

# « سازه های بتن آرمه 1 »

Subject:

Year: Month: Day: ( )

page: ( 1 )

\* مر فصل دروس:

- خصوصیات مصالح در بتن آرمه

- روش های طراحی

- طراحی مقاطع تحت کشش

- طراحی مقاطع تحت نیروی برش

- طراحی مقاطع تحت نیروی محوری

- طراحی مقاطع تحت اندک کش نیروی محوری و اندک خمش

\* ارزشیابی:

- میانگین 7 نمره (12 از 10)

- پایانی ترم 11 نمره

- فعالیت های طلایی 2+1 نمره

\* منابع:

14 - ACT 318

- مبحث 9 مقررات ملی ساختمان (1392)

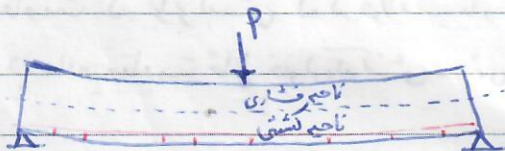
- آیین نامه بتن ایران (آبا)

⊖ سازه های بتن آرمه - جلد اول - دکتر مسعودی نژاد

- بتن: یک سنگ ساخته شده است به روشی که از مقاومت فشاری قابل قبول و مقاومت کششی

خفگی پایین (حدود 10٪ مقاومت فشاری) بنابراین برای جبران ضعف ناشی از کشش آرمه 15

بتن مسلح ابداع گردید.



تار کششی

20



تشنش بتن

تشنش فولاد

25

اگرچه ابروی اولیه در ابداع بتن مسلح و آندازی نقش مقاومت در مقابل تنش کششی به فولاد بوده ولی با این وجود فولاد می تواند به عنوان یک عنصر کمکی در تحمل فشار نیز به بتن کمک کند.  
استاندارد از فولاد آری در مقاطع

5 \* بازگاری بتن و فولاد:

الف) نزدیک بودن ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد { فولاد  $\alpha_s = 12 \times 10^{-6}$  (1/ج) بتن  $\alpha_c = 11 \text{ تا } 13 \times 10^{-6}$  (1/ج) }

ب) پیوستگی بسیار خوب بین بتن و فولاد به واسطه چسبندگی شیمیایی بین دو ماده و برآمدگی های آج میگذرد. در حقیقت همانند یک جسم واحد عمل می کند. 10

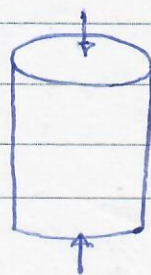
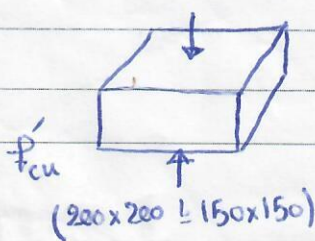
ج) فولاد به راحتی در معرض خوردگی شیمیایی قرار دارد. در حالی که بتن نفوذ ناپذیری قابل قبولی دارد و محافظ خوبی برای خوردگی فولاد است. همچنین خیمه سیان یک محیط قلیایی است و می توان به عنوان یک سپر محافظ در برابر خوردگی فولاد به کار رود.

د) مقاومت در برابر آتش که در فولاد بسیار پایین و در بتن مقاومت خوبی دارد. ترکیب این دو ماده مقاومت قابل قبولی در آتش سوزی دارد. 15

20 \* مقاومت فشاری تک محوره ی بتن (معتبرین خصوصیت رفتاری بتن):

\* رده بندی بتن مابر  
الاس مقاومت فشاری

$$f'_c < f'_{cu}$$



25

\* رده بندی بتن ها بر اساس مقاومت فشاری :

$f'_c < 20 \text{ mpa}$  بتن با مقاومت پائین Low strength Concrete

$20 < f'_c < 40$  بتن با مقاومت فشاری معمولی یا متوسط medium or ordinary strength

$40 < f'_c < 80$  بتن با مقاومت فشاری بالا High ....

5  $80 < f'_c < 150$  " " " Very ....

$f'_c > 150$  " فوق العاده زیاد Ultra ....

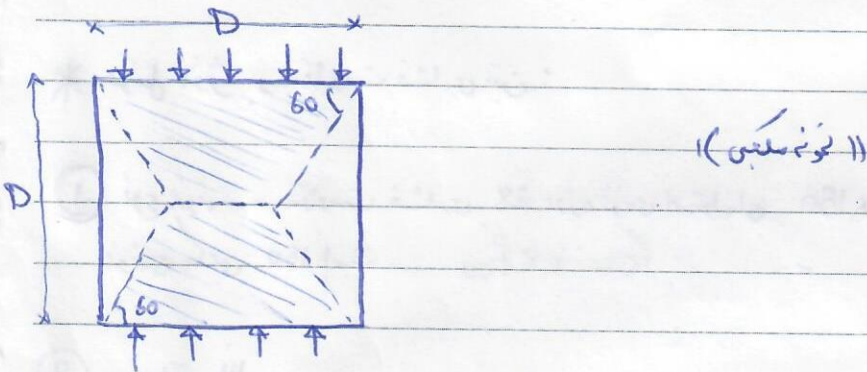
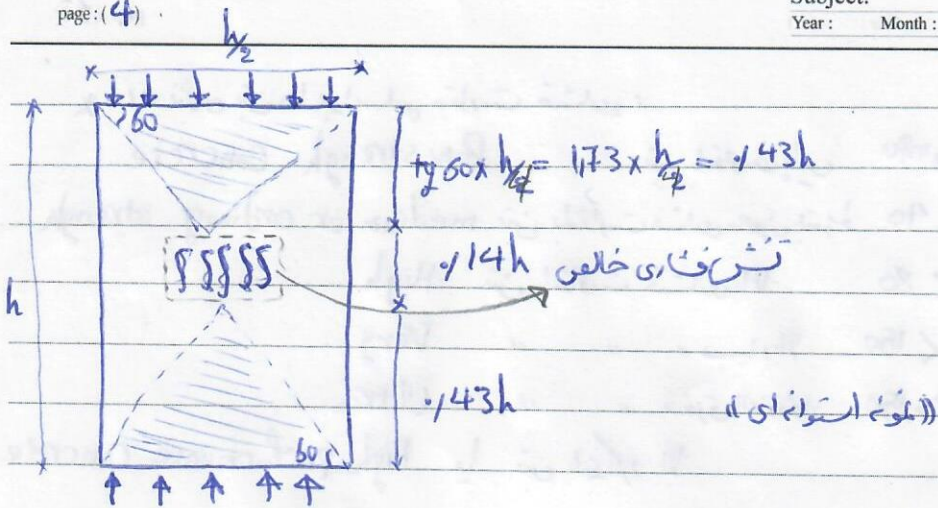
High performance Concrete یا بتن با عملکرد بالا

10 \* عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری بتن :

(1) نوع نمونه - مقاومت فشاری 28 روزه نمونه ای  $300 \times 150$  در حدود 80٪ تغییر نمونه ای مکتبی 150 است.  $f'_c \approx 0.8 f'_{cu}$

15 (2) همبسته بالا " " " " " 83٪ " " " " 200 است.

علت اصلی تفاوت در مقاومت نمونه های استوانه ای و مکعبی ، تفاوت نسبت ابعاد و ایجاد تنش های برشی بین صفحات فولادی اعمال بار و سطح نمونه به دلیل تفاوت در مدل الاستیک و ضریب پواسون (v) بتن و فولاد است. در صفحه ای بعد توضیح داده شده است.



\* برای نمونه‌هایی با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر از 1.73 ناحیه‌ای در وسط نمونه بدون تأثیر تنش‌های جانبی تحت تأثیر تنش خالص فشاری قرار دارد.

+ تفاوت در جهت بتن‌ریزی و جهت آرماسیور نیز در مقاومت نمونه‌ی مکعبی تأثیرگذار است.

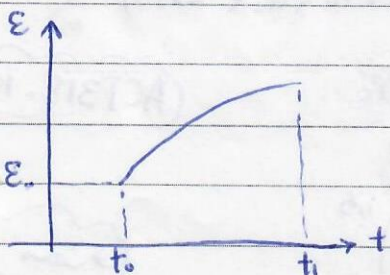
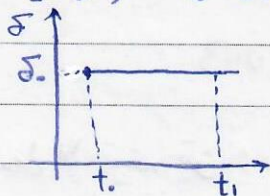
(2) اندازه‌ی نمونه و در محدوده‌ی ابعاد متداول نمونه‌ها، هر چه اندازه‌ی نمونه بزرگتر شود مقاومت فشاری آن کاهش می‌یابد.

| 300x600 | 200x400 | 150x300 | 75x150 | 50x100 | مؤثری استوانه ای                         |
|---------|---------|---------|--------|--------|------------------------------------------|
| 1.91    | 1.96    | 1       | 1.06   | 1.09   | نسبت مقاومت به مؤثر استاندارد<br>150x150 |

علت ناشی از سندان احتمالات در رابطه با وجود ضعف در بتن مؤثر می باشد. هرچه که ابعاد مؤثر بزرگتر شود، احتمال وجود نقاط ضعف در آن بیشتر شده و در نتیجه مقاومت مؤثر کاهش می یابد. البته اگر ابعاد از حد متداول بیشتر شود، توزیع نقاط ضعف بصورت یکپارچگی در مؤثر می شود و در نتیجه با افزایش بُعد مؤثر کاهش مقاومت مشاهده نمی شود.

3) سرعت بارگذاری: (میزان افزایش تنش در واحد زمان) هرچه سرعت اعمال تنش بالا آید، بتن از خود مقاومت بیشتری نشان می دهد. علت پدیده ی خزش است. در حقیقت هرچه سرعت بارگذاری کمتر باشد، خزش بیشتری اتفاق می افتد و بنابراین تحت سطح مشخصی از تنش، کرنش های بیشتری بیشتری اتفاق می افتد که موجب شکست مؤثر تحت تنش کمتری می شود.

15 \* پدیده ی خزش: تغییر شکل ماده تحت تنش ثابت در طول زمان را خزش گویند.



کرنش ناشی از خزش

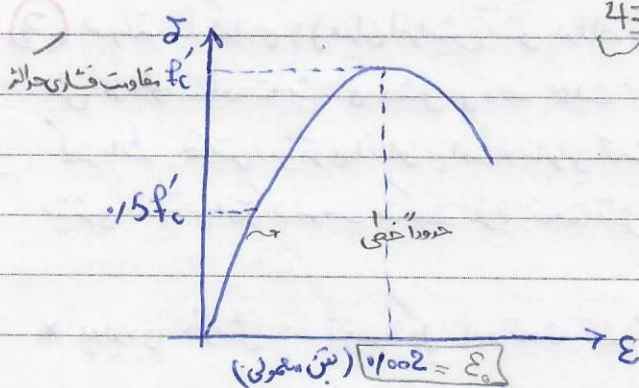
کرنش الاستیک

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

## 4- عوامل مرتباً بانواع و درجه مصالح بتن و نحوه مراقبت

- الف) نوع سیمان
- ب) نسبت آب به سیمان ( $\frac{W}{C}$ )
- ج) مواد پرکننده و روان کننده
- د) شرایط مراقبت از بتن
- ه) خصوصیات نگهدارنده

10- مشخصات کرنش بتن 43



$$E_{cu} = 0.003 \text{ کرنش نهایی تغییر شکل } (\frac{0.0015}{0.002})$$

\* مدول الاستیته بتن :

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f'_c} \quad (1440 < W_c < 2560) \quad \frac{Kg}{m^3}$$

فشاری

if  $W_c = 2300 \frac{Kg}{m^3} \rightarrow E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$

ACT318-14

$$E_c = (3300 \sqrt{f'_c} + 6900) \times \left( \frac{W_c}{23} \right)^{1.5}$$

MPa      MPa

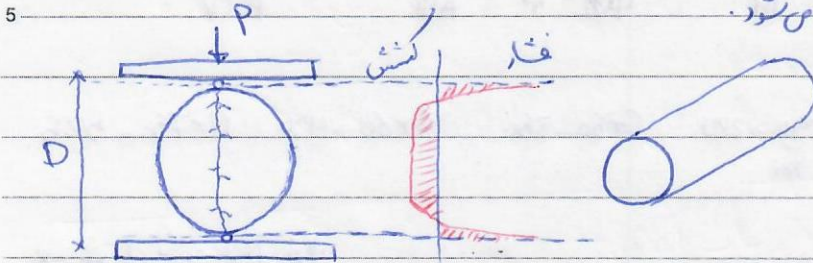
مبحث 9

نظام مشخص ابعاد →  $W_c = 2460 \frac{Kg}{m^3}$

وزن مخصوص

52

\* مقاومت کششی تک محوره  $(f_{ct})$ : مقاومت کششی بتن  $(f_{ct})$  در محدوده 15 تا 8 درصد مقاومت فشاری آن متغیر است. دلیل کمتر بودن مقاومت کششی بتن نسبت به مقاومت فشاری وجود ترک های فراوان در بتن حتی قبل از شروع آزمایش است. چنین ترک های در فشار ابتدا بسته و مشکل برای باربری فشاری ایجاد نمی کند اما در کشش مانع از انتقال تنش کششی شده و منجر به گسیختگی زودرس می شود.



53

آزمایش برینلی  
 آزمایش شکافت استوانه - شکافت کششی  
 برای سنجش مقاومت کششی بتن تحت کشش خالص

بارورده در نقطه شکست  $f_{ct} = \frac{2P}{\pi l D}$   
 طول نمونه  $(300 \text{ mm})$   
 قطر استوانه  $150 \text{ mm}$

\* ارتباط بین مقاومت کششی و فشاری:

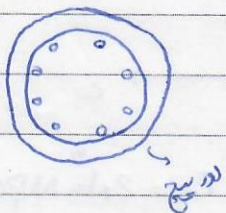
- برای بتن با مقاومت کم  $10$  تا  $11$  درصد

مقاومت متوسط  $8$  تا  $9$  درصد

مقاومت بالا  $7$  درصد

$f_{ct} = 1.56 \sqrt{f_{c'}}$  (ACI-318-14)  $\rightarrow$   $f_{c'}$  مقاومت فشاری حراکت

\* میلگرد های فولادی مسلح گسترده: سازه  $\leftarrow$  قطعه در دورپیچ ستون ها مجاز است (آیین نامه)  $\leftarrow$  آج دار



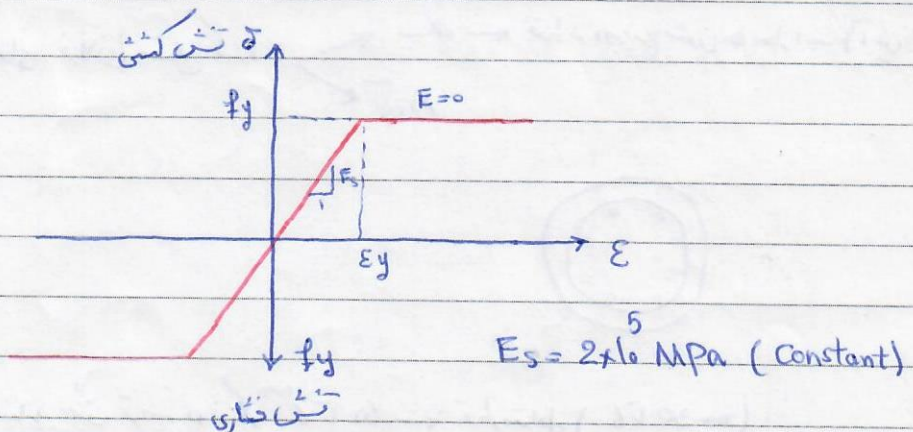
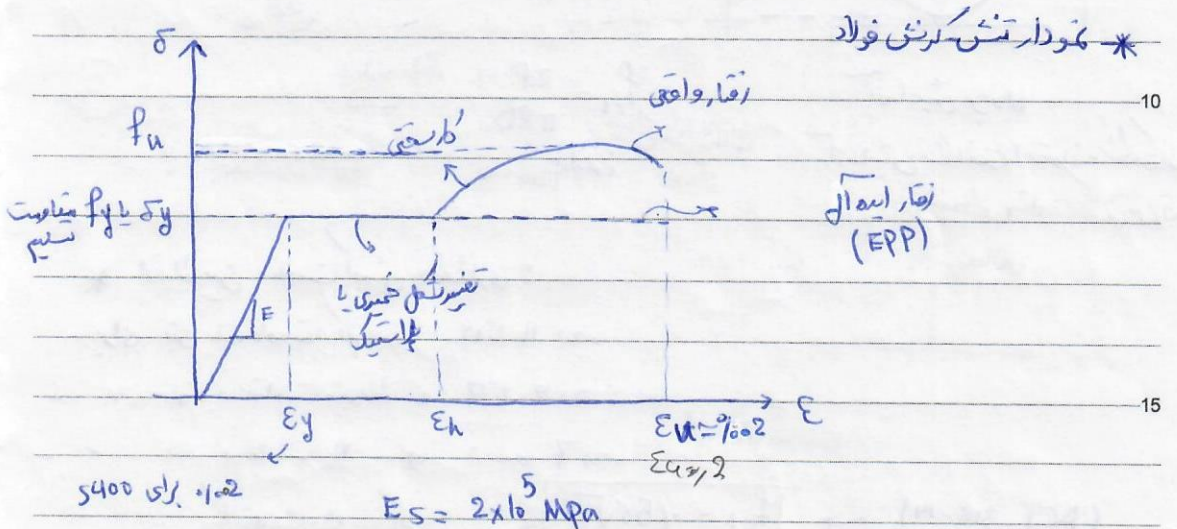
- قطر استاندارد طبق ترمیم یونسکو  $6$  تا  $60 \text{ mm}$   $\leftarrow$  قطر متداول  $(6$  تا  $30 \text{ mm})$

\* راه بنی میگرد بر اساس مقاومت تسلیم مشخصه :

(MPa) S500 S400 S350 S220 آیین نامه ایران (مبحث 9)

AIV AIII AII AI استاندارد روس

انالات مشخصه Gr75 → 525 Gr60 → 420 Gr50 → 350 Gr40 → 280 Ksi



$$-f_y < f_s = 200000 \epsilon_s < f_y$$

تنش تسلیم زیر بار

4. " " " " " رای افت و حرارت استخارم شود S220 است (AT)

5

فِي

بِعَوْنِ

قَعْلًا مِثْلَهُ

أَجْرًا

\* روش های طراحی و ترکیبات بارگذاری :  
هرف از طراحی سازه باید مخصوص سازه ای تأمین اینجای کافی و رعایت اقتصادی باشد.

\* عوامل عدم قطعیت در ارزیابی امنیت سازه :

۱- شش بینی (فوق بارهای دورد بر سازه و همچنین توزیع آن ها امکان پذیر نیست (مافیت احتمالی بار)

2- مقاومت مصالح معرفی نیز ماهیت احتمالی دارد و پیش بینی مقابله تسلیح مصالح بر اساس

15 پرسش های آماری و تکنیک های احتمالی صورت می گیرد.

3- تحلیل سازه براساس فرضیات و تئوری های صورت می گیرد که ممکن است در عمل بصورت کاملی قرار نگیرد

4. جزئیات اجرایی کارهای و خطاهای انسانی بصورت کامل با آنجه طراحی می شود تطبیق ندارد.

سازمان باید شرایط بارگذاری را تا حدودی دست بالا و مقاومت اجزا را تا حدودی دست پائین در نظر

گرفت تا ضربت اطمینان کافی در برابر شرایط محیطی فراهم شود.

\* روش های طراحی و ترکیبات بارگذاری: ۱۱۷

(allowable stress design) (ASD) روش تنش مجاز

قبل از سال 1956 ← تنها روش در ACI-318

ترکیبات بارانزی : بارانزی درونی شش مجاز براس بارانی ۵۰ بیرون غریب است ۲۵

D + L

## Soroush

$$(D+L+E) \rightarrow$$
$$.775(D+L+E)$$

33 امار افغانو ته

\* نکته: در باره‌ی یام باید گفت 33 البرز

2- تحلیل سازه ← تعیین تنش ها بر اساس تحلیل الاستیک خطی انجام می گیرد.

3- تعیین تنش مجاز ←  $SF = 1.5$  تا  $2.5$   
(Factor of Safety)

$$\text{تنش مجاز} = \frac{\text{مقاومت مصالح}}{S.F.} \quad 5$$

(allowable stress)

118  
\* روش طرح مقاومت (طرح مقاومت نهایی) ultimate strength design

مقدمه: مقاومت طراحی عضو در هر مقطع بیشتر یا مساوی مقاومت لازم تحت ترکیب بار ضریب دلالت

$$\begin{aligned} (U) \text{ مقاومت مورد نیاز} &\geq \text{مقاومت طراحی} \\ (\phi) \text{ ضریب کاهش} \times \text{مقاومت اسمی} &= \text{مقاومت طراحی} \end{aligned}$$

روش طرح مقاومت یکی از روش های طراحی حالات حدی می باشد

\* بارگذاری با بارهای فریب دار:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.4D \\ 1.2D + 1.6L \\ 1.2D + L + E \\ 0.9D + E \end{array} \right.$$

\* مقاومت اسمی: مقاومت یک عضو بر اساس فرضیات و معادلات مقاومت مبتنی بر روش طرح مقاومت که در آن از ضریب کاهش مقاومت استفاده می شود.

\*  $U$  مقاومت مورد نیاز باشد که از تحلیل سازه تحت بارهای بارش تعیین شود

مقاومت مورد نیاز  $\phi S_n \geq U \rightarrow$

مقاومت اسمی  $\phi S_n$

ضریب کاهش  $\phi$  LRFD

- \* منشا  $\phi$  :
- 1- احتمال مقاومت کمتر از محضو بر اساس تغییرات ممکن در مقاومت مصالح
  - 2- دقیق نبودن معادلات طراحی
  - 3- درجه شل پذیری و قابلیت اعتماد صور نیاز در محضو تحت بار
  - 4- اهمیت عضو در سازه

10

$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$\phi V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 0.75$$

$$\phi T_n \geq T_u \rightarrow \phi = 0.75$$

$$\phi P_n \geq P_u \rightarrow \phi = 0.9$$

مقطع تحت کشش

فشار کشش

بار دوربج  $\phi = 0.75$

بدون دوربج  $\phi = 0.65$

15

+ شرایط بهره برداری (کنترل خیز - عرض ترک - ارتعاش سازه) تحت بارهای بدون ضریب کنترل می شود.

16

\* روش حالات حدی : این روش مبتنی بر احتمالات است و در آن احتمال شکست سازه را با برآورد کمتری از مقاومت ( $R$ ) و تخمین بالایی از بار ( $S$ ) کاهش می دهد. و در حقیقت باید این اطمینان حاصل شود که  $R \geq S$  است.

در طرف راست نامعادله تأثیرات هر بار را بطور جداگانه در نظر می گیرند.

$$\alpha S_n = \alpha_D S_{nD} + \alpha_L S_{nL} + \alpha_E S_{nE}$$

$$R_r \geq \text{effect of } [\alpha S_n]$$

- الف) بتن نهجا  $\phi_c = 165$   
 ب) بتن پیش ساخته  $\phi_c = 170$   
 ج) فولاد مسلح کمره  $\phi_s = 185$

5

\* حالات حرجی نهجایی: حالاتی است که گذر از آن باعث ناپایداری بخش یا تمام اجزای سازه شود.

- عاشر از بین اوقن تعادل استاتیکی تمام یا قسمتی از ساقچان  
 10- مکانیزم تمام یا بخشی از ساقچان و حصول تغییر شکل های بیش از حد  
 - از دست اوقن پایداری تمام یا بخشی از ساقچان

\* حالات حرجی بهره برداری: حالاتی که گذر از آن ها قابلیت بهره برداری مناسب از بنا را از بین می برد که بر اساس بارهای بیرون ضریب بدست می آید.

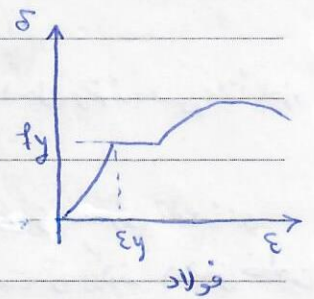
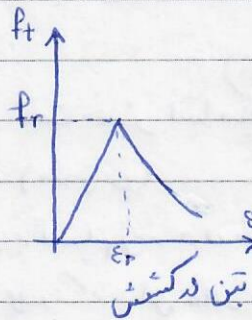
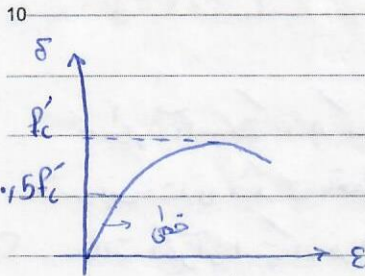
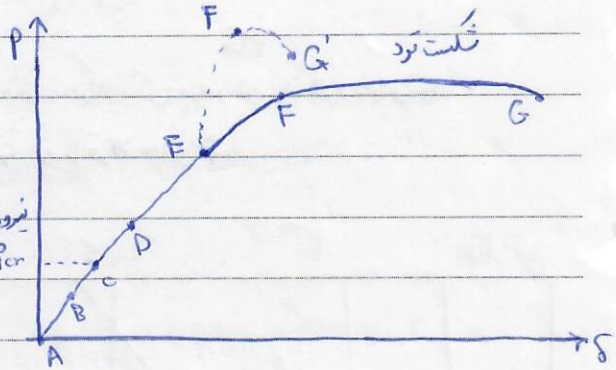
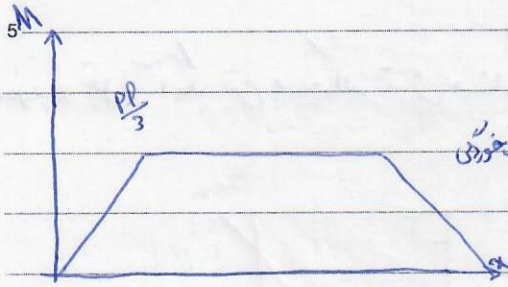
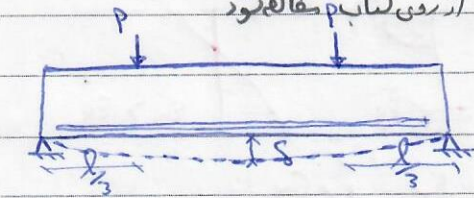
15

- تغییر شکل بیشتر از حد اجزای سقف که منجر به آسیب رساندن به سقف ها یا اجزای سقف به سقف می شود.  
 - ترک خوردگی بیش از حد (ظاهر نامناسب و خطر زنگ زدگی میلگرد ها)  
 - لغزش بیش از حد ساقچان تحت اثر بارهای بهره برداری (بیرون ضریب)

20

25

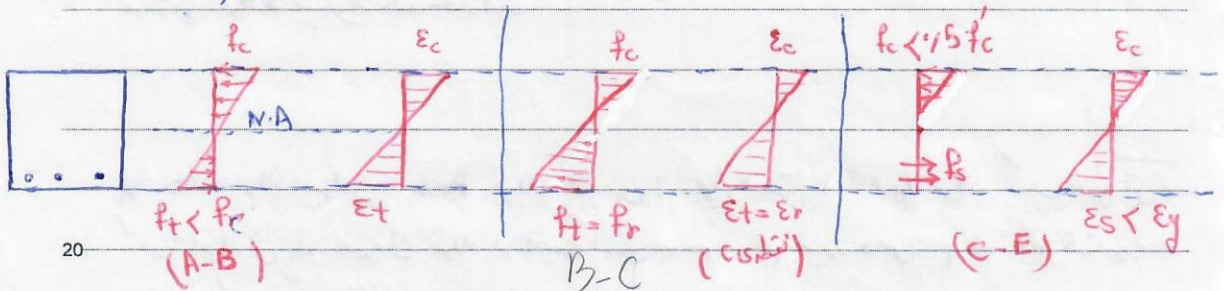
\* نکته: ترک خوردگی و طراحی الاستیک: ۱۳۹ از روی کتاب مطالعات



مستطقی شدن کرنش بین  
بفشار

بین در کشش

فولاد

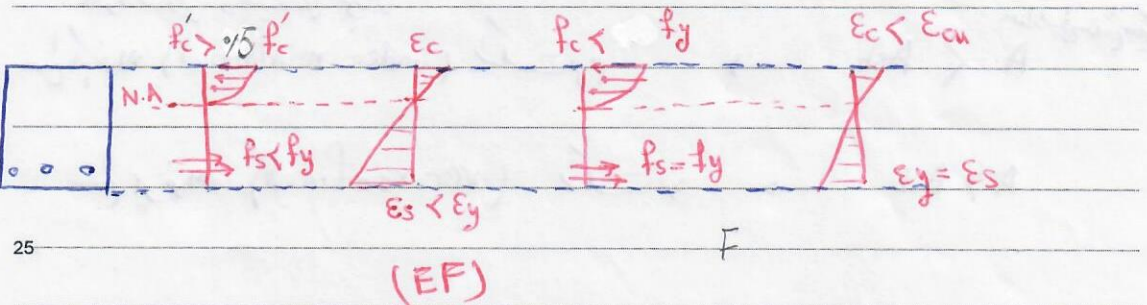


$f_t < f_r$   
(A-B)

$f_t = f_r$   
B-C

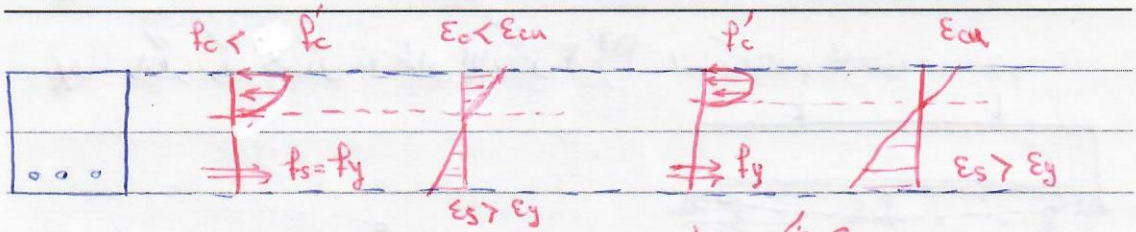
$\epsilon_t = \epsilon_r$   
(constant)

$\epsilon_s < \epsilon_y$   
(C-E)



$\epsilon_s < \epsilon_y$   
(EF)

F



فقط به حرکتش بر سر بتن می کشند و خرد می شود

\* رفتار مطلوب: قبل از آنکه بتن به حرکتش فشاری خود بر سر فولاد جاری شود.



مطلوب است که در یک مقطع بین آرم تحت خمش (بیشتر میلگرد ها جاری می شوند و پس نهایتاً با خرد شدن بتن فشاری شکست مقطع اتفاق می افتد. (منحنی توپا)

حالت دیگر آن است که فولاد موجود در مقطع به تسلیم نرسد و در مقابل کرنش دورترین تار فشاری بتن به کرنش شکست بتن ( $\epsilon_{cu}$ ) نرسد. که به این حالت شکست ترد می گویند. (منحنی خطی)

که در آن فولاد بیشتر از حد مجاز است.

\* حالت فولاد متوازن:  $A_{sb}$  فولاد بالانس: برای آنکه با تقوای از فولاد در یک مقطع بتن آرمه که با افزایش بار همزمان فولاد در ناحیه کشش به حد تسلیم رسیده و بتن هم در ناحیه فشاری به حد خرد شدگی و گسیختگی برسد.

مقطع کم فولاد (under-reinforced) شکست نرم  $A < A_{sb}$

مقطع پر فولاد (over-reinforced) شکست ترد  $A > A_{sb}$

\* مزایای مقطع کم فولاد نسبت به پر فولاد:

- 1- امکان ایجاد تفسیر شکل های بزرگ و اعلام شکست زودرس محتمل
- 2- قابلیت جذب انرژی بالاتر در برابر زلزله
- 3- امکان باز توزیع نیروها به سایر اجزای سازه (عدم شکست زودهنگام و ایجاد مقطع پلاستیک)

146

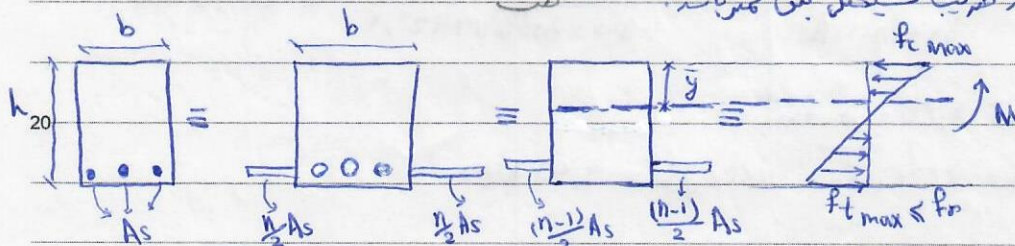
\* تقسیم بندی رفتار مقطع خمشی:

- 1- محدوده رفتار الاستیک (AC): ترک خوردگی در ناحیه کششی رخ می دهد و رفتار بتن و فولاد کاملاً خطی است.
- 2- رفتار الاستو پلاستیک (CE): ترک خوردگی در ناحیه کششی بتن رخ می دهد ولی تنش در ناحیه فشاری از  $f_{ck}$  کمتر است. در حقیقت عملکرد فولاد در ناحیه کششی و بتن در فشار به صورت خطی است.
- 3- محدوده رفتار پلاستیک: بتن در فشار به صورت غیر خطی است و مبداء به مقطع کم فولاد یا پر فولاد می گردد. در تسلیم اولیه (EG) یا نرمیده است (EG').

15

\* طراحی الاستیک: تحت بار حد اکثر ترک خوردگی در مقطع ایجاد نشود یعنی تنش در بدترین تار کششی مقطع از ضریب گینگی بتن کمتر باشد.

146



$$n = \frac{E_s}{E_c}, \quad \bar{y} = \frac{\sum AY}{\sum A} = \frac{bh \times (\frac{h}{2}) + (n-1) A_s d}{bh + (n-1) A_s}, \quad I_{tr} = \sum (I_o + Ad^2)$$

$$I_{tr} = \frac{bh^3}{12} + bh \times \left(\frac{h}{2} - \bar{y}\right)^2 + (n-1) A_s (d - \bar{y})^2$$

نکته: در محاسبه  $I_{tr}$  باید از مرکز ثقل استفاده شود.

Soroush

$$f_{t \max} = \frac{M(h-\bar{y})}{I_{tr}} \leq f_r, \quad f_{c \max} = \frac{M\bar{y}}{I_{tr}} \leq f_{cr}$$

تنش کششی بتن

$$M_c = \frac{f_r I_{tr}}{h - \bar{y}}$$

$$f_r = 1.7 \sqrt{f'_c} \quad : \text{لتر ترک خوردگی (Mcr)}$$

حرکت مقاومت فشاری

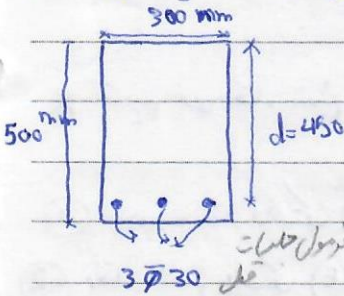
148

$$f_s = n \times \frac{M(d - \bar{y})}{I_{tr}}$$

+ تنش در فولاد:

5

مثال: لتر نفوذ ترک خوردگی و حرکت تنش فشاری بتن و تنش کششی فولاد را در این مقطع برست آورید.

 $f_{chmax}$ 

$$f_y = 400 \text{ MPa}, \quad f'_c = 30 \text{ MPa}$$

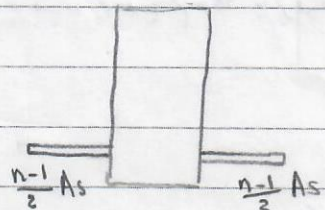
$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}, \quad E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7.8$$

10

$$A_s = 3 \times \frac{\pi}{4} (30)^2 = 2121 \text{ mm}^2$$

$$(n-1)A_s = (7.8-1) \times 2121 = 14422.8 \text{ mm}^2$$



15

$$\bar{y} = \frac{\frac{bh^2}{2} + (n-1)A_s d}{bh + (n-1)A_s} = \frac{\frac{300 \times 500^2}{2} + 14422.8 \times 450}{300 \times 500 + 14422.8} = 267.5 \text{ mm}$$

$$I_{tr} = 3.65 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

20

$$f_r = 1.626 \sqrt{f'_c} = 1.626 \sqrt{30} = 3.42 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_{tr}}{h - \bar{y}} = \frac{3.42 \times 3.65 \times 10^9}{500 - 267.5} = 53.66 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} = 53.66 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

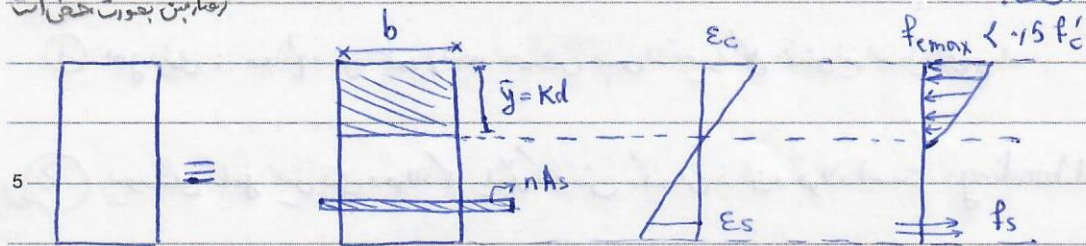
$$f_{cmax} = \frac{M \bar{y}}{I_{tr}} = \frac{53.66 \times 10^6 \times 267.5}{3.65 \times 10^9} = 3.93 \text{ MPa} \ll 30 \text{ MPa}$$

برای ماکس غیر اقصای  
باقرض رفتن الاستیک

$$f_s = n \frac{M(d - \bar{y})}{I_{tr}} = 7.8 \frac{53.66 \times 10^6 \times (450 - 267.5)}{3.65 \times 10^9} = 20.89 \text{ MPa} \ll 400 \text{ MPa}$$

Soroush

\* طراحی الاستوپلاستیک ← تنش های کششی به همراهی فولاد و بتن فشاری در بتن کمتر از  $0.15 f_c'$  است.  
 رفتار بتن به صورت خطی است



$$\bar{y} = \frac{\sum A y}{\sum A} = \frac{b \bar{y} \times \left(\frac{\bar{y}}{2}\right) + n A_s \times d}{b \bar{y} + A_s \cdot n} = \bar{y}^2 + \frac{2 n A_s}{b} \bar{y} - \frac{2 n A_s d}{b} = 0$$

میزان فولاد تقاضا  
 فرض  $\bar{y} = Kd$  ,  $\rho = \frac{A_s}{bd}$

$$\rightarrow K^2 + 2n\rho K - 2n\rho = 0 \rightarrow K = -n\rho + \sqrt{n^2\rho^2 + 2n\rho} \rightarrow K = 0$$

$$\rightarrow \bar{y} = Kd \quad \square, \quad I_{tr} = \sum (I_c + A d^2) = \frac{1}{12} b \bar{y}^3 + (b \bar{y}) \times \left(\frac{\bar{y}}{2}\right)^2 + n A_s (d - \bar{y})^2$$

$$\rightarrow I_{tr} = \frac{1}{3} b \bar{y}^3 + n A_s (d - \bar{y})^2$$

$$f_{c, \max} = \frac{M \bar{y}}{I_{tr}}, \quad f_s = n \times \frac{M(d - \bar{y})}{I_{tr}}$$

مثال: حرکت میزان کمتر قابل تحمل برای مقطع مثال حل شده با فرض رفتار الاستوپلاستیک را بدست آورید. همچنین میزان تنش وارده بر فولاد را بدین کمتر محاسبه کنید.

سپهر هاشمی

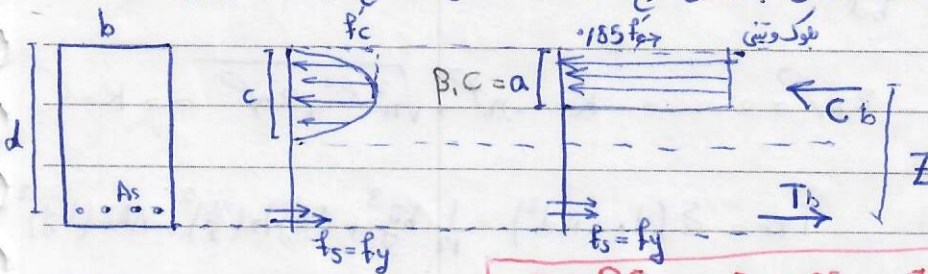
\* تئوری تنش در تیرهای بتن آرمه :

(۱) اهل برزنی : مقاطع مقطع محدود بر محدود خشن پس از تغییر شکل خشن نیز مقطع باقی می ماند.

(۲) یوستگی کامل بین بتن و فولاد که میانه گزینش یک ن در بتن و فولاد است. full bonding

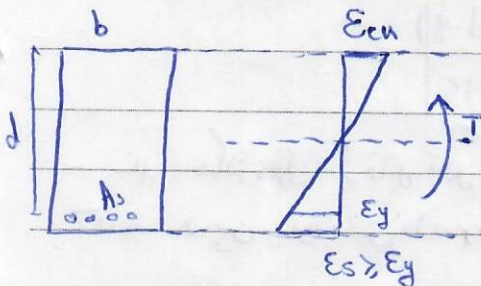
(۳) توزیع تنش در بتن و فولاد در مقطع بتن آرمه بر اساس منحنی های تنش و کرنش آن ها ترسیم می شود.

۱۷۷-۱۷۹ \* مقطع مستطیلی تحت خشن به روش طرح مقاومت - وضعیت مقطع در استاذ گسیختگی :



$$a = \beta_1 c \quad \beta_1 = 0.85, \quad 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} \quad *$$

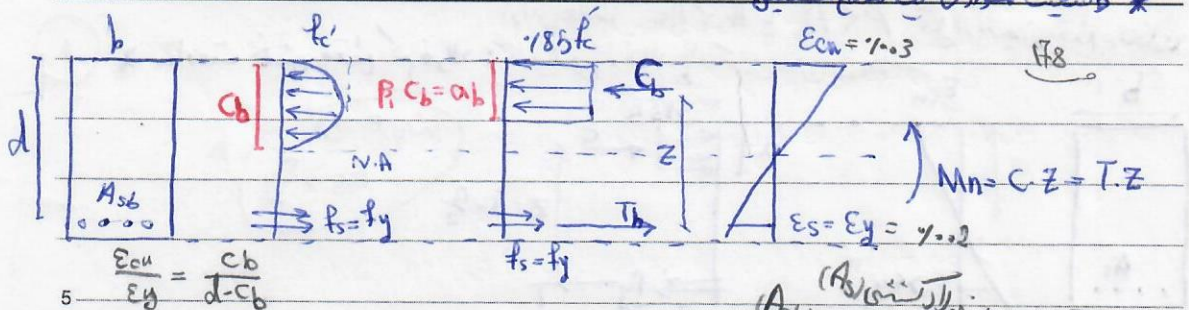
$$\text{برای } f'_c > 28 \quad \beta_1 = 0.85 - \frac{0.5}{7} (f'_c - 28), \quad f'_c > 28$$



$$M_n = C \cdot Z = T \cdot Z$$

20

25



$$\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y} = \frac{C_b}{d - C_b}$$

$$\frac{\epsilon_{cu}}{C_b} = \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}{d} \rightarrow C_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} d$$

فرق بین بتن و فولاد کششی (Asb)  
 طبقاً معادله مقدار فولاد کششی  
 نیاز به این در لحظه  $f_s = f_y$  و بین هم در ناحیه فای  
 به منتهی رسید  $f_s = f_y$   
 به هر کششی در  $\epsilon_{cu}$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$E_s = 2 \times 10^5$$

$$C_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{2 \times 10^5}} d$$

$$\rightarrow C_b = \frac{600}{600 + f_y} d, \quad \alpha_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 d$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow C_b = T_b$$

$$C_b = 0.85 f'_c (\alpha_b \times b) \rightarrow 0.85 f'_c \times \alpha_b \times b = A_{s_b} \times f_y$$

$$T_b = f_y \times A_{s_b}$$

$$A_{s_b} = \frac{0.85 f'_c \times \alpha_b \times b}{f_y} \quad \alpha_b \text{ جابجایی}$$

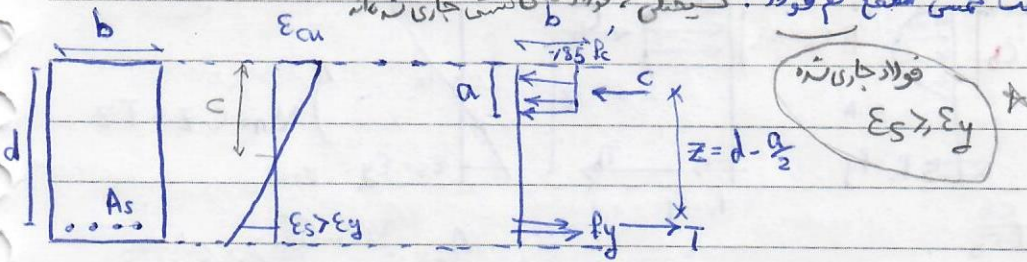
$$A_{s_b} = \frac{0.85 f'_c \times b}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \times \beta_1 d$$

$$\rightarrow A_{s_b} = 0.85 \times b \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}, \quad \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$\rho_b = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600 \beta_1}{600 + f_y}$$

در این حالت  $P < P_b$  یا  $A_s < A_{sb}$  قبل از رسیدن مقطع به لختی

\* مقاومت خمشی مقطع کم فولاد: گسیختگی فولاد قبل از کشش جاری شدن

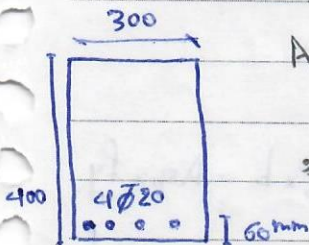


$$c = T \rightarrow 1.85 f'_c \times a \times b = A_s \times f_y \rightarrow a = \frac{A_s f_y}{1.85 f'_c \times b}$$

$$M_n = T \times (d - \frac{a}{2}) = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$M_n = \rho f_y b d^2 \left( 1 - 1.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right) \quad P < P_b \text{ برای مقطع کم فولاد}$$

مثال: مقاومت خمشی این مقطع مقابل رابیت آورید



$$A_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 1256 \text{ mm}^2$$

$$T = C \rightarrow A_s f_y = 1.85 f'_c \times a \times b$$

$$\rightarrow 1256 \times 400 = 1.85 \times 25 \times a \times 300 \rightarrow a = 78.8 \text{ mm}$$

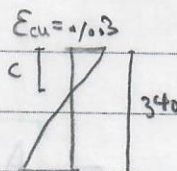
$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) = 1256 \times 400 \times (340 - \frac{78.8}{2}) = 201,2 \text{ KN.m} = 201,2 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

فرض مقاومت خمشی این برای مقطع کم فولاد

$$a = 78.8 \text{ mm} \rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{78.8}{0.85} = 92.7 \text{ mm}$$



$$\rightarrow \frac{0.003}{92.7} = \frac{\epsilon_s}{340 - 92.7} \rightarrow \epsilon_s = 0.0112 > \epsilon_y = 0.002$$

فولاد جاری شده

$$\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_s} = \frac{c}{d - c}$$

$$P = \frac{1256}{300 \times 340} = 0.12$$

$$M_n = 0.12 \times 400 \times 300 \times 340^2 \times (1 - 0.59 \times 0.12 \times \frac{400}{25}) = 201.2 \text{ KN.m}$$

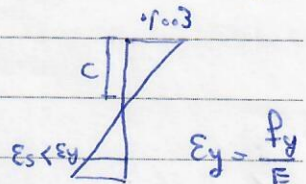
$$P < P_b \quad P_b = 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0.23$$

مقطع فولاد

\* مقاوت اس منشی مقطع فولاد ← کرنش در فولاد  $\epsilon_s < \epsilon_y$  و دین  $\epsilon_{cu} = 0.003$

$$\frac{A_s}{b d} \geq \frac{P_b}{P} \quad A_s > A_{s,b}$$

$$M_n = 0.85 f'_c a b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$



\* محدودیت بیشترین و کمترین فولاد کشی در این تابلو (ACI 318-14)  $\epsilon_s > 0.004$  ( $\epsilon_y = 0.002$ )

$$P_{max} = 0.364 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y}$$

$$P_{min} = \max \left\{ \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right\}$$

$$M_n > M_{cr}$$

$$P_{min} < P < P_{max}$$

نکته: اگر سطح فولاد کشی در مقطع بتنی 33٪ بیشتر از مقدار لازم بر اساس تابلو مقطع باشد،  $A_{min} = P_{min} \times b \times d = 0.0035 \times 300 \times 340 = 462 \text{ mm}^2 < A_s = 1256 \text{ mm}^2$   $P_{min}$  الزام ندارد

$$A_s = 1256, \quad P = \frac{1256}{300 \times 340} = 0.12$$

منشی ضعیف قبل:

$$P_{max} = 0.364 \times 0.85 \times \frac{25}{400} = 0.19$$

25

$$P_{min} = \max \left\{ \frac{1.4}{400} = 0.0035 \checkmark, \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} = 0.003125 \right\}$$

$$P_{min} < P < P_{max} \checkmark$$

Soroush

مقاومت خمشی

\* مقاومت خمشی طراحی مقطع مستطیلی :

$$M_u \leq \phi M_n$$

11/3/1388

مقاومت  $P_u$  یا  $P_n$  یا  $P_y$  یا  $P_s$

مقاومت خمشی مورد نیاز بر اساس بارهای ضرب

مقاومت خمشی برای مقطع یا مقاومت طراحی

بر اساس این مقطع کم فولاد است یا پر فولاد از صفحات قبل بدست می آید

5

$$M_u = 1.2 M_D + 1.6 M_L \geq 1.4 M_D$$

اثر مقطع صرفا بر اساس بارهای متغی طراحی شود

لنگر ناشی از بارهای مرده

لنگر ناشی از بار زنده

184

\* محاسبه  $\phi$  برای مقاطع خمشی :

10

فقط برای تیرها

Tension-controlled

1- مقاطع کشش کنترل (TC) : همزمان با گسیختن مقطع  $(\epsilon_{cu} = 0.003)$  کرنش خالص کشش

در دورترین فولاد کشش مقطع  $(\epsilon_t)$  بزرگتر یا مساوی 0.005 باشد.

کرنش خالص کشش

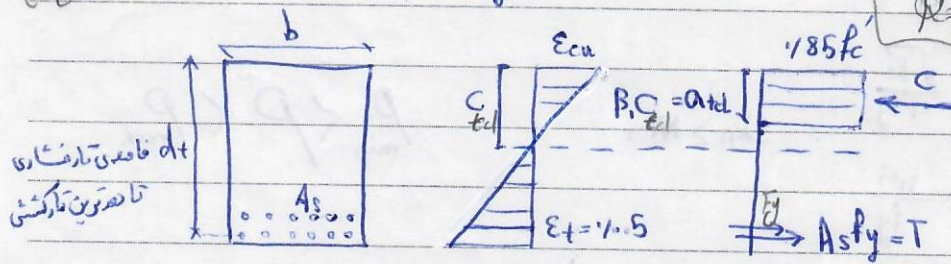
$$\epsilon_t \geq 0.005$$

دورترین فولاد کشش مقطع

برای فولاد AIII  $\epsilon_y = 0.002$   
 $f_y = 4100$

$$\phi = 0.9$$

15



روش چک کردن مقطع (TC)

20

$$\frac{\alpha_{td}}{\beta_1} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{ty}} \Rightarrow \alpha_{td} = \frac{3}{8} \beta_1 = 0.375 \beta_1$$

1a

if  $\frac{\alpha}{d_t} < \frac{\alpha_{td}}{d_t} \rightarrow$  مقطع کشش کنترلات  $\rightarrow \phi = 0.9$

$$\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_t} = \frac{c}{d_t - c}$$

$\alpha_t$  : فاصله دورترین فولادهای کششی

25

از دورترین تارهای مقطع

Sproush  
فاصله مرکز سطح فولادها از دورترین تارهای

$$T \rightarrow C \rightarrow A_{s_{tcl}} = 1.319 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} b d t \quad (b)$$

در مورد فولاد کششی متغیر در حالت ستری TC  $P_{tcl} = 1.319 \beta_1 \frac{d t}{d} \times \frac{f_c'}{f_y}$

$$5 \quad \frac{A_s}{b d} = \rho \leq \rho_{tcl} \rightarrow \text{مقطع کشش کستر} \rightarrow \phi = 0.9$$

$A_s \leq A_{stcl}$

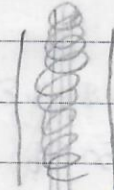
برای ستون

2- مقطع فشار کستر (CC): همان با گسیختن مقطع ( $\epsilon_{cu} = 0.003$ ) کرنش در محورین فولاد کششی کمتر یا مساوی از حد کرنش فشار کستر باشد. حد فشار کستر برابر با کرنش تسلیم فولاد ( $\epsilon_y$ ) می باشد.

$$10 \quad f_y = 400 \sim 420 \rightarrow \epsilon_t \leq 0.002 = \epsilon_y$$

همان  $\epsilon_y = 0.002$ 

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ P > P_{act} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{مقطع فشرده شود در هیچ باشد} \rightarrow \phi = 0.65 \\ \text{مقطع با در هیچ} \rightarrow \phi = 0.75 \end{array}$$



روش چک کردن مقطع (CC):

$$\frac{\alpha_{ccl}}{d t} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \beta_1 = \frac{0.003}{3 + 1000 \epsilon_y} \beta_1 \quad (a)$$

$$A \text{ III برای } (f_y = 400 \sim 420 \text{ MPa}) \rightarrow \frac{\alpha_{ccl}}{d t} = 0.6 \beta_1$$

$$20 \quad A \text{ IV برای } (f_y = 500 \sim 520 \text{ MPa}) \rightarrow \frac{\alpha_{ccl}}{d t} = 0.55 \beta_1$$

$$\rightarrow \frac{\alpha}{d t} > \frac{\alpha_{ccl}}{d t} \rightarrow \text{مقطع فشار کستر است} \rightarrow \begin{array}{l} \phi = 0.65 \text{ برون در هیچ} \\ \phi = 0.75 \text{ بار در هیچ} \end{array}$$

$$P_{bal} = P_b = 0.185 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (b)$$

$\downarrow$   
balance

$$P > P_{bal} \rightarrow \text{مقطع فشارکش در حالت} \quad \phi = 0.65 \quad \text{بدون دورسج}$$

$$\phi = 0.75 \quad \text{با دورسج}$$

3- مقطع در ناحیه انتقال (TR) : همزمان با اینجته شدن مقطع ( $\epsilon_{cu} = 1.003$ )  
Transition Control Region

گرفتگی در دورترین فولاد کشش بین 0.005 و حد گرفتگی فشارکش باشد.  
 $\epsilon_y = 0.002$

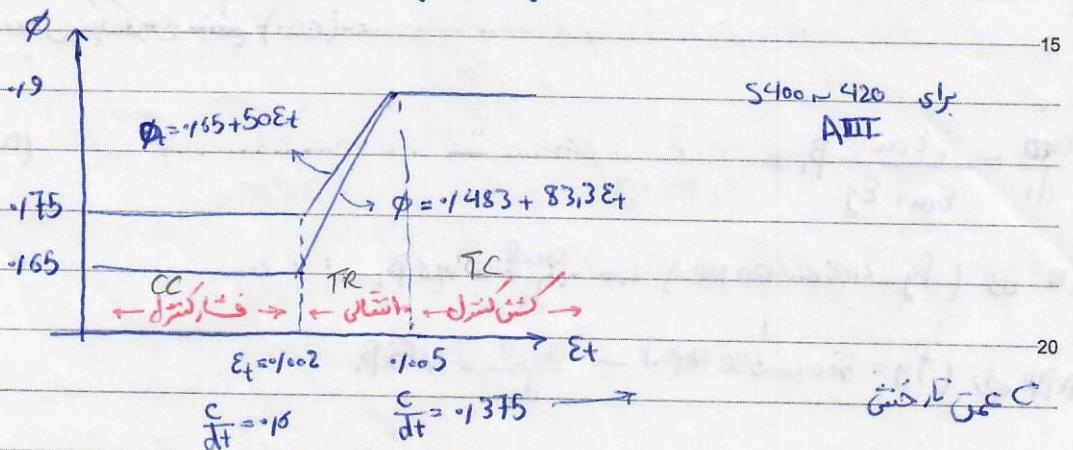
$$E_y = 0.002 < \epsilon_t < 0.005 \quad \leftarrow (f_y = 400 \sim 420 \text{ MPa}) \text{ AIII برای}$$

$\downarrow$   
حرفه کنترل برای AIII

اگر  $\epsilon_t$  داشته باشیم از این راه:

$$\phi = 0.483 + 83.3 \epsilon_t \quad (\text{بدون دورسج})$$

$$\phi = 0.65 + 50 \epsilon_t \quad (\text{دورسج (برای متون)})$$



$$\phi = 0.1233 + \frac{0.125}{c} \frac{d\epsilon_t}{dt} \quad \text{بدون دورسج}$$

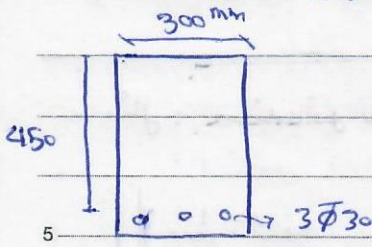
$$\phi = 0.15 + \frac{0.15}{c} \frac{d\epsilon_t}{dt} \quad \text{با دورسج}$$

$$\phi = 0.165 + 0.125 \left[ \frac{E_s \epsilon_t - f_y}{1000 - f_y} \right] \quad \text{بدون دورسج}$$

$$\phi = 0.175 + 0.15 \left[ \frac{E_s \epsilon_t - f_y}{1000 - f_y} \right] \quad \text{با دورسج}$$

در ناحیه انتقال

- مثال: مقاومت خمشی طرایی مقطع یو یو بر اساس روش طرح مقاومت



$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{2121}{300 \times 450} = 0.157$$

$$\rho_b = 0.185 \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0.185 \times \frac{28}{400} \times \frac{600}{1000} = 0.0303$$

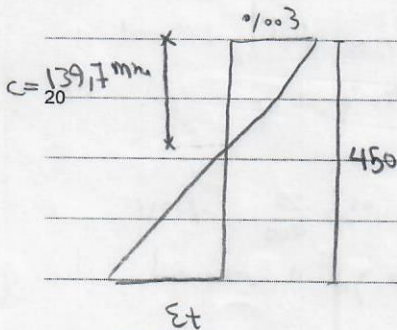
تحت فولاد

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left( 1 - \frac{\rho f_y}{2 \times 0.185 f'_c} \right) = 0.157 \times 300 \times 450^2 \times 400 \times \left( 1 - \frac{0.157 \times 400}{2 \times 0.185 \times 28} \right) = 331 \times 10^6 \text{ N.mm} = 331 \text{ KN.m}$$

$$\text{مطلوبه: } C = T \rightarrow 0.185 f'_c \times \alpha \times b = f_y \times A_s$$

$$\rightarrow 0.185 \times 28 \times \alpha \times 300 = 400 \times 2121 \rightarrow \alpha = 118.8 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) = 2121 \times 400 \times \left( 450 - \frac{118.8}{2} \right) = 331 \times 10^6 \text{ N.mm} = 331 \text{ KN.m}$$



$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{118.8}{0.185} = 139.7 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t : \frac{0.003}{139.7} = \frac{\epsilon_t}{450 - 139.7} \rightarrow \epsilon_t = 0.0066$$

$$\epsilon_t > \epsilon_y = 0.002 \rightarrow \text{مقطع تحت فولاد}$$

$$\epsilon_t = 0.0066 > 0.005 \rightarrow \text{مقطع TC} \rightarrow \phi = 0.9$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 331 = 298 \text{ KN.m}$$

$$\rho_{tdl} = 0.1319 \beta_1 \left( \frac{d}{d} \right) \times \frac{f'_c}{f_y} = 0.1319 \times 0.185 \times 1 \times \frac{28}{400} = 0.019$$

Soroush

$$P < P_{tdl} \rightarrow \text{مقطع TC} \rightarrow \phi = 0.9$$

فاصله سیرکها تا دورترین تارکشی  
چون که (در این حالت)  $d > d_{min}$

مقاومت طراحی  $(1 - 0.159 P \frac{f_y}{f_c})$   $\phi M_n = 0.19 \times 331 = 298 \text{ KN.m}$

مثال: سندی قبل را با فرض  $A_s = 3\phi 34$  حل کنید.

$A_s = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 34^2 = 2723 \text{ mm}^2$   $P_b = 0.0303$  استفاده از جدول

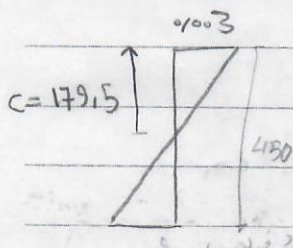
$P = \frac{2723}{300 \times 450} = 0.0202$   $P < P_b$  مقطع تحت فولاد 5

$M_n = 0.0202 \times 300 \times 450^2 \times (1 - \frac{0.0202 \times 400}{2 \times 0.185 \times 28}) = 407,3 \times 10^6 \text{ N.mm} = 407,3 \text{ KN.m}$   
 فرض کنیم فولاد جاری است.

بریت ادوزن:  $C = T \rightarrow 0.185 \times 28 \times a \times 300 = 400 \times 2723 \rightarrow a = 152,6 \text{ mm}$

$\epsilon_y = \frac{F_y}{E} \rightarrow 2 \times 10^{-5} \text{ mm/mm}$

$M_n = 2723 \times 400 \times (\frac{450 - 152,6}{2}) = 407,3 \times 10^6 \text{ N.mm} = 407,3 \text{ KN.m}$



$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{152,6}{0.185} = 179,5$

$\frac{0.003}{179,5} = \frac{\epsilon_t}{450 - 179,5} \rightarrow \epsilon_t = 0.00452 > \epsilon_y = 0.00185$   
 مقطع تحت فولاد

مقطع در TR ناحیه انتقال  $0.002 < \epsilon_t < 0.005$

$\phi = 0.483 + 83,3 \epsilon_t = 0.483 + 83,3 \times 0.00452 = 0.86$

مقاومت طراحی  $\phi \times M_n = 0.86 \times 407,3 = 350,3 \text{ KN.m}$  20

$P < P_{max}$   $P_{max} = 0.364 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} = 0.364 \times 0.185 \times \frac{28}{400} = 0.0216$

$\epsilon_t = 0.004$   $\leftarrow$  ناحیه انتقال فولاد جاری شده است و به ناحیه TC نزدیک پس در ناحیه TR قرار دارد

Max L P

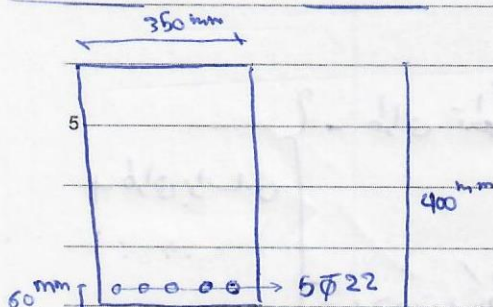
Max P max

Subject:

Year : Month : Day : ( )

page: 28

تمرین: مثال قبلی را با فرض  $A_s = 3200 \text{ mm}^2$  حل کنید



$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 2400 \text{ MPa}$$

مطلوب  $M_n$  ؟

$$A_s = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 1900,6 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1900,6}{350 \times 340} = 0,00159$$

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,00270$$

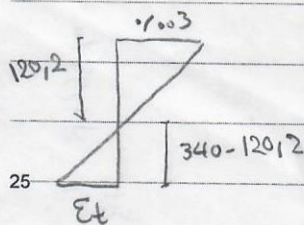
$\rho < \rho_b \rightarrow$  مقطع تحت فولاد ؟

$$M_n = \rho b d^2 \times f_y \left( 1 - 0,59 \times \frac{\rho f_y}{f'_c} \right) = 0,00159 \times 350 \times 340^2 \times 2400 \times \left( 1 - 0,59 \times \frac{0,00159 \times 2400}{25} \right)$$

$$M_n = 219,1 \times 10^6 \text{ N.mm} = 219,1 \text{ KN.m}$$

$$200201) C = T \rightarrow 0,85 \times 25 \times a \times 350 = 1900 \times 400 \rightarrow a = 102,2$$

$$\rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{102,2}{0,85} = 120,2$$



$$\frac{0,003}{120,2} = \frac{\epsilon_t}{340 - 120,2} \rightarrow \epsilon_t = 0,0054 > \epsilon_y = 0,002$$

مقطع تحت فولاد

$$\rightarrow M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1900 \times 2400 \times \left( 340 - \frac{102,2}{2} \right)$$

$$= 219,1 \text{ KN.m}$$

197

\* طراحی مقطع مستطبی تحت کشش به روش طرح مقاومت:

معلوم  $M_u \rightarrow$  شمر طراحی تحت بار ضربی

5 } طراحی مقطع که تحت فولاد باشد  $(P < P_b)$  + طراحی براساس

- به جهت شکل پذیری بیشتر در وضعیت کشش کنترل  $(T_c)$  قرار گیرد  $\phi = 0.9$

10  $\frac{M_u}{b d^2} = \rho f_y \left( 1 - \rho \frac{f_y}{2 \times 0.85 f'_c} \right)$   $\text{آدم تقسیم 7 را توانی شود 0.69 که در فرمول می آید}$   $\text{و جرد دارد}$

$M_u \leq \phi M_n \rightarrow M_u = \phi M_n \rightarrow R_n = \frac{M_u}{b d^2} = \frac{M_u}{\phi b d^2}$  (2)

(3)  $m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$

15  $\text{حالتی (2) و (3) در} \rightarrow \rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right)$  \*

برای می نیردها مشخص باید مقدار

+ حالت اول: ابعاد مقطع مشخص و فولاد باید طراحی گردد. از رابطی \* مقدار فولاد را محاسبه

می کنیم و پس کنترل  $P_{min}$  و  $P_{max}$  و محاسبی  $\phi$  را انجام می دهیم 20

اگر  $P < P_{min}$   $\rightarrow A_s = A_{smin} = P_{min} b d$   
 $\rightarrow A_s = 1.33 \rho b d < A_{smin}$

$P_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y}, \frac{14}{f_y} \right\}$   
 $P_{max} = 0.364 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y}$

اگر  $P > P_{max}$  افزایش بده مقطع  
 استفاده از فولاد فشرده  
 $E_t > 700000$

$$0.004 < \epsilon_t < 0.005$$

$$P_{max} > P > P_{tcl}$$

خائبر طمش  $\phi$  از ۰.۱۹ تعیین  
P تعیین شود.

$$\frac{3B_i}{8} = \frac{\alpha_{x1}}{d_t} < \frac{\alpha_{max}}{d_t} = \frac{3B_i}{7}$$

5

مثال: فولاد لانگ برای مقطع مستطیل ابعاد  $h=500\text{ mm}$ ,  $b=400\text{ mm}$  که تحت نیروهای  
ضریب بار برابر  $M_u$  ماری  $M_u=240\text{ kN.m}$  قرار گرفته است ثابت آورید.

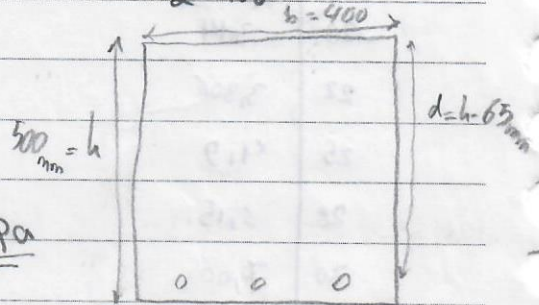
$$d = h - 65\text{ mm}$$

$$d = 435\text{ mm}$$

$$f'_c = 35$$

$$f_y = 400$$

$$m = \frac{f_y}{1.85 f'_c} = \frac{400}{1.85 \times 35} = 13.45$$



$$T_c \rightarrow \phi = 0.19$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{240 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 435^2} = 3.52\text{ MPa}$$

$$p = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13.45} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13.45 \times 3.52}{400}} \right) = 0.0094$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} > \frac{1.4}{f_y} \rightarrow p_{min} = 0.0037 > 0.0035 \rightarrow p_{min} = 0.0037$$

$$P > P_{min} \checkmark$$

$$B_i = 0.85 \quad f_c < 28\text{ MPa}$$

$$P_i = 0.85 \times \frac{0.5}{7} (f'_c - 28) = 0.18 \quad f'_c > 28 \checkmark$$

فزون در ستون  $\rightarrow$  مقطع  $T_c$  است

$$P_{td} = 0.319 \times 0.18 \times \frac{35}{400} = 0.0223 > P = 0.0094 \rightarrow \phi = 0.19 \checkmark$$

$$A_s = \rho b d = 0.0094 \times 400 \times 435 = 1636\text{ mm}^2$$

$$2 \phi 25 + 1 \phi 30 \rightarrow 1689\text{ mm}^2$$

$$3 \phi 28 \rightarrow A_s = 1847\text{ mm}^2$$



$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$M_u = 200 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

تمرین: ؟

| $\phi$ | $A_s (\text{cm}^2)$ | $I_b (\text{mm}^2)$ |
|--------|---------------------|---------------------|
| 14     | 115                 |                     |
| 16     | 2                   |                     |
| 18     | 2154                |                     |
| 20     | 314                 |                     |
| 22     | 3806                |                     |
| 25     | 419                 |                     |
| 28     | 615                 |                     |
| 30     | 7106                |                     |
| 32     | 8104                |                     |
| 34     | 9108                |                     |

\*

+ حالت دوم: ابعاد مقطع و فولاد نامشخص - تشریحی مشخص:

198-199-200

20- سوال طراحی:

ان تعیین مناسبی از ابعاد و وزن تیر

$$\text{تخمین اولیه از وزن} = 10 \sim 20\% \times (D+L)$$

$$\text{(طول دهانه)} \times 10\% \sim 8 \text{ به } 10 \text{ به تخمین اولیه از ارتفاع تیر}$$

$$\text{(ارتفاع تیر)} \times 70\% \sim 50 \text{ به } 70 \text{ به تخمین اولیه از عرض تیر}$$

$$\frac{h}{b} \approx 1.5$$

2. حرس اولیه مناسب برای فولاد مقطع

$$P \approx (0.35 \sim 0.4) P_b \rightarrow 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad \text{الف) عدم محدودیت ابعاد}$$

$$\rightarrow P = (0.35 \sim 0.4) \times 0.85 \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad \text{ب} \quad P = 0.18 \frac{f'_c}{f_y}$$

$$P = P_{td} \rightarrow \text{فولاد کششی دیگر لایه} \rightarrow P_{td} = \frac{600 + f_y}{1600} P_b$$

ب) محدودیت ابعاد

$$\frac{P}{P_b} = \frac{0.003 + \epsilon_y}{0.003 + \epsilon_t}, \quad \epsilon_t = 0.005 \beta_1$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} \quad AIII \rightarrow P_{td} = 0.625 P_b$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad AII \rightarrow P_{td} = 0.563 P_b$$

$$f_y = 500 \text{ MPa} \quad AIV \rightarrow P_{td} = 0.688 P_b$$

$$P_{td} = 0.319 \beta_1 \frac{d + x}{d} \times \frac{f'_c}{f_y}$$

3. تعیین ابعاد مقطع ( $bd^2$ )

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

$$w = \rho \frac{f_y}{f'_c} \quad \text{فرض} \quad \text{نسبت فولاد به بتن}$$

$$K_n = f'_c w (1 - 0.59 w) \quad \text{فرض}$$

$$bd^2 = \frac{M_n}{K_n} = \frac{M_n}{\phi K_n} \quad \text{بارهای طراحی}$$

4) تعیین دقیق  $b$  و  $d$ :

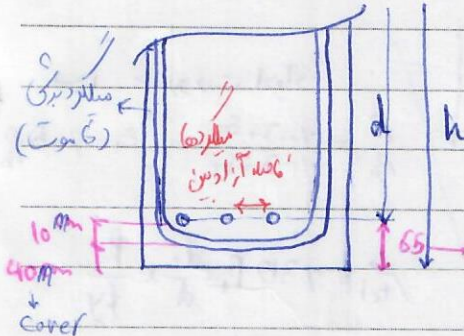
$$\frac{d}{b} \approx 1.5 \approx 2 \rightarrow$$

ابعاد دقیق و اجرایی براساس این

مطابق معیار  $P$

$$P = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\}$$

5) تعیین ارتفاع مقطع  $(h)$



$$h = d + 65 \text{ mm}$$

یکی لایه فولاد کششی

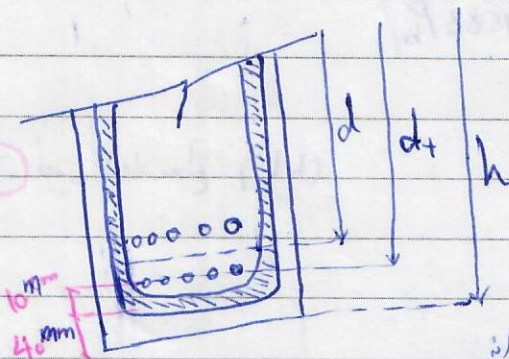
$$h = d + 95 \text{ mm}$$

دو لایه فولاد کششی

باقیون آرماتور  
غیر 30

$$40 + 10 + \frac{30}{2} = 65$$

10

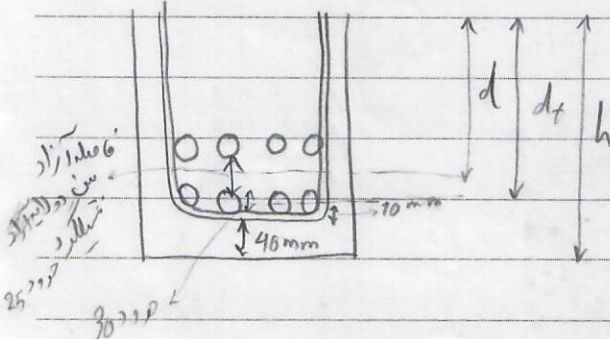


برگشتن (تیر) از این تیر

$$\text{فاصله بین تیرهای مستطردین} \rightarrow \left[ 25 \text{ mm}, \frac{4 \cdot d_{agg}}{3}, \frac{4 \cdot d_{agg}}{3} \right]_{\text{max}}$$

$$\text{فاصله از تیر در مستطردین} \geq \text{Max}(d_b, 25 \text{ mm})$$

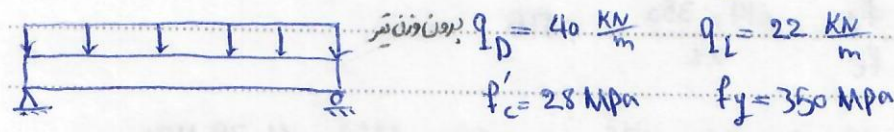
20



$$40 + 10 + 30 + 15 = 95$$

25

مثال: برای تیر دوسریزه زیر تحت اثر بار کینوات یک مقطع مستطیلی مناسب طراحی کنید.



طول دهانه 6m

① - تعیین وزن تیر: چون طول تیر زیاد نمی باشد  $L = 6m$  پس:  $5$

$$\approx 10\% (D+L) = 0.1 (40+22) = 6.12 \frac{KN}{m}$$

روش دیگر - تعیین ارتفاع تیر:  $h$  ارتفاع  $h \approx 10\% \times 6m = 600 mm$

فوق:  $b = 0.16 h = 0.16 \times 600 = 360 mm \rightarrow 350 mm$

10

وزن مخصوص بتن  $= 24 \frac{KN}{m^3} \rightarrow 0.16^m \times 0.35^m \times 24 = 5.105 \frac{KN}{m}$

در نظر می گیریم  $\approx 5.15 \frac{KN}{m}$

15

بار مرده کل  $= q_D + \text{وزن تیر} = 40 + 5.15 = 45.15 \frac{KN}{m}$

بار زنده  $= 22 \frac{KN}{m}$

بار خفیف فرب دار وارد بر تیر  $1.2D + 1.6L = 1.2 \times 45.15 + 1.6 \times 22 = 89.8 \frac{KN}{m}$

$q_{u \text{ Max}} \left\{ \begin{array}{l} 1.4D = 1.4 \times 45.15 = 63.7 \frac{KN}{m} \end{array} \right.$  Ans

20

$M_{max} = \frac{q_u l^2}{8} = \frac{89.8 \times 36}{8} = 404 KN \cdot m$

- تعیین اولیه از فولاد موقع:

$P = 0.35 - 0.14 P_b \rightarrow$  در نظر می گیریم  $P = 0.14 P_b$

$P_b = 0.185 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0.185 \times 0.185 \times \frac{28}{350} \times \frac{600}{600 + 350} = 0.0365$

25

$\rightarrow P = 0.14 \times 0.0365 = 0.014$

تعیین ابعاد:

$$w = \rho \frac{f_y}{f'_c} = \frac{1.4 \times 350}{28} = 1.75$$

نسبت فولاد به بتن

$$K_n = f'_c w (1 - 1.59w) = 28 \times 1.75 \times (1 - 1.59 \times 1.75) = 4.39 \text{ MPa}$$

$$bd^2 = \frac{M_u}{\phi K_n} \quad \phi = 0.9 \rightarrow bd^2 = \frac{404 \times 10^6}{0.9 \times 4.39} = 102,2 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

تعیین دقیق

$$\frac{d}{b} = 1.5 \rightarrow d = 1.5b \rightarrow b \times (1.5b)^2 = 102,2 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

فرض ابعاد

$$\rightarrow b = 357 \text{ mm} \rightarrow d = 535 \text{ mm} \xrightarrow{\text{چند اجزای}} b = 350 \text{ mm}$$

10

انتظار قابل پیوستی ok

$$d + 65 = 600 \text{ mm}$$

$$d = 535 \text{ mm} \quad \checkmark$$

تعیین دقیق P:

$$W_c = w_c \times b \times h = 24 \times 1.35 \times 16 = 5.04 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 \times 45.04 + 1.6 \times 22 = 89.25 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$M_{max} = \frac{q_u l^2}{8} = \frac{89.25 \times 36}{8} = 401.6 \text{ KN.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{401.6 \times 10^6}{0.9 \times 350 \times 535^2} = 4.454 \text{ MPa}$$

Tc فرض

20

$$m = \frac{f_y}{1.85 f'_c} = \frac{350}{1.85 \times 28} = 14.71, \quad \rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{14.71} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.71 \times 4.45}{350}}\right) = 1.142$$

$$\rho_{td} = 7319 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} = 1.217$$

$$\rho < \rho_{td} \rightarrow T_c \text{ سطح}$$

فرض سازه بتی  $\phi = 0.9$ 

25

$$A_s = \rho b d = 1.142 \times 350 \times 535 = 2659 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \phi 30 = 2827 \text{ mm}^2$$

- کنترل فاصله آزاد بین آرماتورها :

$$\widetilde{\text{فاصله آزاد}} = \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 30}{(3)} = 43.3 \text{ mm} \geq \text{Max} (d_b, 25 \text{ mm}) \quad \checkmark$$

$\downarrow$   
30

فاصله آزاد =  $n-1$

بنابراین می توان فولادهای لشی طراحی شده را به یک ای قرار داد.

5

2) با فرض محدودیت ایجاد : با فرض فولاد در یک لایه

$$P = P_{td} \rightarrow 0.319 P_t \frac{f'_c}{f_y}$$

$$= 0.319 \times 0.85 \times \frac{28}{350} = 0.217$$

$$3) W = P \frac{f_y}{f'_c} = 0.217 \times \frac{350}{28} = 0.271$$

10

$$K_n = f'_c W (1 - 1.69 W) = 28 \times 0.271 \times (1 - 1.59 \times 0.271) = 6.1375 \text{ MPa}$$

$$4) bd^2 = \frac{M_u}{\phi K_n} = \frac{404 \times 10^6}{0.9 \times 6.1375} = 70.4 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

5) فرض  $\frac{d}{b} = 1.5 \rightarrow b = 315 \text{ mm}, d = 472 \text{ mm}$  15

ابعاد دقیق  $\rightarrow b = 300 \text{ mm}$   
 $d = 485 \text{ mm}$   
 $h = 550$

$$\text{وزن تیر} = q_g = 24 \times 0.55 \times 0.3 = 3.96 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 1.2(40 + 3.96) + 1.6 \times 22 = 87.95 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

20

$$M_{\text{max}} = \frac{q_u l^2}{8} = \frac{87.95 \times 36}{8} = 395.5 \text{ KN.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{395.5 \times 10^6}{0.9 \times 300 \times 485^2} = 6.23 \text{ MPa}$$

25

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = 14.71$$

$$\rho = \frac{1}{14.71} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.71 \times 61.23}{350}} \right) = 0.021 < \rho_{tcl} = 0.0217 \quad \text{OK}$$

$$A_s = \rho b d = 0.021 \times 300 \times 485 = 3056 \text{ mm}^2$$

$\xrightarrow{1} 4 \phi 32 = 3217 \text{ mm}^2$   
 $\xrightarrow{2} 5 \phi 28 = 3075 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$

$$5 \quad 1 \quad \rho = \frac{3217}{300 \times 485} = 0.021 > \rho_{tcl} \quad \times \quad \phi = 0.9 \rightarrow \rho < \rho_{tcl}$$

وقتی می‌خواهی آرماتور را انتخاب کنی باید بگیری که  $\rho < \rho_{tcl}$  و در هر کدام اگر  $\rho > \rho_{tcl}$  می‌گیری باید  $\phi$  را بزرگ‌تر کنی

2  $\rho = 0.021 < \rho_{tcl} \quad \checkmark$

فاصله آزاد =  $\frac{300 - 2 \times (40 + 10) - 4 \times 32}{3} = 24 \text{ mm} (25, 39)$

کنترل فاصله آزاد:

$$10 \quad \text{فاصله آزاد} = \frac{300 - 2 \times 50 - 5 \times 28}{4} = 15 \text{ mm} \quad \times$$

4  $\phi 32$  آرماتور  
فاصله آزاد = 24 mm

فاصله آزاد  $\geq \text{Max}(25, d_b = 28)$

۱- ابعاد از دایره آرماتور

۲- استفاده از قطر بالاتر برای مسدود کردن کنترل  $\rho_{tcl}$

$$15 \quad \text{از جدول ۱} \quad 3 \phi 36 \rightarrow A_s = 3054 \text{ mm}^2 \rightarrow \rho = 0.020 < \rho_{tcl} = \quad \checkmark$$

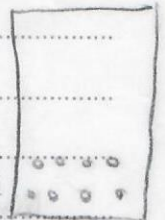
$$\text{فاصله آزاد} = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 36}{2} = 46 > \text{Max}(d_b, 25) = 36 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$8 \phi 22 \rightarrow 3041$$

2 دایره آرماتور

$$20 \quad \text{فاصله آزاد} = \frac{300 - 2 \times 50 - 4 \times 22}{3} = 37.33 > \text{Max}(22, 25) \quad \checkmark$$

25



$$\rho < \rho_{tcl} = 0.0219 \beta_1 \frac{d_t}{d} \frac{f_c}{f_y} \quad \rho = \frac{A_s}{b d} = 0.021$$

$$25 \rightarrow \rho = 0.0219 \times 0.85 \times \frac{485}{460} \times \frac{28}{350} = 0.022 \rightarrow \rho < \rho_{tcl} = 0.022$$

$$h = d + 65 \text{ mm} \quad \text{یک (ای) سیرد}$$

$$h = d + 90 \text{ mm} \quad \text{دو (ای) سیرد}$$

$$P = P_{td} \rightarrow bd^2 =$$

$$d = 460 \rightarrow h = 550$$

$$b = 300$$

$$d_1 = h - 65 = 550 - 65 = 485 \text{ mm}$$

$$d = h - 90 = 550 - 90 = 460 \text{ mm}$$

$$A_s = \rho b d = 0.22 \times 300 \times 460 = 3036 \text{ mm}^2$$

$$bd^2 = \frac{M_u}{K_n} = \frac{M_u}{\phi K_n} = \frac{40411 \times 10^6}{0.9 \times 6145} \rightarrow bd^2 = 6912403 \text{ mm}^3 \xrightarrow{d=460}$$

$$b = 328 \rightarrow b = 350 \text{ mm}$$

$$\text{حالت اول} \rightarrow h = 550 \rightarrow d = 460, b = 300$$

$$\text{حالت دوم} \rightarrow h = 550 \rightarrow d = 460, b = 350$$

:

\* مقاطع مستطیل با فولاد فشاری :

215

- مزایای استفاده از فولاد فشاری :

1- کمک به ظرفیت فشاری بتن و در نتیجه افزایش ظرفیت خمش مقطع

2- افزایش شکل پذیری مقطع

3- کاهش خمیدگی دراز مدت ، در حقیقت بار از بتن به فولاد منتقل شده و سبب کاهش خمیدگی شود

خیز آبی  $\Delta_e \rightarrow$ 

$$\text{خیز دراز مدت} = \lambda \times \Delta_e$$

$$\text{خیز کل} = \Delta_e + \lambda \Delta_e = \Delta_e (1 + \lambda)$$

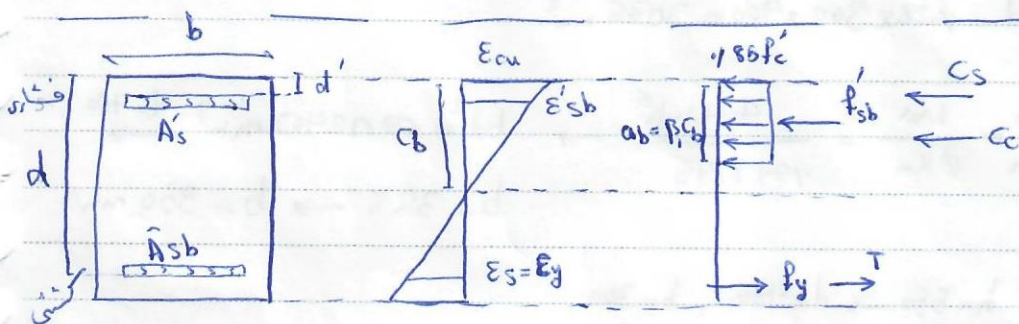
$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'}$$

$$\rho' = \frac{\text{فولاد فشاری}}{\text{سطح مقطع متناوب}}$$

$$\xi = 2 \rightarrow \text{برای مصالح دانه ریز}$$

4 تبدیل فولاد فشاری به کششی در بارهای رفت و برگشتی مانند زلزله

5 ایجاد تکیه گاه مناسب برای فولادهای برشی (خاموت)



\* بررسی جاری شدن فولاد کششی در یک مقطع با فولاد فشاری:  $\frac{217}{f_y}$

10 ①  $A_s \rightarrow$  فولاد فشاری

در این حالت فرض می کنیم مقدار فولاد کششی برابر با فولاد متوازن مقطع با فولاد فشاری باشد.

15 ②  $A_s = \bar{A}_{sb}$

فولاد متوازن مقطع با فولاد فشاری

④  $A_{sb} =$  فولاد متوازن مقطع بدون فولاد فشاری

③  $\epsilon'_{sb} \rightarrow$  کرنش در فولاد کششی

⑤  $f'_{sb} =$  تنش در فولاد فشاری

$$\sum F_x = 0 \rightarrow T = C_c + C_s \rightarrow \bar{A}_{sb} f_y = 1.85 f'_c \alpha_b b + A'_s f'_{sb}$$

20  $\star \rightarrow \bar{A}_{sb} = 1.85 \frac{f'_c}{f_y} \alpha_b b + A'_s \frac{f'_{sb}}{f_y}$

معادله هزاری  $\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y} = \frac{C_b}{d - C_b} \rightarrow C_b = \frac{600}{600 + f_y} d$  ,  $\alpha_b = \beta_1 C_b$

25 معادله هزاری  $\frac{\epsilon'_{sb}}{\epsilon_{cu}} = \frac{C_b - d'}{C_b} = 1 - \frac{d'}{C_b} = 1 - \frac{d'}{d} \times \frac{600 + f_y}{600}$

$$f'_{sb} = E_s \cdot \epsilon'_{sb} = E_s \times \epsilon_{cu} \times \left(1 - \frac{d'}{d} \times \frac{600 + f_y}{600}\right) \leq f_y \quad \star$$

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

$$\alpha_b = \beta_1 \beta_b \rightarrow \bar{A}_{sb} = \underbrace{1.85 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} bd}_{\beta_b} + A'_s \frac{f'_{sb}}{f_y}$$

$$\rightarrow \bar{A}_{sb} = A_{sb} + A'_s \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad , \quad \rho_b = \frac{\bar{A}_{sb}}{bd} \quad , \quad \rho' = \frac{A'_s}{bd}$$

$$\rightarrow \bar{\rho} = \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad \text{اگر فولاد منشی جدار باشد فولاد کششی} \quad f'_{sb} = f_y \rightarrow \frac{f'_{sb}}{f_y} = 1$$

از جدول ۱۰ به این نتیجه می‌گیریم که اگر فولاد منشی جدار باشد میزان فولاد کششی می‌تواند از این مقدار کمتر باشد.  
فولاد کششی جدار شده و مقطع تحت فولاد است

اگر  $\rho < \bar{\rho}$  یا  $A_s < \bar{A}_{sb} \rightarrow$   
مقطع فولاد مسلح است و در آن به نسبت فولاد کششی جدار شده

تعیین وضعیت  
فولاد کششی

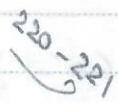
و اگر

\* بررسی جاری شدگی فولاد فشاری:  
 $f'_s = f_y$

- عامل اساسی در جاری شدن یا جاری نشدن فولاد فشاری ( $A'_s$ ) مقدار فولاد کششی موجود در مقطع است (A)  
در حقیقت اگر میزان فولاد کششی از یک حد مرزی کمتر باشد نیروی کششی ایجاد شده در مقطع (T) که برابر با  
نیروی فشاری مقطع (C) است به اندازه‌ای است که می‌تواند فولاد فشاری را به حد تسلیم برساند. این حد مرزی  
را با  $A_{smin}$  نشان می‌دهند

$A_s \geq \bar{A}_{smin} \rightarrow$  فولاد فشاری به حد تسلیم نرسد

$A_s < \bar{A}_{smin} \rightarrow$  فولاد فشاری به حد تسلیم نرسد



معادلات هساری

10

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_{cn}} = \frac{d-c}{c} \rightarrow \epsilon_s = \epsilon_{cn} \left( \frac{d}{c} - 1 \right) \rightarrow \epsilon_s = \epsilon_{cn} \left[ \frac{d}{d'} \times \left( \frac{500 - d'}{500} \right) - 1 \right]$$

15

- در اکثر موارد  $f_s = f_y$  و ثابت. (نوعاً کمی در بعضی موارد)

$$\frac{d}{d'} > 5.0 \rightarrow f_s = f_y \quad (f_y = 400 \text{ MPa})$$

20

$$\bar{P}_{\min} = \frac{\bar{A} s_{\min}}{bd} \rightarrow \bar{P}_{\min} = \rho' \frac{f_y}{f_s} + 185 \rho_1 \frac{f_c}{f_s} \times \frac{600}{600 - f_y} \times \frac{d'}{d}$$

در بعضی سیستم‌های فازی جاری شود  $As > \bar{A}_{Smin} \quad (P > \bar{P}_{min}) \rightarrow$

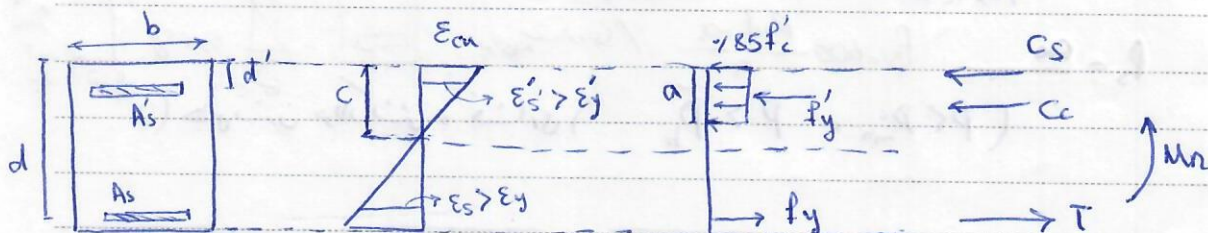
$$X \quad A_S < \bar{A}_{S \min} \quad (P < \bar{P}_{\min}) \rightarrow \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix}$$

222, 223

\* تعیین ظرفیت خمشی مقطع مستطیلی با فولاد فشاری :

الف) جاری شدن فولاد کششی و فشاری (  $P < \bar{P}_b$  ,  $P > \bar{P}_{min}$  ) تحت دلخواه و منظره طراحی

جاری شدن فولاد کششی باعث وقوع رفتار نرم و شکل پذیر و جاری شدن فولاد فشاری سبب می شود که در لحظه گسیختگی از ظرفیت فولاد مصرفی استفاده بهینه تری انجام شود.



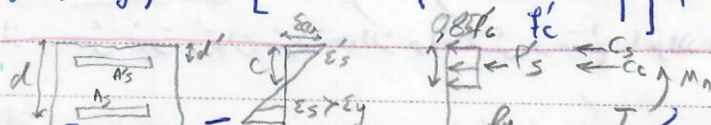
$$T = C_c + C_s \rightarrow A_s f_y = 1.85 f'_c a b + A' f'_y$$

$$\rightarrow a = \frac{A_s f_y - A' f'_y}{1.85 f'_c b}$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

$$M_n = (A_s f_y - A' f'_y) \left[ d - \frac{A_s f_y - A' f'_y}{1.7 f'_c b} \right] + A' f'_y (d - d')$$

$$M_n = (P f_y - P' f'_y) b d^2 \left[ 1 - 1.59 \left( \frac{P f_y - P' f'_y}{f'_c b d} \right) \right] + P' f'_y b d^2 \left( 1 - \frac{d'}{d} \right)$$



ب) جاری شدن فولاد کششی و جاری شدن فولاد فشاری (  $P < \bar{P}_{min}$  ,  $P < \bar{P}_b$  )

$$M_n = 1.85 f'_c a b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A' f'_y (d - d')$$

$$a = \frac{A_s f_y - A' f'_y}{1.85 f'_c b}$$

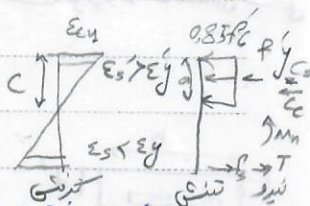
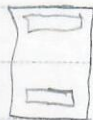
$$a^2 + \frac{600 A' - A_s f_y}{1.85 f'_c b} a - \frac{600 A' b d'}{1.85 f'_c b} = 0, \quad P'_y = 600 \frac{a - P d'}{a}$$

(ج) جاری شدن فولاد کششی و جاری شدن فولاد فشاری ( $P > \bar{P}_{min}$  ,  $P > \bar{P}_b$ )

$$M_n = 0.85 f'_c a b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_y (d - d')$$

$$a^2 + \frac{A'_s f'_y + 600 A_s}{0.85 f'_c b} a - \frac{800 A_s P_1 d}{0.85 f'_c b} = 0$$

$$f_s = 600 \frac{\beta_1 d - a}{a}$$



(د) جاری شدن فولاد کششی و فشاری ( $P < \bar{P}_{min}$  ,  $P > \bar{P}_b$ )

$$M_u \leq \phi M_n$$

\* مقاومت خمشی طرانی مقطع مستطیلی با فولاد فشاری:

محدودیت بیشترین فولاد کششی در مقطع با فولاد فشاری ①  $\epsilon_t \geq 0.004$  کرنش فولاد کششی

$$\text{روش ②} \quad \frac{a}{d} \leq \frac{a_{max}}{d} = \frac{3}{7} \beta_1 \rightarrow a_{max} = \frac{3}{7} \beta_1 d$$

$$\text{③} \quad \bar{P}_{max} = P_{max} + P' \frac{f_{s,max}}{f'_y}$$

$$P < \bar{P}_{max}$$

$$\text{③} \quad f'_{s,max} = 600 \left( 1 - \frac{7}{3} \frac{d'}{d} \right) \leq f'_y, \quad \bar{P}_{max} = 0.364 \beta_1 \frac{d}{d'} \times \frac{f'_c}{f'_y} + P' \frac{f_{st}}{f'_y}$$

با تغییر از روش فوق می توان مقدار حداکثر فولاد کششی در مقطع با فولاد فشاری را کنترل نمود.

تعیین ناحیه قرارگیری  $P < \bar{P}_{max}$   $\epsilon_t \geq 0.004$  چگونگی  $\epsilon_t$  یا با تناسب  $\epsilon_t$  بهرتید

باتوجه به محدوده های 0.002 و 0.005

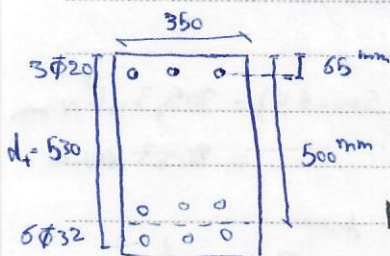
$$\text{25} \quad \bar{P}_{max} = 0.364 \beta_1 \frac{d}{d'} \times \frac{f'_c}{f'_y} + P' \frac{f_{st}}{f'_y}$$

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

ARMAN

هرگاه نام کوچکتر

مثال: در مقطع مستطیلی زیر خواصبت خمشی نهایی (طراحی) را برت آورید.  
 $f'_c = 30 \text{ MPa}$      $f'_y = f_y = 400 \text{ MPa}$



تعیین وضعیت جاری شدگی فولاد کشی و فشاری:

$$A_s = 6\phi 32 = 4825 \text{ mm}^2 \rightarrow \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{4825}{350 \times 500} = 0.0276$$

$$A'_s = 3\phi 20 = 942 \text{ mm}^2 \rightarrow \rho' = \frac{942}{350 \times 500} = 0.0054$$

$$\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad \rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0.032$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} \times (30 - 28) = 0.836$$

$$f'_{sb} = 600 - \frac{d'}{d} (600 + f_y) \leq f'_y \rightarrow f'_{sb} = 600 - \frac{65}{500} (600 + 400) = 470$$

فولاد برای درگاه بالایی جاری شده است  
 پس  $f'_{sb}$  می تواند از  $f_y$  بیشتر باشد پس  $f'_y$

$$\bar{\rho}_b = 0.032 + 0.0054 \times \frac{400}{400} = 0.0373 \rightarrow \rho < \bar{\rho}_b \rightarrow \text{در لغوی خمشی نهایی فولاد کشی جاری شده است}$$

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

$$\beta_1 = 0.836, \quad \frac{d'}{d} = \frac{500}{65} = 7.7 \rightarrow f_s = f_y$$

$$\bar{\rho}_{min} = 0.0054 + 0.85 \times 0.836 \times \frac{60}{500} \times \frac{30}{400} \times \frac{600}{600 - 400} = 0.0262$$

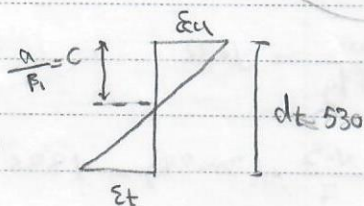
$$\rho = 0.0276 > \bar{\rho}_{min} \rightarrow \text{فولاد جاری شده است}$$

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f'_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(4825 - 942) \times 400}{0.85 \times 30 \times 350} = 174 \text{ mm}$$

$$M_n = 0.85 \times 30 \times 350 \times 174 \times \left(500 - \frac{174}{2}\right) + 942 \times 400 (500 - 65) = 805,3 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} \\ = 805,3 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

Asmax  
:  $\phi$  برای  $P_{max}$  +

$$\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{cu}} = \frac{d_t - c}{c} = \frac{P_i d_t - a}{a}$$



$$\epsilon_t = \frac{0.836 \times 530 - 174}{174} \times 0.003 = 0.00464$$

$$\epsilon_t > 0.004 \rightarrow P < P_{max}$$

$$0.002 < \epsilon_t < 0.005 \rightarrow \text{TR} \rightarrow \phi = 0.483 + 83,3 \epsilon_t = 0.87$$

$$\phi M_n = 0.87 \times 805,3 = 700,6 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

مقاومت طراحی

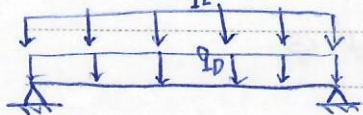
$$\bar{P}_{max} = 0.364 + P_1 \frac{d_t}{d} \times \frac{f'_c}{f_y} + P'_1 \frac{f'_{smax}}{f_y} : \text{Asmax}$$

$$f'_{smax} = 600 \times \left(1 - \frac{7}{3} \times \frac{d'_t}{d_t}\right) \leq f_y = 600 \times \left(1 - \frac{7}{3} \times \frac{65}{530}\right) = 428 > f_y \Rightarrow f'_{smax} = 400 \text{ MPa}$$

$$\bar{P}_{max} = 0.364 \times 0.836 \times \frac{530}{500} \times \frac{30}{400} + 0.0054 \times \frac{400}{400} = 0.0296$$

$$P = 0.0276 < \bar{P}_{max} = 0.0296 \Rightarrow \text{میزان فولاد موجود در مقطع از حد اکثر فولاد کمتر است}$$

مثال: یک تیر دوطرفه ساده ی متصل به ابعاد  $b = 400 \text{ mm}$ ،  $h = 700 \text{ mm}$ ، طول  $l = 6 \text{ m}$  تحت بار یکنواخت  $q_D = 45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  (با احتساب وزن تیر) و  $q_L = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  قرار دارد. مقدار فولاد لازم در محل لنگر حداکثر را به دست آورید.



$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L > 1.4 q_D$$

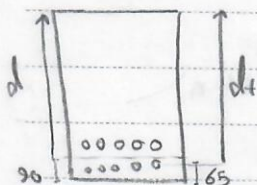
$$q_u = 1.2(45) + 1.6(25) = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > 1.4 q_D \quad \text{OK} \rightarrow q_u = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{\max} = \frac{q_u l^2}{8} = 1175 \text{ kN.m} \rightarrow \text{لنگر بزرگی است و احتمالاً به دولاغ میسر شود (بالای ۱۰۰۰)} \quad \text{میسر گشتی احتیاج می شود}$$

$$\text{دولاغ میسر} \rightarrow d = h - 90 \text{ mm} = 700 - 90 = 610 \text{ mm}$$

$$d_t = 700 - 65 = 635 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 90 = 610 \text{ mm}$$



$$m = \frac{f_y}{1.85 f'_c} = \frac{400}{1.85 \times 28} = 16.81$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1175 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 610^2} = 8.77 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) = 0.029 \quad \text{اگر زیر اریکال منفی شد آرماتور مانت می است}$$

$$\rho_{\max} = 0.364 \beta_1 \frac{d_t}{d} \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.364 \times 0.85 \times \frac{635}{610} \times \frac{28}{400} = 0.0225 < \rho$$

به فولاد فشاری احتیاج داریم می توانیم مقطع را بزرگتر کنیم یا اینکه فولاد فشاری بگذاریم که همه اینها درست است

+ مقطع را به صورتی طراحی می کنیم که در حالت کشش تنها میزان فولاد در حالت کشش کنترل باشد. چون  $\rho_{\max} < \rho$  بهترین مقدار که می توانیم باشد  $\rho_{\text{cal}}$  است  $\rho < \rho_{\text{cal}}$

$$T.C \Rightarrow \phi = 0.9$$

$$\rho < \rho_{\text{cal}}$$

$$\rho_{\text{cal}}$$

$$\rho_{\text{cal}} = 0.319 \beta_1 \frac{d_t}{d} \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.319 \times 0.85 \times \frac{635}{610} \times \frac{28}{400} = 0.0198$$

$$A_{s1} = \rho \times b d = 0.0198 \times 400 \times 610 = 4831 \text{ mm}^2$$

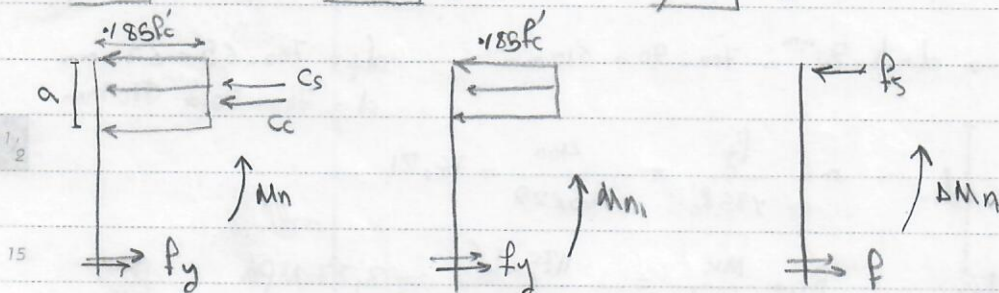
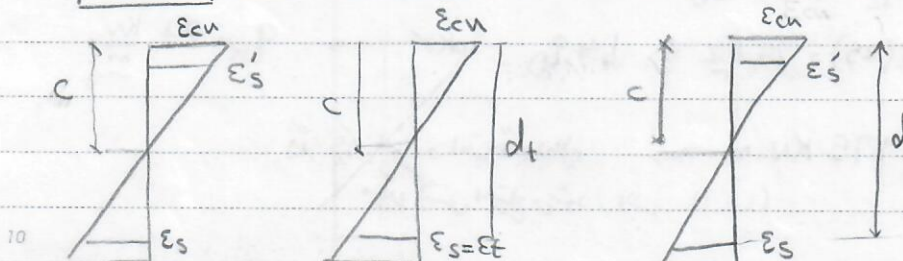
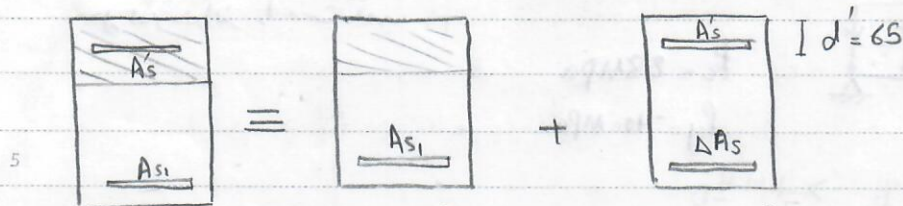
$$\text{ARMAN} \quad M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left( 1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right) = 0.9 \times 0.0198 \times 400 \times 610^2 \times 400 \left( 1 - 0.59 \times 0.0198 \times \frac{400}{28} \right)$$

$$\phi = 0.9$$

$$\times \frac{400}{28}$$

$$M_u = 883,9 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} = 883,9 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

لتر حاصل از فولاد کششی



$$\Delta M_n = M_n - M_{n1} = \frac{1}{\phi} (M_u - M_{u1}) = \frac{1}{19} (1175 - 883,9) = 323,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

مقادیر برای شکل دوم

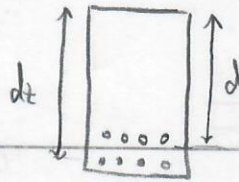
$$\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_t} = \frac{C}{d_t - C} \rightarrow \frac{0,003}{0,005} = \frac{C}{635 - C} \quad C = 238,1 \text{ mm}$$

$\epsilon_t = 0,005 \leftarrow T_c$

مقادیر برای شکل سوم

$$\frac{\epsilon'_s}{\epsilon_{cu}} = \frac{C - d'}{C} \rightarrow \epsilon'_s = 0,003 \times \frac{238,1 - 65}{238,1} = 0,00218 > \epsilon_y = \frac{400}{2 \times 10^5} = 0,002$$

فولاد فشاری تا تار فشاری در بالا (بتن)  
فولاد فشاری جای شسته است



$$\Sigma M = 0 \rightarrow \Delta A_s \times f_y (d - d') = \Delta M_n$$

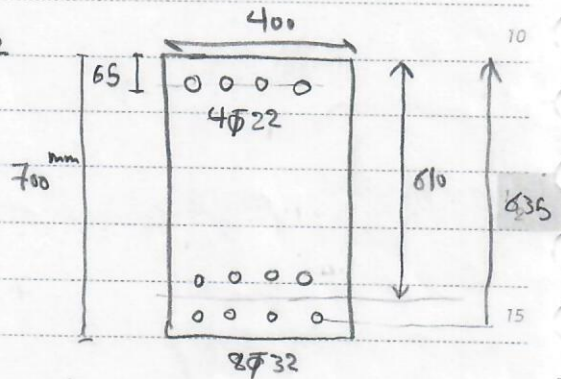
$$\rightarrow \Delta A_s = \frac{\Delta M_n}{f_y (d - d')} = \frac{323,4 \times 10^6}{400 \times (610 - 65)} = 1484 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A'_s \times f_y = \Delta A_s \times f_y \rightarrow A'_s = \Delta A_s = 1484 \text{ mm}^2$$

$$\Delta M_n = M_n - M_{n1} = \frac{1}{\phi} (M_u - M_{u1}) = \frac{1}{0,9} (1175 - 883,9) = 323,4 \text{ KN.m}$$

$$A_s = A_{s1} + \Delta A_s = 4831 + 1484 = 6315 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 32 \text{ کشش}$$

$$A'_s = 1484 \text{ mm}^2 \text{ فکری} \rightarrow 4\phi 22$$



تقریباً ۱۰۶۰ آزاد آرماتورهای کششی می باشد آماده رانندگی کنید. 8\phi 32

5

10

1/2

15

20

25