

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 ↓

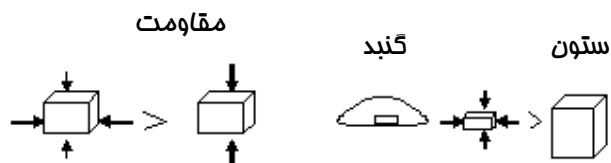
3- مصالح سنگی

4- ابعاد نمونه و شکل نمونه

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

بیشتری نسبت به نمونه بزرگتر دارد.

5- نوع تنشهای وارده



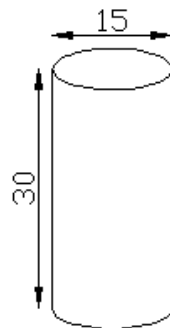
مقاومت چند محوره بیشتر از مقاومت‌های دو محوره می باشد.

6- سرعت بارگذاری ↑ مقاومت ↑

مقاومت مشخصه بتن = f'_c

با فرض f'_c :

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



روابط تبدیل f'_c به مقاومت فشاری:

1- نمونه مکعبی 15cm*15cm ($f_{cu} 15 \times 15$)

2- نمونه مکعبی 20cm*20cm ($f_{cu} 20 \times 20$)

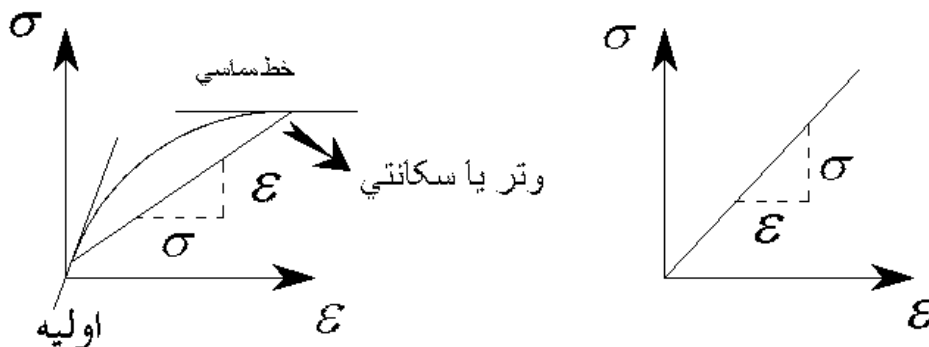
3- نمونه استوانه ای 30cm* 15cm ← نمونه استاندارد

عبارتند از:

$$f'_c = 0.8 f_{cu20 \times 20}, f'_c = 0.72 f_{cu15 \times 15}$$

$$f_{cu20 \times 20} = 0.9 f_{cu15 \times 15}$$

2- ضریب الاستیسیته



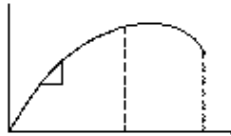
1- مدول الاستیسیته اولیه : شیب خط مماس در نقطه شروع

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

3- مدول الاستیسیته وتر : (سکانتی)

باید توجه کرد که بتن رفتار خطی ندارد .

نمودار Stress-strain برای بتن (کرنش - تنش)



فرمول ضریب الاستیسیته، E_c ، در سیستم SI :

$$E_c = W_c^{1.5} \times 0.137 \sqrt{f'_c}$$

E_c (kg / Cm²): ضریب الاستیسیته

W_c (kg / Cm³): وزن مخصوص بتن

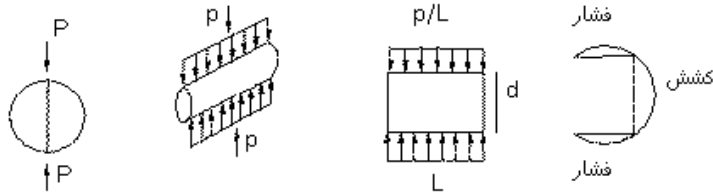
f'_c (kg / Cm²): مقاومت مشخصه بتن

$$1440 \text{ kg / m}^3 < W_c < 2480 \text{ kg / m}^3$$

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

3- مقاومت کششی بتن Tensil strength

الف- آزمایش شکاف نمونه استوانه ای



نیروی اعمال شده

$$f_{ct} = \frac{2p}{\pi dL}$$

فرمول: f_{ct}
 طول نمونه: L
 قطر نمونه: d
 تنش کششی در آزمایش شکاف نمونه استوانه ای

مقاومت کششی بتن نمونه در آزمایش شکاف از روی آئین نامه

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

f_{ct} (Kg/cm²) f'_c (Kg/cm²)

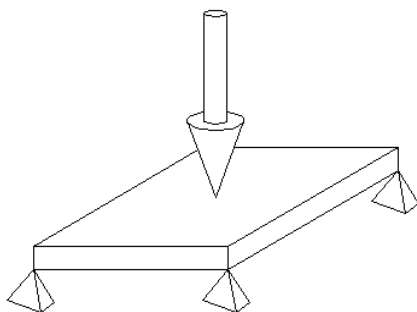
p: نیروی اعمال شده

d: قطر نمونه

L: طول نمونه

f_{ct} : تنش کششی در آزمایش شکاف نمونه استوانه ای

ب- آزمایش خمشی نمونه بتنی



$$M = \frac{PL}{4} \quad f_r = \sigma = \frac{Mc}{I}$$

مدول کسبفتگی: $f_r = 2\sqrt{f'_c}$

در وسط تیر

4- فرزش (Greep) در بتن

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

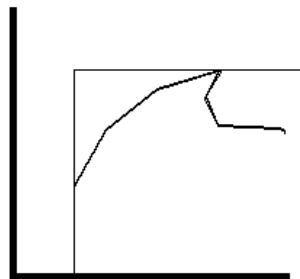
بطور کلی تغییر فرم اعضای پیمشی به دو قسمت تقسیم می شود.

1- تغییر فرم اولیه و الاستیک یا *Elastic deformation Initial*

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

به تغییر فرمهای دراز مدت یک عضو بتنی تحت اثر تنش ثابت در محدوده قابل بار الاستیک ، فرزش

(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 فرزش

C_t : ضریب فرزش

t = مدت (بارگذاری بر مسب روز)

$C_u = 2.35 =$ ضریب تغییر شکل نسبی نهایی فرزش

5- انقباض بتن (افت یا جمع شدگی) Shrinkage

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

- اثرات
- 1- در اعضا ممدود شده ایجاد تنشهای کششی می کند
 - 2- باعث ایجاد ترک در سطح بتن خواهد شد .

$$\mathcal{E}_{sh} = \text{کرنش ناشی از انقباض بتن}$$

$$(\mathcal{E}_{sh})_u \cong 0.0008 \text{ کرنش نهایی مربوط به انقباض بتن}$$

$$\mathcal{E}_{sh} = \frac{t}{t + 35} (\mathcal{E}_{sh})_u \text{ برای رطوبت نسبی } 40\%$$

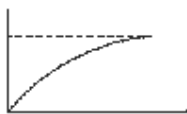
t : زمان بعد از قطع عملیات عمل آوردن بتن بر حسب روز

ضریب تصمیع برای رطوبت نسبی غیر از 40%

$$40 < H < 80 \% \quad 1.4 - 0.01H$$

H : رطوبت نسبی محیط پس از قطع عملیات عمل آوردن

$$80 < H < 100 \% \quad 3 - 0.03H$$



فولادهای مسلح کننده (تقویت کننده) بتن Reinforcement

1- برطرف کردن ضعف مقاومت بتن در جاهائیکه آرماتور وجود دارد . آرماتور وضعیت تامل

کشش را دارد.

2- کمک به بتن در تامل نیروهای فشاری

3- جلوگیری یا کنترل پدیده انقباض و تغییر درجه مرارت

انواع مفتولها

1- آرماتورها (مفتول) میلگردها

2- شبکه های جوش شده

	f_y kg/cm ²	F_u kg/cm ²	کرنش به هنگام گسیختگی
فولاد AI ساده	2400	3800	25
فولاد AII آچار	3000	5000	19
فولاد AIII آچار	4000	6000	14

از منمنی تنش - تغییر طول نسبی (کرنش) بتن دیده می شود. که در زیر تنش $\frac{f'_c}{2}$ بتن در مد قابل

قبولی بصورت الاستیک عمل می نماید.

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

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 .

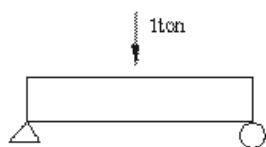
$$S > L$$

S: مقاومت L: بار

خدمت پذیری :

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

کنترل تغییر فرم سازه



Strength مقاومت سازه

Loads بارهای وارد بر سازه

عواملی که وجود ماشیه اطمینان را ضروری می کند :

1- تفاوت بارهای واقعی با بارهای مفروض

2- تفاوت در توزیع واقعی بار و توزیع مفروض

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 می‌شود 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

تضییع درجه حرارت

فشار مایعات ← مکانیک سیالات

روش تنش مجاز : Working Strees Design

$$L < \frac{S}{Fs}$$

مقاومت مجاز ← S
ضریب اطمینان ← Fs

S : مقاومت مجاز

L : بارهای وارده

F.S : ضریب اطمینان

بار فاکتور شده

$$L..Fs < S$$

روش مقاومت نهایی :

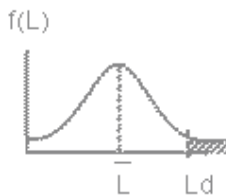
توابع پگالی احتمال بار- مقاومت - ماشیه اطمینان

سطح زیر نمودار برابر 1 می باشد.



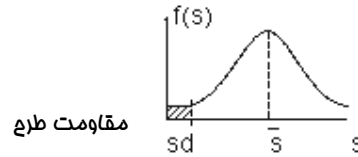
$$f(x) \geq 0$$

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



منحنی توزیع نرمال

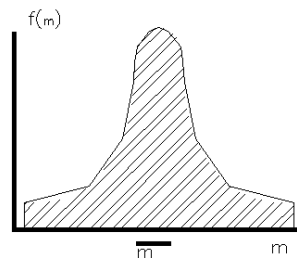
بار طرح با معیار مشخصه Characteristic Load



ماشیه اطمینان $m > 0, m = s - L > 0, s > L$

L و S متغیرهای تصادفی هستند پس m هم متغیر تصادفی است.

انحراف معیار مربوط به ماشیه اطمینان $\sigma_m =$



امتمال فراب نشود $S - L = m > 0$

$\varphi_s, \bar{S} \geq \gamma_L \bar{L}$

امتمال اینکه فراب شود $S - L < 0$

$\bar{m} > \beta \sigma_m$

β = اندیس ایمنی سازه

φ = ضریب ایمنی مقاومت کوچکتر از یک (L)

\bar{S} = متوسط مقاومت

\bar{L} = متوسط بار

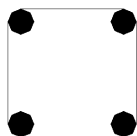
γ_L = ضریب ایمنی بار بزرگتر از یک

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

عواملی که مقاومت را افزایش می دهند، ضرایب متوسط بار آنها بزرگتر از یک است.

1- روش مقاومت نهایی ultimat estrength disign

S_n = Nominal Strength مقاومت اسمی



f_c , f_y , p_n

$\phi < 1$ ضریب کاهش ظرفیت = ϕ

مقاومت واقعی سازه (مقاومت طراحی) ϕS_n

$\Psi_i > 1$ ضریب مربوط به بار i ام = Ψ_i

بار شماره i = L_i

کل بار فاکتور شده = $\sum \Psi_i L_i$

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

2- روش تنش مجاز Working stress-Design

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

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

ضرایب کاهش ظرفیت

فمش	$\varphi = 0.9$	کشش محوری	$\varphi = 0.9$
برش و پیچش	$\varphi = 0.85$	فشار محوری	$\varphi = 0.7$ تا 0.9
فشار تماس	$\varphi = 0.7$	فشار تماس	$\varphi = 0.7$
فمش در بتن غیر مسلح	$\varphi = 0.65$		

ضرائب بار و ترکیبهای بارگذاری

E: زلزله	W: بار باد	D: بار مرده	L: بار زنده
T: تغییر درجه حرارت	F: فشار مایعات		H: فشار خاک

$$1.4 D + 1.7 L \quad \text{بار مرده وزنده}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W) \quad \text{افزاینده} \\ 0.9 D + 1.3W \quad \text{کاهنده} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.75(1.4D + 1.7L + 1.87E) \quad \text{افزاینده} \\ 0.9D + 1.43E \quad \text{کاهنده} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.4D + 1.7L + 1.7H \quad \text{افزاینده} \\ 0.9D + 1.7H \quad \text{کاهنده} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.4D + 1.7L + 1.4F \quad \text{افزاینده} \\ 0.9D + 1.4F \quad \text{کاهنده} \end{array} \right.$$

{	$0.75(1.4D+1.7L+1.4T)$	افزاینده
	$1.4(D+T)$	کاهنده

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

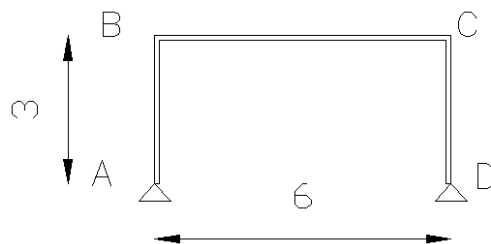
تنش فشاری مجاز در بتن تحت اثر خمشی = $0.45 f'_c$

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

تنش کششی مجاز در فولاد = $0.55F_y$

مثال: برای قاب نشان داده شده در زیر نیروی محور ایجاد شده در ستون CD برای ترکیبهای مختلف بارگذاری

بدست آورید؟



بار مرده روی تیر = $1t/m$

بار زنده روی تیر = $2t/m$

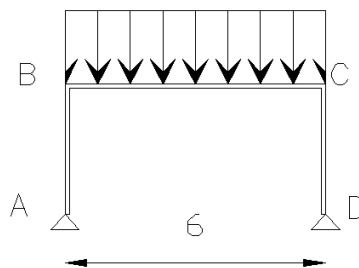
بار باد متمرکز واقعی روی نقطه B = $10ton$

توضیح :

باید قاب را تحت مالات مختلف بارگذاری آنالیز کرده و سپس بمرانی ترین حالت را انتخاب

Case 1:

می کنیم.



$$W_u = 1.4WD + 1.7WL = 1.4 \times 1 + 1.7 \times 2 = 4.8 \text{ t/m}$$

جهت پاد ساعت کرد مثبت می باشد

$$+ \sum M_A = 0 \rightarrow -4.8 \times 6 \times 3 + F_{CD} \times 6 = 0$$

$$F_{CD} = P_{u1} = 4.8 \times 6 \times \frac{1}{2} = 14.4 \text{ ton فشاری}$$

$$F_{BA} = P_{u2} = 4.8 \times \frac{6}{2} = 14.4 \text{ تقارن بلیلی}$$

Case2

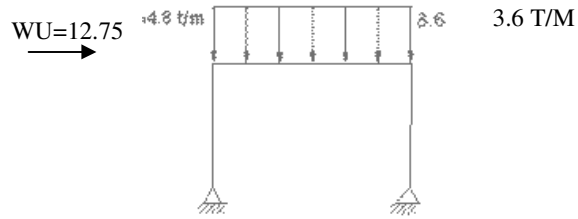
بار گسترده وارد بر تیر = W_u

بارمرده + بارزنده + بارباد

$$0.75(1.4D + 1.7L + 1.7w).$$

یک بار اثر بارهای گسترده را در نظر می گیریم که باد چون بار گسترده ندارد آن را در نظر نمیگیریم

$$0.75(1.4 \times 1 + 1.7 \times 2) = 3.6 \text{ t/m}$$



$$0.75 \times 1.7 \times 10 = 12.75 \text{ ton} \quad W_u = 12.75 \text{ ton}$$

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

حالت دوم $\xleftarrow{\text{جهت باد}}$ $P_{u2} = 3.6 \times 6 \times \frac{1}{2} - 12.75 \times \frac{3}{6} = 4.425 \text{ ton}$

Case 3

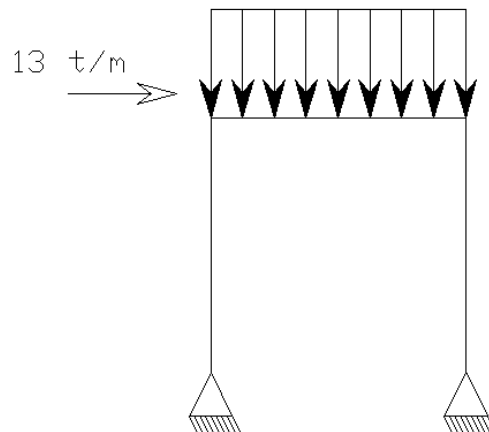
$$W_u = 0.9 \times 1 = 0.9 \text{ ton/m}$$

$$0.9D + 1.3W \quad W_u = 1.3 \times 10 = 13 \text{ ton}$$

$$WU = 0.9$$

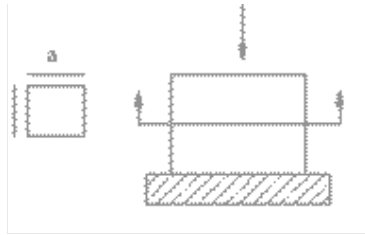
حالت اول $\xrightarrow{\text{جهت باد}}$ $P_{u3} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times 6 + 13 \times \frac{3}{6} = 9.2 \text{ ton}$ فشاری

حالت دوم $\xleftarrow{\text{جهت باد}}$ $P_{u3} = \frac{1}{2} \times 0.9 \times 6 - 13 \times \frac{3}{6} = -3.8 \text{ ton}$ کششی



مثال:

یک ستون فولادی کوتاه برای بارگذاری زیر طرح کنید.



$$P_D = 18 \text{ ton}$$

$$P_L = 13 \text{ ton}$$

$$\phi = 0.7$$

$$F_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

روش مقاومت نهایی

$$P_u = 1.4P_D + 1.7P_L = 1.4 \times 18 + 1.7 \times 13 = 45.9 \text{ ton}$$

$$\sum \psi_i L_i \leq \phi S$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma \cdot A = S$$

$$\sum \psi_i L_i = P_u = \phi A f_y \rightarrow 47.3 \times 1000 = 0.7 \times A \times 3000$$

$$\rightarrow A = 22.52 \text{ cm}^2$$

روش تنش مجاز:

$$\text{مجاز تنش} = 0.55 F_y = 0.55 \times 3000 = 1650 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 13 + 18 = 31 \text{ ton} \quad \text{جمع بار مرده و زنده}$$

$$\text{مقاومت مجاز} = 13 + 18 = 31 \text{ ton}$$

$$\text{مقاومت مجاز} = 1650 \times A = 31000 \text{ kg} \quad P \cdot A = S$$

$$A = \frac{31000}{1650} = 18.79 \text{ cm}^2$$

فصل سوم

بررسی رفتار و طراحی مقاطع خمشی

1- تیرها Beam

2- دالها Slab

3- فونداسیونها Footing

4- دیوار مائل

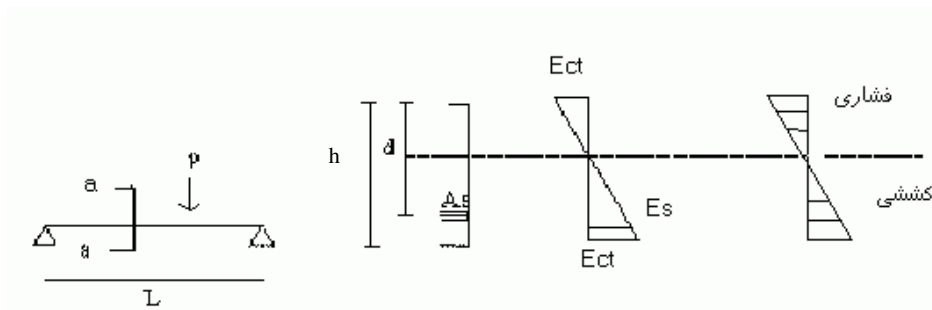
اصل اساسی

صفات مستوی که قبل از تغییر شکل عمود بر محور تیر بوده اند پس از تغییر شکل بصورت مستوی باقی

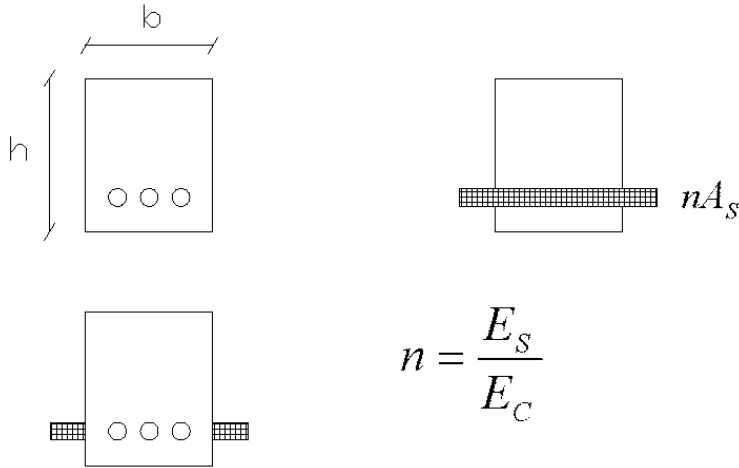
فروهند ماند و همچنان بر محور تیر عمودند.

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

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



نیرو در مقطع فولاد : $A_s \epsilon_s E_s$



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

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

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

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

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

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

گشتاور اینرسی مقطع ترک نفورده: I_g

مقطع ترک نفورده $(n-1)A_s$

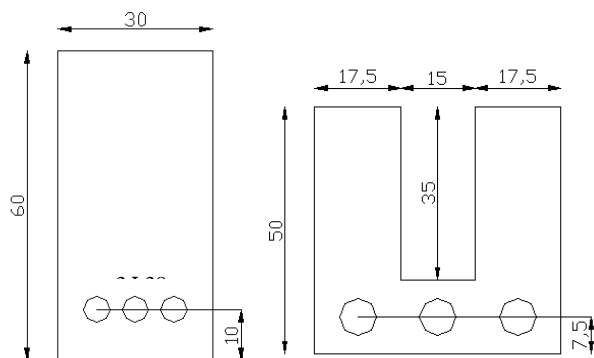
مقطع ترک نفورده nA_s

فاصله نقطه مورد نظر تا تارفتنی: y

لنگر خمشی در مقطع M

تنش در نقطه مورد نظر f

مثال (برای مقاطع داده شده ، I_g را محاسب کنید؟

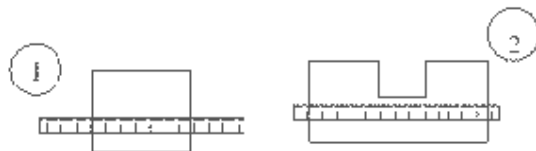


$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \Rightarrow A_s = 3\Phi 20$$

$$2 \Rightarrow A_s = 3\Phi 28$$

مقاطع تبدیل شده



برای شکل (1)

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

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 \times 10^6}{252671} = 8.0$$

$$A_s = 3\Phi 20 = 9.42 \text{ cm}^2 \quad (n-1)A_s = \text{فولادی یافتنه تبدیل} \quad A = 7 \times 9.42$$

$$\bar{y} = \frac{30 \times 60 \times 30 + 7 \times 9.42 \times 10}{30 \times 60 + 7 \times 9.42} \rightarrow \bar{y} = 29.293 \text{ پایین از}$$

$$I_g = \frac{1}{12} 30 \times 60^3 + 30 \times 60 (30 - 29.293)^2 + 7 \times 9.42 \times (29.293 - 10)^2 = 565443 \text{ cm}^4$$

$$A_s = 3\Phi 28 = 18.47 \text{ cm}^2$$

برای شکل 2

$$\bar{y} = \frac{50 \times 50 \times \frac{50}{2} - 15 \times 35 \times \left(15 + \frac{35}{2}\right) + 7 \times 18.47 \times 7.5}{50 \times 50 - 15 \times 35 + 7 \times 18.47}$$

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

$$I_g = \frac{1}{12} 50^4 + 50 \times 50 \times (25 - 22.054)^2 - \frac{1}{12} \times 15 \times 35^3 - 35 \times 15$$

$$\left[\left(15 + \frac{35}{2} \right) - 22.054 \right]^2 + 7 \times 18.47 (22.054 - 7.5)^2 = 459036 \text{cm}^4$$

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} = \text{مدول گسیختگی بتن}$$

M_{cr} = لنگر ترک فوردهگی : 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 f_r باشد.

Crackin moment

$$f = \frac{M_{cr} \cdot y_t}{I_g} \Rightarrow f_r = \frac{M_{cr} \cdot y_t}{I_g} \Rightarrow M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

در لمظه ترک فوردهن نیز باید از I_g ترک نفورده استفاده کنیم اما اگر گذشت نمی توانیم از I_g استفاده کنیم .

مل مثالها برای مقاطع ترک فورده

شکل 1:

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

$$y_t = 29.293 \text{cm}, M_{cr} = \frac{33.5 \times 565443}{29.293} = 646651 \text{ kg.cm} \quad M_{cr} = 6.47 \text{T.m}$$

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

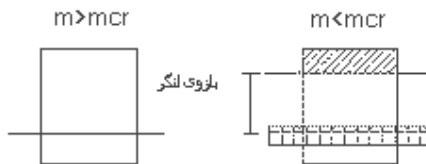
لنگر بیشتر از این مقدار ترک فورده $M > M_{cr}$

شکل 2:

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

در مقطع ترک نفورده: در زیر تار فنئی تمام مقطع می تواند کشش تحمل کند.

در مقطع ترک فورده: در زیر تار فنئی فولاد فقط کشش را تحمل میکند.



معمور فنئی در مقطع ترک فورده بالاتر از مقطع ترک نفورده می باشد.

دلایل بالا رفتن :

1- بازوی لنگر زیاد می شود .

2- سطح مقطع بالایی کم می شود .

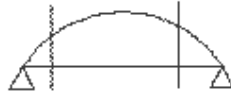
نکته :

1- در مقطع ترک نفورده ، تمام مقطع با لنگر مقابله می کند.

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

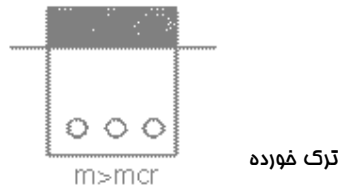
3- در مقطع ترک فورده تار فنئی نسبت به مقطع ترک فورده بالاتر می رود .

4- با افزایش لنگر نسبت به حالت ترک نفورده و رسیدن به لنگر ترک فوردگی مقطع ترک میخورد .



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

بدلیل اینکه در مقطع ترک خورده مقطع تیر باید زیاد باشد.



روش تنش مجاز : working stress design

1- تغییرات strain (کرنش) در ارتفاع نیز خطی است .

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

$$E_s = 2.04 \times 10^6$$

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

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

4- هیچگونه لغزشی بین بتن و آرماتور وجود ندارد .

آیین نامه :

تنش مجاز در بتن = $0.45 f'_c$

تنش مجاز کششی در فولاد

AII : 1400 kg/cm^2

AIII : 1680 Kg/cm^2

نکاتی در روش طراحی به تنش مجاز

1- بارهای وارده بدون ضریب هستند ← بار فدمت 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 .

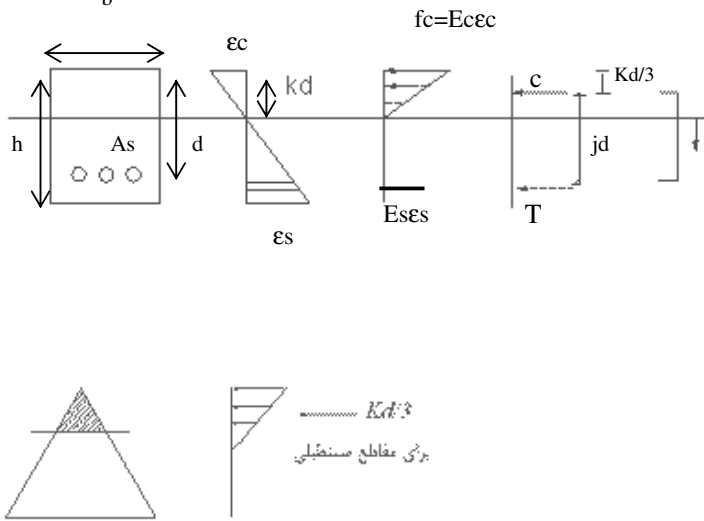
نکاتی که در اثر پیدایش ترک (دو نوع حالت ترک فوردگی) ، به چشم می‌خورد .

1- تار فنتی به سمت بالا حرکت می کند.

2- تنش در فولاد افزایش می یابد.

3- ممان اینرسی مقطع ترک فورده نسبت به ترک نفورده کاهش می یابد.

مالت مقطع ترک فورده :



f_c : تنش ایجاد شده در بتن

b : پهناي مقطع

d : ارتفاع موثر

A_s : سطح فولاد کششی

f_s : تنش کششی فولاد

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \quad f_c = E_c \cdot \epsilon_c$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow T = C, T = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot \epsilon_s$$

$$C = \frac{1}{2} f_c kdb = kdb E_c \frac{\epsilon_c}{2}$$

$$T = C \rightarrow A_s E_s \cdot \epsilon_s = kdb E_c \frac{\epsilon_c}{2} \quad (1)$$

از روی نمودار Strain (کرنش)

$$\frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d - kd} \rightarrow \epsilon_c = \frac{kd}{d - kd} \epsilon_s \quad (2)$$

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

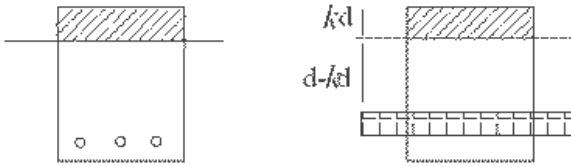
$$kdb \frac{kd}{2} = nA_s (d - kd) \frac{bd^2}{2} \frac{\text{طرفین بر } bd^2 \text{ تقسیم می شوند}}{2} = n \frac{A_s}{bd} (1 - k)$$

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

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

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad n = \frac{E_s}{E_c}$$

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



مقطع ترک فورده

مقطع تبدیل یافته ترک فورده

تذکر: رابطه * فقط برای مقاطع مستطیلی است و برای مقاطع غیر مستطیلی جهت تعیین محور خنثی می توان

محور خنثی مقطع مبدل ترک فورده را مناسبه کرد .

$$M = Tj d = Cj d \quad j d = d - kd/3 \quad j = 1 - k/3$$

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

فقط برای مقاطع مستطیلی

$$M = f_s A_s j d, M = \frac{f_c}{2} \times kdb j d = \frac{f_c}{2} k j b d^2$$

$$f_s = \frac{M}{A_s j d} \text{ تنش موجود در فولاد} \quad \text{و} \quad f_c = \frac{2M}{k j b d^2} \text{ تنش در بتن}$$

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

$$f_{ct} = \frac{M \cdot y_t}{I_g} < f_r \quad , f_{cc_{max}} = \frac{M \cdot y_c}{I_g} < 0.45f'_c \quad M_{cr} = \frac{f_{cr}}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad f_s = n \frac{M \cdot y_t}{I_g} < f_y \quad \text{مقطع ترک نخورده}$$

I_g = ممان اینرسی مقطع ترک نخورده

$$f_s = n \frac{M \cdot y_s}{I_{cr}} < 0.55f_y \quad \text{مقطع ترک نخورده}$$

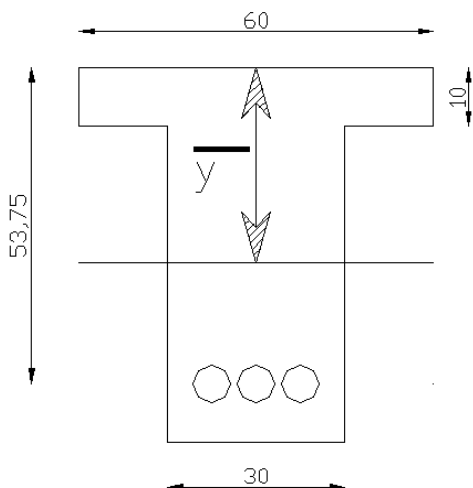
$$f_c = \frac{M \cdot y_c}{I_{cr}} < 0.45f'_c \quad \text{تنش مجاز بتن}$$

$M > M_{cr} \rightarrow$ مقطع ترک خورده

$M < M_{cr} \rightarrow$ مقطع ترک نخورده

روش مل برای مقاطع غیر مستطیلی:

(مثال)



برای مقطع T شکل زیر

(الف) موقعیت محور ثنی را پیدا کنید؟

(ب) لنگر اینرسی مقطع ترک خورده را حساب کنید؟

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$A_{\text{tot}} = nA_s = 8.54 \times 24.13 = 206.18 \text{ cm}^2$$

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

(الف)

لنگر اول سطح نامیه فشاری نسبت به محور فنتی

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

لنگر اول سطح بتن معادل فولاد نسبت به محور فنتی

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

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

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

* اگر عدد y طوری بدست آمد که محور فنتی در قسمت هاشور فورده افتاد باید دوباره \bar{y} را برای قسمت هاشور

فورده و یا مستطیلی (با فرض مقطع مستطیل) انجام دهیم * مهم

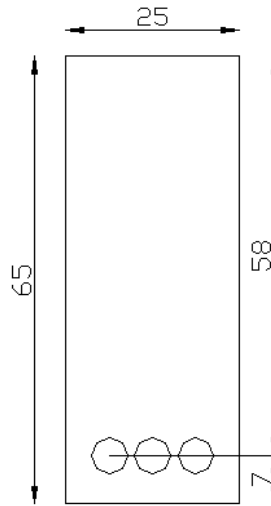
I_{Cr} : ممان اینرسی مقطع ترک فورده حول محور فنتی

$$I_{cr} = \frac{1}{12} 60 \times 10^3 + 60 \times 10 \times (16.646 - 5)^2 + \frac{1}{12} \times 30 \times (16.646 - 10)^3 + 30(16.646 - 10) \left(\frac{16.646 - 10}{2} \right)^2 + 206.18 \times (53.75 - 16.646)^2 \Rightarrow I_{cr} = 373162.5 \text{ cm}^4$$

$$f_c = \frac{M \times 16.646}{373162.5} < 0.45 f'_c \quad f_c = \frac{M \times y_c}{I_{cr}} < 0.45 f'_c$$

$$f_s = \frac{n \times M \times (53.75 - 16.646)}{373162.5} < 0.55 f_y$$

مثال (



$$A_s = 15.93 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = 280 \text{ kg / cm}^2$$

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

$$f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$$

$$n = 8 \rightarrow n - 1 = 7$$

مطلوب است :

1- لنگر ترک خوردگی

2- مقادیر تنشها را به ازای $M_{cr} \pm \epsilon$ محاسبه کنید .

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

$$I_g = 649058 \text{ cm}^4 \quad M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} = \frac{330.5 \times 649.58}{65 - 34.14}$$

لنگر ترک خوردگی وقتی بوجود می آید که تنش آن برابر f_r یا مدول گسیفتگی باشد . $M_{cr} = 704583 \text{ kg / cm}$

حالت اول :

$$M_{cr} - \epsilon$$

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

مقطع ترک نخورده :

دریک ε کمتر حداکثر تنش در بتن باید مقدار f_r یکی شود .

$$f_{cc} = \frac{704583 \times 34.14}{649058} = 37.06 \text{ kg/cm}^2$$

مداکثر تنش فشاری در بتن

$$f_s = \frac{8 \times 704583 \times 34.14}{649058} = 296.48 \text{ kg/cm}^2$$

تنش کششی در فولاد

نکته :

در مقطع ترک نفورده روابط در صورتی که ضابطه هایی که با علامت = مشخص شده اند صادق باشد .

$$1) f_{ct} = \frac{M_{cr} \cdot y_t}{I_g} < f_r \qquad 3) f_s = \frac{n \cdot M_{cr} \cdot (d - \bar{y})}{I_g} < f_y$$

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

نکته:

در مقطع ترک نفورده غیر مستطیلی

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

مقدار لنگر یک مقدار از مقدار لنگر ترک نفورده بیشتر شود.

$$n = 8 \qquad \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{15.93}{25 \times 58} = 0.011 \rightarrow \rho_n = 0.0879$$

$$k = -\rho n + \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} = 0.34 \rightarrow j = 1 - \frac{k}{3} = 0.887$$

$$f_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{704583}{15.93 \times 0.887 \times 58} = 859.7 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل یک مقطع مستطیلی به روش مجاز

تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن

 Given : $b, d, A_s,$

 Req : f_s, f_c
روش کار

$$1- \text{مقادیر } n = \frac{E_s}{E_c} \text{ مساب شود و } \rho = \frac{A_s}{bd} \text{ مساب شود}$$

$$2- \text{مقادیر } k \text{ را مساب کنید. } k = -\rho n + \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n}, j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$3- \text{مقادیر } f_s \text{ و } f_c \text{ را مساب کنید. } f_s = \frac{M}{A_s j d}, f_c = \frac{2M}{k j b d^2}$$

مالت کلی برای مقاطع غیر مستطیلی

1- موقعیت تار فنئی را برای مقطع ترک فورده مناسبه کنید .

 2- ممان اینرسی مقطع ترک فورده را مساب کنید . (I_{cr})

3- مقدار تنش در فولاد و بتن را مساب کنید .

$$f_s = \frac{nM \cdot y_s}{I_{cr}}$$

$$f_c = \frac{M \cdot y_c}{I_{cr}}$$

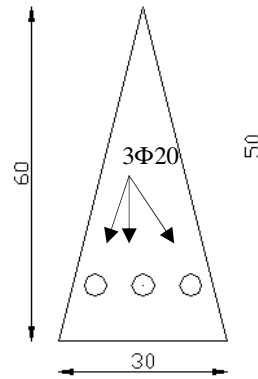
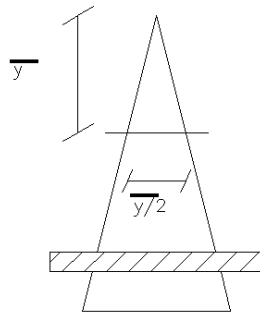
(مثال)
مطلوبست مناسبه تنش موجود در فولاد و بتن در مقطع شکل زیر ؟

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

$$f_y = 4000 \text{ kg / cm}^2$$

$$M = 20 \text{ ton.m}$$

$$A_s = 3\Phi 20$$



$$\text{تنش مجاز بتن} = 0.45 f'_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{تنش مجاز فولاد} = 0.55 f_y = 2200 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$A_{tot} = 10 \times 3 \times 3.14 \times \frac{\pi \times 3^2}{4} = 94.2 \text{ cm}^2$$

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

$$94.2 \times 2(50 - \bar{y}), \frac{\bar{y}^3}{12} + 94.2 \bar{y} - 4710 = 0 \rightarrow \bar{y} = 28.821 \text{ cm}$$

$$I_{cr} = \frac{(28.821)^4}{24} + 94.2 \times (50 - 28.821)^2 \Rightarrow I_{cr} = 71002 \text{ cm}^4$$

$$f_c = \frac{20 \times 10^5 \times 28.821}{71002} = 81108 \text{ kg/cm}^2 > \text{تنش مجاز} = 90$$

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

یا باید فولادها را زیاد کنیم یا ابعاد (از یاد کنیم و یا مقطع را عوض کنیم .

بدست آوردن لنگر مقاوم یک مقطع مستطیلی

تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن

Given : $b, d, A_s,$

Req : M

سه حالت ممکن است رخ بدهد

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

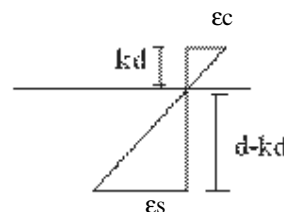
2- اول بتن به تنش مجاز برسد ← غیر اقتصادی ترین حالت ← مقدار فولاد زیاد

3- بتن و فولاد همزمان به تنش مجاز میرسند ← اقتصادی ترین حالت ← مقدار فولاد متعادل حالت

حالت تنش متعادل

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{kd}{(d-kd)}, \quad \epsilon_c = \frac{f_c}{E_c}$$

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



$$\frac{f_c}{\epsilon_c} \cdot \frac{\epsilon_s}{f_s} = \frac{k}{1-k} \rightarrow \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} \cdot \frac{f_c}{f_s} = \frac{k}{1-k}$$

$$n = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c}, \quad r = \frac{f_s}{f_c}$$

حالت تنش معادل:

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

$$\{ M = A_s f_{sall} j d$$

$$\{ M = \frac{f_{call}}{2} k j b d^2$$

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

درصد فولاد متعادل : ρ_e

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

$$A_s f_{sall} jd = \frac{f_{call}}{2} k j b d^2 \rightarrow \rho_e f_{sall} = \frac{f_{call}}{2} \times k$$

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

فرمول مناسبه در صد فولاد متعادل

چون از تنشهای all استفاده شده ρ_e است

دستورالعمل برای مقاطع مستطیلی

تنش مجاز فولاد ، تنش مجاز بتن

Gaven : $b, d, A_s,$

Req : M

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

2- درصد فولاد را مساب کنید. $\rho = \frac{A_s}{bd}$

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

$$M = \min \begin{cases} \frac{f_{call}}{2} k j b d^2 \\ A_s f_{sall} j d \end{cases} \quad \begin{matrix} 1 \quad f_c = 0.45 f'_c \\ 2 \quad f_s = 0.55 f_y \end{matrix} \quad \begin{matrix} -4 \\ \text{اگر } \rho > \rho_e \text{ باشد:} \end{matrix}$$

اول بتن به تنش مجاز می رسد (درصد فولاد زیاد)

بتن کنترل کننده می باشد و هر دو M یک عدد می دهد .

کنترل کننده

$$M = \frac{f_{call}}{2} k j b d^2 \quad \leftarrow \quad M = f_s A_s j d$$

اگر $\rho < \rho_e$ باشد

اول فولاد به تنش مجاز میرسد و درصد بتن زیاد

فولاد کنترل کننده می باشد، هر دو M یک عدد می دهد .

کنترل کننده

$$M = A_s f_{sall} jd \longrightarrow M = \frac{f_c}{2} k j b d^2$$

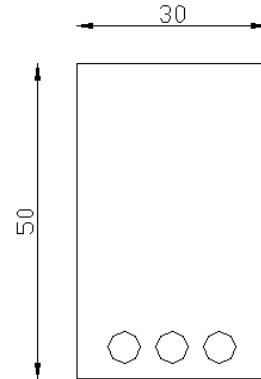
در واقع ما میتوانیم دو حالت M را مناسب کرده و هرکدام که کوچکتر بود را انتخاب می کنیم و معیار کنترل می

شود اگر حالت 1 کوچکتر شد بتن و اگر حالت 2 کوچکتر شد فولاد کنترل کننده است و بعنوان مثال اگر در حالتی که

بتن کنترل کننده است M بدست آمده را مساوی $f_s A_s j d$ قرار میدهیم و f_s بدست می آوریم .

مثال

مماسبه ظرفیت فنی مقطع مستطیل روبرو با استفاده از روش مجاز؟



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

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 \times 10^6}{252671} = 8, A_s = 3\Phi 26 = 15.93 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{15.93}{30 \times 45} = 0.0118 \quad \rho n = 0.0118 \times 8 = 0.0944$$

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

$$M = \min \left\{ \begin{array}{l} A_s f_{sall} jd = 10.76 \text{ ton.m} \\ \frac{f_{call}}{2} k j b d^2 = 11.82 \text{ ton.m} \end{array} \right.$$

→ اول فولاد به $f_{sall} = 1700 \text{ kg / cm}^2$

نش حداکثر می رسد

FS همان f_{sall} است چون فولاد به مد جاری شدن رسیده مال برای مماسبه تنش بتن داریم :

$$M = 10.76 \rightarrow$$

$$f_c = \frac{2M}{jkb d^2} = \frac{2 \times 10.76 \times 10^5}{0.883 \times 0.35 \times 45^2}$$

$$\Rightarrow f_c = 114.6 \text{ kg/cm}^2$$

اگر درصد فولاد متعادل رانیز فواسته باشد

$$\rho_e = \frac{n}{2r(n+r)} \rightarrow r = \frac{f_{sall}}{f_{call}} = \frac{1700}{126}$$

$$r = 13.5 \quad \rho_e = \frac{8}{2 \times 13.5(13.5 + 8)}$$

$\rho_e = 0.0138 > \rho \rightarrow$ فولاد کنترل کننده است

$$A_{se} = \rho_e b d = \text{مقدار فولاد حالت متعادل} = 18.63 \text{ cm}^2$$

بدست آوردن ابعاد مقطع و فولاد گذاری

تنشهای مجاز،

$$Re q = b, d, A_s(p) \quad \text{Given} = M$$

مراحل کار

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

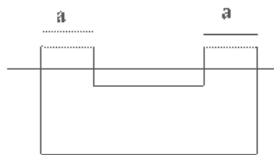
2- مقادیر k و j را مناسب کنید $k = \frac{n}{n+r}$, $j = 1 - k/3$

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

ب) داشتن bd^2 می توان مقادیر b و d را بدست آورد

4- از رابطه زیر مسامت فولاد را بدست آورد. $A_s = \frac{M}{f_{sall} j d}$

مثال :



مانند یک مقطع مستطیلی که پهنای آن $2a$ و ارتفاع آن مشخص است .

برای سایر مقاطع باید از سعی و فط استفاده کرد

سطح مقطع دایره را میتوان در صورت کم حجم بودن عملیات به 6 ضلعی تبدیل کرد .

تنشهای مجاز b, d, m :

بدست آوردن مقدار فولاد یک مقطع مستطیلی

$$Req: A_s$$

مراحل کار

1- n و r را برای حالت تنش متعادل مناسب کنید

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

$$3- \text{مداکثر لنگری (اگر مقطع می تواند بدون فولاد فشاری تحمل کند بدست آورید). } M_c = \frac{f_{call}}{2} k j b d^2$$

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

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

$$A_s = \frac{M}{f_{sall} j d}$$

4- مقدار فولاد را از رابطه زیر بدست می آوریم

$$5- \text{درصد فولاد را مناسب کنید. } \rho = \frac{A_s}{b d}$$

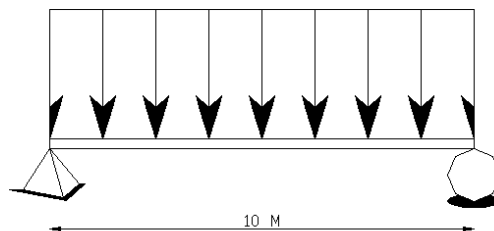
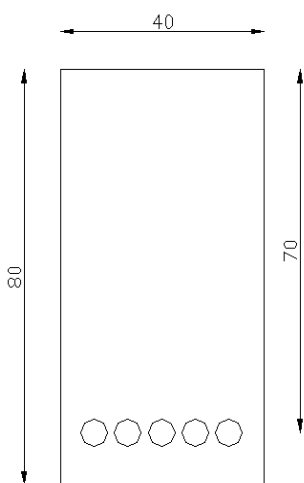
6- مقدار k را از رابطه زیر بدست می آوریم

$$k = -\rho n + \sqrt{\rho n^2 + 2\rho n} \quad j = 1 - k/3 \quad -7$$

به مرحله 4 می روییم و عملیات را به صورت گردش ادامه می دهیم .

مثال (

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



$$W_D = 1T / m$$

$$W_L = 2T / m$$

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

$$f_{sall} = 1800 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{call} = 90 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

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

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

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

وزن مفصوم بتن

$$W'_D = 0.8 \times 0.4 \times 2.4 = 0.768 \text{ ton} / m$$

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

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

$$M = M_{MAX} = \frac{1}{8}WL^2 = \frac{1}{8} \times 3.768 \times 10^2 = 375 \text{ ton.m}$$

مال ابعاد را به طوری دقیق مناسبه می‌کنیم

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

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

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

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

$$M = \frac{f_{call}}{2} \times kj \times bd^2 \rightarrow 47.1 \times 10^5 = \frac{90}{2} \times 0.333 \times 0.889 \times bd^2 \rightarrow bd^2 = 353280$$

$$bd^2 = 40 \times 70^2 = 196000 < 353250$$

$$b = 50 \text{ cm}, d = 90 \text{ cm}, h = 100 \text{ cm} \rightarrow bd^2 = 50 \times 90^2 = 405000$$

$$405000 > 353250$$

ابعاد جدید

مال با ابعاد (d,b) جدید کار می‌کنیم

$$W'_D = 0.5 \times 1 \times 2.4 = 1.2 \text{ ton/m}$$

$$W = 1 + 2 + 1.2 = 4.2 \text{ ton/m}$$

$$M = \frac{1}{8} \times 4.2 \times 10^2 = 52.5 \text{ ton.m}$$

مال ابعاد معلوم شده است ، میخواهیم درصد فولاد را مناسب کنیم به حالت دوم برمیگردیم

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

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{52.5 \times 10^5}{1800 \times 0.889 \times 90} = 36.46 \text{ cm}^2$$

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

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 را انتخاب می کنیم که $A_s = 36.41$ را به ما بدهد

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

در آیین نامه حداقل فاصله آزاد آماورها از هم یا باید 2.5cm و یا به اندازه فاصله قطر آماورها باشد .

طراحی به روش مقاومت نهائی: ultimate strength Design

M_n : ظرفیت اسمی مقطع، ظرفیتی است که می تواند تا حد فرایی تحمل کند (مداکثر لنگر قابل تحمل)

دار $\psi L < \varphi s$ ضریب دار

M_u : مقاومت خمشی مورد نیاز : ا ز آنالیز سازه تحت بارهای وارده بدست می آید .

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

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



فروش معیار زوال در تیرهای بتنی :

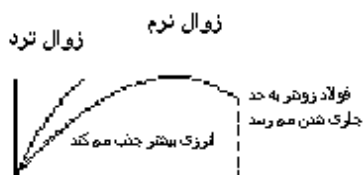
معیار زوال در تیرها آن است که مقدار تغییر شکل نسبی (strain) در دورترین تار فشاری بتن به مقدار

$\varepsilon_{cu} = 0.003$ برسد . بعبارت دیگر معیار زوال آن است که بتن فرود شود وقتی فرود می شود که کرنش به مقدار

0.003 و بیشتر از آن برسد .

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

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



بمط روی چگونگی زوال تیرها بر اساس در صد فولاد کششی

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

Over reinforced

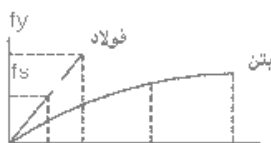
حالت دوم : فولاد کششی کم ، آغاز زوال با تسلیم فولاد شروع می شود .

Under reinforced

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

Lightly Reinforced

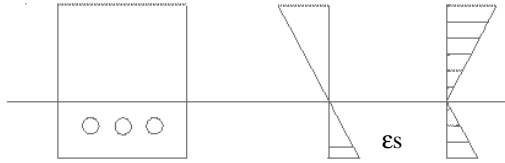
زوال تیرها با فولاد زیاد : failure of under reinforced beam



زوال تیرها با فولاد کم : failure of under reinforced beam

بدلیل کم بودن فولاد ممل تار فنتی مقدار کمی بالا می رود . برای فولاد کم می توان از رفتار فنی بتن استفاده

کرد .

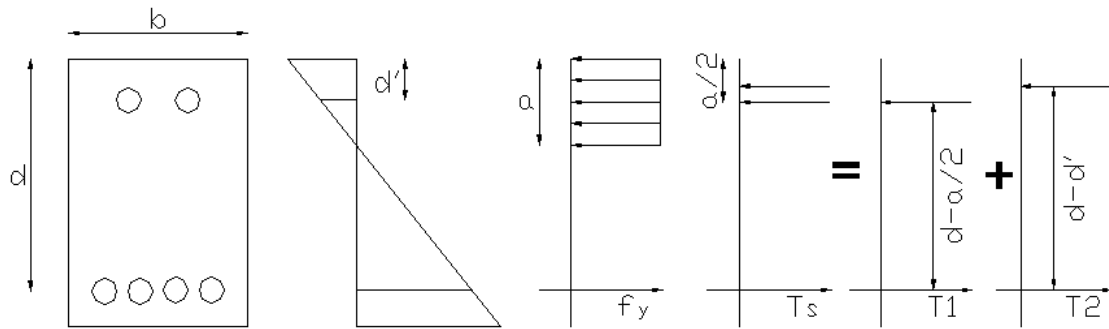


حالت اول :

$$M < M_{cr}$$

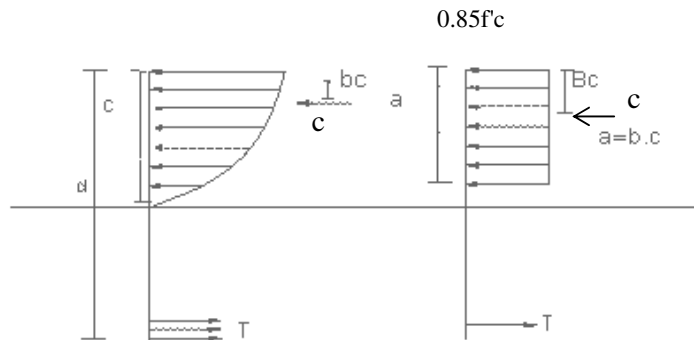
لنگر ایجاد شده

لنگر ترک فورده



اشکال بالا مربوط به رفتار تیر فولادی با فولاد کم می باشد .

$$\beta = \begin{cases} 0.425 & f'_c < 280 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.85 - 0.05 \times \frac{f'_c - 280}{70} & 280 < f'_c < 560 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.325 & f'_c > 560 \end{cases}$$



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

$$C = 0.85 f'_c ab$$

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

$$T = C$$

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b} \quad c = \frac{a}{\beta_1} \quad \text{در صد فولاد}$$

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

q = tension Reinforcing Index

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

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

$$\rightarrow a = \frac{\rho f_y d}{0.85 f'_c}$$

$$q = \frac{\rho f_y}{f'_c} \Rightarrow a = \frac{qd}{0.85} \Rightarrow M_n = \rho b d f_y (d - \frac{qd}{1.7})$$

فرمول دارای کاربرد بسیار

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right)$$

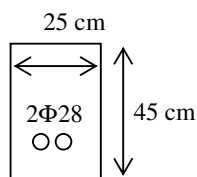
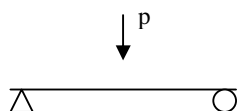
$$M_n = f'_c b d^2 \left(1 - \frac{q}{1.7}\right)$$

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

مثال (

مقدار ظرفیت باربری اسمی این تیر را محاسب کنید . (p_n)

طول دهانه 5 متر



$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2, f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = 12.32 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{12.32}{25 \times 45} = 0.0109, \quad M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right)$$

پس کنترل می کنیم

$$M_n = 2013486.9 = 20.13 \text{ ton.m} \quad \text{مشروط بر اینکه زوال کششی باشد}$$

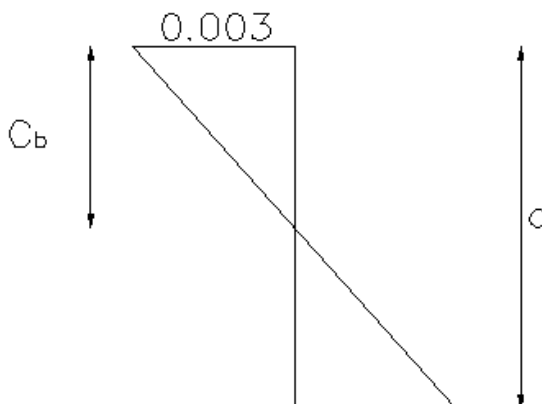
$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{12.32 \times 4200}{0.85 \times 200 \times 25} = 12.175 \text{ cm}$$

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

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

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

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 4200 / 2.04 \times 10^6 = 0.00206$$



$\epsilon_s < \epsilon_y$: مسئله غلط بوده و مقدار فولاد را باید کم کنیم . پس زوال نرم داریم

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

$\epsilon_s > \epsilon_y \rightarrow$

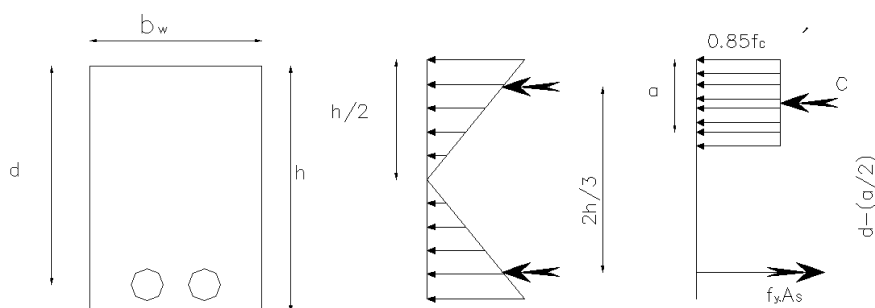
مداقل فولاد کششی :

اگر ظرفیت اسمی یک مقطع از مقدار لنگر ترک فوردهی کمتر باشد در این حالت به محض ترک خوردن

$$M_n = M_{cr} \Rightarrow \text{مداقل فولاد}$$

$$M_n < M_{cr} . \text{مقطع تیر دچار زوال ناگهانی خواهد شد .}$$

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



به علت کم بودن فولاد فیلی نامیز است .

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

3- مقدار b و d را یکی در نظر بگیریم (تقریباً)

مماسیه ترک خوردگی

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

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

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

$$\frac{A_s}{b_w d} = \frac{f_r}{6 f_y} \rightarrow \rho = \frac{2 \sqrt{f'_c}}{6 f_y}, \quad f'_c = 280 \rightarrow \rho = \frac{2 \sqrt{f'_c}}{6 f_y} = \frac{5.58}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{2.5 \times 5.58}{f_y} \rightarrow \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

آئین نامه ACI:

$$\rho_{min} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{14}{f_y} \\ 4 \\ 3 \end{array} \right.$$

در صد فولادی که از محاسبات به دست آمده

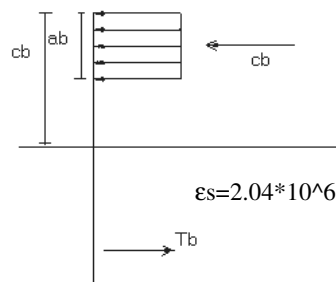
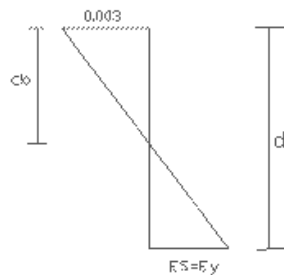
هر کدام کمتر بود به عنوان در صد فولاد به کار می بریم .

مداکتر فولاد کششی :

حالت زوال متعادل : Balanced Failure در این حالت فوردشدن بتن (رسیدن starain بتن به 0.003) همزمان

با تسلیم فولاد رخ فواهداد.

$$0.85 f_c$$



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

$$T_b = c_b$$

$$A_s f_y = 0.85 f'_c a_b b$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 f'_c a b}{F_y} \rightarrow a_b = \beta_1 c_b \rightarrow A_{sb} = \frac{0.85 f'_c \beta_1 c_b b}{F_y}$$

$$= \frac{0.85 \beta_1 f'_c c_b}{f_y} \times \frac{6120}{6120 + f_y} d \rightarrow \rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \times \frac{6120}{6120 + f_y}$$

اگر درصد فولاد بیشتر از این مقدار ρ_b باشد زوال ترد داریم .

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

$$\rho_{max} = 0.5 \rho_b \quad \text{برای مناطق زلزله فیز} \quad \rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

طراحی تیرهای مستطیلی برای خمش :

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow \text{خمش کلی تیر برای خمش} \phi = 0.9$$

فرمول های به دست آمده برای مقاطع مستطیلی

$$C = 0.85 f'_c a b$$

$$M_n = c(d - a/2), M_n = 0.85 f'_c a b(d - a/2)$$

$$T = A_s f_y, T = c \rightarrow a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{\rho f_y d}{0.85 f'_c}$$

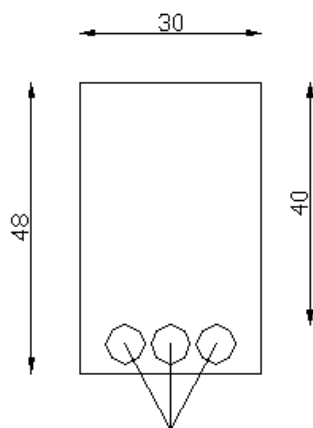
$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right) \quad M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right)$$

$$\rho_{MIN} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{14}{f_y} \\ \frac{4}{3} A_s \end{array} \right\}$$

$$\rho_{max} = \left\{ \begin{array}{l} 0.5 \rho_b \\ 0.75 \rho_b \end{array} \right\} \text{ برای مناطق زلزله خیز}$$

مثال) مداخلت لنگر فاکتور شده ای که این مقطع می تواند تحمل کند را مساب کنید؟ $M_u = ?$



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

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

راه حل اول

$$A_s = 24.13 \text{ cm}^2, \quad \rho = \frac{A_s}{bd} = 0.0201$$

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

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = \frac{0.785 \beta_1 f'_c}{f_y} = \frac{120}{6120 + f_y} = 0.0205 > 0.0201 \quad O.K$$

$$M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right) = 2358878 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = 23.58 \text{ T.m}$$

$$a = A_s f_y / 0.85 f'_c b = 16.087$$

راه حل دوم

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 24.13 * 3400 (40 - 16.087 / 2) = 26.218 \text{ ton.m}$$

$$\phi = 0.9$$

$$M_u = \phi M_n = 23.587 \text{ ton.m}$$

مثال) یک مقطع مستطیلی برای لنگرهای فاکتور شده $M_u = 20 \text{ ton.m}$ (اطرح کنید).

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

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = 0.0033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.0153$$

$$\rho = 0.012 \rightarrow \text{انتخاب}$$

حل :

$$M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c} \right) \rightarrow 20 \times 10^5 = 0.9 \times 0.012 \times b d^2 \times 4200 \left(1 - \frac{0.012 \times 4200}{1.7 \times 200} \right)$$

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

$$b = 25 \text{ cm} \rightarrow d = \sqrt{\frac{51765}{25}} = 45.5 \text{ cm}$$

$$\text{take : } b = 25 \text{ cm}, d = 45.5 \text{ cm}, h = 50 \text{ cm}$$

$$A_s = \rho b d = 0.012 \times 25 \times 45.5 = 13.6$$

$$A_s = \rho b d = 0.0012 \times 25 \times 45.5 = 13.65$$

$$\sqrt{\frac{13.65}{3} \times \frac{4}{\pi}} = \text{آرماتور قطر}$$

$$USE = 3\Phi 24$$

طراحی یک تیر بتن آرمه با فولاد کششی تنها:

- 1- مقادیر f_y و f'_c 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 تیرمماسبه شود.
- برای آنکه کنترل فیز (deflection) لازم نباشد بایستی حداقل‌های زیر رعایت شود:

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

$$f_y = 42000 \quad \text{بتن با وزن مخصوص } W_c = 2320$$

ضریب اصلاح برای وزن مخصوص بتن:

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

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

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

- مقدار b و d را با استفاده از مرملة فوق انتخاب کنید.

6- مقدار فولاد را مساب کنید. $A_s = \rho bd$

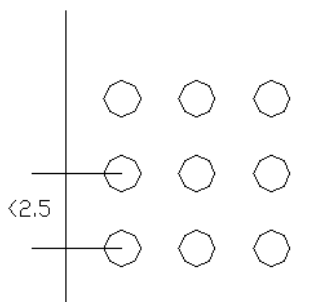
7- با توجه به محدودیت فواصل آرماتورها آرایش مناسبی برای فولادگذاری بدست آورید.

8- کنترل عرض ترک را انجام دهید.

محدودیت فواصل آرماتورها:

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

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



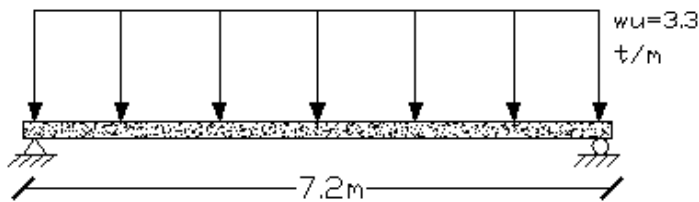
3- آرماتورهای ردیف بالا می‌بایستی دقیقاً روی آرماتورهای ردیف زیرین قرار گیرند.

شرایط بتن ریزی	مداقل پوشش
بتنی که روی زمین ریخته می‌شود و در تماس دائم با زمین می‌باشد.	7.5 Cm
بتنی که در معرض هوای خارج باشد	3.8 Cm
میلگرد $\Phi 18$ یا بزرگتر	5 Cm
میلگرد $\Phi 16$ یا کوچکتر	3.8 Cm

مثال

یک تیر به دهانه 7.2 m بار فاکتور شده $W_u = 3.310 \text{ ton}$ را تحمل می‌کند ابعاد این تیر و فولاد کششی آن را

مماسبه کنید.



$$f'_c = 200 \text{ kg/Cm}^2 \quad , \quad f_y = 3400 \text{ kg/Cm}^2$$

$$W_u = 3.3 \text{ t/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} W_u L^2 = 21.384 \text{ T.m}$$

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

با توجه به جدول

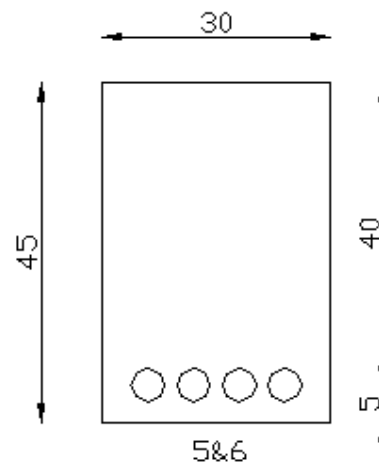
مقدار h_{\min} را اصلاح می‌کنیم.

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

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

$$\rho_{\max} = 0.0205$$

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



$$b = 30 \text{ Cm} \Rightarrow d = 39.73 \text{ Cm}$$

$$b = 30 \text{ Cm} , d = 40 \text{ Cm} , h = 45 \text{ Cm} > 39.86$$

$$A_s = \rho b d = 14.4 \text{ Cm}^2$$

$$\text{USE} = 4 \Phi 22$$

پس نیازی به کنترل deflection 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

روش اول:

$$M_u = \phi \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c} \right)$$

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

باید از درصد فولاد max بیشتر نباشد ولی اگر کمتر بود از ρ_{min} باید بیشتر باشد و اگر کمتر بود از $\frac{3}{4}$

استفاده می‌شود.

$$k_1 = \rho(1 - k_2\rho) \Rightarrow k_2\rho^2 - \rho + k_1 = 0$$

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

روش دوم (روش سعی و خطا):

1- برای بازوی لنگر $d - \frac{a}{2}$ یک تخمین اولیه باید زده شود (0.85d)

2- A_s اولیه را مساب کنید.

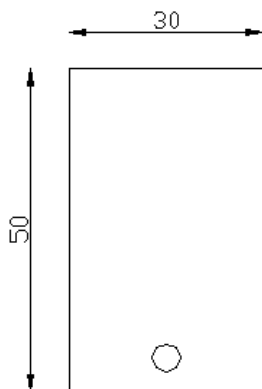
$$A_s = \frac{M_u}{\phi_y \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

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

3- براساس A_s مقدار a را بدست آورید.

4- مقدار $d - \frac{a}{2}$ را محاسبه کنید و به مرحله 2 بروید.

مثال



$$M_u = 25t.m$$

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

$$f_y = 2800kg / cm^2$$

روش اول:

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

$$k_2 = \frac{f_y}{1.7 f'_c} = 8.2353$$

$$\rho = \frac{1 - \sqrt{1 - 4k_1 k_2}}{2k_2} = 0.0151$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = 0.005 < 0.0151 \quad \text{o.k}$$

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

$$A_s = \rho b d = 22.65 \text{ Cm}^2$$

روش دوم:

$$d - \frac{a}{2} = 0.85d = 42.5 \text{ Cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})} = 23.34 \text{ Cm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = 12.816 \text{ Cm}$$

$$d - \frac{a}{2} = 43.592$$

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

$$d - \frac{a}{2} = 43.753 \quad , \quad A_s = 22.67 \quad , \quad a = 12.449$$

امی تیرهای بتن آرمه با فولاد فشاری Compassion steel

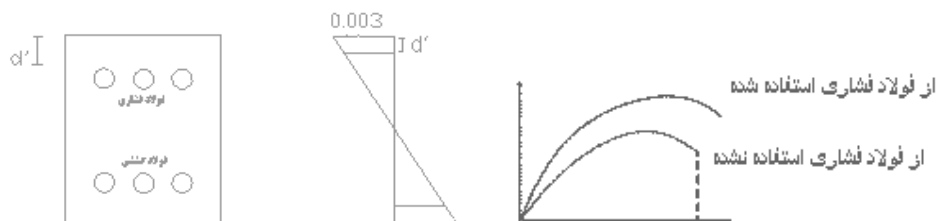
در صورتیکه لنگر خمشی وارد بر تیر از ظرفیت خمشی تیر با فولاد کششی تنها که در آن مداخلت

فولادکششی بکار رفته است بیشتر باشد برای تحمل لنگر دو راه حل داریم:

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

1- ابعاد تیر را بزرگ کنیم.

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

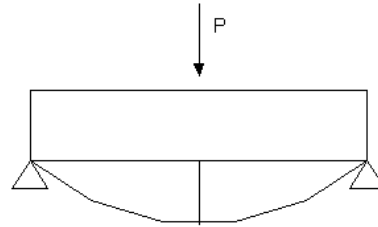
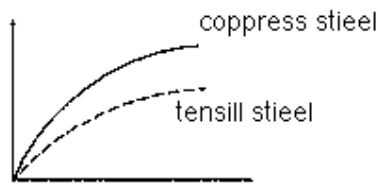


و وجود فولاد فشاری از مقدار خزش Greep می‌کاهد در تیرهایی که فولاد فشاری داشته باشیم تغییر

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 ، بایستی به اندازه فولاد فشاری به فولاد کششی

اضافه کنیم. در اینمالات انعطاف پذیری مقطع کم خواهد شود زیرا فولاد کششی اضافه می شود و باعث زوال ترد

می شود و انعطاف پذیری کم می شود.

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

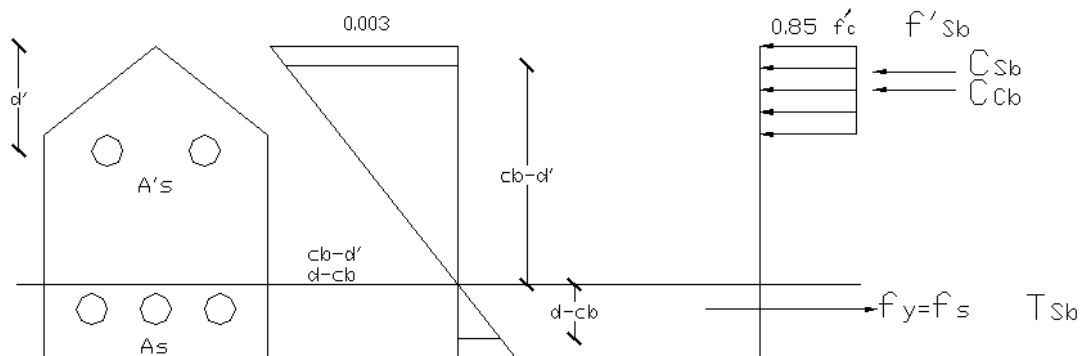
- تراکم فولادهای کششی خیلی زیاد می شود.

- هر چه قطر آرماتور بزرگتر باشد مسئله عرض ترک وضعیت بدتری را ایجاد می کند و لذا بایستی از آرماتور

با قطر کمتر و تعداد زیاد استفاده کنیم.

تعیین مقدار حداکثر فولاد در حالت کلی

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



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 تار فنئی به حالت جاری شدن و تسلیم c برسد $(f_s = f_y)$.

2- موقعیت تار فنئی را مساب کنید.

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

3- a_b را مساب می‌کنیم.

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b$$

4- مقدار Strain در فولاد فشاری را مساب کنید.

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

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

$$f'_{sb} = \min \begin{cases} \epsilon'_{sb} E_s \\ f_y \end{cases} \quad \text{or} \quad f'_{sb} = \min \begin{cases} \epsilon'_{sb} E_s & \text{if } \epsilon'_s < \epsilon_y \\ f_y & \text{if } \epsilon'_s > \epsilon_y \end{cases} \Rightarrow \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

5- برابند نیروهای فشاری بتن و فولاد را مساب کنید.

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

6- مقدار نیروی کششی در فولاد کششی را مناسب کنید و بر حسب cAs و با استفاده از معادله تعادل در

جهت x مقدار AS را مناسب کنید:

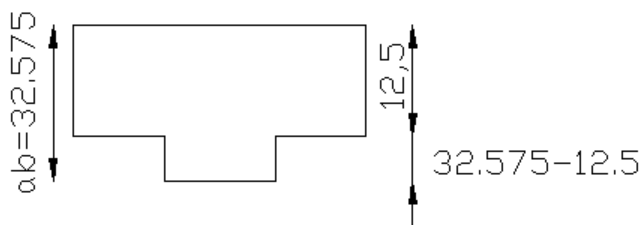
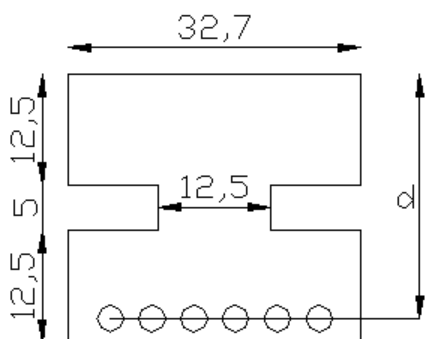
$$T_s = A_{sb} f_y$$

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

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

(مثال)

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



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

$$f'_c = 240 \text{ kg / cm}^2$$

$$f_y = 4800 \text{ kg / cm}^2$$

$$d = 68.75 \text{ cm}$$

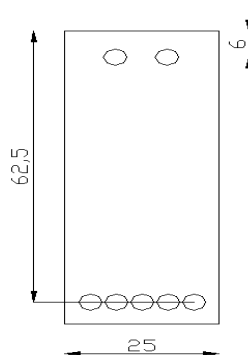
$$a_b = 0.85 c_b = 32.575 \text{ cm}$$

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

$$C_{cb} = 0.85 f'_c A_c = 0.85 \times 240 \times 121.875 = 24726.25$$

$$C_{sb} = A_{sb} f_y \Rightarrow A_{sb} = \frac{C_c}{f_y} = 30.68 \text{ Cm}^2 \quad A_{smax} = 0.75 A_{sb} = 0.75 \times 30.68 = 23.01 \text{ Cm}^2$$

مثال



حل:

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

$$f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$a_b = 0.85 c_b = 32.127 \text{ cm}$$

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

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

$$C_c = 0.85 f'_c a_b b = 136540 \text{ kg}$$

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

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

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

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

تذکر در مورد مقاطع مستطیلی

درصد فولاد فشاری

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

درصد فولاد کششی

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

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

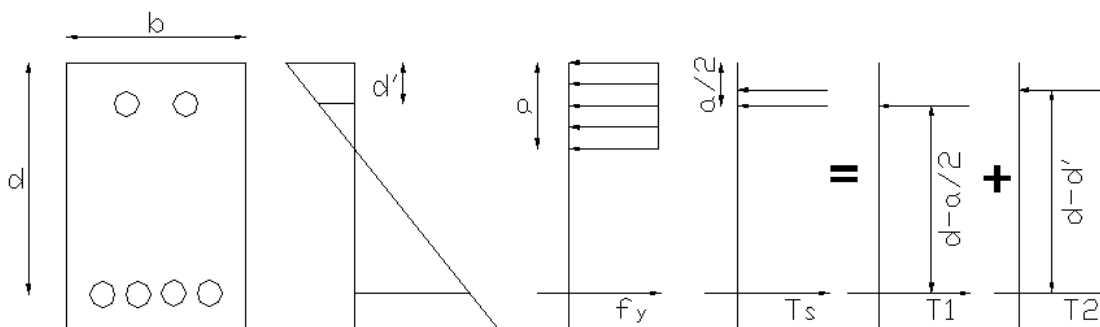
اگر فولاد کششی داشته باشیم

$$\rho_{\max} = \rho_{\text{lim}} = 0.75 \rho_b + \rho' = \frac{f'_s}{f_y}$$

اگر فولاد فشاری هم داشته باشیم

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

طراحی تیر با فولاد فشاری



$$T_1 = f_y \cdot A_{s1}$$

$$T_2 = f_y \cdot A_{s2}$$

$$M_n = M_1 + M_2$$

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

پیدا کردن فولادهای فشاری و کششی یک مقطع

Given: b, d, d', f_y, f'_c, M_u

Req: A'_s, A_s

مقدار لنگر m_1 و مداکتر لنگری که مقطع می‌تواند بدون فولاد فشاری تحمل کند، را مناسب کنید. -1

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

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

2- مقدار ϕM_1 را با M_u مقایسه کنید.

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

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

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

3- مقدار نیروی کششی T_2 را مناسب کنید.

$$M_2 = T_2(d - d') = C_s(d - d') \Rightarrow T_2 = \frac{M_2}{d - d'}$$

و از روی آن مقدار A_{s2} را مناسبه کنید.

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

4- فولاد کششی کل را مناسب کنید.

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

5- موقعیت کار فنثی را مشخص کنید.

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \Rightarrow c = \frac{a}{\beta_1}$$

6- مقدار Strain در فولاد فشاری را مناسبه کنید.

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

$$f'_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \epsilon'_s E_s \\ f_y \end{array} \right.$$

7- مقدار فولاد فشاری را مناسب کنید.

$$T_2 = C_s \Rightarrow A_{s2} f_y = A'_s f'_s \Rightarrow A'_s = A_{s2} \cdot \frac{f_y}{f'_s}$$

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 ρ در کنترل کنید.

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} \quad \rho_{\max} = \rho_{\lim} = 0.75 \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

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

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

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

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

$$\text{در مقاطع مستطیلی} \Rightarrow A_c = a \cdot b \Rightarrow a = \frac{A_c}{b} \quad C = \frac{a}{\beta_1}$$

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

3- کنترل جاری شدن فولاد فشاری.

$$\epsilon'_s > \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \Rightarrow \text{ok}$$

مالت اول :

فرض تسلیم فولاد فشاری درست بوده لذا

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

مالت دوم:

$$\epsilon'_s < \epsilon_y \Rightarrow \text{Not good}$$

فرض تسلیم فولاد فشاری درست نبوده لذا

4- برای c یک مقدار مدس زده می‌شود.

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c - d'}{c} \right) 0.003, \quad a = \beta_1 c$$

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

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

$$T = A_s f_y$$

$$C_s = A'_s f'_y \quad C_c = 0.85 f'_c ab$$

6- کنترل درست بودن c انتخابی.

$$T \cong C_c + C_s \Rightarrow c \text{ انتخابی درست بوده} \quad (1 \text{ گام})$$

$$T < C_c + C_s \Rightarrow c \text{ کوچکتر انتخاب, } c \text{ انتخابی غلط بوده} \quad (4 \text{ گام})$$

$$T > C_c + C_s \Rightarrow c \text{ بزرگتر انتخاب, } c \text{ انتخابی غلط بوده} \quad (4 \text{ گام})$$

7- تعیین ظرفیت مقطع.

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

مثال)

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

Req: $A'_s = ?, A_s = ?$

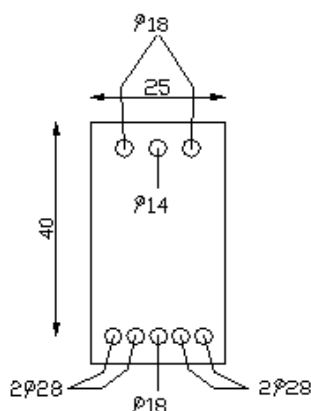
راه حل اول:

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

$$A_{s1} = \rho_{\max} b \cdot d = 20.49 \text{ Cm}^2$$

$$M_1 = \rho_{\max} b d^2 f_y \left(1 - \frac{\rho_{\max} f_y}{1.7 f'_c} \right) = 2216460 \text{ kg.cm} = 22.16 \text{ t.m}$$

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



پس بایستی از فولاد فنثاری استفاده شود.

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

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

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

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0.85 f'_c b} = 16.392 \text{ Cm} \Rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = 19.285 \text{ Cm}$$

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

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = 0.0017 < \epsilon'_s$$

$$A'_s = A_{s2} \frac{f_y}{f'_s} = A_{s2} = 6.58 \text{ Cm}^2$$

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

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

راه حل دوم:

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

$$c = T \Rightarrow A_{s_b} f_y = 0.85 f'_c A_c \Rightarrow A_{s_b} \times 3400 = 0.85 \times 200 \times 21.86 \times 25$$

$$\Rightarrow A_{s_b} = 27.3 \text{ Cm}^2 \Rightarrow \bar{A}_{s_{\max}} = 0.75 A_{s_b} = 20.49 \text{ Cm}^2$$

$$C = T \Rightarrow \bar{A}_{s_{\max}} f_y = 0.85 f'_c (a_{\max} \times 25) \Rightarrow a_{\max} = 16.392 \text{ Cm} \Rightarrow c = \frac{16.392}{0.85} = 19.285$$

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

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

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0.003 = 0.0022 \Rightarrow \epsilon_y = \frac{f_y}{\epsilon_s} = 0.0017 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f'_s = f_y$$

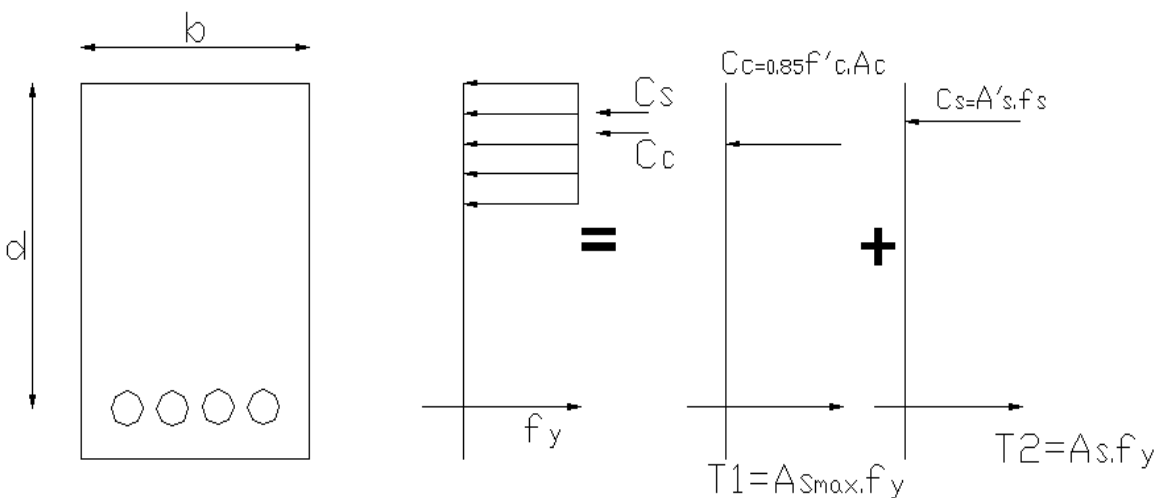
فولاد فشاری تسلیم شده

$$M_2 = A_s f_y (d - d') = A'_s f'_s (d - d') \Rightarrow A'_s = \frac{M_2}{f'_s (d - d')} \text{ و } f'_s = f_y \Rightarrow$$

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

$$A_s = A'_s + \bar{A}_{s_{max}} = 6.59 + 20.49 = 27.1 \text{ Cm}^2$$

$$A'_s = 6.59 \text{ Cm}^2$$



(مثال)

Given:

$$b = 25 \text{ Cm}, f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2, d = 40 \text{ Cm}, f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$d' = 5 \text{ Cm}, A_s = 27.17 \text{ cm}^2, A'_s = 6.63$$

Req: $M_u = ?$

مل: با فرض تسلیم فولاد فشاری داریم :

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

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 19.332 \text{ Cm}$$

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0.003 = 0.0022 > \epsilon_y = \frac{f_s}{E_s} = \frac{3400}{2.04 \times 10^6} = 0.0017 \Rightarrow \text{o.k}$$

فرض تسلیم فولاد فشاری صحیح می‌باشد.

$$M_n = 0.85 f'c ab \left(d - \frac{a}{2}\right) + A's f_y (d-d')$$

$$M_n = 3008637 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n = 27.078 \text{ ton.m}$$

مثال)

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

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

Req: $M_u = ?$

حل:

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

با فرض تسلیم فولاد فشاری داریم:

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

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

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

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

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 انتقابی در این مسئله 10 می‌باشد داریم:

$$c = 10 \Rightarrow a = 8.5 \text{ Cm}$$



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

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

$$T = A_s f_y = 18.47 \times 3400 = 62798 \text{ kg}$$

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

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

$$C_c + C_s = 81019 > T \Rightarrow$$

c کوچکتر باید انتخاب شود

$$c = 7.821 \text{ Cm}$$

انتخاب دوم

$$a = 6.648 \text{ Cm}$$

$$\epsilon'_s = 0.00108$$

$$f'_s = 2207$$

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

$$C_c = 35600 \quad M_n = 25.713 \text{ t.m}$$

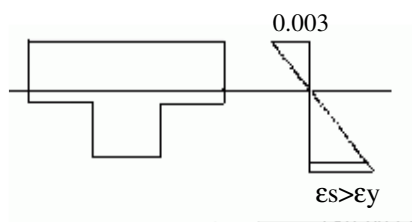
$$C_s = 27190$$

$$C_c + C_s = 62790 \text{ kg}$$

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 T شکل داشتن بال پهن می‌باشد لذا:

1- مسامت بتن تحت اثر فشار بزرگ می‌شود.

2- بلوک فشاری دارای ارتفاع کمی خواهد بود.

3- صرفه‌جویی در مصرف بتن.

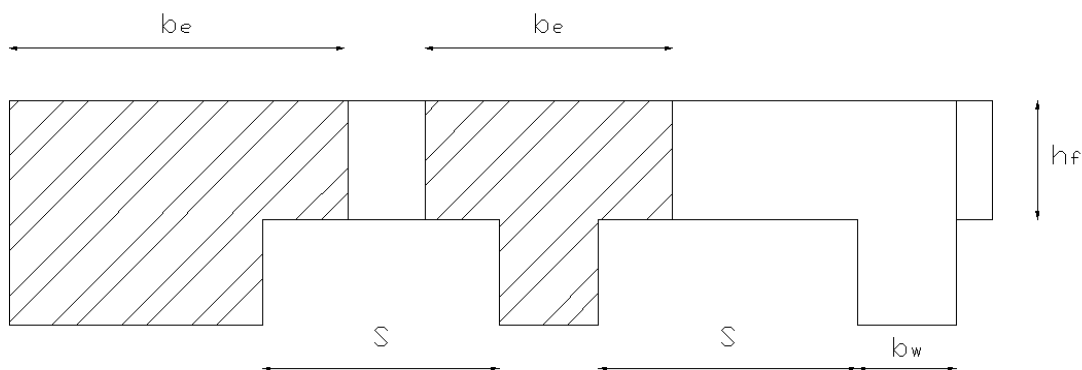
4- کاهش بار مرده بتن.

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

پهنای مؤثر بال

پهنای مؤثر پهنایی از بال تیر T شکل است که توزیع یکنواخت نقش فشاری روی این پهنای نیروی برآیندی

برابر با برآیند توزیع واقعی فشار ایجاد کند.

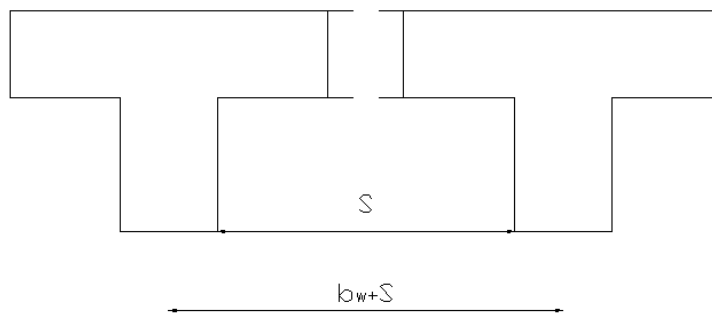


دهانه تیر = L

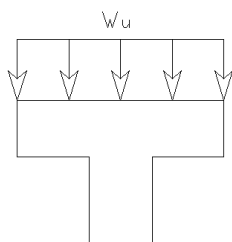
$$1) \text{ تیرهای کناری : } b_e = \min \begin{cases} b_w + L/12 \\ b_w + 6h_f \\ b_w + s/2 \end{cases}$$

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

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



مماسبه فاصله آرماتور عرضی در بال تیرهای T شکل مجزا



$$s_{\max} = \min \begin{cases} 6h_f \\ 45 C_m \end{cases} \text{ مداخلت فاصله آرماتورها}$$

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

مقدار حداقل فولاد کششی در تیرهای T شکل

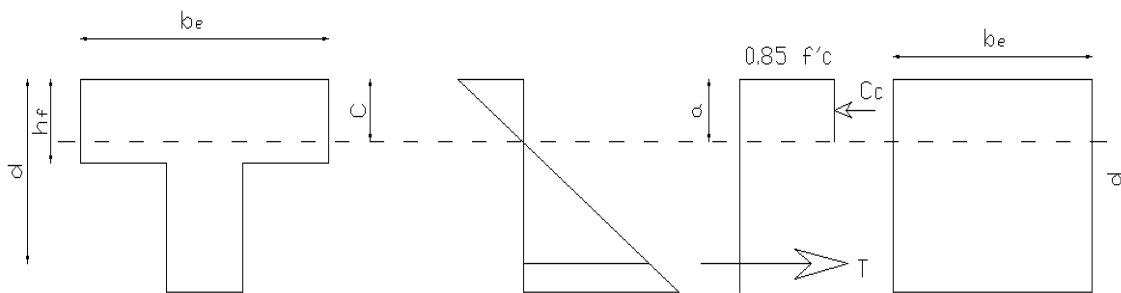
$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}, \quad A_{s,\min} = \rho_{\min} b_w d$$

$$A_{s,\max} = 0.75 A_{sb} = 0.75 C_c / f_y$$

بدون فولاد فشاری

طراحی تیرهای T شکل

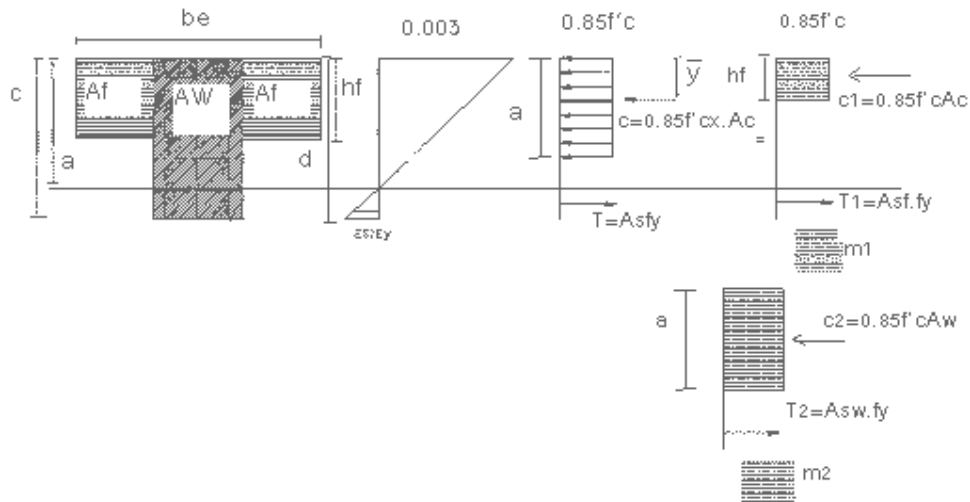
1- بلوک فشاری کاملاً در بال تیر قرار می‌گیرد: $a \leq h_f$



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. $a > h_f$



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

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

$M_n = M_1 + M_2$

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

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

تعیین مقدار مداخلت فولاد کششی برای تیر T شکل

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

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

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

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

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

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

(I) مقدار C_{cb} را مساب کنید.

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

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

$$A_w = b_w \cdot a$$

(II) مقدار A_{sb} را مساب کنید.

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

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

مماسبه ظرفیت فمشی یک تیر T شکل

Given: $b_e, b_w, h_f, d, f_y, f'_c, A_s$

Req: M_n

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

1- مقدار فولاد کششی را کنترل می‌کنیم.

2- مقدار a را مساب 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.

$$A_c = A_w + A_f$$

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

$$A_c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c} \quad A_f = (b_e - b_w) h_f \quad , \quad A_w = b_w \cdot a$$

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

که این a با a مرمله قبل فرق می‌کند.

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

مماسبه 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 مداخلت فولاد بدست می‌آوریم.

$$M_{n_{max}} > \frac{M_u}{\phi} \Rightarrow O.k \Rightarrow \text{می‌توان مقدار فولاد را مناسب کرد}$$

$$M_{n_{max}} < \frac{M_u}{\phi} \Rightarrow \text{Not good} \Rightarrow \text{نمی‌توان مقدار فولاد را مناسب کرد}$$

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

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

$$p = \frac{1 - \sqrt{1 - 4k_1 k_2}}{2k_2}, \quad A_s = \rho b_e d, \quad a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c \cdot b_e}$$

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

$$2) a > h_f \Rightarrow \text{Not good}$$

← (1 مسئله تمام شده است.

← (2 بایستی بر اساس تیر T شکل فولاد را مماسبه کرد.

3- در حالت $a > h_f$ یعنی مقطع T شکل باشد.

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

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

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

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

$$M_2 = 0.85 f'_c b_w \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

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

5- از رابطه زیر مقدار فولاد مناسبه می‌شود.

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

روش سعی و خطا برای محاسبه فولاد :

1- مقدار لنگر را همانند حالت قبل کنترل می‌کنیم.

$$M_{n max} > \frac{M_u}{\phi} \Rightarrow$$

تا بتوانیم کار را ادامه بدهیم

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

3- براساس روابط مقطع مستطیلی A_s را مساب کنید.

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

4- از رابطه $C_c = T$ مقدار مسامت 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 مساب کنید

$$A_c < h_f \cdot b_e \Rightarrow a = \frac{A_c}{b_e} \quad \text{مقطع مستطیلی}$$

$$A_c > h_f \cdot b_e \Rightarrow a = \frac{A_c - A_f}{b_w} \quad \text{مقطع T شکل}$$

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

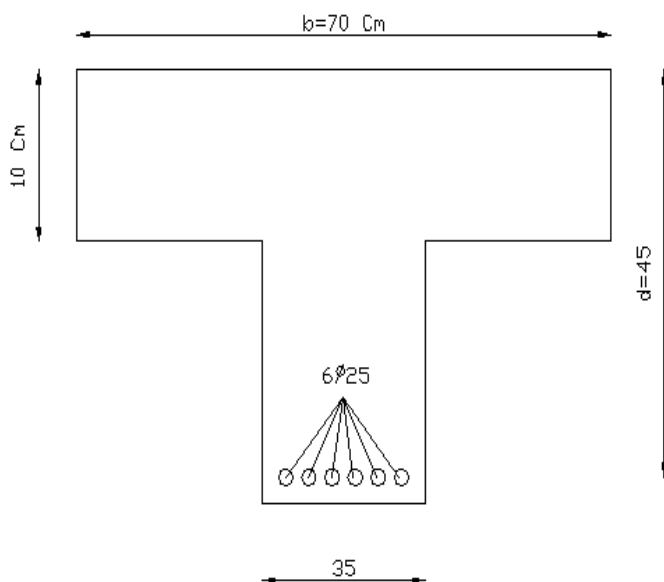
6- برای مقطع T شکل مقدار \bar{y} را مساب می‌کنیم.

$$\bar{y} = \frac{A_f \frac{h}{2} + A_w \frac{a}{2}}{A_f + A_w}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi_f (d - \bar{y})} \quad \text{7- مقدار جدید } A_s \text{ را از رابطه زیر مساب می‌کنیم.}$$

(مثال)

ظرفیت فمشی مقطع را بدست آورید.



$$d = 45 \text{ cm}, f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = 6\Phi 25 = 29.46 \text{ cm}^2$$

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

$$b_w = 35$$

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

$$a_b = \beta_1 c_b = 22.68 \text{ cm} > h_f$$

مقطع τ شکل می‌باشد

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

$$A_w = b_w \cdot a = 793.91 \text{ cm}^2$$

$$A_{sb} = \frac{0.85 f'_c}{f_y} (A_w + A_f) = 40.51 \text{ cm}^2$$

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

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

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

پس فولادها متعادل است و مشکلی برای ما ایجاد نمی‌کند.

با فرض رفتار مستطیلی:

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

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.

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

$$A_f = (b_e - b_w) h_f = 350 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_c - A_f}{b_w} = 13.76 \text{ cm} \quad M_n = 0.85 f'_c \left[A_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + A_w \left(d - \frac{a}{2} \right) \right]$$

$$M_n = 481334 \text{ kg.cm} = 48.13 \text{ ton.m}$$

$$M_u = \phi M_n = 43.32 \text{ ton.m}$$

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

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

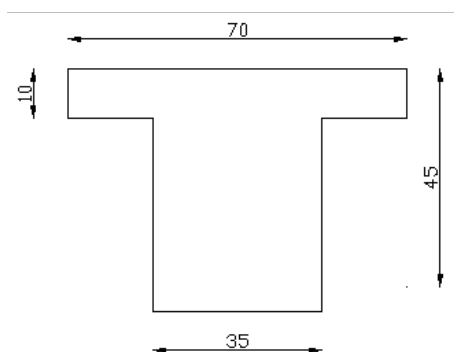
$$831.52 = 10 \times 70 + ca - 10 \times 35 \Rightarrow a = 13.75 > 10 \quad \text{O.k}$$

فرض درست است.

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A} = \frac{70 \times 10 \times 8.75 + 3.75 \times \frac{35}{2} \times 35}{70 \times 10 + 3.75 \times 35} = 7.66$$

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

$$M_u = \phi M_n = 41.49$$



(مثال)

$$M_u = 43 \text{ t.m}$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

$$A_f = 350 \text{ Cm}^2 \quad A_w = A_c - A_f = 857.93 - 350 = 507.93 \text{ Cm}^2 \quad , a = \frac{A_w}{b_w} = 14.51 \text{ Cm}$$

$$M_{nmax} = 0.85 f'_c \left[A_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + A_w \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] = 49.34$$

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

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:

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

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

$$\rho = \frac{1 - \sqrt{1 - 4k_1 k_2}}{2k_2} = 0.00923$$

$$A_s = \rho b d = 0.00923 \times 70 \times 45$$

$$A_s = 29.06 \text{ Cm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = 11.72 \text{ Cm} > h_f$$

پس رفتار مقطع T شکل می‌باشد و A_s بدست آمده جواب مسئله می‌باشد زیرا فرض رفتار مستطیلی

مقطعی اشتباه می‌باشد.

$$M_1 = 0.85 f'_c A_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 20282500 \text{ kg.cm}$$

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

$$M_2 = 0.85 f'_c a \cdot b_w \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\frac{a^2}{2} - 45a + 517.7 = 0 \Rightarrow A = 13.542 \text{ Cm}$$

$$A_w = 35 \times 13.542 = 473.97 \text{ Cm}^2 = b_w a$$

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

$$\text{USE: } 6\Phi 25 \Rightarrow A_s = 29.45 \text{ Cm}^2$$

$$A = h_f = 10 \text{ Cm}$$

مراحل اولیه مانند حالت قبل است.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} = 28.44 \text{ Cm}^2$$

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

$$b_c \cdot h_f = 70 \times 10 = 700 \text{ Cm}^2$$

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

$$A_w = b_w \cdot a = 453.01 \text{ Cm}^3$$

$$A_f = 350 \text{ Cm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{A_f \frac{h}{2} + A_w \frac{a}{2}}{A_f + A_w} = 5.829 \text{ Cm}$$

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

مرحله دوم:

$$A_c = 819.988 \text{ Cm}^2, \quad a = 13.428 \Rightarrow A_w = 469.988$$

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

$$A_s = 29.155 \text{ Cm}^2$$

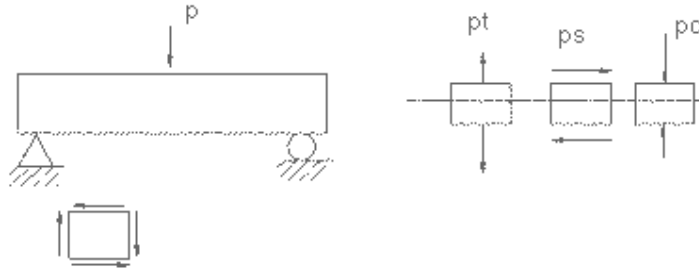
$$A_s = 29.177 \cong 29.18$$

که تقریباً برابر جواب قبل است.

فصل چهارم

فصل برش

بررسی رفتار طراحی اعضای بتن آرمه برای برش :



1- ابتدا طراحی برای فمیش انجام می شود.

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

در تیرهای بتن آرمه تنش برشی باعث زوال نمی باشد بلکه تنش کشش ناشی از برش باعث زوال

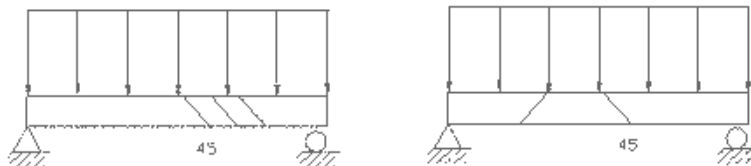
بتن خواهد شد ، به تنش کششی ناشی از برش کشش قطری Diagonol tension گفته می شود.

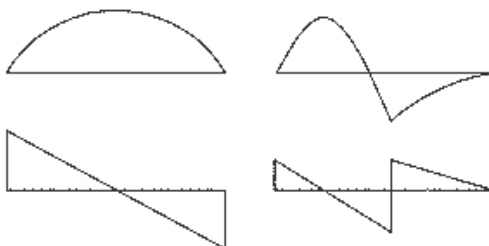
ترکهای ناشی از برش دو دسته اند :

1- Web sher crack ترک برش جان

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

در مملهایی اتفاق می افتد که مقدار لنگر فمیشی کوچک یا صفر باشد .





flexural shear crack-2

این ترکها ، جاهایی اتفاق می افتد که مقدار لنگر آن زیاد بوده و برش هم مقدار قابل توجهی ای

دارد . لنگر از لنگر ترک خوردگی هم زیادتر باشد (مانند شکل تکیه گاه 2 در حالت 1)

وجود ترکهای ناشی از فمش :

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 . $V = \frac{v \cdot Q}{I \cdot t}$

• زوال ناشی از برش در تیرهای بتن آرمه ، یک زوال تدریجی است .

• به دلایل زیر ضریب اطمینان طرح برش بزرگتر است .

1- متما بایستی زوال برشی قبل از زوال فمشی اتفاق نیافتد، بعبارت دیگر اول زوال فمشی 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 . $\phi = 0.85$

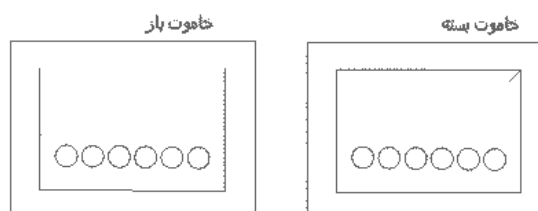
عواملی که در برابر برش در یک مقطع مقاومت می کند:

کششی است که می تواند ترکهای 45 درجه ایجاد کند .

1- آرماتورهای طولی خم شده به سمت بالا

2- خاموتها STRRUPS TIE

OPEN STRRUP خاموت باز



اولاً خاموتها باید در نامیه 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 :



$$F_y \cdot \theta_s \cdot \cos \alpha$$

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

مماسن خاموت قائم :

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

$$V = \frac{vQ}{It} \quad \text{طراحی برای برش :}$$

$$V = \text{تنش برشی} \quad v = \text{نیروی برشی مقطع}$$

$Q =$ لنگر اول سطح تکه ای از مقطع بالای نقطه مورد نظر قرار دارد مول ممور خنثی

$$I = \text{لنگر اینرسی} \quad t = \text{پهنای مقطع در نقطه مورد نظر}$$

- مصالح باید همگن و ایزوتروپیک باشد .

- فواصل مقطع (هندسی) بعد از عمل نیرو تغییر نکند .

- رفتار مصالح فطی 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.

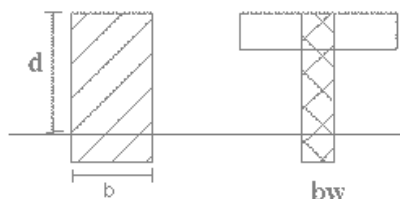
2- در تیرهای بتنی . زوال روی صفحات قائم رخ نمی دهد.

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

$$V = \text{تنش برشی اسمی}$$

$$v = \text{نیروی برشی وارد بر مقطع}$$

$$V = \frac{v}{b_w \cdot d} \quad b_w = \text{پهنای جان}$$





مقاومت برشی اسمی بتن :

$$V_c = 0.5\sqrt{f'_c} + 175\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \leq 0.93\sqrt{f'_c}$$

V_c = 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

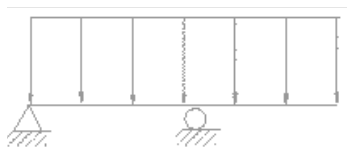
d = ارتفاع موثر بر مسب cm

M_u = لنگر خمشی موجود در مقطع مورد نظر

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

نکته مهم :

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

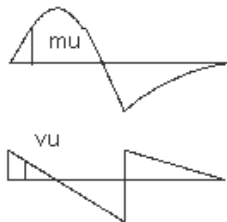


اگر $\frac{V_u \cdot d}{M_u} > 1$ ، عدد 1 را به جای آن می گذاریم .

$$V_c < 0.93\sqrt{f'_c} \text{ ممدودیت کلی}$$

اگر طرفین را در $b_w d$ ضرب کنیم .

$$V_c = (0.5\sqrt{f'_c} + 175\rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u})b_w d \leq 0.93\sqrt{f'_c b_w d}$$



$$\phi V_c > V_u$$

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

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

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

اثر نیروی مموری بر روی مقاومت برشی بتن .

** اعضای تمت اثر نیروی فشاری

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

N_u = نیروی مموری 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 .

ممدودیت $\frac{V d}{M_u} < 1$ 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 A_g
$$V_c \leq 0.93 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{35 A_g}}$$

N_u = وقتی فشاری می باشد (+) می شود .

می توان از فرمول ساده شده زیر استفاده کرد .

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

اعضای تحت اثر نیروی مموری کششی

اگر نیروی کششی ، بزرگ باشد $V_c=0$

$$V_c = 0.53 \left(1 - \frac{N_u}{35 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$$

زمانی که عضو تحت فمش طرامی می شود ولی بارگذاری طوری باشد که تحت نیروی کششی قرار گیرد .

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

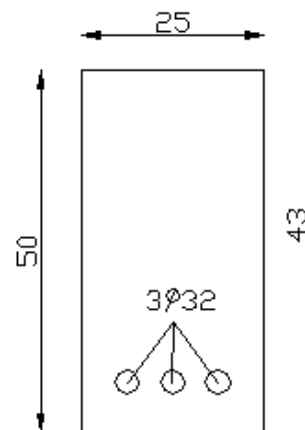
$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

الف) $V_u = 18 \text{ ton}$, $M_u = 4.1 \text{ ton.m}$

ب) $V_u = 18 \text{ ton}$, $M_u = 4.1 \text{ ton.m}$, $N_u = 4.5 \text{ ton}$

ج) $V_u = 18 \text{ ton}$, $M_u = 4.1 \text{ ton.m}$, $N_u = 4.5 \text{ ton}$

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



مساب کنید ؟

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

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{18 \times 1000 \times 43.5}{4.1 \times 10^5} = 1.91 > 1 \Rightarrow \frac{V_u d}{m_u} = 1$$

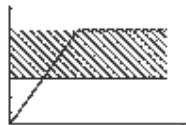
$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{18.47}{25 \times 43.5} = 0.017$$

(الف)

$$V_C = (0.5\sqrt{250} + 175 \times 0.017 \times 1) 25 \times 43.5 \Rightarrow V_C = 11833 \text{ kg}$$

$$\text{cont: } 0.93\sqrt{f'_c} b_w d = 0.93\sqrt{250} \times 25 \times 43.5 = 15991 > V_C$$

$$V_C = 11833 \text{ kg} \Rightarrow \phi V_C < V_u \rightarrow \text{خاموت به احتیاج}$$



$$\text{از فرمول ساده } V_C = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d = 0.53\sqrt{250} \times 25 \times 43.5 = 9113 \text{ kg}$$

$$V_C \Rightarrow \text{فرمول طولانی}$$

$$V_C \Rightarrow \text{فرمول ساده } 0.53\sqrt{f'_c}$$

ب)

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_w d \left[1 - \frac{N_u}{35A_g} \right]$$

$$V_c = 9113 \left[1 - \frac{4.5 \times 1000}{35 \times 25 \times 50} \right] = 8176 \text{ kg}$$

باید از فاموت آرماتور برشی استفاده کرد . $\phi V_c < V_c$

$$V_c = \left(0.5\sqrt{F'_c} + 175\rho_w \frac{V_u d}{M_M} \right) \leq 0.93\sqrt{f'_c}b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{35A_g}}$$

$$14776 < 16794$$

ج)

$$M_m = M_u - N_u \left(\frac{4h-d}{8} \right) = 4.1 \times 10^5 - 4500 \left(\frac{4 \times 50 - 43.5}{8} \right)$$

$$M_m = 321969 \text{ kg.cm}$$

$$\frac{V_u d}{M_m} = \frac{18 \times 1000 \times 43.5}{321969} = 2.432$$

$$V_c = 16465 \text{ kg}$$

$$0.93\sqrt{250} \times 25 \times 43.5 \times \sqrt{1 + \frac{4500}{35 \times 25 \times 50}} = 16794 > V_c$$

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

فرمول دیگر

$$= 0.53\sqrt{250} \times 25 \times 43.5 \times \left(1 + \frac{4500}{140 \times 25 \times 50} \right) = 9348 \text{ kg}$$

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 فواید بود و متی الامکان باید از آن جلوگیری کرد .

$$V_u < \phi V_C \quad \text{مالات مفتلف}$$

$$V_u < \phi \frac{V_C}{2} \quad \text{امتیای به آرماتور برشی نیست. } \phi = 0.85$$

$$\frac{\phi V_C}{2} < V_u < \phi V_C \quad \text{امتیای داریم که از مداول آرماتور برشی استفاده کنیم.}$$

$$V_u > \phi V_C \quad \text{آرماتور برشی مناسبه شود.}$$

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

$$\text{شرایط آنکه فرمول } V_u < \phi V_C \text{ برقرار باشد}$$

1- دالها و شالودها

2- تیرهای پهن

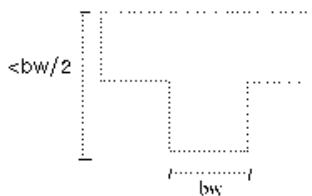
شرایط تیرهای پهن

1- ارتفاع از 25 سانتیمتر بیشتر نباشد

2- ارتفاع از 2.5 برابر ضفامت بال بیشتر نباشد

3- ارتفاع از نصف عرض جان بیشتر نباشد

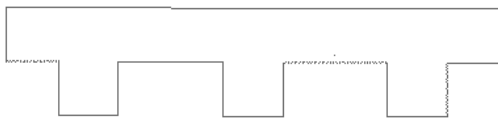
$$h_{\max} = \min \begin{cases} h \leq 25cm \\ h \leq 2.5h_f \\ h \leq b_w \end{cases}$$



سیستم دال وتیر چه

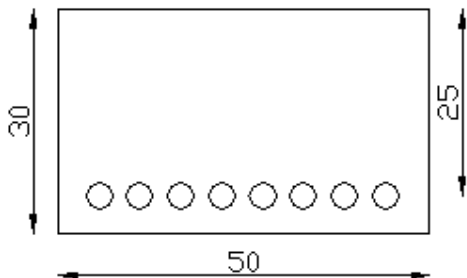
برای سیستم دال وتیرچه می توانیم بجای V_c از $1.1V_c$ استفاده کنیم .

به عنوان نیروی برشی که بتن می تواند تحمل کند .

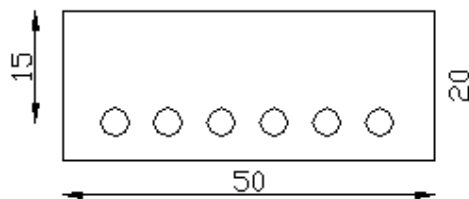


(مثال)

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



(الف)



(ب)

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

$$\begin{cases} 25\text{cm} \\ 0.5 \times 20 = 50\text{ cm} \\ \frac{1}{2} \times 50 = 25\text{cm} \end{cases}$$

پس تیر پهن می شود

$$V_u = \phi V_c = 0.85 \times 0.53 \sqrt{f'_c} b_w \cdot d = 0.85 \times 0.53 \sqrt{210} \times 50 \times 15 = 4896\text{ kg}$$

(ب)

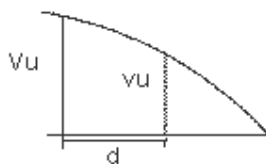
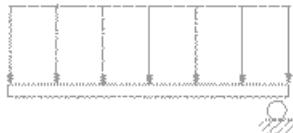
$$h_{\max} = \min \begin{cases} h \leq 25\text{cm} \\ h \leq 2.5h_f = 2.5 \times 20 = 50\text{cm} \\ h \leq b_w / 2 = \frac{1}{2} \times 50 = 25\text{cm} \end{cases}$$

تیر پهن نیست

$$V_u = \frac{\phi V_c}{2} = \frac{\phi}{2} \times 0.53 \sqrt{f'_c} b_w \cdot d = \frac{0.85}{2} \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 50 \times 25 = 4080\text{ kg}$$

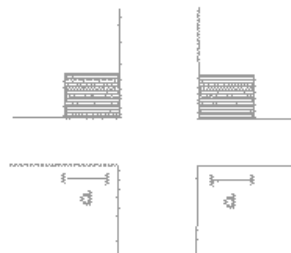
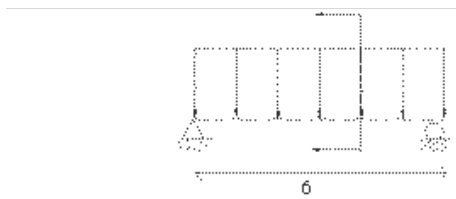
موقعیت مقطع بمرانی در برش :

1- مقطع بمرانی 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 بمرانی

از بر تکیه گاه می گیریم .

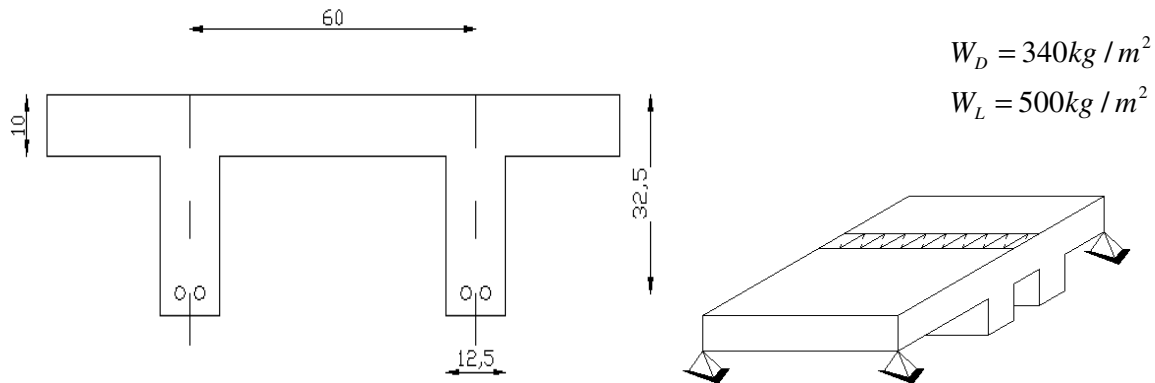


مثال

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

را بدست آورید .

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



$$W_D = 340 \text{ kg/m}^2$$

$$W_L = 500 \text{ kg/m}^2$$

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

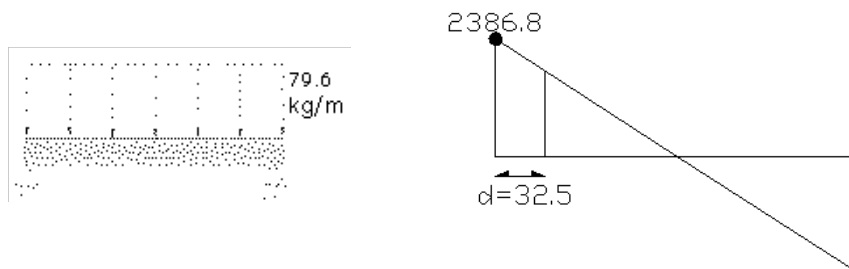
هر کدامشان می تواند تحمل کند .

مداکتر نیروی که هر تیر چه می تواند بدون آرماتور برشی می تواند تحمل کند .

$$1.1V_c = 3432 \text{ kg}$$

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

بار فاکتور شده به یک تیر چه .



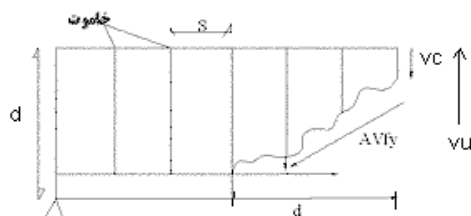
$$V_u = 2386.8 - 0.325 \times 795.6 = 2128.23 \text{ kg}$$

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

پس میتواند بدون آرماتور برشی تحمل کند

طراحی آرماتورهای برشی :

مداخل فاصله فاموتها را برابر 7.5 سانتیمتر انتخاب می کنیم .



$$A_v = nA, \quad V_s = \frac{d}{S} A_v \cdot f_y$$

ظرفیتی که فولاد برشی می تواند تحمل کند .

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \quad S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

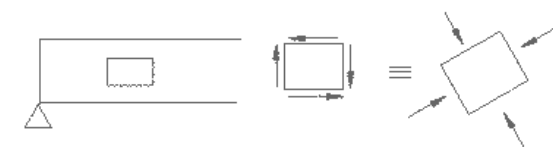
کل ظرفیت برشی مقطع V_n

قسمتی از ظرفیت برشی مقطع که توسط بتن ایجاد میشود V_c

قسمتی از ظرفیت برشی مقطع که توسط آرماتور ایجاد می شود V_s

زوال فشاری بتن ناشی از برش :

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



مداکثر فاصله آرماتورهای برشی :

برای آنکه ترکهای برشی ایجاد شده مداقل یک فاموت را قطع کند بایستی فاصله فاموتها را محدود کرد

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

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

مداقل مسامت آرماتورهای برشی :

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

ممن اینکه اولین ترک قطری ظاهر می شود قسمت عمده ای از ظرفیت برشی بتن از بین می رود ولی نیرو به

صورت ناگهانی به آرماتور برشی وارد می شود پس آرماتور برشی بایستی یک مقدار مداقل داشته باشد تا بتواند

این نیروی ناگهانی را تحمل کند .

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

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

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

آرماتورهای برشی مایل :

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

طراحی یک تیر برای برش :

1- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی را تحت بارهای فاکتور شده بدست آورید

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

3- برای دالها شالودها و تیرهای پهن بایستی $V_u < \phi V_c$ باشد و اگر نبود باید ابعاد مقطع را عوض کنیم.

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

4- برای سایر مقاطع خمشی در صورتی که $V_u < \phi \frac{V_c}{2}$ باشد فولاد برشی لازم نیست (از لحاظ تئوری) در غیر این

صورت یعنی $V_u > \phi \frac{V_c}{2}$ د و حالت زیر اتفاق می افتد .

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

$$S_{\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} \\ 60cm \\ \frac{A_v f_y}{3.5b_w} \end{array} \right.$$

حالت 2- از حداقل آرماتور برشی استفاده می شود

$$V_u \geq \phi V_c$$

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

$$\text{if } V_s > 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d$$

ابعاد مقطع بایستی بزرگ شود . $V_s > 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d \Rightarrow$

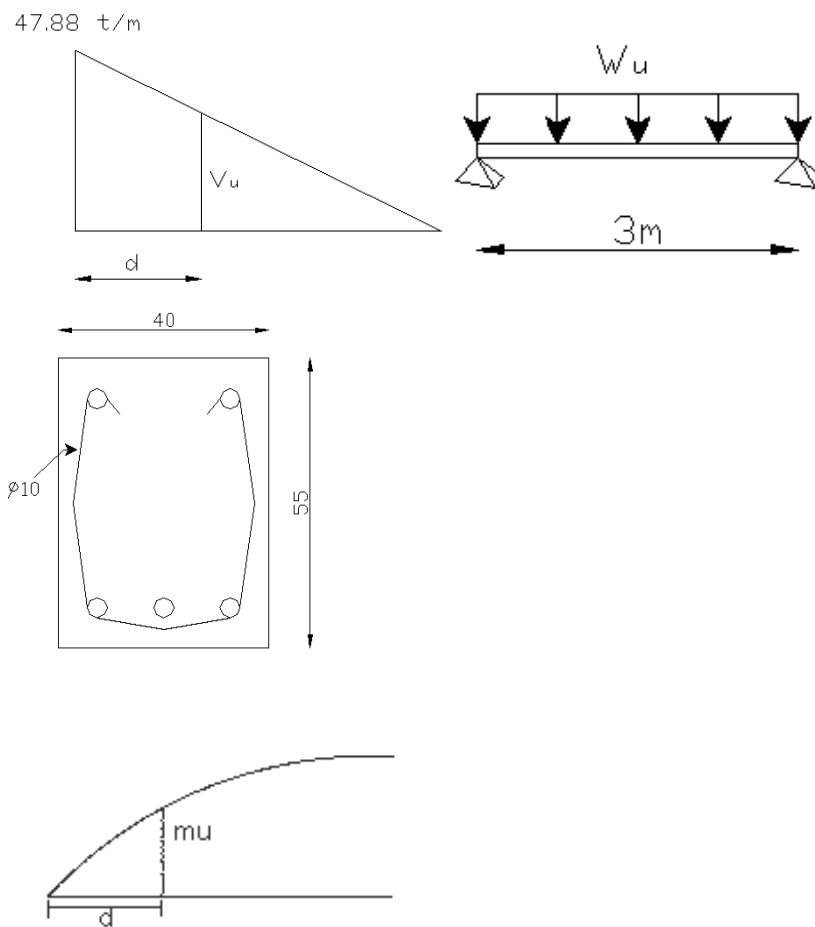
if $V_s < 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d$, and $V_s < 1.06 \sqrt{f'_c} b_w d$

$$S_{\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_v f_y}{3.5b_w} \\ \frac{d}{2} \\ 60cm \\ \frac{A_v f_y d}{V_s} \end{array} \right.$$

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

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

مثال



حل:

$$A_s = 39.27\text{cm}^2, f'_c = 180\text{kg/cm}^2$$

$$f_y = 3500\text{kg/cm}^2, W_D = 2.9\text{t/m}, W_L = 7\text{t/m}$$

$$\frac{V_u d}{M_u} = 0.899 < 1$$

$$W_u = 1.4 \times 2.9 + 1.7 \times 7 = 15.96 \text{ t/m}$$

$$V_u = 15.96(3 - 0.55) = 39.102 \text{ ton}$$

$$V_{\max} = 47.88 \text{ ton}$$

$$M_u = \frac{1}{2} \times (47.88 + 39.102) \times 0.55 = 23.92 \text{ ton}$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{bd} = 0.01785$$

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

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

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0.85 \times 20936}{2} = 8898 \text{ Kg}$$

$$\phi V_c = 17796 \text{ Kg}$$

$$V_u = 39102 \text{ Kg} > \phi \frac{V_c}{2}$$

پس به آرماتور برشی نیاز داریم:

$$V_u > \phi V_c \rightarrow \text{حالت 2}$$

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

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

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

$$S_{\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} = 47.1 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} = 60 \text{ cm} \\ d/2 = 27.5 \text{ cm} \\ \frac{A_v f_y d}{V_s} = 14.5 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow S = 14.5 \sim 15 \text{ cm} \quad \text{USE} \quad \phi 10 \text{ at } 15 \text{ cm}$$

مقطع به فاصله 1 متر از تکیه گاه

$$V_u = 2 \times 15.96 = 31.96 \text{ ton}$$

$$M_u = 39.9 \text{ ton.m}$$

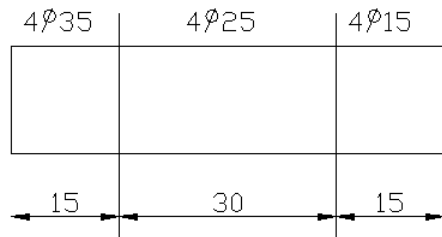
$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} = 0.44 < 1$$

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

نباید بزرگتر انتخاب کنیم

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

مقطع 1.5 متری از تکیه گاه



$$V_u = 23.94 \text{ ton}$$

$$M_u = 53.895 \text{ t.m}$$

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

$$V_c = 16435 \text{ Kg}$$

$$V_s = 11.729 \text{ ton}$$

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

کنترل تغییر شکل تیرهای دالهای یک طرفه :

معیارهای طراحی:

1- معیار سفتی

2- معیار مقاومت

عدم رعایت معیار سفتی

1- نازک‌کاریهای سافتمان آسیب 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 آنها کاسته میشود .

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

تغییر شکل در سازه های بتنی :

1- تغییر فرمهای آنی والاستیک

2- تغییر فرمهای دراز مدت

مماسبه 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 و سفتی فمشتی تیر (EI) است .

مماسبه I_e برای تیرهای بتن آرمه :

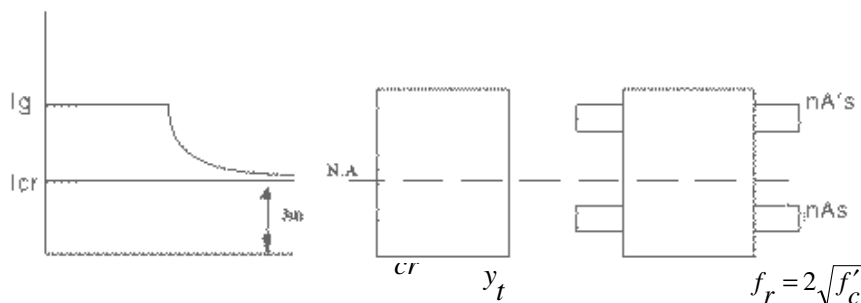
$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$$

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

لنگر اینرسی مقطع ترک نفورده که در مماسبه آن از فولادها صرفنظر شده است: I_g

$$\frac{M_{cr}}{M_{max}} \leq \frac{1}{3} \rightarrow I_e = I_{cr}, \frac{M_{cr}}{M_{max}} > 1 \rightarrow I_e = I_g$$

لنگر اینرسی مقطع ترک نفورده مبدل: I_{cr}



مقدار حداکثر لنگر فمشی در تیر به اضای بارهای سرویس: M_{max}

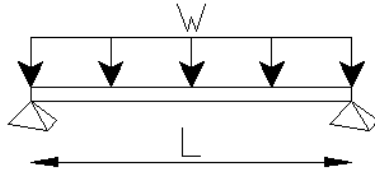
- برای تیرهای سر اسری مقدار I_e را به ازای M_{max} تکیه گاه و وسط دهانه مماسبه کرده و سپس متوسط دو

مقدار بدست آمده به عنوان I_e به کار برید .

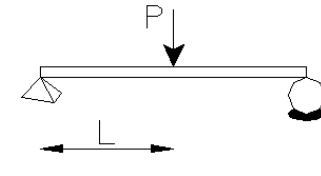
- برای تیر های طره ای مقد ار I_e بر مسب لنگر تکیه گاهی مماسبه میشود .

فرمولهای مناسبه تغییر فرم:

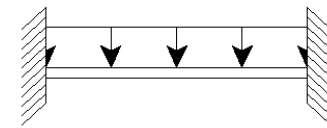
$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI}$$



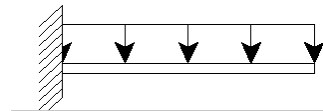
$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$$



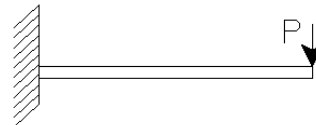
$$\Delta = \frac{WL^4}{384EI}$$



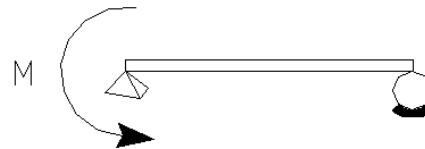
$$\Delta = \frac{WL^4}{8EI}$$



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



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



تغییر فرمهای دراز مدت:

$$\Delta_a = \lambda \Delta_i$$

Δ_a : تغییر شکلهای دراز مدت اضافی

Δ_i : تغییر فرم آنی

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

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

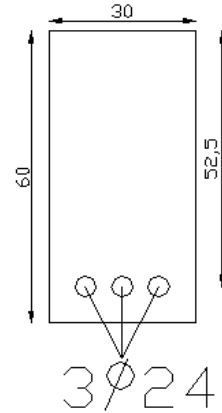
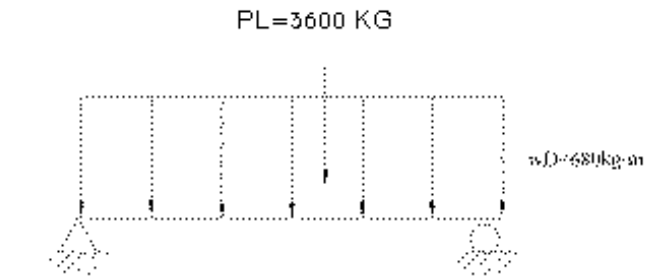
t : زمان بر حسب ماه درصد فولاد فشاری =

$$\zeta = 0.605 + 0.774 \text{Log}_{10}^t \leq 2$$

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
5 سال به بالا	2.00

مقادیر مداخلت مجاز	تغییر شکلی که باید در نظر گرفت	نوع عضو
<p>L/180 (آب انباشتگی را در نظر نگرفته)</p> <p>$L/360$</p> <p>$L/480$</p> <p>$L/240$</p>	<p>تغییر شکل آبی تحت اثر بارزنده</p> <p>تغییر شکل آبی تحت اثر بارزنده</p> <p>آن قسمت از کل تغییر فرم که پیش از نصب اجزای غیرسازه ای رخ می دهد</p> <p>آن قسمت از کل تغییر فرم که پس از نصب اجزای غیر سازه ای رخ می دهد</p>	<p>بالهای مسطح غیر متصل به اجزاء غیر سازه ای</p> <p>کف های مسطح غیر متصل به اجزای غیر سازه ای</p> <p>کف ها وبامهایی که به اجزاء غیر سازه ای متصل هستند و احتمال آسیب دیدگی برای اجزای غیر سازه ای وجود ندارد</p> <p>کف ها وبامهایی که به اجزای غیر سازه ای متصل هستند احتمال آسیب دیدگی اجزای غیرسازه ای وجود دارد</p>

مثال طول دهانه 7.2 متر و بار مرده 680 کیلوگرم بر متر



$$M_{\max} = \frac{wD}{8} \times L^2 + \frac{rL \times L}{4} = \frac{680 \times 7.2^2}{8} + \frac{3600 \times 7.2}{4}$$

$$M_{\max} = 10886.4 \text{ Kg}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 \times 10^6}{15100 \sqrt{250}} = 8.5$$

$$A_s = 13.57 \text{ cm}^2, \rho = \frac{A_s}{bd} = 0.0086 \Rightarrow \rho n = 0.073$$

$$K = -\rho n + \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} = 0.316$$

$$\bar{y} = Kd = 0.316 \times 52.5 = 16.613 \text{ cm}$$

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + nA_s(d - \bar{y})^2 = 194400 \text{ cm}^4$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 30 \times 60^3 = 540000 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{2\sqrt{250} \times 450000}{\frac{1}{2} \times 60} = 56.0210 \text{ Kg.cm}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}} = \frac{5692.1}{10886.4} = 0.523$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max}} \right)^3 \right] I_{cr} \Rightarrow I_e = 243801 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = \frac{5W_D L^4}{384 E_c I_e} + \frac{P L^3}{48 E_c I_e} = \frac{5 \times 6.8 \times 720^4}{384 \times 15100 \sqrt{250} \times 243801} + \frac{3600 \times 720^3}{48 \times 15100 \sqrt{250} \times 243801}$$

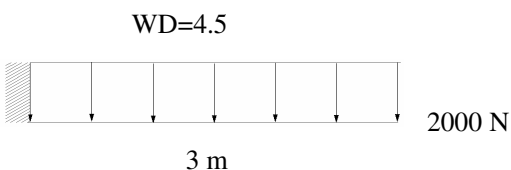
$$\Delta = 0.89 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{\zeta}{1+0} = \zeta \quad \zeta = 2 \Rightarrow \Delta_a = 2 \times 0.89 = 1.8$$

$$\Delta_t = \Delta_i + \Delta_a = 1.8 + 0.9 = 2.7 \text{ cm}$$

$$I_e = I_g \quad \text{توجه: اگر بزرگتر از 1 می شد می بایست}$$

مثال



$$I_g = 140000 \text{ cm}^4, \quad I_{cr} = 78000 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = 3.4 \text{ ton.m}, \quad E_c = 220000 \text{ Kg/cm}^2$$

الف) فقط بار مرده: تغییر شکل انتهای آزاد که ماکزیمم تغییر شکل را دارد.

ب) فقط بار زنده: تغییر شکل انتهای آزاد که ماکزیمم تغییر شکل را دارد.

الف)
$$M_a = \frac{WL^2}{2} = \frac{450 \times 3^2}{2} = 2025 \text{ Kg.m} = 2.025 \text{ ton.m} < M_{cr}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}} > 1 \Rightarrow$$

$$I_e = I_g = 140000 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = \frac{W_D L^4}{8 E_c I_e} = \frac{4.5 \times 300^4}{8 \times 220000 \times 140000} = 0.148 \text{ cm}$$

ب)
$$M_a = 2025 + 2000 \times 3 = 8025 \text{ Kg.m} > M_{cr}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max}} = 0.424 < 1$$

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

$$I_e = 82715 \text{ cm}^4$$

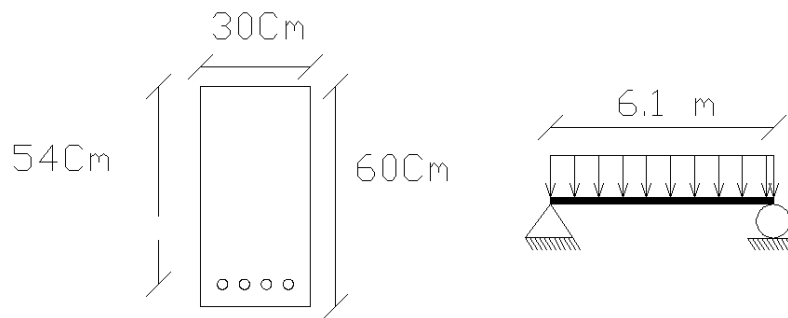
$$\Delta = \frac{WL^4}{8 E_c I_e} + \frac{P_L \cdot L^3}{3 E_c I_e} = 1.24 \text{ cm}$$

$$\Delta_L = 1.24 - 0.148 \quad \leftarrow \text{تغییر مکان تحت اثر بار زنده}$$

مثال

$$W_L = 2300 \text{ kg/m} \quad W_D = 1500 \text{ kg/m}$$

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2, f_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$$



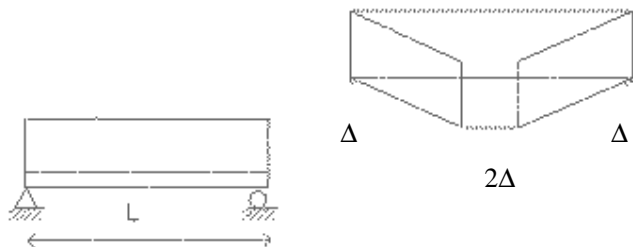
فقط 60% بارزنده بصورت دائمی به تیر وارد می شود

مطلوب است:

1- تغییر شکل آنی تحت اثر کل بار

2- تغییر شکل اضافی وابسته به زمان

پیوستگی مهاری و مزئیات ارماتور گذاری :

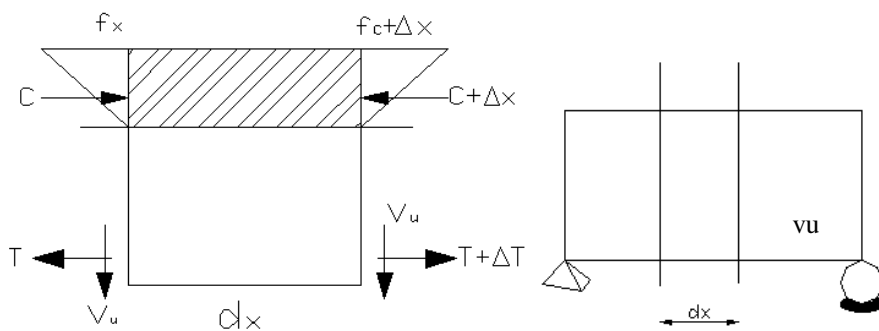


این شکل غلط میباشد زیرا پیوستگی ندارد و مالت زوالتر اتفاق می افتد زیرا بعد از F_r زوالتر اتفاق می افتد .

مقاومت فشاری فوب بتن

مقاومت کششی فوب فولاد

توزیع تغییرات تنش پیوستگی :



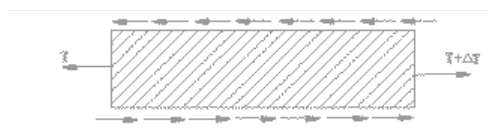
این تنش پیوستگی برشی است که باعث تعادل می شود و ارماتور در بتن نمی لغزد

تنش پیوستگی بین بتن و فولاد

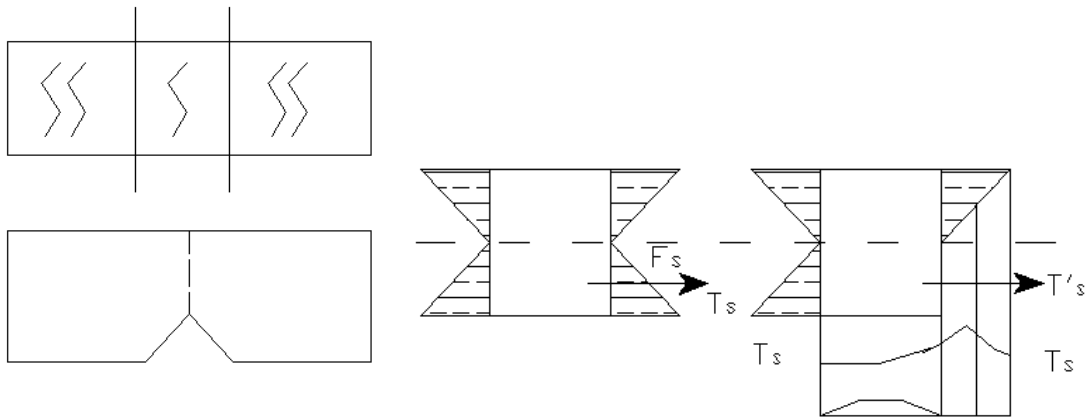
$$\Delta T = \mu \sum \Delta_x$$

ممیط دور آرماتورها

آرماتور طولی



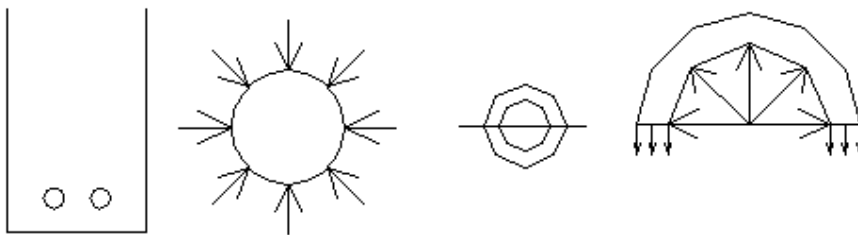
فرمول بالا بر اساس آن است که تر که یکنواخت است و تنش پیوستگی نیز یکنواخت می باشد



مکانیزم ایجاد تنش پیوستگی :

1- پسمبندگی شیمیایی بتن و فولاد (مقدارش کم است تنش پیوستگی = 20 kg/cm^2 تا 14)

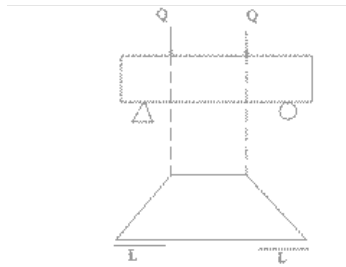
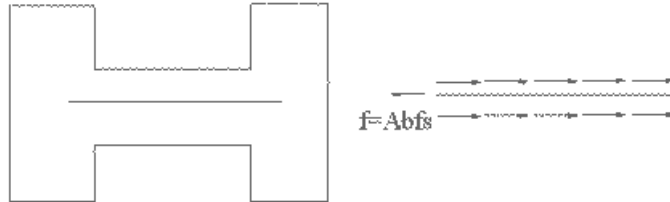
2- اصطکاک (آجدار)



3- درگیر شدن برآمدگیهای سطح بتن و فولاد (مهمترین عامل)

پس یکی از دلایل حداقل فاصله و پوشش حداقل بتن روی آرماتور همین است

فرمول سریعی برای آن نیست و فرمول حالت کل آن تجربی و آزمایشگاهی است



$$P = A_b \cdot f_s \Rightarrow p = \sum_o L u_u \Rightarrow u_u = \frac{P}{\sum_o L}$$

$$u_u = \frac{6.4 \sqrt{f'_c}}{d_b} \leq 56 \text{ kg/cm}^2$$

نکته: هر جا که $\sqrt{f'_c}$ داشتیم می فهمیم که کشش

(طبیعت کشش بتن) وارد مسئله ما شده است.

$$u_u = u_u \cdot \sum_o \times 1$$

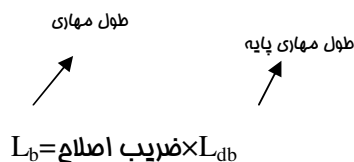
$$u_u = \frac{6.4 \sqrt{f'_c}}{d_b} \pi d_b \leq 20 \sqrt{f'_c}$$

مقاومت اسمی پیوستگی واحد طول آرماتور

طول مهارى - طول مهارى پایه development length

طول مهارى : طولى است كه در امتداد آن ميلگردي كه تا تنش تسلیم f_y تمت تنش قرار گرفته نيروى خود را از

طريق اصطمكاك جداره به بتن منتقل كرده .



شرایط خاص كه برای L_{db} در نظر گرفته شده

2- فولاد تمثانی

1- بتن معمولی

4- برای $f_y = 4200$ III

3- تنش در فولاد برای f_y

1) $A_b f_y$: نيروى لازم برای به تسلیم رساندن فولاد. نيروى كه لازم است (رما تور را به مد تسلیم برساند):

2) $u_u L_{db}$: مقاومت پیوستگی ایجاد شده

$$1) \& 2) \Rightarrow A_b \cdot f_y = u_u \cdot L_{db} \Rightarrow L_{db} = \frac{A_b \cdot f_y}{u_u} = \frac{A_b \cdot f_y}{20 \sqrt{f'_c}} = 0.05 A_b \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

$$L_{db} = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad , \sqrt{f'_c} < 26.5 \text{ kg / cm}^2$$

L_{db} :

$$\frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.057 d_b f_y \quad \text{for } \Phi 36 \& \text{ small}$$

$$\frac{0.82 f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad \text{for } \Phi 44$$

$$\frac{1.2_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad \text{for } \Phi 58$$

ضرایب اصلاح:

1- میلگرد داخل تیر ها یا ستونها که فواصل مداخل پوشش وضوابط تنگها و فاموتها در مورد آنها رعایت نشده

باشد

2- فاصله آزاد میلگردها از $3d_b$ بیشتر باشد ضریب اصلاح را یک در نظر می گیریم.

3- بطور کلی همه ارماتور های دارای مداخل پوشش $2d_b$ و فاصله آزاد $3d_b$

4- میلگرد های دارای پوشش d_b یا کمتر با فاصله آزاد $2d_b$ یا کمتر ضریب اصلاح 2 است

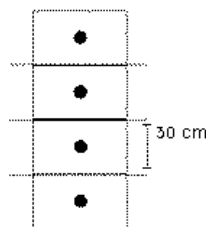
5- برای میلگردهای بغیر از دو مورد 3 و 4 ضریب اصلاح 1.4 است .

6- برای میلگردهای $\Phi 36$ و کوچکتر و مداخل پوشش جانبی $2.5 d_b$ رعایت شده باشد می توان ضرائب مرامل

قبل را در 0.8 ضرب کرد .

نکته : طول مهاری ماصل از موارد فوق نباید از $\frac{0.113d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$ کوچکتر باشد اگر کوچکتر شد همین مقدار را قرار می دهیم .

برای آرماتور فوقانی :



ضریب اصلاح 1.3 را بکار می بریم

اینها همه برای ارماتور کششی قرائت می شود

ارماتور فوقانی زیرش بیشتر از 30cm بتن تازه قرار گیرد .

مباب هوا سطح تماس بین میلگرد و بتن 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 آزمایش شکافت بتن

اگر f_{ct} در اختیار نبود 1.3 را در نظر می گیریم .

ارماتور مازاد بر نیاز :

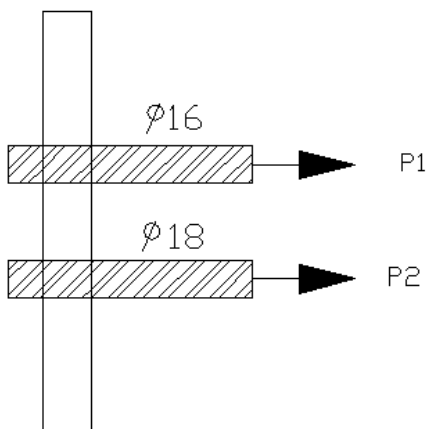
A_{sreq} و A_{sprov} کمتر است پس عدد کمتر از یک است .

ضریب اصلاح = A_{sreq} / A_{sprov}

ضریب اصلاح برای آرماتور با f_y بزرگتر از 4200.

$$= 2 - 4200 / f_y$$

مثال



$$f'_c = 250 \quad f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$$

نیروی که لازم است که میلگرد به بیرون کشیده شود که برای بالا و پایین فرق نمی کند .

$$P_{1y} = \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 4200 = 8444 \text{ kg}$$

نیروی که لازم است که فولاد ها به تسلیم برسد

$$P_{2y} = \frac{\pi}{4} \times (1.8)^2 \times 4200 = 106877 \text{ kg}$$

12.5cm از طول مهاری کمتر است .

پس نتیجه می گیریم $8444 > 3953$ پس قبل از اینکه فولاد به مد جاری شدن برسد فولاد کشیده می شود و بیرون

می رود پس 12.5 سانتیمتر مناسب نیست .

مثال

در صورتی که بدانیم ارماتور های مثال فوق تا مد تسلیم کشیده شوند طول مهاری لازم را برای انها بدست اوربد .

$$f'_c = 250 \quad f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$$

$$L_{\min} = L_d = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad \frac{0.113 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

$$\Phi 16 \rightarrow 32 \text{ cm}$$

$$\Phi 16 \rightarrow 48 \text{ cm}$$

$$\Phi 18 \rightarrow 84 \text{ cm}$$

control

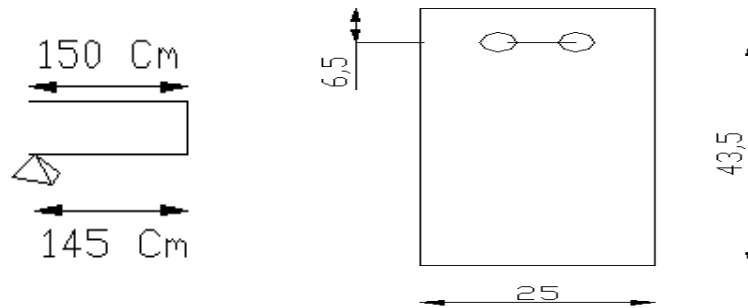
$$\Phi 18 \rightarrow 98.2 \text{ cm}$$

البته ضرائب را به کار نمی بریم زیرا اطلاعات ان را نداریم بنابراین ضریب اصلاح را یک می گیریم که بزرگترین

مقدارها را انتخاب می کنیم .

$$\phi 16 = 48 \text{ cm}$$

$$\phi 18 = 98.2 \text{ cm}$$



$$A_{sprov} = 2\Phi 32, \quad A_{sreq} = 15.48 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = 210 \quad ; \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

ضوابط طول مهاری را کنترل کنید

$$L_{db} = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} = 140 \text{ cm} \quad \Rightarrow L_{db} = 140 \text{ cm}$$

$$\frac{0.113 db f_y}{\sqrt{f'_c}} = 105 \text{ cm}$$

ضرائب اصلاح :

$$A_{sprov} = 2\Phi 32 = 16.08 \text{ cm}^2$$

چون در آرماتور فوقانی زیرش از 30 cm بیشتر است یعنی 43.5 cm پس ضرائب اصلاح فوقانی لازم داریم .

$$L_d = 1.3 \times \frac{15.48}{16.08} \times 140 = 175 \text{ cm} > 145$$

پس این طول مهاری مناسب نیست لذا باید آن 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

$$115.86 = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \Rightarrow A_b = 6.62 \text{ cm}^2 = d_b = 2.91 \text{ cm} \rightarrow \Phi 28$$

$$\Phi 28 \rightarrow A_{prov} = 15.48 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

باید Φ را کمتر کنیم تا طول مهارى همان 145 باشد

$$L_{db} = \frac{0.66 \times \pi (2.8)^2 \times 4200}{\sqrt{210}} = 107.07 \text{ cm}$$

$$L_{db} = \frac{0.113 \times 2.8 \times 4200}{\sqrt{210}} = 91.7 \text{ cm}$$

$$L_d = \frac{15.48}{18.42} \times 1.3 \times 107.07 = 116.97 < 145 \rightarrow \text{o.k}$$

طول مهارى ارماتور تحت فشار :

دلایل اینکه طول مهارى فشارى کمتر از طول مهارى کششى است

1- در نامیه فشارى بتن ترک نفورده است

2- به دلیل وجود نیروى اتکایی و انتهایى در ارماتور

$$L_{db} = \max \left[\frac{0.075 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}}, 0.0043 f_y \right]$$

ضرائب اصلاح

1- ارماتور مازاد

2- در صورتى که از آر ماتور عرضى و مار پیچ با ضوابط ACI برای مهار ارماتور فشارى استفاده شده باشد

ارماتورهای دسته شده :



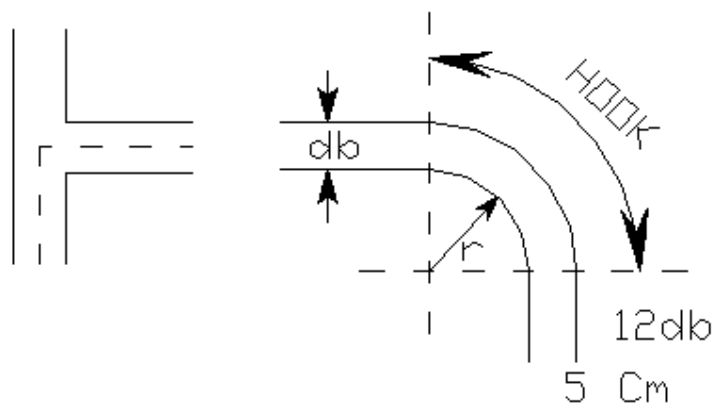
×1



×1.2



×1.33



قلاب های استاندارد

شعاع فارمی خم کردن ارماتور ها

Φ26 ⊃ Φ10 → 4db

Φ36 ⊃ Φ28 → 5db

Φ58 ⊃ Φ38 → 6db

$$L_{dbh} = \frac{320 \text{ db}}{\sqrt{f'_c}}$$

ضرائب اصلاح برای فرمولهای بالا

1- مقاومت جاری شدن

2- پوشش بتن

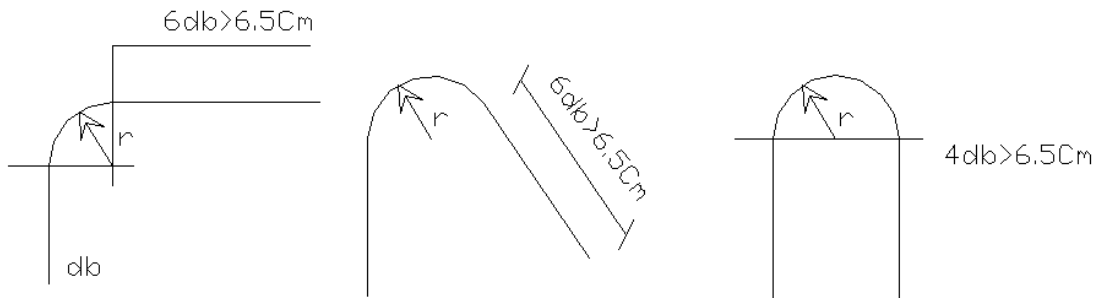
قلاب 180° برای میلگرد کوچکتر از $\Phi 36$ حداقل پوشش عمود ضد قلاب 6.5 سانتیمتر ضریب اصلاح 0.7

قلاب 90 درجه : برای میلگرد کوچکتر از $\Phi 36$ حداقل پوشش در امتداد قلاب 5 سانتیمتر ضریب اصلاح 0.7

3- ارماتور مازاد

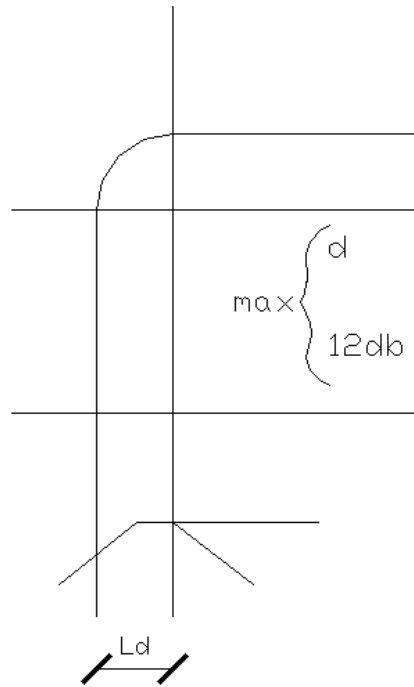
4- بتن سبک

برای خاموتها



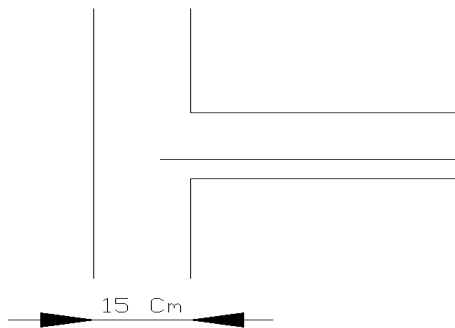
میزنیات مربوط به ارماتور خمشی :

1- هر میلگرد بایستی متمم به اندازه طول مهاری از نقطه بمران ادامه پیدا کند



مقررات فاص میلگردهای فمشی مثبت :

1- حداقل 1/3 ارماتورهای در تیرهای ساده یا 1/4 ارماتورهای در تیرهای سراسری در سراسر تیر



ادامه پیدا کند .

2- میلگردهای حداقل ادامه یافته بایستی لاقل به اندازه 15 سانتیمتر در تکیه گاه فرو رود .

3- اگر تیر مورد نظر قطعه ای از قابی باشد که نیروی لرزه 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 .

مقاومت خمشی نهایی برای مقطعی بامیلگردهای باقی مانده : M_n

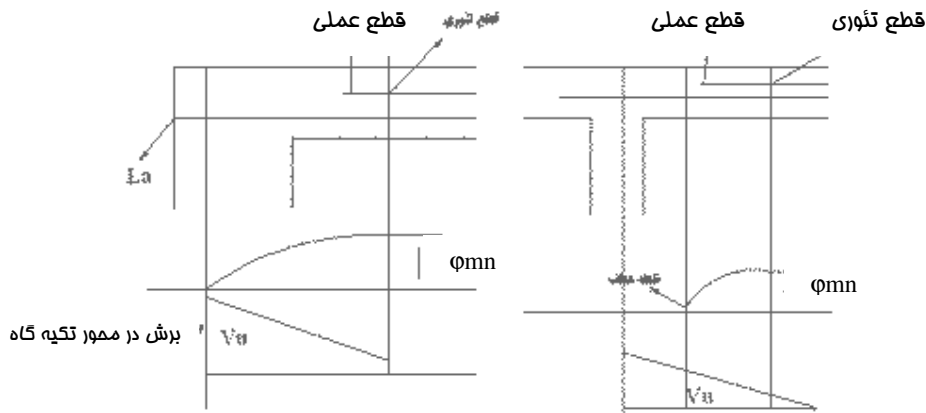
$$L_d \leq \frac{M_n}{V_u} + L_a$$

مقاومت برشی ضربدر در تکیه گاه یا نقطه عطف: V_u

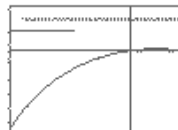
$$L_a = \max \begin{cases} 12d_b \\ d_b \end{cases}$$

طول ادامه یافته میلگرد پس از محور تکیه گاه یا نقطه عطف : L_a

قطع تئوری

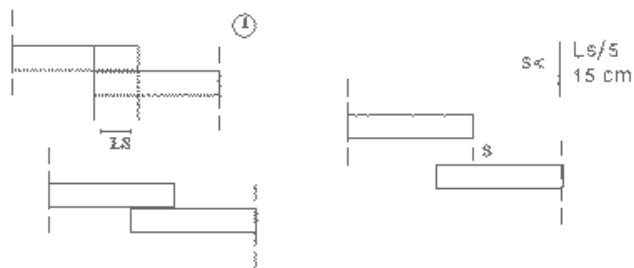


مقررات فاص میلگردهای خمشی منفی :



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 ممل اتصال به ستون بایستی طول مهارتی لازم را داشته باشد.



وصله ارماتور ها :

1- برای ارماتورهای بزرگتر از $\Phi 36$ وصله پوششی نباید بکار برد

2- وصله ارماتورهای دسته شده بصورت ناگهانی ممنوع است . در مقیقت بایستی تک تک ارماتورهای یک

دسته در فواصل جدا کننده وصله شوند .