جزوه باما

دانلود جزوات ، نمونه سوالات
و پاورپوینت های دانشگاهی

Jozvebama.ir

Jozvebama.ir

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

Jozvebama.ir

Jozvebama.ir

رئوس مطالب

۱- نیروی زلزله و ضرایب بازتابداری

۲- نیروی زلزله طراحی خمشی تنش آرمه

۳- نیروی زلزله طرح برشی تنش آرمه

۴- نیروی زلزله ستون ها

۵- قاب های خمشی بعنوان عناصر مقاوم جانبی و ضوابط خاص آنها

۶- دیوارهای برشی به عنوان عناصر مقاوم تنش آرمه

- دیوارهای کوتاه
- دیوارهای بلند

۷- تحلیل و دوام قاب و دیوار برشی در برابر بارهای جانبی

۸- اثر بازشوها در دیوارهای برشی و اثرات زلزله ای آنها

۹- تیرهای هم خط در دیوارهای برشی با بازشو

۱۰- ضوابط شکل پذیری

مراجع: کتاب سازه های تنش آرمه جلد اول و دوم

Jozvebama.ir

۱- ضریب بارگذاری

تا سال 1999

برای بار ثقلی $1.4D+1.7L$

برای بار ثقلی + زلزله
$$\begin{cases} 0.75(1.4D+1.7L \pm 1.87E) \\ 0.9D \pm 1.43E \end{cases}$$

از سال 2002

بار ثقلی
$$\begin{cases} 1.4D \\ 1.2D+1.6L \end{cases}$$

بار ثقلی + زلزله
$$\begin{cases} 1.2D+1L \pm (1.4E \text{ یا } 1E) \\ 0.9D \pm (1.4E \text{ یا } 1.0E) \end{cases}$$

ضریب کامل در صفحه 102 ، 101 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.

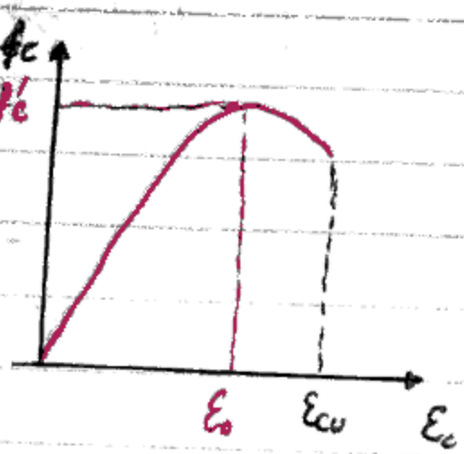
Strength Level Design

Service Level Design

برای بار باد 1.3W و 1.6W دیدیم با توجه به آئین‌نامه ایران فعلاً باید از 1.3W استفاده شود.

Jozvebama.ir

۲- طراحی خمشی تیر آرمه



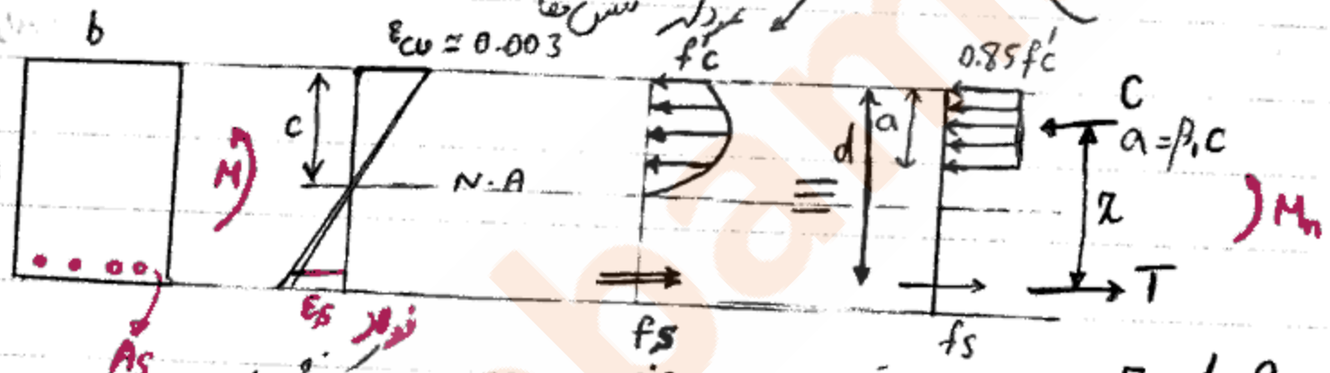
$\varepsilon_o \simeq 0.002$, $\varepsilon_{cu} \simeq 0.003 - 0.004$

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

سهم مقاومت فشاری

برای بررسی مقطع تحت خمش

نمودار تنش‌ها ← نمودار کرنش‌ها

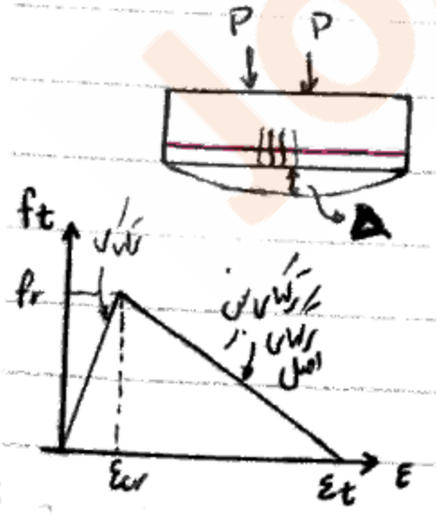


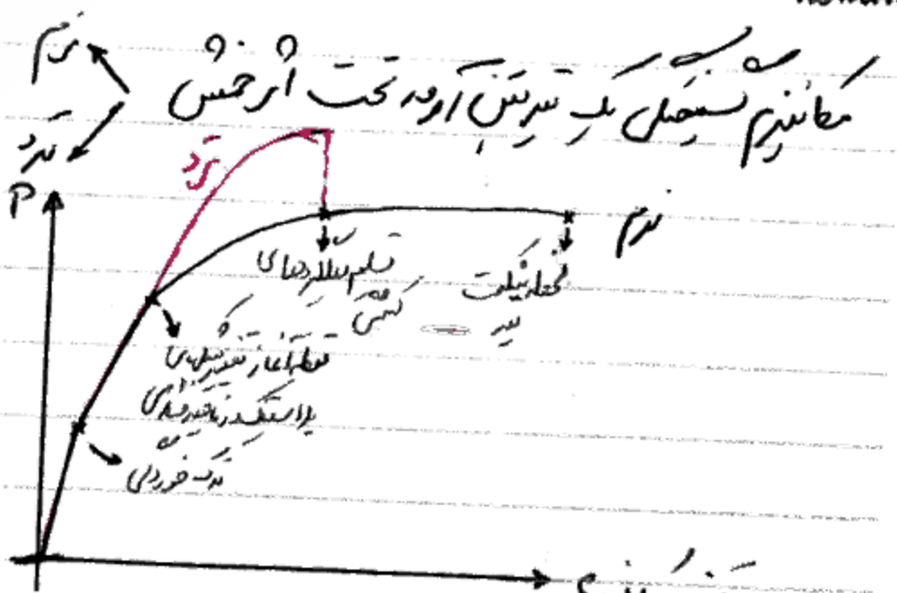
$$z = d - \frac{a}{2}$$

M_n: ضریب خمشی اسمی مقطع در لحظه شکست

nominal

مکانیزم شکست یک تیر تحت اثر خمش





Jozvebama.ir

مزایا و معایب شکست نرم

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

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

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

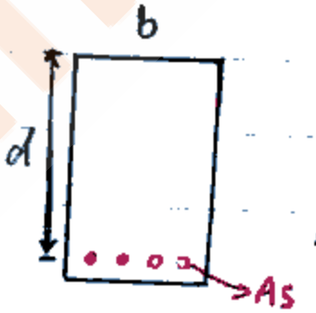
شکل پذیری: فولاد نرم > بتن

حالت متعادل گفته می شود که شکست رد و بدل شود ← میزان فولادهای کششی است

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

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

$A_{s\,موجود} > A_{sb}$ → شکست ترد

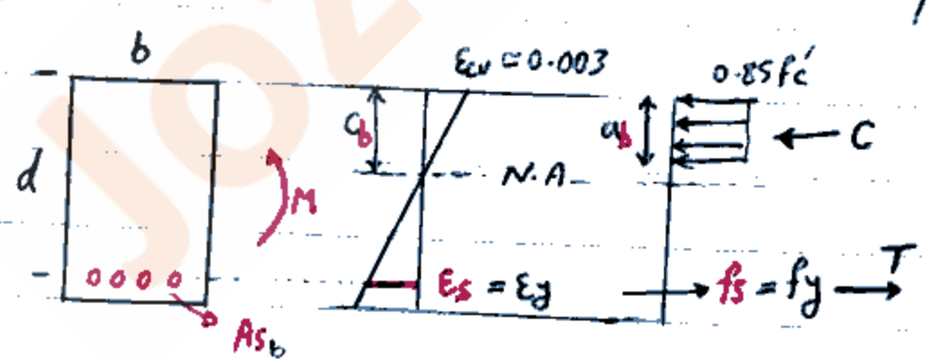


$\rho = \frac{A_s}{bd}$

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

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

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



فولاد متوازن چه دارد؟

$a = \beta_1 c$

$a_b = \beta_1 c_b$

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

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

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

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

EILYA

$1.064 - 0.007 f'_c$

Jozvebama.ir

در نمودار کرنش ها از تشابه مثلث ها استفاده می شود

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

همسازی در نمودار کرنش

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

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

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

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

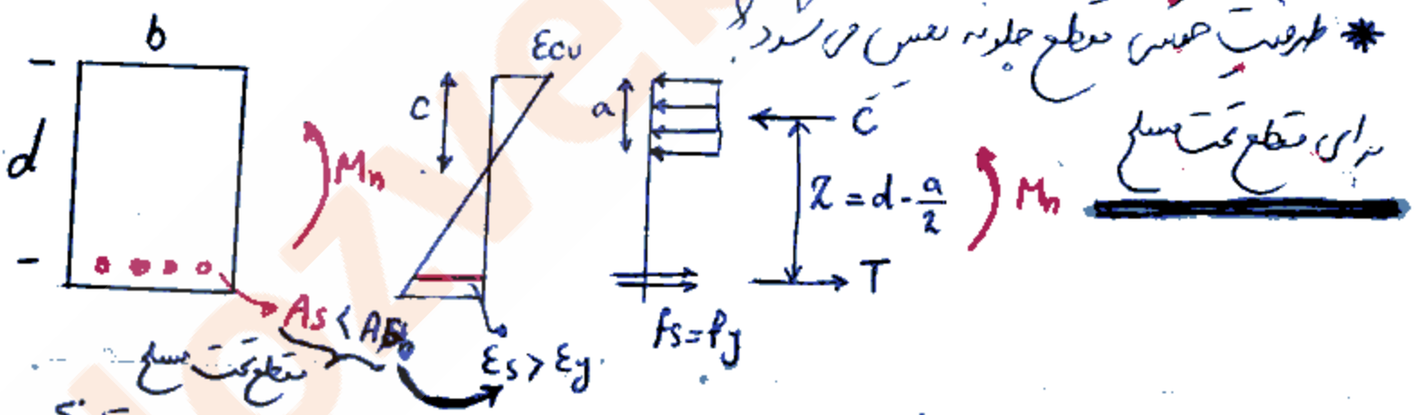
$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{bd} \rightarrow \boxed{\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600+f_y}}$$

* اگر $\rho_{موجود} \leq \rho_b \rightarrow$ UR (شکست نرم / شکست تسلیمی)

* اگر $\rho_{موجود} > \rho_b \rightarrow$ OR (شکست ترد / شکست بدون تسلیم)

* ظرفیت خمشی مقطع جایی که تنش می شود

برای مقطع تحت تسلیم



$$\sum F_x = 0 \rightarrow T = C \rightarrow A_s f_y = 0.85 f'_c ab$$

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

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

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

ظرفیت خمشی اسمی مقطع

Jozvebama.ir

کنترل $M_u \leq \phi M_n$

M_u : لنگر نهایی حاصله 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 با کنترل تحت کشش Tension - Controlled Sections (TC) $\phi = 0.9$ ← شکل پذیری عالی

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

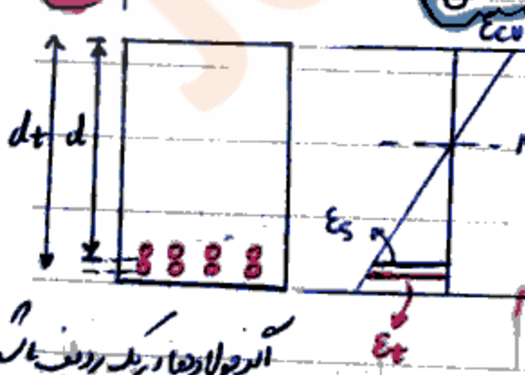
$\phi = 0.7$

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

$\phi = 0.567 + 66.7\varepsilon_t$

$\phi = 0.483 + 83.3\varepsilon_t$

براساس آئین نامه ϕ بار در نواحی مختلف بین 0.9 , 0.65 (0.7) تغییر می کند



سنجای رفتاری مقطع ← نرمی 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

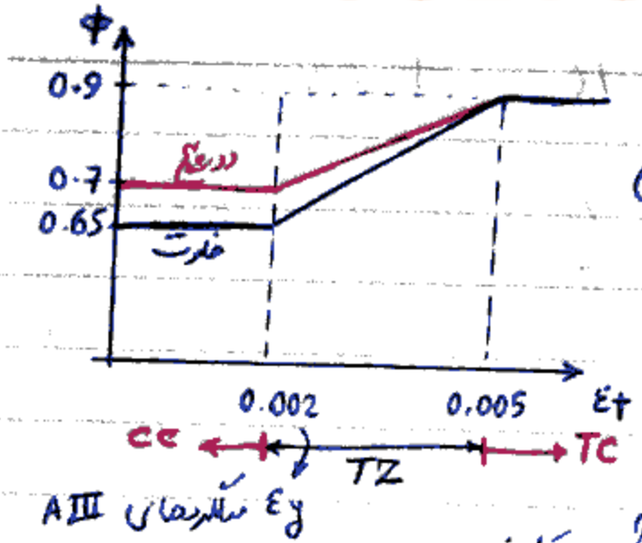
آلترناتیو حالتی که در یک ردیف باشند $d = d_t$

d : عمق مؤثر ← فاصله تار فشاری مقطع تا مرکز سطح فولادهای کششی از دورترین تار فشاری مقطع

d_t : فاصله مرکز سطح دورترین فولاد کششی تا دورترین تار فشاری مقطع

EILIYA

Jozvebama.ir



$$c = \frac{As\,fy}{0.85\beta_1 f'c\,b}$$

صفحه 169 جلد اول

مقاومت $\Phi = 0.483 + 83.3\,\varepsilon_t$ در ناحیه انتقالی

$\Phi = 0.567 + 66.7\,\varepsilon_t$ تقریبی

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

برای تعیین وضعیت مقطع

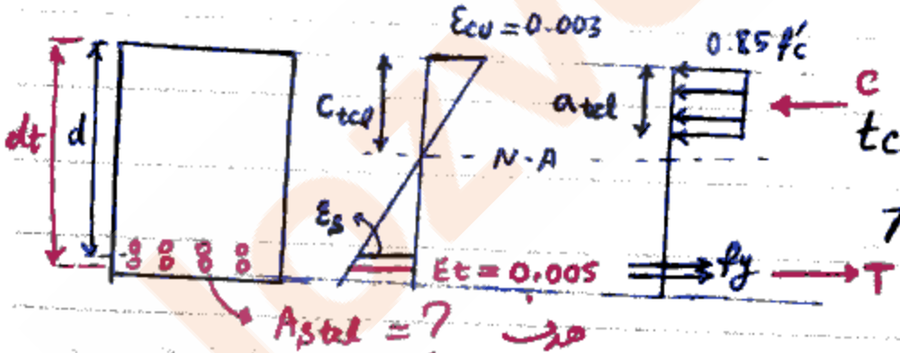
اگر مقاومت فشاری از ۲۵ تا ۳۰ درصد کمتر از مقاومت طراحی باشد می‌توان تقویت کرد و در غیر این صورت قابل تخریب است.

در بعضی آئین نامه‌ها 17 Mpa آئین سازه‌ای است.

ACI: اگر مقاومت بتن (تیر و دال) پایستون تا ۲۰٪ باشد می‌توان بر این روی اتصال بتن مضاعف ریخته شود

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

تعیین وضعیت کنترل تحت کشش



* در حالت کنترل تحت کشش ε_{tcl}

Tension Control Limit

همسازی در دیاگرام کرنش

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

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

$\Sigma Fx = 0 \Rightarrow T = C \quad A_{stcl}\,fy = 0.85\,f'c\,a_{tcl}\cdot b \Rightarrow A_{stcl} = 0.85\frac{f'c}{fy} \times \frac{3}{8}\beta_1 dt\cdot b$

$A_{stcl} = 0.319\frac{f'c}{fy}\beta_1 dt\cdot b \rightarrow \boxed{\rho_{tcl} = 0.319\,\beta_1\frac{f'c}{fy}\cdot\frac{dt}{d}}$

Jozvebama.ir

اگر $\rho_{max} \leq \rho_{tcl}$ → مقطع TC → $\phi = 0.9$

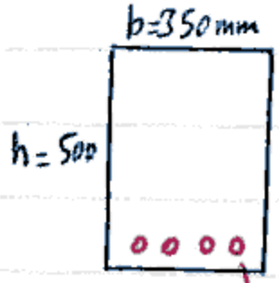
تشخیص حالت شکست TC

۱) اگر $\varepsilon_t \geq 0.005$

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

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

در کلاس سال دوی دسوی راجع ترک ۱۰ و ۱۱ داشتیم حالت سوم راجع ترک.

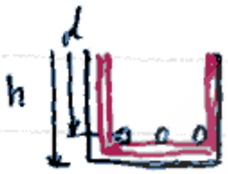


$f'_c = 28$ Mpa
$f_y = 400$ Mpa

مثال: $M_u = ?$

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

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



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

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

اگر دو ردیف میلگرد باشد

$d = h - 90\text{mm}$ اگر دو ردیف باشد

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

برای تعیین ϕ

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

$\rho \leq \rho_{tcl}$ → TC مقطع → $\phi = 0.9$ → $M_u = 274.1$ KN.m

Jozvebama.ir

محدودیت‌های میلگرد در مقاطع خمشی از نظر کنترل ترک

۱- محدودیت حداقل میلگرد

$$\rho_{min} = \max\left\{\frac{1.4}{f_y},\ \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y}\right\}$$

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

* نکته: در تیرها در مقاطع خمشی میلگردی کمتر از ρ_{min} داشته باشیم به شرط آنکه میلگرد به کار رفته حداقل 1/33 بیشتر از میلگرد مورد نیاز باشد.

$$1.33\rho_{محاسباتی} < \rho_{min} \quad \text{O.K.}$$

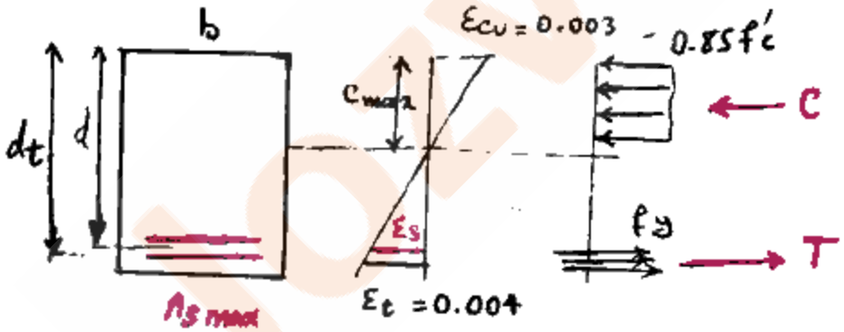
فولاد موجود اثر

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

۲- محدودیت حداکثر میلگرد

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

از سال 2002 حداکثر فولاد در مقاطع خمشی جایی نصب می‌شود که برش کششی خالص در دورترین فولاد کشش حداقل 0.004 باشد.



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

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow A_{s\,max} f_y = 0.85 f'_c a_{max} b \Rightarrow \boxed{\rho_{max} = 0.364\beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\frac{d_t}{d}}$$

اگر $\varepsilon_t > 0.004 \rightarrow \rho < \rho_{max}$

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

Jozvebama.ir

آنالیز و طراحی مقاطع تحت خمش 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 ← { تنش خمشی وارد بر مقطع: معلوم / ابعاد و یا فولاد تداری: مجهول }

* طراحی فقط فولاد
تنش خمشی: معلوم
ابعاد مقطع: معلوم
فولادداری: مجهول

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

نقط ρ مجهول

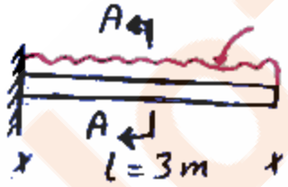
حل معادله درجه دوم برحسب ρ

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

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

۱- برای حل باید یک ϕ فرض کرد و حداقل تا حاصل شود و ρ_{tcl} حک نکنیم تسلیم زودتر صورت گیرد.

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

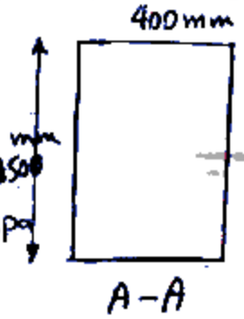


$DL = 600 \frac{daN}{m^2}$, $LL = 350 \frac{daN}{m^2}$

مثال: عرض باربری = 6m

ابعاد $h = 500$ mm

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



تنش فولادهای خمشی در تیر؟

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

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

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

$$\Rightarrow M_u = 345.6 \ KN.m$$

Jozvebama.ir

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{345.6 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 435^2} = 5.07 \qquad \rho = \frac{1}{15.69}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 5.07}{400}}\right)$$

$d = h - 65$ — باید کنترل شود

$$\rho = 0.0143$$

کنترل حد بالائی فولاد

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

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

کنترل مقدار ϕ

$$\rho_{tcl} = 0.319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y}\left(\frac{d_t}{d}\right) = 0.0203$$

d_t برای فولادهایی که در ردیف پائین قرار دارند $= 1$

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

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

کنترل حد بالائی فولاد

ρ_{max} همیشه بیشتر از $\frac{8}{7}\rho_{tcl}$ در نظر گرفته می‌شود

$$\rho < \rho_{tcl} < \rho_{max}$$

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

جدول صفحه 196 جلد دوم کتاب — مقدار خیز آکثری برای تیر کنسول

$$\frac{1}{4} M \frac{l^2}{EI} = \frac{ql^2}{8EI} \times l^2 = \frac{ql^4}{8EI}$$

خیز دوانتهای حداکثر ۲ برابر خیز آکثری است

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

اگر $\rho < \rho_{min}$ بحث

$\rightarrow \rho = \rho_{min}$

$\rightarrow \rho = 1.33 \rho$ محاسباتی

اگر $\rho > \rho_{max} \rightarrow$ 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.

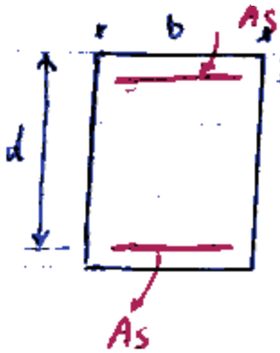
در عمل $\rho > \rho_{tcl}$ از فولاد فشاری استفاده می‌شود.

در طراحی سعی می‌شود ρ از ρ_{tcl} بیشتر شود چون اولاً موجب خاصیت ϕ می‌شود.

EILIYAR

Jozvebama.ir

مقاطع خمشی با فولادهای فشاری



ترتیبها استفاده از فولادهای فشاری

۱- یک نه طریقت شکل‌پذیری تنش و افزایش ظرفیت خمشی مقطع

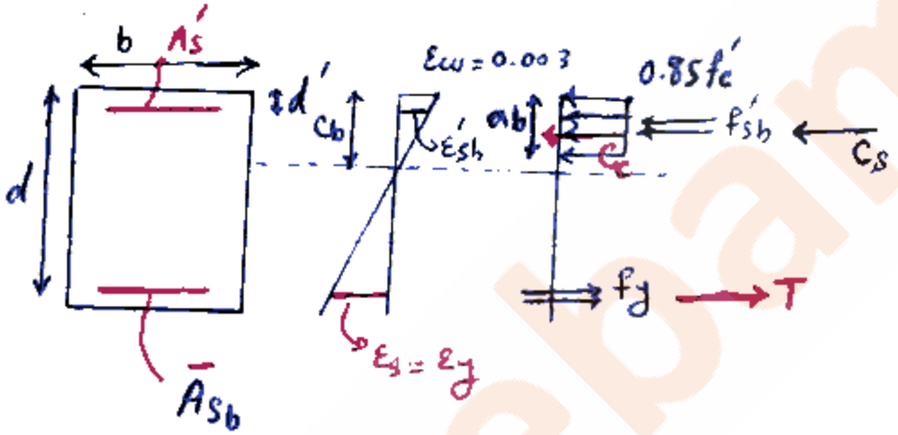
۲- افزایش شکل‌پذیری (Ductility)

۳- کاهش ضخامت در صورت تنش در صورت تغییر جهت لنگر، فولادها می‌توانند عمل کنند.

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

* 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

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

$$\bar{A}_{sb} f_y = 0.85 f_c' a_b b + A_s' f_{sb}'$$

$$\bar{A}_{sb} = 0.85 \frac{f_c'}{f_y} \beta_1 c_b b + A_s' \frac{f_{sb}'}{f_y}$$

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

$$\Rightarrow \bar{A}_{sb} = 0.85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} bd + A_s' \frac{f_{sb}'}{f_y}$$

$$\bar{\rho}_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} + \rho' \frac{f_{sb}'}{f_y} \Rightarrow \boxed{\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f_{sb}'}{f_y}}$$

Jozvebama.ir

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

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

$a = \beta_1 c$ عمق بلوک تنش فشاری

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

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

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

اگر $\rho < \rho_b \rightarrow$ UR تحت عنوان

۲- بررسی جاری شدن فولادهای فشاری

$A_{s\min}$: حداقل فولادکششی به‌نحوی که باعث جاری شدن فولادهای فشاری می‌شود.

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

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

$$\bar{\rho}_{min} = 0.85 f_1 \frac{f'_c}{f_s}\frac{d'}{d}\frac{600}{600 - f'_y} + \rho' \frac{f'_y}{f_s}$$

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

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

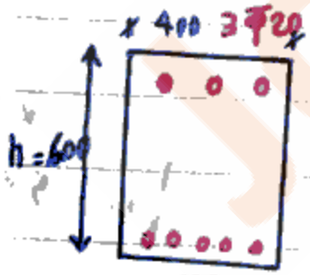
$$f'_{st} = 600\left(1 - \frac{7}{3}\frac{d'}{dt}\right) \leqslant f'_y$$

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

مثال: در تیر آلبوم

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

ظرفیت خمشی مقطع چقدر است؟



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

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

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

Jozvebama.ir

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

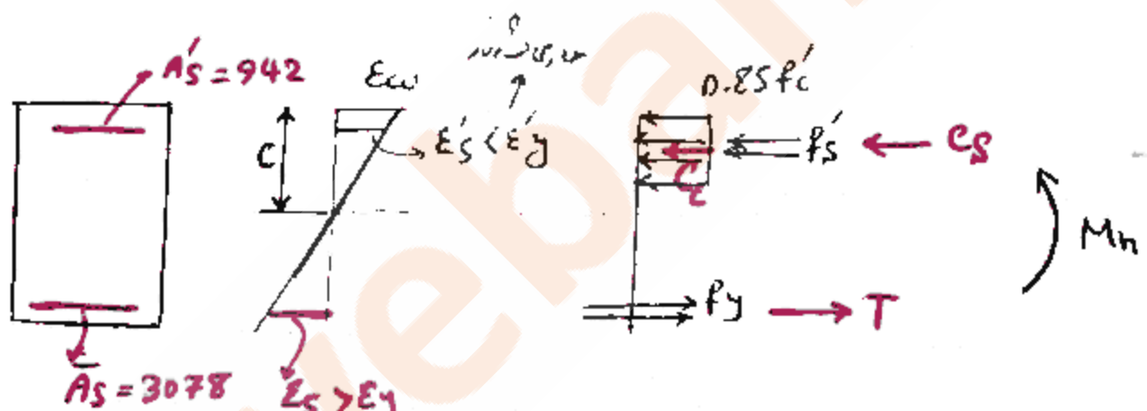
$$f'_{sb} = 600 - \frac{d'}{d}(600+f_y) = 478 \text{ MPa} \lesssim f'_y$$

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

$$\rho = 0.0144 < \bar{\rho}_b = 0.0369 \rightarrow$$ جاری شدن فولادهای کششی

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

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



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

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

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

از حل (۱) و (۲) با هم

$$a^2 + \frac{600A'_s - A_s f_y}{0.85 f'_c b} a - \frac{600 A'_s \beta_1 d'}{0.85 f'_c b} = 0 \Rightarrow a = 96.9 \text{ mm}$$

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

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

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

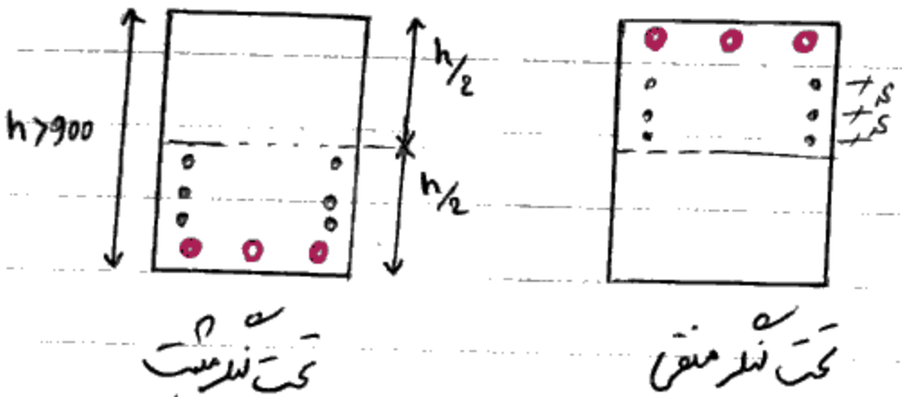
$M_u = 536$ KN.m

$\phi = 0.9$

Jozvebama.ir

فولادهای جلدی و لزوم به کار بردن آنها در مقاطع با ارتفاع زیاد

اگر $h > 900\ mm$ → مقطع با ارتفاع زیاد → لازم است از فولادهای جلدی در ناحیه کششی مقدور طرف مقطع استفاده شود



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

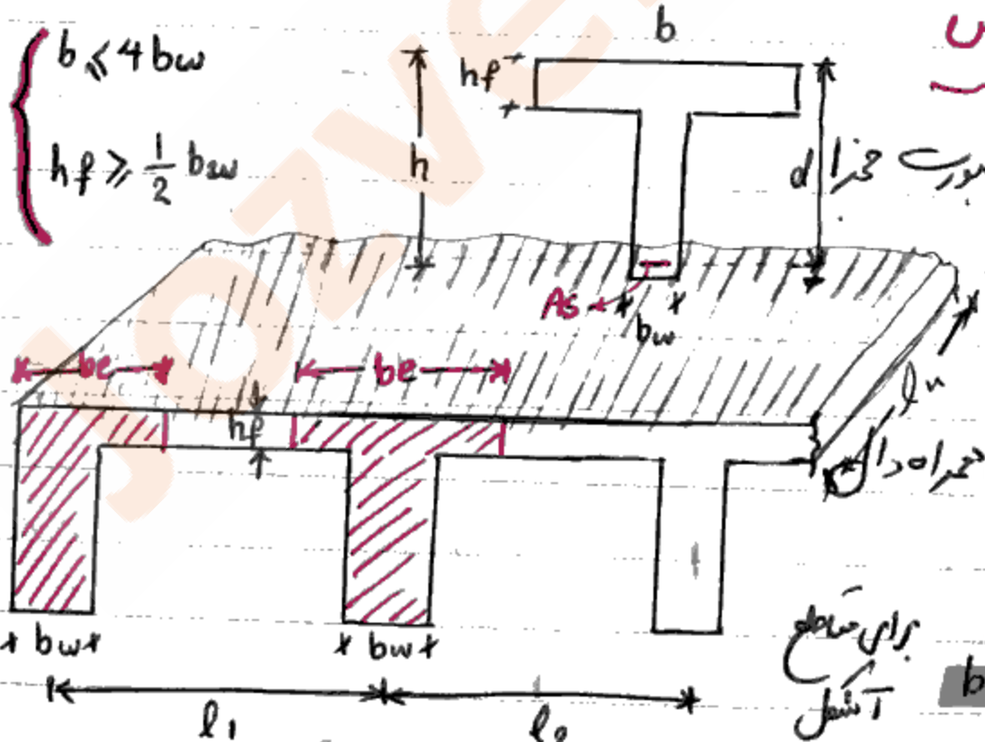
$$* \left(S \leq \frac{106000}{f_s} - 2.5\,C_c \leq 300\left(\frac{280}{f_s}\right) \right)$$

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

مقاطع با بال در تحت خمش

شکل T ← ۱- صورت جدا

ضوابط $\begin{cases} b \leq 4 b_w \\ h_f \geq \frac{1}{2} b_w \end{cases}$



۲- به صورت دال

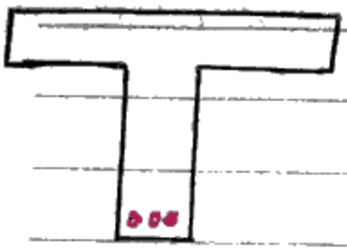
برای مقاطع T شکل

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

کناری $b_e = \min \begin{cases} l_1/2 + b_w \\ b_w + 6\,h_f \\ h_n/12 + b_w \end{cases}$

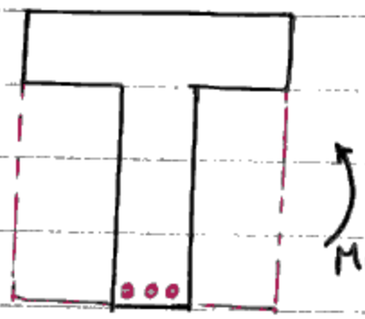
Jozvebama.ir

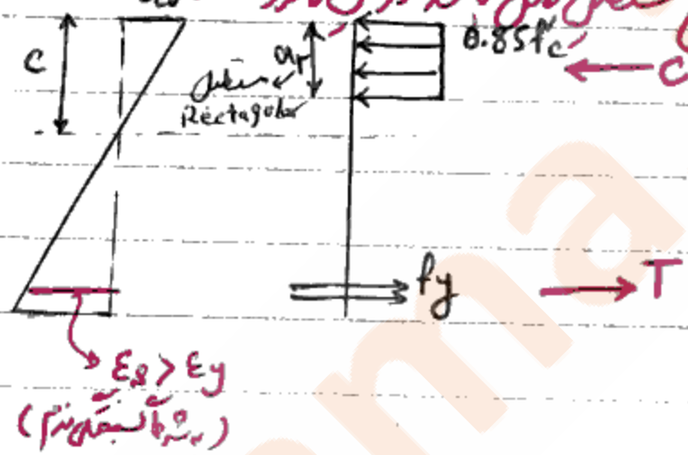
بررسی مقاطع T شکل تحت خمش



سؤال: موقعیت بلوک فشاری تنش؟ بال یا جان؟

فرض می‌کنیم مقطع مستطیل قابل بالنه در این صورت: ε_{cu}





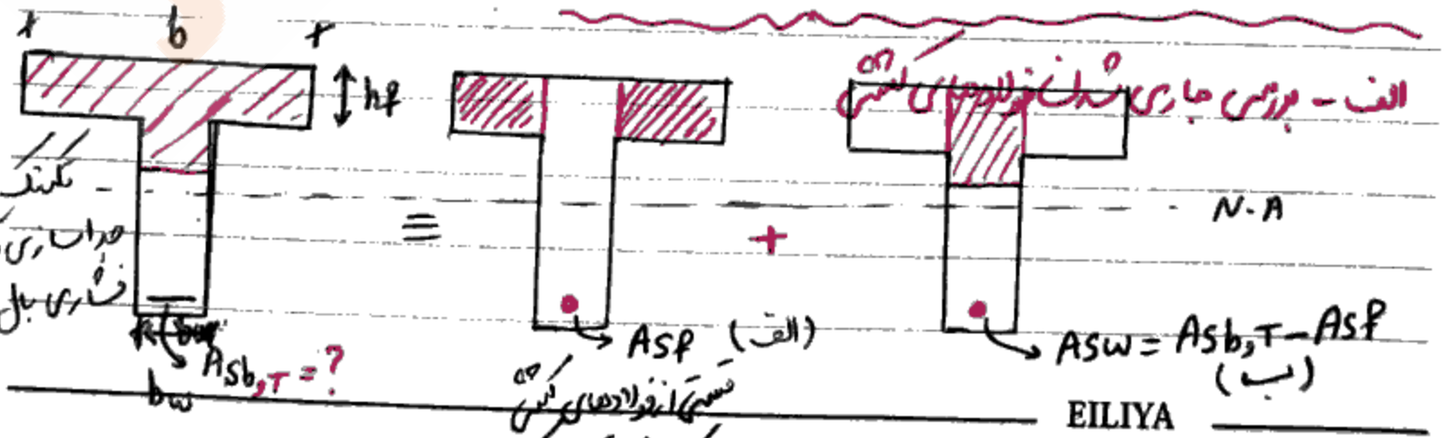
$$\sum F_x = 0 \rightarrow C = T$$

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

اگر $a_r \leq h_f$ → قسمتی از تنش در بال واقع می‌شود → عملکرد مستطیلی

$a_r > h_f$ → قسمتی از تنش از بال عبور نموده و به جان منتقل می‌کند → عملکرد T شکل

بررسی مقاطع T شکل با عملکرد T شکل $a_r > h_f$



Jozvebama.ir

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

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

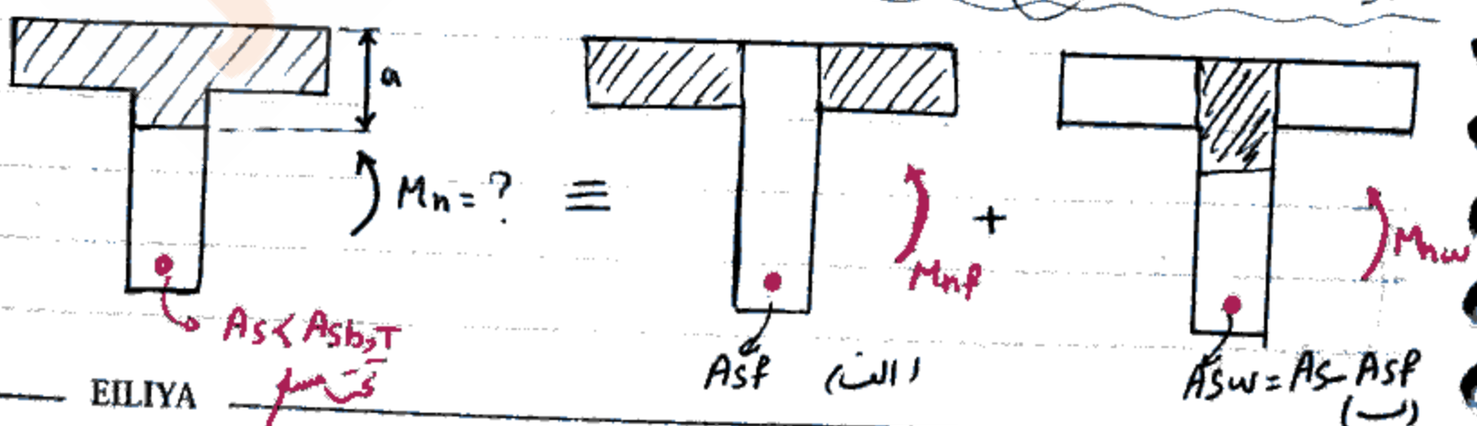
$$A_{sb,T} = A_{sf} + 0.85 \frac{f'_c}{f_y} b_w \times \beta_1 c_b \quad \text{(} c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \text{)}$$

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

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

$$\begin{cases} \text{اگر } \rho_T \leq \rho_{b,T} \rightarrow \text{UR} & \text{تحت مسلح} \\ \text{اگر } \rho_T > \rho_{b,T} \rightarrow \text{OR} & \text{فوق مسلح} \end{cases}$$

تعیین ظرفیت خمشی مقطع T شکل با عملکرد T شکل



Jozvebama.ir

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

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

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

ب) $\Sigma F_x = 0 \rightarrow T = C$

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

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

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

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

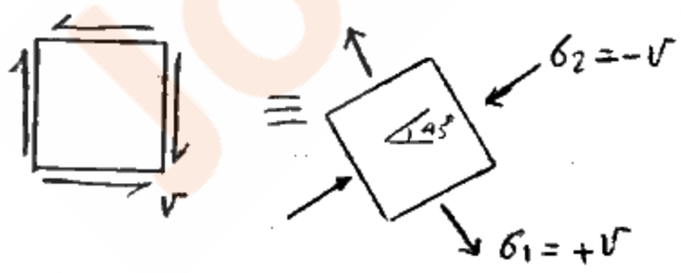
$\frac{a}{d_t} \overset{?}{<} \frac{3}{8}\beta_1 \rightarrow \phi = \cdots$

جلسه سوم 19-3-89

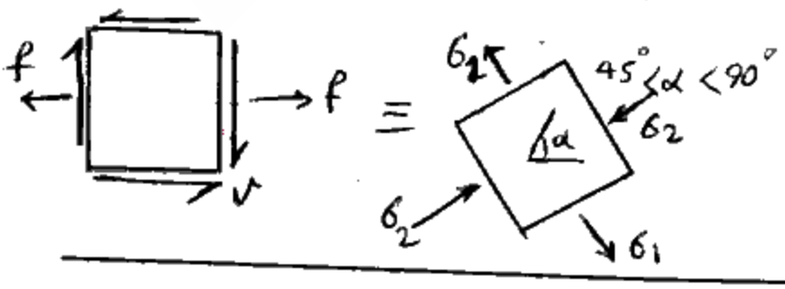
برش در تیر آرمه

نمونه‌های کشش اصلی در یک راستای مورب ایجاد می‌شود ← { برش خالص / برش + خمش

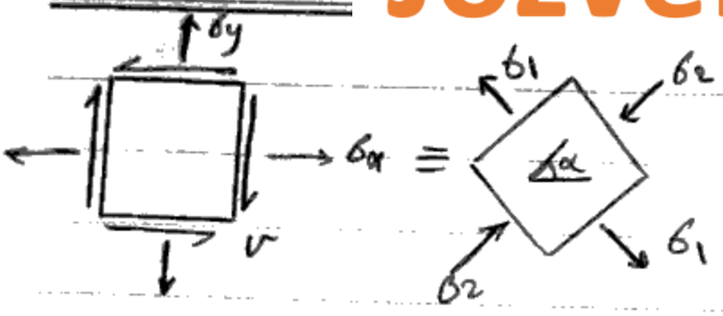
برش خالص در کشش تنش ضعیف است.



برش + خمش



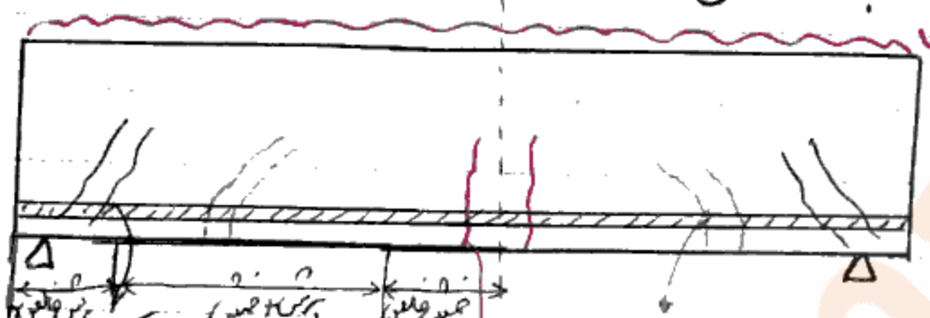
Jozvebama.ir



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

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

مقاطع تحت برش بایکت برش + خمش ← ترکهای مورب



ترکهای برشی جان
Web Shear Cracks

برش خالص این ترکها از زیر تیر دیده نمی‌شوند ولی از کنار هادیده می‌شوند

راستای 45° دارد

ترکهای خمشی خالص از زیر مشخص است

Shear Flexure Crack

ترکهای تنش خمشی نه زیر شروع می‌شود ولی ترکهای برشی از زیر شروع شده و در جان تیر هستند

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

۱- 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

Jozvebama.ir

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 ماکزیمم ایجاد شده در مقطع

$1.2D + 1.6L$

Φ: ضریب کاهش مقاومت برشی

~~$\Phi = 0.85$ 1999 تا سال~~

$\Phi = 0.75$ 2002 از سال

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

۱) آرایش خاموت های برشی عام استفاده شود.

A_v: سطح مقطع شاخه های عامل خاموت

S = فاصله افقی خاموت ها

f_{yt}: تنش مربوط به فولادهای عرضی

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

ظرفیت برشی اسمی مقطع $V_n = V_c + V_S$

قبول $V_u \leq \Phi V_n$

دو طراحی دو طرفه اقتصادی برای آن ارائه می شود.

مسائل برش در آن ارزیابی

۱- آنالیز مشخصات مقطع و فولادهای مقطع ← ظرفیت برشی مقطع مجهول

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

Jozvebama.ir

۲- حداقل طرح — ابعاد مقطع و پرش مقطع معلوم — خاموت بندی محول

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

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

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

قطر میلگرد برش و دسته و یا بودن آنرا انتخاب کرده در تعیین s ---

نکات آئین نامه‌ای برش

الف- حداکثر فاصله خاموت‌ها S_{max}

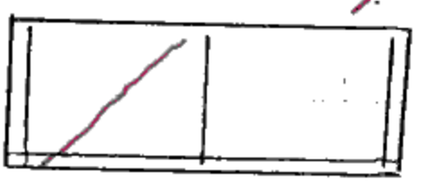
* اگر $V_s = V_n - V_c \leq 2V_c$

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

* اگر $V_s = V_n - V_c > 2V_c$

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

ترک از بین خاموت‌ها عبور می‌کند



فاصله خاموت‌ها زیاد

ب- حداقل فولاد برشی آئین نامه‌ای

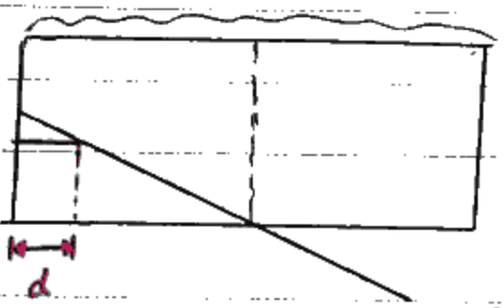
$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min} = \max\begin{cases} \frac{1}{3}\frac{b_w}{f_{yt}} \\ \frac{1}{16}\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}} \end{cases}$$

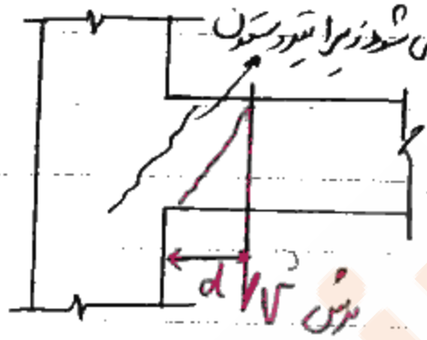
① توجه: $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{req}$ هیچگاه نباید کمتر از $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min}$ گرفته شود.

② هرگاه $\frac{1}{2}\Phi V_c < V_u < \Phi V_c$ باید از فولاد مینیمم استفاده شود.

Jozvebama.ir

ج) در حاسبات برشی تکیه‌گاه‌ها می‌توان برش در فاصله d از بر تکیه‌گاه را مبنای حاسبات قرار داد.





این برش ایجاد نمی‌شود زیرا تیر روی ستون بسته است لذا برای طراحی از بر تکیه‌گاه جلو می‌رویم.

د) حداکثر فواصل میلگردهای برشی

الف) جهت جلوگیری از شکست برشی

ب) جهت جلوگیری از باز شدن ترک‌های برشی در بهره‌برداری

$V_s \leq 4V_c$ یا $V_n \leq 5V_c$

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

بازشدن اکسیژن وارد شده و ایجاد خوردگی فلز

تحلیل

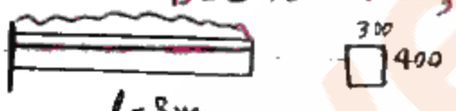
۱- در فاصله d از بر تکیه‌گاه بار متمرکز نباشد

۲- تکیه‌گاه غیری باشد

۳- بارها در ناحیه بالای تیر وارد شود

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

مثال: طرح خاموت گذاری تیر در تکیه‌گاه A؟



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

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

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

کنترل ضخامت مقطع $V_u \leq 5\phi V_c$ $\quad V_s = 83.75 \times 10^3 N \rightarrow$ O.K.

شکل شکست برشی نیاز

در غیر این صورت باید سطح بزرگ شود

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

حداکثر $\left(\frac{A_v}{s}\right)_{min} = \max\begin{cases}0.25\\0.23\end{cases}$ که کمتر از این نباشد

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

Jozvebama.ir

Try $\Phi 10$ خاموت سه ②

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

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

فولاد مورد نیاز برشی $V_s = V_n - V_c = \frac{V_u}{\phi} - 2V_c$

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

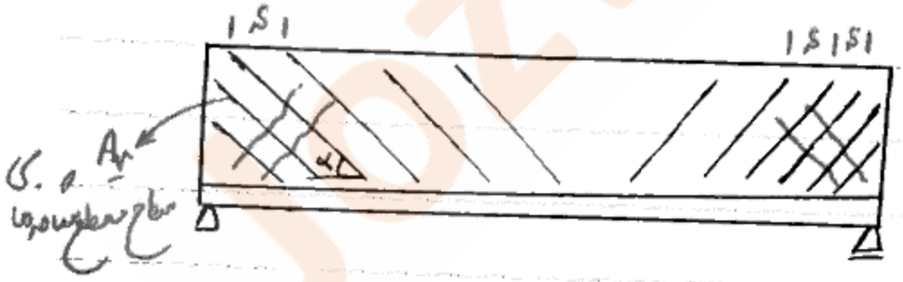
$$V_s > 2V_c$$

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

USE $\Phi 10$ ② @ 80mm در کلیه طول تیر

بدلیل اینکه به جهت اقتصادی تر کردن طرح باید به مقداری کم شدن نیروی برشی در طول تیر فاصله خاموت‌ها را افزایش داد.

فولاد گذاری برشی مایل



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

$V_n = V_c + V_s$, $V_u \leq \phi V_n$ اگر $\alpha = 90 \rightarrow \sin\alpha + \cos\alpha = 1$

Jozvebama.ir

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

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

راندمان اقتصادی $< 40\%$ ← حدود طول خاموردهای مایل هم لحاظ است و نزدیکترین آرماتورهای قائم است.

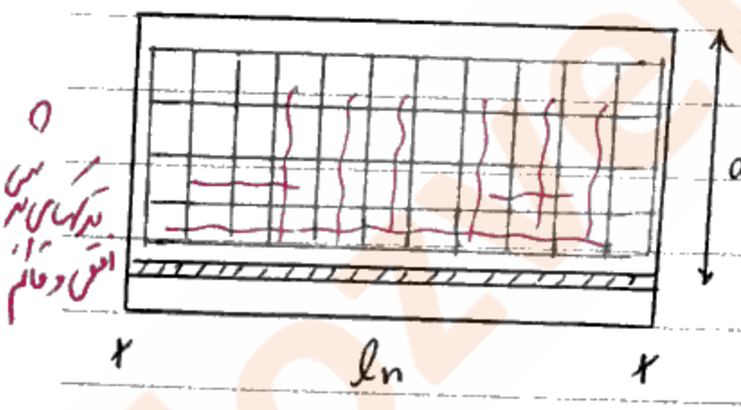
تورب عرض خاموت

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

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

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

بررسی تیرهای عمیق (Deep Beam)



میلگردهای کششی اصلی و قائم

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

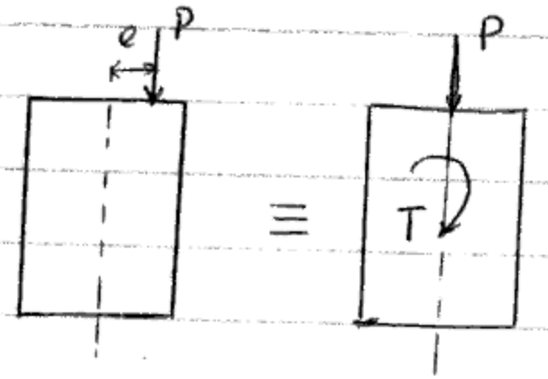
محاسبات فولادگذاری در تیر عمیق در کتاب

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

Jozvebama.ir

پیچش در تیر آرمه

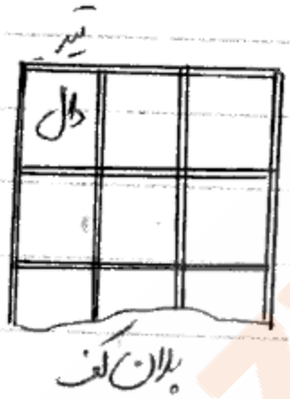
دلائل ایجاد پیچش در تیر آرمه



$T = P \cdot e$

۱- وجود بار خارج از محور

۲- پیوستگی اعضای تیر آرمه (دال و تیر)



تیرهای کناری تحت پیچش قرار می‌گیرند ولی تیرهای میانی تقریباً بدون پیچش می‌مانند.

بررسی پیچش در سازه‌های بتنی

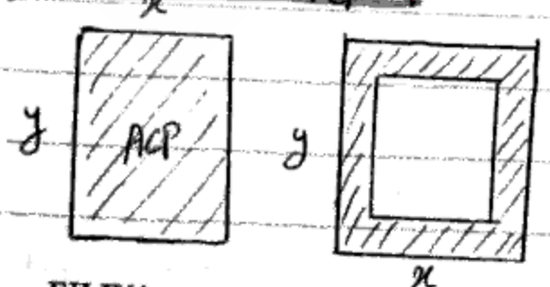
T_{cr} : پیچش ظهور ترک خوردگی Cracking

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

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

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

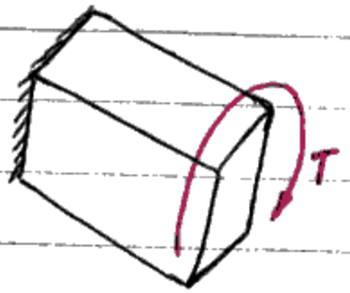
چون تئوری مقاطع جدار نازک برای پیچش استفاده می‌شود لذا این قسمت وسط در نظر گرفته نمی‌شود و کار می‌کند.



EILIYA

$A_{CP} = xy$ $\quad P_{CP} = 2(x+y)$ $\quad A_{CP} = xy$ $\quad P_{CP} = 2(x+y)$

Jozvebama.ir



ترک خوردگی پیچشی در مقطع اتفاق نمی افتد. $T_u \leq \Phi T_{cr}$ → اگر

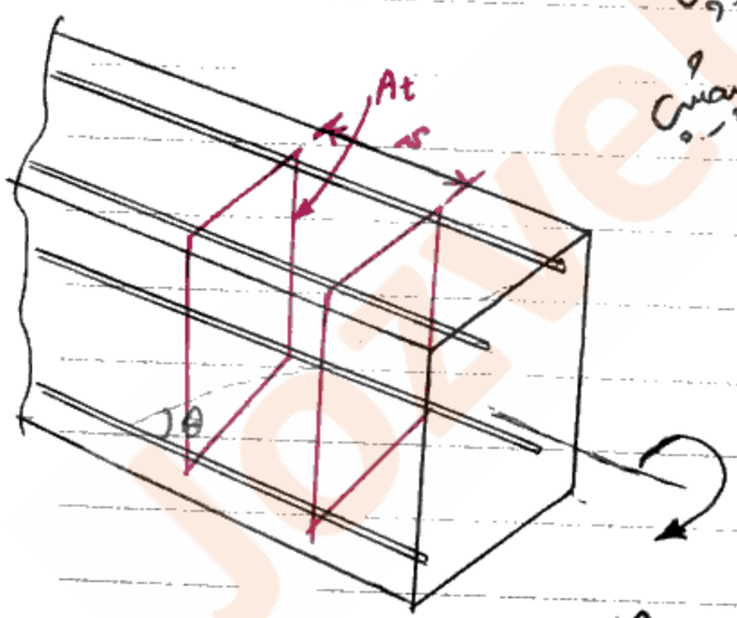
ACI 318

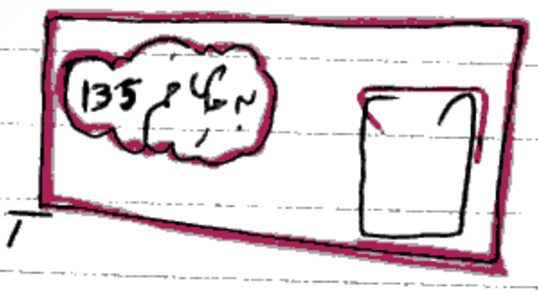
اگر $T_u \leq \frac{1}{4}\Phi T_{cr}$ → پیچش در محاسبات قابل صرفنظر کردن می باشد.

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 تن به برش تخصیص می یابد و ظرفیت برشی برای پیچش تن خود در نظر گرفته می شود

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

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

f_{yt}: تنش تسلیم فولادهای عرضی

A_t: سطح مقطع یک شاخه تنگ عرضی

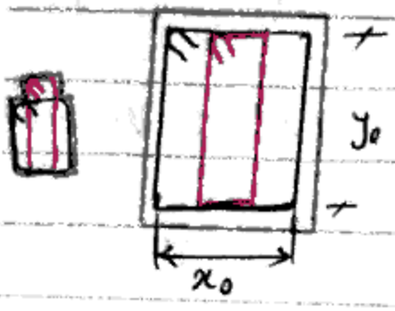
s: فاصله افقی خاموت‌ها

Jozvebama.ir

A_{oh}: مساحت محصور به بیرونی‌ترین خاموت بسته پیرامونی

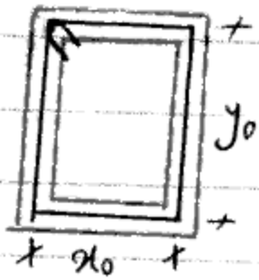
x_0 و y_0 بعد تا مرکز خاموت‌ها

خاموت قرمز رنگ اندازه‌ها را مرجع نداشته.



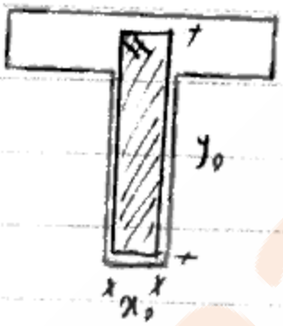
$A_{oh} = x_0 y_0$

$P_h = 2(x_0 + y_0)$



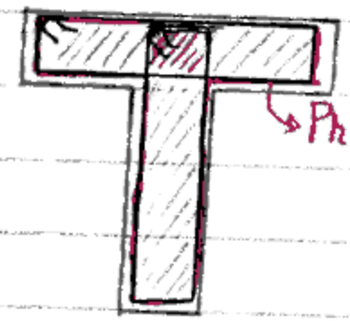
$A_{oh} = x_0 y_0$

$P_h = 2(x_0 + y_0)$



$A_{oh} = x_0 y_0$

اگر دو خاموت هم بسته شده باشند مثلاً 2 تا



A_{oh} = سطح قرمز − سطح سبز

مقدار A_{oh} همان است که برای A_t برآورد شده.

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

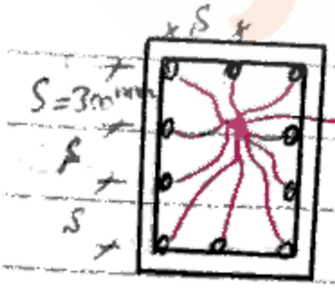
$T_u \leq \phi T_n \rightarrow T_u < \frac{1.7 \phi A_{oh} f_{yt} A_t}{s}$

محاسبه خاموت بسته پیرامونی

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

$\phi = 0.75$

* محاسبه فولادهای طولی پیرامونی



$S = 300\,mm$

A_l Longitudinal طولی

$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \cot^2\theta$, $\theta = 45$

P_h: محیط بیرونی‌ترین خاموت بسته پیرامونی

Jozvebama.ir

نکات آئین نامه‌ای

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

۲- حداقل $\Phi 10$

۳- فاصله حداکثر 300 mm باشد.

۴- میلگرد طولی پیچشی باید در جاسازی خمشی مورد استفاده قرار گیرد

۵- میلگرد طولی پیچشی می‌تواند به عنوان میلگرد جلدی یا کوشه نیز در تیرهای با ارتفاع زیاد مورد استفاده قرار گیرد.

* در پیچش میلگردهای طولی به کشش می‌افتند و تنش در اثر بارهای ثقلی در حال آمد و شد خواهند ایجاد می‌شود ص ۲۸۸ کتاب

نکات آئین نامه‌ای

۱- فاصله حداکثر خاموت پیچشی S_{max}

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

۲- میلگردهای طولی پیچشی حداقل

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

$A_{l,min}$ ص ۲۹۸ کتاب

$$A_{l,min} = \frac{5}{12} \frac{\sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{At}{S}\right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

۳- ترکیب برش و پیچش

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

خاموت بسته

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

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

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

A_T سطح مقطع هر دو ساقه خاموت بسته

EILIYA

Jozvebama.ir

ب - فاصله حداکثر خاموت برشی یا پیچشی

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

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

د - به عنوان حداقل خاموت برشی - پیچشی

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

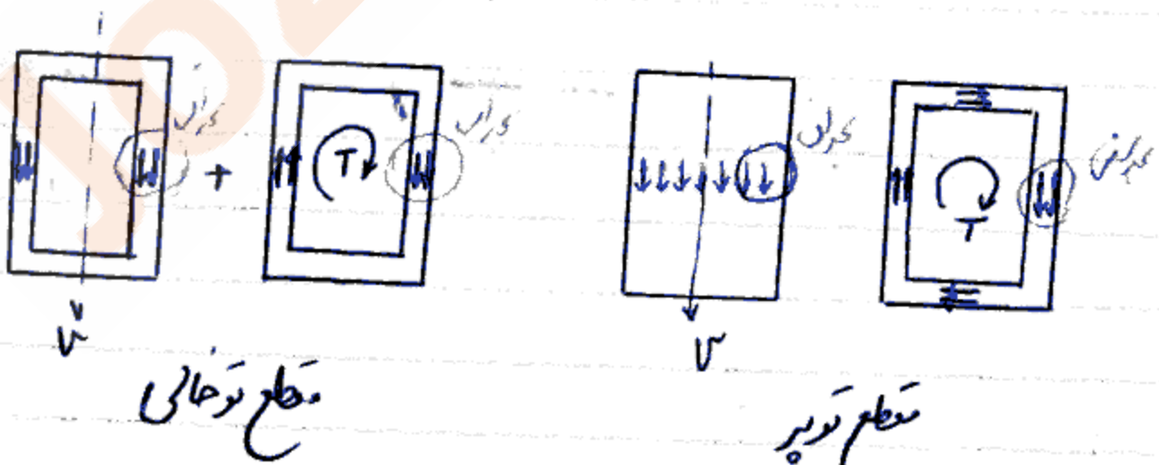
در پیچش خالص $2\left(\frac{A_t}{S}\right)_{min} =$ 4

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

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

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

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



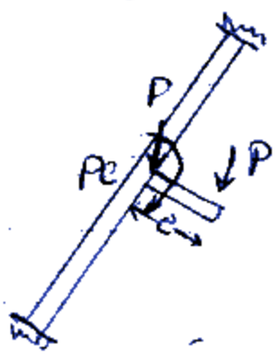
مقطع توخالی

مقطع توپر

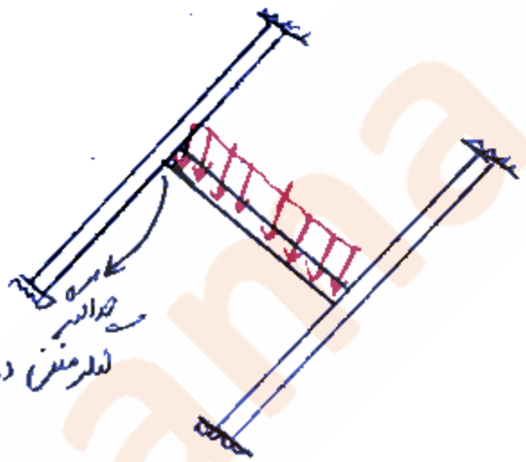
Jozvebama.ir

جلسه چهارم 26-3-89

پیچش
- تعادلی: در یک سازه معین و یا قسمتی معین سازه ایجاد می‌شود. مقدار این پیچش براساس معادلات تعادلی تعیین شده و مقدار آن کاملاً مشخص است.
- همسازی: در یک سازه نامعین ایجاد می‌شود و مقدار آن بستگی به سختی اعضاء و نکته‌ها داشته و براساس ترکیب معادلات تعادل و همسازی تعیین می‌شود.



تعادل



همسازی

تنش در این نقطه ϕT_{cr} است.

تنش ایجاد شده در سر راه سبب پیچش سر تیرهای اصلی می‌شود.

مشخص است که میزان تیر و اتصال آن به تیرهای اصلی بر دارای اهمیت است.

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

برای اولین ترک‌های پیچشی این اتصال شروع به چرخش می‌کند و دیگر تیر دارای

* این را دوباره بخوان: مقدار پیچش همسازی در سازه‌های بتن آرمه که دچار پیچش ناشی از ترک خمشی (ϕT_{cr}) محدود می‌شود. (مهم)

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

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} تنش شود. باید با تغییر دادن سختی پیچشی تیر این تنش ایجاد شود.

Jozvebama.ir

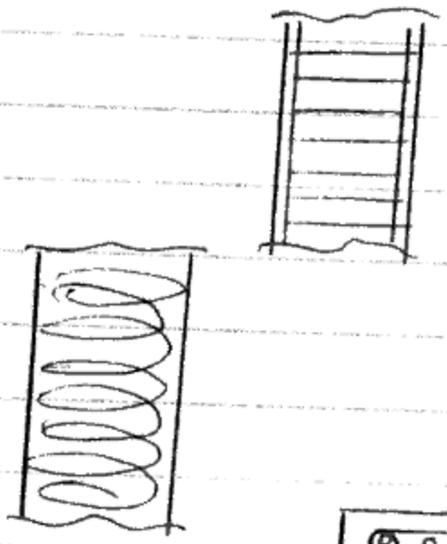
مقطعات فشاری { تحت فشار خالص / تحت فشار + خمش

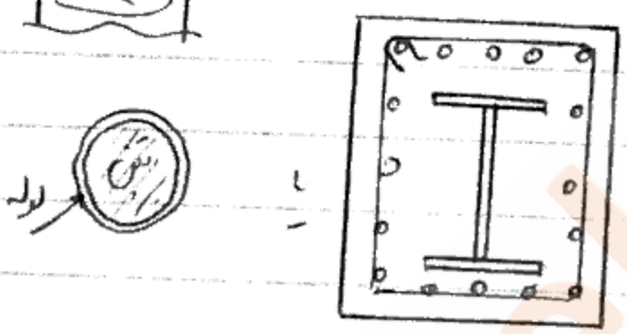
ستون ها - قوس ها - خرپاها که تحت آرند

۱- مقطعات فشاری با المان‌های طولی و حامد سخت

۲- مقطعات فشاری با المان‌های طولی و دورپیچ

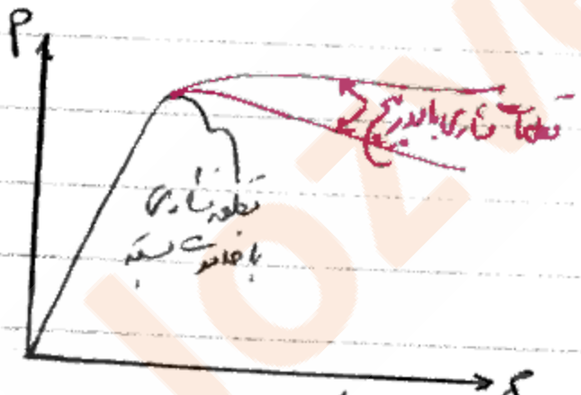
۳- مقطعات فشاری با مقطع مرکب





رفتار مقطعات فشاری

براساس منحنی بار - تغییرمکان



شکل بندری: جذب انرژی هنگام شکست ← سطح زیر منحنی بار - تغییرمکان

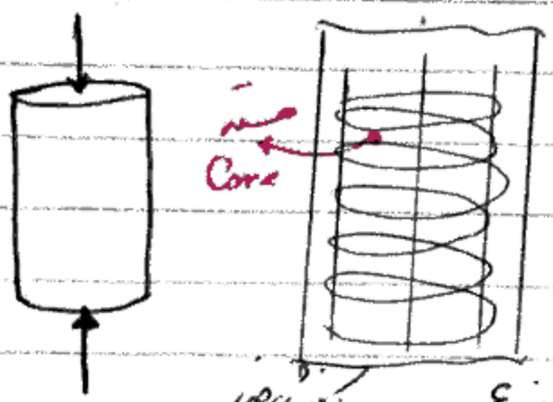
مقطعات فشاری با دورپیچ بسیار شکل پذیر عمل می‌کنند که این مسأله در هنگام عملکرد بارهای دینامیکی و ازجمله بار زلزله فوق العاده حائز اهمیت است.

اگر مقطعات فشاری با اعضای بسته طوری طراحی شوند که فواصل اعضای بسته به هم نزدیک باشند، شکل پذیری

از دست یافته در رفتار به مقطعات با دورپیچ نزدیک می‌شود.

Jozvebama.ir

علت ؟ (از دانستن شکل پذیری در انواع مقاطع)



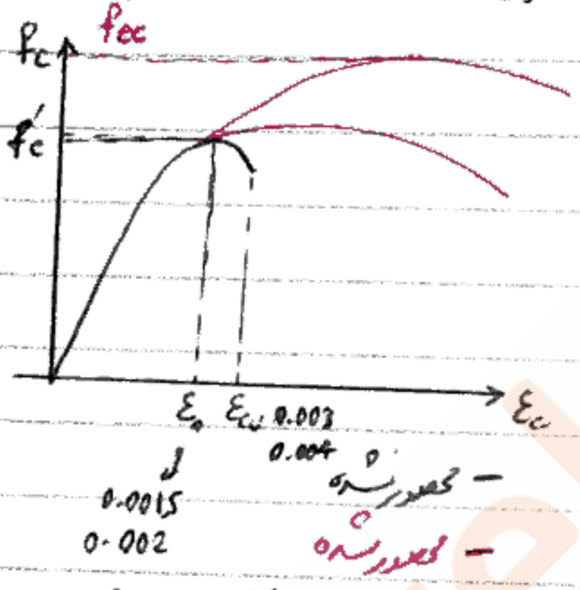
محصور شدگی بتن Confinement

جلوگیری از انبساط جانبی بتن

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

مثلاً محیط کردن یک لوله فلزی در استوانه

مقاومت‌های دوبعدی



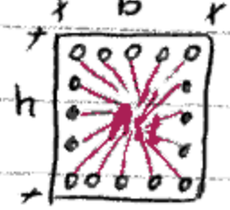
شکل پذیری مناسب: مقطع زیر محور بتن - کرنش

خاموت ۱۳۵° در قلب بتن رفته ولی خم معمولی در پوشش قرار دارد و با بتن پوشش دیگر بتن قرار ندارد.

نکات آئین نامه‌ای

الف - مقاومت‌های طول

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



۲- مقدار حداکثر مقاومت‌های طول

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

تقاطع

$\rho_t \leq 8\%$ (طراحانه ضوابط لرزه‌ای رعایت شود)

$\rho_t \leq 6\%$

Jozvebama.ir

- ضوابط حداکثر میلگرد طولی در جمع‌ها و لنج‌ها در محل وصله‌ها رعایت شود.

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

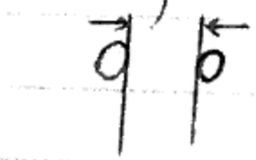
۳- حداقل میلگردهای طول

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

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

۴- فاصله آزاد بین میلگردهای طولی

$$\text{فاصله آزاد} \geq \max\{1.5db, 40mm\}$$



در تیرها: $\max\{db, 25mm\}$

ب- میلگردهای عرضی به صورت خاموت

۱- قطر

$\Phi_L \leq 32mm \Rightarrow \Phi_t \geq 10mm$ (قطر میلگرد طول / قطر میلگرد خاموت)

$\Phi_L > 32mm \Rightarrow \Phi_t \geq 13mm$

۲- فاصله خاموت S

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

۳- آرایش یا چیدمان Arrangment

میلگردهای عرضی به گونه‌ای در مقطع قرار داده شوند که:

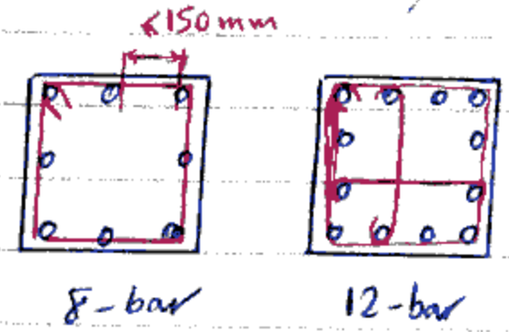
Jozvebama.ir

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

ii) سایر میلگردهای طولی حداقل بصورت یک در میان در گوشه تنگ یا قلاب داخلی قرار گیرند.

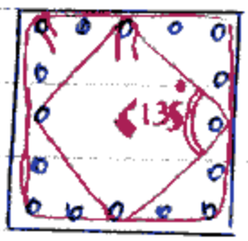
iii) فاصلهٔ آزاد هر میلگرد طولی خم‌دار واقع در گوشه فولاد عرضی از میلگرد طولی مجاور حداکثر 150 mm باشد.

iv) زاویهٔ داخلی خاموت از 135 بیشتر نشود.



8-bar

12-bar



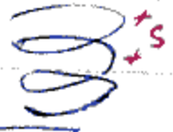
16-bar

ج- میلگردهای عرضی بصورت دورپیچ Spiral

۱- قطر min=10mm

۲- گام S (Pitch)

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



۳- از نظر میزان 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 $\frac{\pi h^2}{4}$

A_{ch}: سطح مقطع هسته $\frac{\pi D_c^2}{4}$

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

Jozvebama.ir

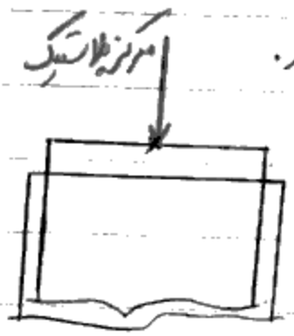
$$\left(\frac{A_{sp}}{s}\right)_{req} = \frac{D_c}{4} \times 0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

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 کند که در لحظه تسلیمی نهایی مقطع، همه اجزاء مقطع به طور همزمان به کرنش تسلیمی $\varepsilon_y = 0.003$ برسند.

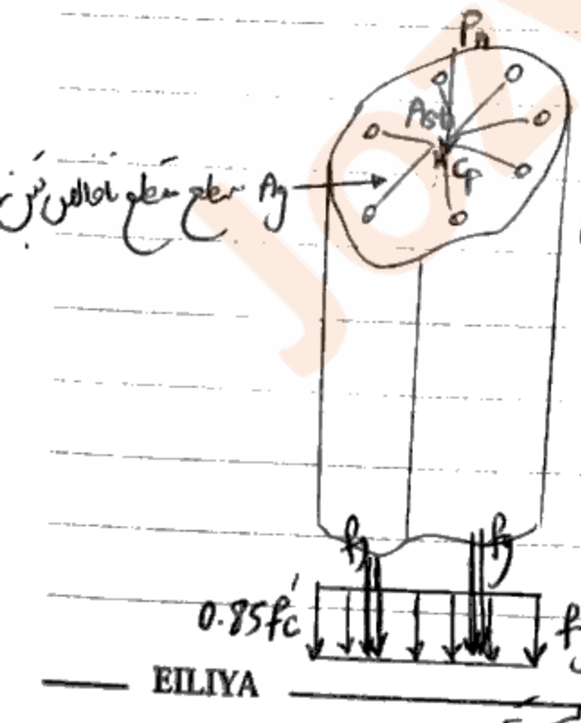


بارمحوری باید در نقطه تسلیمی نهایی محوری عمل کند.

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

P_{no} معادل P_o میشه

نکته: رعایت حداقل خروج از مرکزیت الزامی است.

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

به دلیل رعایت حداقل خروج از مرکزیت

حدود پیچ $0.85P_o$ ، بستن با طول $P_{n,max} = 0.8P_o$

Jozvebama.ir

شرط $P_u \leq \Phi P_{n,max}$

بارمحوری خالص

ضریب کاهش مقاومت: Φ

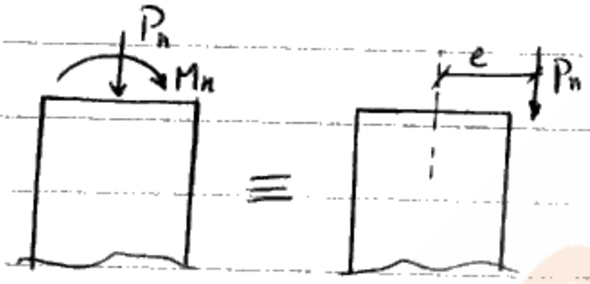
تحت بارمحوری خالص قطعاً مقطع CC در نتیجه

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

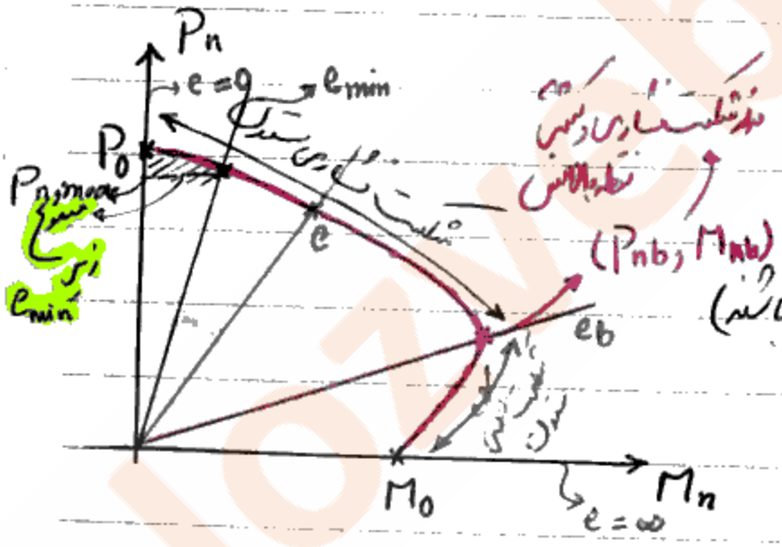
(در مقاطعی که در کل ستون در کشش به تسلیم برسد باشد)

شکست فشاری ستون

(یا مقاطعی که اصلا به کشش نیافتد یا اگر بیافتد به تسلیم نرسد)

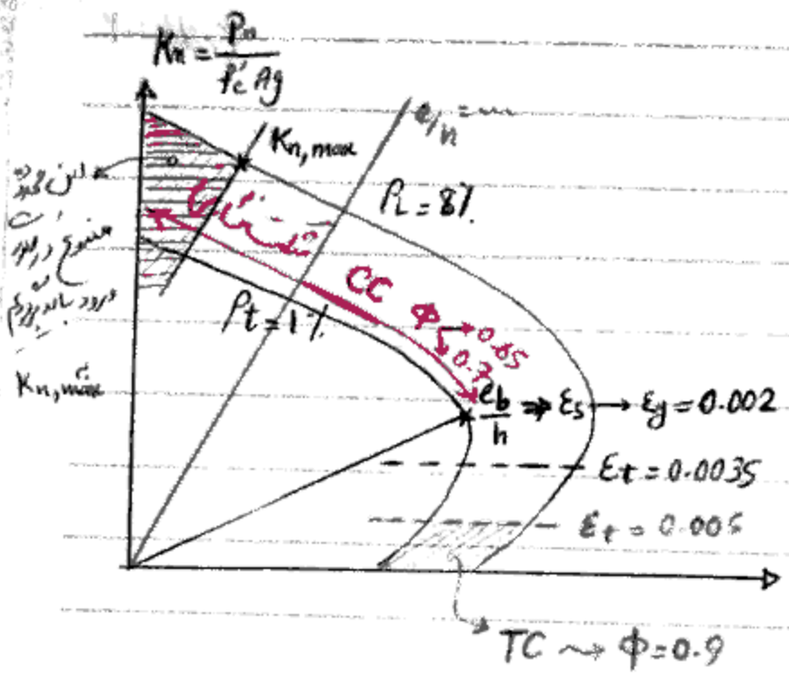
هر خطی که از مبدا مختصات منحنی را قطع کند

Carg $\frac{b}{h} = e$



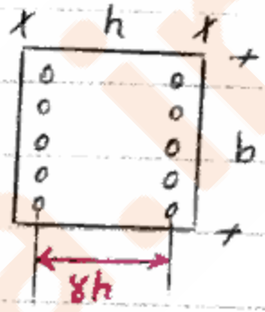
Jozvebama.ir

منحنی‌های طراحی ستون با محوری بدون بعد



محور قائم تابعی از P_n بدون بعد

محور افقی تابعی از M_n بدون بعد



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

برای تعیین ϕ از آن‌ها

۱- اگر در ناحیه شکست فشاری واقع شدیم $\phi = 0.65 - 0.7$

۲- اگر در ناحیه شکست کششی $\varepsilon_t > 0.005 \leftarrow \phi = 0.9$

۳- اگر در ناحیه شکست گذار $0.002 < \varepsilon_t < 0.005$

با درآیت خطی ε_t خوانده شده و از فرمول

$\phi = 0.483 + 83.3\,\varepsilon_t$ ~ ناحیه

$\phi = 0.567 + 66.7\,\varepsilon_t$ ~ دورپیچ

استفاده از نمودارهای ستون‌ها

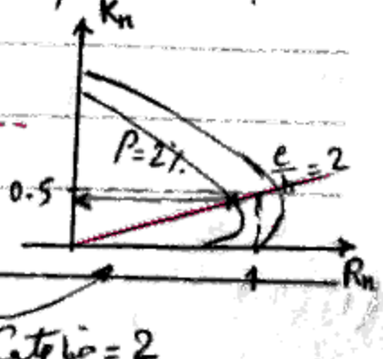
۱- برای آنالیز

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

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

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

$K_n = \frac{P_n}{f'_c A_g} \rightarrow P_n = \cdots$ از نمودار $\phi = \cdots$ تعیین $\rightarrow P_u = \phi P_n$



مثلا $\frac{e}{h} = 2$ ← Cat خط = 2

Jozvebama.ir

۲- طراحی

P_u = ... معلوم M_u = ... معلوم

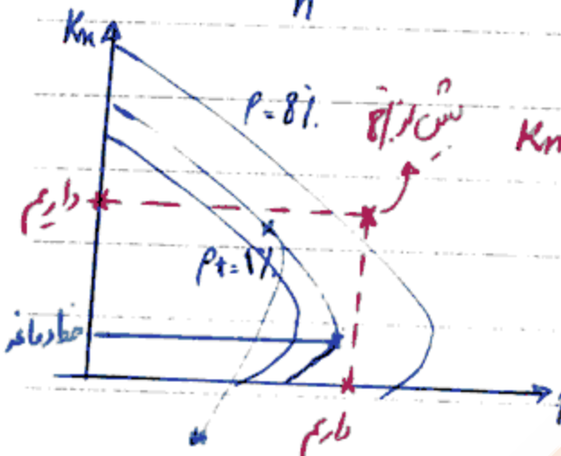
b, h, A_{st} = مجهول

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

ابتدا h باید حدس زده شود

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

$\gamma = \frac{d-d'}{h}$, f'_c = ... , f_y = ... → از مشخصات طرح گرفته می‌شود



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

شروع می‌شود $\phi = 0.65$ تقریباً

برای حدس ϕ (کد اشتا $\frac{c}{h}$ رسم می‌شود) اگر بالای دماغه بود $\phi = 0.65$

نمودار انتخاب می‌شود.

بیش از ۱٪ فولاد در سطح بعدی اعداد نزدیک‌تر انتخاب می‌شود.

اگر در منطقه شکست → ϕ ثابت

اگر در منطقه کشش → ϕ را اصلاح کرده، K_n و R_n اصلاح می‌شود

دوباره کنترل می‌کنیم

مقادیر CC و TC داخل است اگر بالای خط $\phi = 0.65$ و اگر زیر خط دماغه است از نمودارهای مشخص شده

ϕ به دست آمد.

پیوست ۱ کتاب جداول

۱- برای ستون‌های مستطیل با فولادگذاری در ۲ وجه مطابق نمودار خمش

شکل پ ۱-۱

شکل پ ۱-۱۶

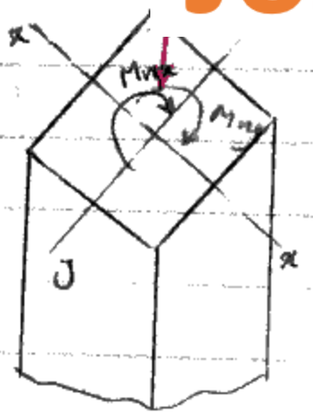
۲- برای ستون‌های مستطیل با فولادگذاری در ۴ وجه متقارن شکل پ ۱-۱۷ تا پ ۱-۲۳

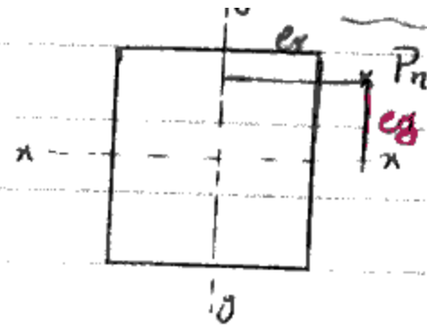
(پیوست ۲ کتاب بتن آبا)

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

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

Jozvebama.ir





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

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

۱- روش کلادس بار ← آنالیز

۲- روش منفی های هم بار ← طراحی

۳- روش برکزیت معادل ← آنالیز و طراحی

روش اول

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

P_n : e_y و e_x بار محوری تحت خروج از برکزیت

P_{nx} $\begin{cases} e_x = 0 \\ e_y = \text{---} \end{cases}$ بار محوری در حالت

P_{ny} $\begin{cases} e_x = \text{---} \\ e_y = 0 \end{cases}$ بار محوری در حالت

روش سوم ← روش ساده طراحی - [redacted]

صفحه 526 کتاب

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

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

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

دو کنجی

P_n, e_x, e_y ← P_n, e_{ox} یک کنجی

P_n, e_{oy}

x بعد کوچک — y بعد بزرگ

محدودیت این روش :

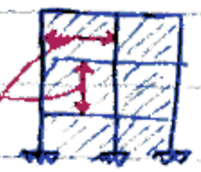
اگر $\frac{P_u}{f'_c A_g} \leq 0.4 \rightarrow \alpha = (0.5 + \frac{P_u}{f'_c A_g}) \frac{f_y + 250}{700} \rightarrow 0.6$

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

Jozvebama.ir

دیوارهای بتن آرمه

انواع دیوارهای بتن آرمه



۱- دیوارهای محیطی متصل به قاب Panel wall

۲- دیوارهای محیطی جدا شده از قاب Curtain wall

در این حالت قبل است ولی بار دیوارها به قاب منتقل نشده و فقط نقش جاپایی محسوب می‌شود.

۳- دیوارهای جداکننده یا تیغه‌ها Partition wall

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

۵- دیوارهای زیرزمین ← Basement wall ← اگر دیوار حائل در قاب قرار گرفته باشد بنام دیوار زیرزمین خوانده می‌شود.

۶- دیوار برشی دیوارهای قدرتمندی که هم نقش بار ثقلی حاصل از زلزله و هم نیروی ناشی از زلزله را تحمل می‌کنند.

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

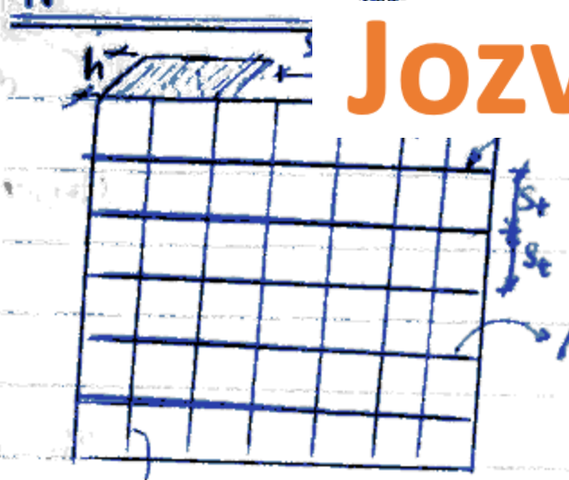
ضوابط عمومی دیوارهای بتن آرمه (همه دیوارها اعم از باربر و غیرباربر)

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

در دیوارهای بتنی پیش ساخته که حداقل ضخامت آن تا 50 mm قابل کاهش می‌باشد.

تکیه‌گاههای جانبی تیرها و ستونها هستند $\frac{1}{30}$ ی تیغه فاصله آنها

Jozvebama.ir



۲- در مورد حداقل آرماتور [illegible]

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 صاف 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 در جهت 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 صاف یا آجدار به صورت شبکه جوش شده و با قطر حداکثر ۱۶ میلیمتر

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

A_{SH} یا A_{SV} EILIYA

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

A_{SV} برابر ۲ برابر سطح مقطع یک میلگرد داخل حلقه است و S_l یا S_t فاصله دو لایه میلگرد A_{SH} ، A_{SV} مجموع سطح مقطع در فاصله

Jozvebama.ir

۳- حداکثر فاصله 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)

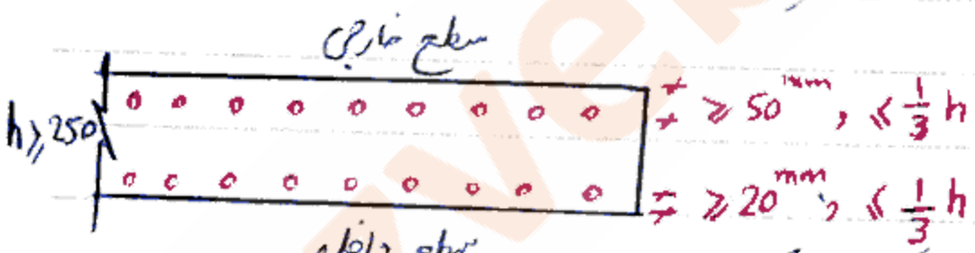
$$S_{max} = \min \left\{ 3h \, , \, 450\,mm \right\}$$

۴- در دیوارهای با ضخامت حداقل 250^{mm} (غیر دیوارهای نوع سوم)

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 فاصله حداقل ۵۰ سانتیمتر و حداکثر برابر با $\frac{1}{3}$ ضخامت دیوار ← این لایه در سطح خارجی دیوار قرار می‌گیرد.

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



اگر دیوار خاک شیب دیوار باشد میلگردهای یک وجه به فشار 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 ($\rho_l \leq 0.01$) و یا اگر میلگردهای قائم به عنوان میلگردهای فشاری محدود بیار نباشد، لازم نیست میلگردهای قائم توسط خاموتهای جانبی احاطه شوند.

Jozvebama.ir

۶- حداقل پوشش بتن روی میلگرد ها:

الف- برای بتن درجاس باخاک یا درمجاورت هوای آزاد

برای میلگردهای حدکثر Φ36 ← min Cover 20mm

برای میلگردهای بزرگتر از Φ36 ← min Cover 40mm

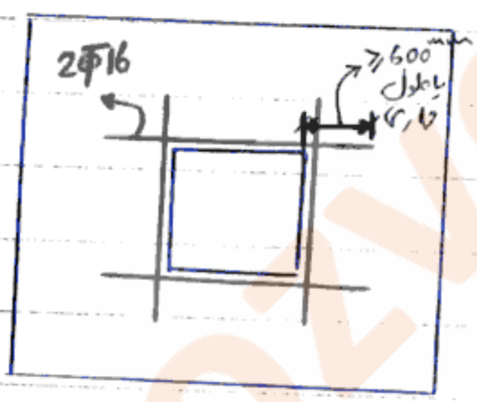
ب- برای بتن که درجاس باخاک یا درمجاورت هوای آزاد نباشد.

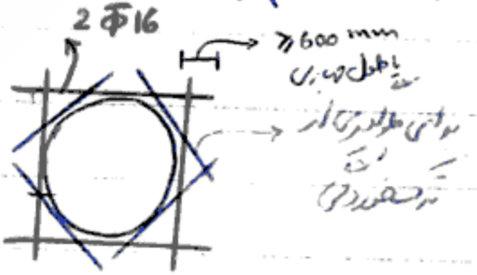
برای میلگردهای حدکثر Φ36 ← min Cover 15mm

برای میلگردهای بزرگتر از Φ36 ← min Cover 30mm

۷- اگر در دیوار بازشو (opening) داشته باشیم

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





* صفحه 650 تا 652 کتاب

طراحی دیوارهای باربر تحت فشار

الف- روش تجربی

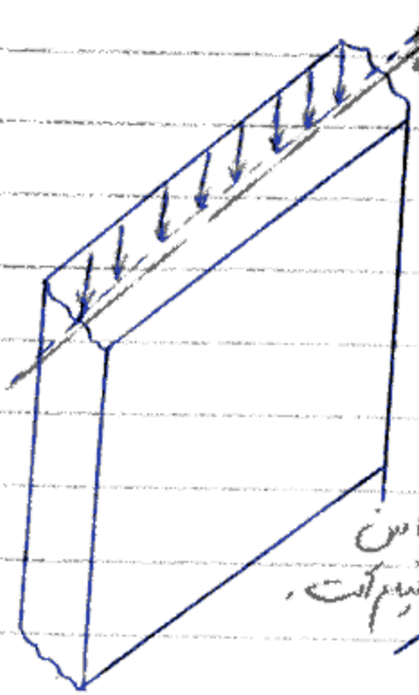
ب- مشابه ستونها و با در نظر گرفتن لاغری

ج- روش UBC

از کتاب خوانده شود همراه با مثال

Jozvebama.ir

روش تجربی ← دیوارهای باربر



خاصیت دیوار است که $e = \frac{h}{6}$ باشد.

کم بوده و

مقاومت باربری

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

$P_u \leq \phi P_n$ ← فقط باید مقاومت دیوار تأمین شود و مطمئن شویم که

باربری با ضخامت دیوار

ϕ: ضریب کاهش مقاومت

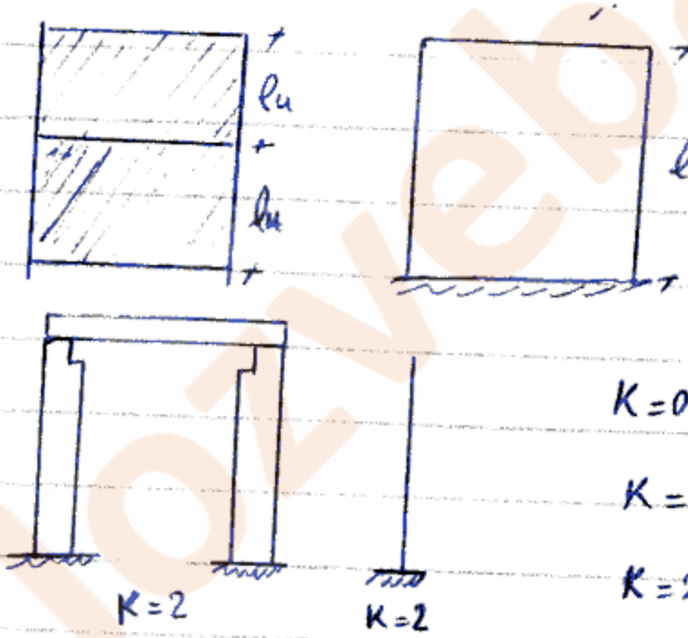
$\phi = 0.65$

جنس دیوار تحت فشار کنترل می‌شود.

(CC)

A_g: سطح مقطع ناخالص دیوار

l_u: فاصله تمام بین تکیه‌گاه‌های دیوار (آنرا برابر ارتفاع دیوار است)



K: ضریب طول موثر دیوار

الف- براساس اینکه آیا انتهای دیوار در بالا و پائین در مقابل انتقال جانبی مهار شده باشد یا خیر

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

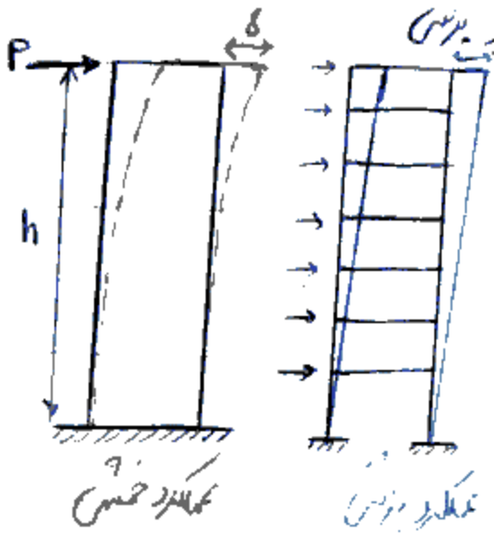
نکته: آنچه از روش تجربی در طراحی دیوار استفاده شود.

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

مثال ۱۸-۱ کتاب

Jozvebama.ir

عناصر مقاوم در مقابل بارجانبی:
۱- دیوارهای برشی ← عملکرد خمشی
۲- قاب خمشی ← عملکرد برشی
۳- سیستم‌های مهاربندی



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

دیوار برشی ← بدنه‌ی قابل توجهی از بعد دهانه‌ی جانبی داخل دیوار می‌باشد و این علت ناقلندی آن است.

$\delta = \frac{Ph^3}{3EI}$ ← تغییر شکل با توان ۳ است. با افزایش h زیاد می‌شود

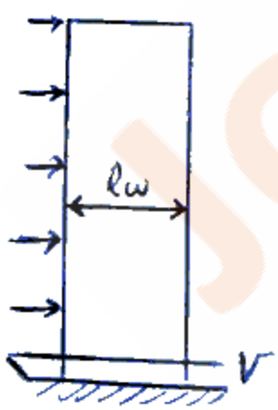
* عملکرد مرکب قاب دیوار برشی Frame and Shearwall Interaction

در طبقات پائین قاب دیوار برشی را حمل می‌دهد و اجازه تغییر شکل زیادی نمی‌دهد و در طبقات بالا عکس این است
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

الف - در مقابل برش ✓

ب - در مقابل خمش (و بارگذاری) ✓



نیروی برشی در تراز i ام: F_i

در پایه $V = \sum F_i$

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

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

ظرفیت برشی اسمی دیوار

Jozvebama.ir

~~$V_c = \frac{1}{6}$~~

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

* تعیین V_c

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

۱- روش ساده ←

الف- اگر دیوار تحت برش و نیروی فشاری باشد.

ب- اگر دیوار تحت برش و نیروی کششی (N_u) باشد. $V_c = \left(1 + \frac{0.3N_u}{A_g}\right)\frac{\sqrt{f'_c}}{6} hd$

N_u: در کمترین حالت منظور می‌شود.

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

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

N_u: در کمترین حالت منظور می‌شود.

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

* اگر صورت 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

Jozvebama.ir

$V_n = V_c + V_s$

* تعیین V_s

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

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

سطح مقطع آرماتور مورد نیاز

برای طراحی فولادهای عرضی (افقی)

* طراحی فولادهای برشی افقی (عرضی)

نکات ۱) اگر $V_u \leq \phi V_c$

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 تیرها $V_s \leq 4V_c$

$V_n \leq 5V_c$

$V_u \leq 5\phi V_c$

نکات آئین نامه‌ای فولادهای برشی در دیوارهای برشی

۱- حداقل فولادهای برشی افقی

$\rho_{t,min} = 0.0025$

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

۲- فاصلهٔ حداکثر فولادهای برشی افقی

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

۳- فولادهای برشی قائم (ρ_l: ارتفاع دیوار h_w، طول دیوار l_w)

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

$\rho_l \leq \rho_t$ درصد لازم نسبت فولادهای برشی قائم از فولادهای برشی افقی بیشتر در نظر گرفته شود.

Jozvebama.ir

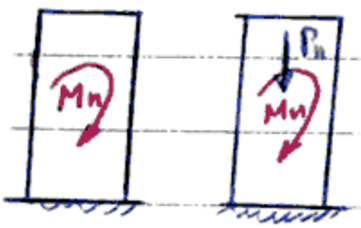
۴- فاصله حداکثر فولادهای برشی عرضی

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

۵- اگر ϕV_c کافی باشد و نیازی به فولاد برشی محاسباتی نباشد.

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

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

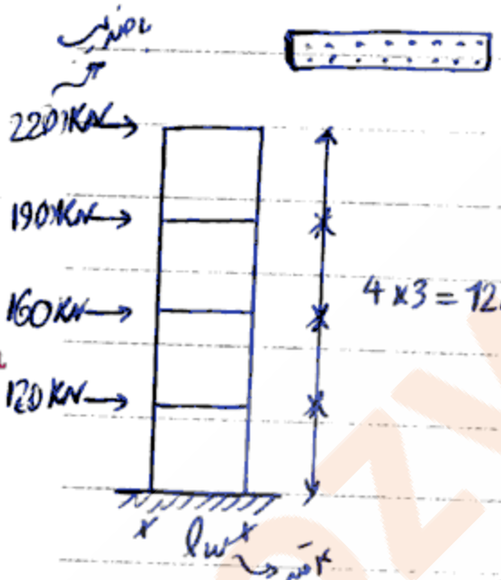


ب- طراحی دیوار برشی با عناصر مرزی

مشابه ستون‌ها — مشابه تیرها

(i) مشابه ستون‌ها با فولادگذاری در ۲ وجه موازی محدود خمشی

(ii) مشابه ستون‌ها با فولادگذاری در ۴ وجه مقطع



مثال: هدف: طراحی دیوار برشی

$f'_c = 25\,MPa$

$f_y = 400\,MPa$

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

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

فرض کنیم: عرض بازبر دیوار ۸ متر باشد

$h = 250\,mm$

ضمناً با رفتاری دیوار ناشی از زلزله به صورت $P_u = 5000\,KN$ در پائین‌ترین تراز دیوار

$V_u = 690\,KN$

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

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

$1.2D + 1.0L + (1.4E$ یا $1.0E)$

برای کشورهایی که با زلزله 1.4E

برای بهره برداری

برای کشورهایی که با زلزله 1E

برای تراز مقاومت

یا $P_u = 5146\,KN$

Jozvebama.ir

$V_u > \phi V_c$

ol: $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\, b d = 666.7\ KN$

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

(افقی)

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

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

Try $\Phi 10$ $\quad 2\Phi10 = 157\ mm^2$

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

$\rightsquigarrow S = 250\ mm < S_{max}$ O.K.

$$S_{max} = \{750, 800, 500\}$$

USE $2\Phi10$ @ $250\ mm$

طراحی میلگردهای قائم دیوار برشی

$$\rho_l = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_t - 0.0025)$$

$\rho_t = 0.0025 \rightarrow \rho_l = 0.0025$

USE $2\Phi10$ @ $250\ mm$

$M_u = 5670\ KN.m$

$P_u = 5146\ KN$

طراحی خمشی دیوار:

از میلگرد نامتقارن متقارن در دو وجه ستون استفاده شود.

از آیین‌نامه ACI 19 بند 19-1-ب

$f'_c = 21\ MPa$
$f_y = 420\ MPa \rightarrow$ کنار $f'_c = 28\ MPa$
$\gamma = 0.8$

ستون یا بر خطی

و میلگردهای خمشی محاسبه می‌شود

Jozvebama.ir

دیوارهای برشی بتن

Concreate shear wall

مقدمه

- بارهای دینامیکی (و به خصوص بارهای زلزله)

شکل پذیری سازه و اجزای سازه ای

انتظارات از شکل پذیری سازه

۱- جذب انرژی با رفتار خوب — Energy Absorption

۲- قابلیت استهلاک و هدر دادن انرژی — Energy Dissipation

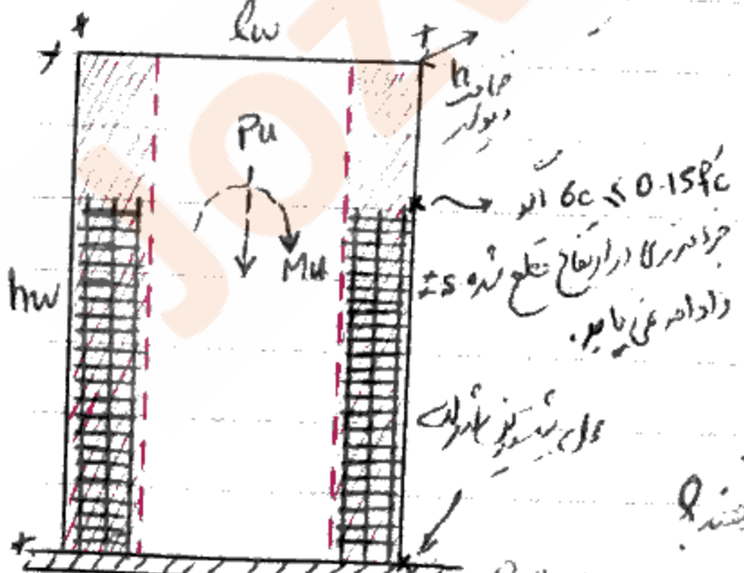
در تکیه ← سازه شکل پذیر شکلهای متفاوت با تغییر شکلهای زیاد و در مدت زمان طولانی تر

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.

اجزای مرزی دیوار Boundary Elements

جهت شکل پذیر کردن دیوار برشی ویژه لازم است مقاومت کداری خمشی در اجزای مرزی را تأمین نمود.



- قسمتهایی از دو طرف دیوار

- قسمتهایی از دو طرف کلیه بازشوهای دیوار

۱- ضرورت بکارگیری اجزای مرزی؟

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

۳- اجزای مرزی چه خواصی از دیوار را تأمین می کنند؟

۴- چه ضوابطی در مورد اجزای مرزی وجود دارد؟

الف- مقاومت کداری (خمشی)

ب- مقاومت کداری طولی

Jozvebama.ir

۵- مراحل طراحی دیوار برشی

۶- دیوارها در طول ارتفاع خود چه تغییراتی می‌کنند؟

۱-

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

Stress Based Method

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

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

کنترل تنش متوسط بالای دیوار

با فرض رفتار الاستیک کامل

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

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

$$Ag = lw \times h$$

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

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

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

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

اگر $c > \frac{lw}{600(\delta u / hw)}$ ← در این صورت استفاده از خاموتی در دیوار برشی ضروری

* این روش فقط وقتی قابل استفاده است که دیوار برشی بطور مؤثر در ارتفاع طبقات بوده و فقط در انتهای متقاطع کنترلی طراحی شده باشد.

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

$\varepsilon_{cu} = 0.003$

$a = \beta_1 c$

$0.85f'_c$

دیاگرام تنش

متقاطع دیوار با سایر اعضای سازه

دیوار برشی با بال کشیده

EILIYA

* در c، ε_{mbs} مشخص می‌شود.

Jozvebama.ir

در آنالیز دستی مقطع

در آنالیز کامپیوتری ← تمام افزایش‌ها را مشخص می‌کند.

* بیشترین مقداری که از ترکیبات بارگذاری بدست می‌آید، مبنای طراحی قرار می‌گیرد.

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 هندسی توجه می‌کند)

آنالیز P-Δ

به جهت رعایت حدود تغییر شکل قابل استفاده می‌باشد مقاطع کمتر ترک خورده

تیرها $0.35 I_g$

ستون‌ها $0.7 I_g$

$\Delta_M = 0.7 R \Delta_w$

دیوار ترک خورده $0.35 I_g$

دیوار ترک نخورده $0.7 I_g$

آنالیز الاستیک خطی

- P-Δ مورد توجه قرار می‌گیرد.
- ترک خوردگی اعضا مورد توجه قرار می‌گیرد.

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

* محاسبه شود در آنالیز الاستیک $\delta_u = 0.7 R \times$ (ارتجاعی ترکیب)

δ_u تغییر مکان واقعی کل در تراز بالای دیوار می‌باشد

Jozvebama.ir

۲- ...

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

M_u و V_u نظیر ضعیف‌ترین و نیروی بیشتر با فرض در مقطع بحرانی

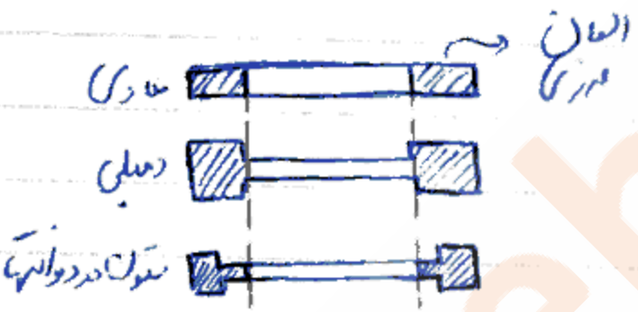
۳- عرض جزء مرزی

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

در صد دورمیز

c: عمق تار خنثی

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



بیشترین حالت عدد

کردن دیل ۲۵ کاهش

دیوار برشی طره‌ای نیاز

باید آزاد در یک جهت داشته باشیم

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

دیوار حذف نمی‌شود.

* حدود زدن طول لازم برای دیوارهای برشی

$V_u \leq \phi V_c$ ← به منظور نیازی برشی نیاز نیست

$V_u \leq 5\phi V_c$ ← به جهت جلوگیری از تسلیح عرضی برشی

$V_u < 3\phi V_c$ حالت ایده‌آل

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

h حدود $0.8 l_w$ ← تنها عضو ل

که حاصل می‌شود.

Jozvebama.ir

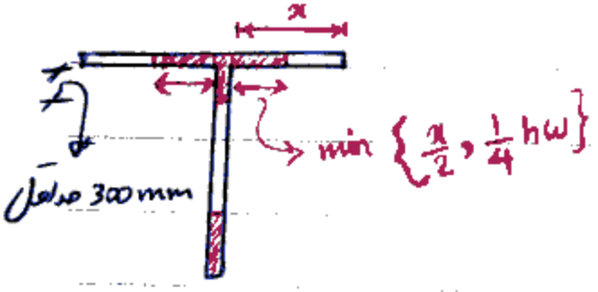
بولی بدست آمد

ابتدا ضریب را 0.7 در نظر داده و کنترل و در این انجام می شود اگر دیوار ترک خورده بود

باید ضریب را 0.35 در نظر داده

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

نکته: اگر ۲ دیوار برشی متعامد داشته باشیم:



حداقل فاصله تا لبه باید حداقل 300 mm در جان نفوذ کند

hw: ارتفاع کل دیوار

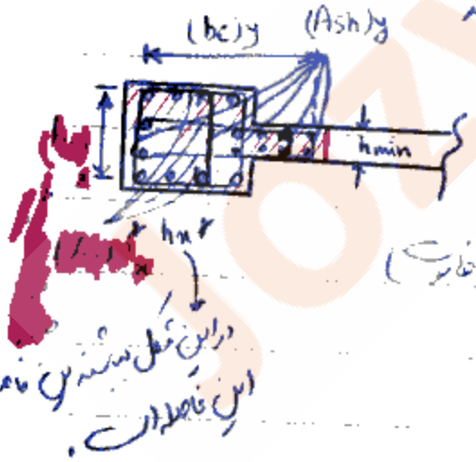
۴- مسلح کردن دیره

* خاموت گذاری و فولادگذاری عرضی در خرپ مرزی

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

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

فولادگذاری عرضی دیره حداقل به اندازه ذکر شده باید در هر دو جهت خرپ مرزی کنترل شود.



f_{yt} ← تنش تسلیم مسلح‌های عرضی

b_c ← عرض هسته خرپ مرزی در راستای محور بر A_{sh} (محور با مرکز خاموت)

S ← فاصله مسلح‌های عرضی (فاصله خاموت‌ها یا قلاب‌ها)

A_{sh} ← سطح مقطع شاخه‌های خاموت یا قلاب در جهت عمود بر b_c

حداکثر فاصله خاموت‌های عرضی در خرپ مرزی: $S \leq \min\{\frac{1}{4}h_{min}, 6\phi_L, S_o\}$

h_{min} ← کوچکترین بعد خرپ مرزی

ϕ_L ← قطر بزرگترین میلگرد طولی در خرپ مرزی

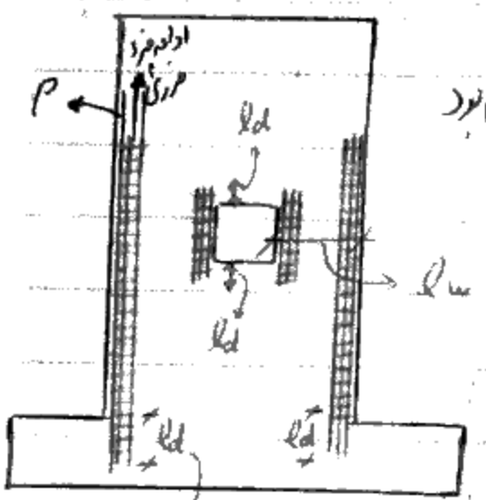
$100\,mm \leq S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \leq 150\,mm$ ← حداکثر فاصله شاخه‌های قلاب یا خاموت در دیوار برشی خرپ مرزی

EILIYA

Jozvebama.ir

نکته: در جائی که ... باید در طول عمودی ...

مشکلات طولی ادامه داده شود. مگر در جائیکه خاموت فنری به فونداسیون بسته شده و یا در دیوار متصل شود که در این حالت لازم است فولاد گذاری ویژه به اندازه ۳۰۰ میلیمتر در جا ادامه یابد.



پاس نبود → آنوقی دیوار فنری بود

خاموت فنری

آنوقی در فونداسیون بسته شده یا در دیوار

$= 300\ mm$

جلسه هفتم 30-9-89

۵- ضوابط فولاد گذاری عرضی در خارج از خاموت فنری (در ادامه خاموت فنری)

در ادامه خاموت فنری هم باید یک خاموت حداقل قرار داده شود ولی لازم نیست ضوابط سخت خاموت های فشرده خاموت فنری در این قسمت رعایت گردد.

ص ۷۰ کتاب

۱- اگر درصد فولادهای طولی در محدوده خاموت فنری در این قسمت از $\frac{2.8}{F_y}$ بیشتر باشد، فولادهای عرضی در این قسمت با رعایت $S_{max}=200\ mm$ قرار داده می شود، در غیر اینصورت در اینحالت نیاز به فولاد عرضی نیست.

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

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

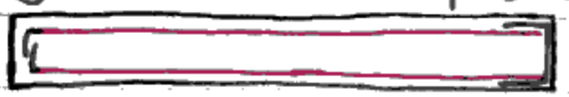
Jozvebama.ir

۲- درصد تبدیل f'_c در ضابطه خمشی

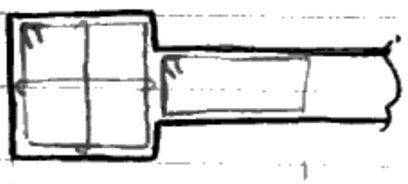
به یک فلاب استاندارد منتهی شوند و یا لازم است فولادهای طولی دیوار در داخل تنه‌های لاشکل با قطر و فاصله‌ای معادل فولادهای افقی دیوار قرار گیرند.

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

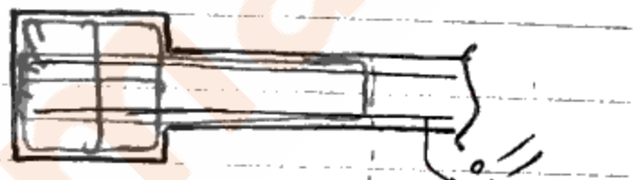
① روش اول ② روش دوم



نمایل نامناسب برای خاتمت گذاری ویژه در خمشی مرزی دیوار شکل



غلط

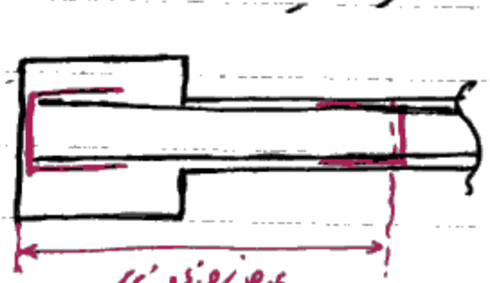


صحیح

آرماتورهای کششی خم انتهایی لازم نیست.

عرض خمشی مرزی

آنرشته این نمایل را اجرا کرد



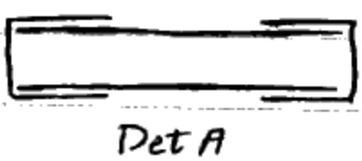
جا انداختن

عرض خمشی مرزی

صحیح

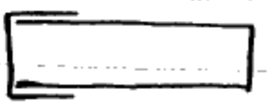
میلگردهای طولی قرار داد و دوسرآنها را لا گذاشت.

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



Det A

هر ۳ آنها صحیح هستند.



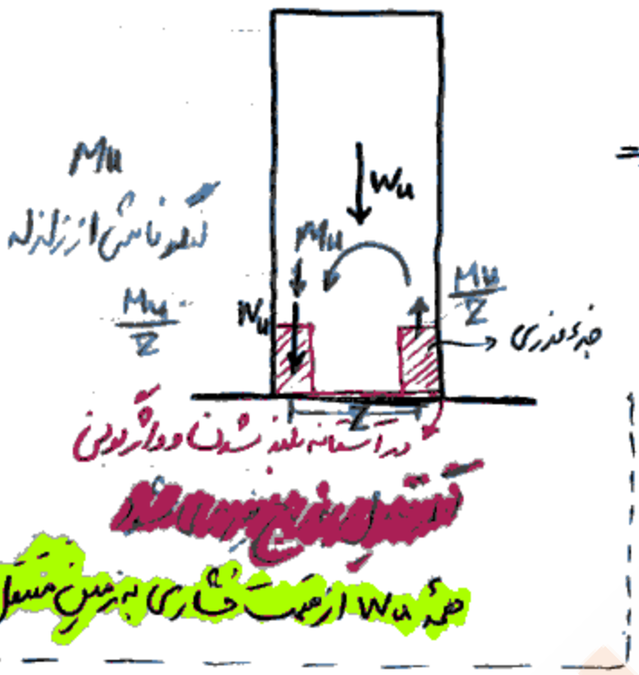
Detc

Det B

Jozvebama.ir

۶- ضوابط جداکل فولا

ACI : فولادهای طولی در جزء مرزی باید طوری قرار داده شوند که در مقابل تمام بارهای ثقلی بالغزیب شامل وزن دیوار و بار ضربه بار بر آن مقاوم باشند، بعلاوه باید تنگ‌بندهای قائمی که برای جهان نگهداری آرماتورهای ایجاد می‌شوند را نیز حمل کنند باشند.



طراحی دیوار در مقابل ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری

$\Rightarrow$ فشار در جزء مرزی یک سمت دیوار $= \frac{Wu}{2} + \frac{Mu}{Z} = Pu = Cu$

کشش در جزء مرزی طرف مقابل دیوار $= \frac{Mu}{Z} - \frac{Wu}{2} = P'u = Tu$

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

$\rightarrow A_{s1} = \frac{P'u}{\phi f_y}$ ($\phi = 0.9$) کنترل با کشش

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

$P_{n,max} = 0.8 P_o$, $P_u \leq \phi P_{n,max}$ ($\phi = 0.65$) کنترل با فشار

$\rightarrow A_{s2} = \cdots$

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

فولادگذاری برشی در دیوارهای برشی ویژه

(دیوار برشی که جزء مرزی داشته باشد)

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

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

Jozvebama.ir

$V_n = A_{cv}$

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

ρ_t: درصد فولادهای افقی دیوار به سطح مقطع نمودیران

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

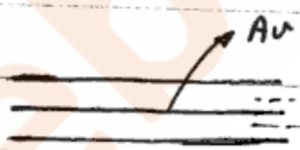
تفسیر رابطه آئین نامه‌ای فوق

$V_n = V_c + V_s$

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

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

V_s: $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$



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

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

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

مثال: در دیوار برشی ویژه با ارتفاع ۶ متر و طول ۶ متر و ضخامت ۳۰۰ میلیمتر نیروی برشی پایه $V_u = 2000$ kN وارد می‌شود. فولادگذاری برشی آن را انجام دهید.

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

$f_y = 400$ Mpa

$f'_c = 30$ Mpa

$V_u \le \phi V_n \rightarrow V_n = \frac{V_u}{\phi} = 2667$ KN $\quad A_{cv} = 300 \times 6000 = 18 \times 10^5$ mm^2

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

Jozvebama.ir

1) $P_t \geq$

2) اگر $\frac{h_w}{l_w} \leq 2 \rightarrow P_l \geq P_t$

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 حداقل باید در ۲ لایه بکار رود.

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

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

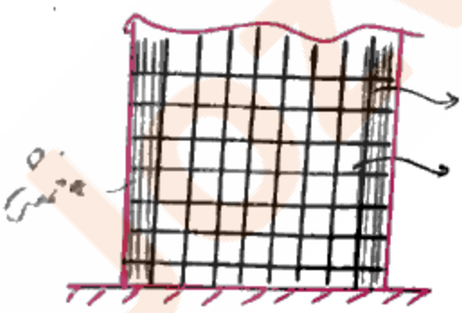
$P_t = 0.0014 < 0.0025 \rightarrow USE\ P_t = 0.0025$

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

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

نزدیک صفحه 686 کتاب $P_l = .0025 + 0.5\,(2.5 - \frac{h_w}{l_w})(P_t - 0.0025) \geq 0.0025$

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



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

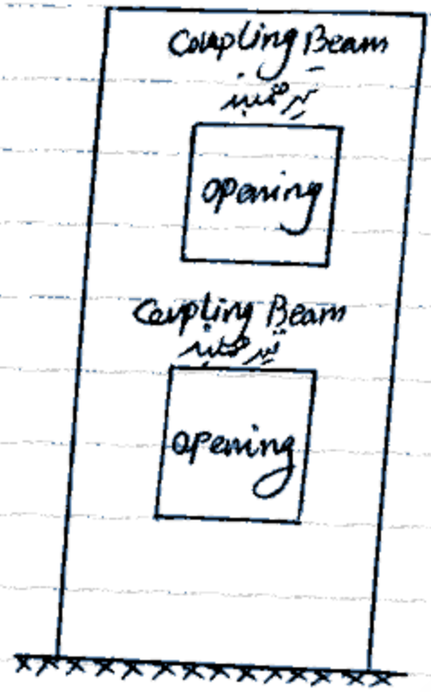
Jozvebama.ir

برای جلوگیری از [illegible]

هیچگاه نباید آن برشی بزرگتر از ϕV_c به دیوار وارد کرد.

$V_u = (1.5-2)\phi V_c$ یعنی طول دیوار برشی

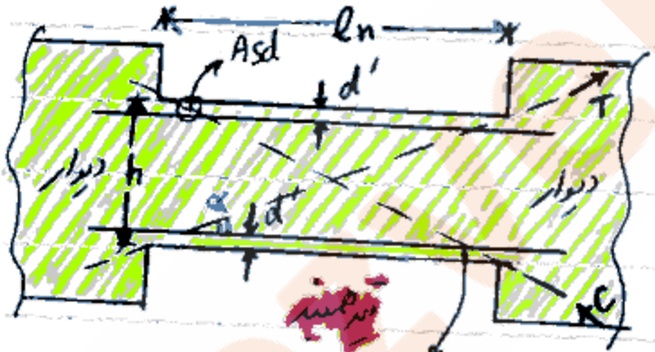
تیرهای همبند در دیوارهای برشی



* اگر این تیر نقش خود را بخوبی ایفا نکند بدین معنی است که پای دیوار اصلی 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 متوجه کند. اگر این تیرها خوب طراحی شده باشند و تا آخر لنگه دوام بیاورند عملکرد دیوار بصورت کامل صورت می پذیرد.

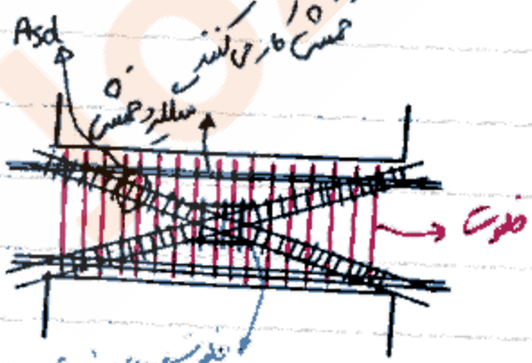
از صفحه ۷۱۰ کتاب



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

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

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



آرماتور تیر ۹۰ سانتیمتر بیشتر نباید از ارتفاع تیر هم امتداد است.

Jozvebama.ir

ACI

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

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

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

طراحی مسلح‌های قطری

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

A_{sd} : مساحت ۴ عدد مسلح‌ها یکی در میان

طراحی خاموت‌ها در مسلح‌های قطری

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

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

b_c : بعد هسته محصور در خاموت شاخه‌ها

A_{ch} : سطح مقطع هسته مسلح‌های قطری

A_g : سطح مقطع ناخالص تیر بتنی قطری

مسلح‌های قسمت تیر مانند تیر معمول محاسبه می‌شود و خاموت‌های محدوده هم مانند تیر معمول برشی بدست می‌آید.

در ناحیه میانی فقط ۴ مسلح صدا تعلق و تعدادی خاموت جانبی در آن قرار داده می‌شود

جلد 1 ص ۹-۵ ، فصل ۱۸ جلد ۲