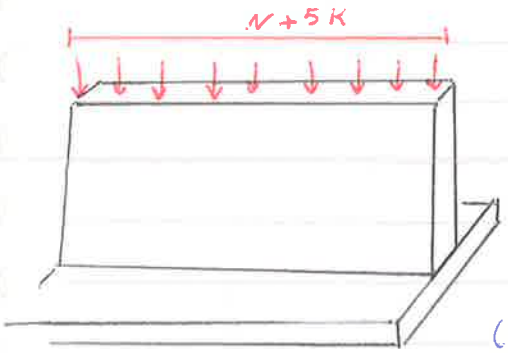
اگر $b_1 \le 0.15 b_f$ باشد به کنترل فوق نیازی نیست

Subject
Date

۲. کنترل تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز (فشاری یا کششی)







۱ـ اعضا:

$\frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}} = F_y \Rightarrow \frac{R_n}{(N+5k)t_w} = F_{yw}$ ← جان

$R_u \le \phi R_n$

برای بار ← $F_{yw} \times t_w (N+5k)$ (میانی)

t_f , k

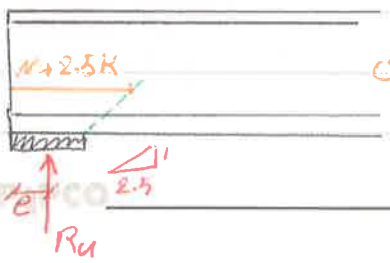
خود نشده با چشمی منقطع

k

خود نشده با چشمی سراسری

k

خود نشده



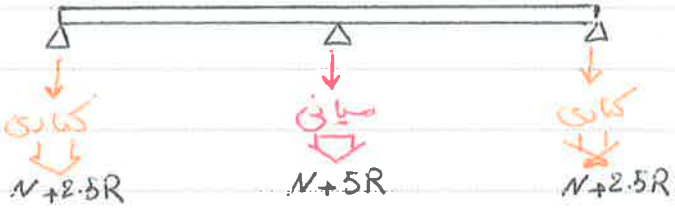
بارگذاری $R_u \le \phi R_n \rightarrow R_n = F_{yw} \times t_w (N+2.5k)$

$e \ge d$ بار میانی

$e < d$ بار کناری

ارتفاع کل مقطع تیر

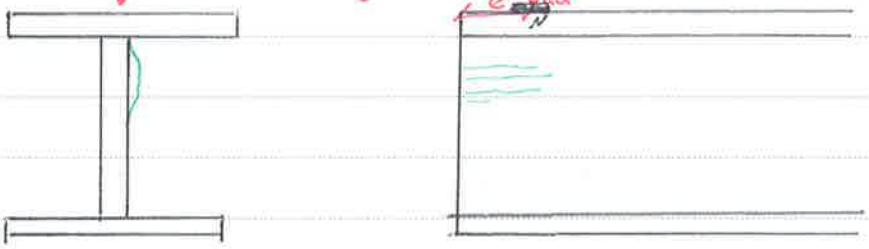
Subject
Date



کنترل ← ① کشش
② کشش دفنی
③ فشاری
④ فشاری

خلاصه:
همیشه $N \geq k$

3) کنترل لهیدگی موضعی جان در مقابل بارهای متمرکز (جوشی)



مقاومت با عمق کمتر

بارمیانی $e \geq \frac{d}{2}$

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

$$R_u \leq \phi R_n \quad \phi = 0.75$$

بارکناری $e < \frac{d}{2}$

$\frac{N}{d} \leq 0.2$

$$R_n = 0.4 t_w^2 \left[\quad\right]\sqrt{\quad}$$

$\frac{N}{d} > 0.2$

$$R_n = 0.4 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\quad}$$

4) کنترل کمانش جانبی جان در برابر فشار متمرکز

بسته به نحوه بال بارگذاری شده درمقابل دوران زاویه‌ای یکی از دو حالت زیر پیش می‌آید

* 4-A) اگر بال بارگذاری شده در برابر دوران زاویه‌ای مهار شده

$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} \leq 2.3$

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

$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} > 2.3$ ← نیازی به کنترل ندارد

* 4-B) اگر بال بارگذاری شده در برابر دوران زاویه‌ای مهار شده

$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} \leq 1.7$

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

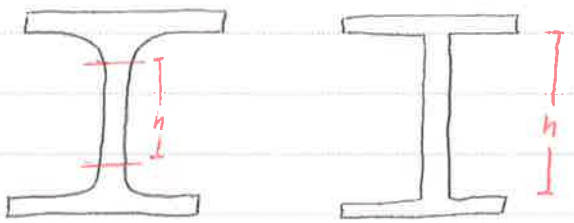
$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} > 1.7$ ← نیازی به این کنترل نیست.

$$R_u \leq \phi R_n \quad \phi = 0.85$$

PaPCO

Subject
Date

h_c :



C_r :

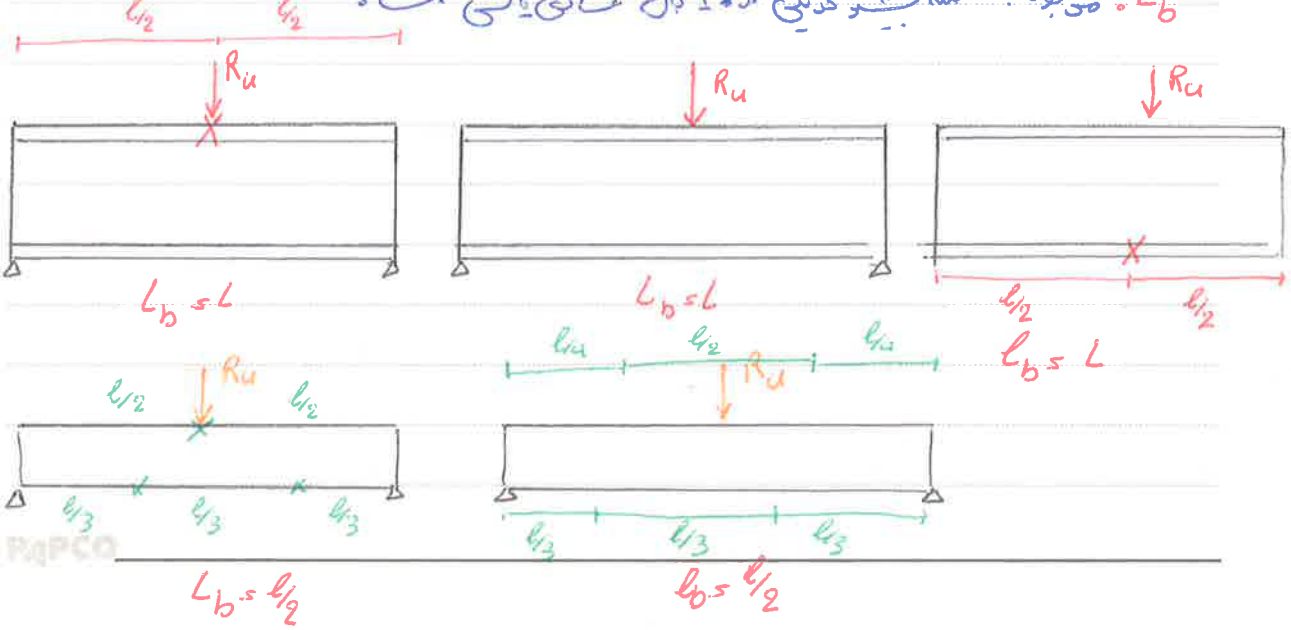
$C_r = 6.75 \times 10^7 \ kg/cm^2$ $\quad M_u < M_y$ → $S_x F_y = M_y$

$C_r = 3.375 \times 10^7 \ kg/cm^2$ $\quad M_u \geq M_y$

↳ R_u مقدار لنگر دخل اعمال باد

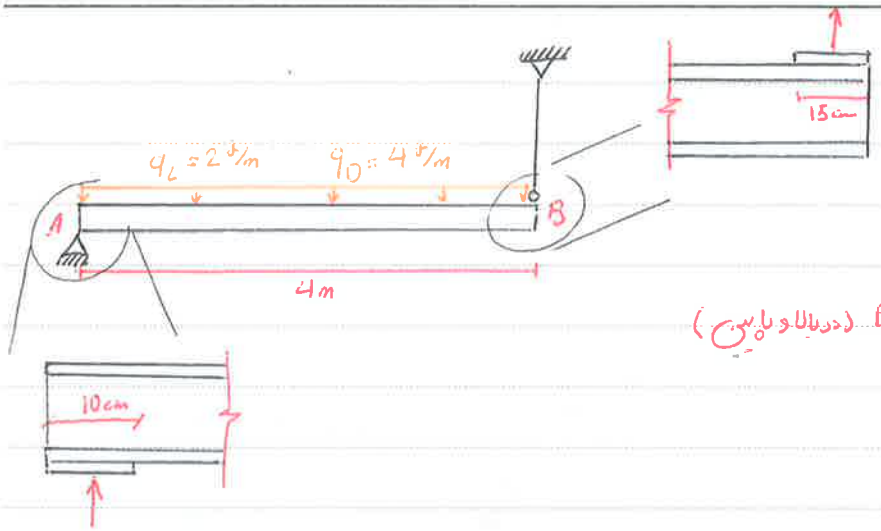
L_b : فاصله میل مهارهایی که از حرکت بال های فشاری در محدوده R_u جلوگیری می کند.

L_b : مربوط به فاصله بین دو تکیه گاه از بال فشاری آن است :



Subject
Date

مثال:



$F_y = 2400$

$E = 2.04 \times 10^6$

مهاربندی جانبی در A و B (در بالا و پایین)

step1:

$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 8$ t/m

$\Rightarrow M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{8 \times 4^2}{8} = 16$ t-m

$V_u = \frac{q_u \times L}{2} = 16$ t

step2:

خمش (طراحی از IPE)

$M_u \leq \varphi M_n$

$\hookrightarrow M_n = 80\% M_p$ نوع طراح

$16 \times 10^5 \leq 0.9 (0.8 \times \underbrace{Z \times F_y}_{M_p}) \rightarrow Z \geq 926 cm^3$

اشتال

$Z = 1020 cm^3$, $S_x = 904$, $r_y = 3.79$, $b_f = 17$: try IPE 360

$t_f = 1.27$, $t_w = 0.8$, $K = 3.07$

نوردشده

بال و جان فشرده است

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 194.5$

$L_b = 400 > L_p \rightarrow L_r$ نوع محاسبه

PqPCO

Subject

Date

$h_0 = 36 - 1.27 = 34.73$

$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2 S_x} = 19.98 \longrightarrow r_{ts} = 4.469$

$J = \frac{1}{3}\sum b_i t_i^3 = 88.93\ cm^4$

$L_r = 1.95 \ldots = 603.5$

$L_b = 400\ cm$

$L_p = 194.5$

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

$C_b = 1.136 <=$ C_b محاسبه

$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 S_x h_y) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right]$

($M_p = Z_x \cdot F_y$)

$M_n = 1.136 \left[1020 \times 2400 - (1020 \times 2400 - 0.7 \times 904 \times 2400) \frac{400 - 194.5}{603.5 - 194.5} \right]$

$= 22.51 \times 10^5\ kg \cdot cm$

$M_u \leq 0.9 M_n \longrightarrow \frac{8 \times 4^2}{8} \leq 0.9 \times 22.51 \longrightarrow 16 \leq 20.25$ O.K ✓

البته بدلیل احتمال زیاد $M_u > \phi M_n$

می توان مقطع کوچکتر در نظر گرفت.

try IPE 330 $\Rightarrow M_n = 17.18\ t.m$

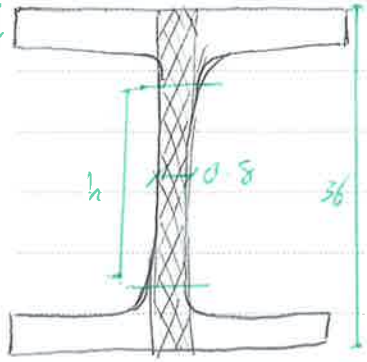
$16 = M_u \leq 0.9 (17.18)$

$16 \not\leq 15.46 \Rightarrow$ IPE 330 جواب نیست.

Subject
Date

: step3

بررسی برش:



$$h/t_w = \frac{36 - 2\times 3.07}{0.8} = 35.53 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 65 \Rightarrow \varphi_v = 1$$

$$k_v = 5 \Rightarrow \frac{h}{t_w} \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \text{ ok} \Rightarrow C_v = 1$$

$$V_n = 0.6 \times 2400\,(36\times 0.8)\times 1 = 41.47\times 10^3\ kg$$

$$V_u \le \varphi_v V_n \longrightarrow 16 \le 1\times 41.47 \text{ ok} \checkmark$$

: step4

بررسی خیز:

$$\delta_{D+L} = \frac{5}{384}\frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384}\times\frac{60\times(400)^4}{2.04\times10^6\times 16270} = 0.603\ cm < \frac{400}{240} = 1.67 \checkmark$$

$$q_{D+L} = 4+256\ t/m = 6000\ kg/m = 60\ kg/cm \ *$$

$$\delta_L = 0.603\times\frac{2}{6} = 0.201\ cm < \frac{400}{360} = 10.1\ cm \text{ ok} \checkmark$$

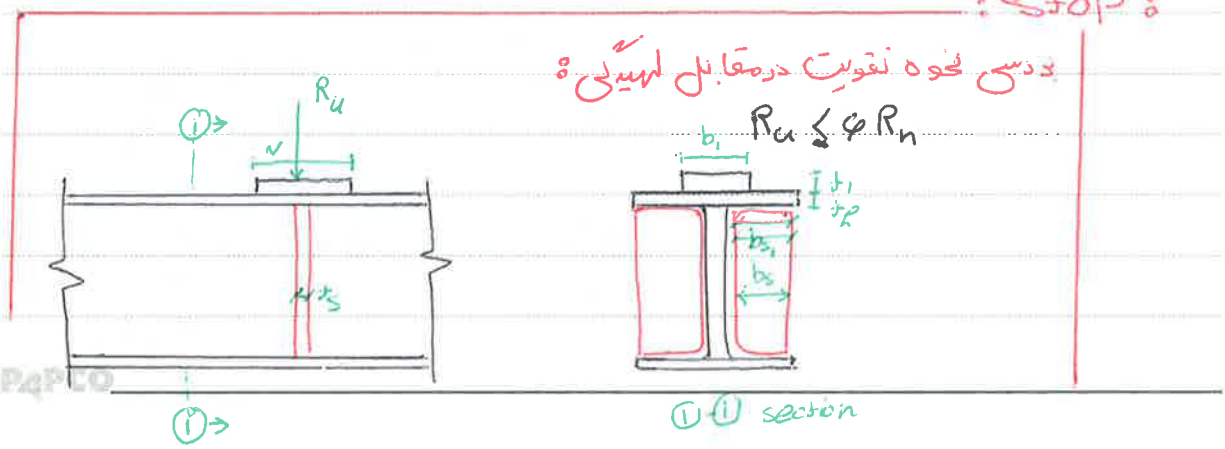
: step5

کنترل لبیری:

: stop!

بررسی نحوه تقویت در مقابل لبیری:

$$R_u \le \varphi R_n$$



Subject
Date

مقررات سوپروط :

1st : عرض ورق سخت کننده به اضافه نصف جان تیر نباید یک سوم عرض بال تیر یا ورق اتصال که بار متمرکز را وارد می کند کمتر باشد.

$$b_s + \frac{t_w}{2} \geq \min\left(\frac{b_f}{3}, \frac{b_1}{3}\right)$$

$$b_s \geq \min\left(\frac{b_f}{3}, \frac{b_1}{3}\right) - \frac{t_w}{2}$$

2nd : ضخامت t_s نباید کمتر از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال باشد.

$$t_s \geq \frac{1}{2}\min(t_f, t_1)$$

3rd : t_s نباید از $\frac{1}{15}$ عرض ورق سخت کننده کمتر باشد.

$$t_s \geq \frac{b_s}{15}$$

4th : ارتفاع ورق سخت کننده باید مساوی ارتفاع جان (فاصله گادبین ها بال) باشد.

5th : اگر R_u کششی باشد باید فرمول زیر صادق باشد.

$$R_u - \phi R_n \leq 0.9 F_y (2 b_s t_s)$$

ϕR_n ← دو حالت min قابل

شکل‌گیری موضعی بال ← $R_n = 6.25 \times t_f^2 \times F_y$ ← $\phi = 0.9$

$= \frac{1}{2} \times 6.25 t_f^2 F_y$

شکل‌گیری موضعی جان ← $R_n = (5k + N) t_w F_y$ $\phi = 1$

$= (2.5k + N) t_w F_y$

Subject
Date

6th : آیین R_u به صورت فشاری بود، کنترل زیر را باید انجام دهید.

6-A :

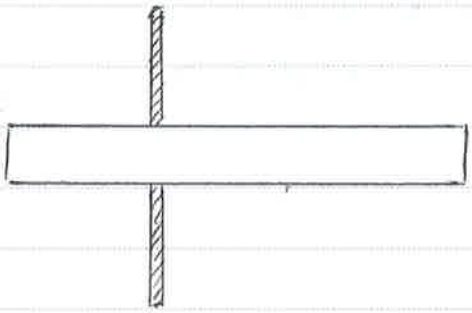
$$R_u \le 0.75 (1.8 F_y A_{pb})$$

$$A_{pb} = 2 t_s b_s$$

6-B : سخت کننده مانند یک ستون عمل می کند.

$25 t_w$ جاری شدن

$12 t_w$ کمانش

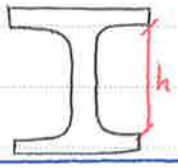


$$A^+ = (2 t_s b_s) + (12 \text{ یا } 25) t_w^2$$

$$R_u \le 0.9 A^+ F_{cr}$$

F_{cr} ← از جدول

$$\lambda = \frac{0.75 h}{r^+}$$

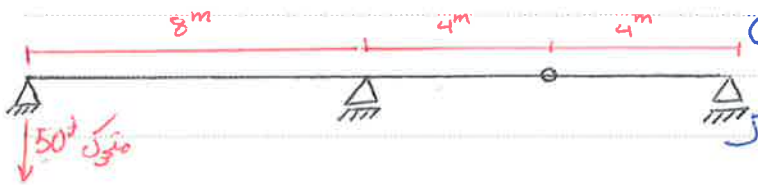


$$r^+ = \sqrt{\frac{1}{A^+}\left(\frac{1}{12}\{(2b_s + t_w)^3 \times t_s\}\right.}$$

مثال: طراحی از IPE برای خمش و برش و اسکن

$L_b \le$

زیر بار متمرکز غیر متمرکز



PgPCO

Subject
Date

یادگیری

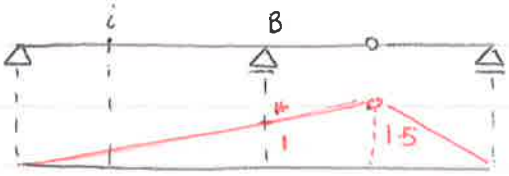
روش توسیم خط تأثیر سازه معین:

قید را از تکیه گاه گزاد و سپس به اندازه واحد جا بجا می کنیم.

سپس تا محل متصل خط دات و به در محل متصل می شکلیم

در انتها در هر نقطه با ضرب مقدار بار اصلی در بار واحد مقدار عکس العمل

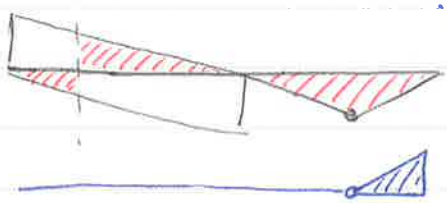
در هر نقطه محاسبه می شود.



روش توسیم خط تأثیر نیروی برشی در نقطه

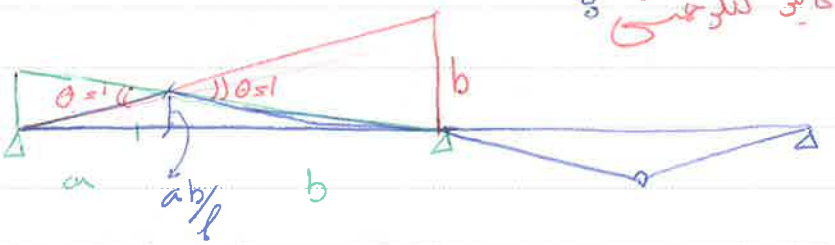
در هر نقطه دو طرف مسیر را به اندازه واحد بالا یا پایین برده تا موازی شود

و یک خط عمود بر نقطه رسم می کنیم.



برای متصل

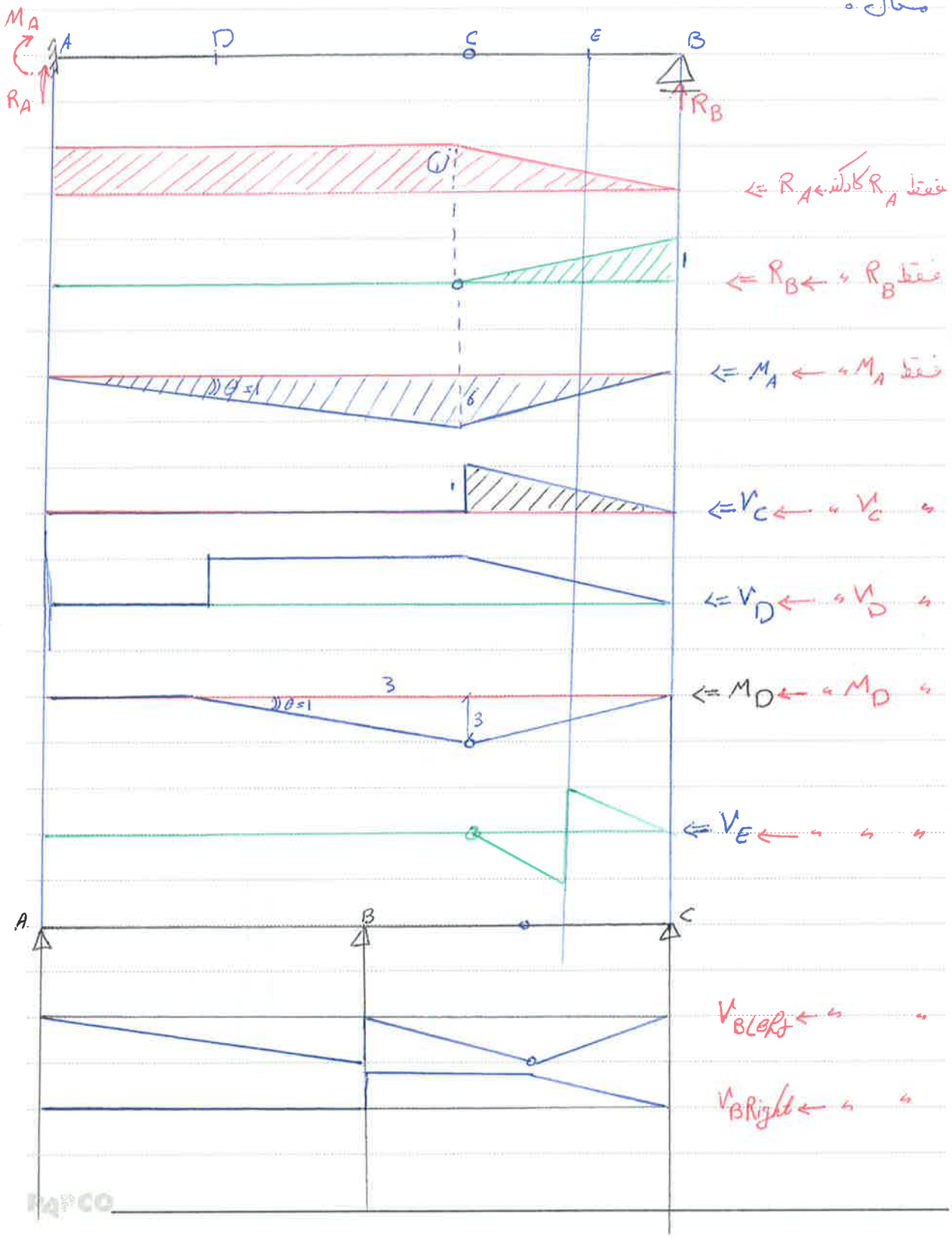
روش توسیم خط تأثیر لنگر خمشی



Subject

Date

مثال:



خط تاثیر R_A کاذب $\Leftarrow R_A$

خط تاثیر R_B $\Leftarrow R_B$

خط تاثیر M_A $\Leftarrow M_A$

$\Leftarrow V_C$ $\Leftarrow$ " V_C "

$\Leftarrow V_D$ $\Leftarrow$ " V_D "

$\Leftarrow M_D$ $\Leftarrow$ " M_D "

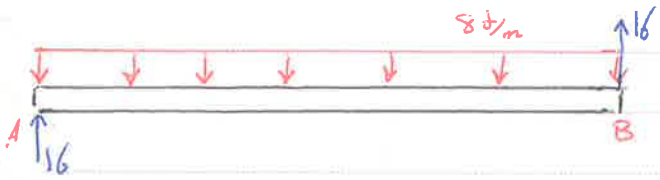
$\Leftarrow V_E$ $\Leftarrow$ " "

$V_{B\,Left}$ $\Leftarrow$ " "

$V_{B\,Right}$ $\Leftarrow$ " "

Subject
Date

ادامه مثال:



کنترل لبه‌ی کششی:

A-5) کنترل برش کششی:

A-5-A) کنترل خمشی جان:

$R_u \le \phi R_n$

$R_n = 0.5 \times 6.25 \times 2^2 \times F_y = 12.1 \times 10^3$ ← باربرداری

$16 \le 0.9 \times 12.1 = 10.89$ Not ok

A-5-B) کنترل تسلیم موضعی جان در مقطع B:

$R_n = (N + 2.5k) t_w F_y = (15 + 2.5 \times 3.07)(0.8 \times 2400)$

$= 43.54 \times 10^3$

$R_u < \phi R_n \Rightarrow 16 \le 1 \times 43.5 \longrightarrow$ O.k

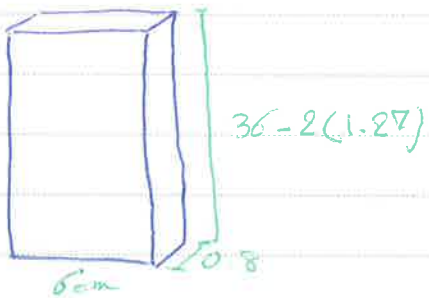
A-5-C) استفاده از سخت کننده: ← چون شکل مربوط به A-5-A

$R_u - \phi R_n \le 0.9 \times F_y \times b_s t_s \Rightarrow (16 - 10.89) \times 10^3 \le 0.9 \times 2400 \times 2 \times b_s t_s$

$\Rightarrow b_s t_s \ge 1.19\ cm^2$

try $b_s = 6\ cm$, $t_s = 0.8\ cm$ ← کنترل ابعاد

$6 \times 0.8 \ge 1.19$ O.k



PAPCO

Subject
Date

: step 5 - B

کنترل در نقطه A :

: 5 - B - A

کنترل تسلیم موضعی جان :

$$R_n = (N + 2.5k)\, t_w \times f_y$$

$$= (10 + 2.5 \times 3.07) \times 0.8 \times 2400 = 33936\ kg$$

$$R_u = 16 \times 10^3 \leq 1 \times 33936\ 0.k$$

: 5 - B - B

کنترل لهیدگی جان (یا کمانش) :

$$\frac{N}{\alpha} = \frac{10}{36} > 0.2$$

$$R_n = 0.4 \times 0.8^2 \left[1 + \left(\frac{4 \times 10}{36} - 0.2\right)\left(\frac{0.8}{1.27}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{2.04 \times 10^6 \times 2400 \times 1.27}{0.8}}$$

(t_w ↑ ; t_f ↑ ; t_w ↓)

$$= 32850$$

$$R_u \leq 0.75 R_n = 24.04\ \ 0.k \checkmark$$

: 5 - B - C

کمانش جانبی :

فرض مسئله : بال دوم مستقل دوران نادیده‌ای مهار شده‌ان

$$L_b = 400\ cm$$

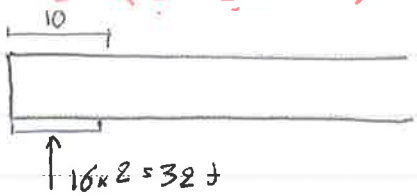
$$h/t_w \,/\, L_b/t_f = 1.586 \leq 2.3$$

$$R_n = 6.75 \times 10^7 \times 0.8^2 \times 1.27 \times \frac{1}{(29.86)^2}\left(1 + 0.4 \times 1.586\right) = 159725$$

$$R_u \leq 0.9 R_n\ 0.k$$

Subject
Date

مثال: آیا تیر ورق شانی تکیه گاه A دوبلبر شود: تقویت انجام دهید.



کنترل تسلیم موضعی:

$R_u < \varphi(N+2.5k)t_w f_y \Rightarrow 32 \leq 35.936\ 0.kv$

کنترل نهیدگی:

$R_u \times 32 \leq 24.64\ 0k \longrightarrow$ تقویت

کنترل کمانش جانبی: ✓

تنش شانی تسلیم:

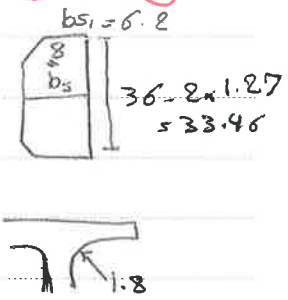
$R_u \leq 0.75(1.8 \times F_y) \times 2 b_{s_1} t_s$

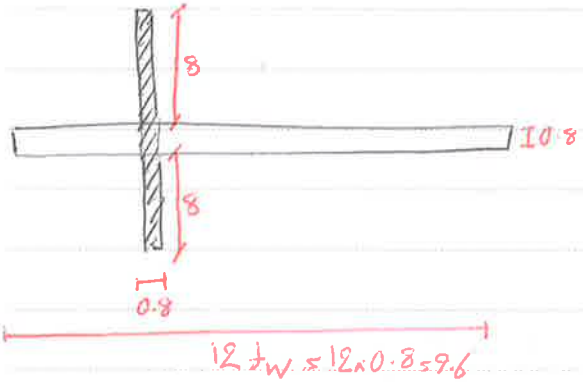
$t_s = 0.8 \longrightarrow$ فرض

$32 \times 1000 \leq 0.75 \times 1.8 \times 2400 \times 2 \times b_{s_1} \times 0.8$

$b_{s_1} \geq 6.17 \longrightarrow$ try $b_{s_1} = 6.2$

$b_s = b_{s_1} + 1.8 = 8$





بررسی مقطع به صورت یک ستون:

$A^+ = 9.6 \times 0.8 + 2 \times 8 \times 0.8 = 20.48\ in^2$

$r^+ = \sqrt{\frac{\frac{(8+8+0.8)^3 \times 0.8}{12}}{20.48}} = 3.929$

$\lambda = \frac{0.75 \times 33.46}{3.929} = 6.38$

Subject

Date

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 2.04 \times 10^6}{6.38^2} = 494639 \ kg/cm^2$$

$$F_e \geq 0.44 F_y$$

$$\Rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) = 2395 \ kg/cm^2$$

$$R_u \leq 0.9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$32000 \leq 0.9 \times 2395 \times 20.48 = 44145 \ kg \ \checkmark$$

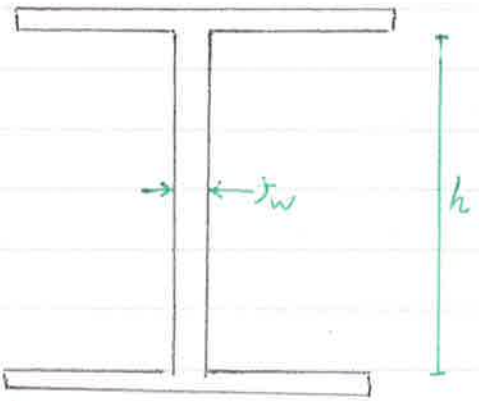
Subject
Date

تیرورق ها

جلسه (95 ، 1 ، 20)

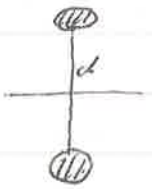
تیرورق ها $\frac{h}{t_w} \simeq 100$

(Plates Girders)



برای تیرها استفاده می‌شوند

$I_{xc} = \int y^2 dA$



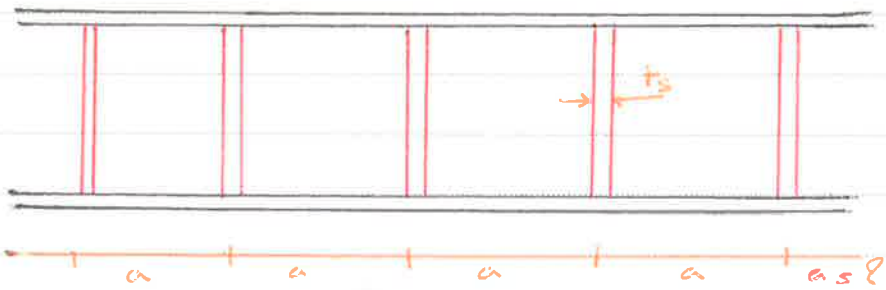
$d \uparrow \Rightarrow I \uparrow$

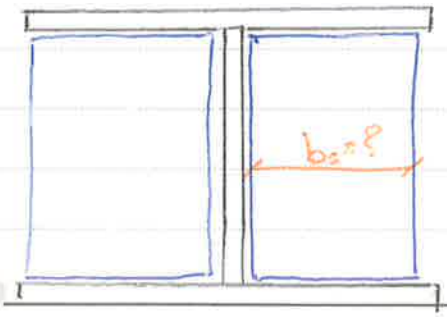
ارتفاع زیاد مقاطع تیرورق باعث کاهش ضوابط برشی مقطع می‌شود

$V_u \leq \phi V_n$

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

برای مقاوم‌سازی تیرورق ها در برابر برش از سخت کننده ها استفاده می‌شود.





Subject

Date

E = مدول الاستیسیته

F_y = تنش تسلیم

ضریب کمانش برشی k_v =

بدون سخت کننده ← $k_v = 5$

سخت کننده با فاصله a → (h = ارتفاع جان)

$$\frac{a}{h} \le \min\left(3, \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2\right) \quad , \quad \frac{a}{h} > \min\left(3, \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2\right)$$

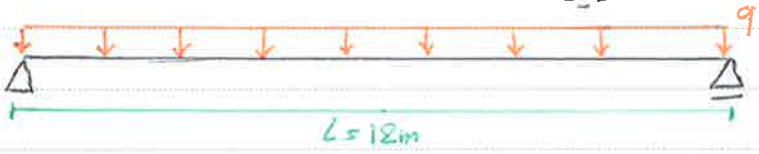
$$\Downarrow \qquad \Downarrow$$

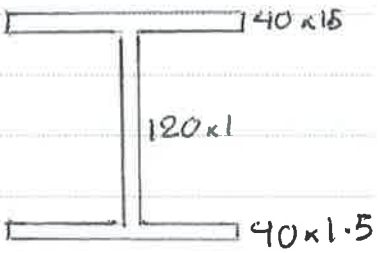
$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad , \quad k_v = 5$$

در نتیجه :

$$C_v = \begin{cases} 1 & \leftarrow \quad h/t_w \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \Big/ h/t_w & \leftarrow \quad 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \le h/t_w < 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ 1.51\, E\, k_v / F_y \left(h/t_w\right)^2 & \leftarrow \quad h/t_w \ge 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \end{cases}$$

مثال : بدون استفاده از سخت کننده و تعیین فاصله ها در صورت لزوم





$E = 2.04 \times 10^6$

$F_y = 3600$

Subject
Date

حل:

فرض می کنیم که وتر سخت کننده نداریم ← $k_v = 5$

$$1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1 \times \sqrt{\frac{5 \times 2.04 \times 10^6}{3600}} = 58.6$$

$$1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.37\sqrt{\quad} = 72.9$$

$$h/t_w = 120/1 = 120 > 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \Rightarrow C_v = \frac{1.51 \times 2.04 \times 10^6 \times 5}{3600\,(120)^2} = 0.2971$$

$$V_u \le 0.9 V_n \Rightarrow V_u \le 0.9\,(0.6 \times 3600 \times 120 \times 1 \times 0.2971)$$

$$= 77008 \text{ kg}$$

تکیه گاه:

$$V_u = \frac{q_u L}{2} \Rightarrow V_u = 14.48 \times 12/2 = 86.9 \text{ ton}$$

$$V_u = 86.9 \not\le 0.9 \times 77.008 = 69.31 \Rightarrow$$ سخت کننده لازم است.

⇓

از انتها به ابتدا بروم

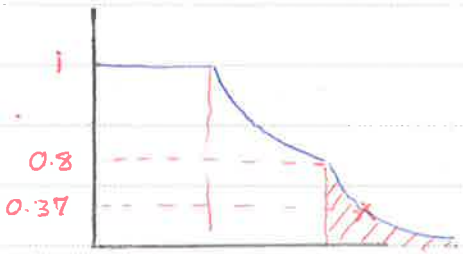
⇓

تعیین C_v:

$$V_u \le 0.9 V_n$$

$$86.9 \times 1000 \le 0.9 \times (0.6 \times 3600 \times 120 \times 1 \times C_v)$$

$$C_v \ge 0.3725$$



$\Rightarrow C_v \le 0.8$ در ناحیه سوم قرار دارد

فرمول C_v در ناحیه سوم $\Rightarrow C_v = \frac{1.51 E}{F_y} \times \frac{k_v}{(h/t_w)^2} \rightarrow k_v = 6.269$

$C_v = 0.3725$

Subject
Date

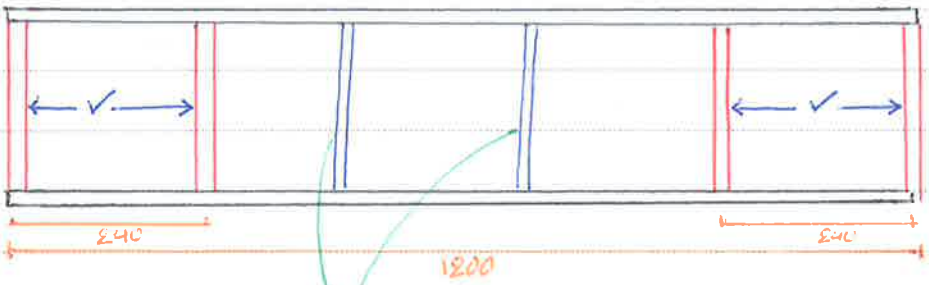
$k_v > 5 \rightarrow k_v = \frac{5}{(a/h)^2} + 5 \Rightarrow 6.269 = 5 + \frac{5}{(a/120)^2}$

$\Rightarrow \frac{a}{h} \geq 1.985$

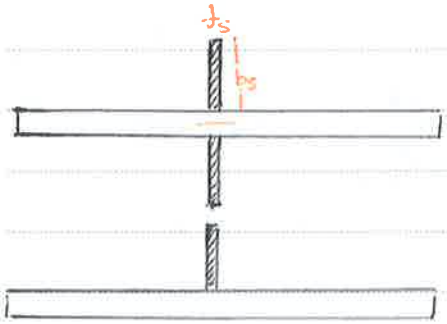
$a = 120 \times 1.985 = 238.2 \simeq 240\,cm \Rightarrow$ این شرط

$\frac{a}{h} = 1.985 \leq \min\left(3, \left(\frac{260}{120}\right)^2\right) \Rightarrow 0.k\checkmark$

ولی اگر جواب نداد یا زانه h را عوض کرد یا t_w را.



* احتیاج نیازی به این تقویت ها نیست ولی گذاشتن ایرادی ندارد



سخت کننده یک طرف دو طرف جان

$I_{st} \geq a t_w^3 J$

I_{st} { یک طرف $\frac{2}{3} b_s^3 t_s$; دو طرف $\frac{b_s^3}{3} t_s$

سخت کننده در یک طرف جان

$a =$ فاصله تقویت کننده ها

$t_w =$ ضخامت جان عضو

$J = \max\left(\frac{2.5}{(a/h)^2} - 2, 0.5\right)$

$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Subject

Date

مثال: طراحی دنده های سخت کننده برای مثال قبل

طراحی: ورق به صورت جفتی با t_s cm

$$I_{st} = \frac{2}{3} b_s^3 t_s = \frac{2}{3} b_s^3 \times 1$$

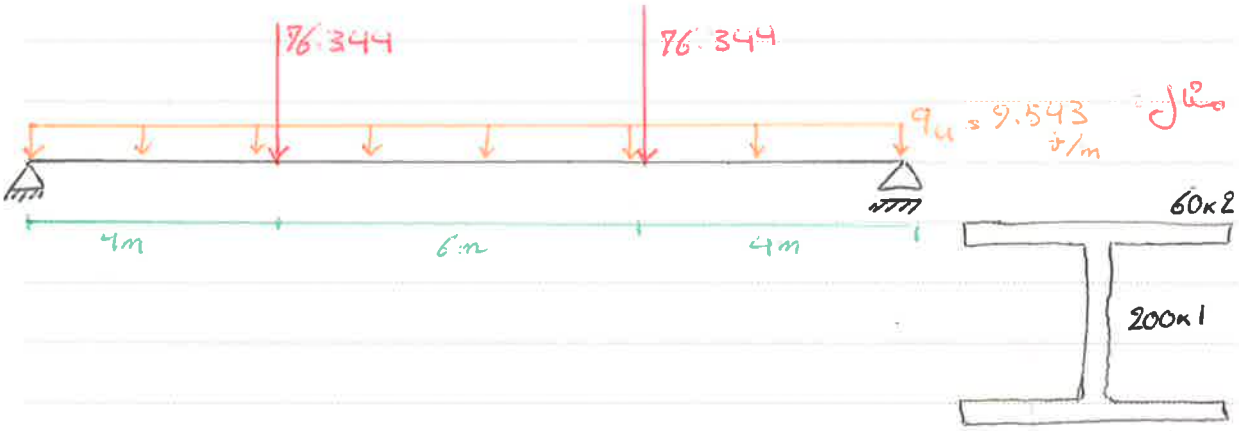
$$J = \max\left(\frac{2.5}{(1.985)^2} - 2 \;,\; 0.5\right) = 0.5$$

$$I_{st} \geq a t_w^2 J$$

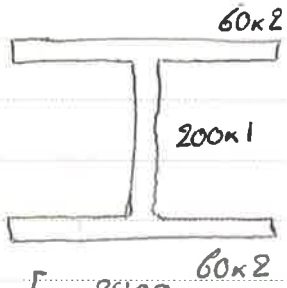
$$\frac{2}{3} b_s^3 \geq 240 \times 1^3 \times 0.5 \Rightarrow b_s \geq 5.62 \text{ cm}$$

$$b_s/t_s \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow b_s \leq 1 \times 0.56 \times \sqrt{\frac{2.04\times10^6}{3600}} = 13.33$$

use 2×6 PL 6×1×120 , PL @ 240 cm



مثال:



F_y = 2400

E = 2.04×10^6

$k_v = 5 \Rightarrow C_v = 0.160$ بدون تقویت :

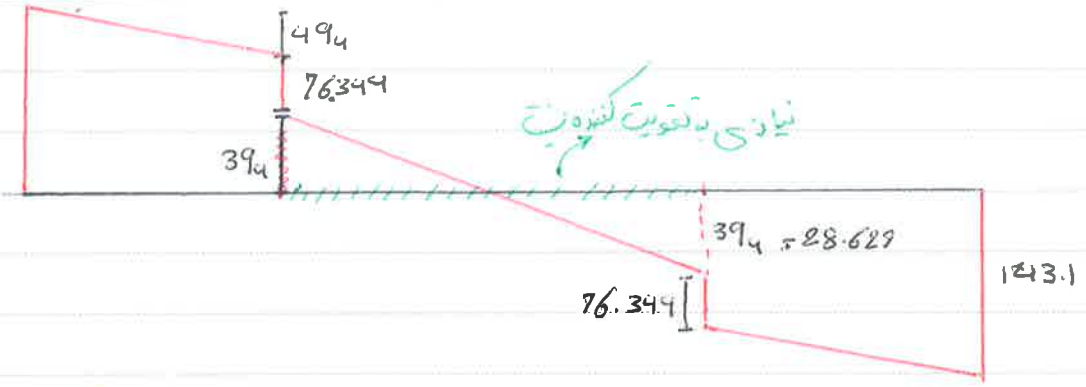
$$V_u = 143.1 \leq 0.9\,(0.6 \times F_y \times A_w \times C_v)$$

$$46.19 \text{ ton} \times 0.9$$

$$= 143.1 \nleq 41.58$$

Subject

Date



$143.1 \times 10^3 \leq 0.9 \times (0.6 \times 2400 \times 200 \times 1 \times C_v) \rightarrow C_v \geq 0.552$

$C_v < 0.8 \Rightarrow$ ناحیه سوم

$$C_v = \frac{1.51 E k_v}{F_y (h/t_w)^2} \Rightarrow k_v = 17.21$$

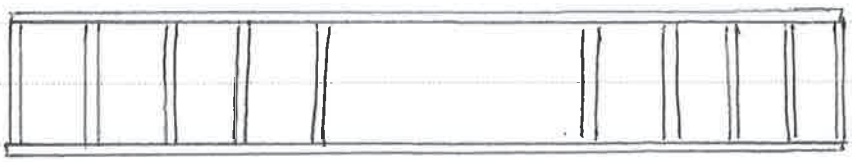
$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \Rightarrow \frac{a}{h} = 0.64$$

$a = 0.64 \times 200 = 128\ cm$

$\frac{1400}{11} = 127\ cm$

تقویت برشی مقطع بدون تقویت:

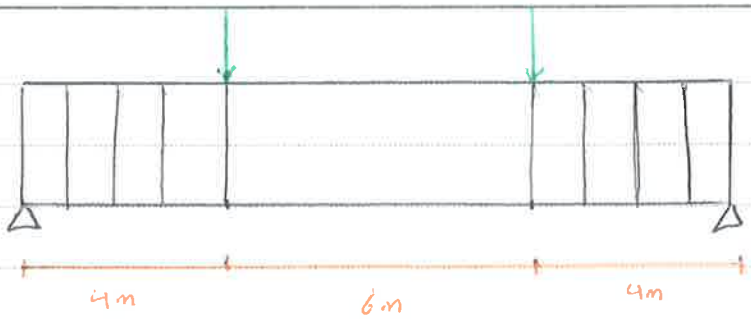
$0.9 V_n = 0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 200 \times 1 \times 0.160 = 41.58 \times 10^3$



Subject

Date

Subject:
Date

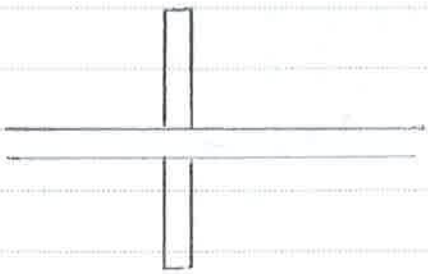


ادامه مثال:

ابتدا ضخامت ورق سخت کننده:

$t_s = 1cm$ فرض:

دو دو طرف جان لحاظ تعیین شود.



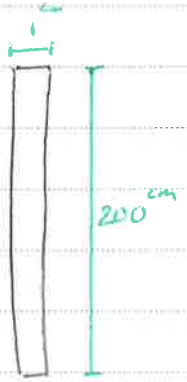
$$J \geq \max\left(\frac{2.5}{(\frac{a}{h})^2} - 2, 0.5\right) = \max\left(\frac{2.5}{(0.64)^2} - 2, 0.5\right)$$

$$= 4.104$$

$$I_{st} = \frac{2}{3} b_s^3 t_s = \frac{2}{3} \times b_s^3 \times 1 \geq a J t_w^3$$

a مقدار محاسبه $\leq 128 \times 4.104 \times 1$

$$b_s \geq 9.236$$



$$b_s / t_s \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$b_s \leq 0.56 \sqrt{\frac{2.04 \times 10^6}{2400}} \times t_s = 16.32$$

$t_s = 1cm$

use 2 pl 200×10×1 cm

$$I_{st} > I_{st_1} + (I_{st_2} - I_{st_1}) \frac{V_u - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}}$$

اگر سخت کننده یک طرف جان ← $I_{st} = \frac{b_s^3 t_s}{3}$

اگر سخت کننده دو طرف جان ← $I_{st} = \frac{2}{3} b_s^3 t_s$

$$I_{st_1} = a\, J\, t_w^3 \qquad a \le h$$

«a بیشتر از h باشد مقدار آن را برابر h در نظر می‌گیریم»

$$I_{st_2} = \frac{h^4}{40} \times \rho_{st}^{1/3} \times \left(\frac{F_y}{E}\right)^{1.5}$$

$$\rho_{st} = \max\left(\frac{F_{yw}}{F_{y,st}}, 1\right)$$

تنش تسلیم جان مقطع

تنش تسلیم المان سخت کننده

V_u ← بزرگترین نیروی برشی در دو پانل مجاور موجود به المان سخت کننده

V_{c1} ← کوچکترین مقاومت برشی نهایی مقطع در پانل مجاور بدون در نظر گرفتن میدان کشش

$$V_{c1} = \phi_v V_n = 0.9 \times (0.6 \times F_y \times A_w \times C_v)$$

V_{c2} ← کوچکترین مقاومت برشی نهایی مقطع در پانل مجاور با در نظر گرفتن میدان کشش

$$V_{c2} = \phi V_n = 0.9 \left(0.6 \times F_y A_w \times \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (\frac{a}{h})^2}}\right)\right)$$

a=128 بنابراین

چون پل دو

پل دو

bet 1

bet 2

bet 3

bet 4

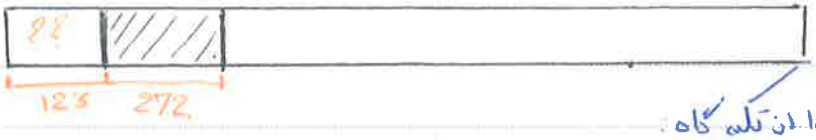
bet 5

bet 6

28 = 130.9 ton

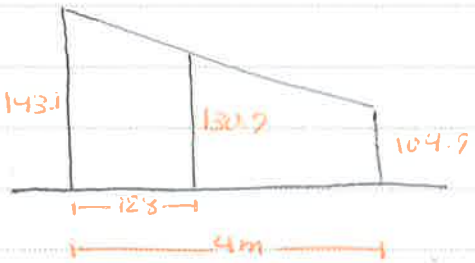
703

Subject:
Date



مثال

A) طراحی ورق در فاصله 128 از تکیه گاه:



$V_u = 143.1$

$V_{c_1} = ?$

$\frac{h}{t_w} = 200 \longrightarrow \frac{a}{h} \leq \min\left(3, \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2\right) \Rightarrow k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$

$\max(272, 128) \Rightarrow$ نحوه ای تنش حالت دیده می شود

$\frac{a}{h} = \frac{272}{200} = 1.36 \leq \min\left(3, \left(\frac{260}{200}\right)^2\right) = 1.69 \longrightarrow k_n = 7.703$

$\frac{h}{t_w} = 200 \geq 1.37\sqrt{\frac{k_n E}{F_y}} = 110.8 \Rightarrow C_n = \frac{1.51 \times 2.04 \times 10^6 \times 7.703}{2400 \times 800^2}$

$= 0.2472$

$V_{c_1} = 0.9(0.6 \times 2400 \times 200 \times 1 \times 0.2472) = 64074\ kg$

$V_{c_2} = ?$

$V_{c_2} = 0.9\left(0.6 \times 2400 \times 200 \times 1\left(0.2472 + \frac{1 - 0.2472}{1.15\sqrt{1 + \left(\frac{272}{200}\right)^2}}\right)\right)$

$\frac{a}{h}$ ← برای حداقل شدن مقدار V_{c_2} و نهایی شدن حالت $\max(272, 128)$ باید a_{max} قرار گیرد.

$V_{c_2} = 164.587\ kg$

PdPCO

Subject:
Date

$I_{st_1} = a t_w^3 J$

$J = \max\left(\frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2, 0.5\right) = \max\left(\left(\frac{2.5}{\left(\frac{272}{200}\right)^2} - 2\right), 0.5\right)$

$= 0.5$

$t_w = 1cm \Rightarrow \begin{cases} a = 272 \\ h = 200 \end{cases}$ min $\rightarrow I_{st_1} = 200 \times 0.5 \times 1^3 = 100 cm^4$

~~$I_{st_1} = a J t_w^3$~~

$\rightarrow \rho_{st} = \max\left(\frac{2400}{2400}, 1\right) = 1$

$\rightarrow I_{st2} = \frac{200^4}{400} (1)^{1/3} \left(\frac{2400}{2.04 \times 10^6}\right)^{1.5} = 1614 cm^4$

$I_{st} \geq 100 + (1614 - 100) \frac{143.1 - 64.07}{164.6 - 64.07}$

$I_{st} \geq 1290 cm^4$

ورق در دو طرف تقویت شود و $t_s = 1cm$ باشد.

$\frac{2}{3} b_s^3 t_s \geq 1290 \qquad b_s = 12.46$

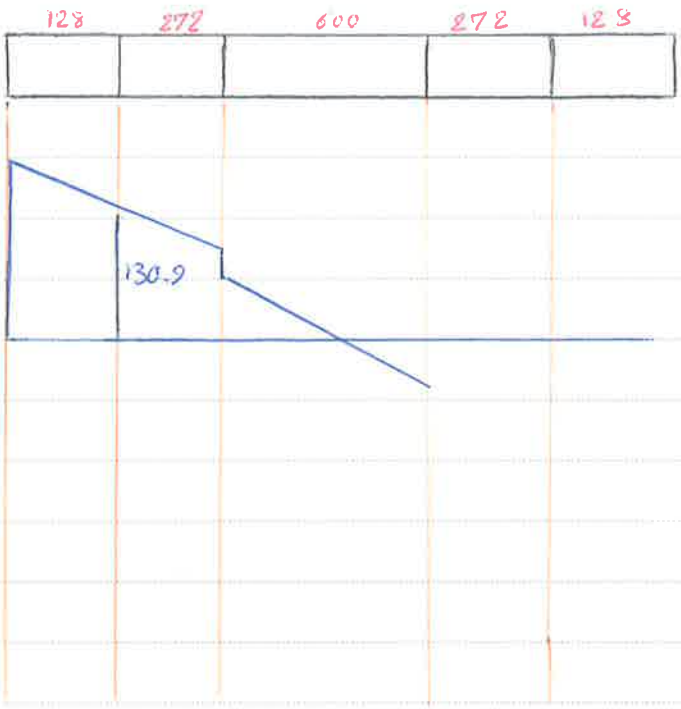
$\frac{b_s}{t_s} \geq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

PaPCO

Subject
Date

جلسه (96 / 1 / 27)

ادامه حل سوال:



$V_u = 130.9$ ton

$a = 272 , 600$

$\frac{a}{h} = \frac{a_{max}}{h} = \frac{600}{200} = 3$

$\frac{a}{h} \leq \min\left(3 , \left(\frac{260}{(h)_{tw}}\right)^2\right) = 1.69$

$\Rightarrow k_v = 5$

$C_v = \frac{1.51 \times 2.04 \times 10^6 \times 5}{200^2 \times 2400} = 0.1604$

$V_{c1} = 0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 200 \times 1 \times 0.1604 = 41576$ kg

$V_{c2} = 0.9 \times 0.6 \times 2400 \times 200 \times 1 \left(0.1604 + \frac{1 - 0.1604}{1.15\sqrt{1+3^2}}\right) = 101148$ kg

$\beta = \max\left(\left(\frac{2.5}{3^2} - 2\right) , 0.5\right) = 0.5$

$I_{st_1} = 200 \times 1^3 \times 0.5 = 100 cm^4$

$a = 600$
$h = 200$

$I_{st_2} = \frac{200^4}{40} \times 1^{1/3} \times \left(\frac{2400}{2.04 \times 10^6}\right)^{1.5} = 1614 cm^4$

$I_{st} \geq 100 + (1614 - 100)\frac{130.9 - 41.576}{101.148 - 41.576} = 2359 cm^4$

فرض t_s cm 2

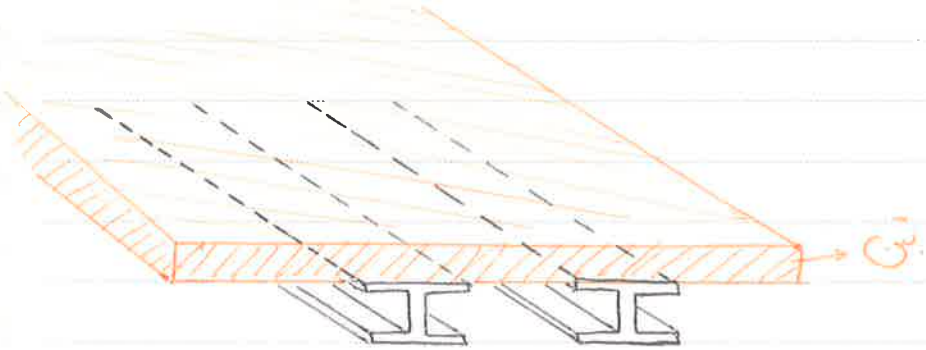
$\frac{2}{3} b_s^3 t_s \geq I_{st}$

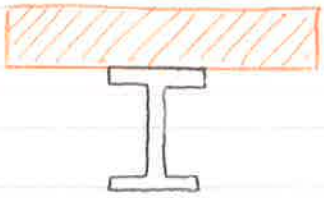
$\frac{2}{3} b_s^3 \times 1 \geq 2395 \rightarrow b_s \geq 15.2$ cm

use 2 PL 200 × 16 × 1

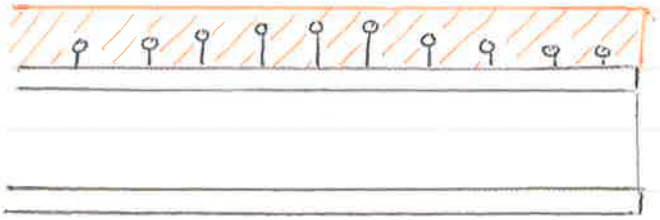
Subject
Date

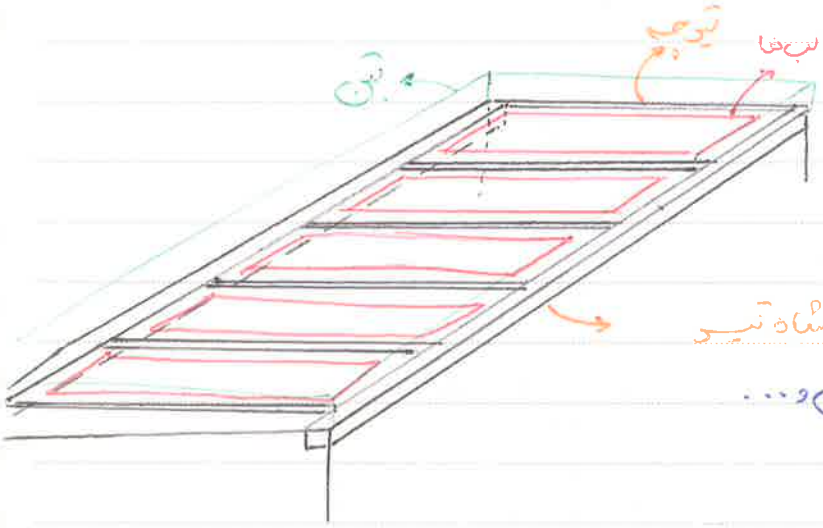
طراحی تیرهای مرکب :
(composite)





=> مقطعی بسیار قوی و متداول
در دهانه های بزرگ ← کنترل در فولاد
← کنترل در بتن





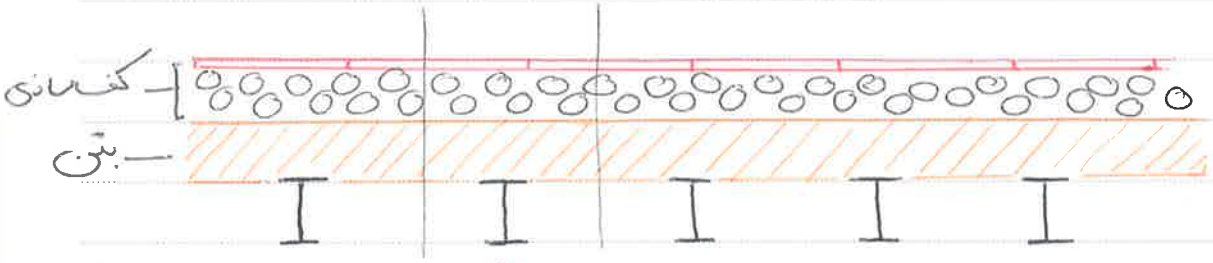
نحوه اجرای تیرهای مرکب :
A) با شمع بندی
B) بدون شمع بندی

A: شاه تیر ← خودپا - تیرورق و ...

Subject
Date

مراحل:

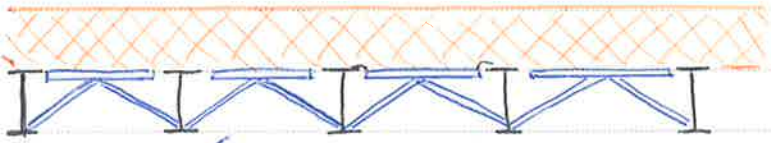
1. دوسر تیر در کناره‌ها متصل می‌شود
2. تیرچه‌ها متصل می‌شوند
3. قالب‌بندی انجام شده و زیر قالب‌ها شمع قرار می‌گیرد.
4. بتن‌ریزی انجام می‌شود
5. پس از سخت شدن بتن، شمع‌ها را باز می‌کنند.



کف‌سازی ← مقطع مرکب ←
وارد شده را تحمل می‌کند.

I بار بتن را تحمل نمی‌کند و بتن خودش دو تکه می‌شود.

B) بدون شمع‌بندی:

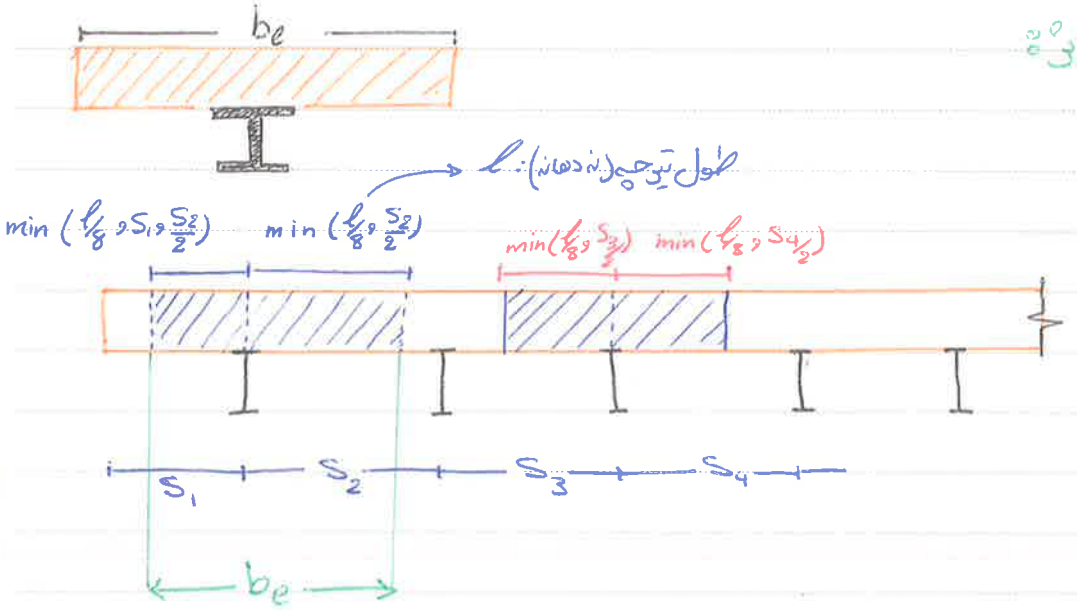


تیرچه‌ها باید وزن خودش + وزن قالب + وزن بتن را تحمل کند.

فرق: در حالت B سرعت اجرا بیشتر است چون دیگر نیازی به شمع‌بندی نیست و سقف بعدی را می‌توان سریعاً اجرا کرد

PdPCO

Subject
Date



عرض مؤثر (be)

l: طول تیر جهت (نه دهانه)

* نکته مهم: قسمتی که به عنوان b_e شناخته شد، جایی که فقط نیروی فشاری را می برد، بلکه $S_{/2}$ از طرفین را در باربری می کنیم و این نیرو باید تحمل شود

نکته خاصه:

* اگر در تیر فولادی $h/t_w \leq 3.76\sqrt{E/F_y}$ باشد توزیع تنش پلاستیک و

* اگر در تیر فولادی $h/t_w \geq 3.76\sqrt{E/F_y}$ باشد توزیع تنش به صورت الاستیک خواهد بود.

Subject
Date

مثال: برای پوشش یک سالن 10×20 از ستون مرکب استفاده شده

حداکثر بار زنده وارد بر ستون ، تیرچه فولادی IPE 27 ، بارمرده کف سالن $200 kg/m^2$

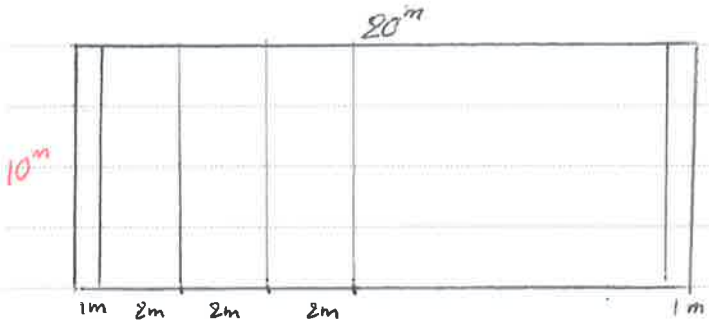
$f_y = 3600$ ، $E = 2.04 \times 10^6$ ، $f'_c = 210$ ، جوا با سیمان بتنی ، ضخامت بتن $= 10^{cm}$

نکته: تیرچه‌ها در دهانه کوچکتر وارد می‌شوند

$w_c = 2400$ ← وزن حجمی بتن

$w_s = 7850$ ← وزن حجمی فولاد

$\Big\} kg/m^3$

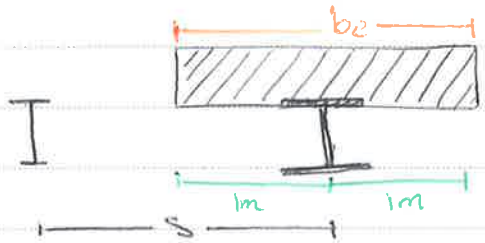


تیر میانی:

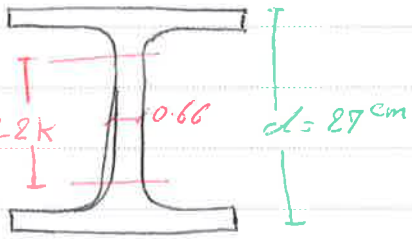
عرض مؤثر:

$b_e/2 = \min(L/8 , S/2)$

$L = 10 , S = 2$



$b_e = 2 \min(\frac{10}{8} , \frac{2}{2}) = 2m$



وزن واحد طول: $G = 36.1$

مساحت: $A = 45.9 cm^2$

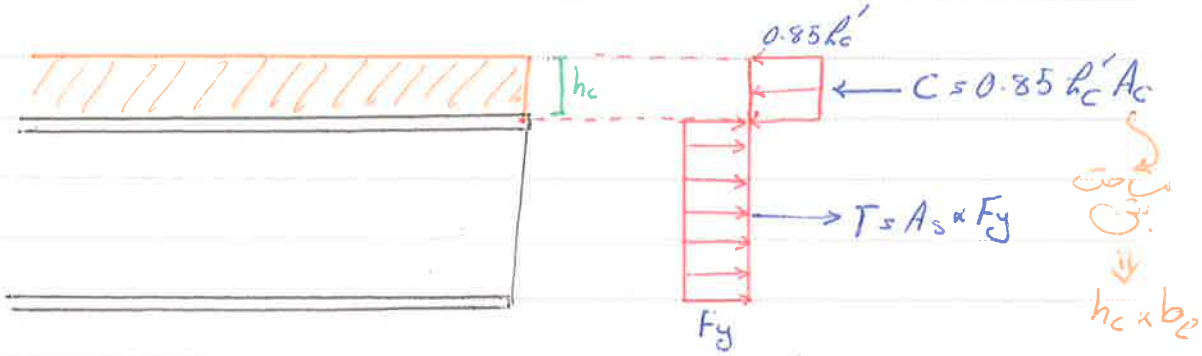
$h/t_w = \frac{21.9}{0.66} = 33.18$

$h/t_w \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 89.5$ ← توزیع تنش پلاستیک حواهد بود

PAPCO

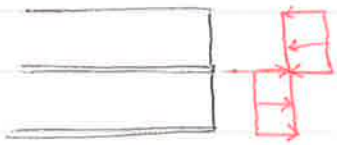
Subject
Date

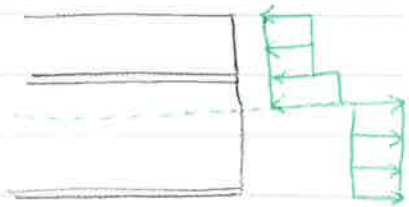
نکته: در توزیع تنش پلاستیک، تنش در فولاد به F_y و در بتن به $0.85f'_c$ می‌رسد.

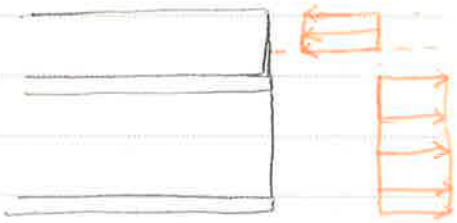


قاعدتاً باید $T = C$ شود وگرنه نمی‌شود؟
« حالات زیر پیش می‌آید »

$T = A_s \times F_y$		$C = 0.85 f'_c A_c$
T	$=$	C
T	$>$	C
T	$<$	C







Subject
Date

جلسه (96/2/3)

ادامه مثال:

توزیع پلاستیک در قوادات:

حداکثر نیروی فشاری در بتن

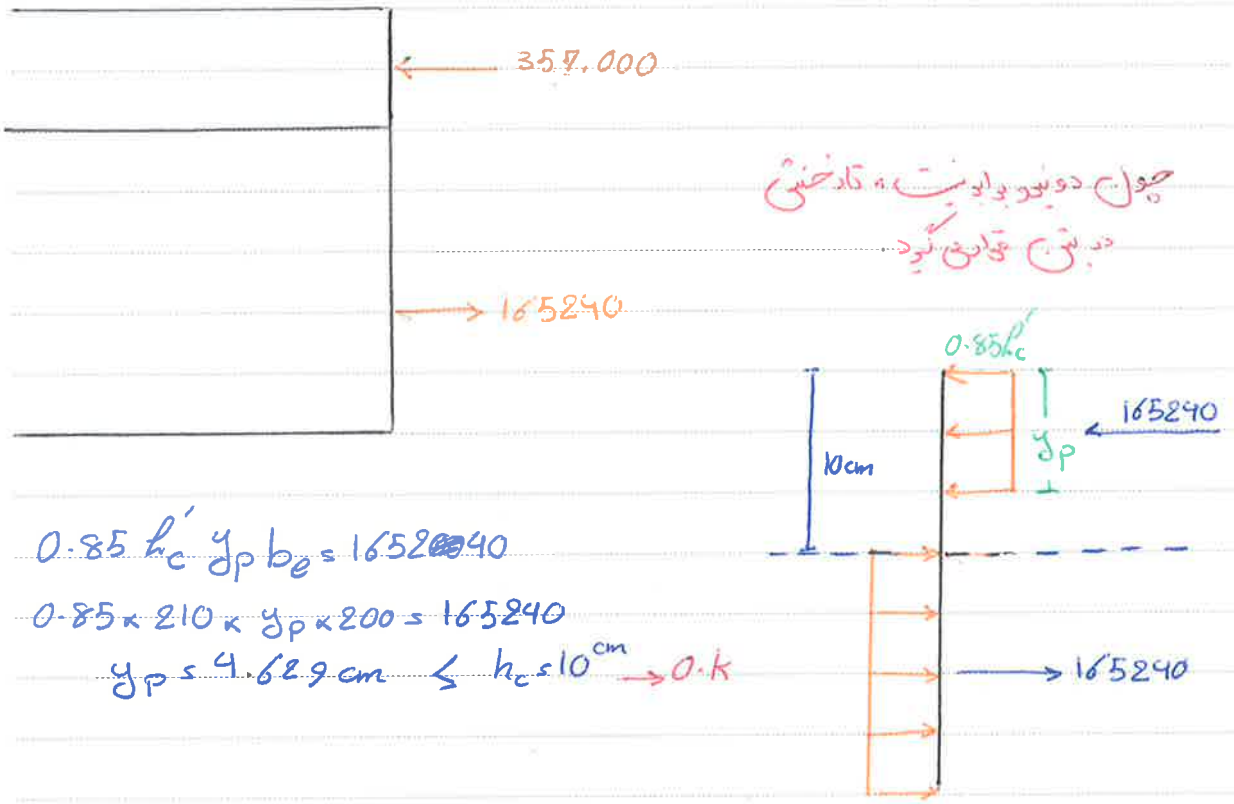
$0.85 h_c' b_e h_c$

حداکثر نیروی کششی در فولاد

$A_s \times F_y$

$A_s F_y = 45.9 \times 2400 = 165240$ kg

$0.85 h_c' b_e h_c = 0.85 \times 210 \times 200 \times 10 = 357,000$ kg



چون دو نیرو برابرند، تار خنثی در بتن قرار می‌گیرد.

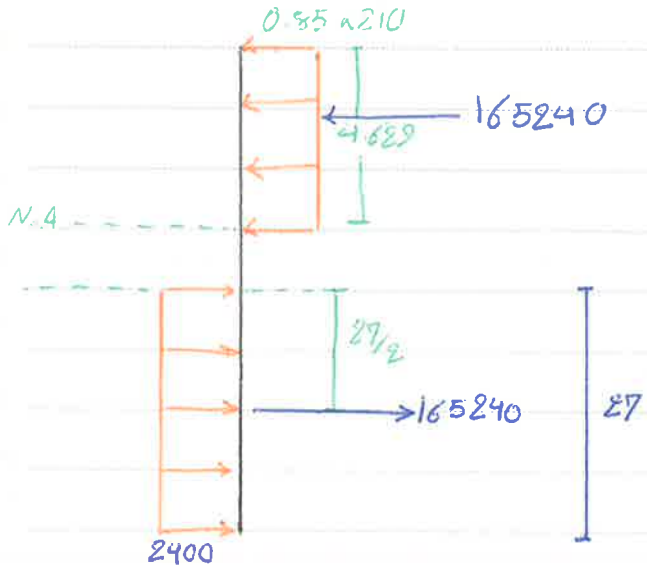
$0.85 h_c' y_p b_e = 165240$

$0.85 \times 210 \times y_p \times 200 = 165240$

$y_p = 4.629$ cm $\leq h_c = 10$ cm $\rightarrow$ O.K

Subject

Date

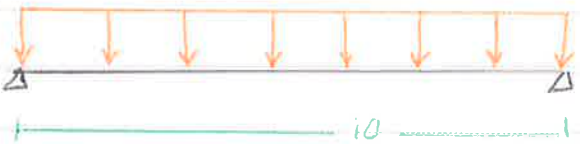


محاسبه لنگر خنثی دال بتنی توسط مقطع مرکب

$M_n = 165240 \times \frac{4.629}{2} + 165240 \times (27/2 + (10 - 4.629))$

$= 35.01 \times 10^5 \text{ kg-cm} = 35.01 \text{ t.m}$

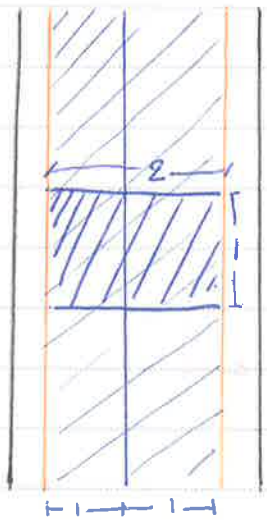
$M_u = \varphi M_n = 0.9 \times 35.01 = 31.51 \text{ t.m}$



$M_n = \frac{q_u l^2}{8}$ ،

$q_u = 1.2\, q_D + 1.6\, q_L$

محاسبه بارهای مرده و زنده:



Subject
Date

$q_{D_1} = 36.1 \text{ kg/m}$ ← وزن واحد طول تیر

$q_{D_2} = 2m \times 1m \times 0.1m \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 480$ ← وزن بتن ریخته شده

(0.1m: ارتفاع بتن، 2400 kg/m³: وزن مخصوص بتن)

q_{D_3} = وزن کفپوش → $200 \times 2 \times 1 = 400 \text{ kg/m}$

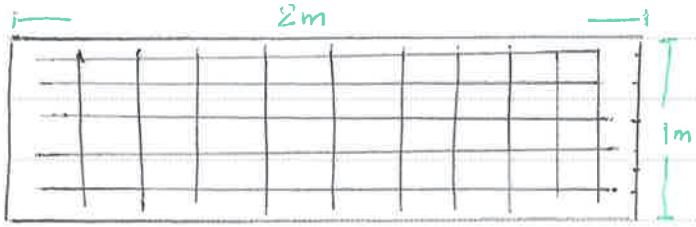
q_{D_4} = وزن دیافراگم‌های ساخته شده در یک متر طول تیر

$= (5 \times 2 + 10 \times 1) \times \frac{\pi \times 0.1^2}{4} \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 12.33 \text{ kg/m}$

(تعداد دیافراگم بلند، طول دیافراگم بلند، تعداد دیافراگم کوتاه، طول دیافراگم کوتاه)

(مساحت یک دیافراگم)

به علت کوچکی آن نادیده گرفته می‌شود



Φ 10 @ 20 دوسر مفصل

$q_D = q_{D_1} + q_{D_2} + q_{D_3} + q_{D_4} = 36.1 + 480 + 400 + 12.33 = 928.4$

$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L$

$q_u l^2/8 \leq 31.51 \Rightarrow \frac{(1.2 \times 928.4 \times 10^{-3} + 1.6 q_L) \times 10^2}{8} \leq 31.51$

$q_L \leq 0.879 \text{ kg/m} = 0.879 \text{ t/m}$

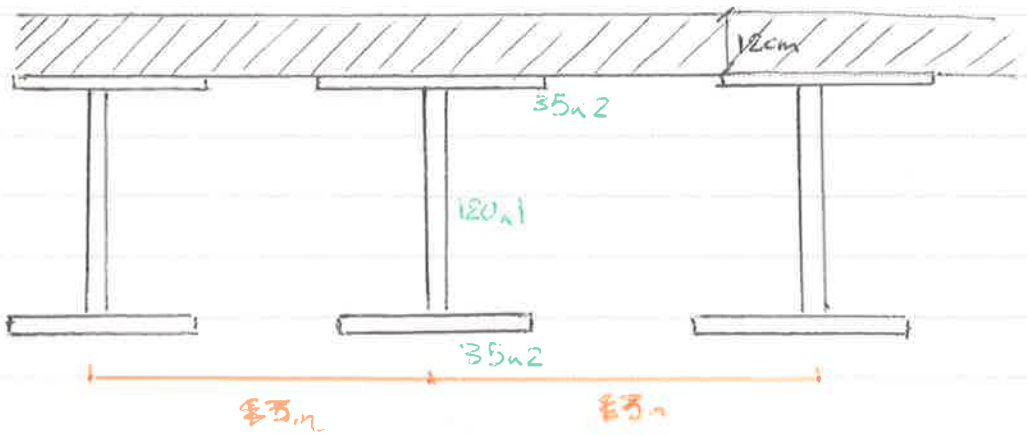
پس مقطع برای پارکینگ مناسب نیست (خلاف ضوابط آیین‌نامه)

PdPCD

Subject

Date

مثال: ظرفیت خمشی مثبت و منفی؟



$F_y = 2400$

$f'_c = 250$

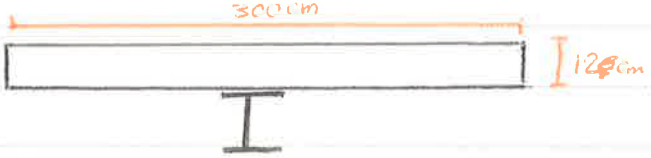
$E = 2.04 \times 10^6$

$\rho_c = 2400 \frac{kg}{m^3}$

$\frac{h}{t_w} = \frac{120}{1} = 120$

$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 109.6$ $\Big\} \rightarrow \frac{h}{t_w} > 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ → تقویم اه استیل بتوان

$b_e = 300^{cm} \Leftrightarrow b_e/2 = \min\left(\frac{l}{8}, \frac{s}{2}\right) = 150$

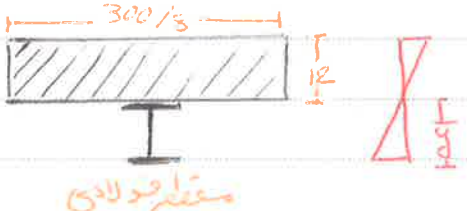


مقطع تبدیل یافته:

$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 \times 10^6}{0.137\,\rho_c^{1.5}\sqrt{f'_c}} = \frac{2.04 \times 10^6}{0.137 \times 2400\sqrt{250}} = 8$

$= 37.5$

$\bar{y} = \frac{37.5 \times 12 \times 130 + 35 \times 2 \times 1 + 120 \times 1 \times 62 + 35 \times 2 \times 123}{35 \times 2 + 120 \times 1 + 35 \times 2 + 37.5 \times 12} = 105.1$



مقطع فولادی

Subject
Date

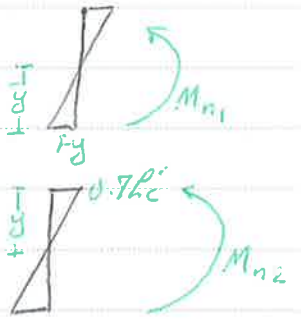
$$\bar{I} = \frac{35\times 2^3}{12} + 35\times 2\,(105.1-1)^2 + \frac{120^3\times 1}{12} + 120\times 1\times (105.1-62)^2$$
$$+ \frac{35\times 2^3}{12} + 35\times 2\times (105.1-123)^2$$
$$+ \frac{37.5\times 12^3}{12} + 37.5\times 12\,(105.1-130)^2 = 1.432\times 10^6$$

+ حد توزیع تنش الاستیک، دلیلی مثبت مقدار ظرفیت خمشی ارائه شده را محاسبه می‌شود

$$M_n = \min(M_{n1}, M_{n2})$$

M_{n1}: وقتی که حداکثر تنش کششی برابر F_y شود

M_{n2}: وقتی که حداکثر تنش فشاری برابر $0.7f'_c$ شود.



$$\sigma = My/I \rightarrow F_y = M_{n1}\bar{y}/I \Rightarrow M_{n1} = \frac{F_y I}{\bar{y}} = \frac{2400\times 1.432\times 10^6}{105.1}$$
$$\rightarrow M_{n1} = 327\times 10^5$$

$$\sigma = \frac{M_{n2}\,y}{I} \Rightarrow 0.7f'_c = \frac{M_{n2}\times(136-105.1)}{1.432\times 10^6}\times\frac{1}{n}$$
$$\Rightarrow M_{n2} = 628\times 10^5$$

$$M_n = \min(327, 648) = 327$$
$$M_u = 0.9\,M_n = 294.3\ t\cdot m$$

Subject
Date

کنترل خمش صفحه:

ابتدا فشردگی جان مقطع مورد بررسی شود:

(در خمش ساده، فشار وارد می‌شود ← احتمال فشردگی ↑)

$$h/t_w = 120$$

$$\lambda_{pw} = 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 109.6$$

$$\lambda_{rw} = 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 166.8$$

فشردگی بال:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{35}{2\times 2} = 8.75 \le \lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.1 \rightarrow$$ بال فشرده

$L_b = 0 \rightarrow L_b < L_p$ تیر مهاربندی کامپوزیت به علت وجود بتن

$$M_n = R_{PC} M_y$$

$$R_{PC} = \left[\frac{M_p}{M_y} - \left(\frac{M_p}{M_y} - 1\right)\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right]$$

$$M_p = Z F_y$$

$$M_y = S F_y$$

$\rightarrow R_{PC} = 1.108$

مقطع فولادی $Z = \underbrace{3.5\times 2\times 61\times 2}_{\text{برای دو بال}} + \underbrace{2\times 60\times 1\times 30}_{\text{برای جان}} = 12140\ cm^3$

مقطع فولادی $S = \frac{I_x}{d/2} = \left[\frac{(34\times 124^3)}{12} - \frac{(120^3\times 34)}{12}\right]\times\frac{1}{62} = 10726\ cm^3$

Subject
Date

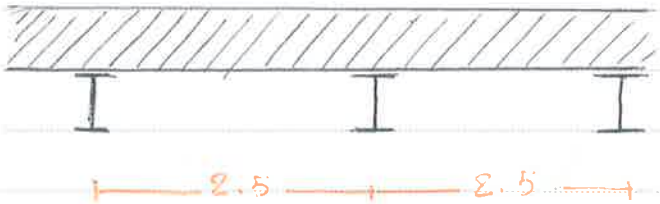
$M_n = R_{PC} \times M_y = 1.108 \times 10726 \times 2400$

$= 285.12 \times 10^5$

$M_u = \phi M_n = 0.9 \times 285.12 = 256.6 \text{ t.m}$

مطلوب است طراحی تیر مرکب زیر با مشخصات داده شده.

بدون سُمع بندی.



طول تیرچه ها $L = 12\text{m}$ ← دوسر مفصل

$F_y = 3600$

$E = 2.04 \times 10^6$

$D.L = 300 \text{ kg/m}^2$ ← سرده و کف سازی

$L.L = 600 \text{ kg/m}^2$

$DL = 50 \text{ kg/m}^2$ ← قالب بندی

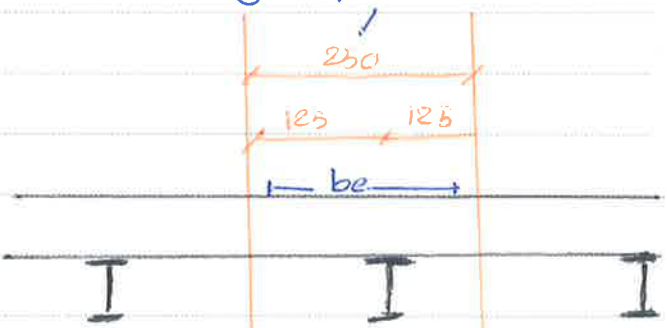
$\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$

قبل از کویش بتن:

وزن تیر + وزن قالب بندی + وزن قبل تر

مقطع فولادی باید این بارگذاری را تحمل کند.

دهانه بارگذاری



$b_e = 2 \min\left(\frac{L}{8}, \frac{S}{2}\right)$

$q_D = (2500 \times 0.12 \times 1 \times 2.5 + 50 \times 1 \times 2.5) = 875 \text{ kg/m}$

PgPCO

Subject

Date

$$M_u = \frac{w_u l^2}{8} = \frac{(1.4 w_D) l^2}{8}$$

$$= (1.4 \times w_D) \times 12^2 / 8 = 1.4 \times 875 \times 144 / 8$$

$$= 22.05 \text{ t-m}$$

$M_u \leq \phi M_p$ ⟵ فولاد کشم متقطع کاملاً پلاستیک عمل میکند

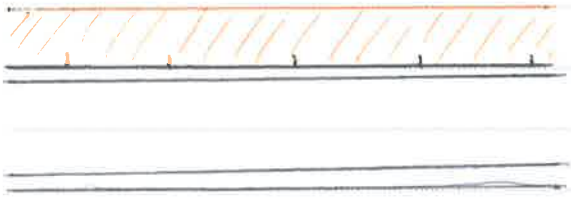
$$M_u \leq 0.9 \times (Z \times F_y) \rightarrow Z \geq \frac{M_u}{0.9 F_y} = \frac{22.05 \times 10^5}{0.9 \times 3600}$$

$$Z \geq 681 \text{ cm}^3$$

$\rightarrow$ IPE 330

Subject
Date

جلسه (96, 2, 17)



بتن کیوها ← کل میلگرد ها

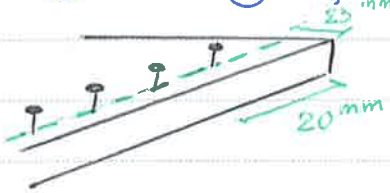
خاودانی

شرایط کلیپس ها:

1st : حداقل طول دندانه ها ۴ برابر قطر باشد.

$$H_s \geq 4 d_s$$

2nd : حداقل 25 mm پوشش جانبی و 20 mm پوشش در امتداد طول دارند



3rd : حداقل فاصله کلیپس ها از هم، ۴ برابر قطر کل میلگرد ات.

$$S \geq 4 d_s$$

4th : حداکثر فاصله دندانه ها از رابطه زیر محاسبه می شود.

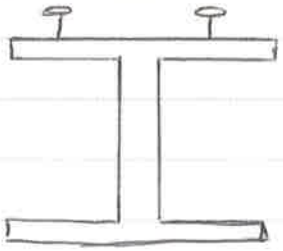
$$S \leq \min(30 \alpha d_s \;,\; 8 t_c \;,\; 80\ cm)$$

ضخیمت بتن پوشش قطر کل میلگرد

Subject

Date

آئین نامه : 5th — حداقل ارتفاع گلمیخ ها به بال متصل شوند عقل دکم باید از 2.5 برابر ضخامت بال کمتر باشد.



$d \le 2.5\, t_f$

مقاومت برشی هر گلمیخ = ظرفیت برشی هر گلمیخ $= Q_n = \min(0.5 A_{sa}\sqrt{f'_c E_c}\ ,\ R_g R_p A_{sq} F_u)$

kg — cm² — kg/cm² — cm² — kg/cm²

$A_{sa} = \frac{\pi}{4} d_s^2$ — سطح مقطع یک پرچین

ضرایب اصلاح — $R_g = 1$ — $R_p = 0.75$

محدوده محاسبه فاصله گلمیخ ها

برشی بین بتن و فولاد: از طرف فولاد (در محل NA بتن) $\rightarrow A_s F_y$

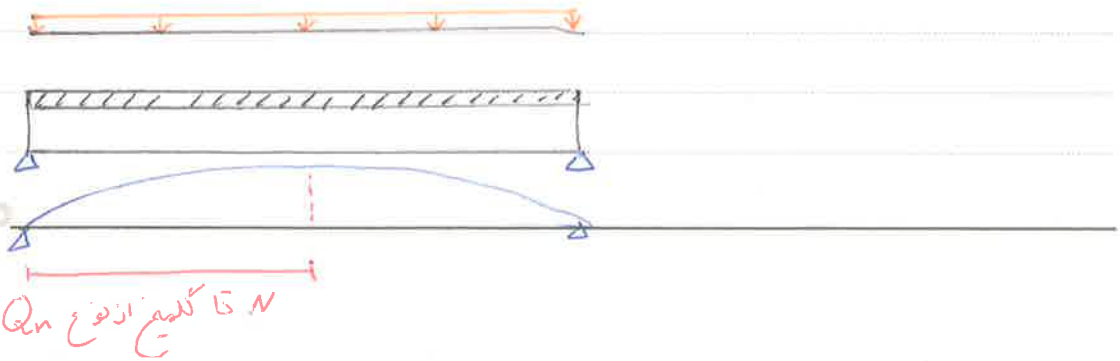
از طرف بتن (در محل NA بتن فولاد و بتن) $\rightarrow 0.85 f'_c (b_e \times t_c)$

$\Rightarrow V_{hu} = \min(A_s F_y\ ,\ 0.85 f'_c b_e t$

حداکثر نیروی برشی بین فولاد و بتن

$V_{hu} \le N Q_n$ — ظرفیت برشی گلمیخ

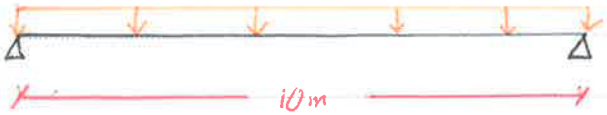
N ← تعداد گلمیخ (برای محدوده بین لنگر صفر و لنگر حداکثر)



Q_n تا گلمیخ از نوع

Subject
Date

مثال: طراحی کلیپ ها در تیر زیر



IPE 270 : $A_s = 45.9\ cm^2$

$t_c = 10\ cm$

$F_y = 3600$

$f'_c = 210\ kg/cm^2$

$b_e = 2\ m$

$V_{hu} = \min(A_s F_y\ ,\ 0.85 f'_c \times b_e \times t_c)$

$\min(3600 \times 45.9\ ,\ 0.85 \times 210 \times 200 \times 10) = 165240\ kg$

داده شده : $d_s = 16\ mm = 1.6\ cm$

$Q_n = ?$

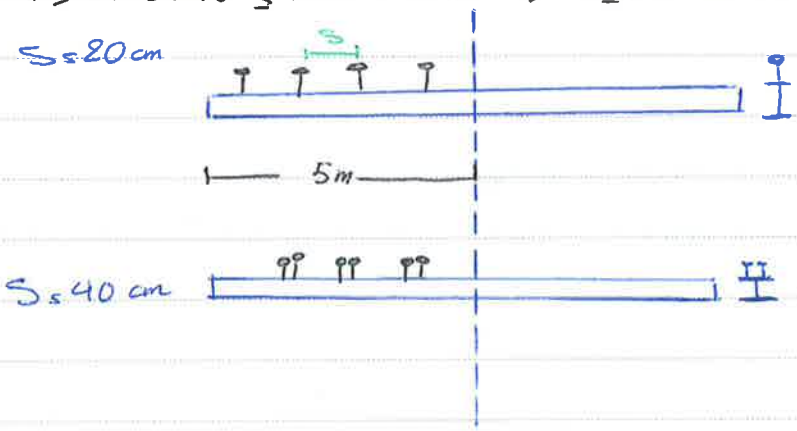
$f'_c = 210\ kg/cm^2$, $E_c = 0.137 \times (2400)^{1.5}\sqrt{210} = 233425\ kg/cm^2$

$A_{sa} = \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = \frac{\pi}{4}(1.6)^2 = 2.01\ cm^2$

$Q_n = \min(0.5 \times 2.01\sqrt{210 \times 233425}\ ,\ 1 \times 0.75 \times 2.01 \times 4500) = 6784\ kg$

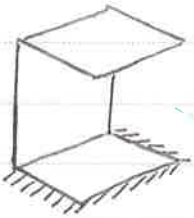
$V_{hu} \leq N Q_n \Rightarrow 165240 \leq N \times 6784 \rightarrow N \geq 24.35$

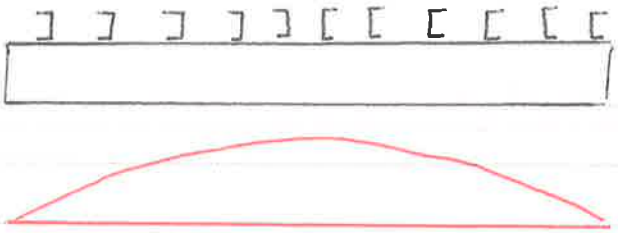
use 25 T

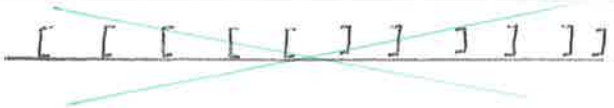


Subject
Date

خاودانی ها :

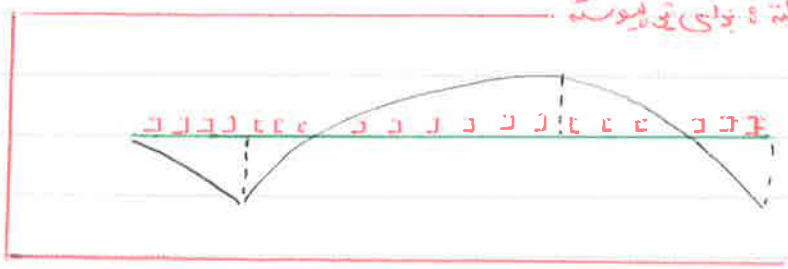






⇒ غیقابل قبول

نکته : برای تیرهای پیوسته



کنترل مثال قبل :

$S_{max} \leq \min(30d_s, 8t_{sc}, 80cm)$

$\leq \min(30\times1.6, 8\times10, 80) = 48^{cm}$ → $S = 40^{cm}$ O.K.

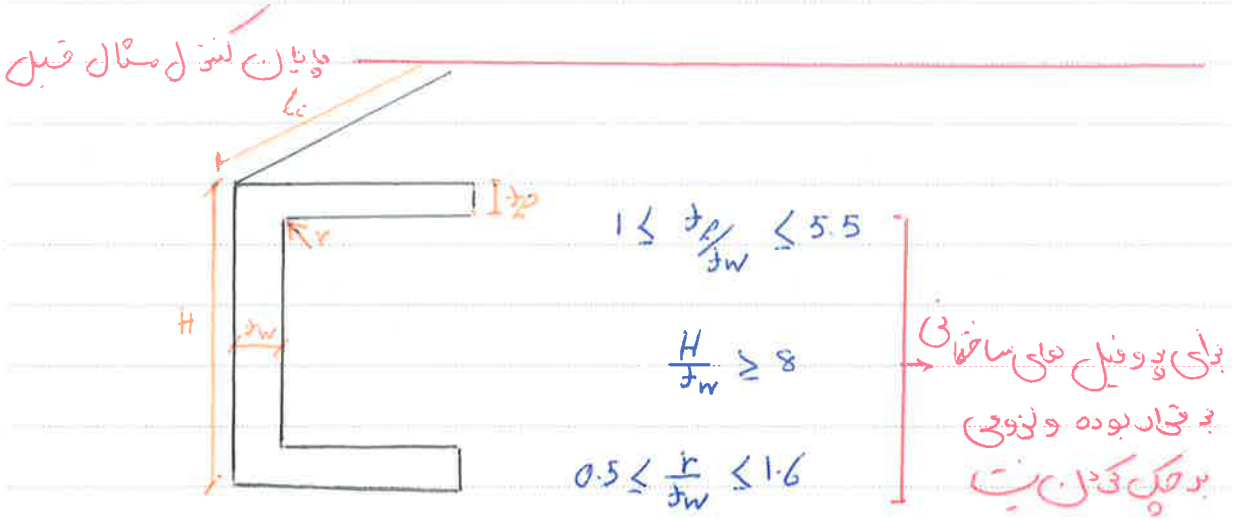
→ $S = 20^{cm}$ O.K.

Subject
Date

$S \geq 4d_s = 4 \times 1.6 = 5.4$ ← $S = 40 > 5.4$ O.K. : فاصله ها

$S = 20 > 5.4$ O.K.

$d_s \leq 2.5 t_p \Rightarrow 1.6 \leq 2.5 t_p$ O.K.



ولی رابطه های زیر لزوم چک وجود دارد

$L_c / t_p \geq 6$

$L_c \geq 6 t_p$

$$Q_n = 0.3(t_p + 0.5 t_w) L_c \sqrt{f'_c E_c}$$

$S \leq \min(8 t_c, 50cm)$ ← حداکثر فاصله

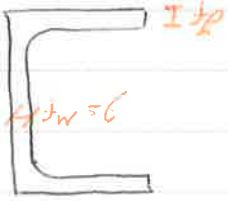
PdPCO

Subject
Date

$V_{hu} = 165,240\ kg$

دنی مثال قبل :

t_{wg} [6



$L_c \geq 6\, t_p$

$L_c \geq 6 \times 0.6 = 3.6\ cm$

$L_c = 4\ cm$

$$Q_n = 0.3\,(0.6 + 0.5 \times 0.6) \times 4\sqrt{210 \times 233425} = 7561\ kg$$

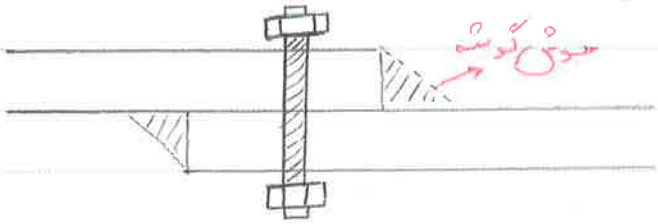
$$N \geq V_{hu}/Q_n = \frac{165\,240}{7561} = 21.85 \qquad N = 22$$

$$\frac{\text{فاصله کمتر} = 500\ cm}{N = 22} = 22.7$$

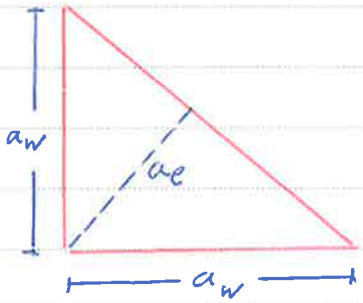
Subject
Date

اتصالات ۸

منظور توانایی انتقال نیرو توسط دو عضو است که توسط پیچ یا جوش انجام می‌شود.



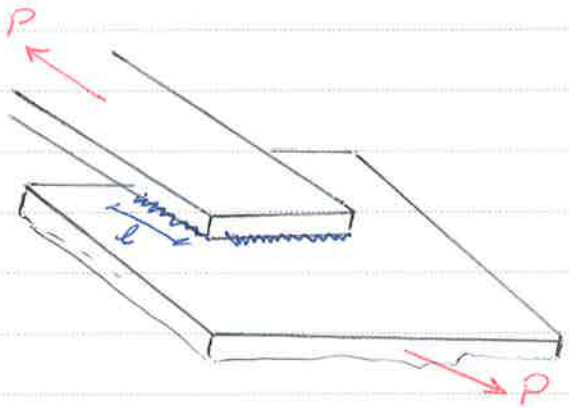
بعد و طول جوش در انتقال آن اهمیت خواهد بود



$$a_e = \frac{\sqrt{2}}{2} a_w = 0.707 a_w$$

a_e ← طول مؤثر جوش

جوش باید به اندازه‌ای قوی باشد تا نیروی P را از عضو بالا به عضو پایین منتقل کند.



تنش مجاز جوش × a_e × L × FS > P

حداکثر بیشترین نیروی قابل تحمل توسط یک سانتیمتر جوش است

PdPCO

Subject

Date

نوع الکترود	تنش مجاز جوش F_{ue} =	تنش تسلیم فولاد
E60	4200 kg/cm^2	3000 kg/cm^2 تا
E70	4900 "	3800 kg/cm^2 تا
E80	5600 "	4800 kg/cm^2 تا

$$P < 0.3 \times \phi \times F_{ue} \times 0.707\, a_w \times L$$

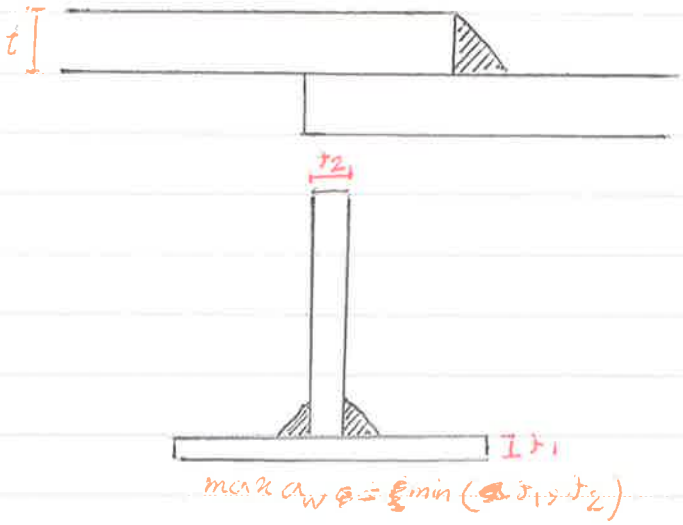
ضریب اطمینان

$\phi = 0.75$ → جازدگی جشمی

$\phi = 0.85$ → جازدگی کارخانه

$\phi = 1$ → جازدگی خیلی خوب

حداقل و حداکثر بعد جوش گوشه.



t ال

$> 7^{mm}$ → $a_{w,max} = t - 2$

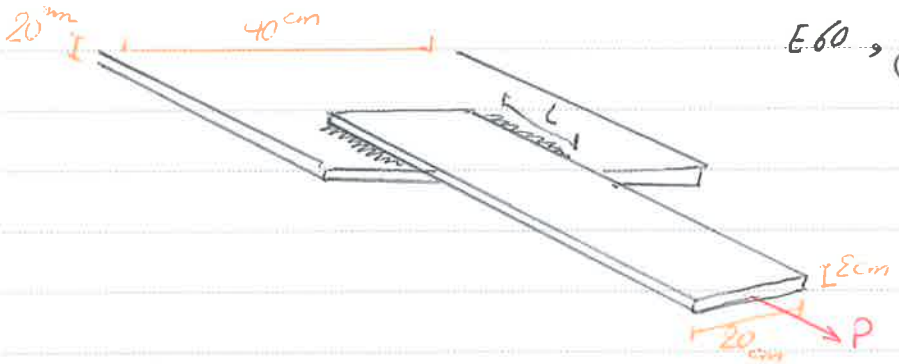
$\leq 7^{mm}$ → $a_{w,max} = t^{mm}$

$$\max a_w = \min(t_1, t_2)$$

Subject
Date

ضخامت قطعات نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه
$t \leq 7mm$	3 mm
$7 < t \leq 12^{mm}$	5 mm
$12 < t \leq 20^{mm}$	6 mm
$t > 20^{mm}$	8 mm

مثال: کنترل جوش، E60



حداکثر نیروی قابل تحمل توسط ورق:

$P = 0.6 F_y \times A$

$= 0.6 \times 2400 \times (20 \times 2) = 57600\ kg$

E60 + کنترل جوش

$\varphi = 0.75 \rightarrow F_{ue} = 4200\ kg/cm^2$

$P < 0.3 \varphi F_{ue} \times 2L \times 0.707 a_w \rightarrow L a_w \geq 43$

ضخامت موثر جوش

$min\ a_w = 6^{mm}$

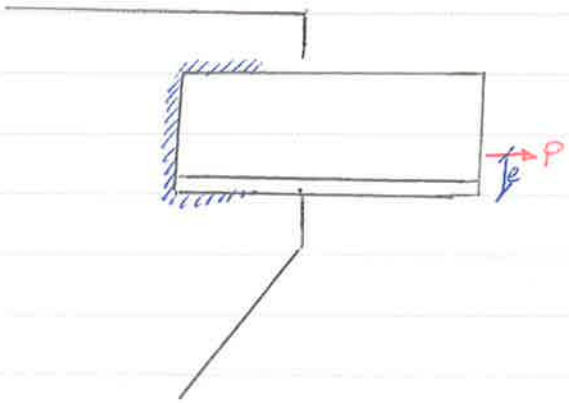
$max\ a_w = 20 - 2 = 18^{mm} \rightarrow a_w = 10^{mm}$

$L \times 10^{mm} = 1cm \geq 43 \Rightarrow L \geq 43cm \Rightarrow L = 45\ cm$

PARCO

Subject
Date

مثال : انتقال نیرو توسط بشی ه

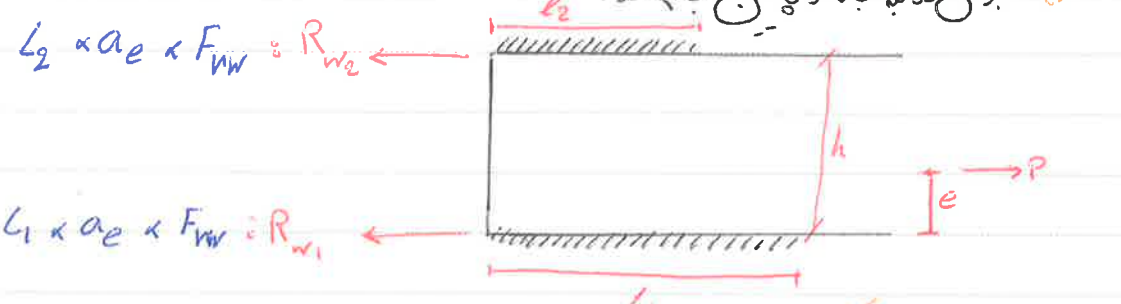


L 200 × 200 × 16
$A = 61.8\ cm^2$
$e = 5.52\ cm$

$F_y = 2400$
E60, $\varphi = 0.75$

$P = 0.6 F_y \times A = 0.6 \times 2400 \times 61.8 = 88992\ kg$

CA جوش در لبه بالا و پایین انجام شود



$L_2 \times a_e \times F_{vw} : R_{w_2}$ ←

$L_1 \times a_e \times F_{vw} : R_{w_1}$ ←

چون به P در دیگر تو
است عمول سیتون دارد

$R_{w_1} = L_1 \times a_e \times F_{ue} \times 0.3 \times \varphi$

F_{vw} : تنش وتی برای $1\ cm$ طول جوش *

$= 0.3 \times 0.75 \times 4200 = 945\ kg/cm^2$

Subject

Date

$R_{w_1} \times h = P(h-e) \Rightarrow R_{w_1} = \frac{P}{h}(h-e)$ — کشش در جوش R_2:

$R_{w_1} = L_1 a_e F_{vw}$

$\rightarrow L_1 a_e = 68\ cm^2$

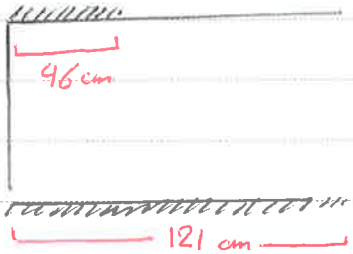
$R_{we} = \frac{Pe}{h}$

$R_{w_2} = L_2 a_e F_{vw}$ $\rightarrow L_2 a_e = 26\ cm^2$

$a_w = 8\ cm$ (جلو) $\Rightarrow a_e = 0.707 \times a_w = 5.6\ mm$

$L_1 = 68 / (5.6 \times 10^{-1}) = 121\ cm$

$L_2 = 26 / (5.6 \times 10^{-1}) = 46\ cm$



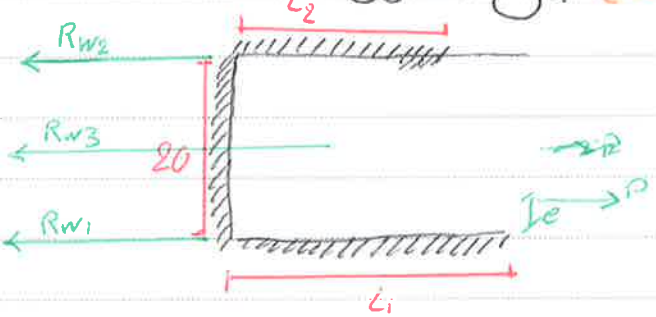
B) جوش سه طرف:

$R_{w_1} = L_1 a_e \times 945$

$R_{w_2} = L_2 a_e \times 945$

$R_{w_3} = 20 \times a_e \times 945$

$a_w = 8\ mm \rightarrow a_e = 0.707 a_w = 5.6\ cm$



جلو

$R_{w_1} = 534.5 L_1$

$R_{w_2} = 534.5 L_2$

$R_{w_3} = 10689.8\ kg$

$P = R_{w_1} + R_{w_2} + R_{w_3}$

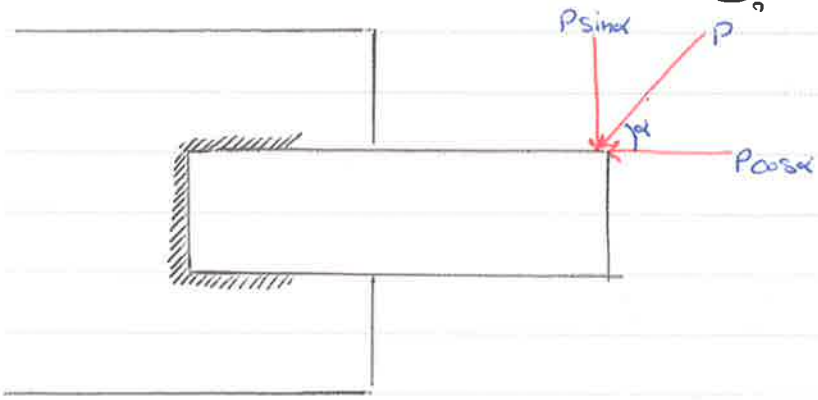
$R_{w_2} \times 20 + R_{w_3} \times 10 = P \times e$

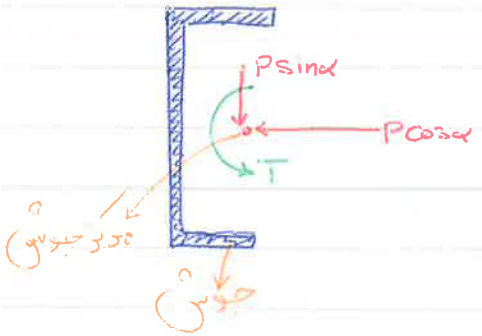
$\rightarrow L_1 = 110\ cm$

$L_2 = 36\ cm$

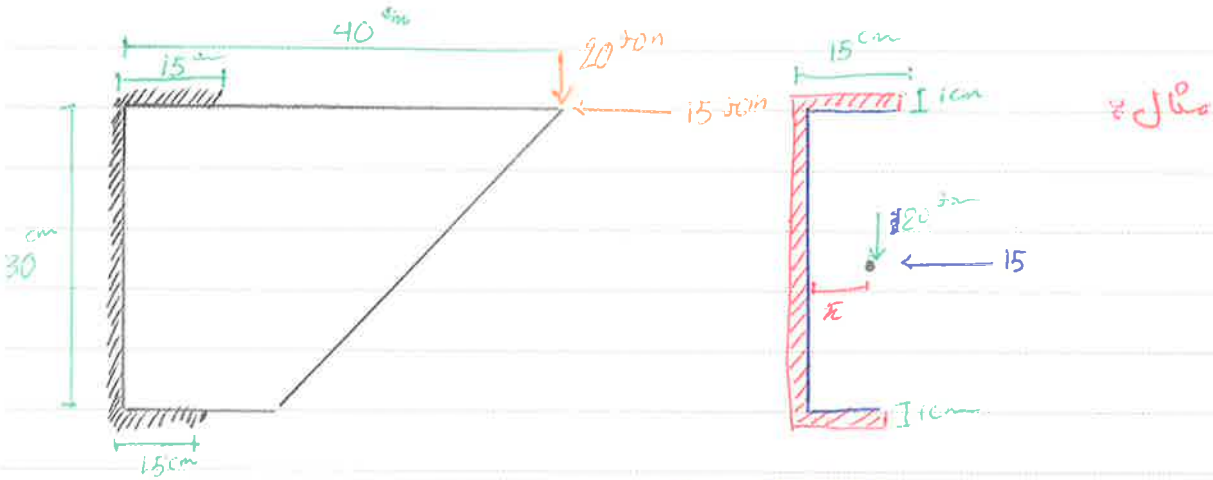
Subject
Date

طراحی اتصالات برای برش و پیچش





باید تنش حاصل از هر کدام از این ها
تنش‌های Max کمتر شود



مثال:

$$f_{y_1} = \frac{20,000}{(15+15+30)} = 333.3 \ kg/cm^2$$

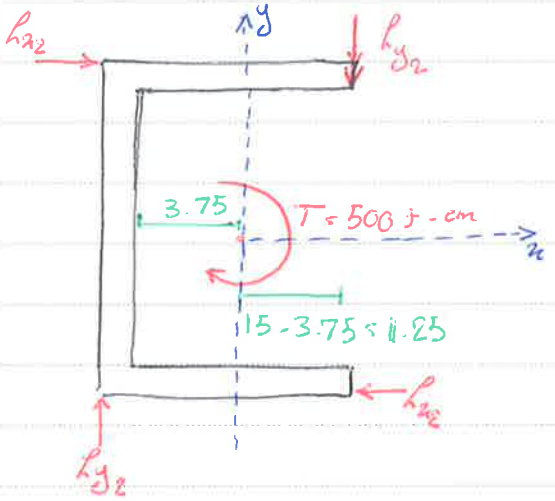
$$f_{x_1} = \frac{15000}{60} = 250$$

Subject
Date

$$\bar{x} = \frac{\sum l_i x_i}{\sum l_i} = \frac{15\times 7.5 + 15\times 7.5 + 30\times 0}{15+15+30} = 3.75$$

با توجه به تقارن می‌دانیم مرکز ثقل روی محور y قرار دارد و فاصله مرکز ثقل تا سطح چپ برابر 3.75 است

$T = \text{گشتاور پیچشی وارد} = 20(40-3.75) - 15\times 15 = 500\ kg\text{-}cm$



$$h_{x_2} = \frac{Ty}{J} = \frac{T\times 15}{J}$$

$$h_{y_2} = \frac{Tx}{J} = \frac{T\times 11.25}{J}$$

$$I_x = \frac{30^3}{12} + 2(15\times 15^2) = 9000\ cm^4$$

$$I_y = 30\times 3.75^2 + \left[\frac{3.75^3}{3} + \frac{(15-3.75)^3}{3}\right]\times 2$$

$$= 1406.25\ cm^4$$

$$J = I_x + I_y = 10406.25\ cm^4$$

$$h_{x_2} = \frac{500\times 10^3\times 15}{10406} = 720.72$$

$$h_{y_2} = \frac{500\times 10^3\times 11.25}{10406} = 540.5$$

$$h_{x_1} = 250$$

$$h_{y_1} = 333.3$$

سپس برآیند

$$h_r = \sqrt{(250+720.72)^2 + (540.5+333.3)^2}$$

$$= 1306.1\ kg/cm^2$$

$$F_{nw} = 0.3\times\phi\times F_{ue} = 0.3\times 0.85\times 4900 = 1249.5\ kg/cm^2$$

Subject

Date

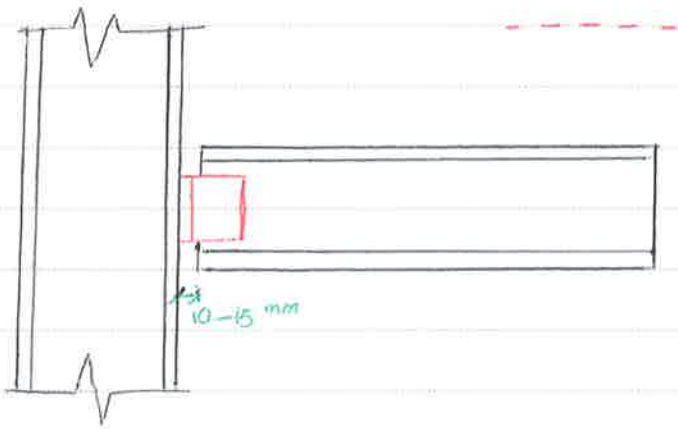
$a_e = 1306.12 / 1249.5 = 1.04\ cm$

$a_w = \frac{a_e}{0.707} \geq 1.5\ cm \geq 15\ mm$ — max a_w O.K; min a_w O.K

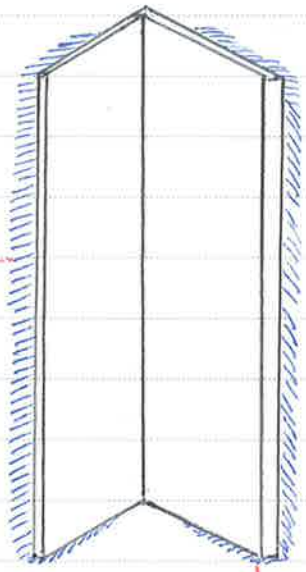
Subject
Date 4

حلبه (ز 24 ، 2 ، 16) - - - - - - - - - - -

اتصال مفصلی ساده :



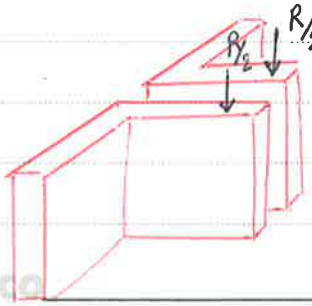
برای انتقال نیروی برشی
کاربرد دارد .

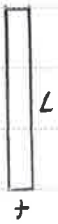


جوش B : برای اتصال بشی به ستون

جوش A : برای اتصال بشی به تیر

A : طراحی بشی
آی R حداکثر نیروی برشی انتهای تیر باشد (حداکثر ظرفیت بشی تیر)





تنش برشی متوسط $= \frac{V}{A} = \frac{R/2}{tL}$

تنش برشی متوسط $= \frac{3}{2}$ $f_{v,max}$

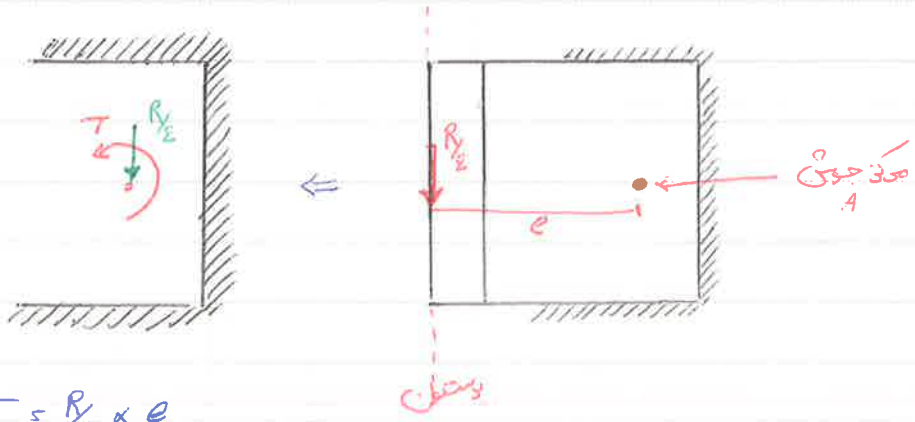
$f_{v,max} = \frac{3}{2}\left(\frac{R/2}{tL}\right) = \frac{3}{4}\frac{R}{tL}$

ظرفیت برشی max $= F_v = 0.4F_y \Rightarrow \frac{3}{4}\frac{R}{tL} \le 0.4F_y$

کنترل بشی

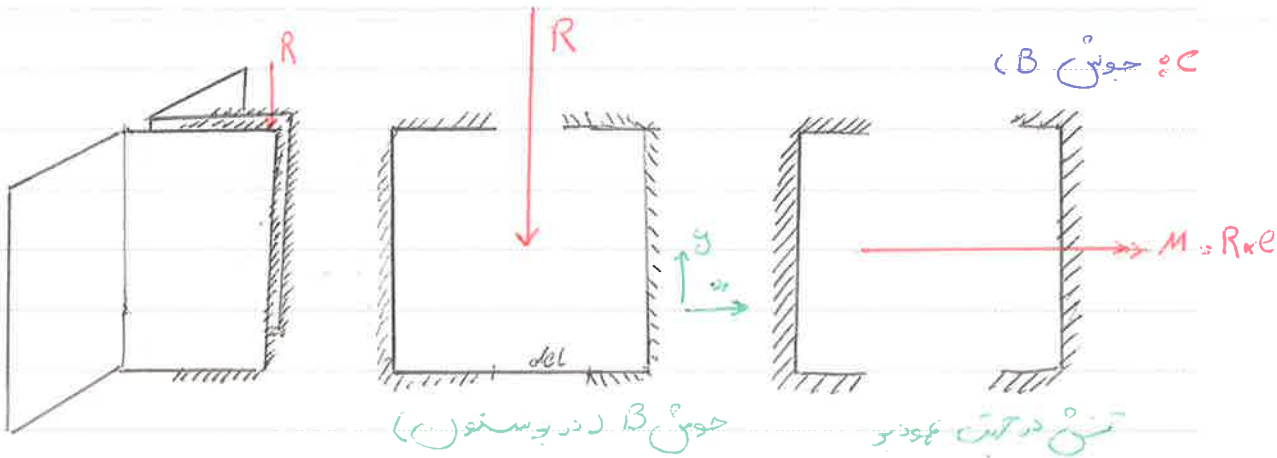
Subject
Date

B: جوش A،
باید بتواند مقابل نیروی $R/2$ و لنگر پیچشی T مقاومت کند.

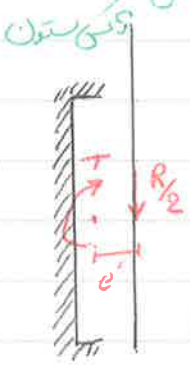


$T = R/2 \times e$

C: جوش B،



جوش B در ستون
تنش برشی ثانویه
تنش برشی یکنواخت



$R/2 \times e' = T'$ تنش برشی ثانویه

PdPCO

Subject

Date

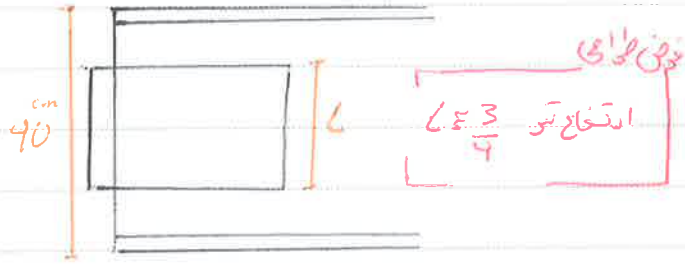
مثال: اتصال IPE400 (450) به IPB300 (240) مانکن نبشی جان

$R = 22^{ton}$ ؟؟

$\varphi = 0.85$ 0.75

E60 ✓

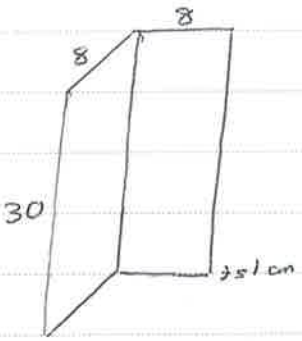
$F_y = 2400$ ✓

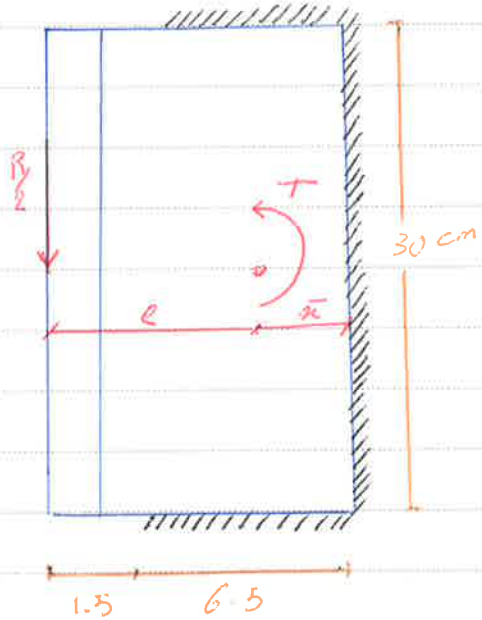


طول کولی: $L = 30^{cm}$

$$\frac{3}{4} \times \frac{R}{Lt} \leq 0.4 \times 2400 \Rightarrow t \geq 0.57\ cm$$

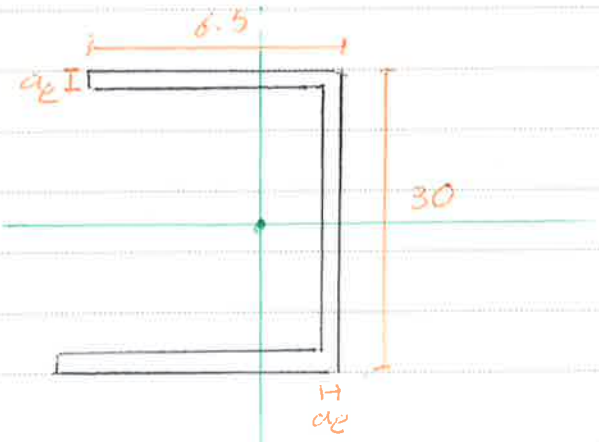
try $2L\ 8 \times 8 \times 1$, $L = 30^{cm}$





$$\bar{x} = \frac{2 \times (6.5 \times 3.25) + 30 \times 0}{2 \times 6.5 + 30} = 0.98^{cm}$$

$$A = 6.5 \times a_e \times 2 + 30 \times a_e$$



PqPCO

Subject

Date

$$f_y = \frac{R/2}{A} = \frac{22000/2}{43a_e} = \boxed{\frac{255.8}{a_e}} \text{ kg/cm}^2$$

$$T = R/2\,(8-0.98) = 77220 \text{ kg-cm}$$

$$I_x = 30^3 a_e \times \frac{1}{12} + 2\left[6.5\,a_e \times 15^2\right] \Rightarrow I_x = 5175\,a_e \text{ cm}^4$$

$$I_y = (30a_e \times 0.98^2) + 2\left[\frac{(6.5-0.98)^3 a_e}{3} + \frac{0.98^3}{3} a_e\right] = 141.57 a_e$$

$$J = I_x + I_y = 5316.6\,a_e \text{ cm}^4$$

$$f_{Tx} = \frac{T_x\, y}{J} = \frac{77220 \times 15}{5316.6\,a_e} = \boxed{217.8/a_e}, \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{Ty} = \frac{T \times x}{J} = \frac{77220 \times (6.5-0.98)}{5316.6\,a_e}$$

$$f_{Ty} = 80.17/a_e$$

$$f_r = \sqrt{\left(\frac{255.8}{a_e}\right)^2 + \left(\frac{217.8}{a_e}\right)^2}$$

$$f_r = 400.4/a_e$$

f_{rw} = تنش مجاز $\rightarrow$ $f_{rw} = 0.3\,\varphi \times F_{ue} = 0.3 \times 0.85 \times 4200$

$$F_r \le f_{rw} \rightarrow \frac{400.4}{a_e} \le 0.3 \times 0.85 \times 4200 = 1071$$

$$\frac{400.4}{1071} \le a_e \rightarrow 0.707\,a_w \ge \frac{400.4}{1071}$$

$$a_w \ge 0.53 \text{ cm} \rightarrow \text{use } a_w = 6 \text{ mm}$$

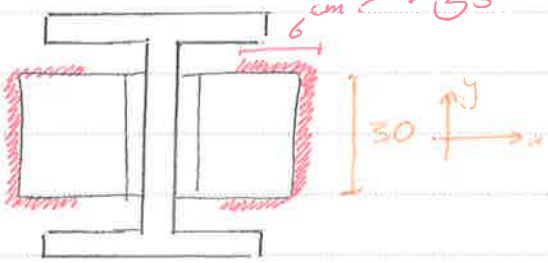
Subject
Date

آی از اینجا a_2 را معادل 1 در نظر می‌گیریم:

$f_r = 400.4$

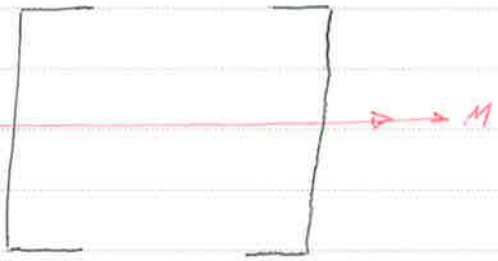
$400.4 \leq 0.3 \times \varphi \times F_{ue} \times 0.707 \times a_w$

جزء B :



$f_y = \frac{R}{A} = \frac{22000}{4\times6+2\times30} = 261.9 \ kg/cm^2$

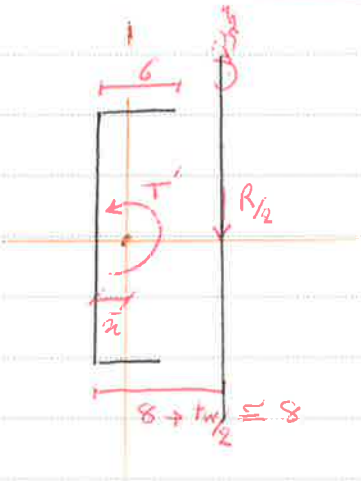
$M = R \times e = 22000 \times (8-0.98) = 154440 \ kg\text{-}cm$



$f_z = \frac{My}{I}$

$I_x = \left(\frac{30^3}{12}\right)\times 2 + 4\left(6+15^2\right) = 9900 \ cm^4$

$f_z = \frac{154440 \times 15}{9900} = 234 \ kg/cm^2$



$\bar{x} = \frac{6\times3\times2}{6\times2+30} = 0.86 \ cm$

$T' = R/2\ (8-0.86) = 78540 \ kg\text{-}cm$

$I = \left[\frac{2200}{2}\right] + \left[30\times0.86^2 + \frac{2}{3}(0.86^3 + (6-0.86)^3)\right] = 5063$

($\frac{2200}{2}$ = I_2, I_y)

$f_{T'_y} = \frac{78540\ (6-0.86)}{5003} = 79.7 \ kg/cm^2$

$f_{T'_x} = \frac{78540 \times (15)}{5063} = 232.7 \ kg/cm^2$

P4PCO

Subject

Date

$$F_r = \sqrt{(232.7)^2 + (79.7 + 261.9)^2 + (234)^2}$$

x جهت — y جهت — z جهت

$h_r = 474.97$

$h_r \leq 0.3 \varphi F_{ue} (0.707 a_w)$

$474.97 \leq 0.3 \times 0.85 \times 4200 \times 0.707 \times a_w$

$a_w \geq 0.63\ cm$

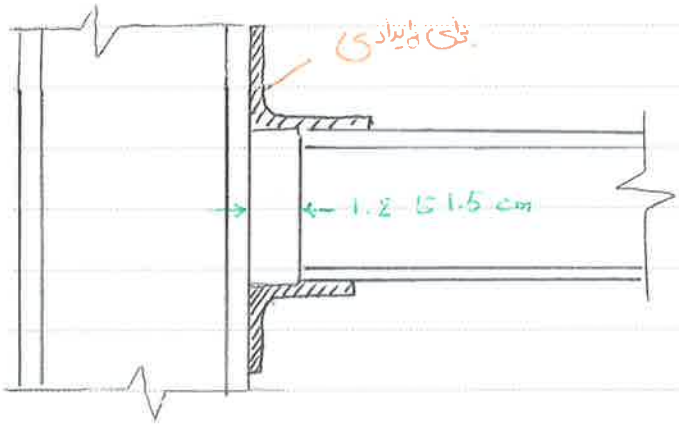
use $a_w = 7\ mm$

Subject
Date

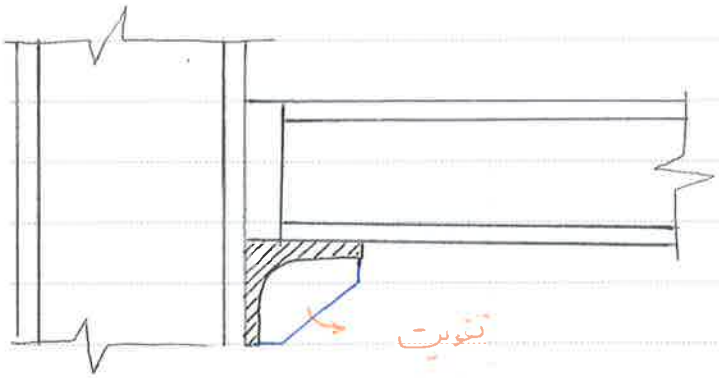
جلسه (96 , 2 , 31)

اتصال مفصلی شسته:

بدون تقویت:



با تقویت:



نکته:

۳ ← ضویب بازبری جنبی

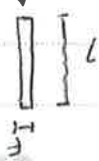
روش تنش مجاز (ASD): $R < 0.3\varphi F_{ue} \times 0.707 a_w \times l_w$

جایی ضویب ها: $R_D + R_L$

روش بار نهایی (LRFD): $R_u < 0.75\varphi (0.6 F_{ue}) \times 0.707 a_w \times l_w$

بار ضویب دار ها: $1.2R_D + 1.6R_L$

در طراحی نبشی های اتصال مفصلی ساده بین LRFD و ASD تفاوت وجود دارد.



ASD: $\Rightarrow \frac{3}{4} R/2L < 0.4 F_y$

LRFD: $R_u \leq 0.6 F_y L_{at}$

Subject
Date

مثال: در LRFD

داده ها: تیر: IPE 360

ستون: IPB 320

نوع الکترود: E60

ضریب جاذبی جنسی $\varphi = 0.85$

$E = 2.1 \times 10^6$

$R_D = 4t$

$R_L = 8t$

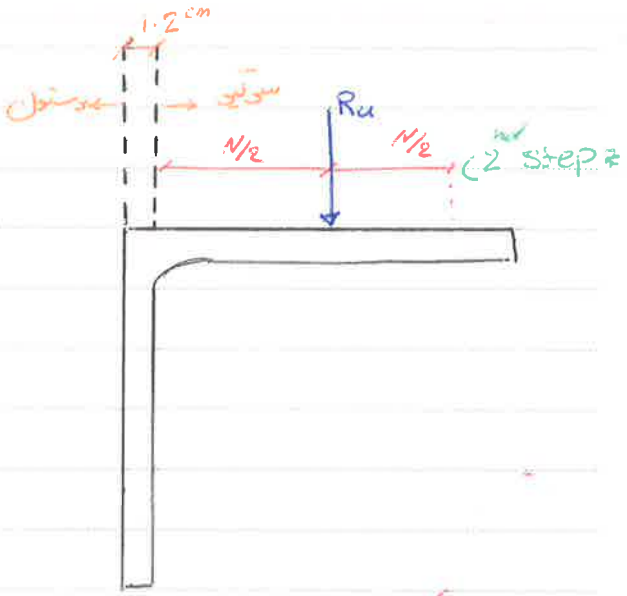
$F_y = 2400\ kg/cm^2$

step 1: ترکیب بار:

$R_u = 1.2R_D + 1.6R_L = 17.6\ ton$

$t_{IPE360} = 3.07cm$

$t_w = 0.8\ cm$



N: محل تکیه گاه: N باید چنان باشد تا تیر در ناحیه اتصال دچار له شدگی (تیر در برابر لهیدگی مقاومت کند)

$R_u / (N + 2.5k)\, t_w \leq f_y$

$17.6 \times 1000 / (N + 2.5(3.07)) \times 0.8 \leq 2400 \Rightarrow N \geq 1.49\ cm$

$N \geq 1\text{cm} \Rightarrow N \geq 3.07cm$

Subject
Date

جاری کننده $\frac{N}{d} \leq 0.8$ فرض

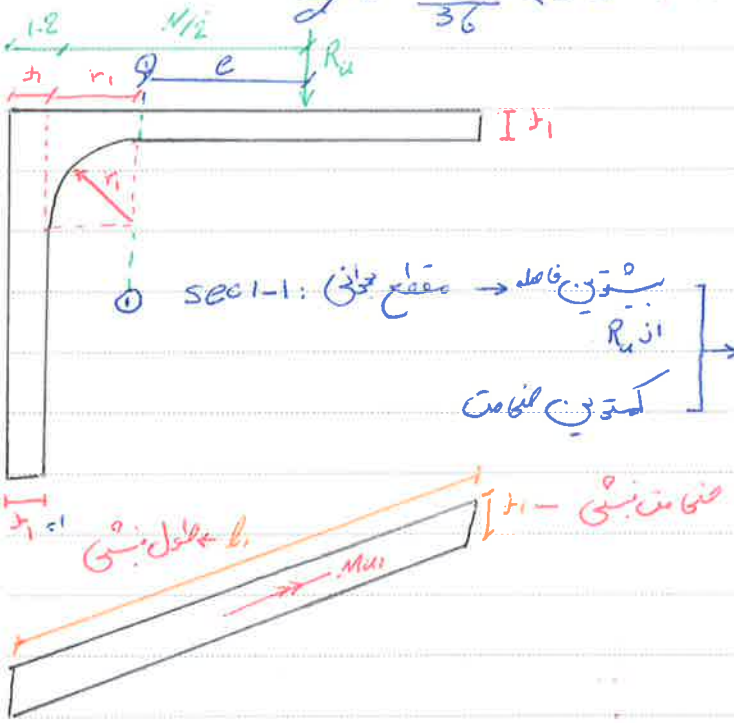
جلوگیری از لهیدگی جان:

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$17.6 \times 1000 \leq 0.75 \left(0.4 t_w^2 \left[1 + \frac{3N}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \right) \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}}$$

$t_w \leq 0.8$
$t_f \leq 1.27$ $\Rightarrow$ $N \geq 0.595 cm$
$d \leq 36$
$N \geq \max(0.595, 3.07, 1.49) = 3.07 cm$

$\frac{N}{d} = \frac{3.07}{36} < 0.8 \Rightarrow$ OK



$$M_{1u} = R_u \times e$$
$$M_{1u} = R_u \left(N/2 + 1.2 - (t_1 + r_1) \right)$$
$$M_{1u} \leq 0.9 M_n = 0.9 (Z F_y)$$
$$M_{1u} \leq 0.9 \left(\frac{t_1}{2} \times l_1 \times \frac{t_1}{4} \times 2 \right) F_y$$

Z

$$M_{1u} \leq 0.9 \left(\frac{t_1^2 l_1}{4} \right) F_y$$

فرمول اصلی

PqPCO

Subject
Date

جایگذاری طول و سطح نشیمن دوبل بعدی کرده

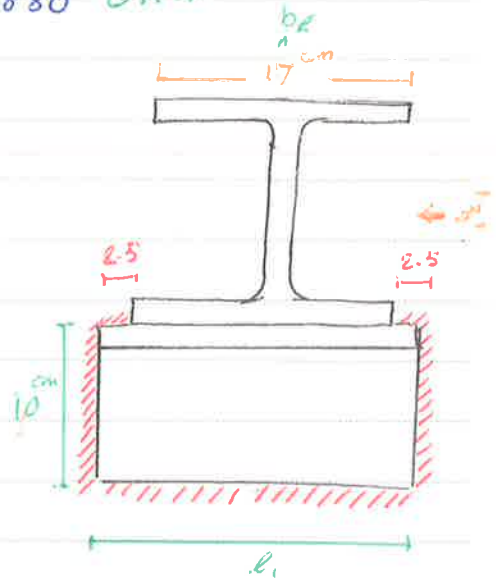
طراحی : try L 10×10×1

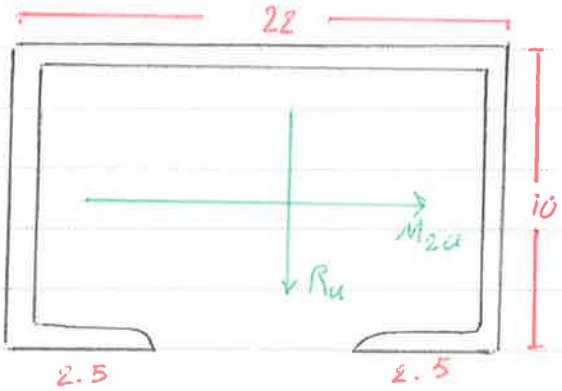
$\ell_1 = 22\ cm$

$t_1 = 1\ cm \Rightarrow \ell_1 = 22\ cm\ ,\ r_1 = 1.2\ cm$ ← اشتباه

$$M_{1u} = 17600\left(\frac{3.07}{2} + 1.2 - (1+1.2)\right) = 9416\ kg.cm$$

$$M_{1u} = 9416 \le 0.9 \times (1^2 \times 22/4) \times 2400 = 11880 \quad ok.\checkmark$$





محاسبات جوش :

$$M_{2u} = R_u\left(1.2 + \frac{N}{2}\right)$$

Subject
Date

$$A = 22 + 10\times 2 + 2.5\times 2 \times 2 = 47\ cm^2$$

$$\bar{y} = \frac{22\times 0 + 10\times 5\times 2 + 2.5\times 10\times 2}{47} = 3.2$$

$$I_x = 22\times 3.2^2 + \underbrace{2}_{\text{2 عدد}}\times 2.5\times(10-3.2)^2 + \underbrace{2}_{\text{2 عدد}}\times\frac{1}{3}\left(3.2^3 + (10-3.2)^3\right) = 688\ cm^4$$

$$M_{u_2} = 17600\times(12 + 3.07/2) = 48824\ kg\cdot cm$$

تنش قائم وارده $f_y = \frac{R_u}{A} = \frac{17600}{47} = 374.5\ kg/cm^2$

تنش خمشی $f_f = \frac{My}{I} = \frac{48824\times(10-3.2)}{688} = 476.6\ kg/cm^2$

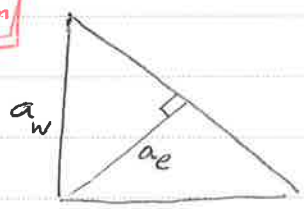
$$f_r = \sqrt{f_y^2 + f_f^2} = \sqrt{374.5^2 + 476.6^2} = 606.2\ kg/cm^2$$

$$F_w = \phi(0.6F_{ue}) = 0.75(0.6\times 4200) = 1890\ kg/cm^2$$

حداقل اندازه جوش

$$a_e \geq \frac{f_r}{0.75 F_w} = \frac{606.2}{0.75\times 1890} = 0.43\ cm$$

$$a_w \geq \frac{a_e}{0.707} \cong 0.6 \Rightarrow \text{use } a_w = 6mm$$

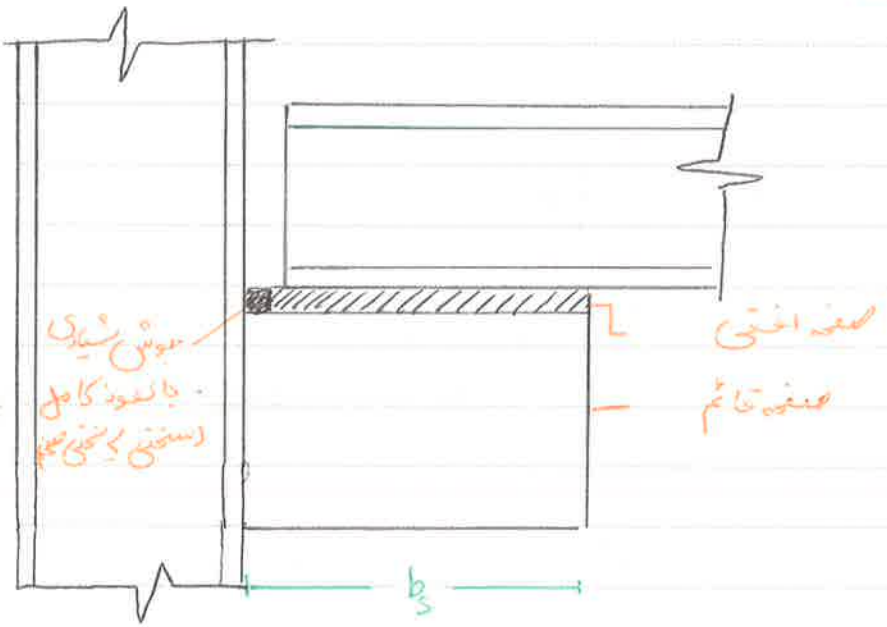


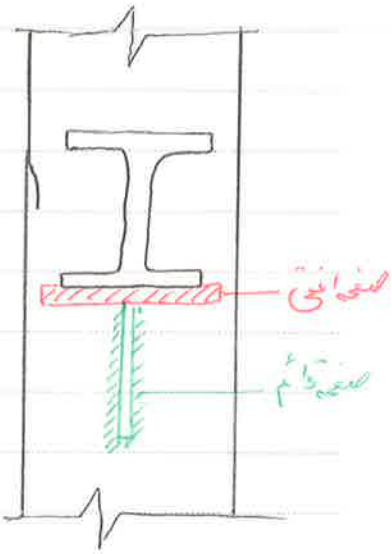
PDFCO

Subject

Date

انتقال خسته با تقویت ؟





Subject
Date

مثال

داده ها: تیر INP 400 ستون IPE 320

$E60$

$\varphi = 0.75$

$E = 2.1 \times 10^6$

$Fy = 2400$

$d = 40$, $t_w = 1.44$, $k = 3.85$, $t_f = 2.16$

برش حداکثر نیروی بدنی:

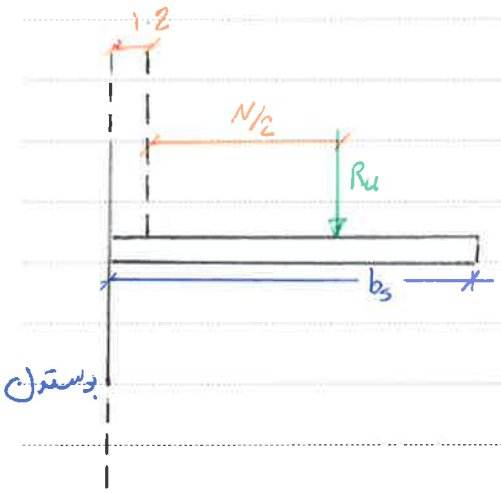
$$h/t_w = \frac{40 - 2(3.85)}{1.44} = 22.43 \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 66.3 \Rightarrow \varphi_v = 1$$

$$h/t_w < 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{Fy}} \Rightarrow C_v = 1$$

$$V_u = R_u \leq \varphi_v V_n \Rightarrow R_u \leq 1 \times (0.6 \times Fy \times (40 \times 1.44) \times 1)$$

$$R_u \leq 82944\ kg$$

$$R_u = 82\ ton$$



N براساس حد تسلیم:

$$\frac{R_u}{(N + 2.5k)t_w} \leq fy$$

$$\frac{82000}{(N + 2.5 \times 3.85) \times 1.44} < 2400 \Rightarrow N \geq 14.1\ cm$$

N براساس لبیگی:

$N/d > 0.2$ فرض

$$R_u = 82000 \leq 0.75\left(0.4 \times 1.44^2\left[1 + \left(\frac{4 \times N}{40} - 0.2\right)\left(\frac{1.44}{2.16}\right)^{1.5}\right]\right)\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2.16 \times 2400}{1.44}}$$

$$\Rightarrow N \geq 11.5\ cm$$

$$\frac{N}{d} = \frac{11.5}{40} > 0.20.K$$

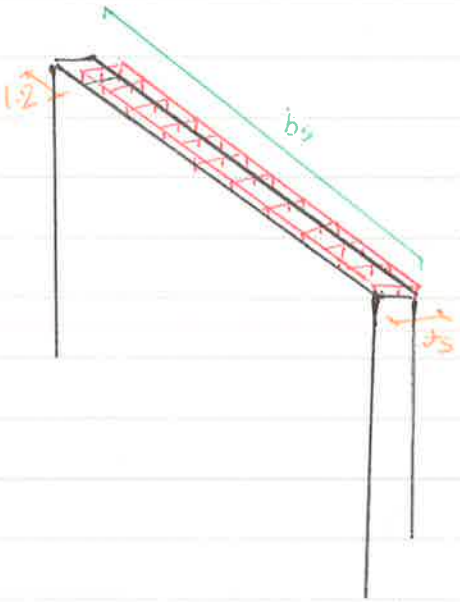
Subject

Date

$N = \max\{11.5, 14.1, 3.85\} = 14.1^{cm}$

$b_s \geq N + 1.2 = 14.1 + 1.2 = 15.3$

طراحی: $b_s = 16\,cm$



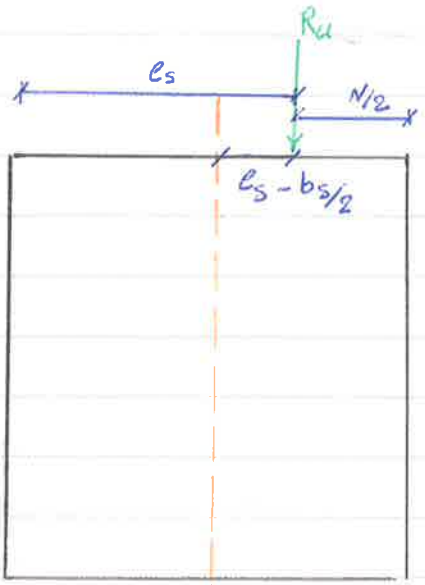
تنش انکایی بدون خروج از مرکزیت:

$$\frac{R_u}{(b_s - 1.2)t_s} \leq \varphi(1.8F_y) \qquad \varphi = 0.75$$

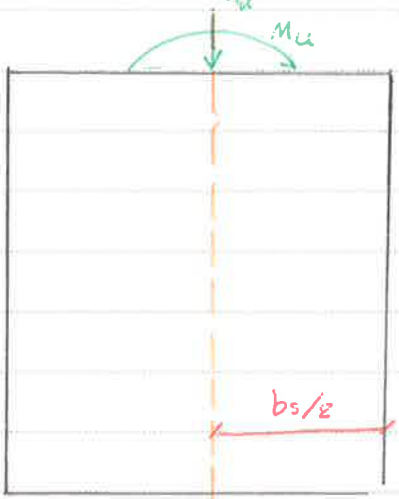
$$\frac{82000}{(16-1.2)t_s} \leq 0.75(1.8 \times 2400)$$

$$t_s \geq 1.71\,cm$$

تنش انکایی با خروج از مرکزیت:



$\Rightarrow$



$$f_{up} \leq \frac{\varphi}{0.75}(1.8F_y)$$

$$f_{up} = \frac{R_u}{b_s t_s} + \frac{M_u \cdot b_s/2}{\frac{b_s^3 t_s}{12}}$$

$$M_u = R_u(e_s - b_s/2)$$

$e_s = 16 - \frac{14.1}{2} = 8.95^{cm}$

Subject
Date

$$f_{up} = \frac{82000}{16 t_s} + \frac{82000 \times (8.95 - 8) \times 6}{(16)^2 \times t_s}$$

→ try $t_s = 2.2^{cm}$

$f_{up} \leq 0.7 \times 1.8 \times 2400$

نکته: پس از تعیین ضخامت b_s و t_s برای جلوگیری از کمانش موضعی باید رابطه زیر صدق کند:

$$b_s / t_s \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{16}{2.2} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 16.56 \quad o.k$$

ضخامت ورق افقی: (t_p)

$t_p > t_s \Rightarrow t_p \geq 2.2cm$ → ضخامت ورق افقی

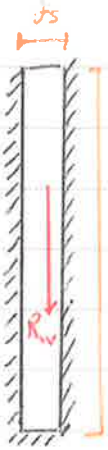
نکته: کنترل دیگر

$$t_s > \frac{F_y \text{ تیر}}{F_y \text{ ورق افقی}} \times t_w$$

$$t_s > \frac{2400}{2400} \times 1.44 \Rightarrow t_s > 1.44 \quad o.k$$

PqPCO

Subject
Date



ارتفاع ورق قائم :

صفحاتی وطول صفحه قائم باید چنان باشد که در صورت امکان جوش پیده شود ولی صفحه پریده نشود.

$$R_u \le \phi R_n = (0.6F_y) \times L_s \times t_s$$

$L = 1$

R_{ue} = نیروی مؤثر روی نعل دوسطح جوش

$$= 0.75 \times (\phi \times 0.6 \times F_{ue})(2L_s)(0.707a_w)$$

بازدید

$$1 \times 0.6F_y \times L_s \times t_s \ge 0.75 \times \phi \times 0.6 \times F_{ue} \times 2L_s \times 0.707a_w$$

$$t_s \ge \frac{\phi F_{ue} \times a_w}{F_y}\left(\frac{0.75 \times 0.6 \times 0.707}{0.6}\right) \Rightarrow t_s \ge \frac{1.06 \times 0.75 \times 4200 \times a_w}{2400}$$

$$2.2 \ge " \Rightarrow a_w \le 1.58^{cm}$$

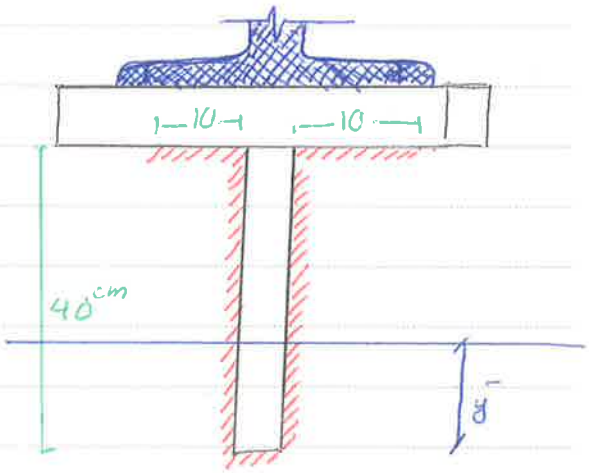
$$R_u < L_s \times t_s \times 0.6 \times F_y$$

$$82000 < L_s \times 2.2 \times 0.6 \times 2400 \Rightarrow L_s \ge 25.9^{cm}$$

طراحی $L_s = 40$ cm

$$A = 40 \times 2 + 10 \times 2 = 100\ cm^2$$

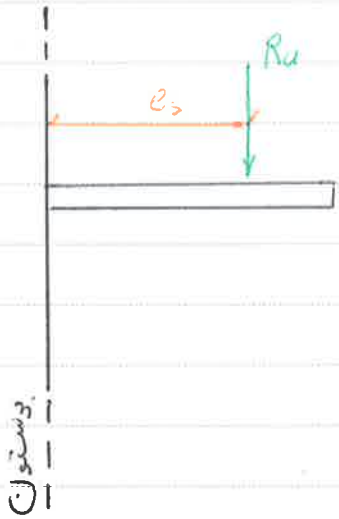
$$\bar{y} = \frac{40 \times 20 \times 2 + 10 \times 40 \times 2}{100} = 24$$



Subject
Date

$$f_y = \frac{82000}{100} = 820 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 10 \times (40-24)^2 \times 2 + \frac{2}{3}\left(24^3 + (40-24)^3\right) = 17067 \text{ cm}^4$$



$e_s = 8.95$

$M_u = R_u \times e_s = 82000 \times 8.95 = 733900 \text{ kg.cm}$

$f_f = \frac{My}{I} = \frac{733900 \times 24}{17067} = 1032$

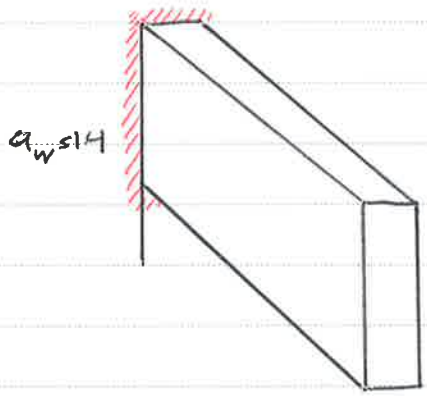
$f_r = \sqrt{1032^2 + 820^2} = 1318 \text{ kg.cm}$

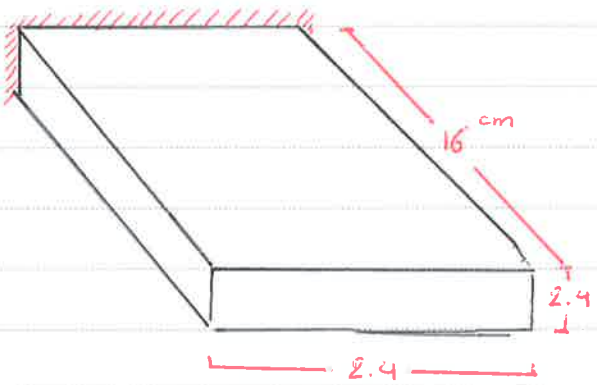
$$a_w \geq \frac{318}{0.75(0.75 \times 0.6 \times 2400) \times 0.707} = 1.32 \text{ cm}$$

use $a_w = 1.4 \text{ cm} < 1.58$ o.k ✓

$a_{w,min} = 8 \text{ mm}$ o.k ✓

$a_{w,max} = \min(t_s$ صفحه, t_f ستون$) = 2.05$ o.k ✓





PL 40×16×2.2
صفحه قائم
(Vertical plate)

PL 24×16×2.4
صفحه افقی
(Horizontal plate)

PdPCO

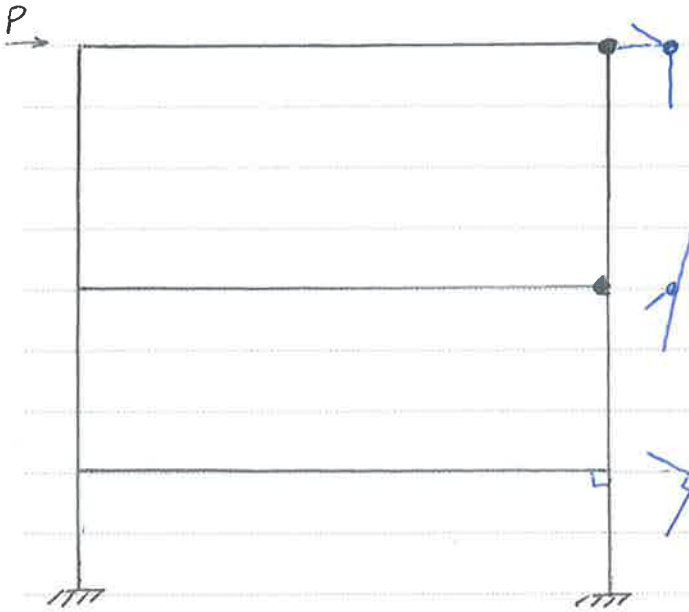
Subject

Date

P_aPCO_2

Subject:
Date

جلسه (96 ,3 ,3)

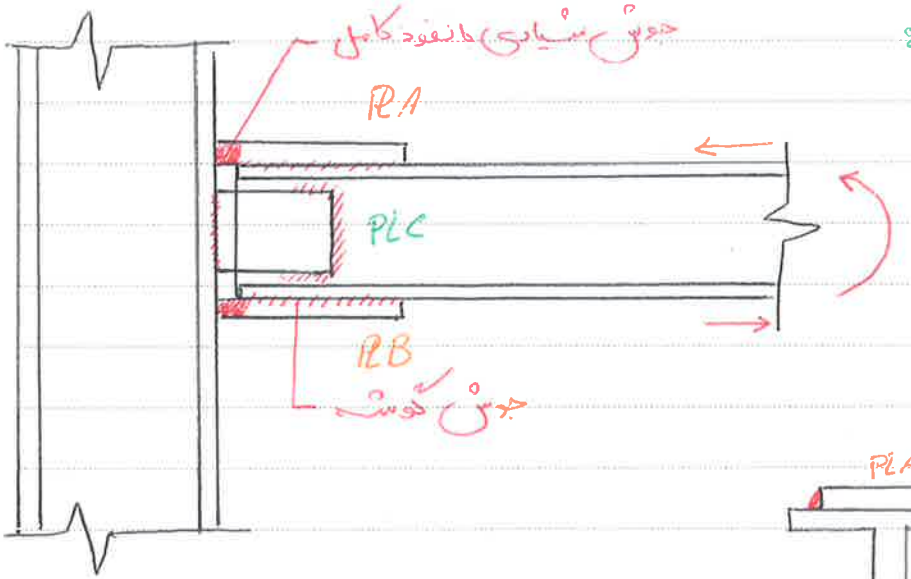


تقریبی برای جوش ← اتصال مفصلی کامل
گیردار وجود ندارد

تقریبی برای جوش ← اتصال نیم‌گیردار
گیردار وجود ندارد

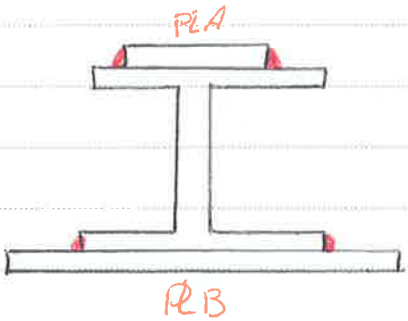
همه جوش‌ها باید ← اتصال صلب ← زاویه را حفظ کنند.

اتصال گیردار (صلب):



RA
RB
برای جوش

RC
برای بتن



معمولاً RB را از جان بلندتر و RA را از بال کوتاه‌تر در نظر می‌گیریم.

Subject:
Date

مثال IPE400 : $d=40^{cm}$, $t_f=1.35$, $b_f=18$, $t_w=0.86$, $Z=1308$

IPB 260

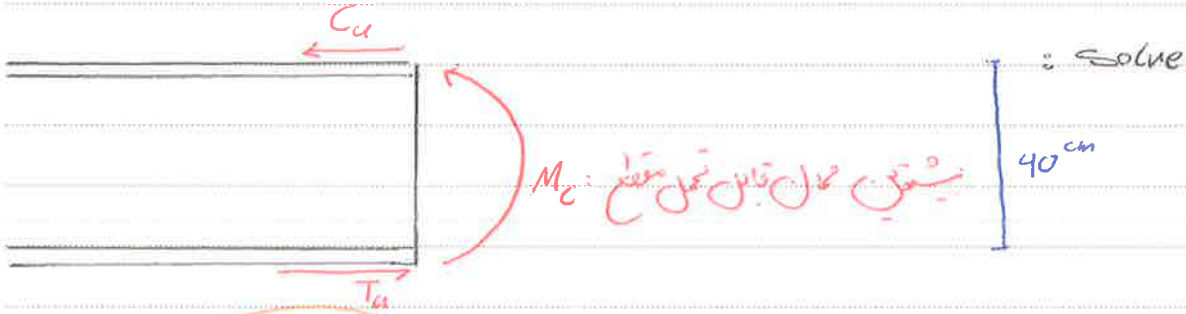
طول تیر $=6m$

$q_u=4 t/m$

$F_y=2400$

E_{60}

$\varphi=0.75$ خاصیت خمشی



$M_c=1.1\times R_y\times M_p$

M_p = لنگر پلاستیک

R_y = 1.25 مقاطع لوله ای و نورد
1.2 سایر مقاطع نورد شده
1.5 مقاطع تیرورق

$M_c=1.1\times 1.2\times (1308\times 2400)=41.43$ ton.m

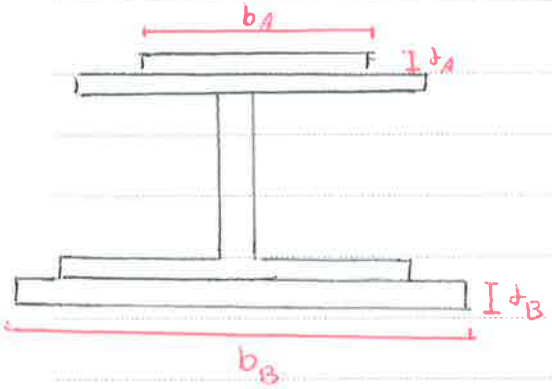
$C_u=T_u=\frac{M_c}{d}=\frac{41.43\times 10^5}{40}=103575$ kg

$103575\leq 0.9(A_g\times 2400)$ $\Rightarrow A_g\geq 47.95\cong 48 cm^2$

سطح مقطع کل عضو

PAPCO

Subject :
Date



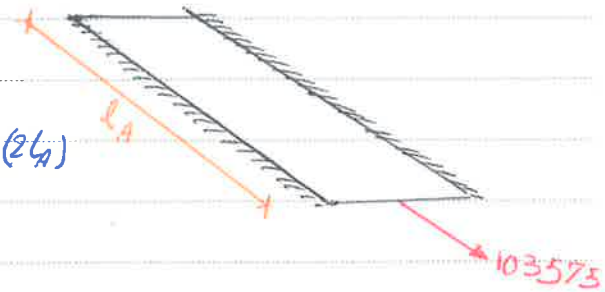
نیروی طراحی :

$b_A = 15\,cm$ ، $b_B = 20\,cm$

$b_A \times t_A \geq 48^{cm}$

$t_A \geq \frac{48}{15} = 3.2\,cm$

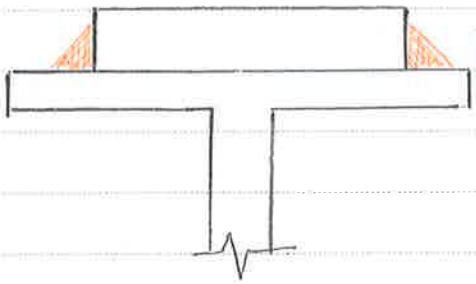
$b_B \times t_B \geq 48\,cm \Rightarrow t_B \geq 2.4\,cm$



جوش باید برابر نیروی وارد باشد.

$103575 \leq 0.75\,\varphi\,(0.6\,F_{uw})(0.707 a_w)(2\ell_A)$

0.75 ، 4200



نیروی طراحی

$\ell_A = 48 \Rightarrow a_w = 1.2$

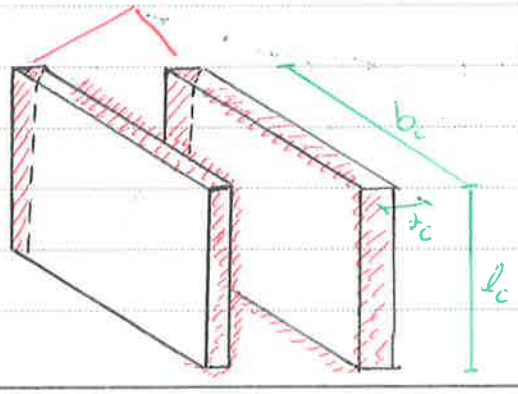
$P_A = 48 \times 15 \times 3.2$ ، $a_w = 1.2\,cm$

$L_B = 48$

و

$P_B = 48 \times 20 \times 2.4$ ، $a_w = 1.2\,cm$

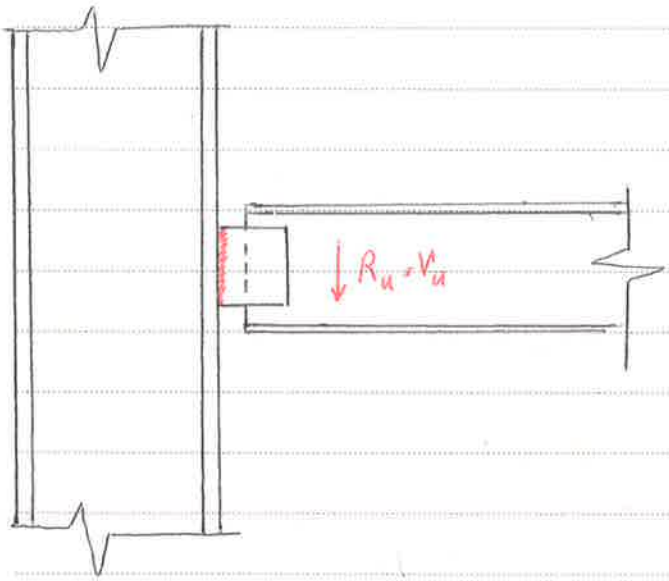
جوش شیاری با نفوذ کامل



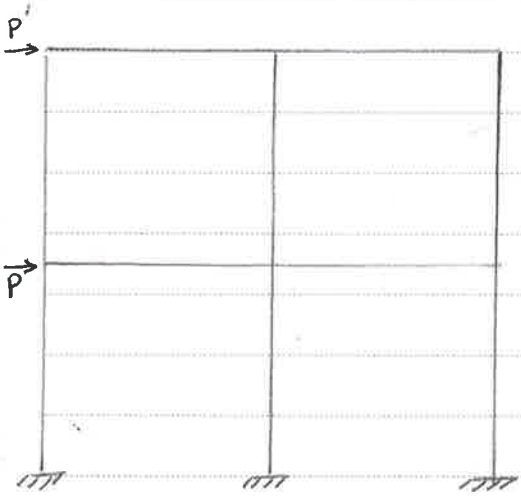
نیروی P_C :

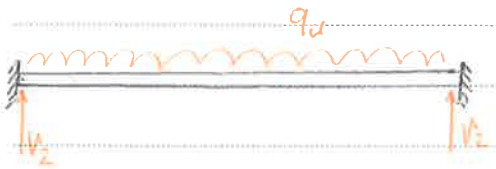
PqPCO

Subject:
Date



از تحلیل سازه‌های دائم که





$V_1 \times \ell = M_c \times 2 \Rightarrow V_1 = 2M_c/\ell$

$V_{max} = V_1 + V_2 \quad , \quad V_2 = \frac{q_u \ell}{2}$

$= \frac{2M_c}{\ell} + q_u \ell/2 =$

PdPCO

Subject :
Date

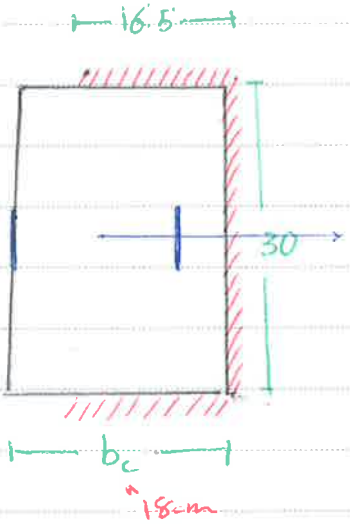
$$V_{max} = \frac{2 \times 41.43}{6} + \frac{4 \times 6}{2} \Rightarrow V_{max} = 25.8 \text{ t.m}$$

$$\frac{R_u}{2} = \frac{25.8}{2} = 12.9$$

$$L_c = \frac{3}{4} \times (\text{ارتفاع قسمت}) = \frac{3}{4} \times 40 = 30 \Rightarrow \text{طول}$$

$$12900 = \frac{R_u}{2} \leq \varphi R_n = 1 \times (0.6 \times F_y \times L_c \times t_c)$$

$$t_c \geq 0.3 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{t_c = 0.6 \text{ cm}}$$



$$A_w = 30 + 16.5 \times 2 = 63 \text{ cm}^2$$

$$f_y = \frac{R_u/2}{A_w} = \frac{12900}{63} = 205 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_u = \frac{R_u}{2} \times (18 - 4.32) = 176472 \text{ kg.cm}$$

$$J = I_x + I_y = \frac{30^3}{12} + (16.5 \times 15^2) \times 2 + \left(30 \times 4.32^2 + \frac{2}{3}\left(4.32^3 + (16.5 - 4.32)^3\right)\right)$$

$$J = 11493 \text{ cm}^4$$

$$f_{Tx} = \frac{T_u \times 15}{J} = \frac{176472 \times 15}{11493} = 230.3 \text{ kg/cm}^2$$

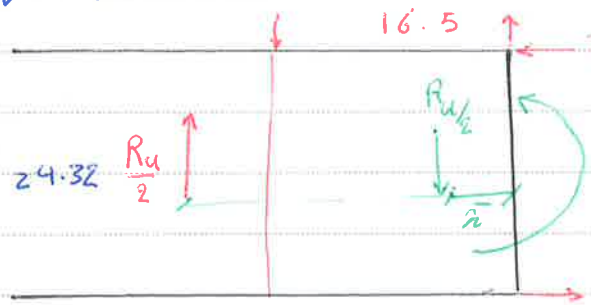
$$f_{Ty} = \frac{T_u \times (16.5 - 4.32)}{J} = 187 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(205 + 187)^2 + (230.3)^2} = 455 \text{ kg/cm}^2$$

$$a_w \geq \frac{f_r}{0.75 \varphi (0.6 F_{ue}) 0.707} = 0.45$$

use $a_w = 5$ mm

$$\bar{x} = \frac{30 \times 0 + 16.5 \times \frac{16.5}{2} \times 2}{30 \times 16.5 \times 2} = 4.32$$



Subject:
Date

IPB 260: $d_c = 26cm$, $b_f = 26cm$, $t_f = 1.75$ انتخاب کنترل مقاله

$t_w = 1$, $k = 9.15$

الف) کنترل جان ستون در برابر یاری شدگی ←

$$\frac{C_u}{(t_f + 5k)\, t_w} < F_y \Rightarrow C_u \leq (2.4 + 5 \times 4.15) \times 1 \times 2400$$

$t_w = \min(t_{wb}, t_{wA})$

$103575 \nleq 55560$ ⇒ مناسب نیست

ب) کنترل کمانش موضعی جان

$$C_u \leq \varphi R_n \quad \varphi = 0.75$$

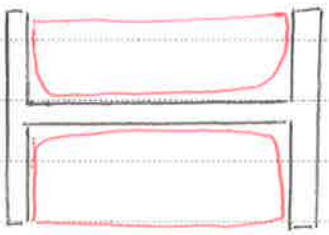
$$R_n = 0.8\, t_w^2 \left[1 + \frac{3 t_f}{d} \left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right] \sqrt{\frac{E F_y\, t_f}{t_w}}$$

$$103575 \leq 0.75 \left(0.8 \times 1^2 \left(1 + \frac{3 \times 2.4}{26} \left(\frac{1}{1.75}\right)^{1.5}\right) \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400}{1}}\right)$$

$103575 \nleq 63089$ NOT OK

ج) کنترل کمانش مومنتی جان ستون:

$$C_u \leq \varphi R_n \quad \varphi = 0.9 \Rightarrow R_n = \frac{24\, t_w^3 \sqrt{E F_y}}{h}$$



PAPCO

Subject:
Date

A_{st} : مساحت دوبل نبشی $\geq \dfrac{C_u - F_y t_w (t_p + 5K)}{0.9 F_y}$

$A_{st} \geq \dfrac{103575 - 2400 \times 1 (5 \times 4.15 + 2.4)}{0.9 \times 2400} = 22.2$ تسلیم موضعی جان

A_{st} : برای جوش : $A_{st} \geq \dfrac{C_u - \phi R_n}{0.9 F_y} = \dfrac{103575 - 63089}{0.9 F_y} = 18.7$

A_{st} : جوش گوشه موضعی : $A_{st} \geq \dfrac{C_u - \phi R_n}{0.9 F_y} = \dfrac{103575 - 86635}{0.9 \times 2400} = 7.8$

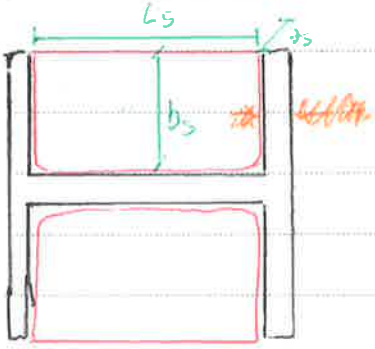
max A_{st} $\Rightarrow$ $A_{st} = 22.2$

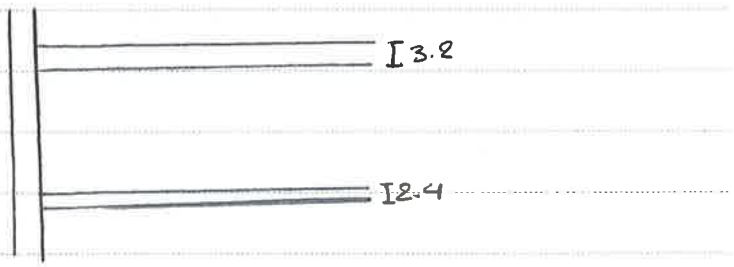
عرض بتن + نصف ضخامت جان ستون نباید از $\frac{1}{3}$ عرض بال شاخه تیر یا اتصال بیشتر باشد.

$b_s + \frac{t_w}{2} > b_f/3$, $t_w = 1$ $\rightarrow$ $b_s + \frac{1}{2} \geq \frac{18}{3} \Rightarrow b_s \geq 5.5 \Rightarrow$ try $b_s = 6$ cm

$A_{st} = 2 b_s \times t_s \Rightarrow 22.2 = 2 \times 6 \times t_s \Rightarrow t_s \geq 1.87$

$t_s = 2$ cm





max (2.4, 3.2) = 3.2

$t_s > \dfrac{b_s}{16}$ و $t_s > \dfrac{t_p}{2}$ و $t_s \geq \dots$

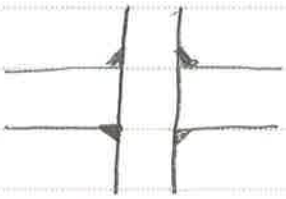
$t_s = 2$ cm $\geq \dfrac{3.2}{2} = 1.6$

Subject:
Date

$$\frac{b_s}{t_s} \le 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{6}{2} \le 0.56\sqrt{\frac{2.1\times10^6}{2400}} = 16.56$$

$L_s \le 26 - 2\times1.75 = 22.5$

PL $22.5\times6\times2$



$$103.575 \le 0.75\,(\varphi)(0.6\,F_{ue})\times0.707\,a_w\times4\times\frac{L_s}{22.5}$$

0.75 ⟵ 4200 ⟵

$$\Rightarrow a_w \ge 1.15\ cm \Rightarrow a_w = 12\ mm$$

کنترل در برابر پیچی شکنی ؟

$T_u \le \varphi R_n$ ——— $6.25\times F_y\times t_p^2$

φ 0.9

$103.575 \le 0.9\times6.25\times2400\times1.75^2 = 41344$ نیاز به تقویت ان.

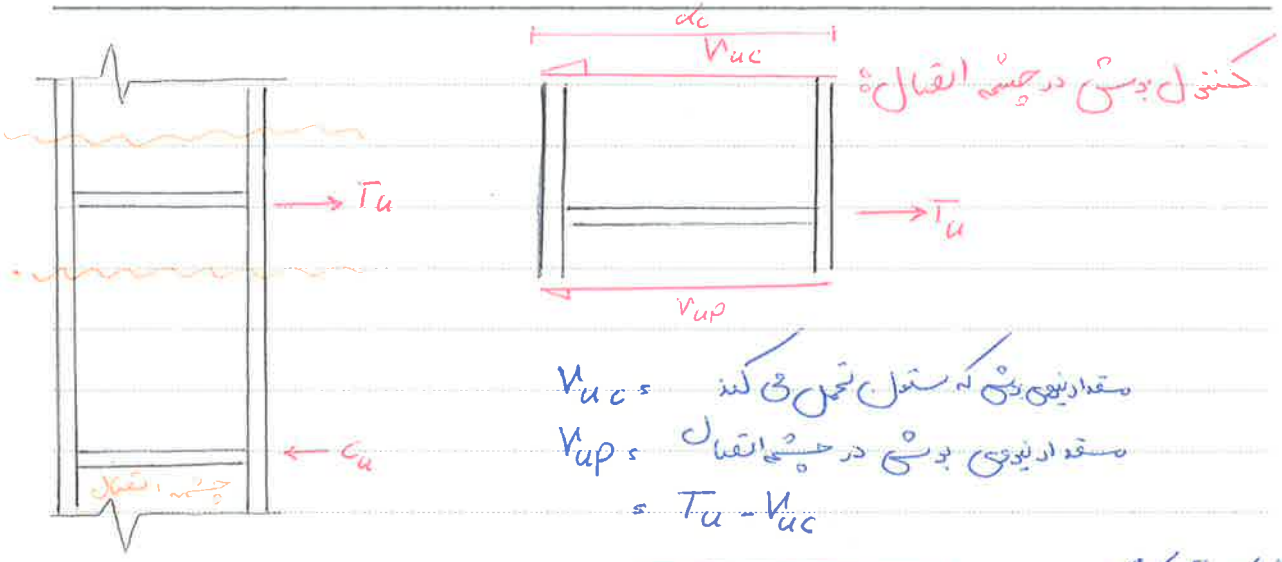
$A_{st}\times2400 \ge 103575 - 41347$

$A_{st} = 25.9\ cm^2 \Rightarrow$ try PL $6\times22.5\times2.2$

PAPCO

Subject :
Date

کنترل برش در جشمه انقال:



V_{uc} = مقاومت برشی که ستون تحمل می کند

V_{up} = مقاومت برشی برشی در جشمه انقال

$= T_u - V_{uc}$

$V_{up} \le \phi_v R_n$ ($\phi_v = 0.9$) $\rightarrow R_n$:

- $0.6 F_y d_c t_{wc}$; $P_u \le 0.4 P_c$
- $0.6 F_y d_c t_{wc} (1.4 - P_u/P_c)$; $P_u > 0.4 P_c$

d_c = ارتفاع ستون

t_{wc} = ضخامت جان ستون

P_u = مقاومت محوری مورد نیاز ستون

$P_c = A_g F_y$: مقاومت محوری نسلیم ستون

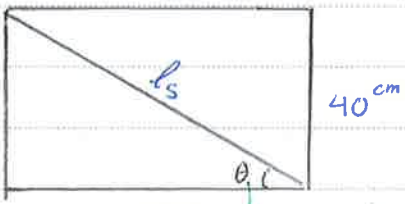
$V_{up} = T_u - V_{uc}$

$V_{uc} = \phi$ ⇒ درجه اطمینان

$V_{up} = 103575$

$\phi R_n = 0.9(0.6 \times 2400 \times 26 \times 1)$

$V_{up} = 103575 \$ 33696$



$\tan^{-1}\left(\frac{40}{22.5}\right)$

PqPCO

Subject:
Date

يعني قابل تحمل توتر
وزن تقويت

$\varphi F_t \cos\theta + 33.69\%\ V \geq 103575$

$0.9 \times (A_{st} \times 2400) \times \cos 40^\circ + 33.69\% \geq 103575$

$A_{st} \geq 66.02$

$2 b_s t_s \geq 66.02$

$b_s = 12\text{cm}$ فرض → $2 \times 12 \times t_s \geq 66.02$

$t_s \geq 2.75$

$L_s = \frac{88.5}{\cos\theta} = 46$

$\frac{b_s}{t_s} = \frac{12}{2.8} = 4.29 \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 16.57$

use 2L 46 × 12 × 2.8