www.hoseinzadeh.info

جزوه طراحی سازه های بتن آرمه با رویکرد تغییرات ACI-۲۰۰۸

این جزوه توسط آقای مهندس بهداد مهر در کلاس ارتقا پایه دو به پایه یک نظام مهندسی اصفهان نوشته شده است (با تشکر از ایشان که جزوه را در اختیار سایت قرار داده اند).
مدرس دوره جناب آقای دکتر مستوفی نژاد، استاد دانشگاه صنعتی اصفهان می باشند

www.hoseinzadeh.info

رئوس مطالب

۱- مروری بر خصوصیات بارگذاری

۲- مروری بر طراحی خمشی تنش آرمه

۳- مروری بر طرح برشی تنش آرمه

۴- مروری بر رفتار ستون ها

۵- تاثیرهای خمشی بعضوان عناصر مقاوم جانبی و ضوابط خاص آنها

۶- دیوارهای برشی بعنوان عناصر مقاوم تنش آرمه

- دیوارهای کوتاه
- دیوارهای بلند

۷- محاسبه ضوابط دیوارهای برشی در برابر بارهای جانبی

۸- بازشوها در دیوارهای برشی و تاثیرات رفتاری آنها

۹- تیرهای هم عمق در دیوارهای برشی با بازشو

۱۰- ضوابط شکل پذیری

مراجع: کتاب دستورالعمل های تنش آرمه جلد اول و دوم

www.hoseinzadeh.info

۱- ضریب بارگذاری

تا سال 1999

برای بار ثقل: $1.4D + 1.7L$

برای بار ثقل + زلزله:
$0.75(1.4D + 1.7L \pm 1.87E)$
$0.9D \pm 1.43E$

از سال 2002

بار ثقل:
$1.4D$
$1.2D + 1.6L$

بار ثقل + زلزله:
$1.2D + 1L \pm (1.9E \text{ یا } 1E)$
$0.9D \pm (1.4E \text{ یا } 1.0E)$

ضوابط کامل در صفحات 101, 102 جلد اول کتاب

اگر بارگذاری زلزله براساس تئوری طرح مقاومت باشد از 1E استفاده می‌کنیم و اگر بارگذاری زلزله براساس تئوری طرح بهره‌برداری باشد از 1.4E استفاده می‌شود.

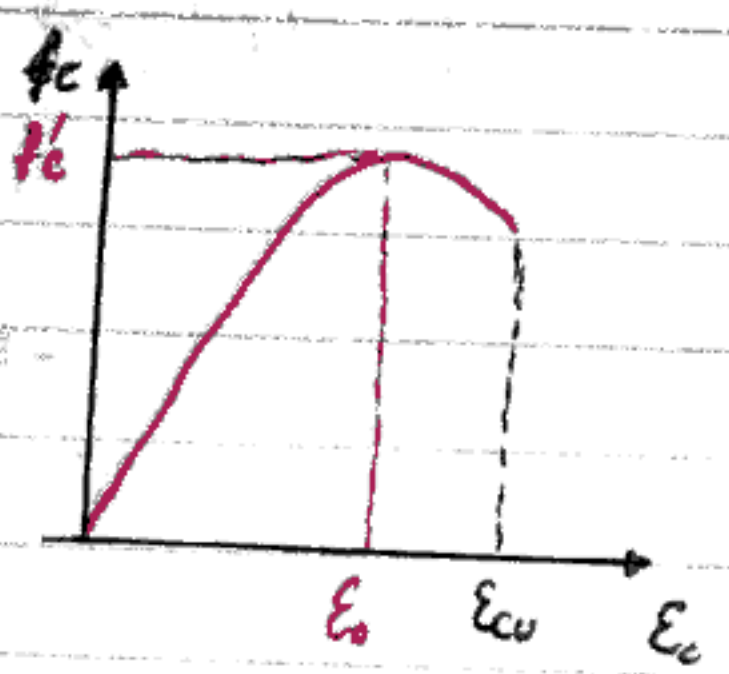
Strength Level Design

Service Level Design

برای بار باد 1.3W و 1.6W دادیم باتوجه به آئین‌نامه‌ایران فعلاً باید از 1.3W استفاده شود.

www.hoseinzadeh.info

۲- طراحی خمشی تیر آرمه



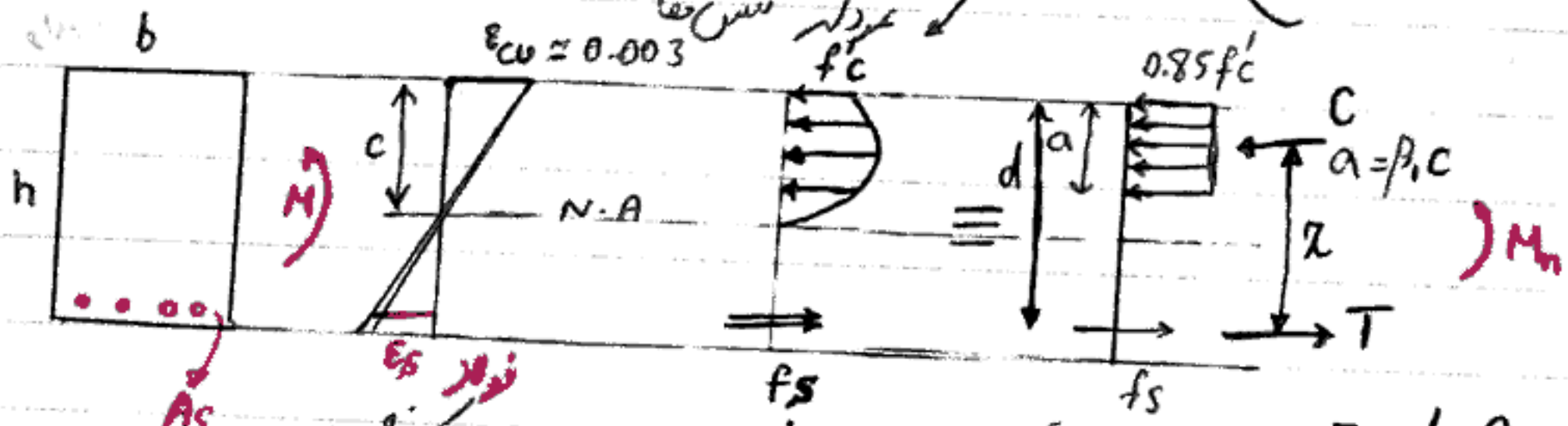
$\varepsilon_0 \simeq 0.002$, $\varepsilon_{cu} \simeq 0.003 - 0.004$

$$f_c = f'_c \left(2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^2\right)$$

سهمی درجه دوم

برای بررسی مقطع تحت خمش

نمودار تنش‌ها ← نمودار کرنش‌ها

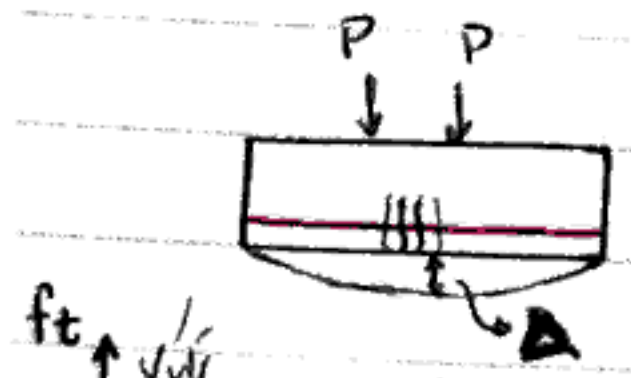


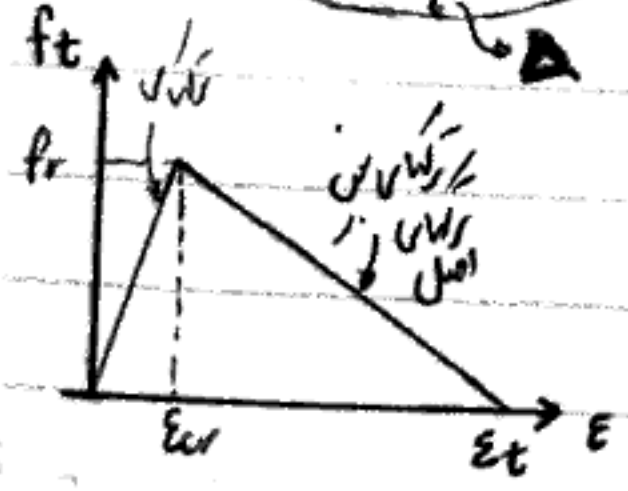
مستطیل معادل تنش $z = d - \frac{a}{2}$

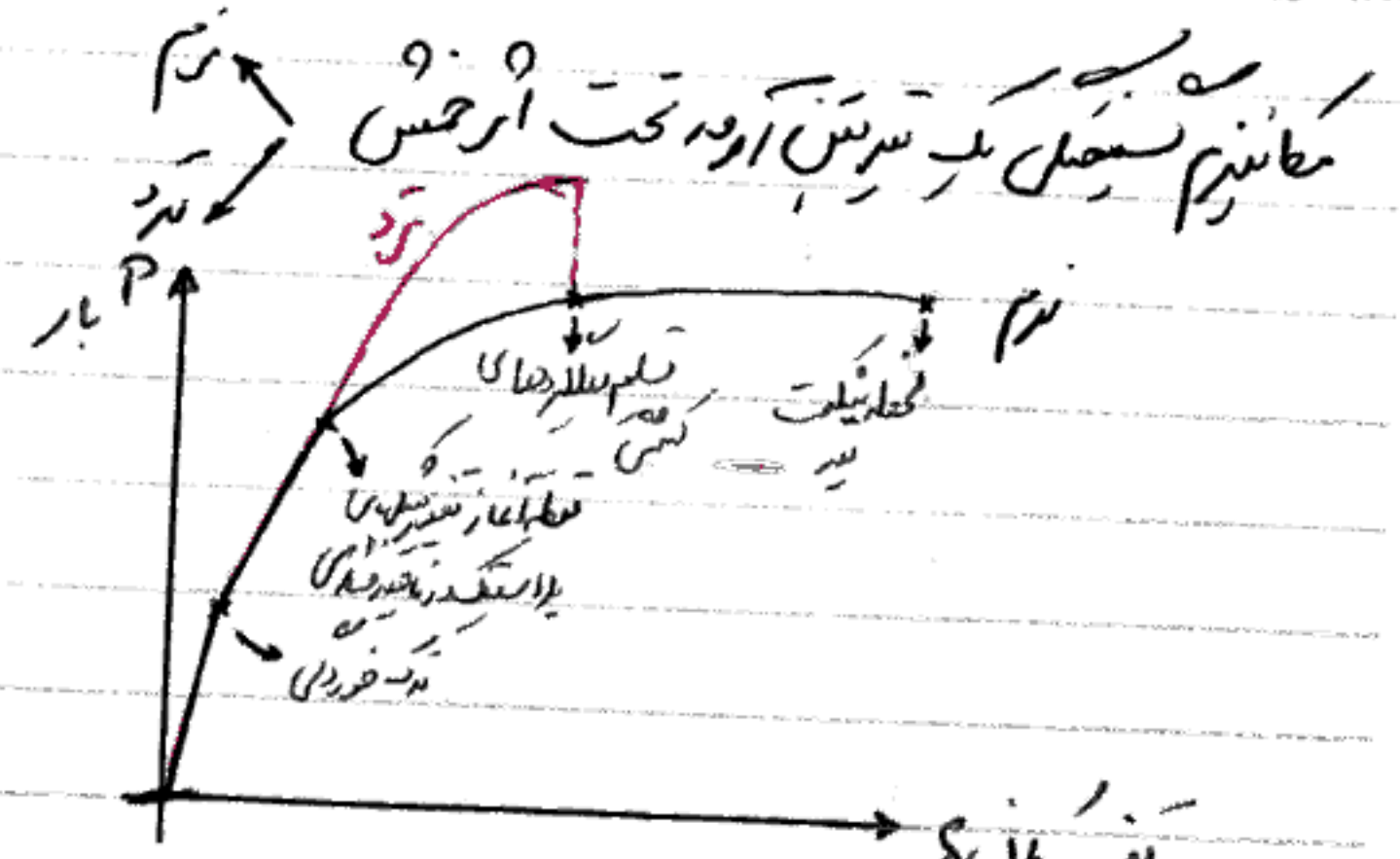
M_n: ضریب خمشی اسمی مقطع در لحظه‌ی شکست

nominal

مکانیزم شکست یک تیر بتن آرمه تحت اثر خمش







www.hoseinzadeh.info

مزیت‌های شکست نرم

۱- همراه با زنگ خطر است، با تغییر شکل بزرگ زنگ خطری برای شکست قریب الوقوع به صدا درمی‌آورد.

۲- شکل پذیری مناسب است با سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان Ductility

عبارت است از جذب انرژی در هنگام شکست به خصوص در مقابل بارهای دینامیکی از جمله زلزله

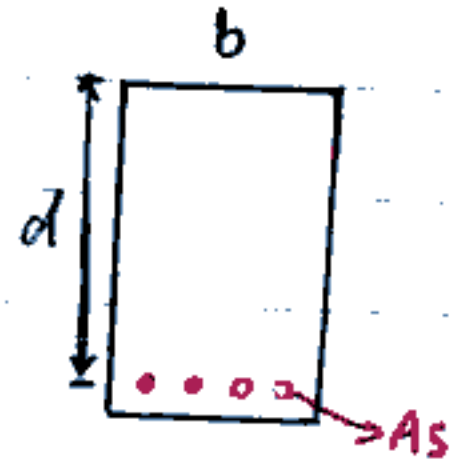
شکل پذیری: فولاد ۱۰ ، بتن ۲۰

عامل تعیین کننده در کنترل نوع شکست، درصد آرماتور ← میزان فولادهای کششی است

فولادهای متوازن (فولاد بالانس) Ballanced Steel ← (A_{sb})

اگر $A_{s\,موجود} \leq A_{sb}$ → شکست نرم

$A_{s\,موجود} > A_{sb}$ → شکست ترد



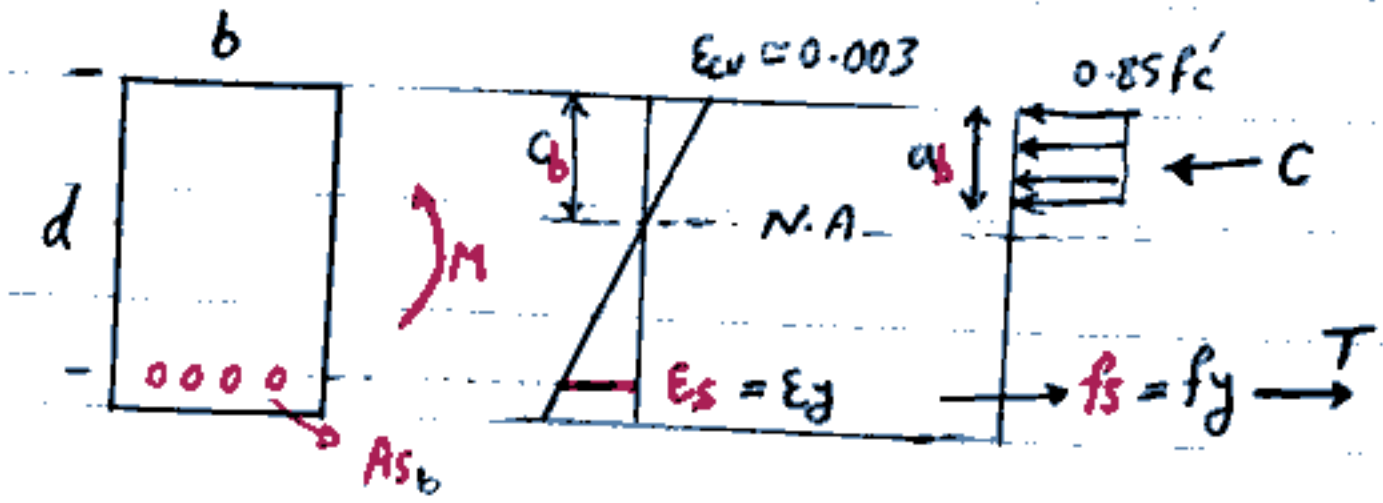
$\rho = \frac{A_s}{bd}$

$\rho_b = \frac{A_{sb}}{bd}$

تحت مسلح Under Reinforced UR ← $\rho \leq \rho_b$ شکست نرم

فوق مسلح Over Reinforced OR ← $\rho > \rho_b$ شکست ترد

فولاد متوازن چگونه است؟



$a = \beta_1 c$

$a_b = \beta_1 c_b$

$\sum F_x = 0 \rightarrow C = T$

$0.85 f'_c . a_b . b = A_{sb} . f_y$

$\Rightarrow A_{sb} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} a_b . b$

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f'_c \leq 30\ Mpa \\ 0.85 - \frac{0.05}{7}(f'_c - 30) & f'_c > 30\ Mpa \end{cases}$$

EILIYA

$1.064 - 0.0071 f'_c$

www.hoseinzadeh.info

در نمودار کرنش ها از تشابه مثلث ها استفاده می شود

همسازی در نمودار کرنش

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y} = \frac{c_b}{d-c_b}$$

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y} = \frac{c_b}{d} \rightarrow \boxed{c_b = \frac{600}{600+f_y}\,d}$$

$E_s = 200000$
$\varepsilon_{cu} = 0.003$ $\rightarrow E_s \times \varepsilon_{cu} = 600$

$\sigma = E\varepsilon$ $\quad \frac{f_y}{E_s}$

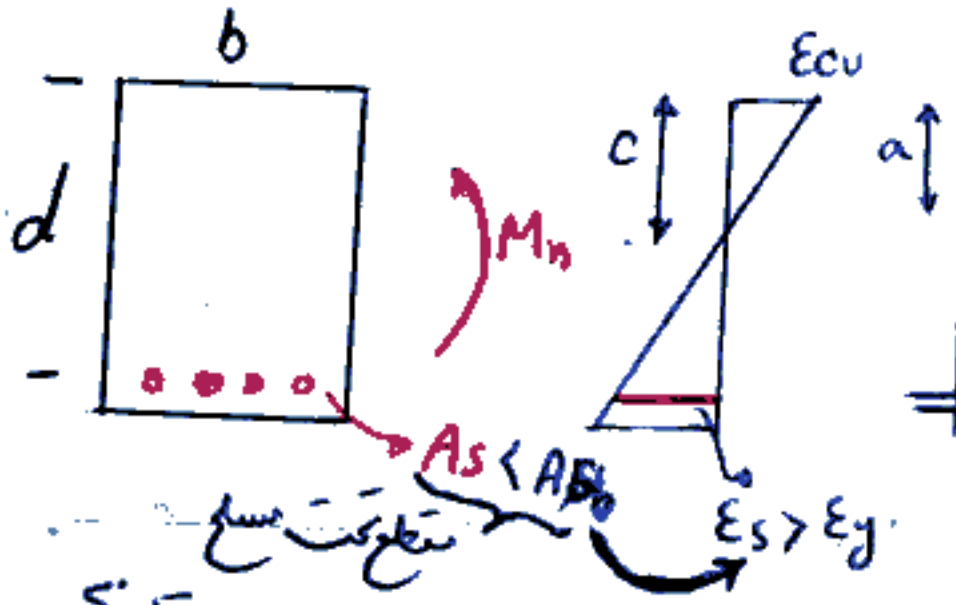
$$A_{sb} = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\,\frac{600}{600+f_y}\,bd$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{bd} \rightarrow \boxed{\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\,\frac{600}{600+f_y}}$$

* اگر $\rho_{موجود} \leq \rho_b \rightarrow$ کم‌سلح (تسلیم رخ) $\rightarrow UR$
* اگر $\rho_{موجود} > \rho_b \rightarrow$ پرسلح (تسلیم رد) $\rightarrow OR$

* ظرفیت خمشی مقطع جلوگیری تعیین می شود؛

برای مقطع کم‌سلح



$$\sum F_x = 0 \rightarrow T = C \rightarrow A_s f_y = 0.85 f'_c\, a\, b$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M_n = Tz = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \rightarrow M_n = \left(d - \frac{A_s f_y}{1.7 f'_c b}\right) A_s f_y$$

$$\rightarrow \boxed{M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - 0.59\frac{\rho f_y}{f'_c}\right)}$$

ظرفیت خمشی اسمی مقطع

www.hoseinzadeh.info

نشتل $M_u \leq \phi M_n$

M_u : لنگرهای محاسبه شده تحت بارهای با ضریب

ϕ : ضریب کاهش مقاومت Strength Reduction Factor

طراحی $M_u = \phi M_n$

* تعیین ϕ

تا سال 1999 $\phi = 0.9$

* از سال 2002

۱- مقاطع کنترل تحت کشش (TC) Tension-Controlled Sections $\phi = 0.9$

۲- مقاطع کنترل تحت فشار (CC) Compression-Controlled Sections $\phi = 0.65$

مقاطع با کنترل متغیر

$\phi = 0.7$

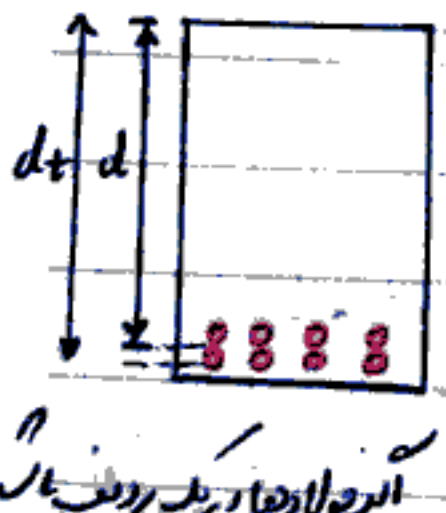
۳- مقاطع در ناحیه انتقالی (TZ) Sections in Tranzitian Zone

$\phi = 0.567 + 66.7\varepsilon_t$

$\phi = 0.483 + 83.3\varepsilon_t$

براساس آئین نامه ϕ با درون یابی خطی بین 0.9 و 0.65 (0.7) تعیین می شود

سنجای رفتاری مقطع ← کرنش ایجاد شده در دورترین فولاد کششی



اگر $\varepsilon_t \geq 0.005$ ← مقطع با کنترل تحت کشش

اگر $\varepsilon_t \leq \varepsilon_y$ ← مقطع با کنترل تحت فشار

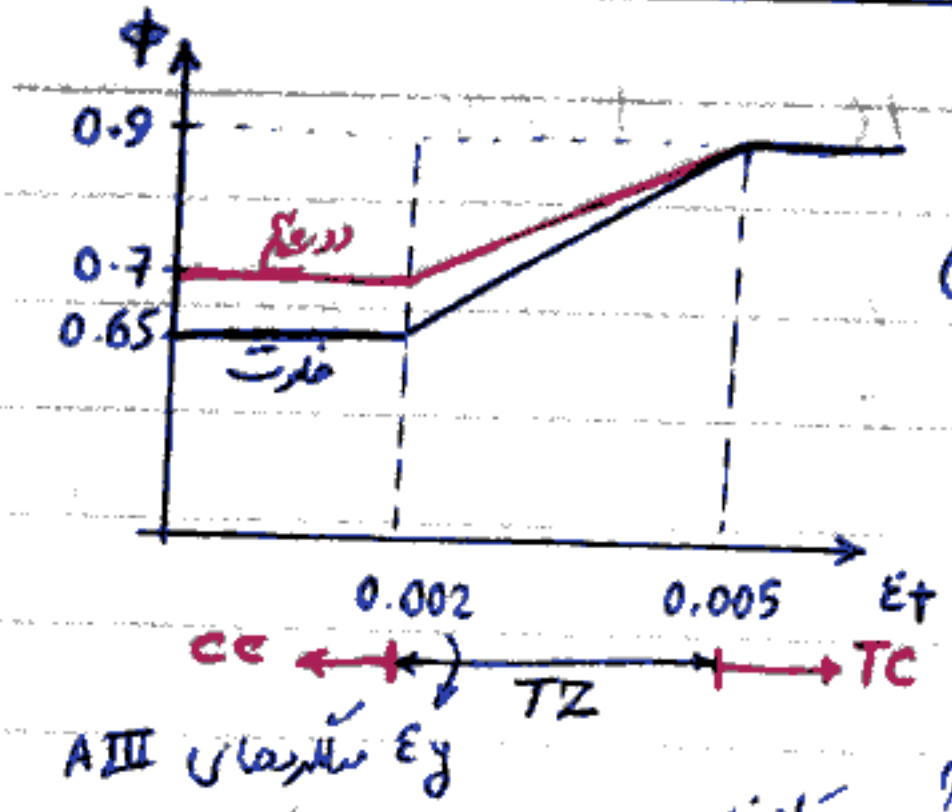
اگر $\varepsilon_y < \varepsilon_t < 0.005$ ← مقطع در ناحیه انتقالی

اگر فولادها در یک ردیف باشند $d = d_t$

d : عمق موثر ← فاصله هر فیبر مقطع تا فولادهای کشش از دورترین تار فشاری مقطع

d_t : فاصله هر فیبر مقطع دورترین فولادهای کشش از دورترین تار فشاری مقطع

www.hoseinzadeh.info



$$c = \frac{A_s f_y}{0.85 \beta_1 f'_c b}$$

صفحه 169 جلد اول

حالت $\Phi = 0.483 + 83.3\,\varepsilon_t$ در ضوابط آیین‌نامه

$\Phi = 0.567 + 66.7\,\varepsilon_t$ توصیه می‌شود

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{cu}\left(\frac{d_t - c}{c}\right)$$

برای تعیین وضعیت مقطع

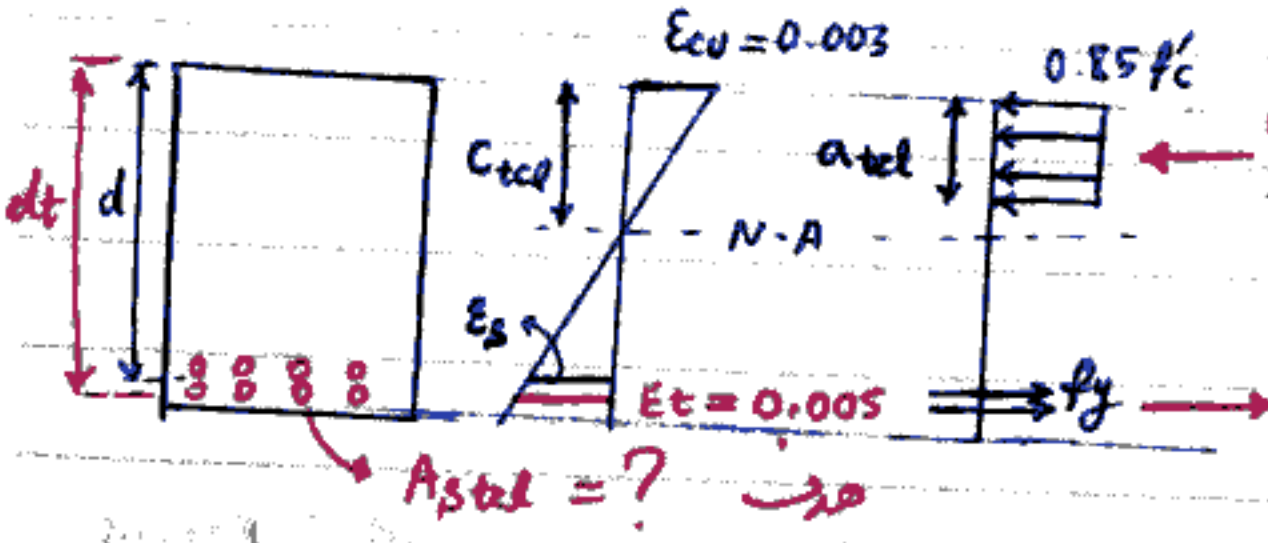
آرماتورهای تنش از ۲۵ تا ۳۰ درصد کمتر از مقاومت طراحی به کار می‌توان تقویت کرد و در غیر این صورت قابل تقویت نیست.

در بعضی آیین‌نامه‌ها 17 MPa، تنش سازه‌ای است.

ACI: اگر مقاومت بتن (تیر و دال) با ستون تا ۲۰٪ باشد می‌توان پیوستگی را حفظ کرد و اتصال بتن صلب در نظر گرفته شود.

در غیر این صورت برای سرویس اتصال باید بتن با مقاومت قوی‌تر ریخته شود.

تعیین وضعیت کنترل تنش



* مرحالت کنترل تنش tcl

Tension Control Limit

همسازی در دیاگرام کرنش

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_t} = \frac{c_{tcl}}{d_t - c_{tcl}} \Rightarrow \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_t + \varepsilon_{cu}} = \frac{c_{tcl}}{d_t} \rightarrow c_{tcl} = \frac{3}{8} d_t$$

$$\Rightarrow a_{tcl} = \frac{3}{8} d_t \beta_1 \Rightarrow \boxed{\frac{a_{tcl}}{d_t} = \frac{3}{8}\beta_1}$$

$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T = C \qquad A_{stcl} f_y = 0.85 f'_c a_{tcl} \cdot b \Rightarrow A_{stcl} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{3}{8}\beta_1 d_t \cdot b$

EILIYA

$$A_{stcl} = 0.319 \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 d_t \cdot b \rightarrow \boxed{\rho_{tcl} = 0.319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{d_t}{d}}$$

www.hoseinzadeh.info

اگر $\rho_{مقطع} \leq \rho_{tcl}$ آنگاه مقطع TC $\rightarrow \phi = 0.9$

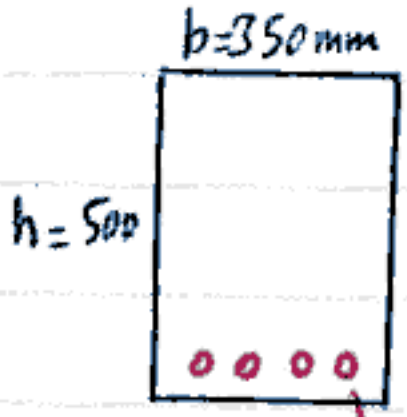
تشخیص حالت شکست TC

۱) اگر $\varepsilon_t \geq 0.005$ آنگاه

۲) $\rho_{مقطع} \leq \rho_{tcl} = 0.319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d_t}{d}$

۳) اگر $\frac{a}{d_t} \leq \frac{a_{tcl}}{d_t} = \frac{3}{8}\beta_1$

در اکثر سئوال دوی دسوی راحت ترکیب ۰ و ۱ و ۲ را داشته باشیم حالت سوم راحت ترکیب.



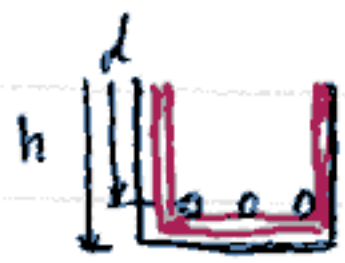
$f'_c = 28$ Mpa

$f_y = 400$ Mpa

مطلوب: $M_u = ?$

$A_s = 4 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 1963 \text{ mm}^2$

$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{1963}{350 \times (500-65)}$ $\quad d \simeq h - 65 \text{ mm}$



$d = h - \{ \text{Cover} + \text{قطر خاموت} + \frac{1}{2} \text{قطر میلگرد} \}$

$= h - \{ 40 + \frac{10}{12} + \frac{1}{2}(30) \} = h - 65 \text{ mm}$

اگر فولادهای کشش یک لایه باشد

$d \simeq h - 90 \text{mm}$ اگر دو لایه باشند

$M_n = \rho b d^2 f_y (1 - 0.59\rho \frac{f_y}{f'_c}) = 304.5 \times 10^6 = N.mm = 304.5 \text{ KN.m}$

برای تعیین ϕ

$\rho_{tcl} = 0.319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{d_t}{d} = 0.019$

$\rho \leq \rho_{tcl} \rightarrow$ TC بله $\rightarrow \phi = 0.9 \rightarrow M_u = 274.1 \text{ KN.m}$

www.hoseinzadeh.info

Date: 12-3-89 جلسه دوم

محدودیت‌های مقادیر در مقاطع خمشی از نظر کنترل نحوه گسیختگی

$$\rho_{min} = \max\left\{ \frac{1.4}{f_y} \quad \text{حداقل مقادیر} \quad \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \right.$$

~~۱- محدودیت حداقل مقادیر~~

$$\rho \geq \rho_{min}$$

* شرح مسئله: جرثقال در مقاطع خمشی مقادیری کمتر از ρ_{min} داشته باشیم به شرط اینکه مقادیر به کار رفته حداقل 1/33 بیشتر از مقادیر مورد نیاز باشد.

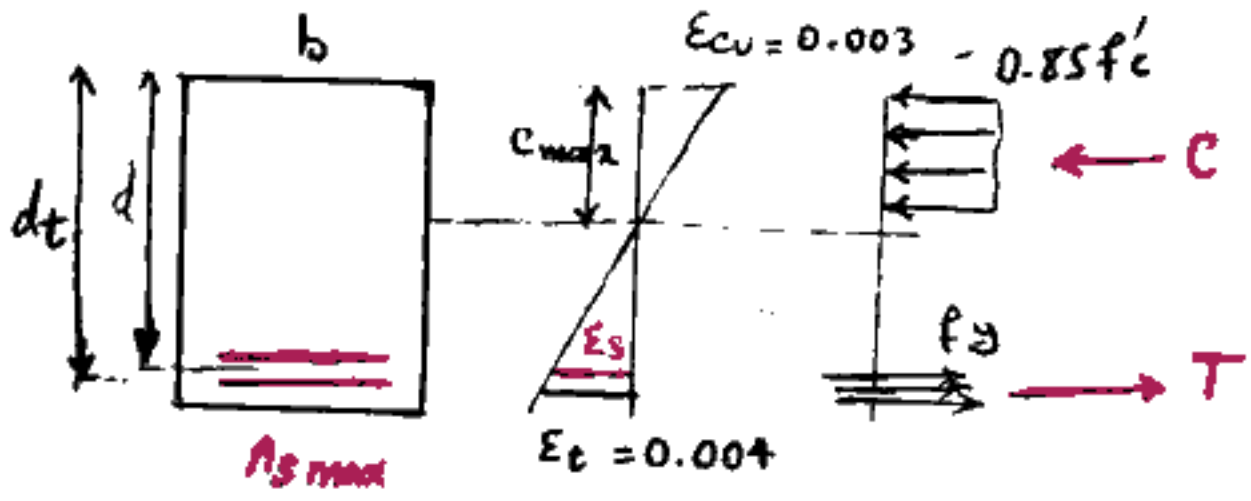
فولاد موجود اثر = 1.33ρ محاسبه‌ای $< \rho_{min}$ O.K.

یا $\rho \geq \rho_{min}$

۲- محدودیت حداکثر مقادیر

آیین‌نامه 1999 $\rho_{max} = 0.75\rho_b$ و $\rho \leq \rho_{max}$

آیین‌نامه 2002 حداکثر فولاد در مقاطع خمشی چنان تعیین می‌شود که کرنش کششی خالص در دورترین فولاد کششی حداقل 0.004 باشد.



$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_t} = \frac{c_{max}}{d_t - c_{max}} \Rightarrow \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_t} = \frac{c_{max}}{d_t} \Rightarrow c_{max} = \frac{3}{7} d_t \Rightarrow \frac{a_{max}}{d_t} = \frac{3}{7}\beta_1$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow A_{s_{max}} f_y = 0.85 f'_c a_{max} b \Rightarrow \rho_{max} = 0.364 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d_t}{d}$$

$\varepsilon_t > 0.004 \longrightarrow \rho < \rho_{max}$

$$\frac{a}{d_t} \leq \frac{a_{max}}{d_t} = \frac{3}{7}\beta_1$$

www.hoseinzadeh.info

آنالیز و طراحی مقاطع خمشی تیر آرمه

آنالیز ← فولاد و ابعاد معلوم هستند ظرفیت خمشی مجهول است.

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - 0.59\rho \frac{f_y}{f'_c}\right)$$

$$M_u = \phi M_n$$

طراحی ← تیر خمشی داریم مقطع: معلوم
ابعاد و یا فولاد نداریم: مجهول

* طراحی فقط فولاد
تیر خمشی: معلوم
ابعاد مقطع: معلوم
فولاد نداریم: مجهول

روش حل: $\frac{M_u}{\phi} = M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - 0.59\rho \frac{f_y}{f'_c}\right)$

فقط ρ مجهول

حل معادله درجه دوم برحسب ρ

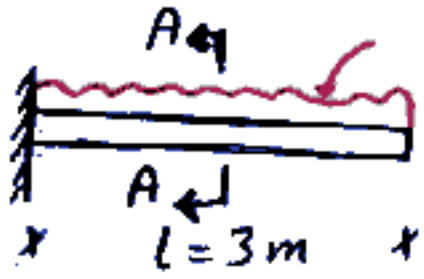
$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} \quad , \quad R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

۱- برای حل باید یک ϕ فرض کرد و حداقل تا حاصل شود را ρ_{tcl} حساب کنیم تا سیم وضع اولیه صحیح بوده یا نه

۲- باید چک شود $\rho < \rho_{min}$ نباشد، $\rho > \rho_{max}$ نباشد.

مثال: حداقل تحمل تنش فولادهای کششی در تیر؟

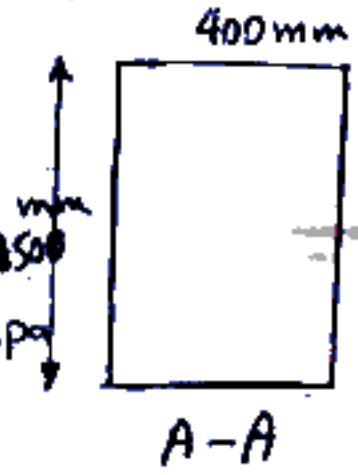


$DL = 600 \frac{daN}{m^2}$, $LL = 350 \frac{daN}{m^2}$

عرض باریکشول = 6m

ابعاد

$f_y = 400 Mpa$, $f'_c = 30 Mpa$



حل: $\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right)$

$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = 15.69$, $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{M_u}{\phi b d^2}$ $M_u = \frac{q_u l^2}{2}$

$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \times 600 \times 6 + 1.6 \times 350 \times 6 = 7680 \times 10^{-2} = 76.8 \frac{KN}{m}$ ↓ $\frac{daN}{m}$

$\Rightarrow M_u = 345.6 KN.m$

www.hoseinzadeh.info

Date:

$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{345.6 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 435^2} = 5.07$ — با یک رند شروع شد

$d = h - 65$

$\rho = \frac{1}{15.69}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 5.07}{400}}\right)$

$\rho = 0.0143$

کنترل حداقل بالایی فولاد

$\rho_{min} = \max \begin{cases} \frac{1.4}{f_y} = 0.0035 \\ \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0.0034 \end{cases}$ $\rightarrow 0.0035$

$\Rightarrow \rho > \rho_{min}$

کنترل حداکثر

$\rho_{tcl} = 0.319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\left(\frac{d_t}{d}\right) = 0.0203$ — d_t: تا اولین ردیف کشش

$f'_c \leq 30$ MPa $\rightarrow \beta_1 = 0.85$

$\rho < \rho_{tcl} \rightarrow$ مقطع کنترل کشش $\rightarrow$ فرض $\phi = 0.9$ صحیح است

کنترل حداقل بالایی فولاد

$\rho < \rho_{tcl} < \rho_{max}$ — ρ_{max} همیشه بیشتر از $\frac{5}{7}\rho_{tcl}$ برآورد است

در نتیجه $\rho = 0.0143$ قابل قبول بوده و جواب مسأله است.

جدول صفحه 196 جلد دوم کتاب — مقدار خیز آکنونی تیر کنسول $\frac{1}{4} M \frac{l^2}{EI} = \frac{7l^2}{8EI} \times l^2 = \frac{7l^4}{8EI}$

خیز دو برابر مدت حداقل ۲ برابر خیز آنی است

$A_s = \rho b d = 0.0143 \times 400 \times 435 = 2488\ mm^2$ (Top) جون تیر طره است

اگر $\rho < \rho_{min}$ بحث

$\rho = \rho_{min}$

$\rho = 1.33 \rho$ محاسباتی

اگر $\rho > \rho_{max}$ → لازم است از فولادهای فشاری در مقطع استفاده شود.

اگر فولاد فشاری نداشته باشیم اصلاً نباید بیشتر از ρ_{max} داشته باشیم.

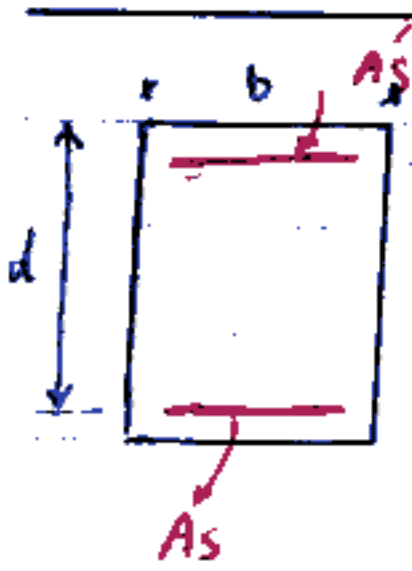
وجود فولاد فشاری قطعاً سبب نرم‌تر شدن و شکل‌پذیرتر شدن مقطع می‌شود.

در عمل ** $\rho > \rho_{tcl}$ از فولادهای فشاری استفاده می‌شود.

در طراحی سعی می‌شود ρ از ρ_{tcl} بیشتر شود چون اولاً مقطع شکل‌پذیرتر می‌شود.

www.hoseinzadeh.info

مقاطع تحت اثر فولادهای فشاری



$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad , \quad \rho' = \frac{A'_s}{bd}$$

نتایج استفاده از فولادهای فشاری

۱- کمک به ظرفیت فشاری بتن و افزایش ظرفیت مقطع

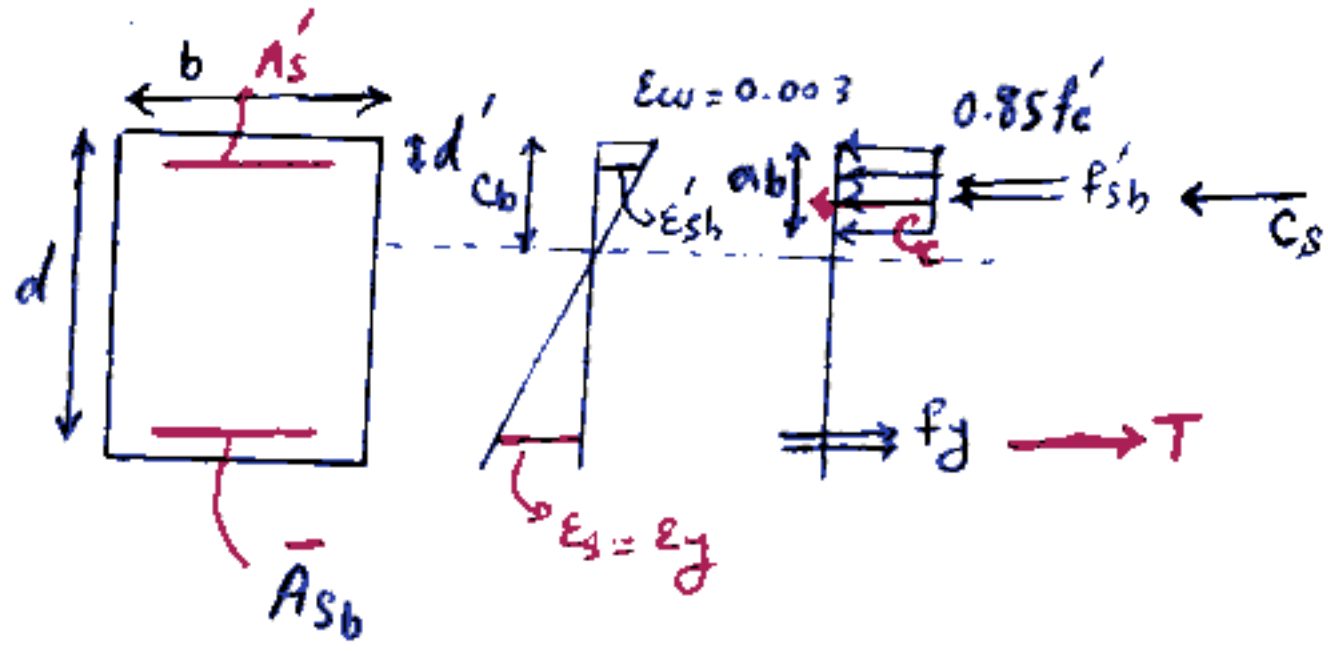
۲- افزایش شکل پذیری (Ductility)

۳- کاهش خیز درازمدت در صورتی که فولاد فشاری در صورت بتن در جهت کشش عمل کند.

* جاری شدن یا جاری نشدن فولادهای کششی ؟

* جاری شدن یا جاری نشدن فولادهای فشاری ؟

۱- بررسی جاری شدن فولادهای کششی



$\bar{A}_{sb}$: فولاد متوازن مرزی در حالتی که در مقطع فولاد فشاری هم دارد

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C_c + C_s$$

$$\bar{A}_{sb} f_y = 0.85 f'_c a'_b b + A'_s f'_{sb}$$

$$\bar{A}_{sb} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 c_b b + A'_s \frac{f'_{sb}}{f_y}$$

از تشابه $\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y} = \frac{c_b}{d - c_b} \rightarrow c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$

$$\Rightarrow \bar{A}_{sb} = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} bd + A'_s \frac{f'_{sb}}{f_y}$$

$$\bar{\rho}_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \Rightarrow \boxed{\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y}}$$

www.hoseinzadeh.info

Date:

حالت کلی: $\frac{\varepsilon'_{sb}}{\varepsilon_{cu}} = \frac{c_b - d'}{c_b} \rightarrow \varepsilon'_{sb} = \varepsilon_{cu}\left(1 - \frac{d'}{c_b}\right)$

$$\varepsilon'_{sb} = \varepsilon_{cu}\left(1 - \frac{d'}{d}\,\frac{600+f_y}{600}\right)$$

$$f'_{sb} = E_s \varepsilon'_{sb} = 600 - \frac{d'}{d}(600+f_y)$$

$$\Rightarrow \boxed{f'_{sb} = 600 - \frac{d'}{d}(600+f_y) \leq f'_y}$$

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f'_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = \beta_1 c$$

عمق بلوک فشاری

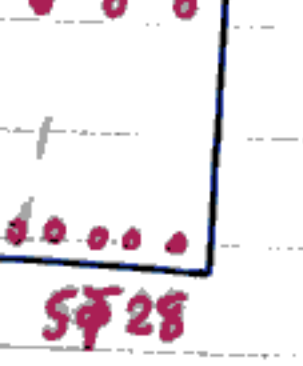
α

اگر $\rho < \bar{\rho}_b \rightarrow$ UR تحت مسلح

۲- بررسی جاری شدن فولادهای فشاری

$\bar{A}_{s\min}$: حداقل فولاد کششی به ازای جاری شدن فولادهای فشاری می‌شود.

$$\bar{\rho}_{\min} = \frac{\bar{A}_{s\min}}{bd}$$



$\rho < \rho_{max}$ ($\varepsilon_t \geq 0.004$) $\rightarrow \bar{A}_{s\min}$

ر.ک به ص 200-207

$$\bar{\rho}_{\min} = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_s}\,\frac{d'}{d}\,\frac{600}{600 - f'_y} + \rho' \frac{f'_y}{f_s}$$

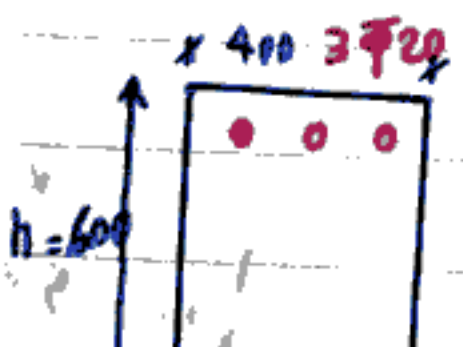
$$f_s = \frac{d}{d'}(600 - f'_y) - 600 \leq f_y$$

$$\bar{\rho}_{max} = \rho_{max} + \rho' \frac{f'_{st}}{f_y}$$

$$f'_{st} = 600\left(1 - \frac{7}{3}\frac{d'}{dt}\right) \leq f'_y$$

اگر $\rho \geq \rho_{min} \rightarrow$ فولادهای فشاری هم جاری می‌شوند

مثال: در تیری که مقطع عرضی آن مطابق شکل است، ظرفیت خمشی مقطع چقدر است؟



$f'_c = 30\ MPa$, $f_y = 400\ MPa$

$$A_s = \frac{5\pi \times 28^2}{4} = 3078\ mm^2$$

$$A'_s = 942\ mm^2 \rightarrow \rho = \frac{A_s}{bd} = 0.0144$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = 0.0044$$

www.hoseinzadeh.info

$$\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad , \quad \rho_b = 0.85\,\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600+f_y} = 0.0325$$

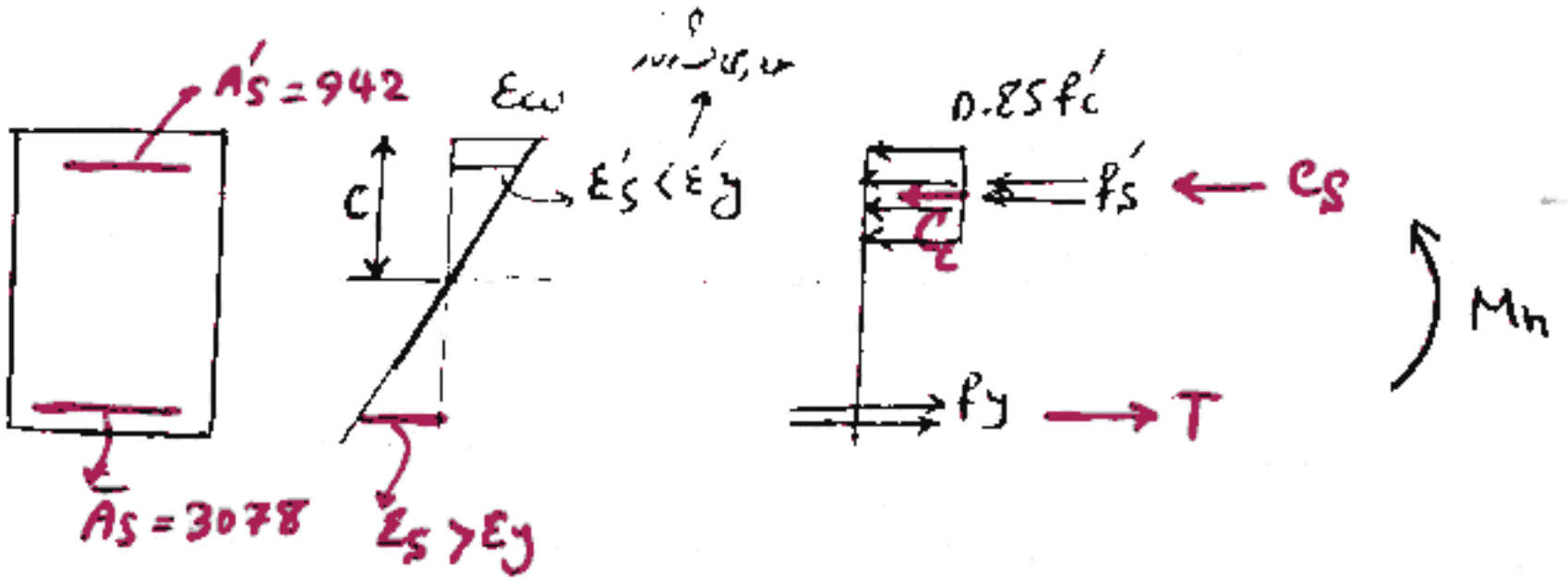
$$f'_{sb} = 600 - \frac{d''/65}{d}(600+f_y) = 478 \text{ MPa} < f'_y$$

$$\bar{\rho}_b = 0.0325 + 0.0044 \times \frac{400}{400} = 0.0369$$

$\rho = 0.0144 < \bar{\rho}_b = 0.0369 \rightarrow$ حبار، تسلیح فولادهای کششی

$\bar{\rho}_{min} = 0.024 \qquad f_s = 400\ MPa$

$\rho = 0.0144 < \bar{\rho}_{min} \rightarrow$ فولادهای فشاری جاری نمی‌شوند



$$\sum F_x = 0 \rightarrow T = C_c + C_s \rightarrow A_s f_y = 0.85 f'_c\, a.b + A'_s f'_s \quad (1)$$

همسازی $\frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_{cu}} = \frac{c-d'}{c} \rightarrow \varepsilon'_s = \varepsilon_{cu}\left(1-\frac{d'}{c}\right)$

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = 600\left(1-\frac{\beta_1 d'}{a}\right) \quad (2)$$

از حل (1) و (2) $a^2 + \frac{600A'_s - A_s f_y}{0.85 f'_c b} a - \frac{600 A'_s \beta_1 d'}{0.85 f'_c b} = 0 \Rightarrow a = 96.9\ mm$

$f'_s = 258\ MPa \qquad \sum M = 0 \rightarrow M_n = C_c \times Z_c + C_s \times Z_s$

$\Rightarrow M_n = 0.85 f'_c\, ab\left(d-\frac{a}{2}\right) + A'_s f'_s (d-d') = 595 \times 10^6\ N.mm$

$M_u = \phi M_n \qquad \frac{a}{d_t} ? \frac{a_{tcl}}{d_t} = \frac{3}{8}\beta_1 \rightarrow \frac{96.9}{535} = 0.181 < \frac{3}{8}\beta_1 = 0.319$

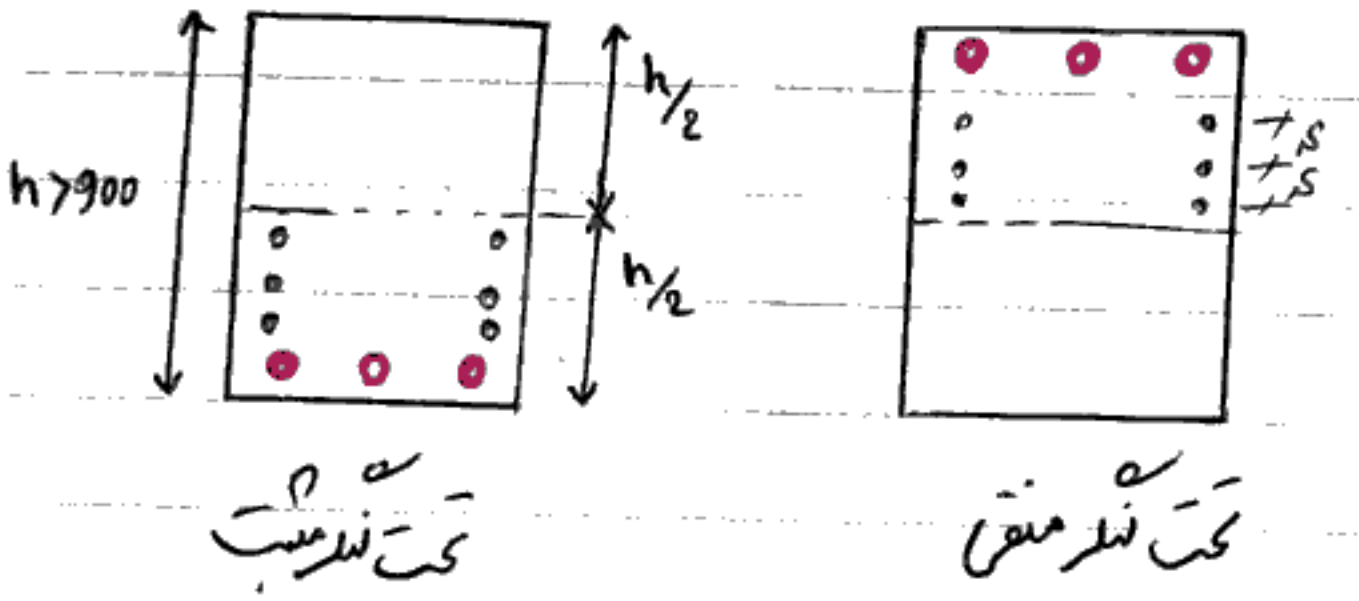
$M_u = 536\ KN.m$

$\phi = 0.9$

www.hoseinzadeh.info

فولادهای حلدی ولزوم به کار بردن آنها در مقاطع با ارتفاع زیاد

اگر $h > 900\ mm$ → مقطع با ارتفاع زیاد → لازم است از فولادهای جلدی در نامه نگاری استفاده شود



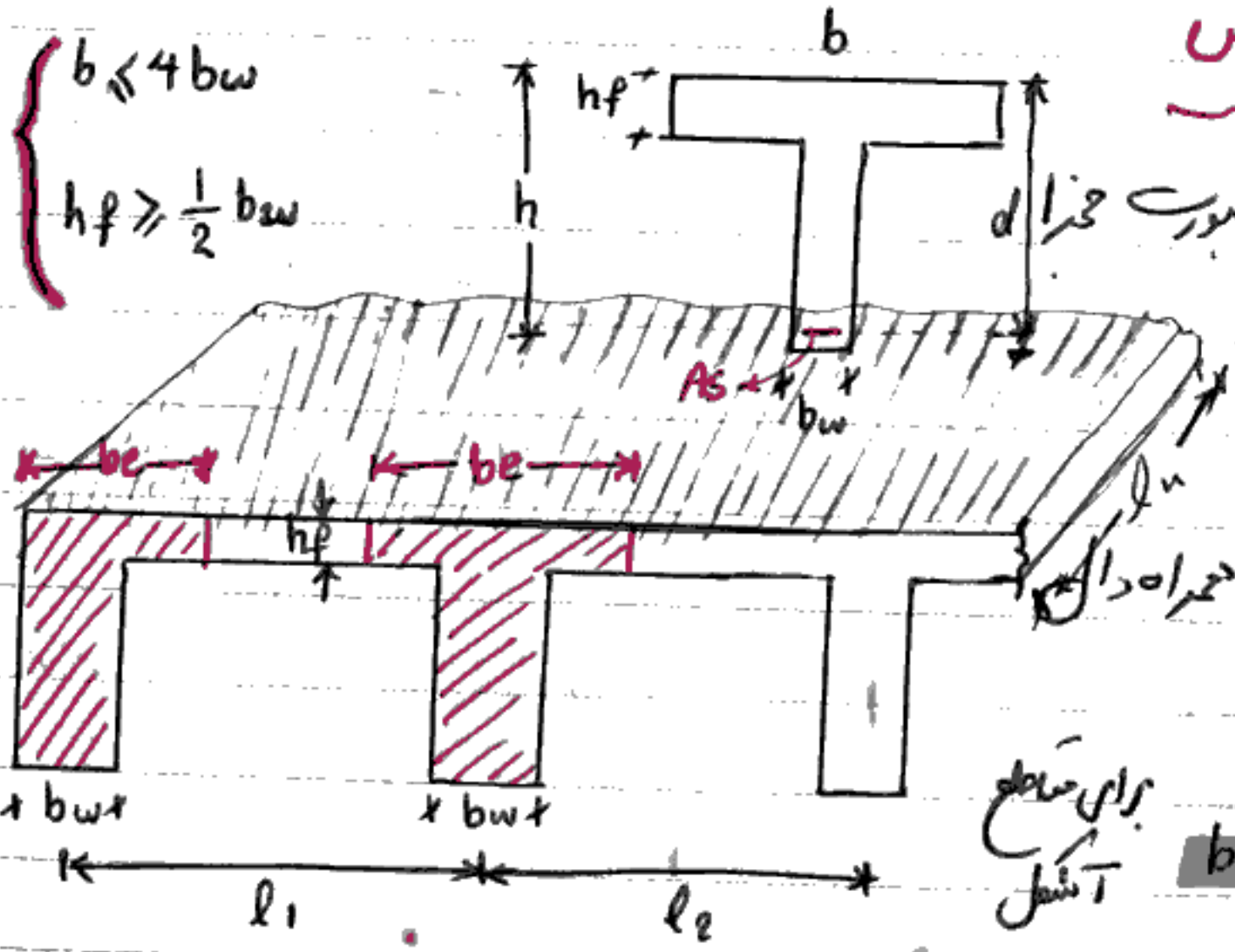
حداکثر فاصله میلگردهای جلدی $S \leq \frac{106000}{f_s} - 2.5 C_c$

$$S \leq \frac{106000}{f_s} - 2.5 C_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$f_s \simeq 0.6 f_y$ C_c = پوشش روی آخرین میلگرد خمشی $\simeq 50\ mm$

مقطع با فولاد تحت خمش

T شکل ← ۱- بصورت جدا



ضوابط:
- $b \leq 4 b_w$
- $h_f \geq \frac{1}{2} b_w$

۲- به همراه دال

برای مقطع T شکل

وسط

$b_e = \min \begin{cases} (l_1 + l_2)/2 \\ b_w + 16 h_f \\ l_n/4 \end{cases}$

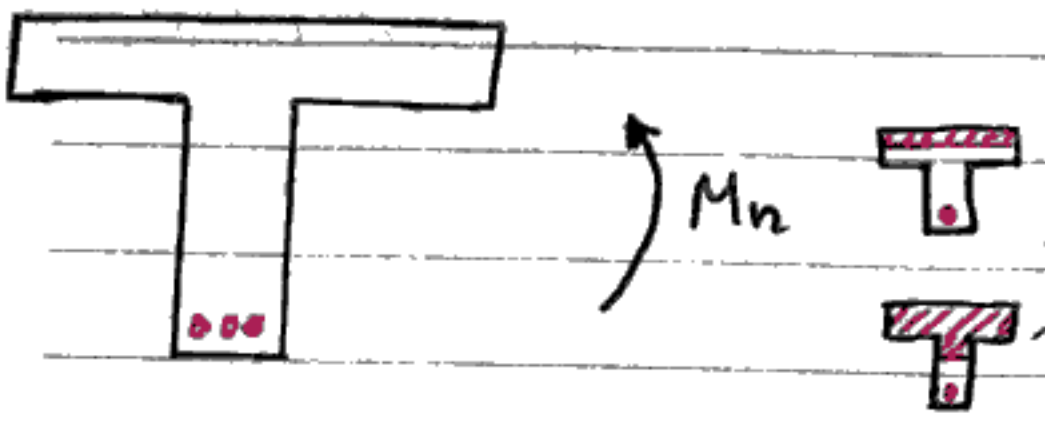
تکیه‌گاه

$b_e = \min \begin{cases} l_1/2 + b_w \\ b_w + 6 h_f \\ l_n/2 + b_w \end{cases}$

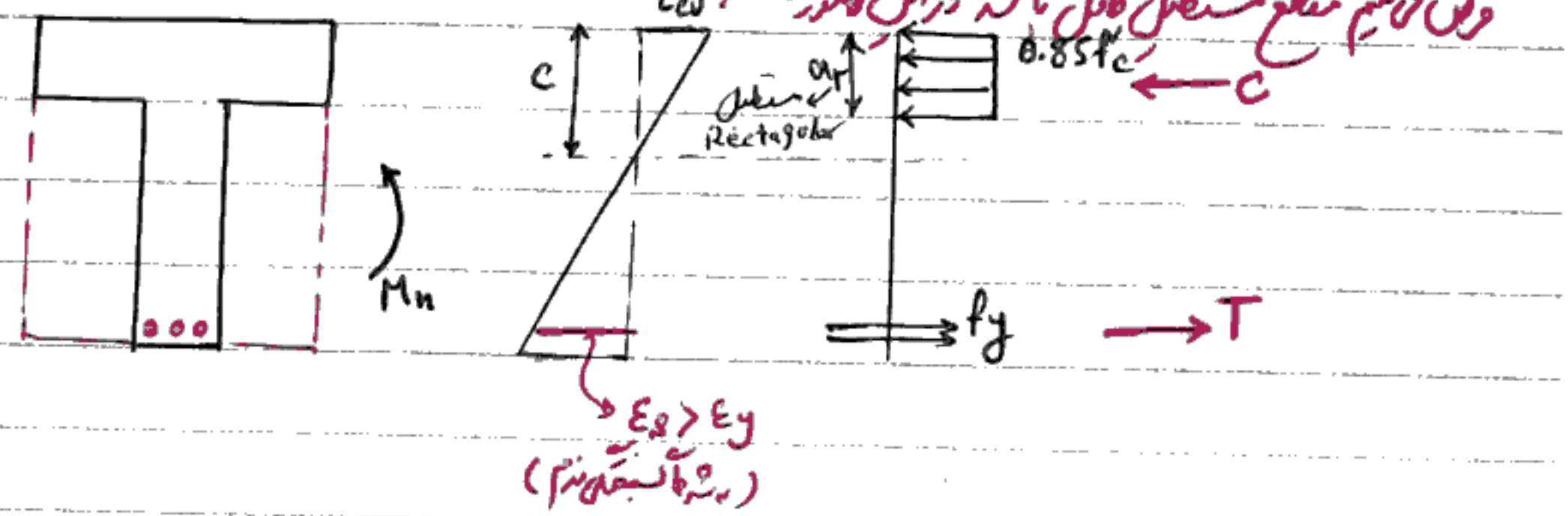
www.hoseinzadeh.info

بررسی مقاطع T شکل تحت خمش

سؤال: موقعیت بلوک فشاری تنش: بال یا جان؟



فرض می‌کنیم مقطع مستطیل کامل باشد در این صورت:



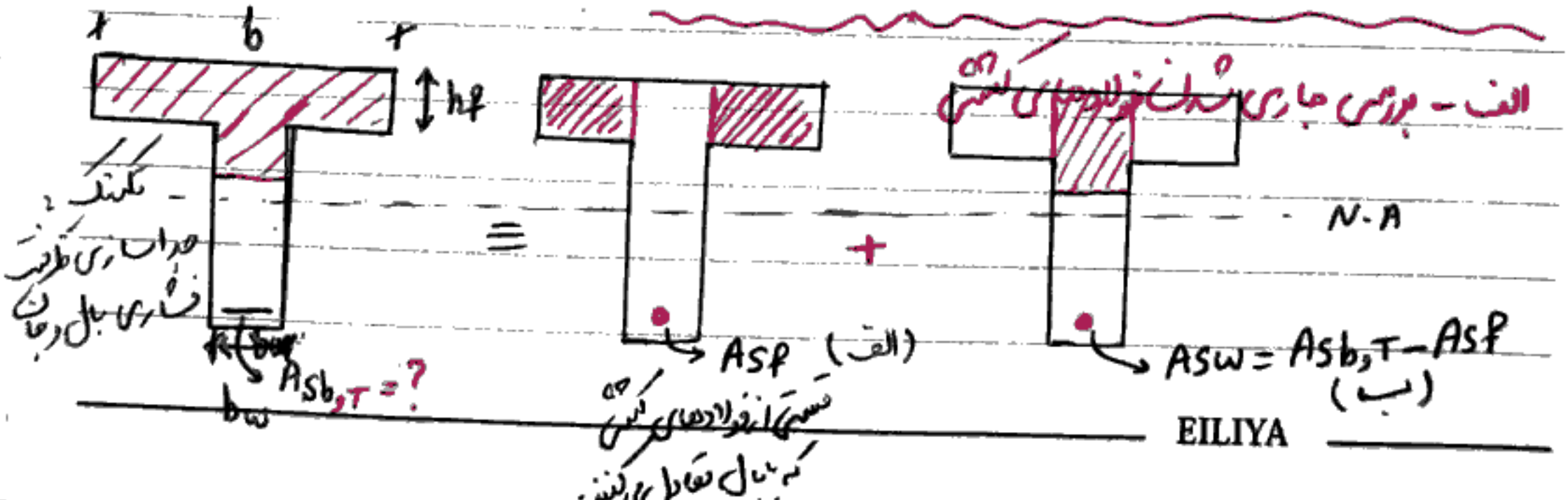
$$\sum F_x = 0 \rightarrow C = T$$

$$0.85 f'_c \, a_r \cdot b = A_s f_y \rightarrow a_r = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

اگر $a_r \leq h_f$ → تمام ناحیه فشاری تنش در بال واقع می‌شود → عملکرد مستطیلی

$a_r > h_f$ → قسمتی از ناحیه فشاری تنش از بال گذشته و به جان سرایت می‌کند → عملکرد T شکل

بررسی مقاطع T شکل با عملکرد $a_r > h_f$



www.hoseinzadeh.info

الف) $\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C$

$$A_{sf} f_y = 0.85 f'_c h_f (b - b_w)$$

$$\boxed{A_{sf} = \frac{0.85 f'_c}{f_y} h_f (b - b_w)}$$

ب) $\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C$

$$(A_{sb,T} - A_{sf}) f_y = 0.85 f'_c a_b \cdot b_w$$

$$A_{sb,T} = A_{sf} + 0.85 \frac{f'_c}{f_y} b_w \times \beta_1 c_b \quad \nearrow \frac{600}{600 + f_y} d$$

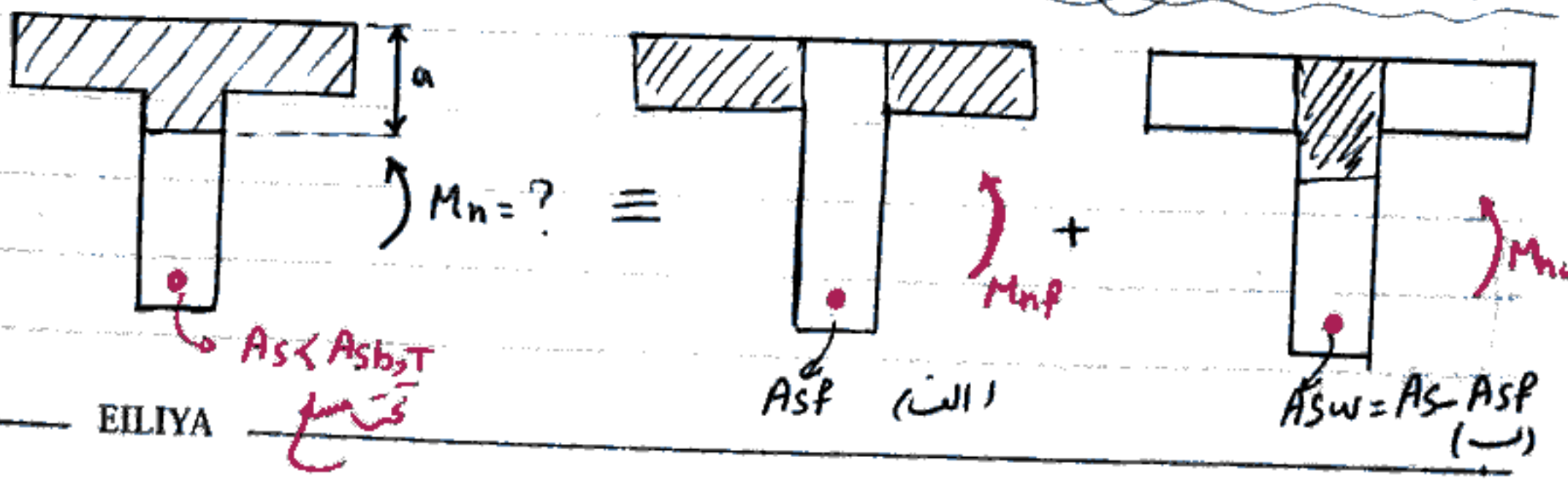
$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \;,\; \rho_{b,T} = \frac{A_{sb,T}}{b_w d} \;,\; \boxed{\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d}}$$

$$\Rightarrow \rho_{b,T} = \rho_f + 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \Rightarrow \boxed{\rho_{b,T} = \rho_b + \rho_f}$$

اگر $\rho_T \leq \rho_{b,T} \rightarrow$ UR تحت مسلح

اگر $\rho_T > \rho_{b,T} \rightarrow$ OR فوق مسلح

تعیین ظرفیت خمشی مقطع T شکل با محاسبه a شکل



www.hoseinzadeh.info

الف) $\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C$

$$A_{sf} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} h_f (b - b_w)$$

$$\Sigma M = 0 \longrightarrow \boxed{M_{nf} = A_{sf} f_y \left(d - \frac{h_f}{2}\right)}$$

ب) $\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C$

$$0.85 f'_c b_w a = (A_s - A_{sf}) f_y \rightarrow \boxed{a = \frac{(A_s - A_{sf}) f_y}{0.85 f'_c b_w}}$$

$$\Sigma M = 0 \longrightarrow \boxed{M_{nw} = (A_s - A_{sf}) f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$\boxed{M_n = M_{nf} + M_{nw}}$$

$$\boxed{M_u = \phi M_n}$$

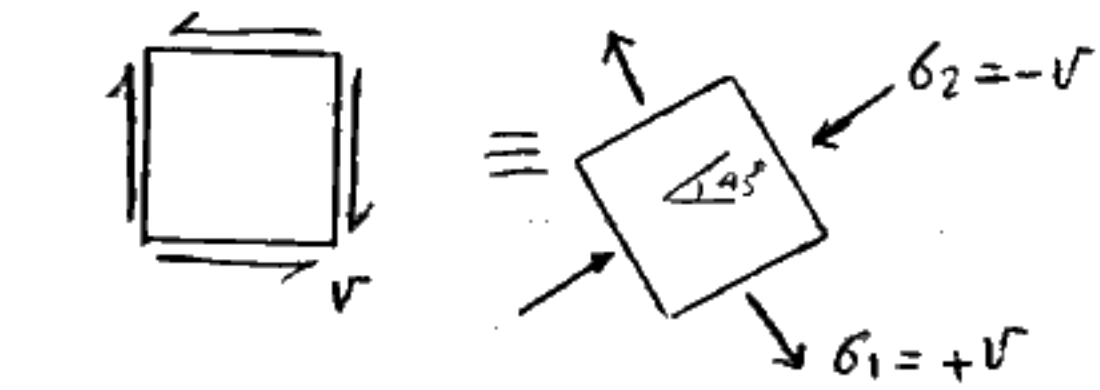
$\frac{a}{d_t} \overset{?}{<} \frac{3}{8}\beta_1 \rightarrow \phi = \cdots$ برای

جلسه سوم 19-3-89

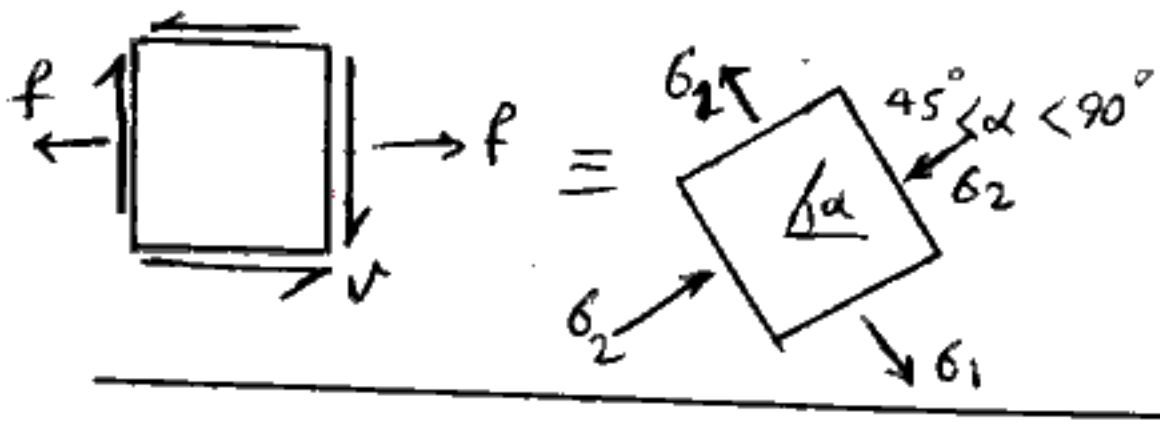
برش در تیر آرمه

برش خالص ← تنش‌های کششی اصلی در یک راستای مورب ایجاد می‌شود.
برش + خمش

برش خالص در کشش تنش ضعیف است.

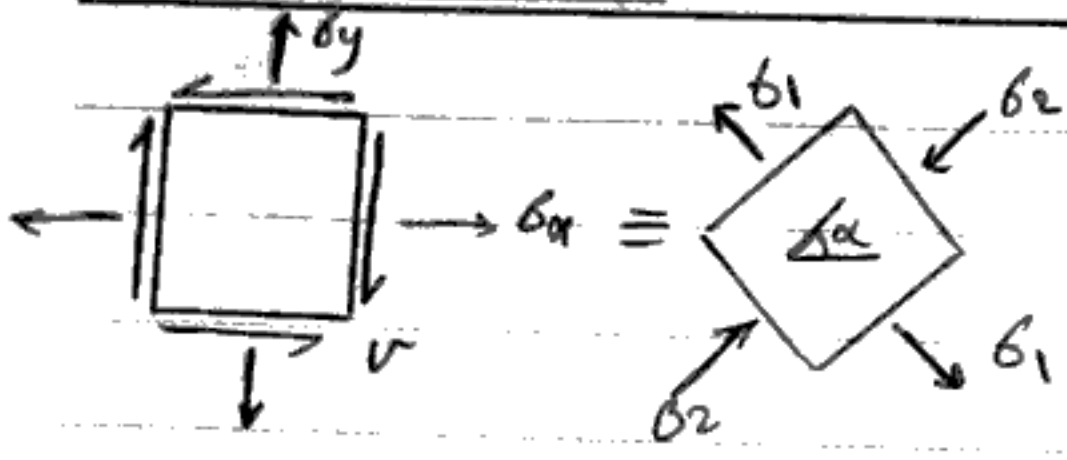


برش + خمش



www.hoseinzadeh.info

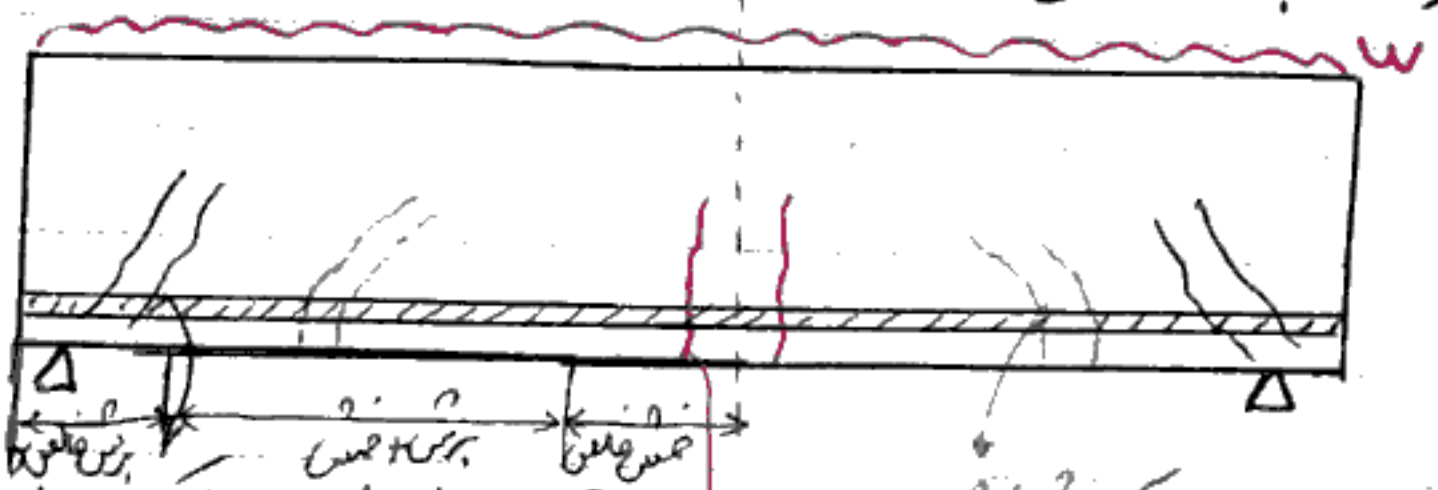
Date:



$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + v^2}$$

$$\tg 2\alpha = \frac{v}{(\sigma_x - \sigma_y)/2}$$

مقاطع تحت برش بایست برش + خمش ← ترک‌های مورب.



ترک‌های برشی جان
Web Shear Cracks

ترک‌های برشی جان از زیر مشخص است و زاویه‌ای حدود 45° دارد

ترک‌های خمشی خالص از زیر مشخص است

ترک‌های برشی خمشی
از زیر مشخص نشده ولی برش آن بیشتر است
تا برش خمش بالای بود
و زاویه بالای بود ۴۵° برای شد
از زیر مشخص است

Shear Flexure Crack

ترک‌های برشی خمشی که از زیر شروع می‌شود ولی ترک‌های برشی از زیر شروع نشده و در جان تیر هستند

برای جلوگیری از ترک‌های ایجاد شده باید از خاموت گذاری استفاده شود.

1- فولادهای قائم - فولادهای عرضی - فولادهای جان

{ Vertical Reinforcement
Transverse "
Web Reinforcement

محاسبات برشی تیرهای بتن آرمه

ظرفیت برشی بتن مقطع

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b_w d$$

N MPa mm mm

b_w : عرض جان

d : عمق مؤثر مقطع

www.hoseinzadeh.info

Date:

ACI 318

اگر $V_u \leq \frac{1}{2}\Phi V_c$ ← نیازی به خاموت برشی نیست

$\frac{1}{2}\Phi V_c < V_u < \Phi V_c$ ← نیاز به فولاد برشی محاسباتی نیست ولی لازم است از فولاد برشی حداقل استفاده شود

$V_u > \Phi V_c$ ← نیاز به فولاد برشی محاسباتی است.

V_u : برش با ضریب ایجاد شده در مقطع

Φ : ضریب کاهش مقاومت برشی

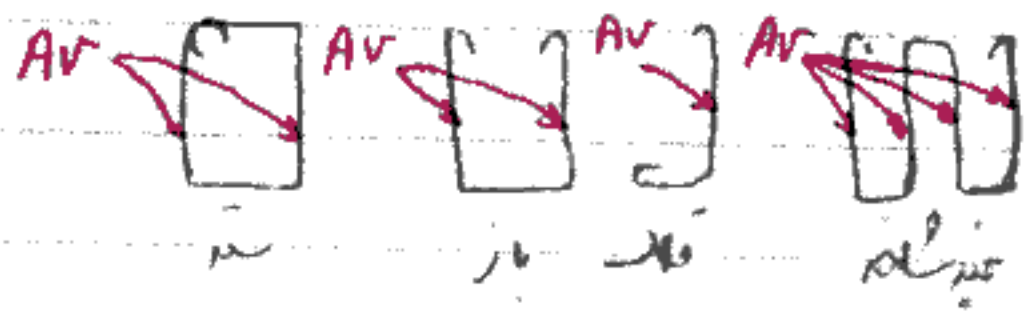
$\Phi = 0.85$ ~~1999~~ سال

$\Phi = 0.75$ 2002 ارسال

1.2D + 1.6L

محاسبات برش در حالتی که $V_u > \Phi V_c$

۱) آرایش خاموت های برشی عام استفاده شود.



A_v: سطح مقطع شاخه های عام خاموت

S = فاصله افقی خاموت ها

f_{yt} : تنش مربوط به آرماتورهای عرضی

ظرفیت برشی خاموت ها $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S}$

ظرفیت برشی اسمی مقطع $V_n = V_c + V_s$

در طراحی دو طرف نامساوی برابر در نظر گرفته می شوند. $V_u \leq \Phi V_n$ تبدیل

مسائل برش در سه آرایش ارائه

۱- آرایش مشخصات مقطع و فولادهای معلوم ظرفیت برشی مقطع مجهول

$V_n = V_c + V_s = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b_w d + \frac{A_v f_{yt} d}{S}$, $V_u \simeq \Phi V_n \Rightarrow V_u = \dots$

www.hoseinzadeh.info

۲- تأمل طراحی — ابعاد مقطع / پوشش مقطع معلوم — خاموت‌های عمود

$$V_u = \Phi (V_c + V_s)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

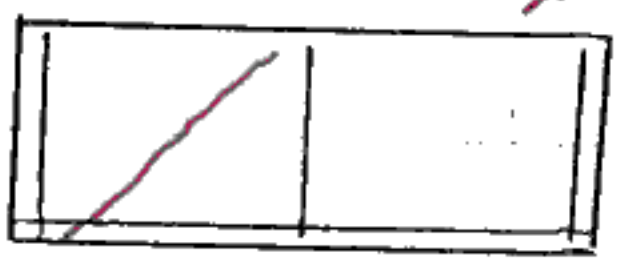
$$\frac{A_v f_{yt} d}{s} = \frac{V_u}{\Phi} - V_c \rightarrow \left(\frac{A_v}{s}\right)_{req} = \frac{\frac{V_u}{\Phi} - V_c}{f_{yt} d}$$

نظر مقدار دهنی و دسته دار بودن آنرا انتخاب کرده در نتیجه s ---

نکات آئین نامه‌ای برش

الف- حداکثر فاصله خاموت‌ها S_{max}

ترک از بین خاموت‌ها فرار می‌کند



فاصله خاموت‌ها زیاد

* اگر $V_s = V_u - V_c \leq 2V_c$

$$\rightarrow S_{max} = \min\left\{\frac{d}{2}, 600\,mm\right\}$$

* اگر $V_s = V_u - V_c > 2V_c$

$$\rightarrow S_{max} = \min\left\{\frac{d}{4}, 300\,mm\right\}$$

ب- حداقل فولاد برشی آئین نامه‌ای

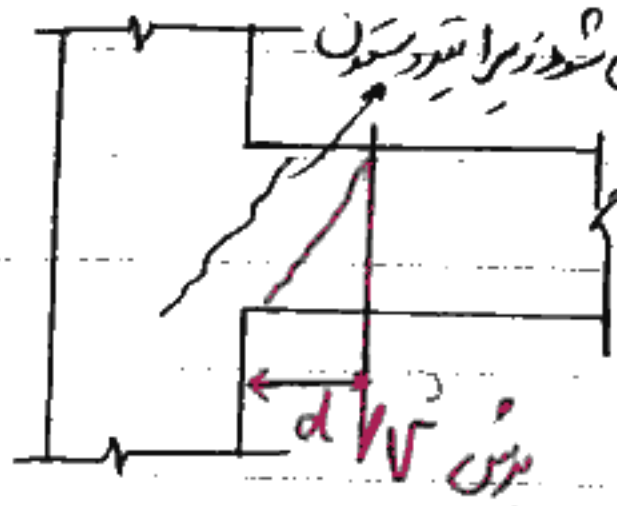
$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min} = \max\begin{cases} \frac{1}{3}\frac{b_w}{f_{yt}} \\ \frac{1}{16}\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}} \end{cases}$$

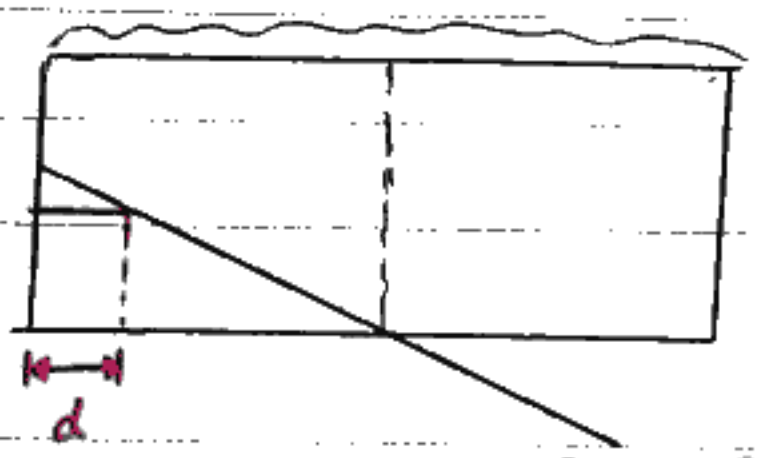
① توجه: $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{req}$ همیشه باید بیشتر یا مساوی $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min}$ گرفته شود.

② هرجا که $\frac{1}{2}\Phi V_c < V_u < \Phi V_c$ باید نیز فولاد مینیمم استفاده شود.

www.hoseinzadeh.info

ج) در حالتی که برش تکیه‌گاه در روی برش با فاصله d از بر تکیه‌گاه راستای قائم قرار دارد.





د) نحوه آرایش میلگرد برشی

الف) جهت جلوگیری از شکست برشی

ب) جهت جلوگیری از باز شدن ترک‌های برشی در بهره‌برداری (باز شدن ترک‌ها اکسپوژر دارد و سطح زیر دیده‌شده و زیبایی خود را از دست می‌دهد)

$V_s \leq 4V_c$ یا $V_n \leq 5V_c$

$V_u \leq 5\phi V_c$ یا $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{max} \leq \frac{2}{3}\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}}$

تذکر: هر خاموت $\frac{s}{2}$ از سمت چپ و $\frac{s}{2}$ از سمت راست عرضه نفوذ دارد لذا اولین خاموت را باید به فاصله $\frac{s}{2}$ از بر تکیه‌گاه قرار دهیم.

مثال: طرح خاموت گذاری تیر در تکیه‌گاه؟

$DL = 45\ KN/m$, $LL = 18\ KN/m$

$f'_c = 25\ MPa$, $f_{yt} = 400\ MPa$

$q_u = 1.2D + 1.6L = 82.8\ KN/m > 1.4D = 63\ KN/m$

برش در فاصله d از بر تکیه‌گاه $= V_u = q_u \times (l-d) = 82.8(3-0.335) = 220.7\ KN$

کنترل مقاومت خاموت: $V_u \leq 5\phi V_c$ $\quad V_c = 83.75 \times 10^3 N \rightarrow$ O.K. شکست قطری برشی سالم

مقدار خاموت باید طوری تعیین شود

$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{req} = \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yt}\, d} = 1.57\ mm$

حداقل $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min} = Max\begin{cases}0.25 \\ 0.23\end{cases}$ که کنترل از این تعیین نشده

$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{req} > \left(\frac{A_v}{s}\right)_{min}$ O.K.

www.hoseinzadeh.info

Try Φ10 خاموت ② ▭

$$A_v = \frac{② \pi \times 10^2}{4} = 157\,mm^2$$

$$S_{req} = \frac{A_v}{(\frac{A_v}{S})_{req}} = \frac{157}{1.57} = 100\,mm$$

فاصله خاموت $V_s = V_n - V_c = \frac{V_u}{\phi} - ② 2V_c$

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c = \frac{220.7}{0.75} - 83.75 = 210.5\,kN$$

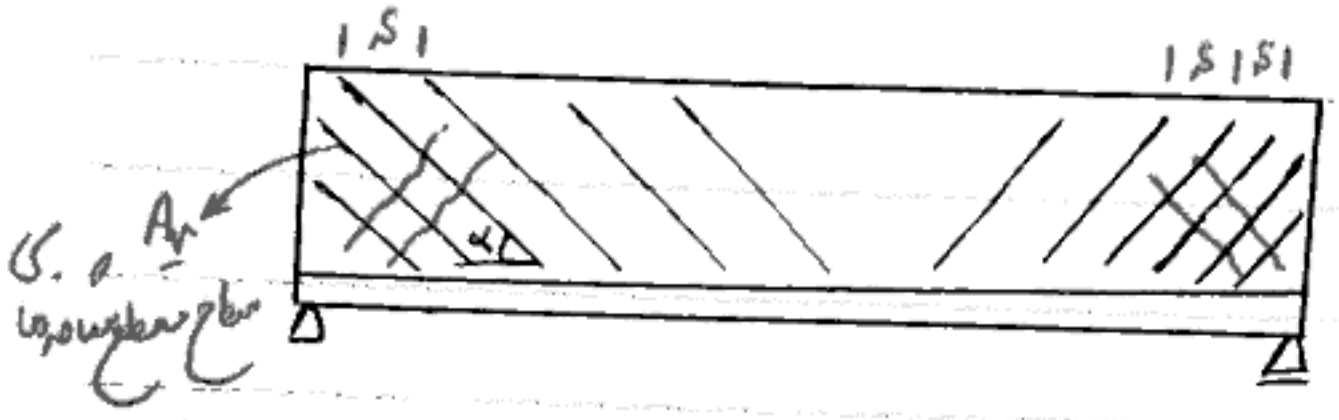
$$V_s > 2V_c$$

$$S_{max} = \min\left\{\frac{d}{4}, 300\,mm\right\} = 83.75$$

USE Φ10 ▭ @ 80mm در کلیه ۵

بدلیل این که از جهت اقتصادی صرفه نمی‌کند طرح باید به گونه‌ای باشد که شدت نیروی برشی در طول تیر فاصله خاموت‌ها را افزایش داد.

فولادگذاری برشی مایل



$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S} (\sin\alpha + \cos\alpha)$$

$$V_n = V_c + V_s \;,\; V_u \leq \phi V_n \qquad \text{اگر } \alpha = 90 \rightarrow \sin\alpha + \cos\alpha = 1$$

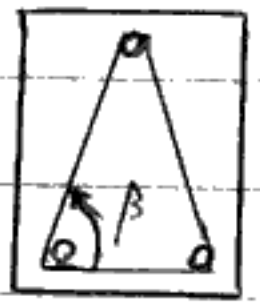
www.hoseinzadeh.info

حداکثر V_s با شیب میلگردهای برشی نسبت به تنش $\alpha = 45^\circ$ خواهد شد. ←

راندمان محاسباتی ⟵ $\simeq \sqrt{2} \equiv 40\%$

راندمان اقتصادی $< 40\%$ ← حدود طول میلگردهای مایل هم محدود است و نزدیک تکیه‌گاه‌ها تعدادشان کم است.

آرایش عرضی خاموت

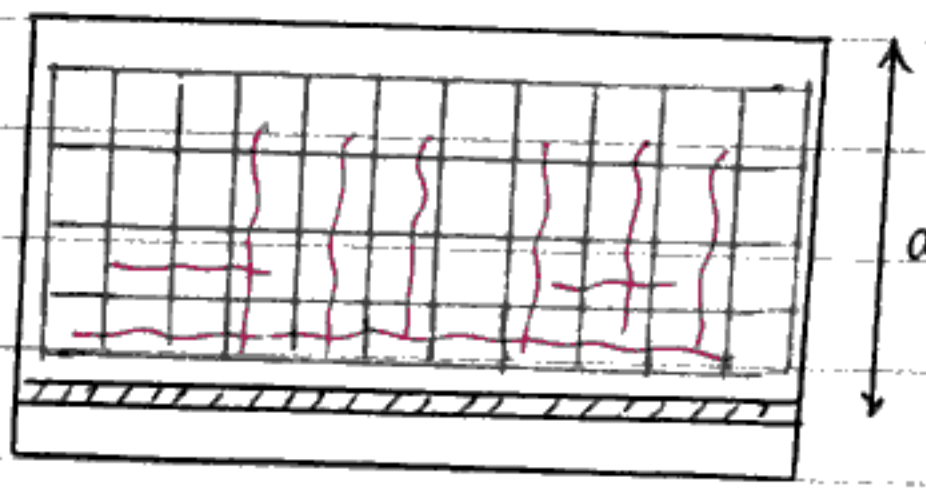


$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \cdot \sin\beta$$

اگر هم تنگ طولی و هم تنگ عرضی داشته باشیم مثلاً در تیرچه‌ها

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \cdot \underbrace{\sin\alpha \sin\beta}_{\text{تنگ عرضی تنگ طولی}}$$

برش در تیرهای عمیق (Deep Beam)



در تیر عمیق لازم است از یک شبکه متعامد فولاد برشی استفاده شود.

محاسبات فولادگذاری در تیر عمیق در دو کتاب

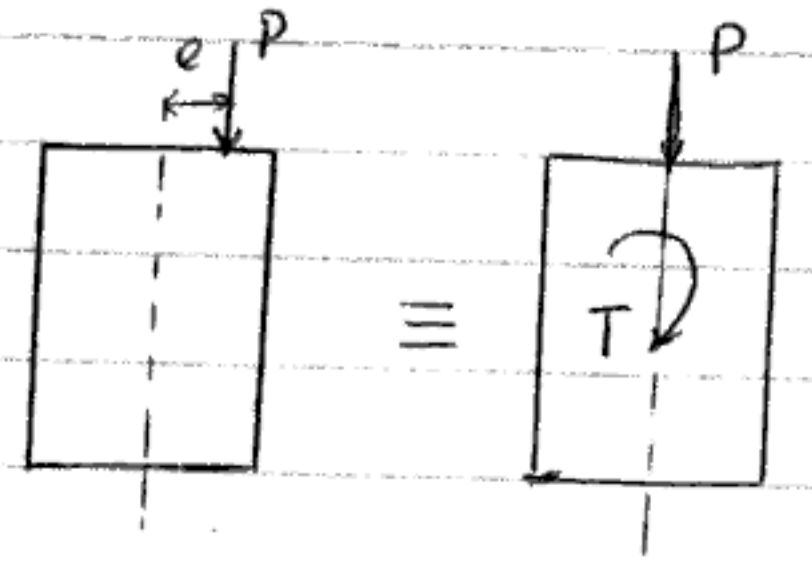
تا سال 1999	$\frac{l_n}{d} \leqslant 5$	تیر عمیق
از سال 2002	$\frac{l_n}{d} \leqslant 4$	تیر عمیق

www.hoseinzadeh.info

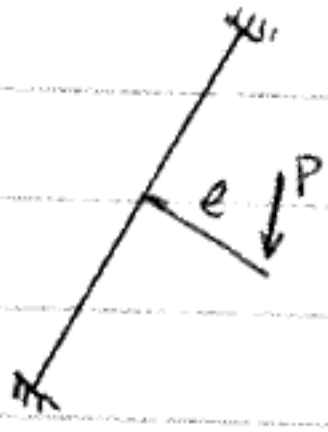
پیچش در تیر آرمه

دلائل ایجاد پیچش در تیر آرمه

۱- وجود بار خارج از محور

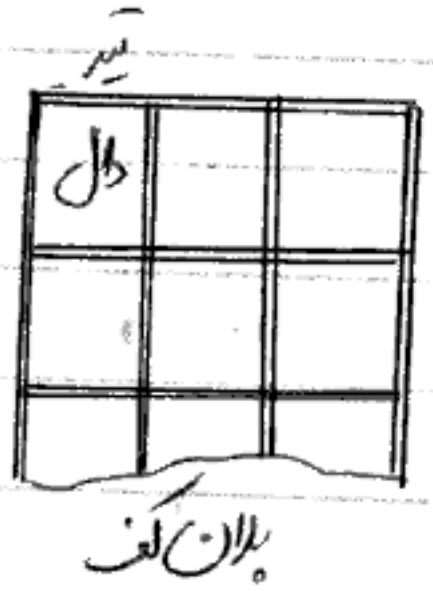


$T = P.e$



۲- پیوستگی اعضای تیر آرمه (دال و تیر)

تیرهای کناری تحت پیچش خارجی ندرتی تیرهای میانی تقریباً بدون پیچش می‌باشند.



بررسی پیچش در سازه‌های بتنی

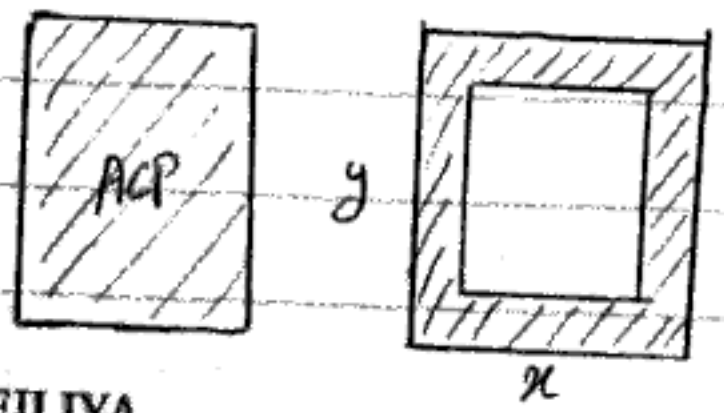
T_{cr} : پیچش ترک‌خوردگی Cracking

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f'_c}\,\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

A_{cp} : مساحت محصور بیرونی ترین خطوط در برگیرنده مقطع

P_{cp} : محیط بیرونی ترین خطوط در برگیرنده مقطع

چون ضخامت مقطع جدار نازک میان پیچش استفاده می‌شود لذا این قسمت وسط در نظر گرفته می‌شود و کار می‌کند.

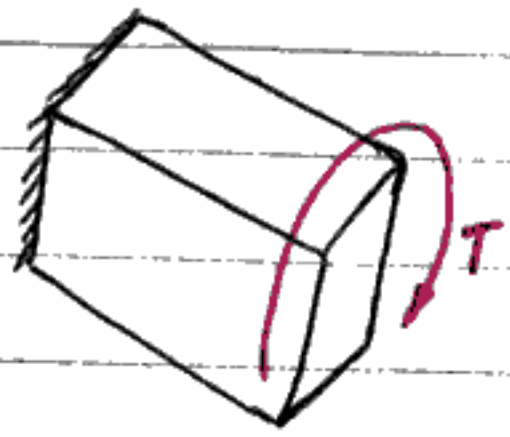


EILIYA

$ACP = xy$ $\quad ACP = xy$

$PCP = 2(x+y)$ $\quad PCP = 2(x+y)$

www.hoseinzadeh.info



اگر $T_u \leq \Phi T_{cr}$ → تاثیر خمش پیچشی در مقطع اتفاق نمی‌افتد.

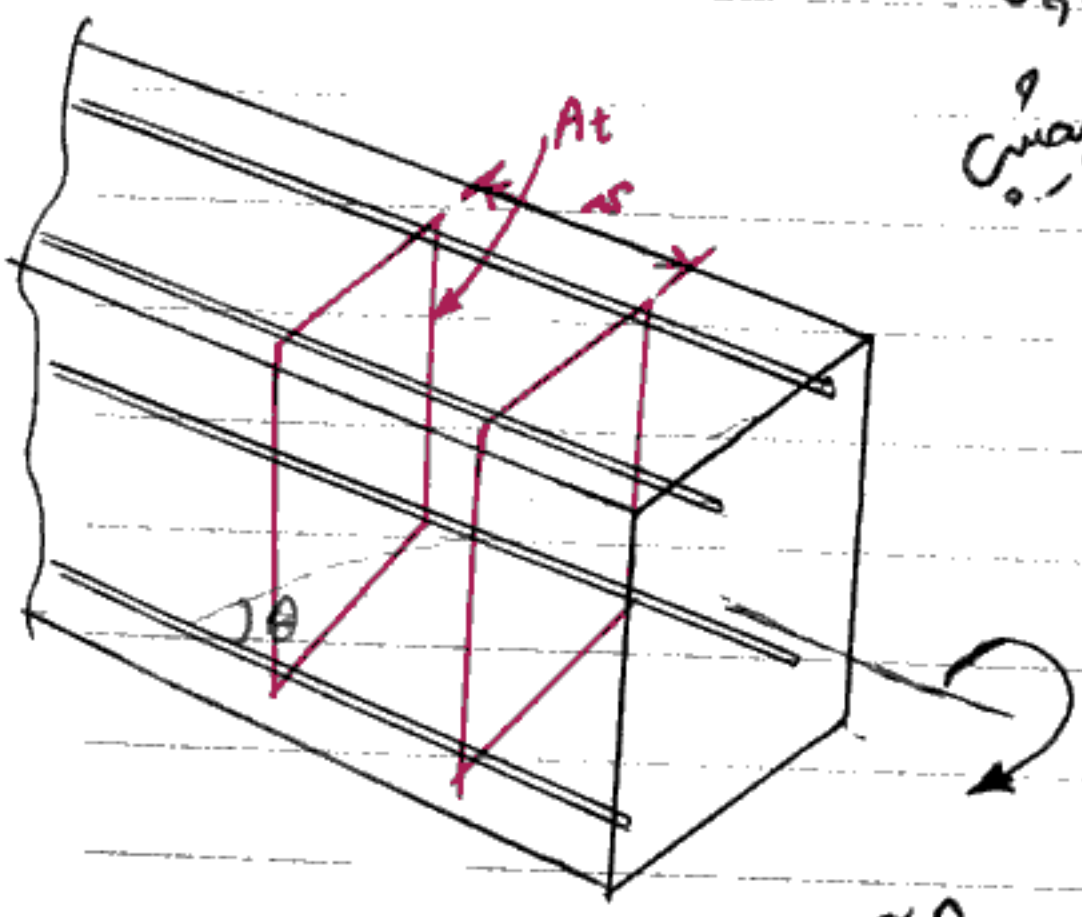
ACI 318

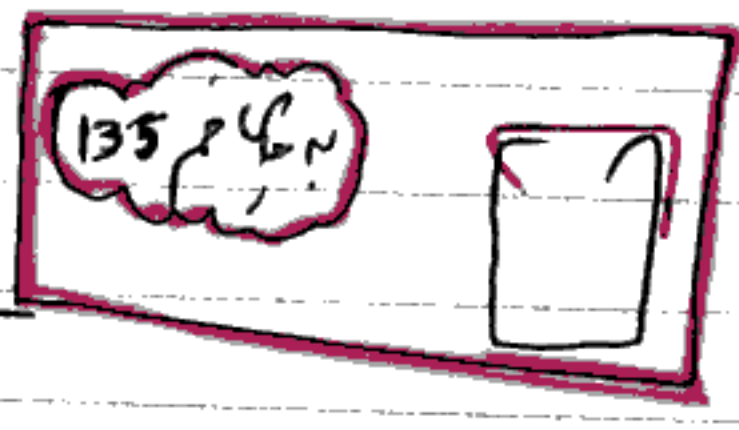
اگر $T_u \leq \frac{1}{4}\Phi T_{cr}$ → پیچش در محاسبات قابل صرفنظر کردن می‌باشد.

شرط صرفنظر کردن از وجود پیچش در محاسبات $T_u \leq \frac{1}{12}\Phi\sqrt{f'_c}\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$

اگر پیچش در محاسبات وارد شود

فولادهای پیچشی لازم → خاموت بسته پیچشی
→ فولادهای طولی پیچشی





* چون تنش ایجاد شده در اثر پیچش هم برشی است تمام ظرفیت برشی بتن به برش تخصیص می‌یابد و ظرفیت برشی برای پیچش بتن صفر در نظر گرفته می‌شود

$T_n = T_c + T_s$ ظرفیت پیچشی اسمی مقطع $\Rightarrow$ ($T_c \simeq 0$)

$$T_s = \frac{1.7 A_{oh} f_{yt} A_t}{s}$$

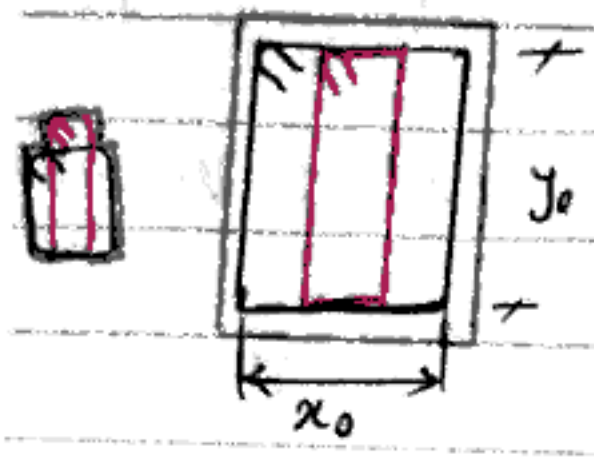
f_{yt} : تنش تسلیم فولادهای عرضی
A_t : سطح مقطع یک شاخه آرماتور
s : فاصله افقی خاموت‌ها

www.hoseinzadeh.info

A_{oh} : مساحت محصور به محور بیرونی ترین خاموت بسته بپیچش

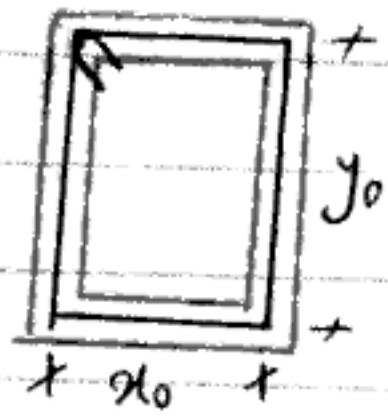
x_0 و y_0 مرکز تا مرکز خاموت ها

خاموت قوطی زنگ انگری در محاسبه ندارند.



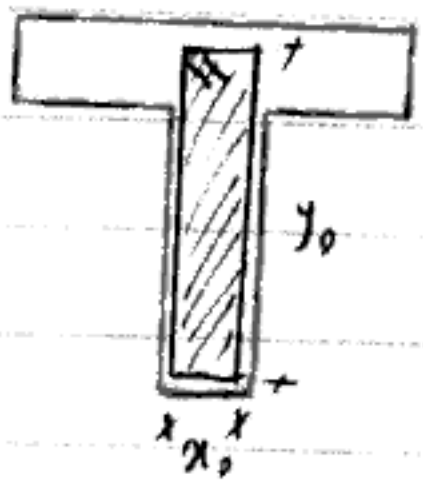
$A_{oh} = x_0 y_0$

$P_h = 2(x_0 + y_0)$



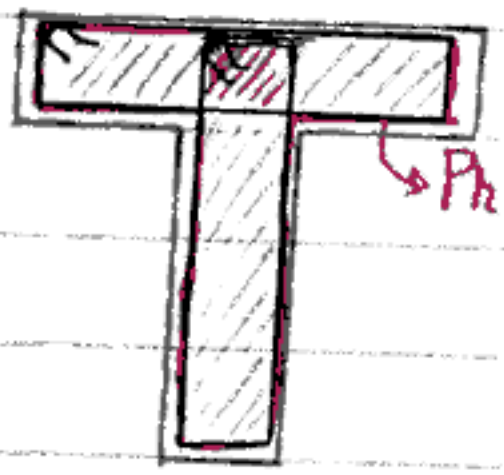
$A_oh = x_0 y_0$

$P_h = 2(x_0 + y_0)$



$A_{oh} = x_0 y_0$

اگر دو خاموت هم بسته شده باشند مثلاً 2 تا



مقدار A_{oh} عبارت است از A_t دیوار قوطی − سقف

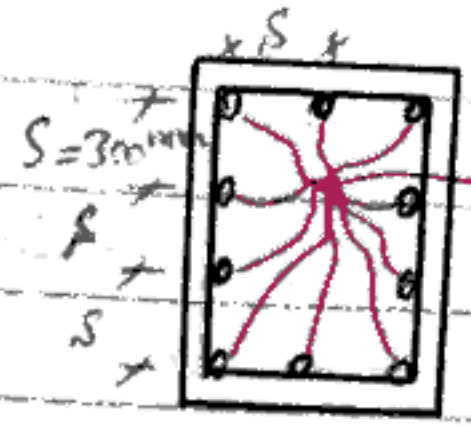
می شود.

طول فرمول $T_s = \frac{2 A_o f_{yt} A_t}{s} \cdot \cot\theta$ $\quad A_o \simeq 0.85 A_{oh}$, $\theta \simeq 45°$

$T_u \leq \Phi T_n \rightarrow T_u \leq \frac{1.7 \Phi A_{oh} f_{yt} A_t}{s}$

حداکثر ظرفیت بسته بپیچشی

$$\left(\frac{A_t}{s}\right)_{req} = \frac{T_u}{1.7 \Phi f_{yt} A_{oh}} \qquad \Phi = 0.75$$



* محاسبه فولادهای طولی بپیچش

Longitudinal طولی

P_h : محیط بیرونی ترین خاموت بسته بپیچش

$$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2\theta$$

$\theta = 45$

www.hoseinzadeh.info

نکات آئین نامه ای

۱- فولادهای طولی پیچش باید در هر ۴ طرف مقطع توزیع شود.

۲- حداقل $\Phi 10$

۳- فاصله حداکثر 300 mm باشد.

۴- مسلح طولی پیچش باید در حاسبا خمش مورد استفاده قرار گیرد

۵- مسلح طولی پیچش می تواند به عنوان مسلح جانبی یا کوشه نیز در تیرهای با ارتفاع زیاد مورد استفاده قرار گیرد.

* در پیچش مسلح های طولی به کشش می افتند و تنش به علت بارهای ثقلی در آنها وجود خواهد داشت ایجاد می شود ص ۳۸۸ کتاب

نکات آئین نامه ای

۱- فاصله حداکثر طولی پیچشی S_{max}

$$S_{max} = \min \begin{cases} \frac{Ph}{8} \\ 300\ mm \end{cases}$$

۲- مسلح های طولی پیچشی حداقل

$$A_l = \left(\frac{A_t}{S}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \geq A_{l,min}$$

ص ۳۹۸ کتاب $A_{l,min} = \frac{5}{12}\frac{\sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{S}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$

۳- ترکیب برش و پیچش

الف- فولادهای عرضی لازم برای پیچش و برش بطور جداگانه محاسبه شده و با هم جمع می شوند.

$$\left(\frac{A_v}{S}\right)_{req} = \frac{V_u/\Phi - V_c}{f_{yt} d}$$

$$\left(\frac{A_t}{S}\right)_{req} = \frac{T_u}{1.7 \Phi A_{oh} f_{yt}}$$

$$\rightarrow \frac{A_T}{S} = \left(\frac{A_v}{S}\right)_{req} + 2\left(\frac{A_t}{S}\right)_{req}$$

A_T سطح مقطع دو ساقه خاموت بسته

EILIYA

www.hoseinzadeh.info

ب - فاصله حداکثر خاموت برش پیچشی

$$S_{max} = \min \left\{ S_{max\,برش} \;,\; S_{max\,پیچشی} \right\}$$

ج - برش و پیچش تکیه‌گاه می‌توان، برش و پیچش d از بر تکیه‌گاه را مبنای محاسبات قرار داد.

د - به‌عنوان حداقل خاموت برش-پیچشی

در برش خالص $\left(\frac{A_v}{S}\right)_{min} = max \begin{cases} \frac{1}{3}\frac{b_w}{f_{yt}} \\ \frac{1}{16}\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}} \end{cases}$

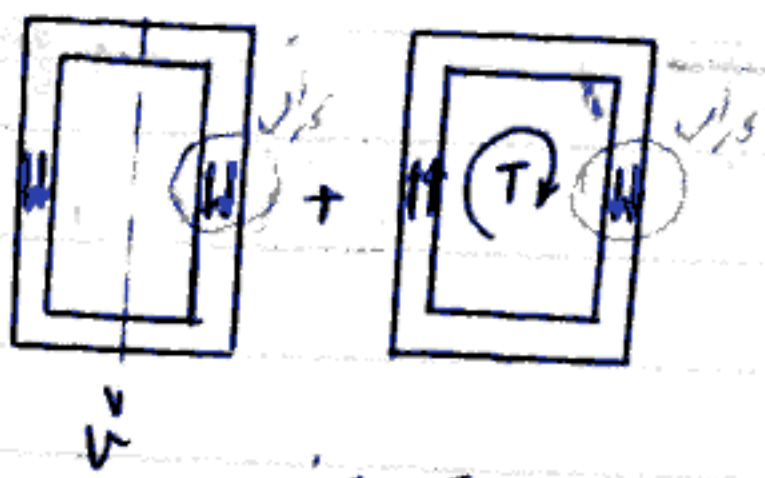
در پیچش خالص $2\left(\frac{A_t}{S}\right)_{min} =$ 4

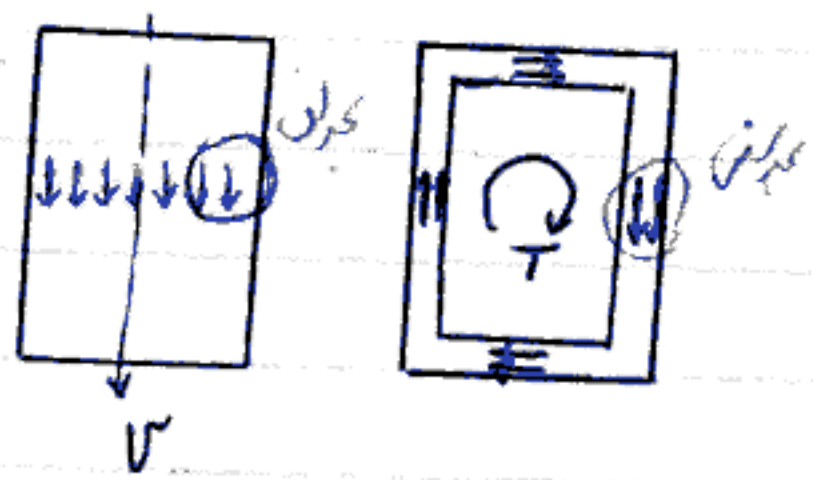
در برش + پیچش $\left(\frac{A_T}{S}\right)_{min} =$ 4

هـ - حداکثر خاموت برش پیچشی (شرط جلوگیری از شکل‌پذیری از شکل‌پذیری برش-پیچشی)

برای مقاطع توخالی (i) $\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u \cdot P_h}{1.7 A_{oh}^2} \leqslant \Phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2}{3}\sqrt{f'_c}\right) \simeq \Phi\frac{5}{6}\sqrt{f'_c}$

برای مقاطع توپر (ii) $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leqslant \Phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2}{3}\sqrt{f'_c}\right)$





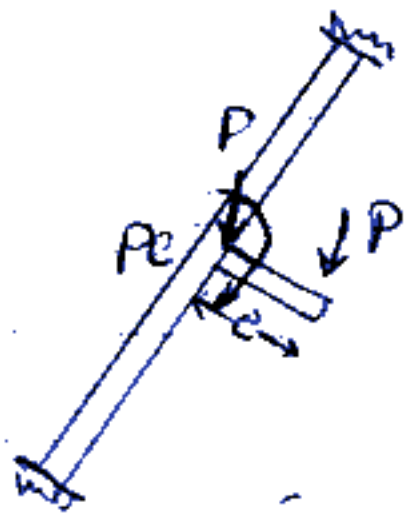
www.hoseinzadeh.info

جلسه چهارم 26-3-89

پیچش { تعادلی / همسازی

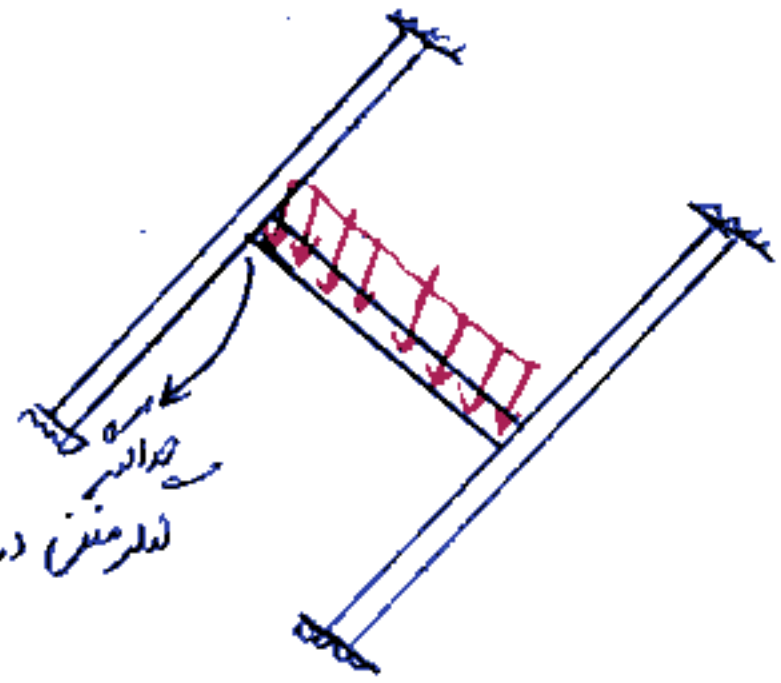
در یک سازه معین و یا قسمتی معین سازه ایجاد می‌شود. مقدار این پیچش براساس معادلات تعادلی تعیین شده و مقدار آن کاملا مشخص است.

در یک سازه نامعین ایجاد می‌شود و مقدار آن علاوه بر سختی اعضاء و نکیه‌گاه داشته و براساس ترکیب معادلات تعادل و همسازی تعیین می‌شود.



تعادل

لنگر مقاوم در این نقطه ϕT_{cr} است.



همسازی

لنگر ایجاد شده در سرتاسر سبب پیچش سرتیرهای اطراف می‌شود.

مشخص است کلیه تیر و اتصال آن به تیرهای اطراف بیرداری یابد؟

اگر آزادی تکیه‌گاهی داشته باشد مقدار آن به دو سر متصل بیشتر است.

برای اولین ترک‌های پیچشی این اتصال شروع به چرخش می‌کند و در نتیجه لنگر کاهش می‌یابد.

این را به خاطر بسپارید: مقدار پیچش همسازی در سازه‌های بتن آرمه بعد از پیچش ترک خوردگی (ϕT_{cr}) محدود می‌شود.

(نهم)

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f'_c}\,\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

پیچش همسازی $T_u \leq \frac{1}{3}\phi\sqrt{f'_c}\,\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$

باید در مدل سازی کامپیوتری پیچش لحاظ شده و ϕT_{cr} تنزل شود. باید با تغییر ابعاد سعی پیچش تیر این تنزل را جبران شود.

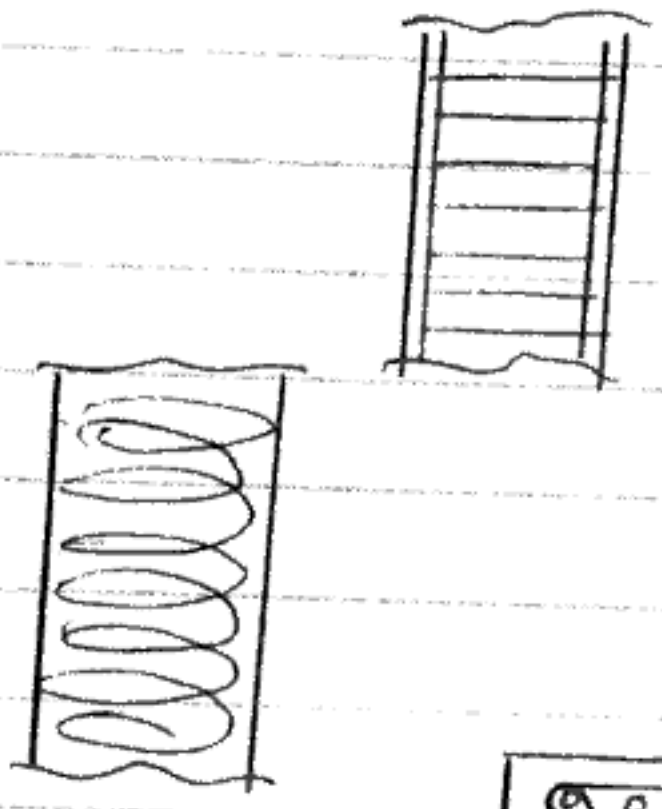
www.hoseinzadeh.info

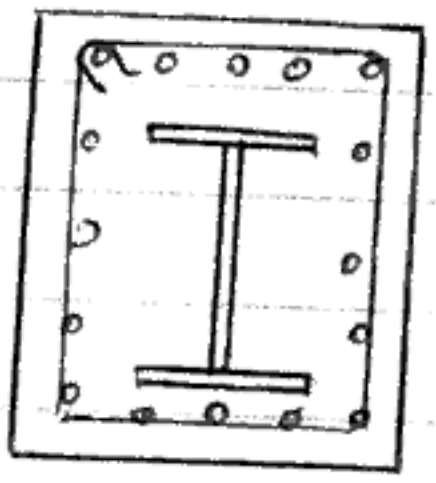
قطعات فشاری ← تحت فشار محوری
← تحت فشار + خمش

ستون ها - قوس ها - جدار ها - مخازن آزاد

۱- قطعات فشاری با مقاطع طول زیاد نسبت به

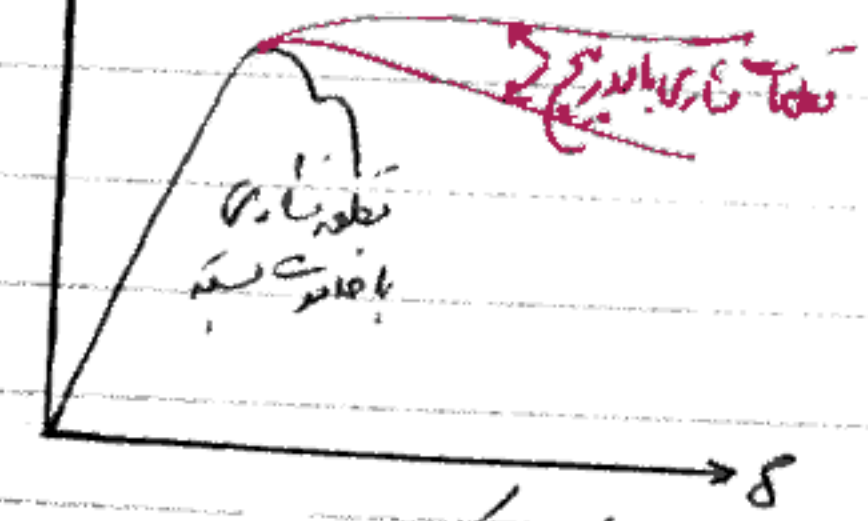
۲- قطعات فشاری با مقاطع کوتاه





رفتار قطعات فشاری

بر اساس منحنی بار - تغییر مکان



شکل بندی : جذب انرژی هنگام شکست ← سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان

قطعات فشاری با لاغری زیاد شکل پذیر عمل می کنند زیرا که این مسئله در هنگام عملکرد بارهای دینامیکی و ناگهانی بار زلزله فوق العاده حائز اهمیت است.

اثر قطعات فشاری با لاغری کم بطوری طراحی شده که از اصل حداقل سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان شکل پذیری

EILIYA

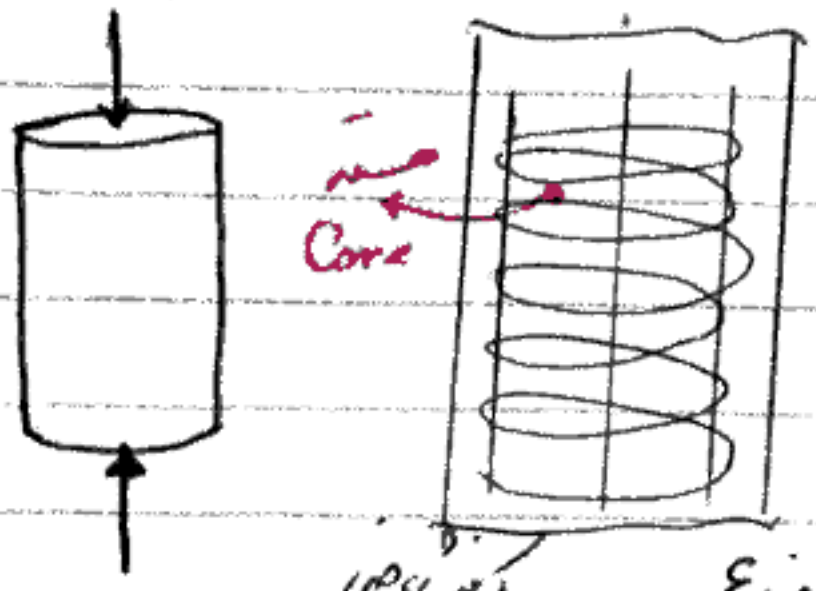
از دست یافته در رفتار به قطعات با لاغری نمی رسد.

www.hoseinzadeh.info

علت ؟ (از دانستن شکل پذیری چه استفاده ای میکنیم)

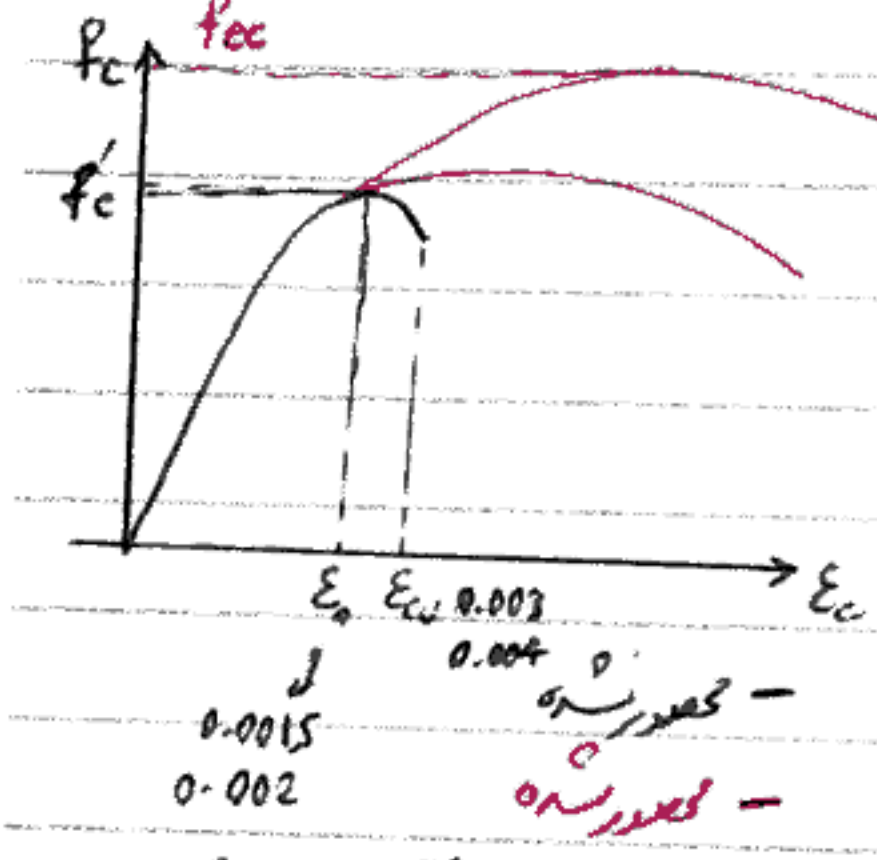
محصور شدگی بتن Confinement

جلوگیری از انتشال جانبی بتن



$\sigma = E\varepsilon$ $\quad \nu = \frac{\text{کرنش عرضی}}{\text{کرنش طولی}} = \frac{\text{درصد ع}}{\text{طولی ع}}$

مثلاً محیط آرمین یک لوله فلزی در استوانه مسلح دهانه دورپیچ



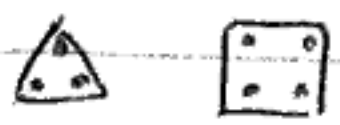
شکل پذیری مناسب: مقطع در مقابل بتن - کرنش

خاصیت ۱۲۵ در قطب بتن رفته ولی خم معمول در پوسته قرار دارد و با خنثی پوسته دیگر در بتن قرار ندارد.

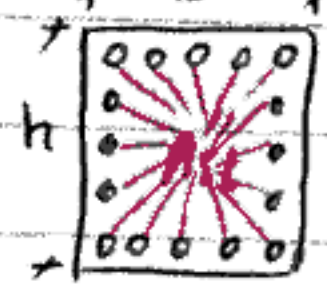
نکات آئین نامه ای

الف - میلگردهای طول

۱- تعداد: در مقاطع چهار گوش حداقل ۴ عدد و در مقاطع ۳ گوش حداقل ۳ عدد.



۲- مقدار حداکثر میلگردهای طول



$\rho_t = \rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$ ناخالص $\quad A_g = bh$

$\rho_t \leq 8\%$ (حداکثر ضوابط لرزه ای رعایت شود)

$\rho_t \leq 6\%$

www.hoseinzadeh.info

- ضوابط حداکثر میلگرد طولی در همه جا و از جمله سر محل وصله ها رعایت شود.

مثلاً: ۵۰ درصد میلگردها در یک تراز و ۵۰ درصد در تراز بالاتر وصله شوند

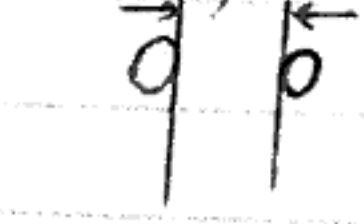
۳- حداقل میلگردهای طولی

$$P_{t,min} = 1\%$$

مگر آنکه مقطع دیگر رفته بزرگتر از مقطع مورد نیاز باشد که در این صورت می‌توان ۰.۵ درصد کاهش داد.

۴- فاصله آزاد بین میلگردهای طولی

$$\text{فاصله آزاد} \geq \text{Max}\left\{1.5\,db,\ 40\,mm\right\}$$



در تیرها : $\max\left\{db,\ 25\,mm\right\}$

ب- میلگردهای عرضی یا خاموت

۱- قطر

$$\Phi_L \leqslant 32\,mm \Rightarrow \Phi_t \geqslant 10\,mm$$

(Φ_L: قطر میلگرد طولی، Φ_t: قطر میلگرد عرضی)

$$\Phi_L > 32\,mm \Rightarrow \Phi_t \geqslant 13\,mm$$

۲- فاصله خاموت‌ها S

$$S_{max} = \min \begin{cases} 16\,\Phi_L \\ 48\,\Phi_t \\ h_{min} \text{ کوچکترین بعد مقطع} \end{cases}$$

۳- آرایش یا چیدمان Arrangment

میلگردهای عرضی به دو روش در مقطع قرار داده می‌شوند که:

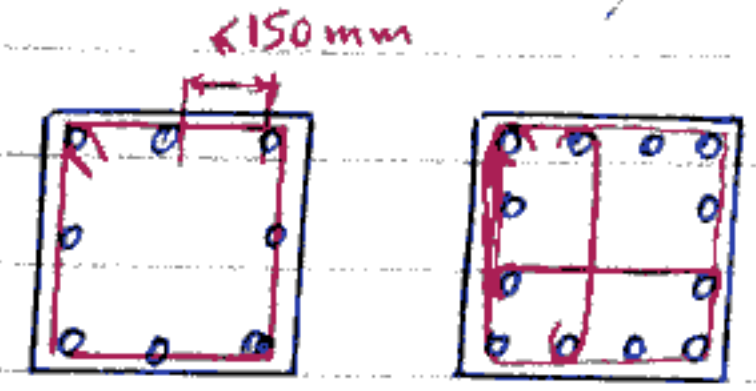
www.hoseinzadeh.info

i) همهٔ میلگردهای طولی واقع در گوشه‌ها، در گوشه خاموت واقع شوند.

ii) سایر میلگردهای طولی حداقل هر یک میل در گوشه تو آرماتور عرضی قرار گیرند.

iii) فاصلهٔ آزاد میلگرد طولی غیر واقع در گوشه تو آرماتور عرضی از میلگرد طولی مجاور حداکثر 150 mm باشد.

iv) زاویهٔ داخلی خاموت از 135° بیشتر شود.

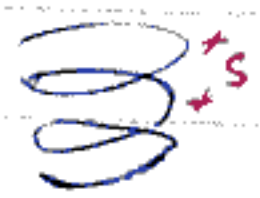


ج- میلگردهای عرضی به صورت دورپیچ Spiral

۱- قطر min = 10 mm

۲- گام (Pitch) S

$25^{mm} \leq S \leq 75^{mm}$



۳- از نظر مقدار میلگردهای دورپیچ ρ_{sp}

$$\rho_{sp} = \frac{\text{حجم میلگردهای دورپیچ}}{\text{حجم هسته}} \geq 0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$$

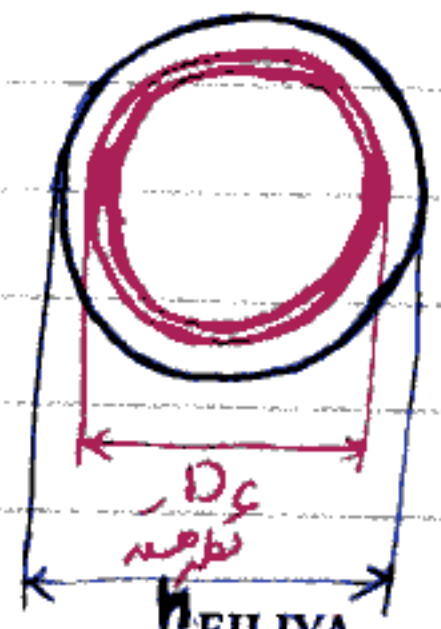
f_{yt}: تنش تسلیم میلگردهای عرضی

A_g: سطح مقطع ناخالص بتن

A_{ch}: سطح مقطع هسته

$\frac{\pi h^2}{4}$ سطح مقطع دایره به قطر h

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



$$\rho_{cp} = \frac{\pi D_c \times A_{sp}}{\frac{\pi D_c^2}{4} \times S} = \frac{4A_{sp}}{D_c S} \geq \rho_{s,min}$$

www.hoseinzadeh.info

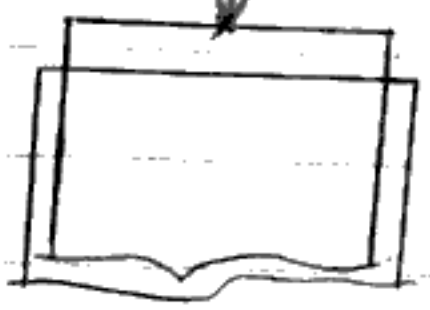
$$\left(\frac{A_{sp}}{s}\right)_{req} = \frac{D_c}{4} \times 0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

محاسبات اعضای فشاری

الف - اعضای فشاری تحت بارمحوری خالص

* بارمحوری خالص باری است که بر مرکز پلاستیک مقطع اثر کند.

مرکز پلاستیک: نقطه‌ای که اگر بارمحوری بر آن نقطه وارد شود تغییر شکل نسبی کرنش نهایی مقطع، در لحظه استهلاک نهایی مقطع، همه اجزاء مقطع به طور همزمان به کرنش استهلاک $\varepsilon_{cu} = 0.003$ برسد.



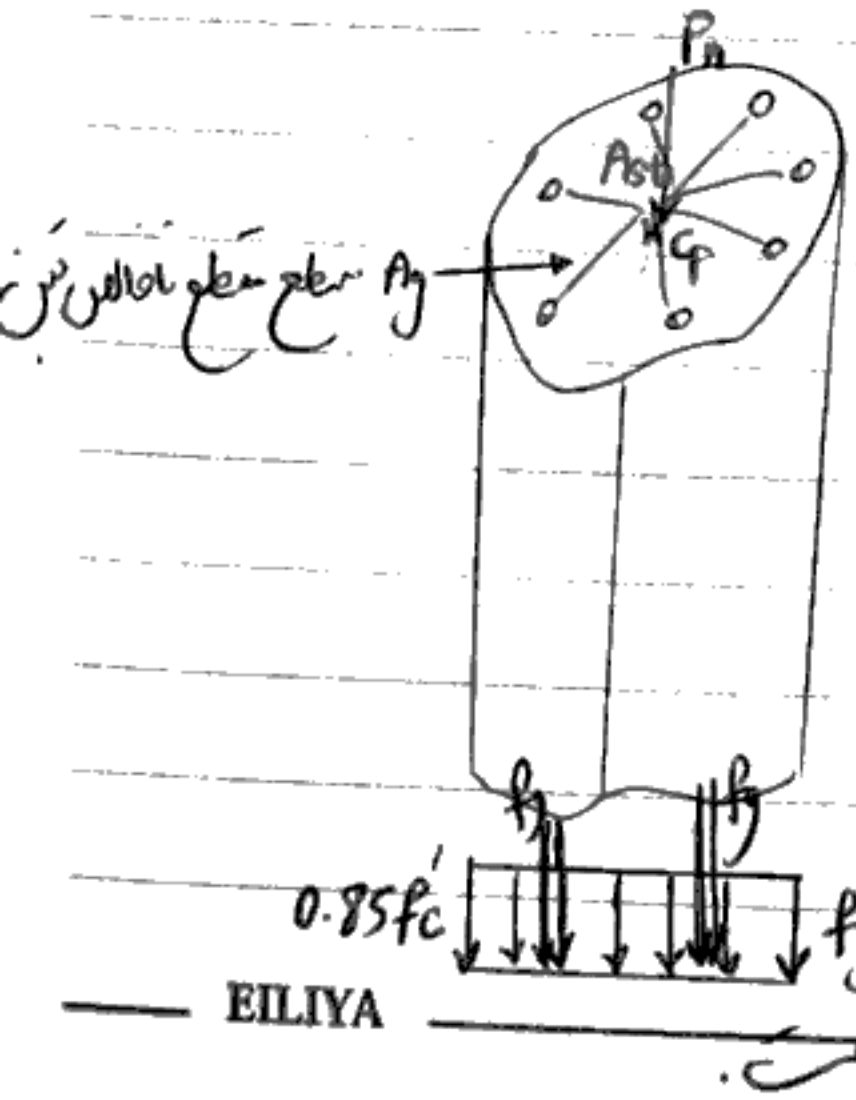
بارمحوری باید در نقطه استهلاک نهایی محوری عمل کند.

تعیین مرکز پلاستیک مقطع به سادگی ← با معادلات تعادل

اگر در یک مقطع تقارن کامل از نظر بتن و میلگردها برقرار باشد، مرکز پلاستیک و مرکز سطح بر هم منطبق خواهند بود:

$C_p = C_A$

* اعضای فشاری با بارمحوری خالص



ظرفیت باربری اسمی مقطع

$$P_{no} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

P_o معادل

نکته: رعایت حداقل خروج از مرکزیت الزامی است.

$e_{min} \simeq 30 - 40\ mm$

به دلیل رعایت حداقل خروج از مرکزیت

حدود $0.85 P_o$ ، $P_{n,max} = 0.8 P_o$ بستن باطو

تسلیم فولاد f_y

www.hoseinzadeh.info

کنترل $P_u \leq \Phi P_{n,max}$

بارمحوری خالص

Φ : ضریب کاهش مقاومت

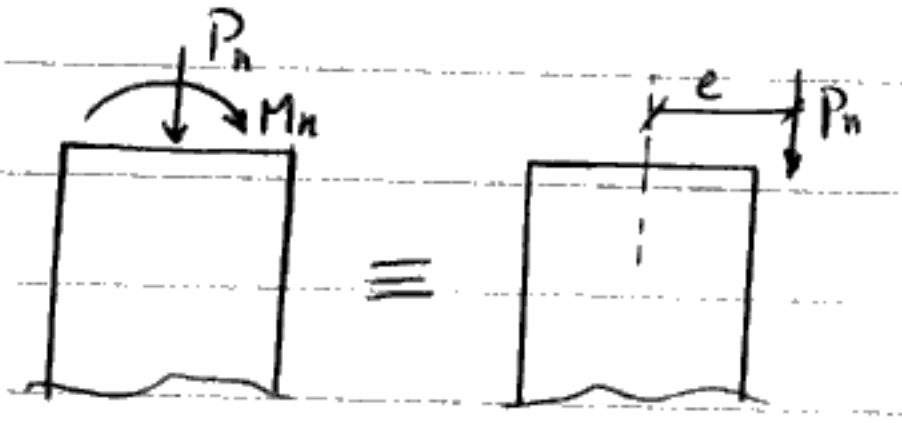
تحت بارمحوری خالص قطعاً مقطع CC در نتیجه

خاموت $\Phi = 0.65$

دورپیچ $\Phi = 0.7$ → از سال 2008 $\Phi = 0.75$

ستون با خاموت $P_u = 0.65 \times 0.8 \times P_0 = 0.52 P_0$

ب- ستون با بارمحوری + لنگر خمشی



$P_n \times e = M_n$

$e = \frac{M_n}{P_n}$

* منحنی رفتاری ستون تحت بارمحوری و لنگر خمشی

منحنی اندرکنش Interaction curve

شکست کششی ستون

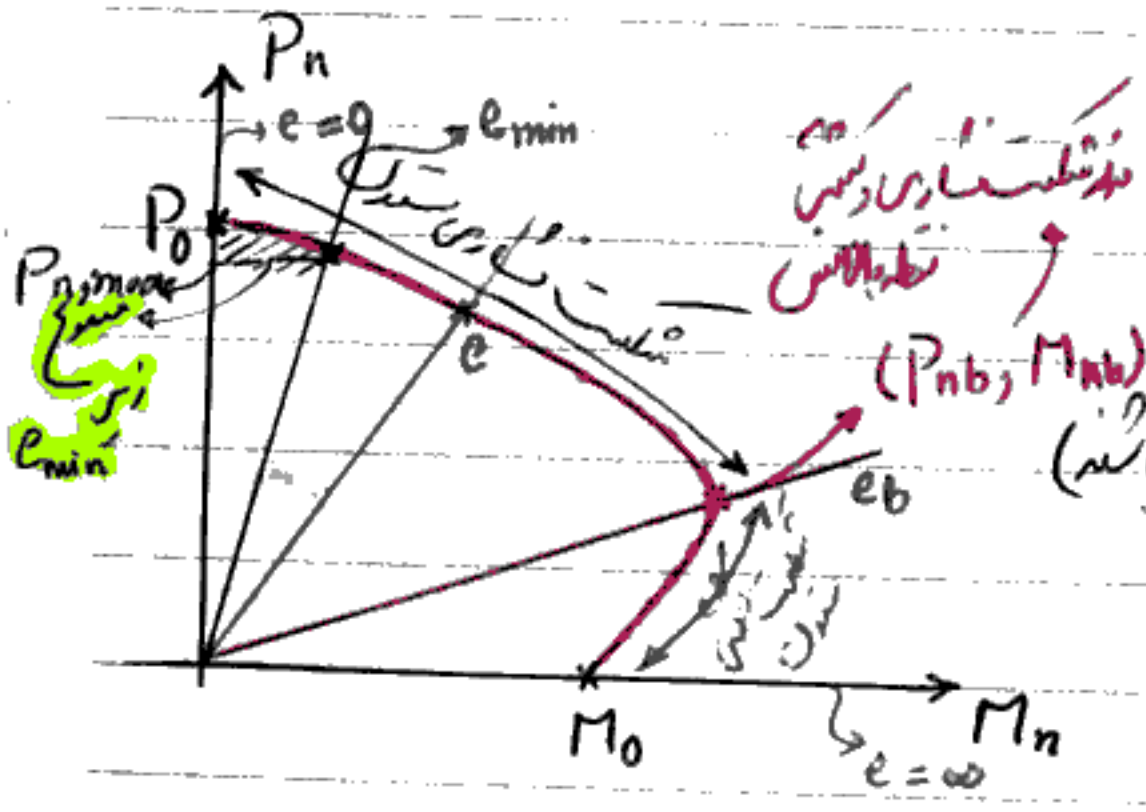
(از مقاطعی که یک وجه ستون در کشش به تسلیم رسیده باشد)

شکست فشاری ستون

(یا مقاطعی که اصلا به کشش نیافتاده یا اگر بیافتاده تسلیم نشده)

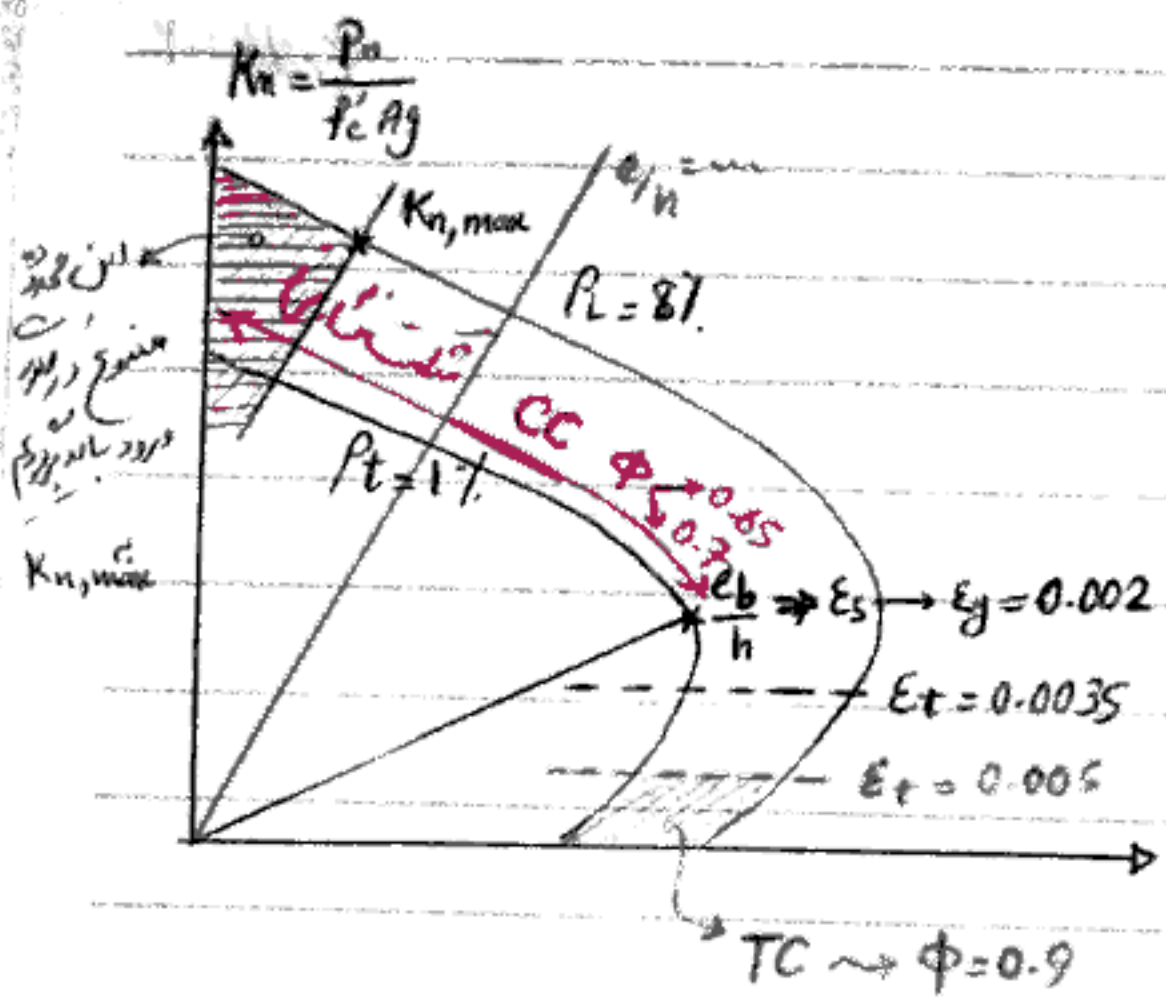
هر خط که از مبدا مختصات منحنی را قطع کند

Tan θ = e



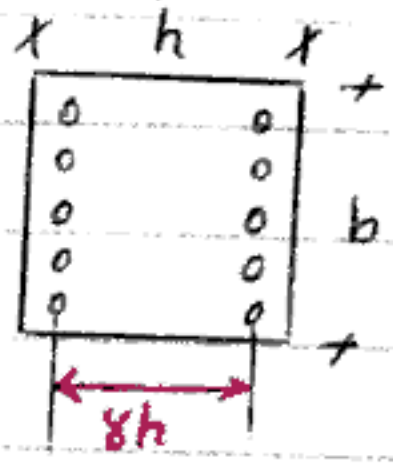
www.hoseinzadeh.info

منحنی‌های طراحی ستون با محوری بدون لنگر



محور قائم نامی‌لز P_n بدون لنگر

محور افقی نامی‌لز M_n بدون نیرو



$\gamma = \frac{d-d'}{h}$

برای تعیین Φ آئین‌نامه

۱- اگر از جهت شکست فشاری واقع شدیم $\Phi = 0.65 - 0.7$

۲- اگر در جهت شکست کششی $\varepsilon_t > 0.005 \leftarrow \Phi = 0.9$

۳- اگر در جهت شکست کششی $0.002 < \varepsilon_t < 0.005$

با دانستن حدی ε_t خوانده شده و از فرمول

$\Phi = 0.483 + 83.3\,\varepsilon_t \rightsquigarrow$ خاموت

$\Phi = 0.567 + 66.7\,\varepsilon_t \rightsquigarrow$ دورپیچ

استفاده از نرم‌افزار ستون‌ها

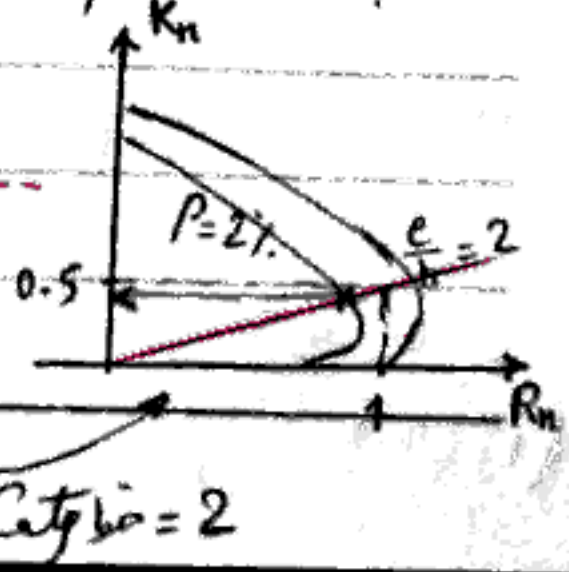
۱- برای آنالیز

ابعاد ستون معلوم، فولادگذاری معلوم ← باربری ستون در یک خروج از مرکزیت مشخص مجهول

$e = 300\ mm \rightarrow P_n = ?$

$f'_c = \cdots$; $P_t = \frac{A_{st}}{bh} = \cdots$; $\gamma = \frac{d-d'}{h} = \cdots$; $\frac{e}{h} = \cdots$

$K_n = \frac{P_n}{f'_c A_g} \rightarrow P_n = \cdots$ از روابط $\Phi = \cdots$ تعیین $\rightsquigarrow P_u = \Phi P_n$



$\frac{e}{h} = 2$ حدود $\rightarrow$ Catalog خط = 2

www.hoseinzadeh.info

۲- طراحی

- بار محوری و لنگر خمشی نهایی معلوم
- فولادگذاری و ابعاد مجهول

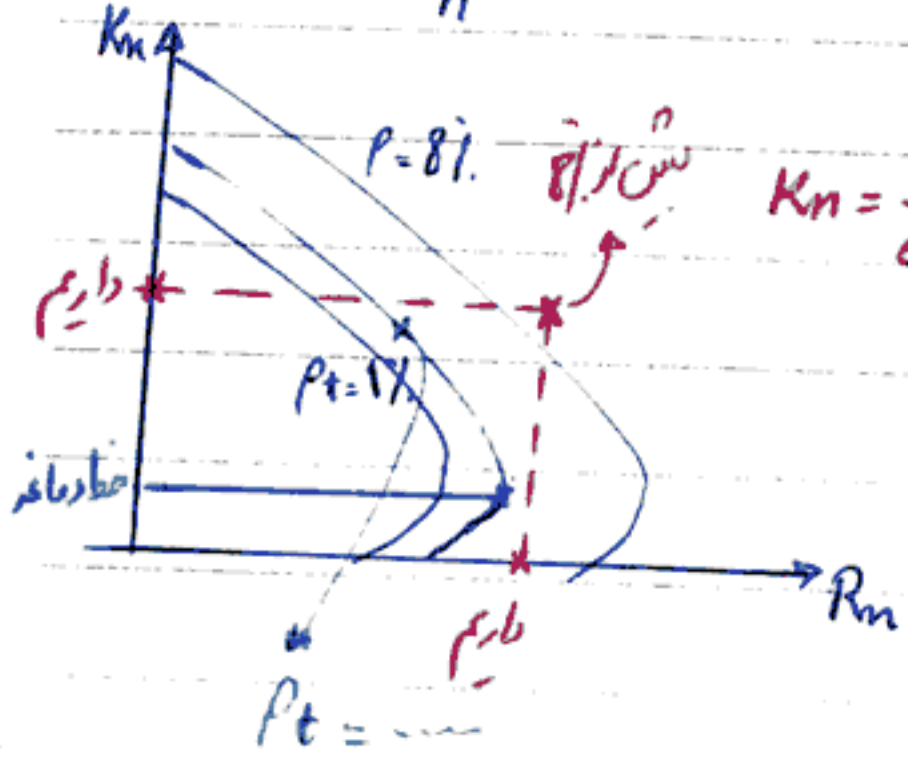
P_u = ... معلوم M_u = ... معلوم

b, h, A_{st} = مجهول

ابتدا b و h باید حدس زده شود

Try $b = 400\,mm$, $h = 600\,mm$

$\gamma = \frac{d-d'}{h}$, f'_c = ... , f_y = ... → برای شیب‌ها می‌شود



$K_n = \frac{P_u}{\phi f'_c A_g}$, $R_n = \frac{M_u}{\phi f'_c A_g h}$

برای حدس ϕ (کمک آبدا $\frac{e}{h}$ رسم می‌شود) اگر بالای حداقل بود $\phi = 0.65$

شروع می‌شود معمولاً $\phi = 0.65$

نمودار از 1٪ شکل دارد در بعضی رجحان بعدی ابعاد نزدیک‌تر انتخاب می‌شود.

فرض ϕ در بیشتر → اگر در منطقه فشاری

K_n , R_n محاسبه می‌شود ، ϕ را محاسبه کرده → اگر در منطقه کشش

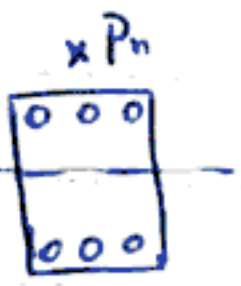
دوباره تکرار می‌کنیم

منحنی CC و TC حداقل است اگر بالای خط $\phi = 0.65$ را اگر زیر خط حداقل باشد از نمودارهای مجهول استفاده کنید

ϕ به سمت آبی

پیوست ۱ کتاب جلدادل

۱- برای ستونهای مستطیلی با فولادگذاری در ۲ وجه مطابق محور خمش



شکل پ ۱-۱

شکل پ ۱-۱۶

۲- برای ستونهای مستطیلی با فولادگذاری در ۴ وجه متقارن شکل پ ۱-۱۷ تا پ ۱-۲۳

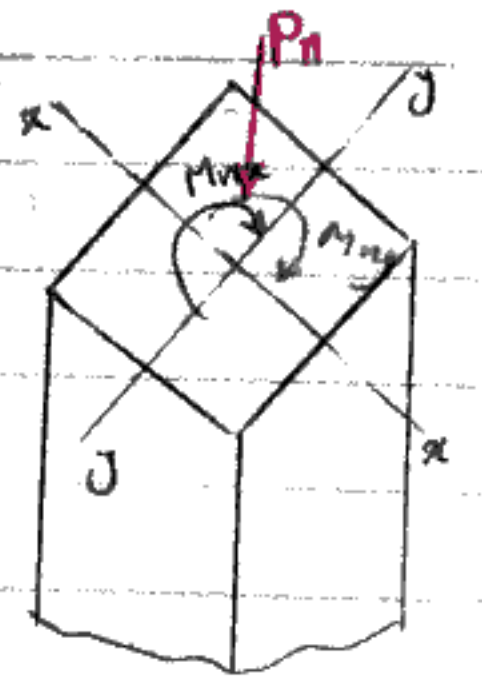
۳- برای ستونهای دایره‌ای شکل پ ۱-۳۳ تا پ ۱-۴۸

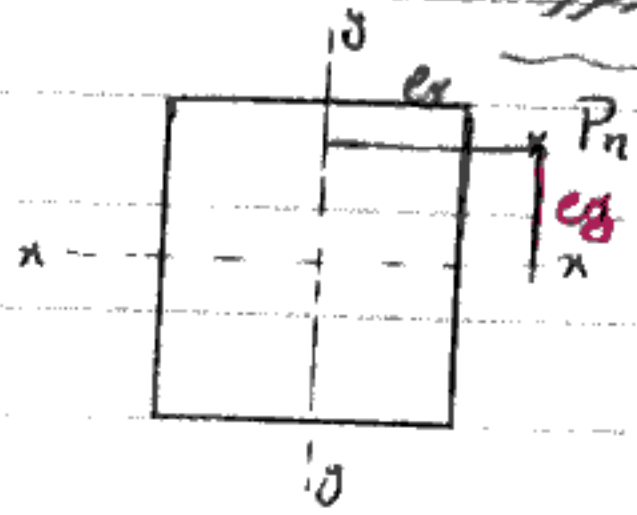
۴- برای ستونهای مربعی با فولادگذاری دایره‌ای شکل پ ۱-۴۹ تا پ ۱-۶۴

(پیوست ۲ کتاب بوسان آبا)

www.hoseinzadeh.info

بررسی ستون با مقطع خاص دو محوره





$$P_n \times e_x = M_{ny} \rightarrow e_x = \frac{M_{ny}}{P_n}$$

$$P_n \times e_y = M_{nx} \rightarrow e_y = \frac{M_{nx}}{P_n}$$

۱- روش مقطع برای بار ← آنالیز

۲- روش منحنی های هم بار ← طراحی

۳- روش برگشت معادل ← آنالیز و طراحی

روش اول

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o}$$

P_n: بار محوری تحت خروج از مرکزیت e_x و e_y

P_{nx} { $e_x = 0$; $e_y =$ --- } بار محوری در حالت

P_{ny} { $e_x =$ --- ; $e_y = 0$ } بار محوری در حالت

روش سوم ← روش ساده طراحی - [redacted]

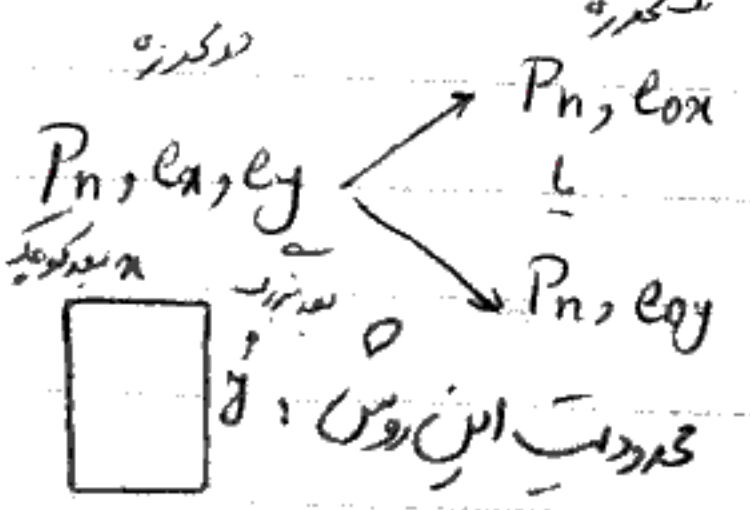
صفحه 526 آیین نامه

$0.5 \leq \frac{x}{y} \leq 2$

اگر $\frac{e_x}{x} \geq \frac{e_y}{y} \rightarrow e_{ox} = e_x + \alpha e_y \frac{x}{y}$

اگر $\frac{e_x}{x} < \frac{e_y}{y} \rightarrow e_{oy} = e_y + \alpha e_x \frac{y}{x}$

EILIYA



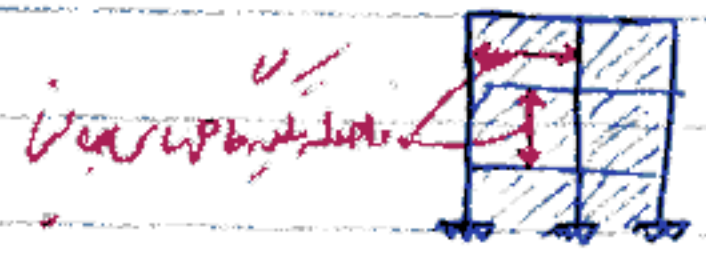
اگر $\frac{P_u}{f'_c A_g} \leq 0.4 \rightarrow \alpha = (0.5 + \frac{P_u}{f'_c A_g}) \frac{f_y + 250}{700} \rightarrow 0.6$

اگر $\frac{P_u}{f'_c A_g} > 0.4 \rightarrow \alpha = (1.3 - \frac{P_u}{f'_c A_g}) \frac{f_y + 250}{700} \rightarrow 0.5$

www.hoseinzadeh.info

دیوارهای تن آرمه فصل ۱۸ آبا

انواع دیوارهای تن آرمه



۱- دیوارهای محیطی متصل به تاب Panel wall

۲- دیوارهای محیطی جدا شده از تیرها Curtain wall

در این حالت تنها است ولی بار دیوارها به تاب متصل شده و تاب فقط تکیه گاه جانبی محسوب می شود.

۳- دیوارهای جداکننده یا تیغه ها Partition wall

۴- دیوارهای حائل ← Retaining wall ← در مقابل بار جانبی خاک قرار گرفته اند.

۵- دیوارهای زیرزمین ← Basement wall ← اگر دیوار حائل در تاب قرار گرفته باشد بنام دیوار زیرزمین خوانده می شود.

۶- دیوار برشی ← دیوارهای قدرتمندی که هم تغییر مکان حاصل از زلزله و هم نیروی ناشی از زلزله را تحمل می کنند.

* دیوارهای تن آرمه
  - دیوارهای باربر ← اگر بار ثقلی نیز به دیوار منتقل شود. (بجز وزن دیوار)
  - دیوارهای غیرباربر ← به جز حالت فوق

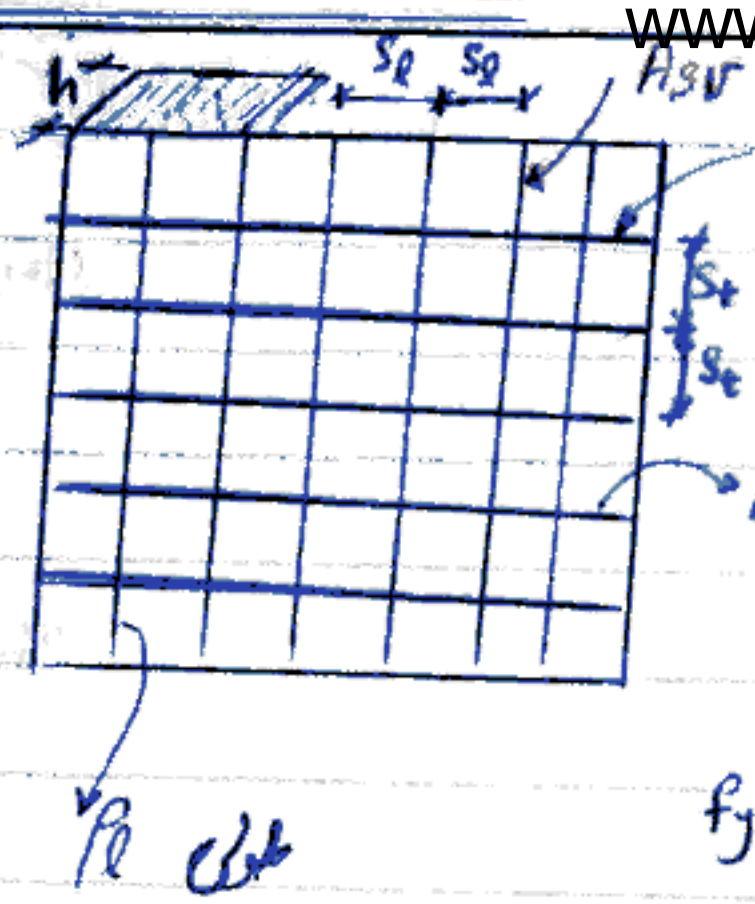
ضوابط عمومی دیوارهای تن آرمه (همه دیوارها اعم از باربر و غیرباربر)

۱- ضخامت دیوار ← حداقل برابر با $\frac{1}{30}$ کمترین فاصله تکیه گاههای جانبی دیوار و حداقل برابر با 100 mm

قلم دوم در دیوارهای تن پیش ساخته که حداقل ضخامت آن تا 50 mm قابل کاهش می باشد

تکیه گاههای جانبی تیرها و ستونها هستند $\frac{1}{30}$ ی متوسط فاصله آنها

www.hoseinzadeh.info



۲- در مورد حداقل آرماتورهای طولی و عرضی دیوار

الف- حداقل نسبت میلگردهای طولی (میلگردهای قائم) به سطح مقطع ناخالص بتن عمود بر میلگردها، ρ_l به صورت زیر است.

- برای میلگردهای آجدار با قطر حداکثر ۱۶ میلیمتر و با $f_y \geq 420\ MPa$

$$\rho_{l,min} = 0.0012$$

- برای سایر میلگردهای آجدار

$$\rho_{l,min} = 0.0015$$

- برای میلگردهای ساده یا آجدار به صورت شبکه سیمی جوش شده و با قطر حداکثر ۱۶ میلیمتر

$$\rho_{l,min} = 0.0012$$

ب- حداقل نسبت میلگردهای عرضی (میلگردهای افقی) به سطح مقطع ناخالص بتن عمود بر میلگردها ρ_t به صورت زیر است.

- برای میلگردهای آجدار با قطر حداکثر ۱۶ میلیمتر و $f_y \geq 420\ MPa$

$$\rho_{t,min} = 0.002$$

- برای سایر میلگردهای آجدار

$$\rho_{t,min} = 0.0025$$

- برای میلگردهای ساده یا آجدار به صورت شبکه جوش شده و با قطر حداکثر ۱۶ میلیمتر

$$\rho_{t,min} = 0.002$$

$$\rho_l = \frac{A_{SV}}{S_l \cdot h} \geq \rho_{l,min} \qquad \rho_t = \frac{A_{SH}}{S_t \cdot h} \geq \rho_{t,min}$$

EILIYA

A_{SV} مجموع سطح مقطع میلگردهای S_l یا S_t است و در دو لایه میلگرد داشتیم جمع سطح مقطع هر ۲ برابر A_{SH} ، A_{SV}

www.hoseinzadeh.info

۳- حداکثر فاصلهٔ میلگردها

الف - در مورد میلگردهای قائم دیوار (میلگردهای طولی)

$$S_{max} = \min \left\{ 3h \, , \, 450\,mm \right\}$$

ب - در مورد میلگردهای افقی دیوار (میلگردهای عرضی)

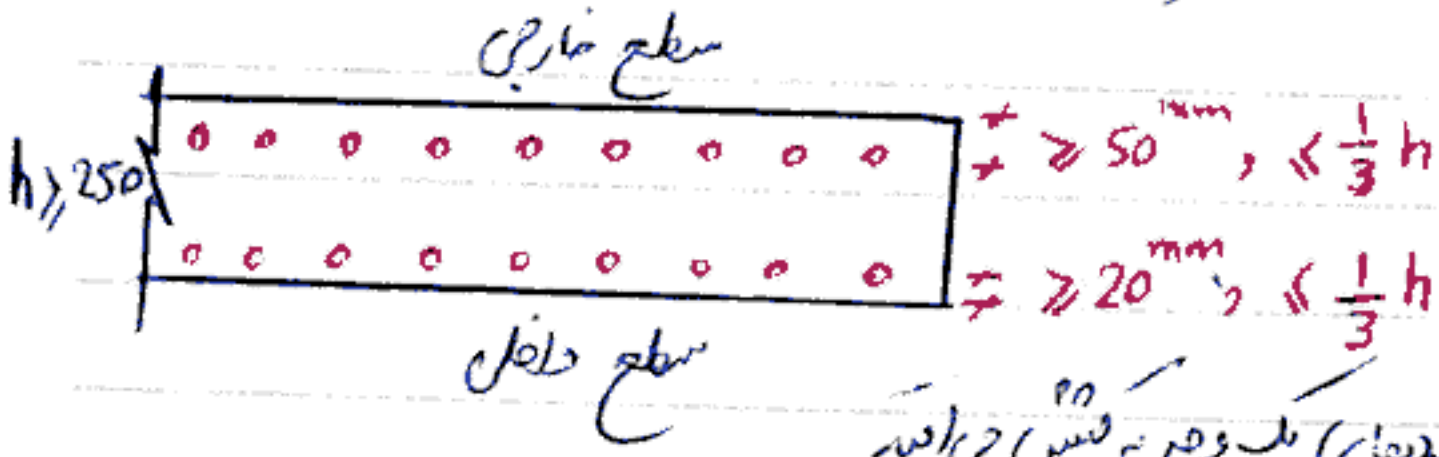
$$S_{max} = \min \left\{ 3h \, , \, 450\,mm \right\}$$

۴- در دیوارهای با مقاومت حداقل 250^{mm} (غیر دیوارهای نوع برشی)

لازم است میلگردهای دیوار در ۲ لایه موازی سطح دیوار به صورت زیر توزیع شود.

الف- یک لایه شامل حداقل $\frac{1}{2}$ و حداکثر $\frac{2}{3}$ کل فولادهای لازم برای هر جهت که در فاصلهٔ حداقل ۵۰ میلیمتر و حداکثر برابر با $\frac{1}{3}$ ضخامت دیوار ← این لایه در سطح خارجی دیوار قرار می‌گیرد.

ب - باقیمانده میلگردها در فاصلهٔ حداقل ۲۰ میلیمتر و حداکثر $\frac{1}{3}$ ضخامت دیوار در سطح داخلی دیوار قرار می‌گیرد.



اگر در کف شب دیوار باشد میلگردهای یک وجه به فنس می‌افتد

و می‌توان میلگردهای سطح خارجی را تا $\frac{2}{3}$ میلگردها از آن کم داد.

۵- اگر سطح میلگردهای قائم از 0.01 سطح مقطع ناخالص بتن بیشتر نباشد ($\rho_l < 0.01$) و یا اگر میلگردهای قائم به عنوان میلگردهای نگهداری محاسبه نباشد، لازم نیست میلگردهای قائم توسط خاموتهای جانبی احاطه شوند.

www.hoseinzadeh.info

۶- حداقل پوشش بتن روی میلگردها در دیوار برشی

الف- برای بتن در تماس با خاک یا در مجاورت هوای آزاد

min Cover 20mm ← Φ36 برای میلگردهای حداکثر

min Cover 40mm ← Φ36 برای میلگردهای بزرگتر و

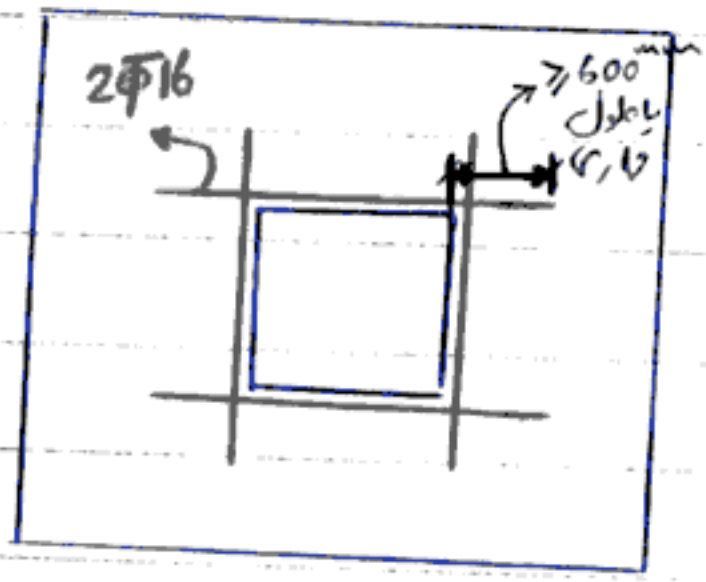
ب- برای بتنی که در تماس با خاک یا در مجاورت هوای آزاد نباشد.

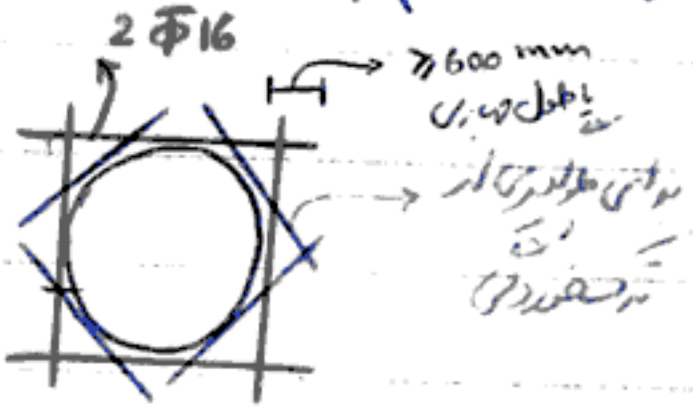
min Cover 15mm ← Φ36 برای میلگردهای حداکثر

min Cover 30mm ← Φ36 برای میلگردهای بزرگتر

۷- اگر در دیوار برشی بازشو (opening) داشته باشیم

در این حالت لازم است حداقل ۲ عدد میلگرد Φ16 در هر چهار طرف بازشو اضافه شده و باطول مهاری لازم (ولی نه کمتر از 600mm) مهار شود.





* صفحه 650 تا 652 کتاب

طراحی دیوارهای باربر تحت فشار

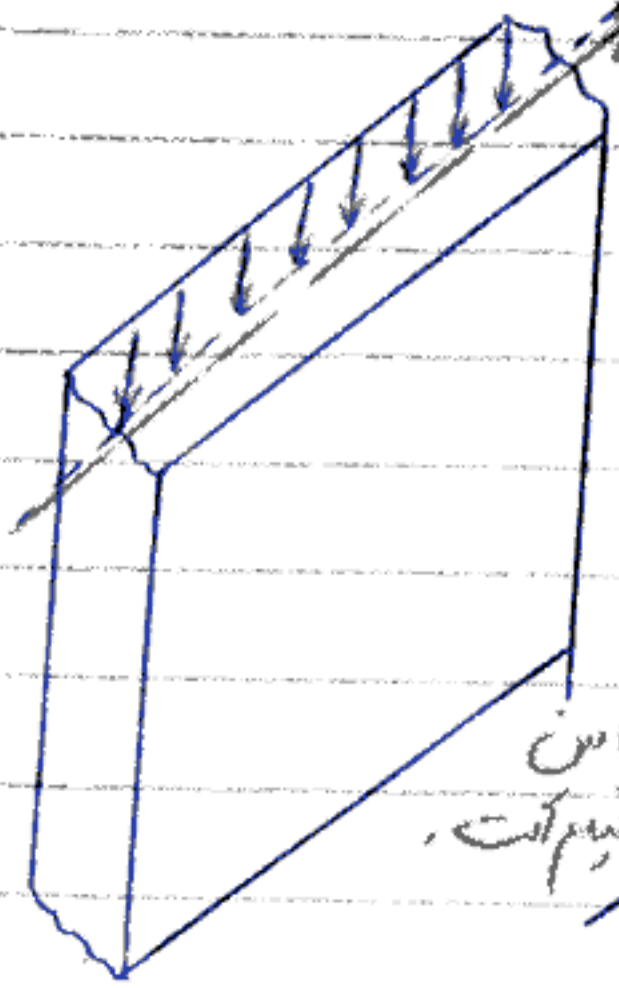
الف- روش تجربی

ب- مشابه ستونها و با در نظر گرفتن لاغری ازکتاب خوانده شود همراه با مثال

ج- روش UBC

www.hoseinzadeh.info

روش تجربی ← نگهداشته می شود فقط برای طراحی دیوارهای قائل استفاده است که خروج از مرکزیت بار کم بوده و $e = \frac{h}{6}$ باشد.



مقاومت باربری طراحی دیوار $\phi P_n = 0.55 \phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{K l_u}{32h}\right)^2\right]$

$P_u \leq \phi P_n$ ← قطعا ایمنی است دیوار ناامن می شود و مطلوب ما نیز همین است.

باربری با ضریب دیوار

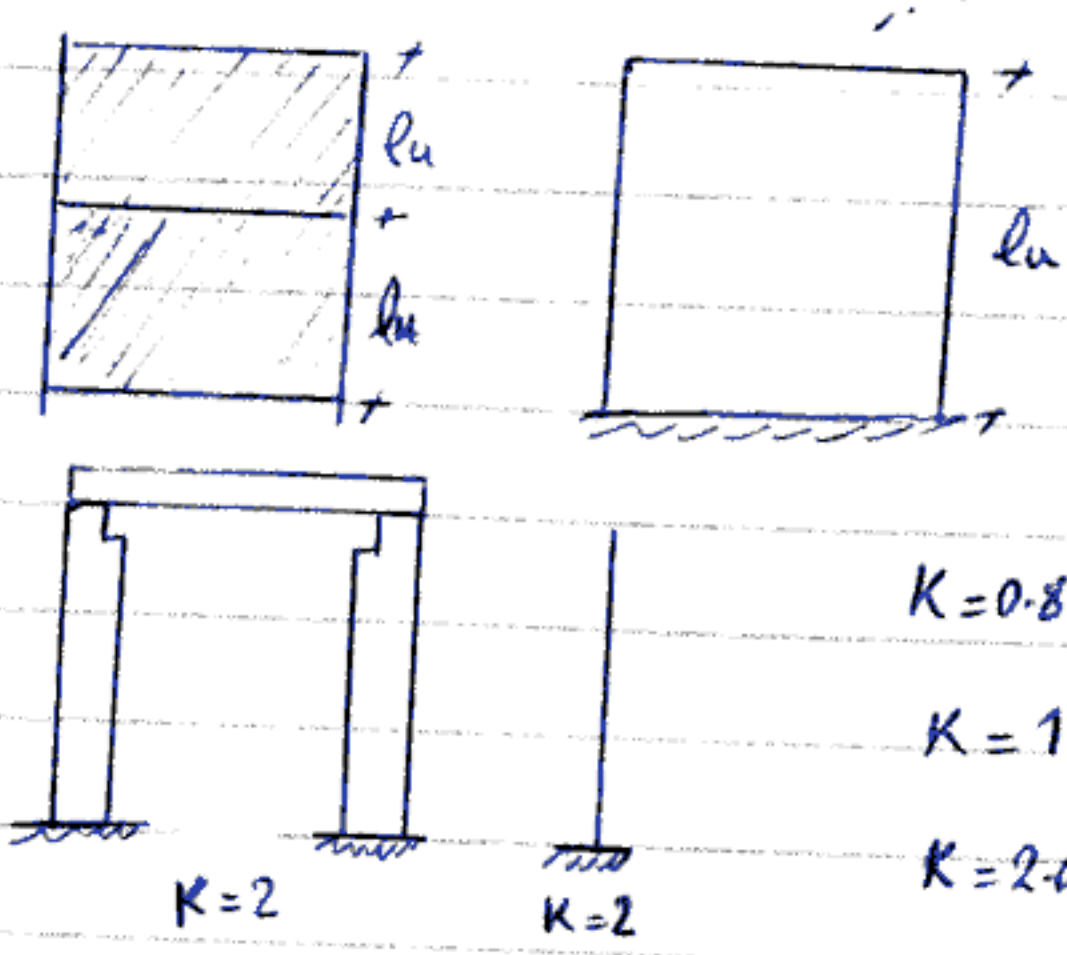
ϕ: ضریب کاهش مقاومت

$\phi = 0.65$

جدار دیوار تحت فشار کنترل می شود.

(CC)

A_g: سطح مقطع ناخالص دیوار l_u: فاصله قائم بین تکیه گاههای دیوار (الزاما باید ارتفاع دیوار است)



K: ضریب طول موثر دیوار

الف- براساس نحوه اتصال دیوار در بالا و پائین در مقابل انتقال جانبی مهار شده باشد درصورتیکه

- چرخش دیوار در یک طرف یا هر دو طرف مقید باشد $K = 0.8$
- چرخش دیوار در هیچ انتها مقید نباشد $K = 1.0$
- انتهای دیوار در مقابل انتقال جانبی مهار شده باشد $K = 2.0$

نکته: آلزام روش تجربی در طراحی دیوار استفاده شود.

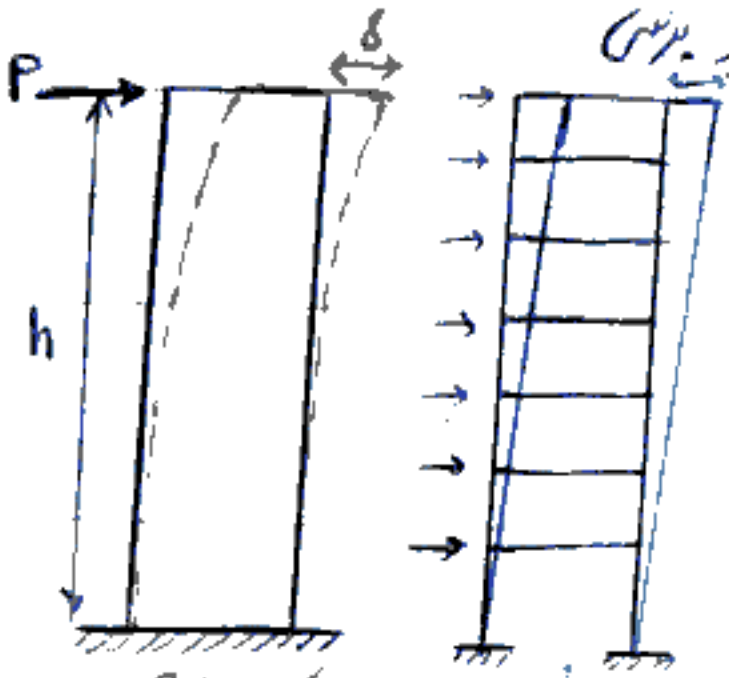
$$h \geq \min\left\{\frac{1}{25}(\text{طول دیوار}),\ \frac{1}{25}(\text{ارتفاع مقید دیوار})\right\} \geq 100\,mm$$

مثال ۱۸-۱ کتاب

www.hoseinzadeh.info

دیوارهای برشی بتن آرمه

عناصر مقاوم در مقابل بارجانبی:
1- دیوارهای برشی ← عملکرد خمشی
2- قاب خمشی ← عملکرد برشی
3- سیستم‌های مهاربندی



در طبقات پائین ساختمان تغییرشکل برشی بیشتر از خمشی است
و در طبقات بالا تغییرشکل خمشی بیشتر از برشی است.

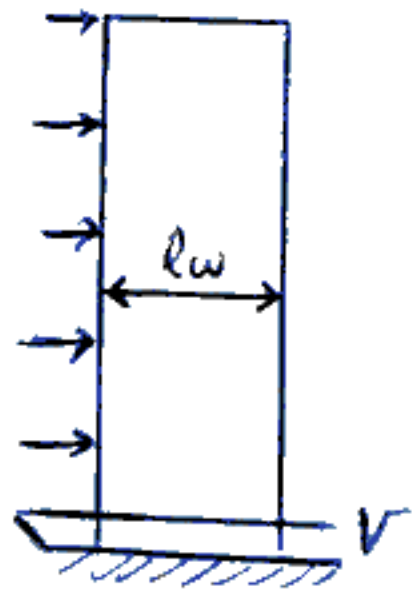
دیوار برشی ← بدنه‌ای قابل توجهی از بعد دهانه‌ای داخل دیوار
می‌باشد و این علت ناشکلداری آن است.

$\delta = \frac{Ph^3}{3EI}$ ← تغییرشکل بالای ساختمان با توان ۳ نسبت به ازدیاد h زیاد می‌شود

* عملکرد مرکب قاب دیوار برشی Frame and Shearwall Interaction

* در طبقات پائین قاب دیوار برشی را حمل می‌دهد و اجازه تغییرشکل زیادی نمی‌دهد و در طبقات بالا عکس این
* در طبقات پائین دیوار برشی حرکت جانبی قاب را محدود می‌کند و در طبقات بالا قاب حرکت دیوار برشی را محدود می‌کند

طراحی دیوارهای برشی



F_i : نیروی برشی در تراز نام

$V = \sum F_i$ در پایه

الف - در مقابل برش ✓

ب - در مقابل خمش (دیاگرامی) ✓

طراحی دیوار برشی در مقابل برش مشابه طراحی تیرهاست با تفاوت اندک

$V_n = V_c + V_s$ → ظرفیت برشی فولادهای عرضی دیوار
↳ ظرفیت برشی بتن دیوار

ظرفیت برشی اسمی دیوار

www.hoseinzadeh.info

$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b_w d$ در تیرها

$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, h d$ در دیوارها

* تعیین V_c

1- روش ساده =

$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, h d$

الف- اگر دیوار تحت برش و نیروی فشاری باشد.

ب- اگر دیوار تحت برش و نیروی کششی (N_u) باشد. ←

$V_c = \left(1 + \frac{0.3 N_u}{A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} h d$

N_u : در کمترین حالت منظور می‌شود.

d : $d \simeq 0.8 l_w$ l_w : عبارت است از طول دیوار

* تعیین V_c

1- روش ساده =

الف- اگر دیوار تحت برش و نیروی فشاری باشد.

ب- اگر دیوار تحت برش و نیروی کششی (N_u) باشد.

N_u : در کمترین حالت منظور می‌شود.

d : $d \simeq 0.8 l_w$ l_w : عبارت است از طول دیوار

علت آنکه با تحلیل دقیق‌تر مقدار d تعیین شود.

۲- روش دقیق‌تر مقدار V_c برابر با مقدار کوچکتر از ۲ رابطه زیر در نظر گرفته می‌شود.

1) $V_c = \frac{1}{4}\sqrt{f'_c}\, h d + \frac{N_u d}{4 l_w}$

N_u : در کمترین حالت منظور می‌شود.

2) $V_c = \frac{h d}{10}\left[\frac{1}{2}\sqrt{f'_c} + \frac{l_w\sqrt{f'_c} + 2\frac{N_u}{l_w h}}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}}\right]$

* اگر مخرج کسر فوق صفر یا منفی شود از این رابطه استفاده نمی‌شود. و از رابطه (1) استفاده شود.

M_u : لنگر خمشی با ضریب و V_u : نیروی برشی با ضریب در مقطع مورد مطالعه

www.hoseinzadeh.info

$V_n = V_c + V_s$ — $V_u \leq \phi V_n$

* تعیین V_s

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad , \quad V_s = \frac{A_v f_{yd} d}{s}$$

$$\left(\frac{Av}{s}\right)_{req} = \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yd}}$$

سطح مقطع آرماتور مورد نیاز برای طرح فولادهای عرضی (برشی)

* طراحی فولادهای برشی افقی (عرضی)

نکات ۱) اگر $V_u \leq \phi V_c$ باشد به صورت محاسباتی نیاز به فولاد برشی ندارد.

۲) کنترل حداکثر فولادهای برشی $V_u \leq \frac{5}{6}\phi \sqrt{f'_c}\, hd$

در دیوارها $V_s \leq 4V_c$

$V_n \leq 5V_c$

$V_u \leq 5\phi V_c$

نکات آئین نامه‌ای فولادگذاری برشی در دیوارهای برشی

۱- حداقل فولادهای برشی افقی

$$P_{t,min} = 0.0025$$

$$\left(\frac{Av}{s}\right)_{min} = 0.0025h$$

۲- فاصلهٔ حداکثر فولادهای برشی افقی

$$S_{max} = \min\left\{3h\ ,\ \frac{1}{5}l_w\ ,\ 500^{mm}\right\}$$

۳- فولادهای برشی طولی (قائم) — s = ارتفاع دیوار، l_w = طول دیوار

$$P_l = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(P_t - 0.0025) \geq 0.0025$$

درصد لازم فولادهای برشی قائم از فولادهای برشی افقی بیشتر در نظر گرفته شود. $P_l \geq P_t$

www.hoseinzadeh.info

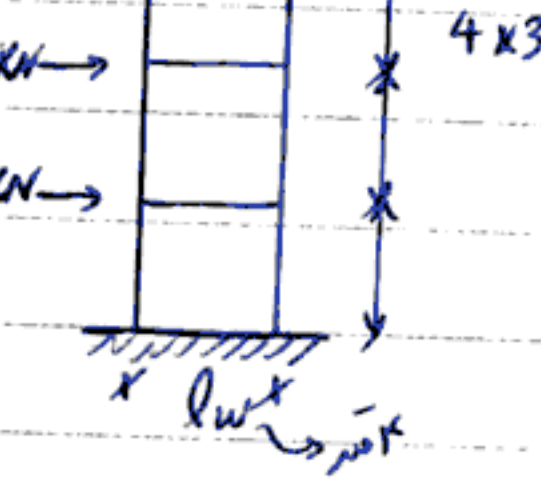
۴- فاصلهٔ حداکثر فولادهای برشی عرضی

$$S_{max} = \min\left(3h\ ,\ \frac{l_w}{3}\ ,\ 500mm\right)$$

۵- اگر $V_u \leq \phi V_c$ باشد و نیاز به فولاد برشی محاسباتی نباشد.

الف- اگر $\frac{1}{2}\phi V_c \geq V_u$ به عنوان حداقل فولاد از ضوابط حداقل دیوارهای برشی استفاده شود.

ب- اگر $\frac{1}{2}\phi V_c > V_u$ می‌توان به عنوان حداقل فولاد از ضوابط عمومی دیوارهای سازه استفاده کرد.



ب- طراحی دیوار برشی در حالت خمشی یا خمشی با فشاری کوری

مشابه ستون‌ها — مشابه تیرها

(i) مشابه ستون‌ها با فولادگذاری در ۲ وجه موازی محور خمش

(ii) مشابه ستون‌ها با فولادگذاری در ۴ وجه مقطع

مثال: هدف: طراحی دیوار برشی

$f'_c = 25\ MPa$

$f_y = 400\ MPa$

فرض کنیم عرض باربر دیوار ۸ متر باشد

$DL = 700 \frac{daN}{m^2}$

$LL = 300 \frac{daN}{m^2}$

$h = 250\ mm$

ضمناً بارگذاری دیوار ناشی از لرزه به صورت $P_u = 5000\ KN$ در بالاترین تراز دیوار

$V_u = 690\ KN$

$M_u = 220 \times 12 + 190 \times 9 + 160 \times 6 + 120 \times 3$

$P_u = (8 \times 4)(1.2 \times 0.7 + 1. \times 0.3) \times 4) = 146\ KN$

$P_u = 5146\ KN$ یا

$1.20 + 1.0L + (1.4E$ یا $1.0E)$

برای کشورهایی که با زلزله

$1.4E$ برای پهنه پرخطر

$1E$ برای کشورهایی که با زلزله

برای تراز مقاومت

www.hoseinzadeh.info

$V_u > \phi V_c$ ⟶ به فواصل بیشتر جا سنجی نیاز طرح

$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b d = 666.7\ kN$ حالت بتن

$$\left(\frac{A_v}{S}\right)_{req} = \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_y d} = \frac{\frac{690\times10^3}{0.75} - 666.7\times10^3}{400\times0.8\times4000} = 0.198$$ آرماتور

$$\rho_t = \frac{0.198}{250} = 0.0008$$

$\rho_t = \rho_{t,min} = 0.0025$ ⟶ $\left(\frac{A_v}{S}\right)_{min} = 0.0025\times250 = 0.625$

Try $\phi 10$ $\quad 2\phi 10 = 157\ mm^2$

$$S_{req} = \frac{157}{0.625} = 251\ mm$$

$S_{max} = \{750, 800, 500\}$ ⟶ $S = 250mm < S_{max}$ O.K.

USE $2\phi 10$ @ $250mm$

طراحی میلگردهای طولی دیوار برشی $\rho_l = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_t - 0.0025)$

$\rho_t = 0.0025 \longrightarrow \rho_l = 0.0025$

USE $2\phi 10$ @ $250\ mm$

طراحی خمشی دیوار:

$M_u = 5670\ kN.m$

$P_u = 5146\ kN$

از میلگرد گذاری متداول در دو وجه ستون استفاده شود.

آئین نامه بند 19-1-ب

$f'_c = 21\ MPa$
$f_y = 420\ MPa$ ⟶
$\gamma = 0.8$

بتن $f'_c = 28\ MPa$

ستون با بار محوری

و میلگردهای خمشی حاصل می‌شود

www.hoseinzadeh.info

دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه
Special Reinforced Concrete shear wall

مقدمه

- بارهای دینامیکی (و به خصوص بارهای زلزله)

شکل پذیری سازه و اجزای سازه ای

انتقال از شکل پذیری سازه

۱- جذب انرژی با رجوع Energy Absorption

۲- قابلیت استهلاک و هدر دادن انرژی Energy Dissipation

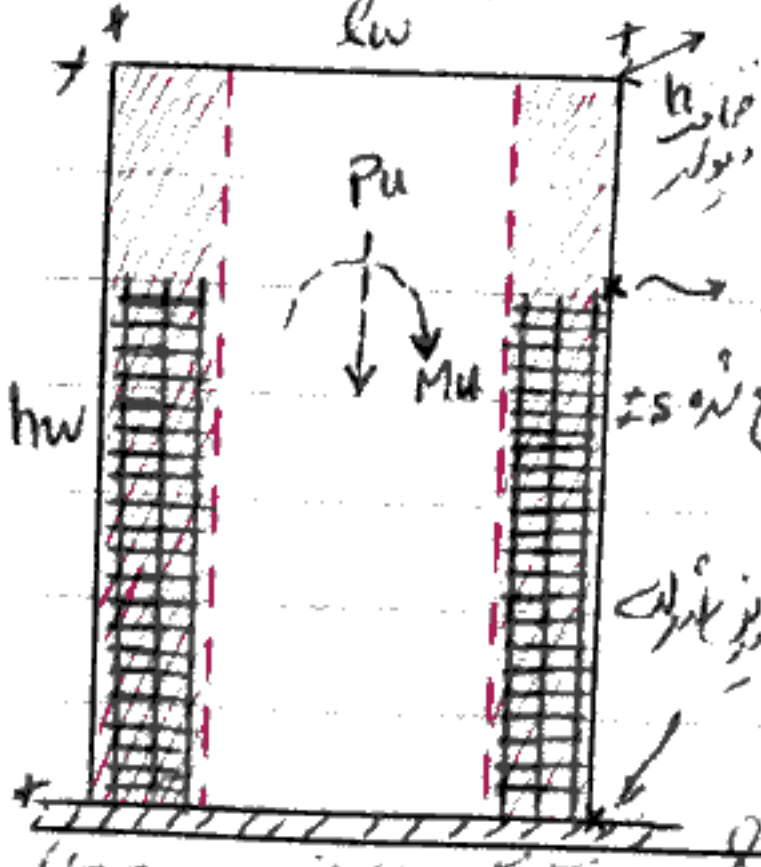
در تکیه ← سازه شکل پذیر شکلستی متفاوت با تغییر شکلهای زیاد و در مدت زمان طولانی است

اصولاً دیوارهای برشی باید در حین زلزله رفتار شکل پذیر (Ductile) از خود نشان بدهند.

دیوارهای بتن آرمه ویژه، با تمهیدات ویژه، شکل پذیر می شوند.

اعضای مرزی دیوار Boundary Elements

جهت شکل پذیر کردن دیوار برشی ویژه لازم است مقاومت فشاری خاصی در اعضای مرزی رعایت شود.



- فشارهای از دو طرف دیوار

- فشارهای از دو طرف کلیه بازشوهای دیوار

۱- ضرورت بکار بردن اجزای مرزی؟

۲- اجزای مرزی در ارتفاع دیوار تا کجا ادامه می یابند؟

۳- اجزای مرزی چه ویژگی هایی از دیوار را باید داشته باشند؟

۴- چه ضوابطی برای اجزای مرزی وجود دارد؟

www.hoseinzadeh.info

۵- در ادامه خرپدفنری چه الزام است ضوابط خاص شکل‌پذیری رعایت شود؟

۶- ولاد گذاری طولی در خرپدفنری از چه ضوابطی تبعیت می‌کند؟

۱-

الف- روش سنتی (روش مبتنی بر کنترل تنش) تا و ACI 318 و مبحث نهم

Stress Based Method

در هر دیواری که تنش حداکثر به $0.2f'_c$ برسد لازم است از خرپدفنری استفاده شود.

خرپدفنری باید در ارتفاع دیوار تا جایی ادامه یابد که تنش فشاری از $0.15f'_c$ کمتر شود.

کنترل تنش متوسط با فرض تیر ولر فرض رفتار الاستیک کامل

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{MC}{I}$$

$$= \frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu}{Ig} \times \frac{lw}{2}$$

$$Ag = lw \times h$$

$$Ig = \frac{1}{12} h \times lw^3$$

به ترک خورده

$$\sigma_c = \frac{Pu}{lw \times h} + \frac{6Mu}{h \times lw^2}$$

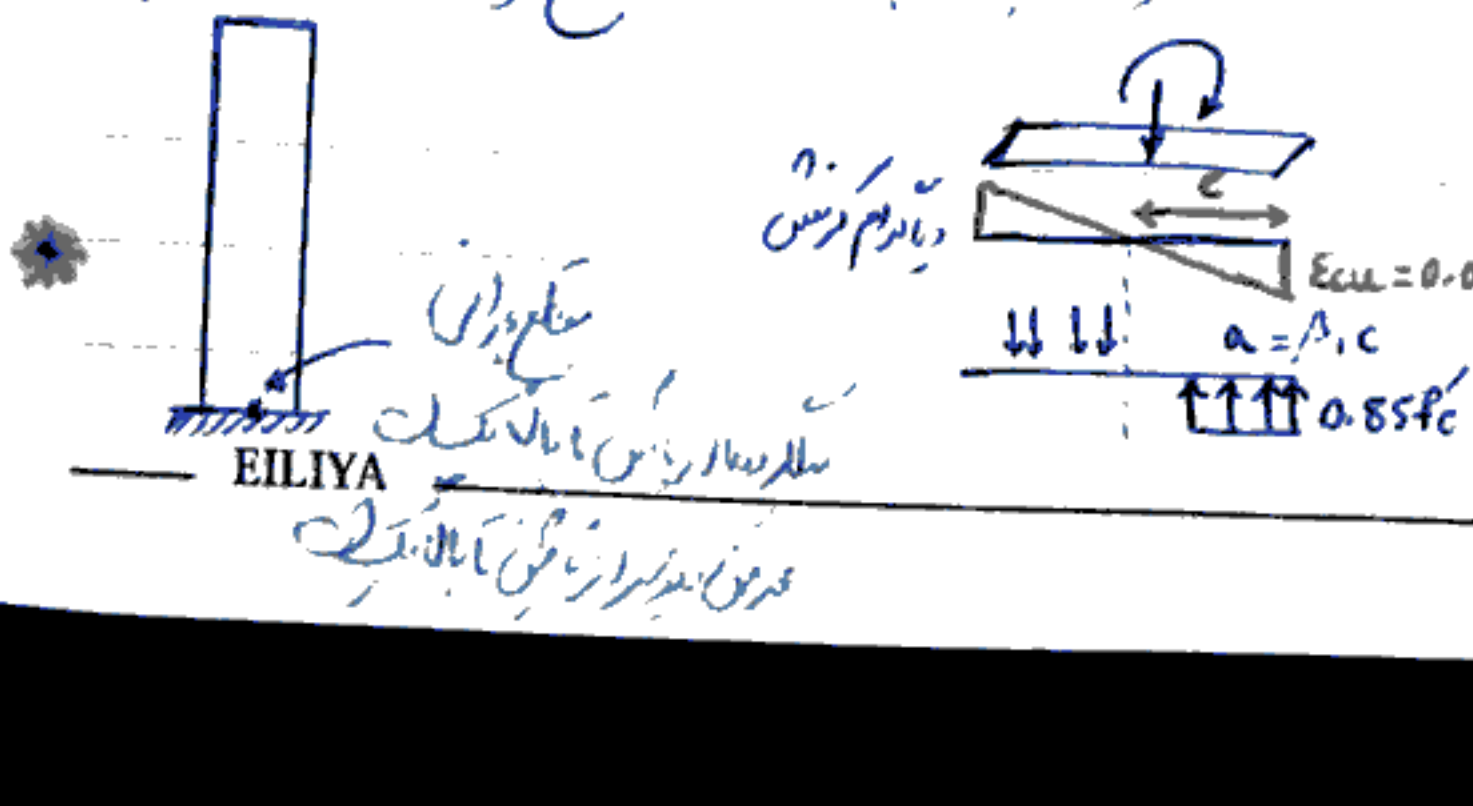
اگر $\sigma_c > 0.2 f'_c$ ← ضروری است که در دیوار خرپدفنری ایجاد شود.

ب- روش جدیدتر (روش مبتنی بر کنترل تغییرمکان) (از سال 2002) Displacement Based Approach

اگر $c \geq \frac{lw}{600(\delta u / hw)}$ → در این صورت استفاده از خرپدفنری در دیوار برشی ضروری

* این روش فقط برای دیوارهایی قابل استفاده است که دیوار برشی بطور مؤثر در ارتفاع طبقات بوده و فقط برای مقطع کنترل طراحی شده باشد.

c: عمق ناحیه فشاری در دیوار برشی (عمق فشاری)



c در Etabs مشخص می‌شود.

www.hoseinzadeh.info

در آنالیز دینامیکی طیفی ← ماتریس جرم

در آنالیز کامپیوتری ← تمام افزاره ها را مشخص می کنند.

* بیشترین مقداری که از نیروی برشی پایه ای در اثر زلزله طراحی مورد می گیرد:

δ_u : تغییر مکان طراحی = تغییر مکان کل در تراز فوقانی دیوار

(≡ تغییر مکان واقعی دیوار در تراز بالایی)

— برای محاسبه تغییر مکان — آنالیز الاستیک خطی — مرتبه اول
مرتبه دوم
(فقط به رفتار خطی اعضا توجه می کند)
آنالیز P-Δ

به جهت رعایت حدودی تغییر مکان نسبی مقاطع کنترل می شود

تیرها $0.35 I_g$
ستون‌ها $0.7 I_g$
دیوار ترک خورده $0.35 I_g$
دیوار ترک نخورده $0.7 I_g$

$\Delta_M = 0.7 R \Delta_w$

آنالیز الاستیک خطی

- P-Δ مورد توجه قرار می گیرد.
- ترک خوردگی اعضا مورد توجه قرار می گیرد.

$\frac{\delta_u}{h_w} \geq 0.007$

* محاسبه شود در آنالیز الاستیک خطی $\delta_u = 0.7 R \kappa$

κ درصد بحرانی

تغییر مکان واقعی مکان در تراز بالای دیوار (دیافراگم)

www.hoseinzadeh.info

۲- در این روش خرد مرزی تا ارتفاع زیر اطمینان می‌باید:

$$\max\left\{ l_w, \frac{M_u}{4V_u} \right\}$$

M_u و V_u نظیر مقطعی در برش بیشتر است در مقطع بحرانی

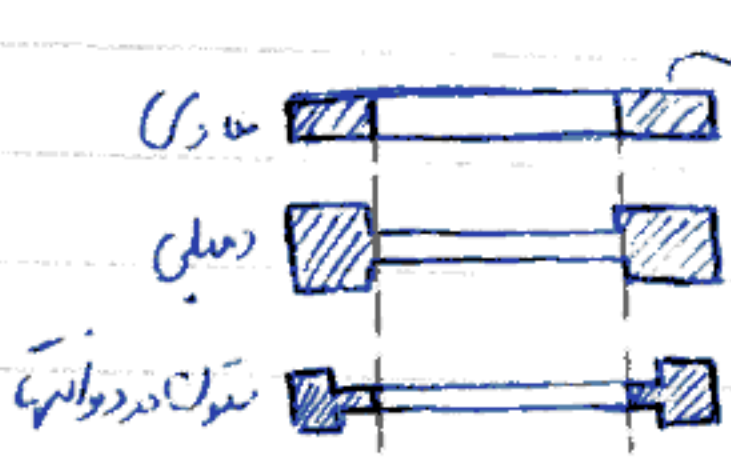
۳- عرض خرد مرزی

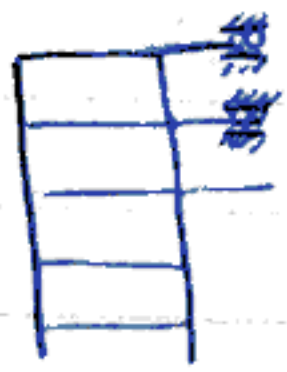
$$\text{عرض خرد مرزی} = \max\left\{ c - 0.1\,l_w \text{ و } \frac{c}{2} \right\}$$

در صورت وجود

c: عمق نفوذ خشتی

نکته: خرد مرزی عضوی از دیوار بوده و می‌توان با ضخامتی معادل ضخامت دیوار، منظور شود.





بیشترین حالت مدل کردن دیوار ۲۵ طبقه

دیوار برشی با طول‌های نامتقارن

باید آن را در دو جهت بررسی کنیم.

دیوارهای جهت ۱ حرکت جهت ۲ آزاد، دیوارهای جهت ۲ حرکت جهت ۱ آزاد.

دیوار حذف می‌شود.

حداکثر نسبت طول لازم برای دیوارهای برشی

حالت ایده‌آل $2\phi V_c < V_u < 3\phi V_c$

به صورت تقریبی کنترل اصلی تنها برش

اگر $V_u = 2\phi V_c \rightarrow \frac{V_u}{\phi} = 2 \times \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b_w d$

b_w = h ، d = $0.8 l_w$ ← تنها مجهول l

حداکثر

که حاصل می‌شود.

$V_u \leq \phi V_c$ ← به معنای بی‌نیازی از برش نیست

$V_u \leq 5\phi V_c$ ← به صورت تقریبی کنترل اصلی تنها برش

www.hoseinzadeh.info

بررسی بدست آوردن ضریب ترک خوردگی بتون

ابتدا ضریب را 0.7 درنظر داده و آنالیز و مراحل انجام می‌شود اگر دیوار ترک خورده بود

با ید ضریب را 0.35 درنظر داده

ایجاد و تعیین $\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{MC}{I} < f_r = 0.7\sqrt{f'_c}$

بتن — ترک نخورده

نکته: الزم ۲ دیوار برشی متقاطع داشته باشیم:

حداقل طول هر عضو مرزی در صفحه دیوار برشی 300^{mm} در حال نقوذ کننده

h_w = ارتفاع کل دیوار

۴- مطالب ندارای شبکه

* خصوصیات ندارای و فولادگذاری عرضی در خرپد مرزی

فولادگذاری عرضی شبکه : $A_{sh} = 0.09 S b_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$

$\frac{A_{sh}}{S} \geq 0.09\, b_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$

فولادگذاری عرضی شبکه حداقل به اندازه ذکر شده باید در هر دو جهت خرپد مرزی گسترش شود.

f_{yt} ← تنش تسلیم مطلوبهای عرضی

b_c ← عرض هسته خرپد مرزی در راستای محور بین A_{sh} (کرنش با مرز خارجی)

S ← فاصله مطلوبهای عرضی (فاصله خاموت یا قلابها)

A_{sh} ← سطح مقطع شاخه‌های خاموت یا قلاب در جهت محور بررسی

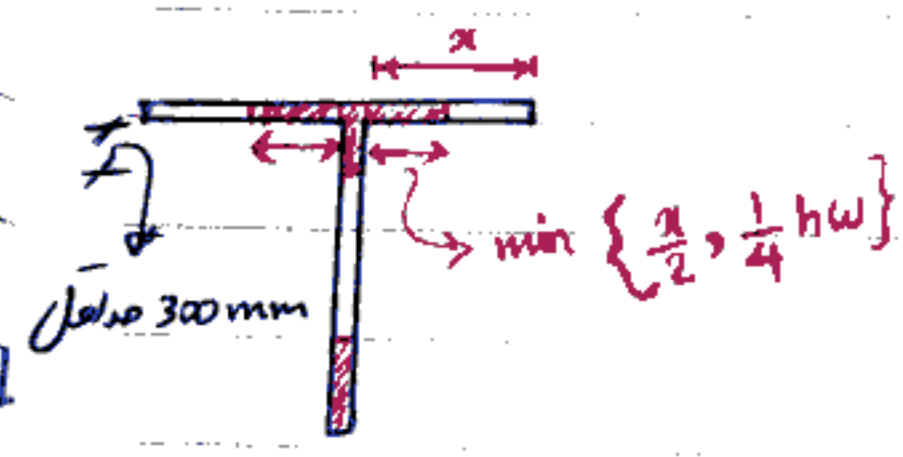
حداکثر فاصله خاموتهای عرضی در خرپد مرزی $S \leq \min\left\{\frac{1}{4} h_{min}, 6\phi_L, S_0\right\}$

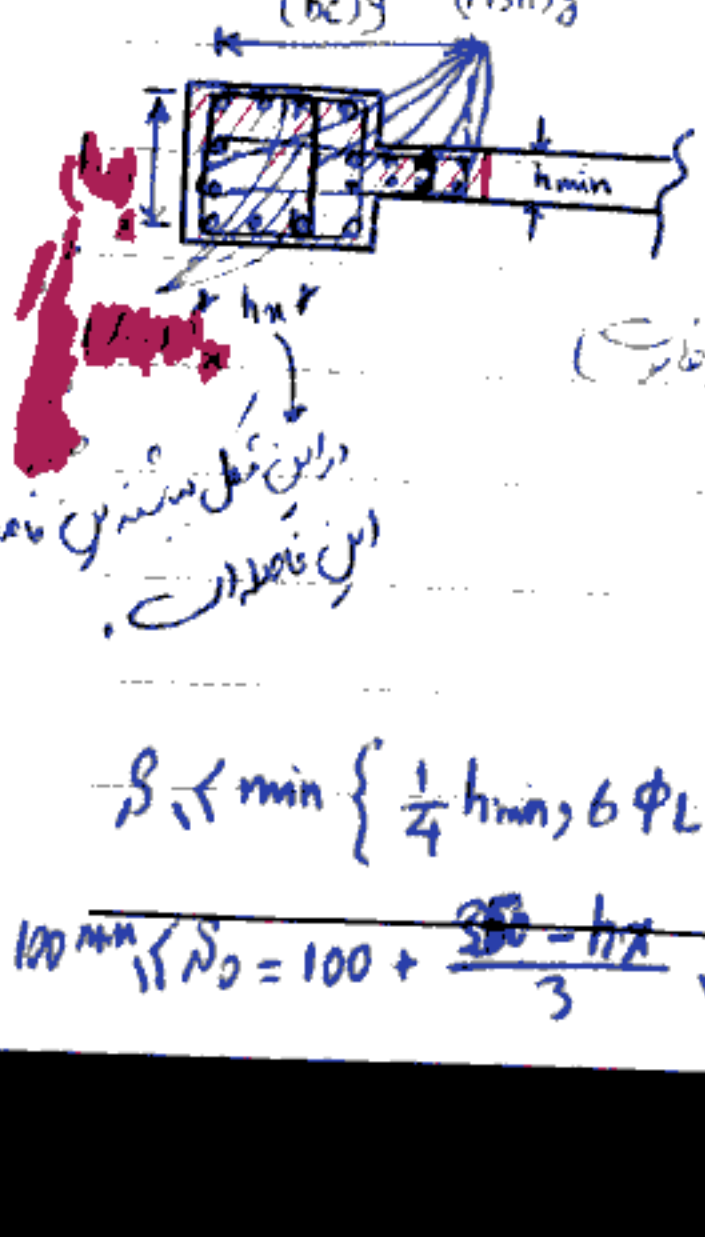
h_{min} ← کوچکترین بعد خرپد مرزی

ϕ_L ← قطر بزرگترین میلگرد طولی در خرپد مرزی

h_x: حداکثر فاصله شاخه‌های قلاب یا خاموت در امتداد عرض خرپد مرزی

$100^{mm} \leq S_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \leq 150^{mm}$

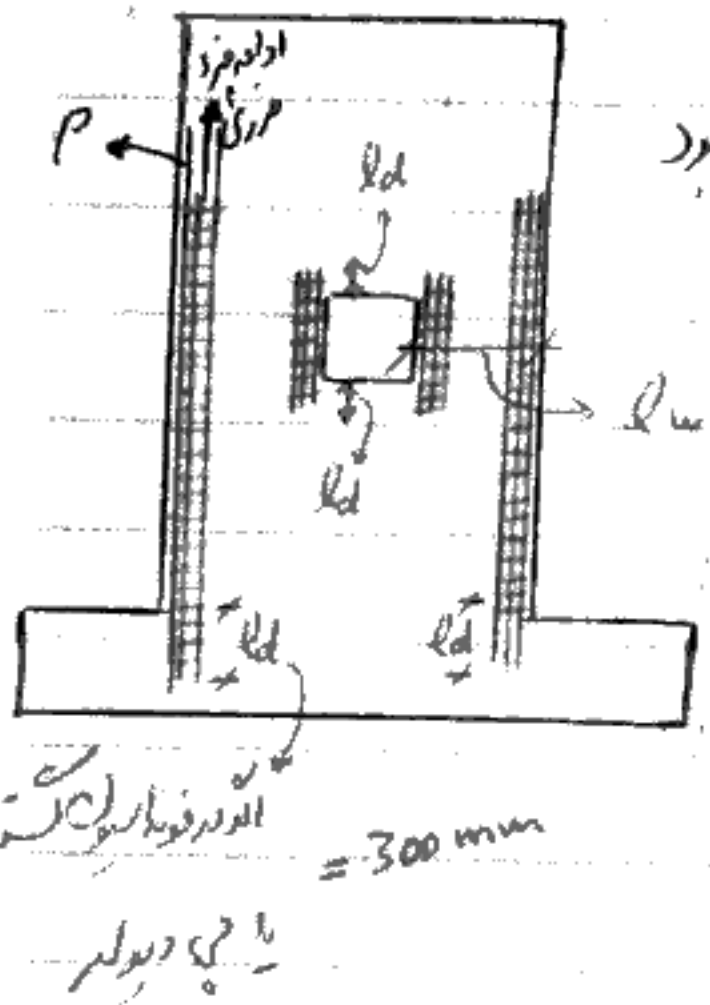




EILIYA

www.hoseinzadeh.info

نکته: در جائی که خروج مرزی به پایه متصل می‌شود میلگردگذاری ویژه آن جا کافی باید در طول حداری میلگردهای طولی ادامه داده شود. ولی در جائیکه خروج مرزی به فونداسیون گسترده و یا دیوار متصل می‌شود که در این حالت لازم است فولادگذاری ویژه به اندازه ۳۰۰ میلیمتر در پایه ادامه یابد.



پاس بدون → آندی دیوار مرزی بود

جلسه چهارم 30-9-89

۵- ضوابط فولادگذاری عرضی در خارج از خروج مرزی (در ادامه خروج مرزی)

در ادامه خروج مرزی هم باید یک حداقل قرار داده شود ولی لازم نیست ضوابط سخت خاموتهای ویژه خروج مرزی در این قسمت رعایت گردد.

مبحث ۷۰ تکلیف

۱- اگر درصد فولادهای طولی در محدوده خروج مرزی در این قسمت از $\frac{2.8}{F_y}$ بیشتر باشد، فولادهای عرضی در این قسمت با رعایت $S_{max}=200^{mm}$ قرار داده می‌شود، در غیر اینصورت در اینحالت نیازی به فولاد عرضی نیست.

$\rho < \frac{2.8}{F_y}$ → نیازی به فولاد عرضی نیست $F_y = 400\,MPa$ → $\rho < 0.7\%$

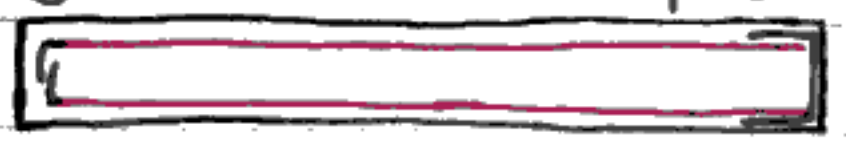
$\rho > 0.7\%$ → $S_{max}=200^{mm}$ → در محدوده عرضی $\phi 10 @ 200^{mm}$

www.hoseinzadeh.info

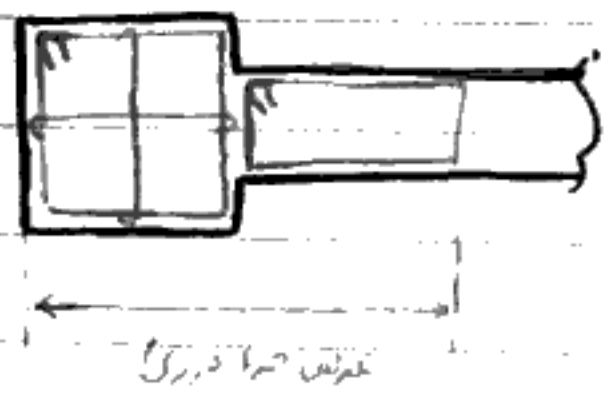
۲- درصورتیکه $V_u \geq \frac{1}{12} A_{cv} \sqrt{f'c}$ میلگردهای طولی دیوار باید در لبه‌های دیوار با قلاب استاندارد منتهی شوند و یا لازم است میلگردهای طولی دیوار در داخل سلول‌های لاشکل به یک قطر و فاصله‌ای معادل میلگردهای افقی دیوار قرار گیرند.

A_{cv} : سطح مقطع کامل دیوار $A_{cv} = h \times l_w$

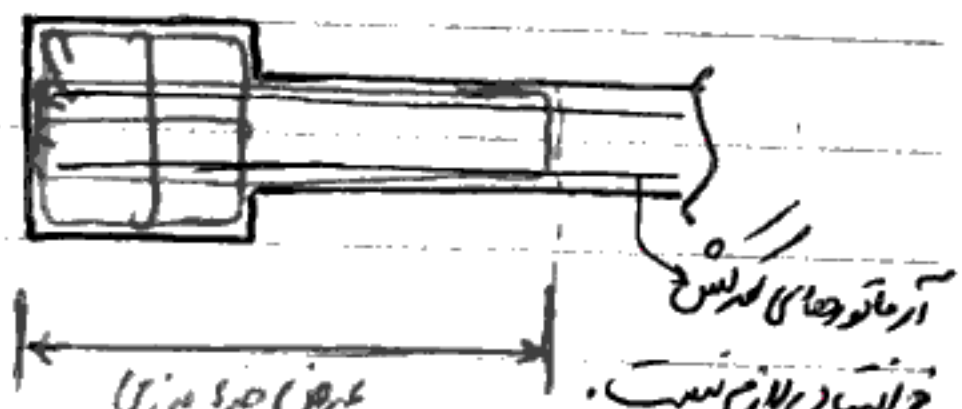
① روش اول ② روش دوم



دتایل مناسب برای خاموت گذاری ویژه در لبه‌ی مقطع مستطیلی شکل



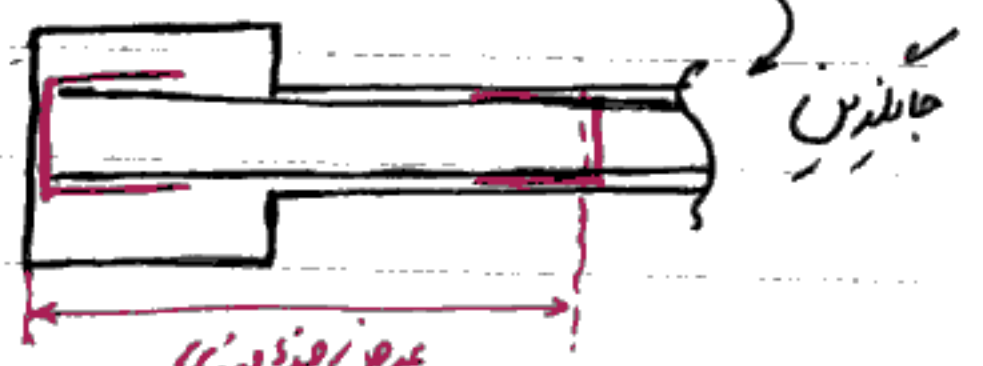
غلط



صحیح

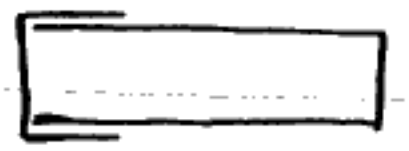
آلترناتیو این دتایل را اجرا کرد

میلگردهای طولی قرارداد و دوسرآنها را لا نداشت.

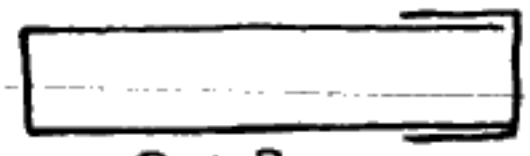


به جای خاموتهای داخل سقف می‌توان دتایل زیر را اجرا کرد.

هر ۳ آلترناتیو صحیح هستند.



صحیح



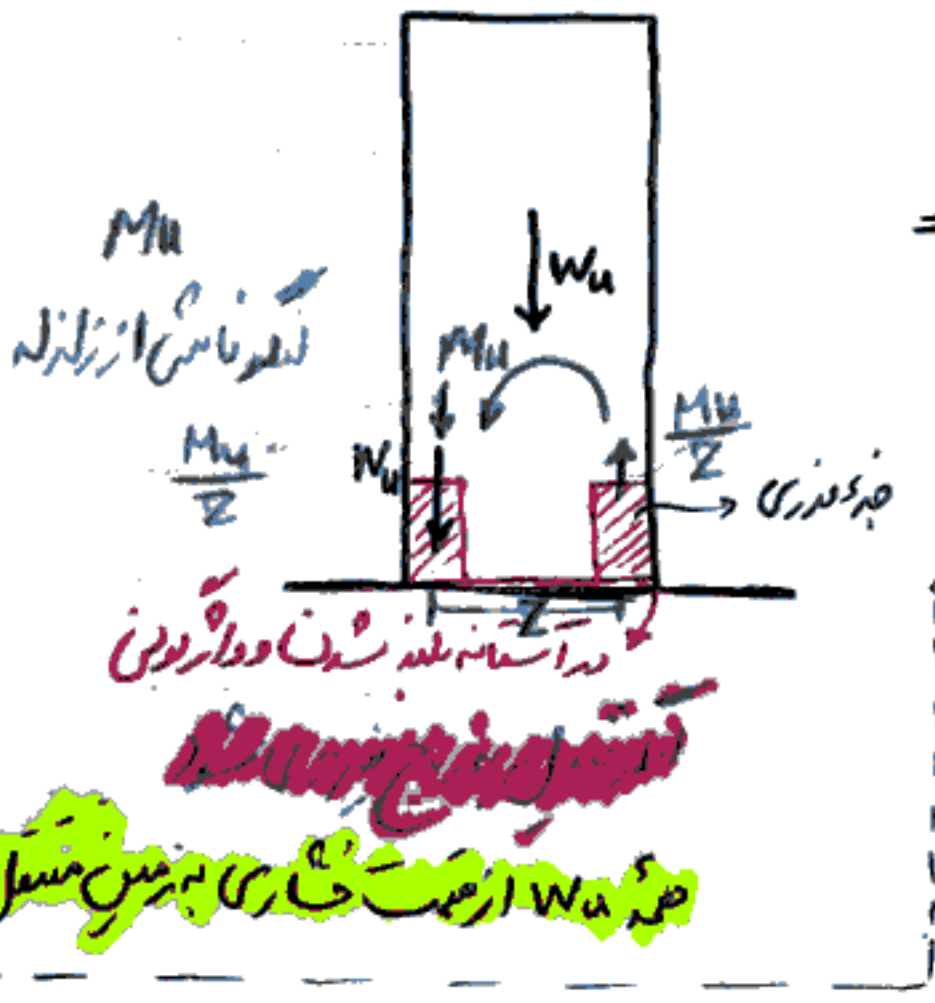
www.hoseinzadeh.info

۶- ضوابط حداقل فولاد طولی لازم در جزء مرزی

ACI : فولادهای طولی در جزء مرزی باید طوری قرار داده شوند که در مقابل تمام بارهای ثقلی بالغ‌بر شامل وزن دیوار و بار جنبی بار در آن متعادم باشند، بعلاوه باید تمهیداتی قائل که برای جبران لنگر واژگونی ایجاد می‌شوند را نیز جوابگو باشند.

طراحی دیوار در مقابل ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری

$\Rightarrow$ در جزء مرزی یک سمت دیوار $P_u = W_u + \frac{M_u}{Z} = C_u$



در جزء مرزی طرف کشش $P'_u = \frac{M_u}{Z} = T_u$

مقابل دیوار

در مقابل کشش : $\phi A_{s1} f_y = P'_u$

$\rightarrow A_{s1} = \frac{P'_u}{\phi f_y}$ کنترل با کشش

$\phi = 0.9$

در مقابل فشار : $[0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] = P_o$

$P_{n,max} = 0.8 P_o$, $P_u \leq \phi P_{n,max}$ کنترل با فشار

$\phi = 0.65$

$\rightarrow A_{s2} = \dots$

در جزء مرزی $A_s \geq \max \{A_{s1}, A_{s2}\}$

فولادگذاری برشی در دیوارهای برشی ویژه

(دیوار برشی که جزء مرزی داشته باشد)

یادآوری $V_n = V_c + V_s$, $V_u \leq \phi V_n$ $\phi = 0.75$

$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c}\, b_w d$ $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$

www.hoseinzadeh.info

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

$$\alpha_c = \begin{cases} \frac{1}{4} & \text{اگر } \frac{h_w}{l_w} \leq 1.5 \quad \text{(دیوار کوتاه)} \\ \frac{1}{6} & \text{اگر } \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \quad \text{(دیوار بلند)} \\ \frac{1}{4} - \frac{1}{6}\left(\frac{h_w}{l_w} - 1.5\right) & 1.5 < \frac{h_w}{l_w} < 2 \quad \text{(دیوار متوسط)} \end{cases}$$

ρ_t: درصد فولادهای افقی دیوار به سطح مقطع عمود بر آن

A_{cv}: $A_{cv} = l_w \times h$

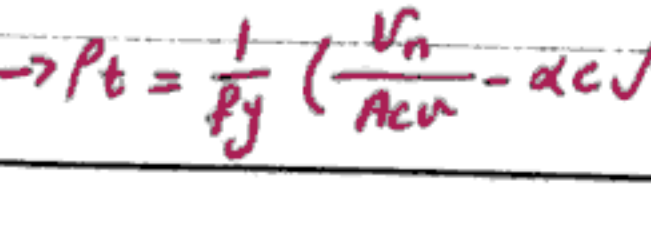
تفسیر رابطهٔ آئین نامه‌ای فوق

$$V_n = V_c + V_s$$

قبلاً: $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b_w d$ دیوار برشی ویژه $\frac{1}{6} \to \alpha_c$ $d \simeq l_w \to V_c = \alpha_c \sqrt{f'_c}\, \underbrace{h \cdot l_w}_{A_{cv}}$ در دیوار $b_w = h$

$$\Rightarrow V_c = \alpha_c \sqrt{f'_c}\, A_{cv}$$

قبلاً: $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$



حوزه عملکرد s $\quad \frac{A_v}{s \times h} = \rho_t$ از اینجا

$$V_s = \frac{A_v f_y l_w}{s} \times \frac{h}{h} = \rho_t f_y A_{cv}$$

$$\Rightarrow V_n = V_c + V_s = \alpha_c \sqrt{f'_c}\, A_{cv} + \rho_t f_y A_{cv} = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

مثال: آیا در یک دیوار برشی ویژه به ارتفاع ۱۵ متر و طول ۶ متر و ضخامت ۳۰۰ میلیمتر برش پایه $V_u = 2000$ kN فولاد تقاضای برشی آن را انجام دهید؟ $f_y = 400$ Mpa, $f'_c = 30$ Mpa

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{15}{6} > 2 \to \alpha_c = \frac{1}{6}$$

$$V_u \leq \phi V_n \to V_n = \frac{V_u}{\phi} = 2667 \text{ KN} \qquad A_{cv} = 300 \times 6000 = 18 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \to \rho_t = \frac{1}{f_y}\left(\frac{V_n}{A_{cv}} - \alpha_c \sqrt{f'_c}\right) = 0.0014$$

www.hoseinzadeh.info

نکات آئین نامه‌ای

1) $\rho_t \geq 0.0025$

2) اگر $\frac{h_w}{l_w} \leq 2 \rightarrow \rho_l \geq \rho_t$

3) اگر $V_u \leq \frac{1}{12} A_{cv} \sqrt{f'_c}$ در این صورت می‌توان از حداقل های عمودی دیوارها به عنوان فولاد افقی و قائم دیوار استفاده نمود.

4) اگر $V_u \geq \frac{1}{6} A_{cv} \sqrt{f'_c}$ در این صورت فولادهای برشی مضاعف باید در ۲ لایه بکار رود.

ادامه حل مسأله

$V_u = 2000\ KN > \frac{1}{6} \sqrt{f'_c}\ A_{cv} = 1643\ KN$

← فولادهای برشی مضاعف باید حداقل در ۲ لایه بکار رود.

$\rho_t = 0.0014 < 0.0025 \rightarrow USE\ \rho_t = 0.0025$

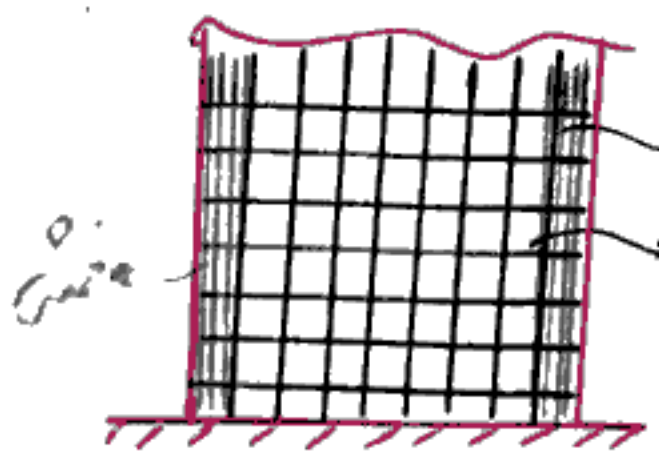
$\rho_t = \frac{A_v}{h \times S}$ $\quad USE\ 2\phi 12 \rightarrow A_v = 226\ mm^2$

$S = \frac{226}{0.0025 \times 300} = 301\ mm$ $\quad USE\ 2\phi 12\ @\ 300\ mm$ افقی

نزدیک‌ترین عدد کمتر 686

$\rho_l = .0025 + 0.5\,(2.5 - \frac{h_w}{l_w})(\rho_t - 0.0025) \geq 0.0025$

$\rho_l = 0.0025 \rightarrow USE\ 2\phi 12\ @\ 300\ mm$ قائم



معمولاً میلگردهای عمودی در ۲ سمت دیوار قرار می‌گیرند و در وسط میانی دیوار حداقل آرماتور کافی است مثلاً همین آرماتورهای برشی قائم

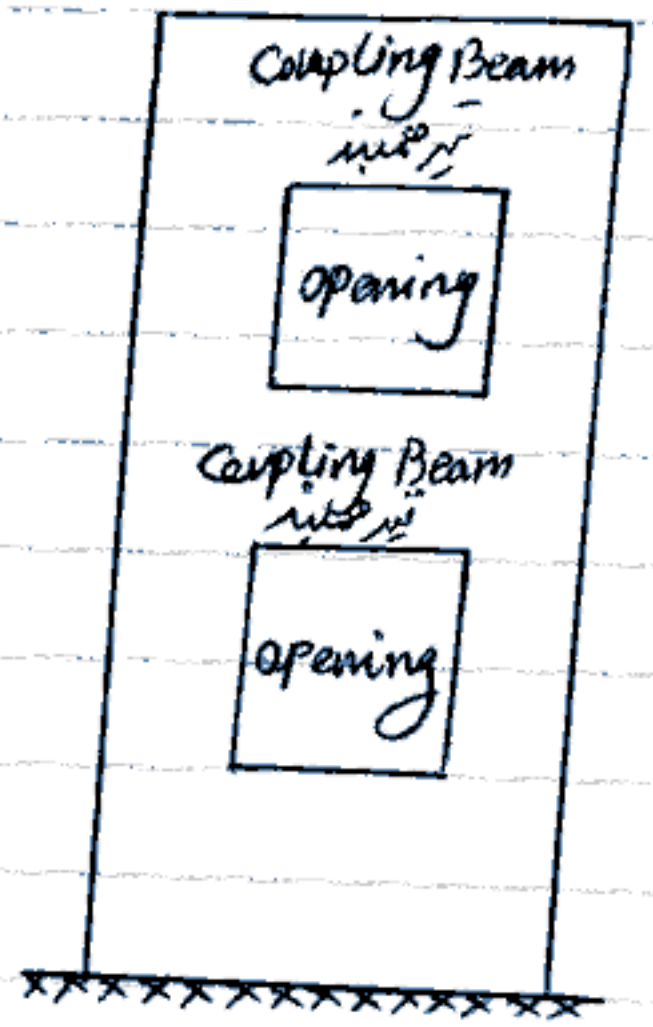
www.hoseinzadeh.info

برای جلوگیری حداقل طول دیوار برشی

هیچگاه نمی‌توان برشی بزرگتر از $4\phi\sqrt{f'c}$ به دیوار وارد کرد.

(V_u یعنی طول دیوار برشی) $V_u = (1.5-2)\phi\sqrt{f'c}$

تیرهای همبند در دیوارهای برشی

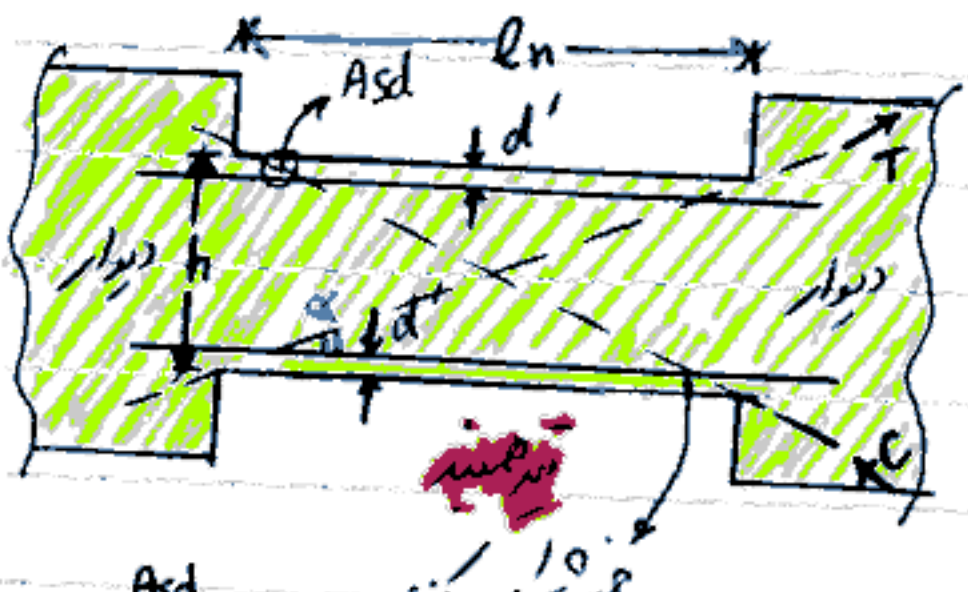


* اگر این تیر نقش خود را بخوبی ایفا نکند بدین معنی است که بجای دیوار اصل ۲ دیوار کوتاه در ۲ طرف opening داریم. که ظرفیت آن به مراتب کمتر از دیوار اصلی است حتی تا $\frac{1}{5}$ ظرفیت آن

* تیر همبند بعنی ۲ قسمت کناری دیوار را به هم متصل کند.

اگر این تیرها خوب طراحی شده باشند و تا آخر کار دوام بیاورند عملکرد دیوار بصورت کامل صورت می‌پذیرد.

از صفحه ۷۱۰ کتاب



$T = C = \Phi A_{sd} f_y$

$V_u = 2T \sin\alpha = 2\Phi A_{sd} f_y \sin\alpha$

$M_u = \Phi A_{sd} f_y \cos\alpha\ (h-2d')$

آرماتور تیر ۹۰ سانتیمتر بیشتر مهار شود

زیرا تنش اصطکاک است.

www.hoseinzadeh.info

ACI

۱- اگر $\frac{l_n}{h} \geq 4$ باشد ← نیازی به فولادگذاری در تیر هم‌بند نیست.

۲- اگر $2 < \frac{l_n}{h} < 4$ باشد ← توصیه می‌شود از فولادگذاری قطری در تیر همبند استفاده شود.

۳- اگر $\frac{l_n}{h} \leq 2$ باشد ← و $V_u \geq \frac{1}{3}\sqrt{f'_c}\, A_{cw}$ باشد ← فولادگذاری قطری در تیر همبند الزامی است.

طراحی مقاطع در حالت قطری

$$A_{sd} = \frac{V_u}{2\phi f_y \sin\alpha} \qquad \phi = 0.75 \quad V_u = \text{آنالیز} \quad \alpha = \text{با شیب قطر مقطع}$$

A_{sd} : مساحت ۴ عدد میلگرد با کاربرد شاخه

طراحی خاموت‌ها در میلگردهای قطری

$$\text{خاموت} \quad \frac{A_{sh}}{s} \geq 0.09\, b_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.3\, b_c \frac{f'_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)$$

b_c : بعد هسته محصور در خاموت شاخه‌ها

A_{ch} : سطح مقطع هسته میلگردهای قطری

A_g : سطح مقطع ناخالص تیر نخی قطری

میلگردهای قسمتی تیر مانند تیر معمول محاسبه می‌شود و خاموت‌های محدوده‌ها هم مانند تیر معمول بدنی بدست می‌آید.

در ناحیه میانی فقط سه میلگرد عدد تعلق و تعدادی خاموت جانبدین تراکم داده می‌شود

جلد 1 ص ۹-۵ ، فصل ۱۸ جلد ۲