

خواص استاتیکی

مقاومت فشاری بتن

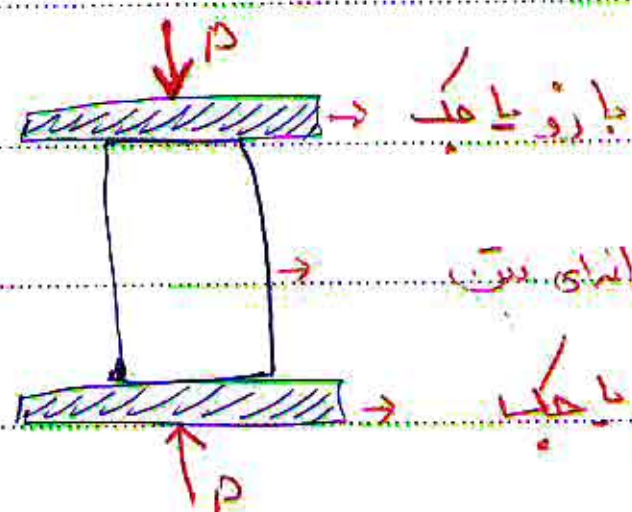
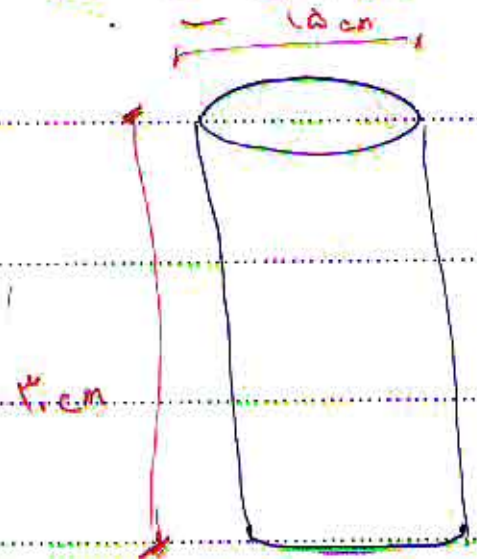
کرنه با f_c فشاری دهند و واحد آن $(\frac{N}{mm^2}, kg/cm^2)$ می باشد

مقاومت فشاری از جنس بتن می باشد

$$f_c = 20 \text{ MPa} \approx 200 \text{ kg/cm}^2$$

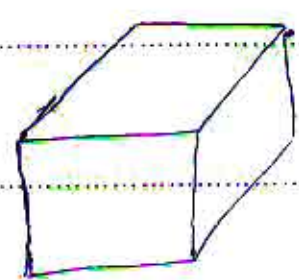
مقاومت فشاری بتن از آن مایش استوانه ای است و در استوانه نمونه از مایش بتن

بدست می آید

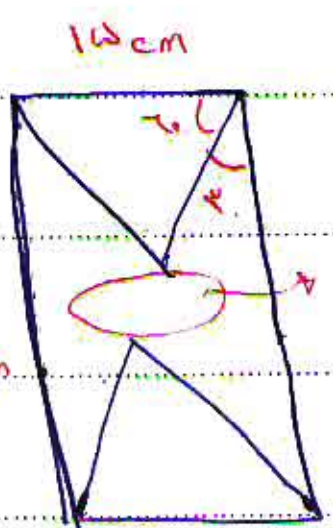


$$f_c = \frac{P}{A}$$

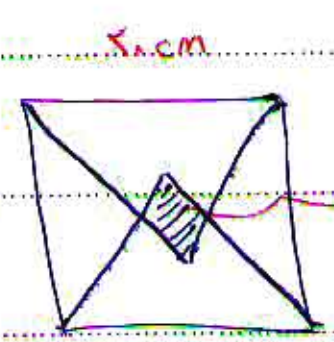
قالب مایه برای آن مایش بتن



توزیع تنش در نمونه استوانه ای و ملکی



مست مستطی



مست مربعی

اماملا نمونه استوانه ای است و در مایش اشاره کرده با مقدار

نمونه ملکی استفاده شده است

مقاومت کششی بر حسب F_r نشان می دهند. که اینها به هم روش یکسان

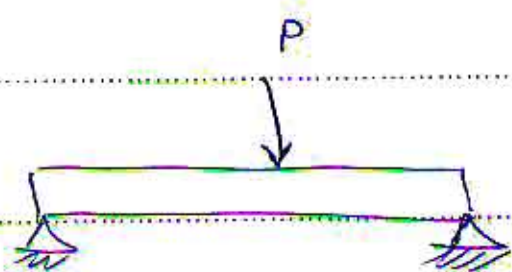
می کنند. مقاومت کششی از جنس تنش می باشد.

۱- روش استفاده از آزمایش های غیر مستقیم.

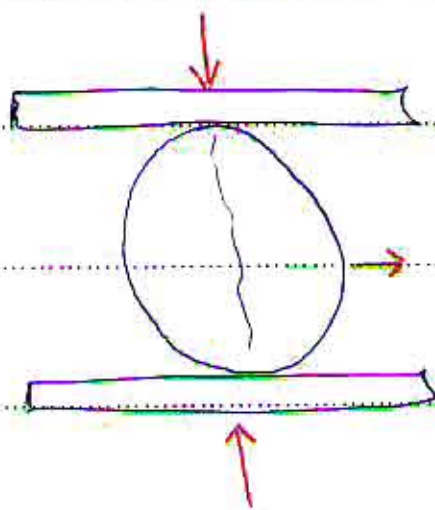
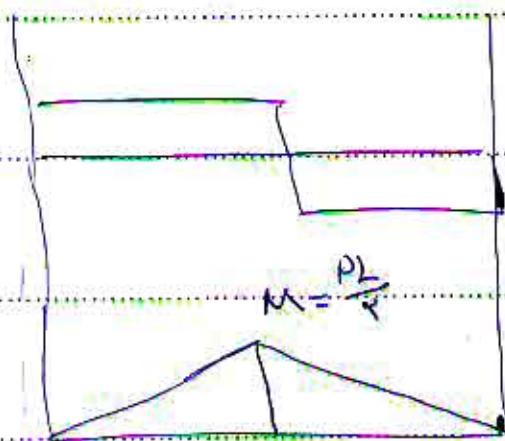
۲- روش استفاده از آزمایش های غیر مستقیم

نمونه را تحت فشار یا کشش قرار می دهند و به واسطه آن مقاومت کششی

بتن را محاسبه می کنند.



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



بار و بارگاه

لونه

۳- آزمایش برشی

روابط تجربی F_r :

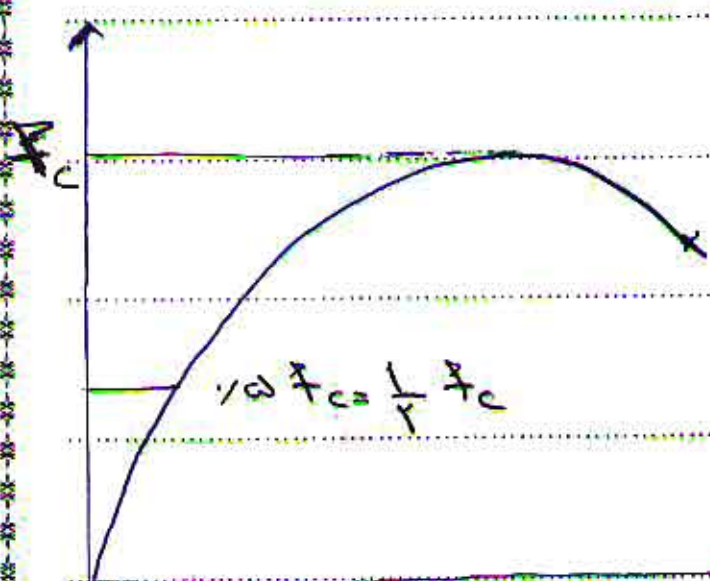
$$F_r = 0.7 \sqrt{F_c}$$

$$F_r = 0.72 \sqrt{F_c}$$

$$F_r = 0.7 \sqrt{F_c}$$

نمودار تنش - کرنش بتن

بتن تحت تنش خیلی زیاد از حالت خطی خارج می شود.



مشاری
آیین نامه می گوید مواقعی که تنش کمتر بتن مجاز

باشد می توان رفتار آنرا خطی فرض نمود.

به محض اینکه تنش مشاری در بتن از $1/5 f_c$ →

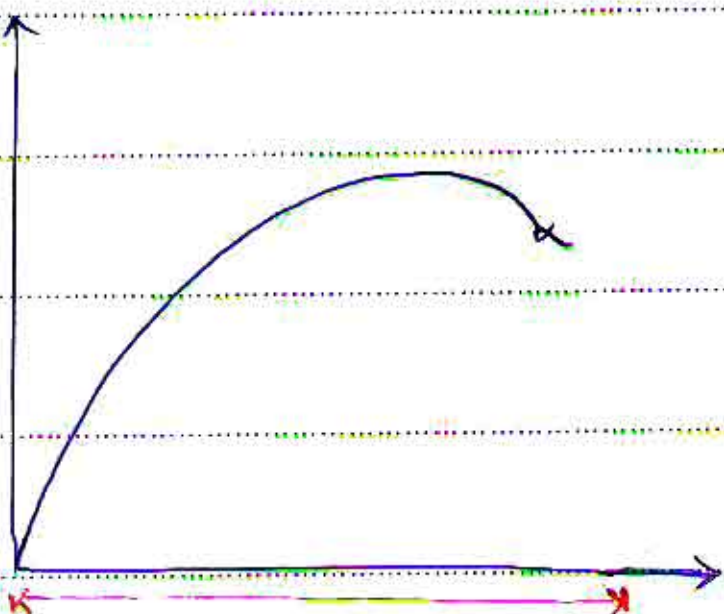
تجاوز کند رفتار بتن یک رفتار غیر خطی می باشد.

بتن های مختلف می تواند نمودار های متفاوتی داشته باشند. مگر همه به f_c

بتن دارد هر چه f_c بتن کوچکتر باشد شکلی بدتری میسوزی دارد.

کرنش نهایی بتن ϵ_{cu}

کرنش تعیین فول به تخمین فول نسبی است.



$$0.0015 < \epsilon_{cu} < 0.003$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

برای همه

مدول الاستیسیته E_c

$$E_c = 2.1 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2 = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

طبق آیین نامه مدول الاستیسیته بتن را برابر زیر قرار می دهیم.

$$E_c = 5000 \sqrt{f_c}$$

مبنای روش تنش های معیار

مقاومت - سازه $S \leq R$ به واحدهای وارده

$$S \leq \phi R$$

روش مقاومت نهایی

میزان اجهت از واحد

روش حالت حدی نهایی

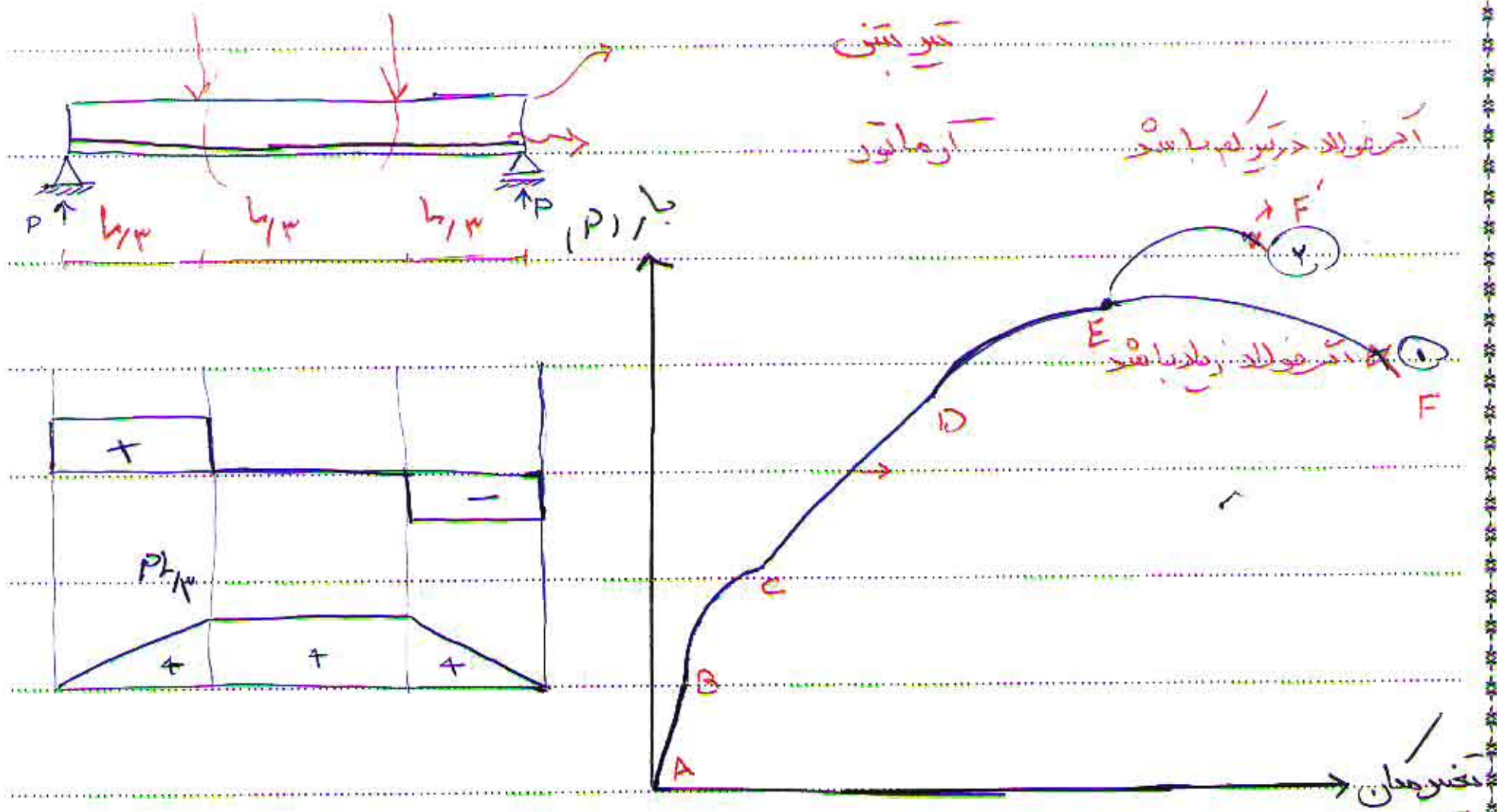
$$\phi S \leq \phi R$$

میزان اجهت از واحد $\phi S \leq \phi R$ میزان اجهت از واحد

$$U = D + L$$

$$U = 1.25D + 1.5L$$

فصل چهارم: رفتار مقاطع خمشی و گسسته به روش تنش های مجاز



AB: در این قسمت بار وارده به تیر کم بوده و هنوز تیر در حالت ترک افتاده

قرار دارد و تیر رفتار خطی دارد. در این قسمت به علت آمدن بار وارده کم است نسبت به کشش تیر هنوز ترک افتاده است.

نقطه B: در این نقطه خورترین تار کشش مقطع ترکهای خود به جاری که

باعث ایجاد اولین ترکها در دو تیر کشش می شود بار ترک خوردگی

و کمتر متناظر با آنرا را ترک خوردگی می گویند که با M_r نشان می دهند

قسمت BC: در این قسمت ترکها در ناحیه میانی تیر افزایش می یابند

به محض وقوع اولین ترک کشش به فولاد منتقل می شود افزایش

ترکها باعث ایجاد رفتار غیر خطی می گند

قسمت CD: در این قسمت هر چند بار افزایش می یابد ولی دیگر ترکها

پدید نمی آیند و در این وضعیت تمام نیروی کشش توسط آرماتورها تحمل می شود

اما در قسمت فشاری هنوز تنش فشاری σ_c در تیر بار فشاری از σ_{c0}

بجاور نکرده است. بنابراین هنوز رفتار تیر را می توان یک بار رفتار خمی فرض

کرد. چون نیروی وارد شده فولاد هنوز مقدار بالایی ندارد لذا فولاد هنوز رفتار

خمی خواهد داشت. به این وجه نیست که قسمت کششی مقطع ترک خورده

ولی رفتار تیر در ناحیه فشاری و رفتار فولاد هر دو خمی هستند رفتار

الاستیک است تا محدوده سی فولاد.

قسمت DE : با افزایش بار تنش فشاری σ_c در تیر بار فشاری مقطع

از σ_{c0} بیشتر شده بنابراین رفتار تیر دیگر خمی نیست. کار خم

این که رفتار فولاد هنوز یک رفتار خمی است ولی تیر یک رفتار غیر خمی

خواهد داشت.

قسمت EF : چنانچه میزان فولاد مقطع کم باشد، خرابی مقطع از ناحیه

کششی رخ می دهد و خرابی فولادها همراه با تغییر شکل زیادی باشد که

به سایش منتهی خواهد شد.

در صورتی که میزان فولاد مقطع زیاد باشد فقط ضعیف مقطع ناحیه

فشاری آهسته آهسته و خرابی مقطع از قسمت تیر رخ می دهد با توجه به این مقدار

تیر به صورت ناگهانی می باشد. علیرغم این مقطع فولاد مقاومت

زیادی از خود نشان می دهد. یک مقطع مناسب نخواهد بود زیرا خرابی

مقطع به صورت ناگهانی بوده و هیچ هشدار به سایش نخواهد

داد.

تذکره: رفتار مقطع EF رفتار نرم و مقطع آنرا مقطع

کم فولادی نامند و رفتار تیر در مقطع EF را تیر و مقطع را مقطع نرم فولاد

می نامند.

مثال هابی برای آمشای لاستیک

مثال ۱: یک تیر مستطیلی با عرض 25 mm و ارتفاع 25 mm و ارتفاع مؤثر 180 mm

توسط ۳ میلگرد ۱۲ مسلح شده است. ارتفاع و ست. ارتفاع و ست. مستطیل

25 Mpa و تنش جاری شدن فولاد 400 Mpa باشد. با فرض اینکه تیر غرضی

وارد شده به مقطع 7.0 kN باشد. تنشها در بتن و فولاد را محاسبه کنید

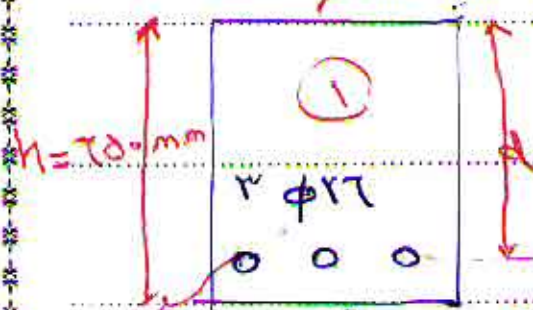
$f_{cc} = ?$

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$f_{cc} = \text{تنش فشاری بتن}$

$f_{ct} = \text{تنش کششی بتن}$

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



$$M = 7.0 \text{ kN}$$

به شرط آنکه مقطع ترک نخورده باشد

$f_{ct} = ?$

$$b = 25 \text{ mm}$$

هرگاه تنش کششی به مقدار و ست. کششی بتن برسد و از آنج

حیث شود ترک خوردن بتن شروع می شود. تنش کششی فولاد $f_{st} = ?$

$$f_s = \sqrt{f_c} = \sqrt{25} = 5 \text{ Mpa} \quad (\text{فولاد س}) \quad (\text{فشاری بتن}) \quad (\text{تنش کششی فولاد})$$

برای تعیین کردن میزان مسطح در لای ۲ جیس بودن مقطع می توانیم از فرمول های مبی

استفاده کنیم. لذا آنرا رابطه ای از جویس تبدیل می کنیم و خواب اندازه میگیره

جیس قرار داد با توجه به اندازه ۱۱ و حاجتی در اعراف تنش به صورت

$$E_s = 2 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 15000 \sqrt{f_c} = 15000 \sqrt{25} = 25000 \text{ N/mm}^2 = 1.25 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \times 10^5}{1.25 \times 10^5} = 1.6$$

$$A_s = \frac{M}{f_y \times \frac{d}{2}} = \frac{7000}{400 \times \frac{210}{2}} = 166.7 \text{ mm}^2$$

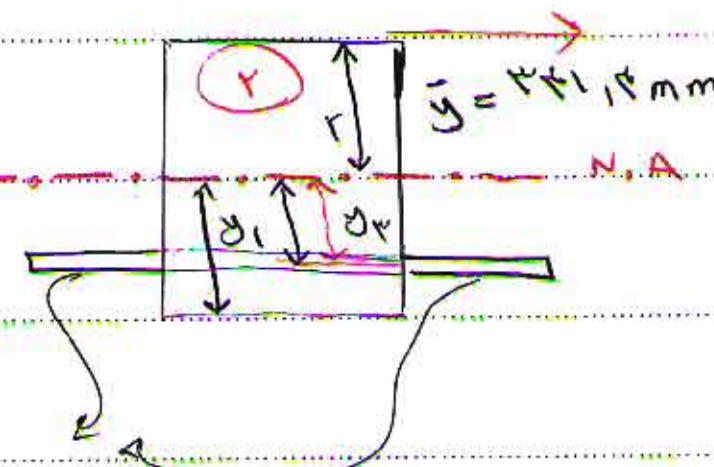
$$n A_s = 1.6 \times 166.7 = 266.7 \text{ mm}^2$$

$$(1 - 1) A_s = 0$$

$$= (1 - 1) \times 166.7 = 0 \text{ mm}^2$$

$$= 0 \text{ mm}^2$$

$$= 0 \text{ mm}^2$$



$$\bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(25 \times 75) \left(\frac{75}{2}\right) + 1115 \cdot (51)}{(25 \times 75) + 1115}$$

$$\bar{y} = 341.4 \text{ mm}$$

$$I = \frac{25 \times 75^3}{12} + (25 \times 75) \left(\frac{75}{2} - 341.4\right)^2 + 1115 (51 - 341.4)^2 =$$

$$I = 7399 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

در محاسبه همان اینرسی، قسمت آرمانی به بدین گونه

بودن آرمانی به همان از مقدار آن شرف نظری است و

فقط مقدار $A d^2$ را قرار دهیم. این شرف نظری در فقط به سهولت انتخاب

حل است و می توانیم برای محاسبه دقیق تر آن را قرار دهیم.

$$F = \frac{M y}{I}$$

$$F_{ct} = \frac{(70 \times 10^7) (75 - 341.4)}{7399 \times 10^7} = 2.19 \text{ N/mm}^2 < F_r = 3.15 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cc} = \frac{(70 \times 10^7) (341.4)}{7399 \times 10^7} = 3.2 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{st} = n \frac{(70 \times 10^7) (51 - 341.4)}{7399 \times 10^7} = 1.78 \frac{(70 \times 10^7) (51 - 341.4)}{7399 \times 10^7} = 1.78 \text{ N/mm}^2$$

حالا فرض کنیم کسر غشی وارده به مقطع ۱۲۰ کیلو نیوتن باشد و فولاد را حساب کنید.

حل: قسمت ۱ باید قسمت الف است. فقط کسر غشی شود و چون ۲ برابر شده است و کسر غشی ۱۲۰ دارد قیاس جوابهای قسمت الف را ۲ برابر کنیم.

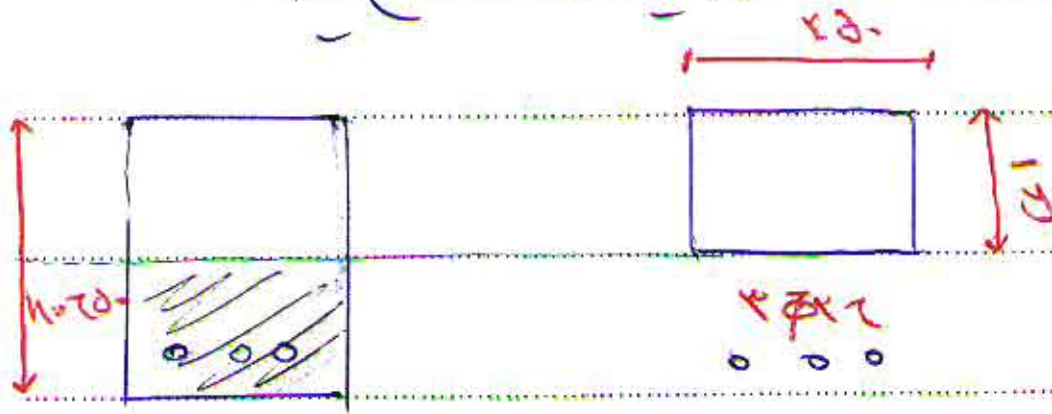
$$F_{ct} = 4.36 \text{ N/mm}^2 > F_r = 3.15 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cc} = 6.4 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{st} = 3.56 \text{ N/mm}^2$$

* با توجه به خواص و برقرار نشدن رابطه $F_c < F_r$ لذا مصالحه ترکیبی خود

در این صورت مآثره کل حاصل است و باید آنرا اصلاح کنیم



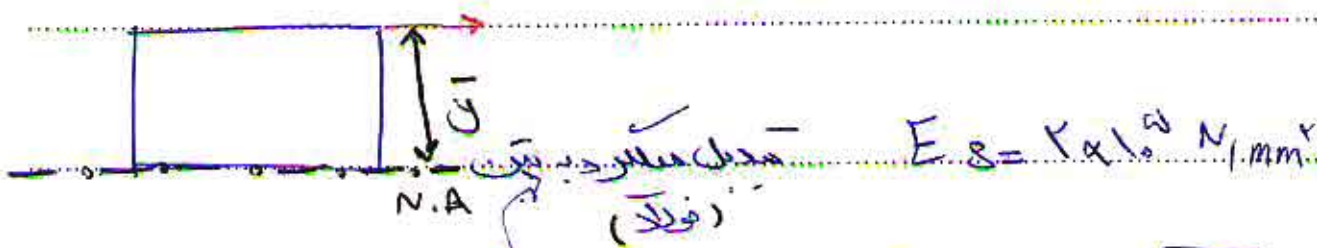
چون بین ترکیبی مورد نیاز است

نسبت بین خمدین و تحمل نمی کند بنابراین

برای حل ما این فرمات حذف می کنیم و این

در نظر می گیریم و سپس دوباره اجزای متفاوت را به یک جنس تبدیل

می کنیم



$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 25000 \sqrt{f_c} = 25000 \sqrt{10} = 79000 \text{ N/mm}^2$$

$$(n A_s = 1 \times 1093 = 1093 \text{ mm}^2) \quad (n = \frac{E_s}{E_c} = 1)$$

$$\bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{250 \times \bar{y} \left(\frac{\bar{y}}{2} \right) + 1093 \times 110}{250 \bar{y} + 1093}$$

$$250 \bar{y}^2 + 1093 \bar{y} = 125 \bar{y}^2 + 1093 \times 110$$

$$125 \bar{y}^2 + 1093 \bar{y} - 1093 \times 110 = 0 \Rightarrow \bar{y} = 197.5 \text{ mm}$$

$$I = \frac{250 \times 197.5^3}{12} + (250 \times 197.5) \left(\frac{197.5}{2} \right)^2 + 1093 (110 - 197.5)^2$$

$$I = 17.49 \times 10^8 + 481413398 + 187452710 =$$

$$I = 25.7 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

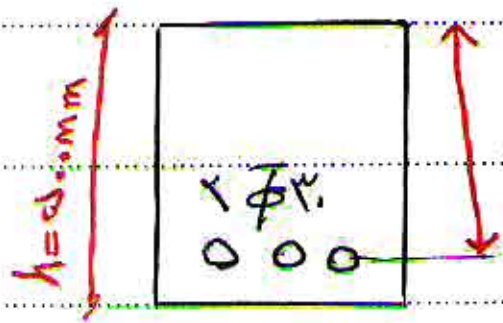
$$F_{cc} = \frac{My}{I} = \frac{(12.017) \times (197.5)}{25.7 \times 1.7} = 9,67 \text{ N/mm}^2 < 1/5 F_c = 1/5 \times 45 = 9 \text{ Mpa}$$

$$F_{st} = \frac{My}{I} = \frac{(12.017) \times (51.0 - 197.5)}{25.7 \times 1.7} = 167,52 \text{ N/mm}^2 < F_y = 400 \text{ Mpa}$$

اگر با F_c برقرار نباشد نشان دهنده آن است که بتن دچار رفتار خطی ندارد و اثر این اتفاق بر افتد و در فرمول $F = \frac{My}{I}$ کار بردی ندارد زیرا این فرمول در زمانی که رفتار بتن و فولاد خطی باشد صادق است. لذا کلی حل در آن حالت را استنباط است. و از روش های دیگر استفاده می کنیم.

مثال ۲- کمتر نظیر ترک خوردگی و نیز حداقل تنش فشاری بتن و تنش کشش فولاد در حالتی که مبدأ تحت کمتر ترک خوردگی قرار گیرد و برای مقطع مثل زیر با فرض $F_c = 40 \text{ Mpa}$ و $F_y = 400 \text{ Mpa}$ حدست را آورده.

زمانی که $F_{ct} = F_r$ شود اولین ترک افقی در دو طرف
 $M \Rightarrow M_{cr}$ کمتر و کمتر نظیر ترک خوردگی می آید. $d = 45 \text{ mm}$



$$b = 20 \text{ mm}$$

$$F_{ct} = F_r \rightarrow M = M_{cr}$$

$$F_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$F_{ct} = \frac{My}{I} \Rightarrow F_r = \frac{M_{cr} y}{I}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$M_{cr} = ?$$

$$\Rightarrow M_{cr} = \frac{F_r I}{y}$$

$$F_r = 1/7 \sqrt{F_c} = 1/7 \sqrt{40} = 2,12 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \times 10^4}{25.000} = 0,8$$

$$A_s = 3 \times \frac{\pi \times 30^2}{4} = 212.0 \text{ mm}^2$$

حالا مصالح را تبدیل می کنیم به فولاد را به فولاد

$$\bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(300 \times 50) \left(\frac{50}{2}\right) + (133 \times 57)(50)}{(300 \times 50) + (133 \times 57)}$$


$\bar{y} = 27.7 \text{ mm}$

$$(A - A_s) A_s = 714 A_s = 133 \times 57 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{300 \times 50^3}{12} + (300 \times 50) \left(\frac{50}{2} - 27.7\right)^2 + 133 \times 57 \times (50 - 27.7)^2$$

$$I = 31250000 + 3184000 + 50218.737 = 37157737$$

$$I = 37157737$$

$$M_{cr} = F_r I = \frac{3184 \times 37157737}{(50 - 27.7)} = 59.11 \times 10^7 \text{ N/mm} = 59.11 \text{ kNm}$$

ی قسمت پائین که ترک می خورد

$$F_{cc} = \frac{M_{cr} y}{I} = \frac{59.11 \times 10^7 \times 27.7}{37157737} = 4.45 \text{ Mpa}$$

$$F_{st} = n \frac{M_{cr} y}{I} = \frac{59.11 \times 10^7 (50 - 27.7)}{37157737} \approx 12 \text{ Mpa}$$

$$F_{ct} = \frac{M_{cr} y}{I} = \frac{59.11 \times 10^7 (50 - 27.7)}{37157737} = 3.18$$

بررسی تغییرات بتن آرمه تحت کنکروشنی:

همانطور که قبلاً مشاهده شد اگر بار وارده به ترکرم باشد رفتار بتن و فولاد هر دو خطی است. اگر بار بیشتر شود قسمت اکمنشی بتن ترکهای خورد و چنانچه حداکثر تنش فشاری بتن از $f_c/4$ بیشتر شود دیگرفتار، بتن خطی نیست. اگر مقطع بتنی آرمه را بار رفتار خطی (خاص الاستیک و خاص الاستوپلاستیک) بررسی کنیم از تمام ظرفیت مصالح استفاده نشده است. زیرا مصالح پس از رفتار خطی باز هم قابلیت تحمل بار در خاص غیر خطی را دارد. به دلیل زیوان روش طراحی در حالات مدی مفای (LSD یا LRFD) به جای روش تنش های مجاز استفاده می کنیم:

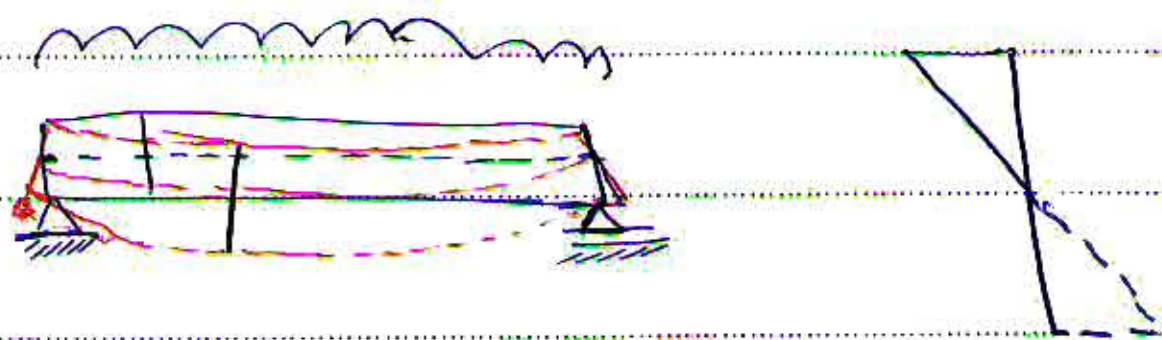
- ۱- در روش طراحی در حالات مدی مفای بار نظر گرفته رفتار واقعی بتن به صورت غیر خطی از بیایی واقع بینانه تری از عملکرد بتن آرمه ارائه می شود.

- ۲- ضربه المینان در روش طراحی در حالات مدی مفای واقع بینانه تری می باشد، مثلاً بار مرده که قابلیت پس بینی بیشتری دارد، از ضربه المینان کوچکتر بار زنده از ضربه المینان بزرگتری برخوردار هستند. در صورتی که در روش تنش های مجاز ضربه المینان بارها یکسان در نظر گرفته می شوند.

- ۳- در روش طراحی در حالات مدی مفای طرح اقتصادی تری ارائه می شود.

فرضیات اساسی در تئوری تنش تیرهای تن آرام

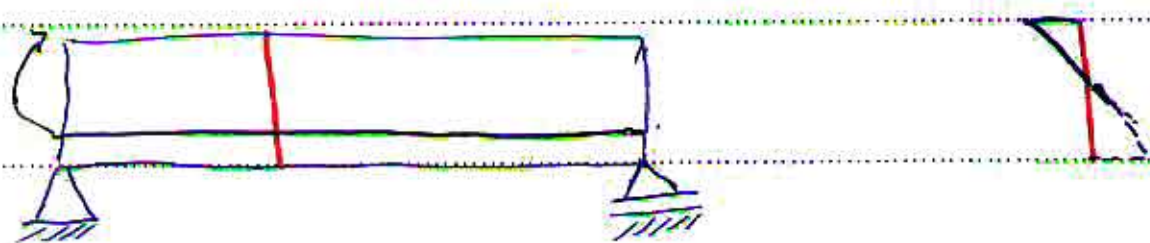
۱- اصل برنولی: بر اساس این اصل مقاطع مسطح خود بر محور تنش پس از تغییر شکل تنش نیز مسطح باقی می ماند. بنابراین توزیع کرنش در ارتفاع مقطع تیر بصورت خطی است. هر چند مقطع رفتار غیر خطی داشته باشد.



۲- پویستنی کامل بتن و فولاد

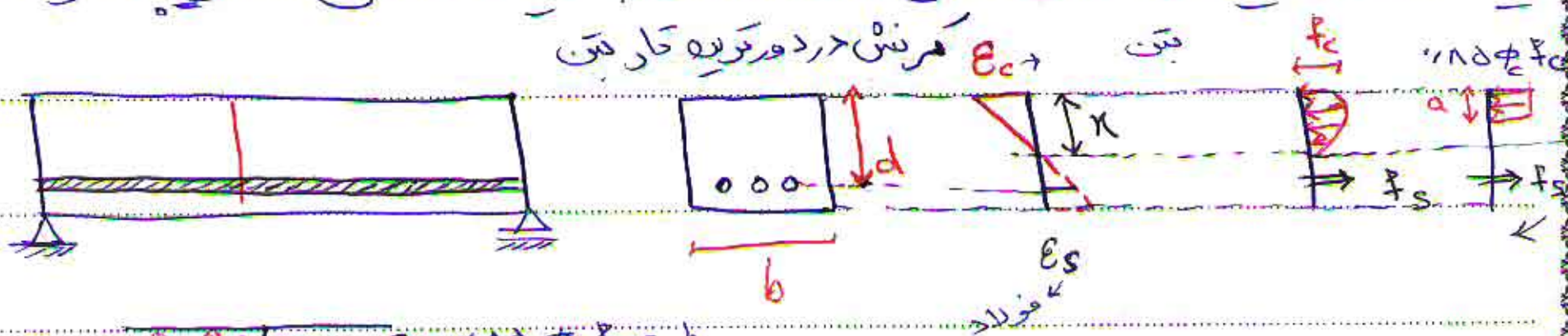
این حرف و اصل برنولی و به علت برقراری معادلات همبستگی کرنش بتن و فولاد در ارتفاع مقطع ایجاب می کند کرنش فولاد نیز از تحسین خطی کرنش تیر بتن آرام تبعیت کند.

آرمانده



۳- توزیع تنش در بتن و فولاد در یک مقطع بتن آرام بر اساس مفروضات تنش کرنش آنها می باشد

فولاد تا حد تسلیم یک رفتار خطی داشته و پس از آن جاری می شود و بتن یک رفتار غیر خطی دارد که می توان آن را با یک سهمی تقریباً از مرتبه درجه دوم در تیرهای قاربتن



$$C = 1.85 f_c f_c a \cdot b$$

$$T = f_s A_s$$

$$T = C \Rightarrow \phi_s f_s A_s = 1.15 \phi_c f_c a b \quad \phi_c = 1.7$$

$$M = T(d - a_f) = C(d - a_f) \quad \phi_s = 0.185$$

ϕ_c : ضریب جزئی ایمنی بتن برابر ۰/۱۷

ϕ_s : ضریب جزئی ایمنی فولاد برابر ۰/۱۸۵

f_c : مقاومت فشاری بتن

f_s : تنش در فولادها

α : حاصل محور خنثی از دورترین تار فشاری

a : ارتفاع بلوک تنش مستطیلی و بتنی

ارتفاع بلوک تنش مستطیلی و بتنی از رابطه $a = \beta_1 x$ بدست

می آید. رابطه β_1 ضریبی است که طبق آیین نامه بتن ایران به صورت زیر تعیین می شود:

$$\text{if } f_c \leq 30 \text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = 1.15$$

$$\text{if } f_c > 30 \text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = 1.15 - 0.008 f_c \geq 1.75$$

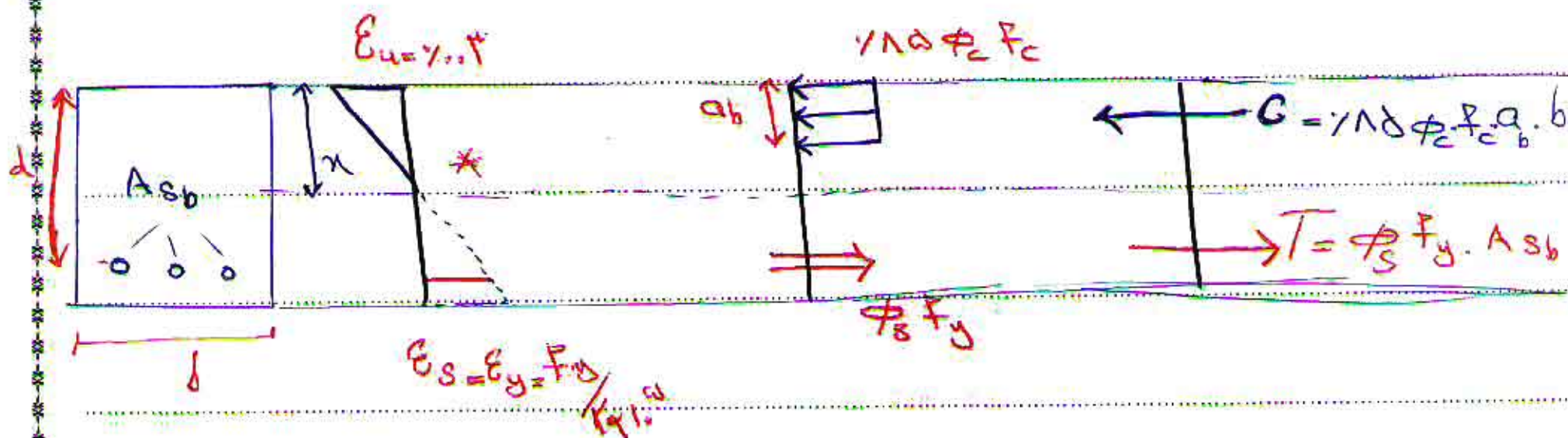
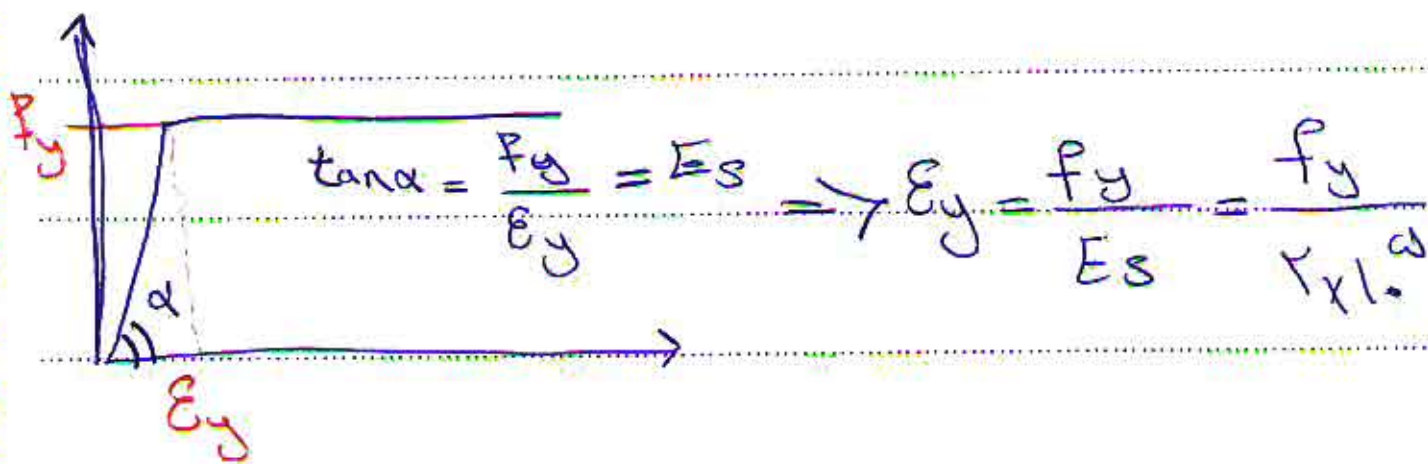
$$f_c = 35 \text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = 1.15 - 0.008 \times 35 = 1.75$$

در قسمت دوم باید بزرگتر از ۱/۷۵ باشد ولی اگر کوچکتر از ۱/۷۵ بدست آمد

ما ۱/۷۵ را در نظریه بکار

پرسی و منتخب - اختیارات یا دالاس مقطع بتن آرمه

وقتی مقطع بتن آرمه در حالت اختیارات قرار می گیرد که میزان کرنش نهایی بتن به 0.003 و کرنش فولاد به ϵ_y برسد. ($\epsilon_{cu} = 0.003$)



$$T = C \Rightarrow \phi_s F_y A_{sb} = 1/18 \phi_c F_c a_b b$$

$$A_{sb} = \frac{1/18 \phi_c F_c a_b b}{\phi_s F_y} =$$

$$\frac{0.003}{\epsilon_y} = \frac{x_b}{d - x_b} \Rightarrow \epsilon_y x_b = 0.003 d - 0.003 x_b$$

از نمودار کرنش *

$$(0.003 + \epsilon_y) x_b = 0.003 d \Rightarrow x_b = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} d$$

$$a_b = \beta_1 x_b = \beta_1 \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} d = \beta_1 \frac{0.003}{0.003 + \frac{F_y}{2 \times 10^4}} d = \beta_1 \frac{0.003}{\frac{7.00 + F_y}{2 \times 10^4}} d$$

$$a_b = \beta_1 \frac{7.00}{7.00 + F_y} d$$

یا

$$A_{sb} = \frac{1.1 \phi_c F_c \left(\beta \frac{700}{700 + F_y} d \right) b}{\phi_s F_y}$$

$$\Rightarrow A_{sb} = \frac{1.7 \beta F_c 700}{\phi_s F_y (700 + F_y)} b d$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b d} = \frac{1.7 \beta F_c 700}{\phi_s F_y (700 + F_y)}$$

* ρ_b طبق فرمول بالا، مقدار آرماتوری را نشان می‌دهد که اگر در مقطع جاسد، مقطع در حالت متوازن قرار می‌گیرد، همانطور که از رابطه مشخص است مقدار آرماتوری که باعث می‌شود رفتار مقطع متوازن باشد به شکل مقطع به F_c و F_y (تنش جابجایی فولاد) بستگی دارد و هیچ ارتباطی به بار وارد شده ندارد.

* چنانچه میزان آرماتور در مقطع از ρ_b کمتر باشد مقطع کم فولاد نامیده می‌شود در این حالت فولاد مقطع تماماً جاری می‌شود و کونکرت در فولاد از بین می‌رود.

* چنانچه میزان آرماتور در مقطع از ρ_b بیشتر باشد مقطع پر فولاد نامیده می‌شود و فولاد در مقطع تماماً جاری نمی‌شود و کونکرت در فولاد از بین می‌رود.

محاسبه انکسشنی مقاوم نهایی مقطع:

محاکمات کنترلی که یک مقطع بتن آرمه می تواند تحمل کند.

→ سازه های بتن آرمه > نوع مسئله وجود دارد نوع اول مسئله ای است که

→ آن d و A_s مقطع مشخص است و خواسته مسئله کنترشی مقاوم

نهایی می باشد به این نوع مسئله آنالیز گفتم می شود.

نوع دوم حالتی است که محاکمات کنترلی وارده به مقطع داده شده و b و d

و A_s خواسته مسئله می باشد به این نوع مسئله طراحی گفتم می شود.

مقاومت نهایی غشی مقطع با M_r نشان داده می شود برای تحسین کنترشی

مقاوم نهایی استوارترین آرما تور به لایس را که از رابطه $\rho = \frac{1}{6} \rho \frac{f_c}{f_y} \frac{700}{700 + f_y}$

محاسبه می شود بدست آورده و با آرما تور موجود مقطع که از رابطه $\rho = \frac{A_s}{bd}$

مقایسه می کنیم دو حالت امکان رخ دادن دارد

۱- $\rho < \rho_b$: اگر $\rho < \rho_b$ باشد مقطع کم فولاد است پس:

$$C = 1.15 \phi_c f_c ab$$

$$T = \phi_s f_y A_s$$

$$\Rightarrow C = T \Rightarrow 1.15 \phi_c f_c ab = \phi_s f_y A_s$$

$$\Rightarrow a = \frac{\phi_s f_y A_s}{1.15 \phi_c f_c b}$$

$$M_r = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = \phi_s f_y A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

۲- اگر $\rho > \rho_b$ باشد:

$$A_s = A_{s_b} = \rho_b b d$$

$$C = 1/18 \phi_c f_c a_b b$$

$$T = \phi_s f_y A_{s_b} \Rightarrow C = T \Rightarrow 1/18 \phi_c f_c a_b b = \phi_s f_y A_{s_b}$$

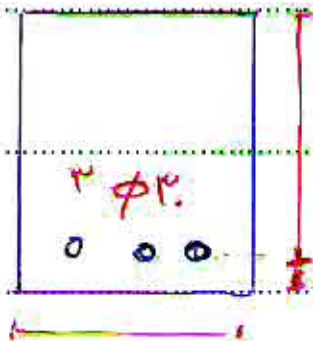
$$a_b = \frac{\phi_s f_y A_{s_b}}{1/18 \phi_c f_c b} = \frac{\phi_s f_y \rho_b d}{1/18 \phi_c f_c}$$

$$a_b = \frac{\phi_s f_y \rho_b d}{1/18 \phi_c f_c}$$

$$M_r = C(d - \frac{a_b}{2}) = 1/18 \phi_c f_c a_b b (d - \frac{a_b}{2})$$

مثال - مقطع مستطیلی با ابعاد $d = 450 \text{ mm}$ و $b = 300 \text{ mm}$ و با ۳ عدد میلگرد درجه ۲

۳ راد، نظریه یو با فرض اینها $f_y = 420 \text{ Mpa}$ ، $f_c = 30 \text{ Mpa}$



مقاومت M_r چقدر می باشد؟

$$b = 300 \text{ mm} \quad A_s = 3 \times \frac{\pi \phi^2}{4} = 3 \times \frac{\pi (20)^2}{4} = 942 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{942}{300 \times 450} = 0.0044$$

$$f_c = 30 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85 \Rightarrow \rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f_c}{f_y} = \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{420} = 0.0052$$

$$\rho_b = 0.0052 \quad \rho = 0.0044 < \rho_b \quad \text{①}$$

$$1.2 \Rightarrow \rho = 0.0044 < \rho_b = 0.0052$$

$$C = T = 1/10 \phi_c f_c a b = \phi_s f_y A_s \Rightarrow a = \frac{\phi_s f_y A_s}{1/10 \phi_c f_c}$$

$$a = \frac{1/10 \times 400 \times 2121}{1/10 \times 17 \times 30 \times 30} = 101.1 \text{ mm}$$

مثال - معطى مثال قبل را با ک آرماتور ۳۷ حل کنید

$$A_s = \frac{f_y A_s}{f_y} = 4.79 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{4.79}{30 \times 40} = 0.031 \text{ (1)}$$

$$f_c = 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85 \Rightarrow \rho = 0.18 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{1.0}{1.0 + f_c} = 0.18 \times \frac{30}{30 + 1.0} = 0.15$$

$$\rho = 0.15$$

(2)

$$1.4 \geq \rho = 0.031 > \rho = 0.15$$

$$A_s = A_{sb} = \rho b d$$

$$C = T$$

$$\Rightarrow a_b = \frac{\phi_s f_y \rho b d}{1/10 \phi_c f_c} = \frac{1/10 \times 400 \times 0.15 \times 30 \times 40}{1/10 \times 17 \times 30}$$

$$a_b = 23.1 \text{ mm}$$

$$M_r = C \left(d - \frac{a_b}{2} \right) = 1/10 \phi_c f_c a_b b \left(d - \frac{a_b}{2} \right)$$

$$= 1/10 \times 17 \times 30 \times 23.1 \times 30 \times \left(40 - \frac{23.1}{2} \right) = 301.1 \text{ kNm}$$

برخی ضوابط آسین خام ای و نکاتی در طراحی :

که الزامی نیست

۱- کنترل خمشی نهایی تحت بارهای با ضریب با M_u نهایی داده می شود
 مقطع باید طوری طراحی شود که کنترل خمشی نهایی (M_u) از کنترل خمشی مقاوم نهایی M_r کمتر باشد به عبارت دیگر : $M_u < M_r$

آسین خام بتن ایوانه برای سازه ای که فقط تحت بارهای قائم قرار گیرد با ضریب بار $(1.5 + 1.25D)$ در نظر می شود برای این

$$M_u = 1.25 M_D + 1.5 M_L$$

۲- آسین خام بتن ایوانه حداکثر میزان آرماتور قابل استفاده در مقطع با برابر

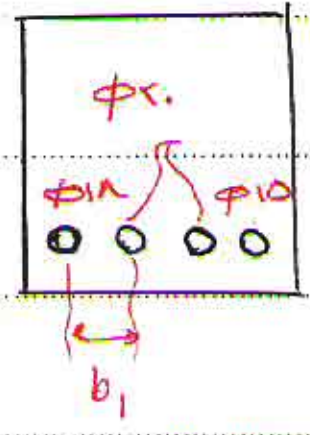
A_{sb} در نظر می شود به عبارت دیگر $A_{s,max} = A_{sb}$ یا $\rho_{max} = \rho_b$

۳- نسبت آرماتور کششی بدست آمده از محاسبات (ρ) نباید از

$\frac{1.4}{F_y}$ کمتر باشد . $\rho_{min} = \frac{1.4}{F_y}$

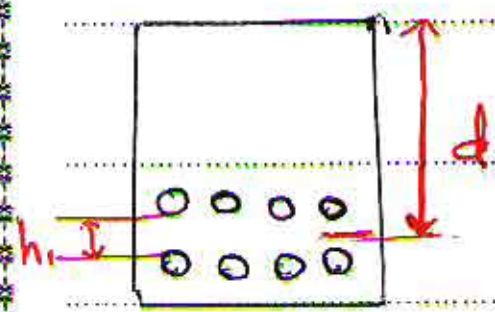
۴- حاصل آزاد پس هر دو میلگر موازی واقع در یک تیر باید از هیچ یک از مقادیر زیر کمتر باشد .

۲۵mm - قطر میلگر بزرگتر (d_b) - ۱.۳۳ برابر قطر آسین بزرگترین حسنه دانه بزرگ $(1.33 d_{max})$



$$b_1 = \text{Max} \{ 25 \text{ mm}, d_b, 1.33 d_{max} \}$$

۵- در صورتی که میلگردهای موازی در چند سرفه قرار گیرند، فاصله از دیسک ۲ سرفه نباید از مقدار زیر بیشتر باشد
۲۵mm - قطر بزرگترین میلگرد

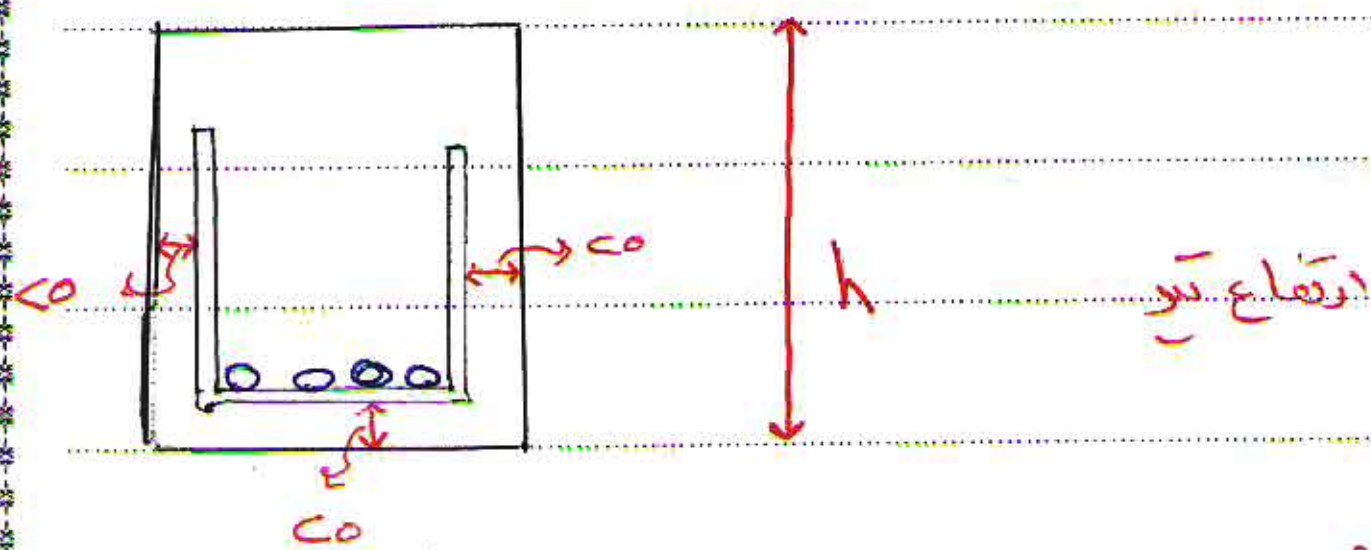


$$h_1 = \min \{ 25mm, d \}$$

تذکره: در تیرهایی که آرماتورها در چند سرفه قرار می گیرند ارتفاع مؤثر تیر (d) برابر با فاصله مرکز سطح آرماتورها تا دورترین تار فشاری (آرماتورها با هم برابر شود باید و رعایت کرد)

۶- ضخامت پوشش بتن برای تیرها و ستونها در شرایط محیطی ملایم متوسط، شدید، بسیار شدید و فوق العاده شدید برابر است با:

$$25mm, 40mm, 50mm, 75mm, 100mm$$



شرایط محیطی ملایم:

تنی در معرض هیچ نوع عامل مهاجم قرار نداشته باشد

شرایط محیطی متوسط:

تنی در معرض رطوبت و گاهی تخریب قرار گیرد مثل تنی که در آبار

با خاک غیرهاجم در تماس باشد یا زیر آب قرار داشته باشد

شرایط محبلی شدید:

تن در معرض ترشع آب دریا باشد یا در آب هوای گرم و رطوبت
طوری که یک وجه آن در تماس با هوا باشد.

شرایط محبلی بسیار شدید:

تن در معرض گازها، آب و فاضلاب ساکن، مواد فویژه و
رطوبت همراه با یخ زدن و آب شدن شدید قرار داشته باشد

شرایط محبلی فوق العاده شدید:

تن در معرض فرسایش شدید، عبور وسایل نقلیه، آب و فاضلاب جاری
باشد، مثل روی تپه یا رگهنگ ها، در ضمن شرایط خاص خلیج
فارس، فوق العاده شدید است.

۷- در تیرهای تن برای کنترل خیز یا تغییر شکل با بستی ارتفاع
مقطع از h_{min} طبق جدول زیر بیشتر باشد

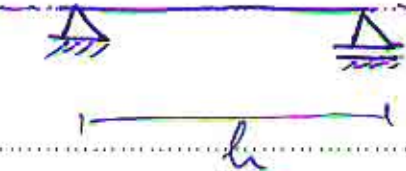
تیر دو سر ساده $h_{min} = \frac{L}{17}$



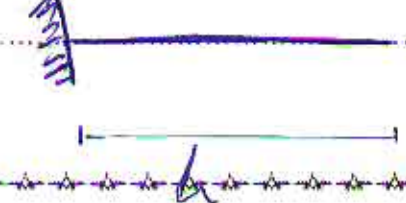
تیر ساده و یک سر محدد و یک سر استوار $h_{min} = \frac{L}{11.5}$



تیر دو سر محدد $h_{min} = \frac{L}{21}$



تیر طوطای (کشوی) $h_{min} = \frac{L}{8}$



* در صورتی که نسبت از معادله h (ارتفاع تیر) مشخص شد که از h_{min} کوچکتر نیست یا برای به کنترل فرومنی باشد.

چند نکته در طراحی تیر می توان در طراحی متن آورده استفاده کرد و الزامی نمی باشد

- ۱- وزن یک تیر نسبت آرمه رای توان تقریباً ۱۰٪ درصد مجموع بار مرده و زنده تخمین زد.

- ۲- بهتر است در تیر بتنی آرمه نسبت $\frac{d}{b}$ بین ۱ و ۲ باشد و نسبت $\frac{d}{b} = 1.5$ یک نسبت خوب تلقی شود.

$$1 < \frac{d}{b} < 2$$

- ۳- اگر در هر ردیف n آرماتور با قطر ϕ داشته باشیم در این صورت حداقل عرض لازم برای جادادن n آرماتور از رابطه زیر بدست می آید.

$$b_{min} = (n-1) \phi + 2(c + \phi')$$

۱: تعداد آرماتورها ϕ : قطر خاموت

c : کاور

- ۴- معمولاً ابعاد تیر مصوبی از ۴۵ cm یا ۵۰ mm در نظر گرفته می شوند.

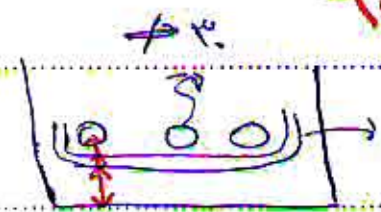
- ۵- بهتر است در محرف تیر با عرض بستون مساوی باشد تا قالب

بندی آسانتر انجام شود.

- ۶- برای تعیین عمق مؤثر (d) با استفاده از ارتفاع مقطع (h) یا بولس می توان از روابط زیر استفاده کرد.

$$h = d + \frac{70}{75}$$

$$d = h - \frac{70}{75}$$



فاصله

(نصف قطر میلگرد) ۱۵ + (قطر خابریه) ۱۰ + (رادیوس) ۳۵

۷- اگر برای یک مقطع بتن آرمه محدودیت ابعاد نداشته باشیم
بهرترین مقطع مقطعی است که $\rho = \rho_b$ باشد.

۸- اگر برای یک مقطع بتن آرمه محدودیت ابعاد داشته باشیم برای آنکه
لویترین ابعاد را برای مقطع بدست آوریم باید $\rho = \rho_b$ باشد.

۹- اگر بار هم ابعاد مقطعی باشد لویترین ابعاد حاصل با شرط
 $\rho = \rho_b$ باشد با لایستی از ارماتور فشرده استفاده کرد.

طراحی مقطع مستطیلی تحت گزشتی فقط با آرما و کششی:

الف - اگر M_u و ابعاد تیر مشخص بوده و فقط طراحی فولاد

مورد نظر باشد $M_u, b, d \rightarrow A_s$

با توجه به اینکه مقطع با هستی کم فولاد طراحی شود تا فولادهای کششی جاری شوند، خواهیم داشت:

$$\sum F = 0 \rightarrow C = T \Rightarrow 0.85 \phi_c f_c a \cdot b = \phi_s f_y A_s$$

$$a = \frac{\phi_s f_y A_s}{0.85 \phi_c f_c b} \quad ?$$

$$M_r = M_u = T(d - \frac{a}{2}) = \phi_s f_y A_s (d - \frac{a}{2})$$

$$\Rightarrow M_u = \phi_s f_y A_s (d - \frac{\phi_s f_y A_s}{0.85 \phi_c f_c b})$$

$$\Rightarrow \rho = 0.17 \frac{f_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{0.85 \phi_c f_c b d^2}} \right]$$

ب - اگر طراحی تیر بطور کامل مورد نظر باشد (طراحی ابعاد و فولاد)

با توجه به اینکه مقطع با هستی کم فولاد طراحی شود تا فولادهای

کششی جاری شوند، اگر محدودیت ابعاد نداشته باشیم نسبت فولاد

مورد نیاز مقطع را (م) برابر (محدودیت) و آن محدودیت ابعاد داریم

(م) را برابر (م) فوقین کنیم.

$$M_u \rightarrow b, d, A_s$$

نسبت از رابطه زیر مقدار bd^2 را محاسبه می کنند

$$bd^2 = \frac{M_u}{\rho \phi_s f_y \left(1 - \frac{\rho \phi_s f_y}{\phi_c f_c}\right)}$$

با داشتن bd^2 و استفاده از ضوابط طراحی b و d را بدست می آوریم. $\left(\frac{d}{b} = 1.5\right)$ نسبت از رابطه $(h = d + 70)$ ارتفاع مقطع بدست می آید، ارتفاع بدست آمده بصورت مضمینی از cm ریزی شود و مجدداً ارتفاع مؤثر مقطع از رابطه زیر محاسبه می گردد. $(d = h - 70)$

با داشتن b و d می شد مانند حالت الف شده و به همان روش مجدداً طراحی انجام می شود.

مثال - یک مقطع مستطیلی با ابعاد $b = 400 \text{ mm}$ ، $h = 500 \text{ mm}$ و شیار طراحی

تحت بارهای با عزیمت 24 kN.m و در قطر شیارید فولاد لانگ

برای این مقطع طراحی کنید. آرمیچر شیارها محلی مدام قرار

دائمه باشند و $f_c = 35 \text{ mpa}$ و $f_y = 400 \text{ mpa}$ باشند.

$$b = 400 \text{ mm} \quad h = 500 \text{ mm} \quad M_u = 24 \text{ kN.m}$$

$$\text{شیراها مدام} \rightarrow c = 35 \text{ mm} \quad f_y = 400 \text{ mpa} \quad f_c = 35 \text{ mpa}$$

$$f_c = 35 \text{ mpa} > 30 \text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = 1.1 \quad \gamma = 1.1 \quad f_c = 1.1 \times 35$$

$$\beta = 1.1 > 0.75$$

$$\rho = 0.7 \frac{f_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{\gamma \phi_c f_c b d^2}} \right]$$

$$\rho = 0.7 \frac{35}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times (24 \times 10^3)}{1.1 \times 0.7 \times 35 \times 400 \times 450^2}} \right] = 0.1$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{max} = \rho_b = 0.7 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{\gamma}{\gamma + f_y} = 0.7 \times 1.1 \frac{35}{400} \frac{1.1}{1.1 + 35} = 0.0255$$

$$\Rightarrow \rho_{min} = 0.0035 < \rho = 0.1 < \rho_{max} = 0.0255 \quad \checkmark$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \Rightarrow A_s = \rho b d = 0.1 \times 400 \times 450 = 18000 \text{ mm}^2$$

فوتره دل برای استوار

نمونه حل برای طراحی:

$$\rho = 0.1 \Rightarrow A_s = \rho b d = 0.1 \times 400 \times 440 = 17600 \text{ mm}^2$$

$$a_s = \frac{\pi \times 17^2}{4} = 230.9$$

مساحت مقطع

$$n = \frac{A_s}{a_s} = \frac{17600}{230.9} = 76.2$$

تعداد آرماتورها لازم

* با فرض استفاده از آرماتور $\phi 21$:

$$a_s = \frac{\pi \times 21^2}{4} = 715.5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{a_s} = \frac{17600}{715.5} = 24.6 \approx 25$$

تعداد آرماتورها

Try $\phi 21$:

$$A_s = 25 \times \frac{\pi \times 21^2}{4} = 17600 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{17600}{400 \times 440} = 0.1$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0032$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \quad \checkmark$$

$$\rho_{max} = \rho_b = 0.02 = 0.02$$

$$b_{min} = (n-1)b_1 + n\phi + 2(c_0 + \phi')$$

$$b_1 = \begin{cases} 10 \text{ mm} \\ 12 \text{ mm} \\ 14 \text{ mm} \end{cases}, d_b = 21 \text{ mm}, 1.33 d_{max} = 21 \text{ mm}$$

$$b_{min} = (3-1)21 + 3 \times 21 + 2(10 + 10) = 120 \text{ mm} < b = 400 \text{ mm}$$

21

مثال ۲ - تیر در سازه شش تحت بارگذاری نشان داده شده را در نظر گرفته و تیر مقطع مستطیلی مناسب برای آن طراحی کنید. شرایط محاسباتی، مصالح و محدودیت ابعادی داریم.

$$\begin{cases} q_D = 4 \text{ kN/m} \\ q_L = 22 \text{ kN/m} \end{cases}$$

حل استخوانی :



$$f_c = 28 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$f_y = 350 \text{ MPa}$$

$$\text{محدودیت ابعاد} \Rightarrow c_o = 3d \text{ mm}$$

شرایط ملامت

$$q_u = 1/1 (q_D + q_L) = 1/1 (4 + 22) = 26 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L = 1.2 (4) + 1.6 (22) = 40.8 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{40.8 \times 7^2}{8} = 251.55 \text{ kN.m} \quad \left(M = \frac{qL^2}{8} \text{ در سازه شش} \right)$$

در این مرحله محدودیت ابعاد داریم فرض می کنیم :

$$\rho = \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{1}{18} \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{700}{700 + f_y} = \frac{1}{18} \times 0.85 \frac{28}{350} + \frac{700}{700 + 350} = 0.0257$$

$$(\rho = \rho_b = 0.0257)$$

$$b d^2 = \frac{M_u}{\rho \phi_s f_y (1 - \frac{\rho \phi_s f_y}{\beta_1 f_c})} = \frac{251.55 \times 10^3}{0.0257 \times 0.85 \times 350 (1 - \frac{0.0257 \times 0.85 \times 350}{0.85 \times 28})} = 17928$$

$$b(1, \omega b)^T = V C^T \Gamma \Sigma \Gamma^T \Lambda$$

$$r, r \cdot b^w = v \cdot w \cdot r \cdot r \cdot n$$

$$\Rightarrow b = 44 \text{ mm}$$

Try: $b = 48 \text{ mm}$

$$\text{bdf}^r = v \text{ c r r e r t n } \}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$d = 7.1 \text{ mm}$$

$$h = d + \gamma_0 = r\gamma_1 + \gamma_0 = \omega r_1$$

Try at $h = 22.5 \text{ mm}$

$$\alpha = h - \tau_0 = \omega \omega_0 - \tau_0 = \tau_0$$

Try $\begin{cases} b = 40 \text{ mm} \\ d = 49 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow A_s = ?$

$$\rho = \frac{1}{7} \frac{f_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{r_{mu}}{1.7 \phi_c f_c b d^2}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{17} \frac{r_A}{r_D} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{r_A \times 1.7}{17 \times \frac{1}{17} \times r_A \times r_D \times 1.7}} \right] = 0.29$$

$$\rho = 9/10 \text{ K.A}$$

$$P_{\min} = \frac{1 \text{ k}}{f_y} = \frac{1 \text{ k}}{k_d} = 0.00 \text{ k}$$

$$\Rightarrow \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \quad \checkmark$$

$$\rho_{\text{man}} = \rho_b = 0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{\min} = \frac{h}{17} = \frac{7 \times 1000}{17} = 411.76 \text{ mm}$$

$$h = 22.5 \text{ mm} > h_{\min} = 19.5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$A_s = \rho b d = 1\% \times 9 \times 10 \times 100 = 90 \text{ mm}^2$$

بافتن استفاده از $\phi_{\text{شکل}}$

$$a_s = \frac{\pi \alpha \mu^2}{k} = 9.1 \text{ nm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{a_s} = \frac{V \omega \Delta t}{q \cdot \Delta} = V_1 q \omega \rightarrow \text{Try: } f \neq V f$$

$$A_s = F \times \frac{\pi r^2}{r} = \pi r$$

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{17\%}{40. \times 59.} = \% 2.12$$

$$P_{\min} = \frac{1 \text{ V}}{R_g} = 0.01 \text{ V} < P = 0.51 \text{ V} < P_{\max} / b = 0.52 \text{ V} \quad \checkmark$$

$$b_{\min} = (n-1)b_1 + n\phi + \gamma(c_0 + \phi')$$

$b_1 = 1100 \text{ mm}$, $b_2 = 1100 \text{ mm}$, $b_3 = 1100 \text{ mm}$

$$b_{\min} = (k-1) \mu r + k \mu r + r (\mu \phi + 1.0) = \mu r \Delta_{\min} \quad b = \mu \phi \cdot \Delta_{\min}$$

71

۱- مقطع مستطیلی با فولاد کششی و فشاری (فولاد مضاعف):

* به دلیل زیر در مقطع مستطیلی نیاز به استفاده از فولاد فشاری می باشد:

- ۱- کمک به طرفین فشاری است:

اگر فکر نمی به مدی باشد فولاد لازم برای مقطع کششی از P_{max} باشد برای این فولادهای کششی جاری شوند یا باید ابعاد مقطع را بزرگتر کنیم یا این در مقطع از فولاد فشاری استفاده کنیم.

۲- افزایش شکل پذیری مقطع:

شکل پذیری بیشتر باعث جذب انرژی بیشتر حاصل از بارهای لرزه ای و گسیختگی به سازه می کند.

۳- کاهش خم دراز مدست:

در تیرهای بتن آرمه علاوه بر تخمین تنش های آبی مانند تیرهای دکل در دراز مدست تخمین تنش های موجود می آید که از ممانتر فشاری باعث کاهش این تخمین تنش های دراز مدست می شود.

۴- وقتی جهت گسختگی من شود فولادهای فشاری تنش فولاد کششی را افزایش میدهد:

۵- باعث می شوند خاموت ها را بتوان راحت جایگذاری کرد:

ملاحظات جاری شدن آرماتورهای کششی و فشاری در تیرهای بتن آرمه :

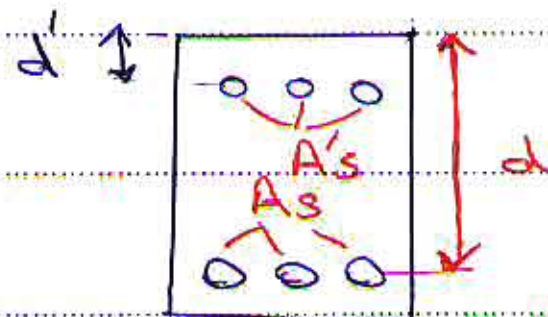
الف - جاری شدن فولادهای کششی :

در مقاطع متناهی فولاد کششی و فولاد فشاری P_{max} از رابطه زیر

محاسبه می آید :

$$P_{max} = P_b + P' \frac{f'_{sb}}{f_y}$$

$$P_b = \frac{1}{2} \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{\gamma_{00}}{\gamma_{00} + f_y}$$



$$P' = \frac{A'_s}{bd}$$

$$f'_{sb} = \gamma_{00} - \frac{d'}{d} (\gamma_{00} + f_y) \leq f_y$$

* صورتی که $P < P_{max}$ باشد فولادهای کششی جاری می شوند و در صورتی که $P > P_{max}$ باشد فولادهای کششی جاری نمی شوند.

ب - جاری شدن فولادهای فشاری :

خوابتی می شود اگر $P < \bar{P}_{min}$ باشد، فولادهای فشاری جاری نمی شوند

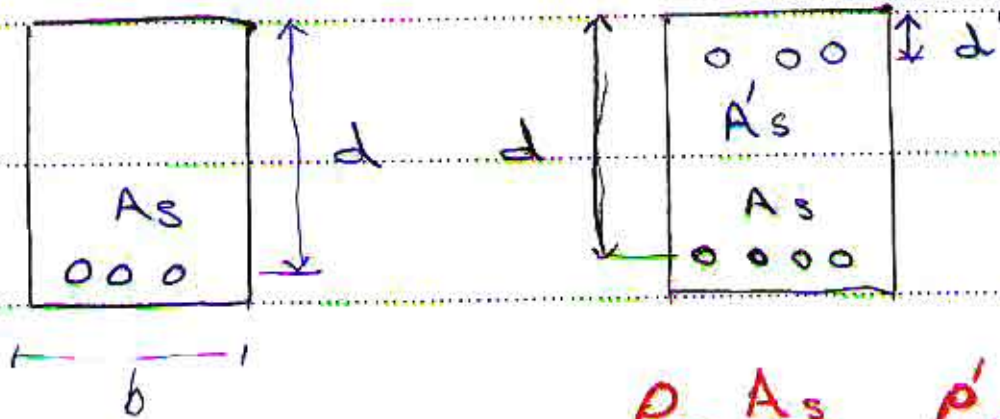
و در صورتی که $P > \bar{P}_{min}$ باشد، فولادهای فشاری جاری خواهند

شد. $\bar{P}_{min}$ معیاری برای تعیین جاری شدن یا جاری نشدن آرماتورهای

فشاری می باشد که از رابطه زیر محاسبه می آید

$$\rho_{min} = \frac{1}{17} \beta_1 \frac{f_c}{f_s} \cdot \frac{\gamma_{oo}}{\gamma_{oo} - f_y} \cdot \frac{d'}{d} + \rho' \frac{f_y}{f_s}$$

$$f_s = \frac{d}{d'} (\gamma_{oo} - f_y) - \gamma_{oo} \leq f_y$$



نکته: مع بیلای

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

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

$$\rho < \rho_{max} = \rho_b + \rho' \frac{f_{sb}}{f_y}$$

$$\rho > \rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$\rho > \bar{\rho}_{min} \rightarrow$ آرماتورهای فشاری جاری می شوند

$$\rho < \rho_{max} = \rho_b$$

$\rho < \bar{\rho}_{min} \rightarrow$ آرماتورهای فشاری جاری نمی شوند

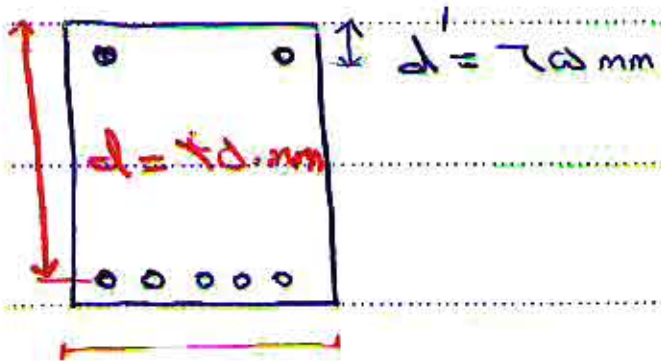
تذکره: در صورتی که آرماتورهای فشاری جاری شوند تنش آنها برابر

f_y می باشد و می توانیم آرماتورهای فشاری جاری شوند تنش آنها

از رابطه زیر بدست می آید

$$f'_s = \gamma_{oo} \frac{a - \beta_1 d'}{a}$$

مثال - یک تیر با مقطع مستطیلی دارای عرض ۲۰۰ mm و ارتفاع مؤثر ۴۵۰ mm می باشد. ملگرهای کششی از نوع میلگرد فرس ۲۶ و ملگرهای فشاری از نوع میلگرد فرس ۲۸ (شکل) با فاصله مساوی مرکز آن ها و تیرهای فشاری تا آثار فوقانی ۷۰ mm باشد. ملگرها و مقطع را تعیین کنید. در صورتی که $f_c = ۲۵\text{ mpa}$ و $f_y = ۴۵۰\text{ mpa}$ باشد.



$$b = ۲۰۰\text{ mm}$$

$$A_s = 4 \times \frac{\pi \times ۲۶^2}{4} = ۸۵۹\text{ mm}^2$$

$$f_c = ۲۵\text{ mpa}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{۸۵۹}{۲۰۰ \times ۴۵۰} = ۰.۰۰۹۷۷$$

$$f_y = ۴۵۰\text{ mpa}$$

$$A'_s = 4 \times \frac{\pi \times ۲۸^2}{4} = ۲۴۶۴\text{ mm}^2$$

$$M_r = ?$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \frac{۲۴۶۴}{۲۰۰ \times ۴۵۰} = ۰.۰۰۹۱$$

$$f_c = ۲۵\text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = ۰.۸۵ - \frac{۰.۰۰۵}{۱۰۰} f_c = ۰.۸۱$$

$$\rho_b = \frac{1}{\beta_1} \frac{f_c}{f_y} \frac{700}{700 + f_y} = \frac{1}{0.81} \times \frac{25}{450} \times \frac{700}{700 + 450} \Rightarrow \rho_b = ۰.۰۰۳۰۷$$

$$f_{sb}' = 700 - \frac{d'}{d} (700 + f_y) = 700 - \frac{70}{450} (700 + 450)$$

$$f_{sb}' = ۴۷۳ > f_y = ۴۵۰ \Rightarrow f_{sb}' = ۴۵۰$$

$$\rho_{max} = \rho_b + \rho' \frac{f_{sb}'}{f_y} = ۰.۰۰۳۰۷ + (۰.۰۰۹۱) \frac{۴۵۰}{۴۵۰} = ۰.۰۰۳۹۸$$

$$F_s = \frac{d}{d'} (\tau_{oo} - F_y) = \frac{F_{D_o}}{\tau_{oo}} (\tau_{oo} - \tau_{D_o}) - \tau_{oo} = 11.41 > F_y = \tau_{D_o}$$

$$\Rightarrow F_s = \tau_{D_o}$$

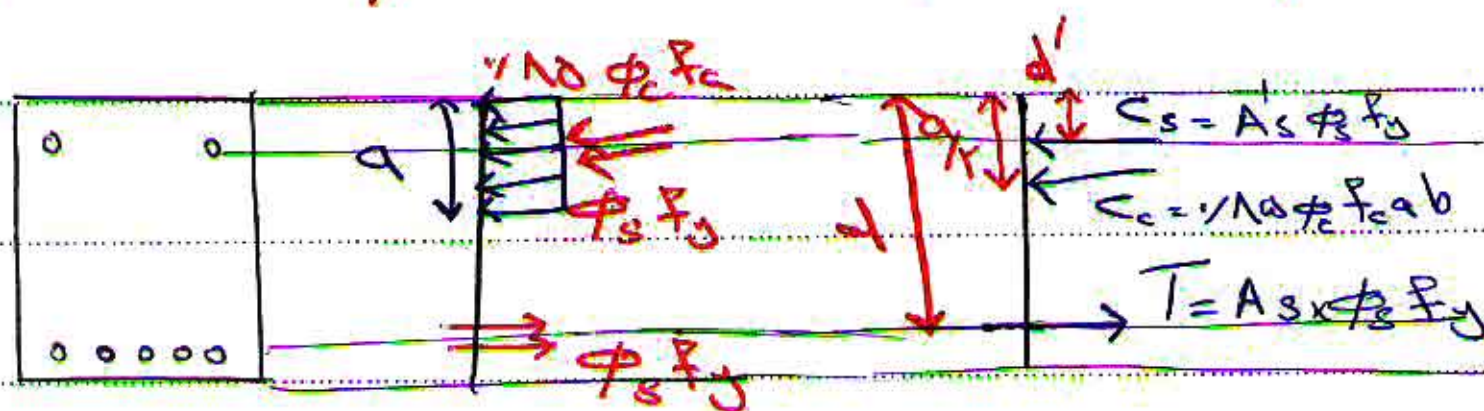
$$\bar{\rho}_{min} = \gamma \beta_1 \frac{F_c}{F_s} \frac{\tau_{oo}}{\tau_{oo} - F_y} \frac{d'}{d} + \rho' \frac{F_{D_o}}{F_s}$$

$$= 1.7 \times 1.1 \times \frac{\tau_{D_o}}{\tau_{oo} - \tau_{D_o}} \frac{\tau_{oo}}{\tau_{D_o}} + (1.091 \frac{\tau_{D_o}}{\tau_{D_o}})$$

$$\bar{\rho}_{min} = 0.171$$

آرماتورهای کششی جاری می شوند $\rho = 0.377 < \rho_{max} = 0.391$

آرماتورهای فشاری فشاری می شوند $\rho = 0.377 > \bar{\rho}_{min} = 0.171$



$$\sum F = 0 \Rightarrow C_c + C_s = T \Rightarrow \frac{1}{2} \rho_c F_c a b + A's \phi_s F_y =$$

$$A_s \phi_s F_y \Rightarrow a = \frac{A_s \phi_s F_y - A's \phi_s F_y}{\frac{1}{2} \rho_c F_c b}$$

$$a = \frac{(A_s - A's) \phi_s F_y}{\frac{1}{2} \rho_c F_c b}$$

این فرمول برای زمانی که هم آرماتورهای

فشاری و هم کششی جاری می شوند

قابل استفاده است

$$a = \frac{(0.4 - 1.22) \times 100 \times 20}{100 \times 1.7 \times 20 \times 20} = 11.7 \text{ mm}$$

$$100 \times 1.7 \times 20 \times 20$$

$$M_r = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') = 100 \phi_c F_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$100 \phi_s F_y (d - d') = 100 \times 1.7 \times 20 \times 20 \times 11.7 \times 20 \left(40 - \frac{11.7}{2} \right) + 1.22 \times 100 \times 20 \times (40 - 20)$$

$$\Rightarrow M_r = 23 \text{ kN.m}$$



$$F_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 40 \text{ Mpa}$$

$$b = 100$$

$$M_r = ?$$

$$A_s = 3 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 339 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{339}{100 \times (40 - 20)} = 0.167$$

$$A'_s = 3 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 339 \text{ mm}^2$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \frac{339}{100 \times (40 - 20)} = 0.167$$

$$F_c = 20 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 F_c}{F_y} \frac{20}{20 + F_y} = 0.85 \times 0.85 \frac{20}{40 + 40} = 0.191$$

$$F'_s = 20 - \frac{d'}{d} (20 + F_y) = 20 - \frac{20}{40} (20 + 40)$$

339

$$F'_{sb} = 119 > F_y = 700 \Rightarrow F'_{sb} = F_y = 700$$

$$\rho_{max} = \rho_b + \rho' \frac{F'_{sb}}{F_y} = 0.0191 + 0.0073 \frac{700}{700} = 0.0264$$

$$\rho_{max} = 0.0264$$

$$F_s = \frac{d}{d'} (700 - F_y) - 700 = \frac{0.7}{1} (700 - 700) = 0 < F_y = 700$$

$$F_c = F_y = 700$$

$$\bar{\rho}_{min} = 0.7 \rho_1 \frac{F_c}{F_s} \frac{700}{700 - F_y} \frac{d'}{d} + \rho' \frac{F_y}{F_s}$$

$$= 0.7 \times 0.0191 \frac{700}{700 - 700} \frac{1}{0.7} + 0.0073 \left(\frac{700}{700} \right)$$

$$\bar{\rho}_{min} = 0.0179$$

$$\rho = 0.0157 < \rho_{max} = 0.0264 \Rightarrow \text{آرماتورهای کششی جاری می شوند}$$

$$\rho = 0.0157 < \bar{\rho}_{min} = 0.0179 \Rightarrow \text{آرماتورهای فشاری جاری می شوند}$$

$$F'_s = 700 \frac{a - \rho d'}{a} = 700 \frac{a - 0.0191 \times 70}{a} = 700 \frac{a - 13.37}{a}$$

$$F'_s = 700 \frac{a - 13.37}{a}$$



$$\sum F = 0 \rightarrow C_c + C_s = T$$

$$1.1 \times 0.05 \times f_{c'ab} + A_s' \phi_s f_s' = A_s \phi_s f_y$$

$$\Rightarrow 1.1 \times 0.05 \times f_{c'ab} + A_s' \phi_s \left(7.0 - \frac{a - d'}{a} \right) = A_s \phi_s f_y$$

$$1.1 \times 0.05 \times 7.0 \times 1.9 \times 10^6 + 1.5 \times 10^{-3} \times 1.1 \times 0.05 \times 7.0 - \frac{a - d'}{a} = 1.5 \times 10^{-3} \times 1.1 \times 0.05 \times 1.9 \times 10^6$$

$$a \approx 1.9 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_s' = 7.0 - \frac{a - d'}{a} = 7.0 - \frac{1.9 - d'}{1.9} \approx 7.19 \text{ MPa}$$

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

$$= 1.1 \times 0.05 \times f_{c'ab} \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \phi_s f_s' (d - d')$$

$$= 1.1 \times 0.05 \times 7.0 \times 1.9 \times 10^6 \left(0.15 - \frac{1.9}{2} \right) + 1.5 \times 10^{-3} \times 1.1 \times 0.05 \times 7.19 \times 10^6$$

$$(0.15 - 0.95) \Rightarrow M_r = 6.67 \text{ kNm}$$

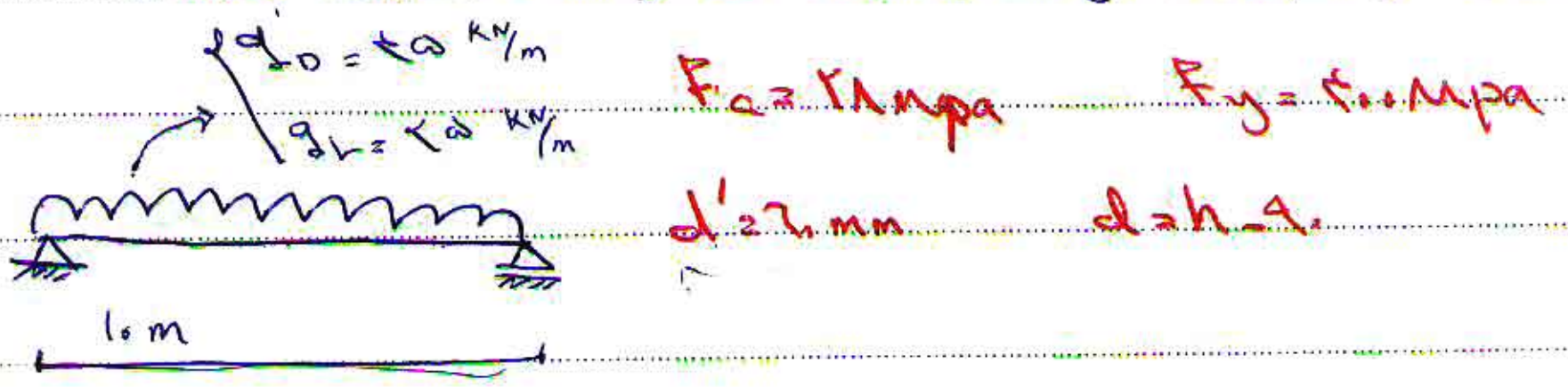
مثال -> یک تیر مستطیلی دوسر ساده با ابعاد $b = 400 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$

و با طول دهانه 10 m بارهای مرده و زنده به صورت گسترده ای کنواخت

و با شد $q_d = 40 \text{ kN/m}$ (با احتساب وزن تیر) و $q_k = 20 \text{ kN/m}$

دارد شده است. این تیر را در مدل کلاسیک هالبرگ فولاد کلاسیک کیند اگر

$d = h - 90$, $d' = 70 \text{ mm}$, $F_y = 400 \text{ Mpa}$, $F_c = 28 \text{ Mpa}$



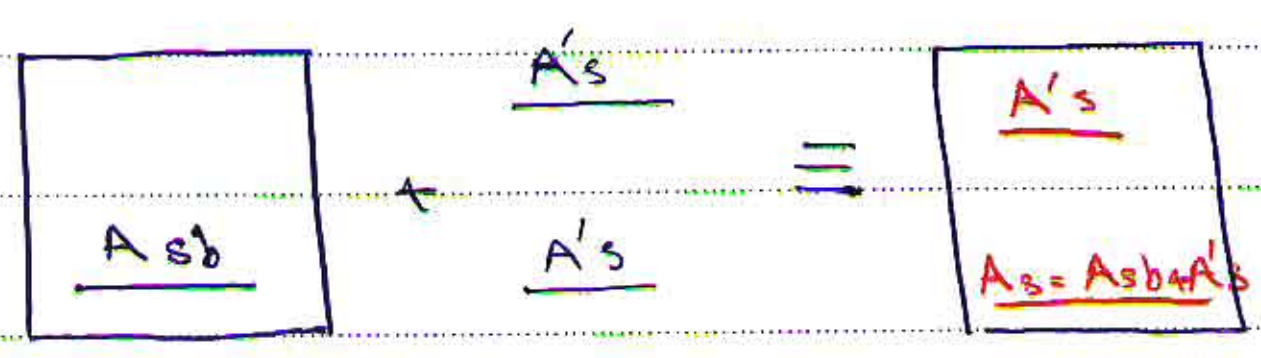
$$q_u = 1.2 q_d + 1.6 q_k = 1.2 \times 40 + 1.6 \times 20 = 96 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{96 \times 10^2}{8} = 1200 \text{ kN-m}$$

$$b = 400 \quad d' = 70 \text{ mm}$$

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

$$F_c = 28 \text{ Mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85$$



حداکثر قدر قابل تحمل مقطع بدون نیاز به آرماتور فشاری $M_{rmax} = ?$

$$A_s = A_{sb} \Rightarrow M_r = M_{rmax}$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow C = T \Rightarrow 0.85 \phi_c F_c a_b b = A_s b \phi_s F_y$$

$$a_b = \frac{A_s b \phi_s F_y}{0.85 \phi_c F_c b} = \frac{\rho_s b d \phi_s F_y}{0.85 \phi_c F_c}$$

$$a_b = \frac{F_y}{\phi_c F_c} \rho_b d$$

$$M_{rmax} = T(d - \frac{a}{\gamma}) = A_s b \phi_s F_y (d - \frac{a}{\gamma})$$

$$M_{rmax} = \rho_b b d \phi_s F_y (d - \frac{a_b}{\gamma})$$

$$\rho_b = \frac{1}{\gamma} \beta_1 \frac{F_c}{F_y} \frac{700}{700 + F_y} = \frac{1}{\gamma} \times 0.85 \times \frac{21}{700 + 21}$$

$$\rho_b = 0.021$$

$$a_b = \frac{F_y}{\phi_c F_c} \rho_b d = \frac{21}{0.85 \times 21} \times 0.021 \times 710 = 311 \text{ mm}$$

$$M_{rmax} = \rho_b b d \phi_s F_y (d - \frac{a_b}{\gamma})$$

$$= 0.021 \times 210 \times 710 \times 0.85 \times 21 \times (710 - \frac{311}{\gamma})$$

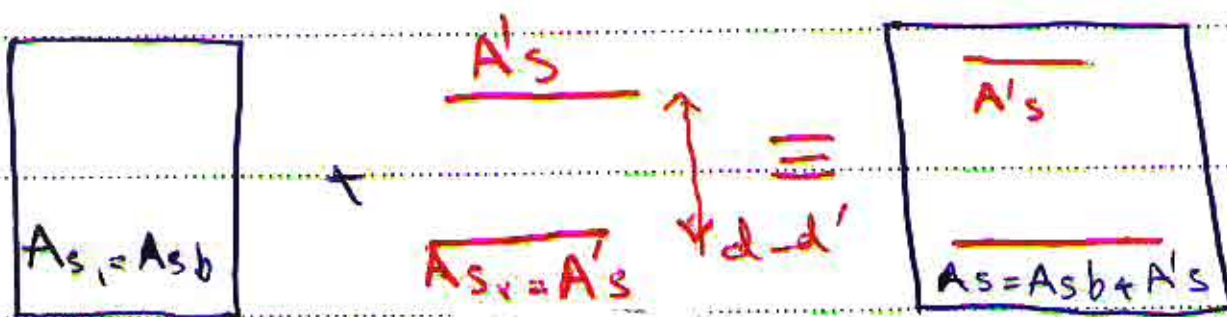
$$M_{rmax} = 10719 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 1112 \text{ kN.m} \rightarrow M_{rmax} = 10719 \text{ kN.m}$$

این مقطع به آرماتور فشاری نیاز دارد.

تذکره:

وقتی A_s برابر A'_s است که فولاد های فشاری هم مانند فولاد های کششی جاری شوند.



$$M_{rx} = M_{rman} \quad M_{rx} = M_u - M_{rman} \quad M_u$$

$$M_{rman} = 1.7,9 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 11,45 \text{ kN-m} \Rightarrow M_{rx} = M_u - M_{rman} = 11,45 - 1,7,9$$

$$M_{rx} = 9,75,1 \text{ kN-m}$$

$$F'_s = \gamma_{00} \frac{a_b - \beta d'}{a_b} = \gamma_{00} \frac{311 - 0,18 \times 710}{311} = 0,1,7$$

$$F'_s = 0,1,7 > F_y = 0,0$$

تحت تأثير الجهد الشد $A_{sr} = A'_s$ وفرض $A_{sr} = A'_s$

$$M_{rx} = A'_s \phi_s F_y (d - d')$$

$$\Rightarrow A'_s = \frac{M_{rx}}{\phi_s F_y (d - d')} \Rightarrow A'_s = \frac{M_u - M_{rman}}{\phi_s F_y (d - d')}$$

$$A'_s = \frac{9,75,1 \times 10^7}{0,18 \times 0,0 \times (710 - 70)} = 19 \text{ cm}^2$$

$$A_{sb} = \rho_b b d = 0,018 \times 0,0 \times 710 = 0,125 \text{ cm}^2$$

$$A'_s = 19 \text{ cm}^2 \Rightarrow T_{ry} = 3 \phi 10 \Rightarrow A'_s = 11,0 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{sb} + A'_s = 19 \text{ cm}^2 + 0,125 = 19,125 \text{ cm}^2 \Rightarrow T_{ry} : 1 \phi 10$$

$$\downarrow A_s = 19,125 \text{ cm}^2$$

Fr

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{VKT_0}{f_{yk} T_0} =$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \frac{r_{12}}{f_{yk} T_0}$$

$$\rho_b = 1.0 \cdot r_{12}$$

$$f'_{sb} = ?$$

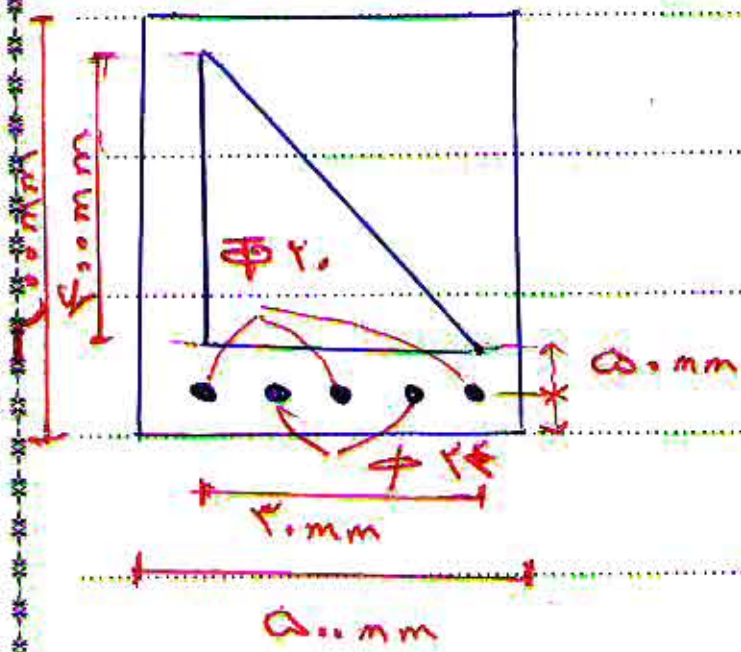
$$f_s = ?$$

$$\rho_{max} = ?$$

$$\rho_{min} = ?$$

ملاحظات إضافية

تمرین - کرنش در مؤلفه‌های کششی مقطع نشان داده شده کمتر از ربع است یا بیشتر از ربع ؟

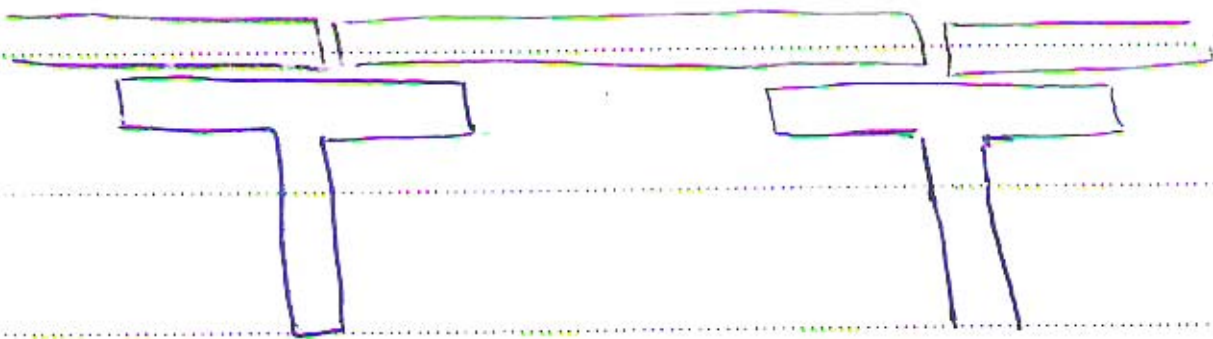


$$f_c = 20 \text{ Mpa}$$

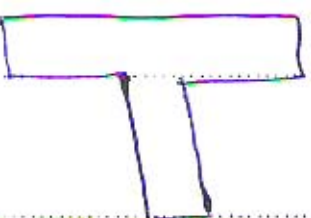
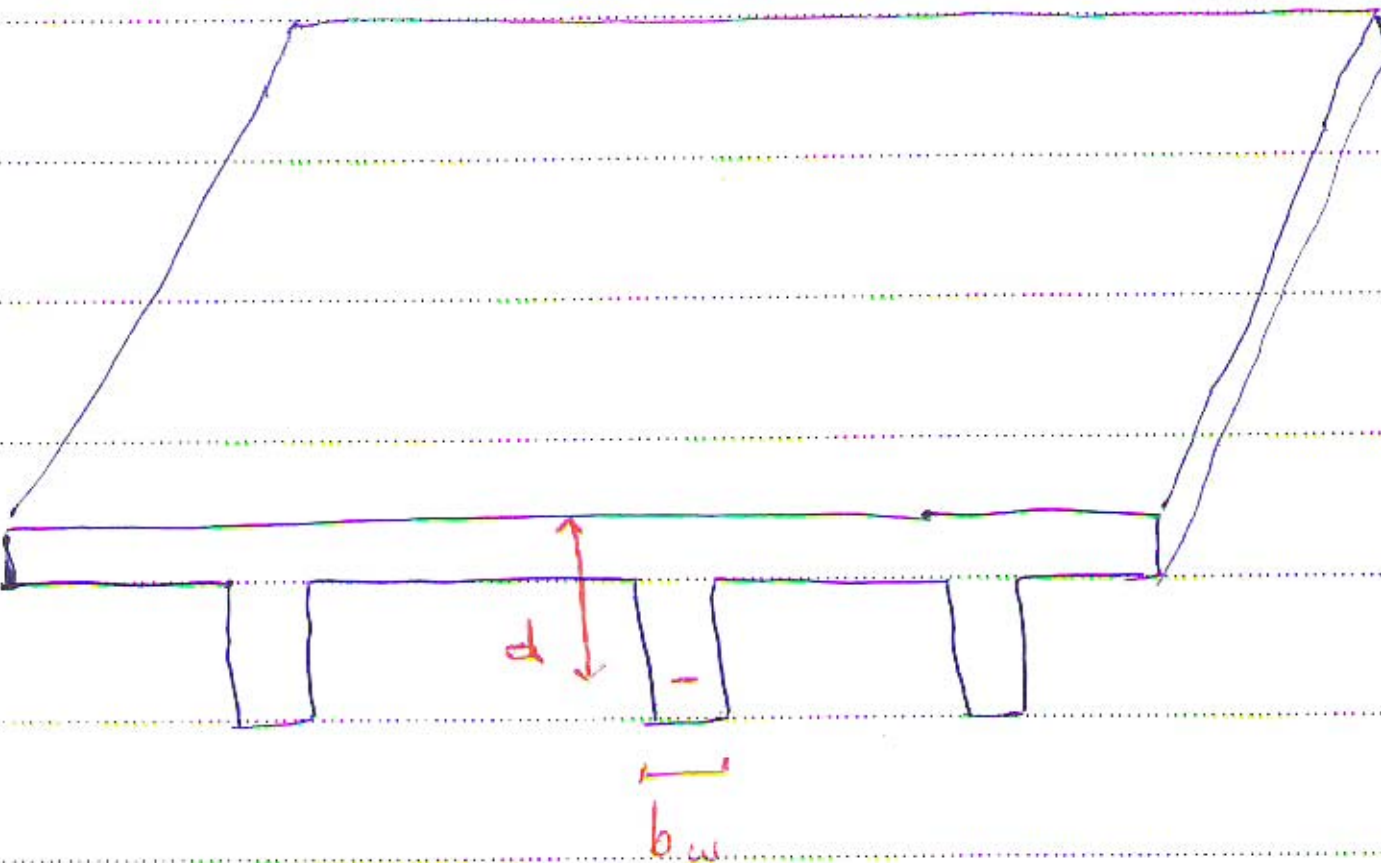
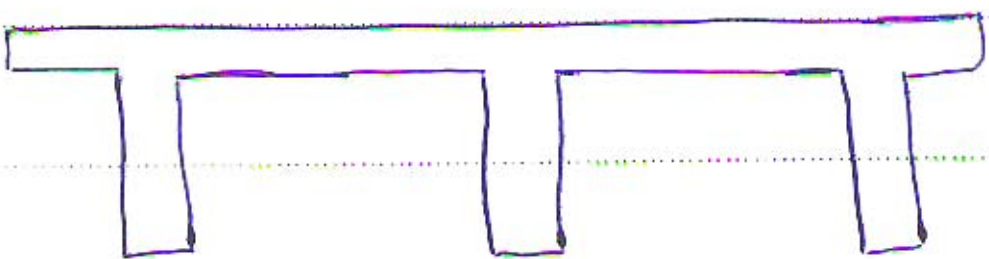
$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

فصل نهم: تیرهای تحت فشار برای مقاطع T شکل
 معمولاً تیرهای T شکل به دو صورت مورد استفاده قرار می گیرند

۱- تیرهای T شکل مجزا



۲- تیرهای T شکل پیوسته



تذکره:

طبق این نام بتن ایران اگر تیر آکسیل به صورت مجزا باشد بایستی

$$b_e < b_w \quad , \quad h_f \gg \frac{b_w}{2}$$

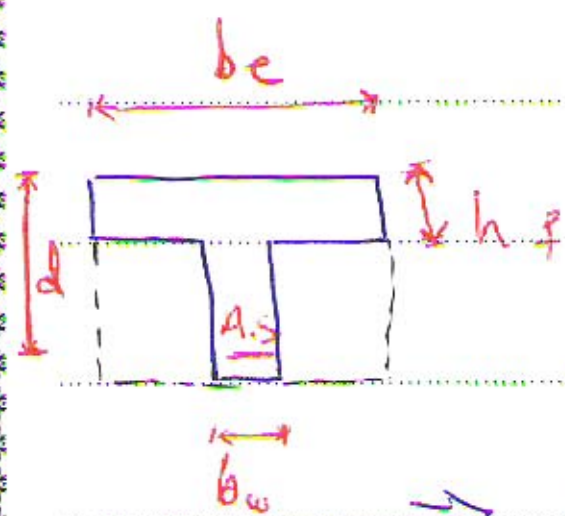
تذکره: طبق این نام بتن ایران اگر دال و تیر با هم ریخته شوند عرض مؤثر مقطع

b_e از رابط بزرگتر است یا آید

$$b_e = \min \left\{ \frac{l_n}{a}, \frac{h_i + h_r}{2}, b_w + 17 h_f \right\}$$

اندازه تیرهای آکسیل:

عرض دال بر اساس مقطع مستطیلی است یا گداریم
و رابط بزرگتر از آن نو نیست.



$$\sum F = 0 \Rightarrow C = T \Rightarrow 1/2 a \phi_c f_c b_e = A_s \phi_s f_y$$

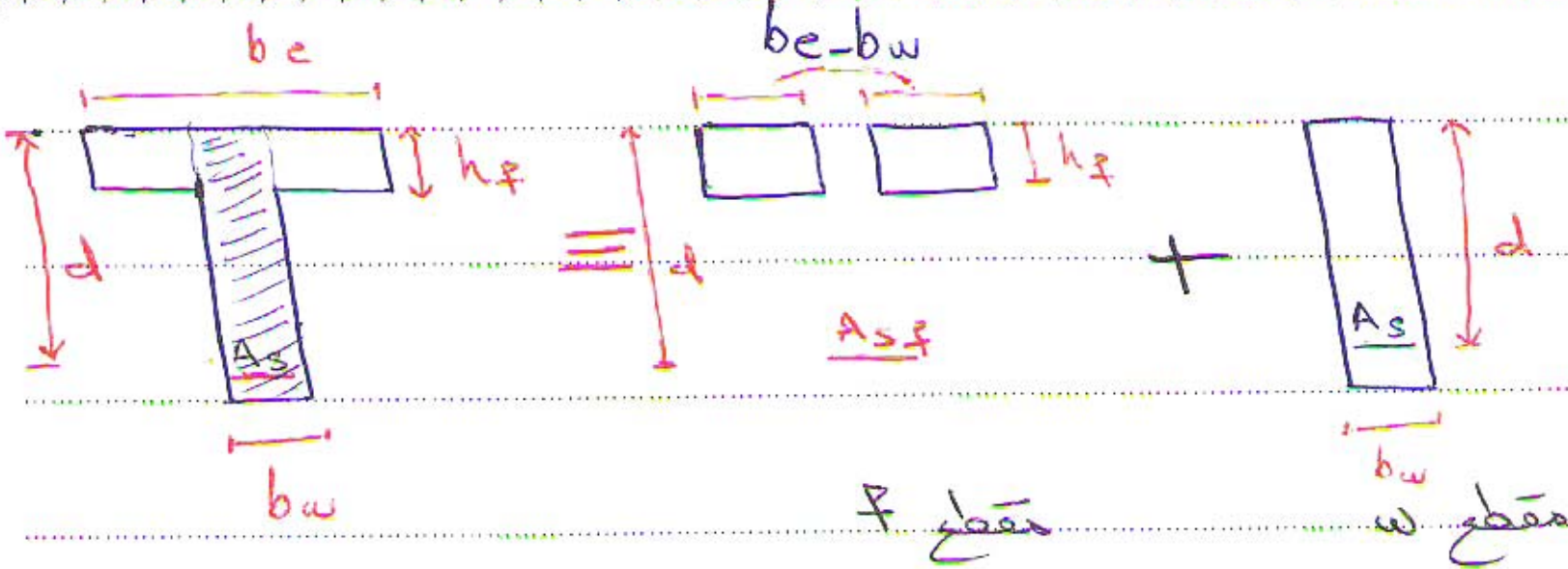
$$\Rightarrow a = \frac{A_s \phi_s f_y}{1/2 a \phi_c f_c b_e}$$

$a < h_f \Rightarrow$ عکس مقطع مستطیلی است

$a \geq h_f \Rightarrow$ عکس مقطع آکسیل است

اگر عکس مقطع مستطیلی بود ما باید فصل قبل را عمل کنیم و اگر عکس

مقطع آکسیل بود به روش زیر عمل کنیم.



$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow C = T \Rightarrow 1/2 \alpha \phi_c f_c (b_e - b_w) \cdot h_f = A_{sf} \phi_s f_y$$

$$\Rightarrow A_{sf} = \frac{1/2 \alpha \phi_c f_c (b_e - b_w) \cdot h_f}{\phi_s \cdot f_y}$$

$$\Rightarrow A_{sw} = A_s - A_{sf}$$

$$M_{rf} = T \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = A_{sf} \cdot \phi_s \cdot f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$\sum F = 0 \Rightarrow C = T \Rightarrow 1/2 \alpha \phi_c f_c \cdot a \cdot b_w = A_{sw} \phi_s f_y$$

$$\Rightarrow a = \frac{A_{sw} \cdot \phi_s \cdot f_y}{1/2 \alpha \phi_c f_c \cdot b_w}$$

$$M_{rw} = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_{sw} \cdot \phi_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_r = M_{rf} + M_{rw}$$

تذکره: طبق آیین نامه بتن ایران میزان آرماتور متوازن برای مقطع با عکس آتش از رابطه زیر بدست می آید.

$$\rho_{max} = \rho_{bT} = \rho_b + \rho_f$$

$$\rho_b = \frac{1}{\beta_1} \frac{f_c}{f_y} \frac{\gamma_{0.0}}{\gamma_{0.0} + f_y}$$

$$\rho_f = \frac{A_s f}{b_w d}$$

بنابراین میانه می گیریم که:

$$1) \rho = \frac{A_s}{b_w d} < \rho_{max} \Rightarrow$$

آرماتورهای کششی جاری می شوند.

$$2) \rho > \rho_{max} \Rightarrow$$

آرماتورهای کششی جاری نمی شوند.

تذکره: طبق آیین نامه بتن ایران حداقل آرماتور کششی که در مقطع آتش باید استفاده شود از روابط زیر بدست می آید.

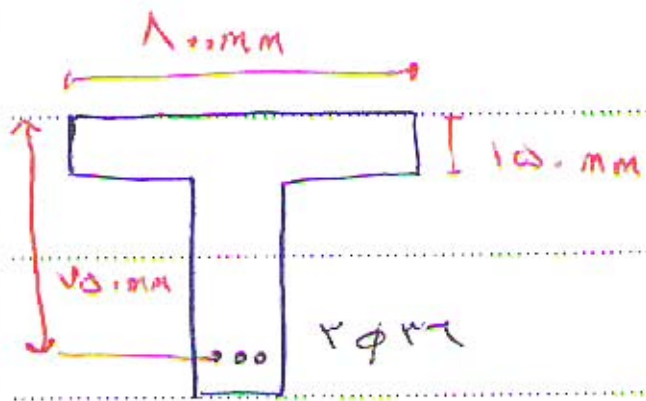
$$\rho_{min} = \frac{l_t f}{f_y} \cdot \frac{b_w}{b_e}$$

آرماتور مقطع مستطیلی باشد ←

$$\rho_{min} = \frac{l_t f}{f_y}$$

آرماتور مقطع T شش باشد ←

مثال - کنترل مقاطع نهایی مقطع آتش مخزای زیردای فون
 $f_y = 400 \text{ mpa}$ و $f_c = 21 \text{ mpa}$ بدست آید.



$b_w = 200 \text{ mm}$

با فرض عکس مستطین بودن مقطع

$$f_c = 21 \text{ mpa} < 27 \text{ mpa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{\beta_1 \cdot f_c \cdot b_e}$$

$$0.85 \cdot f_c \cdot b_e$$

$$b_w = 200 \text{ mm}$$

$$b_e = 1000 \text{ mm}$$

کنترل ابعاد مقطع

$$h_f = 100 \text{ mm}$$

$$b_e = 1000 \text{ mm} < 4 \cdot b_w = 4 \cdot 200 = 800 \text{ mm} \checkmark$$

$$A_s = 2 \times \frac{\pi \times 27^2}{4} = 2309 \text{ mm}^2$$

$$h_f = 100 \text{ mm} > \frac{b_w}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} \checkmark$$

$$M_r = ?$$

$$a = \frac{2309 \times 400}{0.85 \times 21 \times 1000} = 121 \text{ mm}$$

$$a = 121 \text{ mm} < h_f = 100 \text{ mm} \Rightarrow \text{عکس مستطین است}$$

کنترل جاری شدن آرماتورها

$$\rho = \frac{A_s}{b_e d} = \frac{2309}{1000 \times 150} = 0.0154$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{ty} + \epsilon_{cu}} = 0.85 \cdot \frac{21}{400} \cdot \frac{0.003}{0.00207 + 0.003} = 0.171$$

$$\rho = 1.001 < \rho_g = 1.171 \Rightarrow$$

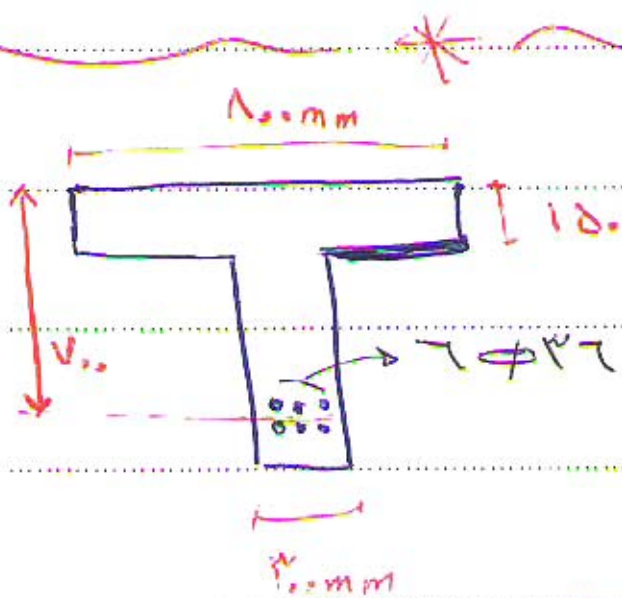
آرماتورها جاری می شود

$$\sum F = 0 \Rightarrow C = T \Rightarrow a = \frac{\rho_g \alpha_f \times 140 \times f_{0.0}}{140 \times 7 \times 21 \times 140} = 121 \text{ mm}$$

$$M_r = T(d - \frac{a}{2}) = A_s \cdot \phi_s \cdot f_y(d - \frac{a}{2})$$

$$= \rho_g \alpha_f \times 140 \times f_{0.0} \left(\sqrt{d} - \frac{121}{2} \right)$$

$$M_r = 110.15 \text{ kN.m}$$



مثال - جان مثال قبل است با جزئیات زیر

$$f_c = 21 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_g = 1.001$$

$$f_y = f_{0.0} \quad b_w = 140 \text{ mm} \quad b_e = 140 \text{ mm}$$

$$d = 10 \text{ mm} \quad h_f = 10 \text{ mm}$$

$$A_s = 7 \times \frac{\pi \times 14^2}{4} = 71.4 \text{ mm}^2$$

چنین ابعاد مقبول است

$$b_e = 140 \text{ mm} \leq \lambda b_w = \lambda \times 140 = 140 \text{ mm} \checkmark$$

$$h_f = 10 \text{ mm} \geq \frac{b_w}{\lambda} = \frac{140}{\lambda} = 10 \text{ mm} \checkmark$$

عبارت T شکل

$$a = \frac{A_s \cdot \phi_s \cdot f_y}{140 \times 7 \times 21 \times 140} = 121 \text{ mm} > h_f = 10 \text{ mm}$$

$$140 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \quad 140 \times 7 \times 21 \times 140$$

ف

$$A_{sf} = \frac{1.4 \phi_c F_c (b_e - b_w) \cdot h_f}{\phi_s \cdot F_y} = \frac{1.4 \times 0.7 \times 1 (100 - 40) \times 100}{1.4 \times 40} = 2372.0 \text{ mm}^2$$

مطلوبه است

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{21.4}{40 \times 100} = 0.021$$

$$\rho_b = 1.73 \cdot \frac{F_c}{F_y} \cdot \frac{100}{100 + F_y} = 0.171$$

$$\rho_{max} = \rho_b + \rho_f =$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{2372.0}{40 \times 100} = 0.114$$

$$\rho_{max} = 0.171 + 0.114 = 0.285$$

$$\rho = 0.021 < \rho_{max} = 0.285$$

مطلوبه است

$$\rho = \rho_{max} = 0.285 \Rightarrow \frac{A_s}{b_w \cdot d} = 0.285$$

$$\Rightarrow A_s = 0.285 \cdot b_w \cdot d = 0.285 \times 40 \times 100 = 1140 \text{ mm}^2$$

$$A_{sf} = 2372.0 \rightarrow A_{sw} = A_s - A_{sf} = 1140 - 2372.0 = 1391.0 \text{ mm}^2$$

$$M_{rf} = A_{sf} \cdot \phi_s \cdot F_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_{rf} = 2372.0 \times 1.4 \times 40 \left(100 - \frac{100}{2} \right) = 114.0 \text{ kNm}$$

ف

مقطع w:

$$a = \frac{A_{sw} \cdot \phi_s \cdot f_y}{1\lambda \phi_c \cdot f_c \cdot b_w} = \frac{4491.5 \times 1\lambda \times 400}{1\lambda \times 25 \times 1000} = 4.59 \text{ mm}$$

$$M_{rw} = A_{sw} \cdot \phi_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4491.5 \times 1\lambda \times 400 \left(100 - \frac{4.59}{2} \right)$$

$$M_{rw} = 700 \text{ kN-m}$$

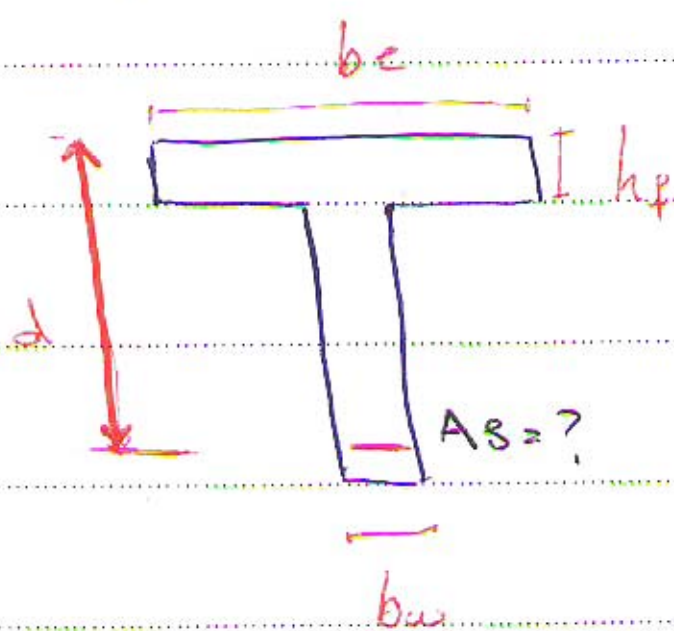
$$M_r = M_{rf} + M_{rw} = 5.2 + 700 = 11.2 \text{ kN-m}$$

طراحی تیرهای T گیس در برابر فشرش:

در طراحی تیرهای T گیس فرض می‌کنیم ابعاد تیر مستطیل است و طراحی

برای محاسبه میزان فولاد انجائی گیرد می‌داریم فولاد محاسب شده مناسب

نباشد ابعاد را تغییر می‌دهیم و محاسب فولاد دوباره انجائی گیرد.



$$M_r = 1\lambda \phi_c \cdot f_c \cdot b_c \cdot h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

M_u

مدانگ لنگری که اگر به مقطع وارد شود می‌گردد مقطع مستطیل است. M_r :

نکته:

عکس مستطیل $M_u < m_r \Rightarrow$ اگر

عکس T شکل $M_u > m_r \Rightarrow$ اگر

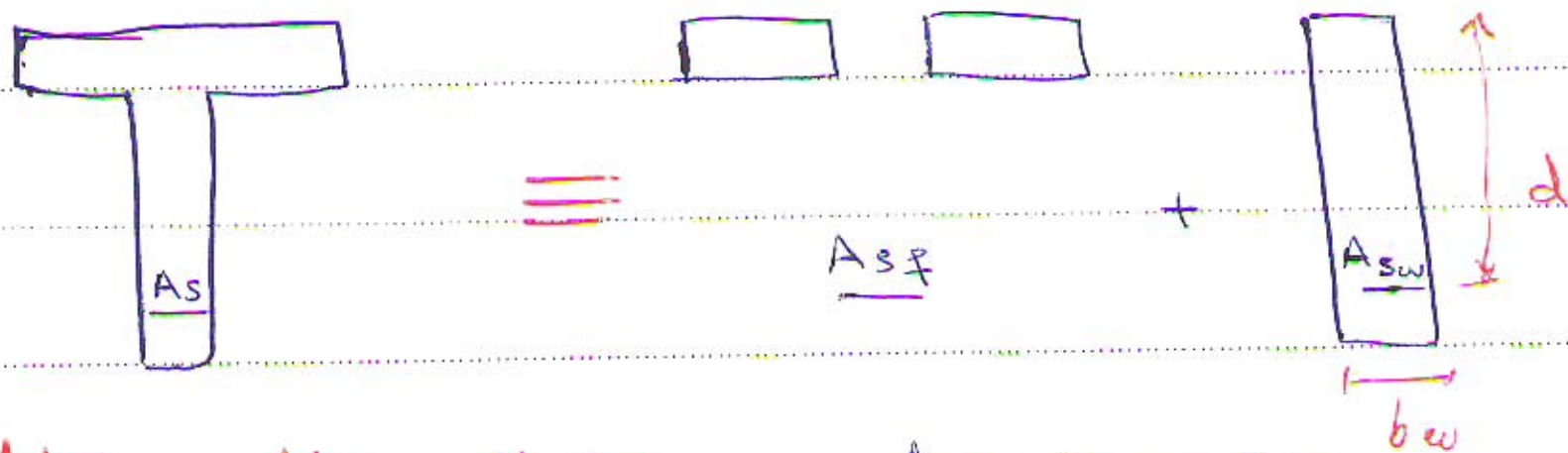
نکته:

اگر مقطع مستطیل شد از روابط فصل قبل برای استفاده می کنیم اما اگر مقطع T شد باید از روابط زیر استفاده را حل می کنیم.

مقطع T:

$$A_{sf} = \frac{1/\alpha \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot (b_e - b_w) h_f}{\phi_s \cdot f_y}$$

$$M_{rf} = A_{sf} \cdot \phi_s \cdot f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$



$$M_{rw} = M_u - M_{rf}$$

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

$$\frac{A_{sw}}{b_w d} = \rho_w = \frac{1}{\alpha} \frac{f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_{rw}}{1/\alpha \phi_c f_c b_w d^2}} \right)$$

$$\rho_f + \rho_w < \rho_b + \rho_f$$

($\rho \leq \rho_{max}$)

(این رابطه باید برقرار باشد)

اگر به این رابطه رسیدیم حل مسئله تمام است.

* اگر $\rho_b > \rho_w$ شد یا ابعاد را بزرگتری کنیم یا از آرماتور فشاری استفاده می کنیم.

مثال - دال همراه با تیر نشان داده شده برای تحلیل بارهای گسترده بینواخت

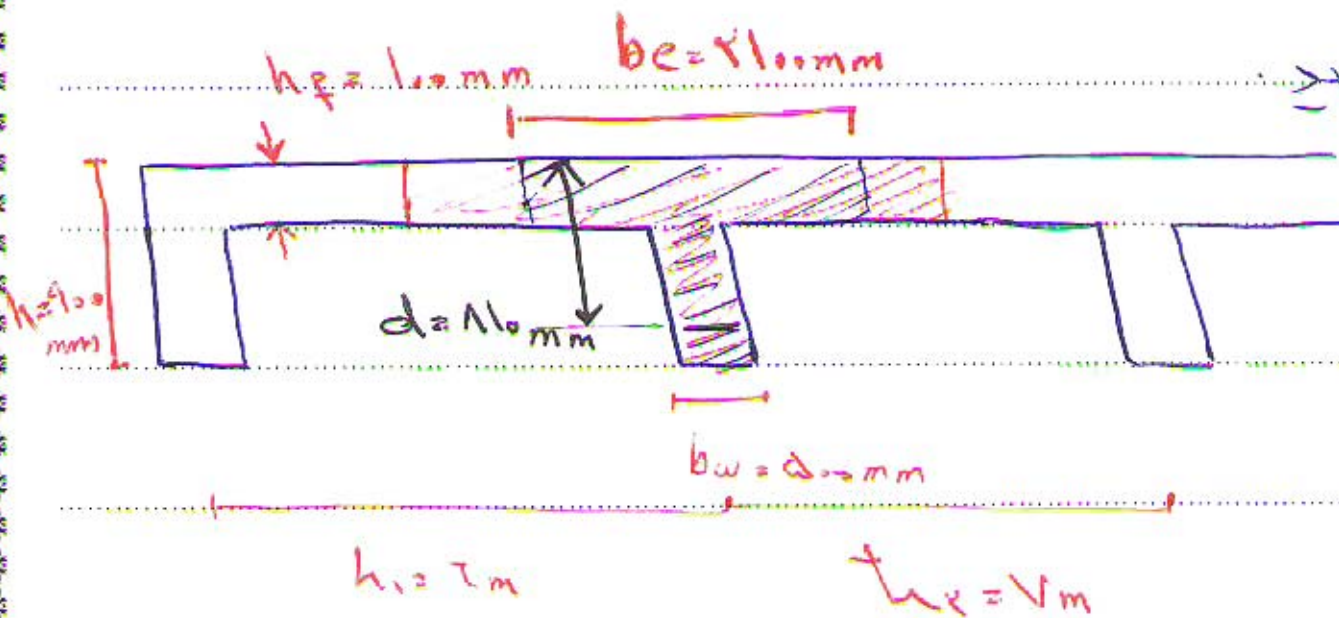
منته شده، بدون احتساب وزن دال و تیر به ترتیب برابر 2 kN/m و 21.5 kN/m و

نظر گرفته شده است. به سرحا آنکه تیر به صورت ساده

با شیب با فرض $f_c = 21 \text{ MPa}$ ، $f_y = 400 \text{ MPa}$ ، $d = h - 90$ برای دهانه آزار

میان 17.5 m قرار دارد محل کنتر چالتر فولاد کشی و وزن مخصوص بتن

را برابر 24 kN/m^3 در نظر بگیرد.



$$f_c = 21 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_1 = 0.85 \quad b_e = \min \left\{ \frac{b_f h_n}{a}, \frac{b_f l_n}{a}, \frac{h_1 + h_2}{2} \right\}$$

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

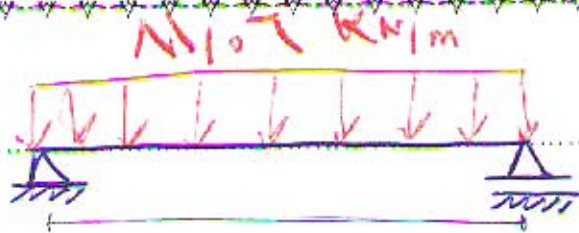
$$W_L = 2 \text{ kN/m} \Rightarrow \frac{7000 + 7000}{2} = 7000 \quad b_w + 17 h_f = 500 + 17(100) = 2100$$

$$W_D = 21.5 \text{ kN/m}$$

$$l_n = 17.5 \text{ m} \quad b_e = 2100 \text{ mm}$$

$$d = h - 90 = 900 - 90 = 810 \text{ mm}$$

$$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$



$$l = 7.0$$

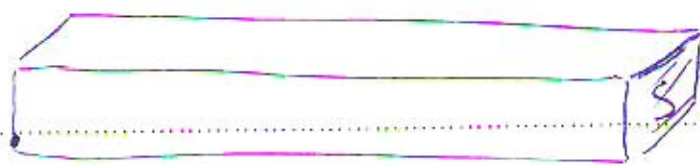
$$q_L = W_L \times \frac{h_i + h_r}{r} = 11 \times \frac{7 + 0}{7} = 11.0 \text{ kN/m}$$

والمساحة

$$q_D = W_D \times \frac{h_i + h_r}{r} + \delta_c \times S$$

المساحة T هي المساحة المغطاة

* 0.01

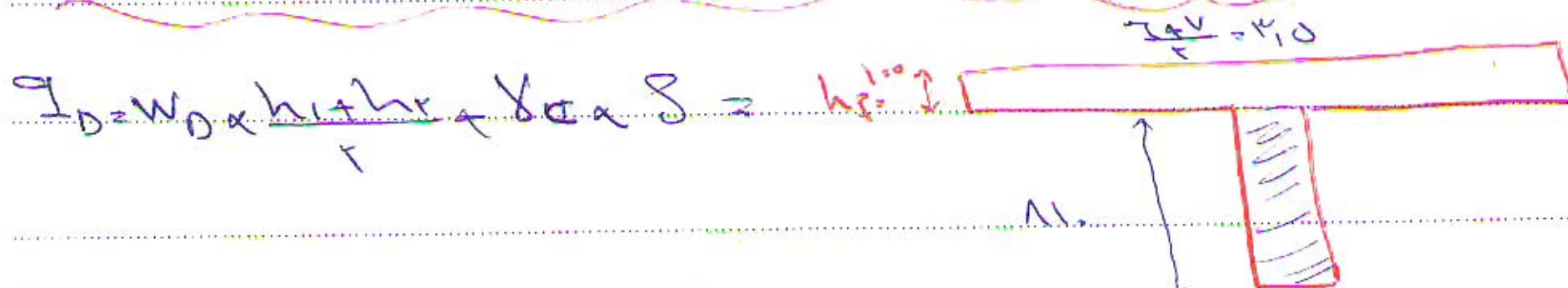


$$W = \delta \times b \times h$$

$$\delta = \frac{W}{V} \Rightarrow W = \delta \times V$$

$$\Rightarrow W = \delta \times b \times h$$

$$q_w = \frac{W}{h} = \frac{\delta \times b \times h}{h} = \delta \times b$$

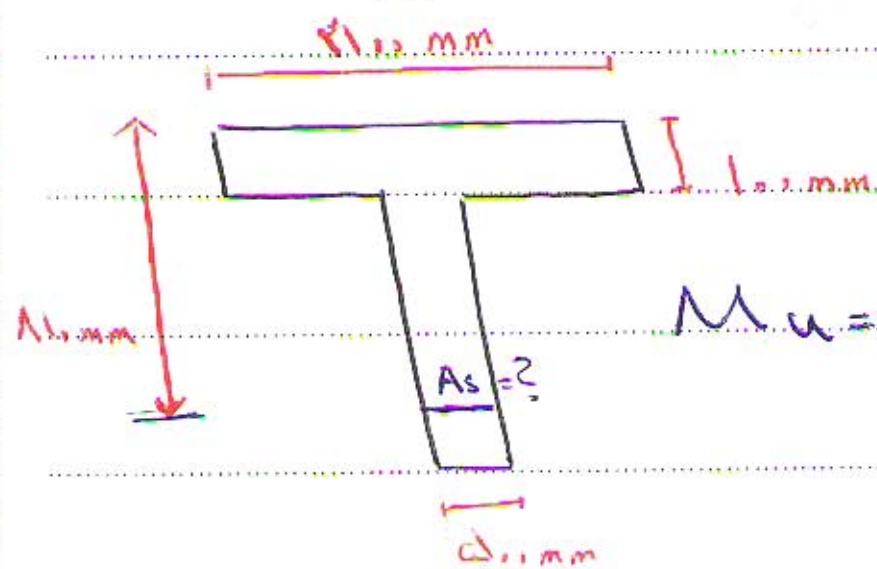


$$q_D = 11.0 \times \frac{7 + 0}{7} + 1.0 \times \left[0.01 \times 11 + \frac{7 + 0}{7} \times 1.0 \right] = 11.0$$

$$q_D = 11.0 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1.5 q_D + 1.5 q_L = 11.0 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{q \times l^2}{\Lambda} = \frac{11.07 \times 17.0^2}{\Lambda} = 2509 \text{ kN-m}$$



$$M_u = 2509 \text{ kN-m}$$

$$M_r = \frac{1}{\Lambda} \phi_c f_c b_e h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_r = \frac{1}{1.0} \times 0.7 \times 21 \times 200 \times 100 \left(1100 - \frac{100}{2} \right) = 1557.1 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 2509 > M_r = 1557.1$$

النتيجة هي T section

في الغالب

$$A_{sf} = \frac{1}{\Lambda} \phi_c f_c (b_e - b_w) h_f$$

$$\phi_s f_y$$

$$= \frac{1.0 \times 0.7 \times 21 (2100 - 200) 100}{1.0 \times 0.7 \times 200} = 200 \text{ mm}^2$$

$$M_{rf} = A_{sf} \phi_s f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$= 200 \times 0.7 \times 200 \left(1100 - \frac{100}{2} \right) = 1305.1 \text{ kN-m}$$

$$M_{rw} = M_u - M_{rf} = 2509 - 1305.1 = 1203.9 \text{ kN-m}$$

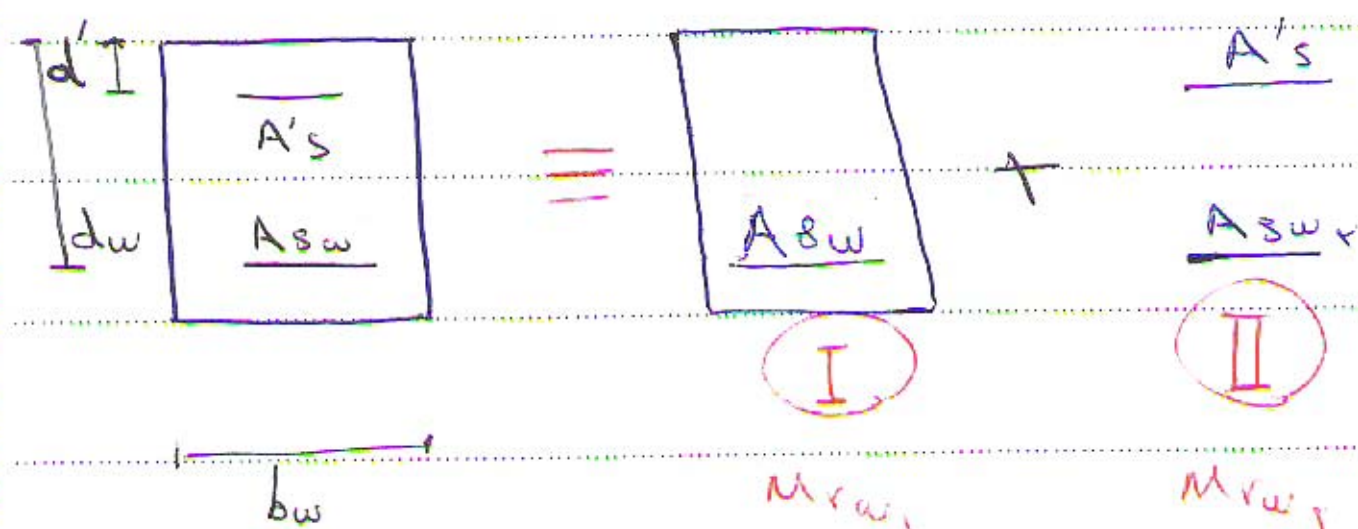
$$\rho_w = \frac{1}{\Lambda} \frac{f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_{rw}}{1.0 \phi_c f_c b_w d^2}} \right) =$$

$$\rho_w = \frac{1}{\gamma} \frac{f_c}{f_{00}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f_c (1 + \alpha \gamma_{1.7})}{\gamma_{1.5} \alpha \gamma_{1.7} f_{00} \times 11.5}} \right) = 0.115$$

$$\rho_b = \frac{1}{\gamma} \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{\gamma_{00}}{\gamma_{00} + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{1}{\gamma} \alpha \gamma_{1.5} \times \frac{f_c}{f_{00}} \frac{\gamma_{00}}{\gamma_{00} + f_{00}} = 0.17$$

از آن ما تور فشاری استفاده می کنیم $\rho_w = 0.115 > \rho_b = 0.171 \Rightarrow$



$$M_{rw} = 1 \text{ kNm}$$

$$\text{چون } I \Rightarrow A_{sw} = \rho_b \cdot b_w \cdot d = 0.171 \times d_{00} \times 11.5 = 2050 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{sw1} \cdot \phi_s \cdot f_y}{\gamma_{1.5} \phi_c \cdot f_c \cdot b_w} = \frac{2050 \cdot d_{00} \times 0.115 \times f_{00}}{\gamma_{1.5} \alpha \gamma_{1.7} \times f_{00} \times d_{00}} = 815 \text{ mm}$$

$$M_{rw1} = A_{sw1} \cdot \phi_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{\gamma} \right) = 2050 \cdot d_{00} \times 0.115 \times f_{00} \left(11.5 - \frac{815}{\gamma} \right)$$

$$M_{rw1} = 1227.1 \text{ kNm}$$

چون II

$$M_{rw2} = M_{rw} - M_{rw1} = 1 \text{ kNm} - 1227.1 \text{ kNm}$$

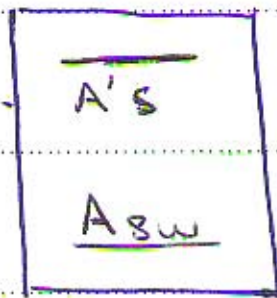
$$M_{rw2} = 119.9 \approx 120 \text{ kNm}$$

الترسهای جاری شده، انتخاب:

$$A'_s = A_{swr} = \frac{M_{rwr}}{\phi_s f_y (d - d')}$$

$$d' = c_o + \phi' + \frac{\phi}{2} = 20 + 10 + \frac{12}{2} = 37 \text{ mm}$$

$$A'_s = \frac{12 \times 10^7}{120 \times 400 \times (110 - 37)} = 261 \text{ mm}^2$$



$$A_{sw} = A_{swr} + A_{swl} = 261 + 531 = 792 \text{ mm}^2$$

$$A_{sw} = 792 \text{ mm}^2 \approx 799 \text{ mm}^2$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w d} = \frac{799}{120 \times 110} = 0.0061$$

$$\rho'_s = \frac{A'_s}{b_w d} = \frac{261}{120 \times 110} = 0.002$$

$$\rho_g = 0.002$$

نسل جاری شدن آرماتور (نسبتی):

$$F'_{sb} = 200 - \frac{d'}{d} (200 - f_y) = 227 > f_y \Rightarrow F'_{sb} = f_y = 200$$

$$\rho_{max} = \rho_g + \rho'_s \frac{F'_{sb}}{f_y} = 0.002 + 0.002 \frac{200}{200} = 0.004$$

$$\rho_w = 0.0061$$

$$\rho_{max} = 0.004$$

آرماتورهای نسبی جاری شده:

کنترل جاری شدن آرماتور فشاری :

$$P_s = \frac{d}{d'} (700 - F_y) - 700 = 2100 > F_y \Rightarrow P_s = F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\bar{\rho}_{min} = 1.7 \beta \frac{f_c}{f_y} \frac{700 \cdot d'}{700 + f_y d} + \rho' \frac{F_y}{P_s}$$

$$\bar{\rho}_{min} = 1.7 \times 1.1 \times \frac{21}{400} \times \frac{700}{700 + 400} + 0.012 \times \frac{400}{400} = 0.0173$$

$$\rho_w = 0.0173 > \bar{\rho}_{min} = 0.0173$$

آرماتورهای فشاری جاری می شوند

$$A'_s = 461 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{Try : } 1 \text{ } \varnothing 18$$

$$A_s = A_{sf} + A_{sw} = 2.5 + 7992 = 12.32 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 12.32 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{Try : } 12 \text{ } \varnothing 27$$

$$A_s = 1229 \text{ cm}^2$$

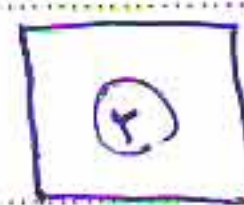
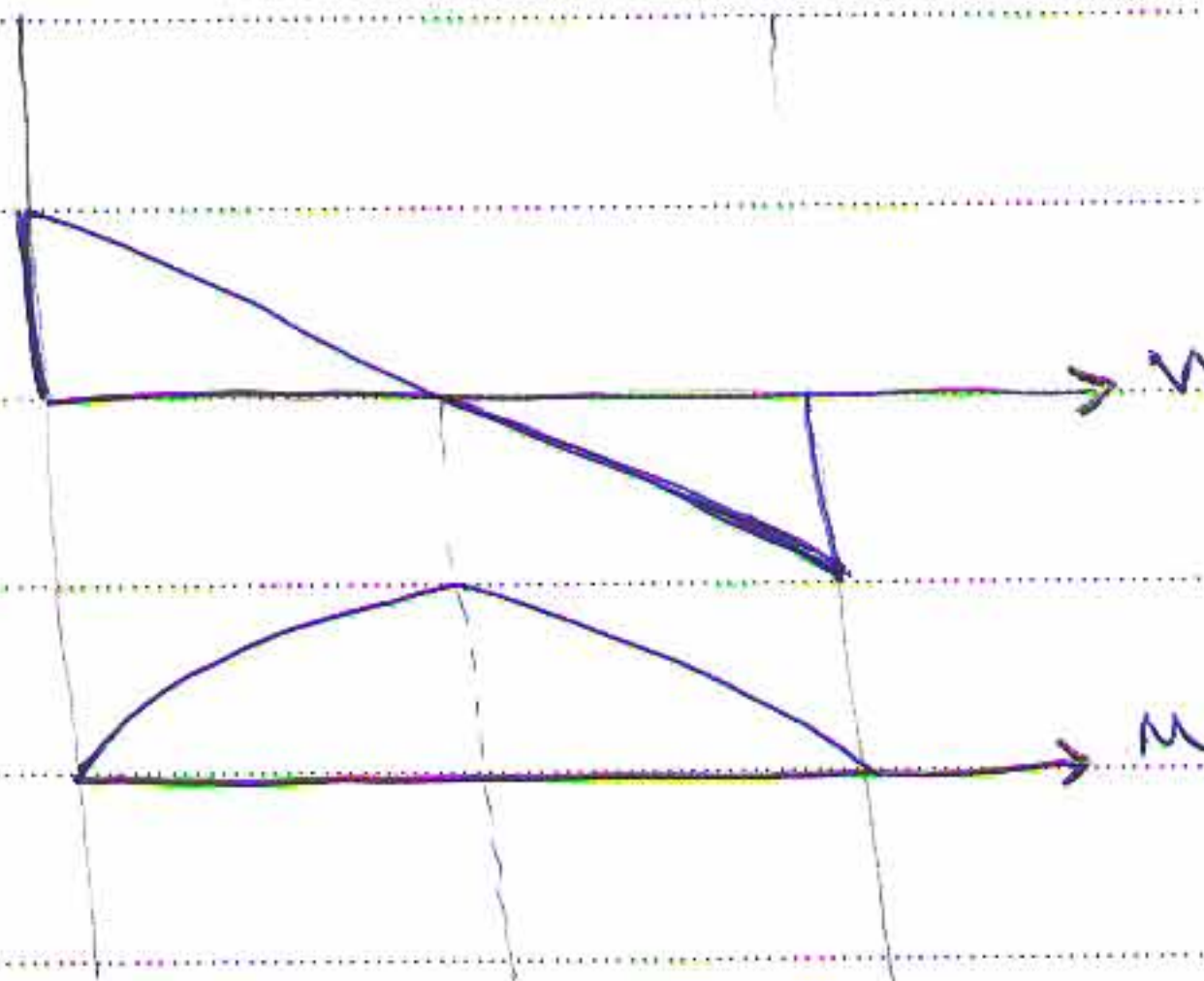
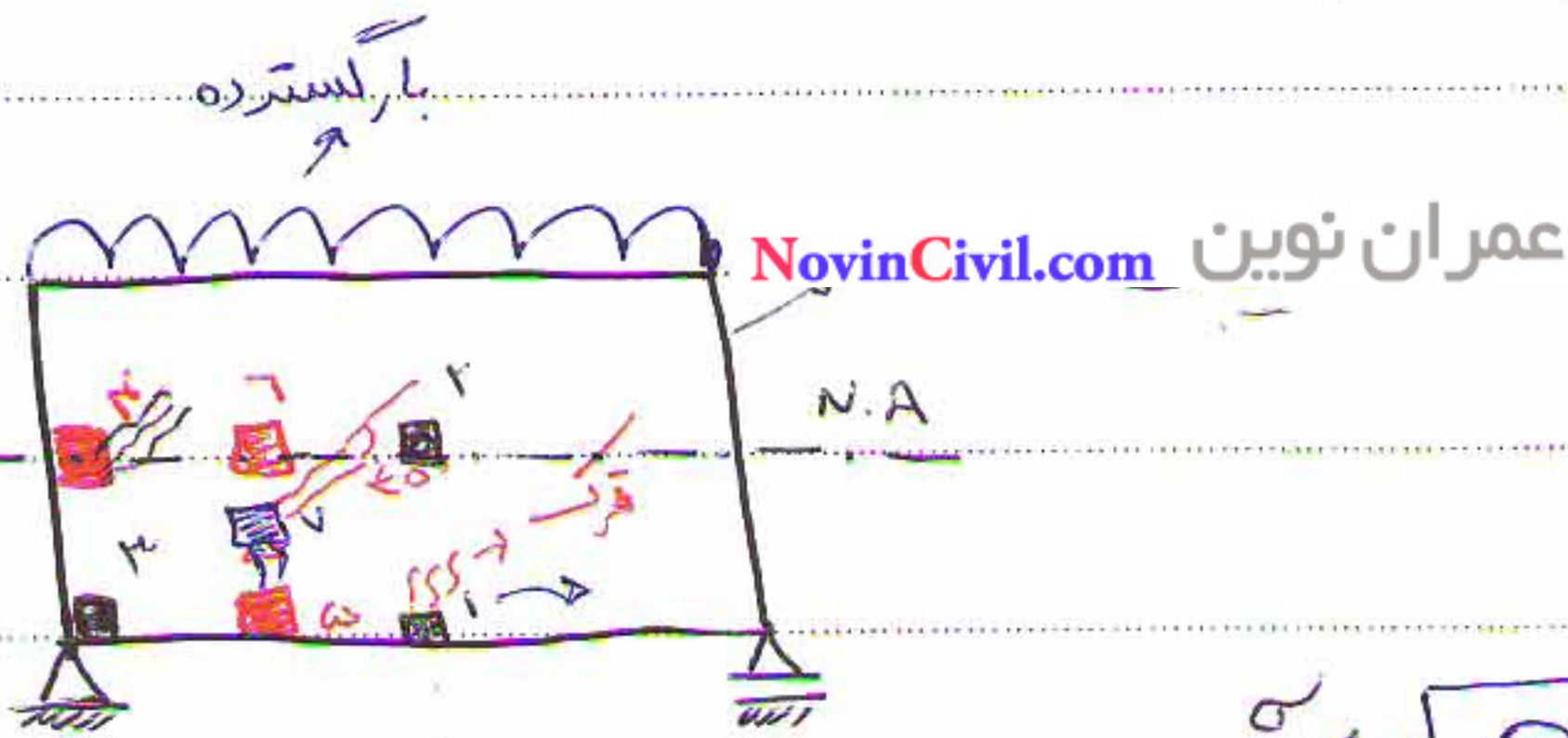
$$A_{sf} = 2.5$$

$$A_{sw} = A_s - A_{sf} = 1226.5$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w d} = \frac{1226.5}{500 \times 110} = 0.0221 > \rho_{max} = 0.0173$$

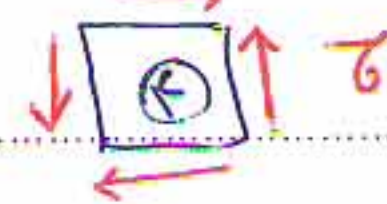
مقطع مناسب نیست در باره کار و اتلافی کم

فصل هفتم: نیروهای بتن آرمه تحت بارش



حالت روی تار فنی است

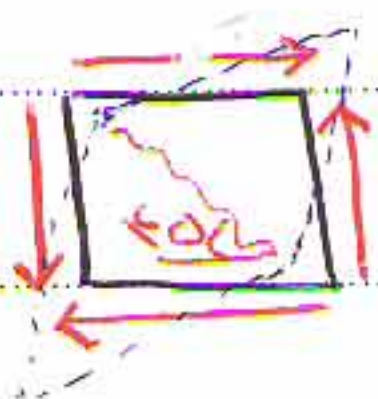
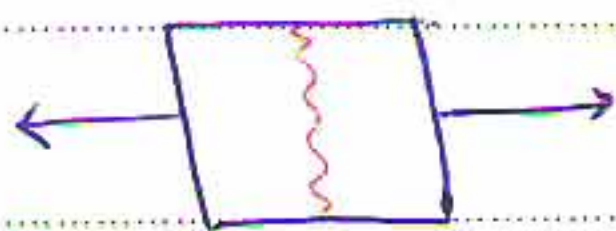
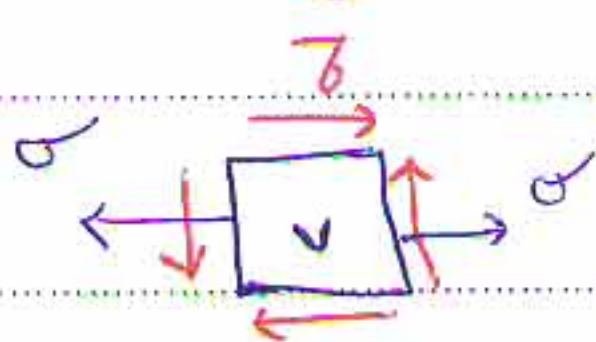
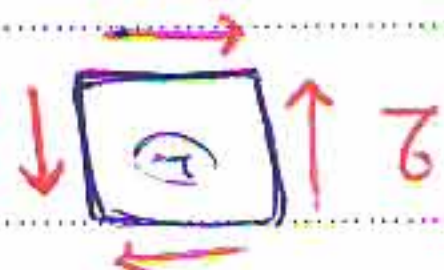
هیچ فنی نداریم



تنش برشی داریم

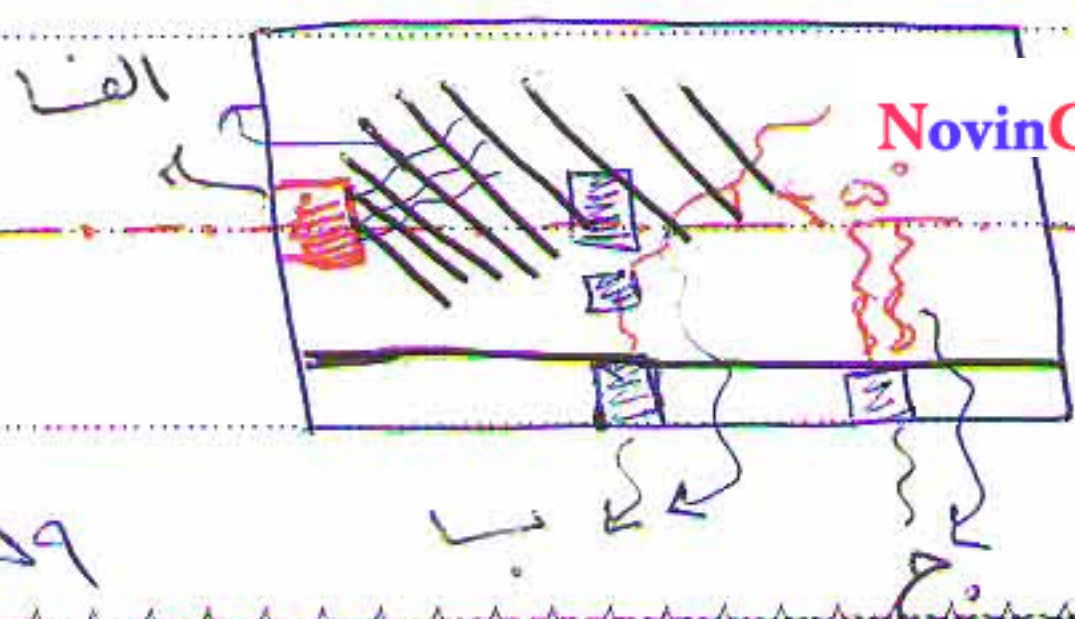


تنش فنی داریم



زاویه با افق 45°

در جهات عمود بر ترکها آرماتور می گذاریم



* ترکیب برقی آرمه هم نوع ترک‌های حرارتی و هم برشی و خشی امکان

NovinCivil.com عمران نوین

برخ دادن دارد.

الف - ترک‌های برشی جان:

این ترک‌ها در ناحیه‌ای از تیرخشی دهند که تنش برشی تقریباً خالص باشند، مثل نواری نزدیک آکس کاه‌ها در تیر مسریه، این ترک‌ها بازو به $4d$ در عمق جان مقطع کشایی شده و از یاس یا بالای مقطع قابل مشاهده نیستند.

ب - ترک‌های خشی برشی:

این ترک‌ها در ناحیه‌ای از تیرخشی دهند که هم تنش‌های برشی و هم تنش‌های خشی قابل توجه باشند، این ترک‌ها ابتدا از نواری به صورت قائم و تحت تأثیر تنش خشی ایجاد شده و با در رسیدن به فولادهای خشی به تدریج تحت تأثیر توأم برشی و خشی مورب شده تا آنکه محدوده تار خشی تحت تأثیر تنش برشی خالص را در تمام کشایی دهند.

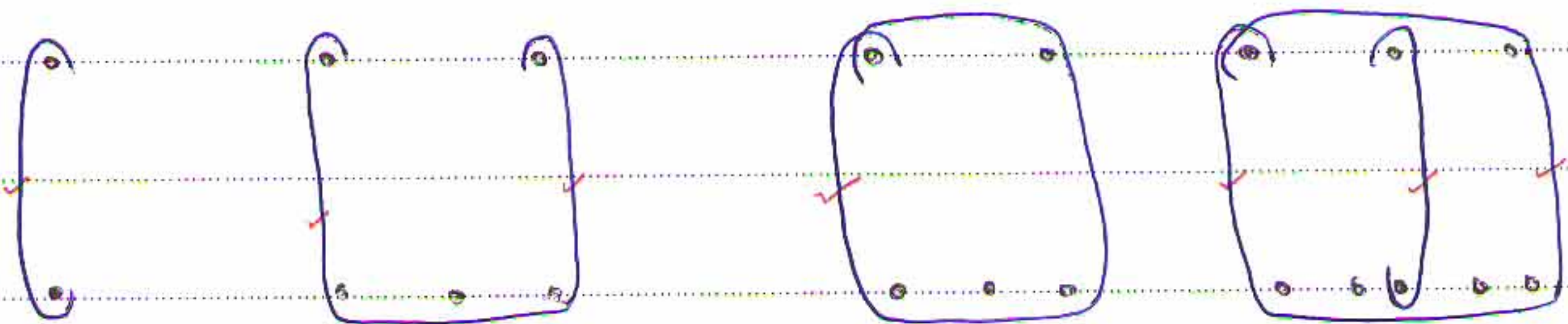
ج - ترک‌های خشی:

این ترک‌ها در ناحیه‌ای از تیرخشی دهند که برشی ناچیز بوده و فقط تنش خشی وجود داشته باشد، مثل وس‌ها تیر در وس‌ساره این ترک‌ها به صورت تقریباً قائم 110° تا 180° خشی امتدادی یابند.

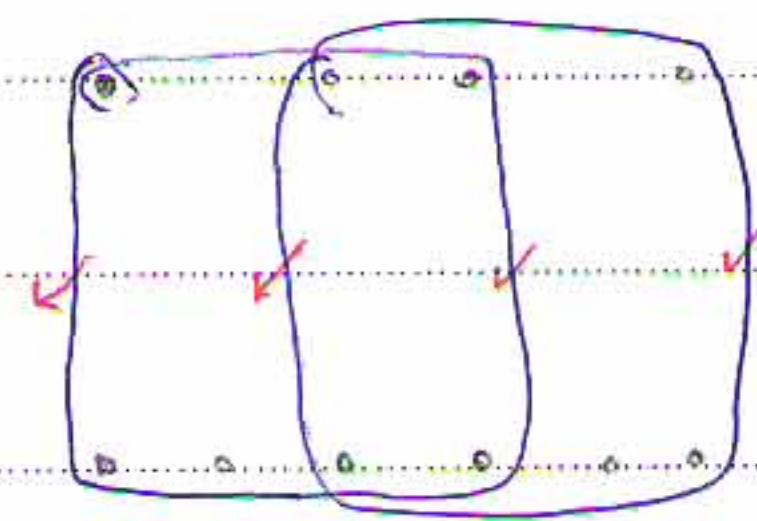
NovinCivil.com عمران نوین

نکته: برای مقابله با جرم شدن ترکها در بتن، عود برترک از آرماتور استفاده می کنند، بنابراین برای کنترل ترکهای ناشی از نیروی برشی که به صورت $\frac{1}{4}$ درم عمران نوین NovinCivil.com ای مورب استفاده می شود که به آنفا فولاد برشی مایل گفته می شود. علاوه بر آنکه این خاصیت این ابزار اجازه استفاده از این نوع فولاد برشی را می دهد، ولی به جهت سهولت اجرا از فولادهای قائم برشی معمولاً استفاده می شود، که به آنفا خاموت قائم گفته می شود.

نکته: انواع آرماتورهای برشی: **شکل** **سجاقی**



شکل بست و سجاقی



شکل بست

شالیه های عودی برای مقابله با برش در گوی شوند

نکته:

حرف بزرگ نشان دهنده نیروی برشی $V =$

حرف کوچک نشان دهنده تنش برشی $v =$ NovinCivil.com عمران نوین

محاسبه بارش برشی آرمه بر اساس آیین نامه بتن ایران :

مقاومت برشی یک مقطع بتن آرمه برابر مجموع نیروی برشی تأمین

شده توسط بتن (V_c) و نیروی برشی حاصل شده توسط آرماتورها (V_s)

می باشد به عبارت دیگر رابطه زیر برقرار است :

$$V_r = V_c + V_s$$

A : مقاومت برشی تأمین شده توسط بتن (V_c) :

طبق آیین نامه بتن ایران تنش مقاومت برشی بتن از رابطه زیر محاسبه می شود

$$v_c = 0.17 \phi_c \sqrt{f_c}$$

بر اساس این تنش نیروی برشی مقاومت نهایی بتن V_c می تواند

در هر یک از حالت های زیر محاسبه کرد :

۱- برای اعضایی که تحت اثر برش و خمش قرار دارند

$$V_c = v_c \cdot b_w \cdot d = 0.17 \phi_c \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

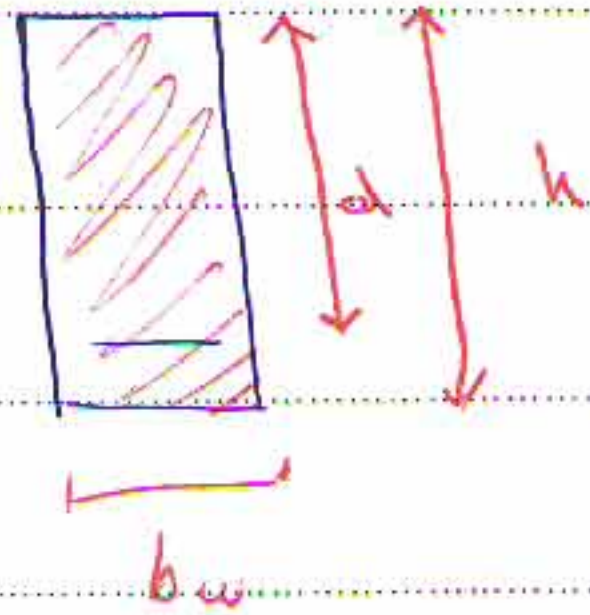


۲- برای اعضایی که تحت اثر برش، خمش و فشار محوری قرار دارند
(محل ستون ها)

$$V_c = v_c \cdot \left(1 + \frac{N_u}{A_g}\right) \cdot b_w \cdot d$$

در این رابطه N_u نیروی محوری نهایی فشاری می باشد که با علامت +

نسبت در رابطه قراردادی A_g سطح کل مقطع می باشد.



NovinCivil.com عمران نوین

۳- برای اعضای که تحت اثر برش، خمش و کشش محوری قابل ملاحظه قرار دارند V برابر صفر فرض می شود.

B: مقاومت برشی تامین شده توسط فولادهای برشی:

الف -

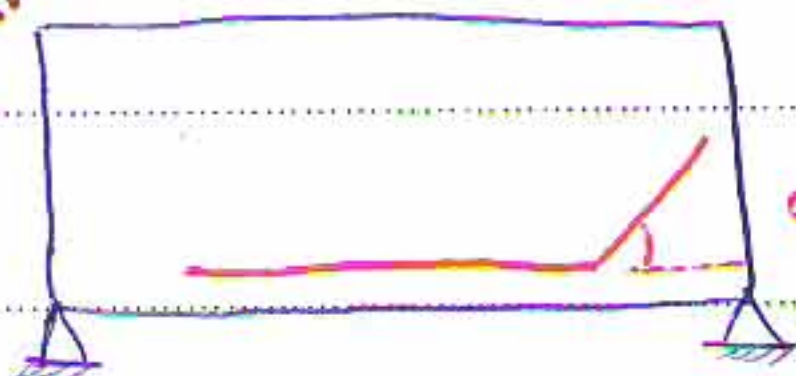
بر اساس این خام بین ایران آرماتورهای برشی می تواند شامل انواع زیر باشند:

۱- خاموت های عمود بر محور عضو

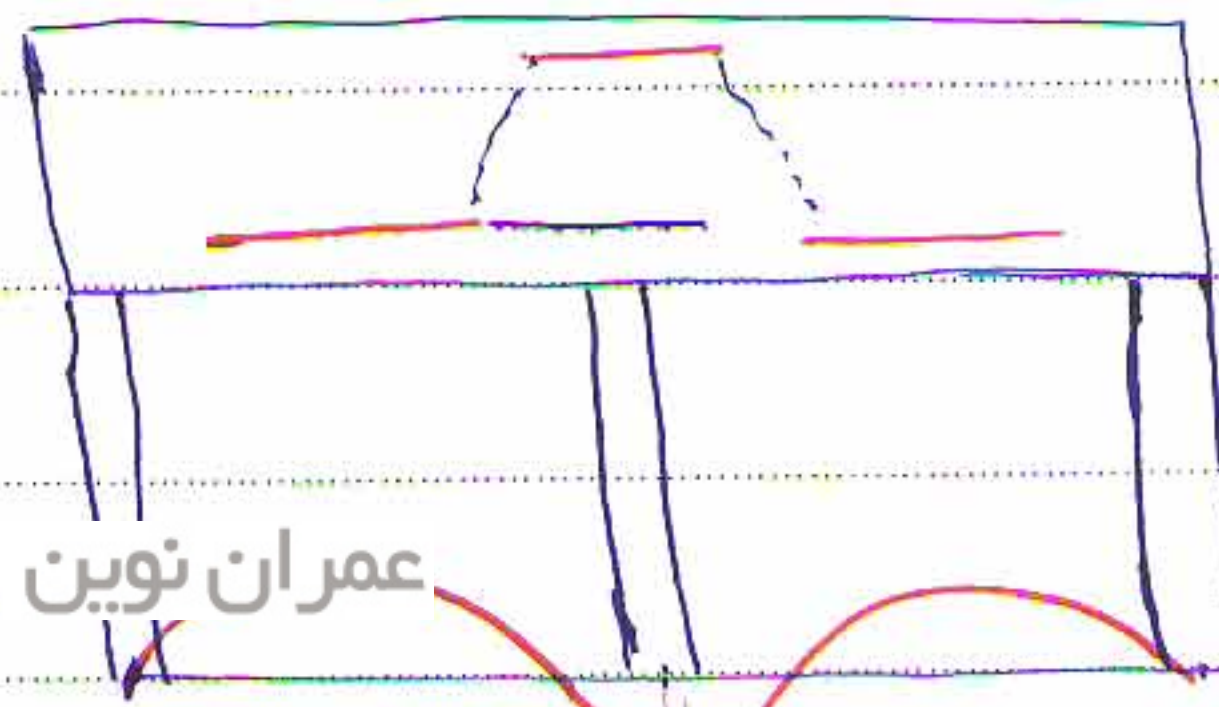
۲- مشبک هوش شده از سیم های که عمود بر محور عضو قرار می گیرند

۳- خاموت های با زاویه 45° یا بیشتر نسبت به محاوره های کششی طولی

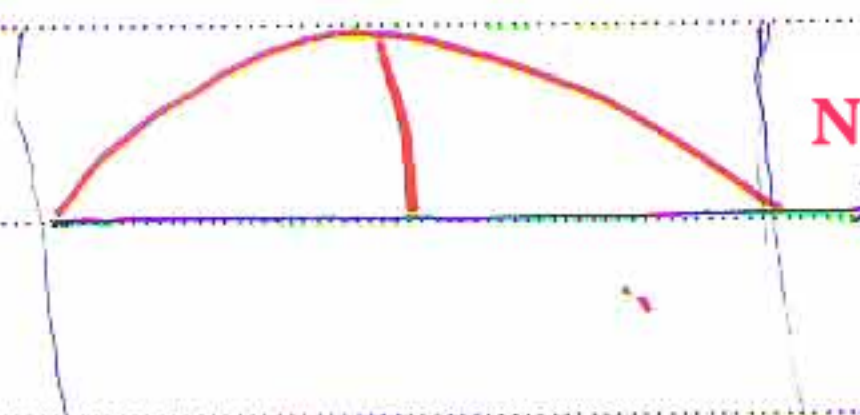
۴- محاوره های طولی خم شده به قطر محاوره $3/6$ میلی متر تحت زاویه 30° یا بیشتر نسبت به محاوره های کششی طولی



45°



NovinCivil.com عمران نوین



۵- ترکیبی از خاموت‌های قائم یا مائل با میگرهای طولی خم شده

۶- مارپیج‌ها

عمران نوین NovinCivil.com

۱- نیروی برشی تأمین شده توسط فولادهای برشی در خاموت‌های قائم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_s = \phi_s \cdot F_y \cdot A_v \cdot \frac{d}{s}$$

معمولاً در آیین‌نامه‌ای ورد

A_v : سطح مقطع آرماتورهای عمودی

۸: فاصله خاموت‌ها

$$\left[\phi_u \right] \quad \frac{\pi \times d^2}{4} \quad \left[\phi_1 \right] \quad \frac{\pi \times d_1^2}{4}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{\phi_s \cdot F_y \cdot d}$$

طراحی برشی رو انداز

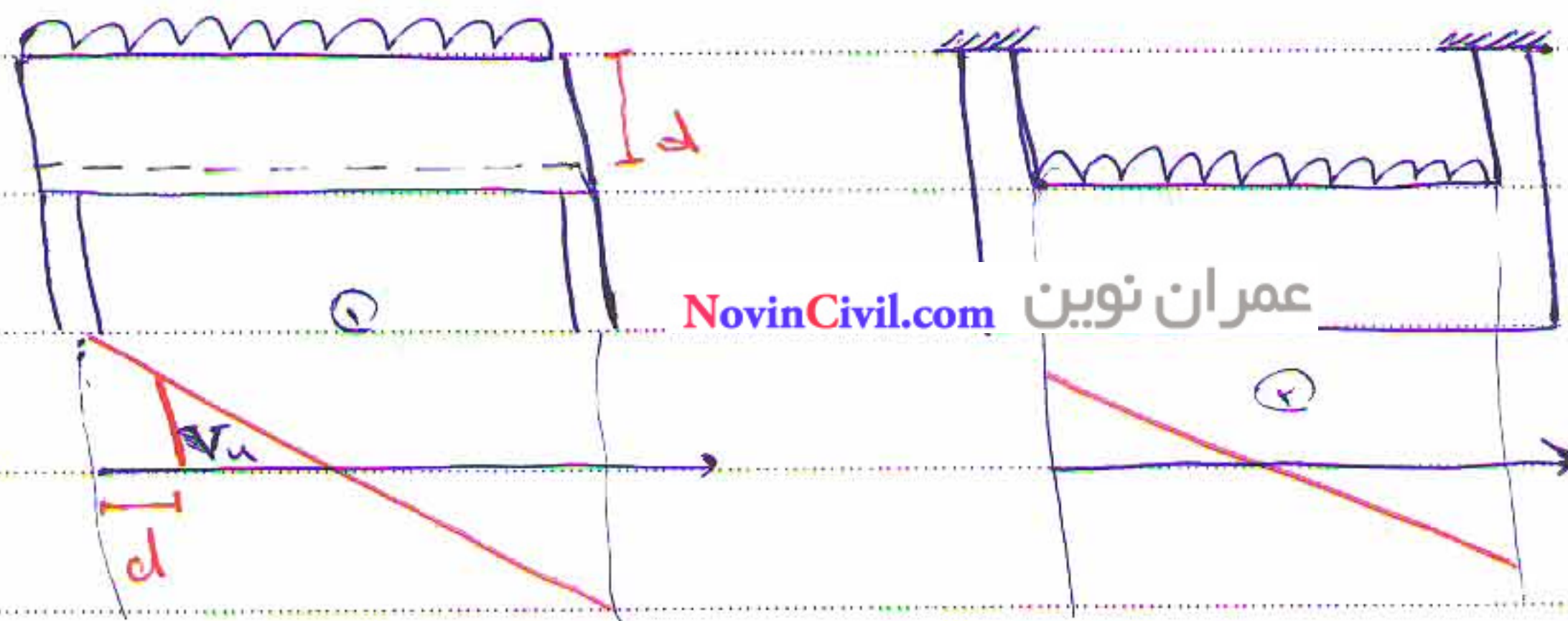
C: نکات و محادله‌های آیین‌نامه‌ای

۱- فایده‌های مقاومگی که در فاصله‌ای کمتر از d از بر داخلی تکیه‌گاه قرار دارند را می‌توان به ازای برش به فاصله d از بر تکیه‌گاه طراحی کرد به شرط آنکه:

الف- سطح تکیه‌گاه در امتداد برش اعمال شده در ناحیه‌ی استهلاک‌های عضو ایجاد فشار نماید

۱- هیچ بار متمرکزی در فاصله بین بر داخلی تکیه‌گاه تا d از بر تکیه‌گاه وارد نشود

عمران نوین NovinCivil.com



چون اینجا تنش می نیاید V_u را همان V_u می گیریم
در نظریه

۲- حداکثر فاصله خاموت های برشی

فاصله خاموت های قائم نباید از S_{max} بیشتر باشد که S_{max} به صورت زیر تعیین می شود:

$$\text{اگر } V_s < 2V_c \Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4}$$

$$V_c = \frac{1}{2} b_w d$$

$$\text{اگر } V_s \geq 2V_c \Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4}$$

$$V_c = \frac{1}{2} b_w d$$

در نتیجه

$$\text{اگر } V_s < 2V_c \Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4}$$

$$\text{اگر } V_s \geq 2V_c \Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4}$$

عمران نوین NovinCivil.com

تذکره: علاوه بر این که فاصله خاموت‌های قائم (S) نباید بزرگتر از $8d$

جامد و جوش نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیشتر باشد:

عمران نوین
NovinCivil.com

۱- ۱۲ برابر قطر کوچکترین مسرت

۲- ۳۶ برابر قطر خاموت

۳- کوچکترین بُعد تیر

۴- ۲۵ mm

۳- حداقل فولاد برشی:

> تیرهای بتن آرمه حداقل فولاد برشی از رابطه زیر تعیین می شود

$$\left(\frac{A_v}{s} \right)_{min} = \frac{b_w}{f_y} \times \frac{1}{3}$$

۴- حداقل فولاد برشی:

نیروی برشی مقاوم نهایی خاموت‌ها (V_s) هیچ‌گاه نباید بیشتر

از ۴ برابر نیروی برشی مقاوم نهایی بتن (V_c) باشد، به عبارت دیگر

$$V_s \leq 4V_c$$

آگر رابطه برقرار نشود یعنی مقطع مناسب نیست و باید بزرگتر شود

عمران نوین
NovinCivil.com

۱- قطر خاموت ها نباید از مقدار بزرگتر باشد:

* $\frac{1}{3}$ قطر بزرگترین میلگرد طولی با قطر حداکثر ۳۰mm

* ۱۰mm برای میلگرد های عمران نوین NovinCivil.com ۳۰mm

* قطر خاموت ها در هر حال نباید از ۶mm کمتر باشد.

تذکره: برای خاموت ها حداکثر تنش جاری شدن برابر ۴۰۰ Mpa می باشد.

۲- در هر مقطع خاموت ها باید مورف باشند که هر یک از میلگرد های زیر گوشه

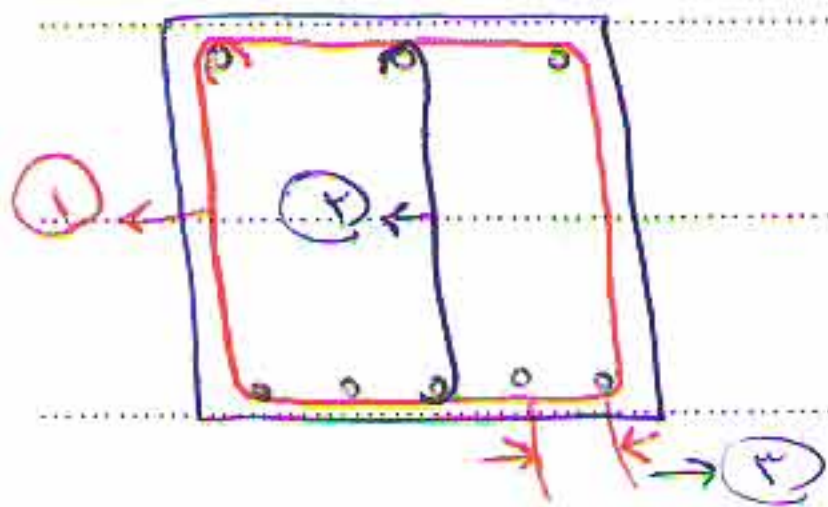
یک خاموت با زاویه داخلی کمتر از ۳۵ درجه قرار گیرد

۱- هر میلگردی که در گوشه های تیر واقع شود

۲- هر میلگرد غیر گوشه ای به صورت ۱- حداکثر یک در میان

۳- هر میلگردی که خاموت آن را در آن تا میلگرد نگهداری شده مجاور درش از

۱۵۰ میلی متر باشد.



بیش از ۱۵۰mm

مثال - خیریتنی مستطیلی با ابعاد $d = 445 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$ و با آرما تور

برشی $\phi = 1.0$ و فاصله 10 mm به صورت خامودت قائم در شاف و در نظر

گیرید با فرض $f_c = 35 \text{ mpa}$ و $f_y = 40 \text{ mpa}$ و برشی مقطع را

درست آرید $b = 300 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$, $d = 445 \text{ mm}$

$\phi = 1.0$ @ 10 mm

$f_c = 35 \text{ mpa}$, $f_y = 40 \text{ mpa}$

$V_r = ?$

$$V_c = \phi_c \sqrt{f_c} b_w d = 1.0 \times 1.7 \times \sqrt{35} \times 300 \times 445 =$$

$$V_c = 92.75 \text{ kN}$$

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

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

$$V_s = 1.0 \times 40 \times 157 \times \frac{445}{10} = 29.125 \text{ kN}$$

کنترل حداکثر فاصله S_{max} :

$$V_s = 29.125 > 2 V_c = 2 \times 92.75 = 185.5$$

$$\Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4} = \frac{445}{4} = 111.25 \text{ mm} > S = 10 \text{ mm} \checkmark$$

کنترل حداقل آرما تور:

$$\left(\frac{A_v}{s} \right)_{min} = \frac{1.7 b_w}{f_y} = \frac{1.7 \times 300}{40} = 12.75$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{157}{10} = 15.7$$

NovinCivil.com عمران نوین

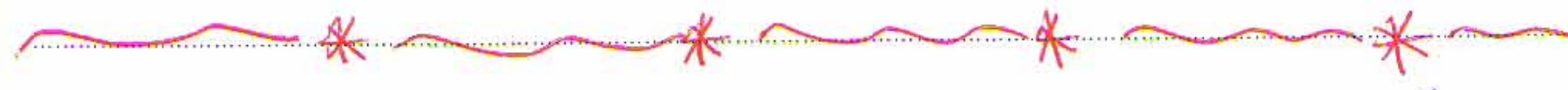
$$\frac{A_v}{s} = 15.7 > \left(\frac{A_v}{s} \right)_{min} = 12.75 \checkmark$$

کسر آرماتور حاد:

$$V_s = 290.25 < 4V_c = 371 \rightarrow V_s < V_c \checkmark$$

عمران نوین NovinCivil.com

$$V_r = V_c + V_s = 371 + 290.25 = 661.25 \text{ kN}$$



مثال - یک تیر در سازه باد خانه ۱.۰ م و با ابعاد $b_w = 250 \text{ mm}$ و $d = 520 \text{ mm}$

$h = 700 \text{ mm}$ تحت بار مرده 35 kN/m و بار زنده 18 kN/m قرار گرفته است

اگر $f_c = 21 \text{ MPa}$ و $f_y = 300 \text{ MPa}$ باشند تیر را در کل خانه با فولاد برشی لازم

مسلح کنید.

$$q_D = 35 \text{ kN/m}$$

$$q_L = 18 \text{ kN/m}$$

$$A_y = B_y = \frac{q_u \times L}{2}$$

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

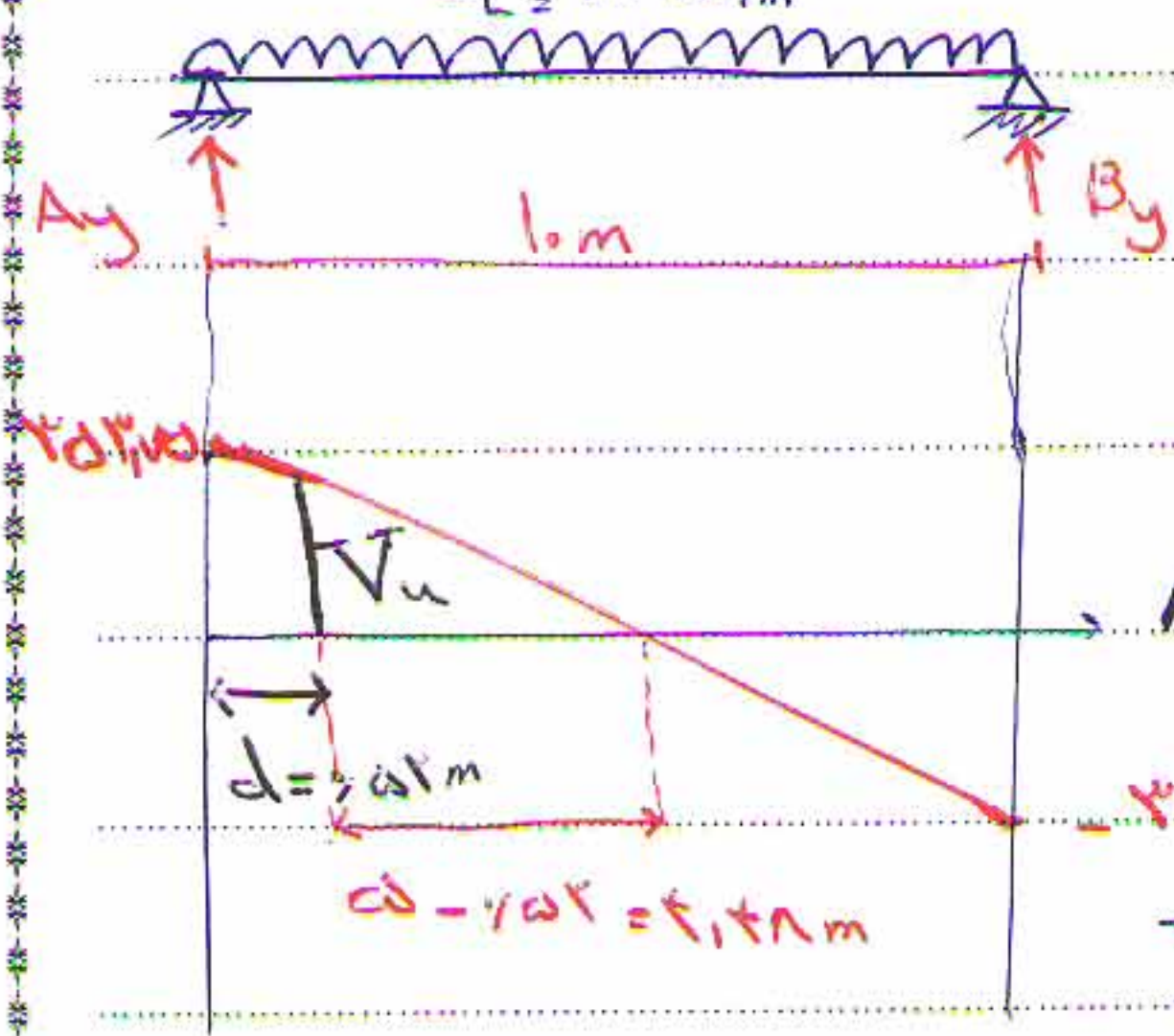
$$q_u = 1.2 \times 35 + 1.6 \times 18 = 70.17 \text{ kN/m}$$

$$A_y = \frac{70.17 \times 10}{2} = 350.85 \text{ kN}$$

$$-350.85$$

$$\frac{V_u}{350.85} = \frac{1.18}{5}$$

$$\Rightarrow V_u = \frac{350.85 \times 1.18}{5} = 81.4 \text{ kN}$$



$$V_c = \frac{1}{2} \phi_c \sqrt{f_c} b_w d = \frac{1}{2} \times 0.75 \times \sqrt{21} \times 250 \times 520 = 97.7 \text{ kN}$$

$$V_s = V_u - V_c = 81.4 - 97.7 = -16.3 \text{ kN}$$

عمران نوین NovinCivil.com

$$V_s = 16.3 > 2V_c = 2 \times 97.7 = 195.4 \checkmark$$

مثال (معاينة) $S_{max} = 8 \text{ mm}$

$$\Rightarrow S_{max} = \frac{d}{4} = \frac{520}{4} = 130 \text{ mm}$$

محاسبه آرماتور حداقل:

$$\frac{A_s}{s} \Big|_{min} = \rho_{min} \frac{b_w}{d} = \rho_{min} \frac{350}{1200} = \rho_{min} \times 0.2917$$

NovinCivil.com عمران نوین

کنترل حاکم آرماتور:

$$V_s = 191.4 < V_c = 497.7 = 490.4 \checkmark$$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_s}{\phi_s \cdot f_y \cdot d} = \frac{191.4 \times 10^3}{0.85 \times 400 \times 1200} = 1.75$$

$$\frac{A_s}{s} = 1.75 > \frac{A_s}{s} \Big|_{min} = 0.2917 \checkmark$$

مصرف استفاده از ماتور: $\phi 10$ - تعداد ۱۰ عدد

$$A_s = 2 \times \frac{\pi \times 10^2}{4} = 157 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{s} = 1.75 \Rightarrow \frac{157}{s} = 1.75$$

$$\Rightarrow s = \frac{157}{1.75} = 89.7 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

کنترل:

$$s = 100 < s_{max} = 140 \text{ mm} \checkmark$$

در نهایت، بر استفاده می کنیم

USE: 2 $\phi 10 @ 100 \text{ mm}$

NovinCivil.com عمران نوین

$$L \quad \Phi 10 @ 200 \text{ mm}$$

چون در وسط تیر تنش برشی همراست با یک فاصله ای از کناره ها

فاصله بین آرماتورها NovinCivil.com عمران نوین و از آن به بعد فاصله ها را

بیشتر می کنیم که به صورت زیر عمل می کنیم:

$$V_c = 47.7 \text{ kN}$$

$$V_s = \phi_s \cdot f_y \cdot A_v \cdot \frac{d}{s} = 1.15 \times 300 \times 157 \cdot \frac{20}{200} = 1.41 \text{ kN}$$

$$V_s = 1.41 < 2V_c = 2 \times 47.7 = 95.4 \Rightarrow s_{max} = \frac{d}{4} = \frac{20}{4} = 5$$

$$s = 20 \text{ mm} < s_{max} = 5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

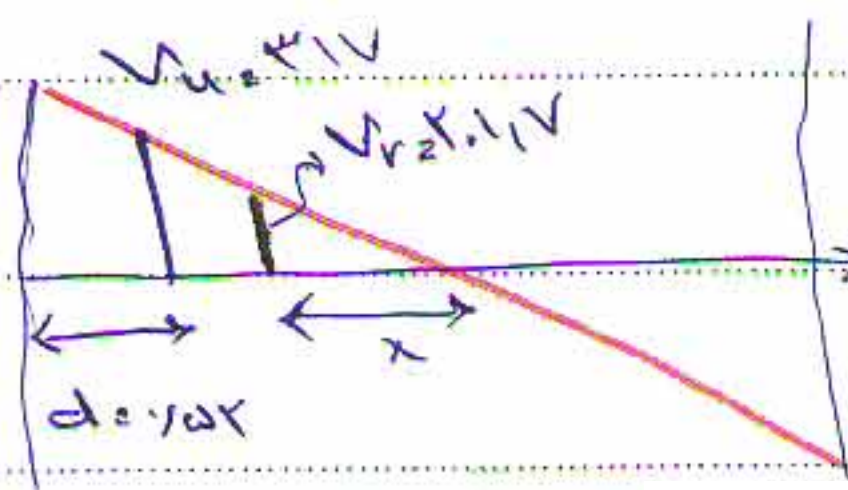
$$\left(\frac{A_v}{s} \right)_{min} = 1.3 \frac{b_w}{f_y} = 1.1$$

$$\Rightarrow \frac{A_v}{s} > \left(\frac{A_v}{s} \right)_{min} \quad \checkmark$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{157}{20} = 7.85$$

$$V_s = 1.41 < 2V_c = 2 \times 47.7 = 95.4 \quad \checkmark$$

$$V_r = V_c + V_s = 47.7 + 1.41 = 49.1 \text{ kN}$$



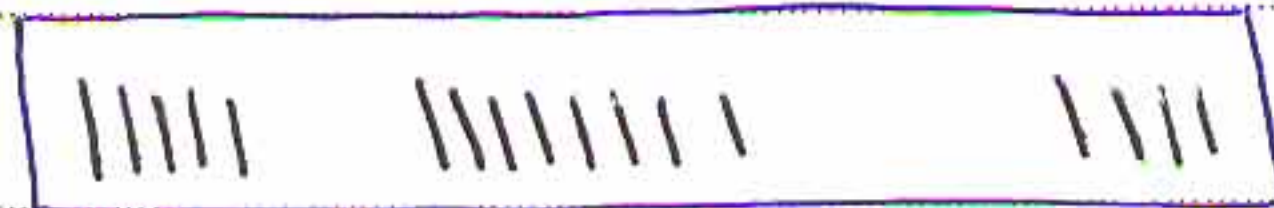
$$\tau_v = \frac{V_r}{3d^2} = \frac{49.1}{3 \times 200^2} = 2.18 \text{ MPa}$$

NovinCivil.com عمران نوین

$$\Rightarrow \tau = \frac{dV_r}{3d^2} = \frac{20 \times 49.1}{3 \times 200^2} = 2.18 \text{ MPa}$$

۲۰۰mm

۱۰mm



NovinCivil.com عمران نوین



۲.۱۵ ۲.۱۵ + ۲.۱۵ ۲.۱۵

۳.۵۰

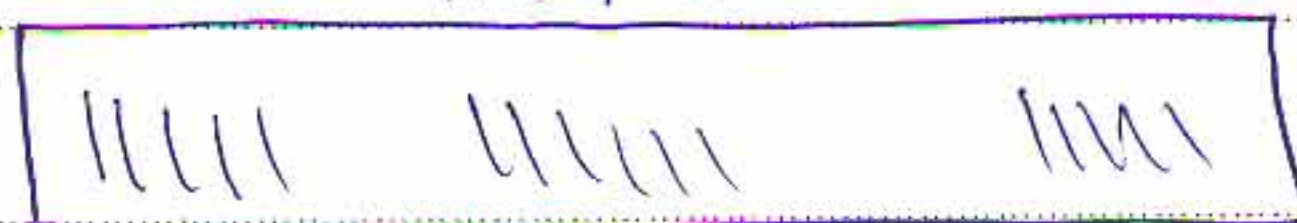
آرماتور گذاری شیب

$$۲.۱۵ + ۰.۲ = ۲.۱۵ + ۰.۱۵ = ۲.۳۰ \text{ m} \approx ۲.۳ \text{ m}$$

۲۷۰mm

۱۳۰mm

۲۷۰mm



آرماتور گذاری علی



۲.۳۰

۲.۳۰

۲.۳۰

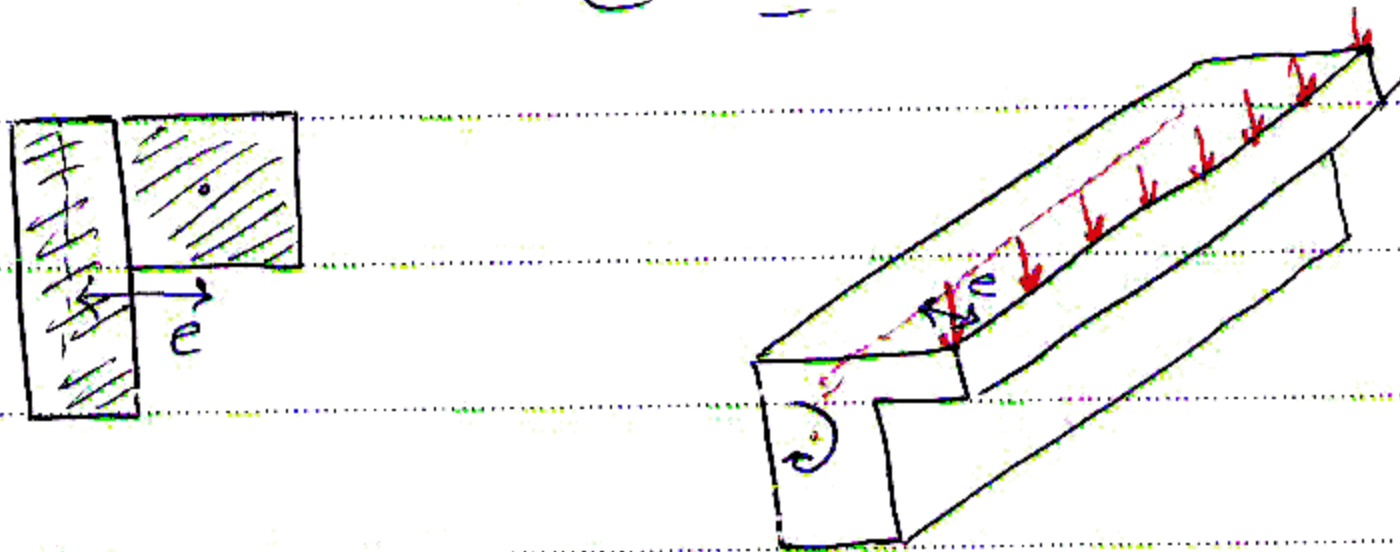
NovinCivil.com عمران نوین

فصل هشتم: تیرهای تحت پیچش

تیرهای دو صورت تحت اثر پیچش قرار می گیرند

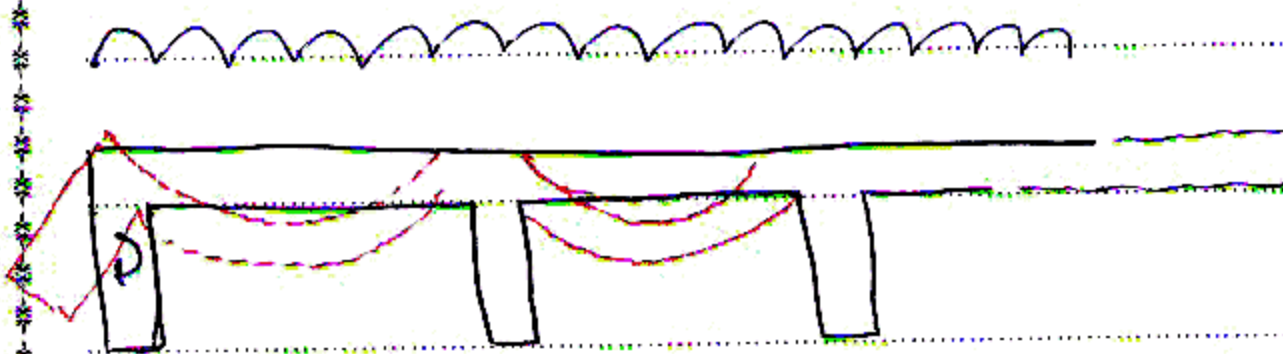
الف- پیچش تعادلی

اگر بار خارج از محور عضو وارد شود کثرت پیچشی حول محور طولی عضو ایجاد می شود و معمولاً در سازه های معین رخ می دهد



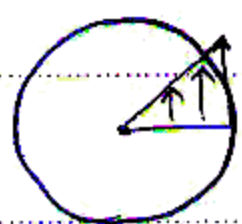
پیچش هساری

پیچشی که در یک عضو از سازه با ارماتژر معادلات هساری ایجاد می شود به نام پیچش هساری نامیده می شود و معمولاً در سازه های نامعین مشاهده می گردد



نحوه ایجاد ترک در تیرهای تحت بار گسترده

در یک تیر بتن آرمه به این صورت است که ابتدا یک ترک مورب با زاویه 45° بر کلی از وجود بزرگتر ایجاد شده و این ترک روی دو وجه کوچکتر با زاویه 90° و در دو جهت مخالف جلوی ورود سرانجام ترک روی وجه چهارم مقطع نیز به هم متصل شده و مقطع تحت بررسی از هم گسیخته می شود.



(نحوه توزیع تنش در بتن)

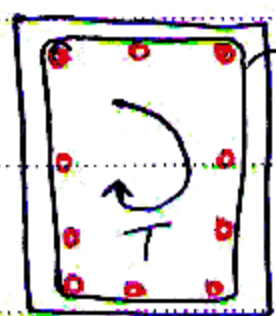
در سطح تنش بیشتر است و

در مرکز صفر است.

* برای اینکه تیر مقابل ترک های ناشی از تنش بیش مقاوم باشد باید در

در جهت عمود بر هم آرماتور گذاری شود، آرماتورهای عرضی بصورت

خاموشی و آرماتورهای طولی به صورت آرماتورهای راسته کار گذاشته می شود.



خاموشی بسته

کنترل بیش ترک خوردگی (T_{cr})

کنترل بیش ترک خوردگی از رابطه زیر محاسب می شود و کمتر است

که باعث ایجاد اولین ترک در بتن می شود.

$$T_{cr} = 2 \left(\frac{A_c}{P_c} \right)^{1/2}$$

در اینجا T_c داریم:

$$V_c = 0.2 \phi \sqrt{f_c}$$

✓: تنش برشی مقاوم بتن

مقطع

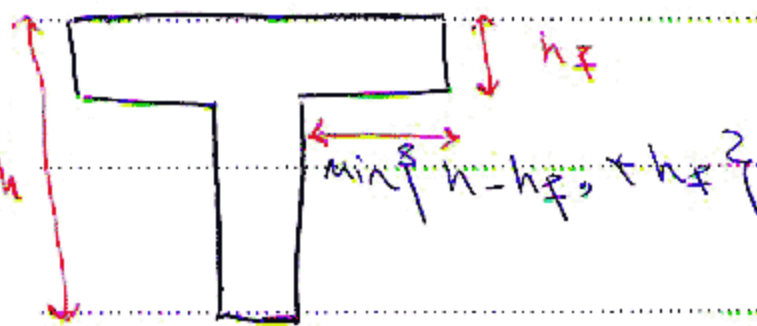
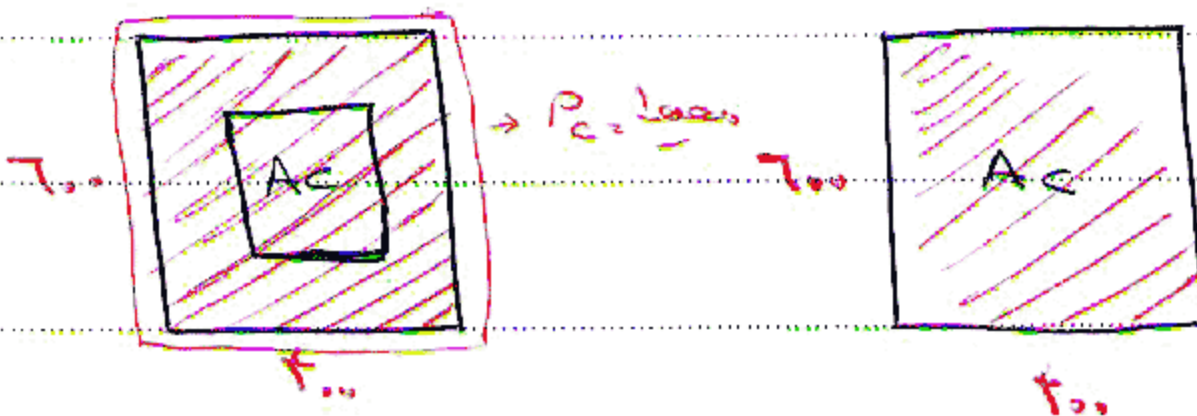
✓: A_c : سطح محصور توسط محیط خارجی بتن و شامل سوراخها و مورد

وجود

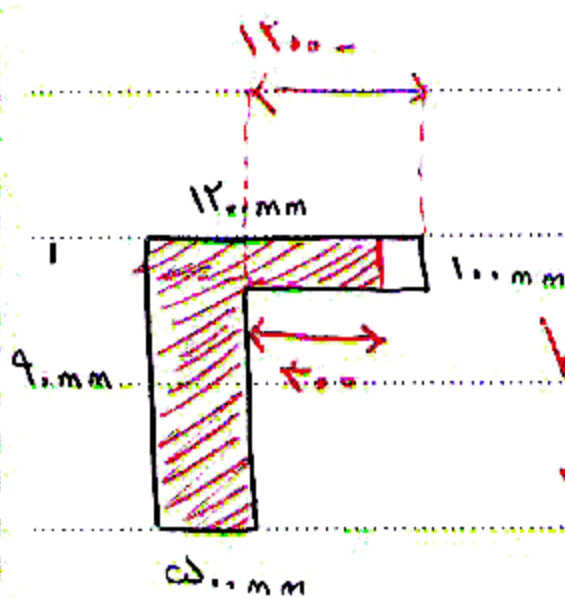
✓: P_c : محیط بیرونی مقطع بتنتفاوت: اگر مقطع بال دار باشد صحتی از بالا کرد، محاسب A_c و P_c

واردی شود برابر است با:

$$M_n = \{ h - h_f \text{ و } h_f \}$$



مثال - کمتر بومی ترکی خودگی مقطع زیر را در صورتی که $f_c = 25 \text{ MPa}$ باشد را بدست آورید.



$$h_f = 100 \text{ mm} \quad h = 900 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \min \{ h - h_f = 900 - 100 = 800, h_f = 100 \}$$

$$\min = 800$$

$$A_c = 1200 \times 900 + 800 \times 100 = 1080000 + 80000 = 1160000 \text{ mm}^2$$

$$P_c = 900 + 900 + 100 + 800 + 100 + 1200 = 3700 \text{ mm}$$

$$r_c = \frac{1}{\sqrt{12}} \sqrt{P_c} = \frac{1}{\sqrt{12}} \times \frac{1}{\sqrt{12}} \times \sqrt{1160000} = 170 \text{ mm}$$

$$T_{cr} = 2 \left(\frac{A_c r_c^2}{P_c} \right) r_c = 2 \times \left(\frac{1160000}{3700} \right) \times 170 = 10.5 \text{ kN/m} \times 1.7 = 17.85 \text{ N/mm}$$

خاطر بومی جریب من آورده بواسطه این نام بین اعلان

۱- در صورتی که کمتر بومی نهایی (T_u) بیشتر از $0.25 T_{cr}$ کمتر

بومی ترکی خودگی مقطع باشد با بومی آن مقطع را در مقابل

کمتر بومی طراحی خود به عبارت دیگر $T_u < 0.25 T_{cr} \Rightarrow$ نیازی به در نظر گرفتن کمتر بومی نیست

با بومی مقطع برای تحمل کمتر بومی T_u طراحی گردد $T_u > 0.25 T_{cr} \Rightarrow$

۲. طبق آیین نامه بتن ایران مقاومت پیچشی نهایی مقطع (T_r) با صرف نظر کردن از ککبت بتن برابر با ککبت پیچشی آرماتورها پیچشی در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر:

$$T_r = T_c + T_s \Rightarrow T_r = T_s$$

۳. فولادهای لارم جهت تامین مقاومت پیچشی مورد نیاز یک عضو شامل فولادهای عریض پیچشی (به صورت خامور یا قائم بسته) و فولادهای طوی پیچشی است.

الف - آرماتورهای عریض پیچشی:

که از رابطه زیر قابل محاسب هستند

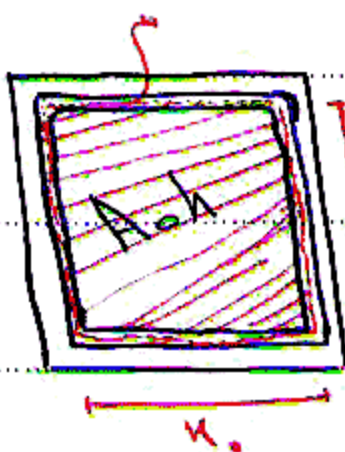
$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{1.7 \phi_s \cdot f_y \cdot A_{oh}} \quad \text{لارم} \quad \text{آسانسور} \quad T_s = 1.7 \phi_s \cdot f_y \cdot A_{oh} \cdot \frac{A_t}{s}$$

A_t : سطح مقطع یک ستاف از خامور

s : فاصله خامورها

A_{oh} : مساحت سطح محصور شده به وسیله محورهای افدلاع خامور

بسته پیچشی و شامل سطح سوراخها در صورت وجود محور مرکزی خامور



$$A_{oh} = b_o \cdot h_o$$

۱- سطح مقطع مورد نیاز آرماتورهای طولی پیچشی:

که از رابطه زیر قابل محاسب هستند:

$$A_s = \frac{A_t}{s} \times P_h$$

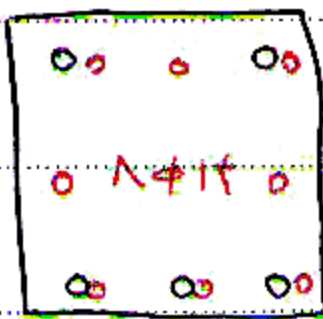
A_t : سطح مقطع فولاد طولی پیچشی

P_h : محیط محصور شده به وسیله دیوارهای افدال خاموت بسته

پیچشی

$$P_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

تذکره: آرماتورهای پیچشی که در تراز آرماتورهای فشی قرار میگیرند به آنها (A_s و A'_s) باستی اضافه کرد



$$A'_s = 2 \phi 18$$

$$A_s = 3 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} + 3 \times \frac{\pi \times 14^2}{4} = 1404.2$$

$$A_s = 3 \phi 20 + 3 \phi 22 \quad \text{مجموع آنها از ۴ استفاده می کنند}$$

البته باید همان سطح مقطع را داشته باشند

۲- جزئیات فولادهای پیچشی:

الف- فاصله بین آرماتورهای عرضی پیچشی باستی کمتر از S_{max} باشد که از رابطه

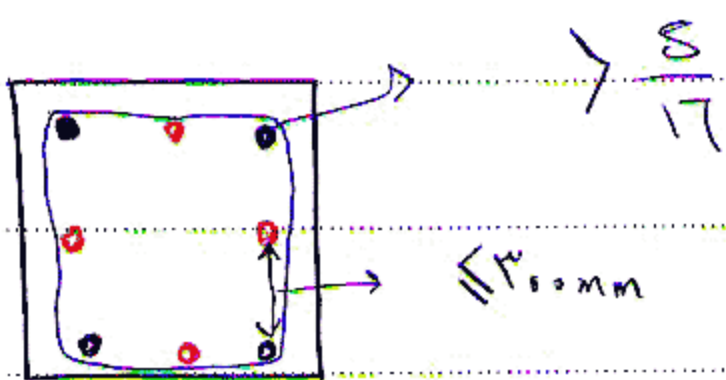
$$S_{max} = \min \left\{ \frac{P_h}{8}, 300 \text{ mm} \right\}$$

زیر دست می آید

ب- فولادهای طولی پیچشی باید دور تا دور مقطع و به صورت تقریباً

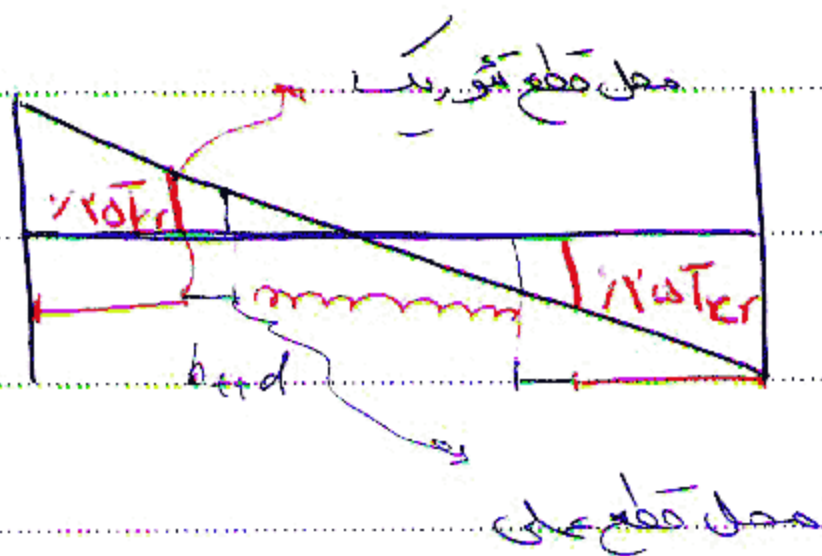
یکپوشا توزیع گردند

در هر گوشه‌ی خاموش‌های سیستم پیچشی با سیستم حداقل یک میلگرد طولی به قطر حداقل $\frac{8}{17}$ قرار گیرد.



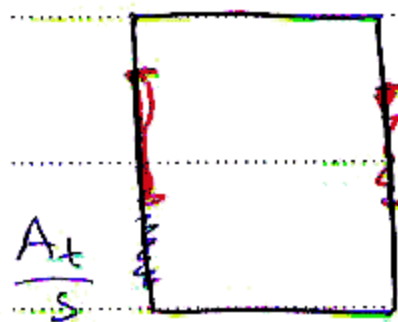
فاصله محوری بین میلگردهای طولی پیچشی که در دو مقطع توزیع شده‌اند نباید بیش از 300 mm ، نظر گرفته شود.

ج - فولادهای پیچشی را باید حداقل تا فاصله $b_t + d$ بعد از مقطع که از نظریه‌ی نیازی به فولاد پیچشی ندارد ادامه داد.
 b_t : عرض مقطع است.



د - در صورتی که مقطع تحت اثر توأم برش و پیچش قرار گیرد باید برای یکبار مقطع را برای برش و یکبار برای پیچش طراحی کرد و فولادهای عرضی را با هم جمع نمود.

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{\phi_s \cdot f_y \cdot d} \quad , \quad \frac{A_t}{s} = \frac{T_s}{1.7 \phi_s \cdot f_y \cdot A_{oh}}$$



$$\frac{A_{x+t}}{s} = \frac{A_s}{s} + k \frac{A_t}{s}$$

k : تعداد سازه ها

A_{x+t} : مساحت سطح مقطع k سازه

تذکره: حداقل سطح مقطع فولاد برشی و پیوستگی همگانی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\left(\frac{A_{x+t}}{s} \right)_{\min} = 0.35 \frac{b_w}{f_y}$$

تذکره: برای اندک ظرفیت مقطع جوابگوی برش و پیوستگی به صورت تمام جا مند، با بستن رابطه زیر برقرار باشد.

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u \cdot P_h}{A_{oh}^2} \leq 0.15 \phi_c f_c$$

چنانچه رابطه فوق برقرار نباشد، یعنی فرضیات مقطع در برابر برش و پیوستگی توانمندی کم بوده و با بستن مقطع را بزرگتر کرد و سپس نسبت به طراحی آنرا توره ها اقدام کرد.

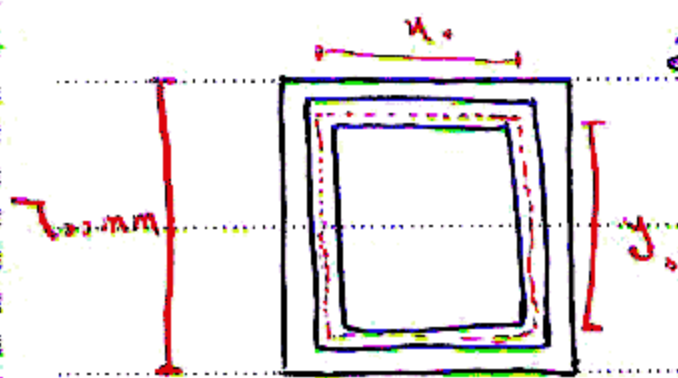
مثال - مقطع مستطیل با ابعاد نشان داده شده و $F_c = 30 \text{ mpa}$ و

$F_y = 40 \text{ mpa}$ را در نظر بگیرید. در این مقطع از فولاد های قائم به صورت یک

مستط $\phi 10$ فواصل استفاده شده است چنانچه فواصل

پوشش بتنی 4 mm باشد، مقاومت یکپارچه مقطع را محاسبه کنید.

فولاد یکپارچه لازم برای مقطع طراحی کنید.



$\phi 10 @ 100 \text{ mm}$

$$s \leq s_{max} \Rightarrow T_r = T_s = 1.7 \phi_s F_y A_{oh} \frac{A_t}{s} \quad (?)$$

$$u_o = b - 2c_o - \phi' = 350 - 2(40) - 10 = 270 \text{ mm}$$

$$y_o = h - 2c_o - \phi' = 700 - 2(40) - 10 = 510 \text{ mm}$$

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

$$P_h = 2(u_o + y_o) = 2(270 + 510) = 1540 \text{ mm}$$

$$A_h = u_o \times y_o = 270 \times 510 = 137700 \text{ mm}^2$$

$$s_{max} = \min \left\{ \frac{P_h}{4} = \frac{1540}{4} = 385 \text{ mm}, 300 \text{ mm} \right\} = 300 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm} < s_{max} = 300 \text{ mm} \checkmark$$

$$T_r = T_s = 1.7 \phi_s F_y A_{oh} \frac{A_t}{s}$$

$$T_r = 1.7 \times 100 \times 40 \times 137700 \times \frac{1110}{100} \Rightarrow T_r = 7.17 \text{ kN-m}$$

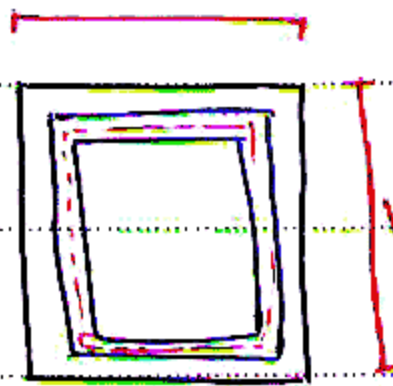
$$A_L = \frac{A_t}{s} \times P_h = \frac{1110}{100} \times 1540 = 17094 \text{ mm}^2$$

USE 12 ϕ 12 or USE 1 ϕ 17

* اگر مقاطع طویل یکپارچه را با سیم به هم پیوندانیم در آن مقطع با فواصل

حداکثر ۳۰۰ mm قرار داد. (این جمله حتماً در امتحان نوشته شود بعد از حل)

مثال - مثال قبل را در حالتی حل کنید که نیروی برشی ۳۰۰ kN بر مقطع اثر کند
اگر ارتفاع مؤثر مقطع ۵۳۵ mm باشد.



$$V_u = 300 \text{ kN} \quad d = 535 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{2} \phi \sqrt{f_c} b_u d$$

$$V_c = \frac{1}{2} \times 0.7 \sqrt{30} \times 250 \times 535 = 123 \text{ kN}$$

$$V_s = V_u - V_c = 300 - 123 = 177 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v - V_s}{s \phi_s f_y d} = \frac{177 \times 10^3}{0.7 \times 400 \times 535} = 0.473$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \left(f_y \frac{\pi \times 10^6}{4} \right) / 100 = \frac{2 \times 177 \times 10^3}{100} = 1.57$$

$$\frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} = \frac{A_{vt}}{s}$$

$$0.473 + 2 \frac{A_t}{s} = 1.57 \Rightarrow \frac{A_t}{s} = \frac{1.57 - 0.473}{2} = 0.548$$

$$T_r = T_s = 177 \phi_s f_y A_{vt} \cdot \frac{A_t}{s} = 177 \times 0.7 \times 400 \times 132700 \times 0.548 \times 10^{-7} =$$

$$T_r = 23 \text{ kN-m}$$

$$A_L = \frac{A_t}{s} \times \rho_n = 0.548 \times 1250 = 685 \text{ mm}^2$$

USE 7 $\phi 10$

آرماتورهای طولی به وسیله رابا دستی به طول تکینوافت دوربار و مقطع با

فاصله حداکثر ۳۰۰mm قرار دارد.

کنترل ظرفیت مقطع:

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u P_h}{A_{oh}^2} \leq 0.17 \phi_c F_c$$

$$\frac{300 \times 1.3}{350 \times 535} + \frac{2241.7 \times 10^3}{1327.0^2} = 3.174 < 0.17 \phi_c F_c = 0.17 \times 1.7 \times 30 = 8.5$$