فصل اول

1-مقاومت فشاری بتن

عواملی که موثر بر روی مقاومت فشاری بتن هستند عبارتند از :

1- نوع سیمان

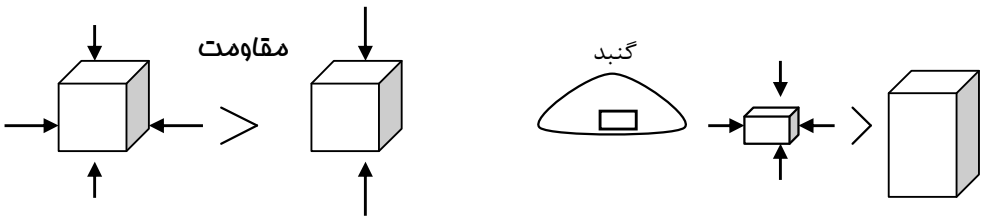
2- نسبت آب به سیمان ↑ : مقاومت ↓

3- مصالح سنگی

4-ابعاد نمونه وشکل نمونه

نمونه استوانه ای مقاومت کمتری نسبت به نمونه مکعبی دارد. نمونه کوچکتر مقاومت بیشتری نسبت به نمونه بزرگتر دارد.

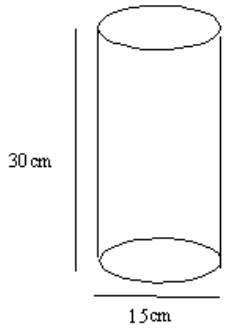
5-نوع تنشهای وارده



مقاومت چند محوره بیشتر از مقاومتهای دو محوره می باشد.

4- سرعت بارگذاری ↑ مقاومت ↑

مقاومت مشخصه بتن= F_C'



F_C' : مقاومت فشاری نمونه استوانه ای به قطر 15cm و ارتفاع 30cm به سن 28 روزه

روابط تبدیل

1- نمونه مکعبی 15cm×15cm

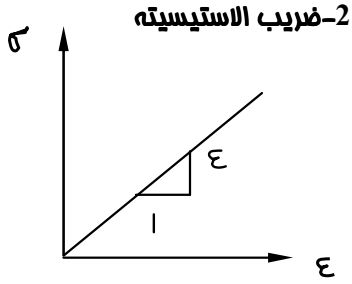
Copyright by: www.afshinsalari.com

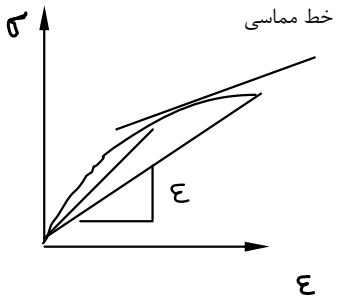
2- نمونه مکعبی 20cm×20cm

3- نمونه استوانه ای 15cm ×30cm ← نمونه استاندارد

$$f_c' = 0.8 f_{cu\,20\times20} \quad , f_c' = 0.72 f_{cu\,15\times15}$$
$$f_{cu\,20\times20} = 0.9 f_{cu\,15\times15}$$

2-ضریب الاستیسیته





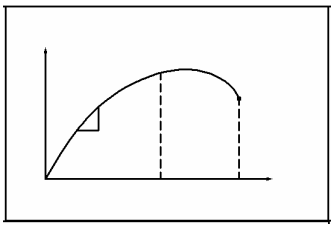
1- مدول الاستیسیته اولیه : شیب خط مماس در نقطه شروع

2- مدول الاستیسیته مماسی : شیب خط مماس در هر نقطه

3- مدول الاستیسیته وتر : (سکانتی)

باید توجه کرد که بتن رفتار خطی ندارد .

نمودار Strass-strain برای بتن



فرمول در سیستم SI :

$$E_c = W_C^{1..5} \times 0.137 \sqrt{f_C'}$$

W_C: وزن مخصوص بتن kg/m^3

f_C': مقاومت مشخصه بتن kg/m^3

E_c: Kg/cm^2

$1440kg/m^3 < W_c < 2480kg/m^3$

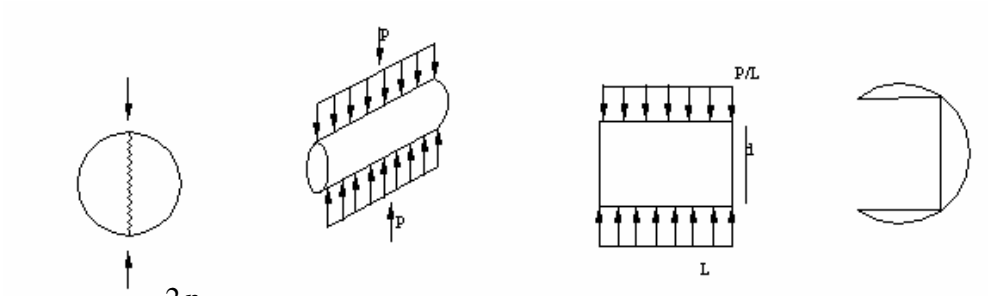
برای بتن معمولی $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$

3-مقاومت کششی بتن

Copyright by: www.afshinsalari.com

1- آزمایش شکاف نمونه استوانه ای

مقاومت کششی بتن نمونه در آزمایش شکاف از روی آئین نامه



فرمول : $f_{ct} = \frac{2p}{\pi dL}$

نیروی اعمال شده

طول نمونه

قطر نمونه

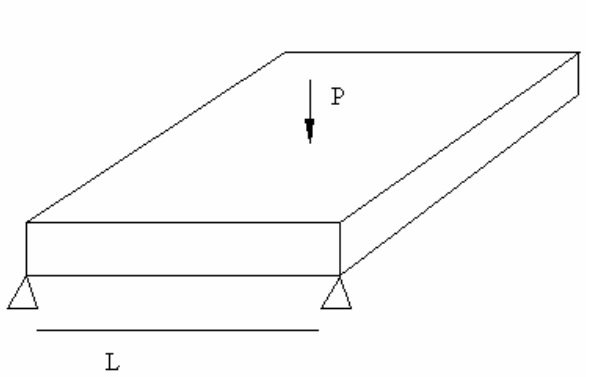
تنش کششی در آزمایش شکاف نمونه استوانه ای

$f_{ct} = 1.78\sqrt{f'_c}$

Kg/cm^2 Kg/cm^2

2- آزمایش خمشی نمونه بتنی

$M = \frac{PL}{4}$ $f_r = \sigma = \frac{Mc}{I}$ مدول گسیختگی: $fr = 2\sqrt{f'c}$



4-خزش Greep در بتن

Copyright by: www.afshinsalari.com

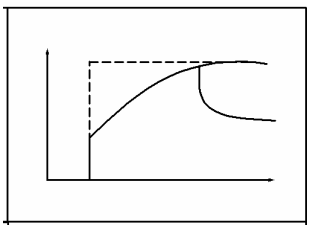
تغییر شکلهای محوری یا خمشی در اعضای بتن تحت اثر تنش ثابت با گذشت زمان افزایش پیدا می کند.

بطور کلی تغییر فرم اعضای پیچشی به دو قسمت تقسیم می شود.

1- تغییر فرم اولیه و الاستیک یا آنی Elastic defor omation Initial

2- تغییر شکلهای وابسته به زمان یا دراز مدت Time depentent Deformation

به تغییر فرمهای دراز مدت یک عضو بتنی تحت اثر تنش ثابت در محدوده قابل بار الاستیک ، خزش (Greep) گفته می شود .



$$c_t = \frac{\text{کرنش خزش}}{\text{کرنش الاستیک اولیه}} = \frac{t^{0.6}}{10+t^{0.6}} c_u$$

ضریب خزش

t = مدت بارگذاری بر حسب روز

C_u = 2.35 = ضریب تغییر شکل نسبی نهایی خزش

5- انقباض بتن (افت یا جمع شدگی) Shrin kage

به پدیده جمع شدن بتن و کاهش حجم آن پس از قطع عملیات عمل آوردن بتن ، انقباض گویند.

اثرات
- 1- ایجاد تنش های کششی در اعضا محدود شده می کند
- 2- باعث ایجاد ترک در سطح بتن خواهد شد .

Copyright by: www.afshinsalari.com

ε_{sh} = کرنش ناشی از انقباض بتن

$(\varepsilon_{sh})_u \cong 0.0008$ کرنش نهایی مربوط به انقباض بتن

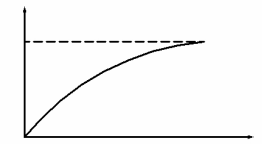
برای رطو بت نسبی 40٪ $\varepsilon_{sh} = \frac{t}{t+35}(\varepsilon_{sh})_u$

t : زمان بعد از قطع عملیات عمل آوردن بتن بر حسب روز

40<H<80 % 1.4-0.01H

H : رطوبت نسبی محیط پس از قطع عملیات عمل آوردن

80<H<100 % 3-0.03H



ضریب تصحیح برای رطوبت نسبی غیر از 40%

فولادهای مسلح کننده بتن Reinforcement

1- برطرف کردن ضعف مقاومت بتن در جاهائیکه آرماتور وجود دارد . آرماتور ضعیف تحمل کشش را دارد.

2- کمک به بتن در تحمل نیروهای فشاری

3- جلوگیری یا کنترل پدیده انقباض و تغییر درجه حرارت

انواع مفتولها

1- آرماتورها (مفتول) میلگردها

2- شبکه های جوش شده

Copyright by: www.afshinsalari.com

	$F_y kg/cm^2$	$F_u\ kg/cm^2$	کرنش به هنگام گسیختگی
فولاد AI ساده	2300	3800	25
فولاد AII آجدار	3000	5000	19
فولادAIII آجدار	4000	6000	14

از منحنی تنش – تغییر طول نسبی (کرنش) بتن دیده می شود. که در زیر تنش $\frac{f'_c}{2}$ بتن در حد قابل قبولی بصورت الاستیک عمل می نماید.

برای فولاد دیده می شود که فولاد تا نقطه جاری شدن بصورت خطی عمل می نماید .

Copyright by: www.afshinsalari.com

فصل دوم :

ایمنی سازه Safety

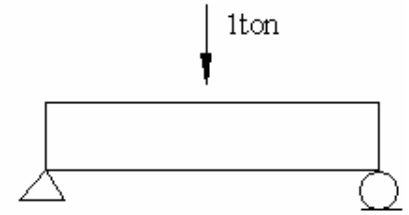
ایمنی :

مقاومت سازه یا بتن بایستی از حداکثر بارهایی که در طول عمر سازه به آن وارد می شود بیشتر باشد .

بار ⟵ S>L ⟵ مقاومت

خدمت پذیری :

سازه باید کاری را که برای آن طرح شده به نحو مناسب انجام دهد کنترل عرض ترک ها – کنترل تغییر فرم سازه



مقاومت سازه Strength

بارهای وارد بر سازه Loads

عواملی که وجود حاشیه اطمینان را ضروری می کند .

1- تفاوت بارهای واقعی با بارهای مفروض

2- تفاوت در توزیع واقعی بار و توزیع مفروض

Copyright by: www.afshinsalari.com

3- ساده سازیها و مفروضاتی که در آنالیز سازه به کار می رود.

4- عدم تطابق رفتار سازه با مدل مفروض

5- تفاوت در ابعاد واقعی سازه با مقادیر حاصل در طراحی

6- تفاوت مقاومت واقعی مصالح با مقاومتهای مفروض

انواع بارهای وارد بر سازه

1- بارهای مرده Dead load = آئین نامه 519 سازمان مرکزی

به بارهایی گفته می شود که مقدار موقعیت آن تغییر نکند مانند وزن سازه

2- بارهای زنده Live load

3- بارهای مربوط به محیط اطراف سازه

بار برف ← آئین نامه 519

بار باد ← آئین نامه 519

بار زلزله ← آئین نامه 2800

فشار خاک ← فرمولهای مکانیک خاک

تغییر درجه حرارت

فشار مایعات ← مکانیک سیالات

S : مقاومت

L : بار

روش تنش مجاز : Working Strees Design

Copyright by: www.afshinsalari.com

روش مقاومت نهایی :

$L < \frac{S}{Fs}$ → مقاومت مجاز

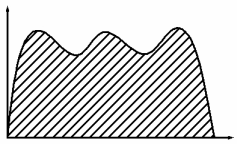
ضریب اطمینان

بار فاکتور شده

$L . F \times L < S$

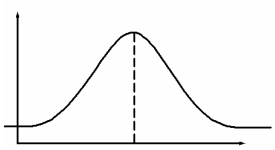
توابع چگالی احتمال بار- مقاومت – حاشیه اطمینان

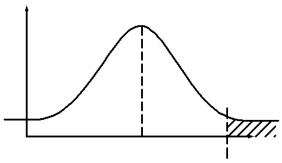
سطح زیر نمودار برابر 1 می باشد.



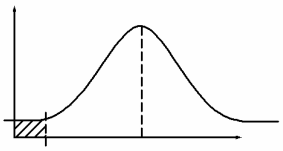
$$p(a<x>b)=\int_a^b f(x)d_x$$

$$f(x)\geq 0$$

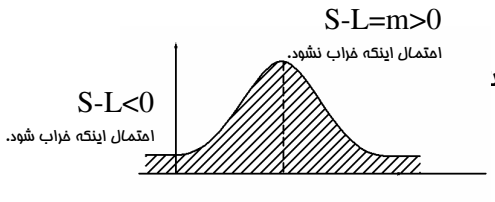




بار طرح با معیار مشخصه Characteristic Load



حاشیه اطمینان $m>0 \ ,m=s-L>0 \ ,s>L$



s و L متغیرهای تصادفی هستند پس m هم متغیر تصادفی اسد

انحراف معیار مربوط به حاشیه اطمینان $=\sigma_m$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$\gamma_s.\bar{S} \geq \gamma_L \bar{L}$ $\quad\quad$ $\bar{m} > \beta\sigma_m$

β =اندیس ایمنی سازه

γ = ضریب ایمنی مقاومت کوچکتر از β

S= متوسط مقاومت

$\bar{L}$ = متوسط بار

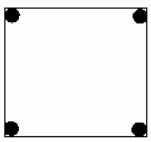
γ_L = ضریب ایمنی بار بزرگتر از یک

عواملی که مقاومت را کاهش می دهند. ضرایب متوسط بار آنها کوچکتر از یک است.

عواملی که مقاومت را افزایش می دهند ضرایب متوسط بارآنها بزرگتر از یک است .

1- روش مقاومت نهایی

Sn= مقاومت اسمی Nominal Strength



φ = ضریب کاهش ظرفیت < 1

φ S_n=(مقاومت طراحی) مقاومت واقعی سازه

Ψ_i = ام i ضریب مربوط به بار >1

L_i = i بار شماره

$\sum \Psi_i L_i$ = کل بار فاکتور شده

Copyright by: www.afshinsalari.com

اساس روش مقاومت نهایی $\varphi S_n \geq \Psi_i L_i$

2-روش تنش مجاز Working stress-Design

$$\varphi.S_n \geq \psi L \Rightarrow \frac{\varphi}{\psi}.S_n \geq L \Rightarrow \frac{\varphi}{\psi} = \frac{1}{F.S}$$

$$\frac{S_n}{F.s} \geq L \Rightarrow \frac{\phi}{\psi} S_n \geq L \quad \frac{S_n}{F.S} \geq l$$

ضرایب کاهش ظرفیت

کشش محوری $\varphi = 0.9$

خمش $\varphi = 0.9$

فشار محوری $\varphi = 0.7$ تا 0.75 تا 0.9

برش و پیچش $\varphi = 0.85$

فشار تماس $\varphi = 0.7$

خمش در بتن غیر مسلح $\varphi = 0.65$

ضرائب بار و ترکیبهای بارگذاری

D: بار مرده

L: بار زنده

W: بار باد

E: زلزله

H: فشار خاک

F: فشار مایعات

Copyright by: www.afshinsalari.com

تغییر درجه حرارت :T

بار مرده وزنده	1.4 D+1.7L
افزاینده	0.75(1.4D+1.71+1.7W)
کاهنده	0.95+1.3W
افزاینده	0.75(1.4D+1.7L+1.87E)
کاهنده	0.9D+1.43E
افزاینده	1.4D+1.7L+1.7H
کاهنده	0.9D+1.7H
افزاینده	1.4D+1.7L+1.4F
کاهنده	0.9D+1.4F
افزاینده	0.75(1.4D+1.7L+1.4T)
کاهنده	1.4(D+T)

تنشهای مجاز که در روش تنش مجاز مورد استفاده قرار میگیرند.

تنش فشاری مجاز در بتن تحت اثر خمشی = $0.45\ f'_c$

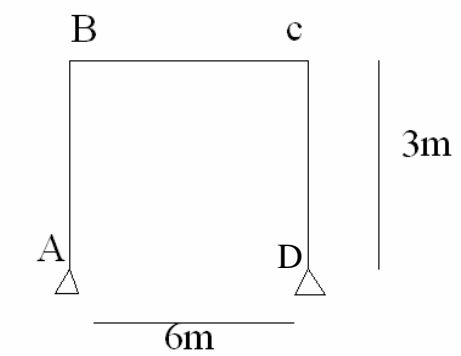
تنش کششی مجاز در بتن غیر مسلح = $0.42 = \sqrt{f'_c}$

تنش کششی مجاز در فولاد $=0.55F_y$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال:

برای قاب نشان داده شده در زیر نیروی محور ایجاد شده در ستون CD *را برای ترکیبهای مختلف بارگذاری بدست آورید؟*



1t/m = بار مرده روی تیر

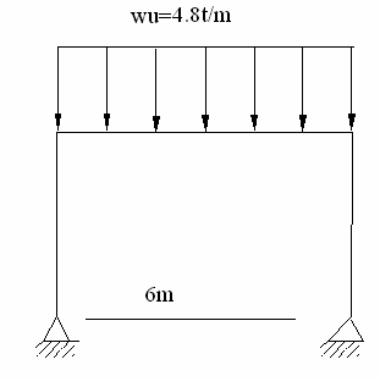
2t/m = بار زنده روی تیر

10ton = بار باد متمرکز واقعی روی نقطه B

توضیح :

باید قاب را تحت حالات مختلف بارگذاری آنالیز کرده و سپس بحرانی ترین حالت را انتخاب می کنیم.

Case 1:



$W_u=1.4WD+1.7WL=1.4\times1+1.7\times2=4.8t/m$

$\neg^{+}\sum M_A=0\rightarrow -4.8\times6\times3+F_{CD}\times6=0$ جهت پاد ساعت گرد مثبت می باشد

$F_{CD}=P_{u1}=4.8\times6\times\frac{1}{2}=14.4ton$ *فشاري*

$F_{CD}=p_{u1}=7.8\times\frac{6}{2}=14.4$ *تقارن* *بدليل*

Case2

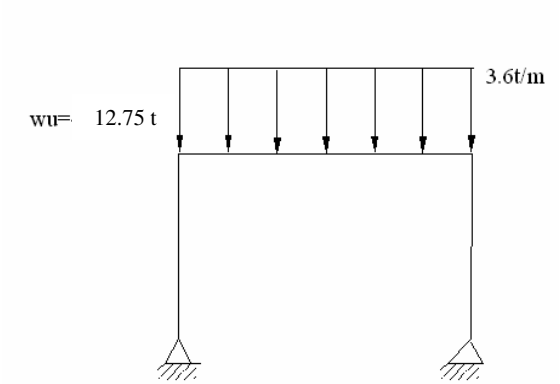
بار گسترده وارد بر تیر=Wu

Copyright by: www.afshinsalari.com

بارمرده + بارزنده + باربار $0.75(1.4D+1.7l+1.7w)$.

یک بار اثر بارهای گسترده را درنظر می گیریم که باد چون بار گسترده ندارد آن را در نظر نمیگیریم $0.75(1.4\times1+1.7\times2)=3.6t/m$

بار متمرکز باد w



$0.75\times1.7\times10=12.75ton$ $Wu=12.75ton$

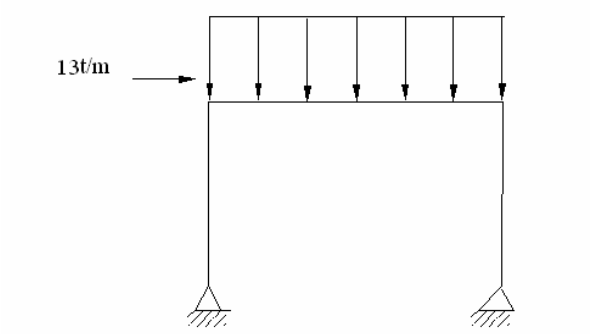
حالت اول جهت باد $\longrightarrow P_{u2}=3.6\times6\times\frac{1}{2}+12.75\times\frac{3}{6}=17.175ton$

حالت دوم جهت باد $\longleftarrow P_{u2}=3.6\times6\times\frac{1}{2}-12.75\times\frac{3}{6}=-19.5ton$

Case 3

$W_u=0.9\times1=0.9ton/m$

$0.9D+1.3W \quad W_u=1.3\times10=13ton$

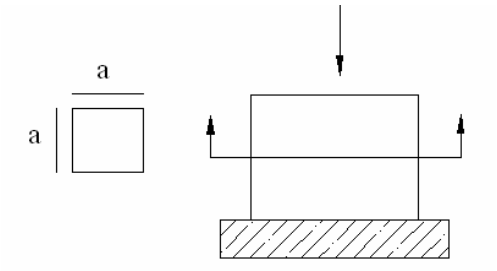


حالت اول جهت باد $\longrightarrow P_{u3}=\frac{1}{2}\times0.9\times6+13\times\frac{3}{6}=9.2ton$ فشاري

حالت دوم جهت باد $\longleftarrow P_{u3}=\frac{1}{2}\times0.9\times6-13\times\frac{3}{6}=-3.8ton$ كششي

مثال:

یک ستون فولادی کوتاه برای بارگذاری زیر طرح کنید.



$P_L=13ton$

$P_D=18ton$

$F_y=3000kg$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$\varphi = 0.7$

روش مقاومت نهایی :

$$P_u = 1.4P_D + 1.7P_L = 1.4\times18\times1.7\times13 = 45.9ton$$
$$\sum \psi_i L_i \le \varphi s$$
$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma.A = S$$
$$\sum \psi_i L_i = P_u = \varphi A f_y \rightarrow 45.9\times1000 = 0.7\times A\times3000$$
$$\rightarrow A = 21.86cm^2$$

روش تنش مجاز:

$$\text{تنش مجاز} = 0.55F_y \rightarrow = 0.55\times3000 = 1650kg/cm^2$$
$$P = 13+18 = 31ton \quad \text{جمع بار مرده و زنده}$$
$$\text{مقاومت مجاز} = 13+18 = 31ton$$
$$\text{مقاومت مجاز} = 1650\times A = 31000kg \qquad P.A = S$$
$$A = \frac{31000}{1650} = 18.79cm^2$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

بررسی رفتار و طراحی قطعات خمشی

1- تیرها Bean

2- دالها Slab

3- فونداسیونها Footing

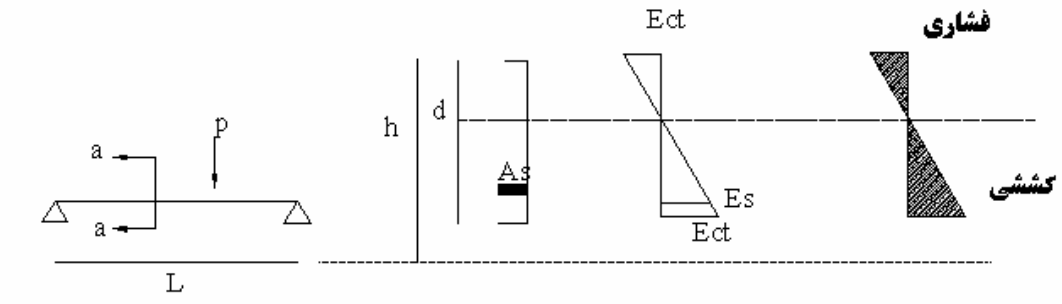
4- دیوار حائل

اصل اساسی

صفحات مستوی که قبل از تغییر شکل عمودبر محورتیر بوده اند پس از تغییر شکل بصورت مستوی باقی خواهند ماند و همچنان بر محور تیر عمودند.

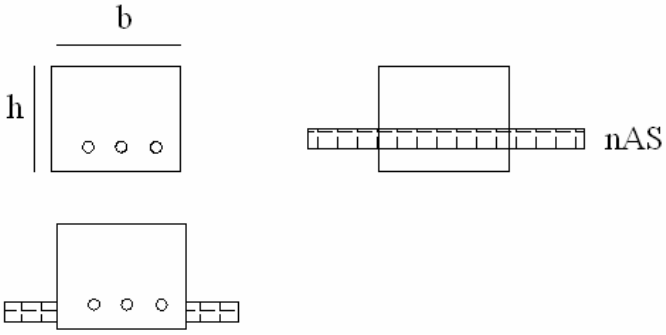
تغییر شکل نسبی در ارتفاع تیر به صورت خطی تغییر می کند.

روش تنش مجاز معمولاً در ساختمان کاربرد ندارد اما درپل کاربرد دارد ولی روش تنش نهایی در ساختمان کاربرد دارد.



نیرو در مقطع فولاد : $A_S \varepsilon_S E_S$

Copyright by: www.afshinsalari.com



$$n=\frac{Es}{Ec}$$

فولادهای داخل بتن را بوسیله فولاد تبدیل یافته پر می کنیم.

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

1- رابطه فوق برای مقطع مبدل Transforsed section مورد استفاده است .

2-تنش در بتن را می دهد . $f_c=\frac{My}{I_g}$

3- تنش در فولاد را می دهد. $f_s=\frac{n\,My}{I_g}$

گشتاور اینرسی مقطع ترک نخورده: I_g مقطع ترک نخورده $(n-1)A_s$

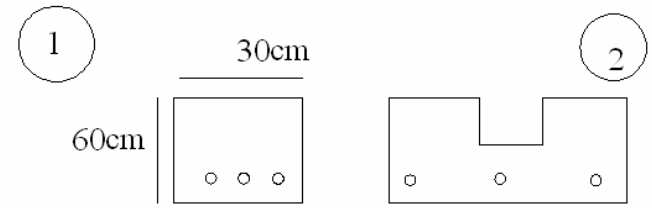
فاصله نقطه مورد نظر تا تارخنثی :y مقطع ترک خورده nA_s

تنش در نقطه مورد نظر =f

لنگر خمشی در مقطع =M

مثال)

برای مقاطع داده شده , I_g را حساب کنید؟



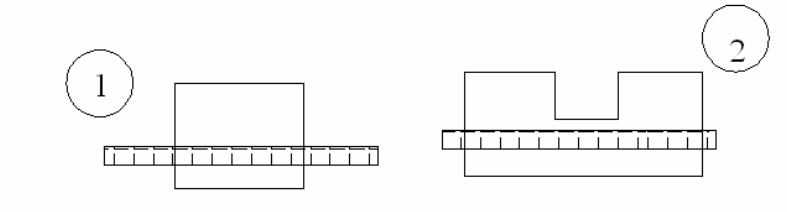
$f'c=280kg/cm^2$

$1\Rightarrow A_S=3\Phi 20$

$2\Rightarrow A_S=3\Phi 28$

مقاطع تبدیل شده

Copyright by: www.afshinsalari.com



برای شکل (1)

$$f'_c = 280 \rightarrow -E_c = 15100\sqrt{f'_c} = 252671 \text{kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_S}{E_C} = \frac{2.04\times10^6}{252671} = 8.0$$

$A_S = 3\Phi20 = 9.42\text{cm}^2$ $\quad (n-1)As =$ فولادي $\quad$ يافته $\quad$ تبديل $\quad$ A

$$\bar{y} = \frac{30\times60\times30 + 7\times9.42\times10}{30\times60 + 7\times9.42} \rightarrow \bar{y} = 29.293$$ پايين $\quad$ از

$$I_g = \frac{1}{12}30\times60^3 + 30\times60(30-29.293)^2 + 7\times9.42\times(29.293-100)^2$$

$$= 56540cm^4$$

برای شکل 2

$$A_s = 3\Phi28 = 18.47\text{cm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{50\times50\times\frac{50}{2} - 15\times35\times\left(15+\frac{35}{2}\right) + 7\times18.47\times7.5}{50\times50 - 15\times35 + 7\times18.47}$$

$\bar{y} = 22.054\text{cm}$ $\quad$ پايين $\quad$ از

$$I_g = \frac{1}{12}50^4 + 50\times50\times(25-22.054)^2 - \frac{1}{12}\times15\times35^3 - 35\times15$$

$$\left[\left(15+\frac{35}{2}\right) - 22.054\right]^2 + 7\times18.47(22.054-7.5)^2$$

$$= 459036\text{cm}^4$$

$= f_r = 2\sqrt{f'_c}$ $\quad$ مدول $\quad$ گسيختگي $\quad$ بتن

M_{cr}= لنگر ترک خوردگی : لنگری است که باعث شروع ایجاد ترک در بتن می شود و یا به عبارت دیگر لنگری است که تنش کششی ایجاد شده توسط آن در تار کششی بتن برابر fr باشد .

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$f=\frac{M_{cr}.y_t}{I_g}\Rightarrow f_r=\frac{M_{cr}.y_t}{I_g}\Rightarrow M_{cr}=\frac{f_r I_g}{y_t}$$ Crackin moment

در لحظه ترک خوردن نیز باید از Ig ترک نخورده استفاده کنیم اما اگر گذشت نمی توانیم از Ig استفاده کنیم .

حل مثالها برای مقاطع ترک خورده

شکل 1:

$$f_r=2\sqrt{f'_c}=2\sqrt{280}=33.5kg/cm^2$$

$$y_t=29.293cm, M_{cr}=\frac{33.5\times 56544}{29.293}=646651 \quad kg.cm$$

لنگر کمتر از این مقدار ترک نخورده $M<M_{cr}$

لنگر بیشتر از این مقدار ترک خورده $M>M_{cr}$

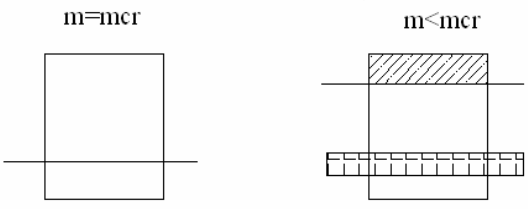
$M_{cr}=6.47T.m$

شکل 2:

$y_t=22.054$ $$M_{cr}=\frac{33.5\times 459036}{22.054}=697275kg.cm=6.97ton.m$$

در مقطع ترک نخورده :در زیر تار خنثی تمام مقطع می تواند کشش تحمل کند.

در مقطع ترک خورده:در زیر تار خنثی فولاد فقط کشش را تحمل میکند.



محور خنثی در مقطع ترک خورده بالاتر از مقطع ترک نخورده می باشد.

Copyright by: www.afshinsalari.com

دلایل بالا رفتن :

1- بازوی لنگر زیاد می شود .

2- سطح مقطع بالایی کم می شود .

نکته :

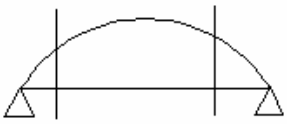
1- در مقطع ترک نخورده , تمام مقطع با لنگر مقابله می کند.

2- در مقطع ترک خورده فقط قسمت فشاری مقطع همراه با میلگردهای کششی با لنگر مقابله می کند.

3- در مقطع ترک خورده تار خنثی نسبت به مقطع ترک خورده بالاتر می رود .

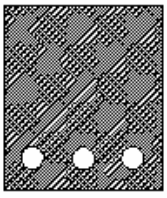
4- با افزایش لنگر نسبت به حالت ترک نخورده و رسیدن به لنگر ترک خوردگی مقطع ترک میخورد.

.

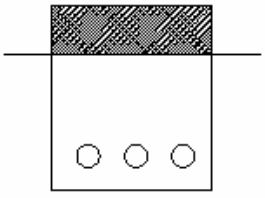


محاسبات همیشه بر اساس مقطع ترک خورده است چون از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است

بدلیل اینکه در مقطع ترک خورده مقطع تیرباید زیاد باشد.



$M<M_{cr}$ مقطع ترک نخورده



$M>M_{cr}$ مقطع ترک خورده

روش تنش مجاز : working streesd design

Copyright by: www.afshinsalari.com

1-تغیرات strain در ارتفاع نیز خطی است .

2- هم بتن وهم فولاد از قانون هوک پیروی می کنند .

E_s $E_s=2.04\times10^{6}$

$=15100\sqrt{f'_c}$

3-در صورتیکه لنگر وارده از M_{cr} بزرگتر باشد از مقاومت کششی بتن صرفنظر میشود . $M>M_{cr}$

4-هیچگونه لغزشی بین بتن وآرماتور وجود ندارد .

آیین نامه :

تنش مجاز در بتن = $0.45\ f'_c$ تنش مجاز کششی درفولاد $1400\ kg/cm^2$

AII :

1680

AIII : KG/cm^2

نکاتی در روش طراحی به تنش مجاز

1-بارهای وارده بدون ضریب هستند ← بار خدمت پذیر

2-تنش فشاری در بتن نباید از تنش مجاز فشاری در بتن تجاوز کند .

3-تنش کششی فولاد نباید از تنش مجاز فولاد تجاوز کند .

نکاتی که در اثر پیدایش ترک (دو نوع حالت ترک خوردگی) ، به چشم میخورد .

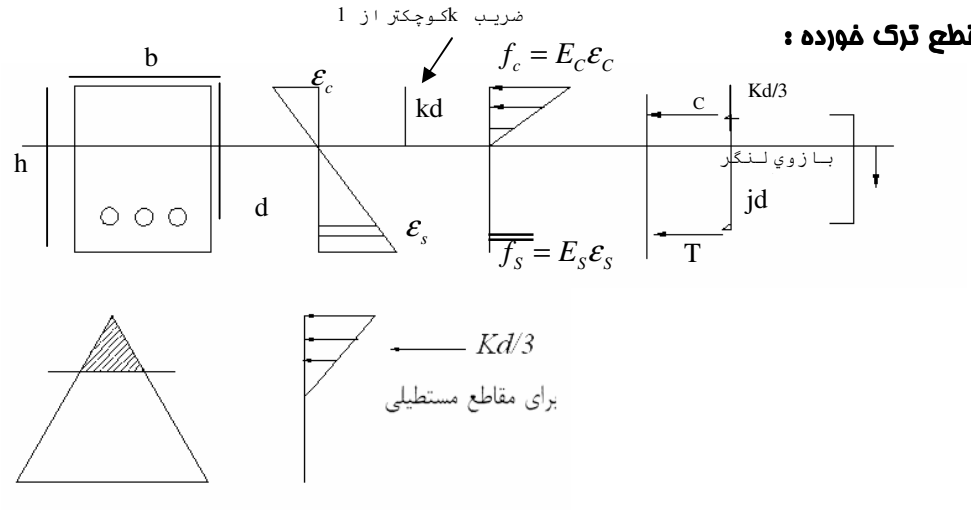
1- ارتفاع تار خنثی به سمت بالا حرکت

2- تنش در فولاد افزایش یافته

3-ممان اینرسی ترک خورده نسبت به ترک نخورده کاهش می یابد.

Copyright by: www.afshinsalari.com

حالت مقطع ترک خورده :



d : ارتفاع موثر

b : پهنای مقطع

F_c : تنش ایجاد شده در بتن

A_s : سطح فولاد کششی

F_s : تنش کششی فولاد

$$F_s=E_S.\varepsilon_s \qquad F_c=E_C.\ \varepsilon_c$$

$$\sum f_x = 0 \rightarrow T = C, T = A_S.f_s = A_s.E_S.\varepsilon_S$$

$$C = \frac{1}{2} f_c kdb = kdbE_C \frac{\varepsilon_C}{2}$$

$$T = C \rightarrow A_s E_s.\varepsilon_s = kdbE_c \frac{\varepsilon_c}{2} \quad (1)$$

از روی نمودار Strain

$$\frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \rightarrow \varepsilon_c = \frac{kd}{d - kd}\varepsilon_s \quad (2)$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

(1) و (2) $\Rightarrow kdb\frac{kd}{2} = A_s\frac{E_s}{E_c}(d-kd)$ و $n=\frac{E_s}{E_c}, \rho=\frac{A_S}{bd}$

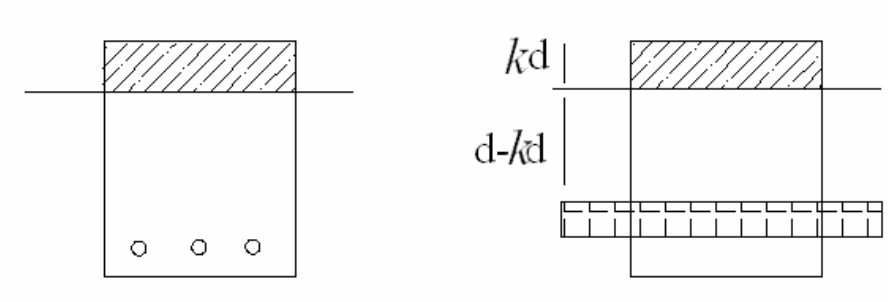
$$kdb\frac{kd}{2} = nA_s(d-kd) \xrightarrow[\text{تقسیم می کنیم}]{\text{طرفین بر } bd^2} \frac{k^2}{2} = n\frac{As}{bd}(1-k)$$

$$\frac{k^2}{2} = n\rho(1-k) \rightarrow k^2 + 2n\rho - 2n\rho = 0$$

فقط برای مقاطع مستطیلی ترک خورده $* \quad k = -\rho n + \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n}$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \qquad n = \frac{E_s}{E_C}$$

$$kdb \times \frac{kd}{2} = nA_s(d-kd)$$



مقطع ترک خورده مقطع تبدیل یافته ترک خورده

تذکر : رابطه * فقط برای مقاطع مستطیلی است وبرای مقاطع غیر مستطیلی جهت تعیین محور خنثی می توان محور خنثی مقطع مبدل ترک خورده را محاسبه کرد .

$M=Tjd=Cjd$ $jd=d-kd/3$

فقط برای مقاطع مستطیلی $j=1-k/3$ =

$$M = f_s A_s jd, M = \frac{f_c}{2} \times kdbjd = \frac{f_c}{2} kjbd^2$$

$$T = A_s f_s, \qquad C = \frac{f_c}{2} kdb$$

تنش در بتن $f_c = \frac{2M}{kjbd^2}$ و $f_s = \frac{M}{A_s jd}$ تنش موجود در فولاد

اگر مقادیر f_s و f_c کمتر از مقادیر تنش مجاز بود مقطع مناسب و اگر نبود مقطع مناسب نیست .

Copyright by: www.afshinsalari.com

از مقاومت مصالح داریم $f_{ct}=\frac{M.y_t}{I_g}<f_r$ ، $f_{cc\max}=\frac{M.y_c}{I_g}<0.45f'_c$ $M_{cr}=\frac{f_{cr}}{y_t}$

مقطع ترک خورده $f_s=n\frac{M.y_t}{I_g}<f_y$ $M_{cr}=\frac{f_r y_t}{I_g}$

I_g =ممان اینرسی مقطع ترک نخورده

مقطع ترک نخورده $f_s=n\frac{m.y_s}{I_{cr}}<0.55f_y$

تنش مجاز بتن $f_c=\frac{M.y_c}{I_{cr}}<0.45f'_c$

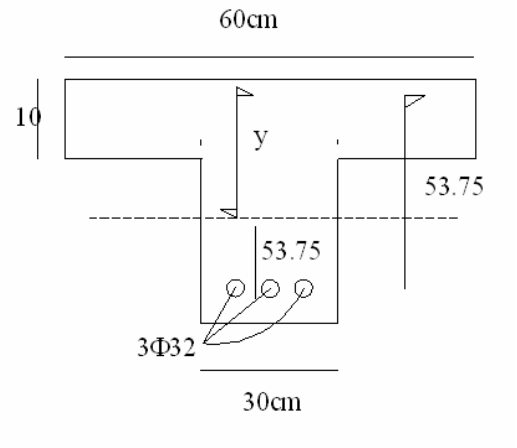
مقطع ترک خورده $M>M_{cr}\rightarrow$

مقطع ترک نخورده $M<M_{cr}\rightarrow$

مثال)

برای مقطع T شکل زیر (الف) موقعیت محورخنثی را پیدا کنید؟

(ب) لنگر اینرسی مقطع ترک خورده را حساب کنید؟ $f'_c=250kg/cm^2$



$A_s=3\times\frac{7}{4}(3.2)^2=24.13cm$

$E_c=15100\sqrt{250}=238752kg/cm^2$

$n=\frac{E_s}{E_c}=8.54$

$A_{tot}=nA_s=8.54\times24.13=206.18cm^2$

روش حل برای مقاطع غیر مستطیلی

الف)

لنگر اول سطح ناحیه فشاری نسبت به محور خنثی

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$(60\times10)\times(\bar{y}-5)+\frac{30}{2}(\bar{y}-10)^2=15y^2+300y-1500=\bar{y}A$$

لنگر اول سطح بتن معادل فولاد نسبت به محور خنثی

$$206.18(53.75-y)=11082.175-206.18y$$

$$\Rightarrow 15y^2+300y-1500=11082.175-206.18y\Rightarrow$$

$$15y^2+506.18y-12582.175=0\Rightarrow \bar{y}=16.646cm$$

*اگر عدد y طوری بدست آمد که محور خنثی در قسمت هاشور خورده افتاد باید دوباره $\bar{y}$ را برای قسمت هاشور خورده و یا مستطیلی (بافرض مقطع مستطیل) انجام دهیم * مهم

I_{cr}: همان انرسی مقطع ترک خورده حول محور خنثی

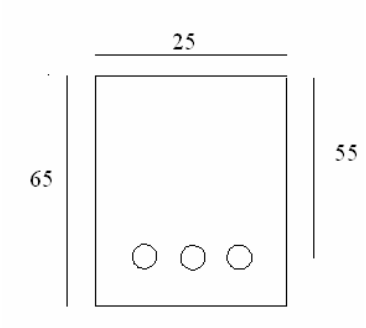
$$I_{cr}=\frac{1}{12}60\times10^3+60\times10\times(16.646-5)^2+\frac{1}{12}\times30\times(16.646-10)^3+30(16.646-10)(\frac{16.646-10}{2})^2$$

$$+206.18\times(53.75-16.646)^2\Rightarrow Icr=371623cm^4$$

$$f_{cc}=\frac{M.16.646}{371623}<0.45f'c \qquad f_c=\frac{M.y_c}{I_{cr}}<\circ.45f'_c$$

$$f_s=\frac{n\times M\times(53.75-16.646)}{371623}<0.55f_y$$

مثال)



$$A_s=15.93cm^2$$
$$f'_c=280kg/cm^2$$
$$f_r=2\sqrt{f'_c}=33.5kg/cm^2$$
$$f_y=4200kg/cm^2$$
$$n=8\rightarrow n-1=7$$

مطلوب است :

1- لنگر ترک خوردگی 2- مقادیر تنشها رابه ازای $M_{cr}\pm\varepsilon$ محاسبه کنید .

$n=8$ $\bar{y}=34.14\rightarrow$ از تار بالا

Copyright by: www.afshinsalari.com

$I_g = 649.58cm^4$ $\qquad M_{cr} = \frac{f_{cr}}{y_t} = \frac{330.5 \times 649.58}{65 - 34.14}$

لنگر ترک خوردگی وقتی بوجود می آید که تنش آن برابر f_r یا مدول گسیختگی باشد .

$$M_{cr} = 704583kg/cm$$

حالت اول :

$M_{cr} - \varepsilon$

مقطع ترک نخورده :

$$f_{ct} = \frac{704583(65 - 34.14)}{64,048} = 33.5kg/cm^2$$

دریک ε کمتر حداکثر تنش در بتن باید مقدارfr یکی شود .

حداکثر تنش فشاری دربتن $f_{CC} = \frac{704583 \times 34.14}{649058} = 207.56kg/cm^2$

تنش کششی در فولاد $f_s = \frac{8 \times 704583 \times 34.14}{649058} = 207.56kg/cm^2$

نکته :درمقطع ترک نخورده روابط در صورتی که ضابطه هایی که با علامت = مشخص شده اند صادق باشد .

1) $f_{ct} = \frac{M_{cr}.yt}{I_g} < f_r$

2) $f_{cc} = \frac{M_{cc}.y_c}{I_g} < 0.45f'_c$

3) $f_s = \frac{n.M_{cr}.(d - \bar{y})}{I_g} < f_y$

نکته:

درمقطع ترک خورده غیر مستطیلی

3) $f_s = \frac{n.M_{cr}.(d - \bar{y})}{I_g} < f_y$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مقدار لنگریک مقدار ازمقدار لنگر ترک خوردگی بیشتر شود.

$$n=8 \qquad P=\frac{A_s}{bd}=\frac{15.93}{25\times58}=0.011\rightarrow p_n=0.0879$$

$$k=-pn+\sqrt{(pn)^2+2pn}=0.34\rightarrow j=1-k/3=0.887$$

$$f_s=\frac{M}{A_s jd}=\frac{704583}{15.93\times0.887\times58}=859.7\,kg/cm^2$$

کنترل یک مقطع مستطیلی به روش مجاز

$\mathrm{Re}\,q: f_s, f_c$ تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن $Gaven: b, d, A_s$

روش کار

1- مقادیر $n=\frac{E_s}{E_c}$ حساب شود و $p=\frac{As}{bd}$ حساب شود

2- مقادیر k راحساب کنید . $j=1-k/3, k=-pn+\sqrt{(pn)^2+2pn}$

3- مقادیر f_s و f_c راحساب کنید . $f_s=\frac{M}{A_s jd}, f_c=\frac{2M}{kjbd^2}$

حالت کلی برای مقاطع غیر مستطیلی

1-موقعیت تار خنثی رابرای مقطع ترک خورده محاسبه کنید .

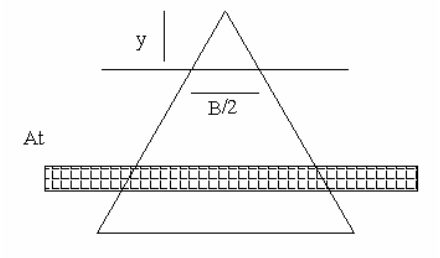
2- ممان اینرسی مقطع ترک خورده رامحاسبه کنید . (I_{cr})

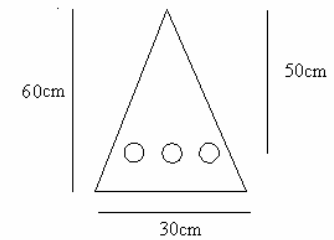
3- مقدار تنش درفولاد وبتن را محاسبه کنید .

$$f_s=\frac{nM.y_s}{I_{cr}} \qquad f_c=\frac{M.y_c}{I_{cr}}$$

مثال)

مطلوبست محاسبه تنش موجود در فولاد وبتن در مقطع شکل زیر ؟





$f'_c=200kg/cm^2$
$f_y=4000kg/cm^2$
$M=20ton.m$
$A_S=3\Phi20$

Copyright by: www.afshinsalari.com

تنش مجاز بتن $= 0.45 f'_c = 90 kg/cm^2$

تنش مجاز فولاد $= 0.55 f_y = 2200 kg/cm^2$

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} = 213546$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04\times10^6}{213546} = 9.55 \rightarrow n = 10$$

$$A_{tot} = 10\times3\times3.14\times\frac{\pi\times3^2}{4} = 94.2cm^2$$

لنگراول قسمت فشاری $\bar{y}\times\frac{\bar{y}}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{\bar{y}}{3} = \frac{\bar{y}^3}{12}$

لنگر اول فولاد $94.2\times2(50-\bar{y}), \frac{\bar{y}^3}{12} + 94.2\bar{y} - 4710 = 0 \rightarrow \bar{y} = 28.821cm$

مثلث بالائی نسبت به قاعده خودش $I_{cr} = \frac{(28.821)^4}{24} + 94.2\times(50-28.821)^2 \Rightarrow I_{cr} = 71002cm^4$

$$f_c = \frac{20\times10^5\times28.821}{71002} = 81108kg/cm^2 >$$ تنش مجاز=90

$$f_s = \frac{n}{10}\times\frac{20\times10^5(50-28.821)}{71002} = 5965.7kg/cm^2 <$$ تنش مجاز=2200

یا باید فولادهارا زیاد کنیم یا ابعاد رازیاد کنیم ویا مقطع را عوض کنیم .

بدست آوردن لنگرمقاوم یک مقطع مستطیلی

$Gaven: b, d, A_s$ تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن $\quad\quad \text{Re}q: M$

سه حالت ممکن است رخ بدهد

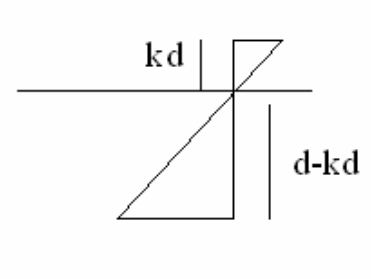
1- مقدار فولاد به تنش مجاز برسد ⟵ مقدار فولاد کم

Copyright by: www.afshinsalari.com

2- اول بتن به تنش مجاز برسد ← غیر اقتصادی ترین حالت ← مقدار فولاد زیاد

3- بتن وفولاد همزمان به تنش مجاز میرسند ← اقتصادی ترین حالت ← مقدارفولاد متعادل

حالت تنش متعادل



$$\frac{E_c}{E_s}=\frac{kd}{(d-kd)} \qquad ,E_c=\frac{f_c}{E_c}$$

$$E_s=\frac{f_s}{E_s}$$

$$\frac{f_c}{E_c}\frac{E_s}{f_s}=\frac{k}{1-k}\rightarrow\frac{E_s}{E_c}.\frac{f_c}{f_s}=\frac{k}{1-k}$$

$$n=\frac{E_s}{E_c} \quad ,r=\frac{f_S}{f_C}$$

حالت تنش معادل:

$$\{M=A_s f_{sall}\, jd$$

$$\{M=\frac{f_{call}}{2}kjbd^2$$

$$r=\frac{\text{تنش مجاز فولاد}}{\text{تنش مجاز بتن}}=\frac{f_{sall}}{f_{call}}=\frac{0.55f_y}{0.45f'_c}$$

$$k=\frac{n}{n+r} \quad ,j=1-\frac{k}{3}$$

درصدفولاد متعادل : p_e

درصد فولادی است که به ازای آن حالت تنش متعادل رخ می دهد .

$$A_s f_{sall}\, jd=\frac{f_{call}}{2}kjbd^2\rightarrow p_e f_{sal\,l}=\frac{f_{call}}{2}$$

فرمول محاسبه در صد فولاد متعادل

$$P_e=\frac{f_{call}}{f_{sall}}\times\frac{k}{2}=\frac{k}{2r}\rightarrow p_e=\frac{n}{2r(n+r)}$$

چون ازتنشهای all استفاده شده p_e است

دستورالعمل برای مقاطع مستطیلی

Copyright by: www.afshinsalari.com

$Gaven: b, d, A_s$ تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن $\quad \text{Re}q: M$

1- مقادیر $n = \frac{E_s}{E_c}$, $r = \frac{f_{sall}}{f_{call}}$ را حساب کنید .

2- درصد فولاد راحساب کنید. $p = \frac{A_s}{bd}$

3- موقعیت تارخنثی را پیدا کنید . $k = -pn + \sqrt{(pn)^2 + 2pn} \rightarrow j = 1 - k/3$

4- $M = \min \begin{cases} \frac{f_{call}}{2} kjbd^2 & 1 \quad f_c = 0.45 f'_c \\ A_s f_{sall} jd & 2 \quad f_s = 0.55 f_y \end{cases}$

اگر $\rho > \rho_e$ باشد

اول بتن به تنش مجاز می رسد (درصد فولادزیاد)

بتن کنترل کننده می باشدو هردو M یک عدد می دهد .

$M = \frac{f_{call}}{2} kjbd^2$ کنترل کننده $\quad M = f_s A_s jd$

اول فولاد به تنش مجاز میرسد ودرصد بتن زیادی

فولاد کنترل کننده هر دو M یک عدد می دهد .

$M = A_s f_{sall} jd \longrightarrow$ کنترل کننده $\quad M = \frac{f_c}{2} kjbd^2$

در واقع ما میتوانیم دوحالت M راحساب کرده وهرکدام که کوچکتر بود را انتخاب می کنیم ومعیار کنترل می شود اگر حالت 1 کوچکتر شد بتن واگر حالت 2 کوچکتر شد فولاد کنترل کننده است وبعنوان مثال اگر در حالتی که بتن کنترل کننده است M بدست آمده را مساوی $f_s A_s jd$ قرارمیدهیم و f_s بدست می آوریم .

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)

ظرفیت خنثی مقطع مستطیل روبرو را با استفاده ازروش مجاز محاسبه کنید

$$f_{sall}=1700kg/cm^2$$
$$f'_c=280kg/cm^2$$
$$f_{call}=126kg/cm^2$$

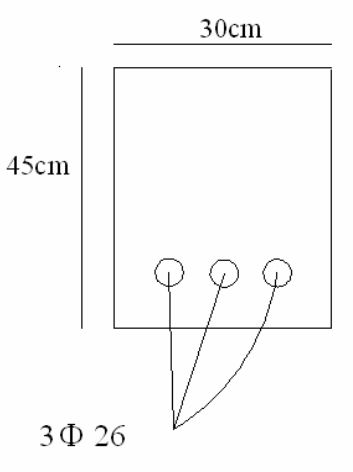
$$E_c=15100\sqrt{f'_c}=252671kg/cm^2$$

$$n=\frac{E_s}{E_c}=\frac{2.04\times10^6}{252671}=8 \quad ,A_s=3\Phi26=15.93cm^2$$

$$p=\frac{A_s}{bd}=\frac{15.93}{30\times45}=0.0118 \qquad pn=0.0118\times8=0.0944$$

$$k=pn+\sqrt{(pn)^2+2np}=0.35 \qquad ,j=1-k/3=0.883$$

$$M=\min\begin{Bmatrix}A_s\ f_{sall}\ jd=10.76\ ton.m\\ \frac{f_{call}}{2}kjbd^2=11.82\ ton.m\end{Bmatrix}$$



اول فولاد به تنش حداکثر می رسد $\rightarrow F_{sall}=1700kg/cm^2$

Fs **همان** f_{sall} **است چون فولاد به حد جاری شدن رسیده حال برای محاسبه تنش بتن داریم :**

$$M=10.76\rightarrow$$
$$f_c=\frac{2M}{jkbd^2}=\frac{2\times10.76\times10^5}{0.883\times0.35\times45^2}$$
$$\Rightarrow f_c=114.6kg/cm^2$$

اگر درصد فولاد متعادل رانیز خواسته باشد

$$p_e=\frac{n}{2r(n+r)}\rightarrow r=\frac{f_{Sall}}{f_{call}}=\frac{1700}{126}$$
$$r=13.5 \qquad p_e=\frac{8}{2\times13.5(13.5+8)}$$

$p_e=0.0138>p\rightarrow$ **فولاد کنترل کننده است**

Copyright by: www.afshinsalari.com

$A_{se} = p_e bd =$ مقدار فولاد حالت متعادل $= 18.63cm^2$

بدست آوردن ابعاد مقطع وفولاد گذاری

$Given = M$ تنشهای مجاز $\text{Re}\, q = b, d, A_s$ (از

مراحل کار

1- مقادیر $r = \frac{f_{sall}}{f_{call}}, n = \frac{E_s}{E_c}$ راحساب کنید

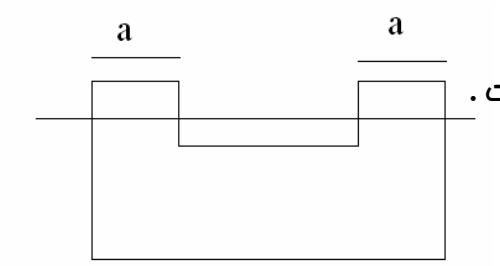
2- مقادیر k وj راحساب کنید $j = 1 - k/3, k = \frac{n}{n+r}$

3- ازرابطه $bd^3 = \frac{2M}{f_{call} kj}$ استفاده کنید . $b \cong \frac{d}{2}$ درصورت نداشتن محدودیت ارتفاع

ب) داشتن bd^2 می توان مقادیر b وd را بدست آورد ؟

4- ازرابطه زیر مساحت فولاد را بدست آورد . $A_s = \frac{M}{f_{sall}\, jd}$

مثال:



مانند یک مقطع مستطیلی که پهنای آن 2a وارتفاع آن مشخص است .

برای سایر مقاطع باید از سعی وخطا استفاده کرد

.سطح مقطع دایره رامیتوان د رصورت کم حجم بودن عملیات به 6 ضلعی تبدیل کرد .

بدست آوردن مقدار فولاد یک مقطع مستطیلی

$Given: b, d, m,$ تنشهای مجاز $\text{Re}\, q: A_s$

مراحل کار

Copyright by: www.afshinsalari.com

1- n و rg را برای حالت تنش متعادل حساب کنید

2- مقادیر k و j را حساب کنید $k=\frac{n}{n+1}\ ,\ j=1-\frac{k}{3}$

3- حداکثر لنگری را که مقطع می تواند بدون فولاد فشاری تحمل کند بدست آورید .

$$M_c=\frac{f_{call}}{2}kjbd^2$$

$if\quad M>M_c\rightarrow$ یا ابعاد مقطع بزرگ شود یا از فولاد فشاری استفاده شود

$if\quad M<M_c\rightarrow$ ادامه کار به این روش

4- مقدار فولاد را از رابطه زیر بدست می آوریم

$$A_s=\frac{M}{f_{sall}jd}$$

5- درصد فولاد را حساب کنید . $p=\frac{A_s}{bd}$

6- مقدار k را از رابطه زیر بدست می آوریم

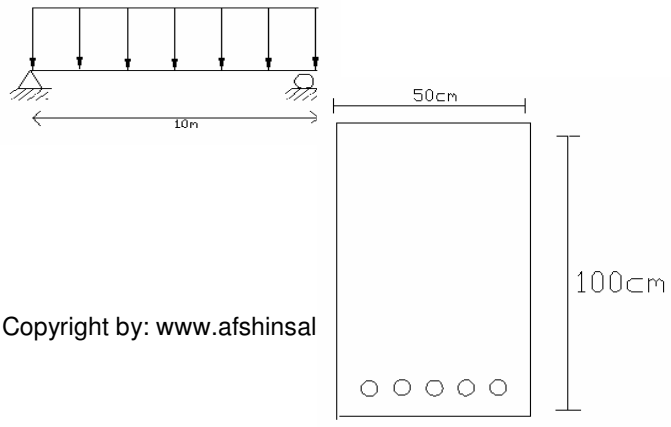
7- $j=1-k/3$ $\qquad$ $k=-pn+\sqrt{pn^2+2pn}$

به مرحله 4 میرویم وعملیات را به صورت گردشی ادامه می دهیم .

مثال)

بدون احتساب وزن تیر ، تیر را برای بارگذاری نشان داده شده به دوش تنش مجاز طراحی کنید .

$W_D=1T/m$
$W_L=2T/m$
$f'_c=200kg/cm^2$
$f_{sall}=1800kg/cm^2$
$f_{call}=90kg/cm^2$



برای آنکه کنترل تیر لازم نباشد $h>\frac{L}{16}$

Copyright by: www.afshinsal

درمثال بالا $b=40cm$, $h=80cm$, $h>\frac{L}{16}=62.5cm$

این مقادیر تخمینی برای تعیین وزن تیر است مقادیر دقیق بعداً بدست می آید

وزن تیر وزن مخصوص بتن

$$W'_D=0.8\times0.4\times2.4=0.768\ ton/m$$

چون روش طراحی به روش تنش مجاز است بارهای بدون ضریب را به کار می بریم .

$$W=1+2+0.768=3.768t/m$$

$$M=\frac{1}{8}WL^2=\frac{1}{8}\times3.768\times10^2=375\ \ ton.m$$

حال ابعاد رابه طوری دقیق محاسبه می کنیم

$$E_c=15100\sqrt{f'_c}=213546$$

$$n=\frac{2.04\times10^6}{213546}=9.6\rightarrow n=10$$

$$f_{call}=0.45f'_c=90kg/cm^2$$

$$r=\frac{f_{sall}}{f_{call}}=\frac{1800}{90}=20 \qquad k=\frac{n}{n+r}=\frac{10}{10+20}0.333$$

$$bd^2=40\times70^2=196000<353250$$

$$b=50cm,d=20cm,h=100cm\rightarrow bd^2=50\times90^2=405000$$

$$405000>353250$$

حال با ابعاد (d,b) جدید کار می کنیم

$$W'_D=0.5\times1\times2.4=102ton/m$$

$$W=1+2+1.2=4.2ton/m$$

$$M=\frac{1}{8}\times4.2\times10^2=52.4ton.m$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

حال ابعاد معلوم شده است ، میخواهیم درصد فولاد راحساب کنیم به حالت دوم برمیگردیم

$$M_c = \frac{f_{call}}{2} kjbd^2 = \frac{90}{2} \times 0.333 \times 0.889 \times 50 \times 90^2 = 54 ton.m$$

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{52.5 \times 10^5}{1.800 \times 0.889 \times 90} = 36.46 cm^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = 0.0081 \qquad k = -pn\sqrt{(pn)^2 + 2pn} = 0.3296$$

با k تنش حالت متعادل متفاوت است .

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.8901$$

$$A_s = \frac{52.5 \times 10^5}{1800 \times 0.8901 \times 90} = 36.41$$

پس ترکیبی از آماتور راانتخاب می کنیم که $A_s = 36.41$ رابه مابدهد

$$(A_s)_{prov} = 39.3 cm^2$$

در آیین نامه حداقل فاصله آزاد آماتورها از هم یا باید 2.5cm ویا به اندازه فاصله قطر آرماتورها باشد

.

طراحی به روش مقاومت نهائی: ultimale strength Design

M_n : ظرفیت اسمی مقطع ظرفیتی است که می تواند تا حد خرابی تحمل کند (حداکثر لنگر قابل تحمل)

$\psi L < \varphi s$ ضریب دار

M_u : مقاومت خمسی مورد نیاز : ا زآنالیز سازه تحت بارهای وارده بدست می آید .

معیار طراحی به روش بار یا مقاومت نهائی : $M_u < \varphi M_n$

$$\varphi = 0.9 \qquad , M_u = \varphi M_n$$

↓

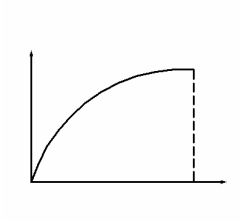
خمش

Copyright by: www.afshinsalari.com

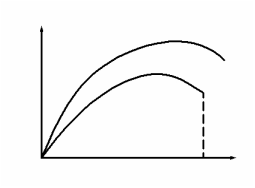
معیار زوال در تیرهای بتنی :

معیار زوال در تیرها آن است که مقدار تغییر شکل نسبی (strain) دردورترین تار فشاری بتن به مقدار $\varepsilon_{cu} = 0.003$ برسد . بعبارت دیگر معیار زوال آن است که بتن خرد شود وقتی خرد می شود که کرنش به مقدار 0.003 وبیشتر از آن برسد .

انواع زوال failure



1- زوال ترد (فشاری) Brittle failure: اول بتن خرد می شود .



2- زوال نرم (کششی) Duetile failure: اول فولاد جاری می شود .

بحث روی چگونگی زوال تیرها بر اساس در صد فولاد کششی

حالت اول : فولاد زیاد ،زوال ترد داریم (ابتدا بتن خرد می شود)

Over reinforced

حالت دوم : فولاد کششی کم ، آغازوال با تسلیم فولادشروع می شود .

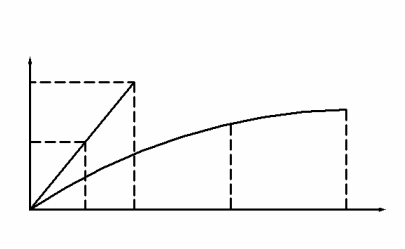
Under reinforced

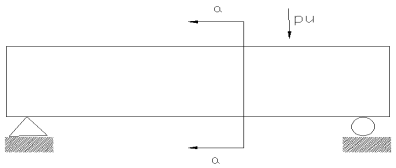
حالت سوم : فولاد کششی خیلی کم زوال به صورت ترد .

Lightly Reinforced

Copyright by: www.afshinsalari.com

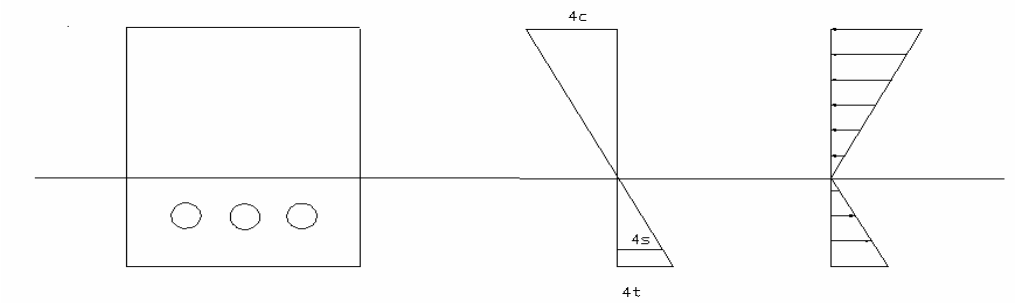
زوال تیرها با فولاد زیاد : failure of under rinforced beam





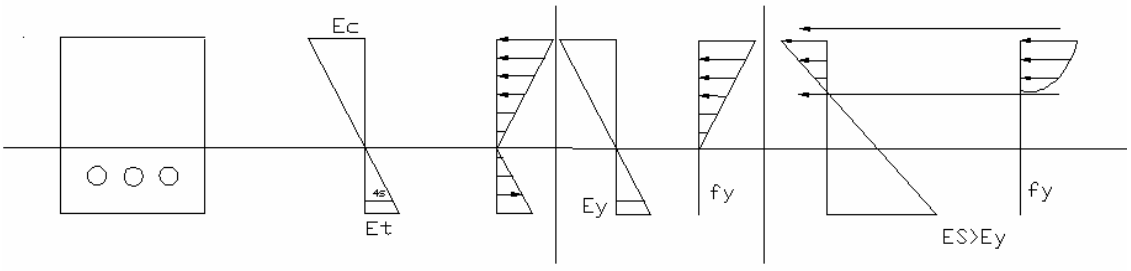
زوال تیرها با فولاد کم : failure of under rincforced beam

بدلیل کم بودن فولاد محل تار خنثی مقدار بالا میرود . برای فولاد کم می توان از رفتار خطی بتن استفاده کرد .



حالت اول : $M<M_{cr}$

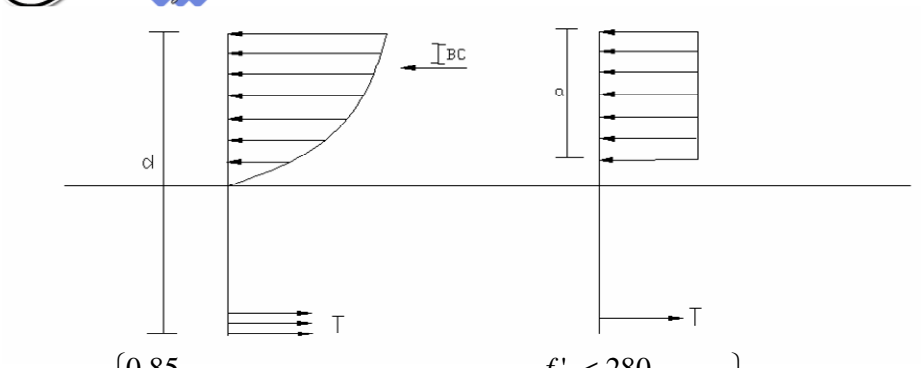
لنگر ایجاد شده — لنگر ترک خورده



اشکال بالا مربوط به رفتار تیر فولادی بافولاد کم می باشد .

$$B=\begin{cases}0.425 & f'c<280kg/cm^2\\ 0.85-0.05\times\dfrac{f'c-280}{70} & 280<f'c<560kg/cm^2\\ 0.325 & f'c>560\end{cases}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com



$$\beta_1 = 2\beta = \begin{cases} 0.85 & f'_c < 280 \\ 0.85 - 0.05 \times \frac{f'_c - 280}{70} & 280 < f'_c < 560 \\ 0.65 & f'_c > 560 \end{cases}$$

$$C = 0.85 f'_c\, ab$$

$$T = A_s F_y = 0.85 f'_c\, ab$$

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c\, b} \qquad c = \frac{a}{B_1}$$

$$M_n = c(d - \frac{a}{2}) = 0.85 f'_c\, ab(d - a/2)$$

$$M_n = t(d - \frac{a}{2}) = A_s F_y (d - a/2)$$

$\rho = \frac{As}{bd} \Rightarrow A_S = \rho bd, \rho =$ در صد فولاد $\qquad \rightarrow a = \frac{\rho f_y\ d}{0.85 f'_c}$

q= tension Reinforcing Index $q = \frac{\rho f_y}{f'_c} \Rightarrow a = \frac{qd}{0.85} \Rightarrow Mn = \rho bdf_y(d - \frac{4d}{1.7})$

$$M_n = \rho bd^2 f_y (1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}) \longrightarrow$$

فرمول دارای کاربردبسیاری

$$M_n = f'_c\ bd^2 (1 - \frac{q}{1.7})$$

$$q = \rho \frac{f_y}{f'_c}$$

مثال)

مقدار ظرفیت باربری اسمی این تیر راحساب کنید . (p_n)

$$f_y = 4200 kg/cm^2, f'_c = 200 kg/cm^2$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$A_s = 12.32cm^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{12.32}{25\times 45} = 0.0/09 \qquad ,M_n = pbd^2 f_y (1-\frac{\rho f_y}{1.7 f'_c})$$

مشروط بر اینکه زوال کششی باشد $M_n = 2004616 = 20.046 \quad ton.m$

پس کنترل می کنیم

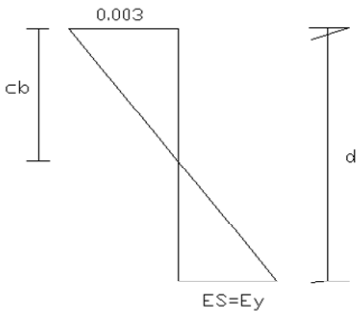
$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{12.32\times 4200}{0.85\times 200\times 25} = 12.175cm$$

$$\beta_1 = 0.85 \rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = 14.324$$

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\varepsilon_s}{d-c} \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{d-c}{c}\times 0.003$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = \frac{45-14.324}{14.324}\times 0.003 = 0.0064$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = 2\times 10^{-3}$$



$$\varepsilon_y = f_y / \varepsilon_s = 4200/2.04\times 10^6 = 0.00206$$

مسئله غلط بوده و مقدار فولاد راباید کم کنیم . $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ پس زوال نرم داریم $\varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow$

$$M_n = \frac{p_n L}{4} \rightarrow p_n = \frac{4M_n}{L} = \frac{4\times 20.046}{5} = 16.037ton$$

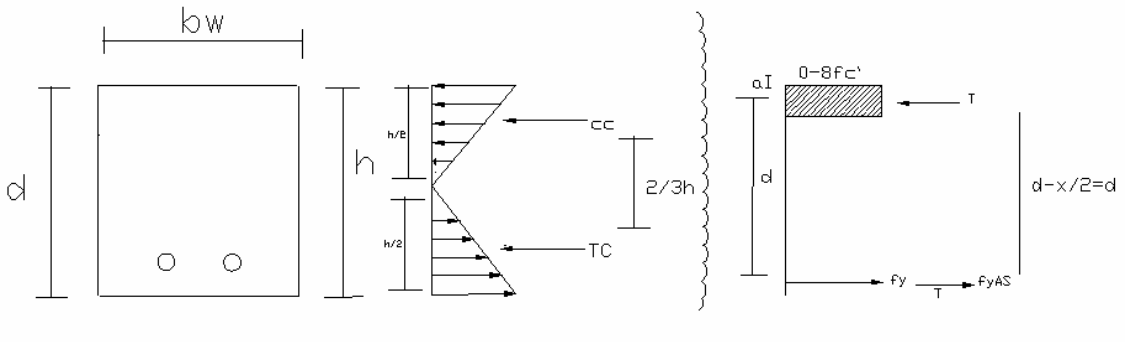
حداقل فولاد کششی :

اگر ظرفیت اسمی یک مقطع از مقدار لنگر ترک خوردگی کمتر باشد در این حالت به محض تر ک خوردن مقطع تیر دچار زوال ناگهانی خواهد شد . $M_n<M_{cr}$

$M_n = M_{cr} \Rightarrow$ حداقل فولاد

Copyright by: www.afshinsalari.com

1- از اثر وجود فولاد در محاسبه M_{cr} صرف نظر می شود .



به علت کم بودن فولاد خیلی ناچیز است .

2- باتوجه به کوچک بودن مقدار a میتوان $d-\frac{a}{2}$ راتقریباً مساوی d فرض کرد .

3- مقدار b وd رایکی در نظربگیریم (تقریباً)

محاسبه ترک خوردگی

$$M_{cr}=T_c\times\frac{2}{3}h\Rightarrow T_c=f_r\times\frac{h}{4}\times b_w\Rightarrow M_{cr}=\frac{f_r.h.b_w}{4}\times\frac{2}{3}\times h=\frac{f_r.b_w.h^2}{6}$$

$$M_{cr\approx}\frac{f_r.b_w.d^2}{6}$$

$$M_n=A_s f_y\left(d-\frac{a}{2}\right)\cong A_s f_y d \qquad ,M_{cr}=M_n\Rightarrow\frac{f_r b_w d^2}{6}=A_s f_y d$$

$$\frac{A_S}{b_w d}=\frac{f_r}{6f_y}\rightarrow\rho=\frac{2\sqrt{f_c'}}{6f_y} \qquad ,f_c'=280\rightarrow\rho=\frac{2.\sqrt{f_c'}}{6f_y}=\frac{5.58}{f_y}$$

$$\rho_{\min}=\frac{2.5\times5.58}{f_y}\rightarrow\rho_{min}=\frac{14}{f_y}$$

آئین نامه AcI:

$$\rho_{\min}=\min\begin{cases}\dfrac{14}{f_y}\\ \dfrac{4}{3}\left(\text{آمدبست}\right.\quad\text{محسبات}\quad\text{فولادي که از}\quad\text{درصد}\end{cases}$$

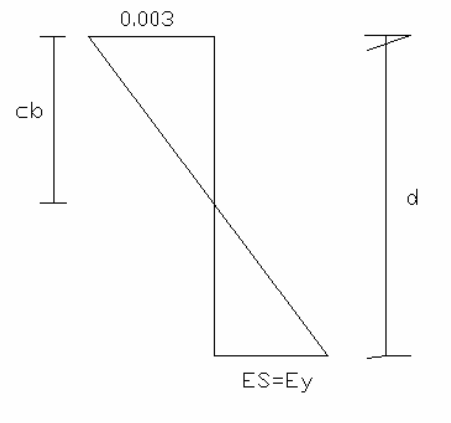
هر کدام کمتر بود به عنوان در صد فولاد به کار می بریم .

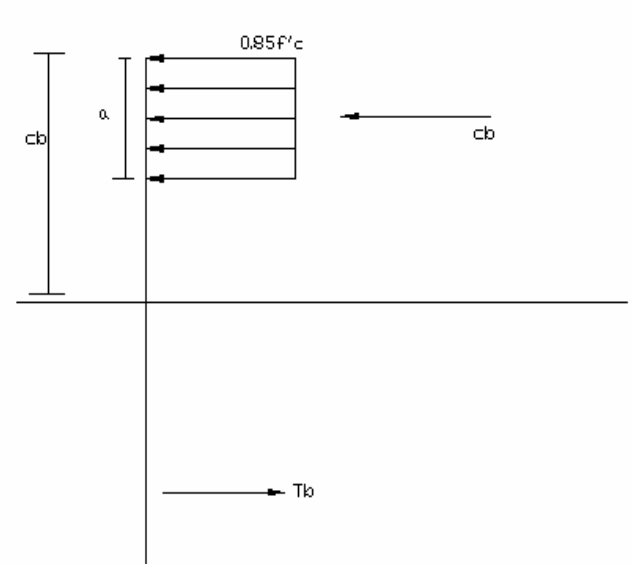
Copyright by: www.afshinsalari.com

مداکثر فولادکششی :

حالت زوال متعادل : Balanced Failure دراین حالت خوردشدن بتن (رسیدن starain بتن به 0.003

)همزمان با تسلیم فولاد رخ خواهدداد.





$$T_b = c_b, A_s F_y = 0.85 f'_c \, a_b d$$

$$T_b = c_b$$

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

$$A_{sb} = \frac{0.85 f'_c \, b_b}{F_y} \rightarrow a_b = \beta_1 c_b \rightarrow A_{sb} = \frac{0.85 f'_c \;\; \beta_1 c_b b}{Fy}$$

$$= \frac{0.85 f'_{cb}}{f_y} \times \frac{6120}{6120 + f_y} d \rightarrow \rho_{_b} = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} = \frac{6120}{6120 + f_y}$$

اگر درصد فولاد بیشتر از این مقدار ρ_b باشدزوال ترد داریم .

اگر درصد فولاد کمتر از این مقدار باشد زوال نرم داریم .

$$\rho_{maX} = 0.75 \rho_b$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

برای مناطق زلزله خیز $\rho_{\max}=0.5\rho_b$

طراحی تیرهای مستطیلی برخمش :

$M_u \le \varphi M_n \rightarrow$ ظابطه کلی تیر برای خمش $\phi=0.9$

فولاد به دست آمده برای مقاطع مستطیلی

$$C=0.85f'_c\,ab$$
$$M_n=c(d-a/2), M_n=0.85f'_c\,ab(d-a/2)$$
$$T=A_sf_y, T=c\rightarrow a=\frac{A_s fy}{0.85f'cb}=\frac{\rho f_y d}{0.85f'_c}$$
$$\rho=\frac{A_s}{bd}$$
$$M_n=\rho bd^2 f_y\left(1-\frac{\rho f_y}{1.7F'c}\right)$$
$$M_u=\phi\rho bd^2 f_y\left(1-\frac{\rho f_y}{1.7f'c}\right)$$

برای مناطق زلزله خیز $\rho_{\max}=\begin{Bmatrix}0.5\rho_b\\0.75\rho_b\end{Bmatrix}$

$$p\min=\begin{Bmatrix}\frac{14}{f_y}\\\frac{4}{3}A_S\end{Bmatrix}$$

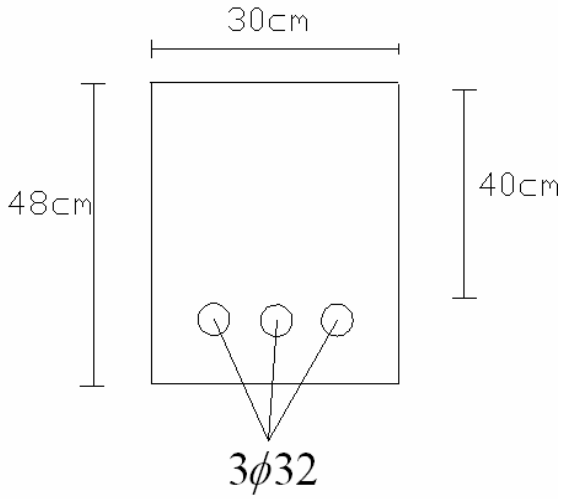
مثال)

حداکثر لنگر فاکتور شده ای که این مقطع می تواند تحمل کند راحساب کنید ؟M u=

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

$f_y=3400kg/cm^2$

راه حل اول



Copyright by: www.afshinsalari.com

$$A_s = 24.15cm^2 \qquad ,\rho = \frac{A_s}{bd} = 0.0201$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{3400} = 0.0041 < \rho = 0.0201 \quad o.k$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b = \frac{0.785\beta_1 f'c}{f_y} = \frac{120}{6120 + f_y} = 0.0205 > 0.020 \qquad O.K$$

$$M_u = \varphi\rho bd = f_y(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}) = 2358878kg.cm$$

$$M_u = 23.58T.m$$

راه حل دوم

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = 16.087cm$$

$$M_n = A_s f_y (d - \frac{a}{z}) = 24.13 \times 3400(40 - \frac{16.087}{7})$$

$$M_u = \varphi M_n = 23.587 \ \ ton.m$$

مثال)

یک مقطع مستطیلی برای لنگرهای فاکتور شده M_u=20 ton.m راطرح کنید.

$$f'_c = 200kg/cm^2 \qquad f_y = 4200kg/cm^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = 0.0033 \qquad \rho_{\max} = 0.75\rho_b = 0.0153$$

حل : $\rho = 0.012 \rightarrow$ **انتخاب**

$$M_u = \varphi\rho bdf_y(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}) \rightarrow 20 \times 10^5 = 0.9 \times 0.012 \times bd^2$$

$$\times 4200(1 - \frac{0.012 \times 4200}{1.7 \times 200})$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

همیشه b کمتر می دهیم تا d بزرگتر به ما بدهد . $bd^2 = 51765cm^3$

$$b = 25cm \rightarrow d = \sqrt{\frac{51765}{25}} = 45.5cm$$
$$take: b = 25cm, d = 45.5cm, h = 50cm$$
$$A_s = \rho bd = 0.012 \times 25 \times 45.5 = 13.6$$
$$A_s = \rho bd = 0.0012 \times 25 \times 45.5 = 13.65$$
$$\sqrt{\frac{13.65}{3} \times \frac{4}{\pi}} = \text{آرماتور} \qquad \text{قطر}$$

$$usE = 3\Phi 24$$

مثال)

یک مقطع مستطیلی برای لنگرهای فاکتور شده $M_u = 20\ ton.m$ را طرح کنید.

$$f'_c = 200\ {kg}/{Cm^2}$$
$$f_y = 4200\ {kg}/{Cm^2}$$

$$\rho_{min.} = \frac{14}{f_y} = 0.0033 \qquad , \rho_{max.} = 0.75\rho_b = 0.0153$$
$$\rho = 0.012$$

انتخابی

$$\Rightarrow bd^2 = 51765\ Cm^3$$

$$b = 25Cm \quad \Rightarrow \quad d = \sqrt{\frac{51765}{25}} = 45.5\ Cm$$

همیشه b کمتر می‌دهیم تا d بزرگتر به ما بدهد.

Take: b = 25 Cm , d = 45.5 Cm , h = 50 Cm

$A_S = pbd = 0.012 \times 25 \times 45.5 = 13.6 \Rightarrow$ **قطر آرماتور** $= \sqrt{\frac{13.65}{3} \times \frac{4}{\pi}}$

Copyright by: www.afshinsalari.com

طراحی یک تیر بتن آرمه با فولاد کششی تنها:

1- مقادیر f'_c و f_y انتخاب شود.

2- بارهای سرویس را تعیین کنید و با اعمال ضرایب بار، بار نهایی را مشخص کنید.

3- حداقل ارتفاع تیر با توجه به ملاحظات تغییر شکل تیرمحاسبه شود.

برای آنکه کنترل خیز (defection) لازم نباشد بایستی حداقل‌های زیر رعایت شود:

طره‌ای	از دو طرف پیوسته	یک طرف ساده و یک طرف پیوسته	دو سر ساده	شرایط تکیه‌گاهی
$2/8$	$L/21$	$L/18.5$	$L/16$	حداقل ارتفاع تیر

$f_y = 42000$, بتن با وزن مخصوص $W_c = 2320$

ضریب اصلاح برای وزن مخصوص بتن:

ضریب اصلاح برای وزن مخصوص بتن = $\max\begin{cases}1.09\\1.65-0.0003W_c\end{cases}$

ضریب اصلاح برای انواع فولاد مصرفی = $0.4+\frac{f_y}{7000}$

4- تحت اثر بارهای نهایی سازه را بصورت الاستیک آنالیز کنید.

5- ابعاد b و h را تعیین کنید.

- ρ_{min} و ρ_{max} را تعیین کنید.
- مقدار P را به گونه‌ای انتخاب کنید که $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
- از رابطه $bd^2 = \frac{M_u}{\varphi\rho f_y\left(1-\frac{\rho f_y}{1.7f'_c}\right)}$
- مقدار b و d را با استفاده از مرحله فوق انتخاب کنید.

6- مقدار فولاد را حساب کنید. $A_S = \rho bd$

Copyright by: www.afshinsalari.com

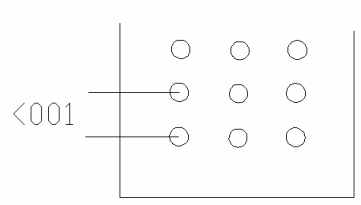
7- با توجه به محدودیت فواصل آرماتورها آرایش مناسبی برای فولادگذاری بدست آورید.

8- کنترل عرض ترک را انجام دهید.

محدودیت فواصل آرماتورها:

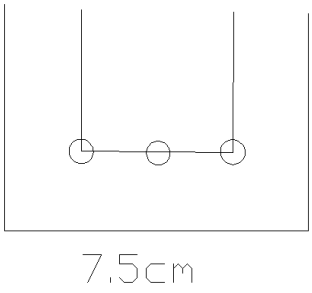
1- حداقل فاصله آزاد آرماتورها در یک ردیف نباشد از db یا 2.5Cm کمتر باشد.

2- فاصله آزاد بین دو ردیف آرماتور نباید از 2.5 Cm کمتر باشد.



3- آرماتورهای ردیف بالا می‌بایستی دقیقاً روی آرماتورهای ردیف زیرین قرار گیرند.

بتن محافظ آرماتور (پوشش روی آرماتور)



حداقل پوشش	شرایط بتن‌ریزی
7.5 Cm	بتنی که روی زمین ریخته می‌شود و در تماس دائم با زمین می‌باشد.
3.8 Cm	بتنی که در معرض هوای خارج باشد
5 Cm	میلگرد Φ18 یا بزرگتر
3.8 Cm	میلگرد Φ16 یا بزرگتر

Copyright by: www.afshinsalari.com

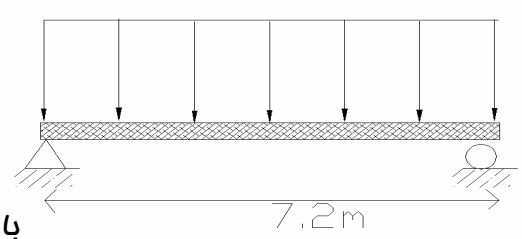
مثال)

یک تیر به دهانه 7.2 m بار فاکتور شده $W_u = 3.310$ ton را تحمل می‌کند ابعاد این تیر و فولاد کششی آن را محاسبه کنید.

$f'_c = 200$ kg/Cm^2 , $f_y = 3400$ kg/Cm^2

$wu = 3.3 \ t/m$

$$mu = \frac{1}{8} W_u L^2 = 21.384 \ t/m$$

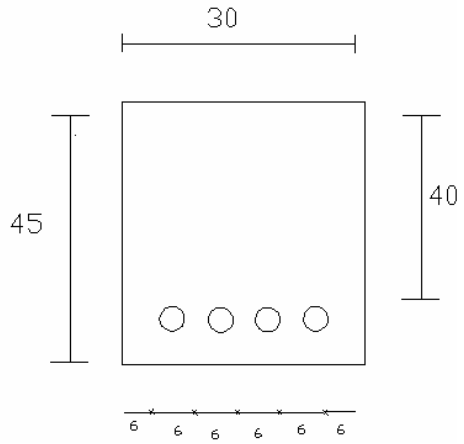


با توجه به جدول

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{7.2 \times 100}{16} = 45 \ Cm$$

مقدار h_{min} را اصلاح می‌کنیم.

$$h_{min} = \left(0.4 + \frac{f_y}{7000}\right) \times 45 = 39.86 \ Cm$$



$\rho_{min} = 0.004 \Rightarrow P = 0.012$

$\rho_{max} = 0.0205$

$$bd^2 \frac{M_u}{\varphi p f_y \left(1 - \frac{p f_y}{1.7 f'_c}\right)} = 47349 \ Cm^3$$

b = 30 Cm $\Rightarrow$ d = 39.73 Cm

b = 30 Cm , d = 40 Cm , h = 45 Cm > 3086

$A_S = \rho bd = 14.4$ Cm^2

USE = 4 Φ 22

پس نیازی به کنترل defection نخواهیم داشت.

در صورتیکه ابعاد تیر مشخص باشد، درصد فولاد چقدر است؟

Given: b, d, h, f′c, f′y, M_u Req: ρ , A_S

Copyright by: www.afshinsalari.com

روش اول:

$$M_u = \varphi\rho bd^2 f_y\left(1-\frac{\rho f_y}{1.7f_c'}\right)$$

$$\frac{M_u}{\varphi\rho bd^2 f_y} = k_1 \quad , \quad \frac{f_y}{1.7f_c'} = k_2$$

باید از درصد فولاد max بیشتر نباشد ولی اگر کمتر بود از ρ_{min} باید بیشتر باشد و اگر کمتر بود از ¾ استفاده می‌شود.

$$k_1 = \rho(1-k_2\rho) \Rightarrow k_2 p^2 - \rho + k_1$$

$$\rho = \frac{1-\sqrt{1-4k_1k_2}}{2k_2}$$

روش دوم (روش سعی و خطا):

1- برای بازوی لنگر d- $a/2$ یک تخمین اولیه باید زده شود (0.85d)

2- A_S اولیه را حساب کنید.

$$A_S = \frac{M_u}{\varphi f_y\left(d-a/2\right)}$$

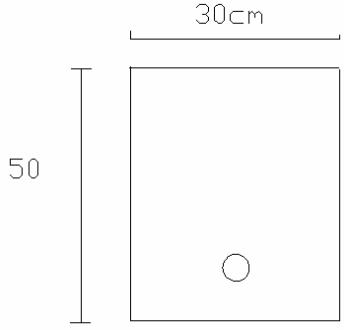
3- براساس A_S مقدار a را بدست آورید.

$$a = \frac{A_S\ f_y}{0.85f_c'\ b}$$

4- مقدار $d-a/2$ را محاسبه کنید و به مرحله 2 بروید.

مثال)

$$M_u = 25t.m$$
$$f_c' = 200kg/cm^2$$
$$f_y' = 2800kg/cm^2$$



Copyright by: www.afshinsalari.com

روش اول:

$$k_1 = \frac{M_u}{\varphi \rho b d^2 f_y} = 0.01323$$

$$k_2 = \frac{f_y}{1.7 f_c'} = 0.2353$$

$$\rho = \frac{1-\sqrt{1-4k_1k_2}}{2k_2} = 0.0157$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy} = 0.005 < 0.0151 \qquad o.k$$

$$\rho_{max} = 0.0266 > P = 0.0151$$

$$As = \rho bd = 22.65\ Cm^2$$

روش دوم:

$$d - a/2 = 0.85d = 42.5\ Cm$$

$$A_S = \frac{mu}{\phi fy\left(d - a/2\right)} = 23.34\ Cm^2$$

$$a = \frac{A_S\ f_y}{0.85 f_c' b} = 12.816\ Cm$$

$$d - a/2 = 43.592$$

$$AS = 22.75 \quad , \quad a = 12.494$$

$$d - a/2 = 43.753 \quad , \quad A_S = 22.67 \quad , \quad a = 12.449$$

طراحی تیرهای بتن آرمه با فولاد فشاری Compassion stell

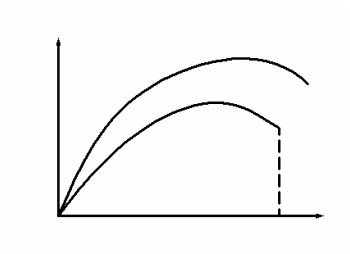
در صورتیکه لنگر خمشی وارد بر تیر از ظرفیت خمشی تیر با فولاد کششی تنها که در آن حداکثر فولادکششی بکار رفته است بیشتر باشد برای تحمل لنگر دو راه حل داریم:

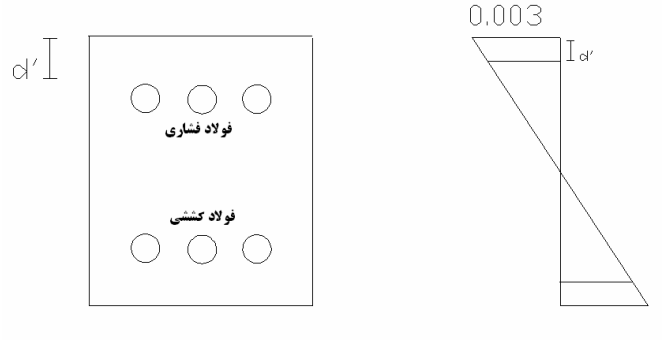
Copyright by: www.afshinsalari.com

$$\rho = \frac{A_S}{bd} < \rho_{\max} = 0.75\ \rho_b$$

1- ابعاد تیر را بزرگ کنیم.

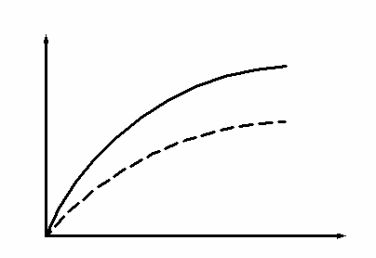
2- از فولاد فشاری در ناحیه فشاری تیر استفاده کنیم.

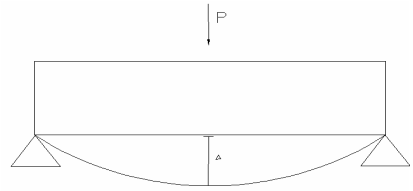




وجود فولاد فشاری از مقدار خزش Greep می‌کاهد در تیرهایی که فولاد فشاری داشته باشیم تغییر مکان‌های دراز مدت کاهش پیدا می‌کند.

اگر از فولاد فشاری بدون آنکه مقدار فولاد کششی را افزایش دهیم استفاده شود. ظرفیت مقطع افزایش پیدا نمی‌کند ولی انعطاف پذیری مقطع یا Puctility افزایش پیدا می‌کند.





اگر فولاد فشاری برای افزایش ظرفیت مقطع بکار رود و بایستی به اندازه فولاد فشاری به فولاد کششی اضافه کنیم. در اینحالت انعطاف‌پذیری مقطع کم خواهد شود زیرا فولاد کششی اضافه می‌شود و باعث زوال‌تر می‌شود و انعطاف‌پذیری کم می‌شود.

استفاده از فولاد فشاری در مقطع دو مسئله زیر را به همراه دارد.

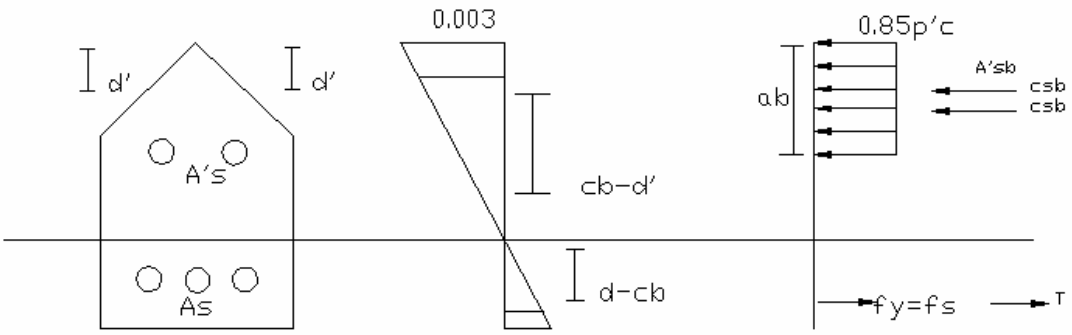
- تراکم فولادهای کششی خیلی زیاد می‌شود.

- هر چه قطر آرماتور بزرگتر باشد مسئله عرض ترک وضعیت بدتری را ایجاد می‌کند و لذا بایستی از آرماتور با قطر کم‌تر و تعداد زیاد استفاده کنیم.

Copyright by: www.afshinsalari.com

تعیین مقدار حداکثر فولاد در حالت کلی

روش زیر برای مقاطع مستطیلی و غیر مستطیلی که در آن فولاد فشاری و کششی داریم صادق می‌باشد.



با فرض اینکه زوال متعادل است.

مراحل کار :

1- زوال بالانس وقتی اتفاق می‌افتد که همزمان با رسیدن بتن به کرنش 0.003 دور تمرین فولاد کششی نسبت به کار خنثی به حالت جاری شدن و تسلیم c برسد ($f_s = f_y$).

2- موقعیت کار خنثی را حساب کنید.

$$C_b = \frac{6120}{f'_y + 6120} d$$

3- a_b را حساب می‌کنیم.

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b$$

4- مقدار Strain در فولاد فشاری را حساب کنید.

$$\varepsilon'_{sb} = 0.003 \left(\frac{C_b - d'}{C_b} \right)$$

هر چه d' کوچکتر بود باشد b و ε'_s به 0.003 نزدیکتر می‌شود.

$$f'_{sb} = \min \begin{cases} \varepsilon'_{sb} E_s \\ f_y \end{cases} \qquad \text{or} \qquad f'_{sb} = \min \begin{cases} \varepsilon'_{sb} E_s & if \quad \varepsilon'_s < \varepsilon_y \Rightarrow \varepsilon_y = \dfrac{f_y}{E_s} \\ f_y & if \quad \varepsilon'_s < \varepsilon_y \end{cases}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

5- برایند نیروهای فشاری بتن و فولاد را حساب کنید.

$C_{cb} = 0.85\, f'_c\, A_c \quad , \quad C_{sb} = A's\, f'_s b$

6- مقدار نیروی کششی در فولاد کششی را حساب کنید و برحسب cAs و با استفاده از معادله تعادل در جهت x مقدار AS را محاسبه کنید:

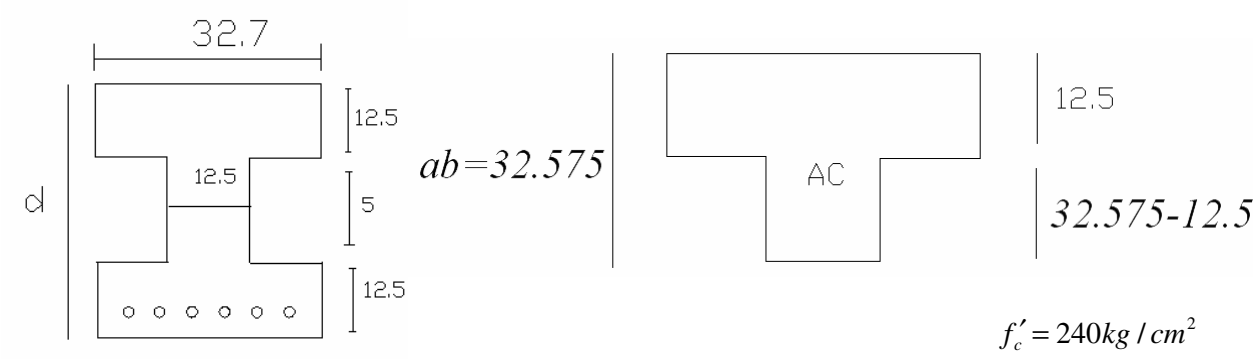
$T_s = A_{sb}\, f_y$

$T_s = C_{cb} + C_{sb} \Rightarrow A_{sb} = \dfrac{C_{cb} + C_{sb}}{fy} = \dfrac{c_c}{f_y} + \dfrac{c_s}{f_y}$

$A_{smax} = \dfrac{0.75 C_c}{f_y} + \dfrac{C_s}{f_y}$

مثال)

برای مقطع نشان داده در زیر فولاد کششی متعادل را حساب کنید.



$f'_c = 240 kg/cm^2$

$f_y = 4800 kg/cm^2$

$d = 68.75 cm$

$c_b = \left(\dfrac{6120}{6120 + f_y}\right) d = 38.53\ Cm$

$a_b = 0.85 c_b = 32.575\ \text{cm}$

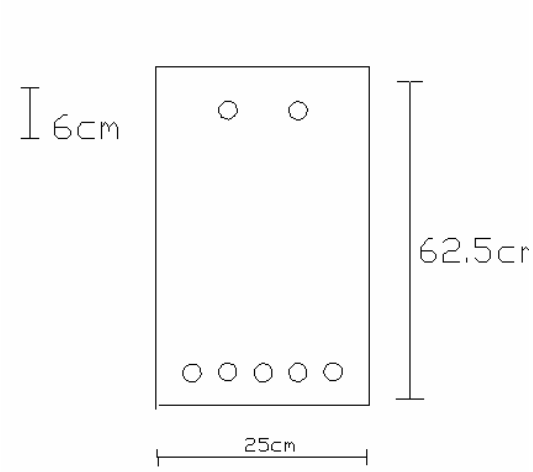
$A_c = 12.5 \times 37.5 + (32.575 - 12.5) \times 12.5 = 121.875\ \text{cm}^2$

$C_c = 0.85\, f'c\, Ac = 0.85 \times 240 \times 721.875$

$C_c = A_{sb}\, f_y \Rightarrow A_{sb} = \dfrac{C_c}{f_y} = 30.68\ Cm^2 \qquad A_{smax} = 0.75\, A_{sb} = 0.75 \times 30.68 = 23.01\ \text{Cm}^2$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)



حل:

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

$f_y = 4000\ kg/cm^2$

$$c_b = \frac{6120}{6120 + f_y} \times d = 37.769\ \ cm$$

$a_b = 0.85\ c_b = 32.127\ cm$

$$\varepsilon'_{sb} = \left(\frac{c_b - d'}{c_b}\right) 0.003 = 0.0025$$

$$f'_s = \min\begin{cases} \varepsilon'_s E_s = 0.0025 \times 2.04 \times 10^6 = 5148 \\ f_y = 4000 \end{cases} \Rightarrow f'_s = 4000\ kg/cm^2$$

$C_c = 0.85\ f'c\ a_b\ b = 136540\ kg$

$C_s = A'_s\ f'_s = 12.32 \times 4000 = 49280\ \ kg$

$$T = C_c + C_s \Rightarrow\ A_{sb} = \frac{C_c}{f_y} + \frac{C_s}{f_y}$$

$$A_{sb} = \frac{136540}{4000} + 12.32 \Rightarrow Asb = 46.5\ \ Cm^2$$

$$A_{s_{max}} = 0.75\ \frac{C_c}{f_y} + \frac{C_s}{f_y} = 37.91 cm^2$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

تذکر در مورد مقاطع مستطیلی

درصد فولاد فشاری $\rho' = \frac{A'_s}{bd}$

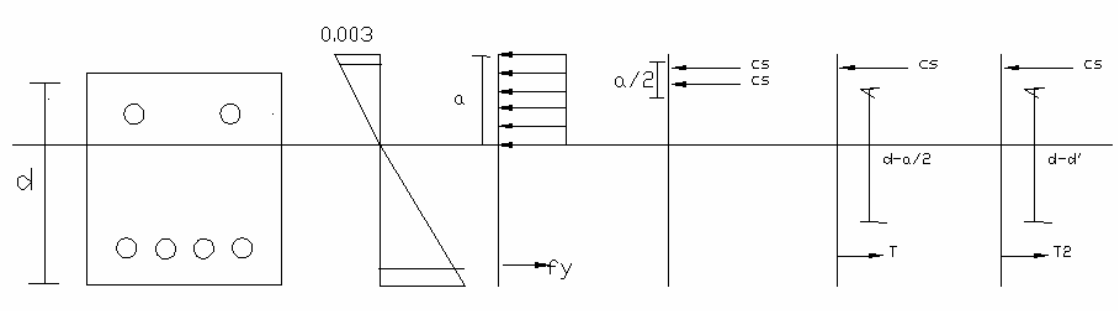
درصد فولاد کششی $\rho = \frac{A_s}{bd}$

اگر فولاد کششی داشته باشیم $\rho_{max} = 0.75\ \rho b$

اگر فولاد فشاری هم داشته باشیم $\rho_{max} = \rho_{lim} = 0.75\ \rho b + \rho' = \frac{f'_s}{f_y}$

$$A_{S_{max}} = 0.75\frac{C_c}{f_y} + \frac{C_s}{f_y}$$

طراحی تیر با فولاد فشاری



$T_1 = f_y \cdot A_{s1}$

$T_2 = f_y \cdot A_{s_2}$

$M_n = M_1 + M_2$

$M_u = \varphi M_n = \varphi (M_1 + M_2)$

پیدا کردن فولادهای فشاری و کششی یک مقطع

Given: b, d, d′, f_y, f'_c, M_u Req : A'_s, A_s

1- مقدار لنگر m_1 و حداکثر لنگری که مقطع می‌توان بدون فولاد فشاری تحمل کند، را حساب کنید.

Copyright by: www.afshinsalari.com

$\rho_{max} = 0.75\rho_b$

$$M_1 = \rho_{max} b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho_{max} f_y}{1.7 f_c'}\right)$$

2- مقدار ϕM_1 را با M_u مقایسه کنید.

$M_u < \varphi M_1 \Rightarrow$ نیاز به فولاد فشاری نیست

$M_u > \phi M_1 \Rightarrow$ فولاد فشاری لازم نیستی، ادامه مراحل زیر

$$M_2 = \frac{M_u}{\varphi} - M_1$$

3- مقدار نیروی کششی T_2 را حساب کنید.

$$M_2 = T_2(d - d') = C_s(d - d')$$

$$\Rightarrow \quad T_2 = \frac{M_2}{d - d'}$$

و از روی آن مقدار As_2 را محاسبه کنید.

$$A_{s2} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{M_2}{f_y(d - d')} \qquad A_{s2} = \frac{T_2}{f_y}$$

4- فولاد کششی کل را حساب کنید.

$A_{s1} = \rho_{max}\, bd$ or $A_{s1} = {M_1}/{f_y(d - a/2)}$

5- موقعیت کار خنثی را مشخص کنید.

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{cb}'} \quad \Rightarrow \quad c = \frac{a}{\beta_1}$$

6- مقدار Strain در فولاد فشاری را محاسبه کنید.

$$\varepsilon_s' = 0.003\left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$$f_s' = \min\begin{cases}\varepsilon_s' E_s \\ f_y\end{cases}$$

7- مقدار فولاد فشاری را حساب کنید.

$$T_2 = C_s \Rightarrow A_{s_2} f_y = A_s' f_s' \Rightarrow A_s' = A_{s2}.\frac{f_y}{f_s'}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

تعیین ظرفیت یک مقطع با فولاد فشاری

Given: b, d, A_s, A'_s, f'_c, f_y, d Req: M_n

1- مقادیر حداکثر و حداقل در کنترل کنید.

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{max} = \rho_{lim} = 0.75\,\rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y}$$

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

2- با فرض آنکه فولاد فشاری به حد تسلیم رسیده باشد.

$C_s = A'_s\, f'_c = A'_s\, f_y$

$$T = A_s f_y = C_s + C_c = A'_s f_y + 0.85 f'_c .\, a\, .b$$

$$a = \frac{(A_s - A'_s)\, fy}{0.85\ f'_{cb}} \quad \text{or} \quad A_c = \frac{(A_s - A'_s)\, f_y}{0.85\ f'_c}$$

در مقاطع مستطیلی $\Rightarrow$ $A_c = a\ .\ b \Rightarrow a = \frac{A_c}{b}$ $C = \frac{a}{\beta_1}$

3- کنترل جاری شدن فولاد فشاری.

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c - d'}{c}\right) 0.003$$

حالت اول :

$$\varepsilon'_s > \varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} \Rightarrow o.k$$

فرض تسلیم فولاد فشاری درست بوده لذا

$$M_n = 0.85 f'_c ab \left(d - {}^{a}\!/_{2}\right) + A'_s\, f_y\, (d - d')$$

حالت دوم:

$$\varepsilon'_s < \varepsilon_y \quad \Rightarrow \text{Not good}$$

فرض تسلیم فولاد فشاری درست نبوده لذا

4- برای c یک مقدار حدس زده می‌شود.

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0.003 \qquad , \qquad a = B_1 c$$

$$f'_s = E_s \ \ \varepsilon'_S$$

5- برآیند نیروی فشاری و کششی فولاد و بتن را حساب کنید.

$$T = A_s \ \ f_y$$

$$C_s = A'_s \ \ f'_y$$

$$C_c = 0.85 f'_c \ ab$$

6- کنترل درست بودن c انتخابی.

$T \cong cc + cs$ $\Rightarrow$ c انتخابی درست بوده (گام 1)

$T < cc + cs$ $\Rightarrow$ c انتخابی غلط بوده ، c کوچکتر انتخاب (گام 4)

$T > cc + cs$ $\Rightarrow$ c انتخابی غلط بوده ، c بزرگتر انتخاب (گام 4)

7- تعیین ظرفیت مقطع.

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

مثال)

Given: $\text{Mu} = 27 \text{ t.m}, b = 25\,Cm, d = 40\,Cm \ , d' = 5\ Cm, f'_c = 200 kg/cm^2, f_y = 3400 kg/cm^2$

Req: $A's = ?, As = ?$

حل:

$$\rho_{\max} = 0.75\ \rho_b = 0.75 \times 0.85\ \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{6120}{6120 + f_y} = 0.0205$$

$$A_{s1} = \rho_{\max}\ \text{b . d} \ = 20.41 \ \ \text{Cm}^2$$

$$M_1 = \rho_{\max} \ bd^2 \ \ fy\left(1 - \frac{\rho_{\max} f_y}{1.7 \ f'_c}\right) = 221646 \ kg.cm = 22.16 t.m$$

$$\frac{M_u}{\varphi} = \frac{27}{0.9} = 30 \ t.m \ > M_1 = 22.16$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

پس بایستی از فولاد فشاری استفاده شود.

$$M_2 = \frac{M_u}{\varphi} - M_1 = 30 - 22.16 = 7.84\ t.m$$

$$T_2 = \frac{M_2}{d - d'} = \frac{7.84 \times 1.5}{40 - 5} = 22387\ \text{kg}$$

$$A_{s2} = \frac{T_2}{f_y} = 6.58\ Cm^2$$

$$a = \frac{A_{s1}\ f_y}{0.85 f'_{cb}} = 16.392\ Cm \Rightarrow\ c = {}^{a}\!/_{\beta_1} = 19.285\ Cm$$

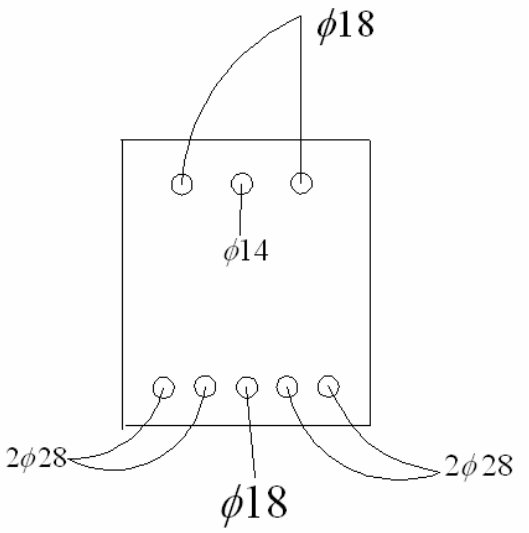
$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0.003 = 0.0022$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = 0.0017 < \varepsilon'_s$$

$$A'_s = A_{s_2} \frac{f_y}{f'_s} = A_{s_2} = 6.58\ Cm^2$$

$$A_s = 4\Phi 28 + 1\Phi 18 \Rightarrow A_s = 27.17\ Cm^2$$

$$A_s = 2\Phi 18 + 1\Phi 14 \Rightarrow A'_s = 6.63\ Cm^2$$



راه حل دوم:

$$c_b = \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \times d$$

$$c_b = \left(\frac{6120}{6120 + 3400} \right) \times 40 = 25.7 \Rightarrow a_b = 0.85\ c_b = 21.86\ Cm$$

$$c = T \Rightarrow A_{sb}\ f_y = 0.85\ f'_c\ A_c \Rightarrow A_{sb} \times 3400 = 0.85 \times 21.86 \times 25$$

$$\Rightarrow A_{sb} = 27.3\ Cm^2 \Rightarrow \overline{A}_{s_{\max}} = 0.75\ A_{sb} = 20.49\ Cm^2$$

$$C = T \Rightarrow \overline{A}_{s_{\max}} f_y = 0.85\ f'_c (a_{\max} \times 25) \Rightarrow a_{\max} = 16.392\ Cm$$

$$M_1 = 0.85 f'_c \times 16.392 \times 25 \times \left(40 - \frac{16.392}{2} \right) = 22.16\ t.m$$

$$M_2 = \frac{M_u}{\varphi} - M_1 = \frac{27}{0.9} - 22.16 = 7.84\ t.m$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$\varepsilon'_s = \frac{c-d'}{c}\times 0.003 = 0.0022 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} = 0.0017$$

$f'_s = f_y$ **فولاد فشاری تسلیم شده**

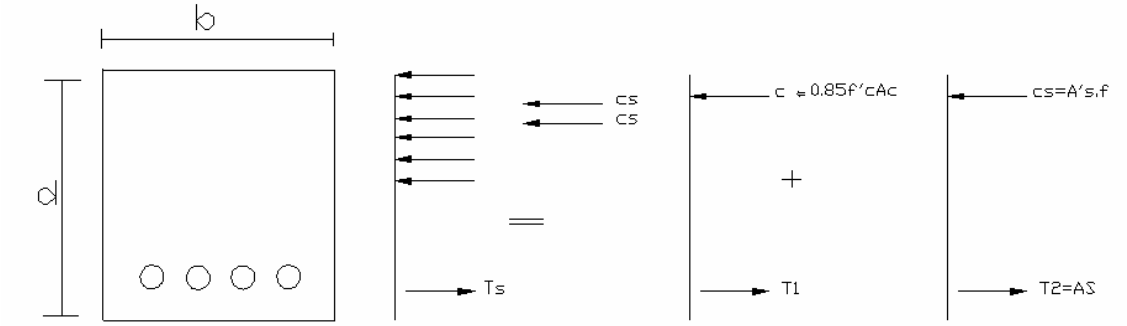
$$M_2 = A_s\, f_y\,(d-d') = A'_s\, f'_s(d-d') \Rightarrow$$

$$A_s = \frac{M_2}{f_y(d-d')} = \frac{7.84\times 1.5}{3400\times(40-5)} = 6.59\ Cm^2$$

$$A'_s = \frac{M_2}{f'_s(d-d')} = \frac{7.84\times 1.5}{3400\times(40-5)} = 6.59\ Cm^2$$

$A_s = A_s + \overline{A}_{s_{max}} = 6.59 + 20.49 = 27.1\ Cm^2$

$A'_s = 6.59\ Cm^2$



مثال)

Given:

b = 25 Cm,f'_c = 200 kg/cm^2 ,d = 40 Cm,f_y = 3400 kg/cm^2

d′ = 5 Cm ,As = 27.17cm^2 , A′s = 6.63

Req: m_u=?

حل: با فرض تسلیم فولاد فشاری داریم :

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$a=\frac{(A_s-A'_s)\,f_y}{0.85\,f'_c\cdot b}=16.432\ \ Cm$$

$$c=a/\beta_1=19.332\ \ Cm$$

$$\varepsilon'_s=\frac{c-d'}{c}\times 0.003=0.0022>\varepsilon_y=0.0017\ \Rightarrow \text{o.k}$$

فرض تسلیم فولاد فشاری صحیح می‌باشد.

$M_n = 0.85\ f'c\ ab\ (d - a/2) + A's\ fy\ (d-d')$

$M_n = 3008637\ kg.cm$

$M_u = \varphi\ M_n = 27.078\ \ ton.m$

مثال)

Given: $b = 30\ cm, f'c = 200\ kg/cm^2, d = 45\ cm, fy = 3400\ kg/cm^2$

$d' = 5\ Cm, A_s = 18.47 cm^2, A'_s = 12.32\ cm^2$

Req: M_u=?

حل:

$$\rho=\frac{A_s}{bd}=\frac{18.47}{30\times 45}=0.0137$$

با فرض تسلیم فولاد فشاری داریم:

$$a=\frac{(A_s-A'_s)\,f_y}{0.85\,f'_c}=4.1\ \text{Cm}\ <\ 5\ \text{Cm}\ \Rightarrow$$

می‌توانیم همینجا نتیجه بگیریم که فرض تسلیم فولاد فشاری غلط می‌باشد.

$$c=\frac{a}{\beta_1}=\frac{4.1}{0.85}=4.82\ \ Cm$$

$$\varepsilon'_s=\frac{c-d'}{c}\times 0.003=-0.0001<\varepsilon_y=0.0017\Rightarrow \text{Not good}$$

پس فرض تسلیم فولادی فشاری غلط می‌باشد.

پس مسئله را به روش سعی و خطا حل می‌نماییم.

c را بزرگتر از این عدد انتخاب می‌کنیم که c انتخابی در این مسئله 10 می‌باشد داریم:

انتخاب اول

$c = 10$

$a = 8.5\ Cm$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$\varepsilon'_s = \frac{c-d'}{c} \times 0.003 = 0.0015 < \varepsilon_y = 0.0017$$

$$f'_s = 2.04 \times 10^8 \times 0.0015 = 3060 \text{ kg/Cm}^2$$

$$T = A_s \ f_y = 18.47 \times 3400 = 62798kg$$

$$C_s = A'_s f'_s = 12.32 \times 3060 = 37699 \text{ kg}$$

$$C_c = 0.85 f'_c \ a \ . \ b = 43350\text{kg}$$

$C_c + C_s = 81019 > T \Rightarrow$ c کوچکتر باید انتخاب شود

انتخاب دوم

$c = 7.821$ Cm

$a = 6.648$ Cm

$\varepsilon'_s = 0.00108$

$f'_s = 2207$

$T = 62798$ $\quad M_n = C_c (d - \frac{a}{2}) + C_s (d - d')$

$C_c = 35600$ $\quad M_n = 25.713$ t.m

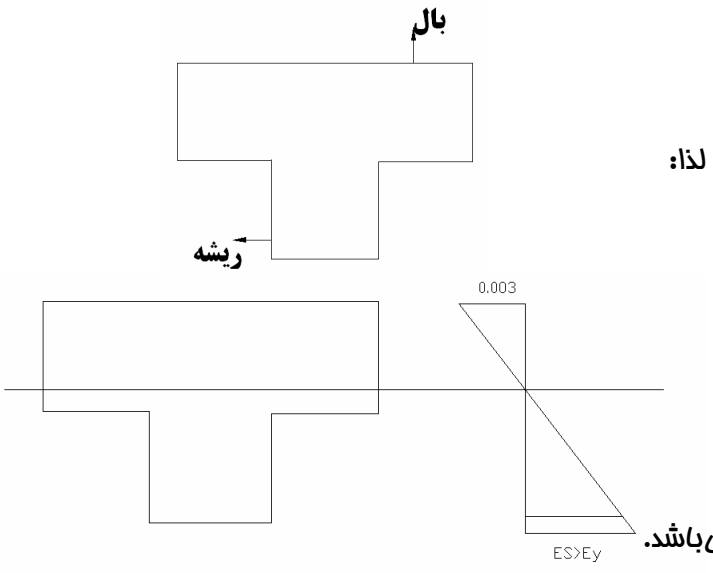
$C_s = 27190$

$C_c + C_s = 62790$ kg

می‌توانیم از روش زیر برای مقاطعی که مستطیلی هستند نیز برای بدست آوردن c استفاده کنیم:

$$A'_s E_s = \frac{c-d'}{c} \times 0.003 + 0.85 f'_{cb} \frac{c}{\beta_1} = A_s f_y$$

تیرهای T شکل



مزیت تیرهای τ شکل داشتن بال پهن می‌باشد لذا:

1- مساحت بتن تحت اثر فشار بزرگ می‌شود.

2- بلوک فشاری دارای ارتفاع کمی خواهد بود.

3- صرفه‌جویی در مصرف بتن.

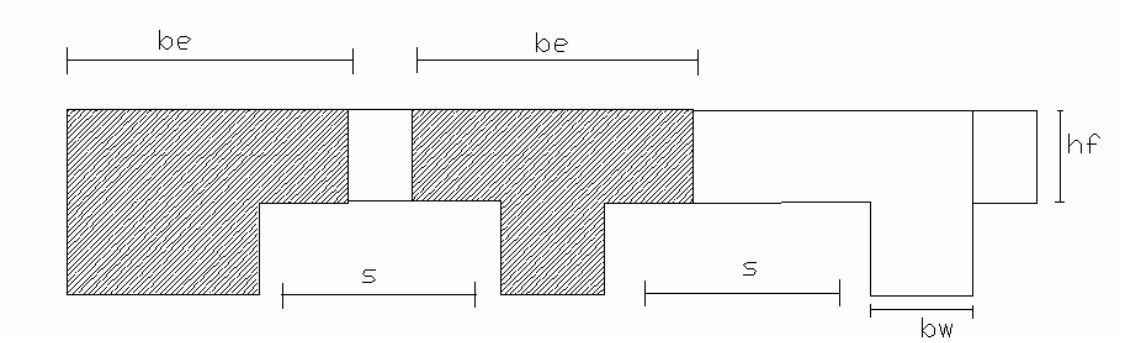
4- کاهش بار مرده بتن.

پس اکثر زوال در تیر τ شکل، کششی یا فرم می‌باشد.

Copyright by: www.afshinsalari.com

پهنای مؤثر بال

پهنای مؤثر پهنایی از بال تیر T شکل است که توزیع یکنواخت نقش فشاری روی این پهنا نیـروی برآیندی برابر با برآیند توزیع واقعی فشار ایجاد کند.



حالت کلی:

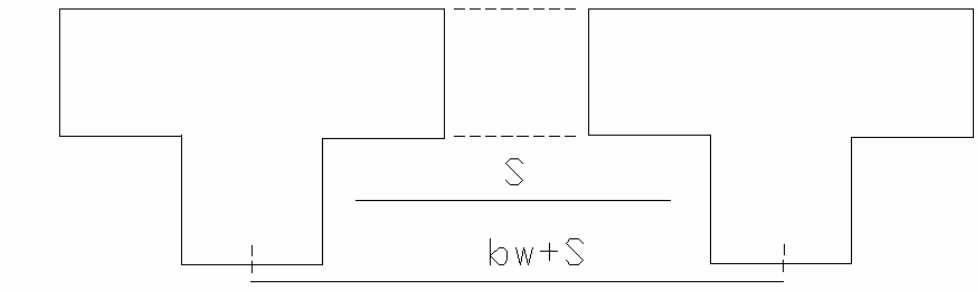
L = دهانه تیر

1) تیرهای کناری : $b_e = \min\begin{cases} b_w + L/12 \\ b_w + 6h_f \\ b_w + s/2 \end{cases}$

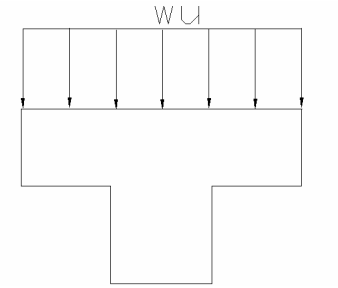
2) تیرهای میانی : $b_e = \min\begin{cases} L/4 \\ b_w + 16h_f \\ b_w + s \end{cases}$

3) تیرهای T شکل : $\begin{cases} h_f \le b_w / 2 \\ b_e \le 4b_w \end{cases}$

محاسبه فاصله آرماتور عرضی در بال تیرهای T شکل مجزا



Copyright by: www.afshinsalari.com



حداکثر فاصله آرماتورها $S_{\max} = \min\begin{cases} 6h_f \\ 45\ Cm \end{cases}$

همچنین باید کنترل شود که فولاد حاصل از مقدار فولاد افت و حرارت کمتر نباشد.

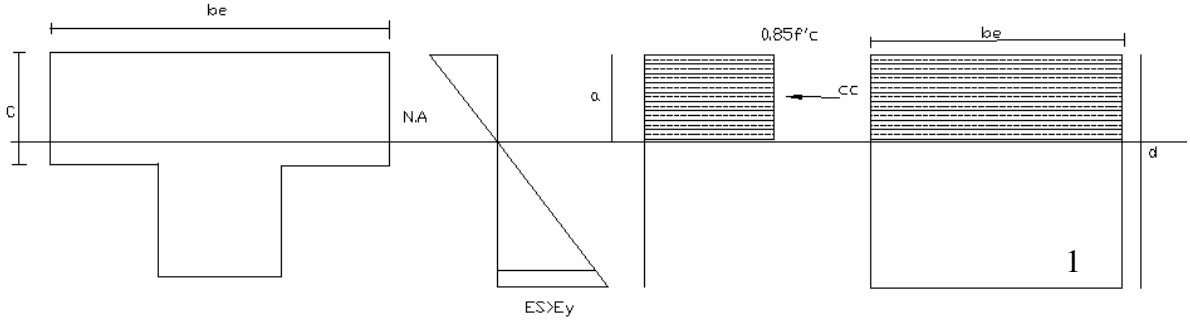
مقدار حداقل فولاد کششی در تیرهای T شکل

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} \quad , \quad A_{s\min} = \rho_{\min} b_w d$$

بدون فولاد فشاری $A_{smax} = 0.75\ A_{sb} = 0.75\ C_c/f_y$

طراحی تیرهای T شکل

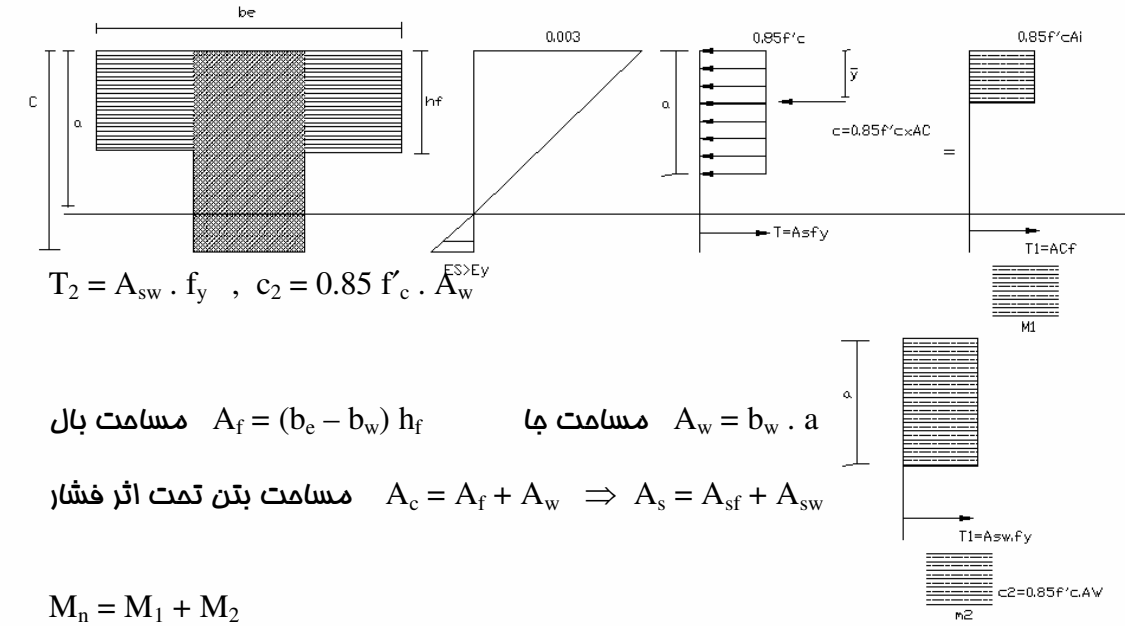
1- بلوک فشاری کاملاً در بال تیر قرار می‌گیرد: $a \le h_f$



در این حالت برای طراحی یا آنالیز نیز می‌توان از روابط مربوط به مقطع مستطیلی به پهنای b_e استفاده کرد.

2- بلوک فشاری در بال قرار نگیرد. $a > h_f$

Copyright by: www.afshinsalari.com



$T_2 = A_{sw} \cdot f_y \quad , \quad c_2 = 0.85\, f'_c \cdot A_w$

مساحت بال $A_f = (b_e - b_w)\, h_f$ مساحت جا $A_w = b_w \cdot a$

مساحت بتن تحت اثر فشار $A_c = A_f + A_w \Rightarrow A_s = A_{sf} + A_{sw}$

$M_n = M_1 + M_2$

$M_1 = 0.85\, f'c\ A_f \left(d - \frac{h_f}{2}\right)$

$M_2 = 0.85\, f'c\ A_w \left(d - \frac{a}{2}\right)$

تعیین مقدار حداکثر فولاد کششی برای تیر T شکل

1- حالت زوال متعادل را در نظر می‌گیریم و مقادیر a_b و c_b را حساب می‌کنیم.

$$c_b = \left(\frac{6120}{6120 + f_y}\right) \times d \quad , \quad a_b = \beta_1 - c_b$$

2- اگر $a_b < h_f$ می‌توان از روابط مقطع مستطیلی به پهنای be و ارتفاع d استفاده کرد.

$$\rho_b = \frac{0.85\, f'c.\beta_1}{f_y} \quad \frac{6120}{6120 + f_y} \quad , \quad \rho_{max} = 0.75\, \rho_b$$

$A_{smax} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$

3- اگر $a_b > h_f$ از روابط مربوط به مقطع τ شکل باید استفاده کرد.

I) مقدار C_{cb} را حساب کنید.

$C_{cb} = (A_w + A_f)\ (0.85\, f'_c)$

$A_f = (b_e - b_w)\, h_f$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$A_w = b_w \cdot a$

II) مقدار A_{sb} را حساب کنید.

$$T_b = A_{sb}.f_y = C_{cb} \Rightarrow A_{sb} = \frac{0.85 f'_c}{f_y} = (A_w + A_f)$$

$A_{smax} = 0.75\ A_{sb}$

محاسبه ظرفیت خمشی یک تیر T شکل

Given: b_e, b_w, h_f, d, fy, f'c,A_s

Req: mn

1- مقدار فولاد کششی را کنترل می‌کنیم.

$A_{smin} < A_s < A_{smax}$

2- مقدار a را حساب کنید.

$$a = \frac{A_s\ f_y}{0.85\ f'_c b_e} \Rightarrow \begin{matrix} a < h_f \\ a > h_f \end{matrix}$$

$a<h_f$: مقطع مستطیلی است ، $a>h_f$: تیر به صورت τ عمل می‌کند

اگر تیر به صورت T شکل عمل کند.

$A_c = A_w + A_f$

$T = c \ \Rightarrow\ A_s\ f_y = 0.85\ f'_c\ A_c\ \Rightarrow$

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

$A_f = (b_e - b_w)\ h_f \quad , A_w = b_w \cdot a$

$$a = \frac{A_c - A_f}{b_w}$$

که این a با a مرحله قبل فرق می‌کند.

$$M_n = 0.85\ f'_c\ A_f \left(d - {}^{h_f}\!/_{2}\right) + 0.85\ f'_c A_w \left(d - {}^{a}\!/_{2}\right)$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

محاسبه فولاد مورد نیاز در تیرهای T شکل

Given: b_e, h_f, d, b_w, f'_c, f_y, M_u

Req: A_s

1- ظرفیت مقطع را براساس حداکثر فولاد بدست می‌آوریم.

$M_{n\max} > \frac{M_u}{\varphi} \Rightarrow o.k \Rightarrow$ می‌توان مقدار فولاد را حساب کرد

$M_{n\max} < \frac{M_u}{\varphi} \Rightarrow Not\ good \Rightarrow$ می‌توان مقدار فولاد را حساب کرد

2- با فرض رفتار مستطیلی مقطع و $(a < h_f)$ مقدار a را حساب کنید.

$$\frac{M_u}{\varphi b d^2 f_y} = k_1 \quad , \quad \frac{f_y}{1.7 f'_c} = k_2$$

$$p = \frac{1-\sqrt{1-4k_1k_2}}{2k_2} \quad , \quad A_s = \rho b_e d \quad , \quad a = \frac{A_s\ f_y}{0.85\ f'_c \cdot b_e}$$

1) $a < h_f \Rightarrow O.k$

2) $a > h_f \Rightarrow Not\ good$

$\Leftarrow$ 1) مسئله تمام شده است.

$\Leftarrow$ 2) بایستی بر اساس تیر T شکل فولاد را محاسبه کرد.

3- در حالت a > hf یعنی مقطع τ شکل باشد.

$$M_1 = 0.85\ f'_c\ A_f \left(d - {}^{h_f}\!/_{2}\right)$$

$A_f = (b_e - b_w)\ h_f$

$$M_2 = \frac{M_u}{\varphi} - M_1$$

$M_2 = 0.85\ f'c\ A_w\ (d - {}^{a}\!/_{2})$

$M_2 = 0.85\ f'c\ _{bw}\ (d - {}^{a}\!/_{2})$

یک معادله درجه دوم برحسب a حاصل می‌شود که از حل این معادله a بدست می‌آید.

5- از رابطهٔ زیر مقدار فولاد محاسبه می‌شود.

$$A_s = \frac{0.65\ f'_c (A_w + A_f)}{f_y}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

روش سعی و خطا برای محاسبه فولاد

1- مقدار لنگر را همانند حالت قبل کنترل می‌کنیم.

تا بتوانیم کار را ادامه بدهیم $M_{n\,max} > \frac{M_u}{\varphi} \Rightarrow$

2- مقدار a را برابر hf فرض کنید $a = h_f$.

3- براساس روابط مقطع مستطیلی A_S را حساب کنید.

$$A_s = \frac{M_u}{\varphi f_y \left(d - a/2\right)}$$

4- از رابطه $C_c = T$ مقدار مساحت بتن تحت فشار را بدست آورید.

$$0.85\, f'_c\, A_c = A_s\, f_y \Rightarrow$$

$$A_c = \frac{A_s\, f_y}{0.85\, f'_c}$$

5- مقدار a را حساب کنید

مقطع مستطیلی $A_c < h_f \,.\, b_e \Rightarrow a = \frac{A_c}{b_e}$

مقطع T شکل $A_c > h_f \,.\, b_e \Rightarrow a = \frac{A_c - A_f}{b_w}$

$$A_c = A_f + A_w \quad , \quad A_f = (b_e - b_w) \times h_f \quad , \quad A_w = b_w \,.\, a$$

6- برای مقطع T شکل مقدار $\bar{y}$ را حساب می‌کنیم.

$$\bar{y} = \frac{Af\, h/2 + Aw\, a/2}{Af + Aw}$$

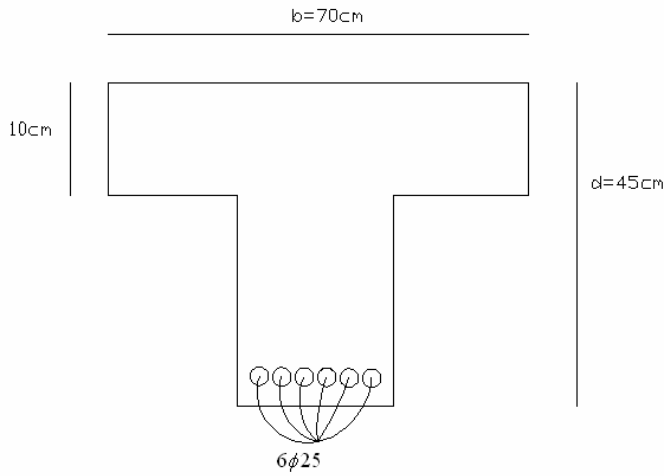
7- مقدار جدید A_s را از رابطه زیر حساب می‌کنیم.

$$A_s = \frac{M_u}{\varphi f_y (d - \bar{y})}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)

ظرفیت خمشی مقطع را بدست آورید.



$d = 45cm, f_y = 4200\ kg/cm2$

$A_S = 6\Phi 25 = 29.46 cm^2$

روش اول:

$$c_b = \frac{6120}{6120 + f_y} \times d = 26.68\ cm$$

$a_b = \beta_1\ c_b = 22.68\ cm > h_f$ مقطع τ شکل می‌باشد

$A_f = (b - b_w)\ h_f = 350\ cm^2$

$A_w = b_w\ .\ a = 793.91\ cm^2$

$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c'}{f_y}\left(A_w + A_f\right) = 40.51\ cm^2$$

$A_{smax} = 0.75\ \ A_{sb} = 30.385\ cm^2$

$\Rightarrow A_{smin} < A_s < A_{smax}$ O.k

$A_s = 6\Phi\ 25 = 29.45\ cm^2 < A_{smax}$

پس فولادها متعادل است و مشکلی برای ما ایجاد نمی‌کند.

با فرض رفتار مستطیلی:

$$a = \frac{A_s\ f_y}{0.85\ f_c' b_e} = 11.88 cm > h_f = 10\ cm$$

پس فرض رفتار مستطیلی مقطع غلط است و شکل مقطع بصورت τ شکل عمل می‌کند لذا با توجه به مقطع τ باید a جدید را بدست آوریم.

Copyright by: www.afshinsalari.com

$A_c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c} = 831.53\ cm^2$

$$a = \frac{A_c - A_f}{b_w} = 13.76\ Cm$$

$A_f = (b_e - b_w)\ hf = 350\ Cm^2$

$$M_n = 0.85\ f'_c \left[A_f \left(d - {}^{h_f}\!/_{2} \right) + A_w \left(d - {}^{a}\!/_{2} \right) \right]$$

$M_n = 481334\ kg.cm = 48.13\ ton.m$

$M_u = \phi\ M_n = 43.32\ ton.m$

روش دوم:

$C_c = T_c \Rightarrow 0.85\ f'_c\ A_c = A_s\ f_y \Rightarrow A_c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c} = 831.52$

با فرض اینکه ارتفاع تار خنثی خارج از بال قرار گیرد.

$831.52 = 10 \times 70 + ca - 10 \times 35 \Rightarrow a = 13.75 > 10$ O.k

فرض درست است.

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y} A}{\sum A} = \frac{70 \times 10 \times 8.75 \times 3.75 + 3.7\ {}^{s^2}\!/_{2} \times 35}{70 \times 10 + 3.75 \times 35}$$

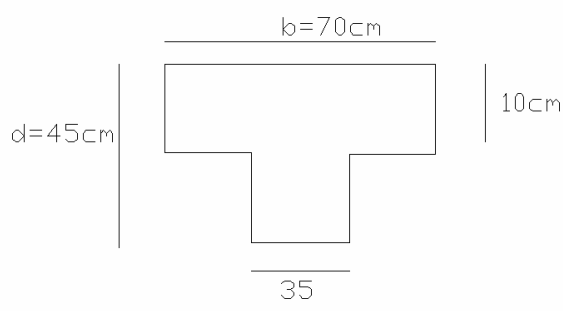
$M_n = A_s\ f_y\ (d - \bar{y}) = 0.85\ f'_c\ Ac\ (d - \bar{y}) = 29.4\ s \times 4200\ (45 - 7.66) = 46.1$ t.m

مثال)

$M_u = 43$ t.m

$f_y = 4200\ kg/cm^2$

$f'_c = 175\ kg/cm^2$



از مثال قبل $A_{smax} = 0.75\ A_{sb} = 30.385\ Cm^2$

$A_f = 350\ Cm^2$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$A_w = A_c - A_f = 857.93 - 350 = 507.93\ Cm^2$

$$a = \frac{A_w}{b_w} = 14.51\ Cm$$

$$M_{n\max} = 0.85\ f'_c\left[A_f\left(d - {}^{h_f}\!/_{2}\right) + A_w\left(d - {}^{a}\!/_{2}\right)\right] = 49.34$$

$M_{nmax} = \varphi\ M_{nmax} = 44.41\ t.m\ >\ M_u$

پس ابعاد مقطع مناسب بوده و مقطع T شکل با فولاد کششی می‌تواند تحمل بیاورد و نیازی به تغییر دادن ابعاد مقطع نداریم.

با فرض رفتار مستطیلی:

$$k_1 = \frac{M_u}{\varphi p b d^2\ f_y} = 0.008025$$

$$k_2 = \frac{f_y}{1.7 f'_c} = 14.1176$$

$$P = \frac{1 - \sqrt{1 - 4k_1k_2}}{2k_2} = 0.00923$$

$A_s = \rho bd = 0.00923 \times 70 \times 45$

$A_s = 29.06\ Cm^2$

$$a = \frac{A_s\ f_y}{0.85\ f'_{cb}} = 11.72\ Cm > hf$$

پس رفتار مقطع τ شکل می‌باشد و As بدست آمده جواب مسئله می‌باشد زیرا فرض رفتار مستطیلی مقطعی اشتباه می‌باشد.

$$M_1 = 0.85\ f'c\ A_f\left(d - {}^{h_f}\!/_{2}\right) = 20282500\ \text{kg.cm}$$

$$M_2 = \frac{M_u}{\phi} - M_1 = \frac{43 \times 1.5}{0.9} - 20282500 = 2695278\ \ kg.cm$$

$M_2 = 0.85\ f'_c\ a\ .\ b_w\ (d - {}^{a}\!/_{2})$

${}^{a^2}\!/_{2} - 45a + 517.7 = 0 \Rightarrow\ A = 13.542\ \ Cm$

$A_w = 35 \times 13.542 = 473.97\ \ Cm^2 = bw.a$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$A_s = \frac{0.85 f'_c (A_w + A_f)}{f_y} = 29.18\ Cm^2$$

USE: 6Φ25 $\Rightarrow$ As = 29.45 Cm^2

روش دوم (روش سعی و خطا)

مراحل اولیه مانند حالت قبل است.

$A = h_f = 10$ Cm

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - a/2)} = 28.44\ Cm^2$$

$$A_c = \frac{A_s\ f_y}{0.85\ f'_c} = 803.01\ Cm^2$$

$b_e \,.\, h_f = 70 \times 10 = 700\ Cm^2$

$$a = \frac{A_c - A_f}{b_w} = 12.94\ Cm$$

$A_w = b_w \,.\, a = 453.01\ \ Cm^3$

$A_f = 350\ Cm^2$

$$\bar{y} = \frac{Af\ h/2 + Aw\ a/2}{Af + Aw} = 5.829\ Cm$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \bar{y})} = 29.04\ Cm^2$$

مرحله دوم:

$A_c = 819.988\ \ Cm^2$, $a = 13.428 \Rightarrow Aw = 469.988$

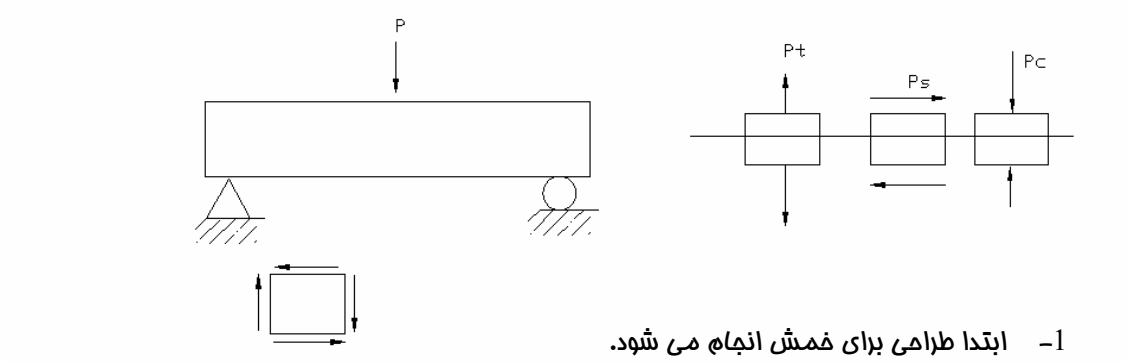
$\bar{y} = 5.982\ \ Cm$

$A_s = 29.155\ Cm^2$

$A_s = 29.177 \cong 29.18$ که تقریباً برابر جواب قبل است.

Copyright by: www.afshinsalari.com

بررسی رفتار طراحی اعضای بتن آرامه برای برش :



1- ابتدا طراحی برای خمش انجام می شود.

2- مقطع انتخابی برای برش کنترل می شود . $p_t<p_s<p_c$

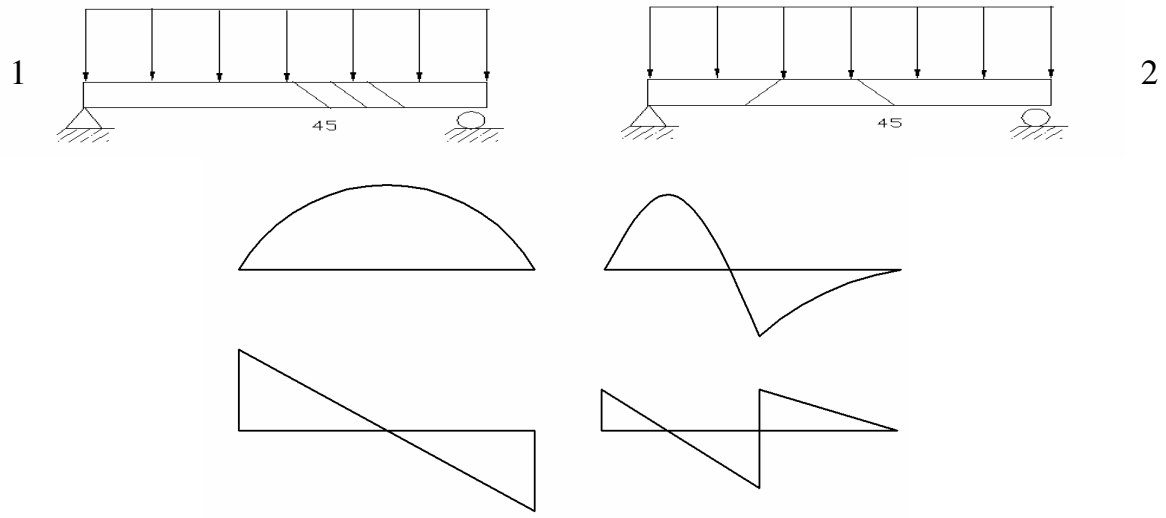
در تیرهای بتن آرمه تنش برای باعث روال نمی باشد بلکه تنش کشش ناشی از برش باعث ذوال بتن خواهد شد ، به تنش کششی ناشی از برش کشش قطری Diagonol tension گفته می شود.

ترکهای ناشی از برش دو دسته اند .

1- Web sher crack ترک برش جان

یعنی اینکه در این خمش تنش ناشی از خمش خیلی کم باشد .

در محلهایی اتفاق می افتد که مقدار لنگر خمشی کوچک یا صفر باشد .



Copyright by: www.afshinsalari.com

flexural shear crak-2

این ترکها ، جاهایی اتفاق می افتد که لنگر مقدار آن زیاد بوده و برش هم مقدار قابل توجه ای دارد . لنگر از لنگر ترک خوردگی هم زیادتر باشد (مانند شکل تکیه گاه 2 در حالت 1)

وجود ترکهای ناشی از خمش :

1-سطح مقطعی که می تواند برش را تحمل کند کاهش می یابد و مقاومت مقطع در برابر برش کم می شود.

2- چون سطح مقطع برش کم می شود، تنش برشی ایجاد شده افزایش می یابد . $V = \frac{v.Q}{I.t}$

- زوال ناشی از برش در تیرهای بتن آرمه ، یک زوال تردااست .
- به دلایل زیر ضریب اطمینان طرح برش بزرگتر است .

1- حتما بایستی زوال برشی قبل از زوال خمشی اتفاق نیافتد، بعبارت دیگر اول زوال خمشی اتفاق بیفتد.

2- تئوری مربوط به رفتار برش مقاطع بتن آرمه پیچیده تر است و فرمولهای ارائه شده برای تعیین ظرفیت مقطع از قطعیت زیادی برخوردار نیستند . $\varphi = 0.85$

عواملی که در برابر برش در یک مقطع مقاومت می کند .

الف) بتن ب) آرماتورهای برشی

کششی است که می تواند ترکهای 45 درجه ایجاد کند .

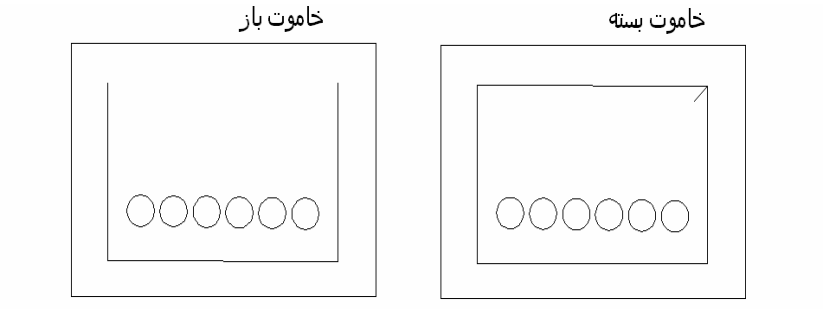
Copyright by: www.afshinsalari.com

1- آرماتورهای طولی خم شده به سمت بالا

2- خاموتها STRRUPS TIE

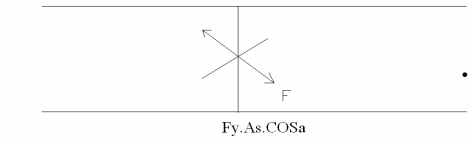
خاموت باز OPEN STRRUP

اولاً خاموتها باید در ناحیه بتن فشاری قرار گرفته باشد و کاملاً گیر کرده باشد . ثانیاً ، دور میلگردهای کششی پیچیده شده باشد .



میلگرد و خاموتها ، زیاد و در مقاطع بزرگ استفاده شود .

معایب خاموت قائم :



مولفه های قائم ایجاد شده در جهت عمود بر ترک کوچک می شود .

محاسن خاموت قائم :

1- سادگی اجرا 2- جهت برش تاثیر در مقاومت خاموت ندارد.

طراحی برای برش :

$$V = \frac{vQ}{It}$$

V = تنش برشی v = نیروی برشی مقطع

Q = لنگر اول سطح تکه ای از مقطع بالای نقطه مورد نظر قرار دارد حول محور خنثی

Copyright by: www.afshinsalari.com

I = لنگر اینرسی t = پهنای مقطع در نقطه مورد نظر

- مصالح باید همگن و ایزوترونیک باشد .
- خواص مقطع (هندسی) بعد از عمل نیرو تغییر نکند .
- رفتار مصالح خطی باشد .

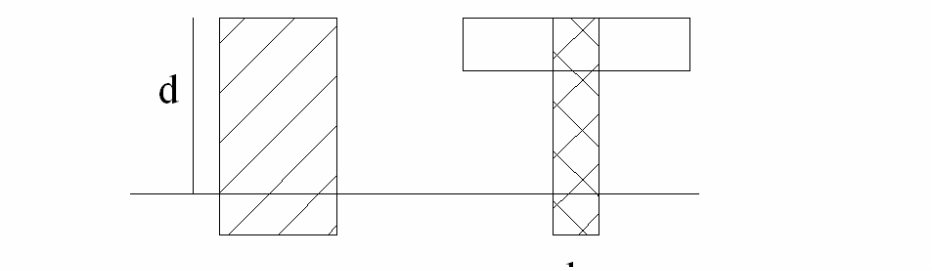
مشکلاتی که در تعیین مقاومت برشی بتن داریم .

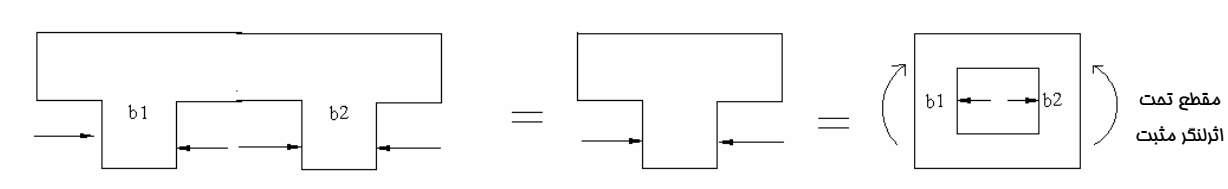
1- بتن یک ماده الاستیک و همگن نیست و دارای رفتار پیچیده ای تحت اثر برش می باشد.

2- درتیرهای بتنی . زوال روی صفحات قائم رخ نمی دهد.

3- تعیین مقاومت کششی بتن بسیار تقریبی (هم در آزمایشگاه و هم در محاسبه)

$$V = \frac{v}{b_w - d}$$





V= تنش برشی اسمی

v= نیروی برشی وارد بر مقطع

b_w =پهنای جان

Copyright by: www.afshinsalari.com

مقاومت برشی اسمی بتن :

$$Vc = 0.5\sqrt{f'_C} + 175\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \le 0.93\sqrt{f'_C}$$

Vc= مقاومت برشی اسمی بتن در واحد سطح kg/cm^2

f'_C = مقاومت 28 روزه بتن kg/cm^2

ρ_w = درصد فولاد کششی

V_u =نیروی برشی موجود در مقطع مورد نظر kg

d= ارتفاع موثر بر حسب cm

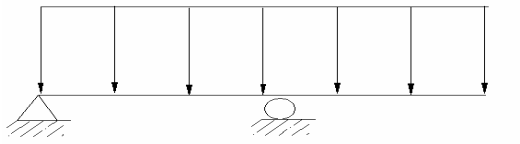
M_u = لنگر خمشی موجود در مقطع مورد نظر

$$V_c \sim V_c \sim \frac{1}{M_u} \sim A_s \sim f'_c$$

نکته مهم :

اگر $\frac{V_u . d}{M_u} < 1$ ، همان عدد را می گذاریم .

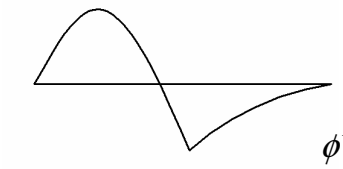
اگر $\frac{V_U . d}{M_u} > 1$ ، عدد 1 را به جای آن می گذاریم .



محدودیت کلی $V_C < 0.93\sqrt{f'_C}$

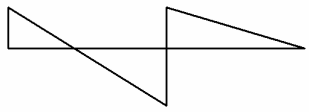
اگر طرفین را در $b_w d$ ضرب کنیم .

$$V_C = (0.5\sqrt{f'_C} + 175\rho_w \frac{V_U . d}{M_u}) b_w d \le 0.93\sqrt{f'_C b_w d}$$



$\phi V_C > V_u$

V_C= نیروی برشی که بتن به تنهایی می تواند تحمل کند در هر مقطع



درجهت اطمینان می توان از فرمول زیر برای محاسبه مقاومت برشی بتن استفاده کرد.

$$V_C = 0.53\sqrt{f'_C}$$

$$V_C = 0.53\sqrt{f'_C} . b_w . d$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

اثر نیروی محوری بر روی مقاومت برشی بتن .

** اعضای تحت اثرنیروی فشاری

$$M_u = M_{u} - N_u\left(\frac{4h-d}{8}\right)$$

N_u = نیروی محوری وارد بر عضو kg

h= ارتفاع کل مقطع به cm

می توان از همان رابطه قبلی استفاده کرد با این تفاوت که به جای M_u مقدر M_m را قرار می دهیم .

محدودیت $\frac{V_u d}{M_u} < 1$ برداشته می شود و هر عددی که بدست آوریم همان را قرار می دهیم .

- مقدار حداکثر مقاومت برشی بتن از رابطه زیر حاصل می شود .
- سطح مقطع کلی Ag $V_C \le 0.93\sqrt{f'_C}\,b_w d\sqrt{1+\frac{N_u}{35A_g}}$

N_u = وقتی فشاری می باشد (+) می شود .

می توان از فرمول ساده شده زیر استفاده کرد .

$$V_C = 0.53\left(1+\frac{N_u}{140A_g}\right)\sqrt{f'_C}\,b_w d$$

اعضای تحت اثر نیروی محوری کششی

اگر نیروی کششی ، بزرگ باشد $V_C=0$

$$V_C = 0.53\left(1-\frac{N_U}{35A_g}\right)\sqrt{f'_C}\,b_w d$$

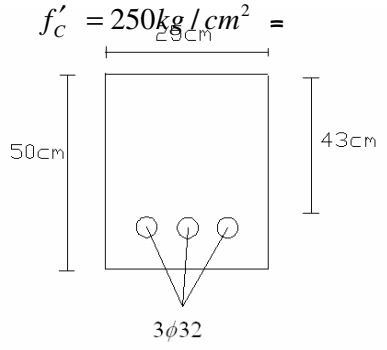
زمانی که عضو تحت خمش طراحی می شود ولی بارگذاری طوری باشد که تحت نیروی کششی قرار گیرد .

اگر نیروی محوری کششی باشد ، N_u منفی (-) می باشد .

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)

$f'_C = 250kg/cm^2$ =



الف) V_u=18 ton ، M_u=4.1ton.m

ب) V_u=18ton ، M_u=4.1ton.m ، N_u=4.5 ton

ج) V_u=18ton ، M_u=4.1ton.m ، N_u=4.5ton

برای سه حالت بارگذاری داده شده نیروی برشی قابل حمل توسط بتن را حساب کنید ؟

$$V_C = \left(0.5\sqrt{f'_C} + 175\rho_w \frac{V_u.d}{M_u}\right) b_w d$$

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{18\times1000\times43.5}{4.1\times10^5} = 1.91 > 1 \Rightarrow \frac{V_u d}{m_u} = 1$$

الف)

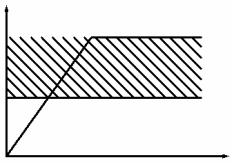
$$\rho_w = \frac{A_S}{b_w.d} = \frac{18.47}{2.5\times43.5} = 0.017$$

$$V_C = \left(0.5\sqrt{250} + 175\times0.017\times1\right)25\times43.5 \Rightarrow V_C = 11833kg$$

$$cont: 0.93\sqrt{f'_C} b_w d = 0.93\sqrt{250}\times25\times43.5 = 15991 > V_C$$

$V_C = 11833kg \Rightarrow \varphi V_C < V_u \rightarrow$ خاموت به احتیاج

از فرمول ساده $V_C = 0.53\sqrt{F'_C} bw.d = 0.53\sqrt{250}\times25\times43.5 = 9113kg$



فرمول طولانی $\Rightarrow V_C$

فرمول ساده $0..53\sqrt{f'_C} \Rightarrow V_C$

ب) $$V_C = 0.53\sqrt{f'_C} b_w.d\left[1 - \frac{N_u}{35A_g}\right]$$

$$V_C = 9113\left[1 - \frac{4.5\times1000}{35\times25\times50}\right] = 8176kg$$

باید از خاموت آرماتور برشی استفاده کرد . $\phi V_C < V_C$

ج) $$V_C = \left(0.5\sqrt{F'_C} + 175\rho w \frac{V_U d}{M_M}\right) \le 0.93\sqrt{f'_C} bwd\sqrt{1 + \frac{N_U}{35Ag}}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$M_m = M_{_u} - N_u\left(\frac{4h-d}{8}\right) = 4.1\times10^5 - 4500\left(\frac{4\times50-43.5}{8}\right)$$

$$M_m = 321969kg.cm$$

$$\frac{V_u d}{M_m} = \frac{18\times1000\times43.5}{321969} = 2.432$$

$$V_C = 16465kg$$

$$0.93\sqrt{250}\times25\times43.5\times\sqrt{1+\frac{4500}{35\times25\times50}} = 16794 > V_C$$

فرمول دیگر

$$V_C = 0.53\sqrt{f'_C}b_w d\left(1+\frac{N_u}{140A_g}\right)$$

$$= 0.53\sqrt{250}\times25\times43.5\times\left(1+\frac{4500}{140\times25\times50}\right) = 9348\,kg$$

تقریباً نصف عدد V_C قبلی است ولی آئین نامه آنرا اجازه می دهد .

طراحی تیر بدون آرماتور برشی

زوال تحت اثر برش زوال ترد خواهد بود و حتی الامکان از آن جلوگیری کرد .

حالات مختلف $V_u < \varphi V_C$

$V_u < \varphi\frac{V_C}{2}$ احتیاجی به آرماتور برشی نیست . $\varphi = 0.85$

$\frac{\varphi V_C}{2} < V_u < \varphi V_C$ احتیاج داریم که از حداقل آرماتور برشی استفاده کنیم .

$V_u > \varphi V_C$ آرماتور برشی محاسبه شود .

در بعضی از عناصر سازه ای شرط آنکه آرماتور برشی لازم نباشد آن است که $V_u < \varphi V_C$

Copyright by: www.afshinsalari.com

شرایط انکه فرمول $V_u < QV_C$ برقرار باشد

1- دالها وشالودها

2- تیرهای پهن

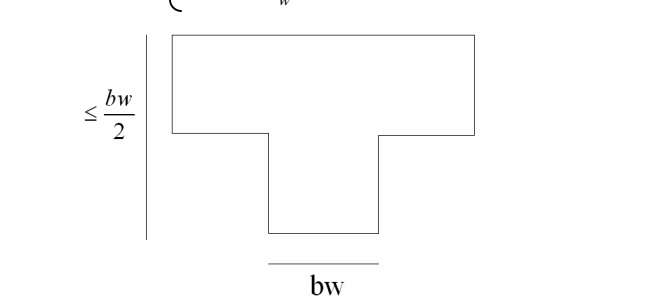
شرایط تیرهای پهن

1-ارتفاع از 25 سانتیمتر بیشتر نباشد

2-ارتفاع از 2.5 برابر ضخامت بال بیشتر نباشد

3- ارتفاع از نصف عرض جان بیشتر نباشد

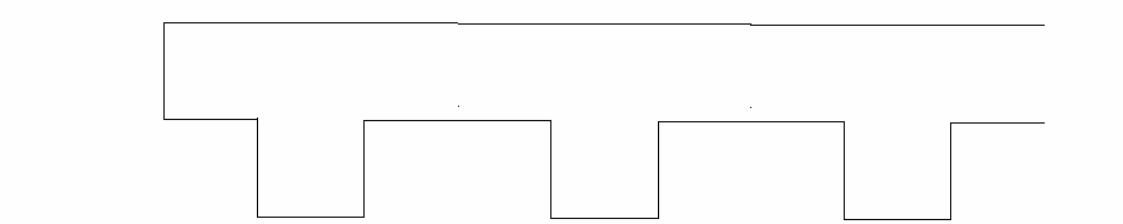
$$h_{\max} = \min \begin{cases} h \le 25cm \\ h \le 2.5h_f \\ h \le b_w \end{cases}$$



سیستم دال وتیر چه

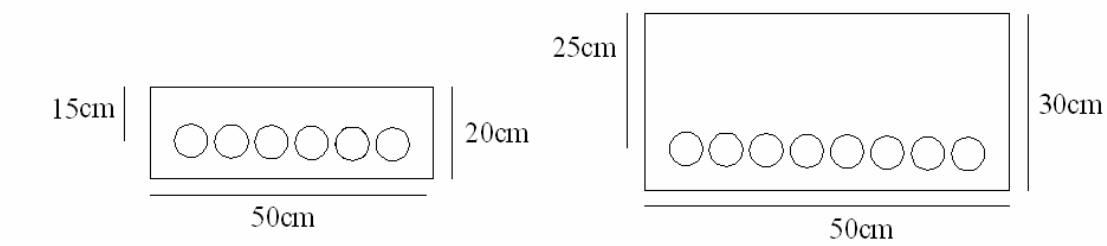
برای سیستم دال وتیرچه میتوانیم بجای 0.1 uc از 1uc استفاده می کنیم .

به عنوان نیروی برشی که بتن می تواند تحمل کند .



مثال)

برای دو مقطع داده شده حداکثر برشی که مقطع می تواند بدون ارماتور برشی تحمل کند را بدست آورید.



Copyright by: www.afshinsalari.com

(الف حداکثر ارتفاعی که می توان تیر را بصورت پهن در نظر گرفت .

$$\begin{cases} 25\text{cm} \\ 0.5\times 20 = 50\,\text{cm} \\ ½\times 50 = 25\text{cm} \end{cases}$$

پس تیر پهن می شود

$$V_u = \varphi V_C = 0.85\times 0.53\sqrt{f'_c}\,b_w.d = 0.85\times 0.53\sqrt{210}\times 50\times 15 = 4896\,kg$$

ب)

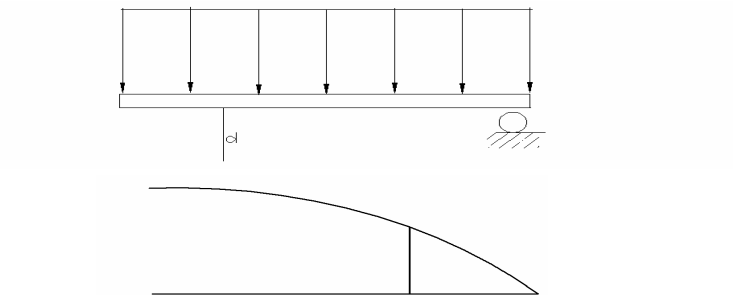
تیر پهن نیست

$$h_{\max} = \min\begin{cases} h \le 25cm \\ h \le 2.5h_f = 2.5\times 20 = 50cm \\ h \le b_w = \dfrac{1}{2}\times 50 = 25cm \end{cases}$$

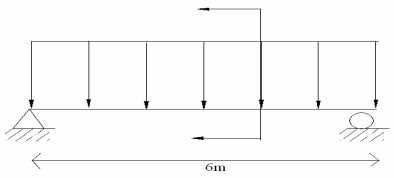
$$V_u = \frac{\varphi V_C}{2} = \frac{\varphi}{2}\times 0.53\sqrt{f'_c}\;b_w.d = \frac{0.85}{2}\times 0.53\times\sqrt{210}\times 50\times 25 = 4080\ \text{kg}$$

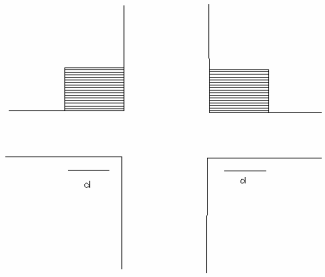
موقعیت مقطع بحرانی در برش :

1- مقطع بحرانی به فاصله d از بر تکیه گاه قرار دارد



2- اگر در فاصله بر تکیه گاه تا نقطه به فاصله d از بر تکیه گاه یک نیروی متمرکز وارد شود مقطع بحرانی از بر تکیه گاه می گیریم .

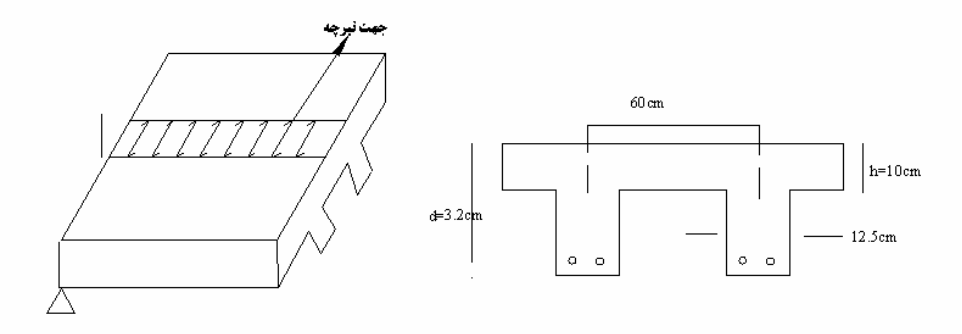




Copyright by: www.afshinsalari.com

الف) برای دال تیرچه ای داده شده مقدار حداکثر نیروی برشی که مقطع می تواند بدون آرماتور برشی تحمل کند را بدست اورید .

ب) ایا این دال بارگذاری داده شده را بدون ارماتور برشی می تواند تحمل کند یا نه .



$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}\, b_w d = 0.53\sqrt{210}\times 12.5\times 32.5 = 3120\text{kg}$$

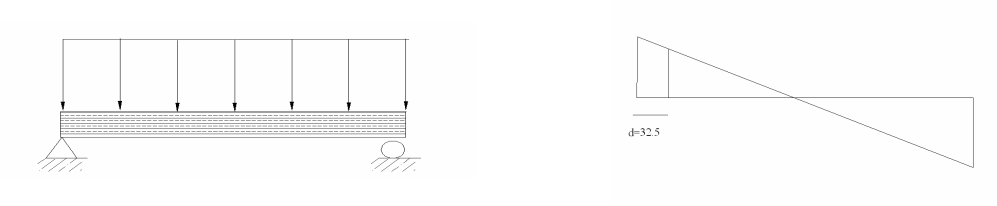
هر کدامشان می تواند تحمل کند .

حداکثر نیروی که هر تیر چه می تواند بدون ارماتور برشی می تواند تحمل کند .

$$1.1V_C = 3432kg$$

$$W_u = (1.4\times 340 + 1.7\times 500)\times 0.6 = 795.6kg/m$$

بار فاکتور شده به یک تیر چه .



$$V_u = 2386.8 - 0.325\times 795.6 = 2128.23\text{kg}$$

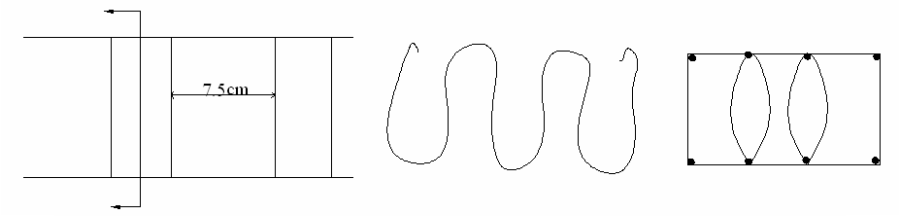
$$\frac{V_u}{\varphi} = \frac{2128.23}{0.85} = 2505.8\text{kg} < 1.1V_c = 3432\text{kg}$$

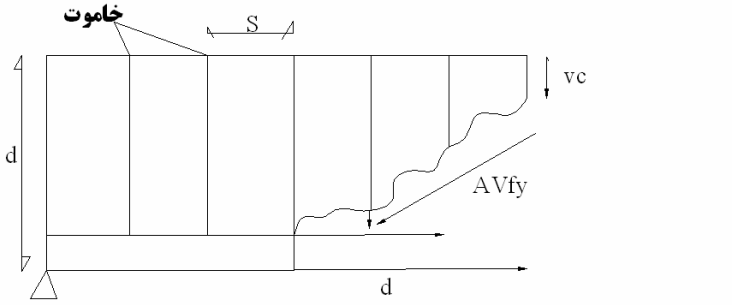
پس میتواند بدون ارماتور برشی تحمل کند .

Copyright by: www.afshinsalari.com

طراحی ارماتور های برشی :

حداقل فاصله خاموتها را برابر 7.5 سانتیمتر انتخاب می کنیم .





$$A_v = nA, \qquad V_s = \frac{d}{s} A_v . f_y$$

ظرفیتی که فولاد برشی می تواند تحمل کند .

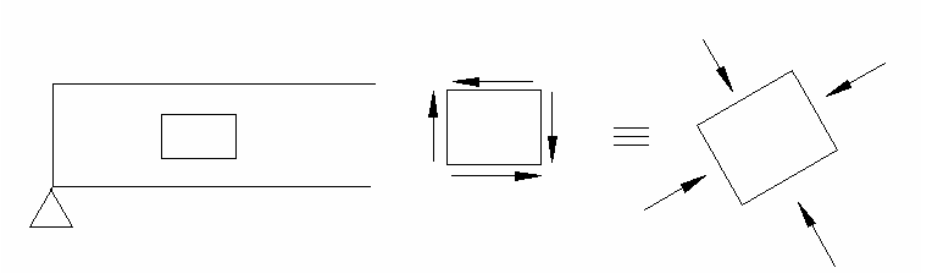
$$V_s = \frac{A_v . f_y . d}{S} \qquad S = \frac{A_v . f_y . d}{V_S}$$

کل ظرفیت برشی مقطع V_n

قسمتی از ظرفیت برشی مقطع که توسط بتن ایجاد میشود V_c

قسمتی از ظرفیت برشی مقطع که توسط ارماتور ایجاد می شود V_S

زوال فشاری بتن ناشی از برش :



$$V_{s\,max} = 2.12\sqrt{f'_c}\, b_w . d$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

حداکثر فاصله آرماتور های برشی :

برای انکه ترکهای برشی ایجاد شده حداقل یک خاموت را قطع کند بایستی فاصله خا موتها را محدود گر دد

$$S_{max} = \min [d/2 \ , \ 60\,cm] \ \text{for} \ V_s < 1.06\sqrt{f'_c}\,b_w.d$$

$$S_{max} = \min [\,d/4 \ , \ 30\,cm] \ \text{for} \ \ 1.06\sqrt{f'_c}\,b_w.d < Vs \prec 2.12\sqrt{f'_c}\,b_w.d$$

حداقل مساحت آرماتورهای برشی :

تا زمانی که بتن تحت اثر کشش قطری ترک نخورده است تمام نیروی برشی توسط بتن تحمل میشود ولی به

محض اینکه اولین ترک قطری ظاهر می شود قسمت عمدهای از ظرفیت برشی بتن از بین می رود ولی نیرو به

صورت ناگهانی به ارماتور برشی وارد می شود پس ارماتور برشی بایستی یک مقدار حداقل داشته باشد تا بتواند

این نیروی ناگهانی را تحمل کند .

$$A_{v\,\min} = 3.5\frac{b_w.s}{f_y}$$

$$S_{\max} = \frac{A_v.f_y}{3.5b_w}$$

اگر اطمینان داشته باشیم که جهت برش عوض نمی شود می توانیم از خاموت مایل استفاده کنیم .

آرماتور های برشی مایل :

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

Copyright by: www.afshinsalari.com

طراحی یک تیر برای برش :

1-نمودار نیروی برشی ولنگر خمشی را تحت بارهای فاکتور شده بدست اورید

2-مقدار نیروی برشی قابل حمل توسط بتن را حساب کنید .

3-برای دالها شالودها وتیرهای پهن بایستی $V_u < \varphi V_C$ باشد واگر نبود باید ابعاد مقطع را عوض کنیم.

در صورت عدم ارضاء رابطه فوق بایستی ابعاد مقطع افزایش داده میشود .

4-برای سایر قطعات خمشی در صورتی که $V_u < \varphi \frac{V_C}{2}$ باشد فولاد برشی لازم نیست (از لحاظ تئوری) در غیر این صورت یعنی $V_u > \varphi \frac{V_C}{2}$ د و حالت زیر اتفاق می افتد .

حالت 1-از حداقل آرماتور برشی استفاده میشود. $\varphi \frac{V_c}{2} < V_u < \varphi V_c$

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{d}{2} \\ 60cm \\ \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} \end{cases}$$

حالت 2-از حداقل ارماتور برشی استفاده می شود

$$V_u \geq \varphi V_c$$

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

$$if \quad V_s \succ 2.12\sqrt{f'_c} b_w . d$$

$$V_s > 2.12\sqrt{f'_c} b_w * d \Rightarrow$$

ابعاد مقطع بایستی بزرگ شود .

$$if \quad V_s < 2.12\sqrt{f'_c} b_w . d, \quad and \quad , V_s < 1.06\sqrt{f'_c} . b_w . d$$

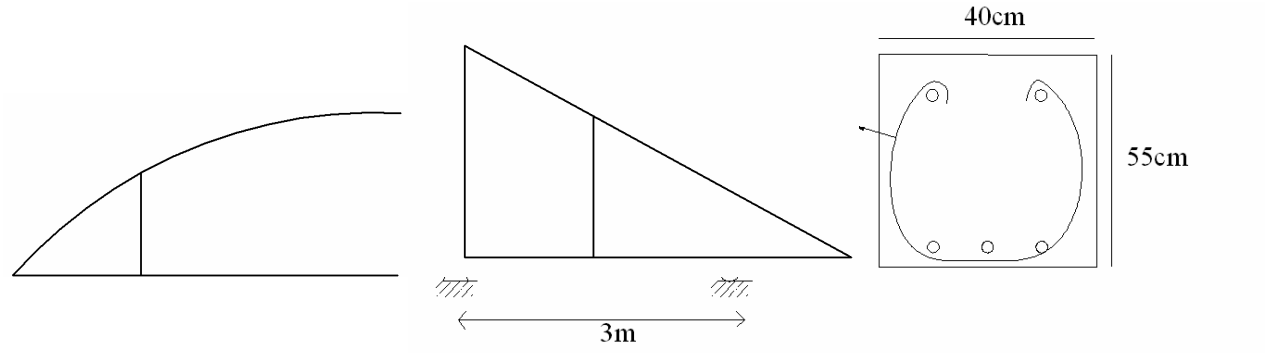
$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} \\ d/2 \\ 60cm \\ \frac{A_v f_y d}{V_S} \end{cases}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$if \quad V_s < 2.12\sqrt{f'_c}\,b_w.d, \quad and \quad ,V_s > 1.06\sqrt{f'_c}\,.b_w.d$$

$$S_{max} = \min[d/4 \quad , \quad 30cm]$$

مثال)



$$AS = 39.27cm^2, f_{cl} = 180kg/cm^2$$
$$f_y = 3500kg/cm^2, W_D = 2.9t/m, W_L = 6t/m$$

حل:

$$Wu = 1.4\times 2.9 + 1.7\times 7 = 15.96 \text{ t/m}$$
$$V_u = 15.96(3 - 0.55) = 39.102 \text{ ton}$$
$$V_{max} = 47.88 \text{ ton}$$
$$Mu = \frac{1}{2}\times(47.88 + 39104)\times 0.55 = 23.92\text{ton}$$

$$\rho_w = \frac{As}{bd} = 0.01785 \qquad \frac{V_u d}{M_u} = 0.899 < 1$$

$$V_c = (0.5\sqrt{f'_c} + 175\rho_w \frac{V_u.d}{M_u})b_w.d = 20936Kg$$

$$0.93\sqrt{f'_c}\,b_w.d = 27450Kg > V_c$$

$$\frac{\varphi V_c}{2} = \frac{0.85*20936}{2} = 8898Kg$$

$$\varphi V_c = 17796Kg$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

$V_u = 39102Kg > \varphi \frac{V_c}{2}$ پس آرماتوربه خاموت نیاز داریم

$V_u > \varphi V_c \rightarrow$ حالت 2

$V_s = \frac{V_u}{\varphi} - V_c = 25.066 < V_{S\max}$

$V_{S\max} = 2.12\sqrt{f'_c} b_w.d = 62.6ton > V_s$

$1.06\sqrt{f'_c} b_w.d = 31ton > V_s$

$$S_{\max} = \min\begin{cases} \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} = 47.1cm \\ 60cm = 60cm \\ d/2 = 27.5cm \\ \frac{A_v fyd}{V_s} = 14.5cm \end{cases} \rightarrow S = 14.5 \sim 15cm$$

USE ϕ 10at 15cm

مقطع به فاصله 1 متر از تکیه گاه

$V_u = 2 \times 15.96 = 31.96ton$

$M_u = 39.9ton.m$

$\frac{V_u.d}{M_u} = 0.44 < 1$

$V_c = 17782Kg, V_s = \frac{V_u}{\varphi} - V_c = 19.75ton$

نباید بزرگتر انتخاب کنیم

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$S=\frac{A_v f_y \times d}{V_s}=18.36cm$$

مقطع 1.5 متری از تکیه گاه

$$V_u=23.94ton$$

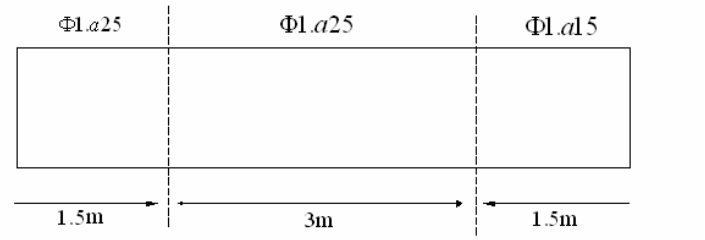
$$M_u=53.895t.m$$

$$\frac{V_u.d}{M_u}=0.244$$

$$V_c=16435Kg$$

$$V_s=11.729ton$$

$$S=\frac{A_v f_y d}{V_s}=30cm$$



Copyright by: www.afshinsalari.com

کنترل تغییر شکل تیرهای دالهای یک طرفه :

معیارهای طراحی:

1-معیار سختی 2-معیار مقاومت

عدم رعایت معیار سختی

1-نازکاریهای ساختمان اسیب می بیند .

2- سازه تحت اثر بارهای زنده کرنش زیاد دارد .

3-در صورتی که ماشین الات دقیق به سازه وصل شده باشد از دقت انها کاسته میشود .

4- عناصر غیر سازه ای وصل شده به سازه اسیب می بیند .

تغییر شکل در سازه های بتنی :

1-تغییر فرمهای آنی والاستیک 2-تغییرفرمهای دراز مدت

محاسبه تغییر فرمهای آنی

-تغییر فرم آنی تحت اثر بار های سر ویس انجام می شود

-تغییر شکل آنی با استفاده از انالیز الاستیک تیر انجام می شود .

-تغییر شکل آنی تابعی از بارگذاری شرایط تکیه گاهی وسختی خمشی تیر (EI) است .

محاسبه EIبرای تیرهای بتن ارمه :

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c}$$

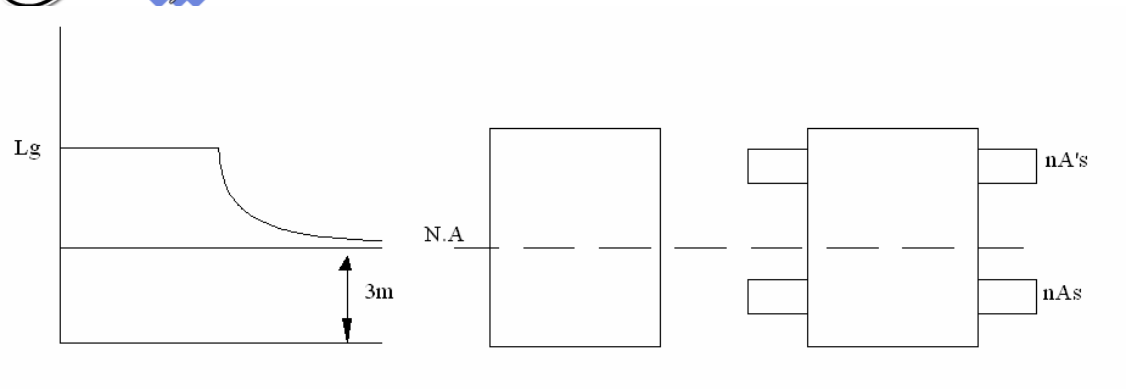
$$I_e = \left[\frac{M_{cr}}{M_{\max}}\right]^3 \times I_g + \left[1-(\frac{M_{cr}}{M_{\max}})^3\right] \times I_{cr} \le I_g$$

لنگر اینرسی مقطع ترک نخورده که در محاسبه ان از فولادها صرفنظر شده است :I_g

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}} \le \frac{1}{3} \to I_e = I_{cr}, \frac{M_{cr}}{M_{\max}} > 1 \to Ie = I_g$$

لنگر اینرسی مقطع ترک خورده مبدل :I_{cr}

Copyright by: www.afshinsalari.com



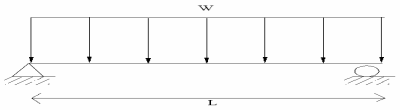
$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} \qquad f_r = 2\sqrt{f'_c}$$

مقدار حداکثر لنگر خمشی در تیر به ازای بارهای سرویس: M_{max}

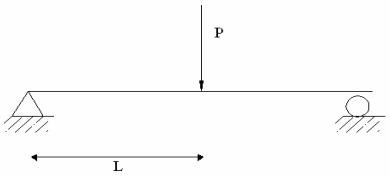
-برای تیرهای سر اسری مقدار I_e را به ازای M_{max} تکیه گاها و وسط دهانه محاسبه کرده و سپس متوسط دو مقدار بدست امده به عنوان I_e به کار برید .

-برای تیر های طره ای مقد ار I_e بر حسب لنگر تکیه گاهی محاسبه میشود .

فرمولهای محاسبه تغییر فرم:



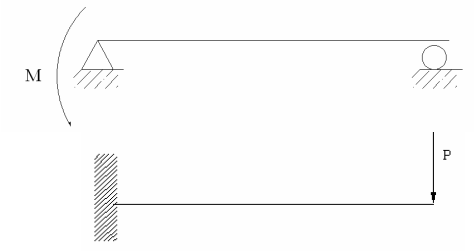
$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI}$$



$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\Delta = \frac{WL^4}{384EI}$$

$$\Delta = \frac{WL^4}{8EI}$$



$$\Delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$\Delta = \frac{ML^2}{16EI}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

تغییر فرمهای دراز مدت :

Δa : تغییر شکلهای دراز مدت اضافی Δ_i: تغییر فرم آنی

t: زمان بر حسب ماه

$$\Delta_a = \lambda \Delta_i$$

$$\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho'} \qquad \rho' = \frac{A'_s}{bd}$$ =درصد فولاد فشاری

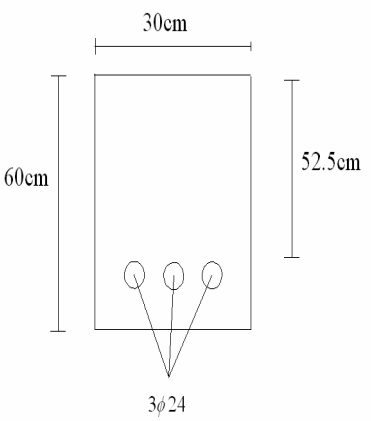
$$\zeta = 0.605 + 0.774 Log_{10}^{t} \le 2$$

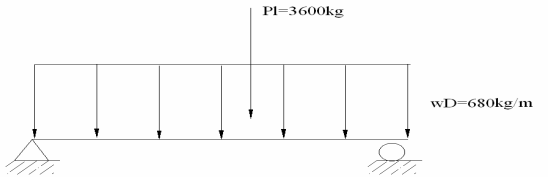
زمان (ماه یا سال)	ζ
1 ماه	0.6
2 ماه	1.00
6 ماه	1.4
18 ماه	1.6
3 سال	1.8
4 سال	1.9
5سال به بالا	2.00

نوع عضو	تغییر شکلی که باید در نظر گرفت	مقادیر حداکثر مجاز
بالهای مسطح غیر متصل به اجزاء غیر سازه ای	تغییر شکل آنی تحت اثر بارزنده	L/180 (آب انباشتگی را در نظر نگرفته)
کف های مسطح غیر متصل به اجزائ غیر سازه ای	تغییر شکل آنی تحت اثر بارزنده	$L/360$
کف ها وبامهایی که به اجزاء غیر سازه ای متصل هستند واحتمال آسیب دیدگی برای اجزائ غیر سازه ای وجود ندارد	آن قسمت از کل تغییر فرم که پیش از نصب اجزائ غیرسازه ای رخ می دهد	$L/480$
کف ها وبامهایی که به اجزائ غیر سازهای متصل هستند احتمال آسیب دیدگی اجزای غیرسازه ای وجود دارد	آن قسمت از کل تغییر فرم که پس از نصب اجزائ غیر سازه ای رخ می دهد	$L/240$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)





$$M_{\max}=\frac{W_D}{8}\times L^2+\frac{P_L\times L}{4}=\frac{680\times 7.2^2}{8}+\frac{3600\times 7.2}{4}$$

$$M_{\max}=10886.4Kg$$

$$n=\frac{E_s}{E_c}=\frac{2.04\times 10^6}{15100\sqrt{250}}=8.5$$

$$A_S=13.57cm^2,\rho=\frac{A_s}{bd}=0.0086\Rightarrow \rho n=0.073$$

$$K=-\rho n+\sqrt{2\rho n+(\rho n)^2}=0.316$$

$$\bar{y}=Kd=0.316\times 52.5=16.613cm$$

$$I_{cr}=\frac{b\bar{y}^3}{3}+nA_s(d-\bar{y})^2=194400\ cm^4$$

$$I_g=\frac{1}{12}\div 30\times 60^3=540000\ cm^4$$

$$M_{cr}=\frac{f_r.I_g}{y_t}=\frac{2\sqrt{250}\times 450000}{1/2\times 60}=56.0210Kg.cm$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}}=\frac{5692.1}{10886.4}=0.523$$

$I_e = I_g$

توجه: اگر بزرگتراز 1 می شد می بایست

Copyright by: www.afshinsalari.com

$$I_e=\left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}}\right)^3 I_g+\left[1-\left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}}\right)^3\right]I_{cr}\Rightarrow I_e=243801cm^4$$

$$\Delta=\frac{5W_D L^4}{384E_c I_e}+\frac{P_L L^3}{48E_c I_e}=\frac{5\times6.8\times720^4}{384\times1500\sqrt{250}\times243801}+\frac{3600\times720^3}{48\times15100\sqrt{250}\times243801}$$

$$\Delta=0.89cm$$

$$\lambda=\frac{\zeta}{1+0}=\zeta\ ,\quad \zeta=2\Rightarrow\Delta_a=2\times0.89=1.8$$

$$\Delta_t=\Delta_i+\Delta_a=1.8+0.9=2.7cm$$

مثال)

I_g= 140000cm^4 , I_{cr}= 78000cm^4

M_{cr}= 3.4 ton.m , E_c = 220000Kg/$_{cm}^4$

الف)فقط بار مرده: تغییر شکل انتهای آزاد که ماکزیمم تغییر شکل را دارد.

ب)فقط بارزنده: تغییر شکل انتهای آزاد که ماکزیمم تغییر شکل را دارد.

الف)

$$M_a=\frac{WL^2}{2}=\frac{450\times3^2}{2}=22025Kg.m=2.25ton.m<M_{cr}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}}>1\Rightarrow$$

$$I_e=I_g=140000cm^4$$

$$\Delta=\frac{W_D L^4}{8E_c I_e}=\frac{4.5\times300^4}{8\times220000\times140000}=0.148cm$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

ب)

$$M_a = 2025 + 2000 \times 3 = 8025 Kg.m > M_{cr}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}} = 0.424 < 1$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$I_e = 82715 cm^4$$

$$\Delta = \frac{WL^4}{8E_c I_e} + \frac{P_L . L^3}{3E_c I_e} = 1.24 cm$$

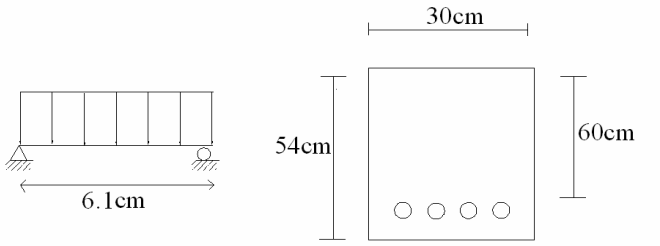
$$\Delta_L = 1.24 - 0.148$$

تغییر مکان تحت اثر بارزنده

مثال)

W_L= 2300kg/m W_D= 1500kg/m

$$f'_c = 210 Kg/cm^2, f_y = 3500 Kg/cm^3$$



فقط 60% بارزنده بصورت دائمی به تیر وارد می شود

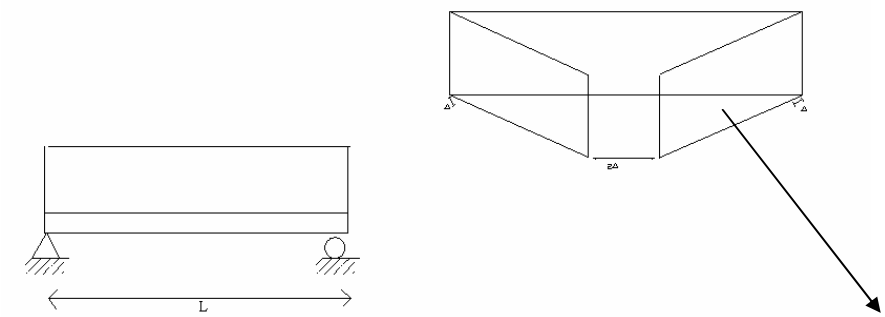
مطلوب است:

1- تغییر شکل آنی تحت اثر کل بار

2- تغییر شکل اضافی وابسته به زمان

Copyright by: www.afshinsalari.com

پیوستگی مهاری و جزئیات ارماتور گذاری :

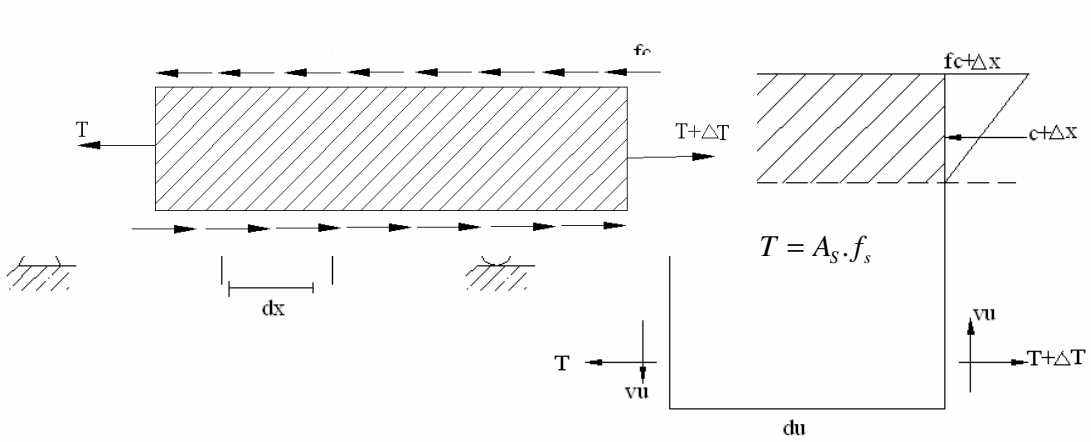


این شکل غلط میباشد زیرا پیوستگی ندارد وحالت زوالتر اتفاق می افتد زیرا بعد از Frزوالتر واتفاق می افتد .

مقاومت فشاری خوب بتن

مقاومت کششی خوب فولاد

توزیع تغییرات تنش پیوستگی :



این تنش پیوستگی برشی است که باعث تعادل می شود و ارماتور در بتن نمی لغزد

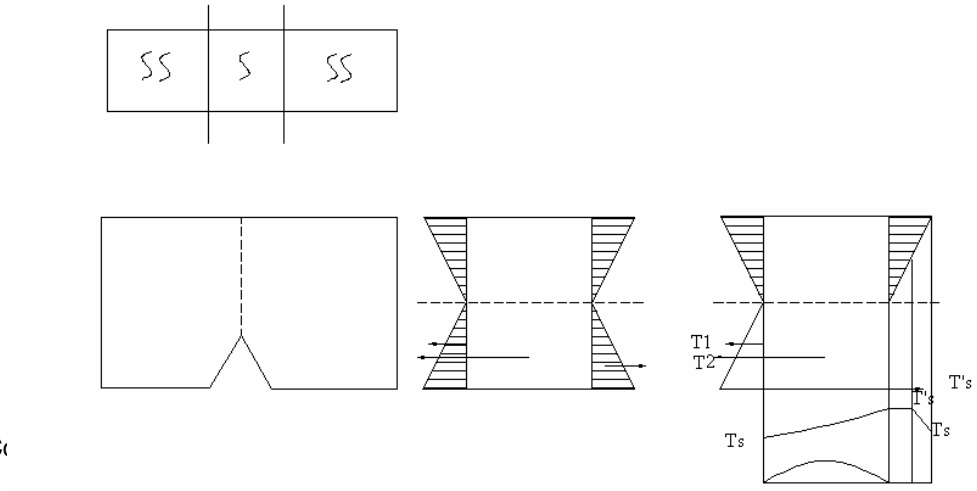
تنش پیوستگی بین بتن و فولاد

آرماتور طولی

$$\Delta T = \mu \sum_O \Delta_x$$

محیط دور آرماتورها

فرمول بالا بر اساس ان است که تر کها یکنواخت است وتنش پیوستگی نیز یکنواخت می باشد

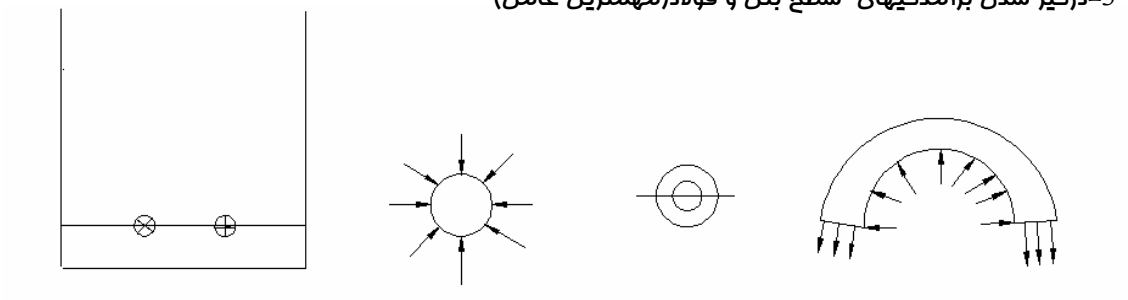


مکانیزم ایجاد تنش پیوستگی :

1-چسبندگی شیمیایی بتن وفولاد (مقدارش کم است تنش پیوستگی= $20kg/cm^2$ تا 14)

2-اصطحکاک (اجدار)

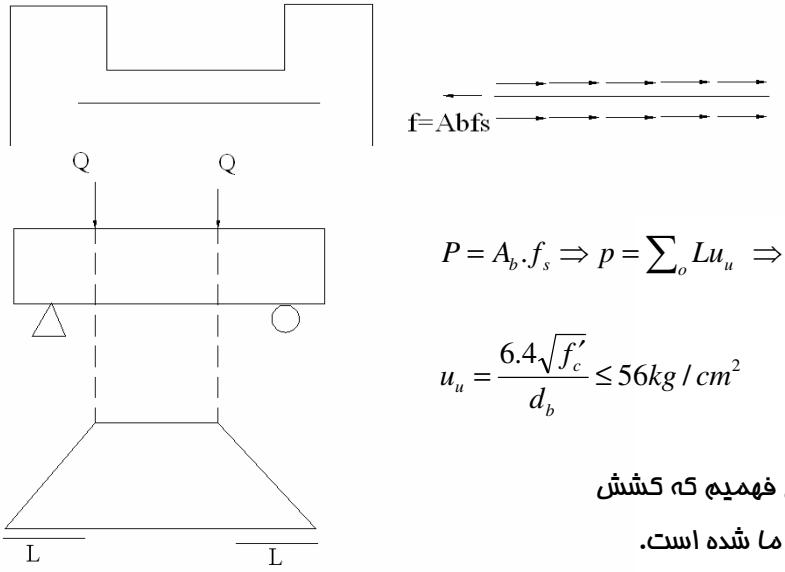
3-درگیر شدن برامدگیهای سطح بتن و فولاد(مهمترین عامل)



پس یکی از دلائل حد اقل فاصله و پوشش حداقل بتن روی ارماتور همین است

مقاومت پیوستگی اسمی :

فرمول سریعی برای آن نیست وفرمول حالت کل ان تجربی وازمایشگاهی است



$$P = A_b.f_s \Rightarrow p = \sum_o Lu_u \Rightarrow u_u = \frac{p}{\sum_o L}$$

$$u_u = \frac{6.4\sqrt{f_c'}}{d_b} \le 56kg/cm^2$$

نکته :هر جا که $\sqrt{f_c'}$ داشتیم می فهمیم که کشش (طبیعت کشش بتن) واردمسئله ما شده است.

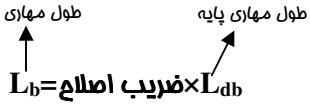
$$u_u = u_u.\sum_o \times 1$$

مقاومت اسمی پیوستگی واحد طول آرماتور $u_u = \frac{6.4\sqrt{f_c'}}{d_b}\pi d_b \le 20\sqrt{f_c'}$

Copyright by: www.afshinsalari.com

طول مهاری – طول مهاری پایه development lenght

طول مهاری : طولی است که در امتداد ان میلگردی که تا تنش تسلیم fy تحت تنش قرار گرفته نیروی خود را از طریق اصطحکاک جداره به بتن منتقل کرده .



شرایط خاص که برای L_{db} در نظر گرفته شده

1-بتن معمولی

2-فولاد تحتانی

3-تنش در فولاد برای f_y

4-برای AIII $f_y=4200$

1) $A_b f_y$: نیروی لازم برای به تسلیم رساندن فولاد. نیروی که لازم است ارماتور را به حد تسلیم برساند:

2) $u_u L_{db}$: مقاومت پیوستگی ایجاد شده

$$1)\,\&\,2) \Rightarrow A_b.f_y = u_u.L_{db} \Rightarrow L_{db} = \frac{A_b.f_y}{u_u} = \frac{A_b.f_y}{20\sqrt{f_c'}} = 0.05A_b\frac{f_y}{\sqrt{f_c'}}$$

$$L_{db} = \frac{0.06A_b f_y}{\sqrt{f_c'}} \qquad ,\sqrt{f_c'} \prec 26.5kg/cm^2$$

L_{db} :

$$\frac{0.06A_b f_y}{\sqrt{f_c'}} \geq 0.057 d_b f_y \qquad for\ \Phi 36\ \&\ small$$

$$\frac{0.82 f_y}{\sqrt{f_c'}} \qquad for \Phi 44$$

$$\frac{1.2_b f_y}{\sqrt{f_c'}} \qquad for \Phi 58$$

ضرایب اصلاح:

1-میلگرد داخل تیر ها یا ستونها که فوائد حداقل پوشش وضوابط تنگها و خاموتها در موردآنها رعایت نشده باشد

2-فاصله ازاد میلگردها از 3db بیشتر باشد ضریب اصلاح را یک در نظر می گیریم.

Copyright by: www.afshinsalari.com

3-بطور کلی همه ارماتور های دارای حداقل پوشش $2d_b$ و فاصله ازاد $3d_b$

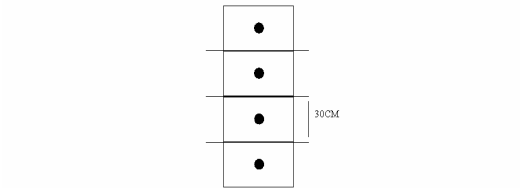
4-میلگرد های دارای پوشش d_b یا کمتر با فاصله ازاد $2d_b$ یا کمتر ضریب اصلاح 2 است

5- برای میلگردهای بغیر از دو مورد 3 و4 ضریب اصلاح 1.4 است .

6- برای میلگردهای $\Phi 36$ وکوچکتر و حداقل پوشش جانبی $2.5\ d_b$ رعایت شده باشد می توان ضرائب مراحل قبل را در 0.8 ضرب کرد .

نکته : طول مهاری حاصل از موارد فوق نباید از $\frac{0.113 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$ کوچکتر باشد اگر کوچکتر شد همین مقداررا قرار می دهیم .

برای آرماتور فوقانی :



ضریب اصلاح 1.3 را بکار می بریم

اینها همه برای ارماتو ر کشش قرائت می شود

ارماتور فوقانی زیرش بیشتر از 30cmبتن تازه قرار گیرد .

حباب هوا سطح تماس بین میلگرد وبتن را کم می کند .

برای بتن سبک :

$$\frac{1..78\sqrt{f'_c}}{f_{ct}} \geq 1$$

f_{ct}:مقاومت استوانه ای کششی بتن از ازمایش شکافت بتن

اگر f_{ct}در اختیار نبود 1.3را در نظر می گیریم .

ارماتور مازاد بر نیاز :

Asreqاز Asprovکمتر است پس عدد کمتر از یک است .

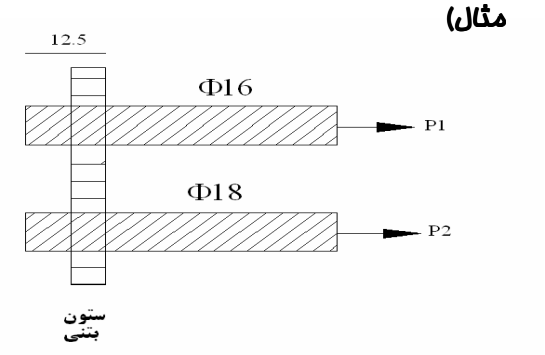
ضریب اصلاح= A_{req} / A_{sprov}

ضریب اصلاح برای ارماتور با fy بزرگتر از 4200.

$=2-4200/f_y$

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)



$f_c' = 250 \qquad f_y = 4200 kg/cm^2$

$u_u = 20\sqrt{f_c'} = 20\sqrt{250} = 316 kg/cm^2$

$P_1 = P_2 = 316 \times 12.5 = 3953 kg$

نیروی که لازم است که میلگرد به بیرون کشیده شود که برای بالا وپایین فرق نمی کند .

$P_{1y} = \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 4200 = 8444 kg$

$P_{2y} = \frac{\pi}{4} \times (1.8)^2 \times 4200 = 106877 kg$

نیروی که لازم است که فولاد ها به تسلیم برسد.

12.5cm از طول مهاری کمتر است .

پس نتیجه می گیریم 3953<8444پس قبل از اینکه فولاد به حد جاری شدن برسد فولاد کشیده می شود و بیرون می رود پس 5cm.12مناسب نیست .

مثال)

در صورتی که بدانیم ارماتور های مثال فوق تا حد تسلیم کشیده شوند طول مهاری لازم را برای انها بدست اورید .

$f_c' = 250 \qquad f_y = 4200 kg/cm^2$

$L_{min} = L_d = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f_c'}}$ $\qquad$ $\frac{0.113 d_b f_y}{\sqrt{f_c'}}$

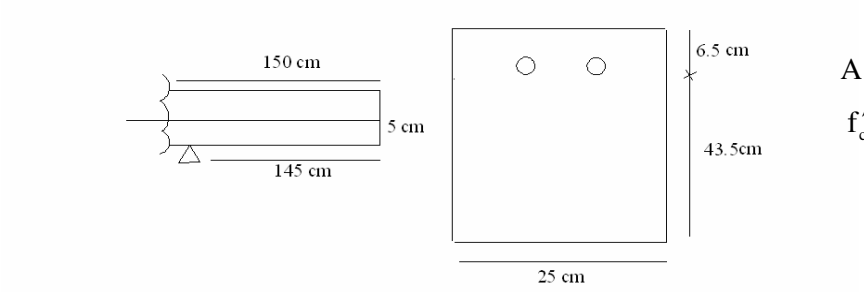
Φ16→32cm Φ16→48cm
Φ18→84cm control Φ18→98.2cm

البته ضرائب را به کار نمی بریم زیرا اطلاعات ان را نداریم بنابر این ضریب اصلاح را یک می گیریم که بزرگترین مقدارها را انتخاب می کنیم .

ϕ16=48cm
ϕ28=98.2cm

Copyright by: www.afshinsalari.com

مثال)



$A_{sprov} = 2\Phi 32, \quad A_{sreq} = 15.48\,cm^2$

$f'_c = 210 \quad ; \quad f_y = 4200 kg/cm^2$

ضوابط طول مهاری را کنترل کنید

$$L_{db} = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} = 140cm \qquad \Rightarrow L_{db} = 140cm$$

$$\frac{0.113\,dbfy}{\sqrt{f'_c}} = 105cm$$

ضرائب اصلاح :

$$A_{sprov} = 2\Phi 32 = 16.08\,cm^2$$

چون در آرماتور فوقانی زیرش از 30 cm بیشتر است یعنی 43.5 cm پس ضرائب اصلاح فوقانی لازم داریم .

$$L_d = 1.3 \times \frac{15.48}{16.08} \times 140 = 175cm > 135$$

پس این طول مهاری مناسب نیست لذا باید ان را تهیه کنیم .

$$L_d = 145$$

$$L_{db} = 145 \times \frac{16.08}{15.48} \times \frac{1}{1.3} = 115.86$$

هم آر ماتور فوقانی داریم و هم آر ماتور اضافی پس هر دو ضریب اصلاح را به کار می بریم

$$115.86 = \frac{0.06\,Abfy}{\sqrt{f'_c}} \Rightarrow A_b = 6.62\,cm^2 = d_b = 2.91\,cm \rightarrow \Phi 28$$

$\Phi 28 \rightarrow A_{prov} = 15.48 cm^2 \rightarrow$ باید Φ را کمتر کنیم تا طول مهاری همان 145 باشد

$$L_{db} = \frac{0.66 \times \pi (2.8)^2 \times 4200}{\sqrt{210}} = 107.07\,cm$$

$$L_{db} = \frac{0.113 \times 2.8 \times 4200}{\sqrt{210}} = 91.7\,cm$$

$$L_d = \frac{15.48}{18.42} \times 1.3 \times 107.07 = 116.97 < 145 \rightarrow o.k$$

Copyright by: www.afshinsalari.com

طول مهاری ارماتور تحت فشار :

دلائل اینکه طول مهاری فشاری کمتر از طول مهاری کششی است

1-در ناحیه فشاری بتن ترک نخورده است

2-به دلیل وجود نیروی اتکایی و انتهایی در آرماتور

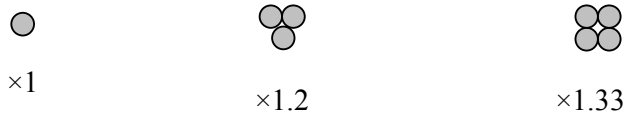
$$L_{db} = \max\left[\frac{0.075\, d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}, 0.0043 f_y\right]$$

ضرائب اصلاح

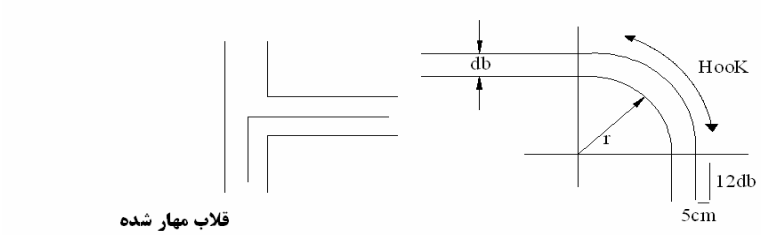
1-آرماتور مازاد

2-در صورتی که از آر ماتور عرضی و مار پیچ با ضوابط ACI برای مهار آرماتور فشاری استفاده شده باشد

ارماتورهای دسته شده :



قلاب های استاندارد



شعاع خارجی خم کردن ارماتور ها

Φ26تاΦ10→ 4db

Φ36تاΦ28→5db

Φ58تا Φ38→6db $\quad L_{dbh} = \dfrac{320\, db}{\sqrt{f'_c}}$

ضرائب اصلاح برای فرمولهای بالا

1- مقاومت جاری شدن

2- پوشش بتن

قلاب 180° برای میلگرد کوچکتر از Φ36 حداقل پوشش عمود ضد قلاب 6.5 سانتیمتر ضریب اصلاح 0.7

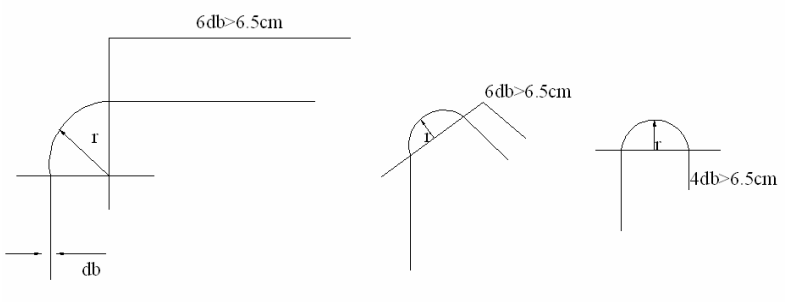
قلاب 90 درجه : برای میلگرد کوچکتر از Φ 36 حداقل پوشش در امتداد قلاب 5 سانتیمتر ضریب اصلاح 0.7

3- ارماتور مازاد

4- بتن سبک

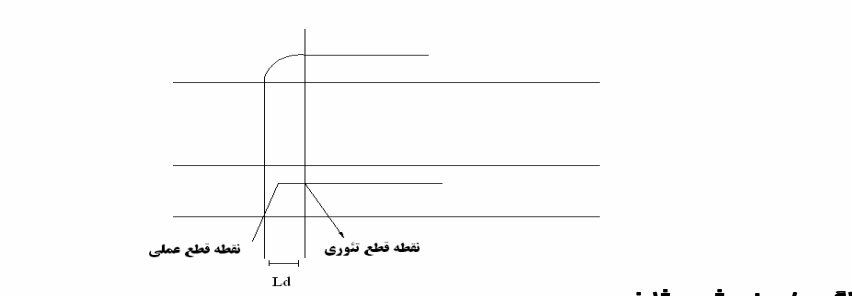
Copyright by: www.afshinsalari.com

برای خاموتها



جزئیات مربوط به ارماتور خمشی :

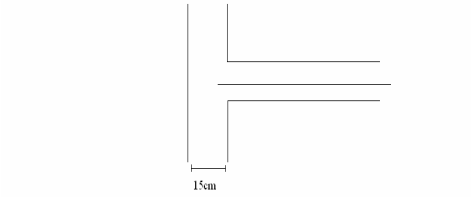
1- هر میلگرد بایستی حتما به اندازه طول مهاری از نقطه بحران ادامه پیدا کند



مقررا ت خاص میلگردهای خمشی مثلث :

1- حداقل 1/3 ارماتور های در تیر های ساده یا 1/4 ارماتور های در تیرهای سراسری در سراسر تیر ادامه پیدا کند .

2- میلگردهای حداقل ادامه یافته بایستی لااقل به اندازه 15 سانتیمتر در تکیه گاه فرو رود .



3- اگر تیر مورد نظر قطعه ای از قابی باشد که نیروی زلزله را تحمل میکند بجای 15 سانتیمتر باید L_d بکار برد .

4-طول مهاری در نقاط عطف یا تکیه گاهای ساده برای میلگردهای ادامه یافته باید در رابطه زیر صدق کند .

$$L_d \le \frac{M_n}{V_u} + L_a$$

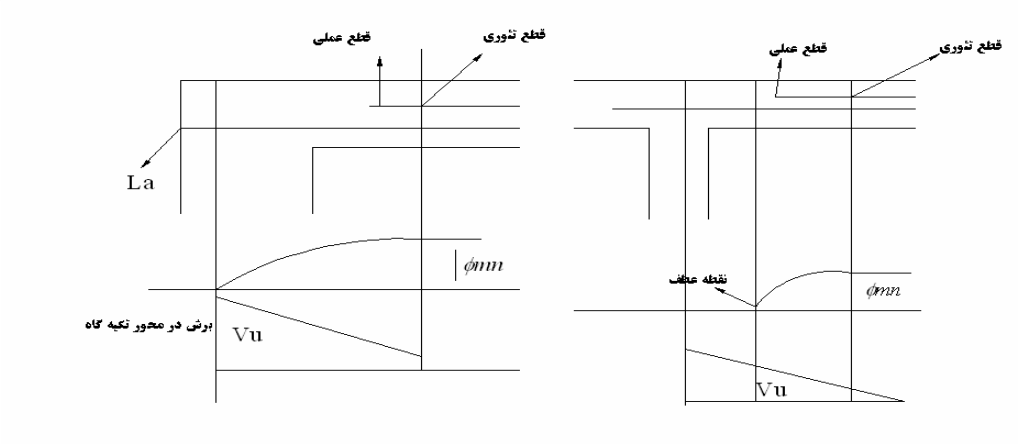
مقاومت خمشی نهایی برای مقطعی بامیلگردهای باقی مانده : M_n

مقاومت برشی ضریبدار در تکیه گاه یا نقطه عطف : V_u

طول ادامه یافته میلگرد پس از محور تکیه گاه یا نقطه عطف : L_a

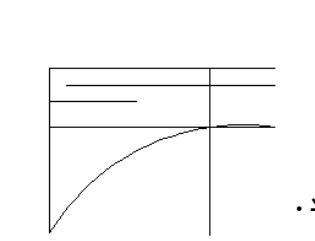
$$L_a = \max\begin{cases} 12d_b \\ d_b \end{cases}$$

Copyright by: www.afshinsalari.com



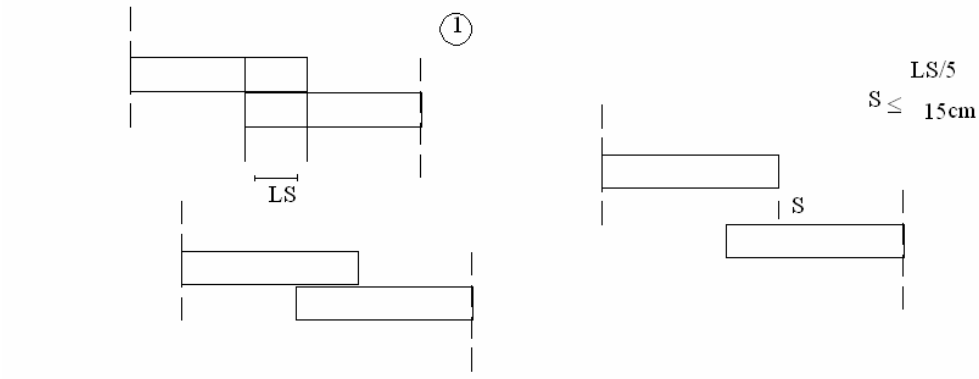
مقررات خاص میلگردهای خمشی منفی :

1- حداقل 1/3 میلگردهای منفی باید به اندازه $\max\begin{cases} d \\ 12d_b \\ L_n/16 \end{cases}$ از نقطه عطف لنگر منفی ادامه پیدا کند .



2-میلگرد منفی در محل اتصال به ستون بایستی طول مهاری لازم را داشته باشد .

وصله ارماتور ها :



1- برای ارماتورهای بزرگتر از Φ36 وصله پوششی نباید بکار برد

2-وصله ارماتور های دسته شده بصورت ناگهانی ممنوع است . در حقیقت بایستی تک تک ارماتور های یک دسته در فواصل جدا کننده وصله شوند .

Copyright by: www.afshinsalari.com