بسمه تعالی

جزوه

طراحی سازه های بتونی

دانشگاه

علم و صنعت

استاد

دکتر حسین زاده

طراحی سازه های بتنی

۱- مشخصات فیزیکی بتن ۱

۱-۱- خزش ۷

۱-۲- روشهای طراحی ۹

۲- خمش ۱۱

۲-۱- لنگر ترک خوردگی مقطع ۱۱

۲-۲- لنگر نهایی مقطع ۱۳

۲-۳- مقاطع کم فولاد و پر فولاد ۱۸

۲-۴- ظرفیت خمشی مقطع ۲۸

۲-۵- تاثیر فولاد فشاری ۳۵

۲-۶- مقاطع T شکل ۴۱

۲-۷- شکل پذیری ۴۹

۳- برش ۵۰

۳-۱- آرماتورهای عرضی ۵۶

۳-۲- تیرهای عمیق ۶۹

۴- پیچش ۷۱

۵- مهار آرماتورها ۷۹

۵-۱- قطع آرماتور در مقاطع تحت خمش ۹۰

۵-۲- وصله میلگردها ۹۵

۶- ستونهای کوتاه ۹۷

۶-۱- مرکز پلاستیک ۱۰۴

۶-۲- اندرکنش خمش و نیروی محوری ۱۰۴

۶-۳- ستونهای لاغر ۱۱۵

۷- محدودیت فواصل آرماتورها ۱۱۸

۸- کنترل تغییرشکل ۱۱۹

۸-۱- عرض ترکها ۱۲۱

۹- دال ها ۱۲۳

۹-۱- دالهای یک طرفه ۱۲۴

۹-۲- دالهای دوطرفه ۱۲۵

۱۰- اتصالات و ضوابط لرزه‌ای ۱۲۶

۱-مشخصات فیزیکی بتن

علت استفاده از بتن و فولاد :

۱- فولاد و بتن چسبندگی خوبی باهم دارند

۲- ضریب انبساط حرارتی آنها تقریباً یکی است .

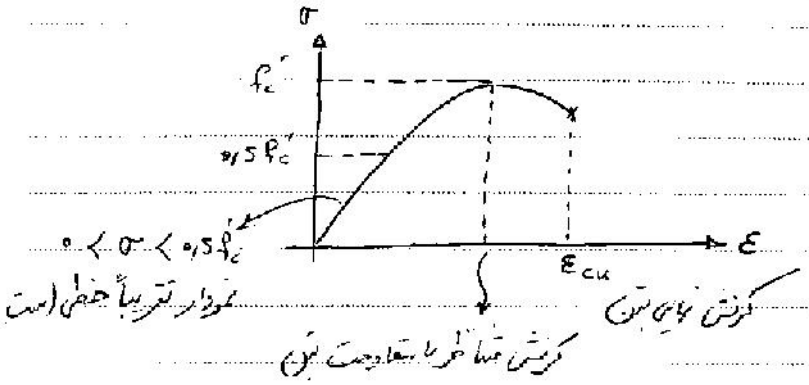
$$\begin{cases} \alpha_c = 1\times10^{-5} \ 1/c \\ \alpha_{st} = 1.2\times10^{-5} \end{cases}$$

۳- بتن محافظ خوبی در برابر آتش سوزی و خوردگی برای فولاد است .

۴-مقاومت کششی پایین بتن و کمانش میلگردها

مقاومت فشاری بتن:

مرسوم طراحی طبق آیین نامه ایران منظور از مقاومت بتن f'_c مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه ای بتن می باشد .



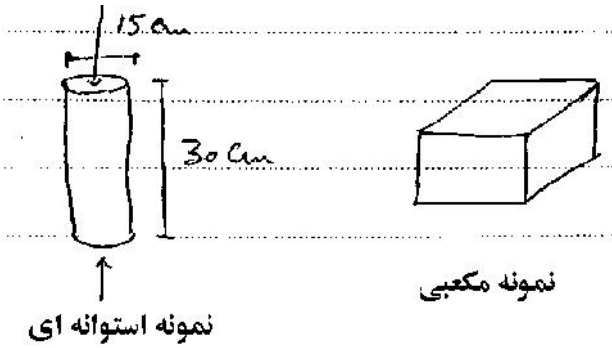
* نکته : در طراحی اعضای بتنی ، معیار خرابی بتن ε_u آن می باشد (کرنش نهایی) که طبق آیین نامه بتن ایران مقدار آن برابر $\varepsilon_u = 0.0035$ است .

✓ مقدار ε_{cu} طبق آیین نامه جدید برابر 0.0035 می‌باشد. (در آیین نامه قبلی 0.003 بود)

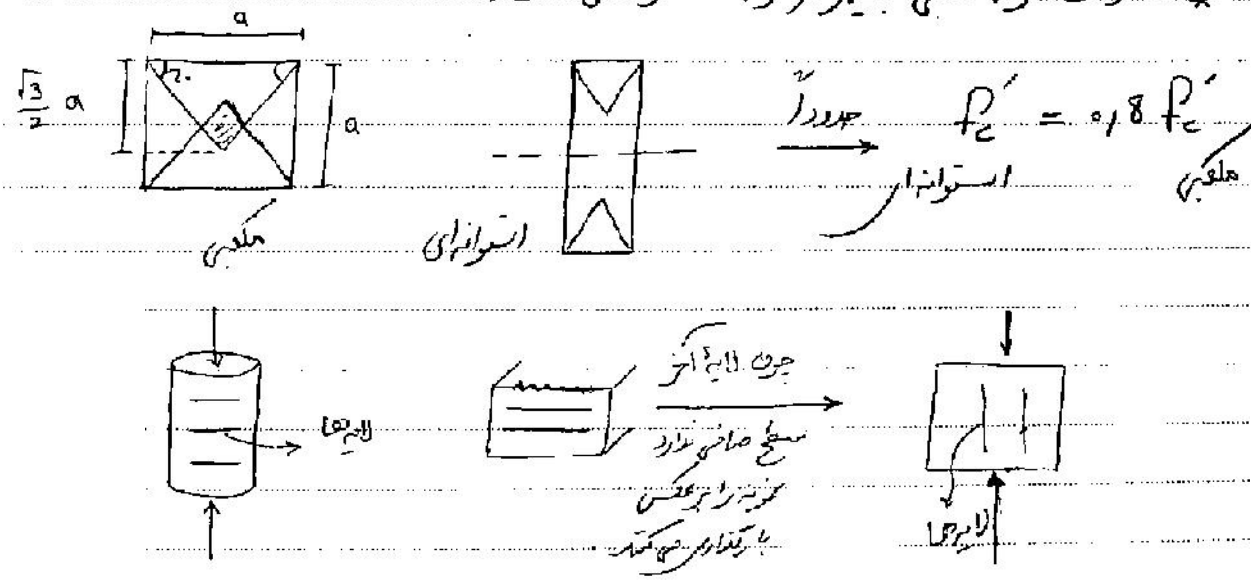
✓ در طراحی اعضای بتن آرمه معیار خرابی بتن رسیدن به ε_{cu} می باشد. بنابراین مقداری که برای آن فرض می‌شود دارای اهمیت است

تفاوت نمونه مکعبی با استوانه ای:

مقاومت فشاری :



* مقاومت نمونهٔ مکعبی بیشتر از نمونهٔ استوانه‌ای است.



✓ اگر راستای بارگذاری با راستای ترکها یکی باشد مقاومت کاهش می‌یابد ولی با وجود این کاهش باز هم مقاومت مکعبی بیشتر است.

نکته: با افزایش ابعاد مکعب مقاومت آن کاهش می‌یابد چون احتمالاً عیب کوچک نمی‌شود.

f'_c مکعب 15×15 $>$ f'_c مکعب 25×25

مثال: در مورد مقاومت فشاری بتن کدام نادرست است؟

۱- مقاومت حاصل از نمونه استوانه‌ای کمتر از نمونه مکعبی است.

✓ ۲- هرچه ابعاد مکعب بالاتر رود مقاومت بیشتر می‌شود.

۳- در مراحی از مقاومت استوانه‌ای استاندارد استفاده می‌شود.

۴- آزمایش جهت نمونه ۲۸ روزه است.

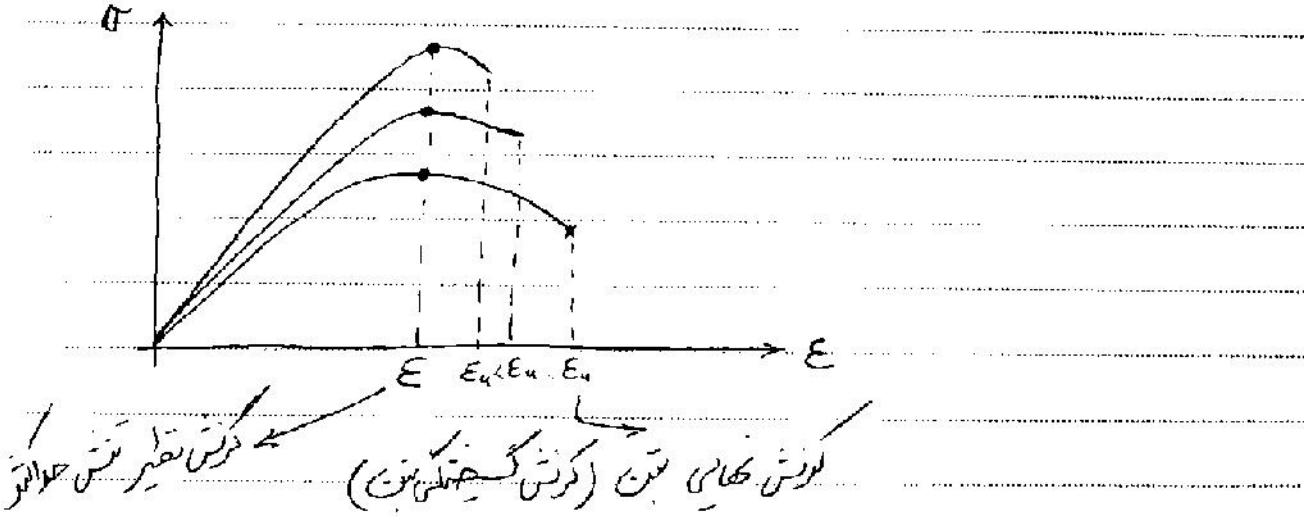
نمودار بتن با مقاومت های مختلف:

C25 یعنی $f_c = 25\ MPa$

$= 250\ kg/cm^2$

آب ↑ f_c ↓ ε_u

f_c ↑ ε تقریباً ثابت است (ε کرنش نظیر تنش حداکثر)



توجه:

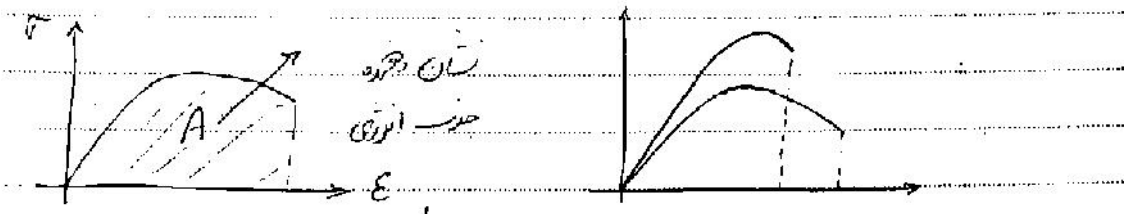
$\uparrow f'_c \quad \downarrow \varepsilon_{cu}$

$\uparrow f_c \quad \varepsilon_0$ تقریباً ثابت می ماند

$\uparrow f'_c \quad \uparrow E_c$

$\uparrow f_c$ شیب نزولی منحنی بیشتر می شود

* نکته: برای محاسبه جذب انرژی ماده می‌توان از مساحت زیر نمودار تنش کرنش استفاده کرد.



۳ـ چنانچه در منحنی تنش کرنش بتن، کرنش نظیر مقاومت فشاری بتن (f'_c) را با ε_0، و کرنش نظیر نقطهٔ شکست بتن را با ε_{cu} نمایش دهیم، با افزایش مقاومت فشاری بتن کدام اظهارنظر صحیح است؟

(مهندسی عمران ۸۱)

۱) ε_0 و ε_{cu} هر دو افزایش می‌یابند.

۲) ε_0 و ε_{cu} هر دو کاهش می‌یابند.

۳) تغییر محسوس در ε_0 و ε_{cu} روی نمی‌دهد.

۴) ε_0 تقریباً ثابت باقی‌مانده و ε_{cu} کاهش می‌یابد.

سوال : چه عواملی بر f'_c تاثیر گذار است؟

۱- ابعاد نمونه ↑ $\downarrow f'_c$

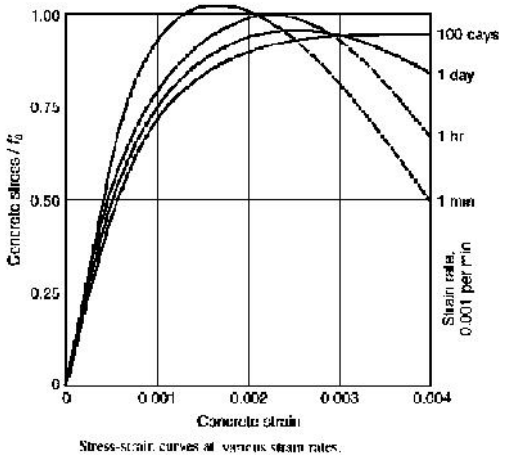
۲- شکل نمونه (استوانه ای > مکعبی)

۳- سرعت بارگذاری ↑ $\uparrow f'_c$

۴- اثر محصور شدگی ↑ $\uparrow f'_c$

۵- نسبت آب به سیمان ↑ $\downarrow f'_c$

۵- سن بتن ↑ $\uparrow f'_c$



Stress-strain curves at various strain rates.

آزاد ۸۹

۱۳۲ـ کدام‌یک از موارد زیر موجب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود.

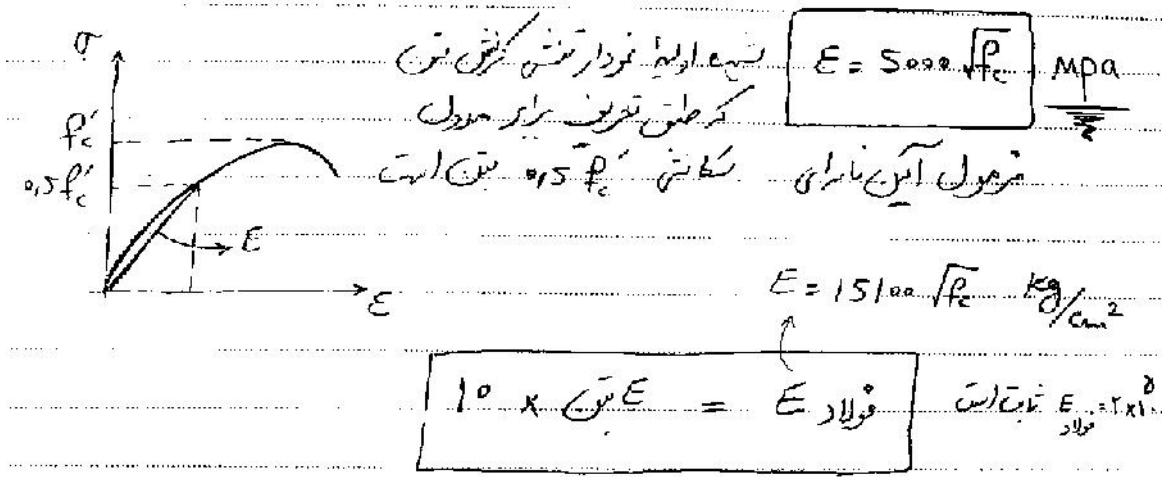
۱) کاهش سرعت بارگذاری در آزمایش مقاومت فشاری

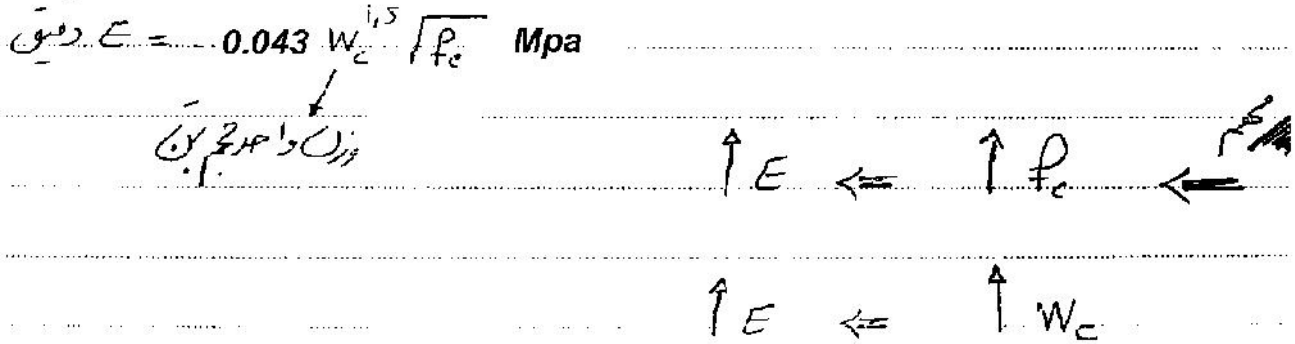
۲) بزرگتر کردن اندازه نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری

۳) افزایش نسبت آب به سیمان بتن

۴) تغییر شرایط عمل‌آوری نمونه قبل از آزمایش از حالت خشک به حالت مرطوب

سختی بتن E_c(مدول الاستیسیته بتن):





مدول ارتجاعی بتن با مقاومت بالا نسبت به بتن با مقاومت پایین: (مهندسی عمران آزاد ۷۹)

۱) بزرگتر از یک است ۲) کوچکتر از یک است

۳) مساوی یک است ۴) قابل برآورد نیست

ضریب پواسون بتن(υ):

بتن با مقاومت پایین: $0.1 \le \upsilon \le 0.2$ بتن با مقاومت بالا

طبق آیین نامه: $\upsilon = 0.15$

(ضریب پواسون فولاد 0.3 است)

مقاومت کششی بتن:

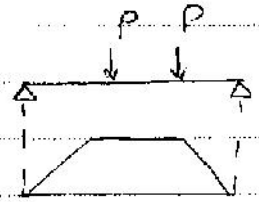
مقاومت کششی بتن :

۱- تحت خمش

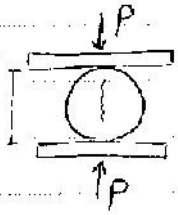
مدول گسیختگی

$$f_r = \frac{Mc}{I}$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \quad MPa$$



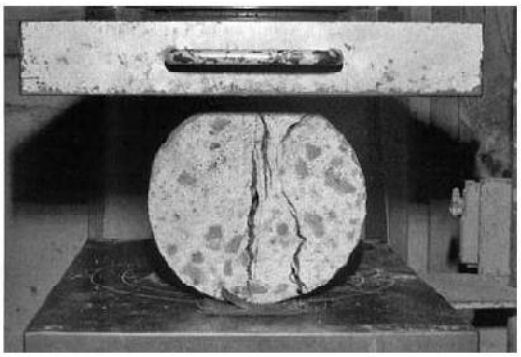
۲- تحت کشش خالص



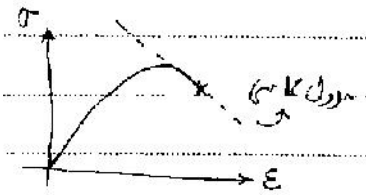
مدول شکاف $f_r = \frac{2P}{\pi DL}$ واژه نیست — P حداکثر نیرو

(آزمایش شکاف حوزه گسی)

$$f_r = 0,55\sqrt{f'_c}$$



* نکته : مقاومت کششی بتن در حدود ۱/۰ تا ۱/۵ مقاومت فشاری است .



تست : مدول گسیختگی در بتن به چه معنی است ؟

۱- مدول ممانی بتن در حداکثر تنش کششی

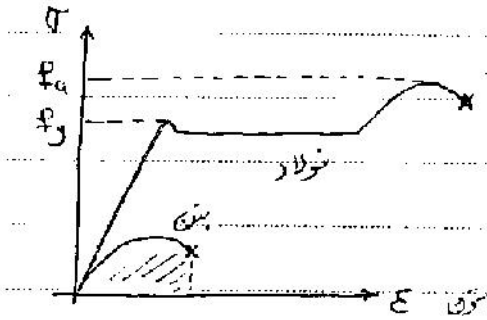
۲- " " " " مشاری

✓ ۳- مقاومت کششی بتن تحت خمش خالص

۴- " " " کشش غیر مستقیم

شکاف f_r < گسیختگی f_r

انواع فولاد و ... فولاد نسبت به بتن انرژی بیشتری جذب می‌کند.



انواع آرماتورهای موجود در ایران

		f_y	f_u
A II	S300	300	500
A III	S400	400	600
		(MPa)	

برای حلقوها و دستگها

برای آرماتورهای طولی

قطر آرماتور آجدار Φ 22 — آرماتور صاف Φ — بر حسب $\frac{mm}{8}$

نکته: در اعضای سازه‌ای آرماتورها باید آجدار باشند مگر آرماتورهای حرارتی و دورپیچ ستونها

یکی از فرضیات اساسی در طراحی بتن آرمه عبارتست از: (مهندسی عمران ۷۰)

۱) کرنش فولاد = کرنش بتن

۲) مقاومت فشاری بتن = ۱۰ برابر مقاومت کششی بتن

۳) عدم ترک‌خوردگی در بتن

۴) کرنش بتن در حد الاستیک = ۰/۰۰۳

مقاومت اسمی نهایی مقطع روبرو در کشش چه مقدار است؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۰)

$f_y = 4000 kg/cm^2$

$f'_c = 200 kg/cm^2$

مقطع دارای ۴ فولاد Φ۲۰ می‌باشد. ابعاد مقطع ۲۰cm×۲۰cm است.

۱) نزدیک به ۵۸ تن ۲) نزدیک به ۱۳۰ تن

۳) نزدیک به ۵۵ تن ۴) نزدیک به ۵۰ تن

در کشش خالص بتن ترک می‌خورد و تنها فولادی که کشش وارده را تحمل می‌کند

$T_n = 4 \times (3.14 \times 1^2) \times 4000 = 50240 kg = 50.6$ تن

سراسری ۸۹

۱۱۸- در صورتیکه مقاومت کششی بتن $f_t = 2 \frac{N}{mm^2}$ و ضریب ارتجاعی بتن $E_c = 16 \frac{KN}{mm^2}$ و ضرایب انبساط حرارتی بتن و فولاد $\alpha_c = \alpha_s = 10 \times 10^{-6} / °C$ باشد، اختلاف درجه حرارت شب و روز چقدر باید باشد تا ترک خوردگی در یک سازه کاملاً گیردار (مقید) ایجاد گردد.

۱) ۸°C ۲) ۱۲/۵°C ۳) ۱۰°C ۴) ۱۵°C

سازه مقید شده ← با کاهش دما در بتن کشش ایجاد می‌شود

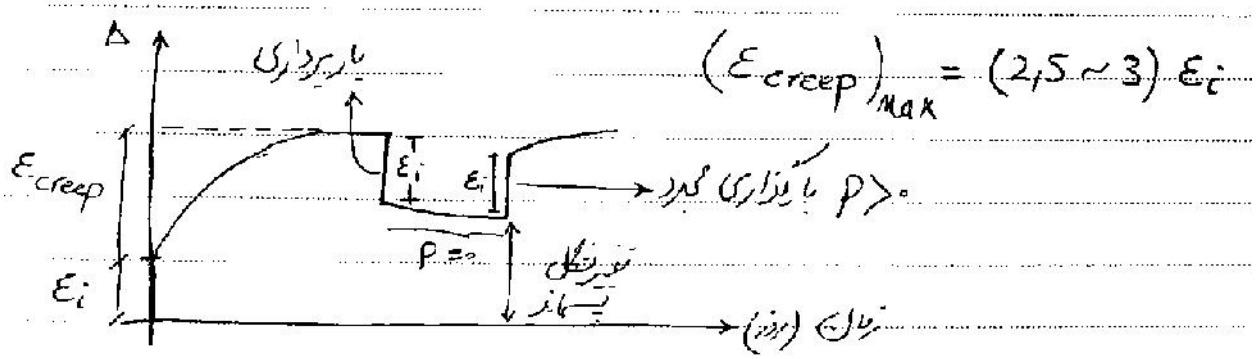
که اگر این کشش از مقاومت کششی بتن فراتر رود، بتن ترک می‌خورد

$$\left.\begin{array}{l} \text{کرنش حرارتی} = \alpha\Delta T = 10^{-5}\times\Delta T \\ \text{کرنش ترک‌خوردگی} = \dfrac{f_t}{E_c} = \dfrac{2}{16000} = \dfrac{1}{8000} \end{array}\right\} \rightarrow 10^{-5}\Delta T = \frac{1}{8000}$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{100000}{8000} = 12.5^{\circ}$$

۱-۱- خزش

خزش: تغییر شکل بتن تحت اثر بار ثابت در اثر گذشت زمان را خزش می‌نامیم.



$$(\varepsilon_{creep})_{MAX} = (2.5 \sim 3)\,\varepsilon_i$$

پس از ۲ تا ۵ سال خزش متوقف می‌شود.

- در طراحی اعضا (مقاومت آنها) خزش دخیل فرض نمی‌شود ولی در کنترل تغییر شکلهای سازه (تغییر شکل دراز مدت) در نظر گرفته می‌شود.

↓ خزش ⟸ ↑ f_c

↓ خزش ⟸ ↑ رطوبت هوا

↓ خزش ⟸ ↑ سن بتن

✓ دلیل اصلی خزش، خروج آب جذب شده سطحی از ساختار خمیر سیمان در اثر اعمال تنش ثابت در طول زمان است.

✓ خروج آب سطحی می تواند بر اثر تفاوت رطوبت محیط و بتن نیز اتفاق افتد که به آن **افت** می گویند.

عوامل که بر خزش اثر می کند:

۱- خلل فرج بتن ↑ خزش ↑

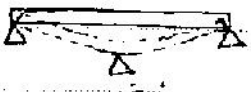
۲- ضخامت قطعه بتنی ↑ خزش ↓

۳- عمر بتن در لحظه بارگذاری ↑ خزش ↓

۴- زمان بارگذاری (مدتی که بار بر قطعه اثر می‌کند ↑ خزش ↑

۵- رطوبت محیط ↑ خزش ↓

۶- درصد فولاد فشاری ↑ خزش ↓



آسیب‌دیدگی بتن و کرنش‌های تغییر شکل ثابت ایجاد کنیم و آنرا ثابت نگه داریم ← در زمان تنش‌های کمتری در بتن خواهیم داشت.

سؤال: آیا ممکن است بتنی که مقاومت آن f'_c است تحت f'_c و خراب نشود؟ بلی ✓

از آنجایی که معیار خرابی بتن ε_u می‌باشد (کرنش نهایی) و نه f'_c (مقاومت فشاری) با گذر زمان: $\varepsilon_u = \varepsilon_i + \varepsilon_{creep}$ حالتی که بارگذاری آرام باشد.

" " سریع " " $\varepsilon_u = \varepsilon_i$

✓ تحت تنش های ثابت بیش از $0.85f'_c$ ، پدیده خزش با گذشت زمان موجب شکست نمونه می شود

در تیرهای پیوسته (چند دهانه) بتن آرمه تحت اثر بار ثابت به تدریج کدام حالت اتفاق می‌افتد؟
(مهندسی عمران ۸۰)

۱) هر دو ممان منفی و مثبت افزایش می‌یابند.
۲) هر دو ممان منفی و مثبت کاهش می‌یابند.
۳) ممان مثبت کم شده و ممان منفی تکیه‌گاه افزایش می‌یابد.
۴) از ممان منفی تکیه‌گاه کم شده و به ممان مثبت وسط دهانه اضافه می‌شود.

۱۹ـ خیز بلندمدت یک تیر بتن‌آرمه: (مهندسی عمران ۷۹)

۱) ۲ تا ۳ برابر خیز اولیه آن است.

۲) ۱/۵ برابر خیز اولیه آن است.

۳) به علت جمع‌شدگی "Shrin Kage" کمتر از خیز اولیه آن است.

۴) هیچکدام

آزاد ۸۹

۱۲۲ـ کدام‌یک از عبارت‌های زیر راجع به پدیده خزش در بتن صحیح است؟

۱) هر قدر رطوبت نسبی محیط کمتر باشد کرنش ناشی از خزش در بتن بیشتر است.

۲) کرنش ناشی از خزش تماماً برگشت‌پذیر یا قابل جبران در باربرداری است.

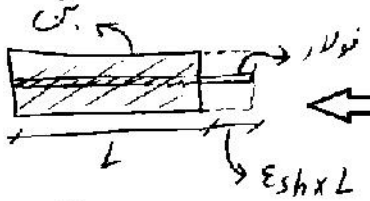
۳) هرقدر تنش اعمالی به نمونه کمتر و سن نمونه هنگام بارگذاری بیشتر باشد، میزان خزش آن بیشتر است.

۴) میزان کرنش ناشی از خزش همواره کمتر از کرنش ناشی از بارگذاری است.

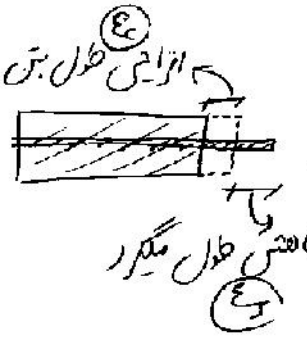
سراسری ۸۹

۱۱۵ یک عضو بتن آرمه شامل ۱٪ فولاد است. کرنش انقباضی آزاد بتن $\varepsilon_{sh} = ۲۰۰\times۱۰^{-۶}$ می‌باشد. برای فولاد $E_s = ۲۰۰\frac{KN}{mm^۲}$ و برای بتن $E_c = ۱۵\frac{KN}{mm^۲}$ است. عضو، آزاد از موانع خارجی در نظر گرفته می‌شود. تنش‌های حاصله در بتن و آرماتور به ترتیب بر حسب $\frac{N}{mm^۲}$ برابرند با:

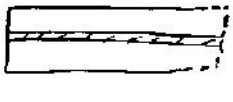
۱) ۰/۲۵ (کششی) و ۳۵/۰ (فشاری)
۲) ۰/۲ (کششی) و ۴۰ (فشاری)
۳) ۰/۲۵ (کششی) و ۳۵/۳ (فشاری)
۴) ۱ (کششی) و ۱ (فشاری)



اگر فولاد و بتن به هم چسبیده نبودند



برای اینکه فولاد و بتن چسبیده باقی بمانند



$$\varepsilon_c + \varepsilon_s = 200 \times 10^{-6} \quad (I)$$

از طرفی گفته نیروی خارجی بر کفه داری نمی شود

نیروی بتن = نیروی فولاد $\Rightarrow$ $\varepsilon_c \times E_c \times A_c = \varepsilon_s \times E_s \times A_s$

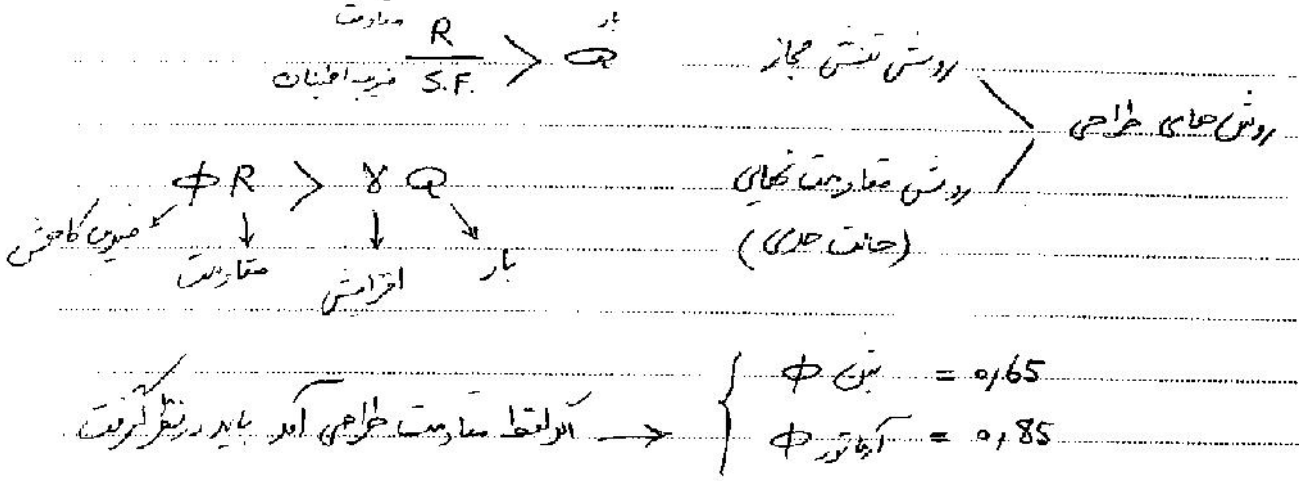
A_c: سطح مقطع کل بتن
A_s: سطح مقطع کل فولاد

$$\varepsilon_c \times 15 \times 100 A_s = \varepsilon_s \times 200 \times A_s \rightarrow \varepsilon_c = \frac{4}{30}\varepsilon_s \quad (II)$$

$$I, II \rightarrow \begin{cases} \varepsilon_c = 23.3 \times 10^{-6} \\ \varepsilon_s = 176.47 \times 10^{-6} \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} \sigma_c &= \varepsilon_c \times E_c = 23.3 \times 10^{-6} \times 15000 = 0.35 \\ \sigma_s &= \varepsilon_s \times E_s = 176.5 \times 10^{-6} \times 200000 = 35.3 \end{aligned}$$

۱-۲- روشهای طراحی

کنترل در حالت حد نهایی:



نمونه ترکیبات بار طراحی در آیین نامه ایران:

1.25D+1.5L
D+1.2L+1.2E
0.85D+1.2E
D+1.2L+T

کنترل برای حالت بهره برداری:

ترکیبات فوق برای کنترل مقاومت عضو می‌باشد. برای کنترل تغییرشکل و ترک خوردگی باید تمام ضرایب γ و ϕ برابر یک فرض شود.

کدامیک از گزینه‌های زیر منعکس کننده علت کاربرد ضرائب تقلیل مقاومت، در طراحی در حالت حد نهایی مقاومت نمی‌باشد: **(مهندسی عمران آ(د ۸۳)**

۱) عدم اطمینان از نحوه توزیع تنش در مقطع

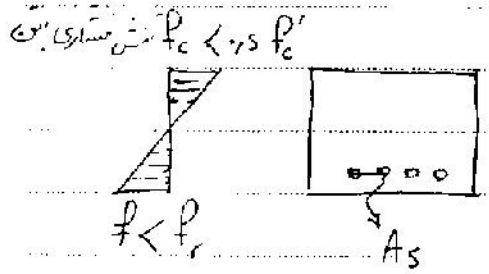
۲) عدم اطمینان از مقاومت بتن و فولاد مورد استفاده در سازه

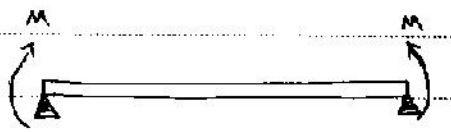
۳) عدم اطمینان از ابعاد صحیح مقاطع و اعضاء

۴) عدم اطمینان از موقعیت قرارگیری صحیح فولادها

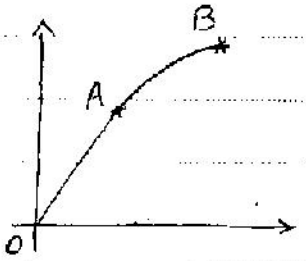
۲-خمش

۲-۱- لنگر ترک خوردگی مقطع

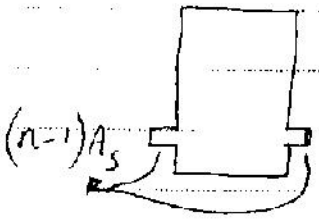




در تیرهای OA لنگر اعمال شده کمتر از لنگر ترک خوردگی مقطع است.



$n = \frac{E_s}{E_c} \simeq 10$ ← مدول هم ارزی یا سختی فولاد و بتن برابر است با



* برای محاسبه لنگر ترک خوردگی:
(۱) عمل تار خنثی را حساب می‌کنیم
(۲) I مقطع تبدیل یافته حساب شود
(۳)

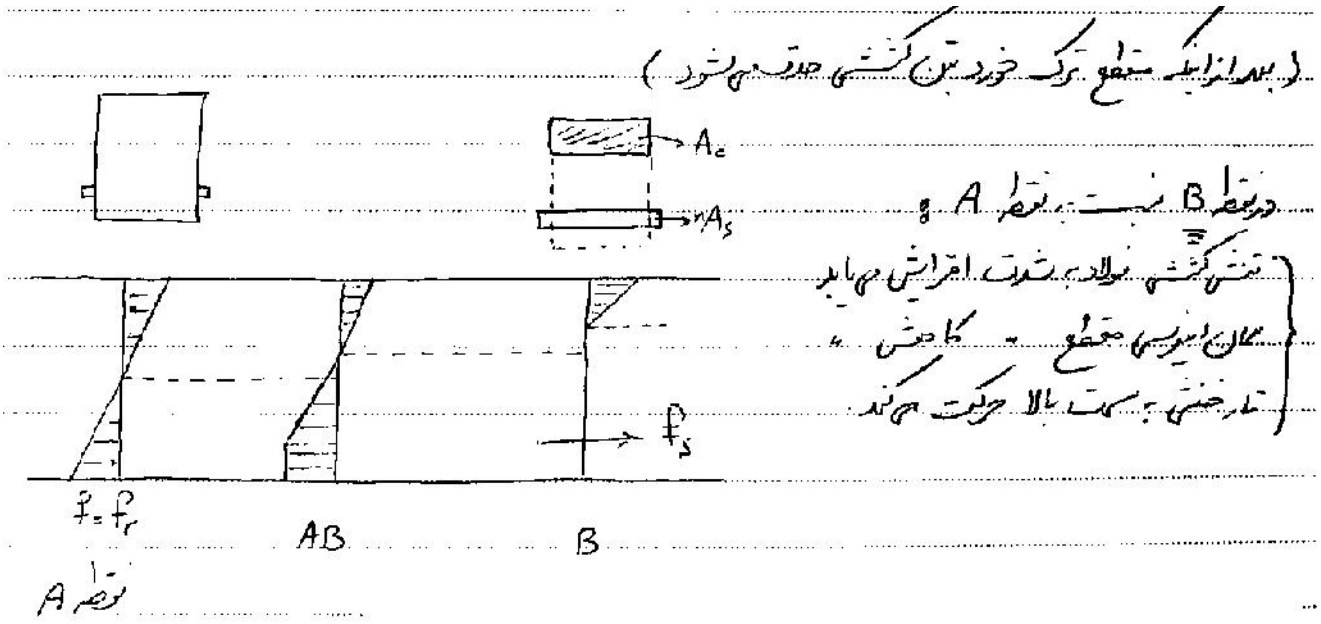
$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{c}$ لنگر ترک خوردگی ← $f = \frac{Mc}{I}$

بجای روش دقیق فوق می‌توان از وجود فولاد صرفنظر کرد چون درصد آن حدوداً ۱٪ است، مقطع تبدیل یافته ۱۰٪ بزرگتر از مقطع تبدیل نیافته است.

$M_{cr} = \frac{f_r \times I_{\text{دقیق}}}{y_t}$ لنگر ترک خوردگی دقیق

$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{h/2}$ ← لنگر ترک خوردگی تقریبی (بدون آرماتور، مقطع کامل) — برای مستقیل

نکته: چون تحت بارگذاری عادی (بارگذاری سرویس، بارگذاری حالت بهره‌برداری) مقاطع تیرها حتماً ترک می‌خورد یعنی لنگر ترک خوردگی بسیار کمتر از لنگرهای عادی در تیرها هستند.



۱ـ در اکثر تیرهای بتن آرمه لنگر ترک‌دهندگی: (مهندسی عمران ۸۶)

۱) کمی کمتر از لنگر مقاوم نهایی است. ۲) درصد کمی از لنگر مقاوم نهایی است.

۳) درصد زیادی از لنگر مقاوم نهایی است. ۴) حدوداً نصف لنگر مقاوم نهایی است.

۲۶ـ وقتی که بارهای حداکثر سرویس (بهره‌برداری) به یک تیر بتن آرمه وارد می‌شود لنگر حداکثر ایجاد شده در تیر: (مهندسی عمران ۷۴)

۱) بیشتر از لنگر ترک‌خوردگی است. ۲) کمتر از لنگر ترک‌خوردگی است.

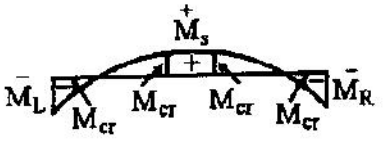
۳) خیلی کمتر از لنگر ترک‌خوردگی است. ۴) برابر لنگر ترک‌خوردگی است.

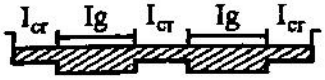
۳۳ـ در اکثر تیرهای بتن آرمه لنگری که باعث ایجاد نخستین ترک می‌شود: (مهندسی عمران ۷۱)

۱) درصد کمی از لنگر مقاوم نهایی است. ۲) حدوداً نصف لنگر مقاوم نهایی است.

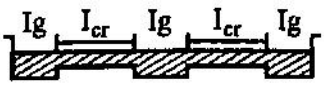
۳) کمی کمتر از لنگر مقاوم نهایی است. ۴) هیچکدام

۲۲ـ در شکل زیر دیاگرام ممان خمشی یک دهانه از تیر یکسره تحت تأثیر بارهای سرویسی (بدون ضریب) نشان داده شده است. اگر ممان ترک‌خوردگی تیر برابر M_{cr}، ممان اینرسی کل مقطع بتنی با صرفنظر از آرماتور برابر I_g و ممان اینرسی مقطع ترک خورده تیر برابر I_{cr} باشد، کدام گزینه تغییرات ممان اینرسی در طول دهانه تیر را بهتر نشان می‌دهد؟ (مهندسی عمران ۷۷)



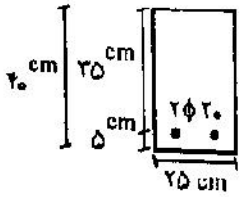
۱) 

۲) Ig به طور یکنواخت

۳) 

۴) Icr به طور یکنواخت

حداکثر لنگر خمشی اسمی که مقطع روبرو می‌تواند تحمل کند بدون آنکه ترک خمشی در آن رخ دهد، چیست؟ (مهندس عمران آزاد ۸۰)



f_y تنش تسلیم فولاد $= ۴۰۰۰ kg/cm^2$

f'_c مقاومت ۲۸ روزه سیلندری بتن $= ۲۱۰ kg/cm^2$

f_r تنش مقاومت گسیختگی بتن (rupture) $= ۴۲ kg/cm^2$

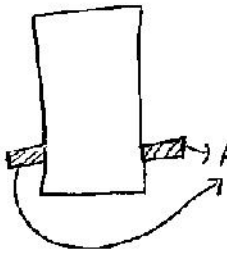
وزن مخصوص بتن $\omega = ۲۴۰۰ kg/cm^3$ یعنی بتن معمولی است.

۱) نزدیک به ۳ تن‌متر ۲) نزدیک به ۹ تن‌متر

۳) نزدیک به ۲ تن‌متر ۴) نزدیک به ۶ تن‌متر

$$M = (42) \times \frac{I}{c} \rightarrow M = 42 \times \frac{(25 \times 40^3/12)}{20} = 280000 kg.cm = 2.8 t.m.$$

راحل تشریحی:



$$A = (n-1)A_s = \left(\frac{2 \times 10^5 MPa}{5000\sqrt{21}} - 1\right) \times 2 \times 3.14 = 48.53 cm^2$$

$$\bar{y} = \frac{(25 \times 40) \times 20 + A' \times 5}{25 \times 40 + A'} = 19.3 \rightarrow I = \frac{25 \times 40^3}{12} + (25 \times 40) \times 0.7^2 + A' \times (19.3 - 5)^2 = 143747$$

$$\frac{Mc}{I} (42 \rightarrow M (\frac{42 \times 143747}{20.7} = 29160 kg.cm = 2.9 t.m.$$

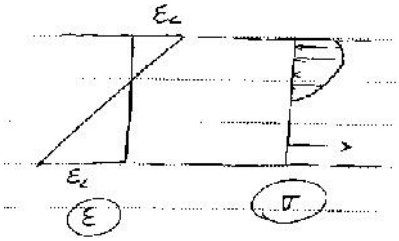
۲-۲- لنگر نهایی مقطع

فرضیات:

۱- اصل برنولی: مقاطع قبل و بعد از خمش مسطح باقی می مانند. (در تیرهای عمیق با $\frac{h}{L_n} > 4$ این فرض صحیح نیست)

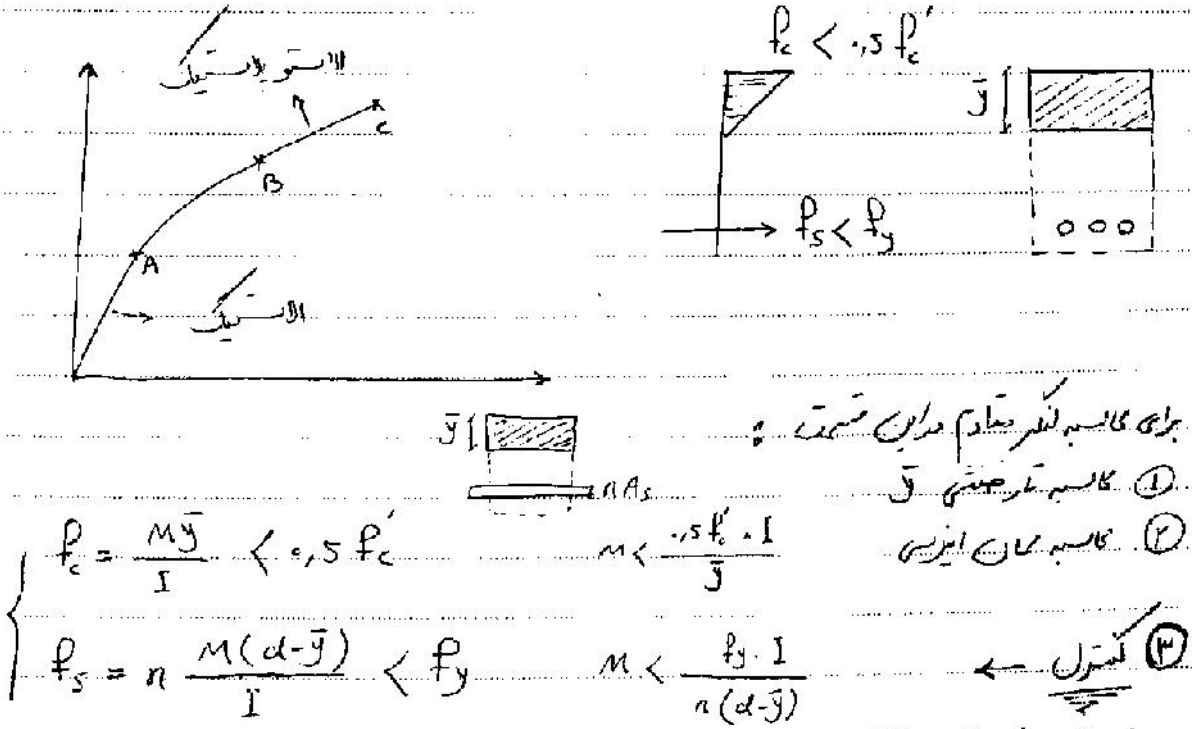
۲- معیار خرابی بتن رسیدن به f'_c نیست!!! بلکه رسیدن کرنش ها به ε_{cu}=0.0035 است.

۳- فولاد و بتن پیوسته هستند (فولاد در بتن نمی لغزد چون آجدار است)



مفهوم نمودار لنگر- انحنا

لنگر الاستوپلاستیک (ناحیه پس از ترک خوردگی):



برای محاسبه لنگر مقاوم مدل مشخص:

① محاسبه تار خنثی $\bar{y}$

② محاسبه ممان اینرسی

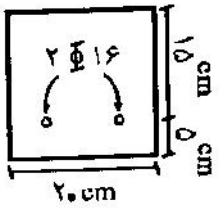
$$f_c = \frac{M\bar{y}}{I} < 0.5 f'_c \quad \Rightarrow \quad M < \frac{0.5 f'_c \cdot I}{\bar{y}}$$

$$f_s = n\frac{M(d-\bar{y})}{I} < f_y \quad \Rightarrow \quad M < \frac{f_y \cdot I}{n(d-\bar{y})}$$

③ کنترل ←

تیر بتن مسلحی که در شکل زیر نشان داده شده است تحت اثر خمش خالص بدون نیروی محوری قرار دارد. حداکثر لنگر اسمی (nominal) که این مقطع می‌تواند تحمل کند بدون آنکه بتن در فشار و یا فولاد در کشش وارد بخش رفتار غیرخطی شوند، چه مقدار است؟

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)



$f_y = ۴۰۰۰ kg/cm^۲$

$f'_c = ۲۲۵ kg/cm^۲$

۱) حدود ۱/۶ تن متر

۲) حدود ۱/۸ تن متر

۳) حدود ۲/۱ تن متر

۴) حدود ۲/۴ تن متر

$$n = \frac{2 \times 10^5}{5000\sqrt{22.5}} = 8.43$$

$$nA_s = 8.43 \times 2 \times \pi \times 8^2 = 3390\, mm^2$$

$$x(200) \times \frac{x}{2} = 3390 \times (150 - x) \rightarrow x = 56mm$$

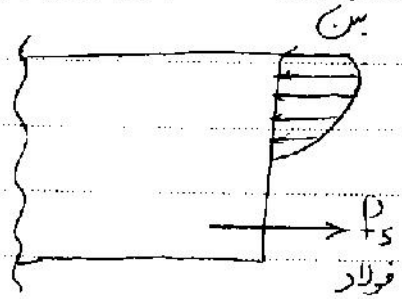
$$I = 3390 \times (150 - 56)^2 + \frac{1}{3}(200 \times 56^3 = 4.16 \times 10^7$$

$$M < \frac{0.5 f'_c I}{56} \cong 8.4 \times 10^6 N.mm = 0.84\ t.m$$

$$M < \frac{f_y I}{n(150 - 56)} \cong 21 \times 10^6 N.mm = 2.1\ t.m$$

لنگر نهایی (ناحیه پس از الاستوپلاستیک):

لنگر نهایی مقطع:



✓ دیاگرام تنش بتن برخلاف ۲ حالت قبلی خطی نیست
چون از f'_c 0.8 رد شده ایم.

✓ در تعیین لنگر نهایی، بتن به مقاومت نهایی خود می‌رسد
ولی فولاد ممکن است به f_y برسد و یا نرسد

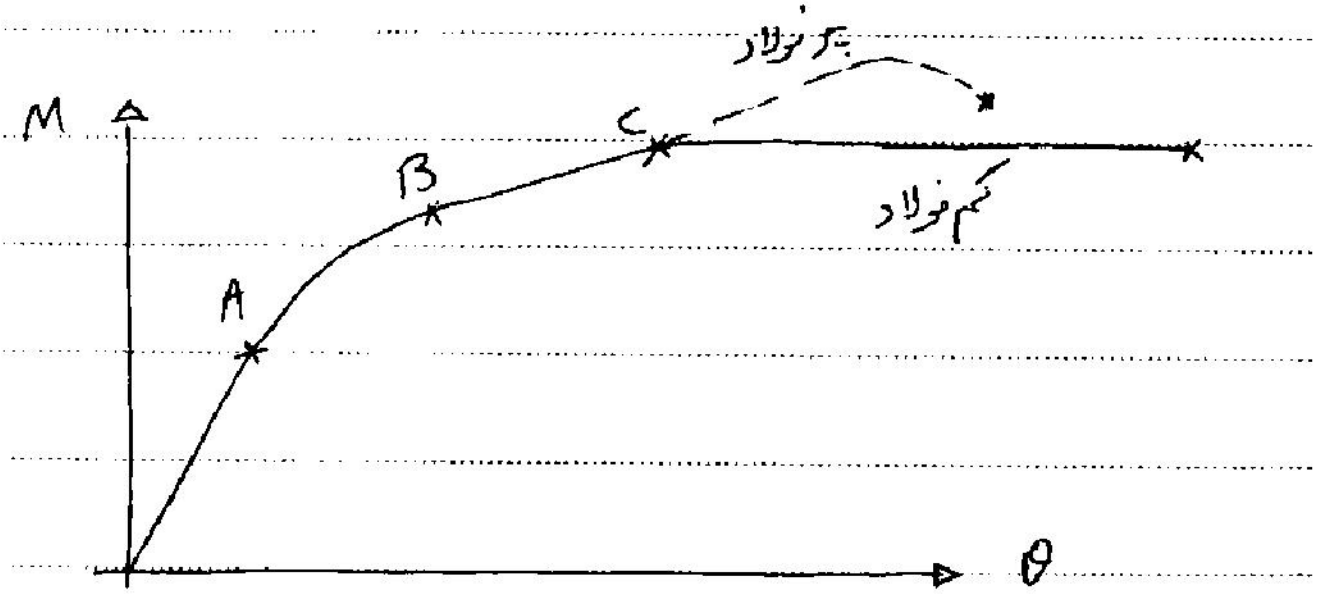
✓ با وجود اینکه تنش بتن غیرخطی است ولی کرنش ها خطی هستند.

* پس از نقطه C دو حالت داریم:

① مساحت فولاد کششی زیاد بوده و بتن خرد می‌شود. بدون اینکه فولاد تسلیم شود.

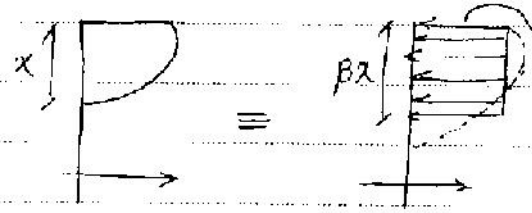
② مساحت فولاد کم بوده و ابتدا فولاد تسلیم شده سپس بتن خرد می‌شود.

* مقطع حالت اول را مقطع پر فولاد می‌نامند ← این نام مجاز نمی‌باشد
* " دوم " کم فولاد " ← شکل پذیرتر



چون تنش حقیقی نیست باید از معادل سازی آن استفاده کنیم.

* روش دستی (روش مستطیل معادل)



طول و عرض مستطیل را طوری انتخاب می‌کنیم که:

۱) مساحت زیر آن برابر مساحت زیر نمودار واقعی باشد.

۲) مرکز سطح آن برابر مرکز سطح نمودار واقعی باشد.

معمولاً در سوالات داده می‌شود

$\alpha \simeq \beta \simeq 0.85$

آئین نامه قدیم

$\alpha = 0.85 - 0.0015 f'_c$

$\beta = 0.97 - 0.0028 f'_c$

آئین نامه جدید

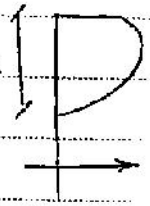
$f'_c = 25\ mpa \longrightarrow \begin{matrix}\alpha = 0.8 \\ \beta = 0.9\end{matrix} \longrightarrow A_c = \alpha\beta x f'_c$

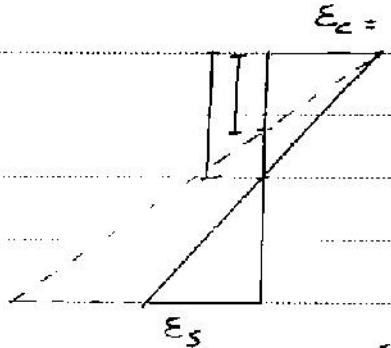
$A_c = 0.72 x f'_c$

$\begin{matrix}\alpha = 0.85 \\ \beta = 0.85\end{matrix} \longrightarrow A_c = 0.72 x f'_c$

تار خنثی:

$x \leftarrow$ ارتفاع تار خنثی (نقطه‌ای که مقطع نه تحت کشش است نه تحت فشار)





بررسی عوامل موثر در ارتفاع x:

✓ با افزایش کرنش فولاد در لحظه خرابی (لنگر نهایی) مقدار x کاهش می‌یابد.

✓ فولاد دوبل مانند دو بازوی کشش و فشار عمل می‌کند ← چون لنگر خالص را بررسی می‌کنیم، نیروی فشاری بتن (C) همیشه برابر کشش فولاد (T) خواهد بود $T=C$

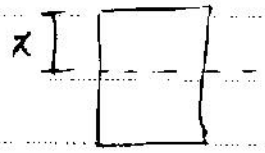
✓ هرچه بتن قوی‌تر باشد ← فولادها بیشتر تسلیم می‌شوند ← $x\downarrow$ (کاهش می‌یابد)
فولادها زودتر تسلیم می‌شوند.

افزایش
$x\uparrow$ ← فولادها دیرتر تسلیم می‌شوند ← $\uparrow f_y$ ← $x\downarrow$ (کاهش) ← $\uparrow f_c'$

$x\uparrow$ ← " " " " ← $\uparrow A_s$ (مساحت میلگرد کششی) $x\downarrow$ ← $\uparrow b$ (عرض مقطع)

هرچه بتن قوی‌تر باشد تار خنثی را به طرف خودش می‌کشد.
هرچه فولاد قوی‌تر باشد تار خنثی را به طرف خودش می‌کشد.

نتیجه: مقطع از محل تار خنثی، $\frac{x}{2}$ می‌باشد



۶ـ با توجه به تئوری خمش بتنی آرمه، دلیل استفاده از بلوک تنش مستطیلی معادل برای توزیع تنش فشاری در بتن، کدام است؟ **(مهندسی عمران Al)**

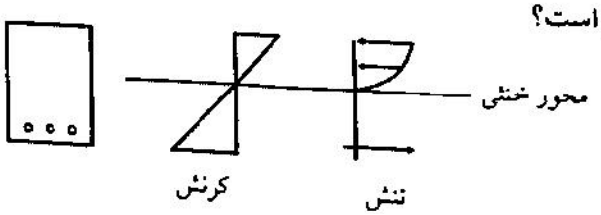
۱) ارتفاع این بلوک تنش مستطیلی معادل برابر است با موقعیت تار خنثی در مقطع

۲) این توزیع مقدار تنش واقعی مشاهده شده در آزمایشات است.

۳) با توجه به توزیع یکنواخت تنش کششی در فولاد، این توزیع برای بتنی انتخاب شده است.

۴) این توزیع معادل برای منظور نمودن اثرات تنش واقعی (نیروی فشاری بتن و نقطه اثر آن) پاسخی با دقت کافی ارائه می‌دهد.

دیاگرام‌های تنش ـ کرنش مربوط به مقطع بتن مسلح شکل زیر که تحت لنگر خمشی خالص قرار دارد، مطابق شکل زیر رسم شده‌اند. اگر این دیاگرام‌ها مربوط به لنگر خمشی نهایی اسمی *(nominal)* مقطع باشند، کدام گزینه صحیح است؟ **(مهندسی عمران آزاد Al)**



۱) دیاگرام تنش اشتباه است ولی دیاگرام کرنش صحیح است.

۲) هم دیاگرام تنش و هم دیاگرام کرنش هر دو اشتباه‌اند.

۳) دیاگرام تنش صحیح است ولی دیاگرام کرنش اشتباه است.

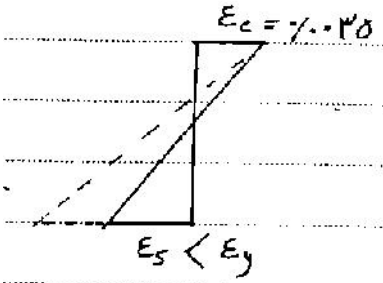
۴) هم دیاگرام کرنش و هم دیاگرام تنش صحیح می‌باشند.

۱۰- در طراحی مقاطع بتن آرمهٔ تحت خمش، در کدامیک از حالات زیر، نمودار کرنشها به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود؟ [مهندسی عمران ۷۹]

۱) حالات حدی ۲) مقاومت نهایی ۳) تنش‌های مجاز ۴) هرسه روش مذکور

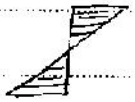
۲-۳- مقاطع کم فولاد و پر فولاد

فولاد حداقل و حداکثر:



✓ اگر مقدار A_s از یک حد مشخص بیشتر شود فولادها در لحظه‌ی گسیختگی جاری نمی‌شوند یعنی تنش در فولاد به F_y نمی‌رسد.

✓ اگر مقدار A_s از یک حد مشخص کمتر باشد ← با افزایش M، قبل از رسیدن به M_{cr} دیاگرام تنش خطی است.



به محض رسیدن به M_{cr}، تنش (نیروی) کششی بتن حذف شده و کل کشش را باید فولاد تحمل کند که اگر بسیار کم باشد بلافاصله خراب می‌شود.

$$M_{\text{نهایی}} < M_{cr}$$

فولاد باید آنقدر قوی باشد که بتواند نیروی کششی بتن را تحمل کند.

در طراحی اعضای بتنی باید مقطع تردشکن نباشد، در حالت ذکر شده در بالا مقطع به صورت ناگهانی می‌شکند.

↓

یعنی فولاد حداقل از خرابی مقطع به نقطه تسلیم رسیده و تغییر شکل‌های بزرگ انجام دهد.

* مقدار حداقل فولاد براساس آئین نامه:

$$\text{درصد آرماتور } \rho = \frac{A_s}{bd} \geq \text{Max}\left\{ \frac{1.4}{F_y\ (\text{MPa})},\ \frac{\sqrt{f'_c}}{4F_y} \right\}$$

b: عرض مقطع

d: ارتفاع مؤثر مقطع

دقت شود که این ضابطه برای اعضای خمشی است و برای اعضای فشاری ضابطه دیگری داریم.

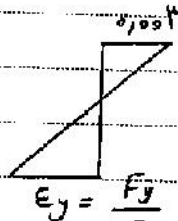
نکته: اگر مقدار فولاد محاسباتی، $\frac{3}{4}$ فولاد موجود باشد می‌توان این شرط را رعایت نکرد.

مثلاً اگر $A_{s\,min} = 2\,cm^2$ است و براساس محاسبات تنش‌های مقدار A_s لازم برای مقطع $1\,cm^2$ است، می‌توان $1.33\,cm^2$ آرماتور داد.

حداکثر فولاد:

Photo 1.6 Overreinforced wall panel shear failure, Northridge earthquake, 1994. (Courtesy of Englekirk Partners, Inc.)

* فولاد بالانس یا متعادل ← مقدار فولادی است که مقطع هنگام شکست نهایی همزمان با رسیدن کرنش بتن به کرنش نهایی در دورترین تارفشاری، کرنش در دورترین آرماتور کششی به کرنش جاری شدن فولاد برسد



✓ اگر فولاد کششی بیشتر از فولاد بالانس باشد، فولادهای کششی جاری نمی‌شوند ← مقطع ترد شکن / مقطع پرفولاد

✓ کمتر از مقدار فولاد بالانس " " جاری می‌شوند ← مقطع کم فولاد / نگل پذیر

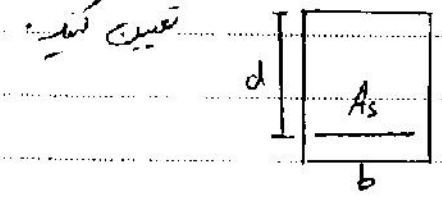
* مقطع کم فولاد ؛ آیین نامه مقطع کم فولاد را اجباری می کند .

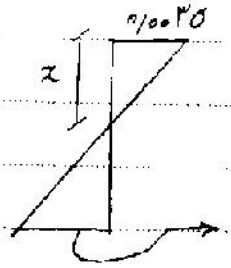
$$\frac{1.4}{F_y} < \frac{A_s}{bd} < \rho_b \Rightarrow \text{مقطع کم فولاد}$$

(ρ_b → حداکثر فولاد مجاز ؛ $\frac{1.4}{F_y}$ → حداقل فولادی از)

$$\frac{A_s}{bd} > \rho_b \Rightarrow \text{مقطع پر فولاد} \qquad \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4F_y}\right)$$

مثال : مقدار فولاد بالانس را برای تعیین کنید . ($A_{sb} = ?$)





① یافتن x

$$x = \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{F_y}{2\times10^5}} d = \frac{700}{700 + F_y} d$$

$$\varepsilon_y = \frac{F_y}{E} = \frac{F_y}{2\times10^5 \text{ mpa}}$$

قدم بعدی → $C = T$ ② $C = T$

$$\left.\begin{aligned} C &= \underbrace{(\beta x) b}_{A_c} * \alpha f'_c \\ T &= A_s \cdot F_y \end{aligned}\right\} \rightarrow A_s = \frac{(\alpha\beta)(xb) f'_c}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b \cdot d} = \frac{\alpha \cdot \beta (xb) f'_c}{b \cdot d \, f_y}$$

x جایگذاری → $$\rho_b = \frac{\alpha\beta f'_c}{F_y}\left(\frac{700}{700 + F_y}\right)$$

برای طراحی باید از f'_{cd} و f_{yd} استفاده کنیم . → $$\rho_b = \alpha\beta \frac{f'_{cd}}{f_{yd}}\left(\frac{700}{700 + F_y}\right) \text{ mpa}$$

$f_y = 400 \longrightarrow \varepsilon_y = \frac{400}{2\times10^5} = 0.002$

اگر بخواهیم ضرایب اطمینان را وارد کنیم به جای f'_c ← $f'_{cd} = 0.75 f'_c$

به جای f_y ← $f_{yd} = 0.18 f_y$

آیین نامه جدید: علاوه بر رعایت رابطه فوق، درصد فولاد در مقطع نباید از مقدار $\rho = 0.025$ بیشتر شود. یعنی:

$$\rho_{max} = \text{Min}\left\{\begin{array}{l}\alpha\beta\dfrac{0.65f'_c}{0.85F_y}\left(\dfrac{700}{700+F_y}\right)\\ \\ 0.025\end{array}\right\}$$

نکته: اگر $\uparrow f_y$ ← شکل پذیری مقطع ↓ ← (با افزایش f_y تا رخنه پایین آمده و فولادها دیرتر تسلیم می شوند پس تردشکن تر می شود)

مقطع پر فولاد می شود

$\downarrow \rho_b$

اگر $\uparrow A_s$ ← شکل پذیری کم می شود ↓

مقطع پر فولاد می شود

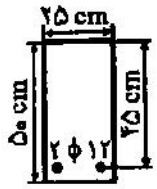
اگر $\uparrow f'_c$ ← تا رخنه بالاتر می رود، شکل پذیری ↑

مقطع کم فولاد تر می شود

$\uparrow \rho_b$

اگر $\uparrow A_{sb}$ ← مانند افزایش f'_c می باشد ← شکل پذیری ↑، مقطع کم فولادتر، ولی ρ_b = ثابت

یک مقطع مستطیلی با اطلاعات زیر داده شده است. مقاومت فشاری نمونه استوانه بتنی $f'_c=۲۵۰ kg/cm^۲$ مقاومت تسلیم فولاد $f_y=۲۵۰۰ kg/cm^۲$ (مهندسی عمران ۷۰)



۱) رفتار این تیر مانند یک تیر کم آرماتور *(Under-reinforced)* است.

۲) رفتار این تیر مانند یک تیر پر آرماتور *(Over-reinforced)* است.

۳) رفتار این تیر مانند یک تیر بتنی غیرمسلح است.

۴) هیچکدام

$\rho=۰$ مقطع بتنی غیرمسلح — ρ_{min} مقطع کم فولاد — ρ_{max} مقطع پرفولاد — $\rho=\infty$

$\rho=\frac{۲\times۳.۱۴\times۰.۶^۲}{۴۵\times۲۵}=۰.۰۰۲$

$\rho_{min}=Max\left\{\frac{۱.۴}{۲۵۰}, \frac{\sqrt{۲۵}}{۴\times۲۵۰}\right\}=۰.۰۰۵$ } غیرمسلح است

۲۵ـ در مورد گسیختگی کششی (شکل‌پذیر) تیرهای بتنی کدامیک از گزینه‌های زیر مناسبتر است؟ (مهندسی عمران ۷۴)

۱) قبل از رسیدن بتن به کرنش گسیختگی خود، فولاد کششی به حد گسیختگی می‌رسد.

۲) کرنش گسیختگی فولاد و بتن توأماً در یک زمان اتفاق می‌افتد.

۳) فولاد کششی به حد جاری شدن (تسلیم) نمی‌رسد.

۴) قبل از رسیدن بتن به کرنش گسیختگی خود، فولاد کششی به حد جاری شدن می‌رسد.

بر اساس آیین‌نامه *ACI* برای محاسبه مقدار فولاد متوازن *(Balanced)* در تیرهای مستطیل شکل بدون نیروی محوری، کدام اطلاعات لازم‌اند؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۲)

۱) فقط مقاومت ۲۸ روزه بتن

۲) فقط مقاومت ۲۸ روزه بتن و تنش تسلیم فولاد

۳) فقط مقاومت ۲۸ روزه بتن، تنش تسلیم فولاد و مدول الاستیسیته فولاد

۴) فقط کرنش تسلیم فولاد و کرنش خرد شدن بتن و مدول الاستیسیته فولاد

۳۱ـ در یک مقطع خمشی منظور از حالت بالانس (متعادل) چیست؟ (مهندسی عمران ۷۲)

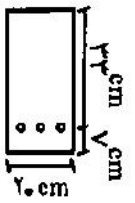
۱) بین نیروی فشاری بتن و نیروی کششی فولاد تعادل برقرار باشد.

۲) هنگامی که بتن فشاری به تغییر شکل نهایی خود می‌رسد فولاد کششی نیز به تغییر شکل نهایی خود برسد.

۳) هنگامی که بتن فشاری به تغییر شکل نهایی خود می‌رسد فولاد کششی به تغییر متناظر با مقاومت تسلیم مشخصه برسد.

۴) هیچکدام

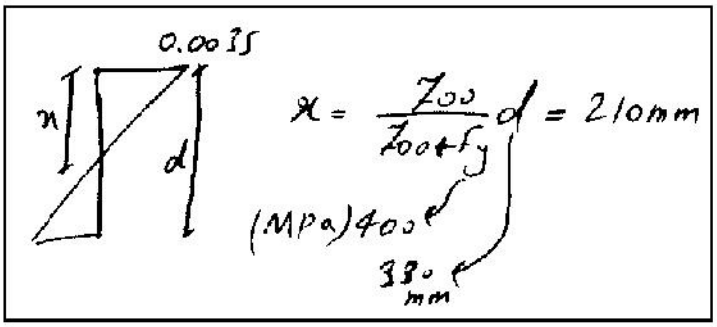
۵۷ـ درصد فولاد متوازن ρ_b برای مقطع زیر چه مقدار است؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۱)



$f'_c = ۴۲۰ kg/cm^۲$

$f_y = ۴۰۰۰ kg/cm^۲$

۱) ۰/۰۴۵۶ ۲) ۰/۰۳۸۶ ۳) ۰/۰۰۴۱ ۴) ۰/۰۴۰۶



گام ① ← محاسبه x

گام ② ←

$C=T \Rightarrow (\alpha\beta)(xb)42 = A_s \times 400$

(مساحت بتن) (fc) (fy)

α و β را نداریم پس بهترین حدود را 0.85 در نظر می‌گیریم

$0.85^2 (210 \times 200) \times 42 = A_s \times 400 \longrightarrow A_s = 3186.22\ mm^2$

(x , b)

$\longrightarrow \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{3186.22}{200 \times 330} = 0.0483$

حل با آیین‌نامه قبلی ←

$x = \frac{600}{600+f_y} d = 198 \longrightarrow 0.85^2 (210 \times 200) \times 42 = A_s \times 400 \longrightarrow A_s = 3004\ mm^2$

$\longrightarrow \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{3004}{200 \times 330} = 0.04552$

اگر $f_y = ۴۲۰۰ kg/cm^۲$ و $f'_c = ۲۱۰ kg/cm^۲$ به ترتیب مقاومت‌های کششی تسلیم فولاد و فشاری ۲۸ روزه سیلندری بتن باشند، در آن صورت میزان فولاد متوازن (*balanced*) برابر است با:

(مهندسی عمران آزاد ۸۰)

۱) ۰/۰۳۱۲ ۲) ۰/۰۴۱۰ ۳) ۰/۰۲۱۳ ۴) ۰/۰۱۵۲

$$x_b = \frac{700}{700+f_y} d = 0.625\,d$$ ← گام (1)

(420)

$$C = T \Rightarrow (\alpha\beta) \times (x_b\, b)\, f_c = A_s \times f_y$$ ← گام (2)

(0.85²)

$$\longrightarrow 0.85^2 (0.625\, d\, b)\, 21 = A_s \times 420 \longrightarrow \frac{A_s}{bd} = 0.0226$$

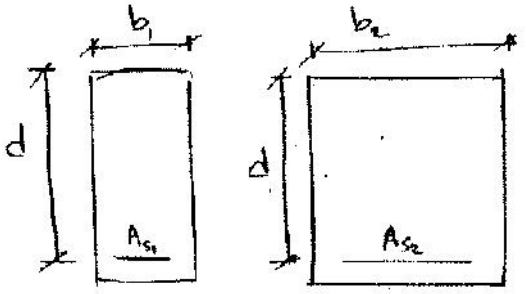
آیین نامه قبلی ←

$$x_b = \frac{600}{600+f_y} d = 0.588\,d$$

$$\longrightarrow 0.85^2 (0.588\, d \times b) \times 21 = A_s \times 420 \longrightarrow \frac{A_s}{bd} = 0.0212$$

سراسری ۸۹

در صورتی که در دو مقطع نشان داده شده، جنس مصالح بتنی و فولادی یکسان باشد، با فرض $b_1 < b_2$ کدام حالت در مورد نسبت $\frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}}$ صحیح است؟ (ρ_b نسبت آرماتورهای متوازن (بالانس) می‌باشد)



۱) $\frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}} = 1$

۲) $\frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}} < 1$

۳) $\frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}} > 1$

۴) اطلاعات کافی نمی‌باشد.

$$(\alpha\beta)(x_b\, b)\, f_c = A_s f_y \longrightarrow \boxed{\rho_b = \frac{(\alpha\beta)\frac{x_b}{d} f_c}{f_y}}$$

$$\boxed{\rho_b = \frac{(\alpha\beta)\ 700 f_c}{(700+f_y) f_y}}$$

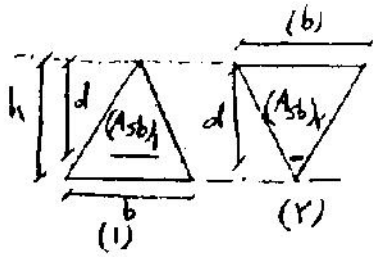
✓ ρ_b تنها به f_c و f_y بستگی دارد.

ولی A_{sb} به b و d بستگی دارد.

آزاد ۸۷

۱۳۲- باتوجه به مقاطع نیر بتن آرمه نشان داده شده در شکل، فولاد متوازن مقطع (۱) چند برابر فولاد متوازن مقطع (۲) می باشد؟

($\varepsilon_{cu}=3\times10^{-3}$ ، $\varepsilon_y=2\times10^{-3}$ ، $\beta=0.8$ و $d=\frac{5}{6}h$، کلیه خصوصیات مصالح در هردو مقطع یکسان است)



۱) ۱ ۲) $\frac{1}{2}$

۳) $\frac{1}{4}$ ۴) $\frac{1}{3}$

$\varepsilon_{cu}=0.003$ باتوجه $x_b=\frac{700}{700+f_y}d$ ← رابطه خودکار و حل محاسبه گام ۱

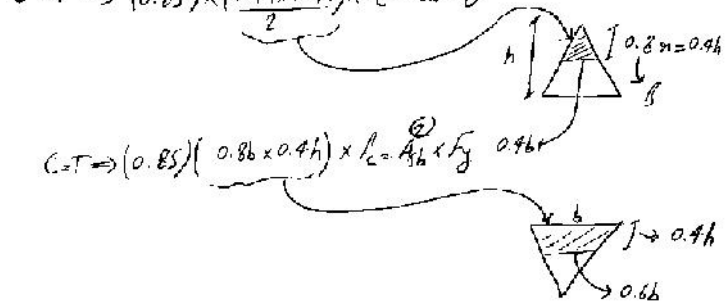
مازاد مقدار ε_{cu} را برابر 0.003 منظور کرده باید از رابطه زیر استفاده کنیم

$$x_b=\frac{0.003}{0.003+0.002}d=\frac{3}{5}d=\frac{3}{5}\times\frac{5}{6}h=\frac{3}{6}h=\frac{h}{2}$$

گام ۲

$$C=T\Rightarrow(0.85)\times\left(\frac{0.4h\times0.4b}{2}\right)\times f_c=A_{sb}^{(1)}\times f_y$$

$$C=T\Rightarrow(0.85)(0.8b\times0.4h)\times f_c=A_{sb}^{(2)}\times f_y$$

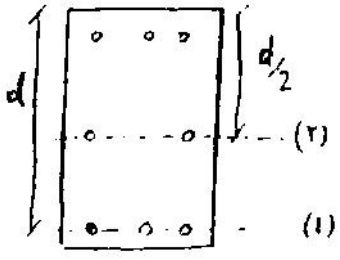


$$\frac{A_{sb}^{(1)}}{A_{sb}^{(2)}}=\frac{0.85\left(\frac{0.4h\times0.4b}{2}\right)}{0.85(0.8b\times0.4h)}=\frac{1}{4}$$

آزاد ۸۷

۱۳۱- مقطع نیر بتن آرمه نشان داده در شکل در حالت بالانس قرار دارد، نیروی کل آرماتورهای ردیف (۱) چند برابر نیروی کل آرماتورهای ردیف (۲) می باشد؟

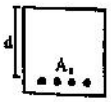
($\varepsilon_{cu}=3\times10^{-3}$ کرنش نهایی بتن و $\varepsilon_y=2\times10^{-3}$ کرنش تسلیم فولاد، جنس و سطح مقطع کلیه آرماتورها یکسان فرض می گردد.)



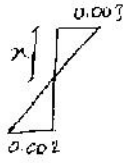
۱) ۶ ۲) ۴

۳) ۳ ۴) ۲

۸ـ مقدار فولاد A_s در تیر (مقطع شکل زیر) به اندازه‌ای است، که کرنش آن در موقع شکست خمشی تیر برابر با کرنش جاری شدن فولاد یعنی $\varepsilon_s = \varepsilon_y = 0/002$ می‌باشد. چنانچه بخواهیم کرنش فولاد در موقع شکست $\varepsilon_s = 3\varepsilon_y$ باشد، مقدار فولاد لازم تقریباً چند برابر A_s خواهد بود؟ (مهندسی عمران ۸۰)



۱) ۰/۲۵ (کرنش نهایی بتن برابر ۰/۰۰۳ اختیار شود).
۲) ۰/۳
۳) ۰/۵۵
۴) ۱

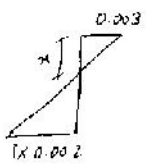


حالت اول

$$x = \frac{3}{5}d$$

$$C = T \rightarrow (\alpha\beta)(\frac{3}{5}db)f'_c = A_s f_y$$

$$\rightarrow A_s = \frac{(\alpha\beta)(\frac{3}{5}db)f'_c}{f_y}$$



حالت دوم

$$x = \frac{3}{9}d$$

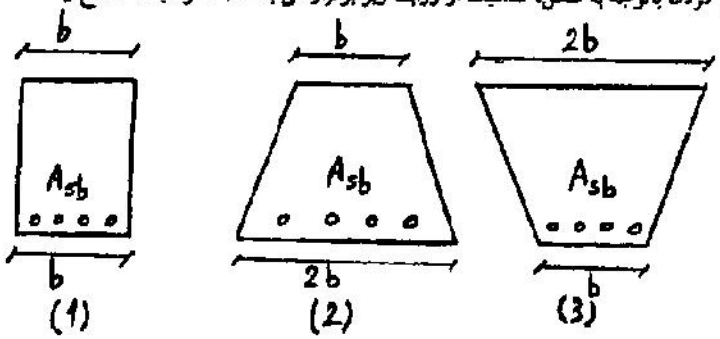
$$(\alpha\beta)(\frac{3}{9}db)f'_c = A'_s f_y$$

$$A'_s = \frac{(\alpha\beta)(\frac{3}{9}db)f'_c}{f_y}$$

$$\Rightarrow A'_s = \frac{\frac{3}{9}}{\frac{3}{5}}A_s = \frac{5}{9}A_s = 0.55A_s$$

آزاد ۸۶

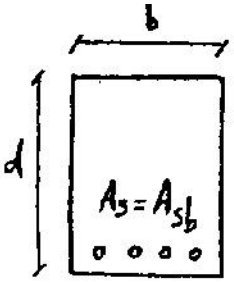
در صورتیکه فولاد متوازن مقطع با A_{sb} معرفی گردد، باتوجه به شکل، کدامیک از روابط زیر برقرار می باشد (خصوصیات مصالح و عمق مؤثر در هر سه مقطع یکسان است)؟



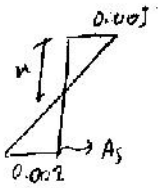
۱) $(A_{sb})_1 = (A_{sb})_2 = (A_{sb})_3$
۲) $(A_{sb})_1 > (A_{sb})_2 = (A_{sb})_3$
۳) $(A_{sb})_3 > (A_{sb})_2 > (A_{sb})_1$
۴) $(A_{sb})_2 > (A_{sb})_3 > (A_{sb})_1$

آزاد ۸۶

در یک تیر بتن آرمه با مقطع نشان داده شده در شکل، مقدار فولاد مقطع برابر با فولاد متوازن می باشد. در صورتیکه فولاد مقطع به $\frac{2}{3}$ مقدار کنونی آن کاهش یابد، کرنش آرماتورها (ε_s) برابر است با: ($\varepsilon_y = 0.002$ کرنش تسلیم فولاد، $\varepsilon_{cu} = 0.003$ کرنش نهایی بتن)

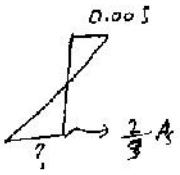


۱) $\varepsilon_s = \frac{2}{3}\varepsilon_y$
۲) $\varepsilon_s = \frac{9}{4}\varepsilon_y$
۳) $\varepsilon_s = \frac{3}{2}\varepsilon_y$
۴) $\varepsilon_s = \frac{9}{2}\varepsilon_y$



$x = \frac{3}{5}d$

$(\alpha f)(\frac{3}{5}db) f_c = A_s f_y$



$x' = \frac{0.003}{0.003+?}d$

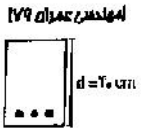
$\frac{0.003}{0.003+?}d = \frac{3}{5}d \rightarrow ? = 0.0045 = \frac{9}{4}\varepsilon_y$

$(\alpha f)(x'b) f_c = \frac{2}{3}A_s f_y \rightarrow x' = \frac{2}{3}x \rightarrow x' = \frac{2}{3}(\frac{3}{5})d = \frac{2}{5}d$

آزاد ۸۶

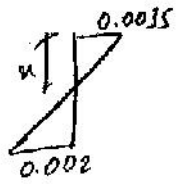
۱۴- در تیر شکل روبرو، در حالت مقاومت نهایی، کرنش فولاد (با سطح مقطع A_{s1}) برابر مقدار کرنش جاری شدن $\varepsilon_s = \varepsilon_y = ۰/۰۰۲$ می‌شود. اگر بخواهیم کرنش فولاد مقطع در حالت نهایی $\varepsilon_s = ۲\varepsilon_y$ شود، مقدار سطح مقطع (A_{s2}) فولاد تقریباً چقدر باید باشد؟

مهندسی عمران ۷۹



۱) $A_{s2} = ۲A_{s1}$ ۲) $A_{s2} = A_{s1}$

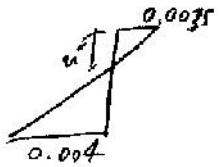
۳) $A_{s2} = ۰/۷A_{s1}$ ۴) $A_{s2} = ۰/۳A_{s1}$



حالت اول

$x = \frac{3.5}{5.5}d$

$\rightarrow \alpha f (\frac{3.5}{5.5}db) f_c = A_{s1} f_y$



$x = \frac{0.0035}{0.0075}d$

$(\alpha f)(\frac{2.5}{7.5}db) f_c = A_{s2} f_y$

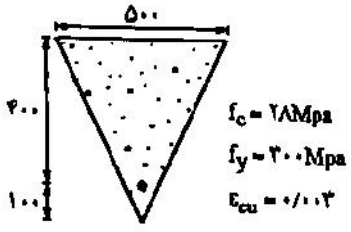
$\Rightarrow \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = \frac{\frac{3.5}{7.5}}{\frac{3.5}{5.5}} = 0.7333$

$\frac{A_s}{A_{s1}} = \frac{\frac{3}{7}}{\frac{3}{5}} = 0.71$ ← اگر طبق آیین نامه قبلی با فرض $\varepsilon_{cu} = 0.003$ به جای 0.0035

حداقل فولاد کششی

سطح فولاد متعادل، A_{sb} را برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر محاسبه کنید: (مهندسی عمران آزاد ۸۳)

(بر اساس آیین نامه آبا)



۱) $۵۷۷۴mm^۲$

۲) $۴۹۰۸mm^۲$

۳) $۶۷۹۳mm^۲$

۴) $۴۱۷۲mm^۲$

گفته براساس آیا ← بنابراین ضریب کاهش طراحی باید منظور شود

$x = \frac{0.003}{0.003+0.0015} \times 400 = 267\ mm$

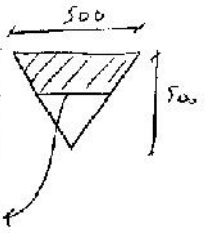
← ۶۷ ضریب نمی‌کنیم

$C = T \Rightarrow \left[\left(\frac{500+273}{2}\right) \times 227\right](0.85 \times 0.65 \times 28) = 0.85 \times A_s \times 300 \longrightarrow A_s = 4505\ mm^2$

مساحت بتن

$0.85 \times 267 = 227$

$500 - 227 = 273$



$C = T \Rightarrow \left[\left(\frac{500+273}{2}\right) \times 227\right](0.85 \times 0.6 \times 28) = 0.85 \times A_s \times 300 \rightarrow A_s = 4172\ mm^2$ ← آرین نامه‌ها

۲-٤- ظرفیت خمشی مقطع

تعیین مقاومت نهایی مقطع یک فولاد

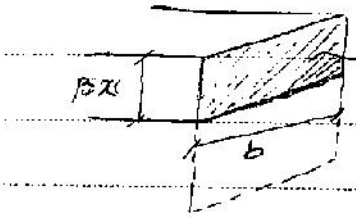
دقیق: ۱- محاسبه محل تار خنثی (x)

$C = T \rightarrow$

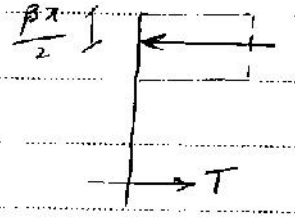
$A_s \cdot f_{yd} = (\alpha\beta)\, x\, b\, f'_{cd}$

$\rightarrow x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\alpha\beta\, b\, f'_{cd}}$

ظرفیت اسمی مقطع ← نباید ← $0.85 f_y \rightarrow 0.67 f'_c$ بگیریم.



$\rightarrow f = \alpha f'_{cd}$



$M = T * \left(d - \frac{\beta x}{2}\right)$ -۲

$M = (A_s f_{yd})\, d \left(1 - \frac{A_s \cdot f_{yd}}{2\alpha b \cdot f'_{cd} \cdot d}\right)$

$M = A_s f_{yd}\, d \left(1 - 0.59\, \rho \frac{f_{yd}}{f'_{cd}}\right)$

۰/۲ تا ۰/۱

روش تقریبی

$M_n = A_s f_{yd} \times 0.85 d$ ← $Z = 0.85d$

$M_n = (A_s f_{yd}) \times Z$ ← مساحت آرماتور کششی ← بازوی کوپل

$M_n \uparrow$ (1.9 ~ 2.8) ← A_s (K۲)

$M_n \uparrow$ (1.1 ~ 1.2) ← b (K۲)

$M_n \uparrow$ (1.1) ← f'_c (K۲)

نکته: ظرفیت خمشی مقطع = ؟

$\begin{cases} f_y \to 0.85 f_y \\ f_c \to 0.6 f_y \end{cases}$

ظرفیت خمشی مقطع با فرض $\phi_s = \phi_c = 1$ ←

$\begin{cases} f_y \to f_y \\ f_c \to f_c \end{cases}$

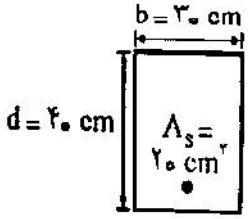
معمولاً گفته می‌شود مقاومت نهایی خمشی مقطع ← از f_y و f_c استفاده می‌کنیم.

ظرفیت اسمی مقطع ← M_n (ضرایب نباید ضرب شود).

مزدول دقیق $M_n = A_s f_{yd} d \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right)$

مزدول تقریبی $M_n = 0.9 A_s f_y d$

۱۶ـ تیر بتن مسلح به عرض $30cm$ و عمق مؤثر $40cm$ را در نظر بگیرید. اگر تنش جاری شدن فولاد $f_y = 3000 kg/cm^2$ فرض شود، و مقاومت فشاری بتن $f'_c = 210 kg/cm^2$ باشد ظرفیت خمشی مقطع برابر M_u محاسبه شده است. حال اگر مقاومت فشاری بتن از $210 kg/cm^2$ به $560 kg/cm^2$ (۲/۶۶ برابر) افزایش یابد، ظرفیت خمشی حدوداً چقدر خواهد شد؟



۱) $2/6 M_u$

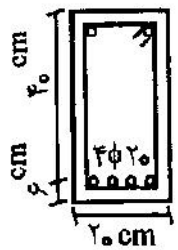
۲) $2 M_u$

۳) $1/5 M_u$

۴) $1/1 M_u$

مقاومت خمشی مقطع مقابل برابر است با: ($f_y = 3000 kg/cm^2$ و $f'_c = 250 kg/cm^2$)

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)



۱) ۱۲/۰۶ تن‌متر

۲) ۱۰/۰۶ تن‌متر

۳) ۱۴/۰۶ تن‌متر

۴) ۱۶/۰۶ تن‌متر

روش دقیق ←

$\rho = \frac{4\times 314}{400\times 200} = 0.0157$ → کمتر از ρ_{max} است (کم فولاد است) → $M_r = A_s(\varphi_s f_y)d\left(1-\frac{1}{2\times 0.85}\rho\frac{\varphi_s f_y}{\varphi_c f_c}\right)$

$= 4\times 314\times 0.85\times 300\times 400\left(1-\frac{1}{2\times 0.85}\times 0.0157\times\frac{0.85\times 300}{0.65\times 25}\right) = 109545615\ N.mm = 11\ t.m.$

روش تقریبی ←

$M_r = A_s(\varphi_s f_y)\times 0.85d = 10889200\ N.mm$

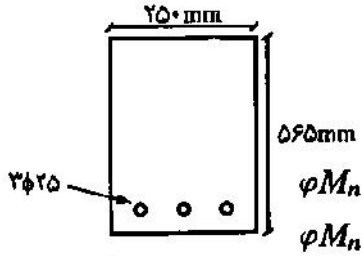
(4×314، 0.85، 300، 400)

← ACI

$M = 0.9M_n = 0.9\times A_s f_y d\left(1-0.59\rho\frac{f_y}{f_c}\right)$

$= 0.9\times 3.14\times 3000\times 40\left(1-0.59\times 0.0157\times\frac{3000}{250}\right) = 1205700\ kg.cm = 12.06\ t.m.$

ظرفیت خمشی تیر زیر چقدر است؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۴)



$d = 500\ mm$

$f_x = 20\ Mpa$

$f_y = 400\ Mpa$

۱) $\varphi M_n = 204\ kN.m$

۲) $\varphi M_n = 105\ kN.m$

۳) $\varphi M_n = 184\ kN.m$

۴) $\varphi M_n = 225\ kN.m$

$\rho = \frac{3\times 12.5^2\times\pi}{500\times 250} = 0.0117$ → کمتر از ρ_{max} است ⇐ کم فولاد است

روش دقیق ←

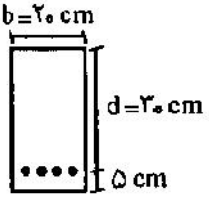
$M_r = A_s(\varphi_s f_y)d\left(1-\frac{1}{2\alpha}\gamma\frac{\varphi_s f_y}{\varphi_c f_c}\right)$

$= 3\times 12.5^2\times\pi\,(0.85\times 400)\times 500\left(1-\frac{1}{2\times 0.85}\times 0.0117\frac{0.85\times 400}{0.65\times 20}\right) = 20578948 = 205\ kN.m$

روش تقریبی

$M_r = A_s(\varphi_s f_y)d\times 0.85 = 212793814\ N.mm = 212\ kN.m$

اگر مقاومت تسلیم کششی فولاد $f_y = 4200\ kg/cm^2$ مقاومت نشاری ۲۸ روزه سیلندری بتن $f'_c = 210\ kg/cm^2$ و مقدار فولاد کششی برابر با $\rho = 0/005$ باشد، در آن صورت ظرفیت نهایی اسمی خمشی مقطع شکل رویرو برابر است با چه مقداری؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۰)



۱) نزدیک به ۲ تن ـ متر

۲) نزدیک به ۴ تن ـ متر

۳) نزدیک به ۵ تن ـ متر

۴) نزدیک به ۲/۵ تن ـ متر

$M_n = A_s f_y \times 0.9d = (0.005 \times 200 \times 300) \times 420 \times 0.9 \times 300 = 34020000 = 3.4\,t.m$ تقریبی

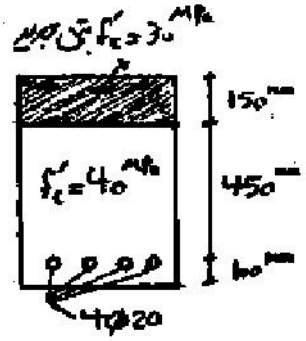
$M_n = A_s f_y d\left(1 - \frac{1}{2 \times 0.85} \times 0.005 \frac{400}{20}\right) = 35576470 = 3.6\,t.m.$ دقیق تر

400
300

آزاد ۸۸

۱۳۱- مقطع تیر بتن آرمه با ابعاد ۲۰۰×۵۰۰ میلیمتر موجود می باشد. برای تقویت مقاومت خمشی آن به ضخامت ۱۵ سانتیمتر بتن با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال ($f'_c = 30$ Mpa) روی آن اجرا شده است. نسبت مقاومت خمشی مقطع در حالت جدید به حالت قدیم نزدیک به کدام گزینه است؟ (تنش فشاری بتن به صورت بلوک مستطیلی فرض شود) ($f_y = 400$ Mpa)

۱) ۱/۰ ۲) ۱/۱ ۳) ۱/۳ ۴) بسته به ضرایب اطمینان دارد.



ارتفاع مؤثر مقطع $\frac{600}{450}$ برابر شده است $\longrightarrow d \longrightarrow \times 1.33$

مقاومت بتن $\frac{30}{40}$ برابر شده است $\longrightarrow f'_c \longrightarrow \times 0.75$

$\Rightarrow M \longrightarrow \times 1.3$

آزاد ۸۸

۱۳۱- مقاومت خمشی متوازن نهایی یک مقطع مستطیلی با فولاد کششی تنها 4.8 ton.m می باشد. در صورتیکه عرض مقطع 250 mm باشد، ارتفاع مؤثر مقطع چند میلیمتر است؟ ($\beta_1 = 1$)

$0.85\phi_c f'_c = 20\,MPa$

$\phi_s f_y = 400\,MPa$

۱) 200 mm ۲) 400 mm ۳) 300 mm ۴) 630 mm

با توجه به اینکه گفته حالت متوازن $\Rightarrow$ مورد نظر ماست

$x = \frac{700}{700 + f_y} d = \frac{700}{700 + \frac{400}{0.85}} d = 0.598d$

$C = T \longrightarrow x \times 250 \times (0.85 \phi_c f'_c) = A_s \phi_s f_y \longrightarrow \boxed{7.475\, d = A_s}$

$4.8 \times 10^7 = A_s (\phi_s f_y) d\left(1 - \frac{1}{0.85 \times 2} \times \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f'_c} \times \frac{A_s}{bd}\right) = 2990\, d\,(d - 0.299\, d) \Rightarrow d = 130\,mm$

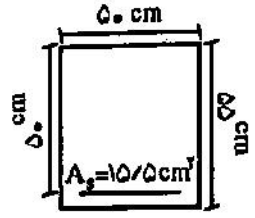
آزاد ۸۸

۱۳۲- در شرایط یکسان بودن سطح مقطع، ارتفاع و عمق مؤثر مقاطع نشان داده شده و با فرض استفاده از روش ویتنی (بلوک تنش معادل) مقدار فولاد کدام مقطع تحت لنگر خمشی مثبت بیشتر می باشد؟ (کلیه خصوصیات مصالح مقاطع یکسان است)

۱) ▽ ۲) □ ۳) △ ۴) ○

اگر مقطع مقابل تحت لنگر خمشی معادل $3200\ kg.m$ قرار گیرد و در آن $f_y=3000\ kg/cm^2$ و $f'_c=250\ kg/cm^2$ باشد، مقطع:

(مهندسی عمران آزاد ۷۹)



۱) ترک خواهد خورد

۲) ترک نخواهد خورد

۳) منهدم خواهد شد

۴) مقطع مناسب عمل خواهد کرد

$\rho = \frac{15.50}{500\times500} = 0.0062$

$\rho_{min} = Max \begin{cases} \frac{1.4}{300} = 0.0047 \\ \frac{\sqrt{25}}{4\times300} = 0.0042 \end{cases}$ → ملاک است

$M_{cr} = \frac{(0.6\sqrt{25})\times I}{c} = 0.6\sqrt{25}\times\frac{500^2\times500}{6} = 6.25\times10^7\ N.mm = 6250\ kg.m$

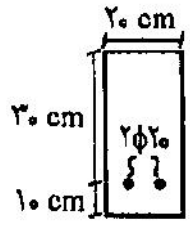
لنگر ترک (3200) از مقاومت ترک خوردگی مقطع کمتر است بنابراین مقطع ترک نمی خورد

۵۰ ـ ظرفیت نهایی خمشی مقطع شکل روبرو چه مقدار است؟

(مهندسی عمران آزاد ۸۶)

$f_y = 4000\ kg/cm^2$ (تنش تسلیم فولاد)

$f'_c = 200\ kg/cm^2$ (تنش مقاومت ۲۸ روزه بتن)



۱) حدود ۹ تن متر

۲) حدود ۳ تن متر

۳) حدود ۱۲ تن متر

۴) حدود ۶ تن متر

$\rho = \frac{2\times3.14}{300\times200} = 0.01$ → رعایت شرایط

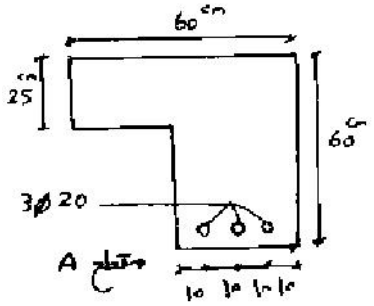
گفته شده از روش تقریبی استفاده می کنیم

$\longrightarrow M_n = 2\times3.14\times400\times0.9\times300 = 678240000\ N.mm = \boxed{6.78\ t.m}$

$M_n = A_s f_y d\left(1-\frac{1}{2\times0.85}\times\frac{4000}{20}\times0.01\right) = 664941176.5\ N.mm$ روش دقیق

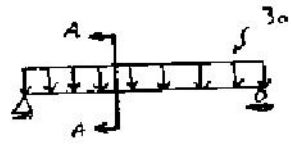
2×3.14 400 300

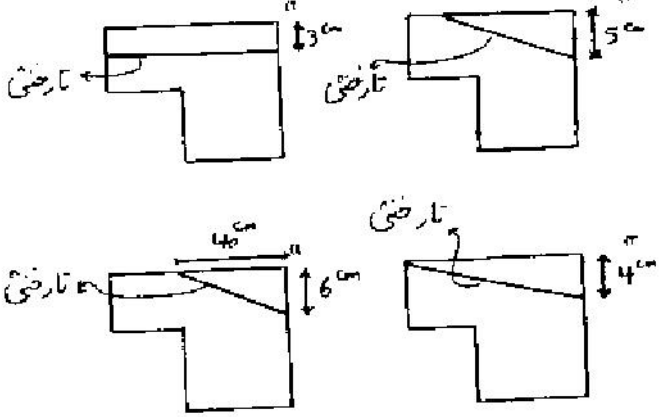
۱۳۸۹ تا رختی در مقطع شکل تیر دو سر مفصل مقابل کدام گزینه است؟
(با فرض جاری شدن فولاد کششی و ترک خوردگی بتن در کشش)

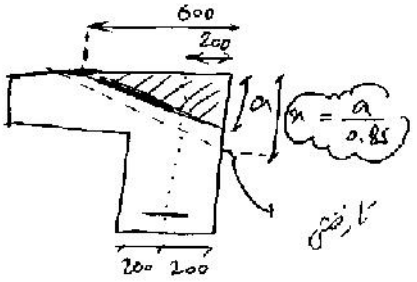


$f_y = 400\ MPa$

$f'_c = 40\ MPa$







$\frac{a \times 600 \times (0.85 \times 40)}{2} = 3 \times 314 \times 400 \longrightarrow a = 36.9\ mm$

$\longrightarrow n = \frac{a}{0.85} = 43.46\ mm$

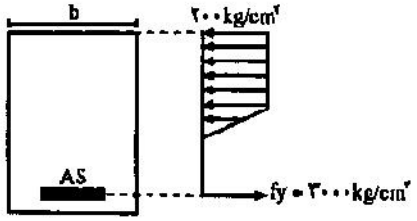
اگر خواست خمش را خواسته بود سه

$\rho = \frac{3 \times 314}{(600-50) \times 400} = 0.0043$

مقطع غیر مسلح باشد در حال خرابی لنگر هنگام جاری شدن فولاد و ترک خوردن بتن برابر با لنگر

$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 3 \times 314 \times \left(550 - \frac{37}{2}\right) = 506482\ N.mm = 0.05\ t.m.$

۲۴ـ در یک مقطع مستطیلی بتن آرمه متعادل با فولاد کششی تنها، توزیع تنش فشاری بتن به صورت ذوزنقه‌ای با حداکثر مقدار تنش $200\ kg/cm^2$ مطابق شکل می‌باشد. اگر سطح مقطع فولاد کششی در برابر و عرض مقطع (b) نیز دو برابر شود، مقاومت خمشی مقطع: **(مهندسی عمران ۷۵)**



۱) چهار برابر خواهد شد.

۲) سه برابر خواهد شد.

۳) دو برابر خواهد شد.

۴) به نسبت $\frac{d}{b}$ تغییر خواهد کرد.

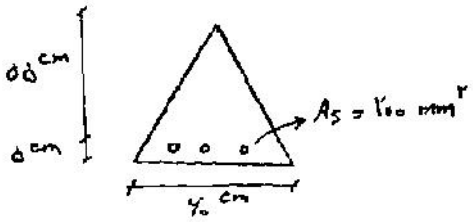
مقطع متعادل است (خود نامه گفته)

$\rho_{اولیه} = \frac{A_s}{bd}$

$\rho_{جدید} = \frac{2A_s}{(2b)d} = \rho_{اولیه}$ → با تغییرات اعمال شده، مقطع جدید نیز متعادل خواهد بود پس فولادها جاری می‌شوند

$A_s \uparrow^{\times 2} \rightarrow M \uparrow^{\times 1.9}$

$b \uparrow^{\times 2} \rightarrow M \uparrow^{\times 1.1}$ } → 2 برابر می‌شود



۱۰۳- در مقطع زیر با فرض جاری شدن میلگرد اگر سطح مقطع فولاد نصف شود، مقاومت خمشی چند درصد کاهش می یابد؟

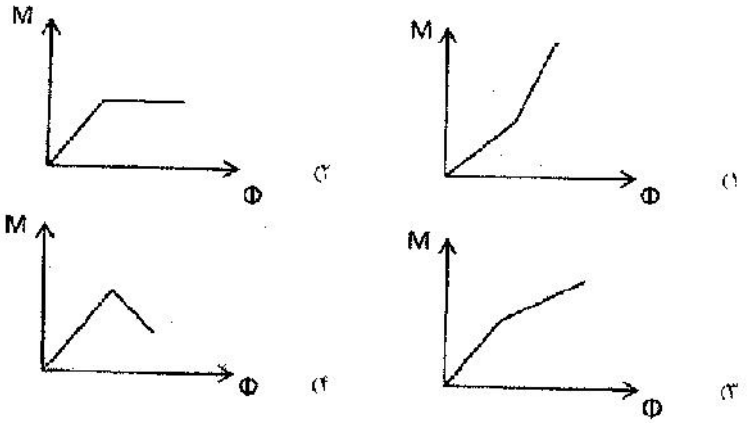
$f_c = 200 \frac{kg}{cm^2}$ و $f_y = 3000 \frac{kg}{cm^2}$

۱) بیش از ۵۰ درصد ۲) کمتر از ۵۰ درصد ۳) ۵۰ درصد ۴) تقریباً ثابت می ماند.

$A_s \uparrow \xrightarrow{\times 0.5} M \uparrow \xrightarrow{\times 0.55}$ ٪۴۵ کاهش می‌یابد

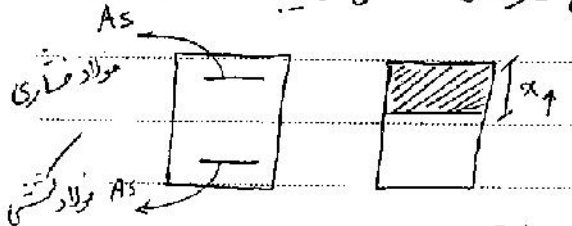
سراسری ۸۹

منحنی لنگر - انحناء مقطع خمشی با فولاد حداقل کدام یک می‌باشد؟



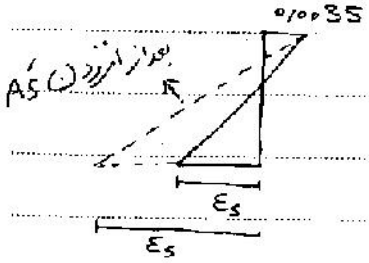
۲-۵- تاثیر فولاد فشاری

فولاد فشاری ← با افزودن فولاد فشاری ← عمق تار خنثی کاهش می یابد



با افزایش فولاد فشاری ← شکل پذیری مقطع افزایش می یابد ↓

علت: با افزایش A'_s تار خنثی به سمت بالا حرکت کرده و مطابق شکل کرنش فولادهای کششی در لحظه خرابی افزایش می یابد. بنابراین مقطع شکل پذیرتر می شود.



نکته: فراموش نشود که معیار شکل پذیری ماده، فولاد بستگی به ε_s آن تحت بارگذاری محوری دارد

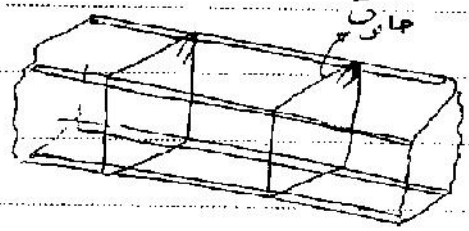
پس برای کم فولاد کردن مقطع می توان:

- ✓ مقدار مساحت A_s را کاهش داد
- ✓ می توان A'_s افزود و یا مساحت بتن فشاری را افزایش داد و یا f'_c را افزایش داد.

با افزودن فولاد فشاری ← خزش ↓ (خزش فشاری بتن را کاهش می دهد چون در مقاطع خزش نداریم)

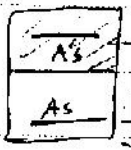
" " ← تغییر شکلهای بلند مدت ↓

نکته: فولاد فشاری می تواند به عنوان تکیه گاه آرماتورهای عرضی (خاموت) استفاده شود.



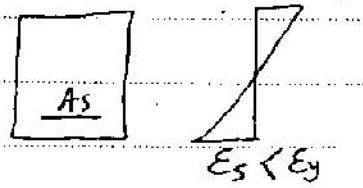
* تأثیر آرماتور فشاری بر مقاومت خمشی مقطع :

۱- مقطع کم فولاد (شکل پذیر) (مقدار لنگر حدوداً ۱۰٪ افزایش می‌یابد)



$\rightarrow M = A_s F_y \times 1.1 Z$

۲- مقطع پر فولاد (ترد شکن)



$\Longrightarrow M = A_s f_s Z < A_s f_y Z$

همانطوریکه مشاهده می‌شود در مقطع پر فولاد، مولدهای کششی جاری نمی‌شوند و در عمل ظرفیت کامل آنها ($A_s f_y$) مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. برای رفع این مشکل دو راه حل داریم :

(۱) افزایش ابعاد مقطع (قوی‌تر شدن بتن به علت افزایش مساحت آن و بالا رفتن تا حدی مرتفع مشکل)

(۲) افزودن فولاد فشاری ← با افزودن فولاد فشاری تا حدی بالا رفته و مولد کششی جاری می‌شود. لنگر حاصل از مقدار $A_s F_s Z$ افزایش یافته تبدیل به $A_s f_y Z$ می‌شود.

نتیجه : (۱) با افزودن فولاد فشاری به مقطع کم فولاد، لنگر مقاوم آن کمی افزایش می‌یابد.

(۲) " " " به مقطع پر فولاد " مقدار زیادی "

(۳) " " " مقدار ρ_b (درصد آرماتور متعادل) افزایش می‌یابد.

(۴) طبق الزامات آیین نامه، فولادکشی حتماً باید در نظر گرفته شود. ولی فولاد فشاری می تواند جاری شود یا نشود.

(۵) مقدار آرماتور حداقل ربطی به مقدار فولاد فشاری ندارد.

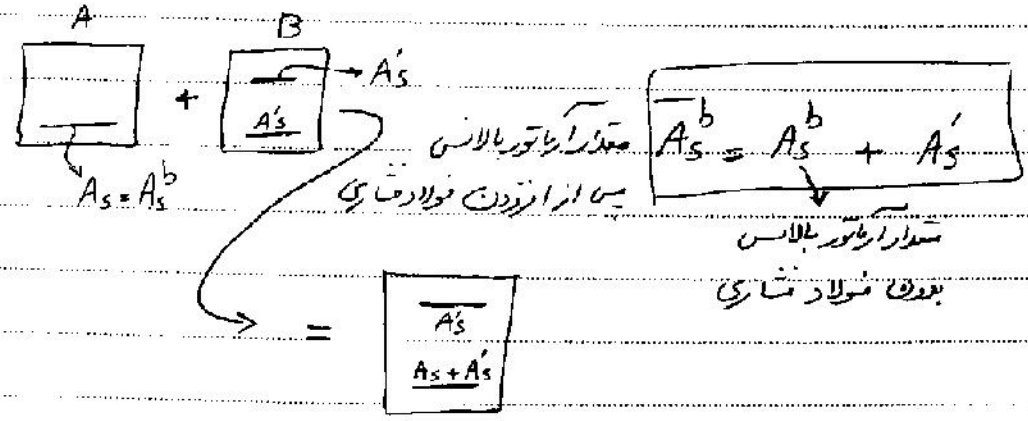
$$\rho_{min} = \left\{ \frac{1.4}{f_y} \;,\; \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \right\}$$

$\overline{\rho_b}$: (درصد آرماتور کابل) به اندازه این مقدار افزوده می شود.

$$\overline{\rho_b} = \rho_b + \frac{f_s}{F_y}\rho' \qquad \rho' = \frac{A'_s}{b_w d}$$

(f_s: تنش فولاد فشاری)

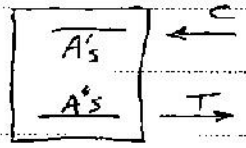
* فرض کنید در مقطع A مساحت فولادکشی برابر حداکثر مقدار مجاز آن ($A_s = A_s^b$) باشد، اگر به این مقطع مطابق مقطع B، آرماتور به مقدار A'_s به هر دو قسمت فشاری و کششی افزوده شود می توان ادعا کرد که با شرط جاری شدن فولاد فشاری، فولادهای کششی در هر دو مقطع جاری می شوند، بنابراین:



با شرط جاری شدن فولاد فشاری: $\overline{A_s^b} = A_s^b + A'_s$

($\overline{A_s^b}$: مقدار آرماتور بالانس پس از افزودن فولاد فشاری؛ A_s^b: مقدار آرماتور بالانس بدون فولاد فشاری)

* اگر فولاد فشاری جاری نشود در اینصورت در مقطع B خواهیم داشت:



$$C = T \longrightarrow A'_s \times f_s = A''_s \times f_y$$

$$A''_s = \frac{f_s}{f_y} A'_s$$

(f_s: تنش فولاد فشاری)

$\overline{A_s^b}$ جدید پس از افزودن A'_s = A_s^b (مقدار مجاز کششی) + $\frac{f_s}{f_y} A'_s$ (تنش تسلیم)

قبل از افزودن A'_s

۱۱ـ افزایش فولاد فشاری به یک مقطع خمشی بتن آرمه که با فولاد کم *(under reinforced)* طراحی شده است، ..... را ..... می‌دهد. **(مهندسی عمران ۷۹)**

۱) شکل‌پذیری تیر ـ کاهش

۲) مقاومت خمشی مقطع ـ کمی افزایش

۳) کرنش نهایی فشاری بتن ـ کمی کاهش

۴) مقاومت خشمی تیر ـ به میزان قابل توجهی افزایش

۳۰ـ در یک مقطع بتن مسلح با ابعاد و مشخصات مصالح ثابت، اگر نسبت فولاد کششی از ρ_{max} تجاوز نماید برای قابل قبول نمودن مقطع چه می‌توان کرد؟ **(مهندسی عمران ۷۳)**

۱) قرار دادن خاموت بیشتر

۲) قرار دادن آرماتورهای کششی در دو ردیف

۳) قرار دادن آرماتورهای فشاری

۴) افزایش طول گیرایی و یا استفاده از قلابهای استاندارد

۲ـ افزایش فولاد فشاری در یک مقطع خمشی بتن آرمه که با فولاد کم *(under reinforced)* طراحی شده است. **(مهندسی عمران ۸۲)**

۱) شکل‌پذیری تیر را کاهش می‌دهد.

۲) کرنش نهایی فشار بتن را کمی کاهش می‌دهد.

۳) مقاومت خمشی مقطع را کمی افزایش می‌دهد.

۴) مقاومت خمشی مقطع را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

۱۹ـ در مقطعی که بدون فولاد فشاری برای خمش ساده حالت بالانس (متعادل) دارد، به مقدار A' فولاد فشاری اضافه می‌کنیم. با این عمل مقدار فولاد کششی حالت بالانس (متعادل) چه تغییری خواهد داشت؟ (فولاد فشاری و کششی از یک نوع می‌باشند) **(مهندسی عمران ۷۷)**

۱) با تغییر مقدار فولاد کششی نمی‌توان وضعیت بالانس (متعادل) برقرار کرد.

۲) مقدار فولاد کششی وضعیت بالانس (متعادل) برقرار نمی‌کند.

۳) فولاد کششی حالت بالانس (متعادل) حداکثر به اندازه A' نسبت به مقطع بدون فولاد فشاری افزایش می‌یابد.

۴) فولاد کششی حالت بالانس (متعادل) نسبت به مقطع بدون فولاد فشاری حداکثر به اندازهٔ A' کاهش می‌یابد.

۲۰ـ وجود آهن فشاری در تیر بتن مسلح باعث کدام پدیده خواهد شد؟ **(مهندسی عمران ۷۷)**

۱) افزایش تنش‌های فشاری بتن در طول زمان

۲) تأثیری در تنش‌های بتن در طول زمان نخواهد داشت.

۳) کاهش تنش‌های فشاری بتن در طول زمان

۴) ممکن است تنش‌های فشاری در طول زمان کم یا زیاد شود.

۶۹ـ چنانچه در یک مقطع مستطیلی، مقدار فولاد کششی ρ، و مقدار فولاد فشاری ρ' باشد، در آن صورت رابطهٔ زیر بیان‌کننده حداکثرمقدار ρ قابل استفاده در مقطع است. در فرمول‌های زیر، f'_c و f_y به ترتیب مقاومت ۲۸ روزه سیلندری بتن و تنش تسلیم فولاد می‌باشند. (مهندسی عمران آزاد ۸۰)

۱) $\rho_{max} = (۰/۷۵)(۰/۸۵)^۲ \frac{f'_c}{f_y} \frac{۶۱۱۶}{۶۱۱۶ + f_y}$

۲) $\rho_{max} = ۰/۷۵ \left[(۰/۸۵)^۲ \frac{۶۱۱۶}{۶۱۱۶ + f_y} + \rho' \right]$

۳) $\rho_{max} = ۰/۷۵ \left[(۰/۸۵)^۲ \frac{۶۱۱۶}{۶۱۱۶ + f_y} \right] + \rho'$

۴) $\rho_{max} = (۰/۷۵)(۰/۸۵)^۲ \frac{f'_c}{f_y} \frac{۶۱۱۶}{۶۱۱۶ + f_y} + \rho'$

۵ـ کدام عبارت در مورد یک تیر بتن آرمهٔ تحت خمش با فولاد کششی مشخص و ثابت، صحیح است؟

(مهندسی عمران ۸۱)

۱) اگر $\rho < \rho_b$ باشد، هرچه فولاد فشاری تیر کمتر باشد، تیر کم فولادتر محسوب می‌شود.

۲) هرچه فولاد فشار تیر بیشترباشد، تیر کم فولادتر محسوب می‌شود.

۳) هرچه فولاد فشاری تیر کمتر باشد، تیر کم فولادتر محسوب می‌شود.

۴) میزان فولاد فشاری تأثیری بر کم فولاد بودن و یا پر فولاد بودن مقطع ندارد.

آزاد ۸۵

۱۰۷- بیشترین مقاومت تیر با میلگرد فشاری با:

۱) جاری نشدن میلگرد کششی و فشاری بدست می آید.

۲) جاری شدن فقط میلگرد فشاری بدست می آید.

۳) جاری شدن فقط میلگرد کششی بدست می آید.

٤) جاری شدن میلگرد فشاری و کششی بدست می آید.

۲۵ـ در محاسبه خیز دراز مدت در تیر بتن مسلح کدام عبارت صحیح نیست؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۴)

۱) کرنشهای فشاری در بتن باید اضافه شود.

۲) کرنشهای کششی نباید اضافه شود.

۳) فقط بار مرده در محاسبه خیز دراز مدت لحاظ می‌شود.

۴) اثر مثبت فولاد فشاری باید در نظر گرفته شود.

در یک مقطع دوبله آرمه اگر نسبت فولاد کششی ρ و نسبت فولاد فشاری ρ' و حداکثر مجاز نسبت فولاد کششی در حالت مقطع با فولاد کششی تنها $(\rho_{max})_1$ و در حالت دوبله آرمه $(\rho_{max})_2$ باشد، ظرفیت خمشی نهایی مقطع دوبله آرمه در کدام یک از حالات زیر تقریباً برابر با ظرفیت خمشی نهایی همان مقطع بدون فولادهای فشاری است؟ **(مهندسی عمران ۷۴)**

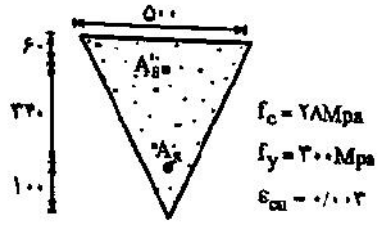
۱) $\rho < (\rho_{max})_2$

۲) $(\rho_{max})_2 > \rho > (\rho_{max})_1$

۳) $\rho < (\rho_{max})_1$

۴) $\rho > (\rho_{max})_1$

شرط حدی جاری شدن فولاد فشاری، A'_s، برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر توسط کدامیک از گزینه‌های زیر بطور کامل بیان شده است. **(مهندسی عمران آزاد ۸۳)**



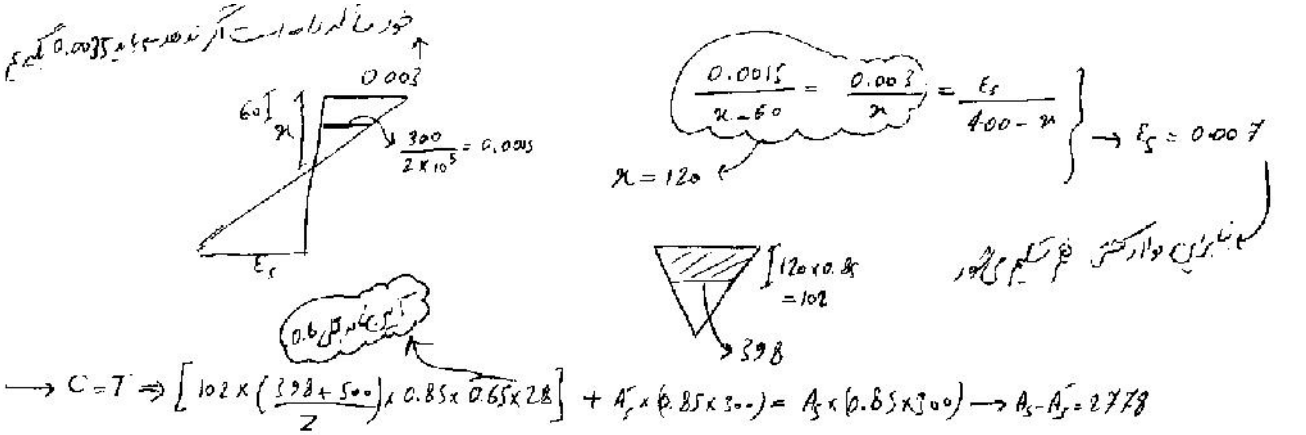
(بر اساس آیین نامه آبا)

۱) $A_s - A'_s \geq ۲۱۸۰\ mm^2$

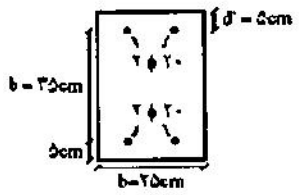
۲) $A_s - A'_s \geq ۳۰۱۷\ mm^2$

۳) $A_s - A'_s \geq ۱۸۵۳\ mm^2$

۴) $A_s - A'_s \geq ۲۵۶۵\ mm^2$



در مورد مقطع مستطیلی شکل روبرو، اگر تنش تسلیم میلگردها برابر با $f_y = ۴۰۰۰ kg/cm^2$ و تنش مقاومت ۲۸ روزه سیلندری بتن برابر با $f'_c = ۴۰۰ kg/cm^2$ باشد، در آن صورت اگر تار بالای بتن در فشار قرار گیرد. **(مهندسی عمران آزاد ۸۰)**



۱) فولادهای فشاری در محاسبهٔ مقاومت اسمی خمشی نهایی مقطع در نظر گرفته نمی‌شوند و عملاً بی‌اثر می‌باشند.

۲) بایستی فولادهای فشاری در محاسبهٔ مقاومت اسمی خمشی نهایی مقطع در نظر گرفته شوند زیرا ممکن است نوع زوال را تغییر دهند.

۳) وجود فولادهای فشاری، باعث کاهش مقاومت اسمی خمشی نهایی مقطع شده است زیرا مقدار فولادهای کششی و فشاری هر دو یکسان است.

۴) وجود فولادهای فشاری سبب افزایش قابل توجه مقاومت اسمی خمشی نهایی مقطع شده است.

$\rho = \frac{2\times 314}{350\times 280} = 0.0072$ ← کم فولاد ⇐ (تایید) وجود فولاد فشاری در تأمین ۸۸ درصد لنگر

۳۸ـ کدامیک جزء فواید استفاده از میلگرد فشاری نمی‌باشد؟ **(مهندسی عمران آزاد ۸۴)**

۱) افزایش شکل‌پذیری تیر ۲) تغییر نوع گسیختگی تیر

۳) راحتی ساخت و اجرا ۴) افزایش خیز دراز مدت تیر

۳۹ـ در طراحی یک مقطع بتن مسلح، مقدار فولاد کششی لازم برابر با A_s به دست آمده است و به فولاد فشاری نیازی نیست. اگر به خاطر مسائل اجرایی آرماتوربندی، مقدار فولاد $A'_s = 2\phi 12$ در ناحیه فشاری بتن قرار داده شود، چه مقدار فولاد کششی بایستی در ناحیه کششی بتن قرار داده شود تا طرح صحیح انجام شده باشد؟ **(مهندسی عمران آزاد ۸۴)**

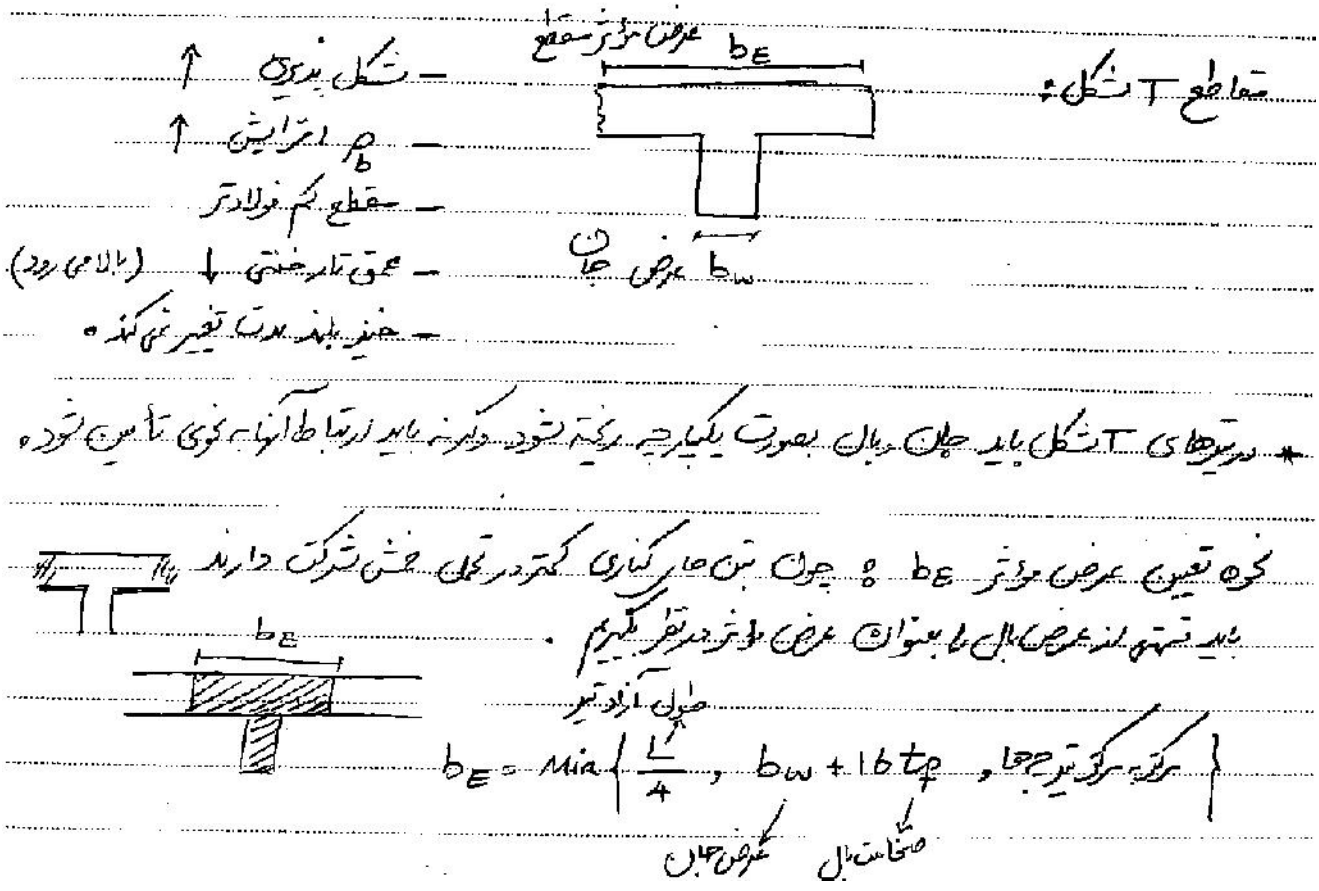
۱) بایستی $A_s + A'_s$ را در ناحیه کششی بتن قرارداد تا تعادل نیروهای محوری برقرار باشد.

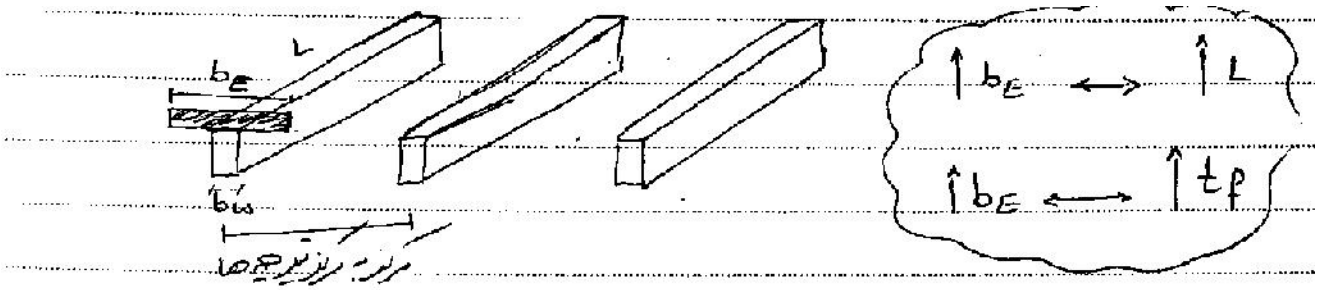
۲) می‌توان همان A_s را در ناحیه کششی قرار داد.

۳) بایستی $A_s + A'_s\left[\frac{f'_s}{f_s}\right]$ را در ناحیه کششی بتن قرار داد که f'_s و f_s به ترتیب تنشهای موجود در فولادهای فشاری و کششی می‌باشند. در این صورت تعادل نیروهای محوری برقرار می‌ماند.

۴) افزایش مقدار A_s بستگی به مقدار لنگر خمشی طرح دارد.

۲-۶- مقاطع T شکل

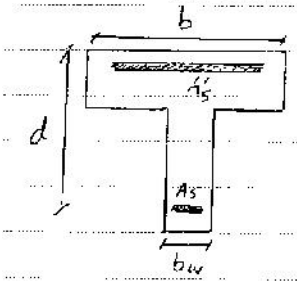




نحوه تعیین آرماتور حداقل در T شکل ها

برای خمش + : $\frac{A_s}{b_w \cdot d} > Max\left\{\frac{1.4}{f_y}, \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y}\right\}$

برای خمش − : $\frac{A_s}{b_E \cdot d} > Max\left\{\frac{1.4}{f_y}, \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_c}\right\}$



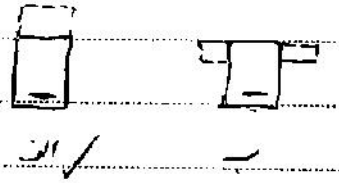
① $\frac{A_s}{b_w \cdot d} > \frac{1.4}{f_y}$?

② $\frac{A'_s}{b \cdot d} > \frac{1.4}{f_y}$?

برای لنگر مثبت + ← ①

برای لنگر منفی − ← ②

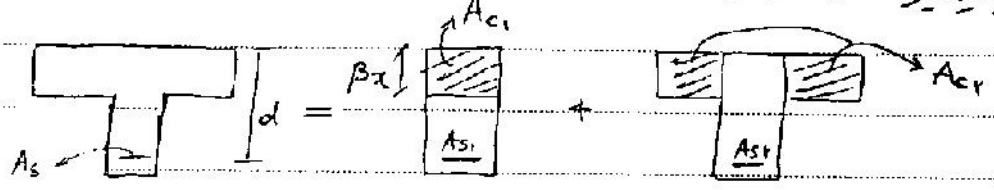
مثال ۲: در مقطع زیر برای اقزایش شکل پذیری کدام راه بهتر است؟



الف: افزایش ارتفاع به اندازه A_c

ب: " عرض " " ← A_c

نحوه محاسبه لنگر نهایی تیرهای T شکل



$$M = A_{c1}(\alpha f_{cd})\left(d - \frac{\beta x}{2}\right) + A_{c2}(\alpha f_{cd})\left(d - \frac{t_f}{2}\right)$$

* در روش های قبلی مقدار $A_s f_y$ را در بازوی Z ضرب می کردیم

$M = T.Z$ ← C
$M = A_s f_y . Z$ → T

در مقابل T شکل چون مقادیر A_{s1} و A_{s2} نامعلوم است مقدار نیروی فشاری بتن را در بازوی Z ضرب می کنیم.

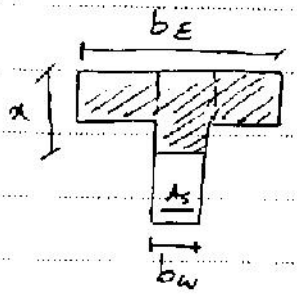
$M = C.Z = (A_c . \alpha f_c) . Z$

* در روش های قبلی مقدار $A_s f_y$ را در بازوی Z ضرب می کردیم

$M = T.Z$ ← C
$M = A_s f_y . Z$ → T

در مقابل T شکل چون مقادیر A_{s1} و A_{s2} نامعلوم است مقدار نیروی فشاری بتن را در بازوی Z ضرب می کنیم.

$M = C.Z = (A_c . \alpha f_c) . Z$



نحوه بدست آوردن x:

$$\{\beta x . b_w + (b_E - b_w) t_f\} \times (\underbrace{\alpha f_{cd}}_{0.85}) = A_s f_{yd}$$

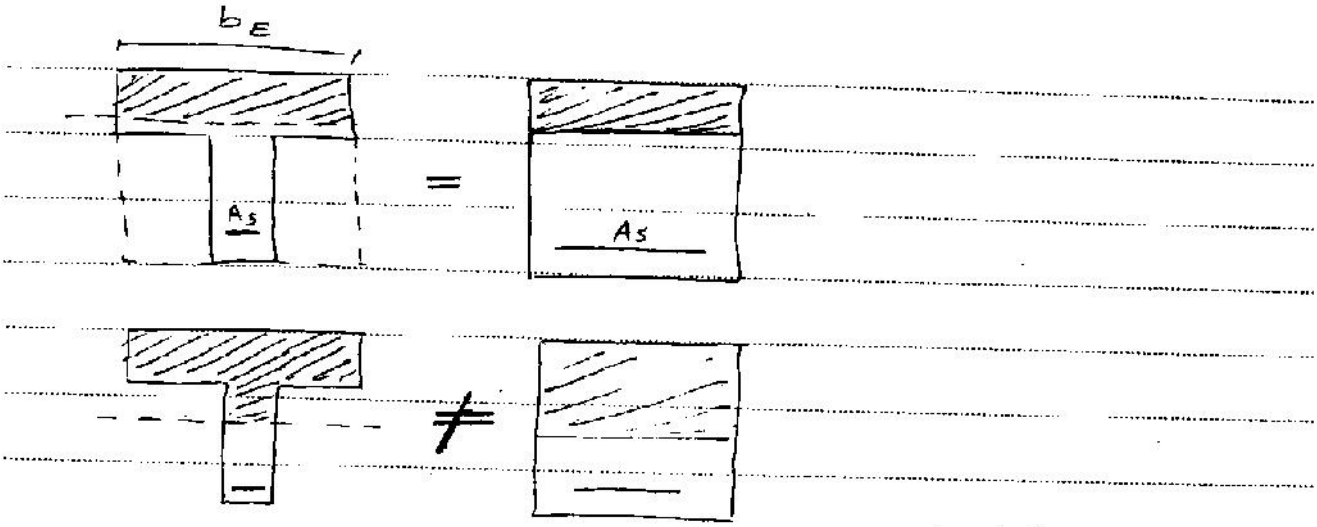
$\Leftarrow$ x بدست می آید

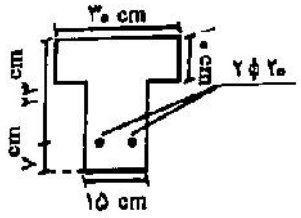
کرنش ها را داده باشند ← $\frac{x}{d}$ تعادل نیروها

* نحوه تعیین اینکه آیا مقطع مستطیلی عمل می کند یا T شکل

اگر $\beta x > t_f$ ← مقطع T شکل است.

اگر $\beta x < t_f$ ← مستطیلی است.





ظرفیت نهایی اسمی *(nominal)* خمشی مقطع شکل روبرو چه مقدار است؟ ویژگی‌های مصالح عبارتند از: $f_y = ۴۱۰۰ kg/cm^۲$ و $f'_c = ۲۵۰ kg/cm^۲$ (مهندسی عمران آزاد ۸۱)

۱) حدود ۵/۵ تن‌متر ۲) حدود ۱۰/۵ تن‌متر

۳) حدود ۷/۵ تن‌متر ۴) حدود ۳/۵ تن‌متر

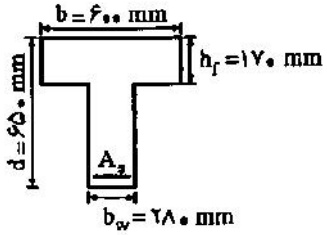
از آنجا که گفته حدوداً ← با روش تقریبی حل می‌کنیم

$\rho = \frac{2 \times 3.14}{30 \times 250} = 0.009$ ← نرمال است

$M = A_s f_y \times 0.9d = 2 \times 3.14 \times 410 \times 0.9 \times 250 = 53298360\ N.mm = 5.3\ t.m.$

۴ در مقطع T شکل مقابل چنانچه در لحظهٔ گسیختگی نهایی، توزیع تنش مستطیلی با شدت $۰/۸۵f'_c$ و در ارتفاعی معادل ۰/۸۵ ارتفاع تار خنثی فرض گردد، فولاد متوازن مقطع A_{sb} چند میلی‌مترمربع $(mm^۲)$ می‌باشد؟ ($\phi_c = \phi_s = ۱/۰$ فرض شود.) (مهندسی عمران ۸۱)

$f'_c = ۳۰ Mpa$ و $f_y = ۴۰۰ Mpa$ و $\varepsilon_{cu} = ۰/۰۰۳$ کرنش بین در لحظه نهایی و $E_s = ۲۰۰۰۰۰ Mpa$



۱) ۸۵۳۵

۲) ۹۳۸۵

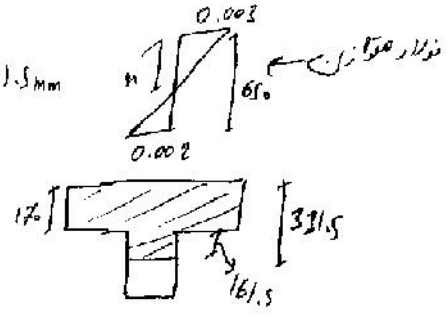
۳) ۹۸۷۵

۴) ۱۰۱۱۵

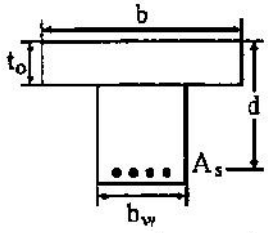
$x = \frac{0.003}{0.002 + 0.003} \times 650 = 390\ mm \longrightarrow a = 0.85 \times x = 331.5\ mm$

$C = T \Rightarrow (170 \times 600 + 161.5 \times 280) \times 0.85 \times 30 = A_s \times 400$

$\longrightarrow A_s = 9385\ mm^2$



۱۲ـ مقطع تیر T شکل، چه وقتی به حالت بالانس (متعادل) می‌رسد؟ (مهندسی عمران ۷۹)



۱) فولاد نظیر جان مساوی فولاد بالانس شود.

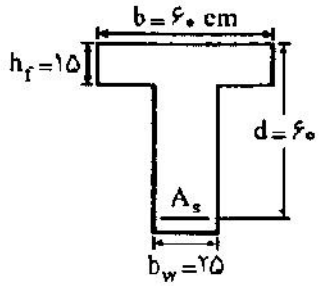
۲) فولاد فشاری و کششی هر دو همزمان جاری شوند.

۳) بتن فشاری و فولاد کششی همزمان به تغییرشکل نهایی خود برسند.

۴) نیروی فشاری بتن بال با نیروی کششی فولاد تعادل برقرار کند.

در مقطع T شکل روبرو تحت لنگر مثبت، چنانچه طراحی بر اساس روش مقاومت نهایی انجام شود و در لحظه گسیختگی نهایی مقطع از توزیع تنش معادل مستطیلی با شدت $0/85f'_c$ و در ارتفاعی معادل $0/85$ ارتفاع تار خنثی استفاده شود، حداکثر فولادکششی را چنان تعیین کنید که مقطع در حالت گسیختگی نرم (کم فولاد) عمل کند. (توجه: در لحظهٔ گسیختگی نهایی کرنش حداکثر بتن در تسمت فشاری را برابر با $\varepsilon_{cu}=0/003$ در نظر بگیرید.) (مهندسی عمران ۷۹)

$$\left(E_s = 2\times10^6 \frac{kg}{cm^2}\ ,\ f_y = 3000 \frac{kg}{cm^2}\ ,\ f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}\right)$$



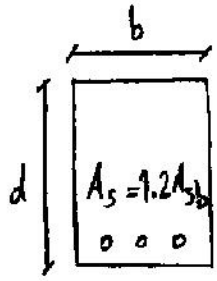
۱) $88/4 cm^2$

۲) $92/3 cm^2$

۳) $97/4 cm^2$

۴) $105/2 cm^2$

در یک تیر بتن آرمه با مقطع مستطیل شکل (مطابق شکل)، مقدار فولاد بکار رفته به میزان ۲۰ درصد بیشتر از حد توازن مقطع می باشد. در صورتیکه طراح بخواهد با اضافه کردن بال فشاری به مقطع، مقطع را در حالت متوازن قرار دهد، مقدار مساحت بال فشاری چقدر خواهد بود؟



$(f'_c, f_y, \beta, \varepsilon_{cu}=0.003$ ضریب ارتجاعی فولاد و $E_s = 2.04\times10^6\ kg/cm^2)$

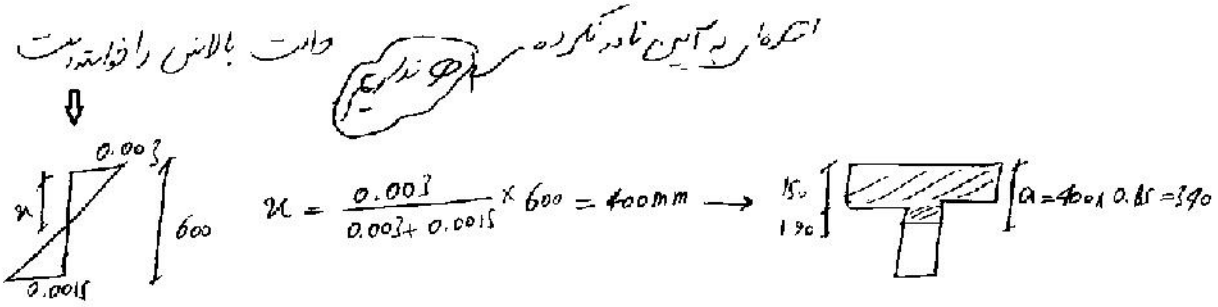
۱) $0.2\beta\dfrac{6100}{6100+f_y}bd$ ۲) $0.2\beta\dfrac{6100}{6100+f_y}\dfrac{f'_c}{f_y}bd$ ۳) $0.17\beta\dfrac{6100}{6100+f_y}\dfrac{f'_c}{f_y}bd$ ۴) $0.17\beta\dfrac{6100}{6100+f_y}bd$

حالت بالانسی

$A_c \times \alpha f_c = 0.2A_{sb}F_y$ باید بتن را فشرده شود $0.2A_{sb}\times F_y$ برابر نیرو

$\longrightarrow A_c = \dfrac{0.2A_{sb}F_y}{\alpha f_c}$ $\longrightarrow$ باید A_{sb} را حساب کنیم و بعد جایگذاری کنیم

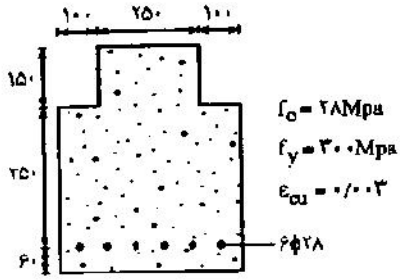
$\longrightarrow A_{sb}\times F_y = (\alpha\beta)\left(\dfrac{6100}{6100+F_y}d\right)(b)f_c \longrightarrow A_c = 0.2\beta\left(\dfrac{6100}{6100+F_y}\right)bd$



$$C=T \Rightarrow (150\times 600+190\times 250)\times 0.85\times 28 = A_s\times 300 \longrightarrow A_s = 9740\ mm^2 = 97.4\ cm^2$$

مقاومت خمشی طراحی مقطع نشان داده شده در شکل زیر را محاسبه کنید: (براساس آیین نامه آبا)

(مهندسی عمران آزاد ۸۳)



۱) ۳۰۳/۴ kN.m

۲) ۳۵۶/۹ kN.m

۳) ۴۰۱/۸ kN.m

۴) ۴۱۹/۹ kN.m

$$\rho = \frac{6\times 14^2\times 4}{250\times 500} = 0.029$$

ابتدا درصد آرماتور را چک می کنیم

از حد زیاد است ... یعنی ابتدا فرض می کنیم فولاد کشش جاری شده و یک از دل یا بعد این فرض را کنترل کنیم

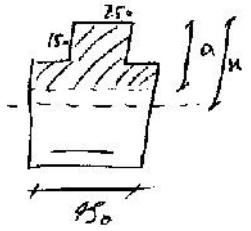
نکته: آیین نامه جدید گفته حداکثر ρ برای اعضای خمشی برابر 0.025 است

با فرض جاری شدن فولاد کشش ابتدا چک می کنیم که تار خنثی کجاست ضخیم تر حرکت می کند یا نازک تر!

$$C=T \Rightarrow a\times 250(0.85\times 0.65\times 28) = 6\times 14^2\times 4\times 0.85\times 300 \Rightarrow a = 293\ mm$$

a کمتر از 0.6 عمق است

a را 150mm در نظر می گیرد



$$\left[(250\times 150)+(a-150)(450)\right]\times(0.85\times 0.65\times 28) = 6\times 14^2\times 4\times 0.85\times 300$$

$$\longrightarrow a = 202mm \longrightarrow a = \frac{a}{0.85} = 238mm$$

(0.6) $\longrightarrow a = 213\ mm$

$$M_r = (250\times 238)\times(0.85\times 0.65\times 28)\times\left(500-\frac{238}{2}\right)$$

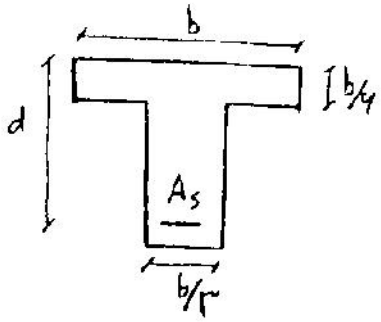
$$+(200\times 88)\times(0.85\times 0.65\times 28)\times\left(500-150-\frac{88}{2}\right) = 410\times 10^6 N.mm = 410 kN.m$$

یا آیین نامه قبلی:

$$M_r = (250 \times 213) \times (0.85 \times 0.6 \times 28) \times \left(500 - \frac{213}{2}\right)$$
$$+(200 \times 63) \times (0.85 \times 0.6 \times 28) \times \left(500 - 150 - \frac{63}{2}\right) = 356 \times 10^6 N.mm = 356 kN.m$$

آزاد ۸۷

۱۳۳- در یک تیر بتن آرمه با مقطع نشان داده شده در شکل، با فرض جاری شدن کلیه آرماتورهای کششی، ارتفاع بلوک فشاری تنش چقدر خواهد بود؟ $(\frac{f_y}{f'_c} = 10 \text{ و } A_s = 1/7 \times 10^{-3} b^2)$



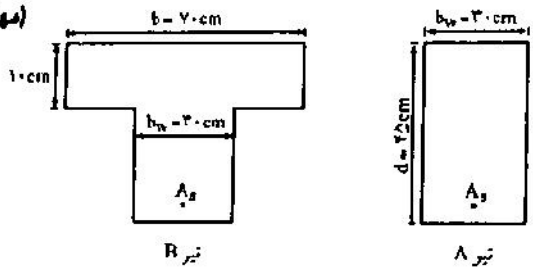
۱) $\frac{b}{5}$
۲) $\frac{4}{15}b$
۳) $\frac{2}{15}b$
۴) $\frac{b}{3}$

ابتدا فرض می‌کنیم مستطیل است $\leftarrow a = 0.85x$ را خواستیم

$$C = T \Rightarrow (b \times a) \times 0.85 f'_c = A_s f_y \rightarrow a = \frac{1.7 \times 10^{-3} b^2 f_y}{b \times 0.85 f_c} = \frac{2}{10} b = \frac{b}{5}$$

$1.7 \times 10^{-3} b^2$

۱۵- تیر بتن آرمه با مقطع شکل (A) را در نظر بگیرید، چنانکه بدون تغییر عرض b_w، عمق مؤثر d و مقدار فولاد کششی (A_s) و فقط با اضافه نمودن یک بال فشاری به ضخامت ۱۰ سانتیمتر مطابق شکل (B) تیر (A) به تیر (B) تبدیل یابد، حدود تقریبی افزایش مقاومت خمشی نهایی تیر جدید (B) نسبت به تیر اولیه (A) چند درصد است؟ (مهندسی عمران ۷۹)



۱) ۱۰
۲) ۵۰
۳) ۷۵
۴) ۹۵

عرض مؤثر در تیرهای بتن آرمه با مقطع T ـ شکل، اندازه‌ای است که در عملکرد.... تیر مورد استفاده مستقیم قرار می‌گیرد. (مهندسی عمران ۷۸)

۱) خمشی
۲) پیچشی
۳) خمشی و برشی
۴) برشی به همراه پیچشی

۱۸ـ در صورتی که به یک مقطع بتن آرمه مستطیلی، بدون تغییر در ابعاد و خواص و مقدار فولاد، بال فشاری اضافه شود این تغییر باعث می‌شود که در عضو خمشی و در حالت حدی نهایی:

(مهندسی عمران ۷۷)

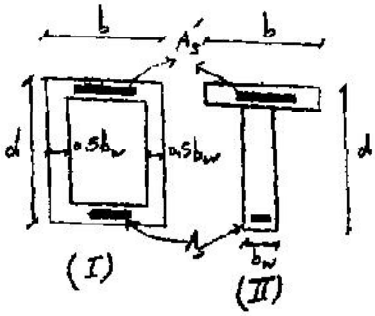
۱) بخشی از مقاومت بتن بدون استفاده باقی بماند.

۲) شکل‌پذیری مقطع اضافه شود.

۳) عمق تار خنثی افزایش یابد.

۴) مقاومت برشی مقطع بزرگ شود.

آزاد ۸۶



۱۹ـ در مقطع T شکل و عرضی شکل دوبرد فرض کنید فولادهای فشاری و کششی برای هردو مقطع یکسان باشند. کدامیک از جملات زیر دو مورد ظرفیت باربری این مقاطع صحیح است؟

۱) ظرفیت خمشی هردو مقطع هرانگر مثبت و لنگر منفی یکسان است ولی ظرفیت پیچشی مقطع (I) بیشتر است.

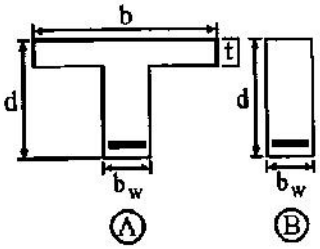
۲) ظرفیت خمشی هردو مقطع در لنگر منفی یکسان است ولی ظرفیت خمشی مقطع (I) در لنگر مثبت بیشتر است.

۳) ظرفیت خمشی هردو مقطع در لنگر مثبت و منفی یکسان بوده و ظرفیت برشی آنها نیز یکسان است.

۴) ظرفیت خمشی هردو مقطع در لنگر مثبت یکسان است ولی ظرفیت خمشی مقطع (I) در لنگر منفی بیشتر است.

۲۷ـ دو مقطع خمشی A و B با آرماتور کششی در پایین مقطع را مطابق شکل در نظر می‌گیریم. مقدار فولاد کششی حالت بالانس (متوازن) مقطع A در مقایسه با مقطع B چگونه است؟

(مهندسی عمران ۷۴)



۱) این مقدار در هر دو مقطع یکسان است.

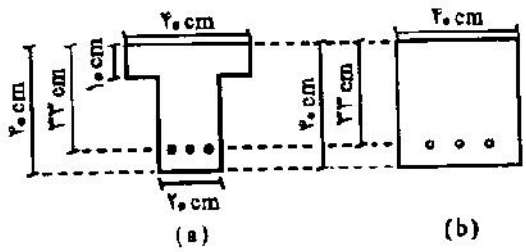
۲) این مقدار در مقطع B همیشه بیشتر از مقطع A است.

۳) این مقدار در مقطع A همیشه بیشتر از مقطع B است.

۴) بسته به محل تار خنثی این مقدار در مقطع A ممکن است کمتر و یا بیشتر از مقطع B باشد.

برای مقاطع بتن شکل‌های a و b که هردو دارای مصالح یکسان بتن $f'_c=۴۰۰kg/cm^۲$ و فولاد با $f_y=۳۰۰۰kg/cm^۲$ می‌باشند و مساحت کل فولاد در هر دو مقطع نیز $۱۶cm^۲$ می‌باشد، کدام گزینه صحیح است؟

(مهندسی عمران آزاد ۸۱)



۱) مقاومت نهایی اسمی *(nominal)* خمشی مقطع a بیشتر است.

۲) مقاومت نهایی اسمی *(nominal)* مقطع b بیشتر است.

۳) مقاومت نهایی اسمی *(nominal)* خمشی هر دو مقطع یکسان است.

۴) مقاومت نهایی اسمی *(nominal)* مقاطع بستگی به بارگذاری آنها دارد.

برای مقطع (a) ← مقدار a=0.85x را محاسبه می‌کنیم:

$(a \times 400) \times 0.85 f_c = A_s f_y \rightarrow a = 35\,mm \rightarrow$ مقطع a مستطیلی است

(b ← 400 ← 1600 ← 300)

بنابراین هر دو مقطع یکسان هستند.

۲-۷- شکل پذیری

۶۰- شکل‌پذیری یک عضو خمشی بتن مسلح در حالت بالانس چقدر می‌باشد؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۱)

۱) برابر ۲
۲) کوچکتر از ۲
۳) بزرگتر از ۱
۴) برابر ۱

شکل‌پذیری اعضای خمشی بتن آرمه تابعی است از مقاومت بتن و ..... (مهندسی عمران ۷۵)

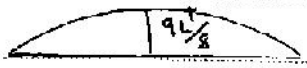
۱) درصد فولادهای عرضی
۲) درصد فولادهای طولی، درصد فولادهای عرضی، شرایط تکیه‌گاهی
۳) مقاومت فولاد، درصد فولادهای طولی، درصد فولادهای عرضی
۴) مقاومت فولاد، درصد فولادهای طولی، نوع بارگذاری

زمانی که در یک تیر بتن مسلح مستطیلی، بتن ترک‌خورده باشد اما کرنش حداکثر نشاری در بتن محدود به ۰/۵ در هزار و کرنش حداکثر در فولاد محدود به حد تسلیم باشند، می‌توان گفت که: (مهندسی عمران آزاد ۸۶)

۱) محل محور خنثی تابع تغییرات لنگر خمشی نیست و ثابت است.
۲) هرچه لنگر خمشی بیشتر باشد، محل محور خنثی به تارهای فشاری نزدیک‌تر است.
۳) هرچه لنگر خمشی بیشتر باشد، محل محور خنثی به فولادهای کششی نزدیک‌تر است.
۴) در مورد تغییر محل محور خنثی نمی‌توان قضاوت کرد و با افزایش لنگر خمشی ممکن است محور خنثی به بالا یا پایین حرکت کند که تابع عوامل مختلفی نظیر درصد فولاد و مقاومت بتن و تنش تسلیم فولاد می‌باشد.

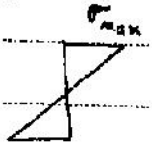
۳-برش

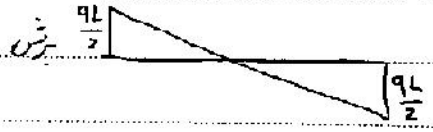
برش ؛ متقطع مستطیلی



دیاگرام لنگر

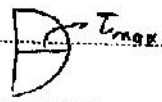
$$f = \frac{My}{I}$$



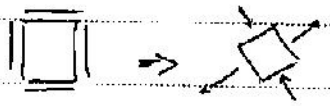


برش

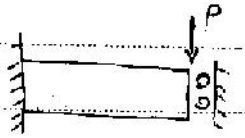
$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

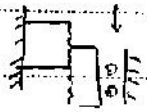


اعضای تحت کشش ، می شکنند پس باید برشها را به تنش های عمودی تبدیل کنیم
چون اعضای تحت فشار مانند تن ، تحت کشش خراب می شوند ابتدا باید برش را تبدیل به کشش کنیم (مانند شکل)
این کشش ناشی از برش با کشش ناشی از خمش جمع شده و باعث خرابی می شود .

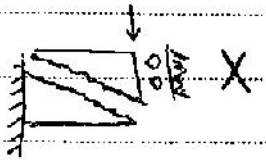


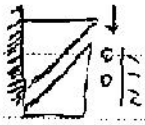
چگونه برش به کشش تبدیل می شود ؟



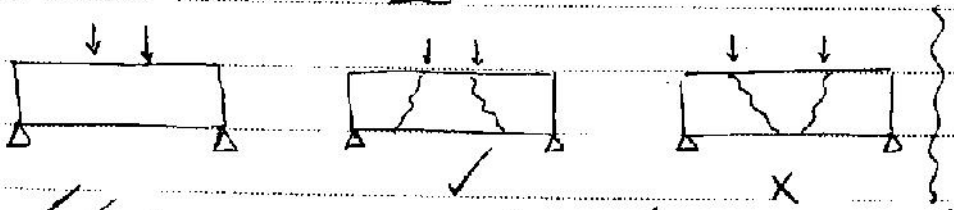


غلط

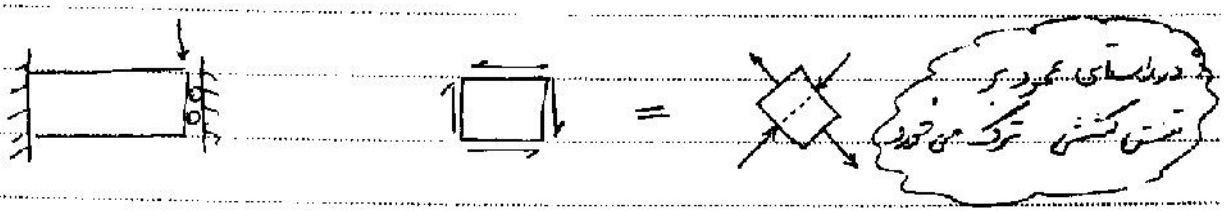




درست



نحوه تشخیص جهت ترک : عضو طوری ترک می خورد که جسم بتواند در جهت اعمال نیرو حرکت کند .

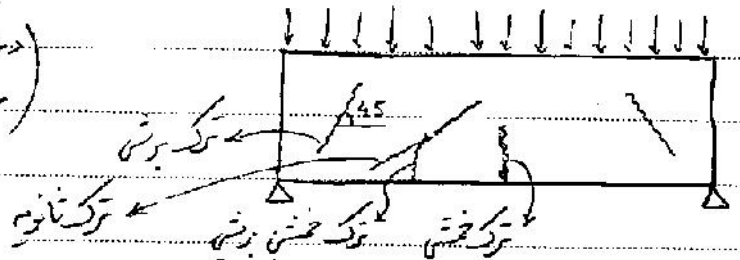


انواع ترک در تیرهای تحت اثر خمش و برش :

✓ یکی ترک خمشی ایجاد می شود. این ترک ها عامل خمش هستند و مطابق شکل در ناحیه کششی مقطع ایجاد می شوند و عمودی تا نصف ارتفاع مقطع حرکت می کنند.

✓ ترک قطری یا ترک جان یا ترک مایل یا ترک برشی با زاویه (معمولاً) 45° و در محل نظر خمش (تقریباً میانه مقطع) ایجاد می شود که ناشی از برش هستند.

(در تیرهای عادی اول ترک خمشی ایجاد می شود سپس ترک های خمشی برشی)



✓ ترک خمشی برشی : پس از ایجاد ترک های خمشی این ترک ها به صورت مایل در میانه مقطع تحت اثر برش توسعه یافته تبدیل به ترک خمشی برشی می شوند.

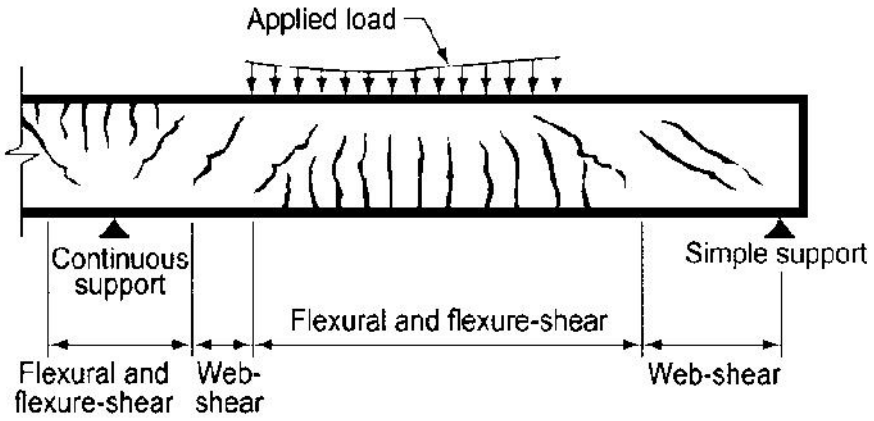


Fig. R11.3.3—Types of cracking in concrete beams.

آزاد ۸۵

۱۰۸- در تیر با تکیه گاه ساده و بار متمرکز در وسط دهانه:

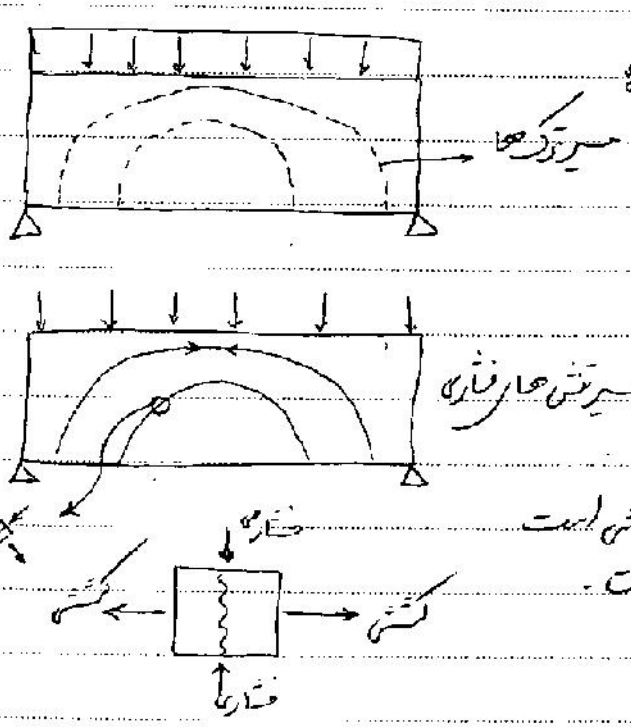
۱) ترکهای برشی ابتدا در وسط دهانه اتفاق می افتند.

۲) ترکهای برشی همزمان در وسط دهانه و تکیه گاه اتفاق می افتند

۳) ترکهای برشی ابتدا در نزدیک تکیه گاه اتفاق می افتند.

۴) ترکهای برشی ابتدا در $\frac{1}{3}$ دهانه اتفاق می افتند

مسیرهای تنش های کششی و فشاری و ترک ها:

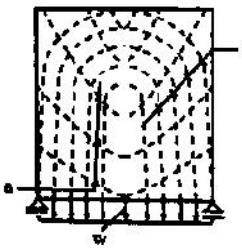


✓ جهت ترک ها همیشه عمود بر جهت تنش کششی است

✓ موازی تنش فشاری است.

نکته: در تیرهای عادی، ابتدا ترک خمشی و پس از افزایش بار، ترک خمشی برشی ایجاد می شود

۱۲ـ در تیر ـ دیوار بتن آرمه منحنی‌های تنشهای کششی اصلی و فشاری کدامند؟ (مهندسی عمران ۷۷)



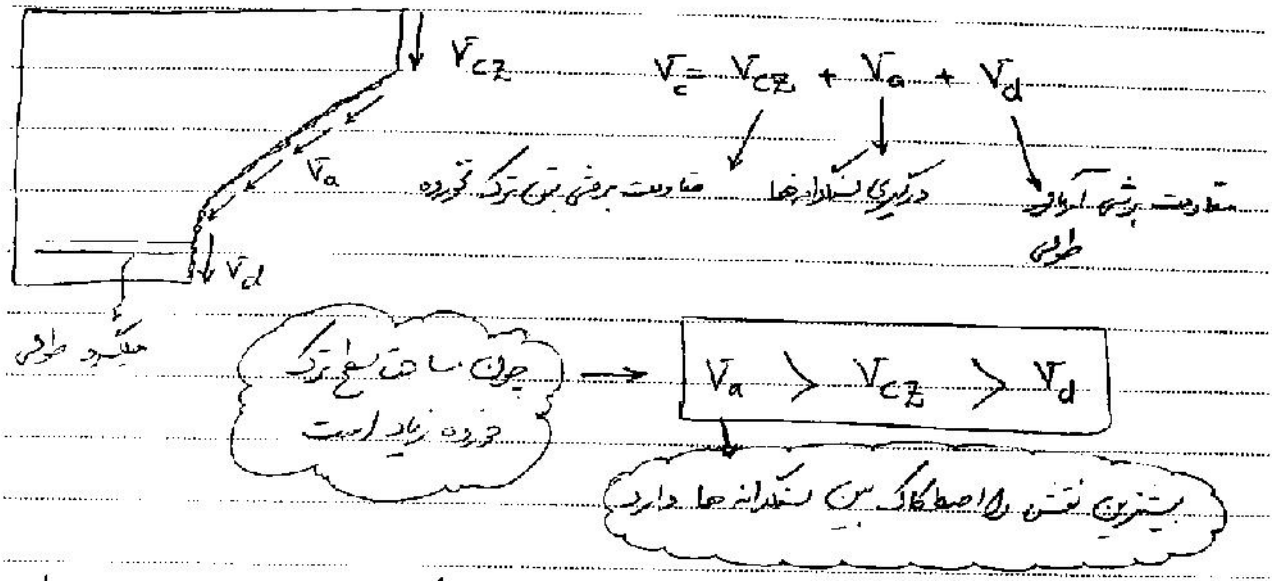
۱) منحنی‌های a کششی اصلی و منحنی‌های b فشاری اصلی هستند.

۲) منحنی‌های a فشاری اصلی و منحنی‌های b کششی اصلی هستند.

۳) منحنی‌های b و a با توجه به بارگذاری w در لبه پایین کششی هستند.

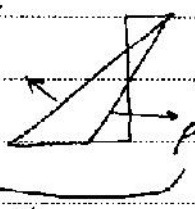
۴) منحنی‌های کششی اصلی و فشاری اصلی نشان داده نشده است.

مقاومت برشی بتن پس از ایجاد ترک خمشی برشی:



میزان مقاومت برشی مقطع و به ویژه میزان V_c بستگی به عرض ترک دارد : عرض ترک ↑ ⟸ V_c ↓ (بازشدگی ترک)

* عواملی که بر میزان عرض ترک تأثیر دارند :

① 

تار خنثی پایین آمده و تنش های کششی کاهش یافته و عرض ترک کاهش می یابد

* پس با افزایش درصد فولاد کششی ⟸ $\rho \uparrow$ ⟷ V_c مقاومت برشی مقطع افزایش می یابد.

② هرچه نسبت $\frac{f}{v} = \left(\frac{\text{تنش خمشی}}{\text{تنش برشی}}\right) \uparrow$ ⟷ $V_c \downarrow$ چون ترکهای خمشی افزایش می یابد.
(افزایش تنش برشی به تنهایی نمی تواند ترک ایجاد کند)

(هرچه $M \uparrow$ ⟵ عمق ترکها و عرض ترک بیشتر شود ، $V_c \downarrow$)

نحوه تعیین مقاومت برشی بتن : (روش تقریبی) در این روش فرض می شود که مقطع تا لحظه ترک خورده است. (در این روش از τ_{ave} استفاده می‌شود)

$$\frac{V_c}{b_w \cdot d} \leq 0.2\,\phi_c \sqrt{f_c}_{\text{MPa}} \longrightarrow V_c = \left[0.2\,(\phi_c = 0.6)\sqrt{f_c}\right] b_w \cdot d$$

V_c مجاز

بنابراین تنش برشی مجاز برابر است با :

$$\boxed{V_c = 0.2\,\phi_c \sqrt{f_c}}$$

مدل دقیق :

$$\boxed{V_c = \left(1.9\,\sqrt{f_c} + 12\,\rho_w \frac{V d}{M}\right) b_w \cdot d}$$

* مقاومت تقریبی

$$V_c \leq \left(1.75\,\sqrt{f_c}\right) b_w \cdot d$$

$$\frac{f}{\tau} = \frac{\frac{6M}{bd^2}}{\frac{V}{bd}} \propto \frac{M}{Vd}$$

نکته ① : مقدار $\frac{Vd}{M}$ نباید بزرگتر از یک شود . اگر $\frac{Vd}{M} > 1$ شد ⟵ مقادیر را برابر یک قرار می‌دهیم

نکته ۱) مقاومت تیر $V_c = 0.12 \phi_c \sqrt{f'_c}$

نکته ۲) واحد تنش‌ها kg/cm^2 یا MPa

$V_c \rightarrow MPa$ ← MPa

واحد طول‌ها mm است ←

$b_w, d \rightarrow mm$

واحد نیروها ← ton

$V_c \rightarrow N$

نکته ۳) V_c نباید از $[1.75 V_c] b_w . d$ بیشتر در نظر گرفته شود.

$V_c \leq (1.75 V_c) b_w . d$

نکته ۴) از آنجا که شکست برشی خطرناک‌تر از شکست خمشی است (شکست خمشی شکل‌پذیری بیشتری دارد و نرم‌تر است) آیین‌نامه ضرایب اطمینان را طوری در نظر گرفته که مقاومت برشی اعضا بیشتر یا لااقل از مقاومت خمشی آنها باشد.

مثلاً اگر در یک تیر تحت بارگذاری معلوم $V_u = 15\ ton$ و $M_u = 10\ ton$ شود، آیین‌نامه طوری ضرایب را تعیین می‌کند که $M_n = 20\ ton$ شود و $V_n = 40\ ton$ شود.

۱- مقاطع بتن آرمه را باید طوری طراحی کرد که: (مهندسی عمران ۸۲)

۱) گسیختگی برشی و خمشی باهم اتفاق نیفتند.

۲) گسیختگی برشی قبل از گسیختگی خمشی اتفاق بیفتد.

۳) گسیختگی خمشی قبل از گسیختگی برشی اتفاق بیفتد.

۴) گسیختگی خمشی و برشی باهم اتفاق بیفتد تا طرح، اقتصادی باشد.

۱۷- مقاطع خمشی بتن آرمه را باید طوری طراحی کرد که: (مهندسی عمران ۷۱)

۱) گسیختگی خمشی و برشی هم‌زمان اتفاق بیفتد تا طرح اقتصادی باشد.

۲) گسیختگی برشی قبل از گسیختگی خمشی اتفاق بیفتد.

۳) گسیختگی خمشی قبل از گسیختگی برشی اتفاق بیفتد.

۴) گسیختگی خمشی و برشی با هم اتفاق نیفتد.

۱۴- آیا آرماتورهای طولی خمشی در یک تیر بتن آرمه نقشی در مقاومت برشی تیر دارند؟ (مهندسی عمران ۷۶)

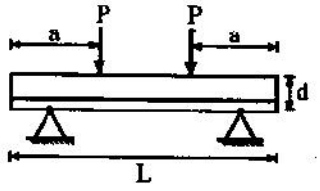
۱) بله، اگرچه این اثرات وجود دارند، به صورت محاسباتی در جایی منظور نمی‌شوند.

۲) بله، مقدار آرماتور طولی در روابط دقیق محاسبات مقاومت برشی آمده‌اند.

۳) خیر، مگر اینکه قطر آرماتور طولی کمتر از ۲۰ میلی‌متر باشد.

۴) خیر، برش در تیرهای بتن آرمه توسط آرماتورهای عرضی کنترل می‌شود.

برای تیر (شکل زیر) با ابعاد و آرماتورهای خمشی و برشی ثابت، مقاومت برشی تیر در کدام حالت، بیشتر است؟ (مهندسی عمران ۸۰)



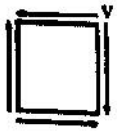
۱) $\frac{a}{d}=۲$

۲) $\frac{a}{d}=۳/۵$

۳) $\frac{a}{d}=۵$

۴) مقاومت برشی بستگی به فاصله a ندارد.

یک المان کوچک از تیر بتن مسلحی تحت برش خالص قرار می‌گیرد. مطلوب است تعیین v_{max} بدون به وجود آمدن ترک برشی (مدول گسیختگی بتن: $f_r = ۳۰ kgf/cm^۲$) (مهندسی عمران ۷۷)



۱) $\frac{۱۵\sqrt{۲}}{۲} kgf/cm^۲$

۲) $\frac{۳۰\sqrt{۲}}{۲} kgf/cm^۲$

۳) $۶۰ kgf/cm^۲$

۴) $۳۰ kgf/cm^۲$

۳۲- وجود نیروی محوری در بتن چه تأثیری بر مقاومت برشی مقطع دارد؟ (مهندسی عمران آزاد ۸۲)

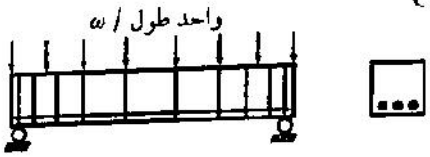
۱) اگر نیروی محوری فشاری باشد، سبب کاهش مقاومت برشی مقطع است.

۲) اثری بر روی مقاومت برشی ندارد.

۳) اگر نیروی محوری کششی باشد، سبب کاهش مقاومت برشی مقطع است.

۴) کاهش یا افزایش مقاومت برشی مقطع، بستگی به نسبت نیروی محوری به لنگر خمشی دارد.

با افزایش بار گسترده ثابت ω در واحد طول تیر شکل روبرو که دارای فولادی به میزان ρ، برابر با $\frac{۱}{۳}$ مقدار فولاد متوازن است، $\left(\rho = \frac{۱}{۳}\rho_b\right)$ (مهندسی عمران آزاد ۸۰)



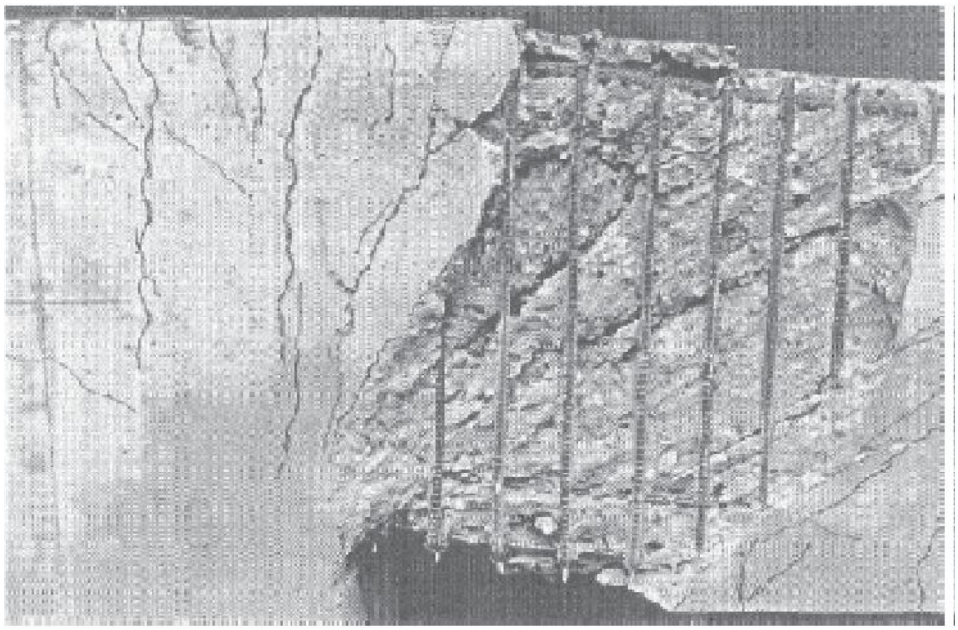
۱) ابتدا ترک‌های خمشی در پایین و وسط تیر ایجاد می‌شود و با افزایش بار ترکها به داخل تیر نفوذ می‌کنند اما وجود فولادهای برشی از نفوذ ترک‌ها تا اندازه زیادی جلوگیری می‌کنند. در نتیجه نهایتاً فولاد پاره می‌شود و تیر دچار زوال کششی می‌شود.

۲) ابتدا ترکهای خمشی در پایین و وسط تیر ایجاد می‌شود و با افزایش بار ترک‌ها به داخل تیر نفوذ می‌کنند. محور خنثی به سمت بالای تیر حرکت می‌کند و در نهایت فولاد تسلیم شده و با افزایش بار بتن نیز خرد می‌شود و تیر دچار زوال ثانوی فشاری می‌شود.

۳) ابتدا ترک‌های خمشی در پایین و وسط تیر ایجاد می‌شود و با افزایش بار تعداد ترک‌های در طول تیر افزایش می‌یابند. در نتیجه ترک‌ها در اثر فروکش بار به هم می‌پیوندند و بخش زیرین تیر به تدریج خرد می‌شود و فرو می‌ریزد. سپس در اثر تمرکز تنش کششی، فولاد نیز پاره می‌شود و بتن به دنبال آن خرد می‌شود و تیر به کلی فرو می‌ریزد.

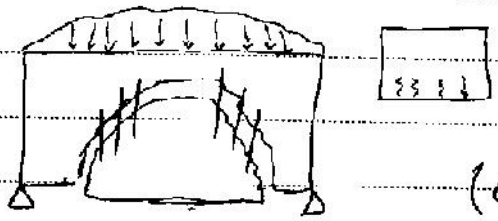
۴) ابتدا ترک‌های خمشی در پایین و وسط تیر ایجاد می‌شود و با افزایش بار، ترک‌ها به داخل تیر نفوذ می‌کنند به طوری که سطح مقاوم برشی در تیر کاهش می‌یابد و اگر فولاد فشاری در بالای تیر تعبیه شود، تیر هم در برابر برش و هم در برابر لنگر خمشی مقاومت نشان می‌دهد وگرنه تیر در برش زوال می‌یابد.

۳-۱- آرماتورهای عرضی



مقاومت برشی آرماتورهای عرضی ؟

آلترناتیو های مقاومت کامل در برابر برش وارد شده داشته باشد ← دسته آرماتورهای عامل آن را مطابق شکل تقویت می‌کنیم. (خاموتها (خاموتهای برشی) منقطع کشش تحمل می‌کنند)



✓ قبل از تشکیل ترک قطری آرماتورهای عرضی فاقد نیروی کشش هستند.

✓ پس از ایجاد ترک قطری (ادامه ترک خمشی برشی) خاموتها قسمتی از برش را تحمل می‌کنند.

ترک خمشی (خمشی برشی)

در مقاومت برشی ← ابتدا فقط V_{cz} را داریم ← $V_c = V_{cz}$

$V_c = V_{cz} + V_a + V_d$ ← $V_{cz} > V_a > V_d$ ← سهم بیشتری دارد

اثر فولاد طولی

$V_{total} = V_{cz} + V_a + V_d + V_s$ ← $V_a > V_{cz} > V_d$

V_c سهم بتن ← سهم فولاد عرضی

تأثیر آرماتور برشی در مقاومت برشی :

پس از ترک خوردن، آرماتور برشی با تحمل نیروی کششی قسمتی از برش را تحمل می‌کند

توجه شود که مقاومت برشی آرماتورهای طولی که با V_d نشان می‌دهیم در مقاومت برشی بتن در نظر گرفته می‌شود.

$V = V_{cz} + V_a + V_s$

V_c ← مقاومت برشی بتن

V_s ← مقاومت برشی فولاد

$V_c = (0.95 \sqrt{f'_c} + \rho_w \frac{V_d}{M_a})$

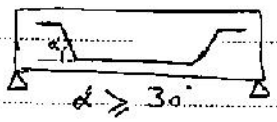
انواع آرماتور برشی :

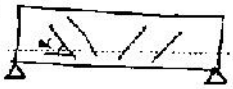
۱- تنگ با جهت تائم

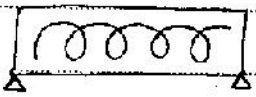
۲- تنگ با جهت مایل

۳- آرماتور طولی خم شده (مایل)

۴- آرماتور مارپیچ

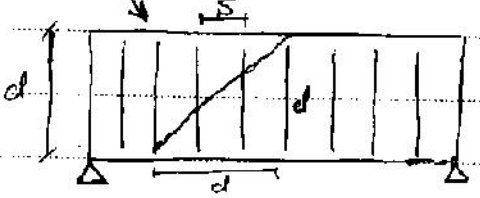






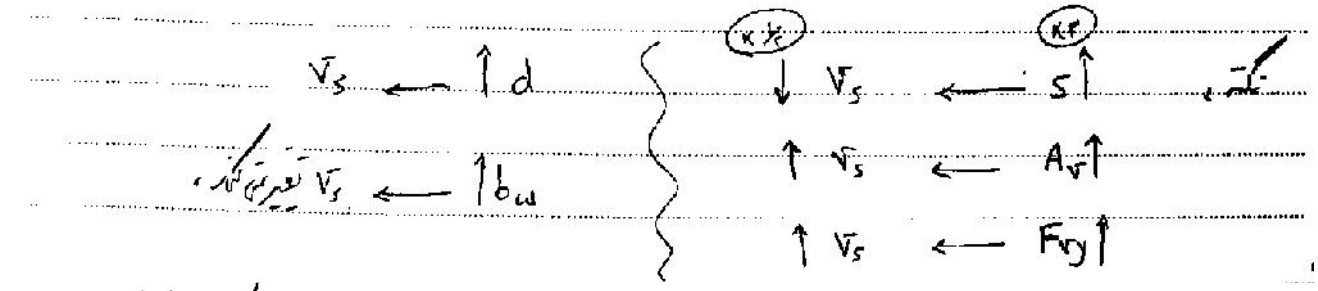
نحوه محاسبه V_s برای جهت تائم :

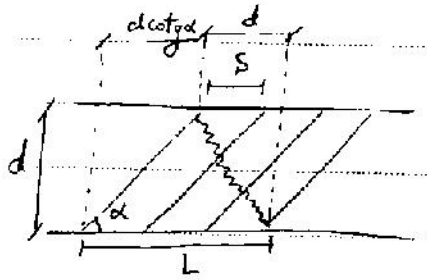
چون ترک ۴۵ درجه فرض می‌شود



$n = \frac{d}{s}$ ← تعداد آرماتورهایی که یک ترک می‌دوزند

$$V_s = (\frac{d}{s}) \times A_{v_s} \times (\phi_s F_y) = \frac{A_{v_s}}{s} d f_{y_d}$$





نحوه محاسبه مقاومت برشی خاموتهای مایل

تعداد آرماتورهای قطع شده $= \frac{L}{s} = \frac{d(1+\cot g\alpha)}{s}$

$$V_s = \frac{A_v}{s}\left[d(1+\cot g\alpha)\right]\sin\alpha\, f_y$$

مولفه قائم نیروی کششی در خاموتها

$$V_s = \frac{A_v}{s}\left(\sin\alpha + \cos\alpha\right) d\, F_y$$

تأثیر نیروی محوری بر مقاومت برشی بتن ← نیروی فشاری ↑ ← $\uparrow V_c$

$$V_c = \gamma_c\left(1+\frac{N_u}{12A_g}\right)b_w\, d$$

بر مقاومت خاموتها تأثیری ندارد

نیروی کششی ↑ ← $\downarrow V_c$

$$V_c = \gamma_c\left(1-\frac{N_u}{3A_g}\right)b_w\, d$$

۱۵ـ آرماتورهای عرضی در تیرهای بتن آرمه قبل از تشکیل ترکهای قطری: **(مهندسی عمران ۷۵)**

۱) مقدار قابل توجهی تنش تحمل می‌کنند و پس از تشکیل ترکهای قطری تمامی تنش برشی وارده را تحمل می‌کنند.

۲) مقدار قابل توجهی تنش تحمل می‌کنند و پس از تشکیل ترکهای قطری مقاومت برشی تیر بتن آرمه را افزایش می‌دهند.

۳) عملاً خالی از تنش هستند و پس از تشکیل ترکهای قطری تمامی تنش برشی وارده را تحمل می‌کنند.

۴) عملاً خالی از تنش هستند ولی پس از تشکیل ترکهای قطری مقاومت برشی تیر بتن آرمه را افزایش می‌دهند.